

- патогенні бактерії. Фітонцидологія. Алелопатія» (м. Київ, 4–6 жовтня, 2005): Збірник статей. – Житомир: Державний агроекологічний університет, 2005. – С. 83–88.
13. Фитопатогенные бактерии пырея ползучего в посевах пшеницы / Л.М. Яковлева, В.Ф. Патыка, Р.И. Гвоздяк, Т.Н. Щербина // Микробиол. журн. – 2009. – Т. 71, № 3. – С. 30–37.
 14. Яковлева Л.М. Бактериальный ожог плодовых в Украине / Л.М. Яковлева, В.Ф. Патыка // Научный вестник Нац. ун-верситету біоресурсів і природокористування України. – 2012. – Вип. 180. – С. 217–224. – (Серія: Агроекономія.)
 15. Гвоздяк Р.И. Видовой состав фитопатогенных бактерий-возбудителей бактериозов хвоща по левого (*Equisetum arvense* L.) / Р.И. Гвоздяк, Л.М. Яковлева // Микробиол. журн. – 2012. – Т. 74, № 3. – С. 39–45.
 16. Бактерии – возбудители болезней каштанов в Киеве / Л.М. Яковлева, Л.В. Махия, Л.Е. Огородник, Т.Н. Щербина // Агроекологічний журнал. – 2012. – № 3. – С. 139–141.
 17. *Micrococcus* sp. – возбудитель некроза листьев каштанов (*Aesculus* L.) в Киеве / Л.М. Яковлева, Л.В. Махия, Т.Н. Щербина, Л.Е. Огородник // Микробиол. журнал. – 2013. – Т. 75, № 3. – С. 62–67.
 18. *Bradbury J.F.* Guide to Plant Pathogenic Bacteria / J.F. Bradbury. – Great Britain: Cambrian News Ltd., 1986. – 334 p.

УДК 631.95/631.461

ЦИКЛ АЗОТУ В РИЗОСФЕРНОМУ ҐРУНТІ РОСЛИН КУКУРУДЗИ

Т.Б. Мілютенко¹, О.В. Шерстобоева¹, В.В. Волкогон², О.М. Бердніков²

¹ Інститут агроекології і природокористування НААН

² Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН

У польовому стаціонарному досліді на дерново-підзолистому ґрунті визначено оптимальну систему удобрення кукурудзи. Встановлено, що за перебігом та інтенсивністю супротивних біологічних процесів перетворення сполук азоту азотфіксації і денітрифікації в ґрунті кореневої зони кукурудзи та підвищенням продуктивності культури найперспективнішим виявилось застосування мінеральних добрив у дозі $N_{90}P_{90}K_{90}$ у поєднанні з люпиновим сидератом. Бактеризація насіння мікробними препаратами активно сприяла зниженню газоподібних втрат азоту з ґрунту в другій половині вегетації.

Ключові слова: добрива, мікробні препарати, сидерати, кукурудза, азотфіксація, денітрифікація.

Системи удобрення сільськогосподарських культур, як правило, передбачають застосування значної кількості мінеральних та органічних добрив для забезпечення повноцінного продукційного процесу рослин. Але їх вплив на довкілля викликає дедалі більшу стурбованість через негативну дію на стан ґрунтів агроценозів, ґрунтові води та якість продукції. Повною мірою це стосується удобрення такої культури, як кукурудза, посівні площі якої в Україні останнім часом істотно зросли. Тому

метою наших досліджень було дослідити екологічну доцільність таких технологічних елементів у вирощуванні культури, як мінеральні і органічні добрива та мікробні препарати.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили впродовж 2009–2011 рр. у стаціонарному польовому досліді Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН на дерново-підзолистому пілувато-супіщаному ґрунті (рН_{сол.} – 4,9; вміст гумусу – 1,1%; гідролізованого азо-

© Т.Б. Мілютенко, О.В. Шерстобоева, В.В. Волкогон, О.М. Бердніков, 2013

ту – 9,7 мг/100 г ґрунту; P_2O_5 – 10–12 і K_2O – 7,0–9,0 мг/100 г). Культура – кукурудза на зерно гібрида Кишкун.

