

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА «РИЗОГУМИН» НА АКТИВНОСТЬ АЗОТФИКСАЦИИ И ЭМИССИЮ N₂O В АГРОЦЕНОЗАХ С ГОРОХОМ

EFFECT OF FERTILIZERS AND RHIZOGUMIN BIOLOGICAL PREPARATION ON NITROGEN-FIXING ACTIVITY AND N₂O EMISSION IN AGROCENOSIS WITH PEAS

Ключевые слова: горох, Ризогумин, азотфиксация, денитрификация, эмиссия N₂O, минеральные удобрения.

Представлены результаты изучения особенностей процессов азотфиксации эмиссии N₂O в агроценозах гороха под влиянием различных систем удобрения и использования для предпосевной инокуляции семян микробного препарата «Ризогумин». Исследования проведены в условиях полевого стационарного опыта на черноземе выщелоченном (короткоротационный севооборот картофель-ячмень-горох-пшеница озимая). Процесс симбиотической азотфиксации активизируется во второй год последствия 40 т/га навоза КРС, при использовании сидератов и внесении невысокой (N₃₀P₃₀K₃₀) и средней (N₆₀P₆₀K₆₀) в опыте доз минеральных удобрений. Ризогумин способствует существенной активизации связывания азота атмосферы, за исключением варианта с навозом. Эмиссия N₂O в вариантах возрастает по мере увеличения доз минеральных удобрений. Применение биологического препарата способствует ограничению газообразных потерь азота даже при высоких дозах минеральных удобрений (N₉₀P₉₀K₉₀). Включение в технологии выращивания гороха зеленого удобрения не приводит к повышению эмиссии закиси азота по сравнению с контрольным вариантом. Применение биологического препарата обеспечивает уменьшение потерь N₂O из почвы за счет инициирования развития растений и уменьшения концентрации субстрата для нитратного дыхания микроорганизмов. При этом отме-

чается существенное увеличение урожайности культуры и улучшение качества продукции.

Keywords: peas, Rhizogumin biological preparation, nitrogen fixation, denitrification, N₂O emission, mineral fertilizers.

The research goal is to study the features of nitrogen fixation and N₂O emission in pea agrocenosis when affected by various fertilizer systems and the use of Rizogumin microbial preparation for pre-sowing seed inoculation. The studies were conducted as a field permanent trial on leached chernozem (short crop rotation potato-barley-peas-winter wheat). The process of symbiotic nitrogen fixation is activated on the second year of 40 t ha of cattle manure aftereffect with the use of green manure and application of low (N₃₀P₃₀K₃₀) and medium (N₆₀P₆₀K₆₀) rates of mineral fertilizers. Rizogumin contributes to considerable activation of atmospheric nitrogen binding except for the variant with manure. N₂O emission in the variants increases with increasing rates of mineral fertilizers. The application of the biological preparation reduces gaseous nitrogen losses even with high mineral fertilizers (N₉₀P₉₀K₉₀) rates. The use of green manure in pea cultivation technology does not cause the increase of N₂O emission as compared to the control. The application of the biological preparation reduces N₂O losses from the soil by plant development initiation and reducing the concentration of substrate for microorganisms' nitrate respiration. Significant increase in crop yielding capacity and improvement of product quality is observed.

Журба Михаил Анатолиевич, аспирант, лаб. почвенной микробиологии, Институт сельскохозяйственной микробиологии и агропромышленного производства НААН Украины, г. Чернигов. Тел.: (04622) 3-17-49. E-mail: zhurba-m2013@yandex.ua.

Волкогон Виталий Васильевич, д.с.-х.н., проф., чл.-корр. НААН, директор, Институт сельскохозяйственной микробиологии и агропромышленного производства НААН Украины, г. Чернигов. Тел.: (04622) 3-17-49. E-mail: volkogon@ukr.net.

