УДК: 631.461:631.8
В.В. Волкогон, доктор сільськогосподарських наук
ІНСТИТУТ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ МІКРОБІОЛОГІЇ УААН

УДОБРЕННЯ КУКУРУДЗИ ЗА ІНТЕНСИВНІСТЮ БІОЛОГІЧНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ АЗОТУ РИЗОСФЕРИ

Необхідність визначення оптимальних доз мінеральних добрив у технологіях вирощування сільськогосподарських культур не викликає сумніву. Насамперед це стосується мінерального азоту, оскільки надлишок елемента в ґрунті призводить до забруднення довкілля і ризику захворюваності людей і тварин. Але надійних методик визначення оптимальних доз азотних добрив для сільськогосподарських культур сьогодні не існує. Найчастіше розрахунки робляться на запланований урожай. За умови 100% -го використання діючої речовини добрив метод був би ідеальним. Але враховуючи низький рівень засвоєння рослинами азоту з добрив (у межах 45-55%), використання зазначеного методичного підходу веде до планування значної частини розрахованих доз на забруднення довкілля, що недоцільно як з екологічної, так і економічної точок зору.

Точні розрахунки оптимальних для довкілля і формування урожаїв сільськогосподарських культур доз азотних добрив стали можливими з відкриттям явища асоціативної азотофіксації. Оскільки фіксація атмосферного азоту є процесом раціональним з енергетичної точки зору, вона не відбувається за наявності в ґрунті доступних форм азоту, адже зв'язаний азот енергетично є вигіднішим для бактеріальної клітини, порівняно з газоподібним N_2. Однак при функціонуванні азотофіксувальних бактерій в асоціації з рослинами, останні привносять свої корективи. Це проявляється в тому, що рослини асимілюють значу частину внесеного в ґрунт азоту. Певна частина добрив залучається також до метаболічних процесів ґрунтових мікроорганізмів та закріплюється у ґрунті. При цьому інгібуючий вплив зв'язаних форм азоту на активність і розвиток азотофіксувальних мікроорганізмів частково або повністю нівелюється залежно від дози азотних добрив. Більше того, добрива, стимулюючи розвиток рослин на перших етапах органогенезу і підвищуючи продуктивність фотосинтетичного апарату, сприяють після зменшення концентрації азоту в ґрунті зростанню активності процесу асоціативної азотофіксації на наступних стадіях розвитку рослин [1]. Дози азотних добрив, оптимальні для перебігу процесу

© В.В. Волкогон, 2008

асоціативної азотофіксації, було визначено як дози, що не перевищують фізіологічних потреб рослин у цьому елементі [2]. На такій підставі можемо також визнати їх екологічно оптимальними.

Дослідження даного питання надали можливість визначення як екологічно оптимальних, так і екологічно доцільних доз азотних добрив у конкретному агроценозі. Порівнюючи визначену активність азотофіксації у кореневій зоні культурних рослин у динаміці за вегетаційний період залежно від доз внесених азотних добрив з показниками контрольного варіанта, можемо вважати їх як ті дози, за яких азотофіксувальна активність є вищою, ніж у контролі. Екологічно оптимальними дозами мінерального азоту вважатимуться ті, які забезпечили найвищу продуктивність процесу. Екстраполяція результатів визначення активності процесу азотофіксації можлива також і за принципом виявлення доз мінерального азоту, які триваліший час сприяють підвищеній порівняно з контролем активності. Додатковим тестом доцільності визначених таким чином доз азотних добрив є дослідження особливостей перебігу процесу біологічної денітрифікації у кореневій дозі рослин [3].

Метою досліджень було визначення екологічно прийнятних доз азотних добрив при вирощуванні кукурудзи шляхом біологічного тестування.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проводили в умовах польових дослідів на лучно-чорноземному ґрунті ($pH_{сол.}$ – 5,30; вміст гумусу – 2,12 %; азоту легкогідролізованого – 95,2 мг/кг; фосфору – 226 мг/кг; обмінного калію – 108 мг/кг) дослідного господарства Інституту сільськогосподарської мікробіології УААН у 2006 - 2008 рр.

