

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

**АГРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ
ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ
И РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА
ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

Монография

Горки
Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия
2025

УДК 631.8:631.5

Агроэкономическая эффективность применения удобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур : монография / И. Р. Вильдфлуш, В. Б. Воробьев, О. В. Малашевская [и др.]. – Горки : Белорус. гос. с.-х. акад., 2025. – 191 с. – ISBN 978-985-882-720-5.

В монографии обобщены результаты исследований по влиянию макро-, микроудобрений, комплексных удобрений и регуляторов роста на продукционные процессы, урожайность и качество гороха, кукурузы на зеленую массу и зерно, столовой свеклы и моркови, озимой пшеницы. Большое внимание уделено экономической оценке применения комплексных специализированных удобрений для основного внесения и некорневых подкормок, микроудобрений в хелатной и органоминеральной форме, регуляторам роста и комплексным препаратам на основе микроэлементов и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур.

Предназначена для научных работников, преподавателей, магистрантов, аспирантов, студентов высших учебных заведений и слушателей ФПК. Будет полезной для специалистов, фермеров и руководителей сельскохозяйственных предприятий.

Табл. 51. Ил. 13. Библиогр.: 258 назв.

Печатается по решению Научно-технического совета
Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.
Протокол № 6 от 21 июня 2024 г.

Рецензенты:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор *Г. М. Милоста*;
доктор сельскохозяйственных наук, профессор *П. А. Саскевич*

ISBN 978-985-882-720-5

© Вильдфлуш И. Р., Воробьев В. Б.,
Малашевская О. В., Мосур С. С.,
Хизанейшвили Н. Э.,
Мишура О. И., 2025
© Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия, 2025

ВВЕДЕНИЕ

Современные технологии получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур предусматривают создание оптимальных условий питания растений на протяжении всей вегетации. Важнейшей задачей, стоящей перед сельскохозяйственным производством, является дальнейшее совершенствование ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур на основе лимитирующих факторов, что должно обеспечить получение высокой урожайности сельскохозяйственных культур хорошего качества при снижении затрат на применение макро- и микроудобрений и повышение экономической эффективности средств химизации.

В настоящее время разработаны комплексные удобрения для основного внесения и некорневых подкормок, которые содержат основные элементы питания (азот, фосфор, калий), микроэлементы (бор, медь, цинк, марганец и др.), а при необходимости другие элементы (серу, магний, натрий и т. д.) и гарантируют получение высоких урожаев с хорошими технологическими качествами при значительном снижении затрат на применение удобрений по сравнению с использованием стандартных однокомпонентных удобрений.

Резервом повышения урожайности и повышения качества продукции является использование регуляторов роста растений – природных или синтетических низкомолекулярных веществ, которые повышают устойчивость растений к неблагоприятным условиям и позволяют существенно увеличить урожайность и качество сельскохозяйственных культур при минимальных затратах.

Эффективность применения средств химизации возрастает при использовании их в комплексе, когда каждый компонент создает условия, чтобы другие агрохимические элементы могли проявить свое максимальное действие.

Применение комплексных удобрений, специализированных для сельскохозяйственных культур с учетом их биологических особенностей, комплексных препаратов на основе микроэлементов и регуляторов роста позволяет оптимизировать питание озимых и яровых зерновых культур, кукурузы при возделывании на зерно и зеленую массу, столовых корнеплодов, разработать высокоэффективную систему удобрения, уменьшить влияние неблагоприятных погодных условий на формирование урожая. Это дает возможность получить более

устойчивую продуктивность сельскохозяйственных культур и снизить на 10–15 % затраты на применение средств химизации.

Растениеводческая продукция в условиях Беларуси не всегда в достаточной мере обеспечена необходимыми для человека и сельскохозяйственных животных микроэлементами (медь, цинк, марганец, кобальт и др.), что неблагоприятно сказывается на здоровье человека и продуктивности сельскохозяйственных животных. Микроэлементы активно участвуют во многих важнейших физиологических и биохимических процессах развития растений, входят в состав ферментов, витаминов, являются активаторами процессов роста, развития и продуктивности растений. Для каждой культуры имеются важнейшие микроэлементы, при дефиците которых нарушаются процессы обмена веществ в растениях, задерживается их развитие, снижается устойчивость к неблагоприятным условиям внешней среды и болезням. В современном сельском хозяйстве возрастающая роль микроэлементов объясняется также снижением их подвижных форм в почве, постоянным выносом урожаями и невнесением микроудобрений в почву. Содержание подвижных форм микроэлементов изменяется по почвенным типам, а также от кислотности, содержания гумуса, фосфора и кальция. В связи с этим большой интерес представляет изучение микроэлементного состава растениеводческой продукции и разработка приемов по его оптимизации.

Авторы монографии, используя собственные исследования, проведенные в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии, и экспериментальные исследования других авторов, обобщили данные по влиянию макро-, микроудобрений, комплексных удобрений и регуляторов роста на продукционные процессы, урожайность и качество гороха, кукурузы, возделываемой на зерно и зеленую массу, столовой свеклы и моркови, озимой пшеницы.

Большое внимание уделено экономической эффективности применения комплексных специализированных удобрений для основного внесения и некорневых подкормок, микроудобрений в хелатной и органоминеральной форме, регуляторам роста и комплексным препаратам на основе микроэлементов и регуляторов роста. Научно обоснованная система удобрения комплексного применения макро-, микроудобрений и регуляторов роста позволит оптимизировать питание растений, получить высококачественную продукцию растениеводства, повысить агроэкономическую эффективность использования средств химизации.

1. ГОРОХ

Значение зернобобовых в мире очень большое. Используют их непосредственно в питании человека, на корм сельскохозяйственным животным, в качестве сырья для промышленности. За счет продукции зернобобовых культур население мира в значительной мере удовлетворяет свою потребность в белке (16 %) [1].

Недостаточное содержание переваримого протеина в кормах приводит к значительному их перерасходу в Республике Беларусь. Из-за дефицита белка в зерне при скармливании его в чистом виде значительная часть энергии используется животными непродуктивно. В 1 к. ед. зерновых обеспеченность белком часто не превышает 80 г при минимальной физиологически обоснованной потребности 105 г. Недостаток 1 г переваримого белка в кормах до физиологической нормы приводит к увеличению их расхода на 1,5 % [2, 3, 4, 5]. В сельскохозяйственных организациях республики расходы на корма занимают наибольший удельный вес в общих затратах, ежегодно они превышают расходы на минеральные удобрения, средства защиты растений, нефтепродукты и газ вместе взятые [3, 4].

Согласно исследованиям Л. В. Кукреша, для устранения дефицита белка в почвенно-климатических условиях Беларуси оптимально использовать традиционные зернобобовые культуры: горох посевной и полевой, люпин узколистный и вику яровую. Выгоднее получать недостающую часть белка выращиванием зернобобовых культур, а не покупкой импортных белковых наполнителей [3].

В структуре посевных площадей сельскохозяйственных культур зернобобовые культуры в Беларуси в 2018 г. занимали 3,0 % от общей посевной площади [6]. Урожайность зернобобовых культур в хозяйствах всех категорий, согласно данным Статистического сборника, составила в 2019 г. 21,7 ц/га. Валовой сбор зернобобовых культур в 2019 г. – 339 тыс. т. Посевные площади под зернобобовые культуры занимали в 2018 г. 174 тыс. га в хозяйствах всех категорий [7, 8]. В конце 1990-х гг. в Беларуси посевные площади в целом под зернобобовыми приближались к значению 200 тыс. га, по гороху – в пределах 100 тыс. га [8].

Анализ ситуации по возделыванию гороха в Республике Беларусь за последние годы показывает, что его посевные площади ежегодно немного увеличиваются, а урожайность и валовой сбор зерна нестабильны по годам.

На увеличение посевных площадей зернобобовых культур ориентирует «Государственная программа «Аграрный бизнес» в Республике Беларусь на 2021–2025 годы» [9]. Мероприятиями данной программы предусмотрено увеличение посевной площади зернобобовых растений до 350 тыс. га, площади посевов многолетних трав (преимущественно бобовых) на пашне – до 1 млн. га. Планируется, что данные меры позволят увеличить объемы накопления биологического азота в почве до 100 тыс. т и обеспечить до 70 % потребности отрасли животноводства в растительном белке и минимизировать закупку белкового сырья по импорту [8, 9].

Во многих странах планеты существующие проблемы – экологические, голода и недоедания, заставили обратить на зернобобовые культуры внимание ООН. Проведение в 2016 г. международного года зернобобовых инициировано в соответствии с принятой на 68-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН резолюцией A/RES/68/231 «с целью повышения осведомленности общественности о питательной ценности зернобобовых культур в рамках устойчивого производства продовольствия, направленного на обеспечение продовольственной безопасности и питания», также должно привести к повышению доли белков, получаемых из зернобобовых, совершенствованию севооборота зернобобовых культур, увеличению их мирового производства. Таким образом, привлекается внимание мировой общественности к важной белковой зернобобовой культуре – гороху [10].

Территория Беларуси относится к благоприятной зоне по климатическим условиям для возделывания бобовых культур. Они являются традиционными возделываемыми культурами, составляющими неотъемлемую часть пищевого рациона человека. Имеются условия для получения высоких урожаев гороха при соблюдении технологии возделывания культуры, системы удобрений и интегрированной системы защиты от вредных организмов [11].

Изучением зернобобовых культур в Республике Беларусь занимались В. В. Лапа, М. В. Рак, Т. Г. Николаева, Г. В. Пироговская, Т. Ф. Персикова, В. Н. Босак, А. В. Какшинцев, О. И. Мишура, А. Ф. Таранова и многие другие. В последнее время широко изучаются возможности применения микроэлементов и регуляторов роста на возделываемых культурах в Республике Беларусь.

Проблема биологического азота – ключевой фактор плодородия, продуктивности севооборотов и экологического равновесия. По мнению Е. П. Трепачева, М. С. Ягодиной, Б. Ф. Азорова, симбиотический

азот и органическое вещество бобовых растений являются мощными факторами воспроизводства плодородия почвы и экологического равновесия [12]. В настоящее время важным является вопрос биологического азота в области биологических исследований во всех развитых странах [13].

Д. Н. Прянишников [14], анализируя значение технического и биологического источников азота в питании растений, выявил, что они усиливают действие друг друга.

Первые данные о роли микроорганизмов для повышения почвенного плодородия известны уже тысячи лет, и взаимоотношение растений и микробов сводилось к установлению между ними трофических связей, отмечает А. А. Завалин. Его исследования показали, что эти связи гораздо сложнее, многообразнее и незаменимы для нормального функционирования растений [15].

Проблемой биологического азота в земледелии много лет занимались в странах постсоветского пространства и в Западной Европе такие ученые, как Ж. Б. Буссенго, Г. Гельригель, М. С. Воронин, К. А. Тимирязев, Г. Г. Петров, П. С. Коссович, Д. Н. Прянишников, С. Н. Виноградский, М. В. Бейеринк, В. Л. Омелянский, Е. Н. Мишустин, а также Г. С. Посыпанов, В. К. Шильникова, Е. П. Трепачев, Г. Пройшен [12, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21].

В естественных биоценозах важная роль в снабжении растений азотом принадлежит биологической фиксации атмосферного азота, которая по значимости равноценна процессам фотосинтеза. Действие биологической азотфиксации на урожайность вдвое больше, чем от химических азотных удобрений, а ассоциативные и свободноживущие микроорганизмы фиксируют до 30 % от общего количества биологического азота [22].

В настоящее время отмечают три пути поступления биологического азота в почву: путем фиксации молекулярного азота клубеньковыми бактериями, живущими на корнях бобовых; фиксация азота свободноживущими почвенными микроорганизмами и усвоением атмосферного азота небобовыми растениями за счет несимбиотических связей с ризосферными бактериями [23].

По данным исследователей, над каждым гектаром почвы в атмосфере имеется до 80,0 тыс. т азота, который в природных условиях доступен только для бобовых растений. В атмосфере под действием грозовых разрядов образуется до 3–5 кг на 1 га связанного азота, который поступает в почву с осадками в виде азотистой и азотной кислоты.

Для питания растений значение имеет фиксация азота воздуха азотфиксирующими микроорганизмами, свободноживущими в почве (азотобактер, клубеньковые и др.), и клубеньковыми бактериями, живущими в симбиозе с бобовыми растениями. Свободноживущие азотфиксаторы ассимилируют до 5–10 кг азота на 1 га [16, 19, 24, 25].

Значение свободноживущих почвенных азотфиксаторов в азотном балансе Беларуси небольшое. По данным [23], в процессе жизнедеятельности свободноживущих азотфиксаторов на пахотных почвах республики связывается до 77 тыс. т биологического азота, и на улучшенных сенокосах и пастбищах – до 12,9 тыс. т. По мнению Д. Н. Прянишникова, «проблема азота в земледелии должна улучшаться за счет минерального и атмосферного азота, который накапливается бобовыми растениями» [14]. Он отмечал, что необходимо «правильно соотносить рост производства минеральных удобрений с возможностями азотирования наших полей, с помощью культуры азотособираателей» [26].

Исследования Г. С. Посыпанова определили значение биологической фиксации азота. Закладывая азот воздуха в биологический круговорот, фиксация азота обеспечивает производство дополнительного белка. При этом белковая продуктивность культур, способных к симбиотической азотфиксации, превосходит белковую продуктивность культур, не обладающих таким свойством [17].

По данным В. Ф. Ладонина, «при применении высоких доз азотных удобрений содержание нитратов в грунтовых водах превышает предельно допустимую концентрацию, в результате продукция становится непригодной для использования в пищу» [27]. В своих работах Г. С. Посыпанов отмечает, что «продукция, полученная с участием симбиотически фиксированного азота, имеет высокие пищевые и кормовые качества, безвредна для человека и животных. При повышении содержания белка в продукции и увеличении его сбора с единицы площади, применяя высокие дозы минерального азота, происходит накопление в вегетативной массе нитратов, но при этом снижается качество урожая» [17, 28, 29].

При симбиотической фиксации азота воздуха снижается себестоимость ископаемой энергии на единицу продукции [17]. Выращивание бобовых растений создает хорошие условия для роста последующих культур и экономии за счет биологического азота [21]. Таким образом, биологическая фиксация атмосферного азота имеет большой научный и практический интерес в сельском хозяйстве [19].

При решении вопросов повышения урожайности и качества продукции сельскохозяйственных культур следует обратить внимание на проблемы азотного питания сельскохозяйственных растений. По данным исследований, проведенных Я. В. Пейве, «увеличение интенсивности фиксации атмосферного азота клубеньковыми бактериями в симбиозе с бобовыми культурами, а также свободноживущими почвенными бактериями будет способствовать улучшению баланса азота в земледелии» [30].

По данным К. К. Сидоровой, «фиксация атмосферного азота бобовыми растениями при симбиозе с клубеньковыми бактериями находится на значимом уровне и составляет до 75–85 % от общего содержания азота в растениях» [31].

Основная часть азота, биологически связанного бобовыми культурами, остается в почве с корневыми и пожнивными остатками. Доля биомассы бобовых растений, которая остается в почве, изменяется в зависимости от почвенно-климатических условий, уровня агротехники, величины урожая, условий питания. В. Б. Воробьевым изучены данные об остатках органического вещества в почве после бобовых растений – клеверо-злаковая смесь оставляет в почве 60 ц растительной массы на 1 га, зерновые культуры – 24 ц, а картофель – 6 ц на 1 га [32].

По данным исследований Т. Ф. Персиковой, в расчете на 1 т основной продукции после клевера (сено) с корневыми и пожнивными остатками остается от 26 до 39 кг симбиотического азота, после люпина в расчете на 1 т зерна – от 33 до 45 кг, на 1 т сена клевера – 2,93 и 2,66 т органического вещества, на 1 т зерна люпина – 2,91 и 2,94 т [33, 34].

Р. С. Литвинюк отмечает, что в «опыте с зернобобовыми растениями содержание азота в корнях достигало 1,56–2,16, а в стерне – 1–1,85 %» [35]. Согласно данным С. А. Воробьева, «содержание азота в сухой массе корневых и пожневных остатков составляло у многолетних бобовых – 1,8 и у гороха 1,7 %» [36].

Люцерна и клевер луговой обладают высоким потенциалом для симбиотической азотфиксации. Е. П. Иванова приводит данные, что при благоприятных условиях выращивания, при сборе 12,9 т сена с 1 га клевер фиксирует 250 кг азота из воздуха. Многолетние зернобобовые близки по азотфиксирующей способности, которые при благоприятных условиях симбиоза и урожайности 40–80 т/га зеленой массы могут фиксировать до 200–400 кг азота. При урожайности 1,5–1,7 т/га

горох усваивает 50–60 кг/га азота, при 3,5 т/га – 140, а при 5 т/га – до 180 кг/га. Также автором отмечается, что эффективность азотфиксации зависит от экологических условий [37].

Согласно данным Э. А. Муравина, многолетние бобовые травы на 1 т сена накапливают в пожнивно-корневых остатках до 15 кг/га азота, используемого последующими культурами на 50–60 % [38]. Исследования В. Н. Шептухова выявили долю растительных остатков однолетних бобовых культур, которая составила меньшую часть отчуждаемого урожая (36–80 %), у люцерны и клевера растительные остатки равнялись массе отчуждаемого урожая (98 %) или были выше [39].

В исследованиях Г. Ф. Хайловой и Г. Я. Жизневской установлено, что в зависимости от биологических особенностей культуры в симбиозе с бобовыми растениями бактерии рода *Rhizobium*, могут накапливать от 100 до 600 кг/га связанного азота в год. Этим определяется значение возделывания бобовых культур и их влияние на повышение условий плодородия почвы [40].

По данным исследований, полученных И. А. Нестеровым, с пожнивно-корневыми остатками желтого люпина поступление в почву фиксированного азота воздуха в благоприятный год достигало 94–133 кг/га и 51–70 кг/га – в неблагоприятный. Размеры дополнительного поступления биологического азота в почву на фоне доз фосфорно-калийных удобрений составили за счет инокуляции от 6 до 29 кг/га [41].

Проведенные исследования Т. Ф. Персиковой и расчеты содержания общего азота в растительных остатках и коэффициентов азотфиксации клевера и люпина [33] дают возможность получить представление об объемах поступления в почву симбиотического азота с органическим веществом клевера и люпина. Согласно данным исследованиям, доля симбиотического азота в общем поступлении выше на удобренных вариантах, чем на неудобренных. Его количество колебалось от 73 до 154 кг/га после клевера и от 42 до 75 кг/га – после люпина, т. е. с улучшением условий питания увеличивалось количество фиксированного азота. Данные исследования показали, что в зависимости от условий питания в почве остается с корневыми и пожнивными остатками разное количество симбиотического азота. После клевера при урожайности сена 5,4–7,6 ц/га остается 13,5 и 20,3 кг симбиотического азота, а после люпина на зерно при урожайности 2,2 и 3,1 т/га – 19 и 24 кг.

Исследования Е. Н. Мишустина показывают, что «в восстановлении почвенного плодородия доля биологического азота от общего его поступления может составлять до 45–50 %» [42].

Согласно данным П. М. Смирнова, «вклад биологического азота в азотный баланс определяется площадью, занимаемой многолетними бобовыми травами и их урожаем, от которого зависит количество азота, оставляемого в почве в корневых и послеуборочных остатках. Если площадь, занятая бобовыми травами, составляет 10 % общей посевной площади, а урожай сена равен 4 т с 1 га, то ежегодное поступление в почву азота на 1 га посевов бобовых составит 40–60 кг, а в среднем на 1 га всей посевной площади – 4–6 кг» [25].

Учеными кафедры растениеводства РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева установлено, что интенсивность фотосинтеза листьев возрастает по мере активизации симбиоза, расход углеводов на азотфиксацию компенсируется лучшим использованием солнечной радиации и не снижает урожай [43]. Симбиотическая фиксация азота осуществляется за счет энергии солнца, аккумулированной в процессе фотосинтеза.

Для осуществления фиксации азота атмосферы требуются постоянный приток энергии и источник электронов, необходимых для функционирования нитрогеназного комплекса. Согласно данным Б. Ф. Садыкова процесс азотфиксации зависит от интенсивности и суточной динамики фотосинтеза [44], поскольку продукты фотосинтеза являются субстратом для микроорганизмов. На протяжении периода вегетации изменение интенсивности фотосинтеза в течение роста растений является причиной колебаний величины азотфиксации [44, 45].

По данным И. С. Родынюка, формирование азотфиксирующих растительно-микробных ассоциаций определяется взаимодействиями между растениями, микробными популяциями и факторами среды. При этом данная система способна часть энергии фотосинтеза использовать на процесс преобразования атмосферного азота в более доступные для растений азотистые соединения [46].

Л. В. Кравченко [47] отмечает, что микроорганизмы способны синтезировать физиологически активные вещества; увеличивать доступность почвенных фосфатов, замедлять развитие патогенной микрофлоры через выделение антибиотиков; активизировать прорастание семян, увеличивать их всхожесть.

Как указывает Е. Н. Мишустин, после возделывания клевера лугового и люцерны изменчивой в Нечерноземной зоне в почве с корневых

ми и пожнивными остатками остается 80–100 кг азота/га, достаточного для того, чтобы дополнительно получить с 1 га 1,5–2 т зерна. При симбиотической фиксации азота воздуха обеспечивается высокая белковая продуктивность бобовых культур, а также увеличивается урожай культур в севообороте с сохранением плодородия почвы [48].

Согласно данным В. Г. Минеева, свободноживущие азотфиксаторы ассимилируют от 5 до 15 кг азота атмосферы на 1 га, а благодаря жизнедеятельности клубеньковых бактерий бобовых растений в почве накапливается 70–300 кг/га азота. Размеры симбиотической фиксации азота различны в зависимости от вида бобового растения, урожая, реакции почвы и других факторов. На 1 га ежегодное накопление азота может достигать при возделывании клевера 150–160 кг, люпина – 100–170, люцерны – 250–300, сои – 100, вики, гороха, фасоли – 70–80 кг [19]. Примерно 1/3 связанного бобовыми азота, который остается в пожнивных и корневых остатках, после минерализации может использоваться культурами севооборота [25].

На эффективность инокуляции симбиотическими микроорганизмами влияют разные факторы – климатические, почвенные, агротехнические, свойства клубеньковых бактерий и бобового растения. Значение каждого из них изучено и описано многими авторами [44, 49].

Низкая симбиотическая азотфиксация объясняется тем, что активность симбиоза бывает крайне слабой из-за неблагоприятных экологических условий. Высокая интенсивность азотфиксации обеспечивается при оптимальной влажности, при температуре почвы +15...+25 °С, нейтральной реакции почвенного раствора, наличии достаточных количеств подвижных фосфора и калия, присутствии в почве спонтанных активных штаммов клубеньковых бактерий либо инокуляции растений вирулентным штаммом специфичных рас клубеньковых бактерий [37, 50, 51].

Эффективность поступления азота от симбиоза с бактериями у гороха зависит от фазы и условий выращивания растений. В оптимальных условиях доля симбиотического азота в питании растений достигает 75 %, а при ухудшении условий – до 45 % от общего его потребления. Процесс азотфиксации у гороха начинает происходить в фазу двух-трех листьев, достигает максимума в фазах бутонизации – начала цветения и практически прекращается к наливу зерна.

Согласно рекомендациям [51], обязательным условием при выращивании гороха является внесение азотных удобрений под предпосевную культивацию почвы, что значительно повышает урожайность.

Н. А. Проворовым отмечается, что у бобовых растений высокая эффективность симбиотрофного питания азотом достигается при максимальном проявлении специфического сорто-штаммового взаимодействия [52].

При постоянном возделывании бобовых культур в почве уже имеются спонтанные специфичные штаммы ризобий, которые инфицируют эти культуры. Исследованиями Г. С. Посыпанова установлена видовая специфичность реакции симбионтов на изменение pH. При недостатке влаги величина и активность симбиотического аппарата резко снижаются у гороха, вики, клевера, не образуются клубеньки, несмотря на производимую инокуляцию. Избыток влаги, как и ее недостаток, также неблагоприятен для симбиоза [20, 28, 43].

Ряд исследователей [49] отмечали положительную роль бактерий в устойчивости растений к водному стрессу, так как более развитые растительные организмы лучше противостоят любым неблагоприятным воздействиям. Инокулированные растения имели более развитую корневую систему, способную поглощать воду из глубоких слоев почвы в условиях дефицита влаги [106]. Высокая эффективность инокуляции может повышать адаптацию растений при неблагоприятных условиях температуры и влажности почвы.

В своих исследованиях Е. Н. Мишустин, В. К. Шильникова, С. А. Самцевич [42, 53], пришли к заключению, что клубеньковые бактерии оказывают благоприятное влияние на бобовые растения как азотфиксаторы, а также стимуляторы различного рода физиологически активных веществ. Клубеньковые бактерии способствуют накоплению β -индолилуксусной кислоты в листьях, стеблях и корнях люпина.

В работах [55, 56] определена роль ауксинов и ауксиноподобных веществ, синтезируемых *Rhizobium*, в процессах инфицирования бобовых при формировании клубеньков, активизации роста и развития растений. Исследованиями И. П. Такунова доказана способность бактерий к образованию витаминов и фитогормонов, которые могут повышать устойчивость растений к засухе [57].

На биохимические и физиологические процессы в растениях существенное влияние оказывают элементы минерального питания в период вегетации и формирование величины, структуры и качества урожая [58]. Обеспеченность фосфором – обязательный фактор активного симбиоза. При низком содержании фосфора в почве клубеньковые бактерии проникают в корень, но клубеньки не образуются. При недостатке калия ограничивается симбиотическая азотфиксация. При уве-

личении нормы удобрений развитие клубеньковых бактерий угнетается, активность симбиоза снижается.

Для активного усвоения атмосферного азота бобовыми культурами необходима достаточная обеспеченность бором и молибденом. На почвах с нейтральной и щелочной реакцией среды молибден переходит в подвижное состояние и бобовые культуры не нуждаются в молибденовых удобрениях. На кислых почвах необходимо применять молибденовые удобрения для увеличения размеров и активности симбиотического аппарата [59].

Бор способствует лучшему развитию сосудисто-проводящей системы, обеспечению клубеньков энергетическими материалами. На кислых почвах бор находится в доступном для растений состоянии и борные удобрения не применяют. При известковании кислых почв и на почвах с нейтральной и щелочной реакцией бор переходит в недоступное для растений состояние и под бобовые культуры нужно вносить борные удобрения [60].

Фиксация азота воздуха происходит слабо при неблагоприятных параметрах – кислотность почвы выше оптимальной, почва бедна фосфором, калием, микроэлементами [59]. В сельскохозяйственном производстве при возделывании бобовых культур условия среды часто неблагоприятные для симбиоза.

Поиск и применение в качестве базы биоудобрений штаммов микроорганизмов, которые обладают повышенной способностью к симбиозу с бобовыми культурами и интенсивной азотфиксации, является основным способом повышения вклада биологического азота в урожай [61]. Для повышения продуктивности симбиотической азотфиксации в производстве используют препараты, содержащие специально селекционированные и высокоактивные штаммы клубеньковых бактерий [17, 52].

Инокулянты, которые изготовлены на основе специфических штаммов микроорганизмов, способны при обработке семян бобовых культур оказывать многофункциональное воздействие на растения. Микроорганизмы, входящие в состав инокулянтов, положительно влияют на полевую всхожесть семян, что особенно важно при неблагоприятных погодных условиях. Обработка семян инокулянтами способствует более интенсивному накоплению биомассы растений, формированию активного фотоассимиляционного аппарата, улучшает минеральное питание растений. Микроорганизмы также повышают устойчивость растений к фитопатогенам [15].

В исследованиях А. С. Водяник и Т. М. Водяник [62] установлено, что создание активного ризобияльного симбиоза на черноземах путем обработки семян гороха Ризоторфином приводило к повышению жизнеспособности растений, формированию высокопродуктивного фотосинтетического аппарата, активизации накопления сухого вещества и повышению семенной продуктивности. Также отмечается, что продуктивность растений в условиях активного ризобияльного симбиоза достигала высокого уровня. А. А. Завалин подтверждает данные исследования [15] и отмечает, что микроорганизмы также повышают устойчивость растений к фитопатогенам и положительно влияют на полевую всхожесть семян, улучшают минеральное питание растений, что особенно важно при неблагоприятных погодных условиях.

В опытах Н. С. Рулинской и В. В. Осмоловского в Брянской области, определено, что применение Ризоторфина под посевной горох оказывает положительное влияние на развитие макро- и микросимбионта, повышая урожайность зерна и содержание протеина на 12–14 %. Повышение нормы минерального азота до 60–90 кг/га отрицательно влияет на развитие гороха, снижает урожайность зерна и его качество [54].

Симбиотрофные бактерии выполняют ряд важных для бобовых функций – фиксация молекулярного азота, стимуляция развития растений, контроль фитопатогенов, повышение интенсивности усвоения корнями питательных веществ [61]. При проведении инокуляции семян бобовых растений повышается содержание в урожае сырого белка вследствие улучшения усвоения азота [62, 63].

Исследования В. П. Шабаяева в области физиологии роста и развития растений показали, что воздействие на семена бактериальными препаратами вызывает положительное действие на продуктивность растений [64]. Биохимические процессы, протекающие в фазу прорастания семян, влияют на интенсивность роста.

При определенной агротехнике возможна реализация потенциальных возможностей взаимодействия растения и микроорганизмов. По данным А. А. Завалина, некоторые пестициды по своей химической структуре являются имитаторами биологически активных соединений, выделяемых растениями для подавления процесса образования клубеньков. Поэтому при использовании данных пестицидов симбиоз невозможен даже при наличии активных штаммов и соответствующих растений [65].

Ранее на овощных, кормовых, зерновых и бобовых культурах применялись биологические препараты Фитостимифос, Ризобактерин и Сапронит, в настоящее время их применение прекращено [66].

В Институте микробиологии Национальной академии наук Беларуси проводится разработка, изучение и внедрение в производство симбиотических азотфиксаторов для гороха на основе рода *Rhizobium*. Основу таких препаратов составляют живые культуры почвенных и ризосферных микроорганизмов, обладающие хозяйственно ценными свойствами, и продукты их метаболизма.

Согласно З. М. Алещенковой и Г. В. Сафроновой [127], в отличие от минеральных удобрений, микробные препараты имеют ряд преимуществ: они не загрязняют окружающую среду, безвредны для человека и животных, не фитотоксичны и не обладают мутагенной активностью, так как созданы на основе штаммов естественных почвенных микроорганизмов.

Понимание важности некоторых микроэлементов для нормального роста и развития растений сложилось только в XX столетии. Характерная особенность физиологии микроэлементов состоит в том, что, если даже многие из них и необходимы для роста растений, при высоких концентрациях они могут оказывать токсичное действие на клетки [67, 68, 69].

Исследования, проведенные в Республике Беларусь и за рубежом [70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79], показали, что микроэлементы (Mo, B, Cu, Co, Mn, Fe) играют важную роль в повышении активности ферментов, катализирующих фиксацию молекулярного азота, восстановление нитратов, нитритов, гидроксилamina, синтез аминокислот и белков и другие реакции азотного обмена у высших растений и микроорганизмов.

В изучение вопросов, связанных с питанием растений микроэлементами, большой вклад внесли Я. В. Пейве, М. В. Каталимов, П. А. Власюк, О. К. Кедров-Зихман, М. Я. Школьник, Г. П. Дубиковский и другие ученые.

В питании растений, формировании и качестве урожая существенное значение имеют следующие микроэлементы: бор, марганец, молибден, медь, цинк, кобальт, йод. Микроэлементы принимают участие во многих физиологических и биохимических процессах у растений. Они являются составной частью многих ферментов, витаминов, ростовых веществ, играющих роль биологических ускорителей и регуляторов сложнейших биохимических процессов. Растениям микроэлементы необходимы в ничтожно малых количествах [69, 80, 81, 85].

В опытах, проведенных в лаборатории биохимии и микроэлементов Института биологии Академии наук Латвийской ССР, а также в исследованиях других авторов [71, 72] установлено, что микроэлементы (бор, медь, молибден) оказывают положительное влияние на способность растений противостоять неблагоприятным условиям внешней среды – недостатку влаги в почве; тяжелым условиям перезимовки; пониженным или повышенным температурам – и могут являться средством повышения урожайности и качества сельскохозяйственных культур. Некоторые макро- и микроэлементы способны ускорять развитие растений и созревание семян [70].

Большой вклад в изучение физиологической роли микроэлементов внесли исследования М. Я. Школьника. Он изучал связь микроэлементов с регуляторами роста и их значение в реакциях фотосинтеза, дыхательном процессе растений, в энергетическом и нуклеиновом обмене и в синтезе белка [82, 83, 84].

П. И. Анспок в своих исследованиях доказал, что микроэлементы улучшают обмен веществ в растениях, содействуют нормальному течению физиолого-биохимических процессов, влияют на процессы синтеза хлорофилла и повышают интенсивность фотосинтеза. Определено, что под действием микроэлементов возрастает устойчивость растений к грибным и бактериальным болезням, к неблагоприятным условиям внешней среды – недостатку влаги в почве, пониженным или повышенным температурам [70].

Н. Bortels установлена роль азотобактера в процессе фиксации атмосферного азота. Им было обнаружено, что эта бактерия в чистых культурах развивается очень плохо и не усваивает атмосферный азот без добавления молибдена. Интенсивность усвоения и количество связываемого азота в большей мере зависят от уровня молибденового питания растений. Было доказано, что связывание азота клубеньковыми бактериями бобовых растений происходит только при наличии определенного количества молибдена в почве. Выяснилось, что ванадий и вольфрам могут частично заменить молибден. Молибден и медь положительно влияют на синтез аминокислот и белков в клубеньках бобовых культур. Ряд микроэлементов положительно влияет на фотосинтез.

По мнению А. Кабата-Пендиаса, молибден жизненно необходим для микроорганизмов, также некоторые виды бактерий обладают способностью окислять молибденит в почвах. Бактерии рода *Rhizobium* и другие азотфиксирующие микроорганизмы характеризуются особенно большой потребностью в молибдене [67].

С. И. Матуашвили установил, что при добавлении к питательной среде 0,001%-ного раствора молибдата аммония натрия процесс фиксации атмосферного азота у азотобактера увеличился на 600–700 % по сравнению с контролем. Проведенные при этом анализы также показали, что под влиянием молибдена увеличивалось количество микроорганизмов на корнях гороха [86].

Исследования Я. В. Пейве посвящены выяснению роли молибдена в процессах фиксации азота свободноживущими и симбиотическими организмами. При внесении 100 г молибдата аммония на 1 га урожайность зерна гороха, кормовых бобов, люпина и вики повышается на 2,5–3,5 ц/га, а урожай клеверного сена – на 8–10 ц/га [87]. В опыте Е. И. Ратыера и И. А. Буркина на кислой подзолистой почве, бедной доступным для растений молибденом, показана высокая отзывчивость на молибден бобовых культур – гороха, вики, клевера, люпина [81].

Молибденовые удобрения способствуют усиленному росту корней клевера, гороха и кормовых бобов. По данным В. В. Кольчугиной, в верхнем слое почвы на глубине 40 см под влиянием молибдена масса корней увеличивается на 16,1–36,2 %. Возрастает масса клубеньков, численность клубеньковых бактерий на корнях гороха и общее количество бактерий.

По данным И. Н. Чумаченко, молибденовые удобрения повышают содержание белка в бобовых культурах: в зерне гороха и сои – на 2–4,5 %, в сене клевера и люцерны – на 5 %. Применение молибденовых удобрений повышает урожай семян бобовых трав на 13–31, зеленой массы – на 18–44 % [89].

Опытами Я. В. Пейве и Г. Ф. Хайловой [87] было доказано, что активность нитратредуктазы в листьях растений гороха, люпина и ячменя зависит от содержания нитратов в почве и доз молибдена. Внесение молибдена с бором и без бора в разные фазы роста гороха увеличивает активность окислительных ферментов – аскорбинатоксидазы, полифенолоксидазы и пероксидазы. Наибольшее влияние на активность аскорбинатоксидазы и полифенолоксидазы оказывает молибден, а на активность пероксидазы – бор на фоне молибдена. Я. В. Пейве и другие авторы установили, что молибден определяет активность нитратредуктазы, нитритредуктазы и гидроксилламинредуктазы. Этим объясняется положительное действие молибдена на повышение содержания белка в растениях. Данные результаты подтверждаются и другими исследователями [70, 73].

Н. С. Авдониным и И. П. Аренсом было установлено, что действие молибдена не только увеличивает количество клубеньков на корнях бобов, но и обеспечивает восстановление нитратов до аммиака. Под влиянием молибдена в растениях увеличивается содержание углеводов, каротина, аскорбиновой кислоты, хлорофилла и повышается интенсивность фотосинтеза. У бобовых наиболее повышается содержание белковых веществ. При недостатке молибдена тормозится процесс биологической редукции нитратов, замедляется синтез амидов, аминокислот и белков. Все это приводит не только к снижению урожая, но и к резкому ухудшению его качества [88].

М. В. Каталимов [73] отмечал, что симптомы молибденовой недостаточности установлены более чем для 40 видов культурных растений. Также подтверждаются данные других ученых о реакции бобовых культур на внесение молибденовых удобрений. Применение микроудобрений должно осуществляться с учетом токсичности этого элемента для животных, проявляющейся даже при крайне низких концентрациях.

Интенсивность поглощения молибдена растениями зависит от pH почв. Исследователями наблюдается положительная корреляция между поглощением молибдена растениями и pH почв. На почвах с pH около 6,5, по данным А. Кабата-Пендиаса, наиболее рационально применение известкования [67]. Это было показано также S. H. Dorst [90], обнаружившим аномально высокие содержания молибдена (свыше 52 мг/кг при среднем значении 11 мг/кг) в природных растениях, растущих на нейтральных и щелочных почвах. На богатых молибденом кислых почвах и на почвах с низким его содержанием концентрации этого элемента в тех же видах растений составляли в среднем 0,9 и менее 0,2 мг/кг соответственно.

В литературе имеются сведения о том, что на известкованных дерново-подзолистых кислых почвах внесение бора ускоряет цветение клевера, увеличивает количество головок и их размеры, ускоряет созревание семян и увеличивает количество семян в головке [91]. Самый низкий коэффициент потребления бора наблюдается при pH около 7 [80].

П. И. Анспок в своих исследованиях [71] по действию бора на зернобобовые культуры установил, что под его воздействием улучшаются синтез и передвижение углеводов, особенно сахарозы, из листьев к органам плодоношения и корням. В литературе имеются данные о том, что бор улучшает передвижение ростовых веществ и аскорбиновой

кислоты из листьев к органам плодоношения. Он способствует и лучшему использованию кальция в процессах обмена веществ в растениях.

Бор играет важную роль в опылении и оплодотворении цветков растений. Недостаток его приводит к большому количеству неоплодотворенных цветков, которые опадают, тем самым снижается семенная продуктивность растений. Бор стимулирует образование клубеньков на корнях бобовых растений. При недостатке его снижается фиксация азота атмосферы этими растениями [92].

Низкое содержание бора ведет к снижению урожая сельскохозяйственных культур и к ухудшению его качества. Многими исследованиями установлено, что цветки растений наиболее богаты бором по сравнению с другими частями растений. Он играет существенную роль в процессах оплодотворения. При исключении его из питательной среды пыльца растений плохо или даже совсем не прорастает. В этих случаях внесение бора способствует лучшему прорастанию пыльцы, устраняет опадение завязей и усиливает развитие репродуктивных органов. При недостатке бора корневая система развивается слабо, так как бор играет значительную роль в ее развитии [93]. Г. С. Посыпановым было определено, что при недостатке бора в почве не образуются сосудистые пучки в клубеньках и вследствие этого нарушается нормальное развитие бактериоидной ткани [94].

Внесение бора под зернобобовые культуры не только повышает урожайность, но и улучшает его качество. По результатам химических анализов, проведенных А. Р. Цыгановым, Т. Ф. Персиковой, под влиянием бора у зернобобовых культур увеличилось содержание некоторых элементов питания, повысилась кормовая ценность, увеличился выход сырого протеина и кормовых единиц с 1 га, возросло содержание жира и снизилось содержание клетчатки [95].

Эффективность борных удобрений в повышении урожая сена клевера и люцерны зависит от содержания подвижного бора в почве. На кислых известкованных почвах внесение бора значительно повышает урожай клевера. По данным исследований Е. П. Трепачева и Б. Ф. Азарова, в результате внесения борных удобрений урожайность клевера и люцерны увеличилась на 0,36–0,96 т/га [92]. Таким образом, бор играет многостороннюю роль в жизни растений.

В исследованиях И. С. Станилевича, И. М. Богдевича, Ю. В. Путятина определялась эффективность некорневых подкормок растений гороха в стадии бутонизации раствором сульфата магния на фоне дозы удобрений $N_{30}P_{60}K_{120}$. Существенные прибавки урожайности зерна го-

роха 4,1–6,6 ц/га получены от некорневых подкормок раствором сульфата магния только на I и II уровнях содержания обменного магния в почве [96].

Г. Ф. Хайловой установлено, что для нормального развития растений необходимо определенное соотношение между медью и молибденом. При недостатке усвояемой меди и молибдена в почве наблюдается между этими элементами явление синергизма. На почвах, содержащих незначительное количество меди и бора, практическое значение имеет их совместное внесение, особенно на торфяных, а также дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава [126].

Марганец принимает участие в окислительно-восстановительных процессах: фотосинтезе, дыхании, в усвоении молекулярного и нитратного азота, а также в образовании хлорофилла. Все эти процессы протекают под влиянием различных ферментов, а марганец – составная часть ферментов и их активаторов. Марганец способствует образованию аскорбиновой кислоты и других витаминов, накоплению сахаров в корнях сахарной свеклы, увеличению содержания белков в зерне бобовых, пшеницы и кукурузы [97, 98].

Роль марганца в различных физиолого-биохимических процессах изучал П. А. Власюк [99]. Он установил, что при аммиачной форме азота в почве марганец действует как окислитель, при нитратной – как восстановитель.

Кобальтовые микроудобрения следует применять на известкованных торфяниках и других почвах с низким содержанием кобальта (менее 2,5 мг/кг) под кормовые культуры [98].

Исследования показали, что с помощью металлов-микроэлементов (молибдена, меди, кобальта, железа) можно активизировать ферменты, катализирующие фиксацию молекулярного азота, восстановление нитратов, нитритов, гидроксилamina, синтез аминокислот и белков и другие реакции азотного обмена у растений и микроорганизмов.

Железо входит в состав ферментов, участвующих в образовании хлорофилла, поэтому его недостаток сказывается на интенсивности процессов фотосинтеза, что проявляется заболеванием, которое называется хлороз. Наиболее общий признак хлороза – светло-желтые, почти белесые листья. Железо слабо подвижно в растении, и старые листья долго остаются зелеными, в то время как молодые желтеют или белеют, а затем отмирают [100, 101].

В исследованиях рассматривались различные виды микроудобрений и комплексных препаратов. Было определено, что наиболее эф-

фективными являются биологически активные микроудобрения на основе комплексонов металлов, применение которых обеспечило дополнительную прибавку урожайности при улучшении качественных показателей.

П. А. Власюк о производстве комплексонов металлов, дающих весьма прочные и растворимые в воде соединения микроэлементов, указывал на то, что применение этих веществ позволит повысить подвижность и микроэлементов самой почвы. По его выражению «... комплексоны являются удобрениями будущего» [99].

Основа сельскохозяйственного производства в настоящее время заключается в максимальном использовании биологических резервов продуктивности посевов, среди которых большое значение имеют биопрепараты, регуляторы роста, иммуномодуляторы, индукторы генетической активности природного происхождения. Генетический потенциал продуктивности растений в сельхозпредприятиях Республики Беларусь в максимально приближенных к оптимальным агроклиматическим условиям реализуется не более чем на 60–80 %. По опыту европейских стран определено одно из направлений – расширение применения новых форм удобрений, пестицидов и регуляторов роста [102].

Применение регуляторов роста приобретает большое значение для развития растений, так как позволяет существенно повысить устойчивость растений к неблагоприятным условиям и увеличить урожайность при минимальных затратах [103, 104, 105].

К регуляторам роста относят природные и синтетические органические вещества, применяемые для обработки растений в целях улучшения их качества, увеличения урожайности или облегчения уборки, которые влияют на жизненные процессы растений, не оказывая в используемых концентрациях токсического действия, и не являются источниками питания. Регуляторы роста усиливают поступление воды в семена, увеличивают длину и вес проростков, стимулируют появление всходов, повышают густоту стеблестоя [102].

Известно 6 групп фитогормонов: ауксины, гиббереллины, цитокинины, абсцизовая кислота, этилен и брассиностероиды. Они имеют различную химическую природу и действие на физиологические процессы растений [106]. Обнаружено около 5000 соединений (химического, микробного и растительного происхождения), обладающих регуляторным действием, но используется в мировой практике только около 50. Фитогормонами называют вещества, которые синтезируются

непосредственно в растениях, транспортируются по ним и в малых концентрациях способны вызывать ростовые эффекты.

Хелатные комплексы гуматов с микро- и макроэлементами гораздо легче проникают в клетки, чем обычные ионы. Гуматы, повышая проницаемость клеточной мембраны, способствуют накоплению калия во внутриклеточной жидкости, что ускоряет деление клеток. В клетках, благодаря дополнительному запасу энергии, более интенсивно протекают процессы фотосинтеза, что приводит к увеличению количества хлорофилла. Усвоение азота, которое является определяющим для роста растений, идет быстрее, при этом предотвращается образование нитратов. Все это в совокупности приводит к тому, что растения лидируют в развитии, закладывают больше цветочных почек, затем обильно цветут и дают максимальный урожай [107].

Гуминовые кислоты – это комплекс органических соединений, образующийся в процессе конденсации продуктов грибного и микробиологического разложения растений с продуктами синтеза и разложения самих грибов и микроорганизмов. Впервые эффективность гуминовых кислот была показана Л. А. Христовой в 50-х гг. XX в. Обработка гуминовых кислот щелочными агентами переводит их в водорастворимые соли – гуматы натрия или калия, которые являются физиологически активными [108].

По мнению В. Г. Безуглова, соли гуминовых кислот в малых дозах стимулируют рост и развитие сельскохозяйственных растений, а также повышают сопротивляемость их к неблагоприятным условиям среды. Под воздействием гумата натрия в растительном организме активируется процесс обмена веществ, усиливаются дыхание, синтетические процессы и поступление минеральных солей из внешней среды [109].

Исследования Л. А. Христовой и В. А. Реутова [108] на различных культурах показали, что гумат натрия усиливает рост корневой системы растений, а затем и надземной массы, существенно влияет на образование хлорофилла в листьях и фотосинтез. Растворимые формы гуминовых кислот стимулируют жизнедеятельность почвенных микроорганизмов, что способствует улучшению минерального питания растений. Все это приводит в итоге к усилению роста и развития, повышению урожая, ускорению его созревания, улучшению качества продукции. Положительное влияние гумата натрия на урожай и качество сельскохозяйственных культур отмечено также в работах Ф. Г. Вафиной [110], О. С. Безугловой [101] и других исследователей [110, 112].

Проведенными исследованиями Л. А. Христовой [108] была найдена зависимость между параметрами спектров ядерно-магнитного резонанса воды, ее структурой и концентрацией растворенных в ней гуматов. В интервале концентраций 0,005–0,009 % гуматы придают воде структуру, характерную для «талой воды». В результате ускоряется развитие корневой системы, вырабатываются специальные ферменты, повышающие устойчивость растений к таким неблагоприятным факторам внешней среды, как засуха и заморозки. Одновременно ускоряется синтез хлорофилла, сахаров, витаминов, незаменимых аминокислот и т. д. Это происходит вследствие увеличения проницаемости клеточных мембран, что облегчает попадание питательных веществ внутрь клетки и ускоряет дыхание растений. Это положительно сказывается на питании растений [111].

В исследованиях Н. А. Макеевой, максимальное стимулирующее действие в структуре фитомассы оказало внесение 0,005 % гумата натрия на массу семян овса (выше контроля на 131 %) [112].

По данным О. С. Якименко, эффективность воздействия гуминовых препаратов нестабильна и прибавка урожая варьирует от несущественных до 2–13 % на зерновых (в отдельных случаях до 20–30 %), 4–19 % для картофеля, 6–20 % для сахарной свеклы и 6–16 % для сои. Наиболее эффективными способами внесения гуминовых препаратов является сочетание предпосевной обработки посевного материала и внекорневых подкормок; только почвенное внесение малоэффективно. Во многих случаях гуминовые препараты усиливают воздействие средств химизации: минеральных удобрений, инокулянтов, средств защиты растений [115].

По мнению В. А. Каспарова, использование биологически активных препаратов с регуляторными функциями в практике растениеводства является одним из доступных и экономичных путей повышения урожайности сельскохозяйственных культур. По темпам расширения производства, продажи и использования регуляторы роста превосходят все остальные химикаты, применяемые в мировом сельском хозяйстве [116]. Дальнейшее значительное повышение продуктивности сельскохозяйственных культур связывают с гормональной регуляцией процессов роста и развития растений.

С. П. Пономаренко изучались регуляторы роста на разных культурах. На горохе средняя прибавка урожая при применении Ивина составила 13 %. Выявлена ростостимулирующая активность комплекса Ивина с янтарной кислотой – Потейтина. Эффективность показал уни-

версальный ростостимулятор Альфа. Прибавки от его применения составили: на горохе – 13 %, клевере (семена) – 30 %, сахарной свекле – 12,5 %, озимой пшенице – 12 %, яровой пшенице – 22 %, яровом ячмене – 13 %, кукурузе (зерно-зеленая масса) – 11–15 %, гречихе – 15 % [113].

Г. Тукей [114] отмечает важное значение применения регуляторов роста в сохранении числа образовавшихся завязей, дефолиации растений, стимуляции образования бессемянных плодов.

Из пыльцы рапса получен уникальный стимулятор роста растений со стероидной структурой – брассинолид, который стал родоначальником новой группы фитогормонов – «брассиностероидов». Данные фитогормоны содержатся практически во всех высших и низших растениях [117].

В развитии отечественного земледелия большое значение приобретает комплексное использование традиционных средств химизации, а также промышленных минеральных удобрений с микробиологическими препаратами [118].

Высокое развитие сельскохозяйственного производства будет при максимальном повышении биологических резервов продуктивности посевов при использовании биопрепаратов, регуляторов роста, иммуномодуляторов, индукторов генетической активности природного происхождения [102]. Значительная роль принадлежит снабжению растений элементами минерального питания, которое происходит за счет внесения минеральных удобрений, запасов почвы и азота атмосферы.

В исследованиях М. В. Рака и Т. Г. Николаевой на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на мощном лесовидном суглинке, установлено, что некорневые подкормки люпина узколистного кобальтовыми и марганцевыми удобрениями способствовали повышению содержания сырого протеина в зерне люпина. При этом максимальное увеличение содержания сырого протеина отмечено в вариантах, где некорневые подкормки проводили в фазу конец цветения – начало образования сизых бобов. Содержание сырого протеина в зерне увеличилось на 0,8–1,4 % при некорневых подкормках неорганическими солями микроэлементов, а при внесении хелатов кобальта и марганца – на 0,9–2,0 % по сравнению с фоном. При этом наибольшее повышение содержания сырого протеина отмечено при совместном внесении хелатов кобальта и марганца в дозе по 50 г/га д. в. [120, 121].

В лаборатории микроэлементов РУП «Институт почвоведения и агрохимии» проведены исследования на клевере луговом по определению влияния кобальтовых удобрений на двух уровнях минерального питания ($P_{60}K_{180}$ и $P_{45}K_{120}$) на дерново-подзолистой супесчаной почве, развивающейся на водно-ледниковой супеси. Установлено, что некорневые подкормки клевера лугового в фазу бутонизации хелатом кобальта в дозе 25 г/га д. в. повышали урожайность на 5,6–7,6 ц/га сухой массы. Внесение кобальтовых удобрений в некорневую подкормку клевера лугового способствовало повышению питательной ценности продукции. Максимальный сбор сырого протеина (19,9 и 16,2 ц/га) и кормовых единиц (48,1 и 44,8 ц/га) получен при внесении хелата кобальта в дозе 25 г/га на фоне 165 кг/га фосфорно-калийных удобрений и в дозе 50 г/га д. в. на фоне 240 кг/га фосфорно-калийных удобрений [119].

В РУП «Институт почвоведения и агрохимии» было создано новое поколение комплексных микроудобрений МикроСтим и МикроСил, которые при своей более низкой стоимости по эффективности не уступают зарубежным аналогам. Наиболее эффективной формой микроудобрений для растений являются комплексные соединения металлов типа хелатов, которые наиболее удобны при применении и обладают высокой биологической активностью, так как микроэлементы находятся в доступной для растений форме. Хелаты эффективны в различных почвенно-агрохимических условиях и хорошо совместимы с регуляторами роста и средствами защиты растений [118].

В исследованиях коллектива лаборатории микроэлементов РУП «Институт почвоведения и агрохимии» на люпине узколистном на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве отмечалось повышение урожайности и улучшение качественных показателей зерна от применения жидкого микроудобрения МикроСил бор в различных дозах. Некорневая подкормка в фазу начала бутонизации исследуемым микроудобрением в дозе 0,33 и 0,66 л/га в сравнении с фоновым вариантом обеспечила прибавку урожайности зерна соответственно 3,7 и 4,3 ц/га. Применяемое микроудобрение оказывало положительное влияние и на повышение содержания сырого белка в зерне на 0,6–1,2 % и на сбор белка – 1,3 ц/га. Проведенные в исследованиях расчеты экономической эффективности применения новых жидких микроудобрений МикроСил показали, что их использование в некорневые подкормки были экономически оправданным приемом, и рентабельность составила 198–212 % [122].

В исследованиях М. В. Рака, С. А. Титовой и Т. Г. Николаевой определялась эффективность жидких микроудобрений МикроСтим при возделывании люцерны на дерново-подзолистой супесчаной почве. В полевом опыте некорневая подкормка в фазу стеблевания микроудобрением МикроСтим молибден в дозе 0,33 л/га повысила урожайность на 8,8 ц/га сухой массы и выход сырого протеина – на 1,9 ц/га при чистом доходе 10,7 долл. США/га и рентабельности 24 %. При этом содержание молибдена в растениях люцерны увеличилось с 0,52 до 1,83 мг/кг сухой массы, что не превышает верхнюю границу оптимальной концентрации этого элемента в кормах. Некорневая подкормка люцерны жидким микроудобрением МикроСтим молибден, бор в дозе 1,0 л/га обеспечила повышение урожайности на 10,5 ц/га сухой массы и выход сырого протеина – на 3,4 ц/га при чистом доходе 21,1 долл. США/га и рентабельности 49 %. В производственных условиях применение жидких микроудобрений МикроСтим молибден и МикроСтим молибден, бор в некорневую подкормку люцерны в дозе 0,33 и 1,0 л/га обеспечило повышение урожайности на 5,3 и 6,1 ц/га сухой массы, выход сырого протеина – на 1,5 и 1,1 ц/га с рентабельностью 5 и 26 % соответственно. Некорневая подкормка люцерны жидким микроудобрением МикроСтим молибден в дозе 0,33 л/га способствовала повышению содержания молибдена в растениях с 1,5 до 1,8 мг/кг сухой массы [120].

В исследованиях М. В. Рака и Т. Г. Николаевой на дерново-подзолистой супесчаной почве при возделывании люпина узколистного некорневые подкормки микроудобрением МикроСтим бор (0,33 л/га), МикроСтим кобальт (0,38 л/га) и МикроСтим кобальт, бор (1,0 л/га) способствовали повышению урожайности зеленой массы на 33, 29 и 44 ц/га, зерна – на 2,1, 2,6 и 3,3 ц/га соответственно. Некорневые подкормки микроудобрениями увеличили содержание сырого белка в зеленой массе на 0,6–1,1 %, в зерне – на 1,1–2,4 %. Внесение кобальтсодержащих удобрений повысило накопление кобальта в зеленой массе на 0,41–0,79 мг/кг, в зерне – на 0,09–0,31 мг/кг сухой массы. Некорневые подкормки люцерны микроудобрением МикроСтим молибден и МикроСтим молибден, бор повысили урожайность на 8,8 и 10,5 ц/га сухой массы при рентабельности 24 и 49 % [120, 121].

В исследованиях М. В. Рака и Т. Г. Николаевой на дерново-подзолистой супесчаной почве применение жидких микроудобрений МикроСтим кобальт и МикроСтим кобальт, бор в предпосевную обработку семян люпина узколистного в дозах соответственно 0,19 и

0,5 л/т семян способствовало повышению урожайности зерна на 2,4 и 2,7 ц/га при чистом доходе 51,1 и 57,7 долл. США/га, рентабельности – 492 и 500 %. Внесение микроудобрений МикроСтим кобальт и МикроСтим кобальт, бор в некорневые подкормки люпина в фазу бутонизации в дозах соответственно 0,38 и 1,0 л/га обеспечило прибавки урожайности зерна 3,7 и 4,1 ц/га при чистом доходе 64,9 и 70,1 долл. США/га, рентабельности – 292 и 278 %. Некорневая подкормка кобальтсодержащими микроудобрениями повысила содержание кобальта в зеленой массе до 0,42–0,79 мг/кг сухой массы, в зерне – до 0,13–0,34 мг/кг сухой массы [120].

В исследованиях коллектива авторов РУП «Институт почвоведения и агрохимии» [123] применение на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве комплексных удобрений с добавками микроэлементов (NPK с В, Мо, Мп и NPK с В, Мо) в дозе $N_{15}P_{50}K_{100}$ обеспечило прибавку урожайности зеленой массы люпина узколистного 37–40 ц/га по сравнению с комплексным удобрением без микроэлементов. Семенная продуктивность при внесении NPK с В, Мо и NPK с В возросла на 3,6–4,0 ц/га. На дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве применение комплексных NPK-удобрений с В, Мп и Мо также обеспечило достоверную прибавку зеленой массы (19 ц/га) и семян люпина (2,8 ц/га). Улучшилось качество зеленой массы люпина на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при внесении комплексных NPK-удобрений с микроэлементами за счет увеличения содержания протеина на 0,2–2,1 %, сбора сырого протеина – на 1,4–2,9 ц/га, или 10,5–21,3 %, обеспеченности 1 к. ед. переваримым протеином – на 3,3–14,7 г, (113,2–124,6 г). Также улучшилось и качество семян люпина: сбор протеина увеличился на 0,7–1,3 ц/га, обеспеченность 1 к. ед. переваримым протеином – на 4,6–15,5 г (182,3–193,2 г/кг). По расчетным данным [121], использование зеленой массы люпина узколистного, выращенной на корм животным с применением комплексных удобрений с микроэлементами, позволяет уменьшить расход корма на 10–14 %, а при скармливании семян люпина – на 13–18 % за счет улучшения обеспеченности 1 к. ед. переваримым протеином по сравнению с продукцией, полученной при внесении стандартных форм удобрений.