Zhurba Mikhail Anatoliyevich, Post-Graduate Student, Soil Microbiology Lab., Institute of Agricultural Microbiology and Agricultural Industry of Natl. Acad. of Agr. Sci., Chernigov, Ukraine. Ph.: (04622) 3-17-49. E-mail: zhurba-m2013@yandex.ua.

Volkogon Vitaliy Vasilyevich, Dr. Agr. Sci., Prof., Director, Institute of Agricultural Microbiology and Agricultural Industry of Natl. Acad. of Agr. Sci., Chernigov, Ukraine. Ph.: (04622) 3-17-49. E-mail: volkogon@ukr.net.

Введение

Необходимость учета активности отдельных биологических процессов в почвах агроценозов диктуется современными представлениями о влиянии технологических факторов не только на формирование продуктивности сельскохозяйственных культур, но и на состояние окружающей среды. Одним из наи-

более точных тестов относительно реакции системы почва-микроорганизмы-растение на уровни агрохимической нагрузки является активность азотфиксации [1]. Не менее важным диагностическим показателем состояния агроценозов представляется интенсивность эмиссии парниковых газов (особенно N₂O). Газообразные потери азота из удобрений

связаны, прежде всего, с процессами нитрификации и денитрификации, осуществляемыми в почвах при участии микроорганизмов. По усредненным данным восьмидесяти полевых опытов потери азота в форме окислов этого элемента составляют около 26% от внесенного азота. Размеры потерь увеличиваются при внесении высоких доз удобрений. Это свидетельствует о необходимости учета особенностей биологической трансформации азота в агроценозах при обосновании принципов удобрения сельскохозяйственных культур [2].

Цель исследований – изучить действие удобрений и микробного препарата «Ризогумин» на активность процессов симбиотической фиксации атмосферного азота и эмиссии N_2O при выращивании гороха.

Объекты и методы

Исследования проводили в 2012–2013 гг. в полевом стационарном опыте Института сельскохозяйственной микробиологии и агропромышленного производства НААН на черноземе выщелоченном ($pH_{\text{con.}}$ – 5,2; содержание гумуса – 3,01%; подвижных форм фосфора (P_2O_5) – 168 мг/кг; обменного калия (K_2O) – 58 мг/кг почвы). Горох сорта Девиз выращивали в условиях севооборота «картофель-ячмень яровой-горох-пшеница озимая». Схема опыта включала два блока: без инокуляции и с предпосевной обработкой семян гороха микробным препаратом «Ризогумин». Варианты опыта: без удобрений, последствие второго года 40 т/га навоза КРС (внесенного под картофель), $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$, $N_{90}P_{90}K_{90}$, последствие второго года 40 т/га навоза КРС + $N_{30}P_{30}K_{30}$, промежуточный сидерат – редька масличная.

Ризогумин – препарат комплексного действия на основе селекционированных штаммов клубеньковых бактерий и физиологически активных веществ биологического происхождения в количестве, оптимальном для органогеиза растений. Обеспечивает увеличение полевой всхожести и энергии прорастания семян, способствует формированию развитой корневой системы и активного растительно-бактериального азотфиксирующего симбиоза [3].

Для оценки активности азотфиксации и эмиссии закиси азота в системе «почва-растение» использовали метод закрытых камер [4, 5].

Камеры, объемом 10 л, с резиновой мембраной для отбора газов врезали в почву на глубину 10 см, почву вокруг камер увлажняли для создания водяной «пробки». В камеры помещали бюкс с карбидом кальция, увлажненным водой. Вследствие реакции кальций карбида с водой образовывался аце-

тилен, служащий неспецифическим субстратом для бактериального азотфиксирующего фермента нитрогеназы, что положено в основу метода определения нитрогеназной (азотфиксирующей) активности. Одновременно ацетилен ингибирует редуктазу оксида азота и останавливает процесс диссимилиации NO_3^- и NO_2^- на стадии восстановления оксида азота [5]. Отобранные газовые пробы анализировали газохроматографически. Нитрогеназную активность определяли на газовом хроматографе «Chrom-4» с пламенно-ионизационным детектором (стальная колонка длиной 3 м, заполненная сорбентом Parapak Q 60-80 mesh; температура термостата 40°C; расход газов: водорода – 15 см³/мин., азота – 100 см³/мин., воздуха – 500 см³/мин.).