Схема досліду налічувала три блоки варіантів: без інокуляції, інокуляція Біограном та інокуляція Поліміксобактерином. У кожному блоці досліду було передбачено такі варіанти: 1. Без добрив; 2. Сидерат; 3. $N_{90}P_{90}K_{90}$; 4. $N_{90}P_{90}K_{90}$ + сидерат; 5. Гній.

Варіант з удобренням гноєм (40 т/га) великої рогатої худоби (ВРХ) був за позитивний контроль.

На сидерат вирощували люпин білий як проміжну культуру. Стеблостій люпину пізно восени дискували в два сліди для загортання рослинної маси в ґрунт.

У досліді використовували мікробні препарати для кукурудзи: Біогран (гранульований препарат комплексної дії на основі біогумусу, в якому іммобілізовано клітини активного азотфіксатора *Azospirillum lipoferum* 4014) та Поліміксобактерин (ПМБК) на основі бактерії *Paenibacillus polytuxa* KB, яка стимулює ріст рослин.

У динаміці вивчали потенційну активність азотфіксації [1], біологічної денітрифікації (за емісією N_2O) [2], проводили облік чисельності представників певних еколого-трофічних груп мікроорганізмів у ризосферному ґрунті рослин кукурудзи. Кількість азотфіксаторів визначали методом граничних розведень на напіврідкому середовищі Доберейнер за використання ацетиленового тесту [3]. Чисельність денітрифікувальних бактерій обліковували на рідкому середовищі Гільтая за тестування реактивом Грісса позитивних граничних розведень [4]. Визначали чисельність мікроорганізмів, що засвоюють переважно органічні (середовище МПА) та переважно мінеральні (середовище КАА) сполуки азоту [4]. Проводили облік зернової продуктивності культури.

Отримані результати обробляли статистично за використання методу дисперсійного аналізу [5].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Процеси біологічної трансформації азоту в ґрунті агроценозів можуть свідчити

про сприятливу чи загрозливу ситуацію за дії біотичних та абіотичних чинників у технологіях вирощування сільськогосподарських культур [6, 7]. Як відомо, колообіг азоту (амоніфікацію, нітрифікацію, денітрифікацію і азотфіксацію) забезпечують мікроорганізми, тож визначення напруженості цих процесів у ґрунті може дати об'єктивну оцінку екологічного стану агроценозу. До того ж слід наголосити, що амоніфікація і нітрифікація є пасивними процесами, тому для отримання даних щодо направленості трансформації сполук азоту в ґрунті достатньо визначити потенційну активність двох супротивних процесів – азотфіксації і біологічної денітрифікації. За умови збереження або підвищення активності азотфіксації порівняно до контролю дію азотних добрив на стан агроценозу слід вважати позитивною. Напруженість біологічної денітрифікації також є своєрідним індикатором доцільності (чи недоцільності) удобрення [7].

Наші дослідження свідчать про стимулювальну дію сидерату на перебіг процесу азотфіксації в кореневій зоні рослин кукурудзи (табл. 1). Внесення мінеральних добрив спричиняє зниження нітрогеназної активності. Це спостерігається впродовж тривалого часу, і лише наприкінці вегетації рослин спостерігається відновлення активності ризосферних діазотрофів до показників контрольного (без добрив) варіанта. Проте поєднання мінеральних добрив із сидератом значною мірою нівелює цей негативний вплив технічного азоту. До того ж у фазу цвітіння показники активності азотфіксації вимірюються на рівні контрольних, а в наступну фазу розвитку рослин навіть переважають їх. Це можна пояснити тим, що сидеральна маса ініціює інтенсивний розвиток мікроорганізмів ґрунту, які тимчасово зв'язують мінеральний азот, використовуючи його для конструктивних потреб. За цих умов може виникати дефіцит азоту для рослин і асоційованих з їх корінням діазотрофів, що і проявляється у відновленні процесу азотфіксації. Застосування гною ВРХ сприяє зростанню нітрогеназної

