

УДК 631.8:635.656

**ВЛИЯНИЕ МАКРО-, МИКРОУДОБРЕНИЙ, РЕГУЛЯТОРА РОСТА И
РИЗОБИАЛЬНОГО ИНОКУЛЯНТА НА ДИНАМИКУ РОСТА, НАКОПЛЕНИЕ
БИОМАССЫ РАСТЕНИЙ,
ФОТОСИНТЕТИЧЕСКУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И УРОЖАЙНОСТЬ ПОСЕВНОГО
ГОРОХА**

О. В. МАЛАШЕВСКАЯ

*УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407*

(Поступила в редакцию 14.10.2019)

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.

Описаны результаты опыта по изучению действия комплексных удобрений, регулятора роста и ризобияльного инокулянта на динамику роста, накопление биомассы растений гороха, фотосинтетическую деятельность и урожайность гороха на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. По результатам проведенного опыта установлено, что на величину площади листовой поверхности, фотосинтетический потенциал и урожайность оказывают влияние уровень минерального питания, формы удобрений и применяемые регуляторы роста.

Наиболее высоких значений в фазе цветения площадь листовой поверхности (40,3–41,43 тыс. м²/га) и фотосинтетический потенциал в фазе цветения – образования бобов (0,67–0,68 млн м²сут/га) достигали в вариантах N₁₈P₆₃K₉₆ + ризобияльный инокулянт и N₁₈P₆₃K₉₆ + ризобияльный инокулянт + МикроСтим В. В данных вариантах получена максимальная урожайность семян гороха (39,3–39,7 ц/га).

Для обеспечения стабильно высокой урожайности необходимо обеспечение в процессе вегетации всех необходимых биологических требований гороха, которые будут обеспечивать высокую фотосинтетическую деятельность посева. Важным условием формирования высокой урожайности является как можно большая продолжительность работы листового аппарата растений. Чем больше продолжается фотосинтетическая деятельность листьев, тем выше будет окупаемость удобрений и конечный урожай.

Ключевые слова: урожайность, регуляторы роста, фотосинтетическая деятельность, макро-, микроэлементы, ризобияльный инокулянт, горох посевной.

The photosynthetic activity of cultivated plants is the basis for the formation of a biological crop. The main indicators of the production process include leaf surface area, photosynthetic potential and the net productivity of photosynthesis, which show a close direct relationship with biomass productivity. The formation of leaf surface area of an optimal size on the field is an important element of the technology and is important for the efficient absorption of light energy for the photosynthesis process.

We have described results of an experiment on the effects of complex fertilizers, a growth regulator, and a rhizobial inoculant on growth dynamics, biomass accumulation of pea plants, photosynthetic activity, and pea productivity on sward-podzolic light loamy soil. According to the results of the experiment, it was found that the area of leaf surface, photosynthetic potential and productivity are influenced by the level of mineral nutrition, the form of fertilizers and the applied growth regulators.

The highest values in the flowering phase, leaf surface area (40.3–41.43 thousand m² / ha) and photosynthetic potential in the phase of flowering - bean formation (0.67–0.68 million m² a day / ha) were achieved in the variants N₁₈P₆₃K₉₆ + rhizobial inoculant and N₁₈P₆₃K₉₆ + rhizobial inoculant + MicroStim B. In these variants, the maximum yield of pea seeds was obtained (3.93–3.97 t/ha).

To ensure a consistently high yield, it is necessary to ensure during the growing season all the necessary biological requirements of peas, which will ensure high photosynthetic activity of the crop. An important condition for the formation of high productivity is the longest possible duration of plants leaf apparatus work. The longer the photosynthetic activity of the leaves continues, the higher will be the return on fertilizer and the final crop.

Key words: productivity, growth regulators, photosynthetic activity, macro- and microelements, rhizobial inoculant, peas.