Прямую эмиссию N_2O исследовали на газовом хроматографе «Цвет – 500 М» с детектором электронного захвата. Температура колонок 40°C, температура испарителя 120°C и детектора 330°C. Расход газа – носителя (аргон с метаном 95/5) – 35 см³/мин. Сорбционная колонка из стали длиной 3 м заполнена сорбентом Parapak Q 60-80 mesh.

Ведение опыта, учет урожая и статистическую обработку полученных результатов проводили по Б. Доспехову [6].

Содержание белка в зерне гороха устанавливали при определении общего азота по Кьельдалю с пересчетом показателей на коэффициент 5,7.

Результаты и обсуждение

Определение нитрогеназной активности в динамике свидетельствует, что практически все виды и дозы удобрений в опыте в определенной степени стимулировали протекание процесса. В наименьшей степени это проявляется в варианте с высокой дозой минеральных удобрений ($N_{90}P_{90}K_{90}$) и при внесении $N_{30}P_{30}K_{30}$ по фону последствие навоза (рис. 1). Влияние микробного препарата на активность симбиотической азотфиксации зависело от агрофона. Так, ризогумин стимулировал нитрогеназную активность в контрольном (без внесения удобрений) варианте, по невысокому и среднему в опыте минеральным агрофонам, а также при заделке в почву зеленого удобрения. По фону последствие 40 т/га навоза КРС предпосевная бактериализация семян не способствовала усилению активности процесса. Это в значительной степени подтверждает правильность известного тезиса В.В. Докучаева «...несомненно, вместе с навозом вносятся в почву и бактерии, роль которых, по всей вероятности, не меньше вносимых удобрительных веществ» [7]. Другими словами, применение навоза является своеобразной бактериализацией почвы. При этом интродуцированный в агроценоз микроорганизм встречает сильную

конкуренцию со стороны микроорганизмов навоза. По сути, в наших опытах действие бактериального инокулянта нивелировалось навозом (даже в условиях второго года его последствие).

Аналогичная ситуация прослеживается и в варианте с органо-минеральным удобрением (последствие органического удобрения и прямое влияние $N_{30}P_{30}K_{30}$), однако в фазу формирования бобов ингибирующий эффект удобрения на действие ризогумина уже не отмечается.

В целом, наиболее высокие показатели симбиотической азотфиксации, проявляющиеся длительное время, отмечены при включении в технологию выращивания гороха на черноземе выщелоченном предпосевной инокуляции в сочетании с минеральными удобрениями, количество которых не превышает $N_{60}P_{60}K_{60}$. Высокими показателями отличается также вариант с применением сидерального удобрения в сочетании с ризогумином.

Определение эмиссии закиси азота свидетельствует о значительных потерях газообразных соединений азота в вариантах с минеральным удобрением культуры. При этом эмиссия N_2O возрастает по мере увеличения доз удобрений. Наименьшие потери наблюдаются при внесении $N_{30}P_{30}K_{30}$. Применение микробного препарата способствовало ограничению газообразных потерь азота. Этот эффект мы объясняем возросшим потреблением питательных веществ иницированными бактеризацией растениями для обеспечения конструктивного метаболизма. В этих условиях количество азота в почве, как субстрата для нитрифицирующих и денитрифицирующих микроорганизмов, уменьшается. Значительные потери N_2O отмечаются в варианте с второго года последствием навоза (рис. 2). Ризогумин в этих вариантах практически не влиял на ход процесса. Как и при анализе активности азотфиксации, нивелирование положительного влияния биопрепарата мы объясняем влиянием микроорганизмов навоза, создающих мощную конкурентную среду для интродуцируемого микроорганизма.