**Потенційна активність азотфіксації в ризосферному ґрунті рослин кукурудзи
за впливу добрив та інокулянтів, нмоль С₂Н₄/г ґрунту/год.**

Варіанти дослідів	Фаза 6–8 листків	Фаза цвітіння	Фаза наливу зерна
<i>Без інокуляції</i>			
Без добрив	23,1	21,6	19,7
Сидерат	35,9	27,4	24,2
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	9,0	13,5	23,0
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + сидерат	17,5	21,9	24,7
Гній	29,3	25,2	24,8
<i>Інокуляція Біограном</i>			
Без добрив	29,0	28,5	24,5
Сидерат	44,7	41,8	26,5
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	14,5	20,1	24,9
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + сидерат	22,7	27,9	39,5
Гній	29,0	28,3	25,9
<i>Інокуляція Поліміксобактерином</i>			
Без добрив	22,8	22,1	20,2
Сидерат	33,3	26,9	25,6
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	10,3	14,6	22,9
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + сидерат	18,3	23,8	26,0
Гній	31,0	26,5	26,0
НІР ₀₅ у досліді для удобрення	5,5 2,3	4,0 2,1	4,2 2,1
для інокуляції та за взає- модії агроприйомів	2,2	2,0	2,1

активності в кореневій зоні рослин кукурудзи.

Сприятливим є поєднання бобового сидерату з Біограном – за цих умов у досліді виявлено найвищі показники нітрогеназної активності.

Застосування препарату на фоні внесення гною ВРХ не забезпечує зростання активності діазотрофів порівняно до значень відповідного варіанта у блоці дослідів без інокуляції. Ми пояснюємо це тим, що з гноєм у ґрунт надходить велика кількість мікроорганізмів, що зумовлює своєрідну бактерізацію ґрунту. Про це ще наприкінці ХІХ ст. у нарисі «К вопросу об открытии при русских университетах кафедр почвоведения и учение о микроорганизмах» писав В.В. Докучаєв: «Несомненно, вместе с

навозом вносятся в почву и бактерии, роль которых, по всей вероятности, не меньше вносимых удобрительных веществ» [8]. За цих умов інтродукований у зону коріння рослин активний бактеріальний штам отримає значну конкуренцію не лише з боку аборигенних мікроорганізмів, але й мікробіоти гною.

Поєднання сидерата з ПМБК не забезпечує синергічного ефекту вочевидь через те, що біологічним агентом цього препарату є бактерія, яка не фіксує азот із повітря. Проте результати досліджень свідчать про тенденцію до зростання активності процесу порівняно з відповідними варіантами блоку дослідів без інокуляції.

Іншим, протилежним азотфіксації процесом, є біологічна денітрифікація, потен-

ційну активність якої ми визначали за інтенсивністю емісії закису азоту. Результати досліджень наведено в таблиці 2.

Проведені в динаміці дослідження свідчать про значні втрати азоту у формі N_2O за удобрення кукурудзи мінеральними добривами та гноем ВРХ. Бактеризація на початкових фазах розвитку дещо стимулює активність біологічної денітрифікації у всіх без винятку варіантах досліду. Це може свідчити про те, що для ювенільних рослин кукурудзи наявного в ґрунті азоту цілком достатньо, а природа, яка «боїться» надлишку азоту в екосистемах, підключає всі можливі чинники для його нівелювання [7]. У цьому разі інтродуковані в кореневу зону рослин мікроорганізми певний час будуть засвоювати зв'язаний азот, у

т.ч. й здійснювати процес денітрифікації за відповідних умов. У процесі росту і розвитку рослин мікробні препарати починають активно сприяти зниженню газоподібних втрат азоту з ґрунту. Такий ефект, вірогідно, пояснюється позитивним впливом інтродукованих бактерій на розвиток рослин кукурудзи, через що вони починають засвоювати значно більшу кількість сполук азоту для конструктивного метаболізму і тим самим обмежують обсяги субстрату (нітратів) для активної діяльності денітрифікаторів.

