АЗОТФИКСИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Н. В. УЛАХОВИЧ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407; e-mail: baa_bgd@tut.by

В. Н. БОСАК

ООО «Торговый Дом Торфяные Гуматы»,
г. Минск, Республика Беларусь, 220080, e-mail: bosak1@tut.by

(Поступила в редакцию 27.12.2024)

Фасоль овощная (*Phaseolus vulgaris* L.), горох овощной (*Pisum sativum* L. *convar. medullare* Flef. *emend.* C.O. Lehm) и чечевица пищевая (*Lens culinaris* Medik.) относятся к традиционным зернобобовым культурам в нашей стране, важной характеристикой которых является способность к симбиотической азотфиксации с помощью клубеньковых бактерий.

В статье приведены результаты полевых и лабораторных исследований в учреждении образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» по изучению влияния минеральных удобрений на урожайность семян и азотфиксирующую способность посевов фасоли овощной, гороха овощного и чечевицы пищевой на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. В результате проведенных исследований установлено, что применение полного минерального удобрения увеличило урожайность семян фасоли овощной, гороха овощного и фасоли овощной на 20–36 % с лучшими показателями агроэкономической эффективности в вариантах с внесением под предпосевную культивацию $N_{50}P_{50}K_{90}$. Прибавка урожая семян фасоли овощной в рекомендуемом варианте составила 15,3 ц/га при общей урожайности семян 50,1 ц/га, чистом доходе от применения полного минерального удобрения 679,5 руб./га с рентабельностью 145 %; прибавка урожая семян гороха овощного – 8,6 ц/га при общей урожайности семян 26,5 ц/га, чистом доходе от применения полного минерального удобрения 254,1 руб./га с рентабельностью 65 %; прибавка урожая семян чечевицы пищевой – 6,4 ц/га при общей урожайности семян 19,5 ц/га, чистом доходе от применения полного минерального удобрения 114,4 руб./га с рентабельностью 31 %. Средняя величина симбиотической азотфиксации в посевах фасоли овощной оказалась 116,6 кг/га или 2,5 кг на 1 ц семян, в посевах гороха овощного – 74,3 кг/га или 3,0 кг на 1 ц семян, в посевах чечевицы пищевой – 51,8 кг/га или 2,8 кг на 1 ц семян.

Ключевые слова: фасоль овощная, горох овощной, чечевица, минеральные удобрения, азотфиксирующая способность.

Beans (*Phaseolus vulgaris* L.), peas (*Pisum sativum* L. *convar. medullare* Flef. *emend.* C.O. Lehm) and lentils (*Lens culinaris* Medik.) are traditional legumes in our country, an important characteristic of which is the ability to symbiotic nitrogen fixation with the help of nodule bacteria.

The article presents the results of field and laboratory studies at the educational institution "Belarusian State Agricultural Academy" to study the effect of mineral fertilizers on seed yield and nitrogen-fixing capacity of beans, peas and lentils on sod-podzolic light loamy soil. The conducted research has shown that the use of complete mineral fertilizer increased the yield of green bean, green pea and green bean seeds by 20–36 % with the best indicators of agro-economic efficiency in the variants with the application of $N_{50}P_{50}K_{90}$ under pre-sowing cultivation. The increase in the yield of green bean seeds in the recommended variant was 1.53 t/ha with a total seed yield of 5.01 t/ha, the net income from the use of complete mineral fertilizer was 679.5 rubles/ha with a profitability of 145 %; the increase in the yield of green pea seeds was 0.86 t/ha with a total seed yield of 2.65 t/ha, the net income from the use of complete mineral fertilizer was 254.1 rubles/ha with a profitability of 65 %; the increase in the yield of edible lentil seeds was 0.64 t/ha with a total seed yield of 1.95 t/ha, the net income from the use of complete mineral fertilizer was 114.4 rubles/ha with a profitability of 31 %. The average value of symbiotic nitrogen fixation in crops of vegetable beans was 116.6 kg/ha or 2.5 kg per 0.1 t of seeds, in crops of vegetable peas – 74.3 kg/ha or 3.0 kg per 0.1 t of seeds, in crops of edible lentils – 51.8 kg/ha or 2.8 kg per 0.1 t of seeds.

Key words: vegetable beans, vegetable peas, lentils, mineral fertilizers, nitrogen-fixing capacity.