Схема досліду передбачала варіанти: I. Без інокуляції – контроль, без добрив, $N_{40}P_{15}K_{34}$, $N_{80}P_{36}K_{68}$, $N_{120}P_{54}K_{102}$, $N_{160}P_{72}K_{136}$; II. При внесенні гранульованого препарату – аналогічні дози добрив.

Добрива вносили одноразово під весняну оранку. Порівняно низькі дози фосфорних добрив застосовували у зв'язку з високим умістом фосфатів у ґрунті.

Як біологічне добриво використовували гранульований мікробний препарат біогран на основі *Azospirillum lipoferum* 4014 та вермикомпосту [4]. Препарат вносили при сівбі локально в рядки з розрахунку дві гранули на одну насінину.

У досліді в динаміці (починаючи з фази 5-7 листків) досліджували потенційну активність азотофіксації у кореневій зоні рослин і денітрифікації [3], проводили облік урожаю.

Статистичну обробку одержаних результатів здійснювали за Б. Доспєховим [5].

Результати та їх обговорення. Як свідчать одержані результати, потенційна активність азотофіксації у ризосферному ґрунті кукурудзи, вирощуваної в блоці варіантів без застосування мікробного препарату, у фазу 5-7 листків (30 днів після внесення добрив) під впливом мінерального азоту знижується (табл. 1).

Таблиця 1. Динаміка потенційної нітрогеназної активності ризосферного ґрунту кукурудзи, нмоль C_2H_4 / г сухого ґрунту/ годину

Варіанти досліду	Дні після внесення добрив				
	30 (фаза 5-7 листків)	45 (фаза 9-11 листків)	60 (фаза викидання - цвітіння волоті)	75 (фаза цвітіння волоті – формування качана)	90 (фаза молочно-воскової стиглості зерна)
Без інокуляції					
Контроль, без добрив	**18,87**	**18,80**	16,20	16,87	12,85
$N_{40}P_{15}K_{34}$	8,65	16,36	**19,35**	**19,62**	16,57
$N_{80}P_{36}K_{68}$	7,03	13,68	17,55	**21,74**	**22,39**
$N_{120}P_{54}K_{102}$	5,88	12,37	10,58	12,65	13,57
$N_{160}P_{72}K_{136}$	3,85	10,08	9,65	10,92	8,20
З інокуляцією					
Контроль, без добрив	**27,65**	**32,22**	28,51	20,84	18,52
$N_{40}P_{15}K_{34}$	19,58	24,33	**35,81**	**24,68**	20,11
$N_{80}P_{36}K_{68}$	15,21	18,54	30,84	**22,57**	**26,54**
$N_{120}P_{54}K_{102}$	12,01	14,22	18,20	16,95	**22,41**
$N_{160}P_{72}K_{136}$	7,29	13,54	12,52	12,06	14,83
$НІР_{05}$ по досліду	4,14	3,58	3,10	3,44	5,24
для добрив	2,85	2,00	1,75	1,72	2,65
для біограну	2,60	1,60	1,75	1,75	2,65

Примітка: у цій та інших таблицях жирним шрифтом виділено найвищі показники у блоках досліду.

Дослідження у фазу 9-11 листків (45 днів після внесення добрив) демонструє схожу залежність нітрогеназної активності від дії удобрення, хоча ступінь негативного впливу азотних добрив на активність азотофіксації на цей час дещо зменшився.

У фазу викидання – цвітіння волоті (60 днів після внесення добрив) відмічається стимулювання активності азотофіксації невеликою дозою добрив. При внесенні 80 кг/га мінерального азоту спостерігається тенденція до зростання активності. Збільшення доз добрив призводить до достовірного зниження нітрогеназної активності.

Наступний строк проведення досліджень демонструє високу активність азотофіксації у варіантах з внесенням 40 і 80 кг/га мінерального азоту, причому пік активності зміщується у варіант з внесенням $N_{80}P_{36}K_{68}$. Більші дози добрив у цей період ще спричиняють зниження активності процесу.