Исследования В. В. Лапы и М. В. Рака доказали высокую эффективность некорневых подкормок сельскохозяйственных культур удобрениями Адоб, Басфолиар, Солибор ДФ – в данных удобрениях микроэлементы представлены в хелатной форме. Проведенные исследова-

ния на озимой пшенице показали, что применение удобрений Басфо-лиар и Адоб способствовало получению прибавки урожая зерна до 7,0–9,8 ц/га, увеличению содержания белка в зерне на 0,5–0,9 % и клейковины – на 4,3–7,2 % в сравнении с фоновым вариантом. Двукратные некорневые подкормки посевов сахарной свеклы исследуемыми удобрениями обеспечили достоверные прибавки урожая корнеплодов 30–46 ц/га в сравнении с фоновым вариантом, улучшили технологические свойства сахарной свеклы за счет повышения сахаристости корнеплодов на 0,9–1,4 % [123].

Исследования А. В. Какшинцева на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в северо-восточной части Беларуси показали, что при применении Эпина на фоне $P_{40}K_{60}$ урожайность семян люпина сорта Гелена возросла на 3,3 ц, Першацвет – 4,2 ц, Бисер – 3,3 ц/га, а при использовании регулятора роста Эмистима – на 2,9 ц, 3,4 и 4,1 ц/га соответственно. При этом количество бобов на одном растении увеличилось на 1 шт. у сорта Гелена и на 0,4 шт. у сорта Першацвет, масса 1000 семян возросла соответственно на 5,8 и 2,6 г. Доля семян в общем биологическом урожае возросла с 0,24 ед. до 0,27 ед. у сорта Гелена и до 0,31 ед. у сорта Першацвет [124]. В проведенных опытах на люпине сорта Гелена определено влияние бактериальных препаратов на урожайность зерна люпина узколистного. В среднем за три года исследований урожайность колебалась от 18,0 ц/га на контроле до 27,0 ц/га при инокуляции семян смесью Сапронита с Ризобактерином. Наибольшая прибавка урожайности сорта Гелена по отношению к фону составила в этом варианте 6 ц/га, или 28,6 % [124, 125].

Действие разных доз минеральных удобрений, микроэлементов, бактериальных препаратов и регуляторов роста растений на урожайность и качество гороха и овса было исследовано О. И. Мишурой. Проведенные опыты показали высокую эффективность бактериальных препаратов на данных культурах. Выявлено, что инокуляция семян гороха Сапронитом и овса Ризобактерином была равнозначна внесению 20 кг и 20–30 кг азота минеральных удобрений соответственно, а применение Фитостимифоса – 40 кг д. в. фосфорных удобрений. Некорневые подкормки гороха кобальтом на фоне $N_{50}P_{50}K_{90}$ увеличили урожайность зерна на 0,28 т/га, молибденом – на 0,29 т/га, бором и комплексным микроудобрением Микомом – на 0,42 т/га. При применении в опыте с горохом регулятора роста Агrostимулина на фоне $N_{30}P_{40}K_{60}$ урожайность зерна возросла на 0,52 т/га, Эмистима С – на 0,34 т/га и Эпина – на 0,30 т/га. Содержание сырого белка в семенах гороха под влиянием минеральных удобрений возросло на 1,1–2,1 % [128, 129].

Согласно исследованиям З. М. Алещенковой и Г. В. Сафроновой, азотфиксирующий *R. oxytoca* 15MS и фосфатмобилизующий *S. plymuthica* 35MS штаммы перспективны в качестве основы комплексного биоудобрения для широкого спектра сельскохозяйственных культур. Изоляты обладают неспецифическим ростостимулирующим действием на ранних стадиях онтогенеза растений, которое обусловлено синтезом индолил-3-уксусной кислоты, и активно колонизируют корни растений [127].

О. И. Мишурой исследовалась [128] эффективность макро- и микроудобрений при возделывании гороха на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Применение стандартных удобрений $N_{30}P_{60}K_{90}$ способствовало по сравнению с неудобренным контролем увеличению массы 1000 семян на 4,9 г и содержанию сырого белка – на 2,87 %. Из применяемых в опыте микроудобрений наиболее существенное влияние на возрастание массы 1000 семян оказал Эколист для зернобобовых культур, под действием которого масса 1000 семян возросла на 3,6 г. Борное микроудобрение с регулятором роста ЭлеГум бор повысило урожайность зерна гороха на фоне $N_{30}P_{60}K_{90}$ в среднем на 4,7 ц/га, Витамар 3 – на 4,8 ц/га, Басфолиар 36 Экстра – на 4,7 ц/га и Эколист для зернобобовых культур – на 5,3 ц/га. Некорневые подкормки микроудобрением ЭлеГум бор, а также Витамар, Басфолиар 36 Экстра, Эколист для зернобобовых не способствовали повышению содержания сырого белка в семенах гороха, но в связи с увеличением урожайности при применении микроудобрений возрос выход сырого белка. Максимальный сбор сырого белка при применении микроудобрений Витамар, Басфолиар 36 Экстра и Эколист для зернобобовых культур составил 8,12–8,25 ц/га. Некорневые подкормки удобрениями ЭлеГум бор, Витамар, Басфолиар 36 Экстра и Эколист для зернобобовых культур существенно увеличили прибыль и рентабельность по сравнению с фоном $N_{30}P_{60}K_{90}$. Максимальная прибыль при применении Витамар и Эколист для зернобобовых культур составила 229,1 и 238,3 долл. США/га при рентабельности 187,5 и 189,3 % [128].

Потребность в микроудобрениях определяется исходя из биологических особенностей сельскохозяйственных культур, содержания микроэлементов в почвах и рекомендуемых доз внесения, разработанных научными учреждениями Республики Беларусь. Согласно исследованиям А. Р. Цыганова и О. И. Мишуры, наиболее эффективным и экономически целесообразным способом применения микроудобрений на горохе является некорневая подкормка вегетирующих растений.

При этом некорневые подкормки микроудобрениями рекомендуются на почвах первой и второй групп обеспеченности, однако во многих исследованиях положительный эффект от некорневого внесения микроудобрений отмечен и при третьей группе обеспеченности почвы микроэлементами [128, 129].

Внесение микроудобрений по вегетирующим растениям является одним из приемов их применения. Попадая на поверхность листа, микроэлементы проникают в его ткани и включаются в биохимические реакции обмена в растении. Данный прием позволяет значительно повысить коэффициент использования микроэлементов и обеспечить растения необходимым набором микроэлементов в период формирования репродуктивных органов. Это ведет к обогащению микроэлементами семян сельскохозяйственных культур и позволяет получать полноценный посевной материал. Имеющиеся многочисленные работы по внекорневому внесению микроудобрений однозначно говорят о положительном влиянии этого приема на урожайность и качество продукции сельскохозяйственных культур [130].

По данным Н. Н. Семененко, оптимизация минерального питания – основа системы управления производственным процессом зерновых культур. При разработке технологий возделывания зерновых культур, основанных на улучшении производственного процесса и реализации генетического потенциала почв и растений, следует особо выделить значение повышения эффективности использования удобрений, за счет которых в зависимости от почвенных и погодных условий формируется 30–50 % общей урожайности. Большое внимание при возделывании культур должно уделяться некорневым подкормкам. Механизм поглощения минеральных веществ листьями такой же, как и корнями. Поглощение элементов минерального питания через лист осуществляется растениями без существенных затрат энергии и в среднем в 6–8 раз быстрее, чем через корни. В исследованиях с применением P_{32} установлено, что скорость поступления в растения фосфат-ионов через листья в 25 раз быстрее, чем через корни. Скорость поглощения элементов питания зависит от pH, концентрации и химического состава питательного раствора. При некорневой подкормке растений коэффициент использования элементов минерального питания повышается в среднем в 3 раза: азота – до 96 %, P_2O_5 – 24 % и K_2O – 48 %. Таким образом, при внесении небольшого количества соответствующих удобрений в подкормку по листу можно получить быстрый результат, улучшить состояние растений [131].

Т. К. Нестеренко и А. А. Шелюто [132] отмечают положительное влияние микробиологических препаратов Сапронита, Фитостимифоса и Ризобактерина и их смесей на урожайность растений люцерны посева сорта Белорусская при обработке семян. Полученные данные показывают, что бактеризация семян Сапронитом, смесью Сапронита с Фитостимифосом, а также тройной смесью с включением Ризобактерина обеспечивает повышение урожайности на 11,1–14,8 ц/га сухой массы, что составляет 12,2–16,3 %. Наиболее экономически выгодной оказалась обработка семян двухкомпонентной смесью (Сапронит + Фитостимифос).

Проведенные исследования Т. Ф. Персиковой и М. Л. Радкевич по комплексному применению микроэлементов, регуляторов роста растений и бактериальных удобрений в предпосевной обработке семян люпина сорта Першацвет на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве показали положительные результаты [133]. В исследованиях люпина узколистного на зерно установлено, что применение микроэлементов при обработке семян способствовало увеличению урожайности зерна. Прибавка относительно фона $N_{30}P_{30}K_{90}$ + Фитостимифос + Сапронит + Эпин находилась в пределах 1,3–8,7 ц/га. Условия питания по-разному влияли на качество урожая люпина узколистного. Содержание сырого протеина в зерне по вариантам опыта за годы исследований находилось в пределах 28,2–29,3 %. Его содержание в зерне контрольного варианта составило 28,2 %. Применение минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{30}K_{90}$ дало показатель 28,7 %. Предпосевная обработка семян бактериальными препаратами на фоне минерального питания $N_{30}P_{30}K_{90}$ повысила содержание сырого протеина по отношению к контролю на 0,6 %, обеспеченность 1 к. ед. переваримым протеином составила 215,8 г (обеспеченность 1 к. ед. переваримым протеином в фоновом варианте 212,4 г) [133].

По данным Т. Ф. Персиковой и М. Л. Радкевич из рекомендаций производству [134], инокуляция семян люпина узколистного перед посевом бактериальными препаратами Фитостимифосом и Сапронитом повысила урожайность зерна на 2,0 ц/га. Применение цинка в неорганической и хелатной форме оказало влияние на урожайность зерна. Прибавка урожайности зерна по отношению к фону составила 2,4 и 3,2 ц/га соответственно, минеральные соли кобальта по эффективности уступали хелатным соединениям (–3,2 ц/га). Содержание белка в варианте $N_{30}P_{30}K_{90}$ + Фитостимифос + Сапронит + Эпин + $MnSO_4 \cdot 5H_2O$ составило 32,5 %. Максимальный сбор сырого и переваримого протеи-

на при введении в инкрустационный состав Со в хелатной форме составил 9,4 и 8,0 ц/га соответственно. Обеспеченность 1 к. ед. переваримым протеином колебалась в зависимости от варианта от 208,3 г в контроле до 236,9 г при применении $N_{30}P_{30}K_{90}$ + Фитостимифос + Са-пронит + Эпин + $MnSO_4 \cdot 5H_2O$.

По данным исследований В. Ф. Каминского, при выращивании гороха на зерно на черноземе типичном малогумусном тяжелосуглинистом в условиях недостаточного увлажнения наиболее эффективным является проведение посева семенами, инокулированными Ризогумином на фонах полного минерального удобрения $N_{45}P_{45}K_{45}$ и дробного внесения $N_{30}P_{45}K_{45}$ под основную обработку почвы и подкормки растений минеральным азотом в дозе N_{15} в начале ветвления. Включение этих приемов в технологию возделывания увеличило продуктивность посевов гороха соответственно до 3,60 и 3,67 т/га, что на 0,7–0,77 т/га, или 24,1–26,6 %, больше, чем на фоне без внесения удобрений. Отмечена тенденция к повышению урожайности посевов гороха в результате положительного влияния дробного внесения азота по сравнению с однократным на разных фонах минерального питания. На изучаемых фонах минерального питания количество бобов на растениях и зерен в них, масса 1000 семян увеличились по сравнению с контролем соответственно на 0,8–1,1 шт., 2,1–4,3 шт., 8,0–20,7 г. При проведении инокуляции семян значения данных показателей составляли 3,9 шт., 16,1 шт., 237,7 г соответственно [135, 136].

Многие авторы указывают на высокую эффективность микроэлементов в составе фосфорных удобрений. Согласно данным П. И. Ансποка [137], при добавлении молибдена в гранулированный суперфосфат получено с гектара на 2,2 ц больше зерна кормовых бобов, на 3 ц сена многолетних трав и на 3,1 ц зерна гороха. По данным же Ю. А. Потатуевой и Г. А. Селевцовой [138], введение молибдена и бора в суперфосфат увеличило урожай зерна вики на 47 % и 50 %, а семян клевера – на 16 и 24 % соответственно. По мнению данных авторов, наиболее эффективными и экономически выгодными способами применения микроудобрений являются обработка семян и внекорневые подкормки вегетирующих растений. Наибольшее влияние на урожайность семян гороха при применении микроэлементов кобальта, марганца, цинка, молибдена, бора в исследованиях В. П. Толстоусова оказало применение молибдена. На фоне $P_{40}K_{40}$ с применением молибдена урожайность семян гороха была больше на 2,5 ц/га [139].

Согласно [140], регуляторы роста увеличивают эффективность использования минеральных удобрений, а их применение на зерновых культурах равноценно внесению 30 кг/га азота.

Влияние регуляторов роста растений на урожайность многолетних бобовых трав и накопление в них радионуклидов исследовалось Г. В. Наумовой и Г. В. Пироговской. Некорневые обработки посевов клеверно-злаковых смесей регуляторами роста растений Феномелан, Мальтамин и Гидрогумат на почвах, зараженных радионуклидами, на фоне фосфорно-калийных удобрений повышают урожай сена на 1,8–3,3 ц/га и имеют тенденцию к снижению удельной активности в нем радионуклидов: ^{137}Cs – на 9,4–37,2, ^{90}Sr – на 10,8–33,3 % по отношению к вариантам без обработки регуляторами роста растений [141].

По данным опыта И. А. Нестерова, на дерново-подзолистой супесчаной радиоактивно загрязненной почве при инокуляции семян желтого люпина клубеньковыми бактериями определено достоверное увеличение сбора зеленой массы и семян при посеве культуры на фоне без внесения фосфорно-калийных удобрений с 35,5 до 51,6 т/га зеленой массы и с 1,99 до 2,89 т/га семян [141]. Количество биологического азота в урожае желтого люпина повысилось за счет инокуляции от 161 до 249 кг/га в благоприятный год и от 46 до 90 кг/га – в неблагоприятный.

При выращивании сельскохозяйственных культур на загрязненных почвах, кроме учета основных показателей качества продукции, имеет значение накопление в урожае радиоактивных элементов. Г. А. Воробейковым [106] было высказано мнение, что при инокуляции семян микробными препаратами происходит локализация радионуклидов в микробной массе и тем самым предотвращается их поступление в растения.

В исследованиях Ф. Г. Бардинова по определению влияния микроудобрений на урожай и качество люцерны на дерново-подзолистых почвах получена прибавка урожая сена люцерны относительно контроля на 8,3–11,3 %. Микроудобрения увеличили содержание сырого белка в сене люцерны. Дополнительный сбор сырого белка при раздельном применении бора, цинка и молибдена составил 8,0–14,6 %, при парном применении – 13,1–17,9 %, при комплексном применении всех микроэлементов – 19,4 % [142].

Эффективность внесения минеральных удобрений и использования биопрепаратов изучалась в Российской Федерации А. А. Завалиным на сорте гороха Альбидум в полевом опыте на дерново-подзолистой

среднесуглинистой почве [65]. На формирование общего количества растений и массы семян с одного боба максимальное влияние оказала инокуляция семян гороха, в вариантах с инокуляцией масса 1000 зерен составила 151 г. С возрастанием уровня азотного питания, независимо от инокуляции семян, наблюдалась устойчивая тенденция повышения содержания сырого белка в семенах гороха. Максимальное содержание белка получено при выращивании гороха в посеве без инокуляции (23,6 %). Инокуляция семян гороха Ризоторфином снизила содержание белка в зерне на 0,3 %. На содержание сырого белка в зерне гороха наибольшее влияние оказали погодные условия в период вегетации. Таким образом, при выращивании гороха при неблагоприятных погодных условиях вегетационного периода накопление сырого белка в зерне гороха ослабевает. По данным П. В. Лекомцева, инокуляция семян гороха Ризоторфином привела к снижению содержания белка в зерне на фоне без внесения азотного удобрения на 0,7 %, N_{30} – на 0,8 %, а при внесении N_{60} – увеличила его содержание на 0,4 %.

Г. С. Посыпанов и другие авторы отмечали, что при инокуляции семян бобовых растений в результате улучшения снабжения азотом происходит увеличение содержания сырого белка [43].

По данным Б. П. Плешкова, в опытах с соей, проведенных на щелоченных черноземах, с большим количеством азота в вариантах без инокуляции содержание белка в семенах достигло 41,5 %, а при инокуляции повысилось до 47,9 %. Содержание белка в зерне нута без инокуляции составило 20,2 %, а у инокулированных растений – 22,6 % [143].

Инокуляция зернобобовых культур, по мнению А. А. Завалина, эффективна, так как позволяет повысить продуктивность посевов. Применение бактериальных препаратов обеспечивает получение урожайности в таких же размерах, как внесение азотного удобрения в дозе 30–45 кг/га. Действие препаратов на продуктивность зернобобовых культур на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве возрастает при посеве инокулированными семенами на фоне стартовой дозы азотного удобрения. По данным А. А. Завалина [65], наибольшая масса 1000 зерен получена в вариантах с инокуляцией семян Ризоторфином (151 г). С возрастанием уровня азотного питания, независимо от инокуляции семян и вида посева, наблюдалась устойчивая тенденция повышения содержания сырого белка в семенах гороха.

Исследованиями, проведенными в «ФНЦ Зернобобовых и крупяных культур», оценено влияние органоминеральных микроудобрений

на сорта сои. В опытном варианте у сорта Осмонь увеличилось содержание белка в зерне на 0,55 %, у сорта Зуша – на 0,16 %. Обработка микроудобрениями привела к увеличению количества белка в различных частях растения сои в среднем на 1,4 % в сравнении с контролем [144].

1.1. Влияние макро-, микроудобрений, регуляторов роста и ризобияльного инокулянта на интенсивность продукционных процессов гороха

Оценка эффективности применения макро-, микроудобрений, ризобияльного инокулянта и регуляторов роста при возделывании полевого гороха сорта Зазерский усатый и посевного гороха сорта Миллениум проводилась в 2015–2017 гг. на территории УНЦ «Опытные поля БГСХА» [145, 146]. Исследования проводили на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины 1 м моренным суглинком. Почва опытного участка за годы исследований имела слабокислую и близкую к нейтральной реакцию почвенной среды (pH_{KCl} 5,9–6,4), низкое и среднее содержание гумуса (1,3–1,7 %), повышенное и высокое содержание подвижного фосфора (261,1–298,1 мг/кг), среднее и повышенное калия (172,5–232,5 мг/кг). Почва по степени агрохимической окультуренности относится к средне- и высокоокультуренной (Иок – 0,7–0,89). Содержание бора (0,6–0,7 мг/кг), цинка (3,2–3,8 мг/кг) и меди (1,6–1,7 мг/кг) в почве по годам исследований было средним. Опыты с горохом проводились в разных метеорологических условиях (2015 г. был засушливым, 2016 г. – влажным, 2017 г. – с достаточным увлажнением в период вегетации), что дало возможность более полно оценить эффективность макро- и микроудобрений, инокулянта и регуляторов роста. В 2015 г. были оптимальные погодные и почвенные условия как для полевого сорта Зазерский усатый, так и для посевного сорта Миллениум, что обеспечило более высокую урожайность гороха в вариантах опыта. Общая площадь делянки в опыте – 21 м², учетная – 16,5 м², повторность – четырехкратная. Норма посева составила 1,5 миллионов всхожих семян на 1 га. Предшественником гороха был ячмень и овес. Агротехника возделывания гороха соответствовала агротехническим правилам, рекомендуемым для условий Могилевской области.

В основное внесение в опыте применяли следующие удобрения: карбамид (N – 46 %), аммофос (N – 12 %, P_2O_5 – 52 %), хлористый калий (K_2O – 60 %). Из комплексных удобрений для основного внесения использовали удобрение марки N:P:K (6:21:32) с 0,06 % В и 0,59 % Мо. Из микроудобрений для некорневых подкормок применялись борная кислота (17,2 % В), молибденовокислый аммоний (52 % Мо), микроудобрение Адоб бор, комплексное удобрение Кристалон желтый и особый, комплексное микроудобрение с регулятором роста МикроСтим бор. Некорневые подкормки проводились в фазе бутонизации в дозе 50 г/га В, 40 г/га Мо и Адоб бор в дозе 0,33 л/га.

Применялись две обработки комплексным удобрением Кристалон. Первая подкормка в фазу выбрасывания усов проводилась в дозе 2 кг/га Кристалон желтый марки 13-40-13 + 1 MgO , который наряду с азотом, фосфором и калием содержит бор (0,025 %), медь (0,01 %), железо (0,007 %), марганец (0,04 %), молибден (0,004 %), цинк (0,025 %). Вторая подкормка проводилась в фазу начала образования бобов препаратом Кристалон особый марки 18-18-18 + 3 MgO , бор (0,025 %), медь (0,01 %), железо (0,007 %), марганец (0,04 %), молибден (0,004 %), цинк (0,025 %) в дозе 2 кг/га.

Обработка посевов гороха комплексным микроудобрением с биостимулятором МикроСтим бор проводилась в фазу начала бутонизации (0,33 л/га). МикроСтим бор представляет собой водорастворимый концентрат, приготовленный на основе бора в органоминеральной форме с добавлением регулятора роста гидрогумат и содержит в 1 л 50 г азота, 150 г бора, 8,0 г/л гуминовых веществ. В фазу начала бутонизации проводилась обработка посевов регулятором роста Экосил (75 мл/га).

В опытах с горохом изучали эффективность инокулянта на основе штамма клубеньковых бактерий гороха *Rh. leguminosarum biovar viceae* 27П, который был разработан в институте микробиологии НАН Беларуси. Инокуляцию семян гороха производили в день посева рабочей смесью из расчета 200 мл инокулянта на 2 л воды на гектарную порцию семян. Опыты исследования проводились по единой общепринятой методике.

Применение фосфорных и калийных удобрений со стартовой дозой азота ($N_{10}P_{40}K_{60}$) в среднем за 2015–2017 гг. способствовало увеличению высоты растений и накоплению сухого вещества во всех фазах развития гороха по сравнению с контрольным вариантом без удобрений (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Влияние макро-, микроудобрений, ризобияльного инокулянта, регулятора роста на динамику роста по фазам развития гороха сорта Зазерский усатый (в среднем за 2015–2017 гг.)

Вариант опыта	Высота растений, см				Масса 100 сухих растений, г			
	Ветвление	Бутонизация	Цветение	Образование бобов	Ветвление	Бутонизация	Цветение	Образование бобов
1. Без удобрений	20,8	33,8	45,7	53,2	68,6	154,0	175,8	206,4
2. N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀	22,8	38,0	49,6	55,9	78,5	158,9	190,4	259,6
3. N ₁₈ P ₆₃ K ₉₆ – фон	25,1	40,5	51,0	57,1	84,6	166,9	209,4	260,0
4. N ₃₀ P ₇₅ K ₁₂₀	25,2	40,4	52,7	57,9	81,7	174,0	211,1	283,7
5. АФК-удобрение с В и Мо (в дозе, эквивалентной варианту 3)	26,0	41,5	54,2	58,3	86,8	184,0	217,1	314,7
6. Фон + В и Мо	24,8	40,5	53,6	58,5	81,9	178,5	215,0	273,6
7. Фон + Адоб бор	25,0	40,8	54,5	58,6	83,1	181,2	222,0	316,2
8. Фон + Кристалон (желтый + особый)	25,1	40,8	55,0	59,6	86,8	189,7	221,3	320,7
9. Фон + Экосил	24,0	39,5	54,5	59,3	80,8	182,1	228,8	292,3
10. Фон + Микро-Стим бор	24,9	39,0	55,0	58,7	82,9	178,5	225,6	308,0
11. Фон + иноку-лянт	26,8	41,1	56,0	61,4	88,0	192,2	235,9	323,0
12. Фон + иноку-лянт + МикроСтим бор	27,1	42,4	55,1	62,1	89,7	192,5	231,0	325,3
НСР ₀₅	1,45	1,32	1,74	1,84	2,12	2,24	2,98	3,74

При применении N₁₀P₄₀K₆₀ в фазу образования бобов высота растений гороха была на 2,7 см, а сухой массы на 53,2 г на 100 растений больше по сравнению с контрольным вариантом. Внесение фоновой дозы минерального удобрения (N₁₈P₆₃K₉₆) также увеличило высоту растений и массу накопленного сухого вещества по фазам развития гороха по сравнению с вариантом без удобрений на 3,9 см и 53,6 г на 100 растений.

Применение комплексного АФК-удобрения с В и Мо в фазу образования бобов существенно повысило накопление сухой массы (на 77,3 г на 100 растений) по сравнению с внесением в эквивалентной дозе стандартных удобрений (N₁₈P₆₃K₉₆). Более интенсивное накопление

биомассы в фазу образования бобов (283,7 г) было у растений гороха в варианте с повышенными дозами удобрений ($N_{30}P_{75}K_{120}$) по сравнению с вариантом без обработок.

Инокуляция семян гороха перед посевом ризобияльным инокулянтом на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ за все годы исследований оказала положительное влияние на увеличение высоты растений и накопление сухого вещества уже к фазе ветвления. Максимальное влияние на рост растений гороха и на увеличение массы сухого вещества оказала инокуляция семян ризобияльным инокулянтом на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ с некорневой обработкой посевов комплексным микроудобрением с регулятором роста МикроСтим бор, где высота растений составила 62,1 см, а масса 100 растений – 325,3 г. Это определило существенное увеличение урожайности зерна гороха в этих вариантах опыта.

Применение микроудобрения с регулятором роста МикроСтим бор на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ оказало положительное действие на увеличение накопления массы сухого вещества. Возрастание массы сухого вещества по сравнению с фоном наблюдалось во второй половине вегетации и в фазу образования бобов оно составило 48,0 г на 100 растений.

Обработка посевов микроудобрением Адоб бор также оказала существенное влияние на увеличение массы сухого вещества до 316,2 г на 100 растений. Значительное увеличение массы сухого вещества до 320,7 г на 100 растений наблюдалось на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ при некорневых подкормках препаратом Кристалон желтый и особый, которые содержат комплекс макро- и микроэлементов. Увеличение массы сухого вещества в данном варианте начиналось в фазу ветвления и сохранилось до фазы образования бобов. В данном варианте опыта происходило существенное возрастание урожайности семян гороха по сравнению с фоновым вариантом [146].

А. А. Ничипорович [147] определяет потенциальный суточный прирост сухой биомассы в пределах 500–1000 кг/га. Реальное суточное накопление биомассы в большинстве случаев не превышает 150–300 кг/га.

По данным В. Ф. Каминского [136], внесение минеральных удобрений, проведение инокуляции семян гороха Ризогумином и их сочетание также способствовали повышению интенсивности формирования ассимиляционной поверхности, накоплению органической массы растениями гороха. При внесении минеральных удобрений было отмечено увеличение площади листовой поверхности, фитомассы и массы растений в абсолютно сухом состоянии на 5,0–14,8 тыс. м²/га, 6,8–9,5 г и 1,17–3,23 г соответственно по сравнению с контролем. Проведение инокуляции семян способствовало повышению значений данных пока-

зателей до 26,3 тыс. м²/га, 31,8 г и 7,46 г соответственно. При сочетании изучавшихся приемов наблюдалось более интенсивное нарастание надземной биомассы растений и формирование ассимиляционного аппарата, о чем свидетельствует увеличение площади листовой поверхности, фитомассы и массы растений в абсолютно сухом состоянии по сравнению с контролем соответственно на 7,6–17,3 тыс. м²/га, 9,4–14,2 и 2,65–4,72 г.

Влияние макро-, микроудобрений, регулятора роста, инокуляции семян ризобияльным инокулянтom и комплексного препарата на основе микроэлементов и регуляторов роста МикроСтим бор на динамику роста и накопления сухого вещества посевного гороха сорта Миллениум приведены в табл. 1.2 [148].

Более интенсивной динамика роста и накопления сухой массы была в удобряемых вариантах. Применение фосфорных и калийных удобрений со стартовой дозой азота (N₁₀P₄₀K₆₀) способствовало увеличению высоты растений и накоплению сухого вещества во всех фазах развития гороха по сравнению с контрольным вариантом без удобрений. В среднем за 2015–2017 гг. при применении N₁₀P₄₀K₆₀ к фазе образования бобов высота растений гороха была на 11,6 см, а сухой массы на 67,2 г на 100 растений больше по сравнению с контрольным вариантом.

Внесение фоновой дозы минерального удобрения (N₁₈P₆₃K₉₆) увеличило высоту растений и массу накопленного сухого вещества по фазам развития гороха по сравнению с контрольным вариантом. Применение комплексного удобрения с В и Мо существенно повысило высоту растений и накопление сухой массы по сравнению с внесением в эквивалентной дозе стандартных удобрений (N₁₈P₆₃K₉₆) начиная уже с фазы ветвления на 4,4 г и к фазе образования бобов на 24,6 г на 100 растений.

Более интенсивное накопление биомассы в вариантах с возрастающими дозами минеральных удобрений в фазу бутонизации было у растений гороха в вариантах с повышенными дозами удобрений (N₃₀P₇₅K₁₂₀).

Проведение инокуляции семян гороха ризобияльным инокулянтom на фоне N₁₈P₆₃K₉₆ за все годы исследований оказало положительное влияние на увеличение высоты растений и накопление сухого вещества уже к фазе ветвления. Максимальное влияние на рост растений гороха и на увеличение массы сухого вещества оказала инокуляция семян на фоне N₁₈P₆₃K₉₆ с некорневой обработкой посевов комплексным микроудобрением с регулятором роста МикроСтим бор. Это определило существенное увеличение урожайности зерна гороха в вариантах опыта с инокуляцией семян.

Применение регулятора роста Экосил на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ оказало положительное действие на увеличение накопления массы сухого вещества. Это наблюдалось во второй половине вегетации. Следует отметить, что в 2015 г. в июне месяце осадков выпало только 19 %, а в июле месяце – 69 % от нормы. Интенсивное накопление массы сухого вещества в варианте с регулятором роста, по-видимому, связано с тем, что он повышает засухоустойчивость растений.

Обработки посевов препаратом Адоб бор и микроэлементами бором и молибденом не оказали существенного влияния на увеличение массы сухого вещества. Более существенное возрастание массы сухого вещества наблюдалось при некорневых подкормках препаратом Кристалон желтый и особый, которые содержат комплекс макро- и микроэлементов (табл. 1.2).

Таблица 1.2. Влияние макро-, микроудобрений, ризобияльного инокулянта, регуляторов роста на динамику роста по фазам развития гороха сорта Миллениум (в среднем за 2015–2017 гг.)

Вариант опыта	Высота растений, см				Масса 100 сухих растений, г			
	Ветвление	Бутонизация	Цветение	Образование бобов	Ветвление	Бутонизация	Цветение	Образование бобов
1. Без удобрений	19,8	49,0	68,4	80,9	66,9	161,7	187,5	222,4
2. $N_{10}P_{40}K_{60}$	23,7	52,3	72,6	92,5	81,4	172,4	210,4	289,6
3. $N_{18}P_{63}K_{96}$ – фон	24,4	52,6	74,1	92,1	89,5	199,0	240,7	315,5
4. $N_{30}P_{75}K_{120}$	26,6	57,6	82,5	99,2	93,5	221,7	250,6	319,1
5. АФК-удобрение с В и Мо (в дозе, эквивалентной варианту 3)	25,6	54,6	75,8	99,5	93,9	212,0	270,4	340,1
6. Фон + В и Мо	24,0	52,2	75,2	96,5	89,5	207,1	244,5	328,1
7. Фон + Адоб бор	25,3	53,1	74,9	94,5	89,0	208,5	261,4	321,3
8. Фон + Кристалон (желтый + особый)	25,9	54,9	78,3	98,5	91,2	223,2	274,7	340,3
9. Фон + Экосил	26,2	53,9	78,4	99,3	86,5	211,2	261,0	344,6
10. Фон + МикроСтим бор	25,2	53,7	76,2	95,5	87,2	198,4	249,1	337,0
11. Фон + инокулянт	28,3	57,9	82,4	107,9	99,2	228,7	290,5	356,3
12. Фон + инокулянт + МикроСтим бор	27,1	57,2	80,7	105,7	97,8	233,1	295,9	376,1
НСР ₀₅	1,63	2,37	3,49	4,36	2,58	4,03	4,92	5,31

Увеличение массы сухого вещества проявилось уже в фазу ветвления за счет обработки в фазу выброса усов и сохранилось до фазы образования бобов. Это в результате привело к существенному возрастанию урожайности семян гороха в данном варианте опыта.

Более интенсивный рост и накопление массы сухого вещества при инокуляции семян, применении регуляторов роста и микроэлементов и определило повышение накопления биомассы растений гороха. Наибольшая масса 100 сухих растений отмечалась в вариантах с проведением инокуляции семян ризобияльным инокулянтom на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$, с применением микроудобрения с регулятором роста МикроСтим бор, комплексного удобрения Кристалон, комплексного удобрения с В и Мо и регулятора роста Экосил. В этих вариантах опыта отмечена и более высокая урожайность семян гороха [148, 149].

Фотосинтетическая деятельность культурных растений является основой формирования биологического урожая. К основным показателям продукционного процесса относят площадь листовой поверхности, фотосинтетический потенциал и чистую продуктивность фотосинтеза, которые показывают тесную прямую зависимость с урожайностью биомассы. Формирование на поле оптимальной по размерам площади листовой поверхности является важным элементом технологии и имеет значение для эффективного поглощения световой энергии для осуществления процесса фотосинтеза [150].

Учеными отмечалось, что в клетке максимально возможный потенциальный фотосинтез достигает до 4,5–5,0 % общей энергии падающего света. Это соответствует получению потенциального урожая сухой биомассы от 90 до 200 т/га, что во много раз превышает реальные урожаи [151].

Растения гороха имеют достаточно большую площадь фотосинтезирующей поверхности, это сортовой признак, изменяемый в зависимости от условий возделывания. По данным Н. П. Лукашевич, на дерново-подзолистой почве наибольшее влияние на площадь фотосинтезирующей поверхности посева гороха оказали удобрения и нормы высева. Величина урожайности семян определяется не только продуктивностью фотосинтеза и количеством накопленной биомассы, но и направленностью процессов перераспределения и утилизации продуктов фотосинтеза в растении [152].

Площадь фотосинтезирующей поверхности растений гороха изменялась по сортам гороха и в зависимости от изучаемых в опыте факто-

ров. Полевой горох сорта Зазерский усатый за счет редукции листочков в усики имел меньшую площадь листьев, чем у посевного гороха.

Показатели фотосинтетической деятельности у посевов полевого гороха сорта Зазерский усатый находились на достаточно высоком уровне (рис. 1.1–1.2).

Наибольших размеров площадь листьев у полевого гороха в среднем за три года исследований достигала в фазу цветения. В фазу образования бобов происходило снижение площади листьев по сравнению с фазой цветения.

Исследованиями установлено, что интенсивность нарастания площади листовой поверхности в течение всей вегетации полевого гороха достигала максимальных значений на фоне минеральных удобрений в вариантах $N_{18}P_{63}K_{96}$ с инокуляцией семян ризобияльным инокулянтом и инокуляцией семян с применением МикроСтим бор и к фазе цветения площадь листьев в них составила 32,14 и 33,02 тыс. $m^2/га$. Эти варианты опыта имели также самую высокую урожайность семян гороха с 1 га.

Исследования С. Н. Никитина показали, что при применении биопрепаратов интенсивность нарастания фотосинтетического потенциала посева в течение вегетации яровой пшеницы возрастает за счет увеличения листовой поверхности. В фазу кущения фотосинтетический потенциал посева при значениях на контроле – 0,083 млн. m^2 дней/га по вариантам варьировался от 0,090 до 0,099 млн. m^2 дней/га [153]. Данные о влиянии азота, калия и фосфора на фотосинтез представляют большой интерес для изучения. Положительное действие этих элементов на количество и качество урожая установлено, но значение их для фотосинтеза оставалось долгое время неясным. Действие азота на фотосинтез объясняется, прежде всего, его влиянием на формирование фотосинтетического аппарата. Являясь составной частью белка и хлорофилла, азот усиливает синтез этих соединений, обеспечивает более полное использование ассимилятов [154].

На формирование листовой поверхности полевого гороха оказывали воздействие макро-, микроудобрения, комплексные удобрения и регуляторы роста. Площадь листьев возрастала при применении комплексного удобрения с В и Мо в эквивалентной дозе ($N_{18}P_{63}K_{96}$) по сравнению со стандартными удобрениями и к фазе цветения на 5,44 тыс. $m^2/га$ [165]. Некорневые обработки комплексным удобрением

Кристаллоном желтым и особым увеличивали площадь листьев на 6,28 тыс. м²/га по сравнению с фоном N₁₈P₆₃K₉₆.

Установлена в среднем за три года исследований (2015–2017 гг.) тесная взаимосвязь ($r = 0,93$) урожайности (y) семян гороха сорта Зазерский усатый с площадью листовой поверхности (x) в фазу цветения, которая описывается следующим уравнением регрессии:

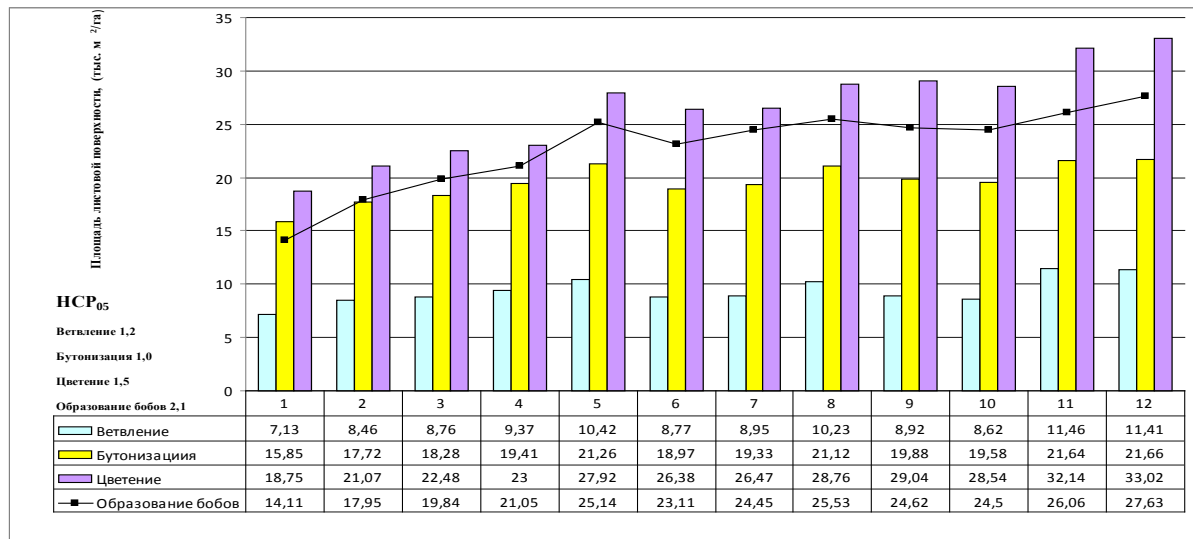
$$y = 0,9774 + 1,1385 \cdot x.$$

Тесная взаимосвязь отмечена между ($r = 0,98$) урожайностью (y) семян гороха сорта Зазерский усатый и площадью листовой поверхности (x) в фазу образования бобов, которая описывается следующим уравнением:

$$y = 0,2914 + 1,3496 \cdot x.$$

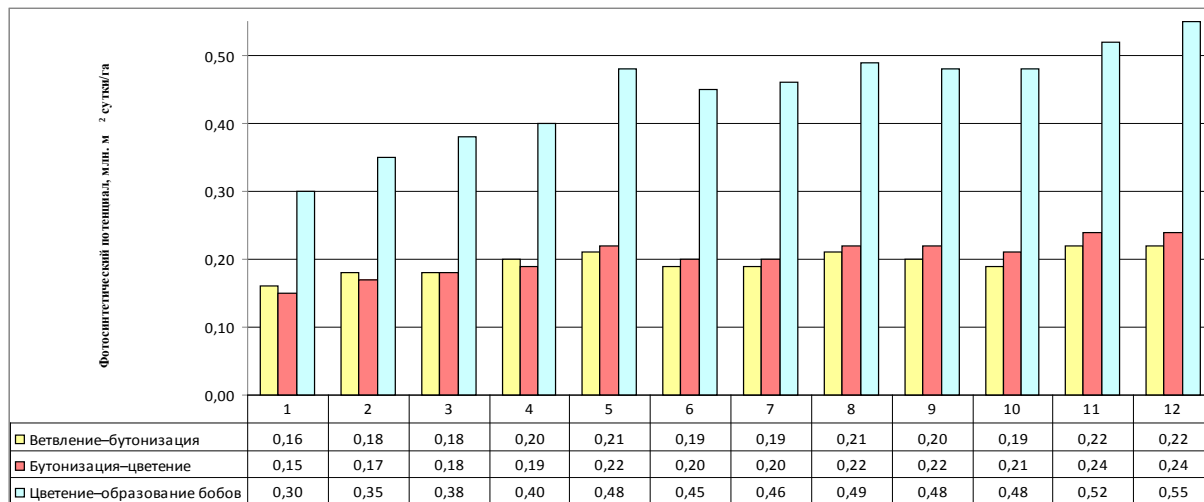
В вариантах с применением регуляторов роста, микроудобрений и инокуляции семян наблюдался более продолжительный генеративный период и период максимума величины листовой поверхности и более медленное отмирание листьев после него. Площадь листовой поверхности и продолжительность прохождения растениями фенологических фаз влияла на интенсивность фотосинтетического потенциала растения. При применении минеральных удобрений, инокуляции семян ризобиальным инокулянт, регуляторов роста и микроэлементов увеличивалась продолжительность работы листового аппарата гороха, что сказывалось положительно и на его урожайности.

Наиболее высокая урожайность семян гороха в опыте (36,6–37,1 ц/га) была отмечена в вариантах с применением N₁₈P₆₃K₉₆ + ризобиальный инокулянт и N₁₈P₆₃K₉₆ + ризобиальный инокулянт + МикроСтим бор. В данных вариантах максимальных значений фотосинтетический потенциал достигал в фазу цветения – образования бобов (0,52–0,55 млн. м²), что и предопределило высокую урожайность семян в этих вариантах опыта (рис. 1.2).



1. Без удобрений; 2. N₁₀P₄₀K₆₀; 3. N₁₈P₆₃K₉₆ – фон; 4. N₃₀P₇₅K₁₂₀; 5. АФК-удобрение с В и Мо (в дозе, эквивалентной варианту 3); 6. N₁₈P₆₃K₉₆ + В и Мо; 7. N₁₈P₆₃K₉₆ + Адоб бор; 8. N₁₈P₆₃K₉₆ + Кристаллон; 9. Фон 2 + Экосил; 10. N₁₈P₆₃K₉₆ + МикроСтим бор; 11. N₁₈P₆₃K₉₆ + инокулянт; 12. N₁₈P₆₃K₉₆ + инокулянт + МикроСтим бор.

Рис. 1.1. Влияние макро-, микроудобрений, регуляторов роста и инокуляции семян на площадь листовых пластинок гороха сорта Зазерский усатый, тыс. м²/га (в среднем за 2015–2017 гг.)



1. Без удобрений; 2. $N_{10}P_{40}K_{60}$; 3. $N_{18}P_{63}K_{96}$ – фон; 4. $N_{30}P_{75}K_{120}$; 5. АФК-удобрение с В и Мо (в дозе, эквивалентной варианту 3);
 6. $N_{18}P_{63}K_{96}$ + В и Мо; 7. $N_{18}P_{63}K_{96}$ + Адоб бор; 8. $N_{18}P_{63}K_{96}$ + Кристалон; 9. Фон 2 + Экосил; 10. $N_{18}P_{63}K_{96}$ + МикроСтим бор;
 11. $N_{18}P_{63}K_{96}$ + инокулянт; 12. $N_{18}P_{63}K_{96}$ + инокулянт + МикроСтим бор.

Рис. 1.2. Влияние применения макро-, микроудобрений, регуляторов роста и инокуляции семян на фотосинтетический потенциал сорта Зазерский усатый, млн. $m^2 \cdot сутки/га$ (в среднем за 2015–2017 гг.)

При оценке значения влияния азотных, фосфорных и калийных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур помимо их влияния на интенсивность процесса фотосинтеза необходимо учитывать действие этих элементов на общую продуктивность растения [156].

Исследования, проведенные в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии на горохе, показали, что инокуляция семян биопрепаратами Сапронитом и Фитостимифосом оказала значительно меньшее влияние на увеличение листовой поверхности, чем применение удобрений, а из изучаемых регуляторов роста наиболее сильное влияние на нарастание листовой поверхности оказал Агростимулин. Более значительное увеличение листовой поверхности посевов гороха при применении микроудобрений было получено при некорневых подкормках бором.

Большая листовая поверхность гороха в опыте способствовала нарастанию биомассы и увеличению урожайности семян [157].

Инокуляция семян способствовала увеличению фотосинтетического потенциала посевов в течение вегетации за счет увеличения листовой поверхности. Установлена в среднем за три года исследований (2015–2017 гг.) тесная взаимосвязь ($r = 0,95$) урожайности (y) семян гороха сорта Зазерский усатый с фотосинтетическим потенциалом (x) в фазу бутонизация – цветение, которая описывается следующим уравнением регрессии:

$$y = -6,5657 + 185,2822 \cdot x.$$

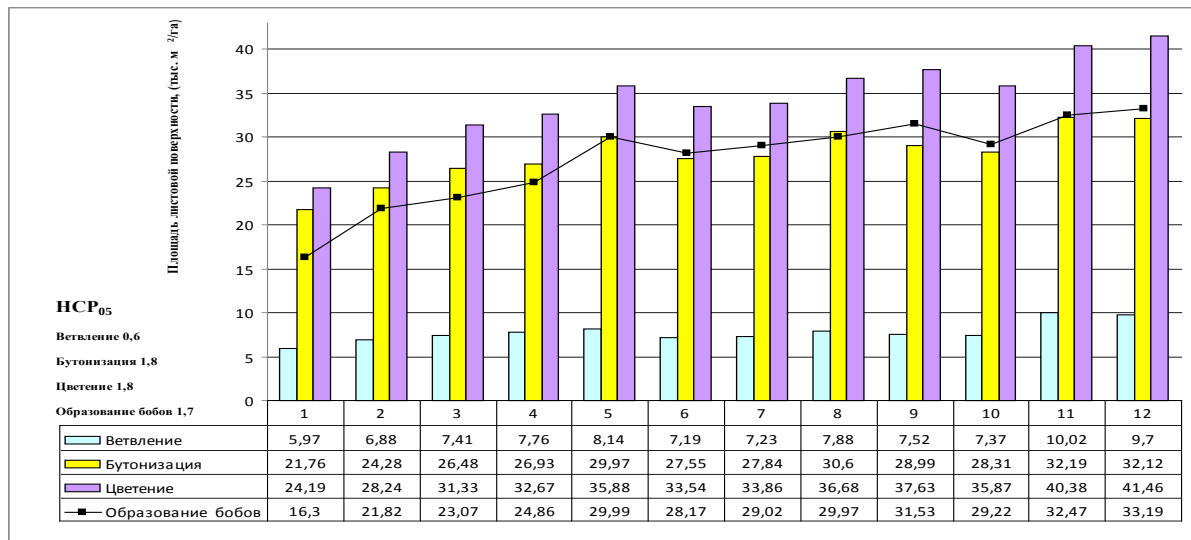
Тесная взаимосвязь ($r = 0,96$) наблюдалась между урожайностью (y) семян гороха сорта Зазерский усатый и фотосинтетическим потенциалом (x) в фазу цветения – образования бобов, которая описывается следующим уравнением:

$$y = -0,814 + 70,3141 \cdot x.$$

Исследуемый сорт посевного гороха Миллениум характеризовался высоким уровнем фотосинтетической деятельности (рис. 1.3–1.4).

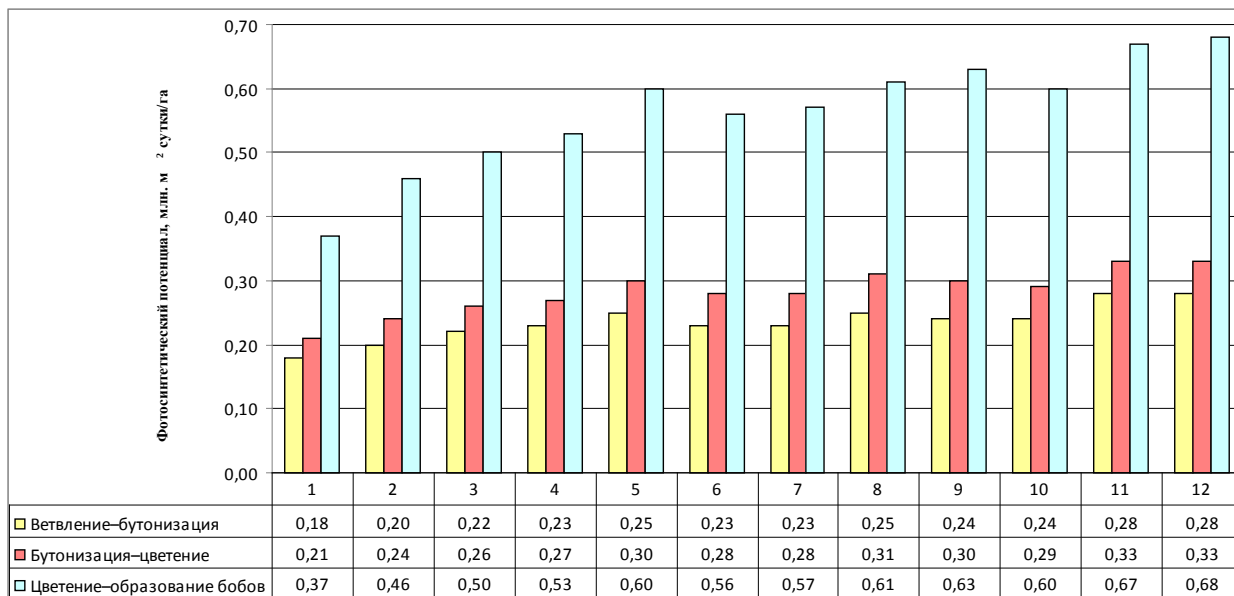
Применение минеральных удобрений способствовало нарастанию листовой поверхности посевов гороха.

Изучение влияния различного фона минерального питания и применения регуляторов роста на фотосинтез проводилось учеными на разных сельскохозяйственных растениях. По влиянию применения удобрений на фотосинтез получены неоднозначные результаты. А. А. Ничипоровичем доказано [154], что интенсивность фотосинтеза снижалась не только из-за недостатка минеральных элементов, но и от избытка одного из них.



1. Без удобрений; 2. $N_{10}P_{40}K_{60}$; 3. $N_{18}P_{63}K_{96}$ – фон; 4. $N_{30}P_{75}K_{120}$; 5. АФК-удобрение с В и Мо (в дозе, эквивалентной варианту 3);
6. $N_{18}P_{63}K_{96}$ + В и Мо; 7. $N_{18}P_{63}K_{96}$ + Адоб бор; 8. $N_{18}P_{63}K_{96}$ + Кристалон; 9. Фон 2 + Экосил; 10. $N_{18}P_{63}K_{96}$ + МикроСтим бор;
11. $N_{18}P_{63}K_{96}$ + инокулянт; 12. $N_{18}P_{63}K_{96}$ + инокулянт + МикроСтим бор.

Рис. 1.3. Влияние макро-, микроудобрений, регуляторов роста и инокуляции семян на площадь листовой поверхности гороха сорта Миллениум, тыс. м²/га (в среднем за 2015–2017 гг.)



1. Без удобрений; 2. $N_{10}P_{40}K_{60}$; 3. $N_{18}P_{63}K_{96}$ – фон; 4. $N_{30}P_{75}K_{120}$; 5. АФК-удобрение с В и Мо (в дозе, эквивалентной варианту 3); 6. $N_{18}P_{63}K_{96}$ + В и Мо; 7. $N_{18}P_{63}K_{96}$ + Адоб бор; 8. $N_{18}P_{63}K_{96}$ + Кристалон; 9. Фон 2 + Экосил; 10. $N_{18}P_{63}K_{96}$ + МикроСтим бор; 11. $N_{18}P_{63}K_{96}$ + инокулянт; 12. $N_{18}P_{63}K_{96}$ + инокулянт + МикроСтим бор.

Рис. 1.4. Влияние применения макро-, микроудобрений, регуляторов роста и инокуляции семян на фотосинтетический потенциал сорта Миллениум, млн. $m^2 \cdot сутки/га$ (в среднем за 2015–2017 гг.)

Сильное влияние на нарастание листовой поверхности оказал регулятор роста Экосил, что способствовало получению высокой урожайности семян гороха.

Максимальная площадь листьев и урожайность гороха наблюдалась в вариантах с инокуляцией семян ризобияльным инокулянтom на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ с некорневой обработкой посевов комплексным микроудобрением с регулятором роста МикроСтим бор.

У растений гороха максимальная площадь листьев была в фазу цветения. В фазу образования бобов происходило снижение площади листьев по сравнению с фазой цветения. Наиболее высокой в фазу цветения и образования бобов площадь листовой поверхности была в вариантах $N_{18}P_{63}K_{96}$ + ризобияльный инокулянт и $N_{18}P_{63}K_{96}$ + ризобияльный инокулянт + МикроСтим бор.

Проведенный парный корреляционно-регрессионный анализ показал тесную взаимосвязь ($r = 0,96$) в среднем за 2015–2017 гг. урожайности (y) семян гороха сорта Миллениум с площадью листовой поверхности (x) в фазу цветения, которая описывается следующим уравнением регрессии:

$$y = 3,5893 + 0,9067 \cdot x.$$

Установлена в среднем за три года исследований (2015–2017 гг.) тесная взаимосвязь ($r = 0,98$) урожайности (y) семян гороха сорта Миллениум с площадью листовой поверхности (x) в фазу образования бобов, которая описывается следующим уравнением:

$$y = 10,0757 + 0,8964 \cdot x.$$

Площадь листовой поверхности и продолжительность прохождения растениями фенологических фаз влияла на интенсивность фотосинтетического потенциала растений у сорта Миллениум. При применении минеральных удобрений, инокуляции семян ризобияльным инокулянтom, регуляторов роста и микроэлементов увеличивалась продолжительность работы листового аппарата растений, что положительно сказывалось на урожайности гороха (см. рис. 1.4).

Максимальных значений фотосинтетический потенциал достиг в фазу цветения – образования бобов (0,67–0,68) в вариантах с применением $N_{18}P_{63}K_{96}$ + ризобияльный инокулянт и $N_{18}P_{63}K_{96}$ + ризобияльный инокулянт + МикроСтим бор, что и предопределило максимальную урожайность семян в опытных вариантах.

Наиболее высокая урожайность семян гороха (39,3–39,7 ц/га) была отмечена в вариантах с применением $N_{18}P_{63}K_{96}$ + ризобияльный инокулянт и $N_{18}P_{63}K_{96}$ + ризобияльный инокулянт + МикроСтим бор [165]. Таким образом, в вариантах с применением $N_{18}P_{63}K_{96}$ + ризобияльный инокулянт и $N_{18}P_{63}K_{96}$ + ризобияльный инокулянт + МикроСтим бор увеличилась фотосинтетическая деятельность посевов гороха, что способствовало повышению урожайности семян.

В среднем за 2015–2017 гг. проведенный парный корреляционно–регрессионный анализ показал тесную взаимосвязь ($r = 0,97$) урожайности (y) семян гороха сорта Миллениум от фотосинтетического потенциала (x) в фазу бутонизация – цветение, которая описывается уравнением

$$y = -1,0622 + 126,21 \cdot x.$$

Установлена тесная взаимосвязь ($r = 0,98$) урожайности (y) семян гороха сорта Миллениум с фотосинтетическим потенциалом (x) в фазу цветения – образования бобов, которая описывается уравнением

$$y = 6,3208 + 50,2285 \cdot x.$$

1.2. Урожайность и качество семян гороха в зависимости от применяемых систем удобрения

Применение различных микроудобрений в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур в соответствии с биологическими потребностями растений и учетом обеспеченности почвы подвижными формами микроэлементов способствует повышению урожайности и улучшению качества растениеводческой продукции. Внесение микроудобрений целесообразно совмещать с процессами внесения макроудобрений в почву, обработкой семян или с внекорневыми подкормками микроэлементами. Это позволит обеспечить растения микроэлементами на протяжении всей вегетации.

Результаты исследований с полевым и посевным горохом показали, что макро- и микроудобрения повысили урожайность гороха одновременно с улучшением качества продукции. Среди изучаемых сортов гороха наблюдается различие в сортовой реакции на минеральное питание и действие регуляторов роста.

Применяемые удобрения карбамид, аммофос и хлористый калий существенно увеличили урожайность семян гороха сорта Зазерский усатый (табл. 1.3). Внесение до посева $N_{10}P_{40}K_{60}$ увеличило урожай-

ность семян полевого гороха сорта Зазерский усатый по сравнению с контролем на 7,7 ц/га, а $N_{18}P_{63}K_{96}$ – на 10,8 ц/га. В этих вариантах окупаемость 1 кг НРК кг семян составила в среднем за 3 года 7,0 и 6,1 кг. Увеличение доз минеральных удобрений до $N_{30}P_{75}K_{120}$ способствовало повышению урожайности семян гороха до 29,9 ц/га, при этом окупаемость 1 кг НРК кг семян уменьшилась до 5,4 кг. Применение до посева комплексного АФК-удобрения с В и Мо для зернобобовых культур повысило урожайность семян гороха на 4,5 ц/га по сравнению с вариантом с эквивалентными дозами, внесенными в форме стандартных удобрений.

