

УДК 631.461.2+631.416.1]:633.15

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБЫЧНОЙ И МОДИФИЦИРОВАННОЙ ИНГИБИТОРАМИ НИТРИФИКАЦИИ МОЧЕВИНЫ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ КУКУРУЗЫ НА СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ

Л. А. КУДРЯШОВА, Д. А. ВАНИ, А. С. ЗАЙКО

(Кафедра агрономической и биологической химии)

В полевых опытах изучалось влияние ингибиторов нитрификации и модифицированной ими мочевины на содержание минеральных соединений азота в серой лесной почве в течение вегетации кукурузы, использование азота растениями и урожай зеленой массы. Установлено, что применение 1-карбамоил-3 (5)-метилпиразола по сравнению с обычной гранулированной мочевиной тормозило нитрификацию азота в почве на протяжении 1—1,5 мес, усиливало азотное питание растений и повышало урожай зеленой массы кукурузы на 5,2—7,4 т/га, при этом качество получаемой продукции существенно не изменялось.

В условиях интенсификации сельскохозяйственного производства возрастают требования к ассортименту и качеству азотных удобрений, поскольку им принадлежит основная роль в повышении урожайности культур, особенно на малогумусированных почвах в районах с повышенной влажностью и при орошении. Систематическое применение повышенных доз азота, необходимых для получения планируемых урожаев, приводит к ухудшению экологической обстановки вследствие избыточного накопления нитратов в растениях и загрязнении ими природных вод. Поэтому разработка и научное обоснование приемов снижения потерь и повышение эффективности азота удобрений имеют важное значение. Одним из таких приемов является применение вместе с аммонийными и аммиачны-

ми удобрениями, а также мочевиной ингибиторов нитрификации. Временное избирательное торможение нитрификации с помощью ингибиторов снижает газообразные потери азота в процессе нитрификации и денитрификации и вследствие вымывания нитратов, что создает предпосылки для более эффективного использования азота удобрений сельскохозяйственными культурами, ограничения накопления нитратов в продукции и питьевых источниках [1—4, 8—11].

Перспективным направлением является изучение новых нелетучих ингибиторов нитрификации, а также модифицированных ингибиторами нитрификации твердых азотных удобрений, начатое в Государственной сети опытов НИУИФ в 1983 г. Испытания модифицированной мо-

чевины в посевах риса, хлопчатника и ряда других культур показали высокую эффективность ингибиторов нитрификации [5, 9].

Основной целью наших исследований было изучение сравнительной эффективности обычной и модифицированной гранулированной мочевины при выращивании кукурузы на зеленую массу. В процессе проведения опытов определяли влияние ингибиторов нитрификации и модифицированной мочевины на содержание минеральных соединений азота в почве в течение вегетации, использование азота растениями и урожай зеленой массы кукурузы; оценивали действие изучаемых препаратов на химический состав растений и качество урожая зеленой массы кукурузы; устанавливали возможность накопления остаточных количеств ингибитора нитрификации в конечной продукции.

Методика

В 1989—1990 гг. в учхозе «Дружба» Переславского района Ярославской области были проведены полевые опыты с кукурузой, выращиваемой на зеленую массу. Почва опытного участка — серая лесная среднесуглинистая слабо-смытая на покровном лессовидном суглинке (табл. 1). Рельеф — по-

логосклонная равнина с уклоном 1°. Почвенный покров однородный.

Программу исследований разрабатывали с учетом требований методики опытного дела и рекомендаций по изучению перспективных ингибиторов нитрификации [7]. Опыты заложены по схеме: 1-й вариант — РК (фон); 2-й — фон + КМП — 1-карбамоил-3(5)-метилпиразол; 3-й — фон + 100N_м; 4-й — фон + N_м с КМП; 5-й вариант — фон + N_м с АТГ — 4-амино-1,2,4-триазол.

Доза азота (100 кг/га) выбрана с учетом регламентов по применению удобрений под сельскохозяйственные культуры [6]. Учитывался также тот факт, что наиболее эффективно применение ингибиторов нитрификации при умеренном снабжении азотом.

В опытах использовали следующие ингибиторы нитрификации и формы модифицированной мочевины: чистый препарат КМП в дозе 2 кг д. в. на 1 га; мочевина, в состав которой входил ингибитор КМП, и мочевина, модифицированная АТГ, в том и другом случае содержание ингибитора составляло 2 % азота удобрения.