Наприкінці досліджуваного періоду найвища активність ризосферних азотофіксувальних бактерій спостерігалася у варіанті з внесенням азоту 80 кг/га. У всіх інших варіантах зміни активності недостовірні. Чітко вираженою є тенденція до зростання нітрогеназної активності у варіанті з найменшою дозою добрив.

Отже, біологічне тестування доцільності застосування різних доз азотних добрив свідчить, що найоптимальнішим з екологічних міркувань є внесення 40 кг/га мінерального азоту, оскільки саме в цьому варіанті проявлялося зростання активності азотофіксації протягом найбільшого відрізку часу. Екологічно доцільним є також застосування $N_{80}P_{36}K_{68}$. Збільшення доз добрив понад зазначене є недоцільним, через те що протягом вегетаційного періоду зависокі їх дози спричиняють зниження активності азотофіксації.

При застосуванні біограну в поєднанні з мінеральними добривами ми спостерігаємо аналогічні закономірності перебігу процесу при збільшенні абсолютних показників порівняно до відповідних варіантів без застосування біопрепарату. У той же час, наприкінці вегетаційного періоду в цьому блоці варіантів ми спостерігали достовірне зростання активності також і при внесенні $N_{120}P_{54}K_{102}$. Зазначена обставина може свідчити про швидше засвоєння добрив рослинами у даному варіанті, а отже, і про збільшення діапазону екологічно прийнятних доз добрив за цих умов. У даному випадку доза мінерального азоту 120 кг/га може розглядатись як екологічно порогова. Найвища в досліді доза добрив є однозначно неприйнятною з екологічних міркувань.

Вивчення в динаміці потенційної активності азотофіксації на корінні кукурудзи підтверджує зроблені спостереження (табл.2).

Дослідження потенційної активності денітрифікації у ризосферному ґрунті у фазу 5-7 листків демонструє збільшення показників зі зростанням концентрації зв'язаного азоту в ґрунті, що є цілком закономірним. Найбільші втрати азоту спостерігали при внесенні 120 і 160 кг/га. В динаміці загалом спостерігається вищезазначена залежність.

Застосування біограну сприяло підсиленню активності процесу у перші фази органогенезу, але, починаючи з фази 9 – 11 листків, біопрепарат забезпечував зниження інтенсивності процесу порівняно до відповідних варіантів без бактеризації спочатку у варіантах з

невисоким рівнем мінерального азотного удобрення, а пізніше, по мірі розвитку рослин, у варіантах з більшими дозами (табл. 3).

Таблиця 2. Динаміка потенційної нітрогеназної активності на корінні кукурудзи, мкмоль C_2H_4 / г сухого коріння / година

Варіанти досліду	Дні після внесення добрив				
	30 (фаза 5-7 листків)	45 (фаза 9-11 листків)	60 (фаза викидання - цвітіння волоті)	75 (фаза цвітіння волоті – формування качана)	90 (фаза молочно-воскової стиглості зерна)
Без інокуляції					
Контроль, без добрив	**0,78**	**1,23**	**1,05**	1,42	1,26
$N_{40}P_{15}K_{34}$	0,24	0,55	**0,99**	**1,65**	**1,50**
$N_{80}P_{36}K_{68}$	0,09	0,17	0,70	**1,69**	**1,59**
$N_{120}P_{54}K_{102}$	0,04	0,11	0,34	0,83	1,05
$N_{160}P_{72}K_{136}$	0,02	0,09	0,17	0,52	0,47
З інокуляцією					
Контроль, без добрив	**1,30**	**2,05**	1,62	1,85	1,75
$N_{40}P_{15}K_{34}$	0,48	0,88	**2,45**	**2,32**	1,95
$N_{80}P_{36}K_{68}$	0,36	0,25	1,62	**2,13**	**2,14**
$N_{120}P_{54}K_{102}$	0,26	0,18	0,75	1,36	**1,58**
$N_{160}P_{72}K_{136}$	0,18	0,14	0,38	0,73	0,56
$НІР_{05}$ по досліду	0,15	0,28	0,24	0,20	0,25
для добрив	0,08	0,15	0,12	0,10	0,13
для біограну	0,08	0,14	0,13	0,10	0,13