Потужним обмежувальним чинником впливу на процес біологічної денітрифікації є сидерати, і особливо у поєднанні з мікробними препаратами. Такий ефект може пояснюватися інтенсивним розвитком мікроорганізмів, зумовленим як ін-

Таблиця 2

Потенційна активність біологічної денітрифікації в ризосферному ґрунті рослин кукурудзи за впливу добрив та інокулянтів, ммоль N_2O /г ґрунту/год.

Варіанти досліду	Фаза 6–8 листків	Фаза цвітіння	Фаза наливу зерна
<i>Без інокуляції</i>			
Без добрив	5,1	5,4	3,9
Сидерат	3,5	2,5	3,6
$N_{90}P_{90}K_{90}$	15,8	13,8	10,5
$N_{90}P_{90}K_{90}$ + сидерат	10,3	8,6	5,1
Гній	17,5	17,1	11,5
<i>Інокуляція Біограном</i>			
Без добрив	6,4	3,1	3,1
Сидерат	6,0	2,0	3,6
$N_{90}P_{90}K_{90}$	18,1	10,3	5,1
$N_{90}P_{90}K_{90}$ + сидерат	12,5	5,2	3,4
Гній	17,0	16,8	11,9
<i>Інокуляція Поліміксобактерином</i>			
Без добрив	5,3	2,9	3,0
Сидерат	4,0	2,5	3,0
$N_{90}P_{90}K_{90}$	16,5	6,0	4,5
$N_{90}P_{90}K_{90}$ + сидерат	12,0	5,0	3,3
Гній	18,3	15,3	10,7
НІР ₀₅ у досліді	5,5	7,0	4,8
для удобрення	2,3	3,5	2,4
для інокуляції та за взаємодії агроприймів	2,2	3,5	2,4

тродукцією агрономічно корисних мікроорганізмів у ґрунт, так і стимуляцією їх розвитку (так само, як і інших ґрунтових мікроорганізмів) свіжою органічною речовиною. Також інтенсивний розвиток мікроорганізмів посилює зв'язування на певний час значної кількості сполук азоту, тим самим позбавляючи денітрифікаторів субстрату для нітратного дихання і обмежуючи їх функції.

Використання гною ВРХ разом з бактеризацією насіння кукурудзи не спричиняє помітних змін в активності процесу біологічної денітрифікації, як за внесення лише гною. Відмічені особливості просте-

жуються впродовж усіх років проведення досліджень (2010–2012 рр.).

Облік чисельності мікроорганізмів деяких еколого-трофічних груп значною мірою підтверджує зроблені висновки. Так, кількість мікроорганізмів у ризосферному ґрунті рослин кукурудзи у фазу цвітіння, отримані у 2012 р. свідчить (табл. 3), що сидерати і мікробні препарати активно регулюють чисельність мікроорганізмів у кореневій зоні рослин кукурудзи, особливо за їх поєднання; при цьому Біогран забезпечує зростання кількості азотфіксуючих бактерій і сприяє зменшенню кількості денітрифікаторів.