Введение

К основным зернобобовым культурам в Республике Беларусь относят горох посевной (*Pisum sativum* L.), горох полевой (пелюшку – *Pisum arvense* L.), фасоль обыкновенную (*Phaseolus vulgaris* L.), люпин узколистный (синий – *Lupinus angustifolius* L.), люпин желтый (*Lupinus luteus* L.), люпин белый (*Lupinus albus* L.), вику посевную яровую (*Vicia sativa* L.), вику посевную озимую (*Vicia sativa* L.), вику мохнатую (*Vicia villosa* Roth.), вику венгерскую (*Vicia pannonica* Crantz), бобы кормовые (*Vicia faba* L.), фасоль овощную (*Phaseolus vulgaris* L.), горох овощной (*Pisum sativum* L. *convar. medullare* Flef. *emend.* C.O. Lehm), бобы овощные (*Vicia faba* L. *var. major* Harz.), чечевицу (*Lens esculen-*

ta Moench.), пажитник голубой (*Trigonella caerulea* (L.) Ser.), пажитник греческий (*Trigonella foenum graecum* L.) и сою (*Glycine max* (L.) Merr.) [1–9].

Зернобобовые культуры, кроме своих высоких пищевых и кормовых характеристик, обладают способностью накапливать в почве азот благодаря симбиотической азотфиксации его из атмосферы с помощью клубеньковых бактерий, что улучшает фитосанитарное состояние севооборота и обеспечивает благоприятный баланс гумуса и элементов питания [5, 10–29].

Для расчета азотфиксирующей способности бобовых культур существует несколько методов, основанных на результатах полевых и лабораторных исследований: метод расчета по коэффициентам, метод инокуляции, метод баланса, метод парующих площадок, метод сопоставления выноса азота с его количеством в корневых и пожнивных остатках, метод сравнения с небобовыми растениями, ацетиленовый метод, метод учета массы клубеньков и удельной активности симбиоза, метод с использованием меченого азота [5, 17, 18, 20, 29].

В полевых исследованиях одним из наиболее доступных методов является метод сравнения с небобовыми растениями. Принцип метода базируется на предположении, что при идентичных условиях выращивания определенных видов бобовых и злаковых культур количество взятого ими азота почвы примерно одинаково. Отсюда величина азотфиксации определяется по разнице между общим азотом бобового и злакового растения. В качестве злаковой культуры для сравнения чаще всего используют овес. Следует, однако, учитывать значительную условность данного метода. Потребление азота растениями зависит от целого ряда факторов: видовых и сортовых особенностей, окультуренности почвы, доз и форм азотного удобрения, погодных условий и т. д. Измерение величины симбиотической азотфиксации методом сравнения следует проводить, начиная с фазы формирования репродуктивных органов. К этому времени запасы минерального азота в почве резко снижаются и количество его в бобовых и злаковых растениях, судя по меченому азоту, более или менее выравнивается, что позволяет точнее определить азотфиксацию.

Целью данной статьи является изучение азотфиксирующей способности и продуктивности зернобобовых культур в условиях северо-восточной части Республики Беларусь.

Основная часть

Исследования по изучению урожайности азотфиксирующей способности и продуктивности зернобобовых культур (фасоль овощная сорта Чыжовенка, горох овощной сорта Прометей, чечевица пищевая сорта Орловская краснозерная) проводили в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» в 2020–2022 гг.

Полевые исследования выполняли на опытном поле в условиях дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, пахотный горизонт которой характеризовался следующими агрохимическими показателями: pH_{KCl} 6,1–6,2, P_2O_5 (0,2 М HCl) – 173–182 мг/кг, K_2O (0,2 М HCl) – 205–212 мг/кг, гумус (0,4 н $K_2Cr_2O_7$) – 2,5–2,7 % (индекс агрохимической окультуренности 0,85) [30].

Полевые исследования, определение качественных показателей товарной продукции и статистическую обработку результатов проводили согласно существующим методикам [1, 31].

Как показали результаты исследований, азотфиксирующая способность и урожайность семян зависела от вида зернобобовых культур и применения минеральных удобрений при их возделывании (таблица). Применение полного минерального удобрения $N_{30-70}P_{50}K_{90}$ увеличило урожайность семян фасоли овощной на 8,8–17,3 ц/га, семян гороха овощного – на 5,4–9,9 ц/га, семян чечевицы пищевой – на 4,1–7,1 ц/га при общей урожайности семян в удобренных вариантах соответственно 43,6–52,1 ц/га (фасоль овощная), 23,3–27,8 ц/га (горох овощной) и 17,2–20,2 ц/га (чечевица пищевая).