Включение в технологии выращивания гороха зеленого удобрения не приводило к повышению эмиссии закиси азота по сравнению с контрольным вариантом. Применение Ризогумина по сидеральному агрофону способствовало некоторому снижению исследуемых показателей.

Зависимость процессов азотфиксации и эмиссии закиси азота от удобрений и предпосевной бактеризации была сходной в 2012 и 2013 гг., хотя абсолютные показатели имели определенный диапазон отличий.

Учет урожайности гороха свидетельствует, что по мере увеличения дозы минеральных удобрений продуктивность культуры возрастает, хотя отдача урожаем каждой следующей в опыте дозы удобрений снижается. Второго года последствие навоза обеспечивает хотя и достоверную, но одну из наиболее низких в опыте прибавок. Применение сидерального удобрения обеспечивает наименьшую прибавку урожая (табл. 1).

Существенным фактором влияния на формирование продуктивности культуры является применение бактериального препарата.

Эффективность ризогумина отмечена во всех вариантах. Обращают на себя внимание прибавки от инокуляции по фону наименьшей и средней в опыте доз минеральных удобрений. Именно по этим вариантам отмечены как наиболее высокие показатели активности симбиотической азотфиксации, так и существенное ограничение потерь закиси азота, что подтверждает высказанную выше версию о привлечении дополнительного количества азотных соединений для удовлетворения возросших потребностей конструктивного метаболизма бактеризованных растений.

Применение ризогумина совместно с сидеральным удобрением менее эффективно, однако, учитывая низкую себестоимость агроприемов, экономически выгодным. Низкая отдача сидеральных удобрений урожайностью культуры (несмотря на то влияние, которое они оказывают на течение процессов трансформации азота) объясняется либо особенностями минерализации органического вещества в почве под горохом, либо аллелопатическим влиянием промежуточной культуры на органогенез растений гороха.

Второго года последствие навоза менее эффективно, чем применение минеральных удобрений в экологически приемлемых дозах, однако обеспечивает достоверное увеличение урожайности. Несмотря на то обстоятельство, что биопрепарат в этих условиях не повлиял на активность азотфиксации и эмиссию N_2O , результаты учета урожайности свидетельствуют о положительном влиянии бактеризации. Возможно, в данном случае продукционный процесс культуры улучшился за счет физиологически активных веществ ризогумина. Применение невысокой дозы минеральных удобрений по фону последствие навоза существенно усиливает действие препарата на рост урожайности гороха.

Определение содержания белка в зерне гороха демонстрирует увеличение показателей по всем испытанным агрофонам. В наибольшей степени синтез белка зависит от минерального питания растений (табл. 2).