Таблица 1.3. Влияние удобрений, регуляторов роста и ризобияльного инокулянта на урожайность семян гороха сорта Зазерский усатый (в среднем за 2015–2017 гг.)

Вариант опыта	Урожайность, ц/га				Прибавка к контролю	Прибавка к фону	Окупаемость 1 кг НРК, кг семян
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	Средняя			
1. Без удобрений (контроль)	14,7	18,1	20,2	17,7	–	–	–
2. $N_{10}P_{40}K_{60}$	29,4	20,2	26,5	25,4	7,7	–	7,0
3. $N_{18}P_{63}K_{96}$ – фон	33,0	22,1	30,5	28,5	10,8	–	6,1
4. $N_{30}P_{75}K_{120}$	33,9	22,5	33,3	29,9	12,2	1,4	5,4
5. АФК-удобрение с В и Мо (в дозе, эквивалентной варианту 3)	38,5	26,6	33,9	33,0	15,3	4,5	8,6
6. Фон + В и Мо	35,2	24,7	33,8	31,2	13,5	2,7	7,6
7. Фон + Адоб бор	37,1	25,5	36,9	33,2	15,5	4,7	8,8
8. Фон + Кристалон (желтый + особый)	39,0	26,2	38,4	34,5	16,8	6,0	9,5
9. Фон + Экосил	36,2	25,7	37,8	33,2	15,5	4,7	8,8
10. Фон + МикроСтим бор	35,9	25,4	37,6	33,0	15,3	4,5	8,6
11. Фон + инокулянт	41,8	29,1	39,0	36,6	18,9	8,1	10,7
12. Фон + инокулянт + МикроСтим бор	42,6	29,3	39,4	37,1	19,4	8,6	11,0
НСР ₀₅	2,32	1,96	1,80	1,17	–	–	–

Существенная прибавка к фону отмечена в вариантах с некорневыми подкормками микроэлементом бором при использовании жидких

микроудобрений Адоб бор и МикроСтим бор. Урожайность семян в опытных вариантах возросла по сравнению с фоном $N_{18}P_{63}K_{96}$ на 4,7 и 4,5 ц/га.

При двукратной обработке посевов гороха комплексным удобрением Кристалон урожайность семян по сравнению с фоновым вариантом $N_{18}P_{63}K_{96}$ возросла на 6,0 ц/га при окупаемости 1 кг НРК 9,5 кг семян.

Достаточно высокая урожайность семян гороха (33,0 ц/га) и окупаемость 1 кг НРК 8,6 кг семян отмечена в варианте с применением комплексного АФК-удобрения с В и Мо в дозе, эквивалентной 3-му варианту опыта ($N_{18}P_{63}K_{96}$ в форме стандартных удобрений).

Инокуляция семян гороха ризобияльным инокулянтom на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ и $N_{18}P_{63}K_{96}$ + МикроСтим бор повысила урожайность семян на 8,1 и 8,6 ц/га по сравнению с фоном ($N_{18}P_{63}K_{96}$). В этих вариантах опыта получена максимальная урожайность семян (36,6–37,1 ц/га).

Применение нового комплексного удобрения для допосевого внесения, сочетание минеральных удобрений с регулятором роста Экосил, многокомпонентным удобрением для некорневых подкормок (Кристалон), комплексным микроудобрением с регулятором роста (МикроСтим бор) и инокуляция оказали положительное влияние на качество семян полевого гороха (табл. 1.4). Применение удобрений по сравнению с неудобренным контролем способствовало увеличению массы 1000 семян гороха.

Однако существенных различий между удобренными вариантами по массе 1000 семян гороха не отмечено. Максимальная масса 1000 семян гороха (183,6 и 184,4 г) отмечена в вариантах $N_{18}P_{63}K_{96}$ + инокулянт и $N_{18}P_{63}K_{96}$ + инокулянт + МикроСтим бор [155].

Определение структуры урожая гороха сорта Зазерский усатый показало, что повышение урожайности семян при применении ризобияльного инокулянта, а также регуляторов роста и микроэлементов происходило за счет увеличения количества бобов на растении, лучшей осеменненности боба, массы 1000 семян и соответственно возрастания веса семян с 1 боба.

Внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений повысило содержание сырого протеина в семенах и его выход по сравнению с вариантом без удобрений. Так, применение $N_{30}P_{75}K_{120}$ увеличило содержание сырого протеина на 1,5 %. Некорневые подкормки Адоб бор и микроэлементами В и Мо, комплексным удобрением Кристалон на

фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ повысили содержание сырого протеина в семенах гороха с 23,5 % на 0,7–0,9 %.

Таблица 1.4. Влияние удобрений, регуляторов роста и ризобияльного инокулянта на качество семян гороха сорта Зазерский усатый (в среднем за 2015–2017 гг.)

Вариант опыта	Сырой протеин, %	Масса 1000 семян, г			Средняя масса 1000 семян, г
		2015 г.	2016 г.	2017 г.	
1. Без удобрений	22,8	155,8	157,1	166,4	159,7
2. $N_{10}P_{40}K_{60}$	23,1	165,9	160,0	178,3	168,5
3. $N_{18}P_{63}K_{96}$ – фон	23,5	167,9	164,5	183,4	171,7
4. $N_{30}P_{75}K_{120}$	24,3	168,1	165,9	185,3	173,1
5. АФК-удобрение с В и Мо (в дозе, эквивалентной варианту 3)	24,6	172,5	168,8	188,4	176,6
6. Фон + В и Мо	24,2	171,4	167,5	188,7	175,9
7. Фон + Адоб бор	24,4	172,0	166,8	189,7	176,2
8. Фон + Кристалон (желтый + особый)	24,2	172,7	169,9	193,8	178,8
9. Фон + Экосил	24,3	172,4	167,3	193,6	177,8
10. Фон + МикроСтим бор	24,0	171,5	166,6	193,0	177,0
11. Фон + инокулянт	24,4	177,8	177,6	194,3	183,6
12. Фон + инокулянт + МикроСтим бор	25,2	178,9	177,7	194,5	184,4
НСР ₀₅	0,66	1,87	1,43	2,91	1,20

Применение комплексного АФК-удобрения с В и Мо увеличило содержание сырого протеина на 1,1 % по сравнению с внесением в эквивалентной дозе ($N_{18}P_{63}K_{96}$) стандартных удобрений. Наиболее высоким содержание сырого протеина (25,2 %) было в варианте с применением $N_{18}P_{63}K_{96}$ + инокулянт + МикроСтим бор.

Расчет выхода переваримого протеина показал, что в вариантах с применением удобрений, регуляторов роста и инокуляцией семян он существенно возрос. Выход переваримого протеина в вариантах с инокуляцией семян ризобияльным инокулянтом в варианте $N_{18}P_{63}K_{96}$ достиг 6,45 и $N_{18}P_{63}K_{96}$ + МикроСтим бор – 6,72 ц/га (табл. 1.5).

Обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином была наиболее высокой в вариантах с использованием жидкого микроудобрения Адоб бор на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ и комплексного АФК-удобрения с В и Мо и составила 130 г.

Применение $N_{30}P_{75}K_{120}$ увеличило выход сырого протеина на 2,74 ц/га по сравнению с контролем. Достаточно высокий выход сырого протеина отмечен в варианте с обработкой посевов препаратом Кристалон на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ и с внесением комплексного АФК-удобрения с В и Мо, который составил 7,13 и 6,96 ц/га. Максимальный выход сырого протеина был в вариантах $N_{18}P_{63}K_{96}$ + инокулянт и $N_{18}P_{63}K_{96}$ + инокулянт + МикроСтим бор, который составил 7,50 и 7,82 ц/га [165].

Таблица 1.5. Влияние удобрений, регуляторов роста и ризобияльного инокулянта на выход сырого протеина, переваримого протеина и обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином у гороха сорта Зазерский усатый (в среднем за 2015–2017 гг.)

Вариант опыта	Выход, ц/га к. ед.	Выход сырого протеина, ц/га	Выход переваримого протеина, ц/га	Обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином, г
1. Без удобрений	24,7	3,54	3,04	122
2. $N_{10}P_{40}K_{60}$	35,5	5,15	4,43	126
3. $N_{18}P_{63}K_{96}$ – фон	39,9	5,87	5,05	127
4. $N_{30}P_{75}K_{120}$	41,9	6,28	5,40	129
5. АФК-удобрение с В и Мо (в дозе, эквивалентной варианту 3)	46,2	6,96	5,98	130
6. Фон + В и Мо	43,7	6,49	5,58	127
7. Фон + Адоб бор	46,4	6,98	6,00	130
8. Фон + Кристалон (желтый + особый)	48,3	7,13	6,13	126
9. Фон + Экосил	46,5	6,92	5,95	128
10. Фон + МикроСтим бор	46,2	6,78	5,83	126
11. Фон + инокулянт	51,3	7,50	6,45	126
12. Фон + инокулянт + МикроСтим бор	51,9	7,82	6,72	129

Внесение до посева удобрений в дозе $N_{10}P_{40}K_{60}$ увеличило урожайность семян гороха сорта Миллениум по сравнению с контрольным вариантом на 4,3 ц/га, а $N_{18}P_{63}K_{96}$ – на 7,4 ц/га (табл. 1.6). В этих вариантах окупаемость 1 кг NPK кг семян составила в среднем за 3 года 3,9 и 4,2 кг.

Увеличение доз минеральных удобрений до $N_{30}P_{75}K_{120}$ способствовало дальнейшему повышению урожайности семян гороха, при этом окупаемость 1 кг NPK кг семян не изменялась.

Применение до посева АФК-удобрения с В и Мо для зернобобовых культур по сравнению с вариантом с эквивалентными дозами стандартных удобрений увеличило урожайность семян гороха на 6,0 ц/га.

Таблица 1.6. Влияние удобрений, регуляторов роста и ризобияльного инокулянта на урожайность семян гороха сорта Миллениум (в среднем за 2015–2017 гг.)

Вариант опыта	Урожайность, ц/га				Прибавка к контролю	Прибавка к фону	Окупаемость 1 кг NPK, кг семян
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	Средняя			
1. Без удобрений	21,3	25,1	26,1	24,2	–		
2. N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀	28,5	27,3	29,7	28,5	4,3		3,9
3. N ₁₈ P ₆₃ K ₉₆ – фон	32,4	30,1	32,2	31,6	7,4		4,2
4. N ₃₀ P ₇₅ K ₁₂₀	34,0	32,3	34,9	33,7	9,5	2,1	4,2
5. АФК-удобрение с В и Мо (в дозе, эквивалентной варианту 3)	38,1	36,0	38,6	37,6	13,4	6,0	7,6
6. Фон + В и Мо	35,3	34,3	36,6	35,4	11,2	3,8	6,3
7. Фон + Адоб бор	36,1	34,6	37,7	36,1	11,9	4,5	6,7
8. Фон + Кристалон (желтый + особый)	38,0	35,8	38,2	37,3	13,1	5,7	7,4
9. Фон + Экосил	37,6	34,9	37,1	36,5	12,3	4,9	6,9
10. Фон + МикроСтим бор	37,0	34,7	37,7	36,5	12,3	4,9	6,9
11. Фон + инокулянт	41,2	36,7	40,1	39,3	15,1	7,7	8,5
12. Фон + инокулянт + МикроСтим бор	41,7	37,1	40,4	39,7	15,5	8,1	8,8
НСР ₀₅	1,45	1,89	1,30	0,89	–	–	–

Эффективными оказались некорневые подкормки микроэлементом бором при использовании жидких микроудобрений Адоб бор и МикроСтим бор. Урожайность семян в этих вариантах опыта возросла по сравнению с фоном N₁₈P₆₃K₉₆ на 4,5 и 4,9 ц/га. При двукратной обработке посевов гороха комплексным удобрением Кристалон урожайность семян по сравнению с фоновым вариантом возросла на 5,7 ц/га.

Достаточно высокая урожайность семян гороха (37,6 и 37,3 ц/га) и окупаемость 1 кг NPK 7,6 и 7,4 кг семян отмечена в вариантах с применением АФК-удобрения с В и Мо и препарата Кристалон на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$.

Инокуляция семян гороха ризобияльным инокулянтом на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ и $N_{18}P_{63}K_{96}$ + МикроСтим бор повысила урожайность семян на 7,7 и 8,1 ц/га (см. табл. 1.5). В этих вариантах опыта получена максимальная урожайность семян (39,3–39,7 ц/га).

Удобрения и регуляторы роста оказали существенное влияние на качество семян гороха сорта Миллениум (табл. 1.7) [158].

Таблица 1.7. Влияние удобрений, регуляторов роста и ризобияльного инокулянта на качество семян гороха сорта Миллениум (в среднем за 2015–2017 гг.)

Варианты опыта	Сырой протеин, %	Масса 1000 семян, г			Средняя масса 1000 семян, г
		2015 г.	2016 г.	2017 г.	
1. Без удобрений	23,4	209,1	207,1	206,4	207,5
2. $N_{10}P_{40}K_{60}$	23,9	216,6	211,4	213,1	213,7
3. $N_{18}P_{63}K_{96}$ – фон	24,3	226,2	215,0	215,4	218,8
4. $N_{30}P_{75}K_{120}$	24,2	228,1	218,5	219,4	222,0
5. АФК-удобрение с В и Мо (в дозе, эквивалентной варианту 3)	24,9	245,1	220,7	231,3	232,4
6. Фон + В и Мо	24,5	231,7	218,2	222,5	224,1
7. Фон + Адоб бор	24,4	235,9	219,9	225,8	227,2
8. Фон + Кристалон (желтый + особый)	24,5	244,2	220,4	226,6	230,4
9. Фон + Экосил	25,1	237,1	219,5	225,9	227,5
10. Фон + МикроСтим бор	24,3	237,9	219,3	229,9	229,0
11. Фон + инокулянт	24,1	257,9	223,4	234,7	238,7
12. Фон + инокулянт + МикроСтим бор	24,4	259,9	223,6	235,8	239,8
НСР ₀₅	0,77	7,09	5,45	8,52	4,06

Некорневые обработки регулятором роста Экосил и микроудобрением Адоб бор с В и Мо, а также внесение комплексного АФК-удобрения с В и Мо по сравнению с контрольным вариантом повысили содержание сырого протеина в семенах гороха на 1,7, 1,0, 1,1 и 1,5 %.

Применение удобрений, по сравнению с неудобренным контролем, способствовало увеличению массы 1000 семян гороха. У посевного гороха сорта Миллениум определение структуры урожая показало, что

увеличение урожайности семян при применении микроудобрений и ризобияльного инокулянта, а также регуляторов роста происходило за счет увеличения количества бобов на 1 растении, веса семян с 1 боба и массы 1000 семян, лучшей осемененности боба.

В вариантах с применением удобрений, регуляторов роста и инокуляцией семян ризобияльным инокулянтом существенно возрос выход переваримого протеина. Максимальных значений он достиг в вариантах с инокуляцией семян ризобияльным инокулянтом на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ – 7,03 ц/га и $N_{18}P_{63}K_{96}$ + МикроСтим бор – 7,17 ц/га (табл. 1.8).

Таблица 1.8. Влияние удобрений, регуляторов роста и ризобияльного инокулянта на выход сырого протеина, переваримого протеина и обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином у гороха сорта Миллениум (в среднем за 2015–2017 гг.)

Вариант опыта	Выход, ц/га к. ед.	Выход сырого протеина, ц/га	Выход переваримого протеина, ц/га	Обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином, г
1. Без удобрений	34,5	4,92	4,23	123
2. $N_{10}P_{40}K_{60}$	39,6	5,82	5,00	126
3. $N_{18}P_{63}K_{96}$ – фон	44,2	6,62	5,69	128
4. $N_{30}P_{75}K_{120}$	47,4	7,03	6,05	128
5. АФК-удобрение с В и Мо (в дозе, эквивалентной варианту 3	52,6	8,07	6,94	132
6. Фон + В и Мо	49,5	7,45	6,41	129
7. Фон + Адоб бор	50,6	7,60	6,53	129
8. Фон + Кристалон (желтый + особый)	52,3	7,87	6,77	129
9. Фон + Экосил	51,5	7,93	6,82	132
10. Фон + МикроСтим бор	51,6	7,69	6,61	128
11. Фон + инокулянт	55,1	8,18	7,03	128
12. Фон + инокулянт + МикроСтим бор	55,6	8,34	7,17	129

Достаточно высокий выход сырого протеина отмечен в вариантах с внесением комплексного АФК-удобрения с В и Мо и обработкой посевов регулятором роста Экосил на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$, который составил 8,07 и 7,93 ц/га. Максимальный выход сырого протеина [148] был в вариантах $N_{18}P_{63}K_{96}$ + инокулянт и $N_{18}P_{63}K_{96}$ + инокулянт + МикроСтим бор, который составил 8,18 и 8,34 ц/га.

Обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином была выше в вариантах с применением комплексного АФК-удобрения с В и Мо, $N_{18}P_{63}K_{96}$ + В и Мо, $N_{18}P_{63}K_{96}$ + Адоб бор, а также $N_{18}P_{63}K_{96}$ + Экосил и составила от 129 до 132 г соответственно [148].

1.3. Влияние макро-, микроудобрений, ризобияльного инокулянта и регуляторов роста на вынос питательных элементов горохом

При определении химического состава гороха полевого сорта Зазерский усатый и посевного сорта Миллениум были проанализированы образцы зерна и соломы гороха на содержание азота, фосфора, калия, рассчитан вынос элементов питания из почвы семенами и соломой.

Применение микроэлементов в нашем опыте привело к росту урожайности гороха при сохранении и увеличении поступления хозяйственно важных в них веществ.

Содержание элементов питания азота, фосфора и калия в семенах полевого гороха и вынос их с урожаем семян приведено в табл. 1.9.

Таблица 1.9. Влияние удобрений, регуляторов роста и ризобияльного инокулянта на содержание в семенах гороха сорта Зазерский усатый элементов питания и их вынос с семенами (в среднем за 2015–2017 гг.)

Вариант опыта	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Вынос элементов питания семенами, кг/га		
	% на сухое в-во			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Без удобрений	3,66	1,02	1,42	55,7	15,5	21,3
2. $N_{10}P_{40}K_{60}$	3,70	1,06	1,40	80,8	23,2	30,4
3. $N_{18}P_{63}K_{96}$ – фон	3,77	1,11	1,39	92,4	27,2	33,9
4. $N_{30}P_{75}K_{120}$	3,88	1,08	1,36	99,8	27,8	34,9
5. АФК-удобрение с В и Мо (в дозе, эквивалентной варианту 3)	3,94	1,10	1,37	111,8	31,2	38,7
6. Фон + В и Мо	3,87	1,07	1,29	103,8	28,7	34,3
7. Фон + Адоб бор	3,89	1,07	1,29	111,1	30,6	36,5
8. Фон + Кристалон (желтый + особый)	3,88	1,08	1,30	115,1	32,0	38,1
9. Фон + Экосил	3,89	1,09	1,31	111,1	31,1	36,9
10. Фон + МикроСтим бор	3,86	1,10	1,29	109,5	31,2	36,0
11. Фон + инокулянт	3,91	1,10	1,29	123,1	34,6	40,0
12. Фон + инокулянт + МикроСтим бор	4,04	1,12	1,27	128,9	35,7	40,0
НСР ₀₅	0,110	0,052	0,081	–	–	–

Наибольшее содержание азота в семенах гороха (3,91–4,04 %) в среднем за три года отмечено в вариантах, где проводилась инокуля-

ция семян ризобияльным инокулянтom и вносилось комплексное АФК-удобрение с В и Мо. Содержание фосфора и калия в семенах гороха по вариантам опыта изменялось в незначительных пределах. Максимальный вынос азота, фосфора и калия с семенами был в варианте с проведением инокуляции семян ризобияльным инокулянтom на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ + МикроСтим бор.

Урожайность соломы гороха была выше в вариантах с обработкой посевов комплексным удобрением Кристалон, применением инокулянта на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ и $N_{18}P_{63}K_{96}$ + МикроСтим бор. В этих вариантах опыта она составила 41,4–44,5 ц/га (табл. 1.10).

Таблица 1.10. Влияние удобрений, регуляторов роста и ризобияльного инокулянта на урожайность соломы сорта Зазерский усатый, содержание в ней элементов питания и их вынос (в среднем за 2015–2017 гг.)

Вариант опыта	Урожайность соломы, ц/га	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Вынос элементов питания соломой, кг/га		
		% на сухое в-во			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Без удобрений	21,2	0,92	0,21	1,27	18,8	3,7	23,2
2. $N_{10}P_{40}K_{60}$	30,4	1,09	0,25	1,75	27,1	6,0	46,7
3. $N_{18}P_{63}K_{96}$ – фон	34,2	0,98	0,22	1,86	28,0	6,3	55,8
4. $N_{30}P_{75}K_{120}$	35,8	1,08	0,24	1,80	32,7	7,1	58,1
5. АФК-удобрение с В и Мо (в дозе, эквивалентной варианту 3)	39,6	1,21	0,26	1,79	40,7	8,5	62,3
6. Фон + В и Мо	37,5	1,06	0,24	1,68	33,6	7,4	56,8
7. Фон + Адоб бор	39,8	1,45	0,34	2,08	46,5	10,6	72,2
8. Фон + Кристалон (желтый + особый)	41,4	1,13	0,25	1,89	39,0	8,5	70,3
9. Фон + Экосил	39,9	1,20	0,32	1,70	39,9	10,3	60,9
10. Фон + МикроСтим бор	39,5	1,06	0,24	1,86	35,4	7,9	66,7
11. Фон + инокулянт	44,0	1,22	0,25	1,95	44,7	9,1	77,3
12. Фон + инокулянт + МикроСтим бор	44,5	1,28	0,28	1,99	47,3	10,5	79,0
НСР ₀₅	1,34	0,311	0,073	0,186	–	–	–

Более высокое содержание азота (1,28 %) в соломе отмечено в варианте с инокуляцией семян гороха ризобияльным инокулянтom на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ с некорневой подкормкой МикроСтим бор. В большинстве удобрённых вариантов опыта содержание фосфора и калия в соломе варьировало в незначительных пределах и составляло по фосфору 0,22–0,34 % и калию – 1,75–2,08 %. Вынос элементов питания соломой был максимальным также в варианте опыта с инокуляцией семян.

Хозяйственный вынос и удельный вынос элементов питания (кг) на 1 т основной продукции с учетом побочной представлен в табл. 1.11.

Таблица 1.11. Влияние новых форм удобрений, регуляторов роста и ризобияльного инокулянта на хозяйственный и удельный вынос элементов питания у сорта Зазерский усятый (в среднем за 2015–2017 гг.)

Вариант опыта	Хозяйственный вынос элементов питания, кг/га			Удельный вынос элементов питания (кг) на 1 т основной продукции с учетом побочной		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Без удобрений	72,4	19,3	44,5	40,7	10,8	25,0
2. N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀	107,4	28,5	77,1	42,8	11,6	29,6
3. N ₁₈ P ₆₃ K ₉₆ – фон	120,1	32,8	89,7	42,2	11,8	30,7
4. N ₃₀ P ₇₅ K ₁₂₀	132,7	34,2	93,0	44,3	11,7	29,8
5. АФК-удобрение с В и Мо (в дозе, эквивалентной варианту 3)	151,8	39,0	101,0	46,0	12,0	29,8
6. Фон + В и Мо	137,5	35,6	91,1	43,9	11,5	28,1
7. Фон + Адоб бор	156,9	40,6	108,6	48,1	12,7	32,0
8. Фон + Кристалон (желтый + особый)	154,3	39,9	108,4	44,8	11,9	30,2
9. Фон + Экосил	151,1	41,0	97,8	45,5	12,6	28,4
10. Фон + МикроСтим бор	144,7	38,5	102,8	43,8	11,9	29,8
11. Фон + инокулянт	167,1	43,0	117,2	45,9	12,0	30,8
12. Фон + инокулянт + МикроСтим бор	175,4	45,4	119,0	47,6	12,5	30,9

Хозяйственный вынос был максимальным в вариантах с применением инокулянта и микроудобрения МикроСтим бор на фоне N₁₈P₆₃K₉₆ и составил по азоту 167,1–175,4 кг/га, фосфору – 43,0–45,4 кг/га и калию – 117,2–119,0 кг/га.

Содержание азота, фосфора и калия в семенах гороха и вынос их с урожаем семян в среднем за три года приведен в табл. 1.12.

Наиболее высоким содержание азота в семенах гороха в среднем за три года отмечено в вариантах, где применялись комплексное АФК-удобрение с В и Мо (3,99 %) и регулятор роста Экосил (4,01 %).

Содержание фосфора в семенах было довольно стабильным и по вариантам опыта изменялось в незначительных пределах (0,99–1,13 %). Содержание калия в большинстве вариантов опыта находилось в пределах 1,20–1,45 %. Наиболее высоким вынос азота, фосфора и калия с семенами был в варианте с применением ризобияльного инокулянта на фоне N₁₈P₆₃K₉₆ + МикроСтим бор.

Таблица 1.12. Влияние удобрений, регуляторов роста и ризобияльного инокулянта на содержание в семенах гороха сорта Миллениум элементов питания и их вынос с семенами (в среднем за 2015–2017 гг.)

Вариант опыта	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Вынос элементов питания семенами, кг/га		
	% на сухое в-во			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Без удобрений	3,75	1,03	1,23	78,53	21,63	25,98
2. N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀	3,83	1,08	1,24	93,17	26,33	30,07
3. N ₁₈ P ₆₃ K ₉₆ – фон	3,89	1,13	1,24	105,73	30,60	33,73
4. N ₃₀ P ₇₅ K ₁₂₀	3,87	1,04	1,25	111,03	30,33	36,33
5. АФК-удобрение с В и Мо (в дозе, эквивалентной варианту 3)	3,99	1,08	1,32	129,07	34,77	42,63
6. Фон + В и Мо	3,89	1,10	1,27	118,37	33,47	39,03
7. Фон + Адоб бор	3,91	1,08	1,25	121,50	33,57	40,18
8. Фон + Кристалон (желтый + особый)	3,92	1,10	1,25	125,90	35,27	40,10
9. Фон + Экосил	4,01	1,07	1,20	126,90	33,77	38,13
10. Фон + МикроСтим бор	3,89	1,03	1,19	123,17	32,43	37,80
11. Фон + инокулянт	3,86	1,07	1,20	130,73	35,96	40,67
12. Фон + инокулянт + МикроСтим бор	3,90	0,99	1,23	133,37	33,90	42,01
НСР ₀₅	0,173	0,056	0,059	–	–	–

Урожайность соломы гороха была выше в вариантах с обработкой посевов комплексным удобрением Кристалон и применением АФК-удобрения с В и Мо, инокулянта на фоне N₁₈P₆₃K₉₆ и N₁₈P₆₃K₉₆ + + МикроСтим-Бор. В этих вариантах опыта она составила 44,6–47,8 ц/га. Более высокое содержание азота (1,32 %) в соломе отмечено в варианте с инокуляцией семян гороха и применением N₁₈P₆₃K₉₆ (табл. 1.13).

Содержание фосфора и калия в соломе в большинстве вариантов опыта варьировало в незначительных пределах и составило по фосфору 0,26–0,31 % и калию – 1,67–1,92 %.

Максимальный вынос элементов питания с соломой отмечен при применении N₁₈P₆₃K₉₆ + инокулянт + МикроСтим бор, который составил по азоту 52,63 кг/га, фосфору – 12,20 кг/га и калию – 73,33 кг/га.

Таблица 1.13. Влияние удобрений, регуляторов роста и ризобияльного инокулянта на урожайность соломы гороха сорта Миллениум, содержание в ней элементов питания и их вынос (в среднем за 2015–2017 гг.)

Вариант опыта	Урожай- ность соломы, ц/га	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Вынос элементов питания соломой, кг/га		
		% на сухое в-во			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Без удобрений	29,4	1,13	0,29	1,58	27,60	7,13	37,87
2. N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀	34,1	0,91	0,25	1,67	25,97	7,17	48,07
3. N ₁₈ P ₆₃ K ₉₆ – фон	37,7	1,18	0,34	1,87	37,57	10,53	58,47
4. N ₃₀ P ₇₅ K ₁₂₀	40,5	1,04	0,27	1,85	35,53	9,13	57,40
5. АФК-удобрение с В и Мо (в дозе, эквивалентной варианту 3)	44,8	0,95	0,26	1,73	40,03	9,57	69,17
6. Фон + В и Мо	42,4	1,10	0,28	1,74	38,93	9,87	62,33
7. Фон + Адоб бор	43,2	1,11	0,28	1,92	39,80	10,00	69,90
8. Фон + Кристалон (желтый + особый)	44,6	0,96	0,26	1,59	36,13	9,70	66,60
9. Фон + Экосил	43,8	1,13	0,28	1,51	41,33	10,20	57,13
10. Фон + МикроСтим бор	43,9	0,97	0,23	1,49	36,10	8,40	50,73
11. Фон + инокулянт	47,1	1,17	0,31	1,72	45,97	11,87	69,53
12. Фон + инокулянт + МикроСтим бор	47,8	1,32	0,31	1,80	52,63	12,20	73,33
НСР ₀₅	1,03	0,301	0,06	0,201	–	–	–

Определено, что макро-, микроудобрения, регуляторы роста и инокуляция семян повысили хозяйственный вынос и удельный вынос элементов питания (табл. 1.14). Максимальный вынос элементов питания отмечен в варианте с применением N₁₈P₆₃K₉₆ + инокулянт + МикроСтим бор.

Таблица 1.14. Влияние новых форм удобрений, регуляторов роста и ризобияльного инокулянта на хозяйственный и удельный вынос элементов питания гороха сорта Миллениум (в среднем за 2015–2017 гг.)

Вариант опыта	Хозяйственный вынос элементов питания, кг/га			Удельный вынос элементов питания (кг) на 1 т основной продукции с учетом побочной		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	2	3	4	5	6	7
1. Без удобрений	106,1	28,8	68,7	43,8	6,6	28,4
2. N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀	119,1	33,5	78,1	41,8	8,0	27,4
3. N ₁₈ P ₆₃ K ₉₆ – фон	143,3	41,1	92,2	45,3	9,1	29,2
4. N ₃₀ P ₇₅ K ₁₂₀	146,6	39,5	93,7	43,5	9,1	27,8

1	2	3	4	5	6	7
5. АФК-удобрение с В и Мо (в дозе, эквивалентной варианту 3)	169,1	44,3	111,8	45,0	9,9	29,7
6. Фон + В и Мо	157,3	43,3	101,4	44,4	9,8	28,6
7. Фон + Адоб бор	161,3	43,6	115,7	44,7	9,8	32,0
8. Фон + Кристалон (желтый + особый)	162,0	45,0	106,7	43,4	10,4	28,6
9. Фон + Экосил	168,2	44,0	95,3	46,1	9,5	26,1
10. Фон + МикроСтим бор	159,3	40,8	88,6	43,6	9,4	24,3
11. Фон + инокулянт	176,7	47,8	109,9	45,0	10,6	28,0
12. Фон + инокулянт + МикроСтим бор	185,9	48,0	122,8	46,8	10,3	30,9

Удельный вынос элементов питания варьировал в удобряемых вариантах опыта в незначительных пределах и составил по азоту 41,8–46,8 кг/т, фосфору – 8,0–10,6 кг/т и по калию – 24,3–32,0 кг/т основной продукции с учетом побочной.

Следует отметить, что удельный вынос по азоту и фосфору несколько возрос в удобряемых вариантах по сравнению с вариантом, где удобрения не вносились.

1.4. Экономическая эффективность применения макро-, микроудобрений, ризобияльного инокулянта и регуляторов роста при возделывании гороха

В современных условиях главной задачей сельскохозяйственных предприятий является производство продукции высокого качества с наименьшими затратами материальных и трудовых ресурсов. Одним из важнейших путей решения этой задачи является применение ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Повышение продуктивности зернобобовых за счет использования биологических регуляторов роста, которые обеспечивают не только экологическую чистоту, но и снижение энергетических затрат, является в данный момент актуальным в производстве.

В настоящее время основной принцип оценки экономической эффективности использования удобрений – это сопоставление эффекта полученного при их применении в виде дополнительного урожая. Экономические методы позволяют дифференцированно подходить к определению эффективности удобрений с учетом природных, органи-

зационных и технологических факторов: почвенно-климатических условий, доз, видов, форм удобрений, отзывчивости на них культур и сортов и других факторов [146].

Экономическая эффективность применения удобрений рассчитывалась по методике РУП «Институт почвоведения и агрохимии» (Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений) [159] в сопоставимых ценах на 2020 г. При расчете экономической эффективности стоимость всей полученной прибавки и чистый доход выражены в долларах США и позволяют определить более выгодные варианты систем удобрения. Для определения чистого дохода предварительно рассчитывалась стоимость прибавки урожая, полученной за счет применения удобрений, инокуляции семян, регулятора роста и микроэлементов, также затраты на их применение, уборку и доработку полученной прибавки урожая.

Расчет чистого дохода и рентабельности позволили определить более выгодные варианты систем удобрения гороха. В нашем опыте на горохе полевом и посевном испытания макро- и микроудобрений, регуляторов роста и инокуляция семян показали положительное действие на продуктивность культуры.

На горохе полевом сорта Зазерский усатый (табл. 1.15) все варианты опыта с применением удобрений обеспечивали получение чистого дохода и были рентабельны. При увеличении доз минеральных удобрений у гороха сорта Зазерский усатый чистый доход увеличился, а рентабельность уменьшилась.

Чистый доход при применении комплексного АФК-удобрения с В и Мо по сравнению с внесением в эквивалентной дозе стандартных удобрений ($N_{18}P_{63}K_{96}$) возрос на 21,1 долл. США/га, а рентабельность несколько снизилась (на 6,6 %). Наибольший чистый доход был получен в вариантах с инокуляцией семян ризобияльным инокулянтom на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ (133,7 долл. США/га) и в варианте с инокуляцией семян и применением МикроСтим бор (132,6 долл. США/га), а также в вариантах при применении МикроСтим бор и Адоб бор на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ (99,9 и 100,8 долл. США/га соответственно).

Более высокая рентабельность получена в варианте с инокуляцией семян ризобияльным инокулянтom на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ (119,4 %) и в варианте с инокуляцией семян ризобияльным инокулянтom на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ с применением МикроСтим бор (110,8 %), а также при применении МикроСтим бор (100,9 %). Несколько ниже эти показатели были при применении Адоб бор, Экосил, В и Мо на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$.

Таблица 1.15. Экономическая эффективность применения удобрений, ризобияльного инокулянта и регуляторов роста при возделывании гороха сорта Зазерский усатый (в среднем за 2015–2017 гг.)

Вариант	Прибавка, т/га	Стоимость прибавки, долл. США/га	Затраты на получение прибавки, долл. США/га	Чистый доход, долл. США/га	Рентабельность, %
1. Без удобрений	–	–	–	–	–
2. N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀	0,77	100,1	53,0	47,1	88,9
3. N ₁₈ P ₆₃ K ₉₆ – фон	1,08	140,4	79,2	61,2	77,2
4. N ₃₀ P ₇₅ K ₁₂₀	1,22	158,6	91,6	67,0	73,2
5. АФК-удобрение с В и Мо (в дозе, эквивалентной варианту 3)	1,53	198,9	116,6	82,3	70,6
6. Фон + В и Мо	1,35	175,5	93,0	82,5	88,8
7. Фон + Адоб бор	1,55	201,5	100,8	100,8	100,0
8. Фон + Кристалон (желтый + особый)	1,68	218,4	128,0	90,4	70,6
9. Фон + Экосил	1,55	201,5	102,6	99,0	96,5
10. Фон + МикроСтим бор	1,53	198,9	99,0	99,9	100,9
11. Фон + инокулянт	1,89	245,7	112,0	133,7	119,4
12. Фон + инокулянт + МикроСтим бор	1,94	252,2	119,6	132,6	110,8

Все варианты опыта с применением удобрений на посевном горохе сорта Миллениум также обеспечили получение чистого дохода и были рентабельны. Наибольший чистый доход был получен в вариантах с инокуляцией семян ризобияльным инокулянтом на фоне N₁₈P₆₃K₉₆ (136,1 долл. США/га) и в варианте с инокуляцией семян и применением МикроСтим бор (135,1 долл. США/га), а также в вариантах с обработкой посевов МикроСтим бор и Экосил на фоне N₁₈P₆₃K₉₆ (102,8 и 99,9 долл. США/га) (табл. 1.16).

Более высокой рентабельность была на фоне N₁₈P₆₃K₉₆ в вариантах с инокуляцией семян ризобияльным инокулянтом (136,9 %) и с применением МикроСтим бор (126,5 %), а также МикроСтим бор (115,4 %). Несколько ниже эти показатели были при применении регулятора роста Экосил, микроудобрения Адоб бор, В и Мо на фоне N₁₈P₆₃K₉₆. Рентабельность при применении комплексного АФК-удобрения с В и Мо и препарата Кристалон желтого и особого была 89,5 и 76,4 %.

Таблица 1.16. Экономическая эффективность применения удобрений, ризобияльного инокулянта и регуляторов роста при возделывании гороха сорта Миллениум (в среднем за 2015–2017 гг.)

Вариант	Прибавка, т/га	Стоимость прибавки, долл. США/га	Затраты на получение прибавки, долл. США/га	Чистый доход, долл. США/га	Рентабельность, %
1. Без удобрений	—	—	—	—	—
2. N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀	0,43	67,1	41,8	25,3	60,6
3. N ₁₈ P ₆₃ K ₉₆ – фон	0,74	115,4	68,0	47,4	69,7
4. N ₃₀ P ₇₅ K ₁₂₀	0,95	148,2	82,7	65,6	79,3
5. АФК-удобрение с В и Мо (в дозе, эквивалентной варианту 3)	1,34	209,0	110,3	98,7	89,5
6. Фон + В и Мо	1,12	174,7	85,4	89,3	104,6
7. Фон + Адоб бор	1,19	185,6	88,9	96,8	108,9
8. Фон + Кристалон (желтый + особый)	1,31	204,4	115,8	88,5	76,4
9. Фон + Экосил	1,23	191,9	92,0	99,9	108,6
10. Фон + МикроСтим бор	1,23	191,9	89,1	102,8	115,4
11. Фон + инокулянт	1,51	235,6	99,4	136,1	136,9
12. Фон + инокулянт + МикроСтим бор	1,55	241,8	106,8	135,1	126,5

Сравнение применения микроудобрения МикроСтим бор, которое выпускают в Беларуси, с польским микроудобрением Адоб бор показало, что по экономической эффективности белорусское микроудобрение превосходит польское и может быть использовано для импортозамещения.

2. КУКУРУЗА

Кукуруза (*Zea mays* L.) в последние годы является одной из самых важных сельскохозяйственных культур в мире. Уникальность данной культуры заключается в том, что она обладает высокой потенциальной урожайностью и универсальностью использования.

В основном кукурузу во всем мире используют на кормовые цели (60–65 %), 20 % кукурузы используется в качестве продовольственной культуры и 15–20 % – на технические цели.

Кукуруза – высокопродуктивное растение, практически одна из самых главных зерновых культур, так как обладает высокой потенциальной урожайностью [160].

Она является ценной культурой, так как обладает высокой переваримостью, которая составляет 90 %. У всех злаковых культур переваримость ниже кукурузы. Зерно кукурузы – высокоэнергетический вид корма, поэтому его можно использовать для кормления всех видов птиц и животных [161].

В связи с развитием животноводства хозяйства нуждаются в питательных кормах для животных, а кукуруза является наиболее питательным кормом. Поэтому и возникает большая потребность в зерне кукурузы. В качестве зернофуражной культуры кукуруза занимает лидирующее положение. В одном килограмме зерна содержится 1,34 к. ед. и 78 г переваримого протеина. Питательная ценность кукурузы зависит от фазы роста и развития растений и находится в пределах от 13–15 до 28–30 к. ед. на 100 кг силосной массы [162, 163].

Так как кукуруза является растением универсального использования, то она занимает одно из лидирующих положений в современном производстве зерна [164, 165, 166].

Ранее при возделывании кукурузы применяли регулятор роста Динoseb. Его очень часто использовали под кукурузу, и он считался наилучшим регулятором роста, так как лучше других стимулировал увеличение урожайности кукурузы. Это подтверждается многочисленными научными исследованиями [167, 168].

Стимулирующее влияние регуляторов роста на продуктивность кукурузы было доказано в опытах, проведенных в условиях степной зоны Самарской области, в которых использовали регулятор роста Гумат К/Na с микроэлементами. Обработка семян повысила урожай зерна кукурузы на 22,6 %, а сочетание ее с обработкой по вегетации – на

37,8 %. Максимальная урожайность в среднем за годы исследований достигла 4,01 т/га [167, 169].

Регулятор роста Циркон способствует раннему прорастанию семян кукурузы. Данные результаты были получены в ходе исследований Н. А. Собчук и С. И. Чмелева, также выявлено повышение высоты растений кукурузы в целом. Регулятор роста Циркон способствует увеличению линейного роста растений кукурузы в среднем на 30,5–47,8 % и удлинению корневой системы – на 23,3–27,9 % [170].

В опытах, проведенных в Чувашии, с возделыванием гибридов кукурузы РОСС 145 МВ, Поволжский 107 СВ, Катерина СВ, НК Гитаго были применены следующие регуляторы роста: Эпин, Циркон, Байкал ЭМ 1 и Крезацин. Было отмечено увеличение урожайности зерна на 13,8–50,6 %. Также был увеличен коэффициент энергетической эффективности до 1,36 раза по сравнению с вариантом без применения регуляторов роста [171].

Предпосевная обработка семян кукурузы проводилась не только удобрениями, но и регуляторами роста. В опытах, проведенных на базе Оренбургского НИИ Н. И. Восколюбовой, перед посевом гибрида кукурузы Росс 140 СВ семена обрабатывали регулятором роста Мивал-Агро. Данный прием способствовал увеличению урожайности зеленой массы кукурузы, выходу кормовых единиц и сухого вещества [172].

Эффективность регулятора роста Мегамикс также подтверждают результаты опытов, проведенных М. В. Петровой, В. Ю. Пацкан и Т. Р. Толорая в 2013–2015 гг. Они применяли регулятор роста Мегамикс при возделывании гибрида кукурузы Краснодарский 377 АМВ. Было отмечено, что в фазу 7–8 листьев культуры применение регулятора роста Мегамикс способствовало увеличению урожайности зерна на 3,5 ц/га [173].

Кукуруза относится к культурам, которые положительно отзываются на внесение удобрений. Для формирования высокого урожая без потерь качества необходимо достаточное количество основных элементов питания [174, 175].

Кукуруза потребляет питательные вещества на протяжении всей вегетации вплоть до наступления фазы восковой спелости зерна. Но на разных стадиях роста она потребляет питательные вещества в разных количествах. В начале роста – до 30 %, к моменту выхода в трубку – 50 %, при наступлении фазы восковой спелости уровень потребления питательных веществ достигает 100 % [176, 177].

Дозы азотных удобрений под кукурузу зависят от планируемой урожайности, почвенного плодородия и предшественника, они варьируют в пределах от 60 до 90 кг/га азота. В один прием перед посевом вносят не более 60 кг/га азота. При повышенных дозах (90 кг и более) его вносят в несколько этапов: основное внесение – 60 кг/га, в виде подкормки – в дозе 30 кг/га азота в фазу 6–7 листьев культуры [178].

Внесение азотных удобрений способствует увеличению содержания белка в зерне кукурузы. Многими исследованиями доказана данная взаимосвязь азота и белка в растениях кукурузы. При этом при увеличении азотного питания содержание сырого протеина не перестает увеличиваться. Не вредны растению и избыточные дозы азотных удобрений, качество зерна при этом не теряется и содержание белка в нем увеличивается. А вот недостаток азота, особенно в фазы цветения и образования зерна в початках, может привести к замедлению роста растений и всех его вегетативных органов. Теряется зеленая окраска растения. В итоге растения становятся низкорослыми с неразвитыми листьями и светло-желтой окраской [179].

Более всего кукуруза предъявляет требования к фосфорному питанию в фазу молочной спелости [180].

На потребление калия и других основных макроэлементов влияет и скороспелость гибридов кукурузы. Учеными А. Э. Панфиловым и С. К. Мироновым доказано, что у раннеспелых гибридов фосфорные и калийные удобрения усваивались лучше азотных, а у среднераннего гибрида, наоборот – азотные удобрения усваивались лучше фосфорно-калийных [181].

Для получения качественного зерна кукурузы необходимо сбалансированное минеральное питание растений в дозах, не превышающих оптимальные значения. Оптимизированное минеральное питание кукурузы, возделываемой на зерно, способствует получению урожайности в оптимальные сроки. Нарушение оптимальных доз питательных элементов может привести к удлинению второй половины вегетации [182].

По результатам многочисленных опытов доказано положительное влияние внесения небольших доз фосфорных удобрений (в дозе 10 кг/га действующего вещества) при посеве кукурузы на стимулирование начального роста растений. Это происходит за счет лучшего укоренения. В дальнейшем это способствует увеличению урожайности зерна кукурузы. При возделывании кукурузы применяют подкормку минеральными удобрениями в период вегетации. В основном в каче-

стве подкормки используют азотные удобрения (аммиачная селитра) в дозе 30 кг/га действующего вещества. На почвах с низким содержанием фосфора и калия применяют подкормки фосфорными и калийными удобрениями. Для того чтобы вносимые в качестве подкормки минеральные удобрения быстрее и лучше усваивались растениями, проводят культивацию на глубине 8–10 см. Необходимость дополнительной подкормки определяется визуальным методом при появлении внешних признаков дефицита определенного элемента питания [177].

Зерно кукурузы – это ценный энергетический корм. Оно используется для продовольственных и технических целей. Стебли и початки кукурузы, которые используются в качестве побочной продукции, являются превосходным органическим удобрением (1 т растительных остатков эквивалентна 3,8 т подстилочного навоза), а также их можно использовать для получения биогумуса [183, 184, 185, 186].

Получение высоких и устойчивых урожаев кукурузы в Республике Беларусь возможно при применении научно обоснованных систем удобрения [163, 186]. Сбалансированное минеральное питание способствует увеличению потенциальной урожайности кукурузы и увеличению ее биометрических показателей. Это происходит за счет увеличения фотосинтетической активности, активизации обмена веществ в растениях и снижения затраченной энергии. Внесение оптимальных доз минеральных удобрений способствует повышению устойчивости растений к неблагоприятным факторам окружающей среды [187, 188, 189].

Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зерна кукурузы изучала в своих опытах В. В. Дроздова. В качестве минеральных удобрений в опытах были использованы мочевины, аммофос и хлористый калий. Все из вышеперечисленных удобрений способствовали увеличению урожайности зерна кукурузы. Максимальная урожайность зерна кукурузы была получена в варианте с применением минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{90}K_{60}$ и составила 68,5 ц/га. Минеральные удобрения повышали не только урожайность зерна кукурузы, но и ее качество. В вариантах с применением минеральных удобрений было увеличено содержание сырого протеина в зерне кукурузы [190].

В Республике Беларусь влияние минеральных удобрений на урожайность и качество кукурузы, возделываемой на зерно, было изучено в опытах Г. В. Пироговской, проведенных в 2011–2013 гг. Опыты были проведены на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, в них использовали гибрид кукурузы F_1 Дельфин. Автором было отмечено, что

применение новых форм комплексных удобрений с микроэлементами и регулятором роста Тубелак способствовало максимальному увеличению урожайности зерна по сравнению с неудобренным контрольным вариантом на 55 ц/га. Применение комплексного удобрения с цинком и медью и регулятором роста Гидрогумат способствовало увеличению урожайности зерна, которая составила 52 ц/га [191].

В опытах З. Т. Канукова, А. Е. Басиева и др. выявлено эффективное применение азотных удобрений на урожайность зерна кукурузы и ее качество. В вариантах с применением высоких доз азотных удобрений в виде мочевины увеличилось содержание белка в зерне кукурузы. Ситуация с фосфором и калием была противоположной азоту. Чем больше вносилось фосфора и калия, тем меньше его содержание было в зерне. Увеличение дозы азотных удобрений в 2 раза способствовало увеличению содержания сырого протеина в зерне кукурузы [192].

Влияние удобрений на озерненность початков кукурузы исследовала В. Н. Багринцева в 2004–2006 гг. на базе Всероссийского НИИ в Ставропольском районе. В результате исследований была выявлена стимуляция большей озерненности початков кукурузы в вариантах с применением минеральных удобрений, которые повышали озерненность початков в годы с достаточной влажностью. Эффективность применения минеральных удобрений сказывается на ранних стадиях формирования. Число зерен в годы исследований увеличивалось неравномерно. В первый год исследований увеличилось на 44 шт., во второй – на 41 и в третий – на 39 шт. [193].

В 2012–2014 гг. В. Н. Багринцевой были проведены опыты по влиянию минеральных удобрений на урожайность и качество кукурузы в зависимости от скороспелости используемых гибридов. В опытах использовали раннеспелый и среднеранний гибриды кукурузы. Применение азотных удобрений увеличило линейный рост кукурузы: высота удобренных растений в первый год исследований составила 235 см, во второй год – 218 см и в третий – 224 см. Максимальная прибавка урожайности зерна кукурузы была получена у варианта с применением азотных удобрений на среднераннем гибриде кукурузы Бештау и составила 80 ц/га зерна [194].

С. К. Мингалева исследовал влияние удобрений на продукционные процессы посевов кукурузы. В результате проведенных опытов им было отмечено, что минеральные удобрения в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ увеличивали фотосинтетическую активность хлорофилла. Параллельно с этим была значительно увеличена продуктивность посевов кукурузы. Это приве-

ло к увеличению дополнительной урожайности зеленой массы на 24 %. Автором было отмечено, что применение минеральных удобрений в оптимальных дозах, учитывая плодородие почвы и климатические условия возделывания культуры, способствует получению высокой и стабильной урожайности [195].

2.1. Влияние макро-, микроудобрений, регуляторов роста на интенсивность продукционных процессов кукурузы

В опытах кафедры агрохимии Белорусской государственной сельскохозяйственной академии исследовалось влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на продукционные процессы, урожайность и качество кукурузы на зеленую массу и зерно. Исследования проводили в 2018–2020 гг. в полевых опытах на территории УНЦ «Опытные поля БГСХА». В качестве объекта выступал гибрид кукурузы Ладога, внесенный в 2012 г. в Госреестр Республики Беларусь по всем областям. Почва опытных участков дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины 1 м моренным суглинком, характерна для большинства хозяйств данного региона. Она имела в среднем кислую (2019) и слабокислую (2018 и 2020) реакцию почвенной среды, среднюю обеспеченность гумусом, низкую и высокую обеспеченность подвижными формами меди и среднюю цинком, повышенное содержание подвижных форм фосфора, повышенное (2018) и высокое (2019 и 2020) содержание подвижных форм калия (по методу Кирсанова). Индекс агрохимической окультуренности почв 2018 г. – 0,80; 2019 г. – 0,78; 2020 г. – 0,87. По степени окультуренности почва опытного участка в 2018 и 2019 гг. была среднеокультуренной, а в 2020 г. – высокоокультуренной.

Метеорологические условия в годы проведения исследований существенно различались, что сказалось на формировании урожайности зерна и зеленой массы кукурузы. В целом вегетационный период 2018–2020 гг. протекал со значительными колебаниями погодных условий: исключительно теплая и продолжительная осень сменилась поздней, умеренно теплой и сравнительно малоснежной непродолжительной зимой фактически без промерзания почвы. Переход от зимних к весенним месяцам начался рано, но протекал медленно, с возвратными снегами и холодами. Переход к активной вегетации начался в естественное для региона время – в конце апреля – начале мая. Высо-

кая температура в мае и в июне проходила на фоне засухи, которая длилась фактически с апреля до июля.

Общая площадь делянки – 25,2 м², учетная – 16,8 м². Повторность четырехкратная. Предшественником кукурузы были зерновые культуры. Посев кукурузы был произведен сеялкой точного высева СТВ-8К. Норма высева семян: 95 тыс. шт/га – на зерно и 112 тыс. шт/га – на зеленую массу. Агротехника возделывания кукурузы общепринятая для условий Могилевской области.

В опытах до посева применялись: мочевины (46 % N); аммонизированный суперфосфат (30 % P₂O₅, 9 % N); хлористый калий (60 % K₂O), комплексное АФК-удобрение для кукурузы марки 15:12:19 с 0,2 % Zn и 0,1 % B, разработанное в РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси»; навоз КРС (влажность – 78–79 %, органическое вещество – 21–22 %, N – 0,50–0,52 %, P₂O₅ – 0,21–0,22 % и K₂O – 0,55–0,57 %). Обработку посевов кукурузы проводили в фазу 6–8 листьев регулятором роста растений Экосил (50 мл/га), микроудобрением Адоб цинк (1,5 л/га), комплексными микроудобрениями с регулятором роста МикроСтим цинк (1,5 л/га), МикроСтим цинк, медь (1,5 л/га), МикроСтим цинк, бор (1,65 л/га), комплексным удобрением Кристалон (2 кг/га).

Адоб цинк (6,2 % Zn, 9 % N и 3 % Mg); МикроСтим цинк (6–8 % Zn, 9–11 % N), МикроСтим цинк, бор (4,6 % Zn; 9,3 % N; 3,0 % B; гуминовые вещества – 0,48–6,0 г/л); МикроСтим цинк, медь (5,0 % Zn; 5,0 % Cu; 7,5 % N; гуминовые вещества – 0,48–6,0 г/л).

Комплексное удобрение Кристалон (N – 18 %; P₂O₅ – 18,0 %; K₂O – 18,0 %; MgO – 3 %; SO₃ – 5 %; B – 0,025 %; Cu (ЭДТА) – 0,01 %; Fe (ЭДТА) – 0,07 %; Mn (ЭДТА) – 0,04 %; Mo – 0,004 %; Zn (ЭДТА) – 0,025 %).

Адоб цинк (6,2 % Zn, 9 % N и 3 % Mg) производится производственно-консультативным предприятием «ADOB» (Польша) по лицензии фирмы «BASF». Препарат получен с использованием нового комплексобразующего вещества – тетранатриевой соли иминодиантарной кислоты (ИДНА), которую производит фирма «Bayer AG». Жидкий концентрат удобрения содержит 6,2 % цинка, 9 % азота и 3 % магния. В одном литре удобрения содержится 62 г цинка, 90 г азота и 30 г магния. Используется для некорневых подкормок кукурузы в фазу 6–8 листьев.

Экосил – регулятор роста и индикатор иммунитета растений. Действующее вещество – сумма тритерпеновых кислот. Препаративная

форма – 5%-ная водная эмульсия тритерпеновых кислот, тягучая жидкость темно-зеленого цвета, негорючая, невзрывоопасная, нетоксичная для человека и животных. Производитель, регистрант в Беларуси и поставщик – УП «БелУниверсалПродукт». Препарат зарегистрирован в республике на 28 культурах.

Учет урожая проводили сплошным поделяночным методом, учет урожайности семян – сплошной поделяночный комбайном «Полесье КЗС 1218».

Статистическую обработку данных проводили методами дисперсионного и корреляционного анализов по Б. А. Доспехову (1985) с использованием соответствующих программ на компьютере. Расчет экономической эффективности применения удобрений проведен по методике, разработанной РУП «Институт почвоведения и агрохимии» (Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений), в ценах по состоянию на 4 апреля 2021 г. в долларовом эквиваленте.

В фазу 3–4 листьев разница при возделывании кукурузы на зеленую массу между всеми вариантами по высоте растений была практически незначительной. В контрольном варианте без применения удобрений растения имели высоту 13,6 см. Максимального линейного роста достигли растения в вариантах с применением навоза, что значительно отличается от фонового варианта и варианта без применения удобрений (рис. 2.1).

В фазу 6–8 листьев разница между вариантами стала более значительной. Минимальный линейный рост был в варианте без применения удобрений и составил 23,0 см.

Применение минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{90}$ увеличило высоту растений в фазу 6–8 листьев на 4 см, в фазу выметывания – на 31,3 см, а в фазу молочно-восковой спелости – на 17,0 см.

Применение минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{70}K_{120}$ увеличило высоту растений в фазу 3–4 листьев на 2,0 см, в фазу 6–8 листьев – на 4,0 см, в фазу выметывания – на 37,3 см и в фазу молочно-восковой спелости – на 22 см по сравнению с вариантом без применения удобрений.

Внесение комплексного АФК-удобрения с бором и цинком увеличило высоту растений по сравнению с вариантом без применения удобрений в фазу 3–4 листьев на 2,4 см, в фазу 6–8 листьев – на 7,3 см, в фазу выметывания – на 40,3 см и в фазу молочно-восковой спелости – на 37 см.