Лучшая агрономическая эффективность при возделывании всех видов зернобобовых культур получена в вариантах с внесением под предпосевную культивацию $N_{50}P_{50}K_{90}$: прибавка урожая семян фасоли овощной составила 15,3 ц/га при общей урожайности семян 50,1 ц/га, чистом доходе от применения полного минерального удобрения 679,5 руб/га с рентабельностью 145 %; прибавка урожая семян гороха овощного составила 8,6 ц/га при общей урожайности семян 26,5 ц/га, чистом доходе от применения полного минерального удобрения 254,1 руб/га с рентабельностью 65 %; прибавка урожая семян чечевицы пищевой оказалась 6,4 ц/га при общей урожайности семян 19,5 ц/га, чистом доходе от применения полного минерального удобрения 114,4 руб/га с рентабельностью 31 %.

Возрастание дозы минерального азота с 30 до 50 кг/га д. в. существенно увеличивало урожайность семян всех изучаемых видов зернобобовых культур. Повышение дозы азота с 50 до 70 кг/га д. в. приводило лишь к тенденции увеличения урожайности семян в пределах НСР.

Содержание азота в семенах и соломе изучаемых зернобобовых культур существенно возросло в вариантах с применением минеральных удобрений: семена фасоли овощной – с 3,31 до 3,61–3,85 %, солома фасоли овощной – с 0,59 до 0,69–0,89 %; семена гороха овощного – с 3,54 до 3,75–3,94 %, солома гороха овощного – с 0,85 до 0,94–1,01 %; семена чечевицы пищевой – с 3,09 до 3,28–3,47 %, солома чечевицы пищевой – с 0,86 до 0,96–1,12 % (таблица).

Влияние минеральных удобрений на азотфиксирующую способность и урожайность зернобобовых культур, среднее за 2020–2022 гг.

Вариант	Семена, ц/га	Солома, ц/га	Содержание азота, %		Потребление азота, кг/га	Фиксированный азот, кг/га	Фиксированный азот кг на 1 ц семян
			семена	солома			
Фасоль овощная (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)							
Без удобрений	34,8	30,9	3,31	0,59	114,0	62,3	1,8
N ₃₀ P ₅₀ K ₉₀	43,6	39,2	3,61	0,69	158,1	106,4	2,4
N ₅₀ P ₅₀ K ₉₀	50,1	45,3	3,75	0,82	192,9	141,2	2,8
N ₇₀ P ₅₀ K ₉₀	52,1	47,7	3,85	0,89	208,2	156,5	3,0
HCP ₀₅	2,3	2,1	0,18	0,04			
Среднее						116,6	2,5
Горох овощной (<i>Pisum sativum</i> L. convar. <i>medullare</i> Flef. emend. C.O. Lehm)							
Без удобрений	17,9	45,1	3,54	0,85	86,7	35,0	2,0
N ₃₀ P ₅₀ K ₉₀	23,3	58,4	3,75	0,94	121,2	69,5	3,0
N ₅₀ P ₅₀ K ₉₀	26,5	66,7	3,82	0,97	141,4	89,7	3,4
N ₇₀ P ₅₀ K ₉₀	27,8	71,1	3,94	1,01	154,5	102,8	3,7
HCP ₀₅	1,4	3,1	0,18	0,05			
Среднее						74,3	3,0
Чечевица пищевая (<i>Lens culinaris</i> Medik.)							
Без удобрений	13,1	46,5	3,09	0,86	68,5	16,8	1,1
N ₃₀ P ₅₀ K ₉₀	17,2	60,9	3,28	0,96	97,7	46,0	2,7
N ₅₀ P ₅₀ K ₉₀	19,5	68,7	3,36	1,09	119,3	67,6	3,5
N ₇₀ P ₅₀ K ₉₀	20,2	72,4	3,47	1,12	128,5	76,8	3,8
HCP ₀₅	0,8	3,2	0,16	0,05			
Среднее						51,8	2,8
Овес (<i>Avena sativa</i> L.)							
Контроль	27,5	20,8	1,85	0,45	51,7		

Величина симбиотически фиксированного азота, рассчитанная методом сравнения с овсом, у фасоли овощной варьировала в пределах 62,3–156,5 кг/га, у гороха овощного – в пределах 35,0–102,8 кг/га, у чечевицы пищевой – в пределах 16,8–76,8 кг/га с максимальными показателями в варианте с применением максимальной дозы азота при среднем показателе соответственно 116,6 кг/га (фасоль овощная), 74,3 кг/га (горох овощной) и 51,8 кг/га (чечевица пищевая).

Для оценки симбиотической азотфиксации зернобобовых культур используют также относительный показатель – величину фиксированного азота на 1 ц товарной продукции [5].