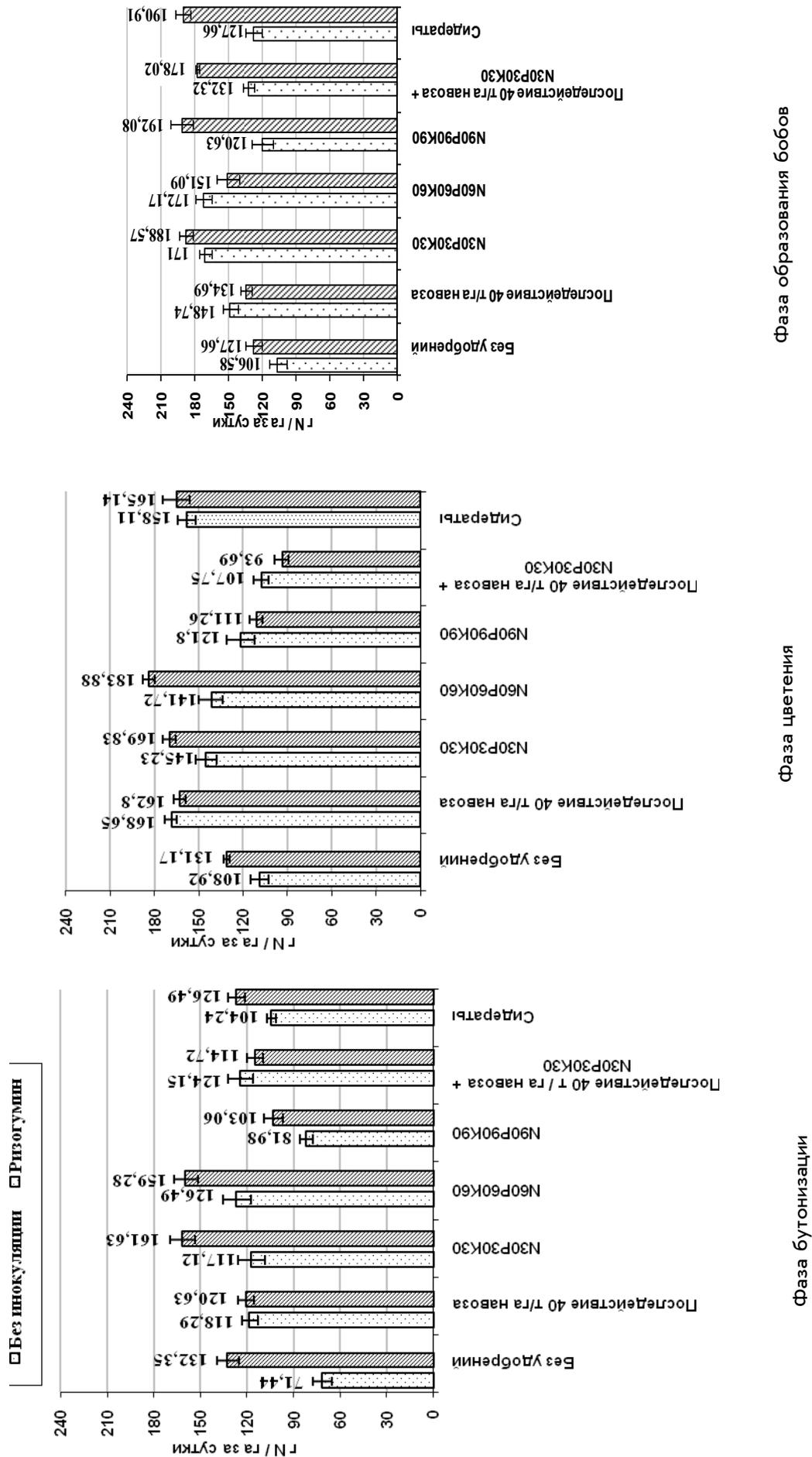


Рис. 1. Динамика азотфиксации в корневой зоне растений гороха под влиянием удобрений и предпосевной обработки семян ризогумином, 2013 г.