Введение

Согласно изученным источникам, фотосинтез растений заключается в преобразовании и запасании солнечной энергии, в результате которого из простых веществ – углекислоты и воды – синтезируются углеводы и выделяется молекулярный кислород [1–5].

По данным А. А. Ничипоровича и А. В. Веретенникова [1, 2], одним из путей повышения общей продуктивности растений является усиление их фотосинтетической деятельности. Для этого необходимо повысить коэффициент использования растениями солнечной радиации. Это достигается увеличением в посевах размеров листовой поверхности, удлинением сроков активной деятельности листьев, регулированием густоты стояния растений. Большая роль принадлежит селекции растений – важное свойство высокопродуктивных сортов – это способность использовать большую часть ассимилянтов на формирование ценных в хозяйственном отношении органов. Проведенными исследованиями доказано, что на интенсивность фотосинтеза решающее влияние оказывают: свет, температура, влажность почвы, содержание в воздухе углекислоты, уровень снабжения элементами минерального питания и другие внешние факторы. Достаточно чувствителен фотосинтез к обеспечению растений элементами минерального питания [1, 2].

Наибольший интерес представляют данные о влиянии на фотосинтез азота, фосфора, калия. 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 ассимилянтов, способствует лучшему их образованию. Изучение влияния калия на фотосинтез показало, что калийное питание изменяет интенсивность фотосинтеза. Вопрос о влиянии фосфора на фотосинтез также представляет большой интерес в связи с его исключительно большой ролью в жизнедеятельности организмов. При оценке значения 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 [3].

По данным Ю. А. Гулянова, интенсивное потребление элементов питания активизирует фотосинтетическую деятельность, которая ускоряет в растениях метаболизм [4]. В течение вегетации минеральные удобрения влияют на процессы роста и развития гороха, что сказывается на изменении урожайности, которая представляет собой суммарное выражение большинства морфологических и физиологических признаков растения после взаимодействия их со средой, в которой оно произрастало [5]. Изучение влияния различного фона минерального питания и применения регуляторов роста на фотосинтез, проводились на разных сельскохозяйственных растениях. А. А. Ничипоровичем было доказано [1], что интенсивность фотосинтеза снижалась не только из-за недостатка минеральных элементов, но и от избытка одного из них.

В исследованиях В. В. Лапа и В. Н. Босака [6] с яровой пшеницей применение удобрений повышало чистую продуктивность фотосинтеза, но как чрезмерная, так и изреженная площадь листьев, сформировавшаяся в агрофитоценозе, приводила к снижению урожая.

М. А. Евдокимовой исследовалось влияние регуляторов роста на фотосинтетическую деятельность посевов ярового ячменя применяемых в фазу кущения в таежно-лесной зоне. Установлено, что при возделывании ярового ячменя на дерново-подзолистой почве опрыскивание посевов в фазу кущения регуляторами роста Эпин-Экстра, Циркон и Полистин сокращает вегетационный период на 2–4 дня; регуляторы роста Эпин-Экстра и Полистин увеличивают ассимиляционную поверхность листьев посевов на 8,5 и 11,1 % соответственно, фотосинтетический потенциал на 5,7 % и чистую продуктивность фотосинтеза на 3 и 10 % [7].

Исследованиями на свекле установлено, что при использовании микроудобрений «Реаком-Р-свекла» в период смыкания листьев в рядках, уже через 15 дней, площадь листовой поверхности одного растения возросла на 10,6–14,0 % больше по сравнению с вариантом без обработки. Наибольшая ассимиляционная поверхность растений наблюдалась в варианте с совместным внесением композиций микро- и макроудобрений [8].

Исследования, проведенные в БГСХА на горохе, показали, что инокуляция семян гороха биопрепаратами Сапронитом и Фитостимофосом оказывала значительно меньшее

влияние на увеличение листовой поверхности, чем применение удобрений, а из изучаемых регуляторов роста наиболее сильное влияние на нарастание листовой поверхности оказал Агростимулин. При применении микроудобрений более значительное увеличение листовой поверхности посевов гороха было получено при некорневых подкормках бором. В вариантах с применением микроудобрений наблюдался более продолжительный максимум величины листовой поверхности и более медленное отмирание листьев после него. Большая листовая поверхность гороха в опыте способствовала возрастанию биомассы и увеличению урожайности семян гороха [9].