Таблиця 3

Чисельність мікроорганізмів у ризосферному ґрунті рослин кукурудзи за впливу добрив і мікробних препаратів (фаза наливу зерна)

Варіанти дослідів	Кількість, млн/г сухого ґрунту			
	азотфіксаторів	денітрифікаторів	бактерій, що засвоюють переважно	
			органічні сполуки азоту	мінеральні сполуки азоту
<i>Без бактеризації</i>				
Без добрив	2,9	26,2	2,3±0,2	4,2±0,1
Сидерати	4,7	4,6	4,7±0,4	2,6±0,1
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	3,7	98,8	2,4±0,1	4,6±0,2
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерати	9,9	26,0	8,9±1,0	15,5±0,7
Гній	9,2	260,0	10,0±1,1	5,0±0,3
<i>Інокуляція Біограном</i>				
Без добрив	10,1	26,5	8,7±0,7	9,2±0,5
Сидерати	25,8	1,7	8,4±0,7	7,1±0,5
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	14,8	41,4	6,0±0,2	12,5±0,7
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерати	21,4	20,7	10,1±0,5	16,4±1,1
Гній	27,3	26,3	10,2±0,6	12,5±0,9
<i>Інокуляція Поліміксобактерином</i>				
Без добрив	2,7	24,8	8,1±0,3	5,1±0,2
Сидерати	4,7	1,5	9,7±0,3	10,2±0,6
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	3,6	35,1	5,6±0,1	14,5±1,1
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + сидерати	8,8	18,6	12,3±0,4	14,8±2,1
Гній	25,4	25,8	9,7±0,4	11,0±0,9

Таблиця 4

Урожайність кукурудзи на зерно за впливу добрив та мікробних препаратів, за 2010–2012 рр., т/га

Варіанти досліду	2010				2011				2012				Середнє за 2010–2012			
	без інокуляції		інокуляція		без інокуляції		інокуляція		без інокуляції		інокуляція		без інокуляції		інокуляція	
	Біогран	ПМБК*	Біогран	ПМБК*	Біогран	ПМБК*	Біогран	ПМБК*	Біогран	ПМБК*	Біогран	ПМБК*	Біогран	ПМБК*	Біогран	ПМБК*
Без добрив	4,00	4,40	4,60	4,60	3,92	4,16	4,40	4,50	4,40	4,40	4,56	4,50	4,07	4,29	4,42	4,42
Сидерат	4,40	4,86	4,93	4,93	4,58	4,66	4,70	5,18	4,70	4,70	5,16	5,18	4,45	4,87	4,92	4,92
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	6,50	6,78	6,90	6,90	7,42	7,60	7,50	8,02	7,01	7,01	7,82	8,02	7,01	7,34	7,51	7,51
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + сидерат	7,80	8,30	8,45	8,45	7,90	7,92	7,92	8,29	7,80	7,80	8,14	8,29	7,80	8,11	8,22	8,22
Гній	4,52	4,60	4,84	4,84	4,60	4,90	4,70	5,20	4,61	4,61	5,00	5,20	4,61	4,73	4,98	4,98
НІР ₀₅ у досліді для агрофонів для інокуляції та за взаємодії агроприймів	0,26				0,30		0,29		0,15	0,15						
	0,13				0,16		0,16		0,15	0,15						
	0,13				0,15		0,15		0,15	0,15						

Примітка: * ПМБК – Поліміксобактерин.

Поліміксобактерин майже не впливає на розвиток азотфіксаторів, проте обмежує чисельність денітрифікувальних мікроорганізмів.

Внесення в ґрунт 40 т/га гною ВРХ стимулює розвиток фактично всіх досліджуваних мікроорганізмів, що є цілком закономірним оскільки у цьому разі забезпечується як додаткове привнесення в ґрунт мікробіоти, так і трофічних субстратів, які використовуються для конструктивного метаболізму не лише рослин, але й мікроорганізмів. Слід відмітити, що застосування мікробних препаратів у вказаному агрофоні не дало змоги виявити істотних змін у чисельності представників усіх досліджених еколого-трофічних груп мікроорганізмів.