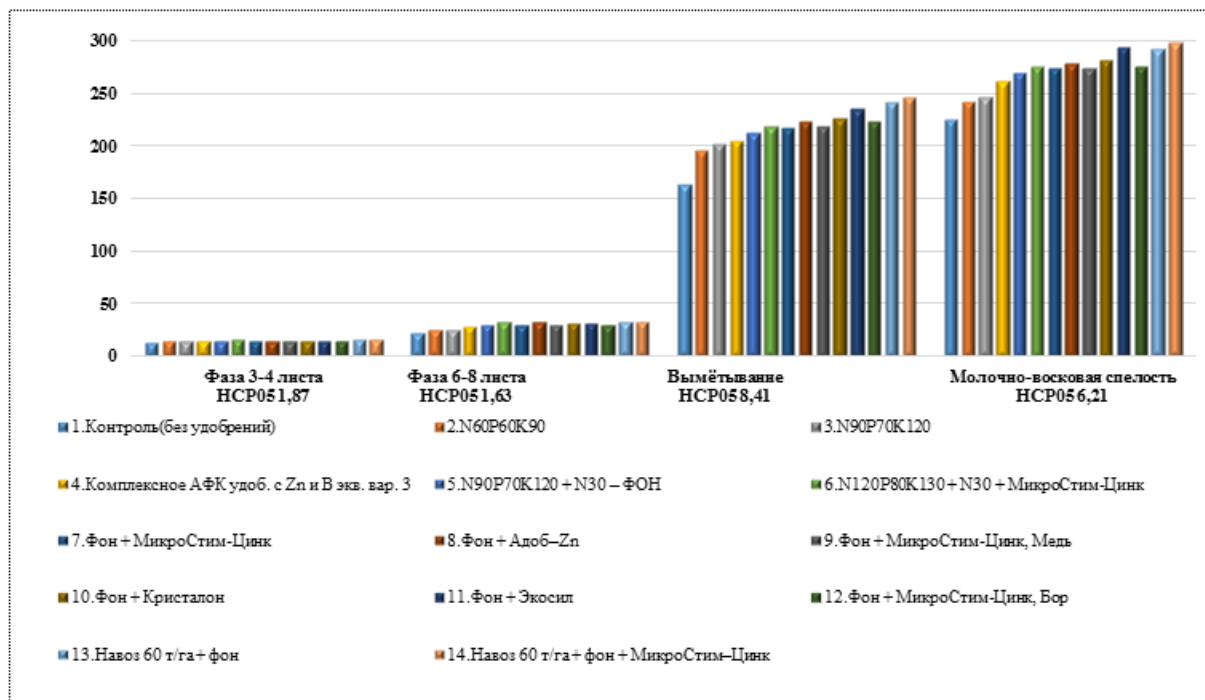


Рис. 2.1. Высота растений кукурузы в зависимости от применяемых систем удобрения, в среднем за три года, см

Вариант с применением минеральных удобрений в дозе $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ увеличил высоту растений в фазу 3–4 листьев на 3,0 см, в фазу 6–8 листьев – на 8,0 см, в фазу выметывания – на 48,3 см и в фазу молочно-восковой спелости – на 44,7 см по сравнению с вариантом без применения удобрений.

Некорневая подкормка МикроСтим цинк на фоне $N_{120+30}P_{80}K_{130}$ увеличила линейный рост кукурузы по сравнению с фоновым вариантом в фазу 6–8 листьев – на 4,0 см, в фазу выметывания – на 6,3 см и в фазу молочно-восковой спелости – на 6,3 см. Данная система за счет более высоких доз минеральных удобрений способствовала увеличению роста растений кукурузы по сравнению с вариантом (МикроСтим цинк на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$) на протяжении всего роста растений.

Некорневая подкормка Адоб цинк на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ не способствовала увеличению высоты растений кукурузы по сравнению с применением некорневой подкормки МикроСтим цинк на фоне более высоких доз минеральных удобрений ($N_{120+30}P_{80}K_{130}$).

Некорневая подкормка комплексным удобрением Кристалон на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ повысила высоту растений в фазу выметывания на 14,7 см и в фазу молочно-восковой спелости – на 12,6 см.

Обработка посевов регулятором роста Экосил увеличила высоту растений на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ в фазу выметывания на 23,7 см и в фазу молочно-восковой спелости – на 24,6 см.

Некорневая подкормка МикроСтим цинк, бор на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ в фазу выметывания повысила высоту растений на 10,3 см.

Применение навоза увеличило высоту растений на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ в фазу выметывания на 29,0 см и в фазу молочно-восковой спелости – на 23,3 см.

Внесение навоза в сочетании с МикроСтим цинк на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ повысило высоту растений в фазу выметывания на 33,7 см и в фазу молочно-восковой спелости – на 28,6 см.

Максимальная высота растений кукурузы в фазу 3–4 листьев была отмечена в варианте 60 т/га навоз + фон ($N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$) (18 см), в фазу 6–8 листьев – у варианта $N_{120}P_{80}K_{130} + N_{30}$ + МикроСтим цинк (35 см), в фазу выметывания и молочно-восковой спелости – у варианта с применением 60 т/га навоз + фон ($N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$) + МикроСтим цинк и составила 247 и 298,6 см соответственно.

Вариант с применением минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{90}$ увеличил накопление сухого вещества по сравнению с вариантом без применения удобрений в фазу выметывания на 12,3 ц/га, в фазу молочно-восковой спелости – на 18 ц/га (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Влияние применяемых систем удобрения на динамику накопления сухого вещества растениями кукурузы при возделывании на зеленую массу (в среднем за 2018–2020 гг.)

Варианты	Количество сухого вещества, ц/га			
	Фазы			
	3–4 ли- стьев	6–8 ли- стьев	выметывания	молочно- восковой спелости
1. Контроль	0,24	0,34	61,33	82,66
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	0,23	0,35	73,66	100,66
3. N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀	0,25	0,43	82,66	118,66
4. АФК-удобрение с Zn и В (в дозе, эквивалентной варианту 3)	0,26	0,46	85,00	125,33
5. N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ + N ₃₀ – фон	0,28	0,47	90,33	136,66
6. N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₃₀ + N ₃₀ + МикроСтим цинк	0,27	0,50	100,66	173,00
7. Фон + МикроСтим цинк	0,28	0,48	95,66	157,33
8. Фон + Адоб цинк	0,29	0,48	96,00	166,33
9. Фон + МикроСтим-цинк, медь	0,30	0,47	99,33	151,66
10. Фон + Кристалон	0,30	0,47	96,33	161,66
11. Фон + Экосил	0,28	0,46	99,33	162,00
12. Фон + МикроСтим цинк, бор	0,26	0,44	97,33	143,00
13. Навоз 60 т/га + фон	0,31	0,51	116,00	179,33
14. Навоз 60 т/га + фон + МикроСтим цинк	0,30	0,49	126,33	204,66
НСР ₀₅	0,010	0,013	5,113	6,682

Применение минеральных удобрений в дозе N₉₀P₇₀K₁₂₀ увеличило накопление сухого вещества по сравнению с вариантом без применения удобрений во всех фазах роста. В фазу 6–8 листьев было больше накоплено сухого вещества на 0,09 ц/га, в фазу выметывания – на 21,33 ц/га и в фазу молочно-восковой спелости – на 36 ц/га.

Вариант с применением комплексного АФК-удобрения в дозе, эквивалентной варианту с применением N₉₀P₇₀K₁₂₀ увеличил накопление сухого вещества по сравнению с вариантом без применения удобрений в фазу 6–8 листьев на 12 ц/га, в фазу выметывания – на 23,67 ц/га и в фазу молочно-восковой спелости – на 42,67 ц/га.

В варианте с применением минеральных удобрений в дозе N₉₀₊₃₀P₇₀K₁₂₀ количество накопленного сухого вещества возросло в фа-

зу 6–8 листьев на 0,13 ц/га, в фазу выметывания – на 29,0 ц/га и в фазу молочно-восковой спелости – на 54 ц/га по сравнению с вариантом без применения удобрений.

Применение МикроСтим цинк на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ в фазы выметывания и молочно-восковой спелости увеличило накопление сухого вещества на 5,33 и 20,67 ц/га соответственно.

Внесение навоза на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ увеличило накопление сухого вещества на 0,04 ц/га в фазу 6–8 листьев, на 25,67 ц/га – в фазу выметывания и на 42,67 ц/га – в фазу молочно-восковой спелости.

Максимальное количество сухого вещества было в варианте с применением навоз + $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ + МикроСтим цинк и составило 126,33 ц/га в фазу выметывания и 204,66 ц/га – в фазу молочно-восковой спелости, что и обеспечивало получение максимальной урожайности зеленой массы кукурузы.

В фазу 3–4 листьев минимальная площадь листовой поверхности была у варианта без применения удобрений и в среднем за 3 года составила 0,3 тыс. м²/га (табл. 2.2).

Применение минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{90}$ увеличило площадь листовой поверхности по сравнению с вариантом без применения удобрений в фазу 6–8 листьев на 0,35 тыс. м²/га, а в фазу выметывания – на 2,25 тыс. м²/га.

Минеральные удобрения в дозе $N_{90}P_{70}K_{120}$ способствовали возрастанию площади листовой поверхности по сравнению с вариантом без применения удобрений в фазу 6–8 листьев на 0,3 тыс. м²/га, в фазу выметывания – на 3,5 тыс. м²/га.

Вариант с применением комплексного АФК-удобрения с Zn и В в дозе, эквивалентной варианту с применением $N_{90}P_{70}K_{120}$, увеличил площадь листовой поверхности по сравнению с вариантом без применения удобрений в фазу 6–8 листьев на 0,45 тыс. м²/га, в фазу выметывания – на 4,25 тыс. м²/га и в фазу молочно-восковой спелости – на 4,25 тыс. м²/га.

В варианте с применением минеральных удобрений в дозе $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ площадь листовой поверхности возросла по сравнению с вариантом без применения удобрений в фазу 6–8 листьев на 0,4 тыс. м²/га, в фазу выметывания – на 5,7 тыс. м²/га и в фазу молочно-восковой спелости – на 5,75 тыс. м²/га.

Таблица 2.2. Площадь листовой поверхности кукурузы при возделывании на зеленую массу в зависимости от применяемых систем удобрения, (в среднем за 2018–2020 гг.)

Варианты	Площадь листовой поверхности, тыс. м ² /га			
	Фазы			
	3–4 ли- стьев	6–8 ли- стьев	выметывания	молочно- восковой спелости
1. Контроль	0,3	1,10	28,00	28,25
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	0,3	1,45	30,25	30,50
3. N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀	0,3	1,40	31,50	31,50
4. АФК-удобрение с Zn и B (в дозе, эквивалентной варианту 3)	0,3	1,55	32,25	32,50
5. N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ + N ₃₀ – фон	0,3	1,50	33,70	34,00
6. N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₃₀ + N ₃₀ + МикроСтим цинк	0,3	1,70	38,50	39,25
7. Фон + МикроСтим цинк	0,3	1,45	35,20	35,50
8. Фон + Адоб цинк	0,3	1,40	35,75	35,75
9. Фон + МикроСтим цинк, медь	0,3	1,45	37,25	39,25
10. Фон + Кристалон	0,3	1,60	39,50	42,50
11. Фон + Экосил	0,3	1,50	35,75	36,25
12. Фон + МикроСтим цинк, бор	0,3	1,40	35,75	37,25
13. Навоз 60 т/га + фон	0,3	1,45	40,00	44,25
14. Навоз 60 т/га + фон + МикроСтим цинк	0,3	1,50	41,45	46,25
НСР ₀₅	0,015	0,189	1,946	3,244

Применение микроудобрения МикроСтим цинк в сочетании с минеральными удобрениями в дозе N₁₂₀₊₃₀P₈₀K₁₃₀ увеличило площадь листовой поверхности по сравнению с фоновым вариантом в фазу выметывания на 4,8 тыс. м²/га и в фазу молочно-восковой спелости – на 5,25 тыс. м²/га.

Вариант с применением Адоб цинк на фоне N₉₀₊₃₀P₇₀K₁₂₀ увеличил площадь листовой поверхности по сравнению с фоновым вариантом в фазу выметывания на 2,05 тыс. м²/га.

Применение МикроСтим цинк, медь на фоне N₉₀₊₃₀P₇₀K₁₂₀ увеличило площадь листовой поверхности по сравнению с фоновым вариантом (N₉₀P₇₀K₁₂₀ + N₃₀) в фазу выметывания на 3,55 тыс. м²/га и в фазу молочно-восковой спелости – на 5,25 тыс. м²/га.

Площадь листовой поверхности в варианте с применением комплексного удобрения Кристалон на фоне N₉₀₊₃₀P₇₀K₁₂₀ была выше фо-

нового варианта в фазу выметывания на 5,8 тыс. м²/га и в фазу молочно-восковой спелости – на 8,5 тыс. м²/га.

Применение некорневой подкормки МикроСтим цинк, бор на фоне N₉₀₊₃₀P₇₀K₁₂₀ увеличило площадь листовой поверхности по сравнению с фоновым вариантом в фазу выметывания на 2,05 тыс. м²/га и в фазу молочно-восковой спелости – на 3,25 тыс. м²/га.

Применение 60 т/га навоза в сочетании с N₉₀₊₃₀P₇₀K₁₂₀ увеличило площадь листовой поверхности по сравнению с фоновым вариантом (N₉₀P₇₀K₁₂₀ + N₃₀) в фазу выметывания на 6,3 тыс. м²/га и в фазу молочно-восковой спелости – на 10,25 тыс. м²/га.

Применение 60 т/га навоза в сочетании с некорневой подкормкой МикроСтим цинк на фоне N₉₀₊₃₀P₇₀K₁₂₀ увеличило площадь листовой поверхности в фазу выметывания на 7,5 тыс. м²/га и в фазу молочно-восковой спелости – на 12,25 тыс. м²/га по сравнению с фоновым вариантом.

Разницы в показателях фотосинтетического потенциала между всеми применяемыми системами удобрений в период от всходов до фазы 3–4 листьев не установлено – 0,004 м² · сутки/га (табл. 2.3).

Таблица 2.3. Фотосинтетический потенциал в зависимости от применяемых систем удобрения кукурузы (в среднем за 2018–2020 гг.)

Варианты	Фотосинтетический потенциал в период фаз, млн, м ² · сутки/га			
	всходы – 3–4 листьев	3–4 листь- ев – 6–8 листь- ев	6–8 листьев – выметывание	всходы – 3–4 листьев
1	2	3	4	5
1. Контроль	0,004	0,139	0,636	0,975
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	0,004	0,152	0,691	1,048
3. N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀	0,004	0,154	0,716	1,081
4. АФК-удобрение с Zn и В (в дозе, эквивалентной варианту 3)	0,004	0,167	0,751	1,114
5. N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ + N ₃₀ – фон	0,004	0,173	0,781	1,156
6. N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₃₀ + N ₃₀ + МикроСтим цинк	0,004	0,217	0,931	1,362
7. Фон + МикроСтим цинк	0,004	0,186	0,836	1,209
8. Фон + Адоб цинк	0,004	0,188	0,850	1,223
9. Фон + МикроСтим цинк, медь	0,004	0,201	0,891	1,360

1	2	3	4	5
10. Фон + Кристалон	0,004	0,224	0,971	1,493
11. Фон + Экосил	0,004	0,186	0,874	1,233
12. Фон + Микро-Стимм цинк, бор	0,004	0,188	0,871	1,290
13. Навоз 60 т/га + фон	0,004	0,230	1,033	1,545
14. Навоз 60 т/га + фон + МикроСтим цинк	0,004	0,232	1,039	1,590

Фотосинтетический потенциал в период фаз 3–4 листьев – 6–8 листьев в варианте с применением комплексного удобрения с Zn и B в дозе, эквивалентной варианту с применением $N_{90}P_{70}K_{120}$, был выше по сравнению с вариантом без применения удобрений на 0,028 млн. $m^2 \cdot \text{сутки/га}$, в период фаз 6–8 листьев – выметывание – на 0,115 млн. $m^2 \cdot \text{сутки/га}$ и в период фаз выметывание – молочно-восковая спелость – на 0,139 млн. $m^2 \cdot \text{сутки/га}$.

Из всех применяемых в опытах микроудобрений (Адоб цинк, МикроСтим цинк, МикроСтим цинк, бор, МикроСтим цинк, медь) на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ наибольшее увеличение фотосинтетического потенциала отмечено при некорневой подкормке МикроСтим цинк, медь, которое в период фаз 3–4 листьев – 6–8 листьев составило 0,201 млн. $m^2 \cdot \text{сутки/га}$, в период фаз 6–8 листьев – выметывание – 0,891 млн. $m^2 \cdot \text{сутки/га}$ и в период фаз выметывание – молочно-восковая спелость – 1,360 млн. $m^2 \cdot \text{сутки/га}$.

Применение комплексного удобрения Кристалон на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ повысило фотосинтетический потенциал в период фаз 3–4 листьев – 6–8 листьев на 0,051 млн. $m^2 \cdot \text{сутки/га}$, в период фаз 6–8 листьев – выметывание – на 0,19 млн. $m^2 \cdot \text{сутки/га}$ и в период фаз выметывание – молочно-восковая спелость – на 0,337 млн. $m^2 \cdot \text{сутки/га}$.

Использование навоза 60 т/га на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ увеличило фотосинтетический потенциал в период фаз 3–4 листьев – 6–8 листьев на 0,057 млн. $m^2 \cdot \text{сутки/га}$, в период фаз 6–8 листьев – выметывание – на 0,252 млн. $m^2 \cdot \text{сутки/га}$ и в период фаз выметывание – молочно-восковая спелость – на 0,389 млн. $m^2 \cdot \text{сутки/га}$.

Некорневая подкормка МикроСтим цинк на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ в сочетании с применением 60 т/га навоза способствовала максимально-му увеличению фотосинтетического потенциала в период фаз 3–4 листьев – 6–8 листьев на 0,059 млн. $m^2 \cdot \text{сутки/га}$, в период фаз 6–8 листьев – выметывание – на 0,258 млн. $m^2 \cdot \text{сутки/га}$, в период фаз выметывание – молочно-восковая спелость – на 0,434 млн. $m^2 \cdot \text{сутки/га}$.

В опытах определяли и чистую продуктивность фотосинтеза. Применение удобрений способствовало увеличению данного показателя.

Минеральные удобрения в дозе $N_{90}P_{70}K_{120}$ способствовали возрастанию чистой продуктивности фотосинтеза по сравнению с вариантом без применения удобрений в период фаз всходы – 3–4 листьев на $0,20 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$, в период фаз 6–8 листьев – выметывание – на $0,31 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$ и в период фаз выметывание – молочно-восковая спелость – на $1,16 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$ (табл. 2.4).

Таблица 2.4. Влияние применяемых систем удобрения на чистую продуктивность фотосинтеза кукурузы (в среднем за 2018–2020 гг.)

Варианты	Чистая продуктивность фотосинтеза в периоды фаз, $\text{г/м}^2 \cdot \text{сутки}$			
	всходы – 3–4 листь- ев	3–4 листьев – 6–8 листьев	6–8 листьев – выметывание	выметывание – молочно- восковая спе- лость
1. Контроль	2,14	3,20	5,47	4,59
2. $N_{60}P_{60}K_{90}$	2,31	3,40	6,05	5,31
3. $N_{90}P_{70}K_{120}$	2,34	3,51	6,61	5,75
4. АФК-удобрение с Zn и B (в дозе, эквивалентной ва- рианту 3)	2,59	3,50	6,70	6,00
5. $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ – фон	2,61	3,76	7,09	6,28
6. $N_{120}P_{80}K_{130} +$ $N_{30} + \text{МикроСтим}$ цинк	2,62	3,45	7,49	6,96
7. Фон + Микро- Стим цинк	2,69	3,67	7,39	6,46
8. Фон + Адоб цинк	2,59	3,65	7,26	6,90
9. Фон + Микро- Стим цинк, медь	2,93	3,58	7,80	7,65
10. Фон + Криста- лон	3,04	3,53	7,98	7,75
11. Фон + Экосил	2,74	3,83	7,75	6,98
12. Фон + Микро- Стим цинк, бор	2,72	3,98	7,71	6,95
13. Навоз 60 т/га + фон	2,98	4,19	9,02	7,53
14. Навоз 60 т/га + фон + МикроСтим цинк	2,80	4,17	9,88	8,39

Чистая продуктивность фотосинтеза в варианте с применением комплексного удобрения с Zn и B в дозе, эквивалентной варианту с применением $N_{90}P_{70}K_{120}$, в период фаз всходы – 3–4 листьев составила $2,59 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$, в период фаз 3–4 листьев – 6–8 листьев – $3,50 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$, в период фаз 6–8 листьев – выметывание – $6,70 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$ и в период фаз выметывание – молочно-восковая спелость – $6,0 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$.

В варианте с применением Адоб цинк на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ чистая продуктивность фотосинтеза увеличилась по сравнению с фоном в период фаз выметывание – молочно-восковая спелость на $0,62 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$.

Применение МикроСтим цинк, медь на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ способствовало увеличению чистой продуктивности фотосинтеза в период фаз всходы – 3–4 листьев на $0,32 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$, в период фаз 6–8 листьев – выметывание – на $0,71 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$ и в период фаз выметывание – молочно-восковая спелость – на $1,37 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$.

Существенного увеличения чистой продуктивности фотосинтеза достиг вариант с применением некорневой подкормки комплексным удобрением Кристалон на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$. Чистая продуктивность фотосинтеза в данном варианте была выше фонового варианта в период фаз всходы – 3–4 листьев на $0,43 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$, в период фаз 6–8 листьев – выметывание – на $0,89 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$ и в период фаз выметывание – молочно-восковая спелость – на $1,47 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$.

Применение некорневой подкормки МикроСтим цинк, бор на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ повысило чистую продуктивность фотосинтеза на $0,22 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$ в период фаз 3–4 листьев – 6–8 листьев, в период фаз 6–8 листьев – выметывание – на $0,62 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$ и в период фаз выметывание – молочно-восковая спелость – на $0,67 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$.

Применение 60 т/га навоза на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ увеличило чистую продуктивность фотосинтеза в период фаз всходы – 3–4 листьев на $0,37 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$, в период фаз 3–4 листьев – 6–8 листьев – на $0,43 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$, в период фаз 6–8 листьев – выметывание – на $1,93 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$ и в период фаз выметывание – молочно-восковая спелость – на $1,25 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$.

Максимальных значений по данному показателю достиг вариант с применением 60 т/га навоза в сочетании с некорневой подкормкой МикроСтим цинк на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$, который увеличил чистую продуктивность фотосинтеза по сравнению с фоном в период фаз всходы – 3–4 листьев на $0,19 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$, в период фаз 3–4 листьев –

6–8 листьев – на $0,41 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$, в период фаз 6–8 листьев – выметывание – на $2,79 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$ и в период фаз выметывание – молочно-восковая спелость – на $2,11 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$.

2.2. Урожайность кукурузы в зависимости от применяемых форм удобрений и регуляторов роста

Применение $N_{60}P_{60}K_{90}$ и $N_{90}P_{70}K_{120}$ повысило урожайность зеленой массы кукурузы по сравнению с необогащенным контролем в среднем за 3 года на 76 ц/га и 112 ц/г при окупаемости 1 кг NPK 36,1 и 40,0 кг зеленой массы (табл. 2.5).

Таблица 2.5. Влияние применяемых систем удобрения на урожайность зеленой массы кукурузы (в среднем за 2018–2020 гг.)

Вариант	Урожайность, ц/га			Среднее	Прибавка к контролю, ц/га	Прибавка к фону, ц/га	Окупаемость 1 кг NPK, кг зел. массы
	2018 г.	2019 г.	2020 г.				
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Контроль	260	365	385	336	–	–	–
2. $N_{60}P_{60}K_{90}$	314	432	490	412	76	–	36,1
3. $N_{90}P_{70}K_{120}$	357	459	530	448	112	–	40,0
4. АФК-удобрение с Zn и В (в дозе, эквивалентной варианту 3)	384	491	560	478	142	–	50,6
5. $N_{90}P_{70}K_{120}$ + N_{30} – фон	410	511	595	505	169	–	60,2
6. $N_{120}P_{80}K_{130}$ + N^{30} + МикроСтим цинк	530	729	650	636	300	–	90,8
7. Фон + МикроСтим цинк	480	564	610	551	215	46	76,6
8. Фон + Адоб цинк	488	594	615	565	229	60	81,7
9. Фон + МикроСтим цинк, медь	505	678	630	604	268	99	95,6
10. Фон + Кристалон	518	729	672	639	303	134	108,2
11. Фон + Экосил	458	538	625	540	204	35	72,7
12. Фон + МикроСтим цинк, бор	495	656	625	592	256	87	91,4

1	2	3	4	5	6	7	8
13. Навоз 60 т/га + фон	626	756	710	697	361	192	–
14. Навоз 60 т/га + фон + МикроСтим цинк	696	796	720	737	401	232	–
НСР ₀₅	–	24,0	27,5	21,1	–	–	–

Специализированное комплексное удобрение для кукурузы с цинком и бором по сравнению с внесением в эквивалентной дозе $N_{90}P_{70}K_{120}$ мочевины, аммонизированного суперфосфата и хлористого калия увеличило урожайность зеленой массы кукурузы на 30 ц/га.

Некорневые подкормки на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ Адоб цинк, МикроСтим цинк, МикроСтим цинк, медь и МикроСтим цинк, бор повысили урожайность зеленой массы кукурузы на 60, 46, 99 и 87 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 81, 76, 95 и 91 кг зеленой массы соответственно.

Подкормка комплексным удобрением Кристалон на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ увеличила урожайность зеленой массы по сравнению с фоновым вариантом на 134 ц/га при высокой окупаемости 1 кг NPK 108 кг зеленой массы кукурузы. Более высокая урожайность зеленой массы кукурузы при минеральной системе удобрений была в варианте с применением МикроСтим цинк на фоне высоких доз минеральных удобрений $N_{120}P_{80}K_{130} + N_{30}$ и в варианте $N_{90+30}P_{70}K_{120} +$ Кристалон и составила 636 и 639 ц/га соответственно.

Обработка посевов кукурузы регулятором роста Экосил на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ повысила урожайность зеленой массы по сравнению с фоном на 35 ц/га. Сочетание навоза и минеральных удобрений обеспечило самую высокую урожайность зеленой массы. При внесении 60 т навоза + $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ и 60 т/га навоза + $N_{90+30}P_{70}K_{120} +$ МикроСтим цинк урожайность зеленой массы составила 697 и 737 ц/га.

Применение минеральных удобрений в дозе $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ по сравнению с вариантом $N_{90}P_{70}K_{120}$, где также применялись карбамид; аммонизированный суперфосфат; хлористый калий, увеличило урожайность зерна кукурузы на 11,5 ц/га (табл. 2.6).

Минимальное значение по данному показателю имел вариант без применения удобрений (47,9 ц/га) в среднем за 3 года исследований.

Некорневые подкормки на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ Адоб цинк, МикроСтим цинк, МикроСтим цинк, медь и МикроСтим цинк, бор повысили

урожайность зерна кукурузы по сравнению с фоновым вариантом на 6,9, 6,3, 8,8 и 11 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 16,6, 16,3, 17,2 и 18,0 кг зерна соответственно.

Таблица 2.6. Влияние применяемых систем удобрения на урожайность зерна кукурузы (в среднем за 2018–2020 гг.)

Вариант	Урожайность, ц/га			Среднее	Прибавка к контролю, ц/га	Прибавка к фону, ц/га	Окупаемость 1 кг NPK, кг зерна
	2018 г.	2019 г.	2020 г.				
1. Контроль	48,0	50,0	45,9	47,9	–	–	–
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	59,3	57,0	78,9	65,0	17,1	–	8,1
3. N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀	69,3	63,0	95,9	76,0	28,1	–	10,0
4. АФК-удобрение с Zn и B (в дозе, эквивалентной варианту 3)	75,8	66,0	99,9	80,5	32,6	–	11,6
5. N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ + N ₃₀ – фон	83,8	73,0	105,7	87,5	39,6	–	14,1
6. N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₃₀ + N ₃₀ + МикроСтим цинк	96,8	80,0	112,1	96,3	48,4	–	14,6
7. Фон + МикроСтим цинк	91,0	79,0	111,5	93,8	45,9	6,3	16,3
8. Фон + Адоб цинк	91,3	80,0	111,9	94,4	46,5	6,9	16,6
9. Фон + МикроСтим цинк, медь	91,3	84,0	113,5	96,3	48,4	8,8	17,2
10. Фон + Кристаллон	97,3	95,0	113,9	102,0	54,1	14,5	19,3
11. Фон + Экосил	90,8	80,0	108,2	93,0	45,1	5,5	16,1
12. Фон + МикроСтим цинк, бор	91,8	90,0	113,7	98,5	50,6	11,0	18,0
13. Навоз 60 т/га + фон	107,8	96,0	118,7	107,5	59,6	20,0	–
14. Навоз 60 т/га + фон + МикроСтим цинк	108,5	99,0	124,5	110,6	62,7	23,1	–
НСР ₀₅	5,41	5,44	7,12	5,17	–	–	–

Применение регулятора роста Экосил увеличило урожайность зерна кукурузы по сравнению с фоновым вариантом N₉₀₊₃₀P₇₀K₁₂₀ на 5,5 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 16,1 кг зерна.

Урожайность зерна кукурузы в варианте с применением некорневой подкормки комплексным удобрением Кристаллон на фоне

$N_{90+30}P_{70}K_{120}$ составила 102,0 ц/га в среднем за 3 года исследований, что на 14,5 ц/га больше фонового варианта. В этом варианте опыта отмечена максимальная урожайность зерна при минеральной системе удобрения и окупаемость 1 кг NPK 19,3 кг зерна.

Внесение 60 т/га навоза увеличило урожайность зерна по сравнению с фоном на 20,0 ц/га. Средняя урожайность за 3 года в данном варианте составила 107,5 ц/га.

Максимальная урожайность зерна была получена в варианте с применением навоза на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ с некорневой подкормкой МикроСтим цинк (75 г/га) и составила 110,6 ц/га, что на 23,1 ц/га больше фонового варианта.

2.3. Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на качество кукурузы

Качество зеленой массы кукурузы зависит от содержания в ней основных макро- и микроэлементов. Поэтому в зеленой массе определяли содержание азота, фосфора и калия.

Минимальное содержание азота (1,09 %) в зеленой массе кукурузы было в контрольном варианте без применения удобрений (табл. 2.7).

Таблица 2.7. Качество зеленой массы кукурузы в зависимости от применяемых систем удобрения (в среднем за 2018–2020 гг.)

Варианты	% на сухое вещество								
	N, %	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O, %	Ca, мг/кг	Zn, мг/кг	Сырая зола, %	Сырой жир, %	Сырая клетчатка, %	Сырой протеин, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Контроль	1,09	0,52	1,35	2,04	5,76	5,92	1,08	23,40	6,83
2. $N_{60}P_{60}K_{90}$	1,10	0,90	1,52	2,56	9,51	5,53	0,78	24,23	6,92
3. $N_{90}P_{70}K_{120}$	1,23	0,58	1,58	2,82	10,88	5,32	1,08	23,19	7,70
4. АФК-удобрение с Zn и B (в дозе, эквивалентной варианту 3)	1,37	0,79	1,50	2,23	14,95	5,30	1,06	22,34	8,56
5. $N_{90}P_{70}K_{120}$ + N_{30} – фон	1,35	1,14	1,65	2,46	12,00	5,93	1,24	22,46	8,43
6. $N_{120}P_{80}K_{130}$ + N_{30} + МикроСтим цинк	1,43	0,95	1,53	2,46	14,01	5,95	1,14	21,99	8,93
7. Фон + МикроСтим цинк	1,38	1,08	1,70	2,73	11,71	5,62	0,99	23,59	8,66

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8. Фон + Адоб-цинк	1,44	0,80	1,65	2,54	13,81	5,64	1,16	22,87	9,03
9. Фон + МикроСтим цинк, медь	1,35	0,84	1,69	4,72	25,41	5,28	1,10	22,78	8,46
10. Фон + Кристалон	1,46	1,07	1,94	3,77	21,09	5,92	1,22	23,32	9,12
11. Фон + Эко-сил	1,39	0,89	1,65	2,52	12,84	5,52	1,15	22,50	8,73
12. Фон + МикроСтим цинк, бор	1,42	0,86	1,70	2,83	15,63	5,87	1,16	22,58	8,91
13. Навоз 60 т/га + фон	1,79	0,97	1,73	2,90	17,46	6,02	1,14	22,09	11,23
14. Навоз 60 т/га + фон + МикроСтим цинк	1,70	0,97	1,65	2,55	20,19	4,92	1,21	21,91	10,67
НСР ₀₅	0,323	0,173	0,179	0,958	9,884	1,289	0,693	2,733	1,789

Содержание азота в фоновом варианте с применением минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ составило 1,35 %.

Применение различных систем удобрения способствовало возрастанию содержания азота в зеленой массе кукурузы, причем максимальное значение (1,79 %) достигнуто в варианте с применением навоза на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$, что на 0,44 % больше фонового варианта.

Применение минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{90}$ не повлияло на увеличение содержания азота в зеленой массе кукурузы. Это связано с тем, что высокая доза азота увеличила урожайность зеленой массы в данном варианте с 336 ц/га (на контроле) до 412 ц/га (в варианте с применением $N_{60}P_{60}K_{90}$). Происходило биологическое разбавление урожая, в результате чего не изменялось содержание азота.

По содержанию фосфора в зеленой массе кукурузы минимальное значение (0,52 %), так же как и по содержанию азота, имел вариант без применения удобрений. Применение минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ (фон) увеличило количество P_2O_5 до 1,14 %. В варианте с внесением нового комплексного АФК-удобрения с бором и цинком содержание фосфора в зеленой массе кукурузы выросло по сравнению с вариантом, где использовались в эквивалентной дозе стандартные минеральные удобрения ($N_{90}P_{70}K_{120}$), на 0,21 %. Во всех

остальных вариантах применения удобрений содержание фосфора было практически одинаковым.

По содержанию калия в зеленой массе кукурузы минимальное значение (1,35 %) имел вариант без применения удобрений. Применение минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{70}K_{120}$ увеличило содержание K_2O в зеленой массе по сравнению с контрольным вариантом на 0,23 %.

В зеленой массе фонового варианта ($N_{90+30}P_{70}K_{120}$) содержалось 1,65 % калия. Применение некорневой подкормки комплексным удобрением Кристалон в дозе 2 кг/га в фазе 6–8 листьев на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ привело к максимальному увеличению (на 0,29 %) содержания калия в зеленой массе до 1,94 %.

Некорневая подкормка МикроСтим цинк, медь на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ способствовала максимальному накоплению меди в зеленой массе среди всех вариантов на 2,26 мг/кг относительно фонового варианта до 4,72 мг/кг. Некорневая подкормка комплексным удобрением Кристалон на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ увеличила содержание меди в зеленой массе на 1,31 мг/кг.

Минимальное содержание цинка в зеленой массе было в варианте без применения удобрений и составило 5,76 мг/кг сухого вещества.

Оптимальное содержание цинка составляет 20–40 мг/кг сухого вещества. В фоновом варианте ($N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$) содержание цинка в зеленой массе составило 12,0 мг/кг. Некорневая подкормка МикроСтим цинк, медь $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ повысила содержание цинка в зеленой массе кукурузы на 13,41 мг/кг, которое составило 25,41 мг/кг. В этом варианте и было максимальное содержание цинка среди всех применяемых систем удобрений. В вариантах навоз + $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ + МикроСтим цинк, $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ + МикроСтим цинк, медь и $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ + Кристалон содержание цинка в зеленой массе находилось в оптимальных пределах.

Минимальное содержание сырой золы в зеленой массе кукурузы было в варианте с применением некорневой подкормки МикроСтим цинк на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ в сочетании с 60 т/га навоза – 4,92 %. В варианте без применения удобрений оно составило 5,92 %.

Применение минеральных макро- и микроудобрений, регуляторов роста и органических удобрений не способствовало увеличению содержания сырой золы в зеленой массе кукурузы по сравнению с контрольным вариантом без удобрений (см. табл. 2.7).

По содержанию сырого жира наименьшее значение было в варианте с применением минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{90}$ (0,78 %).

В неудобренном контрольном варианте содержание сырого жира существенно не отличалось от всех других применяемых систем удобрения в опыте и составило 1,08 %.

Наименьшее содержание сырой клетчатки в зеленой массе кукурузы отмечено в варианте с применением некорневой подкормки МикроСтим цинк на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ в сочетании с 60 т/га навоза и составило 21,91 %. Максимальные значения были у вариантов без применения удобрений, $N_{60}P_{60}K_{90}$, некорневой подкормкой микроудобрением МикроСтим цинк фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$. В этих вариантах опыта содержание сырой клетчатки составляло 23,40–24,23 %. Содержание сырой клетчатки во всех вариантах опыта было в оптимальных пределах.

Содержание сырого протеина в варианте без применения удобрений было минимальным и составило 6,83 %, а в фоновом варианте – 8,43 %.

Максимальное содержание сырого протеина в зеленой массе кукурузы было в вариантах с применением 60 т/га навоза на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ и 60 т/га навоза в сочетании с некорневой подкормкой МикроСтим цинк на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ и составило 11,23 и 10,67 % соответственно. Все остальные применяемые системы удобрения отличались от фонового варианта незначительно (табл. 2.8).

В табл. 2.8 представлено содержание нитратов, обеспеченность к. ед. переваримым протеином, г, выход кормовых единиц и сбор сырого и переваримого протеина в зеленой массе кукурузы.

Существенным недостатком кукурузного корма является низкое содержание сырого протеина. При внесении навоз 60 т/га + фон ($N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$) содержание сырого протеина составило 11,23 %, было собрано 19,7 ц/га сырого, 11,4 ц/га переваримого протеина.

Изменились содержание и сбор сырого протеина от применения микроудобрений и регулятора роста. Применение комплексного удобрения Кристалон увеличило сбор сырого протеина на 3,2 ц/га и переваримого протеина на 1,8 ц/га по сравнению с фоновым вариантом ($N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$). При минеральной системе удобрения максимальный сбор сырого и переваримого протеина был в варианте с применением минеральных удобрений в дозе $N_{120}P_{80}K_{130} + N_{30}$ с некорневой подкормкой МикроСтим цинк и составил 15,6 и 9,0 ц/га.

Важным показателем качества кормов является обеспеченность кормовой единицы граммами переваримого протеина. Наименьшая обеспеченность кормовой единицы граммами переваримого протеина

была в контрольном варианте. Максимальная обеспеченность кормовой единицы граммами переваримого протеина была в варианте навоз 60 т/га + фон ($N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$) + МикроСтим цинк и составила 85 г.

Таблица 2.8. Влияние применяемых систем удобрения на содержание и сбор сырого протеина и переваримого протеина кукурузы при возделывании на зеленую массу (в среднем за 2018–2020 гг.)

Варианты	Сбор сырого протеина, ц/га	Сбор переваримого протеина, ц/га	Обеспеченность к. ед. переваримым протеином, г	Выход кормовых единиц, ц/га	Энергетическая ценность, МДж/га	Содержание нитратов мг/кг (2019–2020 гг.)	
1. Контроль	5,4	3,1	49	67,3	154504	379,0	349,5
2. $N_{60}P_{60}K_{90}$	6,8	3,9	50	82,4	188146	234,5	355,0
3. $N_{90}P_{70}K_{120}$	9,0	5,2	60	89,7	221788	331,0	351,5
4. АФК-удобрение с Zn и B (в дозе, эквивалентной варианту 3)	10,6	6,1	66	95,6	234248	–	225,0
5. $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ – фон	11,4	6,6	66	101,06	255430	408,0	353,0
6. $N_{120}P_{80}K_{130} + N_{30}$ + МикроСтим цинк	15,6	9,0	70	127,2	323337	402,0	271,0
7. Фон + МикроСтим цинк	13,7	7,9	73	110,2	294056	245,0	300,5
8. Фон + Адоб цинк	15,0	8,7	77	113,1	310877	268,0	345,0
9. Фон + МикроСтим цинк, медь	12,3	7,1	61	120,8	283465	256,0	257,5
10. Фон + Кристаллон	14,6	8,4	69	127,9	302155	275,0	346,0
11. Фон + Экосил	13,9	8,0	76	108,0	302778	390,0	407,0
12. Фон + МикроСтим цинк, бор	12,2	7,0	60	118,4	267267	295,0	385,0
13. Навоз 60 т/га + фон	19,7	11,4	82	139,4	335174	264,0	343,0
14. Навоз 60 т/га + фон + МикроСтим цинк	21,6	12,5	85	147,4	382522	345,0	415,5

Содержание нитратов во всех вариантах опыта не превышало ПДК и было в пределах нормы.

Максимальная энергетическая ценность зеленой массы кукурузы получена в вариантах с органоминеральной системой удобрений и была в пределах от 335 174 до 382 522 МДж/га.

При минеральной системе удобрения максимальная энергетическая ценность зеленой массы кукурузы была получена в вариантах фон + Адоб цинк и $N_{120+30}P_{80}K_{130}$ + МикроСтим цинк и составила 310 877 и 323 337 МДж/га.

Так же, как и в зеленой массе, исследовалось содержание азота, фосфора, калия, меди, сырой золы, клетчатки и жира в зерне кукурузы (табл. 2.9).

Чем больше была доза вносимого с удобрением азота, тем больше его содержание было в зерне кукурузы. Минимальное его содержание было в неудобренном контрольном варианте и составило 0,97 %.

В фоновом варианте ($N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$) содержание азота в зерне кукурузы составило 1,10 % в среднем за все 3 года исследований.

Применение некорневой подкормки комплексным удобрением Кристалон на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ увеличило содержание азота на 0,24 % (до 1,34 %) по сравнению с фоновым вариантом.

Максимальное содержание азота в зерне кукурузы было в вариантах с применением 60 т/га навоза на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ и 60 т/га навоза в сочетании с некорневой подкормкой МикроСтим цинк на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ и составило 1,46 и 1,49 % соответственно.

Максимальное содержание фосфора было в вариантах с применением минеральных удобрений в дозе $N_{120}P_{80}K_{130} + N_{30}$ с некорневой подкормкой МикроСтим цинк; некорневой подкормкой комплексным удобрением Кристалон на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$, 60 т/га навоза на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ и 60 т/га навоза в сочетании с некорневой подкормкой МикроСтим цинк на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ и составило 0,65, 0,65, 0,68 и 0,66 % соответственно. Во всех остальных вариантах содержание фосфора практически не отличалось.

По содержанию калия в зерне кукурузы минимальное значение (0,44 %) было в варианте без применения удобрений (табл. 2.9).

В фоновом варианте с применением минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ содержание калия в зерне достигло 0,53 %. Во всех остальных вариантах содержание калия не отличалось от фонового варианта, кроме варианта с применением комплексного удобрения Кристалон на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$. В данном варианте было максимальное содержание калия, которое составило 0,59 %.

Таблица 2.9. Влияние применяемых систем удобрения на качество зерна кукурузы (в среднем за 2018–2020 гг.)

Варианты	% на сухое вещество								
	N, %	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O, %	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	Сырая зола, %	Сырой жир, %	Сырая клетчатка, %	Сырой протеин, %
1. Контроль	0,97	0,54	0,44	1,34	11,21	1,60	3,61	2,54	6,09
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	1,02	0,60	0,47	1,34	11,62	1,44	3,14	2,41	6,37
3. N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀	1,03	0,62	0,54	1,37	11,14	1,42	3,41	2,50	6,43
4. АФК-удобрение с Zn и В (в дозе, эквивалентной варианту 3)	1,06	0,58	0,52	1,37	12,45	1,49	3,33	2,49	6,66
5. N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ + N30 – фон	1,10	0,58	0,53	1,39	11,19	1,44	3,33	2,11	6,91
6. N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₃₀ + N ₃₀ + МикроСтим цинк	1,20	0,65	0,54	1,41	12,98	1,52	3,54	2,22	7,52
7. Фон + МикроСтим цинк	1,16	0,54	0,53	1,45	13,42	1,44	3,62	2,19	7,26
8. Фон + Адоб цинк	1,18	0,51	0,52	1,51	15,05	1,54	3,40	2,01	7,40
9. Фон + МикроСтим цинк, медь	1,16	0,61	0,53	2,03	14,46	1,50	3,58	2,19	7,28
10. Фон + Кристалон	1,34	0,65	0,59	1,78	12,71	1,38	3,54	2,11	8,42
11. Фон + Экосил	1,12	0,60	0,55	1,49	12,62	1,58	3,36	2,27	7,00
12. Фон + МикроСтим цинк, бор	1,15	0,59	0,54	1,48	12,94	1,57	3,36	2,21	7,20
13. Навоз 60 т/га + фон	1,46	0,68	0,53	1,64	13,13	1,56	3,50	2,22	9,12
14. Навоз 60 т/га + фон + МикроСтим цинк	1,49	0,66	0,54	1,50	13,18	1,46	3,46	1,88	9,31
НСР ₀₅	0,168	0,074	0,061	0,110	1,095	0,164	0,451	0,482	0,734

По содержанию меди минимальное значение (1,34 %) имели варианты с применением минеральных удобрений в дозе N₆₀P₆₀K₉₀ и неудобренный контрольный вариант. В фоновом варианте содержание меди составило 1,39 мг/кг.

Наибольшее увеличение содержания меди в зерне кукурузы по сравнению с фоновым вариантом была у трех вариантов: некорневая подкормка МикроСтим цинк, медь на фоне N₉₀P₇₀K₁₂₀ + N₃₀

(на 0,64 мг/кг), некорневая подкормка комплексным удобрением Кристалон на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ (на 0,39 мг/кг) и в варианте с применением 60 т/га навоза на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ (на 0,25 мг/кг). Содержание меди в данных вариантах составило 2,03, 1,78 и 1,64 мг/кг соответственно.

Максимальное содержание цинка в зерне кукурузы было в варианте с применением некорневой подкормки Адоб цинк и составило 15,05 мг/кг. Несколько ниже содержание цинка в зерне было в варианте с применением некорневой подкормки МикроСтим цинк, медь на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ (14,46 мг/кг).

Применение минеральных макро- и микроудобрений, регуляторов роста и органических удобрений не способствовало увеличению содержания сырой золы по сравнению с контрольным вариантом без применения удобрений. Содержание сырой золы в контрольном варианте составило 1,60 %, а в фоновом варианте – 1,44 %.

Минимальное содержание сырой золы в зерне кукурузы было в варианте с применением некорневой подкормки комплексным удобрением Кристалон на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120} - 1,38$ %.

По содержанию сырого жира наименьшее значение было в варианте с применением минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{90}$ (3,14 %). Ни одна из применяемых систем удобрения в опыте не способствовала увеличению содержания сырого жира в зерне кукурузы по сравнению с контрольным вариантом. В неудобренном контрольном варианте содержание сырого жира было выше по сравнению с другими применяемыми системами удобрения в опыте и составило 3,61 %.

Наименьшее содержание сырой клетчатки в зерне кукурузы отмечено в варианте с применением некорневой подкормки МикроСтим цинк в сочетании с 60 т/га навоза на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ и составило 1,88 %. Максимальное значение было у варианта без применения удобрений. Содержание сырой клетчатки в данном варианте составило 2,4 %.

Содержание сырого протеина находится в сильной зависимости от содержания азота в зерне, чем его больше, тем больше содержание протеина.

Содержание сырого протеина в варианте без применения удобрений было минимальным и составило 6,09 %. В фоновом варианте ($N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$) оно было на 0,82 % выше по сравнению с контрольным вариантом и составило 6,91 %.

Наиболее высокое содержание сырого протеина (8,42 %) среди вариантов с применением минеральных систем удобрения было в варианте с некорневой подкормкой комплексным удобрением Кристалон на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$, что на 1,51 % выше фонового варианта.

Максимальное содержание сырого протеина (9,12–9,31 %) отмечено в вариантах с использованием навозно-минеральной системы удобрения.

Далее представлена обеспеченность к. ед. переваримым протеином, г, выход кормовых единиц и сбор сырого и переваримого протеина в зерно кукурузы (табл. 2.10).

Таблица 2.10. Влияние применяемых систем удобрения на содержание и сбор сырого протеина и переваримого протеина кукурузы при возделывании на зерно (в среднем за 2018–2020 гг.)

Варианты	Сбор сырого протеина, ц/га	Сбор переваримого протеина, ц/га	Обеспеченность к. ед. переваримым протеином, г	Выход кормовых единиц, ц/га	Энергетическая ценность, МДж/га
1. Контроль	4,9	3,8	59	64,2	62438
2. $N_{60}P_{60}K_{90}$	6,3	4,8	56	87,1	84697
3. $N_{90}P_{70}K_{120}$	7,6	5,8	58	101,9	99015
4. АФК-удобрение с Zn и B (в дозе, эквивалентной варианту 3)	8,3	6,3	60	107,9	104873
5. $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ – фон	9,4	7,2	63	117,2	113898
6. $N_{120}P_{90}K_{130} + N_{30} +$ МикроСтим цинк	13,0	9,9	80	129,0	125353
7. Фон + МикроСтим цинк	11,4	8,7	71	125,7	122142
8. Фон + Адоб цинк	12,3	9,4	77	126,4	122880
9. Фон + МикроСтим цинк, медь	11,1	8,5	67	128,9	125309
10. Фон + Кристалон	13,8	10,6	78	136,7	132859
11. Фон + Экосил	11,3	8,7	70	124,6	121057
12. Фон + МикроСтим цинк, бор	10,4	8,0	60	131,9	128217
13. Навоз 60 т/га + фон	16,6	12,7	89	144,0	139932
14. Навоз 60 т/га + фон + МикроСтим цинк	19,5	15,0	102	148,2	144054

Максимальный сбор сырого и переваримого протеина был в варианте навоз 60 т/га + фон ($N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$) + МикроСтим цинк и составил 19,5 и 15,0 ц/га. Применение микроудобрения МикроСтим цинк на фоне высоких доз минеральных удобрений $N_{120}P_{80}K_{130} + N_{30}$ способствовало увеличению сбора сырого и переваримого протеина. Сбор сырого и переваримого протеина в данном варианте составил 13,0 и 9,9 ц/га. При минеральной системе удобрения максимальный сбор сырого и переваримого протеина был в варианте с применением минеральных удобрений в дозе $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ с некорневой подкормкой комплексным удобрением Кристалон и составил 13,8 и 10,6 ц/га.

Наименьшая обеспеченность кормовой единицы граммами переваримого протеина была в варианте с применением $N_{60}P_{60}K_{90}$. Максимальная обеспеченность кормовой единицы граммами переваримого протеина была в варианте навоз 60 т/га + фон ($N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$) + МикроСтим цинк и составила 102 г. При минеральной системе удобрения максимальная обеспеченность кормовой единицы граммами переваримого протеина была в варианте $N_{120}P_{80}K_{130} + N_{30}$ + МикроСтим цинк и составила 80 г.

Максимальная энергетическая ценность зерна кукурузы была получена в вариантах с органоминеральной системой удобрений и была в пределах от 139 932 до 144 054 МДж/га.

При минеральной системе удобрения максимальная энергетическая ценность зеленой массы кукурузы была получена в вариантах фон ($N_{90+30}P_{70}K_{120}$) + Кристалон и фон ($N_{90+30}P_{70}K_{120}$) + МикроСтим цинк, бор и составила 132 859 и 128 217 МДж/га.

В опытах исследовали влияние удобрений на массу 1000 зерен кукурузы (рис. 2.2).

Применение $N_{60}P_{60}K_{90}$ и $N_{90}P_{70}K_{120}$ повысило массу 1000 семян кукурузы по сравнению с неудобренным контролем в среднем за 3 года на 17,3 г и 25,6 г соответственно.

Новое специализированное комплексное удобрение для кукурузы с цинком и бором по сравнению с внесением в эквивалентной дозе ($N_{90}P_{70}K_{120}$) мочевины, аммонизированного суперфосфата и хлористого калия увеличило массу 1000 зерен кукурузы на 32,3 г.

Некорневые подкормки на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ Адоб цинк, МикроСтим цинк, МикроСтим цинк, медь и МикроСтим цинк, бор способствовали возрастанию массы 1000 зерен кукурузы по сравнению с фоновым вариантом на 12,3, 11, 20 и 28,6 г соответственно.

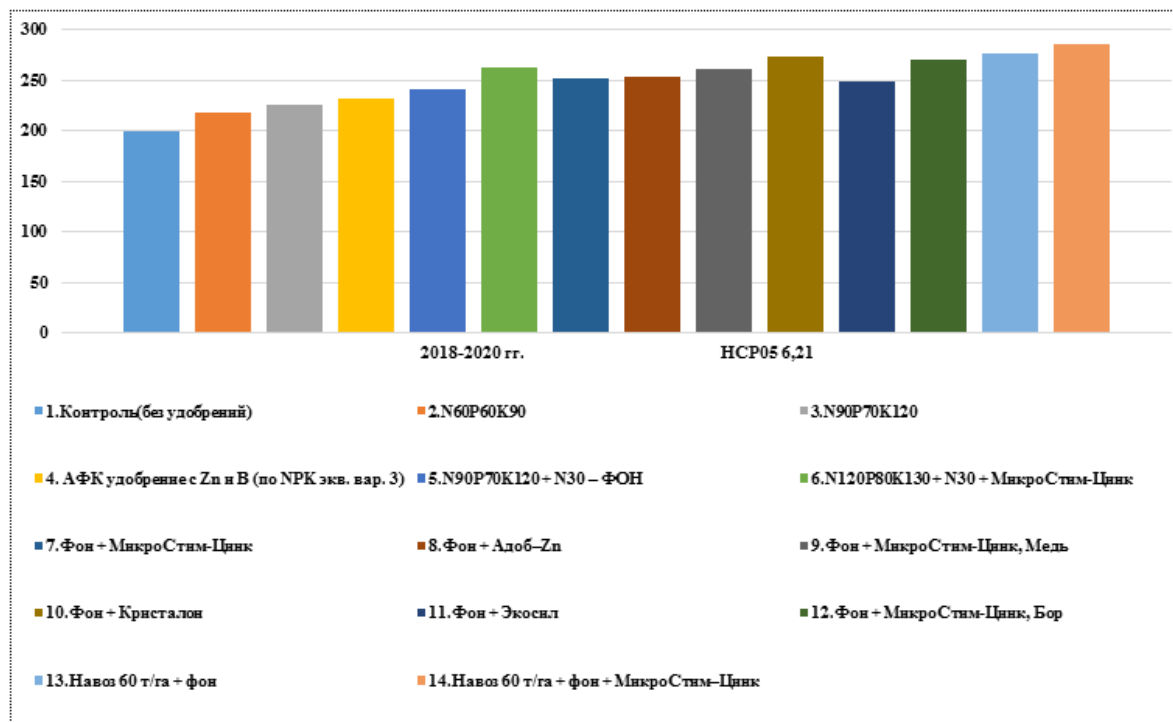


Рис. 2.2. Влияние применяемых систем удобрения на массу 1000 зерен кукурузы, в среднем за три года, г

Подкормка комплексным удобрением Кристалон на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ увеличила массу 1000 зерен на 32,3 г.

Масса 1000 зерен в вариантах с применением МикроСтим цинк на фоне $N_{120}P_{80}K_{130} + N_{30}$ была выше на 21 г по сравнению с фоновым вариантом $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$. Обработка посевов кукурузы регулятором роста Экосил на фоне $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ повысила массу 1000 зерен на 7,6 г по сравнению с фоном.

Сочетание навоза и минеральных удобрений обеспечило самую высокую массу 1000 зерен кукурузы. Внесение 60 т/га навоза + $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ и 60 т/га навоза + $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ + МикроСтим цинк повысило массу 1000 зерен на 35,3 и 45 г соответственно по сравнению с фоновым вариантом ($N_{90+30}P_{70}K_{120}$).

В варианте навоз + $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ + МикроСтим цинк отмечена максимальная масса 1000 зерен кукурузы, что и способствовало формированию наиболее высокой урожайности зерна в опытах.

В табл. 2.11 приведены данные о выносе элементов питания с зеленой массой кукурузы в среднем за 3 года исследований.

Таблица 2.11. Влияние применяемых систем удобрения на вынос элементов питания с зеленой массой кукурузы (в среднем за 2018–2020 гг.)

Варианты	Общий вынос					Удельный вынос				
	кг/га			г/га		кг/10 ц			г/10 ц	
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Cu	Zn	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Cu	Zn
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Контроль	88	33	110	16,8	48,3	2,7	1,0	3,3	2,0	5,7
2. $N_{60}P_{60}K_{90}$	111	69	154	26,2	97,9	2,7	1,8	3,9	2,5	9,5
3. $N_{90}P_{70}K_{120}$	147	56	188	33,5	130,3	3,3	1,3	4,0	2,8	10,8
4. АФК-удобрение с Zn и В (в дозе, эквивалентной варианту 3)	172	78	191	28,3	189,2	3,6	1,7	4,0	2,2	14,9
5. $N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$ – фон	184	114	226	33,7	164,8	3,6	2,3	4,5	2,4	12,0
6. $N_{120}P_{80}K_{130} + N_{30}$ + МикроСтим цинк	253	127	268	42,3	246,7	3,9	1,9	4,2	2,4	14,0
7. Фон + МикроСтим цинк	189	105	237	39,6	175,6	3,4	1,9	4,3	2,7	11,7
8. Фон + Адоб цинк	245	107	282	42,9	236,0	4,3	1,9	4,9	2,5	13,8
9. Фон + МикроСтим цинк, медь	194	91	242	70,5	389,2	3,2	1,5	4,0	4,7	25,4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10. Фон + Кристалон	231	123	292	59,5	344,5	3,7	1,9	4,5	3,7	21,0
11. Фон + Эко-сил	223	107	265	40,5	207,4	4,2	2,0	4,9	2,5	12,8
12. Фон + МикроСтим цинк, бор	185	86	219	38,0	211,3	3,1	1,5	3,7	2,8	15,6
13. Навоз 60 т/га + фон	315	130	307	51,4	320,4	4,5	1,8	4,4	2,9	17,4
14. Навоз 60 т/га + фон + МикроСтим цинк	348	150	338	53,7	411,0	4,7	2,0	4,5	2,5	20,1

Растения для определения выноса элементов питания отбирали в фазу молочно-восковой спелости. Минимальный общий и удельный вынос макро- и микроэлементов при возделывании кукурузы на зеленую массу был в контрольном варианте без применения удобрений. Максимальный общий и удельный вынос азота зеленой массой кукурузы был в варианте навоз 60 т/га + $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ + МикроСтим цинк и составил 348 кг/га и 4,7 кг/10 ц соответственно. Варианты с применением органических удобрений отличались самым высоким общим и удельным выносом азота от всех остальных.

В вариантах с минеральной системой удобрения более высоким выносом азота отличались варианты МикроСтим цинк на фоне $N_{120+30}P_{70}K_{120}$ и Адоб цинк на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ и составили 253 и 245 кг/га соответственно. Удельный вынос азота в данных вариантах составил 3,9 и 4,3 кг/10 ц соответственно. Все остальные варианты практически не отличались друг от друга.

Общий вынос фосфора был наибольшим в вариантах с применением органических удобрений и составил 130 и 150 кг/га. Максимальный удельный вынос фосфора был в фоновом варианте ($N_{90+30}P_{70}K_{120}$) и составил 2,3 кг/10 ц.

Максимальный общий вынос фосфора среди вариантов с минеральной системой удобрения был в вариантах $N_{120}P_{80}K_{130}$ + N_{30} + МикроСтим цинк (75 г/га Zn) и фон + Кристалон и составил 127 и 123 кг/га соответственно.

При этом удельный вынос фосфора у этих вариантов не отличался от большинства других систем удобрения, применяемых в опыте, и составил 1,9 кг/10 ц.