Исследованиями С. Н. Никитина, при применении биологических препаратов на яровой пшенице установлено, что интенсивность нарастания листовой поверхности в течение всей вегетации достигала максимальных значений при инокуляции семян бактофосфином в смеси с жидким удобрительно-стимулирующий составом на фоне минеральных удобрений. При применении биопрепаратов интенсивность нарастания фотосинтетического потенциала посевов в течение вегетации яровой пшеницы возрастает за счет увеличения листовой поверхности [10].

Основная часть

Опыты с горохом посевным сорта Миллениум проводились в 2015–2017 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 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 (1,3–1,6 %), высокое содержание подвижного фосфора (261,1–298,1 мг/кг), среднее и повышенное – калия (172,5–232,5 мг/кг), среднее содержание бора (0,6–0,7 мг/кг) и меди (1,6–2,9 мг/кг). По индексу окультуренности почва опытного участка относится к среднеокультуренной и высокоокультуренной. Предшественником гороха был овес. Норма высева семян гороха 1,5 миллиона всхожих семян на гектар.

В опытах применялись удобрения для основного внесения: карбамид (N – 46 %), аммофос (N – 12 %, P_2O_5 – 52 %), хлористый калий (60 %), из комплексных удобрений использовали новое комплексное удобрение марки N:P:K (6:21:32) с 0,16 % В и 0,09 % Мо, которое разработали в РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси».

В фазе бутонизации проводились следующие обработки посевов: борной кислотой (300 г/га) и молибдатом аммония (80 г/га), микроудобрением Адоб В в дозе 0,33 л/га, регулятором роста Экосил (75 мл/га), комплексным микроудобрением с регулятором роста МикроСтим В (содержит в 1 л 5 г азота, 150 г бора, 0,6–8,0 мг/л гуминовых веществ) – в дозе 0,33 л/га. Использовали две обработки комплексным удобрением Кристалон. Первая подкормка проводилась в фазе выбрасывания усов Кристалоном желтым марки 13-40-13 в дозе 2 кг/га, который наряду с азотом, фосфором и калием содержит бор (0,025 %), медь (0,01 %), железо (0,07 %), марганец (0,04 %), молибден (0,004 %), цинк (0,025 %). Вторая подкормка Кристалоном особым марки 18-18-18 + 3 MgO (содержит бор 0,025 %, медь 0,01 %, железо 0,07 %, марганец 0,04 %, молибден 0,004 %, цинк 0,025 %) проводилась в дозе 2 кг/га в фазу начала образования бобов.

В опытах проводили исследование нового препарата для инокуляции семян гороха на основе специфических штаммов клубеньковых бактерий гороха *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* 27П. Препарат был разработан Институтом микробиологии НАН Беларуси. Инокуляция семян проводилась в день посева ручным способом в дозе 200 мл на гектарную норму высева семян.

Определение агрохимических показателей почвы и показателей качества урожая проводили согласно ГОСТ и ОСТ. Данные, полученные в полевых опытах и лабораторных исследованиях, обрабатывались дисперсионным методом анализов по Б. А. Доспехову с использованием специальных программ на компьютере [11].

По фенологическим фазам развития растений гороха – ветвление, бутонизация, цветение, образование бобов – проводили отбор образцов для учета динамики роста и накопления сухой биомассы растений гороха, а также определение площади листовой поверхности весовым методом. Фотосинтетический потенциал и чистая продуктивность фотосинтеза определялись по общепринятым методикам [12].

Температурные условия за период 2015–2017 гг. находились в пределах среднесуточной нормы. Вегетационный период 2015 года был засушливым, с более высокой средней температурой, что привело к более быстрому прохождению растениями фенологической фазы и высокому накоплению сухой массы.