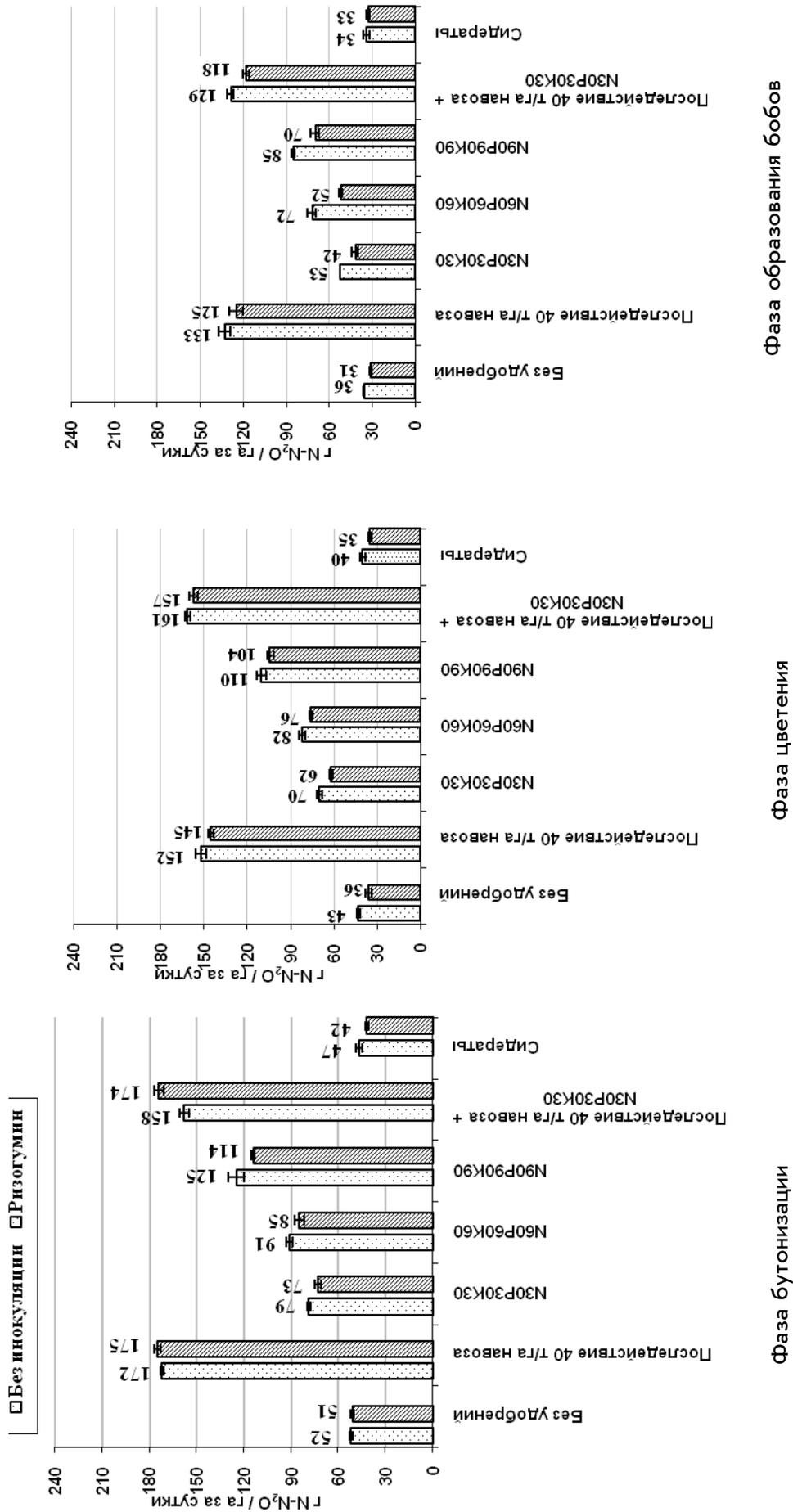


Рис. 2. Эмиссия N₂O из почвы под горохом под действием удобрений и ризогумина, 2013 г.

Таблица 1

Влияние удобрений и бактеризации на урожайность гороха

Варианты опыта	Урожайность, т/га			Прибавка			
	2012 г.	2013 г.	среднее	от удобрений*		от инокуляции	
	т/га	т/га	т/га	т/га	%	т/га	%
<i>Без инокуляции</i>							
Без удобрений	1,48	1,99	1,74	-	-	-	-
Последствие 40 т/га навоза	1,71	2,29	2,00	0,26	14,9	-	-
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	1,81	2,82	2,32	0,58	33,3	-	-
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	2,03	3,15	2,59	0,85	48,9	-	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	2,14	3,35	2,75	1,01	58,0	-	-
Последствие 40 т/га навоза + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	2,00	2,76	2,38	0,64	36,8	-	-
Сидераты	1,68	2,24	1,96	0,22	12,6	-	-
<i>Инокуляция ризогумином</i>							
Без удобрений	1,91	2,30	2,11	-	-	0,37	21,3
Последствие 40 т/га навоза	2,02	2,51	2,27	0,53	30,5	0,27	13,5
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	2,05	3,33	2,69	0,95	54,6	0,37	16,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	2,30	3,50	2,90	1,16	66,7	0,31	12,0
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	2,31	3,62	2,97	1,23	70,7	0,22	8,0
Последствие 40 т/га навоза + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	2,10	3,05	2,58	0,84	48,3	0,20	8,4
Сидераты	1,98	2,42	2,20	0,46	26,4	0,24	12,2
НСР ₀₅ по опыту для агрофонов для инокуляции и взаимодействия	0,21 0,11 0,10	0,29 0,17 0,14					