Общий вынос калия, так же как азота и фосфора, был больше всего в вариантах с применением органических удобрений и составил 307 и 338 кг/га. Наименьший общий вынос калия имел вариант без применения удобрений (110 кг/га). В вариантах с минеральной системой удобрения наибольший общий вынос калия был в варианте с применением комплексного удобрения Кристалон на фоне $N_{90+30}P_{80}K_{130}$ (292 кг/га). Между остальными вариантами, где применялись микроудобрения, кроме варианта с навозом, разницы по общему выносу калия не было.

Максимальный удельный вынос калия составил 4,9 кг/10 ц и был в вариантах с применением регулятора роста Экосил на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ и Адоб цинк на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$. В фоновом варианте и в варианте с применением комплексного удобрения Кристалон на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ удельный вынос калия составил 4,5 кг/10 ц. Минимальный удельный вынос калия был в неудобренном контрольном варианте.

Наибольший общий вынос меди был в варианте, где применяли медьсодержащее микроудобрение (фон + МикроСтим цинк, медь) и составил 70,5 г/га. Максимальный общий вынос цинка был в вариантах (навоз + $N_{90}P_{70}K_{120}$ + N_{30} + МикроСтим цинк) и (фон + МикроСтим цинк, медь) и составил 411 и 389,2 г/га соответственно. В варианте с применением комплексного удобрения Кристалон на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ общий вынос меди и цинка составил 59,5 и 344,5 г/га.

Минимальный общий вынос меди и цинка был в неудобренном контрольном варианте и составил 16,8 и 48,3 г/га. Между остальными удобренными вариантами разницы практически не было.

Максимальный удельный вынос меди и цинка был в варианте с применением некорневой подкормки микроудобрением МикроСтим цинк, медь и составил соответственно 4,7 и 25,4 г/10 ц. В варианте $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ + Кристалон удельный вынос меди составил 3,7 г/10 ц, цинка – 21,0 г/10 ц.

В неудобренном контрольном варианте удельный вынос меди и цинка составил 2,0 и 5,7 г/10 ц.

2.4. Экономическая эффективность применения удобрений и регуляторов роста при возделывании кукурузы

Прибыль и уровень рентабельности – важнейшие показатели для предприятия в рыночных условиях. Применение минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{90}$ и $N_{90}P_{70}K_{120}$ при возделывании кукурузы на зеленую массу было экономически невыгодным (табл. 2.12).

Применение органических удобрений на фоне минеральных способствовало максимальному увеличению прибавки урожая, но в данных вариантах были самые большие затраты на внесение и приобретение удобрений. Вследствие чего экономическая эффективность данных вариантов была ниже большинства других с минеральной системой удобрения. В вариантах навоз 60 т/га + фон ($N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$) и навоз 60 т/га + фон ($N_{90}P_{70}K_{120} + N_{30}$) + МикроСтим цинк чистый доход составил 95,17 и 143,5 долл. США/га и уровень рентабельности 15,9 и 22,9 % соответственно.

Дополнительные затраты по вариантам опытов колебались в пределах от 163,5 долл. США/га до 624,47 долл. США/га.

Прибавка урожайности в 204 ц/га к контролю была в варианте с применением регулятора роста Экосил на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$, что составило 40,8 к. ед. Условный чистый доход в данном варианте составил 96,75 долл. США/га при уровне рентабельности 32,9 %. Получению чистого дохода на уровне 109,38 долл. США/га и рентабельности 36,1 % способствовало применение МикроСтим цинк на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$. Однако данный вариант по экономической эффективности уступал применению того же МикроСтим цинк на фоне более высоких доз минеральных удобрений $N_{120+30}P_{80}K_{130}$, где чистый доход составил 171,84 долл. США/га при рентабельности 42,6 %.

Максимальный уровень рентабельности (60 %) и чистый доход (217,78 долл. США/га) при возделывании кукурузы на зеленую массу был в варианте с применением некорневой подкормки комплексным удобрением Кристалон на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$. Также высоким уровнем рентабельности с 53,2 % был отмечен вариант с применением некорневой подкормки МикроСтим цинк, медь на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ с чистым доходом в размере 178,28 долл. США/га.

Экономическая эффективность возделывания кукурузы на зерно по отношению к контролю представлена в табл. 2.13.

Таблица 2.12. Экономическая эффективность применения макро-, микроудобрений и регуляторов роста при возделывании кукурузы на зеленую массу (среднее за 2018–2020 гг.)

Вариант опыта	Урожайность, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га	Выход кормовых единиц, ц/га	Стоимость дополнительной продукции (прибавки), долл. США/га	Затраты на уборку, долл. США/га	Затраты на приобретение и внесение удобрений, долл. США/га	Всего дополнительных затрат, долл. США/га	Условный чистый доход (убыток), долл. США/га	Рентабельность, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Контроль	336	—	—	—	—	—	—	—	—
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	412	76	15,2	145,56	46,76	116,73	163,50	–17,93	–10,9
3. N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀	448	112	22,4	214,52	68,92	157,92	226,84	–12,32	–5,4
4. АФК-удобрение с Zn и В (в дозе, эквивалентной варианту 3)	478	142	28,4	271,98	87,38	103,19	190,57	81,40	47,2
5. N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ + N ₃₀ – фон	505	169	33,8	323,7	104,00	166,53	270,53	53,16	19,6
6. N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₃₀ + N ₃₀ + МикроСтим цинк	636	300	60,0	574,61	184,61	218,15	402,76	171,84	42,6
7. Фон + МикроСтим цинк	551	215	43,0	411,80	132,30	170,11	302,42	109,38	36,1
8. Фон + Адоб цинк	565	229	45,8	438,62	140,92	166,76	307,68	130,93	42,5
9. Фон + МикроСтим цинк, медь	604	268	53,6	513,32	164,92	170,11	335,03	178,28	53,2
10. Фон + Кристалон	639	303	60,6	580,36	186,46	176,11	362,57	217,78	60,0
11. Фон + Эжосил	540	204	40,8	390,73	125,53	168,44	293,98	96,75	32,9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12. Фон + Микро-Стим цинк, бор	592	256	51,2	490,33	157,53	170,11	327,65	162,68	49,6
13. Навоз 60 т/га + фон	697	361	72,2	691,45	222,15	374,13	596,28	95,17	15,9
14. Навоз 60 т/га + фон + МикроСтим цинк	737	401	80,2	768,06	246,76	377,71	624,47	143,59	22,9
НСР ₀₅	21,0	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 2.13. Экономическая эффективность применения макро-, микроудобрений и регуляторов роста при возделывании кукурузы на зерно (среднее за 2018–2020 гг.)

Вариант опыта	Урожайность, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га	Стоимость дополнительной продукции (прибавки), долл. США/га	Затраты на уборку, долл. США/га	Затраты на приобретение и внесение удобрений, долл. США/га	Всего дополнительных затрат, долл. США/га	Условный чистый доход (убыток), долл. США/га	Рентабельность, %
1. Контроль	47,9	—	—			—	—	—
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	65,0	17,1	171,65	55,90	116,73	172,63	–0,97	–0,5
3. N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀	76,0	28,1	282,08	91,86	157,92	249,78	32,29	12,9
4. АФК-удобрение с Zn и B (в дозе, эквивалентной варианту 3)	80,5	32,6	327,25	106,57	103,19	209,76	117,48	56,0
5. N ₉₀ P ₇₀ K ₁₂₀ + N ₃₀ – фон	87,5	39,5	396,51	129,13	166,53	295,67	100,84	34,1
6. N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₃₀ + N ₃₀ + МикроСтим цинк	96,3	48,3	484,85	157,90	218,15	376,05	108,80	28,9
7. Фон + МикроСтим цинк	93,8	45,8	459,76	149,73	170,11	319,84	139,91	43,7

8. Фон + Адоб цинк	94,4	46,4	465,78	151,69	166,76	318,45	147,33	46,2
9. Фон + МикроСтим цинк, медь	96,3	48,3	484,85	157,90	170,11	328,01	156,83	47,8
10. Фон + Кристалон	102,0	54,1	543,08	176,86	176,11	352,98	190,10	53,8
11. Фон + Экосил	93,0	45,0	451,73	147,11	168,44	315,55	136,17	43,1
12. Фон + МикроСтим цинк, бор	98,5	50,5	506,94	165,09	170,11	335,21	171,73	51,2
13. Навоз 60 т/га + фон	107,5	59,5	597,28	194,51	374,13	568,64	28,64	5,0
14. Навоз 60 т/га + фон + МикроСтим цинк	110,6	62,7	629,41	204,98	377,71	582,69	46,72	8,0
НСР ₀₅	5,17	—	—	—	—	—	—	—

Как при возделывании кукурузы на зеленую массу, так и на зерно, применение органических удобрений способствовало максимальному увеличению урожайности зерна кукурузы, но из-за высоких затрат на внесение и приобретение органических удобрений экономическая эффективность была ниже большинства вариантов с минеральной системой удобрения.

В варианте с применением 60 т/га навоза в сочетании с $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ + МикроСтим цинк из-за больших дополнительных затрат, которые составили 582,69 долл. США/га, чистый доход составил 46,72 долл. США/га при рентабельности 8,0 %.

Дополнительные затраты по вариантам опытов колебались в пределах от 172,63 долл. США/га до 582,69 долл. США/га. Внесение $N_{60}P_{60}K_{90}$ при возделывании кукурузы на зерно было экономически невыгодным.

Наиболее экономически эффективным в сравнении с контролем был вариант опыта с применением микроудобрения Кристалон на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$, в котором был получен максимальный чистый доход 190,10 долл. США/га при максимальном уровне рентабельности 53,8 %.

Достаточно эффективным был и вариант с применением МикроСтим цинк, бор на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$. В этом варианте условный чистый доход составил 171,73 долл. США/га, а рентабельность – 51,2 %.

Максимальный уровень рентабельности (56 %) при возделывании кукурузы на зерно был в варианте с применением комплексного АФК-удобрения с Zn и B, но при этом чистый доход составил 117,48 долл. США/га.

3. СТОЛОВАЯ СВЕКЛА И МОРКОВЬ

Морковь и столовая свекла – наиболее распространенные корнеплодные овощные культуры. Они являются ценными и незаменимыми продуктами питания [196], обладают неповторимой специфичностью и имеют большое народнохозяйственное значение [197].

Столовая свекла широко используется в питании человека круглый год, входит в состав различных блюд и служит для поддержания здоровья и жизненной силы. Свеклу маринуют, используют для квашения, изготовления соков. В вареном виде используют для приготовления борщей, винегретов, салатов, а листья применяют для приготовления первых блюд [198].

В пищевой промышленности возможно использование свеклы не только в свежем виде, но и в сушеном, и замороженном при добавлении в овощные смеси [199].

Во многих странах возрастает интерес к консервированию овощей и столовой свеклы, в частности, естественным путем – с помощью молочнокислого брожения, при котором сохраняются все полезные вещества [200].

Корнеплод свеклы содержит в себе углеводы, клетчатку, витамины, органические кислоты и минеральные соли. Данные о содержании в свежей свекле и в продуктах ее переработки полезных веществ в разных источниках имеют отличия. Это можно объяснить тем, что компонентный состав растений может значительно отличаться в зависимости от почвенных, климатических и других условий выращивания, а также от условий хранения [201].

Также на химический состав влияют и сортовые особенности, причем установлено, что они одинаково проявляются вне зависимости от места выращивания [202].

Содержание витамина С в свекле составляет от 9 до 32 мг% (до 48 мг% в свежей ботве), сухих веществ – 14–22 %, сахаров – 10–16 %, витамина В₁ – 0,14 мг%, витамина РР – 0,4 мг% [203].

По данным российских ученых-селекционеров В. И. Буренина, Т. М. Пискуновой и Д. В. Соколовой, в некоторых сортах свеклы столовой содержание витамина С может достигать до 33,9–56,5 мг%, сахаров – до 13,6–15,3 %, сухого вещества – до 24,4–26,8 % [204].

Имеются сведения о содержании в овоще также витаминов В₆, В₉, Р, В₂, яблочной, винной, щавелевой и лимонной кислот. Красящий

пигмент бетанин, входящий в состав свеклы (100–350 мг%), обладает уникальными свойствами и оказывает гипотензивное воздействие, улучшает жировой обмен, способствует кроветворению, предупреждает склероз, тормозит развитие злокачественных опухолей, защищает клетки, белки и ферменты от отрицательного воздействия токсинов, повышенных температур, обезвоживания, избытка солей [205, 206, 207, 208].

По данным Т. Кучеренко [209], человек трудоспособного возраста в год должен съедать не менее 18 кг корнеплодов столовой свеклы, а в соответствии с медицинскими требованиями – 5–10 кг [210].

Бетаин, получаемый из столовой свеклы, широко используется как пищевой краситель (Е162), не вызывающий аллергии, и который используется для подкрашивания мясных, кисломолочных продуктов, сухих смесей, кондитерских изделий [211, 212, 213].

Помимо бетаина, в свекле содержатся сапонины, отвечающие за горьковатый вкус корнеплода. Существуют данные, которые подтверждают высокую биологическую активность сапонинов: антивирусную, антидиабетическую и др., поэтому эти соединения представляют интерес для исследований в фармакологии [214, 215].

Благодаря содержанию бетаина, употребление свеклы положительно влияет на силовые показатели спортсменов и их выносливость за счет повышения уровня креатина в крови и снижения уровня метаболитических продуктов в мышцах, в частности молочной кислоты [215].

В последнее время возрос интерес использования в пищевой промышленности порошкообразных полуфабрикатов из столовой свеклы. Так, М. А. Зенищевым [216] в проведенных исследованиях было установлено, что порошкообразные полуфабрикаты столовой свеклы имеют полноценный аминокислотный и богатый химический состав, поэтому могут играть важную роль в питании человека путем регулирования кислотно-щелочного баланса в организме и выведения тяжелых металлов и радионуклидов. Также было выяснено, что из ботвы столовой свеклы, как побочного продукта, можно получать сухой порошок, богатый пектиновыми веществами, который при добавлении в мясные продукты значительно повышает их ценность для организма человека. На основании полученных данных были разработаны технологии и рецептуры приготовления мясных полуфабрикатов с применением комбинированных смесей на основе порошкообразных полуфабрикатов свеклы столовой.

Сухой свекольный порошок используется в пищевой промышленности и как наполнитель в йогурты и другие кисломолочные продук-

ты, которые характеризуются высоким содержанием витаминов, микроэлементов и пищевых волокон [217, 218, 222]. Существуют технологии получения свекольного порошка и пищевых волокон из свеклы, которые используются при изготовлении хлебобулочных изделий [220, 221, 222].

Из столовой свеклы производят чипсы без жира и различных консервантов, которые являются прекрасной альтернативой вместо привычных нам картофельных чипсов [223, 227], а также концентрат свекольного сока [214] либо неконцентрированный сок для непосредственного употребления [199].

Свекольный сок способствует кроветворению, улучшает работу печени, желудка и кишечника, кроме того, придает силы организму, ослабленному гриппом [196], свежий разбавленный сок также оказывает положительное действие в профилактике язвы желудка и двенадцатиперстной кишки, при ишемии сердца и гипертонии [197]. Также свекольный сок является профилактическим средством от рака [224].

Употребление свекольного сока возможно с соком аронии черноплодной, черной смородины, ежевики и черники. Имеются результаты исследования, которые показали, что наиболее высокая антиоксидантная активность наблюдается у смеси свекольного сока с соком аронии черноплодной или с ежевикой в соотношении 1:3 [216].

Во всех частях растения свеклы содержатся макро- и микроэлементы: кальций, медь, железо, магний, цинк, фосфор, калий, натрий, марганец, селен, бор [226], а также йод и кобальт [228].

По данным польских исследователей I. Domagala-Swiatkiewicz и M. Gastol [227], соки, полученные из корнеплодов столовой свеклы и моркови, содержат в себе кальций, калий, магний, фосфор, серу, железо, цинк, медь, марганец, бор.

В. Н. Зеленков [228] отмечает, что в корнеплодах столовой свеклы в расчете на сухую массу содержится: бора – 0,0015 %, марганца – 0,003 %, меди – 0,0002 %.

Столовая морковь в наше время является очень популярной и любимой овощной культурой и несет в себе огромную пользу для человеческого организма. Популярность и высокая пищевая ценность моркови обусловлены наличием в корнеплоде широкого набора макро-, микроэлементов, витаминов, сахаров. Из витаминов в моркови содержатся каротин (провитамин А), витамины С, Е, В₁, В₂, В₃, В₆, В₉, В₁₂, РР, Н, фолиевая кислота. Из макроэлементов преобладают калий, кальций, магний, натрий, фосфор, сера. Микроэлементный состав представлен железом, йодом и особенно бором. Суточная норма по-

требления моркови для человека – около 50–60 г, что позволяет удовлетворить потребность в каротине. Морковь, кроме всего прочего, содержит в себе клетчатку, ферменты, поэтому она так популярна в диетическом питании. Обладая гипоаллергенными свойствами, в сочетании с богатым химическим составом морковь незаменима для питания детей раннего возраста. В кулинарии использование моркови очень многогранно, и в пищу она используется в сыром, сушеном и термически обработанном виде: из нее готовят салаты, винегреты, супы, соки. Используется морковь также при консервировании и квашении овощей [196, 229].

Морковь в виде порошка и жома применяется в пищевой промышленности как наполнитель кондитерских хлебобулочных изделий [232]. При этом порошок моркови обладает желчегонным, слабительным, противовоспалительным действием, способствует укреплению ногтей, волос, улучшает зрение, понижает содержание холестерина в крови, укрепляет иммунитет [231].

Корнеплоды моркови и свеклы столовой являются ценнейшим сырьем для производства цукатов [232].

По данным В. Н. Зеленкова [228], в корнеплодах столовой моркови содержится 0,003 % бора, 0,0008 % марганца и 0,00004 % меди (на сухое вещество). По другим данным [231], в корнеплодах моркови содержится более 280 мг/кг калия, до 50 мг/кг кальция и фосфора, 40 мг/кг марганца, более 21 мг/кг магния, 45 мг/кг натрия, 0,7 мг/кг железа и 3,8 мг/кг йода.

Цвет корнеплода моркови может быть белым, желтым, красным, оранжевым, фиолетовым и даже почти черным. Изначально возделывалась морковь желтого и фиолетового цвета, а оранжевые корнеплоды появились только в XV–XVI в. в центральной Европе благодаря селекции [233].

В желтой моркови содержится пигмент лютеин, который играет важную роль в предотвращении дегенерации желтого пятна (область наибольшей остроты зрения на сетчатке глаза у человека) [234].

Сердцевина корнеплода моркови богата пигментом аперенином, который снимает усталость сердечной мышцы [235].

Известно, что каротиноиды моркови имеют высокую биологическую доступность, поэтому морковь является хорошим источником провитамина А для человека [236].

Ценным компонентом моркови является эфирное масло, которое нашло применение в медицине, производстве косметических средств,

ликеров. Годовая норма потребления моркови для трудоспособного населения составляет 18 кг, по другим источникам – 6–10 кг [210]. За счет содержащихся в корнеплодах моркови пектиновых веществ при употреблении ее в пищу происходит связывание и выведение токсинов, тяжелых металлов и радиоактивных элементов из организма человека [209].

В опытах со столовой морковью на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве установлено, что применение комплексных хлорсодержащих NPK-удобрений с S, B и Cu способствует получению урожайности 45,6–50,0 т/га, бесхлорных NPK-удобрений с Mg, S, B, Cu, а также NPK с Mg, S, B, Cu и регулятором роста Эпин – 47,4–50,2 т/га, в то время как применение смеси стандартных удобрений обеспечило урожайность 44,3–46,8 т/га. При этом по сравнению со смесью однокомпонентных удобрений внесение комплексных хлорсодержащих удобрений в дозе $N_{70}P_{61}K_{97}$ и комплексных бесхлорных удобрений в дозе $N_{70}P_{38}K_{81}$ повысило урожайность корнеплодов на 5,7 и 2,1–3,4 т/га соответственно, сбор сухого вещества – на 0,45–0,65 и 0,51–0,69 т/га, а товарность корнеплодов составила 81,5–84,5 % [237].

При внесении под столовую свеклу на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве комплексного хлорсодержащего NPK-удобрения с B, Na_2O , Mn, S в дозе $N_{90}P_{78}K_{125}$, бесхлорных NPK с Mg, S, B, Mn, Fe и NPK с Mg, S, B, Mn, Fe и регулятором роста Эпин в дозе $N_{90}P_{49}K_{113}$ по сравнению со смесью однокомпонентных удобрений происходило повышение урожайности корнеплодов на 5,2 и 5,7–6,8 т/га соответственно, сбор сухого вещества увеличился на 0,41–0,72 т/га, а товарность корнеплодов составила 75,4–81,6 % [237].

По данным Д. Г. Мысливец [238], на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве при применении комплексного хлорсодержащего NPK-удобрения с S, B, Cu в дозах $N_{70-110}P_{50-78}K_{95-149}$ кг/га д. в. была получена урожайность корнеплодов моркови 28,8–33,6 т/га. Внесение медленнодействующих комплексных удобрений в дозах $N_{90}P_{64}K_{122}S_{71}B_{1,29}Cu_{0,96}$ и $N_{90}P_{64}K_{122}S_{71}B_{1,29}$ повысило урожайность корнеплодов моркови на 4,8–8,0 т/га по сравнению с внесением стандартных удобрений. При поздних сроках уборки по сравнению со стандартными удобрениями внесение комплексных хлорсодержащих удобрений в дозе $N_{110}P_{78}K_{149}S_{86}B_{1,57}Cu_{1,18}$, а также медленнодействующего в дозе $N_{90}P_{64}K_{122}S_{71}B_{1,29}Cu_{0,96}$ повысило урожайность моркови на 6,3 и 9,2 т/га соответственно. Внесение комплексных бесхлорных удобрений в дозе $N_{90}P_{48}K_{104}S_{71}$, $N_{90}P_{48}K_{104}Mg_{9,6}S_{71}B_{1,29}Cu_{0,96}$, $N_{90}P_{48}K_{104}Mg_{9,6}S_{71}B_{1,29}Cu_{0,96}$ + Эпин способствовало получению уро-

жайности корнеплодов моркови 72,9–77,6 т/га. На фоне $N_{90}P_{64}K_{122}S_{71}B_{1,29}Cu_{0,96}$ двукратная некорневая подкормка посевов моркови ЖКУ при ранних и поздних сроках уборки повысила урожайность корнеплодов на 5,0 и 6,2 т/га, обработка посевов на этом же фоне ЖКУ с гидрогуматом, а также комплексным удобрением с микроэлементами Лифдрип при ранних сроках уборки повысила урожайность моркови на 4,9 и 2,9 т/га, а при поздних сроках уборки – на 8,6 и 5,9 т/га. Также отмечено, что при применении изучаемых удобрений содержание нитратов в корнеплодах моркови не превышало ПДК, а содержание основных микроэлементов в продукции (бора, меди, цинка, марганца) находилось на среднем уровне.

Как отмечает А. С. Берестовский [239], на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при внесении $N_{119}P_{96}K_{152}$ с некорневыми подкормками микроэлементами (Со + Мп + Cu + Fe) в виде наночастиц без орошения достигается урожайность корнеплодов 68,1 т/га (+20,7 т/га к фону), а при орошении – 77,4 т/га (+23,3 т/га к фону). Внесение под морковь минеральных удобрений в дозе $N_{84}P_{72}K_{114}$ с некорневой подкормкой $Cu_{0,16}$ и $Mn_{0,16}$ в хелатной форме повысило урожайность на 17,0 т/га с 51,7 до 68,7 т/га без орошения, а при орошении – на 16,9 т/га с 61,2 до 78,1 т/га. Применение микроэлементов повысило в корнеплодах столовой свеклы содержание сухого вещества на 0,5–0,7 %, сахаров – на 0,4–0,6 %. В корнеплодах моркови эти показатели увеличились на 0,4–1,1 и 0,2–0,6 % соответственно.

Исследования, проведенные П. Т. Богушевичем со столовой свеклой на дерново-подзолистой супесчаной почве [240], показали, что на фоне внесения минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{90}K_{120}$ предпосевная обработка семян регулятором роста Фитовитал, трехкратная обработка посевов свеклы удобрением Эколист моно марганец и регулятором роста Фитовитал способствуют повышению урожайности на 7,2 т/га с 39,5 до 46,7 т/га, при этом содержание сахаров в корнеплодах повысилось на 1,6 %, витамина С – на 3,8 мг/100 г, а содержание нитратов снизилось на 934 мг/кг. Трехкратная некорневая подкормка свеклы борным микроудобрением Эколист моно бор совместно с регулятором роста Фитовитал на фоне $N_{90}P_{90}K_{120}$ и предпосевная обработка семян регулятором роста Фитовитал повысила урожайность корнеплодов на 6,8 т/га.

На дерново-подзолистой связносупесчаной почве двукратная некорневая подкормка посевов столовой свеклы жидким микроудобрением МикроСтим бор на фоне $N_{92}P_{104}K_{210}$ повысила урожайность на 2,8–3,6 т/га до 44,2–45,0 т/га в зависимости от дозы микроудобрения, а

содержание сухого вещества в корнеплодах составило 12,9–13,8 % [241].

Обработки посевов столовой свеклы ЖКУ с селеном, ЖКУ для томата и огурца и ЖКУ «Универсальное» способствовали приросту урожайности на 7,8–8,7 т/га, или 23–26 %, по сравнению с тем вариантом, где была получена урожайность 34,1 т/га при внесении простых форм микроудобрений в виде минеральных солей. Некорневая подкормка моркови простыми формами микроудобрений обеспечила урожайность на уровне 29,6 т/га. Применение ЖКУ с селеном, ЖКУ для томата и огурца, ЖКУ «Урожай», Мультивит «Плюс» и Мультивит «Универсал» повысило урожайность корнеплодов на 8,6–11,6 т/га, или 29–39 % [242].

В исследованиях С. А. Тарасенко, В. Г. Смольского [243, 244] изучалась эффективность новых форм жидких комплексных удобрений на основе нитрата калия и ЖКУ «Белвито». Опыты, проведенные на овощных культурах на дерново-подзолистой супесчаной почве, позволили установить, что двукратные подкормки посевов столовой моркови и свеклы новыми формами ЖКУ в дозе 30 л/га с бором, цинком, медью и регулятором роста Экосил по сравнению с подкормками только нитратом калия увеличили урожайность моркови и свеклы на 67 и 24 ц/га соответственно. Содержание сухого вещества в корнеплодах моркови и свеклы увеличилось на 0,8 и 1,2 % соответственно, сахаров – на 0,9 и 0,6 %, а концентрация нитратов снизилась на 14 и 21 мг/кг сырой массы.

На применение ЖКУ «Полюшко-Свекловичное» с микроэлементами и регулятором роста на фоне $N_{100}P_{60}K_{100}$ на дерново-подзолистой супесчаной почве столовая свекла отзывалась увеличением урожайности на 14,2 т/га при урожайности без подкормок 24,0 т/га [244].

Опыты М. Ф. Степура и А. В. Ботько, проведенные со столовой свеклой и морковью на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, позволили установить, что трехкратная некорневая подкормка комплексными удобрениями повысила урожайность столовой свеклы на 3,0–5,9 т/га по сравнению с вариантом, где применялись простые формы микроудобрений (32,8 т/га). Урожайность столовой моркови от проведенных подкормок комплексными удобрениями возросла на 5,7–14,1 т/га, в то время как при применении простых форм микроудобрений урожайность составила 27,1 т/га [245].

Урожайность столовой свеклы на фоне последействия сидерата при внесении простых минеральных удобрений в дозе $N_{120}P_{90}K_{150}$ состави-

ла 48,3 т/га, а при применении комплексных удобрений в дозах $N_{90-100}P_{83-92}K_{132-147}$ повысилась на 1,1–3,3 т/га. Содержание сухого вещества и суммы растворимых сахаров при этом увеличилось соответственно на 0,1–0,8 и 0,6–0,9 %, а содержание нитратов было на уровне 426–586 мг/кг. На фоне совместного последействия сидерата и навоза урожайность столовой свеклы при внесении простых минеральных удобрений в дозе $N_{120}P_{90}K_{150}$ была 50,6 т/га. Комплексные удобрения на этом же фоне в дозах $N_{90-100}P_{83-92}K_{132-147}$ повысили урожайность свеклы на 0,9–4,1 т/га, сумму растворимых сахаров в корнеплодах – на 0,6 % при содержании нитратов 484–548 мг/кг сырой массы. Продуктивность моркови на фоне последействия сидерата и при внесении простых минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{105}K_{120}$ составила 49,7 т/га. Комплексные удобрения в дозе $N_{74}P_{69}K_{108}$ повысили урожайность моркови на 1,4 т/га, однако происходило снижение содержания сухого вещества и суммы растворимых сахаров в корнеплодах соответственно на 0,2 и 0,3 %, содержание β -каротина повысилось на 0,4 мг/100 г, и концентрация нитратов составила 257 мг/кг сырой массы. На фоне последействия сидерата и навоза простые минеральные удобрения в дозе $N_{90}P_{105}K_{120}$ обеспечили урожайность моркови 50,9 т/га, а комплексные удобрения в дозе $N_{74}P_{69}K_{108}$ увеличили урожайность моркови на 1,5 т/га. При этом содержание сухого вещества и β -каротина снизилось на 0,2 % и 0,1 мг/100 г, а концентрация нитратов в корнеплодах составила 193 мг/кг сырой массы [246].

При внесении под столовую свеклу комплексных удобрений в дозе $N_{120}P_{60}K_{147}$ содержание сухого вещества и сахаров в корнеплодах составило 20 и 13 % соответственно. В результате применения под морковь комплексных удобрений в дозе $N_{95}P_{59}K_{98}$ в корнеплодах накопилось 7,0 % сахаров, 9,8 и 12,8 % сухого вещества и β -каротина, при этом содержание нитратов в корнеплодах свеклы и моркови снизилось и не превысило значений ПДК [247].

В. Н. Петриченко и О. С. Туркиной [248] проводились исследования по изучению влияния химических солей и комплексонов металлов (Zn -ОЭДФ, Cu -ОЭДФ, Mo -ОЭДФ, Co -ОЭДФ), где микроэлементы находятся в хелатной форме, и регуляторов роста на урожайность и качество столовой моркови и свеклы на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Было установлено, что максимальная урожайность корнеплодов моркови (68,7 т/га) была получена на фоне $N_{100}P_{60}K_{180}$ с некорневой подкормкой посевов смесью комплексонов цинка, меди, молибдена и кобальта совместно с регулятором роста Энергия-М, прибавка к фону составила 20,4 т/га. В этом же варианте опыта содержа-

ние сухого вещества и суммы сахаров в корнеплодах моркови повысилось на 3,6 и 3,36 % соответственно, каротина – на 1,7 мг/100 г, пектиновых веществ – на 1,98 г/кг, а содержание нитратов снизилось на 56 мг/кг. При возделывании столовой свеклы с применением регулятора роста Энергия-М совместно со смесью комплексонов цинка, меди, молибдена и кобальта на фоне $N_{150}P_{60}K_{210}$ урожайность корнеплодов составила 73,5 т/га, а прибавка к фону – 22,8 %. Содержание сухого вещества и суммы сахаров в корнеплодах повысилось на 2,1 и 5,25 %, бетанина – на 81 мг/100 г, пектиновых веществ – на 2,98 г/кг, содержание нитратов снизилось на 504 мг/кг.

На фоне $N_{150}P_{60}K_{210}$ на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве применение разных форм борсодержащих микроудобрений (борная кислота, борат кальция, гексаборат кальция, борат цинка, борат меди, боратовая мука) при почвенном внесении повысило урожайность столовой свеклы на 6,5–14,4 % (3,4–7,7 т/га) [249].

В опытах со столовой свеклой и морковью на высокооккультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве двукратное применение полимерно-хелатного микроудобрения Аквадон-Микро на фоне локального внесения $N_{29}P_{36}K_{36}$ способствовало увеличению урожайности моркови на 4,33–12,88 т/га до 58,05–66,60 т/га. Содержание сухого вещества и сахаров в корнеплодах моркови повысилось на 2–3 и 0,6–3,1 % соответственно, каротина – на 11,4–16,4 мг/кг, а концентрация нитратов не превысила значения ПДК. Урожайность столовой свеклы на фоне локального внесения $N_{24}P_{30}K_{30}$ и двукратной некорневой подкормки посевов полимерно-хелатным микроудобрением Аквадон-Микро в зависимости от применяемой нормы повысилась на 10,78–20,50 т/га до 61,58–71,30 т/га, содержание сахаров увеличилось на 1–2,6 %. Концентрация нитратов в корнеплодах не превысила ПДК, но произошло снижение содержания сухого вещества на 1–3 % до 11–13 % [250].

Научными исследованиями М. И. Ивановой (и др.) [251], проводимыми на аллювиально-луговых суглинистых почвах, было установлено, что двукратная подкормка посевов моркови аминокислотным удобрением Агровин профи в дозе 1 кг/га на фоне минеральных удобрений $N_{90}P_{60}K_{180}$ повысила урожайность корнеплодов на 25,8 т/га с 41,3 до 73,0 т/га, выход товарных корнеплодов – на 16,8 %. При этом содержание сухих веществ и сахаров в корнеплодах увеличилось на 0,6 и 0,5 %, витамина С и каротина – на 0,8 и 0,6 мг/%, а концентрация нитратов не превысила ПДК.

Опытами Д. Ю. Котлярова [252] на аллювиальной луговой средне-суглинистой почве при возделывании свеклы столовой было показано, что внесение минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{60}K_{150}$ обеспечивает получение урожайности корнеплодов 50,8 т/га с содержанием сухого вещества и сахаров в корнеплодах 16,1 и 9,25 %, а концентрация нитратов не превысила ПДК. Дальнейшее повышение доз азотных удобрений до 150 и 210 кг/га без изменения уровня фосфорно-калийного питания не способствовало повышению урожайности, но происходило снижение содержания сухого вещества в корнеплодах на 0,7–1,1, сахаров – на 0,36 %, при этом происходило избыточное накопление нитратов в корнеплодах – до 2356 мг/кг сырой массы.

3.1. Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на динамику роста, площадь листовой поверхности растений свеклы и массу листьев моркови

Полевые исследования со столовой свеклой и морковью проводили в 2018–2020 гг. в УНЦ «Опытные поля БГСХА» на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на легком лесовидном суглинке, подстилаемом моренным суглинком с глубины 1 м. Объектами исследований в полевых опытах были столовая свекла сорта Гаспадыня и морковь сорта Самсон.

Почва опытного участка, на которой проводились исследования со столовой свеклой, характеризовалась низким и средним содержанием гумуса (1,2–1,8 %), повышенным содержанием подвижного фосфора (209–266 мг/кг) и калия (294–295 мг/кг), кислой и близкой к нейтральной реакцией почвенной среды ($pH = 5,5–6,1$), низким и средним содержанием подвижных форм меди (1,54–1,71 мг/кг) и цинка (1,53–3,75 мг/кг). В 2018 г. почва характеризовалась средним индексом агрохимической окультуренности, а в 2019 и 2020 гг. – высоким.

В опытах с морковью почва имела среднее содержание гумуса (1,8 %), повышенное содержание подвижного фосфора (202–209 мг/кг) и калия (275–295 мг/кг), слабокислую и близкую к нейтральной реакцию почвенной среды ($pH = 5,9–6,1$), среднее содержание подвижных форм меди (1,55–1,57 мг/кг), низкое содержание подвижных форм цинка (1,53–1,63 мг/кг), средний индекс агрохимической окультуренности в 2018 г. и высокий – в 2020 г.

Метеорологические условия 2018–2020 гг. были неоднозначными. Вегетационный период 2018 г. характеризовался температурой выше климатической нормы в сочетании с дефицитом влаги в весенние месяцы и в середине лета. Вегетационный период 2019 г. обладал показателями температуры воздуха, наиболее приближенной к средне многолетним значениям, при этом количество осадков в весенние месяцы было достаточным, в середине лета – избыточным, а в конце лета и в период уборки урожая – недостаточным. Вегетационный период 2020 г., наоборот, отличался температурой ниже климатической нормы с избыточным увлажнением. Несмотря на сложившиеся погодные условия урожайность корнеплодов столовой свеклы и моркови была на достаточно высоком уровне.

В период проведения исследований в определенные фазы роста и развития растений моркови и свеклы столовой отмечался как дефицит, так и избыток осадков, изменчивым был и температурный режим – показатели температуры воздуха отличались от средне многолетних значений. Тем не менее за счет различий метеорологических условий была дана достоверная оценка применяемых удобрений и регуляторов роста.

Посев столовой свеклы и моркови проводили в 1 декаде мая, уборку урожая – в третьей декаде сентября. Схема посева столовой свеклы – однострочная, способ посева – широко рядный с шириной междурядий 45 см. Весовая норма высева – 12 кг/га, глубина заделки семян – 1,5–2,5 см. Морковь высевалась по двухстрочной схеме (10 + 60 см) на гребне с шириной междурядий 70 см. Норма высева – 2,5 кг/га, глубина заделки семян – 2 см.

Опыт со свеклой столовой состоял из 12 вариантов: 1) контроль (без удобрений); 2) $N_{70}P_{60}K_{100}$; 3) $N_{70}P_{60}K_{100}$ – фон; 4) фон + Эколист моно бор; 5) комплексное АФК-удобрение с $B_{0,15}Mn_{0,1}$ в дозе, эквивалентной варианту 3; 6) фон + МикроСтим бор; 7) фон + МикроСтим медь; 8) фон + МикроСтим бор, медь; 9) фон + Экосил; 10) фон + Агрикола вегета аква; 11) фон + Лифдрип; 12) $N_{100}P_{90}K_{140}$ + МикроСтим бор, медь. Опыт с морковью состоял из 13 вариантов: 1) контроль (без удобрений); 2) $N_{60}P_{60}K_{90}$; 3) $N_{80}P_{60}K_{100}$ – фон; 4) комплексное АФК-удобрение с $B_{0,15}Cu_{0,1}$ в дозе, эквивалентной варианту 3; 5) фон + Эколист моно бор; 6) фон + МикроСтим бор; 7) фон + Экосил; 8) фон + МикроСтим медь; 9) фон + МикроСтим бор, медь; 10) фон +

+ Лифдрип; 11) фон + Агрикола вегета аква; 12) $N_{100}P_{80}K_{130}$ – фон 2; 13) фон 2 + МикроСтим бор, медь.

Согласно схеме опыта, при возделывании свеклы столовой предусматривалось основное внесение карбамида (46 % N), аммонизированного суперфосфата (10 % N, 42 % P_2O_5) и хлористого калия (60 % K_2O). В качестве комплексного удобрения для основного внесения под свеклу столовую применялось АФК-удобрение марки 13:12:19 с содержанием 0,15 % B, 0,1 % Mn.

В опытах с морковью применялись карбамид (46 % N), аммонизированный суперфосфат (10 % N, 42 % P_2O_5) и хлористый калий (60 % K_2O). Для допосевого внесения использовалось комплексное АФК-удобрение для моркови марки 16:12:20 с содержанием 7 % S, 0,15 % B, 0,1 % Cu.

Для некорневой подкормки посевов свеклы и моркови использовали комплексное водорастворимое удобрение Лифдрип (10 % N, 8 % P_2O_5 , 42 % K_2O , 1 % MgO, 3 % SO_3 , 0,025 % Fe, 0,035 % Mn, 0,015 % Zn, 0,003 % Cu, 0,015 % B, 0,003 % Mo), которое вносили по вегетирующим растениям дважды: по 5 кг/га в фазу 3–4 листьев и повторно – через месяц после первой подкормки. Жидкое комплексное удобрение Агрикола вегета аква (1,8 % N, 1,2 % P_2O_5 , 1,2 % K_2O , 0,2 % гуматов, микроэлементы Cu, Mn, Zn, B) вносили трижды по 3 л/га: через месяц после всходов, через 15 дней после первой обработки и через 15 дней после второй обработки. Микроудобрения МикроСтим бор, медь (40 г/л бора, 40 г/л меди, 0,6–6,0 г/л гуматов, 65 г/л N), МикроСтим медь (78 г/л меди, 0,6–5,0 г/л гуматов, 65 г/л N), МикроСтим бор (150 г/л бора, 0,6–8,0 г/л гуматов, 50 г/л N) и Эколист моно бор (150 г/л бора) вносили дважды по 2 л/га: в фазу начала формирования корнеплода и через месяц после первой обработки. Регулятор роста Экосил (50 г/л тритерпеновых кислот) вносили дважды по 50 мл/га: в фазу 8–10 листьев и через 15 дней после первой обработки.

Уход за посевами проводили в соответствии с общепринятыми технологиями возделывания столовой свеклы и моркови. Уборка урожая проводилась вручную поделяночно с определением доли товарных корнеплодов.

В опытах проводились фенологические наблюдения и биометрические учеты. В фазу 3–4 листьев, начала формирования корнеплода, в фазу технической спелости и при уборке определяли площадь листовой поверхности у столовой свеклы по методике Н. Ф. Коняева. У рас-

тений моркови в эти же фазы проводили учет прироста зеленой массы. При определении массы листьев у моркови учитывалась надземная биомасса растений без корнеплодов.

Учет урожая проводился сплошным поделяночным методом с последующим определением структуры урожая. Доля стандартных корнеплодов определялась по ГОСТ (ГОСТ 32285-2013 «Свекла столовая свежая, реализуемая в розничной торговой сети», ГОСТ 32284-2013 «Морковь столовая свежая, реализуемая в розничной торговой сети»). В корнеплодах после уборки определялось содержание сухого вещества (ГОСТ 31640-2012), нитратов (МУ 5048-89), каротина (ГОСТ 13496.17-95), сахаров по методу Бертрана (ГОСТ 26176-91), азота (ГОСТ 13496.4-2019), фосфора (ГОСТ 26657-97), калия (ГОСТ 30504-97), меди, цинка (ГОСТ 30692-2000), марганца (ГОСТ 27997-88). В ботве и корнеплодах определялось содержание азота, фосфора, калия и микроэлементов (Cu, Zn, Mn).

Статистическую обработку полученных данных проводили в соответствии с методикой Б. А. Доспехова и М. Ф. Дембицкого с помощью пакета прикладных программ MS Excel. Расчет экономической эффективности применения удобрений проводился на основе технологических карт по возделыванию моркови и свеклы столовой в ценах сентября 2020 г. в долларовом эквиваленте.

В начальный период роста площадь листовой поверхности у растений свеклы существенно не отличалась по вариантам, кроме контрольного варианта без удобрений, где этот показатель был самым низким и составил в среднем за три года исследований $51,9 \text{ см}^2/\text{раст.}$, а в удобренных вариантах опыта был в пределах $65,1\text{--}65,9 \text{ см}^2$ (рис. 3.1).

В фазу начала формирования корнеплода до проведения некорневых подкормок микроудобрениями с возрастанием доз минеральных удобрений соответственно возрастала площадь листовой поверхности растений. По сравнению с неудобренным контролем в варианте с применением $\text{N}_{70}\text{P}_{60}\text{K}_{100}$ площадь листовой поверхности у растений свеклы была больше на $62 \text{ см}^2/\text{раст.}$, в вариантах с фоновым применением минеральных удобрений в дозе $\text{N}_{90}\text{P}_{80}\text{K}_{130}$ площадь листьев свеклы столовой возросла на $84,6\text{--}99,7 \text{ см}^2/\text{раст.}$

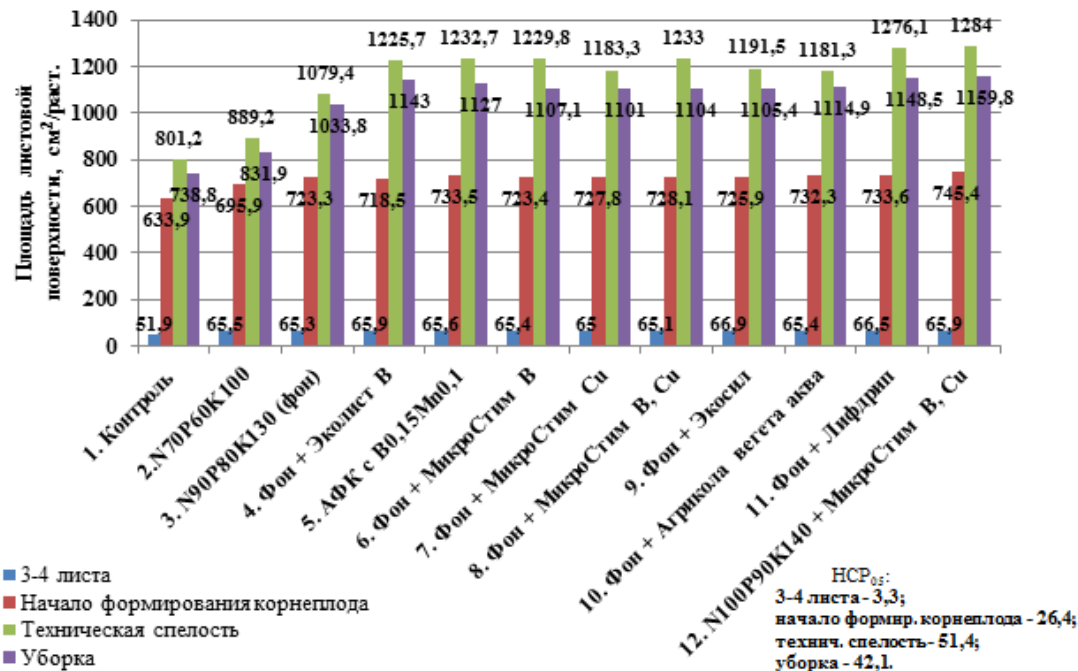


Рис. 3.1. Динамика нарастания площади листовой поверхности у растений свеклы столовой в зависимости от применяемых систем удобрения (среднее за 2018–2020 гг.)

Наибольший показатель площади листьев у свеклы в фазу начала образования корнеплода был отмечен в варианте $N_{100}P_{90}K_{140}$ + МикроСтим бор, медь – 745,4 см²/раст.

В фазу технической спелости все изучаемые микроудобрения и регулятор роста Экосил на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ способствовали повышению площади листовой поверхности на 101,9–196,7 см²/раст. Наибольшая площадь листьев у растений свеклы была в варианте $N_{100}P_{90}K_{140}$ + МикроСтим бор, медь – 1284,0 см²/раст.

В варианте с применением нового комплексного удобрения с бором и марганцем в дозе $N_{90}P_{80}K_{130}$ по сравнению с вариантом, где применялись в эквивалентных дозах карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий, площадь листьев свеклы столовой возросла на 153,3 см²/раст.

Подкормки посевов свеклы борными микроудобрениями МикроСтим бор и Эколист моно бор на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ увеличили площадь листовой поверхности свеклы на 150,4 и 146,3 см²/раст.

Применение регулятора роста Экосил, микроудобрения МикроСтим медь и жидкого комплексного удобрения с микроэлементами Агрикола вегета аква на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ способствовало возрастанию площади листьев свеклы на 112,1, 103,9 и 101,9 см²/раст.

Комплексное удобрение с микроэлементами Лифдрип и микроудобрение МикроСтим бор, медь на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ повысили площадь листовой поверхности свеклы столовой на 196,7 и 153,6 см²/раст. соответственно.

К моменту уборки у растений свеклы произошло отмирание нижних листьев вследствие оттока питательных веществ в корнеплод, что привело к уменьшению площади листовой поверхности.

Наибольшая площадь листьев у свеклы в период уборки сохранилась у растений в вариантах $N_{100}P_{90}K_{140}$ + МикроСтим бор, медь – 1159,8 см²/раст., $N_{90}P_{80}K_{130}$ + Лифдрип – 1148,5 см²/раст. и $N_{100}P_{90}K_{140}$ + Эколист моно бор – 1143,0 см²/раст.

В начальный период роста масса листьев растений моркови (в пересчете на одно растение) не превышала 0,4 г (рис. 3.2), причем существенных различий по этому показателю среди изучаемых вариантов отмечено не было. Это связано с биологическими особенностями культуры (очень медленные темпы роста в начале вегетации) и незначительным развитием корневой системы, которая имеет слабую усваивающую способность в это время.

В фазу начала образования корнеплода масса листьев одного растения увеличилась до 3,1–3,8 г и наибольшие значения были отмечены в варианте $N_{100}P_{80}K_{130}$ – 3,8 г, что на 0,6 г выше, чем при внесении $N_{80}P_{60}K_{100}$.

При допосевном внесении нового комплексного удобрения с серой, бором и медью в дозе $N_{80}P_{60}K_{100}$ по сравнению с вариантом 3, где в эквивалентных дозах применялись карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий, масса листьев моркови увеличилась на 0,3 г/раст. В вариантах с применением микроудобрения МикроСтим медь, комплексного удобрения с микроэлементами Лифдрип и жидкого комплексного удобрения Агрикола вегета аква на фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ произошло повышение массы листьев растений моркови на 0,3 г, а в варианте $N_{80}P_{60}K_{100}$ + МикроСтим бор, медь – на 0,4 г/раст.

В вариантах с применением микроудобрений Эколист моно бор, МикроСтим медь и регулятора роста Экосил на фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ к фазе технической спелости не произошло увеличения массы листьев у растений моркови (рис. 3.2). Комплексное удобрение (NPK с $S_7B_{0,15}Cu_{0,10}$) для основного внесения в дозе $N_{80}P_{60}K_{100}$ по сравнению с вариантом, где вносили в такой же дозе карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий, повысило массу листьев растений моркови на 3,1 г.

Обработки посевов микроудобрениями МикроСтим бор, МикроСтим бор, медь, а также комплексными удобрениями с микроэлементами Лифдрип и Агрикола вегета аква на фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ повысили массу листьев моркови относительно фона 1 на 2,4, 2,8, 4,5 и 2,5 г/раст. соответственно. Двукратная обработка посевов моркови микроудобрением МикроСтим бор, медь на фоне $N_{100}P_{80}K_{130}$ повысила массу листьев моркови на 2,4 г/раст. относительно фона 2 ($N_{100}P_{80}K_{130}$).

К моменту уборки во всех вариантах опыта было отмечено снижение массы листьев у растений моркови, что можно объяснить окончанием вегетационного периода культуры и передвижением пластических веществ из листьев в корнеплод. Наибольшая масса листьев у растений моркови в период уборки была в вариантах $N_{100}P_{80}K_{130}$ (50,2 г/раст.) и $N_{100}P_{80}K_{130}$ + МикроСтим бор, медь (50,6 г/раст.).

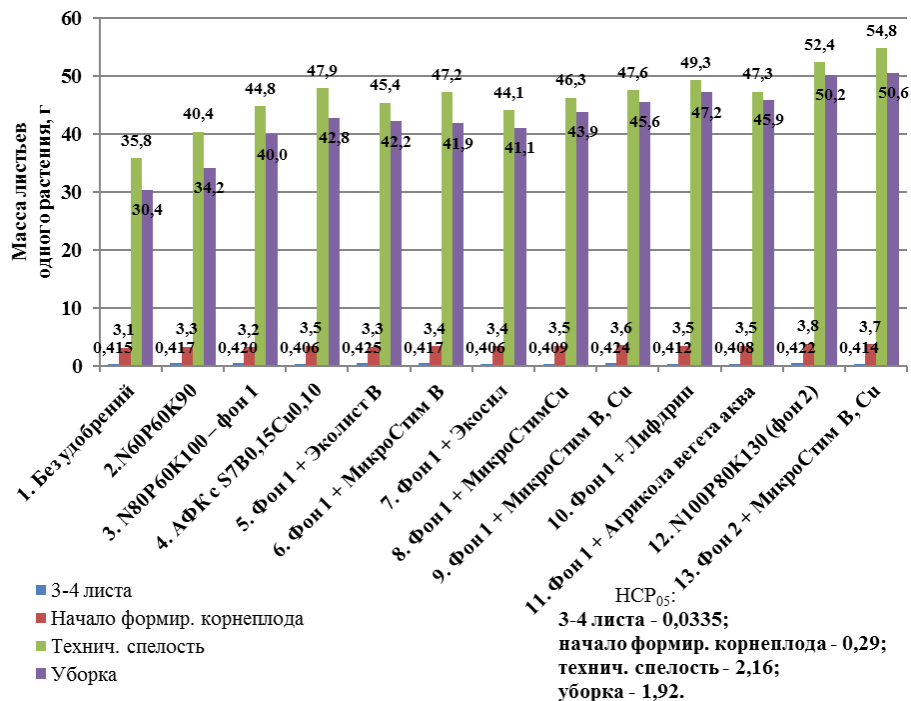


Рис. 3.2. Динамика нарастания массы листьев у растений моркови в зависимости от применяемых систем удобрения (среднее за 2018 и 2020 гг.)

3.2. Урожайность столовой свеклы и моркови в зависимости от применяемых форм удобрений и регуляторов роста

За 2018–2020 гг. исследований средняя урожайность корнеплодов столовой свеклы в варианте без удобрений составила 23,8 т/га (табл. 3.1). Применение минеральных удобрений в дозе $N_{70}P_{60}K_{100}$ и $N_{90}P_{80}K_{130}$ обеспечило прибавку урожайности корнеплодов 15,1 и 22,2 т/га соответственно по отношению к контролю. Окупаемость 1 кг НРК в этих вариантах составила 66 и 74 кг корнеплодов соответственно.

Некорневая подкормка посевов свеклы микроудобрениями Эколист моно бор и МикроСтим бор на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ повысила урожайность корнеплодов на 4,8 и 5,4 т/га при окупаемости 1 кг НРК 90 и 92 кг корнеплодов столовой свеклы соответственно.

Таблица 3.1. Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на урожайность корнеплодов столовой свеклы, т/га

Варианты опыта	Урожайность, т/га				Прибавка к контролю, т/га	Прибавка к фону, т/га	Окупаемость 1 кг НРК, кг корнеплодов
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Средняя			
1. Контроль (без удобрений)	17,4	23,3	30,7	23,8	–	–	–
2. $N_{70}P_{60}K_{100}$	37,7	40,5	38,4	38,9	15,1	–	66
3. $N_{90}P_{80}K_{130}$ – фон	42,6	46,9	48,5	46,0	22,2	–	74
4. Фон + Эколист моно бор	49,6	50,7	52,3	50,8	27,0	4,8	90
5. Комплексное АФК-удобрение с $B_{0,15}Mn_{0,1}$ (в дозе, эквивалентной варианту 3)	51,1	56,9	54,9	54,3	30,5	8,3	102
6. Фон + МикроСтим бор	49,9	51,8	52,7	51,4	27,6	5,4	92
7. Фон + МикроСтим медь	45,9	53,9	50,5	50,1	26,3	4,1	88
8. Фон + МикроСтим бор, медь	51,5	53,8	53,2	52,8	29,0	6,8	97
9. Фон + Экосил	46,2	52,5	51,8	50,1	26,3	4,1	88
10. Фон + Агрикола вегета аква	45,7	52,4	50,6	49,6	25,8	3,6	86
11. Фон + Лифдрип	48,1	54,4	54,1	52,2	28,4	6,2	95
12. $N_{100}P_{90}K_{140}$ + МикроСтим бор, медь	53,6	56,0	57,6	55,7	31,9	–	97
НСР ₀₅	1,93	2,30	1,63	1,70	–	–	–

Комплексное азотно-фосфорно-калийное удобрение марки 13:12:19 с бором и марганцем по сравнению с вариантом, где применялись карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий в эквивалентных дозах ($N_{90}P_{80}K_{130}$), повысило урожайность корнеплодов свеклы на 8,3 т/га, а окупаемость 1 кг NPK была максимальной в опыте и составила 102 кг корнеплодов.

Применение микроудобрения МикроСтим медь на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ обеспечило прибавку урожая на 4,1 т/га с окупаемостью 1 кг NPK 88 кг корнеплодов свеклы.

Микроудобрение МикроСтим бор, медь на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ и $N_{100}P_{90}K_{140}$ обеспечило урожайность на уровне 52,8 и 55,7 т/га соответственно с окупаемостью 1 кг NPK 97 кг корнеплодов.

Применение регулятора роста Экосил в посевах свеклы на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ повысило урожайность корнеплодов на 4,1 т/га, а окупаемость 1 кг NPK составила 88 кг корнеплодов.

Прибавка урожайности корнеплодов от применения жидкого комплексного удобрения с микроэлементами Агрикола вегета аква на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ была минимальной и составила 3,6 т/га со значением окупаемости 1 кг NPK 86 кг корнеплодов. Обработка посевов комплексным удобрением с микроэлементами Лифдрил на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ повысила урожайность корнеплодов на 6,2 т/га с окупаемостью 1 кг NPK 95 кг корнеплодов.

Максимальная урожайность столовой свеклы и окупаемость 1 кг NPK кг корнеплодов была в вариантах $N_{100}P_{90}K_{140}$ + МикроСтим бор, медь – 55,7 т/га и 97 кг, а также в варианте с использованием комплексного АФК-удобрения с бором и марганцем в дозе $N_{90}P_{80}K_{130}$ – 54,3 т/га и 102 кг соответственно.

За годы исследований наименьшая урожайность корнеплодов моркови была в варианте без удобрений – 28,9 т/га (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Влияние удобрений и регуляторов роста на урожайность корнеплодов моркови, т/га

Варианты опыта	Урожайность, т/га			Прибавка, т/га			Окупаемость 1 кг NPK, кг корнепло- дов
	2018 г.	2020 г.	сред- няя	кон- троль	фон 1	фон 2	
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Контроль (без удобрений)	25,9	31,9	28,9	–	–	–	–
2. $N_{60}P_{60}K_{90}$	47,3	44,0	45,6	16,7	–	–	80
3. $N_{80}P_{60}K_{100}$ – фон 1	51,3	48,2	49,8	20,9	–	–	87

1	2	3	4	5	6	7	8
4. Комплексное АФК-удобрение с $S_7V_{0,15}Cu_{0,10}$ (в дозе, эквивалентной варианту 3)	57,3	55,8	56,6	27,7	6,8	–	115
5. Фон 1 + Эколист моно бор	56,1	53,6	54,8	25,9	5,0	–	108
6. Фон 1 + МикроСтим бор	54,8	54,2	54,5	25,6	4,7	–	107
7. Фон 1 + Экосил	53,0	51,6	52,3	23,4	2,5	–	98
8. Фон 1 + МикроСтим медь	57,1	53,6	55,4	26,5	5,6	–	110
9. Фон 1 + МикроСтим бор, медь	59,9	55,0	57,4	28,5	7,6	–	119
10. Фон 1 + Лифдрип	58,7	58,5	58,6	29,7	8,8	–	124
11. Фон 1 + Агрикола вегета аква	53,3	52,5	52,9	24,0	3,1	–	100
12. $N_{100}P_{80}K_{130}$ – фон 2	58,5	62,5	60,5	31,6	–	–	102
13. Фон 2 + МикроСтим бор, медь	62,8	67,9	65,3	36,4	–	4,8	117
НСР ₀₅	1,83	1,98	1,35	–	–	–	–

Внесение минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{90}$, $N_{80}P_{60}K_{100}$ и $N_{100}P_{80}K_{130}$ повысило урожайность корнеплодов на 16,7, 20,9 и 36,4 т/га, а окупаемость 1 кг NPK в этих вариантах составила 80, 87 и 102 кг корнеплодов соответственно.