При цьому інокуляція в поєднанні з найменшою дозою добрив стимулює денітрифікацію лише в перший строк досліджень; з дозою N_{80} – до фази викидання-цвітіння волоті; з дозою азоту 120 кг/га ця залежність прослідковується до початку наливу зерна. За умови внесення найбільшої дози добрив застосування біограну сприяло зростанню непродуктивних втрат сполук азоту впродовж всього вегетаційного періоду, що свідчить про екологічну недоцільність застосування високих агрофонів, особливо у поєднанні з біодобривом. Важливо зазначити, що препарат, застосований по невисоких агрофонах після сплеску активності денітрифікації, сприяє зменшенню активності процесу. Ця особливість чітко прослідковується при внесенні 40 кг/га вже в другу фазу досліджень; при 80 кг/га – через 75 днів після внесення добрив.

Схожі залежності активності біологічної денітрифікації від рівня азотного удобрення виявлено при дослідженні перебігу процесу на корінні кукурудзи (табл. 4).

Таблиця 3. Потенційна активність біологічної денітрифікації в ризосферному ґрунті кукурудзи під впливом удобрення та інокуляції, нмоль N_2O / г сухого ґрунту / година

Варіанти досліду	Дні після внесення добрив				
	30 (фаза 5-7 листків)	45 (фаза 9-11 листків)	60 (фаза викидання - цвітіння волоті)	75 (фаза цвітіння волоті – формування качана)	90 (фаза молочно-воскової стиглості зерна)
Без інокуляції					
Контроль, без добрив	86,14	65,86	83,13	70,92	85,68
$N_{40}P_{15}K_{34}$	96,38	74,34	100,73	78,97	103,41
$N_{80}P_{36}K_{68}$	103,94	84,52	112,2	100,87	112,08
$N_{120}P_{54}K_{102}$	117,15	94,78	132,60	114,08	126,03
$N_{160}P_{72}K_{136}$	148,91	102,53	157,79	134,54	133,58
З інокуляцією					
Контроль, без добрив	**90,81***	61,22	78,08	63,09	64,39
$N_{40}P_{15}K_{34}$	**98,14***	80,81	96,32	73,93	85,68
$N_{80}P_{36}K_{68}$	**107,06***	**95,78***	**120,65***	91,65	97,02
$N_{120}P_{54}K_{102}$	**125,96***	**99,62***	**140,38***	**132,45***	122,30
$N_{160}P_{72}K_{136}$	**153,32***	**131,22***	**165,24***	**148,34***	**140,22***
$НІР_{05}$ по досліду	8,12	10,18	8,08	12,50	10,24
для добрив	4,10	5,10	4,02	6,30	5,12
для біограну	4,00	5,10	4,10	6,20	5,12

Активізація процесу біологічної денітрифікації при застосуванні біограну особливо по високих агрофонах підтверджує відому тезу: природа “боїться” надлишку азоту. Порівняння закономірностей перебігу двох протилежних за суттю процесів – азотофіксації і денітрифікації у дослідах свідчить, що в умовах надлишку зв’язаних форм азоту інтродуковані в агроекосистеми мікроорганізми не мають змоги синтезувати нітрогеназний ферментний комплекс і здійснювати зв’язування атмосферного азоту. У цей час для рослин вистачає сполук азоту (більше того, вони є зайвими з екологічної точки зору) і природа регулює ферментативну активність за “відомим “субстратним” принципом. Оскільки субстрат (азот) є надлишковим, азотофіксувальні бактерії переходять у статус його споживачів і здійснюють також і процес денітрифікації.