Влияние макро-, микроудобрений, регулятора роста, инокуляции семян ризобияльным инокулянтом и комплексного препарата на основе микроэлементов и регуляторов роста на динамику роста и накопления сухого вещества приведены в табл. 1. Более интенсивной динамика роста и накопления сухой массы была в удобряемых вариантах. Применение фосфорных и калийных удобрений со стартовой дозой азота ($N_{10}P_{40}K_{60}$) 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 $N_{10}P_{40}K_{60}$ к фазе образования бобов высота растений гороха была на 11,6 см, а сухой массы на 67,2 г. больше по сравнению с контрольным вариантом.

Внесение фоновой дозы минерального удобрения ($N_{18}P_{63}K_{96}$) увеличивало высоту растений и массу накопленного сухого вещества по фазам развития гороха по сравнению с контрольным вариантом. Применение комплексного удобрения АФК с В и Мо существенно повышало высоту растений и накопление сухой массы по сравнению с внесением в эквивалентной дозе аммофоса и хлористого калия ($N_{18}P_{63}K_{96}$) начиная уже с фазы ветвления на 4,4 г и к фазе образования бобов на 24,6 г. Более интенсивное накопление биомассы в вариантах с возрастающими дозами минеральных удобрений, по сравнению с вариантами без обработок, в фазу бутонизации было у растений гороха в вариантах с повышенными дозами удобрений ($N_{30}P_{75}K_{120}$).

Инокуляция семян гороха 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 В. Это определило существенное увеличение урожайности зерна гороха в этих вариантах опыта.

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 году в июне месяце осадков выпало только 19 %, а в июле месяце 69 % от нормы. Интенсивное накопление массы сухого вещества в варианте с регулятором роста, связано с тем, что они повышают засухоустойчивость растений.

Обработки посевов препаратом Адоб В и микроэлементами бором и молибденом, не оказали существенного влияния на увеличение массы сухого вещества. Более существенное увеличение массы сухого вещества наблюдалось при некорневых подкормках препаратом Кристалон желтый и особый, которые содержат комплекс макро- и микроэлементов (табл. 1). Увеличение массы сухого вещества проявилось уже в фазе ветвления, и сохранились до фазы образования бобов. Это в результате привело к существенному возрастанию урожайности семян гороха в данном варианте опыта.

Таблица 1. Влияние макро-, микроудобрений, ризобияльного инокулянта, регуляторов роста на динамику роста и накопление сухого вещества по фазам развития гороха сорта Миллениум (в среднем за 2015–2017 гг.)

Варианты 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. $N_{18}P_{63}K_{96}$ (АФК с В и Мо)	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 В	25,3	53,1	74,9	94,5	89,0	208,5	261,4	321,3
8. Фон + Кристалон	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 В	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 + инокул. + МикроСтим	27,1	57,2	80,7	105,7	97,8	233,1	295,9	376,1

В								
НСР ₀₅	1,6	2,4	3,4	4,3	2,6	4,0	4,9	5,3

Более интенсивное накопление массы сухого вещества при инокуляции семян, применении регуляторов роста и микроэлементов и определило повышение накопление биомассы растений гороха. Наибольшая масса 100 сухих растений отмечалась в вариантах с проведением инокуляции семян ризобияльным инокулянтом на фоне N₁₈P₆₃K₉₆ с применением регулятора роста МикроСтим В, комплексного удобрения Кристалон, АФК удобрения с В и Мо и регулятора роста Экосил. В этих вариантах опыта отмечена и более высокая урожайность семян гороха.

Исследуемый сорт Миллениум характеризовался высоким уровнем фотосинтетической деятельности (табл. 2).

Таблица 2. Площадь листьев гороха сорта Миллениум по фазам вегетации в зависимости от применения макро- и микроудобрений, ризобияльного инокулянта и регулятора роста, тыс. м²/га (в среднем за 2015–2017 гг.)