Облік урожайності зерна кукурудзи свідчить про ефективність всіх досліджених видів добрив – природи врожаю є статистично значущі. Ефективність сидеральних добрив не поступалася показникам, отриманим за внесення гною ВРХ. Це може свідчити про перспективність такого поєднання не лише в традиційних системах землеробства, але й в органічній. Найбільшою мірою продуктивність культури зростала за внесення мінеральних добрив, і особливо за їх поєднання з люпиновим сидератом (табл. 4), – приріст урожайності становив 85–88%. Поєднання агроприймів (мінеральні добрива + люпиновий сидерат + мікробні препарати) є найдоцільнішим серед досліджуваних чинників впливом на продуктивність культури як з огляду на її врожайність, так і на оптимізацію ґрунтових процесів, що досягається при цьому.

Віддача 1 кг діючої речовини з добрив за умови їх застосування в чистому вигляді еквівалентна 25,9 кг зерна; за поєднання добрив із сидератами показник зростає до 28,9, а за умови додаткового застосування мікробних препаратів сягає 30,4 кг. Можна допустити, що поєднання сидерату з мі-

неральними добривами матиме позитивну післядію і на врожайність наступної в сівзміні культури, оскільки сидеральна маса впродовж певного відрізка часу є своєрідним акумулятором поживних речовин у ґрунті, у т.ч. і з мінеральних добрив.

ВИСНОВКИ

Застосування люпинового сидерату і мікробних препаратів у технології вирощування кукурудзи на дерново-підзолистому ґрунті нівелює негативний вплив мінеральних добрив ($N_{90}P_{90}K_{90}$) на розвиток і функціонування мікробного угруповання в кореневій зоні рослин, сприяє оптимізації біологічних процесів трансформації азоту, істотному обмеженню втрат N_2O і може бути потужним прийомом оптимізації продукційного процесу культури.

ЛІТЕРАТУРА

1. Умаров М.М. Ацетиленовый метод изучения азотфиксации в почвенно-микробиологических исследованиях / М.М. Умаров // Почвоведение. – 1976. – № 11. – С. 119–123.
2. Методы почвенной микробиологии и биохимии: Учебное пособие / [И.В. Асеева, И.П. Бабьева, Б.А. Бызов и др.]; под ред. Д.Г. Звягинцева. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 304 с.
3. Villemin G. Utilisation du test de reduction de l'acetylene pour la numeration des bacteries libres fixatrices d'azote / G. Villemin, J. Balandreau, Y. Dommergues // Ann. Microbiol. ed. Enzimol. – 1974. – Vol. 24, No. 2. – P. 87–94.
4. Теплер Е.З. Практикум по микробиологии / Е.З. Теплер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева. – М.: Агропромиздат, 1987. – 239 с.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
6. Умаров М.М. Микробиологическая трансформация азота в почве / М.М. Умаров, А.В. Кураков, А.Л. Степанов. – М.: ГЕОС, 2007. – 137 с.
7. Волкогон В.В. Микробиологичні аспекти оптимізації азотного удобрення сільськогосподарських культур / В.В. Волкогон. – К.: Аграрна наука, 2007. – 144 с.
8. Докучаев В.В. К вопросу об открытии при русских университетах кафедр почвоведения и учение о микроорганизмах / В.В. Докучаев // Избранные сочинения. – М.: Гос. изд. с-х. литературы, 1948. – Т. 2. – С. 290–318.

НОВИНИ

23 липня ц.р. ДУ «Інститут охорони ґрунтів України» виповнилося 49 років від дня заснування.

Постановою Ради Міністрів Української РСР від 23 липня 1964 року за № 749 Міністерству сільського господарства було доручено створити мережу з 25 зональних агрохімічних лабораторій. Після реорганізацій і удосконалень на сьогодні – це філії державної установи «Інститут охорони ґрунтів України». Установа вже майже півстоліття здійснює агрохімічне обстеження земель та інформаційно-консультативне забезпечення сільгоспдприємств у сфері ефективного використання агрохімікатів, охорони, збереження та підвищення родючості ґрунтів.

З нагоди святкування Генеральний директор ДУ «Держґрунтохорона» І.П. Яцук привітав колектив інституту та відзначив почесними грамотами найкращих працівників установи.