В 1989 г. в качестве фона в соответствии с рекомендациями агрохимической службы использовали фосфорно-калийные удобре-

Таблица 1

Агрохимическая характеристика почвы опытного участка

Гумус, %	рН _{сол}	Н _г	S	N по Корнфилду	N—NH ₄	N—NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
							по Кирсанову	
мг-экв/100 г		мг/кг						
<i>1989 г.</i>								
2,56	7,00	0,45	21,3	156	28	11	150	410
<i>1990 г.</i>								
2,65	6,22	1,02	23,0	185	30	16	170	260

ния 120P150K, в 1990 г.— 80P100K. Двойной гранулированный суперфосфат и хлористый калий вносили под основную обработку почвы. Азотные удобрения и ингибиторы нитрификации заделывали в почву под культивацию перед посевом кукурузы.

В 1989 г. высевали венгерский гибрид ТК 178, в 1990 г.— молдавский гибрид Пионер. Норма высева 95 тыс. всхожих семян на 1 га. Способ посева рядовой, пунктирный (70×15 см). Агротехника зональная. Площадь опытных делянок 100 м² (11,9×8,4), учетных в 1989 г.— 51 м² (9,1×5,6) и в 1990 г.— 47,6 м² (8,5×5,6). Способ учета урожая сплошной. Повторность опытов 4-кратная, расположение повторений — по ярусам при ступенчатом расположении вариантов.

За время вегетации кукурузы с делянок двух несмежных повторений из слоя 0—20 см трижды отбирали почвенные образцы, в которых определяли содержание

аммонийного и нитратного азота. При учете урожая были взяты представительные растительные пробы с двух несмежных повторений для установления выноса основных элементов питания и качества продукции.

Агрохимический анализ почвы перед закладкой опытов проводили общепринятыми методами в соответствии с ОСТ 10-106-87 «Опыты полевые с удобрениями. Порядок проведения».

Содержание аммонийного и нитратного азота в почве определяли колориметрическим методом на автоматическом анализаторе в лаборатории массовых анализов ЦИНАО, содержание нитратов в свежих растительных образцах — ионометрическим методом (ГОСТ 13496.17—84), азота (и сырого белка) в воздушно-сухом растительном материале — после мокрого озольнения по Кьельдалю — Йодельбауэру, фосфора и калия — общепринятыми методами после ускоренного озольнения по Гинзбург,

Таблица 2

Погодные условия в период вегетации

Месяц и декада	Температура, °С			Количество осадков, мм		
	среднемесячного-летнего	1989 г.	1990 г.	среднемесячного-летнего	1989 г.	1990 г.
Май:						
I	9,0	10,5	9,7	15	29	12
II	10,0	13,8	9,2	18	4	15
III	12,5	13,0	9,7	20	5	51
Июнь:						
I	13,8	19,7	11,8	19	20	16
II	14,5	17,5	13,8	20	37	14
III	15,8	21,5	15,9	20	34	14
Июль:						
I	17,0	18,8	19,8	22	81	48
II	17,3	19,8	16,5	29	2	68
III	17,3	16,3	15,7	27	12	70
Август:						
I	16,5	17,4	18,7	24	14	6
II	14,8	17,8	16,3	22	46	65
III	14,0	12,2	12,2	24	38	45

сырой клетчатки — по ГОСТ 13496.2—84, сырой золы — по ГОСТ 26226—84 и сырого жира — по ГОСТ 13496.15—85.

Остаточное количество ингибитора нитрификации определяли на кафедре химических средств защиты растений Тимирязевской академии в соответствии с «Временными методическими указаниями по определению 1-карбамоил-3(5)-

метилпиразола и 3(5)-метилпиразола в воде, почве, растительном материале методом тонкослойной хроматографии», разработанными филиалом ВНИИ гигиены и токсикологии пестицидов, полимерных и пластических масс (г. Ереван, 1985).

На результаты исследований существенное влияние оказали погодные условия в период вегетации

Таблица 3
Содержание минеральных соединений азота в почве (мг/кг)

Вариант опыта	4/V (перед закладкой опыта)	20/VI	12/VII	24/VIII
---------------	--------------------------------------	-------	--------	---------

Опыт 1989 г.

1. РК — фон	28	10	12	9
	10	15	3	2
2. Фон+КМП	29	15	12	9
	12	13	3	5
3. *+N _m	26	8	11	10
	10	17	7	7
4. *+N _m с КМП	29	26	13	7
	11	13	6	5
5. *+N _m с АТГ	27	31	18	7
	12	14	6	5

	5/V (перед закладкой опыта)	5/VI	7/VII	7/VIII
--	--------------------------------------	------	-------	--------

Опыт 1990 г.

1. РК—фон	30	16	22	15
	14	18	29	3
2. Фон+КМП	30	23	24	15
	18	20	27	4
3. *+N _m	30	53	54	12
	17	26	27	2
4. *+N _m с КМП	30	66	56	15
	14	23	38	2
5. *+N _m с АТГ	29	53	57	11
	18	18	31	6

Примечание. Числитель — N—NH₄, знаменатель — N—NO₃.