* В т.ч. от взаимодействия с биопрепаратом.

Таблица 2

Влияние удобрений и предпосевной бактеризации на содержание белка в зерне гороха, 2013 г.

Варианты опыта	Содержание белка	
	без инокуляции	с инокуляцией
Без удобрений	20,74±0,09	21,03±0,15
Последствие 40 т/га навоза	21,50±0,11	21,63±0,13
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	21,47±0,09	21,83±0,09
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	21,85±0,04	22,03±0,06
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	22,03±0,03	22,08±0,04
Последствие 40 т/га навоза + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	21,63±0,11	22,05±0,10
Сидераты	21,41±0,13	21,78±0,09

Существенное влияние на содержание белка оказывает применение Ризогумина. Исключением является вариант второго года последствие навоза, где биопрепарат не повлиял на изучаемый показатель. В то же время прямое действие минеральных удобрений (N₃₀P₃₀K₃₀), примененных по данному агрофону в сочетании с предпосевной бактериацией семян, обеспечивает возрастание содержания белка в зерне гороха.

Выводы

Применение микробного препарата «Ризогумин» при выращивании гороха на черноземе выщелоченном по невысоким минеральным агрофонам (не превышающим N₆₀P₆₀K₆₀) обеспечивает увеличение активности процесса симбиотической азотфиксации и ограничение эмиссии закиси азота. При этом отмечается существенное увеличение продуктивности культуры и улучшение качества продук-

ции. Включение биопрепарата в технологию выращивания гороха по фону высокой дозы минеральных удобрений (N₉₀P₉₀K₉₀) не обеспечивает достоверной прибавки урожая в сравнении с эффективностью ризогумина, примененного в сочетании с экологически приемлемой нормой N₆₀P₆₀K₆₀. Выращивание бактеризованного гороха по фону сидеральных удобрений способствует увеличению активности азотфиксации и снижению эмиссии N₂O в агроценозе. Однако продуктивность культуры при этом остается невысокой.

Библиографический список

1. Умаров М.М. Микробиологическая трансформация азота в почве. – М.: ГЕОС, 2007. – 138 с.
2. Макаров Б.Н., Геращенко Л.Б. Влияние газообразных потерь азота почвы и удобрений на размер загрязнения атмосферы газообразными соединениями азота // Экологи-

ческие последствия применения агрохимикатов (удобрения). – Пушино, 1982. – С. 58-59.

3. Волкогон В.В., Заришняк А.С., Гриник І.В. та ін. *Методологія і практика використання мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур*. – Київ: Аграрна наука, 2011. – 156 с.

4. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Бызов Б.А. и др. *Методы почвенной микробиологии и биохимии* / под. ред. Д.Г. Звягинцева. – М.: МГУ, 1991. – 304 с.

5. Kusa K., Sawamoto T., Hu R., Hatanano R. Comparison of the closed-chamber and gas concentration gradient methods for measurement of CO₂ and N₂O fluxes in two upland field soils // *Soil Science and Plant Nutrition*. – 2008. – Vol. 54. – P. 777-785.

6. Доспехов В.А. *Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований*. – 5-е изд. доп. и перер. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

7. Докучаев В.В. К вопросу об открытии при русских университетах кафедр почвоведения и учение о микроорганизмах // *Избранные сочинения*. – М.: Гос. изд-во с.-х. л-ры, 1948. – Т. 2. – С. 290-318.