Комплексное АФК-удобрение для основного внесения марки 16:12:20 с $S_7V_{0,15}Cu_{0,10}$ в дозе $N_{80}P_{60}K_{100}$ по сравнению с вариантом 3, где вносили в таких же дозах карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий, повысило урожайность корнеплодов моркови на 6,8 т/га, а окупаемость 1 кг NPK составила 115 кг корнеплодов. Двукратная некорневая подкормка посевов моркови микроудобрениями Эколист моно бор и МикроСтим бор на фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ увеличила урожайность моркови на 5,0 и 4,7 т/га соответственно с окупаемостью 1 кг NPK 108 и 107 кг корнеплодов.

Прибавка урожайности корнеплодов от применения регулятора роста Экосил, а также комплексных удобрений для некорневых подкормок Лифдрип и Агрикола вегета аква на фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ составила 2,5, 8,8 и 3,1 т/га. Окупаемость 1 кг NPK в этих вариантах составила 98, 124 и 100 кг корнеплодов соответственно. На фоне $N_{100}P_{80}K_{130}$ двукратное применение микроудобрения МикроСтим бор, медь увеличило урожайность корнеплодов моркови на 4,8 т/га, а на фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ – на 7,6 т/га при окупаемости 1 кг NPK 117 и 119 кг корнеплодов.

Максимальная продуктивность моркови была отмечена в варианте $N_{100}P_{80}K_{130}$ – 60,5 т/га и в варианте $N_{100}P_{80}K_{130}$ + МикроСтим бор, медь – 65,3 т/га. Максимальная окупаемость 1 кг НРК в вариантах $N_{80}P_{60}K_{100}$ + МикроСтим бор, медь и $N_{80}P_{60}K_{100}$ + Лифдрип составила 119 и 124 кг корнеплодов соответственно.

3.3. Действие макро-, микроудобрений и регуляторов роста на качество урожая столовой свеклы и моркови

В среднем за три года исследований минимальная доля товарных корнеплодов свеклы столовой была отмечена в варианте без удобрений – 68,6 % (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Влияние удобрений и регуляторов роста на показатели качества корнеплодов столовой свеклы (среднее за 2018–2020 гг.)

Варианты опыта	Товарность, %	Сухое вещество, %	Сахара, %	Нитраты, мг/кг сырой массы			Средняя масса корнеплода, г
				2018 г.	2019 г.	2020 г.	
1. Контроль (без удобрений)	68,6	14,0	10,4	882	645	101	107
2. $N_{70}P_{60}K_{100}$	85,0	13,5	11,1	1078	870	157	154
3. $N_{90}P_{80}K_{130}$ – фон	88,6	14,7	11,8	1341	1025	339	195
4. Фон + Эколист моно бор	92,6	16,1	13,2	1209	913	172	240
5. Комплексное АФК-удобрение с $B_{0,15}Mn_{0,1}$ (в дозе, эквивалентной варианту 3)	96,2	16,3	13,8	1203	808	355	235
6. Фон + МикроСтим бор	94,1	15,9	13,2	1237	865	152	249
7. Фон + МикроСтим медь	90,5	15,7	12,8	1261	898	151	226
8. Фон + МикроСтим бор, медь	93,2	17,2	14,4	1242	753	117	241
9. Фон + Экосил	90,4	15,3	12,8	1171	772	86	215
10. Фон + Агрикола вегета аква	89,6	15,4	12,5	1125	836	103	218
11. Фон + Лифдрип	94,9	16,8	14,9	1231	820	166	261
12. $N_{100}P_{90}K_{140}$ + МикроСтим бор, медь	93,3	17,4	15,3	1354	923	276	262
НСР ₀₅	2,71	0,65	0,67	57,8	38,9	51,8	8,9

Одностороннее применение минеральных удобрений, а также их сочетание с обработкой посевов микроудобрениями и регулятором ро-

ста способствовало значительному повышению выхода товарных корнеплодов в доле урожая.

Так, по сравнению с неудобренным контролем внесение минеральных удобрений в дозах $N_{70}P_{60}K_{100}$ и $N_{90}P_{80}K_{130}$ увеличило выход товарных корнеплодов на 16,4 и 20,0 % до 85,0 и 88,6 % соответственно.

Наибольшая доля товарных корнеплодов (96,2 %) была отмечена в варианте с использованием нового комплексного АФК-удобрения с $B_{0,15}Mn_{0,1}$, и она была выше, чем при применении карбамида, аммонизированного суперфосфата и хлористого калия в эквивалентной дозе ($N_{90}P_{80}K_{130}$).

Также высокий показатель товарности был отмечен в варианте с использованием комплексного удобрения с микроэлементами Лифд-рип для некорневых подкормок на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ – 94,9 % с увеличением к фону на 6,3 %.

Борсодержащие микроудобрения Эколист моно бор и МикроСтим бор на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ повысили товарность корнеплодов свеклы на 4,0 и 5,5 % соответственно.

В вариантах с применением микроудобрения МикроСтим-Медь, регулятора роста Экосил и жидкого комплексного удобрения с микроэлементами Агрикола вегета аква на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ не было отмечено увеличения товарности корнеплодов столовой свеклы.

Обработка посевов свеклы микроудобрением МикроСтим бор, медь на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ повысила товарность корнеплодов на 4,6 % (с 88,6 до 93,2 %), а использование этого же микроудобрения на фоне повышенных доз минеральных удобрений $N_{100}P_{90}K_{140}$ обеспечило товарность корнеплодов свеклы на уровне 93,3 %.

В среднем за 2018–2020 гг. исследований содержание сухого вещества в корнеплодах столовой свеклы по вариантам опыта составило от 13,5 до 17,4 %. В варианте без удобрений этот показатель находился на уровне 14,0 %. При внесении $N_{70}P_{60}K_{100}$ содержание сухого вещества в корнеплодах не изменилось. При повышении уровня минерального питания до $N_{90}P_{80}K_{130}$ процент сухого вещества возрос на 0,7 % до 14,7 %.

Корнеплоды столовой свеклы, выращенные при внесении комплексного АФК-удобрения с микроэлементами в дозе, эквивалентной варианту 3 ($N_{90}P_{80}K_{130}$), где применялись карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий, содержали в среднем 16,3 % сухого вещества.

На фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ обработка посевов микроудобрениями Эколист моно бор, Микростим бор, МикроСтим медь, МикроСтим бор, медь повысили содержание сухого вещества в корнеплодах столовой свеклы на 1,4, 1,2, 1 и 2,5 % соответственно.

Применение регулятора роста Экосил на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ не увеличило содержание сухого вещества в корнеплодах.

В вариантах с применением жидкого комплексного удобрения с микроэлементами Агрикола вегета аква и комплексного удобрения с микроэлементами Лифдрип на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ повысилось содержание сухого вещества на 0,7 и 2,1 % соответственно.

Наибольшее содержание сухого вещества в корнеплодах столовой свеклы (17,4 %) было отмечено при применении микроудобрения МикроСтим бор, медь на фоне $N_{100}P_{90}K_{140}$.

Содержание сахаров в корнеплодах свеклы в контрольном варианте было самым низким в опыте – 10,4 %. Внесение минеральных удобрений в дозе $N_{70}P_{60}K_{100}$ увеличило содержание сахаров на 0,7 %, а дальнейшее повышение уровня минерального питания до $N_{90}P_{80}K_{130}$ повысило содержание сахаров на 1,4 %.

Комплексное АФК-удобрение с бором и марганцем, которое вносили в дозе, эквивалентной варианту 3 ($N_{90}P_{80}K_{130}$), где применялись карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий, повысило содержание сахаров на 2,0 % (до 13,8 %).

Некорневая подкормка микроудобрениями Эколист моно бор и МикроСтим бор на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ равнозначно увеличила содержание сахаров на 1,4 %.

Обработка посевов свеклы микроудобрениями МикроСтим медь и МикроСтим бор, медь на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ повысила содержание сахаров в корнеплодах на 1,0 и 2,6 % соответственно.

Применение регулятора роста Экосил на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ увеличило содержание сахаров на 1,0 %.

Подкормки посевов свеклы жидким комплексным удобрением с микроэлементами Агрикола вегета аква и французским комплексным удобрением с микроэлементами Лифдрип на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ повысили содержание сахаров в корнеплодах на 0,7 и 3,1 % соответственно.

Наибольшее содержание сахаров в корнеплодах свеклы было в варианте $N_{100}P_{90}K_{140}$ + МикроСтим бор, медь – 15,3 %.

Ввиду биологических особенностей в корнеплодах свеклы столовой возможно накопление большого количества нитратов. За период исследований в 2018–2020 гг. уровень содержания нитратов в корне-

плодах столовой свеклы не превышал ПДК, значение которого для столовой свеклы составляет 1400 мг/кг сырой массы.

В 2018 г. содержание нитратов в корнеплодах было выше, чем в 2019 г. В среднем за годы исследований минимальное содержание нитратов в корнеплодах было отмечено в варианте без удобрений – от 101 до 882 мг/кг сырой массы. Применение минеральных удобрений в дозах $N_{70}P_{60}K_{100}$ и $N_{90}P_{80}K_{130}$ повысило содержание нитратов по отношению к контролю на 196 и 459 мг/кг в 2018 г., на 225 и 380 мг/кг – в 2019 г. и на 56 и 238 мг/кг – в 2020 г.

По сравнению с простыми формами минеральных удобрений (карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий), которые вносили в дозе $N_{90}P_{80}K_{130}$, применение в эквивалентной дозе комплексного АФК-удобрения с микроэлементами способствовало снижению концентрации нитратов в корнеплодах в 2018 г. на 138 мг/кг, в 2019 г. – на 217 мг/кг соответственно. В 2020 г. содержание нитратов в корнеплодах не изменилось.

Применение микроудобрений, в том числе комплексных для некорневых подкормок, а также регулятора роста Экосил на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ снизило содержание нитратов в корнеплодах свеклы столовой в 2018 г. на 80–216 мг/кг, в 2019 г. – на 112–272 мг/кг, в 2020 г. – на 167–253 мг/кг сырой массы.

Наименьшая средняя масса корнеплода столовой свеклы была в контрольном варианте. Внесение минеральных удобрений способствовало увеличению этого показателя: в варианте с применением $N_{70}P_{60}K_{100}$ – на 47 г с 107 до 154 г, $N_{90}P_{80}K_{130}$ – на 88 г до 195 г. Все изучаемые микроудобрения, в том числе комплексные для основного внесения и некорневых подкормок, по сравнению с фоном оказали положительное влияние на значение средней массы корнеплода, которая повысилась на 20–66 г.

За годы исследований наибольшей массы корнеплоды столовой свеклы были отмечены в варианте с применением повышенных доз минеральных удобрений $N_{100}P_{90}K_{140}$ с двукратной некорневой подкормкой микроудобрением МикроСтим бор, медь – 262 г.

В контрольном варианте товарность корнеплодов моркови была наименьшей и составила 65,9 % (табл. 3.4).

Минеральные удобрения в дозах $N_{60}P_{60}K_{90}$, $N_{80}P_{60}K_{100}$ и $N_{100}P_{80}K_{130}$ способствовали увеличению товарности корнеплодов на 8,1, 9,7 и 17,6 % соответственно.

Наибольший выход товарных корнеплодов был в вариантах с применением комплексного удобрения Лифдрип на фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ – 86,1 % (+10,5 % к фону) и МикроСтим бор, медь на фоне $N_{100}P_{80}K_{130}$ – 85,9 % (+2,4 % к фону).

Таблица 3.4. Влияние удобрений и регуляторов роста на показатели качества корнеплодов моркови (среднее за 2018 и 2020 гг.)

Варианты опыта	Товар- вар- ность, %	Средняя масса корне- плода, г	Содержание			Нитраты, мг/кг сырой массы	
			β -каротин, мг/%	Сухое ве- щество, %	Сахара, %	2018 г.	2020 г.
1. Контроль (без удобрений)	65,9	83	12,1	10,1	6,3	131	44
2. $N_{60}P_{60}K_{90}$	74,0	114	12,7	9,8	6,8	172	55
3. $N_{80}P_{60}K_{100}$ – фон 1	75,6	127	13,0	9,7	6,8	208	57
4. Комплексное АФК-удобрение с $S_7B_{0,15}Cu_{0,10}$ (в дозе, эквивалентной варианту 3)	81,7	165	14,3	11,4	7,3	192	39
5. Фон 1 + Эколист моно бор	79,8	141	14,0	11,7	7,9	152	44
6. Фон 1 + МикроСтим бор	80,1	136	14,1	11,4	7,9	158	34
7. Фон 1 + Экосил	78,4	136	13,5	11,3	7,1	201	45
8. Фон 1 + МикроСтим медь	79,8	133	14,4	10,8	7,4	150	51
9. Фон 1 + МикроСтим бор, медь	81,7	155	13,7	11,2	7,1	144	48
10. Фон 1 + Лифдрип	86,1	166	14,7	11,8	8,1	241	53
11. Фон 1 + Агрикола вегета аква	78,4	139	13,5	10,3	7,2	195	53
12. $N_{100}P_{80}K_{130}$ – фон 2	83,5	169	13,4	11,1	7,2	240	83
13. Фон 2 + МикроСтим бор, медь	85,9	172	13,8	12,2	7,6	226	75
НСР ₀₅	1,82	5,0	0,19	0,30	0,18	11,9	5,6

Комплексное АФК-удобрение с $S_7B_{0,15}Cu_{0,10}$ в дозе $N_{80}P_{60}K_{100}$ по сравнению с внесением карбамида, аммонизированного суперфосфата и хлористого калия в эквивалентной дозе увеличило товарность корнеплодов на 6,1 %.

Микроудобрения Эколист моно бор, МикроСтим бор и МикроСтим медь на фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ одинаково влияли на показатель товарности корнеплодов, который составил в этих вариантах опыта 79,8, 80,1 и 79,8 % соответственно.

На фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$, регулятора роста Экосил и ЖКУ Агрикола вегета аква товарность корнеплодов моркови повысилась на 2,8 %.

В контрольном варианте средняя масса корнеплода моркови составила 83 г. Применение минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{90}$, $N_{80}P_{60}K_{100}$ и $N_{100}P_{80}K_{130}$ способствовало увеличению средней массы корнеплода на 31, 44 и 86 г соответственно.

От применения комплексного АФК-удобрения с $S_7B_{0,15}Cu_{0,10}$ в дозе $N_{80}P_{60}K_{100}$ средняя масса корнеплода моркови повысилась на 38 г по сравнению с вариантом, где в таких же дозах применялись карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий. Двукратная некорневая подкормка моркови удобрением с микроэлементами Лифд-рип на фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ увеличила среднюю массу корнеплода на 39 г. В результате трехкратной обработки посевов ЖКУ Агрикола вегета аква на фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ прирост средней массы корнеплода составил 12 г.

На фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ микроудобрение МикроСтим бор, медь повысило среднюю массу корнеплода на 28 г, а на фоне $N_{100}P_{80}K_{130}$ увеличение средней массы корнеплода отмечено не было.

Двукратная обработка посевов микроудобрениями Эколист моно бор, МикроСтим бор и МикроСтим медь на фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ обеспечила увеличение средней массы корнеплода моркови на 14, 9, и 6 г соответственно.

От применения регулятора роста Экосил на фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ средняя масса корнеплода возросла на 9 г.

Наименьшее содержание каротина в корнеплодах моркови наблюдалось в варианте без применения удобрений – 12,1 мг/%. Внесение минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{90}$, $N_{80}P_{60}K_{100}$ и $N_{100}P_{80}K_{130}$ повысило содержание каротина в моркови на 0,6, 0,9 и 1,3 мг/%.

При применении комплексного АФК-удобрения с $S_7B_{0,15}Cu_{0,10}$ в основном внесении в дозе $N_{80}P_{60}K_{100}$ по сравнению с вариантом, где в эквивалентной дозе вносили карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий, было отмечено повышение содержания каротина в корнеплодах моркови на 1,3 мг/%.

Наибольшее содержание каротина в моркови было в варианте $N_{80}P_{60}K_{100}$ + Лифд-рип – 14,7 мг/%, что выше на 1,7 мг/%, чем в фоновом варианте.

На фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ борные микроудобрения Эколист моно бор и МикроСтим бор, увеличили содержание каротина в корнеплодах на 1,0 и 1,1 мг/% соответственно, а от применения медьсодержащего

микроудобрения МикроСтим медь на этом же фоне содержание каротина в корнеплодах моркови возросло на 1,4 мг/%. Обработки посевов моркови регулятором роста Экосил и ЖКУ Агрикола вегета аква на фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ увеличили содержание каротина на 0,5 мг/%.

От применения микроудобрения МикроСтим бор, медь на фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ и $N_{100}P_{80}K_{130}$ содержание каротина в корнеплодах моркови увеличилось на 0,7 и 0,4 мг/% соответственно.

За годы исследований максимальное содержание каротина в моркови было в варианте $N_{80}P_{60}K_{100}$ + Лифдрип – 14,7 мг/%.

В варианте без удобрений содержание сухого вещества в корнеплодах моркови составило 10,1 %. Минеральные удобрения в дозах $N_{60}P_{60}K_{90}$ и $N_{80}P_{60}K_{100}$ не снизили содержание сухого вещества в корнеплодах, а при внесении $N_{100}P_{80}K_{130}$ произошло увеличение содержания сухого вещества на 1,0 %. При внесении комплексного АФК-удобрения с $S_7B_{0,15}Cu_{0,10}$ в дозе $N_{80}P_{60}K_{100}$ содержание сухого вещества в корнеплодах возросло в среднем за 2 года на 1,7 % по сравнению с вариантом 3, где в таких же дозах применялись карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий.

В вариантах с трехкратным применением жидкого комплексного удобрения с микроэлементами Агрикола вегета аква и двукратной некорневой подкормкой комплексным удобрением с микроэлементами Лифдрип на фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ повышалось содержание сухого вещества на 0,6 и 2,1 % соответственно.

На фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ обработки посевов моркови микроудобрениями Эколист моно бор, МикроСтим бор, МикроСтим медь и регулятором роста Экосил способствовали повышению содержания в корнеплодах сухого вещества на 2,0, 1,7, 1,1 и 1,6 % соответственно. На фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ двукратная обработка посевов моркови микроудобрением МикроСтим бор, медь увеличила содержание сухого вещества в корнеплодах на 1,5, а на фоне $N_{100}P_{80}K_{130}$ – на 1,1 % соответственно.

Максимальное накопление сухого вещества в корнеплодах моркови установлено в варианте $N_{100}P_{80}K_{130}$ + МикроСтим бор, медь – 12,2 %.

Наименьшим содержанием сахаров отличались корнеплоды моркови, выращенные без удобрений. В данном варианте содержание сахаров составило 6,3 %. Минеральные удобрения в дозах $N_{60}P_{60}K_{90}$ и $N_{80}P_{60}K_{100}$ одинаково повышали содержание сахаров – на 0,5 %.

Комплексное АФК-удобрение с $S_7B_{0,15}Cu_{0,10}$ в дозе $N_{80}P_{60}K_{100}$ увеличило содержание сахаров на 0,5 % (с 6,8 до 7,3 %) относительно варианта 3, где в такой же дозе вносили карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий.

На фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ и $N_{100}P_{80}K_{130}$ от применения микроудобрения МикроСтим бор, медь содержание сахаров в корнеплодах моркови возросло на 0,3 и 0,4 % соответственно.

Борсодержащие микроудобрения Эколист моно бор и МикроСтим бор на фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ равнозначно увеличили содержание сахаров в корнеплодах моркови – на 1,1 %.

На фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ обработки посевов моркови регулятором роста Экосил, микроудобрением МикроСтим медь и комплексными удобрениями Лифдрип и Агрикола вегета аква повысили содержание сахаров в корнеплодах на 0,3, 0,6, 1,3 и 0,4 %, соответственно.

Максимальное содержание сахаров накопилось в варианте $N_{80}P_{60}K_{100}$ + Лифдрип – 8,1 %, несколько ниже – в вариантах $N_{80}P_{60}K_{100}$ + МикроСтим бор и $N_{80}P_{60}K_{100}$ + Эколист моно бор – по 7,9 %.

В годы исследований уровень содержания нитратов в корнеплодах моркови во всех вариантах опыта не превышал ПДК (при поздних сроках уборки моркови ПДК для нитратов составляет 250 мг/кг сырой массы).

Отмечено, что в 2018 г. содержание нитратов в корнеплодах было выше, чем в 2020 г., что, скорее всего, можно объяснить бóльшим количеством пасмурных дней в 2018 г. по сравнению с 2020 г. Кроме этого, в июне и июле 2018 г. наблюдалось избыточное выпадение осадков (больше среднеголетних значений), что привело к водному стрессу растений, а это, несомненно, способствовало активному накоплению азотистых соединений в растениях. Минимальным содержанием нитратов отличались корнеплоды в контрольном варианте – 131 и 44 мг/кг сырой массы. Минеральные удобрения в дозах $N_{60}P_{60}K_{90}$, $N_{80}P_{60}K_{100}$ и $N_{100}P_{80}K_{130}$ увеличили содержание нитратов по отношению к контролю в 2018 г. на 41, 77 и 109 мг/кг сырой массы, а в 2020 г. – на 11, 13 и 39 мг/кг сырой массы соответственно.

По сравнению со стандартными формами минеральных удобрений (карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий), которые вносили в дозе $N_{80}P_{60}K_{100}$, применение в эквивалентной дозе комплексного АФК-удобрения с $S_7B_{0,15}Cu_{0,10}$ способствовало снижению концентрации нитратов в корнеплодах на 16 мг/кг в 2018 г. и на 18 мг/кг сырой массы в 2020 г.

В вариантах $N_{80}P_{60}K_{100}$ + Эколист моно бор и $N_{80}P_{60}K_{100}$ + МикроСтим бор в 2018 г. концентрация нитратов в корнеплодах снизилась на

56 и 50 мг/кг, а в 2020 г. – на 13 и 23 мг/кг по сравнению с фоном $N_{80}P_{60}K_{100}$.

Применение регулятора роста Экосил в 2018 г. не оказало положительного влияния на снижение нитратов в корнеплодах моркови, а в 2020 г. в этом варианте опыта было отмечено снижение содержания нитратов в корнеплодах на 12 мг/кг сырой массы.

На фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ и $N_{100}P_{80}K_{130}$ обработка посевов микроудобрением МикроСтим бор, медь в 2018 г. привела к снижению накопления нитратов в моркови на 64 и 14 мг/кг, а в 2020 г. – на 9 и 8 мг/кг.

Микроудобрение МикроСтим медь на фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ в 2018 г. способствовало снижению содержания нитратов в корнеплодах на 58 мг/кг, а в 2020 г. – на 6 мг/кг.

В 2018 г. в варианте $N_{80}P_{60}K_{100}$ + Лифдрип содержание нитратов повысилось на 33 мг/кг, а в варианте $N_{80}P_{60}K_{100}$ + Агрикола вегета аква снизилось на 13 мг/кг. В 2020 г. в этих вариантах опыта по сравнению с фоном содержание нитратов в корнеплодах существенно не изменилось.

3.4. Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на вынос элементов питания растениями столовой свеклы и моркови

Применение удобрений оказывало наиболее существенное влияние на содержание в корнеплодах и ботве столовой свеклы азота (табл. 3.5). При внесении минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{80}K_{130}$ по сравнению с вариантом без удобрений в ботве увеличилось содержание азота на 0,83 %, а калия снизилось на 1,31 %, содержание фосфора не изменилось, при этом в корнеплодах содержание азота возросло на 0,34 %, а содержание фосфора и калия не изменилось.

На фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ содержание азота в ботве свеклы столовой снизилось во всех вариантах с применением микроудобрений и регулятора роста, но наибольшее снижение отмечено в варианте $N_{90}P_{80}K_{130}$ + МикроСтим бор, медь – на 0,26 %. В корнеплодах содержание азота по вариантам опыта существенно не изменилось, кроме вариантов с обработкой посевов микроудобрением Эколист моно бор и регулятором роста Экосил на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$, где этот показатель повысился на 0,25 и 0,2 % соответственно. Применение комплексного АФК-удобрения с В и Мп в дозе, эквивалентной варианту 3, где использовались карбамид, суперфосфат аммонизированный и хлористый калий, увеличило

содержание азота в корнеплодах на 0,22 %, при этом в ботве его количество снизилось на 0,78 %.

Таблица 3.5. Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на содержание макроэлементов в корнеплодах и ботве столовой свеклы (среднее за 2018–2020 гг.)

Варианты опыта	Содержание в корнеплодах, %			Содержание в ботве, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Контроль (без удобрений)	1,01	0,69	3,65	2,06	0,97	5,65
2. N ₇₀ P ₆₀ K ₁₀₀	1,35	0,67	3,44	2,65	0,93	4,70
3. N ₉₀ P ₈₀ K ₁₃₀ – фон	1,35	0,65	3,71	2,89	0,99	4,34
4. Фон + Эколист моно бор	1,60	0,79	3,66	2,75	1,03	4,91
5. Комплексное АФК-удобрение с B _{0,15} Mn _{0,1} (в дозе, эквивалентной варианту 3)	1,57	0,79	3,94	2,11	1,18	4,74
6. Фон + МикроСтим бор	1,38	0,69	3,49	2,71	0,98	5,36
7. Фон + МикроСтим медь	1,29	0,80	3,68	2,73	0,80	4,35
8. Фон + МикроСтим бор, медь	1,28	0,66	3,74	2,63	0,77	5,09
9. Фон + Экосил	1,55	0,73	3,65	2,66	0,69	4,65
10. Фон + Агрикола вегета аква	1,54	0,71	3,50	2,82	0,99	5,45
11. Фон + Лифдрип	1,32	0,71	3,69	2,61	1,05	5,13
12. N ₁₀₀ P ₉₀ K ₁₄₀ + МикроСтим бор, медь	1,55	0,70	3,90	2,65	0,88	4,46
НСР ₀₅	0,077	0,058	0,238	0,119	0,070	0,245

Содержание фосфора в ботве свеклы снизилось в вариантах, где применялись МикроСтим медь, МикроСтим бор, медь и Экосил на фоне N₉₀P₈₀K₁₃₀, на 0,19, 0,22 и 0,3 % соответственно. В ботве содержание фосфора значительно повысилось (на 0,19 %) в варианте с комплексным удобрением с бором и марганцем, которое вносили в дозе, эквивалентной варианту с внесением N₉₀P₈₀K₁₃₀.

Содержание фосфора в корнеплодах свеклы значительно не изменилось, за исключением вариантов с применением комплексного АФК-удобрения с В и Мп, а также с некорневой подкормкой посевов микроудобрением Эколист моно бор на фоне N₉₀P₈₀K₁₃₀, – в этих вариантах содержание фосфора повысилось на 0,14 %.

Содержание калия в корнеплодах свеклы, в отличие от его содержания в ботве, было более стабильным и существенно не изменилось при применении удобрений и регуляторов роста. Обработка посевов свеклы микроудобрениями Эколист моно бор, МикроСтим бор, МикроСтим бор, медь и регулятором роста Экосил на фоне N₉₀P₈₀K₁₃₀ при-

вела к увеличению содержания калия в ботве на 0,57, 1,02, 0,75 и 0,31 % соответственно.

Значения общего выноса элементов питания зависели от урожайности столовой свеклы и их содержания в основной и побочной продукции. Заметное влияние на увеличение выноса основных элементов питания оказывали макро-, микроудобрения и регулятор роста, что связано с увеличением урожайности (табл. 3.6).

Таблица 3.6. Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на общий и удельный вынос макроэлементов растениями свеклы столовой (среднее за 2018–2020 гг.)

Варианты опыта	Общий вынос, кг/га			Удельный вынос, кг/т		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Контроль (без удобрений)	64	37	209	2,7	1,6	8,8
2. N ₇₀ P ₆₀ K ₁₀₀	127	55	281	3,3	1,4	7,2
3. N ₉₀ P ₈₀ K ₁₃₀ – фон	171	71	371	3,7	1,6	8,1
4. Фон + Эколист моно бор	219	98	456	4,3	1,9	9,0
5. Комплексное АФК-удобрение с В _{0,15} Мп _{0,1} (в дозе, эквивалентной варианту 3)	207	108	504	3,8	2,0	9,3
6. Фон + МикроСтим бор	200	88	461	3,9	1,7	9,0
7. Фон + МикроСтим медь	184	87	423	3,7	1,7	8,5
8. Фон + МикроСтим бор, медь	208	87	518	3,9	1,6	9,8
9. Фон + Экосил	200	77	424	4,0	1,5	8,4
10. Фон + Агрикола вегета аква	206	85	440	4,2	1,7	8,9
11. Фон + Лифдрип	201	96	488	3,8	1,8	9,4
12. N ₁₀₀ P ₉₀ K ₁₄₀ + МикроСтим бор, медь	245	99	544	4,4	1,8	9,8

Внесение под столовую свеклу N₉₀P₈₀K₁₃₀ по сравнению с контролем способствовало увеличению общего выноса по азоту на 107 кг/га, по фосфору – на 34 кг/га, по калию – на 162 кг/га. Удельный вынос на 1 т корнеплодов и соответствующее количество побочной продукции (ботвы) по азоту увеличился на 1,0 кг, по калию уменьшился на 0,7 кг, а по фосфору не изменился.

Применение комплексного АФК-удобрения с В и Мп, которое вносили в дозе N₉₀P₈₀K₁₃₀, по сравнению с вариантом 3, где в такой же дозе применялись мочевины, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий, увеличило показатели общего выноса по азоту на 36 кг/га, по фосфору – на 37 кг/га, по калию – на 133 кг/га.

Использование борных микроудобрений Эколист моно бор и МикроСтим бор повысило общий вынос по азоту на 48 и 29 кг/га, по фос-

фору – на 27 и 17 кг/га, по калию – на 85 и 90 кг/га соответственно. При этом в варианте $N_{90}P_{80}K_{130}$ + Эколист моно бор удельный вынос по азоту и калию увеличился на 0,6 и 0,9 кг/т, а по фосфору практически не изменился. Обработка посевов свеклы МикроСтим медь на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ повысила значения общего выноса по азоту на 13 кг/га, по фосфору – на 16 кг/га, по калию – на 52 кг/га, а значения удельного выноса практически не изменились.

В варианте $N_{100}P_{90}K_{140}$ + МикроСтим бор, медь были наибольшими значения общего выноса (кг/га) азота (245), фосфора (99) и калия (544), а также значения удельного выноса (кг/т) азота (4,4), фосфора (1,8), калия (9,8). В этом же варианте опыта были наибольшие значения общего и удельного выноса микроэлементов. Общий вынос меди составил 98,1 г/га, цинка – 277,2 г/га, марганца – 1508,3 г/га, а удельный – 1,8, 5,0 и 27,3 г/т соответственно. В целом в удобренных вариантах опыта удельный вынос по азоту изменился от 3,3 до 4,4 кг/т, по фосфору – от 1,4 до 1,8 кг/т, по калию – от 7,2 до 9,8 кг/т.

В питании человека овощные культуры – это один из основных источников минеральных солей. Свекла столовая и морковь относятся к овощам, которые богаты соединениями микроэлементов [213]. Оптимальным содержанием в растениеводческой продукции меди, цинка и марганца считается 7–12, 20–40 и 40–70 мг/кг сухой массы соответственно [253].

Содержание меди в корнеплодах свеклы столовой было наилучшим в варианте $N_{90}P_{80}K_{130}$ + МикроСтим медь – 7,6 мг/кг сухой массы (табл. 3.7).

Оптимального содержания цинка в корнеплодах не было отмечено ни в одном варианте опыта, за исключением варианта $N_{100}P_{90}K_{140}$ + МикроСтим бор, медь, где в корнеплодах накопилось 16,61 мг/кг сухой массы цинка, что является наиболее близким к нижней границе оптимального значения. Оптимальным содержанием марганца отличались корнеплоды столовой свеклы, полученные в вариантах с обработкой посевов микроудобрениями МикроСтим бор и МикроСтим бор, медь на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ – 40,27 и 41,23 мг/кг, а также в варианте $N_{100}P_{90}K_{140}$ + МикроСтим бор, медь – 40,86 мг/кг сухой массы.

Содержание микроэлементов в побочной продукции было заметно большим, чем в основной. Наивысшее содержание меди в ботве столовой свеклы было в варианте $N_{90}P_{80}K_{130}$ + МикроСтим медь – 10,93 мг/кг, цинка и марганца – в варианте $N_{90}P_{80}K_{130}$ + МикроСтим бор, медь – 32,10 и 354,38 мг/кг сухой массы соответственно.

Таблица 3.7. Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на содержание микроэлементов в корнеплодах и ботве столовой свеклы (среднее за 2018–2020 гг.)

Варианты опыта	Содержание в корнеплодах, мг/кг			Содержание в ботве, мг/кг		
	Cu	Zn	Mn	Cu	Zn	Mn
1. Контроль (без удобрений)	3,60	12,13	27,23	7,74	18,35	165,88
2. N ₇₀ P ₆₀ K ₁₀₀	3,99	11,75	23,25	8,78	21,32	156,22
3. N ₉₀ P ₈₀ K ₁₃₀ – фон	4,73	12,96	30,34	8,27	21,82	179,03
4. Фон + Эколист моно бор	5,54	15,49	34,02	8,67	28,16	202,34
5. Комплексное АФК-удобрение с В _{0,15} Mn _{0,1} (в дозе, эквивалентной варианту 3)	5,77	15,93	68,78	7,75	26,30	502,83
6. Фон + МикроСтим бор	5,74	14,28	40,27	8,49	28,97	215,02
7. Фон + МикроСтим медь	7,60	14,98	39,32	10,93	29,76	311,54
8. Фон + МикроСтим бор, медь	6,31	14,62	41,23	9,33	32,10	354,38
9. Фон + Экосил	5,81	15,25	29,68	8,53	25,13	230,36
10. Фон + Агрикола вегета аква	6,13	17,09	31,96	8,63	26,71	234,08
11. Фон + Лифдрип	5,80	17,61	33,52	9,30	30,98	318,55
12. N ₁₀₀ P ₉₀ K ₁₄₀ + МикроСтим бор, медь	6,90	16,61	40,86	9,23	31,62	326,69
НСР ₀₅	0,255	0,789	1,770	0,491	1,250	17,154

С возрастанием урожайности корнеплодов свеклы увеличились значения общего выноса микроэлементов (табл. 3.8).

При возделывании свеклы столовой на удобренном фоне (N₉₀P₈₀K₁₃₀) общий вынос меди, цинка и марганца растениями увеличился в 2 раза до 53,7, 148,2 и 700,9 г/га соответственно.

Проведение некорневых подкормок микроудобрениями и обработки посевов регулятором роста привело к увеличению значений общего выноса микроэлементов.

Допосевное внесение комплексного АФК-удобрения с В и Мп в дозе, эквивалентной варианту N₉₀P₈₀K₁₃₀, где применялись карбамид, суперфосфат аммонизированный и хлористый калий, повысило общий вынос меди на 21,2 г/га, цинка – на 77,4 г/га, марганца – на 1526,4 г/га.

Показатели удельного выноса микроэлементов были относительно стабильными по вариантам опыта, однако можно выделить варианты N₉₀P₈₀K₁₃₀ + МикроСтим медь, N₁₀₀P₉₀K₁₄₀ + МикроСтим бор, медь, где удельный вынос меди был наибольшим и составил 1,8 г/т. В вариантах N₉₀P₈₀K₁₃₀ + Лифдрип и N₁₀₀P₉₀K₁₄₀ + МикроСтим бор, медь удельный вынос цинка был на уровне 4,9 и 5,0 г/т, а наибольший показатель

удельного выноса марганца был в варианте с комплексным АФК-удобрением с В и Мп – 41,2 г/т.

Таблица 3.8. Общий и удельный вынос микроэлементов растениями свеклы столовой в зависимости от применения макро-, микроудобрений и регуляторов роста (среднее за 2018–2020 гг.)

Варианты опыта	Общий вынос, г/га			Удельный вынос, г/т		
	Cu	Zn	Mn	Cu	Zn	Mn
1. Контроль (без удобрений)	23,3	70,3	351,6	1,0	2,8	13,8
2. N ₇₀ P ₆₀ K ₁₀₀	39,4	108,8	456,5	1,0	2,8	11,7
3. N ₉₀ P ₈₀ K ₁₃₀ – фон	53,7	148,2	700,9	1,2	3,2	15,2
4. Фон + Эколист моно бор	72,0	216,6	942,7	1,4	4,3	18,5
5. Комплексное АФК-удобрение с В _{0,15} Мп _{0,1} (в дозе, эквивалентной варианту 3)	74,9	225,6	2227,3	1,4	4,2	41,2
6. Фон + МикроСтим бор	72,9	210,7	1038,5	1,4	4,1	20,1
7. Фон + МикроСтим медь	91,1	209,9	1255,6	1,8	4,2	25,0
8. Фон + МикроСтим бор, медь	87,9	244,7	1598,9	1,7	4,6	30,2
9. Фон + Экосил	69,4	196,8	980,0	1,4	3,9	19,3
10. Фон + Агрикола вегета аква	71,9	215,5	1006,3	1,5	4,3	20,0
11. Фон + Лифдрил	79,2	253,2	1269,3	1,5	4,9	24,6
12. N ₁₀₀ P ₉₀ K ₁₄₀ + МикроСтим бор, медь	98,1	277,2	1508,3	1,8	5,0	27,3

Применение удобрений оказало наиболее сильное влияние на содержание в корнеплодах и ботве моркови азота (табл. 3.9). Внесение минеральных удобрений в дозах N₆₀P₆₀K₉₀ и N₈₀P₆₀K₁₀₀ в сравнении с контрольным вариантом без удобрений повысило содержание азота в корнеплодах в среднем за три года на 0,17 и 0,29 % соответственно.

Применение комплексного АФК-удобрения с S, В и Cu в дозе N₈₀P₆₀K₁₀₀, в сравнении с вариантом, где в эквивалентной дозе вносили карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий, способствовало снижению содержания азота в корнеплодах моркови на 0,18 %. На такую же величину уменьшилось содержание азота в корнеплодах при подкормке посевов микроудобрением Эколист моно бор на фоне N₈₀P₆₀K₁₀₀.

В ботве содержание азота при применении микроудобрений и регулятора роста повысилось на 0,18–0,52 %, а на фоне повышенных доз минеральных удобрений N₁₀₀P₈₀K₁₃₀ двукратная некорневая подкормка микроудобрением МикроСтим бор, медь снизила содержание азота в ботве на 0,15 %.

Таблица 3.9. Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на содержание макроэлементов в корнеплодах и ботве моркови (среднее за 2018 и 2020 гг.)

Варианты опыта	Содержание в корнеплодах, %			Содержание в ботве, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Контроль (без удобрений)	1,14	0,86	4,65	1,93	0,68	4,50
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	1,31	0,85	4,09	1,85	0,70	4,96
3. N ₈₀ P ₆₀ K ₁₀₀ – фон 1	1,43	0,93	4,43	1,77	0,69	4,37
4. Комплексное АФК-удобрение с S ₇ V _{0,15} Cu _{0,10} (в дозе, эквивалентной варианту 3)	1,25	0,92	4,29	1,74	0,64	4,61
5. Фон 1 + Эколист моно бор	1,25	0,86	4,24	1,98	0,65	4,28
6. Фон 1 + МикроСтим бор	1,42	0,90	4,30	2,29	0,70	4,06
7. Фон 1 + Экосил	1,34	0,94	4,16	2,19	0,73	4,86
8. Фон 1 + МикроСтим медь	1,37	0,92	4,14	1,97	0,73	4,54
9. Фон 1 + МикроСтим бор, медь	1,48	1,02	4,07	1,95	0,69	4,70
10. Фон 1 + Лифдрип	1,41	1,08	4,26	2,02	0,80	4,63
11. Фон 1 + Агрикола вегета аква	1,58	0,98	4,26	1,95	0,76	4,98
12. N ₁₀₀ P ₈₀ K ₁₃₀ – фон 2	1,43	0,90	4,54	2,09	0,68	4,88
13. Фон 2 + МикроСтим бор, медь	1,42	1,00	4,29	1,94	0,63	4,23
НСР ₀₅	0,073	0,063	0,181	0,087	0,045	0,170

Наибольшее содержание азота в корнеплодах моркови было отмечено в варианте N₉₀P₈₀K₁₃₀ + Агрикола вегета аква – 1,58 %, в ботве – N₈₀P₆₀K₁₀₀ + МикроСтим бор.

Содержание фосфора в корнеплодах и ботве по вариантам опыта значительно не изменилось.

Содержание калия в корнеплодах моркови, в отличие от его содержания в ботве, было более стабильным и не имело существенных изменений при применении удобрений и регуляторов роста. Наиболее значительно содержание калия в ботве моркови возросло в вариантах, где на фоне N₈₀P₆₀K₁₀₀ применяли регулятор роста Экосил (+0,49 %) и ЖКУ Агрикола вегета аква (+0,61 %). На фоне повышенных доз удобрений N₁₀₀P₈₀K₁₃₀ обработка посевов моркови МикроСтим бор, медь, наоборот, способствовала снижению содержания калия в ботве на 0,65 %, а в корнеплодах – на 0,25 %.

Значения общего выноса элементов питания зависели от урожайности моркови и их содержания в основной и побочной продукции. Значительное влияние на увеличение выноса основных элементов питания

оказали комплексные, макро-, микроудобрения и регулятор роста, что связано с увеличением урожайности (табл. 3.10).

Таблица 3.10. Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на общий, удельный вынос макроэлементов растениями моркови и коэффициенты использования элементов питания из удобрений (среднее за 2018 и 2020 гг.)

Варианты опыта	Общий вынос, кг/га			Удельный вынос, кг/т		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Контроль (без удобрений)	56	33	187	1,9	1,1	6,5
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	90	50	268	2,0	1,1	5,8
3. N ₈₀ P ₆₀ K ₁₀₀ – фон 1	100	57	291	2,0	1,1	5,8
4. Комплексное АФК-удобрение с S ₇ B _{0,15} Cu _{0,10} (в дозе, эквивалентной варианту 3)	122	74	393	2,2	1,3	6,9
5. Фон 1 + Эколист моно бор	126	71	373	2,3	1,3	6,8
6. Фон 1 + МикроСтим бор	139	72	360	2,6	1,3	6,6
7. Фон 1 + Экосил	126	71	351	2,4	1,4	6,7
8. Фон 1 + МикроСтим медь	123	71	353	2,2	1,3	6,3
9. Фон 1 + МикроСтим бор, медь	139	82	377	2,4	1,4	6,5
10. Фон 1 + Лифдрип	145	94	404	2,5	1,6	6,9
11. Фон 1 + Агрикола вегета аква	124	69	331	2,4	1,3	6,2
12. N ₁₀₀ P ₈₀ K ₁₃₀ – фон 2	147	77	420	2,4	1,3	6,9
13. Фон 2 + МикроСтим бор, медь	167	97	456	2,5	1,5	7,0

С увеличением доз минеральных удобрений по сравнению с неудобренным контрольным вариантом увеличился общий вынос элементов питания. При внесении N₆₀P₆₀K₉₀, N₈₀P₆₀K₁₀₀ и N₁₀₀P₈₀K₁₃₀ вынос азота возрос в 1,6, 1,8 и 2,6 раза, фосфора – в 1,5, 1,7 и 2,3 раза, калия – в 1,4, 1,6 и 2,2 раза соответственно.

Изучаемые микро-, комплексные удобрения и регуляторы роста способствовали увеличению выноса азота, фосфора и калия. Максимальный общий вынос азота, фосфора и калия был при применении МикроСтим бор, медь на фоне N₁₀₀P₈₀K₁₃₀ – 167, 97 и 456 кг/га соответственно.

Удельный вынос азота, фосфора и калия на 1 т основной и соответствующее количество побочной продукции моркови существенно не изменился, и в удобренных вариантах опыта составил: по азоту – от 2,0 до 2,6 кг/т, по фосфору – от 1,1 до 1,6 кг/т, по калию – от 5,8 до 7,0 кг/т.

Отмечено, что в ботве моркови содержание меди было почти в 2 раза, а марганца – в 3,5–6 раз больше, чем в корнеплодах (табл. 3.11).

Таблица 3.11. Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на содержание микроэлементов в корнеплодах и ботве моркови (среднее за 2018 и 2020 гг.)

Варианты опыта	Содержание в корнеплодах, мг/кг			Содержание в ботве, мг/кг		
	Cu	Zn	Mn	Cu	Zn	Mn
1. Контроль (без удобрений)	3,50	8,18	13,32	5,98	8,70	72,54
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	3,04	8,39	15,07	6,10	8,97	78,76
3. N ₈₀ P ₆₀ K ₁₀₀ – фон 1	3,65	9,28	15,67	6,36	7,96	83,10
4. Комплексное АФК-удобрение с S ₇ B _{0,15} Cu _{0,10} (в дозе, эквивалентной варианту 3)	4,89	11,35	15,48	7,52	8,19	96,24
5. Фон 1 + Эколист моно бор	3,99	10,40	17,41	6,83	8,74	81,90
6. Фон 1 + МикроСтим бор	3,51	10,12	17,57	6,80	9,09	93,86
7. Фон 1 + Экосил	3,92	9,89	18,59	6,54	9,62	73,34
8. Фон 1 + МикроСтим медь	4,80	9,47	18,96	8,15	8,60	82,93
9. Фон 1 + МикроСтим бор, медь	4,13	9,37	19,33	7,25	8,83	78,04
10. Фон 1 + Лифдрип	4,48	10,70	18,91	7,47	10,01	76,28
11. Фон 1 + Агрикола вегета аква	3,86	10,00	17,34	6,73	10,31	71,97
12. N ₁₀₀ P ₈₀ K ₁₃₀ – фон 2	4,31	12,96	19,43	7,44	11,19	65,79
13. Фон 2 + МикроСтим-бор, медь	4,65	10,97	20,03	7,41	12,58	73,51
НСР ₀₅	0,228	0,445	0,751	0,356	0,422	2,789

Практически во всех вариантах опыта, где применялись комплексные и микроудобрения, происходило повышение содержания исследуемых микроэлементов как в основной, так и в побочной продукции. Это можно объяснить, скорее всего, усилением метаболизма в растениях и активным вовлечением микроэлементов в биохимические реакции в растениях, что, в свою очередь, и привело к повышению урожайности моркови.

Накопление цинка было практически одинаковым как в корнеплодах, так и в ботве моркови. А содержание марганца в ботве моркови было большим, чем в корнеплодах, более чем в 4 раза.

Отмечено, что ни в одном варианте опыта не было достигнуто оптимальной концентрации меди, цинка и марганца в основной продукции. Однако наибольшим содержанием меди отличались корнеплоды моркови в вариантах с комплексным АФК-удобрением с S, B и Cu – 4,89 г/кг сухой массы, а марганца – в варианте N₁₀₀P₈₀K₁₃₀ + МикроСтим бор, медь – 20,03 мг/кг соответственно. Наивысшим содержанием цинка отличались корнеплоды в варианте с применением минеральных удобрений в дозе N₁₀₀P₈₀K₁₃₀ – 12,96 мг/кг сухой массы. С возрастанием урожайности корнеплодов моркови увеличились значения выноса микроэлементов с основной и побочной продукцией (табл. 3.12).

Таблица 3.12. **Общий и удельный вынос элементов питания растениями моркови в зависимости от применения макро-, микроудобрений и регуляторов роста (среднее за 2018 и 2020 гг.)**

Варианты опыта	Общий вынос, г/га			Удельный вынос, г/т		
	Cu	Zn	Mn	Cu	Zn	Mn
1. Контроль (без удобрений)	17,1	33,9	122,9	0,6	1,2	4,3
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	24,0	52,6	200,7	0,5	1,2	4,4
3. N ₈₀ P ₆₀ K ₁₀₀ – фон 1	28,9	58,7	223,2	0,6	1,2	4,5
4. Комплексное АФК-удобрение с S ₇ B _{0,15} Cu _{0,10} (в дозе, эквивалентной варианту 3)	51,0	94,3	329,5	0,9	1,7	5,8
5. Фон 1 + Эколист моно бор	41,8	87,1	301,5	0,8	1,6	5,5
6. Фон 1 + МикроСтим бор	37,4	83,4	318,2	0,7	1,5	5,8
7. Фон 1 + Экосил	37,4	79,2	269,4	0,7	1,5	5,1
8. Фон 1 + МикроСтим медь	47,8	76,6	298,4	0,9	1,4	5,4
9. Фон 1 + МикроСтим бор, медь	44,8	82,6	310,8	0,8	1,4	5,4
10. Фон 1 + Лифдрип	48,7	97,6	311,3	0,8	1,7	5,3
11. Фон 1 + Агрикола вегета аква	34,4	74,9	236,9	0,6	1,4	4,5
12. N ₁₀₀ P ₈₀ K ₁₃₀ – фон 2	46,7	114,8	281,6	0,8	1,9	4,7
13. Фон 2 + МикроСтим бор, медь	57,1	121,4	359,2	0,9	1,9	5,6

В сравнении с контрольным вариантом без удобрений на фоне N₈₀P₆₀K₁₀₀ общий вынос меди, цинка и марганца возрос на 11,8, 24,8 и 100,3 г/га соответственно. Повышение фона минерального питания до N₁₀₀P₈₀K₁₃₀ привело к увеличению выноса меди, цинка и марганца на 29,6, 80,9 и 236,2 г/га соответственно. Использование комплексного АФК-удобрения с S, B и Cu в дозе N₈₀P₆₀K₁₀₀ в сравнении с вариантом 3, где в такой же дозе применялись карбамид, аммонизированный

суперфосфат и хлористый калий, повысило общий вынос меди на 22,1 г/га, цинка – на 35,6 г/га и марганца – на 106,3 г/га соответственно.

Наиболее высокие значения общего выноса микроэлементов основной и соответствующим количеством побочной продукции были отмечены в варианте с применением микроудобрения МикроСтим бор, медь на фоне $N_{100}P_{80}K_{130}$.

Общий вынос меди в этом варианте составил 57,1 г/га, цинка – 121,4 г/га, марганца – 359,2 г/га. Значения удельного выноса микроэлементов по вариантам опыта изменились незначительно.

3.5. Экономическая эффективность применения удобрений и регуляторов роста при возделывании свеклы столовой и моркови

Во всех вариантах возделывание свеклы столовой было рентабельным. В варианте без удобрений показатель рентабельности составил 14,0 % (табл. 3.13).

Применение удобрений способствовало повышению урожайности и снижению себестоимости произведенной продукции. При внесении минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{80}K_{130}$ происходило значительное повышение рентабельности на 68,1 % с 14,0 до 82,1 %. Наибольший чистый доход (4533,59 долл. США/га) и рентабельность (100,6 %) были в варианте с применением комплексного АФК-удобрения с В и Мп в дозе $N_{90}P_{80}K_{130}$, а также в варианте с двукратной некорневой подкормкой микроудобрением МикроСтим бор, медь на фоне $N_{100}P_{90}K_{140}$ – 4501,92 долл. США/га и 100,2 % соответственно. В этом же варианте опыта себестоимость 1 т произведенной продукции была наименьшей и составила 80,7 долл. США. Трехкратная подкормка посевов свеклы ЖКУ Агрикола вегета аква на фоне $N_{90}P_{80}K_{130}$ привела к увеличению затрат на возделывание, однако при невысокой прибавке урожайности (3,6 т/га) без повышения товарности корнеплодов не произошло увеличения рентабельности.

Отечественное микроудобрение МикроСтим бор в сравнении с польским микроудобрением Эколист моно бор, имея меньшую стоимость, способствовало увеличению чистого дохода на 956,89 долл. США/га, а рентабельность была выше на 3,9 %.

Таблица 3.13. Экономическая эффективность возделывания свеклы столовой в зависимости от применения новых форм удобрений и регуляторов роста (в ценах 2020 г.)

Варианты опыта	Затраты на возделывание, долл. США/га	Выручка от реализации, долл. США/га	Чистый доход, долл. США/га	Рентабельность, %	Себестоимость 1 т произведенной продукции, долл. США
1. Контроль (без удобрений)	2479,65	2825,79	346,15	14,0	104,2
2. N ₇₀ P ₆₀ K ₁₀₀	3441,53	5722,79	2281,26	66,3	88,5
3. N ₉₀ P ₈₀ K ₁₃₀ – фон	3873,22	7053,92	3180,71	82,1	84,2
4. Фон + Эколист моно Бор	4201,36	8141,68	3940,32	93,8	82,7
5. Комплексное АФК-удобрение с B _{0,15} Mn _{0,1} (в дозе, эквивалентной варианту 3)	4507,36	9040,95	4533,59	100,6	83,0
6. Фон + МикроСтим бор	4233,68	8371,28	4137,60	97,7	82,4
7. Фон + МикроСтим-Медь	4163,37	7847,39	3684,02	88,5	83,1
8. Фон + МикроСтим бор, медь	4314,03	8517,05	4203,02	97,4	81,7
9. Фон + Экосил	4144,26	7838,72	3694,46	89,1	82,7
10. Фон + Агрикола вегета аква	4217,71	7691,82	3474,10	82,4	85,0
11. Фон + Лифдрип	4297,86	8573,85	4275,99	99,5	82,3
12. N ₁₀₀ P ₉₀ K ₁₄₀ + МикроСтим бор, медь	4492,56	8994,48	4501,92	100,2	80,7

В опытах с морковью урожайность корнеплодов моркови в варианте без удобрений была 28,9 т/га, а товарность – 65,9 %. Показатель чистого дохода составил 1146,88 долл. США/га (табл. 3.14).

За счет применения минеральных удобрений в дозе N₈₀P₆₀K₁₀₀ произошло значительное повышение урожайности на 20,9 т/га, а товарности – на 9,7 %, при этом значительно возрос показатель чистого дохода до 4193,52 долл. США/га.

На фоне внесения N₈₀P₆₀K₁₀₀ наибольшая прибавка урожайности моркови отмечена в варианте с двукратной подкормкой посевов комплексным удобрением с микроэлементами Лифдрип – 8,8 т/га, доля товарных корнеплодов была выше на 10,5 %, а величина затрат на возделывание повысилась на 379,86 долл. США/га.

Максимальная урожайность (65,3 т/га) и товарность корнеплодов моркови (85,9 %) была в варианте с двукратной подкормкой посевов микроудобрением МикроСтим бор, медь на фоне минеральных удобрений в дозе $N_{100}P_{80}K_{130}$. В этом же варианте опыта были отмечены наибольшие затраты на возделывание моркови, которые составили 4346,85 долл. США/га.

Таблица 3.14. Экономическая эффективность возделывания моркови в зависимости от применения новых форм удобрений и регуляторов роста (в ценах 2020 г.)

Варианты опыта	Затраты на возделывание, долл. США/га	Выручка от реализации, долл. США/га	Чистый доход, долл. США/га	Рентабельность, %	Себестоимость 1 т произведенной продукции, долл. США
1. Контроль (без удобрений)	2881,90	4028,77	1146,88	39,8	99,7
2. $N_{60}P_{60}K_{90}$	3563,63	7138,15	3574,53	100,3	78,1
3. $N_{60}P_{60}K_{100}$ – фон 1	3722,68	7916,19	4193,52	112,6	74,8
4. Комплексное АФК-удобрение с $S_7B_{0,15}Cu_{0,10}$ (в дозе, эквивалентной варианту 3)	4061,90	9782,00	5720,11	140,8	71,8
5. Фон 1 + Эколист моно бор	3953,45	9250,66	5297,21	134,0	72,1
6. Фон 1 + МикроСтим бор	3941,59	9234,61	5293,01	134,3	72,3
7. Фон 1 + Экосил	3849,31	8673,75	4824,45	125,3	73,6
8. Фон 1 + МикроСтим медь	3975,67	9351,95	5376,27	135,2	71,8
9. Фон 1 + МикроСтим бор, медь	4043,39	9920,27	5876,88	145,3	70,4
10. Фон 1 + Лифдрил	4102,54	10673,09	6570,55	160,2	70,0
11. Фон 1 + Агрикола вегета аква	3971,68	8773,26	4801,58	120,9	75,1
12. $N_{100}P_{80}K_{130}$ – фон 2	4123,08	10686,39	6563,31	159,2	68,2
13. Фон 2 + МикроСтим бор, медь	4346,85	11411,48	7064,64	162,5	66,6

С применением макро-, микроудобрений и регулятора роста возросли затраты на возделывание моркови, но за счет повышения урожайности увеличилась выручка от реализации продукции и чистый доход. Расчеты показали, что возделывание моркови во всех вариантах опыта было рентабельным.

По показателям урожайности, товарности и рентабельности следует отметить варианты с применением микроудобрений МикроСтим

бор и Эколист моно бор, где не установлено существенной разницы между исследуемыми микроудобрениями. В итоге рентабельность в этих вариантах оказалась на одном уровне (около 134,0 %), на основании чего можно сделать вывод, что отечественное микроудобрение МикроСтим бор, имея более низкую стоимость, но такую же эффективность, как и польское Эколист моно бор, может использоваться для импортозамещения.

По сравнению со стандартными удобрениями применение комплексного АФК-удобрения с S, В и Си для моркови значительно повысило чистый доход на 1526,59 долл. США/га (с 4193,52 до 5720,11 долл. США/га) и рентабельность на 28,2 % (с 112,6 до 140,8 %).

Подкормка посевов моркови комплексным водорастворимым удобрением с микроэлементами Лифдрип на фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ по сравнению с внесением только минеральных удобрений в большей дозе ($N_{100}P_{80}K_{130}$), несмотря на небольшую разницу в урожайности корнеплодов (1,9 т/га), способствовало снижению производственных затрат с 1 га посевов на 20,54 долл. США без изменения показателя рентабельности, при этом величина чистого дохода была на одном уровне.