Урожай зеленой массы кукурузы (ц/га)

Вариант опыта	1989 г.	1990 г.	Вариант опыта	1989 г.	1990 г.
1. РК—фон	426	516	4. Фон+ N_m с КМП	606	713
2. Фон+КМП	451	541			
3. »+ N_m	532	636	5. »+ N_m с АТГ	584	656
			НСР ₀₅	50	51

(табл. 2). Хороший запас влаги в почве перед посевом, обильные осадки и повышенная температура воздуха в последующий период ускорили развитие кукурузы в 1989 г. Фенофазы наступали на 2 нед раньше, чем в годы с типичными температурой и влажностью. При уборке 24 августа (до наступления ненастной погоды с сильными ветрами и резким понижением температуры в конце августа — начале сентября, характерной для Переславского района) сформировались полноценные початки с зерном молочно-восковой спелости. Меньший запас влаги и небольшое количество осадков при температуре ниже среднегодовой в I и II декадах мая 1990 г. тормозили прорастание семян и появление всходов. Полные всходы зафиксированы 5 июня, т. е. через месяц после посева. В дальнейшем складывались благоприятные метеорологические условия для роста и развития кукурузы, и к моменту уборки 23 августа растения находились в фазе молочной спелости зерна.

Результаты

Наблюдения за динамикой содержания минеральных соединений азота в почве под растениями показали, что ингибиторы нитрификации, которые вносили как отдельно, так и в составе модифи-

цированной мочевины, активно тормозили нитрификацию в течение 30—45 дней (1-й срок отбора промежуточных проб), в дальнейшем степень их ингибирующего действия уменьшалась (2-й и 3-й отборы проб). Так, через 1—1,5 мес после закладки опытов содержание аммонийного азота в вариантах с мочевиной, модифицированной КМП, было в 1,2—3,1 раза больше, чем при внесении обычной мочевины (табл. 3), что создавало предпосылки для снижения потерь азота в процессе нитрификации и денитрификации, а также при вымывании нитратов из корнеобитаемого слоя почвы. Сильное торможение нитрификации мочевины, модифицированной АТГ, наблюдалось лишь в 1989 г. При внесении КМП по фосфорно-калийному фону содержание аммонийного азота в почве также возросло в 1,5 раза (1-й срок отбора проб) по сравнению с вариантом РК в оба года исследований.

Общее количество минерального азота в почве при использовании ингибиторов нитрификации и модифицированной мочевины не снижалось (а в ряде случаев и повышалось). Это свидетельствует о том, что изучавшиеся препараты тормозили лишь нитрификацию, но не мобилизацию (аммонификацию) почвенного органического вещества.

Под влиянием ингибиторов нит-

рификации повышались использование азота кукурузой и общий вынос его урожаем, что благоприятно сказывалось на выходе зеленой массы (табл. 4 и 5). При внесении КМП по фону РК проявлялась тенденция к повышению урожая зеленой массы и увеличению потребления кукурузой почвенного азота в оба года исследований. Применение обычной гранулированной мочевины в дозе 100 кг N на 1 га улучшало рост, развитие растений и обеспечивало прибавки урожая зеленой массы: 106 ц/га в 1989 г. и 120 ц/га в 1990 г., что составляло 20—23 % по отношению к фону РК (табл. 4).

Установлена высокая эффективность применения КМП в составе мочевины. Так, урожай зеленой массы кукурузы возрос на 38—42 % по сравнению с фоном РК и на 12—14 % по сравнению с внесением обычной мочевины. При этом коэффициент использования азота удобрения, рассчитанный разностным методом, в среднем за 2 года увеличился на 15 % и

составил 59—62 % к внесенному количеству. Таким образом, улучшение условий азотного питания благодаря временному сохранению в почве большего количества азота в аммонийной форме при внесении КМП в составе мочевины способствовало формированию более высокого урожая кукурузы. Положительное действие АТГ в составе мочевины на потребление азота растениями и продуктивность кукурузы было менее стабильным. Если в 1989 г. получена достоверная прибавка урожая, то в 1990 г. наблюдалась лишь тенденция к его увеличению.

Улучшение азотного питания и изменение соотношения между аммонийным и нитратным азотом в почве при внесении ингибиторов нитрификации могут по-разному отразиться на химическом составе растений и, следовательно, на качестве урожая [8, 9, 12, 13].