2. Makarov B.N., Gerashchenko L.B. Vliyanie gazoobraznykh poter' azota pochvy i udobrenii na razmer zagryazneniya atmosfery gazoobraznymi soedineniyami azota // *Ekologicheskie posledstviya primeneniya agrokhimikatov (udobreniya)*. – Pushchino, 1982. – S. 58-59.

3. Volkogon V.V., Zaryshnjak A.S., Grynyk I.V. та ін. *Методологія і практика використання мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур*. – Київ: Аграрна наука, 2011. – 156 с.

4. Zvyagintsev D.G., Aseeva I.V., Babeva I.P., Byizov B.A. i dr. *Metodyi pochvennoy mikrobiologii i biokhimii* / Pod. red. D.G. Zvyagintseva. – М.: MGU, 1991. – 304 s.

5. Kusa K., Sawamoto T., Hu R., Hatanano R. Comparison of the closed-chamber and gas concentration gradient methods for measurement of CO₂ and N₂O fluxes in two upland field soils // *Soil Science and Plant Nutrition*. – 2008. – Vol. 54. – P. 777-785.

6. Dospekhov V.A. *Metodika polevogo opyta s osnovami statisticheskoi obrabotki rezultatov issledovaniy*. – 5-e izd. pererab. i dop. – М.: Agropromizdat, 1985. – 351 s.

7. Dokuchaev V.V. K voprosu ob otkrytii pri russkikh universitetakh kafedr pochvovedeniya i uchenie o mikroorganizmakh // *Izbrannye sochineniya*. – М.: Gos. izd. s.-kh. literatury, 1948. – Т. 2. – С. 290-318.

References

1. Umarov M.M. *Mikrobiologicheskaya transformatsiya azota v pochve*. – М.: GEOS, 2007. – 138 s.



УДК 581.8 :631.52:634.11

С.А. Макаренко, О.В. Мочалова
S.A. Makarenko, O.V. Mochalova

МОРФОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И КОРРЕЛЯЦИИ
У ГЕТЕРОПЛОИДНЫХ СЕЯНЦЕВ ЯБЛОНИ

MORPHOBIOLOGICAL FEATURES AND CORRELATIONS
OF HETEROPLOID APPLE-TREE SEEDLINGS

Ключевые слова: яблоня, адаптация, гетероплоидные скрещивания, диплоид, полиплоид, морфобиологические особенности, корреляции.

Представлены результаты привлечения в гибридизацию иммунной к парше отцовской исходной формы донора диплоидных гамет 30-47-88 (4n = 68) и триплоидных сортов Mutsu, Зефир и Фея с сортообразцами алтайской селекции в низкогорье Алтая. Повышенный выход устойчивых гибридов к распространенным расам парши (до 100%) отмечен в 8 из 9 комбинаций скрещивания с 30-47-88 (4x), в то время как с триплоидными сортами Mutsu, Зефир, Фея он был на уровне от 56 до 84%. В F₁, F₂ *Malus baccata* до 17-29% гибридов имеют степень культурности 4,0 балла, в F₃, F₂ степень культурности 4,0-5,0 балла показали

до 56% гибридов. Проведен анализ 5 морфобиологических показателей гибридных сеянцев. Первичный отбор сеянцев для оценки пloidности выполнен по толщине и индексу (отношение ширины к длине) листа. Среди гибридных сеянцев выделено 72 образца. Полиплоидные сеянцы (3n = 51 и 4n = 68) найдены в комбинациях скрещивания материнских форм Алтайское пурпуровое, Со-81-907 с отцовскими исходными формами 30-48-88 (4n = 68) и Зефир. В комбинациях 2x x 4x результативность отбора сеянцев с высокой пloidностью по морфологическим признакам составляет от 20 до 88%. На основании расчета коэффициента корреляции Спирмена установлено, что его значение имеет как положительную, так и отрицательную направленность. Величина коэффициента по признакам пloidности, высота растения, толщина штамба, степень культурности,