В наших исследованиях величина фиксированного азота на 1 ц семян у фасоли овощной составила 1,8–3,0 кг при среднем значении 2,5 кг, на 1 ц семян гороха овощного – 2,0–3,7 кг при среднем значении 3,0 кг, на 1 ц семян чечевицы пищевой – 1,1–3,8 кг при среднем значении 2,8 кг.

При оценке поступления симбиотически фиксированного азота в почву при возделывании зернобобовых культур следует также принимать во внимание его поступление с корневыми остатками и клубеньковыми бактериями [5, 29].

Заключение

Применение полного минерального удобрения существенно увеличило урожайность семян фасоли овощной, гороха овощного и чечевицы пищевой на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с лучшими показателями агроэкономической эффективности при предпосевном внесении N₅₀P₅₀K₉₀: прибавка урожая семян фасоли овощной составила 15,3 ц/га при общей урожайности семян 50,1 ц/га, чистом доходе от применения полного минерального удобрения 679,5 руб./га с рентабельностью 145 %; прибавка урожая семян гороха овощного – 8,6 ц/га при общей урожайности семян 26,5 ц/га, чистом доходе от применения полного минерального удобрения 254,1 руб./га с рентабельностью 65 %; прибавка урожая семян чечевицы пищевой – 6,4 ц/га при общей урожайности семян 19,5 ц/га, чистом доходе от применения полного минерального удобрения 114,4 руб./га с рентабельностью 31 %. Средняя величина симбиотической азотфиксации в посевах фасоли овощной оказалась 116,6 кг/га или 2,5 кг на 1 ц семян, в посевах гороха овощного – 74,3 кг/га или 3,0 кг на 1 ц семян, в посевах чечевицы пищевой – 51,8 кг/га или 2,8 кг на 1 ц семян.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козловская, И. П. Производственные технологии в агрономии / И. П. Козловская, В. Н. Босак. – Москва: Инфра-М, 2016. – 336 с.
2. Минюк, О. Н. Динамика продукционных процессов спаржевой фасоли и овощных бобов в зависимости от применения удобрений / О. Н. Минюк, В. Н. Босак, В. В. Скорина // Плодородие почв и эффективное применение удобрений. – Минск, 2011. – С. 259–261.
3. Минюк, О. Н. Перспективы возделывания фасоли спаржевой в почвенно-климатических условиях Белорусского Полесья / О. Н. Минюк, В. Н. Босак // Научный потенциал молодежи – будущему Беларуси. – Пинск: ПолесГУ, 2009. – С. 192–193.
4. Парфеевец, Ю. С. Особенности и перспективы возделывания сои в Беларуси / Ю. С. Парфеевец, В. Н. Босак // Научный потенциал молодежи – будущему Беларуси. – Пинск: ПолесГУ, 2009. – С. 197–198.
5. Приемы возделывания бобовых овощных культур / В. Н. Босак, Т. В. Сачивко, О. Н. Минюк [и др.]. – Горки: БГСХА, 2022. – 183 с.
6. Продуктивность бобовых овощных культур в зависимости от сорта и удобрений / В. Н. Босак, В. В. Скорина, О. Н. Минюк, Т. В. Колоскова // Плодоовощеводство и декоративное садоводство. Состояние и перспективы развития. – Горки: БГСХА, 2011. – С. 52–54.
7. Улахович, Н. В. Агроекономическая эффективность применения гуминовых препаратов при возделывании зернобобовых культур / Н. В. Улахович, В. Н. Босак // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур. – Горки: БГСХА, 2025.
8. Улахович, Н. В. Аминокислотный состав бобовых овощных культур в зависимости от применения удобрений / Н. В. Улахович, В. Н. Босак // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России. – Красноярск, 2025.
9. Эффективность возделывания зернобобовых культур в условиях Белорусского Полесья / В. Н. Босак, В. В. Скорина, Т. В. Колоскова, О. Н. Минюк // Инновационные технологии в мелиорации и сельскохозяйственном использовании мелиорированных земель. – Минск: ИВЦ Минфина, 2010. – С. 37–38.
10. Азотфиксирующая способность и роль бобовых трав в биологизации земледелия / А. Ф. Степанов, С. П. Чибис, В. В. Христич [и др.] // Земледелие. – 2023. – № 1. – С. 18–22.
11. Аптымізацыя выкарыстання мінеральных угнаенняў пры вырошчванні збожжаваструкавых культур ва ўмовах Беларускага Полесья / В. М. Босак, У. У. Скарына, В. М. Мінюк, Т. В. Каласкова // Прыроднае асяроддзе Полесья: асаблівасці і перспектывы развіцця. – Брэст, 2012. – С. 13–15.