Наибольший чистый доход и наименьшая себестоимость 1 т произведенной продукции при возделывании моркови были в варианте $N_{100}P_{80}K_{130}$ + МикроСтим бор, медь – 7064,64 и 66,6 долл. США/га при рентабельности 162,5 %.

4. ОЗИМАЯ ПШЕНИЦА

Пшеница самая древняя и распространенная культура. Озимая пшеница в структуре посевных площадей Республики Беларусь в последнее время занимает 523 тыс. га или 40 % от площади озимых зерновых и 20 % от площади всех зерновых культур. Она является одной из наиболее важных и незаменимых продовольственных культур. Хлеб из пшеничной муки отличается высокими вкусовыми свойствами, хорошо усваивается. В 100 г пшеничного хлеба содержится 250 ккал. Содержание белка в хлебопекарном зерне пшеницы составляет 11–16 %, клейковины – 25–28 %, стекловидность составляет не менее 60 %. Основу клейковины составляют белки – глиадин и глютеин. Никакой другой хлебный злак не имеет такого ценного объединения. Кроме хлебопечения, пшеница широко используется в круплянном, макаронном, кондитерском и других пищевых производствах [254].

Из пшеницы вырабатывают спирт, крахмал, клейковину, декстрин, клей, которые используются в различных отраслях производства, включая и фармакологию. При использовании современных технологий из одной тонны зерна можно получить до 340 л спирта-сырца. В диетическом питании и в медицинских целях используют проростки пшеницы и высежки (отруби). Они регулируют деятельность кишечника, способствуя снижению сердечно-сосудистых заболеваний, предотвращают отложение жировой ткани человека. Пшеничные высежки – также высококонцентрированный корм для всех видов животных. Фуражное зерно пшеницы имеет высокую рыночную стоимость и используется в птицеводстве, а также как компонент комбикормов и для приготовления зерновой патоки. Основную часть зерна пшеницы составляют углеводы. Они представлены в основном крахмалом (48–63 %). Из углеводов, кроме крахмала, в зерне содержится 2–7 % сахаров (в основном в зародыше), а также 2–3 % клетчатки. Жир, который находится в зародыше и алейроновом слое, составляет 2 %. В 1 кг зерна содержится в среднем 1,2 к. ед. Солому в измельченном и запаренном виде, а также после обработки аммиаком можно скормить животным. В 1 кг соломы содержится 0,2 к. ед., что меньше, чем в ячменной и овсяной соломе. Поэтому более перспективным является использование соломы для производства бумаги, картона, спирта, ацетона, целлюлозы. Правильнее всего использовать солому как источник углерода, азота и зольных элементов для повышения плодородия почв путем мелкой заделки, мульчирования поверхности почвы или приго-

товления компостов. Озимую пшеницу используют в зеленом конвейере, обеспечивая животноводство зелеными кормами. В 1 кг зеленой массы содержится в среднем 0,16 к. ед. Весьма перспективным кормом является зерносенаж пшеницы, который готовят в фазу молочно-восковой спелости зерна. В 1 кг зерносенажа (41 % сухого вещества) содержится в среднем 0,8 к. ед.

Озимая пшеница имеет большое агротехническое значение. Это хороший предшественник для озимого и ярового рапса, пропашных, зернобобовых, льна-долгунца. Является ранним звеном уборочного конвейера, что дает возможность посева пожнивной культуры, в том числе сидеральной.

Экологическое значение озимой пшеницы заключается в защите почвы от ветровой и водной эрозии, а также в поглощении углекислого газа из атмосферы в осенний период [254].

Оптимизация питания растений, повышение эффективности внесения удобрений в огромной степени связаны с обеспечением оптимального соотношения в почве макро- и микроэлементов. Причем это важно не только для роста урожайности, но и повышения качества продукции растениеводства.

Решающее значение в комплексе факторов формирования урожая сельскохозяйственных культур и улучшения его качества имеет сбалансированное питание растений всеми необходимыми элементами, а также комплексное применение средств химизации (удобрений, регуляторов роста, средств защиты растений) [254]. Одним из путей повышения эффективности минеральных удобрений является использование микроудобрений. Микроэлементы входят в состав важнейших физиологически активных веществ и участвуют в процессе синтеза белков, углеводов, витаминов, жиров. Существенную роль они играют в повышении устойчивости растений к неблагоприятным факторам внешней среды и многим заболеваниям, вызванным как их недостатком, так и патогенами [255, 256, 258]. Повысить эффективность микроудобрений можно за счет перевода их в комплексные соединения (хелаты), которые эффективны в любых почвенно-климатических зонах и хорошо совместимы с регуляторами роста растений. Современным направлением повышения урожайности и качества продукции растениеводства является применение регуляторов роста растений. Их использование позволяет существенно повысить устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды (высоким и низким температурам, недостатку влаги и др.) и получить более стабильный урожай

сельскохозяйственных культур. Первоочередной задачей оптимизации минерального питания растений является сбалансированное соотношение элементов питания с учетом уровня плодородия почв. В настоящее время разработаны комплексные удобрения для озимых, яровых зерновых и зернобобовых культур для почв разного уровня плодородия, которые содержат в одной грануле макро- (азот, фосфор, калий, а при необходимости серу и др.) и микроэлементы (бор, медь, марганец и др.) и гарантируют получение высокого урожая с хорошими технологическими качествами. Большой интерес представляет использование комплексных препаратов на основе микроэлементов и регуляторов роста [256, 257, 258].

4.1. Агроэкономическая эффективность применения удобрений и регуляторов роста при возделывании озимой пшеницы

В опытах кафедры агрохимии Белорусской государственной сельскохозяйственной академии исследовалось влияние макро- и микроудобрений для основного внесения и некорневых подкормок, регуляторов роста и комплексных препаратов на основе микроэлементов и регуляторов роста на урожайность и качество озимой пшеницы, проводилась экономическая оценка применяемых средств химизации.

Исследования проводились с озимой пшеницей в 2011–2014 гг. на территории УНЦ «Опытные поля БГСХА» на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины около 1 м моренным суглинком.

Почва опытных участков с озимой пшеницей имела близкую к нейтральной реакцию почвенной среды (pH_{KCl} 6,1–6,2), среднее содержание гумуса (1,68–1,70 %), повышенное – подвижных форм фосфора (225–227 мг/кг), среднее – подвижного калия (185–186 мг/кг), а также низкую и среднюю обеспеченность подвижной медью (1,5–2,0 мг/кг). В опытах использовали навоз КРС (N – 0,48–0,52 %, P_2O_5 – 0,20–0,22 % и K_2O – 0,55–0,59 %).

Для проведения опытов в основное внесение удобрений применялись аммофос (52 % P_2O_5 , 12 % N), хлористый калий (60 % K_2O), подкормка озимой пшеницы проводилась карбамидом (46 % N). Изучалось также твердое комплексное удобрение для озимых зерновых культур (N – 5 %, P_2O_5 – 16 %, K_2O – 35 %, Cu – 0,3 % и Mn – 0,25 %), разработанное РУП «Институт почвоведения и агрохимии». Для не-

корневой подкормки растений озимой пшеницы в фазу начала выхода в трубку применялось польское комплексное удобрение Эколист-3 (N – 10,5 %, K₂O – 5,1 %, MgO – 2,5 %, B – 0,38 %, Cu – 0,45 %, Fe – 3,07 %, Mn – 0,05 %, Mo – 0,0016 %, Zn – 0,14 %) в дозе 3 л/га, а также микроудобрение Адоб медь (жидкий концентрат удобрения, содержащий 6,43 % Cu, 9 % N и 3 % магния) в дозе 0,8 л/га и в фазу начала выхода в трубку посеvy обрабатывались МикроСтим-Медь Л (медь – 78,0 г/л, азот – 65,0 г/л, гуминовые вещества – 0,6–5,0 мг/л) и МикроСил-Медь Л (медь – 78,0 г/л, азот – 65,0 г/л и Экосил – 30 мл/л) в дозе 1 л/га (табл. 4.1).

Регуляторы роста Экосил и Фитовитал использовали в дозе 75 мл/га и 0,6 л/га в фазу начала выхода в трубку. Экосил – природный комплекс тритерпеновых кислот, экстракт хвои пихты сибирской. Представляет собой сложную смесь тритерпеновых кислот, причем многие из них существуют в различных формах. Препаративная форма: Экосил, 50 г/л в. э. Это регулятор роста и иммуномодулятор с фунгицидной активностью. Физиологическая активность тритерпеновых кислот проявляется в выведении семян из глубокого покоя и стимуляции их прорастания за счет растяжения клеток в корне, а затем в стеблях и листьях.

Фитовитал – регулятор роста, водорастворимый концентрат (д. в. – янтарная кислота, 5 г/л; сопутствующие комплексы: комплекс макро- и микроэлементов – Mg, Cu, Fe, Zn, B, Mn, Co, Li, Br, Al, Ni).

Общая площадь делянок с озимой пшеницей – 21 м², учетная – 16,5 м², повторность – четырехкратная. Посев проводился сеялкой RAU Airsem-3 с нормой высева семян озимой пшеницы Сюита 5,0 млн. всхожих семян на 1 га. Агротехника возделывания озимой пшеницы общепринятая для Беларуси.

Статистическая обработка результатов исследований проведена по Б. А. Доспехову с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа.

Применение удобрений способствовало существенному возрастанию урожайности зерна озимой пшеницы. Так, применение N₂₀P₆₄K₁₄₀ + N₇₀ (карбамид) с возобновлением вегетации по сравнению с неудобренным контролем повысило в среднем за три года урожайность зерна пшеницы на 18,3 ц/га (табл. 4.1).

Таблица 4.1. Влияние макро- и микроудобрений, регуляторов роста, новых комплексных препаратов на основе микроэлементов и регуляторов роста на урожайность и качество озимой пшеницы сорта Сюнта

Варианты опыта	Урожайность, ц/га			Средняя урожайность, ц/га	Прибавка к фону, ц/га	Окупаемость 1 кг NPK, кг зерна	Сырой белок, %	Сырая клейковина, %
	2012 г.	2013 г.	2014 г.					
1. Без удобрений (контроль)	23,2	28,0	37,8	29,7	–	–	11,8	20,0
2. N ₂₀ P ₆₄ K ₁₄₀ + N ₇₀	39,6	45,0	59,3	48,0	–	6,2	12,4	22,8
3. N ₂₀ P ₆₄ K ₁₄₀ + N ₇₀ + N ₄₀	47,7	51,0	66,5	55,1	–	7,6	12,9	24,0
4. N ₂₀ P ₆₄ K ₁₄₀ + N ₇₀ + N ₄₀ – фон	52,2	58,5	74,2	61,6	–	8,5	13,1	27,9
5. Фон + Экосил	56,9	63,0	76,5	65,5	3,9	9,6	13,6	28,5
6. Фон + Адоб медь	57,8	65,0	77,8	66,9	5,3	10,0	13,4	28,2
7. Фон + Эколист-3	59,6	67,0	80,5	69,0	7,4	10,5	13,9	29,1
8. Фон + МикроСил-Медь Л	61,2	69,0	81,5	70,6	9,0	10,9	13,1	29,1
9. Фон + МикроСтим-Медь Л	59,0	71,5	82,7	71,1	9,5	11,1	13,0	30,2
10. Фон + Фитовитал	60,3	69,5	83,2	71,0	9,4	11,0	13,2	29,0
11. N ₂₀ P ₆₄ K ₁₄₀ (АФК-удобрение с Cu и Mn) + N ₇₀ + N ₄₀ + N ₄₀	57,8	63,0	77,5	66,1	–	9,7	13,0	29,1
12. N ₃₀ P ₈₀ K ₁₄₀ + N ₇₀ + N ₄₀ + N ₄₀ + N ₁₀ + Адоб медь	60,0	72,0	78,8	70,3	–	9,9	13,1	29,5
13. Навоз 30 т/га + N ₂₀ P ₆₄ K ₁₄₀ + N ₇₀ + N ₄₀ + N ₄₀	63,3	75,7	88,6	75,9	14,3	–	13,0	29,4
НСР _{0,5}	2,7	3,6	4,1	2,0	–	–	0,3	–

Внесение $N_{20}P_{64}K_{140} + N_{70} + N_{40}$ обеспечило получение урожайности зерна озимой пшеницы в среднем за 3 года 61,6 ц/га. Некорневые подкормки микроудобрением Адоб медь на фоне $N_{20}P_{64}K_{140} + N_{70} + N_{40}$ увеличили урожайность зерна пшеницы на 5,3 ц/га, микроудобрением с регулятором роста МикроСтим-Медь Л – на 9,5 ц/га и микроудобрением с регулятором роста МикроСил медь – на 9 ц/га. Таким образом, на почве с низким и средним содержанием меди применение всех изучаемых форм медных удобрений было очень эффективным. Более эффективными из изучаемых форм медных удобрений были микроудобрения с регуляторами роста МикроСтим-Медь Л и МикроСил медь, которые по действию были равнозначными и превосходили по действию польское микроудобрение Адоб медь.

Применение комплексного удобрения для озимых зерновых культур для основного внесения марки 5:16:35 с Cu 0,3 % и Mn 0,25 %, по сравнению с внесением карбамида, аммофоса и хлористого калия в эквивалентных дозах по азоту, фосфору и калию, увеличило в среднем за три года урожайность зерна на 4,5 ц/га, а некорневая подкормка комплексным удобрением с микроэлементами Эколист-3 на фоне $N_{20}P_{64}K_{140} + N_{70} + N_{40}$ – на 7,4 ц/га.

Обработка посевов озимой пшеницы на фоне $N_{20}P_{64}K_{140} + N_{70} + N_{40} + N_{40}$ регулятором роста Экосил способствовала возрастанию урожайности зерна озимой на 3,9 ц/га, а Фитовиталом – на 9,4 ц/га (см. табл. 4.1).

Внесение 30 т/га навоза на фоне $N_{20}P_{64}K_{140} + N_{70} + N_{40} + N_{40}$ повысило урожайность зерна озимой пшеницы на 14,3 ц/га соответственно. В этом варианте обеспечивалась и максимальная урожайность зерна озимой пшеницы (75,9 ц/га) (см. табл. 4.1).

Подкормки азотными удобрениями существенно повысили содержание сырого белка и сырой клейковины в зерне озимой пшеницы. Положительное влияние на увеличение содержания сырого белка в зерне озимой пшеницы оказали регулятор роста Экосил, Фитовитал и некорневые подкормки удобрениями Адоб медь и Эколист-3 на фоне $N_{20}P_{64}K_{140} + N_{70} + N_{40} + N_{40}$.

Содержание сырой клейковины в зерне существенно возросло при применении регуляторов роста Экосил и Фитовитал, а также микроудобрения Адоб медь, комплексных удобрений Эколист-3, МикроСтим-Медь Л и МикроСил-Медь Л. В этих вариантах опыта оно превышало 28 %, что соответствовало норме, установленной для озимой пшеницы (см. табл. 4.1).

Расчеты экономической эффективности показали, что применение удобрений и регуляторов роста при возделывании озимой пшеницы было эффективным (табл. 4.2).

Таблица 4.2. Экономическая эффективность применения макро-, микроудобрений и регуляторов роста при возделывании озимой пшеницы сорта Сюнта

Варианты опыта	Прибавка, ц/га	Стоимость прибавки, долл. США/га	Затраты на получение прибавки, долл. США/га	Чистый доход, долл. США/га	Рентабельность, %
1. Без удобрений (контроль)	—	—	—	—	—
2. $N_{20}P_{64}K_{140} + N_{70}$	18,3	392,9	244,3	148,6	60,8
3. $N_{20}P_{64}K_{140} + N_{70} + N_{40}$	25,4	545,3	301,5	243,8	80,8
4. $N_{20}P_{64}K_{140} + N_{70} + N_{40} + N_{40}$ – фон	31,9	684,9	356,7	328,2	92,0
5. Фон + Экосил	35,8	768,6	315,0	453,6	141,0
6. Фон + Адоб медь	37,2	798,7	380,4	418,3	110,0
7. Фон + Эколист-З	39,3	843,8	391,1	452,7	115,6
8. Фон + МикроСил-Медь Л	40,9	878,1	373,7	504,4	135,0
9. Фон + Микро-Стим-Медь Л	41,4	888,9	395,3	493,6	124,9
10. Фон + Фитовитал	41,3	886,7	395,8	490,9	124,0
11. $N_{20}P_{64}K_{140}$ (АФК-удобрение с Cu и Mn) + $N_{70} + N_{40} + N_{40}$	36,4	781,5	355,1	426,4	120,0
12. $N_{30}P_{80}K_{140} + N_{70} + N_{40} + N_{40} + N_{10}$ + Адоб медь	40,6	871,7	421,0	450,7	107,1
13. Навоз 30 т/га + $N_{20}P_{64}K_{140} + N_{70} + N_{40} + N_{40}$	46,2	992,0	508,4	483,6	95,1

Наибольший чистый доход был получен при сочетании $N_{20}P_{64}K_{140} + N_{70} + N_{40} + N_{40}$ с обработкой посевов МикроСил медь, МикроСтим-Медь Л, Фитовитал, который составил 504,4, 493,6 и 490,9 долл. США/га соответственно. В этих вариантах был более высокий уровень рентабельности – 124,0–135 %.

5. ЯРОВОЙ ЯЧМЕНЬ

Яровой ячмень является важной продовольственной, кормовой и технической культурой, 1 кг зерна содержит 80–100 г переваримого белка и 1,15–1,18 к. ед. В белке ярового ячменя содержится весь набор незаменимых аминокислот, включая особо дефицитные – лизин и триптофан. В республике основная масса производимого зерна ячменя (около 70 %) расходуется на нужды животноводства. Яровой ячмень занимает около 568 тыс. га, что составляет 22 % от площади всех зерновых культур. Учитывая пересев погибшего озимого ячменя и других озимых культур, уборочная площадь ярового ячменя в республике редко бывает менее 600 тыс. га [254].

5.1. Эффективность азотных удобрений в зависимости от содержания гумуса при возделывании ярового ячменя

В опытах В. Б. Воробьева [32] исследовалась роль гумуса в формировании урожайности ячменя, на фоне разных доз азотного удобрения, а также эффективность азотных подкормок на почве с различным содержанием гумуса. Были так же изучены особенности расходной статьи баланса гумуса в посевах ячменя в связи с разными дозами азотного удобрения и различной гумусированностью почвы.

Исследования проводились в 2008–2011 гг. методом ключевых де-лянок в учебно-опытном хозяйстве Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. Ежегодно на одном из подобранных полей выделялся массив опытного участка длиной около 1 км и шириной 60 м. На этом участке в посевах ячменя сорта Гонар, возделываемого на фоне $N_{80}P_{60}K_{120}$ (внесенных перед посевом) с помощью технологической колеи в фазу конец кущения – начало выхода в трубку были внесены в подкормку следующие дозы азотного удобрения: N_{20} , N_{40} и N_{60} . Контролем служил вариант без азота (в 2008 г. контрольный вариант отсутствовал). На каждом участке с разным содержанием гумуса были выделены по 2 учетные площадки (всего 40 площадок для каждого варианта азотного удобрения). С этих площадок был произведен учет урожая зерна и соломы, отобраны образцы почвы для анализа на показатели, характеризующие их гумусовое состояние, агрофизические свойства почвы и свойства почвенного поглощающего комплекса.

Предшественником ячменя был яровой рапс. Контролем служил вариант без применения азота. Выделенный массив захватывал

несколько элементарных почвенных участков с содержанием гумуса от 1 до 3 %. Норма высева ячменя – 4,5 млн. всхожих семян на 1 га. Ежегодно на всех создаваемых вариантах азотного питания выделялось около 40 учетных площадок размером 0,25 м². С этих площадок учитывались урожайность зерна и соломы, отбирались образцы почвы для анализа на показатели, характеризующие гумусовое состояние.

Почва опытных участков дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на лессах. Данные, характеризующие гранулометрический состав пахотных горизонтов почвы опытных участков, представлены в табл. 5.1.

С учетом содержания физической глины и преобладающих фракций гранулометрических элементов почву в обоих случаях можно отнести к легкому крупнопылеватому суглинку.

Таблица 5.1. Гранулометрический состав почвы опытных участков

№ поля	Содержание фракций, %					
	1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
1	0,4	25,6	49,7	10,3	8,1	5,9
2	0,2	35,6	44,1	2,4	5,7	12,0

Агрохимические показатели (табл. 5.2) в пахотном горизонте учетных площадок изменялись в широких пределах. Практически все они находились в тесной корреляционной зависимости от содержания в почве гумуса и поэтому, как правило, учетные площадки с близким содержанием гумуса относились к одинаковым группам по содержанию подвижных соединений фосфора и калия.

Таблица 5.2. Агрохимические показатели пахотного горизонта почвы учетных площадок

Годы	рН _{ксл}	Мэк/100 г почвы			V, %	Гумус, %	Подвижные соединения, мг/кг	
		Нг	S	ЕКО			P ₂ O ₅	K ₂ O
2008	6,6–6,9	1,1–3,9	7,2–28,1	8,6–29,8	61,3–94,6	1,01–2,72	212,9–357,5	111,6–254,9
2009	6,4–6,8	1,7–3,7	10,4–23,8	12,3–27,4	78,7–88,8	1,00–2,32	235,7–337,6	191,2–358,5
2011	6,4–6,9	1,7–4,0	8,1–27,3	12,0–30,7	67,5–90,2	1,6–2,8	100,1–332,3	64,4–144,6

В 2008 г. средняя урожайность зерна ячменя колебалась от 3,46 до 5,20 т/га. В целом, на всех уровнях гумусированности почвы она была более высокой на делянках с дозой азота в 120 кг/га д. в. По мере уве-

личения гумусированности почвы урожайность зерна возрастала лишь до определенного предела, который при дозе азотного удобрения 80 кг/га д. в. составил 1,63 %, при дозе 100 кг/га – 1,78 % и при дозе 120 кг/га д. в. – 2,14 %. При этих уровнях гумусированности почвы урожайность зерна была максимальной и равнялась соответственно 4,91; 4,87 и 5,20 т/га.

Возделывание ячменя на учетных делянках с более высокой гумусированностью почвы привело к значительному снижению урожайности зерна. Корреляционная связь между урожайностью зерна ячменя и содержанием в почве гумуса была криволинейной и характеризовалась корреляционным отношением от 0,42 до 0,81.

Благоприятные погодные условия, сложившиеся в вегетационный период 2009 г., способствовали получению наиболее высокой урожайности зерна за все годы исследований – 8,33 ц/га (при содержании гумуса 2,06 %). В этот же год отмечалась и наиболее сильная корреляционная зависимость между гумусированностью почвы и урожайностью зерна ячменя ($\eta = 0,84-0,97$). В целом, оптимальный уровень содержания гумуса в почве находился в пределах от 1,86 до 2,06 %. При таком содержании гумуса максимальная урожайность зерна ячменя составила 3,86; 4,59; 4,94; 8,33 и 8,09 т/га соответственно для контрольного варианта и вариантов с дозой азота N_{80} ; N_{80+20} ; N_{80+40} и N_{80+60} .

В 2010 г., как и в предыдущие годы, урожайность зерна ячменя в зависимости от дозы азотного удобрения и гумусированности почвы колебалась в довольно широких пределах – от 2,77 до 7,21 т/га. На всех уровнях гумусированности почвы она была более высокой на делянках при внесении 120 кг д. в. азота дробно – 80 кг в основное внесение и 40 кг д. в. в подкормку. В целом корреляционная зависимость между урожайностью зерна ячменя и содержанием в почве гумуса была криволинейной и характеризовалась корреляционным отношением (η) от 0,74 до 0,96. Схожая закономерность была выявлена и в 2011 г.

Таким образом, исследования показали, что оптимальный уровень гумусированности почвы в посевах ячменя, возделываемого на фуражные цели, находился в пределах от 1,68 до 2,15 %. При более высоком содержании гумуса в почве урожайность зерна ячменя снижалась.

Учитывая, что сделать достоверные выводы о закономерностях изменения урожайности изучаемой культуры на основании анализа обособленных данных за отдельные годы очень сложно, нами были рассчитаны уравнения полиномиальных линий тренда урожайности зерна ячменя, возделываемого при разных дозах азотного удобрения (табл. 5.3).

**Таблица 5.3. Уравнения полиномиальных линий тренда урожайности зерна
ячменя, возделываемого при разных дозах азотного удобрения
на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с различным содержанием гумуса
(среднее за 2008–2011 гг.)**

Дозы азотного удобрения	Уравнения полиномиальных линий тренда	Величина достоверности аппроксимации (R^2)	Интервал содержания в почве гумуса
Без азота	$Y = -1,7208X^3 + 7,772X^2 - 10,249X + 6,7734$	0,77	1,2–2,4
N ₈₀	$Y = 2,2375X^3 - 15,496X^2 + 33,762X - 19,22$	0,40	1,2–2,4
N ₈₀₊₂₀	$Y = 1,0591X^3 - 7,2332X^2 + 15,971X - 6,8707$	0,40	1,2–2,6
N ₈₀₊₄₀	$Y = 14,684X^4 - 111,94X^3 + 307,32X^2 - 357,78X + 53,79$	0,61	1,2–2,6
N ₈₀₊₆₀	$Y = -6,2409X^2 + 22,883X - 13,818$	0,46	1,2–2,4

В совокупности при расчете уравнений полиномиальных линий тренда было использовано около 600 пар сравнения, которые были взяты за все годы исследований. Достоверность полученных уравнений линий тренда подтверждается величиной аппроксимации (R^2), или так называемым коэффициентом детерминации, показывающим степень соответствия трендовой модели исходным данным, он находится в пределах от 0,40 до 0,77. Это говорит о том, что от 40 до 77 % всех изменений урожайности зерна ячменя были обусловлены изменением содержания в почве гумуса.

Значительная доля остальной части изменения урожайности приходится на погодные условия, из-за особенностей которых урожайность зерна в отдельные годы существенно отличалась, что в конечном итоге несколько снизило значение величины аппроксимации. Тем не менее можно с уверенностью отметить, что полученные уравнения достоверны и позволяют достаточно точно судить о закономерностях изменения урожайности зерна ячменя под влиянием комплексного воздействия различных доз азотного удобрения и содержания в почве гумуса. Для этого нами были разработаны трендовые модели урожайности зерна ячменя в зависимости от уровня азотного питания и гумусированности почвы. Для большей наглядности они также представлены в виде полиномиальных линий тренда (рис. 5.1).

Анализ трендовых моделей показывает, что оптимальный уровень содержания в почве гумуса в посевах ячменя находится в пределах от 1,80 до 2,00 %. При этом в варианте без азота наибольшая урожайность зерна согласно трендовой модели соответствовала 2,00 % гуму-

са. В вариантах с дозами азота 80 кг д. в/га и 80 + 60 кг/га – 1,80 %, а в вариантах с 80 + 20 и 80 + 40 кг д. в/га – 1,90 %.

Тот факт, что наибольшая урожайность зерна ячменя в контрольном варианте соответствует более высокой гумусированности почвы (2,00 %), чем в вариантах с применением азотных удобрений, дает основание предположить, что недостаток азота не является фактором, лимитирующим урожайность сельскохозяйственных культур на почвах с высоким содержанием гумуса.

Обращает на себя внимание тот факт, что при гумусированности почвы ниже оптимального значения дозы азотного удобрения в 140 кг д. в/га по сравнению с дозой 120 кг имеет существенное преимущество. При содержании гумуса более 1,90 % это преимущество значительно снижается.

Следует отметить, что при гумусированности почвы более 2,40 % линии тренда урожайности зерна ячменя при дозах азота N_{80+20} , N_{80+40} и N_{80+60} существенно сближаются. Это в первую очередь говорит о том, что при возделывании ячменя на участках с содержанием гумуса от 2,50 % и более можно ограничиться дозой азотного удобрения 100 кг д. в/га.

Также были рассчитаны уравнения полиномиальных линий тренда урожайности соломы ячменя в зависимости от содержания гумуса и доз азотного удобрения (табл. 5.4). Величина их аппроксимации (R^2) находилась в пределах от 0,27 до 0,70. Иными словами от 27 до 70 % всех изменений урожайности соломы ячменя были обусловлены изменением содержания в почве гумуса. Разработанные с помощью этих уравнений трендовые модели урожайности соломы (рис. 5.2) оказались в значительной степени похожими на модели урожайности зерна. Однако доза азотного удобрения N_{80+60} обеспечила более высокую урожайность соломы по сравнению с дозой N_{80+40} практически до содержания в почве гумуса 2,30 %. При этом во всем изучаемом интервале гумусированности почвы (1,20–2,60 %) урожайность соломы ячменя на фоне N_{80+60} и N_{80+40} оказалась гораздо большей, чем при дозе азота N_{80+20} .

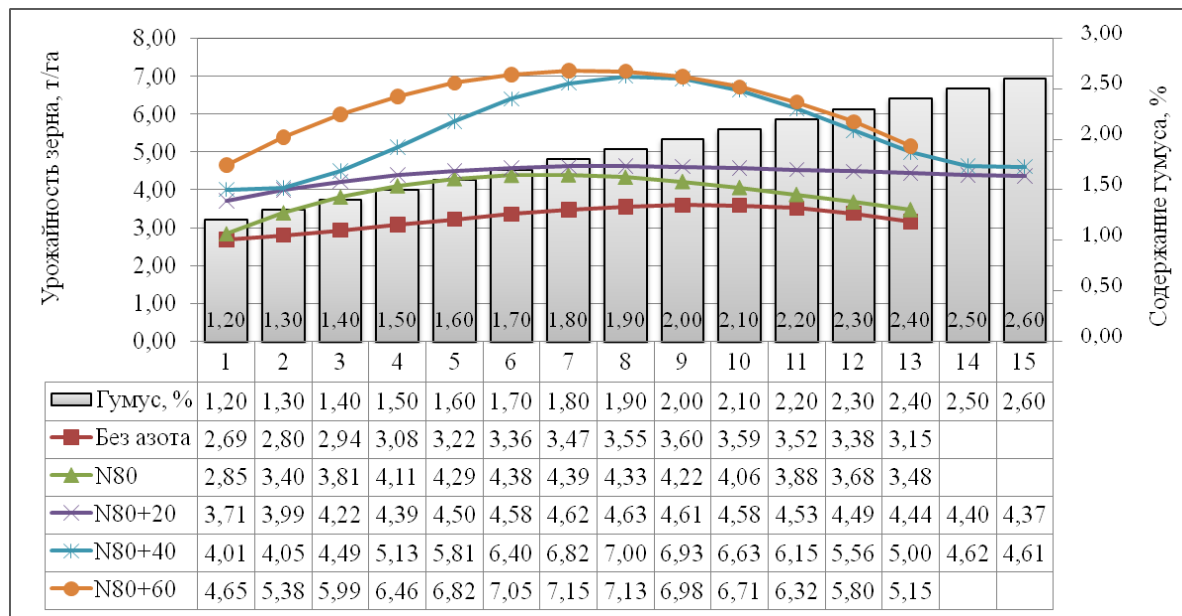


Рис. 5.1. Трендовая модель урожайности зерна ячменя, возделываемого при разных дозах азотного удобрения на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с различным содержанием гумуса

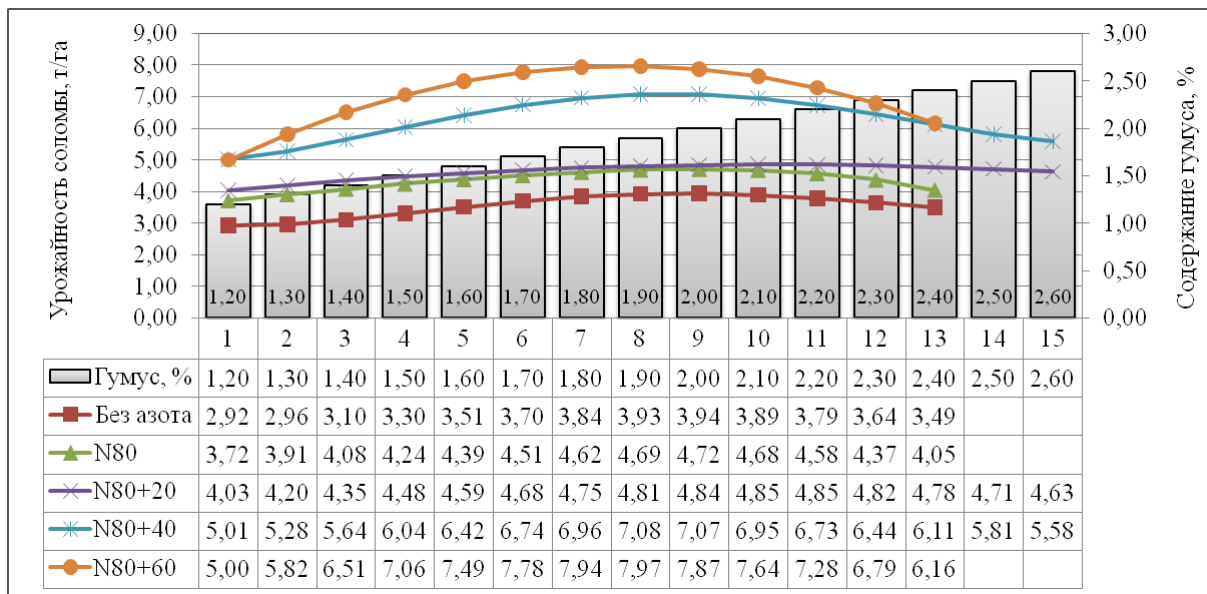


Рис. 5.2. Трендовая модель урожайности соломы ячменя, возделываемого при разных дозах азотного удобрения на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с различным содержанием гумуса

Вышеназванные трендовые модели представляют интерес не только с точки зрения выявления роли гумуса в формировании урожайности ячменя и определения его оптимального содержания в почве. Они также позволяют прогнозировать комплексное воздействие доз азотного удобрения и гумусированности почвы на формирование расходных статей баланса гумуса и основных элементов питания растений, на коэффициенты использования азота из удобрений, экономическую эффективность возделывания ячменя и другие показатели.

Таблица 5.4. Уравнения полиномиальных линий тренда урожайности соломы ячменя, возделываемого при разных дозах азотного удобрения на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с различным содержанием гумуса (среднее за 2008–2011 гг.)

Дозы азотного удобрения	Уравнения полиномиальных линий тренда	Величина достоверности аппроксимации (R^2)	Интервал содержания в почве гумуса
Без азота	$Y = 3,6086X^4 - 27,887X^3 + 77,377X^2 - 90,519X + 40,837$	0,70	1,2–2,4
N ₈₀	$Y = -1,1976X^4 + 6,9326X^3 - 15,756X^2 + 18,161X - 4,8825$	0,27	1,2–2,4
N ₈₀₊₂₀	$Y = -0,9763X^2 + 4,1385X + 0,4679$	0,33	1,2–2,6
N ₈₀₊₄₀	$Y = 4,8751X^4 - 37,328X^3 + 101,15X^2 - 113,32X + 49,735$	0,48	1,2–2,6
N ₈₀₊₆₀	$Y = -6,5565X^2 + 24,57X - 15,042$	0,68	1,2–2,4

Исследования показали, что у ячменя достоверная корреляционная связь между содержанием в почве гумуса и содержанием азота в отчуждаемой с поля продукции отсутствует (практически во всех случаях t_{ϕ} оказалось меньше t_{05}).

В среднем за годы исследований содержание азота в зерне находилось в пределах от 1,46 до 1,71 %. В соломе – от 0,70 до 0,85 %. В обоих случаях значение данного показателя было максимальным в варианте с дозой азота 140 кг д. в/га. Полученные значения содержания азота с большой уверенностью можно назвать достоверными, так как относительная ошибка средней (P) во всех вариантах оказалась меньше 5 %, что в первую очередь объясняется небольшой вариабельностью признака в пределах одной дозы азотного удобрения.

В результате математической обработки полученных данных были рассчитаны трендовые модели выноса азота с урожаем зерна и соломы ячменя, возделываемого при разных дозах азотного удобрения и при разном содержании в почве гумуса. Анализ моделей показывает, что вынос азота зависит в первую очередь от урожайности, а следовательно, во многом определяется гумусированностью почвы.

Используя данные о хозяйственном выносе азота, были рассчитаны полиномиальные линии тренда интенсивности его хозяйственного баланса (табл. 5.5, рис. 5.3). Полученные результаты несколько противоречат общепринятому представлению о том, что более высокие дозы удобрения должны обеспечивать и более высокую интенсивность баланса, вносимого с ним элемента. Интенсивность хозяйственного баланса азота оказалась значительно меньше в посевах ячменя, возделываемого в варианте с дозой азота N_{80+60} (61,99–96,96 %), по сравнению с вариантами N_{80+40} (79,87–106,84 %) и N_{80+20} (83,20–101,64 %). Это связано с различным использованием азота из удобрения и почвы. Несомненно, что уменьшение степени использования элемента питания из удобрений и почвы ведет к увеличению интенсивности его хозяйственного баланса. И наоборот, чем больше того или иного элемента используется из удобрения и почвы, тем выше урожайность, больше хозяйственный вынос с отчуждаемой с поля продукцией, а следовательно, и меньше интенсивность баланса в почве.

Таблица 5.5. Уравнения полиномиальных линий тренда интенсивности хозяйственного баланса азота в посевах ячменя, возделываемого при разных дозах азотного удобрения на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с различным содержанием гумуса (среднее за 2008–2011 гг.)

Дозы азотного удобрения	Уравнения полиномиальных линий тренда	Величина достоверности аппроксимации (R^2)	Интервал содержания в почве гумуса
Без азота	$Y = 46,215X^4 - 380,7X^3 + 1097,3X^2 - 1299,5X + 615,6$	0,70	1,2–2,4
N_{80}	$Y = -15,548X^4 + 121,41X^3 - 422,04X^2 + 709,63X - 333,13$	0,27	1,2–2,4
N_{80+20}	$Y = 13,564X^4 - 104,97X^3 + 256,82X^2 - 82,083$	0,33	1,2–2,4
N_{80+40}	$Y = 59,87X^4 - 443,92X^3 + 1143,2X^2 - 1173,1X + 516,76$	0,48	1,2–2,4
N_{80+60}	$Y = -191,39X^4 + 709,64X^3 - 431,58$	0,68	1,2–2,4

В подтверждение этому мы рассчитали процент использования азота из удобрения растениями ячменя (так называемый коэффициент использования) при разном содержании в почве гумуса. Для этого воспользовались формулой

$$K_N = [(B_N - B_0) / D_N] \cdot 100 \%,$$

где K_N – коэффициент использования азота из удобрения;

B_N – вынос азота с урожаем на удобренном участке, кг/га;

B_0 – вынос азота с урожаем на участке без удобрения, кг/га;

D_N – доза азотного удобрения, кг д. в/га.

В результате проведенных исследований посевы ячменя использовали от 10,7 до 67,4 % азотных удобрений (рис. 5.3). Наиболее высокое значение данного показателя было отмечено при дозе N_{80+60} и содержании гумуса в почве на уровне 1,70–1,80 %.

Определение коэффициентов использования элементов питания растениями из удобрения по разнице с контролем имеет серьезный недостаток. При таком методе не устраняется действие вносимого с удобрениями элемента на потребление его растениями из почвы. Более реальные коэффициенты использования растениями элементов питания из почвы и удобрений возможны только изотопным методом. Тем не менее полученные трендовые модели использования азота из минерального удобрения убедительно показывают, что значение данного показателя во многом зависит не только от дозы азотного удобрения, но и от содержания в почве гумуса и было гораздо большим в варианте с дозой азота N_{80+60} . При этом максимальное использование азота из удобрения (67,21; 67,41 и 66,15 %) растениями ячменя соответствовало содержанию гумуса 1,70; 1,80 и 1,90 %. При этой же дозе азотного удобрения было отмечено и более высокое использование азота из почвы, что подтверждается уравнениями линий тренда (табл. 5.6) и трендовой моделью потерь гумуса, представленной на рис. 5.4.

Анализ данной модели показывает, что в вариантах без применения азотного удобрения в среднем по всему интервалу гумусированности (от 1,20 до 2,40 %) потери гумуса составили 1081 кг/га (100 %). При дозе азотного удобрения 80 кг д. в/га, внесенного в основную заправку, потери гумуса по сравнению с вариантом без азота снизились в среднем до 669 кг/га (61,9 %) (рис. 5.5). Вместе с тем по мере увеличения суммарной дозы азотного удобрения до 100, 120 и 140 кг д. в/га значение данного показателя возросло соответственно до 692 (64,0 %), 831 (76,8 %) и 1188 кг/га (109,9 %).

Таблица 5.6. Уравнения полиномиальных линий тренда потерь гумуса (кг/га) в посевах ячменя, возделываемого при разных дозах азотного удобрения на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с различным содержанием гумуса (среднее за 2008–2011 гг.)

Дозы азотного удобрения	Уравнения полиномиальных линий тренда	Величина достоверности аппроксимации (R^2)	Интервал содержания в почве гумуса
Без азота	$Y = -529,68X^2 + 2107,8X - 914$	0,94	1,2–2,4
N_{80}	$Y = -449,54X^2 + 1679,1X - 827,46$	0,99	1,2–2,4
N_{80+20}	$Y = -192,26X^2 + 778,01X - 55,158$	0,99	1,2–2,4
N_{80+40}	$Y = -417,97X^2 + 1631,8X - 686,96$	0,99	1,2–2,4
N_{80+60}	$Y = -1159,8X^2 + 4300,5X - 2615,5$	1,00	1,2–2,4

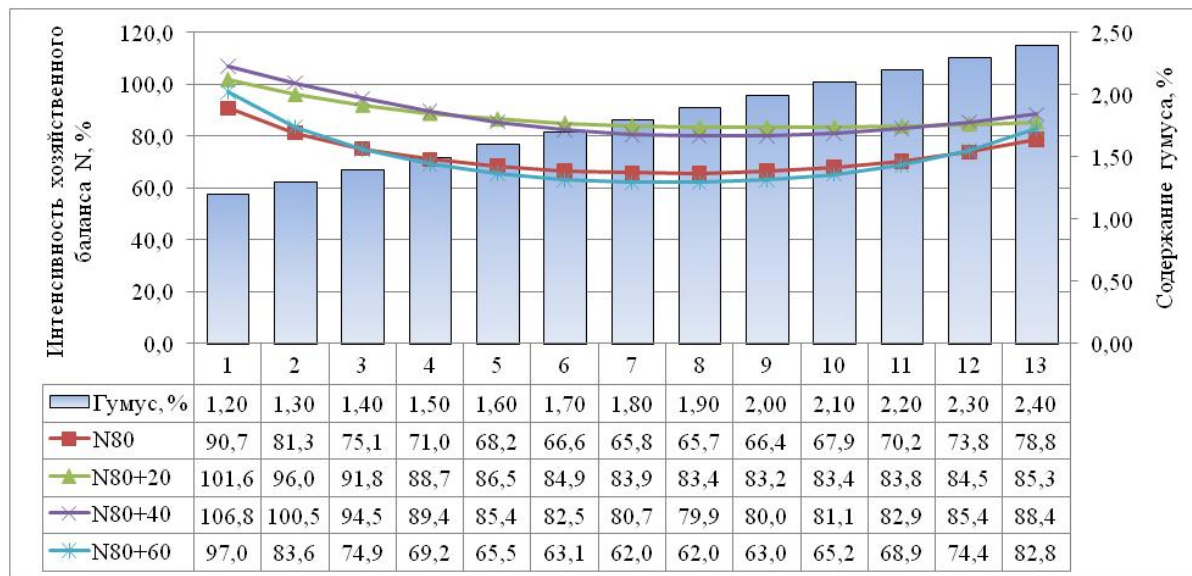


Рис. 5.3. Трендовая модель интенсивности хозяйственного баланса азота в посевах ячменя, возделываемого при разных дозах азотного удобрения на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с различным содержанием гумуса

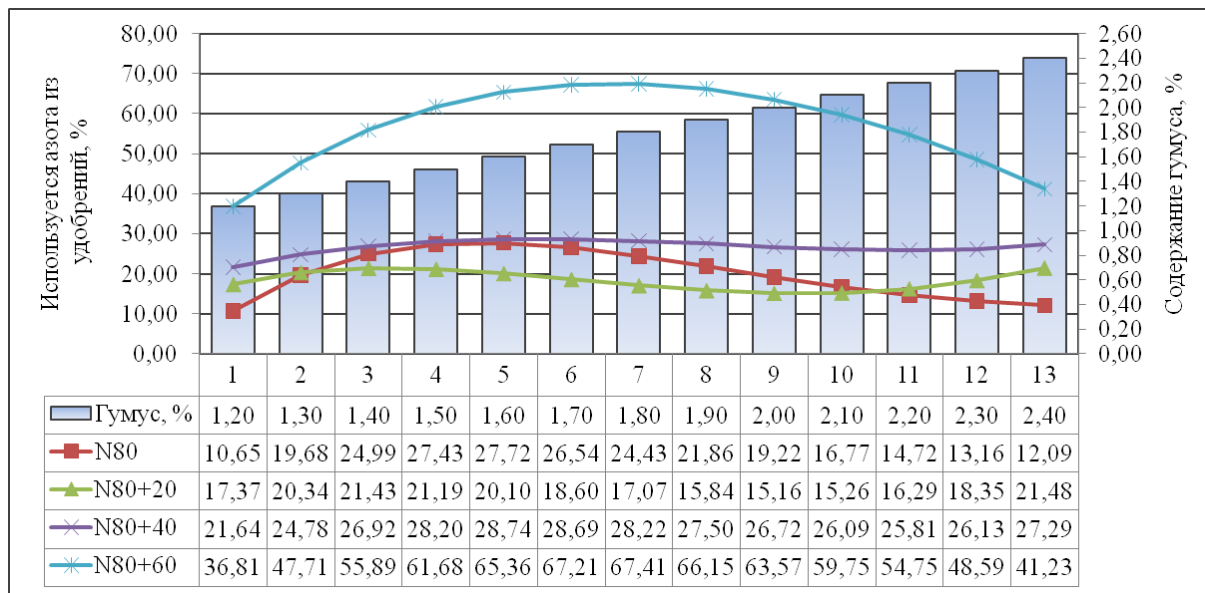


Рис. 5.4. Трендовая модель использования азота удобрений ячменем, возделываемым при разных дозах азотного удобрения на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с различным содержанием гумуса

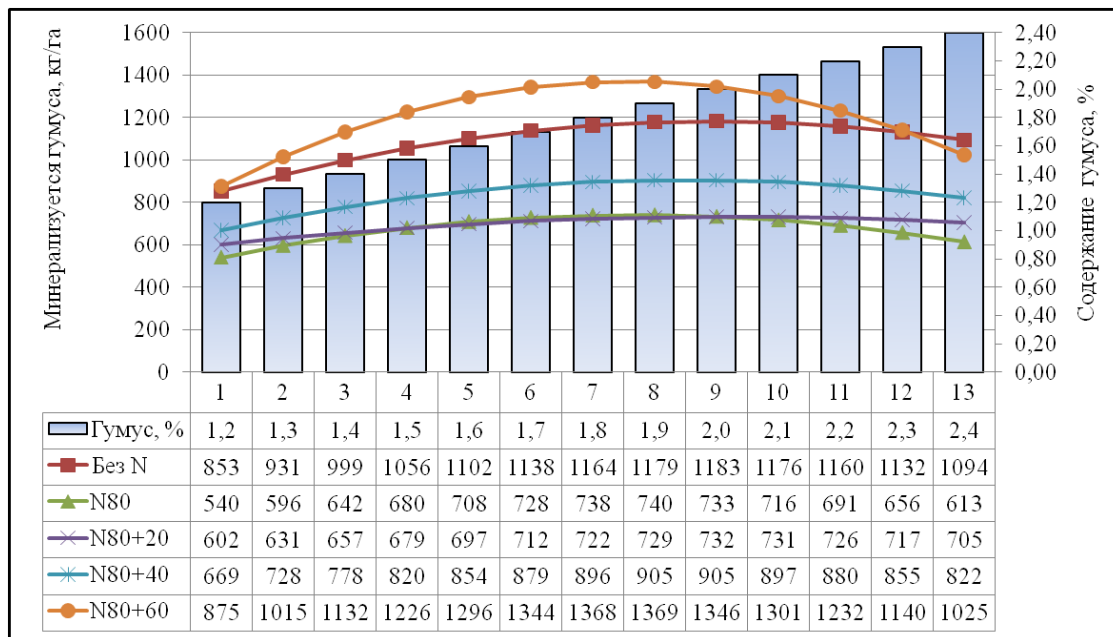


Рис. 5.5. Трендовая модель потерь гумуса (кг/га) в посевах ячменя, возделываемого при разных дозах азотного удобрения на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с различным содержанием гумуса

При всех дозах азотного удобрения наибольшие потери гумуса соответствовали деланкам с оптимальным содержанием гумуса.

Представленные уравнения трендовых моделей урожайности ячменя, удельного выноса азота и минерализации гумуса рекомендуется использовать при расчетах баланса азота и гумуса в почве. Очевидный интерес они представляют при планировании урожайности ячменя, возделываемого на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с различным содержанием гумуса, а также при разработке мероприятий, направленных на повышение эффективности минеральных удобрений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщение данных показывает, что применение комплексных удобрений, специализированных для сельскохозяйственных культур с учетом их биологических особенностей, комплексных препаратов на основе микроэлементов и регуляторов роста позволяет оптимизировать питание гороха, озимых зерновых культур, кукурузы на зеленую массу и зерно, столовых корнеплодов, разработать высокоэффективную систему удобрения, уменьшить влияние неблагоприятных погодных условий на формирование урожая. Это дает возможность получать более устойчивую продуктивность сельскохозяйственных культур и снизить на 10–15 % затраты на применение средств химизации.

На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве применение комплексного АФК-удобрения с В и Мо повысило урожайность семян полевого гороха сорта Зазерский усатый и посевного гороха сорта Миллениум по сравнению с внесением стандартных удобрений в эквивалентных по азоту, фосфору и калию дозах $N_{18}P_{63}K_{96}$ на 4,5 и 6,0 ц/га. Обработка посевов гороха сорта Зазерский усатый микроудобрениями Адоб бор и МикроСтим бор на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ увеличила урожайность семян гороха на 4,7 и 4,5 ц/га, а обработка регулятором роста Экосил и комплексным удобрением Кристалон – на 4,7 и 6,0 ц/га. Обработка семян гороха сорта Зазерский усатый ризобияльным инокулянтom на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ и $N_{18}P_{63}K_{96}$ + МикроСтим бор увеличила урожайность семян на 8,1 и 8,6 ц/га и обеспечила максимальную урожайность (36,6 и 37,1 ц/га), выход сырого протеина (7,50 и 7,82 ц/га) и переваримого протеина (6,42 и 6,72 ц/га). Обработка посевов посевного гороха сорта Миллентум микроудобрением Адоб бор и комплексным удобрением Кристалон на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ увеличила урожайность семян гороха на 4,5 и 5,7 ц/га, а регулятором роста Экосил и МикроСтим бор – на 4,9 ц/га. Инокуляция семян гороха сорта Миллениум на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ и $N_{18}P_{63}K_{96}$ + МикроСтим бор увеличила урожайность семян на 7,7 и 8,1 ц/га и обеспечила максимальную урожайность (39,3 и 39,7 ц/га), выход сырого протеина (8,18 и 8,34 ц/га) и переваримого протеина (7,03 и 7,17 ц/га).

Применение удобрений во всех вариантах опыта на горохе полевом и посевном обеспечило получение чистого дохода и было рентабельно. Инокуляция семян ризобияльным инокулянтom на фоне $N_{18}P_{63}K_{96}$ в среднем за три года исследований обеспечила наибольшую экономическую эффективность. У сорта Зазерский усатый чистый доход уве-

личился на 72,5 долл. США/га (с 61,2 до 133,7 долл. США/га) и рентабельность – на 42,2 % (с 77,2 до 119,4 %). У сорта Миллениум чистый доход увеличился на 88,7 долл. США/га (с 47,4 до 136,1 долл. США/га) и рентабельность – на 67,2 % (с 69,7 до 136,9 %).

Специализированное комплексное удобрение для кукурузы с цинком и бором по сравнению с внесением в эквивалентной дозе $N_{90}P_{70}K_{120}$ мочевины, аммонизированного суперфосфата и хлористого калия увеличило урожайность зеленой массы кукурузы на 30 ц/га. Некорневые подкормки на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ Адоб цинк, МикроСтим цинк, МикроСтим цинк, медь и МикроСтим цинк, бор повысили урожайность зеленой массы кукурузы на 60, 46, 99 и 87 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 81, 76, 95 и 91 кг зеленой массы соответственно.

Подкормка комплексным удобрением Кристалон на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ увеличила урожайность зеленой массы по сравнению с фоновым вариантом на 134 ц/га при высокой окупаемости 1 кг NPK кг зеленой массы кукурузы (108 кг). Более высокая урожайность зеленой массы кукурузы при минеральной системе удобрений была в варианте с применением МикроСтим цинк на фоне высоких доз минеральных удобрений $N_{120}P_{80}K_{130}+N_{30}$ и в варианте $N_{90+30}P_{70}K_{120} +$ Кристалон и составила 636 и 639 ц/га соответственно.

Обработка посевов кукурузы регулятором роста Экосил на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ повысила урожайность зеленой массы по сравнению с фоном на 35 ц/га. Сочетание навоза и минеральных удобрений обеспечило самую высокую урожайность зеленой массы. При внесении 60 т навоза + $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ и 60 т/га навоза + $N_{90+30}P_{70}K_{120} +$ МикроСтим цинк урожайность зеленой массы составила 697 и 737 ц/га.

Некорневые подкормки на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ Адоб цинк, МикроСтим цинк, МикроСтим цинк, медь и МикроСтим цинк, бор повысили урожайность зерна кукурузы по сравнению с фоновым вариантом на 6,9, 6,3, 8,8 и 11 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 16,6, 16,3, 17,2 и 18,0 кг зерна соответственно.

Применение регулятора роста Экосил увеличило урожайность зерна кукурузы по сравнению с фоновым вариантом $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ на 5,5 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 16,1 кг зерна.

Урожайность зерна кукурузы в варианте с применением некорневой подкормки комплексным удобрением Кристалон на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ составила 102,0 ц/га в среднем за 3 года исследований, что на 14,5 ц/га больше фонового варианта. В этом варианте опыта от-

мечена максимальная урожайность зерна при минеральной системе удобрения и окупаемость 1 кг NPK 19,3 кг зерна.

Внесение 60 т/га навоза увеличило урожайность зерна по сравнению с фоном на 20,0 ц/га. Средняя урожайность за 3 года в данном варианте составила 107,5 ц/га.

Максимальная урожайность зерна была получена в варианте с применением навоза на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ с некорневой подкормкой МикроСтим цинк (75 г/га) и составила 110,6 ц/га, что на 23,1 ц/га больше фонового варианта.

Максимальный уровень рентабельности (60 %) и чистый доход (217,78 долл. США/га) при возделывании кукурузы на зеленую массу был в варианте с применением некорневой подкормки комплексным удобрением Кристалон на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$. Также высоким уровнем рентабельности с 53,2 % был отмечен вариант с применением некорневой подкормки МикроСтим цинк, медь на фоне $N_{90+30}P_{70}K_{120}$ с чистым доходом в размере 178,28 долл. США/га.

Максимальный уровень рентабельности (56 %) при возделывании кукурузы на зерно был в варианте с применением комплексного АФК-удобрения с Zn и B, но при этом чистый доход составил 117,48 долл. США/га.

Наибольшая урожайность свеклы столовой была достигнута при внесении минеральных удобрений в дозе $N_{100}P_{90}K_{140}$ в сочетании с двукратной подкормкой посевов микроудобрением МикроСтим бор, медь (55,7 т/га), а также при использовании нового комплексного АФК-удобрения для допосевого внесения с бором и марганцем в дозе $N_{90}P_{80}K_{130}$.

Максимальная продуктивность моркови была отмечена в варианте с внесением минеральных удобрений в дозе $N_{100}P_{80}K_{130}$ – 60,5 т/га и в варианте $N_{100}P_{80}K_{130}$ + МикроСтим бор, медь – 65,3 т/га. Достаточно высокая урожайность корнеплодов моркови отмечалась в вариантах с применением комплексного удобрения с микроэлементами для некорневых подкормок Лифдрил и микроудобрения МикроСтим бор, медь на фоне $N_{80}P_{60}K_{100}$ – 58,6 и 57,4 т/га соответственно.

Наибольшее накопление сухого вещества (17,4 %) и сахаров (15,3 %) с долей товарных корнеплодов свеклы столовой 93,3 % было отмечено в варианте $N_{100}P_{90}K_{140}$ + МикроСтим бор, медь. В варианте с применением комплексного АФК-удобрения в дозе $N_{90}P_{80}K_{130}$ с бором и марганцем, $N_{90}P_{80}K_{130}$ + МикроСтим бор, медь и $N_{90}P_{80}K_{130}$ + Лифдрил содержание сухого вещества в корнеплодах составило 16,3 и

17,2 %, сахаров – 13,8 и 14,9 %, а товарность корнеплодов – 96,2 и 93,4 % соответственно.

При возделывании моркови наилучшими по качеству оказались варианты $N_{100}P_{80}K_{130}$ + МикроСтим бор, медь и $N_{80}P_{80}K_{130}$ + Лифдрип, где содержание сухого вещества в корнеплодах составило 12,2 и 11,8 %, сахаров – 7,6 и 8,1 %, каротина – 13,8 и 14,7 мг/%, а выход товарных корнеплодов – 85,9 и 86,1 % соответственно. В вариантах с применением комплексного АФК-удобрения с серой, бором и медью в дозе $N_{80}P_{60}K_{100}$ и $N_{80}P_{60}K_{100}$ + МикроСтим бор, медь содержание сухого вещества в корнеплодах моркови составило 11,4 и 11,2 %, сахаров – 7,3 и 7,1 %, каротина – 14,3 и 13,7 мг/%, товарность корнеплодов – 81,7 %.

В посевах свеклы столовой наибольший чистый доход и рентабельность были отмечены при применении АФК-удобрения с бором и марганцем в дозе $N_{90}P_{80}K_{130}$ – 4533,59 долл. США/га и 100,6 %, а также в варианте с внесением $N_{100}P_{90}K_{140}$ с двукратной некорневой подкормкой посевов микроудобрением МикроСтим бор, медь – 4501,92 долл. США/га и 100,2 % соответственно, где себестоимость 1 т продукции была наименьшей и составила 80,7 долл. США.