Вариант	Фазы развития			
	Ветвление	Бутонизация	Цветение	Образование бобов
1. Без удобрений	5,97	21,76	24,19	16,30
2. N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀	6,88	24,28	28,24	21,82
3. N ₁₈ P ₆₃ K ₉₆ фон	7,41	26,48	31,33	23,07
4. N ₃₀ P ₇₅ K ₁₂₀	7,76	26,93	32,67	24,86
5. N ₁₈ P ₆₃ K ₉₆ (АФК с В и Мо)	8,14	29,97	35,88	29,99
6. Фон + В и Мо	7,19	27,55	33,54	28,17
7. Фон + Адоб В	7,23	27,84	33,86	29,02
8. Фон + Кристалон	7,88	30,60	36,68	29,97
9. Фон + Экосил	7,52	28,99	37,63	31,53
10. Фон + МикроСтим В	7,37	28,31	35,87	29,22
11. Фон + инокулянт	10,02	32,19	40,38	32,47
12. Фон + инокулянт + МикроСтим В	9,70	32,12	41,46	33,19
НСР ₀₅	0,6	1,8	1,8	1,7

Применение минеральных удобрений способствовало нарастанию листовой поверхности посевов гороха. Среди вариантов с некорневыми обработками регулятором роста, макро- и микроэлементами наиболее сильное влияние на нарастание листовой поверхности оказал регулятор роста Экосил, что способствовало получению высокой урожайности семян гороха. Максимальная площадь листьев гороха наблюдалась в вариантах с инокуляцией семян ризобияльным инокулянтом на фоне N₁₈P₆₃K₉₆ с некорневой обработкой посевов комплексным микроудобрением с регулятором роста МикроСтим В.

У растений гороха максимальная площадь листьев была в фазе цветения. В фазе образования бобов происходило снижение площади листьев по сравнению с фазой цветения. Наиболее высокой в фазе цветения и образовании бобов площадь листовой поверхности была в вариантах N₁₈P₆₃K₉₆ + ризобияльный инокулянт и N₁₈P₆₃K₉₆ + ризобияльный инокулянт + МикроСтим В.

Площадь листовой поверхности и продолжительность прохождения растениями фенологических фаз влияла на интенсивность фотосинтетического потенциала растения. При применении минеральных удобрений, инокуляции семян ризобияльным инокулянтом, регуляторов роста и микроэлементов увеличивалась продолжительность работы листового аппарата растений, что сказывалось и на урожайности гороха. Максимальных значений фотосинтетический потенциал в фазе цветения – образования бобов (0,67–0,68) был в вариантах N₁₈P₆₃K₉₆ + ризобияльный инокулянт и N₁₈P₆₃K₉₆ + ризобияльный инокулянт + МикроСтим В, что и предопределило максимальную урожайность семян в опыте в этих вариантах (табл. 3).

Таблица 3. Влияние новых форм удобрений, регулятора роста и ризобияльного инокулянта на величину фотосинтетического потенциала и урожайность гороха сорта Миллениум (среднее за 2015–2017 гг.)

Варианты опыта	Фотосинтетический потенциал, млн м ² сутки/га			Урожайность семян, ц/га
	ветвление – бутонизация	бутонизация – цветение	цветение – образование бобов	
1. Без удобрений	0,18	0,21	0,37	24,2
2. N ₁₀ P ₄₀ K ₆₀	0,20	0,24	0,46	28,5

3. N ₁₈ P ₆₃ K ₉₆ – фон	0,22	0,26	0,50	31,6
4. N ₃₀ P ₇₅ K ₁₂₀	0,23	0,27	0,53	33,7
5. N ₁₈ P ₆₃ K ₉₆ (АФК с В и Мо)	0,25	0,30	0,60	37,6
6. Фон +В и Мо	0,23	0,28	0,56	35,4
7. Фон +Адоб В	0,23	0,28	0,57	36,1
8. Фон +Кристалон	0,25	0,31	0,61	37,3
9. Фон + Экосил	0,24	0,30	0,63	36,5
10. Фон+МикроСтим В	0,24	0,29	0,60	36,5
11. Фон+инокулянт	0,28	0,33	0,67	39,3
12. Фон+инокулянт+Микростим В	0,28	0,33	0,68	39,7
НСР ₀₅	–	–	–	0,9