12. Босак, В. Н. Баланс гумуса в севооборотах на дерново-подзолистых почвах / В. Н. Босак. – Минск: БелНИВНФХ в АПК, 2008. – 28 с.
13. Босак, В. Н. Биологическая фиксация азота при возделывании бобовых овощных культур / В. Н. Босак, Т. В. Сачивко // Аграрная наука – сельскому хозяйству. – Барнаул: АГАУ, 2019. – С. 156–157.
14. Босак, В. Н. Влияние минеральных удобрений и гуминовых препаратов на урожайность чечевицы / В. Н. Босак, Н. В. Улахович // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы. – Гродно: ГГАУ, 2024. – Т. 64. – С. 27–32.
15. Босак, В. Н. Накопление биологического азота при возделывании бобовых овощных культур / В. Н. Босак, Т. В. Сачивко // Основні, малопоширені і нетрадиційні види рослин – від вивчення до освоєння. – Обухів, 2022. – Т. 1. – С. 31–33.
16. Босак, В. Н. Особенности азотфиксации в посевах бобовых овощных культур / В. Н. Босак, Т. В. Сачивко, М. Е. Кошман // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения. – Санкт-Петербург, 2019. – С. 15–17.
17. Босак, В. Н. Особенности биологической азотфиксации в земледелии Республики Беларусь / В. Н. Босак // Научные труды Академии управления при Президенте Республики Беларусь. – 2014. – Вып. 16. – С. 71–80.
18. Босак, В. Н. Продуктивность и особенности азотфиксации в посевах бобовых овощных культур / В. Н. Босак, Т. В. Сачивко // Земледелие и защита растений. – 2019. – № 1. – С. 21–23.
19. Босак, В. Н. Роль биологического азота в земледелии / В. Н. Босак, Т. В. Сачивко // Агротехники в XXI веке: теория и практика применения. – Нижний Новгород: НГСХА, 2017. – С. 168–169.
20. Босак, В. Н. Симбиотическая азотфиксация в посевах зернобобовых культур / В. Н. Босак, Т. В. Колоскова, О. Н. Минюк // Земляробства і ахова раслін. – 2010. – № 5. – С. 28–30.
21. Босак, В. Н. Симбиотическая и несимбиотическая азотфиксация в земледелии Беларуси / В. Н. Босак // Устойчивое развитие экономики: состояние, проблемы, перспективы. – Пинск: ПолесГУ, 2009. – Ч. II. – С. 37–38.
22. Лапа, В. В. Интенсивность баланса питательных веществ и продуктивность зернового севооборота на дерново-подзолистой суглинистой почве в зависимости от уровня азотного питания / В. В. Лапа, Е. М. Лимантова, В. Н. Босак // Почвы, их эволюция, охрана и повышение производительной способности в современных социально-экономических условиях. – Гомель, 1995. – С. 145.
23. Методика расчета баланса гумуса в земледелии Республики Беларусь / В. В. Лапа, В. Н. Босак, И. М. Богдевич [и др.]. – Минск: БелНИВНФХ в АПК, 2007. – 20 с.
24. Особенности азотфиксации в посевах бобовых овощных культур / В. Н. Босак, Т. В. Сачивко, О. Н. Минюк, Т. В. Колоскова // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур. – Горки: БГСХА, 2017. – С. 24–26.
25. Посыпанов, Г. С. Биологический азот. Проблемы экологии и растительного белка / Г. С. Посыпанова. – Москва: Инфра-М, 2017. – 251 с.
26. Продуктивность и азотфиксирующая способность бобовых овощных культур / В. Н. Босак, В. В. Скорина, Т. В. Колоскова, О. Н. Минюк // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. – Москва: РУДН, 2011. – Т. II. – С. 24–26.
27. Продуктивность и азотфиксирующая способность бобовых овощных культур / В. Босак, О. Минюк, В. Скорина, Т. Колоскова // Овощеводство и тепличное хозяйство. – 2014. – № 11. – С. 22–24.
28. Шеуджен, А. Х. Азот и круговорот его в природе / А. Х. Шеуджен, М. А. Перепелин // Рисоводство. – 2021. – № 4. – С. 86–92.
29. Шотт, П. Р. Фиксация атмосферного азота в однолетних агроценозах / П. Р. Шотт. – Барнаул: Азбука, 2007. – 170 с.
30. Почвенная характеристика опытного участка «Полигон» / В. Н. Босак, Е. Ф. Валейша, Т. В. Сачивко [и др.] // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур. – Горки: БГСХА, 2024. – С. 28–30.
31. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – Москва: Альянс, 2011. – 352 с.