Зазначені обставини, звичайно, не свідчать про те, що мікробні препарати не слід використовувати. Їх потрібно застосовувати у поєднанні з екологічно оптимальними агрофонами.

Особливості формування мікробного угруповання в кореневій зоні рослин, перебіг процесів біологічної трансформації азоту і фосфору

під впливом мінеральних добрив, мікробного препарату та їхньої взаємодії позначаються на розвитку кукурудзи. Урожайність культури під впливом біопрепарату у варіантах з невисокими дозами добрив зростає на 9 – 14% . Взаємодія біограну та високих агрофонів виражена набагато слабкіше (табл. 5). Ефективність взаємодії біограну з добривами найкраще проявляється при внесенні $N_{40}P_{15}K_{34}$. Доцільним також є поєднання бактеризації з внесенням $N_{80}P_{36}K_{68}$.

Таблиця 4. Потенційна активність біологічної денітрифікації на корінні кукурудзи під впливом удобрення та інокуляції, мкмоль N_2O / г коріння / годину

Варіанти досліду	Дні після внесення добрив				
	30 (фаза 5-7 листків)	45 (фаза 9-11 листків)	60 (фаза викидання - цвітіння волоті)	75 (фаза цвітіння волоті – формування качана)	90 (фаза молочно-воскової стиглості зерна)
Без інокуляції					
Контроль, без добрив	1,29	0,72	1,63	1,21	1,39
$N_{40}P_{15}K_{34}$	1,43	1,19	2,12	1,34	1,46
$N_{80}P_{36}K_{68}$	2,22	1,23	2,17	1,41	1,60
$N_{120}P_{54}K_{102}$	2,63	1,54	2,32	1,49	1,78
$N_{160}P_{72}K_{136}$	3,15	2,05	2,57	1,82	2,13
З інокуляцією					
Контроль, без добрив	**1,30***	0,59	1,45	0,77	1,20
$N_{40}P_{15}K_{34}$	**1,74***	0,77	1,78	1,15	1,35
$N_{80}P_{36}K_{68}$	**2,63***	**1,34***	**2,40***	1,37	1,47
$N_{120}P_{54}K_{102}$	**2,89***	**1,69***	**2,49***	**1,69***	1,70
$N_{160}P_{72}K_{136}$	**3,42***	**2,44***	**3,25***	**2,28***	**2,42***
$НІР_{05}$ по досліду	0,15	0,10	0,20	0,12	0,2
для добрив	0,08	0,06	0,10	0,06	0,12
для біограну	0,08	0,05	0,10	0,07	0,10

У цілому, на підставі досліджень особливостей перебігу процесу азотофіксації у кореневій зоні рослин кукурудзи можна зробити висновки про те, що дози мінерального азоту в межах 40-80 кг/га є фізіологічно й екологічно доцільними, оскільки вони знижують активність азотофіксувальних мікроорганізмів протягом невеликого відрізку часу, а впродовж більшої частини вегетаційного періоду стимулюють її. Біогран забезпечує оптимізацію функціонування азотофіксувального мікробного угруповання і значною мірою нівелює негативний вплив доз добрив. Це проявляється навіть при внесенні 120 кг/га мінерального азоту. Показники активності біологічної

денітрифікації доповнюють і підкріплюють об'єктивність зазначених висновків: з точки зору недопущення непродуктивних втрат азоту перевищення дози азоту 80 кг/га є недоцільним за традиційної технології вирощування культури.

Таблиця 5. Урожайність зеленої маси кукурудзи при застосуванні біограну та мінеральних добрив