При возделывании моркови максимальный чистый доход, рентабельность и наименьшая себестоимость 1 т продукции были отмечены в варианте с внесением $N_{100}P_{80}K_{130}$ + МикроСтим бор, медь – 7064,64 долл. США/га, 162,5 % и 66,6 долл. США соответственно.

Некорневые подкормки озимой пшеницы микроудобрением Адоб медь на фоне $N_{20}P_{64}K_{140}$ + N_{70} + N_{40} увеличили урожайность зерна на 5,3 ц/га, микроудобрением с регулятором роста МикроСтим медь – на 9,0 ц/га и микроудобрением с регулятором роста МикроСил-Медь Л – на 9,5 ц/га (с 61,6 до 71,1 ц/га), при окупаемости 1 кг НРК 10,0, 10,9 и 11,1 кг зерна соответственно. Внесение 30 т/га навоза на фоне $N_{20}P_{64}K_{140}$ + N_{70} + N_{40} + N_{40} повысило урожайность зерна озимой пшеницы на 14,3 ц/га соответственно. В этом варианте отмечена максимальная урожайность зерна озимой пшеницы (75,9 ц/га).

При возделывании озимой пшеницы наибольший чистый доход был получен при сочетании $N_{20}P_{64}K_{140}$ + N_{70} + N_{40} + N_{40} с обработкой посевов МикроСил медь, МикроСтим-Медь Л, Фитовитал, который составил 504,4, 493,6 и 490,9 долл. США/га соответственно. В этих вариантах был более высокий уровень рентабельности (124,0–135 %).

Исследования эффективности азотных подкормок ярового ячменя на почве с различным содержанием гумуса показали, что оптимальный

уровень содержания в почве гумуса в посевах ячменя находился в пределах от 1,80 до 2,00 %. При этом в варианте без азота наибольшая урожайность зерна согласно трендовой модели соответствовала 2,00 % гумуса. В вариантах с дозами азота 80 кг д. в/га и 80 + 60 кг/га – 1,80 %, а в вариантах с 80 + 20 и 80 + 40 кг д. в/га – 1,90 %. В вариантах без применения азотного удобрения в среднем по всему интервалу гумусированности (от 1,20 до 2,40 %) потери гумуса составили 1081 кг/га (100 %). При дозе азотного удобрения 80 кг д. в/га, внесенного в основную заправку, потери гумуса по сравнению с вариантом без азота снизились в среднем до 669 кг/га (61,9 %). Вместе с тем по мере увеличения суммарной дозы азотного удобрения до 100, 120 и 140 кг д. в/га значение данного показателя возросло соответственно до 692 (64,0 %), 831 (76,8 %) и 1188 кг/га (109,9 %). Представленные уравнения трендовых моделей урожайности ячменя, удельного выноса азота и минерализации гумуса рекомендуется использовать при расчетах баланса азота и гумуса в почве. Очевидный интерес они представляют при планировании урожайности ячменя, возделываемого на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с различным содержанием гумуса, а также при разработке мероприятий, направленных на повышение эффективности минеральных удобрений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вильдфлуш, И. Р. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур: монография / И. Р. Вильдфлуш. – Минск: Беларус. наука, 2011. – 293 с.
2. Кадыров, М. А. Кормопроизводство в Беларуси: состояние, проблемы, решения / М. А. Кадыров, Л. В. Кукреш // Земляробства і ахова раслін. – 2005. – № 2. – С. 3–9.
3. Кукреш, Л. В. Сбалансированный белком корм – залог высокой экономической эффективности животноводства / Л. В. Кукреш, И. В. Рышкель // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2009. – № 1. – С. 62–66.
4. Шлапунов, В. Н. Кормовое поле Беларуси / В. Н. Шлапунов, В. С. Цыдик. – Барановичи, 2003. – 304 с.
5. Кумаков, В. А. Биологические основы возделывания яровой пшеницы по интенсивной технологии / В. А. Кумаков. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 104 с.
6. Сельское хозяйство Беларуси. – URL: <http://aw.belal.by/russian/-prof/prof.htm> (дата обращения: 30.04.2020.)
7. Беларусь в цифрах: стат. справочник. – Минск, 2020.
8. Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2019 г.
9. Государственная программа «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 1 февр. 2021 г. № 59. – URL: <http://mshp.gov.by/documents/ab2025.pdf> (дата обращения: 25.02.2022).
10. Зернобобовые России. – URL: <http://www.fao.org/3/a-i7136r.pdf> (дата обращения: 25.09.2018).
11. Бояр, Д. М. Рекомендации по интенсивной технологии возделывания гороха на зерно / Д. М. Бояр. – Гродно: ГТАУ, 2010. – 16 с.
12. Трепачев, Е. П. Органическое вещество и азот бобовых в земледелии Центрально-Черноземного района: вклад в плодородие почвы и потребность в азотном удобрении последующих культур / Е. П. Трепачев, М. С. Ягодина, Б. Ф. Азаров // Сельскохозяйственная биология. – 1991. – № 5. – С. 19–27.
13. Персикова, Т. Ф. Продуктивность бобовых культур при локальном внесении удобрений / Т. Ф. Персикова. – Горки: Беларус. гос. с.-х. акад., 2002. – 204 с.
14. Прянишников, Д. Н. Азотный баланс в земледелии и значение культуры бобовых / Д. Н. Прянишников // Об удобрении полей и севооборотов. – М., 1962. – С. 71–79.
15. Завалин, А. А. Влияние доз азота и азотфиксирующих препаратов на урожай и качество зерна яровой пшеницы и гороха в чистых и смешанных посевах / А. А. Завалин, А. В. Пасынков, П. В. Лекомцев // Агрохимия. – 2003. – № 9. – С. 20–29.
16. Агрохимия: учебник / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Ураджай, 2001. – 488 с.
17. Биологический азот: тезисы докл. первой всесоюз. науч. конф. СОИСАФ (7–8 февр. 1989 г.) / под ред. Г. С. Посыпанова. – Калуга, 1990. – С. 3–5.
18. Зернобобовые культуры / Д. Шпаар [и др.]; под ред. Д. Шпаара. – Минск: ФУАинформ, 2000. – 264 с.
19. Минеев, В. Г. Агрохимия: учебник / В. Г. Минеев. – 2-е изд. – М.: Изд-во МГУ; Изд-во: «КолосС», 2004. – 720 с.
20. Посыпанов, Г. С. Методы изучения биологической фиксации азота воздуха / Г. С. Посыпанов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 300 с.

21. Пройшен, Г. Восстановление здоровья почвы. Земледелец / Г. Пройшен // Советско-немецкий ежегодник по экологическому земледелию. – М.: Прогресс, 1991. – 167 с.
22. Paul, E. A. Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems / E. A. Paul // Intern. symp. brisbaneed. willson. J. R. – 1988. – Vol. 1. – P. 417.
23. Кукреш, С. П. Использование биологического азота в земледелии: лекция для студентов агроном. спец. вузов и слушателей ФПК / С. П. Кукреш, С. Ф. Ходянкина. – Горки, 1999. – 44 с.
24. Мишустин, Е. Н. Вклад биологического азота в сельское хозяйство СССР / Е. Н. Мишустин, Н. И. Черенков // Биологическая фиксация молекулярного азота: материалы II Всесоюзного Баховского коллоквиума. – Киев, 1983. – С. 7–19.
25. Смирнов, П. М. Агрохимия / П. М. Смирнов, Э. А. Муравин. – 2-е изд. – М.: Колос, 1984. – 304 с.
26. Прянишников, Д. Н. Азот в жизни растений и земледелии СССР / Д. Н. Прянишников // Избр. соч.: в 3 т. / Д. Н. Прянишников. – М.: Изд-во АН СССР, 1951. – Т. 1. – С. 47–156.
27. Ладонин, В. Ф. Оптимизация питания растений и фитосанитарного состояния посевов путем интегрированного системного использования факторов интенсификаций земледелия / В. Ф. Ладонин // Бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии им. Д. Н. Прянишникова. – 2001. – № 114. – С. 11–13.
28. Посыпанов, Г. С. Биологический азот. Проблемы экологии и растительного белка / Г. С. Посыпанов. – М.: МСХА, 1993. – 267 с.
29. Посыпанов, Г. С. Биологический азот. Проблемы экологии и растительного белка / Г. С. Посыпанов. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 251 с.
30. Микроэлементы в сельском хозяйстве / Академия наук СССР; под ред. Я. В. Пейве. – Москва; Ленинград: Изд-во Академии наук СССР, 1957. – 290 с.
31. Сидорова, К. К. Генетическая роль бобового растения и симбиотической азотфиксации (на примере *Pisum sativum*) / К. К. Сидорова, В. К. Шумный // Сибирский экологический журнал. – 1999. – № 3. – С. 281–288.
32. Воробьев, В. Б. Накопление и качество растительных остатков некоторых сельскохозяйственных культур в связи с гумусным состоянием и удобрением дерново-подзолистых почв: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Воробьев Вадим Борисович. – Горки, 1988. – 18 с.
33. Персикова, Т. Ф. Биологический азот в земледелии Беларуси / Т. Ф. Персикова, А. Р. Цыганов, И. Р. Вильдфлуш. – Минск: Белорусское издательское Товарищество «Хата», 2003. – 237 с.
34. Персикова, Т. Ф. Вклад в плодородие дерново-подзолистой почвы азота и органического вещества бобовых / Т. Ф. Персикова, М. В. Царева, Т. В. Серякова // Эволюция и деградация почвенного покрова: сб. науч. ст. по материалам V Междунар. науч. конф. – Ставрополь, 2017. – С. 119–122.
35. Литвинюк, Р. С. Зернобобовые культуры как накопители азота в почве и их влияние на урожайность озимой пшеницы и последующих культур в севообороте в Восточной лесостепи УССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 530 / Литвинюк Роман Савельевич; Харьковский с.-х. ин-т им. В. В. Докучаева. – Харьков, 1962. – 19 с.
36. Воробьев, С. А. Севообороты интенсивного земледелия / С. А. Воробьев. – М.: Колос, 1979. – 368 с.
37. Иванова, Е. П. Практикум по сельскохозяйственной экологии: учеб. пособие / Е. П. Иванова; ФГБОУ ВПО ПГСХА. – Уссурийск, 2015. – 139 с.

38. Муравин, Э. А. Агрохимия / Э. А. Муравин. – М.: КолосС, 2003. – 384 с.
39. Повышение плодородия дерново-подзолистых почв и показатели структурности в севооборотах / В. Н. Шептухов [и др.] // Почвоведение. – 1993. – № 4. – С. 74–82.
40. Хайлова, Г. Ф. Симбиотическая азотфиксирующая система бобовых растений / Г. Ф. Хайлова, Г. Я. Жизневская // Агрохимия. – 1980. – № 12. – С. 118–133.
41. Нестеров, И. А. Продуктивность и качество люпина при использовании удобрений и биопрепаратов на радиоактивно загрязненной супесчаной почве: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Нестеров Иван Александрович; ВНИИ «Агроэкоинформ». – М., 2000. – 19 с.
42. Мишустин, Е. Н. Значение биологического азота в азотном балансе и повышении плодородия почв СССР / Е. Н. Мишустин, Н. И. Черепков // Биологический азот в сельском хозяйстве СССР. – М., 1989. – С. 3–7.
43. Посыпанов, Г. С. Биологический азот в растениеводстве / Г. С. Посыпанов // Тезисы докладов IV Междунар. науч. конф. СОИСАФ, 6–7 мая 1996 г. / Моск. с.-х. акад. им. К. А. Тимирязева. – М.: МСХА, 1996. – С. 83–87.
44. Садыков, Б. Ф. Биологическая азотфиксация в агроценозах / Б. Ф. Садыков. – Уфа, 1989. – 109 с.
45. Садыков, Б. Ф. Обнаружение азотфиксирующей активности в филосфере растений / Б. Ф. Садыков, М. М. Умаров // Микробиология. – 1980. – Т. 49, № 1. – С. 147–150.
46. Родынюк, И. С. Биологическая фиксация азота / И. С. Родынюк. – Новосибирск: Наука, 1991. – 142 с.
47. Кравченко, Л. В. Роль корневых экзометаболитов в интеграции микроорганизмов с растениями: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.03.06 / Кравченко Лев Витальевич; МГУ. – М., 2000. – 45 с.
48. Мишустин, Е. Н. Биологический азот и его роль в земледелии / Е. Н. Мишустин. – М.: Наука, 1967. – 367 с.
49. Ягодина, М. С. Интенсивность несимбиотической фиксации атмосферного азота при различных сочетаниях органического вещества, влажности и температуры / М. С. Ягодина, Б. А. Ягодин, Е. Л. Вережкин // Известия ТСХА. – 1979. – № 2. – С. 71–73.
50. Кирюшин, В. И. Экологические основы земледелия / В. И. Кирюшин. – М.: Колос, 1996. – 367 с.
51. Технология возделывания гороха овощного на семена: рекомендации / Ю. М. Забара [и др.]. – Минск: Нац. акад. наук Беларуси, РУП «Институт овощеводства», 2013. – 28 с.
52. Проворов, Н. А. Соотношение симбиотрофного и автотрофного питания азотом у бобовых растений: генетико-селекционные аспекты / Н. А. Проворов // Физиология растений. – 1996. – Т. 43, № 1. – С. 127–135.
53. Самцевич, С. А. Значение клубеньковых бактерий как симбионта бобовых растений / С. А. Самцевич // Роль микроорганизмов в питании растений и повышении плодородия почв / С. А. Самцевич. – Минск, 1969. – 253 с.
54. Рулинская, Н. С. Эффективность ризоторфина при различных нормах и способах внесения минерального азота под горох посевной на серых лесных почвах Брянской области / Н. С. Рулинская, В. В. Осмоловский // Приемы усиления симбиотической азотфиксации в растениеводстве и земледелии. – Ленинград, 1987. – С. 68–74.

55. Кретович, В. Л. Содержание β -индолилуксусной кислоты в корневых клубеньках и в корнях люпина / В. Л. Кретович // Физиология растений. – 1972. – Т. 19, вып. 3. – С. 504–509.
56. Сабельникова, В. И. Биологически активные вещества клубеньковых бактерий / В. И. Сабельникова. – Кишинев: Штиинца, 1979. – 142 с.
57. Такунов, И. П. Люпин в земледелии России / И. П. Такунов. – Брянск: Придесенье, 1996. – 372 с.
58. Мосолов, И. В. Физиологические основы применения минеральных удобрений / И. В. Мосолов. – М.: Колос, 1979. – 255 с.
59. Приемы усиления симбиотической азотфиксации в растениеводстве и земледелии: сб. тр. / ВНИИ с.-х. микробиологии. – Ленинград, 1987. – Т. 57. – С. 5–8.
60. Шевелуха, В. С. Новый этап в изучении регуляторов роста растений и других биологических объектов / В. С. Шевелуха // Регуляторы роста и развития растений: материалы V Междунар. конф. – М., 1999. – С. 3–5.
61. Provorov, N. A. Genetic resources for improving nitrogen fixation in legume rhizobia symbiosis / N. A. Provorov, I. A. Tikhonovich // Gen. res. and crop evo. – 2003. – Vol. 50, № 1. – P. 89–99.
62. Водяник, А. С. Применение ризоторфина и целесообразность его сочетания с минеральным азотом на посевах гороха / А. С. Водяник, Т. М. Водяник // Приемы усиления симбиотической азотфиксации в растениеводстве и земледелии. – Ленинград, 1987. – С. 63–68.
63. Кашуков, М. В. Значение бобовых и симбиотического азота в земледелии / М. В. Кашуков. – Нальчик: КБГСХА, 1996. – 33 с.
64. Шабает, В. П. Роль биологического азота в системе «почва – растения» при внесении ризосферных микроорганизмов: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.03.06 / Шабает Валерий Павлович; МГУ. – М., 2004. – 46 с.
65. Завалин, А. А. Биопрепараты, удобрения и урожай / А. А. Завалин / М.: Изд-во ВНИИА, 2005. – 302 с.
66. Персикова, Т. Ф. Продуктивность люпина узколистного в условиях Беларуси / Т. Ф. Персикова, А. Р. Цыганов, А. В. Какшинцев. – Минск: ИВЦ Минфина, 2006. – 179 с.
67. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас; пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
68. Минеев, В. Г. Экологические проблемы агрохимии: учеб. пособие / В. Г. Минеев. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 283 с.
69. Ягодин, Б. А. Агрохимия / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко. – М.: Колос, 2002. – 584 с.
70. Анспок, П. И. Микроудобрения: справочник / П. И. Анспок. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 272 с.
71. Анспок, П. И. Совершенствование способов применения микроэлементов в растениеводстве / П. И. Анспок // Микроэлементы в биологии и их применение в сельском хозяйстве и медицине / П. И. Анспок. – Самарканд, 1990. – С. 115–116.
72. Захарова, И. Г. Влияние микроэлементов цинка, меди, молибдена и кобальта на симбиотическую фиксацию молекулярного азота атмосферы и продуктивность сои и люцерны: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Захарова Ирина Геннадиевна. – М., 1985. – 13 с.
73. Каталимов, М. В. Микроэлементы и микроудобрения / М. В. Каталимов. – Москва: Химия, 1965. – 330 с.

74. Микроэлементы в сельском хозяйстве / С. Ю. Булыгин [и др.]; под ред. д-ра с.-х. наук, проф., член.-кор. УААН С. Ю. Булыгина. – Днепропетровск: Січ, 2007. – 100 с. – URL: http://www.agriculture.uz/filesarchive/mikroelementy_v_s.pdf (дата обращения: 29.05.2019).

75. Михалев, И. В. Азотфиксирующая деятельность, урожайность и качество семян сортов кормовых бобов и гороха в зависимости от макро- и микроудобрений в лесостепи ЦЧР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01 / Михалев Игорь Владимирович; Воронежский ГАУ. – Воронеж, 2014. – 23 с.

76. Цыганов, А. Р. Применение микроудобрений, биопрепаратов и регуляторов роста при возделывании гороха / А. Р. Цыганов, О. И. Мишура // Плодородие. – № 4. – 2009. – С. 15–17.

77. Школьник, М. Я. Значение микроэлементов в жизни растений и в земледелии / М. Я. Школьник; Акад. наук СССР. Ботан. ин-т им. В. Л. Комарова. – Ленинград: М.: 1-я тип. изд-ва Акад. наук СССР в Ленинграде, 1950. – 512 с.

78. Эффективность применения новых хелатных микроудобрений МикроСтим при возделывании люпина узколистного и озимой пшеницы / М. В. Рак [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 2 (53). – С. 151–160.

79. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 293 с.

80. Безуглова, О. С. Биогеохимия: учебник / О. С. Безуглова, Д. С. Орлов. – Ростов н/Д: Феникс, 2000. – 320 с.

81. Ратыер, Е. И. Молибден и урожай / Е. И. Ратыер, И. А. Буркин. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1959. – С. 3–5. (Научно-популярная серия докладов I Всесоюзной научной конференции СОИСАФ).

82. Рациональное применение удобрений: пособие / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Горки: Белорус. гос. с.-х. акад., 2002. – 324 с.

83. Школьник, М. Я. Микроэлементы в жизни растений / М. Я. Школьник. – Ленинград: Наука, Ленингр. отд., 1974. – 324 с.

84. Школьник, М. Я. О физиологической роли бора у растений / М. Я. Школьник // Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине: тезисы докладов V Всесоюз. совещания. – Улан-Удэ, 1966. – Т. 3. – С. 6–7.

85. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика / Г. М. Мороз [и др.]; под общ. ред. Г. М. Мороз и В. В. Лапа. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 208 с.

86. Матуашвили, С. И. Микроэлементы как фактор, влияющий на физиологические и морфологические свойства микроба *Azotobacter Chroococcum* / С. И. Матуашвили. – Ленинград: Ленингр. гос. ун-т, 1941. – 320 с.

87. Пейве, Я. В. Биохимия почв / Я. В. Пейве – М.: Сельхозиздат, 1961. – 422 с.

88. Авдонин, Н. С. Влияние удобрений на свойства дерново-подзолистых почв / Н. С. Авдонин, И. П. Аренс, Л. Н. Степанова // Почвоведение. – 1960. – № 9. – С. 25–34.

89. Чумаченко, И. Н. Влияние микроудобрений на урожайность / И. Н. Чумаченко // Химизация сельского хозяйства. – 1989. – № 12. – С. 31–32.

90. Dorst, S. H. Selenium speciation in the soil solution and its relevance to plant uptake / S. H. Dorst, P. J. Peterson // Proc. 9th Int. Plant Nutrition Colloquium / A. Scaife, Commonwealth Agriculture, Bureaux, Bucks. – 1982. – 1, 134.

91. Кудашкин, М. И. Микроэлементы в интенсивных технологиях / М. И. Кудашкин // Химизация сельского хозяйства. – 1989. – № 6. – С. 29–31.
92. Трепачев, Е. П. Клевер и люцерна как предшественники озимой пшеницы. Роль симбиотического и минерального азота в формировании урожая и качества зерна / Е. П. Трепачев, Б. Ф. Азаров // Агрохимия. – 1991. – № 11. – С. 26–37.
93. Значение микроэлементов в жизнедеятельности растений. – URL: <http://uchebilka.ru/biolog/70996/index.html> (дата обращения: 01.05.2020).
94. Посыпанов, Г. С. Белковая продуктивность бобовых культур при симбиотрофном и автотрофном типах питания азотом: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.09 / Посыпанов Георгий Сергеевич; МСХА им. Тимирязева. – Ленинград, 1983. – 60 с. – URL: <http://earthpapers.net/belkovaya-produktivnost-bobovyh-kultur-pri-simbiotrofnom-i-avtotrofnom-tipah-pitaniya-azotom-1> (дата обращения: 15.04.2019).
95. Цыганов, А. Р. Микроэлементы и микроудобрения: учеб. пособие / А. Р. Цыганов, Т. Ф. Персикова, С. Ф. Реуцкая. – Минск, 1998. – 32 с.
96. Станилевич, И. С. Эффективность возделывания гороха на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с разной обеспеченностью обменным магнием / И. С. Станилевич, И. М. Богдевич, Ю. В. Путятин // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1 (62). – С. 168–179.
97. Суховицкая, Л. А. Биологический азот: итоги и перспективы развития исследований в институте микробиологии НАН Беларуси / Л. А. Суховицкая // Проблемы питания растений и использования удобрений в современных условиях. – Минск: Белорусское издательское Товарищество «Хата», 2000. – С. 505–508.
98. Рак, М. В. Влияние кобальтовых и марганцевых удобрений на кормовую ценность люпина узлолистного / М. В. Рак, Т. Г. Николаева // Почвоведение и агрохимия. – 2010. – № 1 (44). – С. 221–227.
99. Власюк, П. А. Задачи и перспективный план научных исследований в области изучения и использования микроэлементов, полимеров и радиоактивных изотопов в сельском хозяйстве / П. А. Власюк // Применение микроэлементов, полимеров и радиоактивных изотопов в сельском хозяйстве: труды Координационного совещания проблемной комиссии УАСХН. / Укр. акад. с.-х. наук; редкол.: акад. П. А. Власюк (отв. ред.) [и др.]. – Киев: Изд-во Укр. акад. с.-х. наук, 1962. – С. 3–25.
100. Влияние кобальтовых удобрений на урожайность и качество клевера лугового / М. В. Рак [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 1 (46). – С. 208–214.
101. Безуглова, О. С. Удобрения и стимуляторы роста / О. С. Безуглова. – Ростов н/Д: Феникс, 2000. – 316 с.
102. Применение биостимуляторов роста Новосил, 10 % в. э. и Экосил, 5 % в. э. в посевах сельскохозяйственных культур Беларуси: рекомендации / П. А. Саскевич [и др.]. – Горки: Белорус. гос. с.-х. акад., 2006. – 28 с.
103. Деева, В. П. Роль биологически активных веществ в оптимизации питания растений / В. П. Деева, А. Н. Веденеев, Т. С. Шевцова // Проблемы питания растений и использование удобрений: материалы науч.-практ. конф., Жодино, 2002 г. / Белорус. науч.-исслед. ин-т земледелия и кормов; редкол.: М. А. Кадыров [и др.]. – Жодино, 2002. – С. 164–166.
104. Пономаренко, С. П. Регуляторы роста растений / С. П. Пономаренко. – Киев: Ин-т биоорганической химии и нефтехимии НАН Украины, 2003. – 319 с.
105. Хрипач, В. А. Брассиностероиды / В. А. Хрипач, Ф. А. Лахвич, В. Н. Жабинский. – Минск: Наука и техника, 1993. – 287 с.

106. Воробейков, Г. А. Микроорганизмы, урожай и биологизация земледелия: учеб. пособие / Г. А. Воробейков. – СПб., 1998. – 120 с.

107. Персикова, Т. Ф. Биологический азот в земледелии Беларуси / Т. Ф. Персикова, А. Р. Цыганов, И. Р. Вильдфлуш. – Минск: Белорусское издательское Товарищество «Хата», 2003. – 237 с.

108. Христева, Л. А. Применение гумата натрия в качестве стимулятора роста / Л. А. Христева, В. А. Реутов // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. – Днепропетровск: Кн. изд-во, 1973. – Т. 4. – С. 308–310.

109. Безуглов, В. Г. Эффективность удобрений, содержащих гумат натрия, в баковых смесях с гербицидами на посевах озимой пшеницы / В. Г. Безуглов, Р. М. Гафуров // Агрохимия. – 2002. – № 9. – С. 41–46.

110. Вафина, Ф. Г. Влияние стимуляторов роста и комплексных удобрений, полученных на основе бурового угля, на рост, развитие и урожайность тонковолокнистого хлопчатника в условиях Вахшской долины: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 51 / Вафина Фания Габдулгазизовна; АН ТаджССР; Ин-т химии. – Душанбе, 1972. – 27 с.

111. Изосимов, А. А. Физико-химические свойства, биологическая активность и детоксицирующая способность гуминовых препаратов, отличающихся генезисом органического сырья: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / Изосимов Алексей Анатольевич; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. – М., 2016. – 26 л.

112. Макеева, Н. А. Изучение влияния гуматов натрия на динамику роста овса в условиях породного отвала угольного разреза / Н. А. Макеева. – URL: <https://science-education.ru/-pdf/2014/6/1400.pdf> (дата обращения: 22.05.2017).

113. Пономаренко, С. П. Регуляторы роста растений на основе N-оксидов производных пиридина (физико-химические свойства и биологическая активность) / С. П. Пономаренко. – Киев: Техника, 1999. – 269 с.

114. Тукей, Г. Регуляторы роста растений в сельском хозяйстве / Г. Тукей; пер. с англ. – М.: Изд-во иностр. лит., 1958. – С. 24.

115. Якименко, О. С. Применение гуминовых продуктов в Российской Федерации: результаты полевых опытов (обзор литературы) / О. С. Якименко // Живые и биокосные системы: науч. электр. периодич. изд. ЮФУ. – 2016. – № 18. – URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-18/> (дата обращения: 18.09.2020).

116. Каспаров, В. А. Применение пестицидов за рубежом / В. А. Каспаров, В. К. Промоненков. – М.: Агропромиздат, 1990. – 224 с.

117. Steffens, G. L. Proc Plant Growth Regulator / G. L. Steffens // Working Group. – 1979. – № 6. – P. 86.

118. Лапа, В. В. Применение микроудобрений в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур / В. В. Лапа, М. В. Рак. – URL: <https://mshp.gov.by/-information/materials/zem/soil/c2527299843208e7> (дата обращения: 25.05.2019).

119. Эффективность микроудобрений МикроСил при возделывании зерновых, зернобобовых и пропашных культур на дерново-подзолистых почвах / М. В. Рак [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2 (49). – С. 159–165.

120. Рак, М. В. Эффективность жидких микроудобрений МикроСтим при возделывании люцерны / М. В. Рак, С. А. Титова, Т. Г. Николаева // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 1 (58). – С. 169–176.

121. Эффективность некорневых подкормок жидкими микроудобрениями МикроСтим при возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах / М. В. Рак [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1 (60). – С. 180–193.

122. Влияние новых форм жидких и твердых минеральных удобрений на продуктивность и показатели качества злаковых, бобово-злаковых травосмесей и люцерны на дерново-подзолистых почвах / Г. В. Пироговская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1 (62). – С. 133–157.

123. Лапа, В. В. Эффективность применения новых удобрений Адоб, Басфолиар и Солибор Дф при возделывании сельскохозяйственных культур / В. В. Лапа, М. В. Рак // Земляробства і ахова раслін. – 2006. – № 1. – С. 28–29.

124. Какшинцев, А. В. Эффективность регуляторов роста, бактериальных препаратов и способов внесения удобрений в зависимости от сорта люпина узколистного: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Какшинцев Андрей Васильевич; НИРУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси». – Минск, 2004. – 22 с.

125. Персикова, Т. Ф. Продуктивность люпина узколистного в условиях Беларуси / Т. Ф. Персикова, А. Р. Цыганов, А. В. Какшинцев. – Минск: ИВЦ Минфина, 2006. – 179 с.

126. Хайлова, Г. Ф. Симбиотическая азотфиксирующая система бобовых растений / Г. Ф. Хайлова, Г. Я. Жизневская // Агрохимия. – 1980. – № 12. – С. 118–133.

127. Азотфиксирующие и фосфатмобилизующие бактерии для стимуляции роста сельскохозяйственных культур / З. М. Алещенкова, Г. В. Сафронова, Н. В. Мельникова [и др.] // Вестник Башкирского университета. – 2015. – Т. 20. – № 1. – С. 82–86.

128. Мишура, О. И. Эффективность применения микроудобрений, бактериальных препаратов и регуляторов роста при возделывании гороха и овса на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Мишура Ольга Игоревна. – Горки, 2005. – 191 л.

129. Мишура, О. И. Эффективность макро- и микроудобрений при возделывании гороха на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / О. И. Мишура // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 1 (48). – С. 117–123.

130. Веригина, К. В. Роль микроэлементов (Zn, Cu, Co, Mo) в жизни растений и их содержание в почвах и породах / К. В. Веригина // Микроэлементы в некоторых почвах СССР. – М.: Наука, 1964. – С. 5–26.

131. Семененко, Н. Н. Научные основы совершенствования системы управления производственным процессом зерновых культур / Н. Н. Семененко // Земледелие и защита растений. – 2019. – № 1. – С. 3–12.

132. Нестеренко, Т. К. Качество травостоя люцерны посевной при разных способах использования микробиологических препаратов / Т. К. Нестеренко, А. А. Шелюто // Земляробства і ахова раслін. – 2008. – № 2. – С. 35–38.

133. Персикова, Т. Ф. Комплексное применение микроэлементов, регуляторов роста растений и бактериальных удобрений в предпосевной обработке семян проса и люпина узколистного: рекомендации / Т. Ф. Персикова, Ю. В. Коготько, М. Л. Радкевич. – Горки: Беларус. гос. с.-х. акад., 2015. – 24 с.

134. Персикова, Т. Ф. Эффективность применения бактериальных препаратов при возделывании люпина узколистного на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / Т. Ф. Персикова, М. Л. Радкевич // Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их продуктивности: сб. ст. по материалам Междунар. науч. экол. конф. – 2018. – С. 499–501.

135. Применение микроудобрений и регуляторов роста в интенсивном земледелии: рекомендации / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Горки: Беларус. гос. с.-х. акад., 2015. – 48 с.

136. Каминский, В. Ф. Формирование продуктивности гороха в зависимости от доз, способов внесения минеральных удобрений и предпосевной инокуляции семян в условиях

Левобережной Лесостепи Украины / В. Ф. Каминский [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии – 2019. – № 1. – С. 98–103.

137. Анспок, П. И. Способы и дозы применения микроэлементов в Латвийской ССР и их влияние на урожай и качество сельскохозяйственных культур / П. И. Анспок // Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. – Киев: Гос. изд-во с.-х. лит-ры Украинской ССР, 1963. – С. 221–225.

138. Потатуева, Ю. А. Эффективность различных форм молибденовых удобрений в связи со способами их внесения / Ю. А. Потатуева, Г. А. Селевцова // Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. – Киев: Гос. изд-во с.-х. лит-ры Украинской ССР, 1963. – С. 217–220.

139. Толстоусов, В. П. Удобрения и качество урожая / В. П. Толстоусов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 235 с.

140. Лапа, В. В. Минеральные удобрения и пути повышения их эффективности / В. В. Лапа, В. Н. Босак. – Минск: БелНИИПА, 2002. – 184 с.

141. Влияние регуляторов роста растений на урожайность многолетних трав и накопление в них радионуклидов / Г. В. Наумова [и др.] // Отходы, причины их образования и перспективы использования: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф. / под ред. И. С. Беляченко. – 2019. – С. 93–96.

142. Бардинов, Ф. Г. Влияние микроудобрений на урожай и качество люцерны на дерново-подзолистых почвах БССР: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Бардинов Федор Гаврилович. – Минск, 1984. – 203 с.

143. Плешков, Б. П. Биохимия сельскохозяйственных растений / Б. П. Плешков. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – М.: Колос, 1975. – 496 с.

144. Зубарева, К. Ю. Влияние органоминеральных микроудобрений на накопление белка в органах растений и качество зерна сои / К. Ю. Зубарева, С. В. Бобков, Т. А. Хрыкина // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2022. – № 1(41). – С. 13–20.

145. Оптимизация системы удобрения сельскохозяйственных культур при комплексном применении макро-, микроудобрений, регуляторов роста и бактериальных препаратов: рекомендации / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Горки: Белорус. гос. с.-х. акад., 2017. – 34 с.

146. Вильдфлуш, И. Р. Эффективность применения макро-, микроэлементов, регулятора роста и ризобияльного инокулянта при возделывании полевого гороха / И. Р. Вильдфлуш, О. В. Малашевская // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 2(63). – С. 148–156.

147. Ничипорович, А. А. Пути управления фотосинтетической деятельностью растений с целью повышения их продуктивности / А. А. Ничипорович // Физиология сельскохозяйственных растений / А. А. Ничипорович. – 1967. – Т. 1. – С. 309–353.

148. Вильдфлуш, И. Р. Влияние макро-, микроудобрений, регуляторов роста и ризобияльного инокулянта на урожайность и качество семян посевного гороха / И. Р. Вильдфлуш, О. В. Малашевская // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 228–237.

149. Агрохимия: учебник / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 703 с.

150. Эдвардс, Д. Фотосинтез C_3 - и C_4 -растений: механизмы и регуляция / Д. Эдвардс, Д. Уокер; пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 590 с.

151. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах / А. А. Ничипорович [и др.]. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 133 с.

152. Формирование высокой урожайности семян гороха / Н. П. Лукашевич [и др.] // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. – 1997. – № 2. – С. 41–44.

153. Никитин, С. Н. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах и динамика ростовых процессов при применении биологических препаратов / С. Н. Никитин // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 1. – С. 33–38.
154. Ничипорович, А. А. Теория фотосинтетической продуктивности растений и рациональные направления селекции на повышение продуктивности. Физиолого-генетические повышения продуктивности зерновых культур / А. А. Ничипорович. – М.: Колос, 1975. – С. 5–14.
155. Малашевская, О. В. Влияние макро-, микроудобрений, регулятора роста и ризобияльного инокулянта на динамику роста, накопление биомассы растений, фотосинтетическую деятельность и урожайность посевного гороха / О. В. Малашевская // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 4. – С. 105–110.
156. Физиология сельскохозяйственных растений: в 12 т. / отв. ред. А. И. Опарин. – М.: МГУ, 1967. – Т. 1: Физиология растительной клетки. Фотосинтез. Дыхание. – 496 с.
157. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 293 с.
158. Малашевская, О. В. Влияние макро-, микроудобрений, регулятора роста и ризобияльного инокулянта на динамику роста, накопление биомассы растений, фотосинтетическую деятельность и урожайность полевого гороха / О. В. Малашевская, И. Р. Вильдфлуш // Земледелие и защита растений. – 2020 – № 1 (128) – С. 18–22.
159. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И. М. Богдевич [и др.]; РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2010. – 24 с.
160. Куликов, Л. А. Кукуруза: важные особенности / Л. А. Куликов // Сб. науч. тр. / ВНИИ овцеводства и козоводства. – 2015. – № 8. – Т. 1. – С. 174–177.
161. Еремин, Д. И. Агроэкологическое обоснование выращивания кукурузы на зерно в условиях лесостепной зоны Зауралья / Д. И. Еремин, Е. А. Демин // Вестник государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2016. – № 1 (32) – С. 6–11.
162. Богданов, Г. А. Кормление сельскохозяйственных животных: учеб. пособие / Г. А. Богданов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1990. – С. 76–98.
163. Привалов, Ф. И. Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси / Ф. И. Привалов [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – С. 339–347.
164. Питание и удобрение зерновых культур. Кукуруза / А. Х. Шеуджен [и др.]. – Майкоп, 2010. – 20 с.
165. Шеуджен, А. Х. Питание и удобрение зерновых, крупяных и зернобобовых культур / А. Х. Шеуджен, Т. Н. Бондарева, Л. М. Онищенко. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – 231 с.
166. Надточаев, Н. Ф. Кукуруза на полях Беларуси / Н. Ф. Надточаев; Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – С. 5–20.
167. Ведерникова, Е. Н. Требования к сортам кукурузы со стороны пищевой промышленности / Е. Н. Ведерникова // Вопросы методики селекции пшеницы и кукурузы. – Харьков, 1957. – С. 231–236.
168. Горун, Е. Г. Методика объективной оценки качества взорванной кукурузы / Е. Г. Горун // Консервная и овощесушильная промышленность. – 1962. – № 5.

169. Васин, А. В. Эффективность применения стимуляторов роста при выращивании кормовых культур/ А. В. Васин, В. В. Брежнев, Н. А. Золотов // Вестник АПК Верхневолжья. – 2010. – № 2. – С. 17–20.
170. Собчук, Н. А. Влияние препарата Циркон на прорастание семян кукурузы (*Zea Mays L.*) / Н. А. Собчук, С. И. Чмелева // Экосистемы. – 2015. – № 4. – Т. 4. – С. 45–51.
171. Прохорова, Л. Н. Отзывчивость гибридов кукурузы на применение регуляторов роста и развития растений / Л. Н. Прохорова, А. И. Волков, Н. А. Кирилов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 2 (30). – С. 24–28.
172. Воскобулова, Н. И. Влияние регуляторов роста на урожайность кукурузы / Н. И. Воскобулова, А. А. Неверов, А. С. Верещагина // Вестник мясного скотоводства. – 2014. – № 4 (87). – С. 115–118.
173. Дербенцева, А. М. Эффективность обработки семян и вегетирующих растений комплексными водорастворимыми удобрениями на продуктивность кукурузы / А. М. Дербенцева, Т. Р. Толорая, М. В. Петрова, В. Ю. Пацкан // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 120. – С. 188–199.
174. Храмцев, И. Ф. Эффективность удобрений при возделывании кукурузы на зерно на черноземных почвах лесостепи Западной Сибири / И. Ф. Храмцев, Н. А. Пунда // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 3. – С. 24–25.
175. Кивер, В. Ф. Энергосберегающая технология возделывания кукурузы на орошаемых землях / В. Ф. Кивер. – Киев: Урожай, 1988. – 119 с.
176. Дудук, А. А. Научные исследования в агрономии: учеб. пособие / А. А. Дудук, П. И. Мозоль. – Гродно: ГГАУ, 2009. – 336 с.
177. Ториков, В. Е. Научные основы агрономии: учеб. пособие / В. Е. Ториков, О. В. Мельникова. – СПб.: Лань, 2017. – С. 241–253.
178. Дербенцева, А. М. Агрохимия. Курс лекций: учеб. пособие / А. М. Дербенцева. – Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2006. – 100 с.
179. Коломейченко, В. В. Кормопроизводство: учебник / В. В. Коломейченко. – СПб.: Лань, 2015. – 656 с.
180. Еремин, Д. И. Фосфорный режим кукурузы, выращиваемой по зерновой технологии в лесостепной зоне Зауралья / Д. И. Еремин, Е. А. Демин // Агропродовольственная политика России. – 2017. – № 5 (65). – С. 86–91.
181. Миронов, С. К. Отзывчивость различных по скороспелости гибридов кукурузы на применение возрастающих доз минеральных удобрений / С. К. Миронов // Материалы IV Всесоюз. науч.-техн. конф. молодых ученых по проблемам кукурузы. – Днепропетровск. – 1985. – Ч. II. – С. 85–86.
182. Bartolomew, R. P. Increasing corn yields in Arkansas / R. P. Bartolomew. – Arkansas Agr. Expt.Sta. Bull. – 1948. – S. 228–235.
183. Прохода, В. И. Экономическая и биоэнергетическая оценка внесения минеральных удобрений и основной обработки почвы при возделывании раннеспелых и среднеранних гибридов кукурузы / В. И. Прохода, Р. В. Кравченко // Вестник АПК Ставрополя. – 2015. – № 1 (17). – С. 256–261.
184. Методические указания по учету и применению органических удобрений / В. В. Лапа [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2007. – 16 с.
185. Надточаев, Н. Ф. Выращивание кукурузы на силос и зерно / Н. Ф. Надточаев, С. С. Барсуков. – Минск: Ураджай, 1994. – 87 с.

186. Кулаковская, Т. Н. О модели плодородия дерново-подзолистых почв Белорусской ССР / Т. Н. Кулаковская, И. М. Богдевич // Модели плодородия почв и методы их разработки. – М., 1992. – С. 25–35.
187. Калинин, Ф. Л. Регуляторы роста растений / Ф. Л. Калинин, Ю. Г. Мережинский. – Киев: Наукова думка, 1964. – 405 с.
188. Деева, В. П. Регуляторы роста и урожай / В. П. Деева, З. И. Шелег. – Минск: Наука и техника, 1985. – 58 с.
189. Агробиологические основы возделывания кукурузы на зерно и силос / Н. Ф. Надточаев [и др.]. – Минск: Техносервис, 2004. – 100 с.
190. Дроздова, В. В. Влияние норм и сочетаний минеральных удобрений на урожайность кукурузы и агрохимические показатели плодородия чернозема выщелоченного западного Предкавказья / В. В. Дроздова, Н. Е. Редина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 121. – С. 1732–1748.
191. Пироговская, Г. В. Эффективность новых форм комплексных удобрений для основного внесения в почву при возделывании кукурузы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / Г. В. Пироговская, С. С. Хмелевский, В. И. Сороко, О. И. Исаева // Агрохимия. – 2015. – № 4. – С. 34–43.
192. Кануков, З. Т. Влияние различных систем удобрения на урожайность и качество зерна кукурузы в условиях лесостепной зоны РСО-Алания / З. Т. Кануков, А. Е. Басиев, Т. К. Лазаров, С. Х. Дзанагов // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2015. – Т. 52. – № 2. – С. 39–44.
193. Багринцева, В. Н. Влияние видов удобрений на урожайность кукурузы / В. Н. Багринцева, Г. Н. Сухоярская // Кукуруза и сорго. – 2010. – № 4. – С. 12–14.
194. Багринцева, В. Н. Отзывчивость на азотное удобрение современных гибридов кукурузы в условиях Ставропольского края / В. Н. Багринцева, И. Н. Ивашенко // Агрохимия. – 2015. – № 11. – С. 45–50.
195. Мингалев, С. К. Влияние минерального питания на показатели фотосинтетической активности хлорофилла кукурузы / С. К. Мингалев, А. Ю. Овсянников, Ю. А. Овсянников, И. В. Сурин // Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 10 (128). – С. 25–27.
196. Настольная книга овощевода: справочник / сост. Е. С. Каратаев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 288 с.
197. Федорова, М. И. Корнеплодные овощные растения, направления селекции, результаты / М. И. Федорова, В. А. Степанов // Овощи России. – 2017. – № 4 (37). – С. 16–22.
198. Девятков, А. С. Календарь-справочник садовода, овощевода и пчеловода / А. С. Девятков, А. И. Макаревич. – Минск: Ураджай, 1983. – 271 с.
199. Chemical composition, functional properties and processing of Beetroot / B. Singh [et al.] // International journal of scientific and engineering research. – 2014. – Vol. 5. – P. 679–684.
200. Lactic acid fermented vegetable juices / J. Karovicova [et al.] // Horticultural Sci. (Prague). – 2003. – № 30. – P. 152–158.
201. Красочкин, В. Т. Свекла / В. Т. Красочкин. – Москва – Ленинград: Сельхозгиз, 1960. – 439 с.
202. Буренин, В. И. Генетические ресурсы рода *Beta* L. (свекла) / В. И. Буренин. – СПб., 2007. – 274 с.

203. Современные технологии в овощеводстве / А. А. Аутко [и др.]; под ред. А. А. Аутко. – Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т овощеводства. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 490 с.
204. Проблема качества корнеплодов свеклы столовой и пути ее решения / В. И. Буренин [и др.] // Овощи России. – 2016. – № 3 (32). – С. 24–31.
205. Недбал, Р. А. Уроженка Средиземноморья / Р. А. Недбал // Овощеводство. – 2012. – № 7 (91). – С. 28–35.
206. Рабинович, А. М. Целебные овощные и пряно ароматические растения России / А. М. Рабинович, В. А. Борисов. – М.: Арбения, 2008. – 510 с.
207. Советы огородникам / В. П. Переднев [и др.]; под ред. Н. А. Дорожкина, К. А. Шуина, А. Ф. Богдановского. – 2-е изд. – Минск: Ураджай, 1989. – 240 с.
208. Bryan, Nathan S. Beet the odds. Harness the power of beets to radically transform your health / Nathan S. Bryan. – Carolyn Pierini CLS (ASCP), CNC, 2013. – 28 p.
209. Кучеренко, Т. Рынок овощей «борщового набора» / Т. Кучеренко // Овощеводство. – 2011. – № 12 (84). – С. 34–40.
210. Дулевич, Л. И. Рынок овощей и эффективность их производства в Республике Беларусь / Л. И. Дулевич // Пища. Экология. Качество: труды XII Междунар. науч.-практ. конф., Красноярск, 18–19 марта 2016 г. / ФАНО России, Минобрнауки Российской Федерации, Сиб. Науч.-исслед. и технол. Ин-т перераб. с.-х. продукции, ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, СФНЦА РАН; отв. за вып. О. К. Мотовилов [и др.]. – Красноярск, 2016. – С. 369–374.
211. Тыняная, И. И. Разделение, концентрирование и анализ антоцианов и бетацианинов в экстрактах растительного сырья с применением оптических и хроматографических методов: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.02 / Тыняная Ирина Ивановна. – Белгород, 2015. – 147 л.
212. Betalainic and nutritional profiles of pigment-enriched red beet root (*Beta vulgaris* L.) dried extracts / B. Nemežer [et al.] // Food Chemistry. – 2011. – Vol. 127. – P. 42–53.
213. Борисов, В. А. Система удобрения овощных культур / В. А. Борисов. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. – 392 с.
214. Micolajczyk-Bator, K. Triterpene saponins as bitter components of beetroot / K. Micolajczyk-Bator, D. Kikut-Ligaj // Żywność. Nauka. Technologia. Jakość. – 2016. – № 1 (104). – P. 128–141.
215. Triterpene saponin content in the roots of red beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars. / A. Mroczek [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2012. – № 60. – P. 12397–12402.
216. Зенищев, М. А. Применение порошкообразных полуфабрикатов столовой свеклы в технологии мясных изделий функционального назначения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 / Зенищев Михаил Анатольевич; ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I». – Мичуринск – Наумовград, 2012. – 21 с.
217. Гаврилова, Н. Б. Кисломолочный продукт для геродиетического питания / Н. Б. Гаврилова // Молочная промышленность. – 2011. – № 12. – С. 77.
218. Гаврилова, Н. Б. Низколактозный кисломолочный напиток / Н. Б. Гаврилова, С. В. Мяло // Молочная промышленность. – 2005. – № 12. – С. 44.
219. Курнакова, О. Л. Разработка и оценка потребительских свойств обогащенных йогуртов с использованием растительных ингредиентов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.15 / Курнакова Олеся Леонидовна. – Орел, 2014. – 188 с.
220. Приготовление хлебобулочных изделий профилактического назначения / Т. В. Санина [и др.] // Хлебопродукты. – 2000. – № 9. – С. 23–25.

221. Родичева, Н. В. Совершенствование технологий хлебобулочных изделий с использованием продуктов переработки овощей: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.18.01 / Родичева Наталья Викторовна. – М., 2012. – 26 с.
222. Широков, А. В. Разработка технологии хлебобулочных изделий, обогащенных поликомпонентной добавкой на основе вторичных сырьевых ресурсов: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 / Широков Алексей Валерьевич. – М., 2015. – 170 л.
223. Королев, А. А. Разработка технологии плодоовощных чипсов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 / Королев Алексей Александрович; ВНИИ консервной и овощесушильной промышленности. – М., 2013. – 24 с.
224. Nottingham, S. The characteristic color of beetroot / S. Nottingham // *Eur. Food. Res. Tech.*, 2004. – V. 214. – P. 505–510.
225. Antioxidant activity of red beet juices obtained after microwave and thermal pre-treatments / A. Slavov [et al.] // *Czech J. Food Sci.* – 2013. – Vol. 31, № 2. – P. 139–147.
226. Beetroot: A Health Promoting Functional Food / H. Chawla [et al.] // *Inventi Rapid: Nutraceuticals*. – 2016. – № 1. – P. 1–5.
227. Domagala-Swiatkiewicz, I. Comparative study on mineral content of organic and conventional carrot, celery and red beet juices / I. Domagala-Swiatkiewicz, M. Gastol // *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus*. – 2012. – № 11 (2). – P. 173–183.
228. Зеленков, В. Н. Микро- и макроэлементный состав сухих овощей, как основа для функциональных продуктов питания / В. Н. Зеленков // Сб. науч. тр. по овощеводству и бахчеводству: к 75-летию Всерос. НИИ овощеводства / Всерос. НИИ овощеводства. – М., 2006. – Т. 2: Технология и земледелие. – С. 255–258.
229. Борисов, В. А. Качество и лежкость овощей / В. А. Борисов, С. С. Литвинов, А. В. Романова. – Москва: ГНУ ВНИИО, 2003. – 628 с.
230. Использование растительного сырья в производстве кондитерских и хлебобулочных изделий / Н. Н. Типсина [и др.] // *Кондитерское и хлебопекарное производство*. – 2014. – № 3. – С. 42–43.
231. Типсина, Н. Н. Использование порошка моркови в пищевой промышленности / Н. Н. Типсина, Е. А. Типсин // *Вестник КрасГАУ*. – 2014. – № 4. – С. 257–261.
232. Степанова, Н. Ю. Технологическая оценка производства цукатов из моркови, свеклы и тыквы / Н. Ю. Степанова // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*. – 2015. – № 2. – С. 174–178.
233. Simon, P. W. Domestication, Historical Development and Modern Breeding of Carrot / P. W. Simon // *Plant Breeding Reviews*. – 2000. – № 19. – P. 157–190.
234. Dias, J. S. Nutritional Quality and Health Benefits of Vegetables: A Review / J. S. Dias // *Food and Nutrition Sciences*. – 2012. – № 3. – P. 1354–1374.
235. К моркови – с любовью! / Д. Галяпин [и др.] // *Мир Syngenta*. – № 2 (41). – С. 34–46.
236. Dietary Factors That Affect the Bioavailability of Carotenoids / K. H. Van het Hof [et al.] // *Journal Nutrition*. – 2000. – № 130. – P. 503–506.
237. Пироговская, Г. В. Влияние минеральных удобрений с добавками микроэлементов и регуляторов роста растений на урожайность и качество сельскохозяйственной продукции / Г. В. Пироговская // *Почвоведение и агрохимия*. – 2013. – № 2 (51). – С. 177–191.
238. Мысливец, Д. Г. Влияние комплексных удобрений с микроэлементами и орошения на урожайность и качество моркови на дерново-подзолистой супесчаной

почве: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Мысливец Дмитрий Генрихович; РУП «Ин-т почвоведения и агрохимии». – Минск, 2015. – 21 с.

239. Берестовский, А. С. Влияние микроэлементов при некорневых подкормках на урожайность и качество столовых корнеплодов / А. С. Берестовский // Современные технологии сельскохозяйственного производства: сб. науч. ст. по материалам XVII Междунар. науч.-практ. конф. – Гродно: ГГАУ. – 2014. – С. 17–19.

240. Богушевич, П. Т. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании свеклы столовой на дерново-подзолистой супесчаной почве: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Богушевич Павел Тадеушевич; УО «Гродненский государственный аграрный университет». – Минск, 2015. – 23 с.

241. Эффективность жидких удобрений МикроСтим при возделывании пропашных, овощных и плодово-ягодных культур на дерново-подзолистых почвах / М. В. Рак [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 1 (48). – С. 109–116.

242. Степура, М. Ф. Удобрение овощных культур / М. Ф. Степура. – Минск: Беларус. навука, 2016. – 193 с.

243. Эффективность жидких комплексных удобрений на основе нитрата калия и «Белвито» на овощных культурах открытого грунта / С. А. Тарасенко [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2009. – № 1 (42). – С. 140–146.

244. Смольский, В. Г. Жидкое комплексное удобрение для некорневых подкормок столовой свеклы / В. Г. Смольский, А. В. Болондзь // Овощеводство и тепличное хозяйство. – 2016. – № 5. – С. 38–39.

245. Степура, М. Ф. Оптимизация системы применения удобрений при выращивании холодостойких и теплолюбивых овощных культур на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / М. Ф. Степура, А. В. Ботько // Земледелие и защита растений. – 2013. – № 5. – С. 59–62.

246. Степура, М. Ф. Комплексная оценка агроприемов возделывания столовых корнеплодов по биопродуктивным и качественным показателям / М. Ф. Степура, А. А. Аутко // Природопользование. – 2011. – Вып. 20. – С. 111–116.

247. Степура, М. Ф. Системы рационального применения минеральных и органических удобрений при орошении под овощные культуры на дерново-подзолистых почвах Беларуси / М. Ф. Степура // Овощеводство: сб. науч. тр. / РУП «Ин-т овощеводства НАН Беларуси»; редкол.: А. А. Аутко (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2008. – Т. 15. – С. 71–82.

248. Петриченко, В. Н. Изучение регуляторов роста растений и микроудобрений при выращивании столовых корнеплодов / В. Н. Петриченко, О. С. Туркина // Агрохимический вестник. – 2013. – № 3. – С. 28–30.

249. Петриченко, В. Н. Борсодержащие микроудобрения повышают урожай, качество и сохраняемость столовой свеклы / В. Н. Петриченко, С. В. Петриченко // Картофель и овощи. – 2012. – № 1. – С. 11–12.

250. Осипов, А. И. Влияние некорневого питания на урожай и качество овощных культур / А. И. Осипов, Е. С. Шкрабак // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 2 (51). – С. 35–41.

251. Российские аминокислотные удобрения в технологии выращивания моркови столовой / М. И. Иванова [и др.] // Горное сельское хозяйство. – 2017. – № 4. – С. 98–100.

252. Котляров, Д. Ю. Повышение урожайности, качества и лежкости свеклы столовой при применении минеральных удобрений, биокомпостов и регуляторов роста :

автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.06 / Котляров Денис Юрьевич; ГНУ ВНИИ Овощеводства. – М., 2009. – 20 с.

253. Цыганов, А. Р. Микроэлементы и микроудобрения: учеб. пособие / А. Р. Цыганов, Т. Ф. Персикова, С. Ф. Реуцкая. – Минск: УМЦ МСХиП РБ, 1998. – 121 с.

254. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша, П. А. Саскевича. – Горки: БГСХА, 2016. – 383 с.

255. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапа. – Минск: Беларус. навука, 2007. – 390 с.

256. Фатеев, А. И. Основы применения микроудобрений / А. И. Фатеев, М. А. Захарова. – Харьков, 2005. – 134 с.

257. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 293 с.

258. Вильдфлуш, И. Р. Влияние форм микроудобрений на урожайность и качество озимой пшеницы, ячменя и гороха на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / И. Р. Вильдфлуш, О. И. Мишура // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 4. – С. 20–24.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ГОРОХ.....	5
1.1. Влияние макро-, микроудобрений, регуляторов роста и ризобияльного инокулянта на интенсивность продукционных процессов гороха.....	36
1.2. Урожайность и качество семян гороха в зависимости от применяемых систем удобрения.....	51
1.3. Влияние макро-, микроудобрений, ризобияльного инокулянта и регуляторов роста на вынос питательных элементов горохом.....	59
1.4. Экономическая эффективность применения макро-, микроудобрений, ризобияльного инокулянта и регуляторов роста при возделывании гороха.....	64
2. КУКУРУЗА.....	68
2.1. Влияние макро-, микроудобрений, регуляторов роста на интенсивность продукционных процессов кукурузы.....	73
2.2. Урожайность кукурузы в зависимости от применяемых форм удобрений и регуляторов роста.....	85
2.3. Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на качество кукурузы.....	88
2.4. Экономическая эффективность применения удобрений и регуляторов роста при возделывании кукурузы.....	102
3. СТОЛОВАЯ СВЕКЛА И МОРКОВЬ.....	107
3.1. Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на динамику роста, площадь листовой поверхности растений свеклы и массу листьев моркови.....	116
3.2. Урожайность столовой свеклы и моркови в зависимости от применяемых форм удобрений и регуляторов роста.....	124
3.3. Действие макро-, микроудобрений и регуляторов роста на качество урожая столовой свеклы и моркови.....	127
3.4. Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на вынос элементов питания растениями столовой свеклы и моркови.....	135
3.5. Экономическая эффективность применения удобрений и регуляторов роста при возделывании свеклы столовой и моркови.....	145
4. ОЗИМАЯ ПШЕНИЦА.....	149
4.1. Агроэкономическая эффективность применения удобрений и регуляторов роста при возделывании озимой пшеницы.....	151
5. ЯРОВОЙ ЯЧМЕНЬ.....	156
5.1. Эффективность азотных удобрений в зависимости от содержания гумуса при возделывании ярового ячменя.....	156
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	170
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	175

Научное издание

Вильдфлуш Игорь Робертович
Воробьев Вадим Борисович
Малашевская Ольга Васильевна и др.

АГРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ
И РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА
ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Монография

Редактор *С. Н. Кириленко*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 13.10.2025. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 11,16. Уч.-изд. л. 10,21.
Тираж 100 экз. Заказ .

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.