Наиболее высокая урожайность семян гороха была (39,3–39,7 ц/га) отмечена в вариантах с применением N₁₈P₆₃K₉₆ + ризобийный инокулянт и N₁₈P₆₃K₉₆ + ризобийный инокулянт + МикроСтим В (табл. 3).

Заключение

1. Применение макро-, микроудобрений, регуляторов роста и ризобийного инокулянта, повышает ряд важных показателей: высоту растений гороха, массу 100 сухих растений, интенсивность фотосинтеза по сравнению с фоновым вариантом N₁₈P₆₃K₉₆.

2. Основным фактором увеличения листовой поверхности и накопления биомассы гороха было минеральное питание, применение регулятора роста и инокуляция семян гороха. Также на скорость увеличения листовой поверхности и накопления сухой массы растений оказывали влияние метеорологические условия за 2015–2017 гг. В 2015 г. в условиях длительного засушливого периода положительное влияние Экосила на формирование площади листовой поверхности было особенно заметным.

3. Наиболее высоких значений в фазе цветения площадь листовой поверхности (40,3–41,43 тыс. м²/га) и фотосинтетический потенциал в фазе цветения – образования бобов (0,67–0,68 млн м²сут/га) достигали в вариантах N₁₈P₆₃K₉₆ + ризобийный инокулянт и N₁₈P₆₃K₉₆ + ризобийный инокулянт + МикроСтим В, что и предопределило максимальную урожайность семян гороха (39,3–39,7 ц/га) в данных вариантах опыта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ничипорович, А. А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев: научно-популярная брошюра / А. А. Ничипорович. – М.: Знание, 1966. – 50 с.
2. Веретенников, А. В. Физиология растений: учебник / А. В. Веретенников. – М.: Академический Проект, 2006. – 480 с.
3. Физиология сельскохозяйственных растений. Физиология растительной клетки. Фотосинтез. Дыхание. Ответственный редактор тома А. И. Опарин. – Издательство Московского университета, М.: МГУ, 1967. – 496 с.
4. Продуктивность фотосинтеза озимой пшеницы / Ю.А. Гулянов // Земледелие. – 2006. – №6. – С. 30–31.
5. Ермохин, Ю. И. Применение удобрений под программируемый урожай сельскохозяйственных культур в условиях Западной Сибири: учеб. пособие / Ю. И. Ермохин, А. Е. Кочергин. – Омск: ОмСХИ, 1983. – 58 с.
6. Лапа, В. В. Влияние минеральных удобрений на фотосинтетическую деятельность зерновых культур / В. В. Лапа, В. Н. Босак // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук. – 2004. – № 2. – С. 35–39.
7. Евдокимова, М. А. Влияние регуляторов роста на фотосинтетическую деятельность посевов ярового ячменя / М. А. Евдокимова, О. Г. Марьина-Черных // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2018. – № 4 (44). – С. 91–97
8. Ефективність комплексного мікродобрива «Реаком- Р- бурякове» при позакореневому застосуванні на фабричних цукрових буряках: Звіт про науково-дослідну роботу / Інститут цукрових буряків УААН; І. І. Буряк. – Київ, 2000. – 47 с.
9. Вильдфлуш, И. Р. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 293 с.
10. 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.
11. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М.: ИД Альянс, 2011. – 352 с.
12. Моисеев, В. П. Физиология и биохимия растений: методические указания / Белорусская государственная сельскохозяйственная академия / В. П. Моисеев, Н. П. Рещецкий. – Горки, 2009. – 124 с.