Варіанти	Вегетативна маса, ц/га	Приріст від			
		кожної наступної дози добрив		біограну	
		ц/га	%	ц/га	%
Без добрив					
Контроль	262,9	-	-	-	-
Біогран	291,0	-	-	28,1	10,7
$N_{40}P_{15}K_{34}$					
Контроль	289,3	26,4	10,0	-	-
Біогран	331,9	40,9	14,0	42,6	14,7
$N_{80}P_{36}K_{68}$					
Контроль	352,9	63,6	22,0	-	-
Біогран	385,0	53,1	16,0	32,1	9,1
$N_{120}P_{54}K_{102}$					
Контроль	397,9	45,0	12,8	-	-
Біогран	412,9	27,9	7,2	15,0	3,8
$N_{160}P_{72}K_{136}$					
Контроль	426,4	28,5	7,2	-	-
Біогран	430,7	17,8	4,3	4,3	1,0
$НІР_{05}$ по досліду	62,9				
для добрив	44,7				
для біограну	25,7				

Застосування біограну дещо розширює діапазон екологічно прийнятних доз азотних добрив унаслідок впливу препарату на ріст і розвиток рослин. При цьому можна вважати допустимим підвищення дози добрив до 120 кг/га.

Проведені дослідження свідчать також про необхідність біологічного тестування при виборі раціонального азотного удобрення сільськогосподарських культур.

1. Шмаров, М.М. Ассоциативная азотфиксация. / М.М. Шмаров. – М.: МГУ, 1986. – 136 с.
2. Umarov, M. Incorporation of «biological» nitrogen by nonlegumenous plants during associative N_2 – Fixation. / M. Umarov, V. Shabaev, V. Smolin, O. Aseeva. // IX Int. Symp. Soil Biol. and conservatuion of the Biosphere. - Pap. Sorpon. - 1985. - P. 65.
3. Волкогон, В.В. Мікробіологічні аспекти оптимізації азотного удобрення сільськогосподарських культур. / В.В. Волкогон. – К.: Аграрна наука, 2007. – 144 с.
4. Волкогон, В.В. Спосіб одержання гранульованих бактеріальних препаратів / В.В.Волкогон, В.І.Лохова, С.Б.Дімова. // Пат. 47303А

Україна, C05F/08. – Заявл. 31.10.2001; Опубл. 16.05.2005, Бюл. №5.
5. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта. /Б.А.Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351с.

За використання показників перебігу процесів азотфіксації та денітрифікації у кореневій зоні кукурудзи при вирощуванні культури на лучно-чорноземному ґрунті визначено раціональне удобрення азотними добривами. Екологічно оптимальним є внесення мінерального азоту у дозі 40 кг/га, доцільним – 80 кг/га. Подальше збільшення рівня удобрення є недоцільним з екологічних міркувань.

При использовании показателей динамики процессов азотфиксации и денитрификации в корневой зоне кукурузы, выращиваемой на лугово-черноземной почве, определено рациональное удобрение культуры азотными удобрениями. Экологически оптимальным является внесение минерального азота в дозе 40 кг/га, допустимым – 80 кг/га. Дальнейшее увеличение уровня удобрения нецелесообразно по экологическим соображениям.

When using indices of course of nitrogen fixation and denitrification processes in a root zone of maize at crop grooving on meadow chernozem, the rational nitrogenous fertilizer application is determined. The mineral nitrogen application in dose 40 kg/ha is ecologically optimal and in dose 80 kg/ha is advisable. The further increase of fertilization level is unsuitable for ecological reasons.

УДК 574.2:631
С.Г.Корсун, кандидат сільськогосподарських наук
ННЦ „ІНСТИТУТ ЗЕМЛЕРОБСТВА УААН”

АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ У КОНТЕКСТІ ГЛОБАЛЬНОЇ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Клімат Землі протягом 20-го століття зазнав значних змін, найчіткішим проявом яких є підвищення температури поверхні планети – одного з основних кліматоутворюючих чинників. Особливо помітним потепління стало наприкінці 20-го та початку 21 століть. Глобальні зміни температури насамперед позначаються на атмосферній циркуляції, під впливом якої і формуються погодні умови регіонів. Сучасні кількісні і якісні характеристики клімату в Україні пов’язані зі зміною впливу сибірського антициклону взимку та азовського влітку, оскільки центри дії атмосфери змістились на Схід у межах 20є. Таке зміщення призвело до того, що замість впливу

© С.Г.Корсун, 2008