Увеличение выноса азота с урожаем зеленой массы кукурузы в наших опытах под влиянием ингибитора нитрификации КМП, при-

Таблица 5

Урожай сухого вещества кукурузы и потребление растениями азота

Вариант опыта	Урожай сухого вещества, ц/га	Содержание азота		Коэффициент использования азота удобрений, %
		% на абсолютно сухое вещество	кг/га	
<i>Опыт 1989 г.</i>				
1. РК—фон	62,9	0,96	60,4	—
2. Фон+КМП	73,7	0,97	71,5	—
3. *+N _m	86,7	1,27	110,2	50
4. *+N _m с КМП	96,3	1,27	122,2	62
5. *+N _m с АТГ	95,1	1,36	129,3	69
<i>Опыт 1990 г.</i>				
1. РК—фон	61,1	1,12	68,4	—
2. Фон+КМП	65,7	1,26	82,8	—
3. *+N _m	75,5	1,43	108,0	40
4. *+N _m с КМП	86,3	1,47	126,9	59
5. *+N _m с АТГ	79,2	1,47	113,3	45

менявшегося по фону РК, было связано как с изменением сбора сухого вещества, так и с повышением концентрации азота в растениях (табл. 5), а при внесении модифицированной мочевины — прежде всего с увеличением накопления сухого вещества при практически постоянном относительном содержании азота в кукурузе.

Наряду с повышением урожая зеленой массы кукурузы под действием ингибиторов нитрификации увеличивался вынос не только азота, но и зольных элементов (табл. 6). Временная стабилизация уровня азота в аммонийной форме в почве в результате торможения процесса нитрификации при использовании ингибиторов приводила к некоторому повышению относительного содержания фосфора и калия в растениях.

Одним из основных показателей качества кормов является содержание в растениях нитратов. Без внесения азота концентрация нитратов в зеленой массе кукурузы составляла 40—75 мг на 1 кг сырой массы, а в вариантах с азотными удобрениями она колебалась от

Таблица 6
Относительное содержание фосфора и калия в урожае зеленой массы кукурузы и вынос этих элементов с урожаем

Вариант опыта	Содержание в урожае, % на абсолютно сухое вещество		Вынос, кг/га	
	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. РК — фон	0,42	1,78	26,4	112,0
	0,54	2,32	32,4	141,8
2. Фон+КМП	0,46	1,72	33,9	126,8
	0,57	2,41	37,4	158,3
3. » + N _m	0,47	1,36	41,3	119,8
	0,45	2,32	34,0	175,2
4. » + N _m с КМП	0,45	1,47	43,3	141,4
	0,53	2,42	45,7	208,8
5. » + N _m с АТГ	0,45	1,74	42,8	165,5
	0,47	2,34	37,2	185,3

Примечание. Здесь и в табл. 7 числитель — опыт 1989 г., знаменатель — опыт 1990 г.

126 до 180 мг/кг, т. е. не превышала установленного уровня ПДК (200 мг/кг). Применение ингибиторов нитрификации и модифицированной мочевины практически не сказалось на содержании нитратов в урожае. Очевидно, это свя-

Таблица 7
Химический состав зеленой массы кукурузы

Вариант опыта	Сухое вещество, %	Сырой белок	Сырая клетчатка	Сырой жир	Сырая зола	Нитраты, мг на 1 кг сырой массы
1. РК — фон	16,1	6,00	30,0	2,64	5,18	40
	11,8	7,00	27,5	2,97	6,71	45
2. Фон+КМП	16,2	6,01	29,0	2,59	5,27	75
	12,1	7,88	28,3	3,01	6,63	70
3. » + N _m	16,3	7,94	28,0	2,43	4,96	154
	11,9	8,94	26,3	2,81	5,84	165
4. » + N _m с КМП	15,8	7,69	27,7	2,87	4,98	126
	12,1	9,19	24,9	2,63	6,22	180
5. » + N _m с АТГ	16,0	7,85	28,0	2,71	5,00	138
	12,0	8,94	27,7	2,89	6,37	145

зано со снижением ингибирующей нитрификации действия препаратов во 2-ю половину вегетации кукурузы, усилением потребления растениями минерализуемого почвенного азота и реутилизацией ранее поглощенного азота.

Закономерных изменений в содержании белка, клетчатки, сырого жира и сырой золы в урожае зеленой массы кукурузы под действием ингибиторов нитрификации в составе модифицированной мочевины также не установлено (табл. 7).

При выращивании овощных и кормовых культур необходимо учитывать возможность накопления остаточных количеств применяемых ингибиторов нитрификации и их метаболитов в продукции.

Результаты проведенных нами исследований свидетельствуют об отсутствии остаточных количеств метилпиразола (являющегося основным метаболитом КМП) в зеленой массе кукурузы при учете урожая в фазу молочной и молочно-восковой спелости.

Выводы

1. Применение обычной гранулированной мочевины в дозе 100 кг азота на 1 га улучшило рост и развитие кукурузы, обеспечило повышение урожая зеленой массы на 113 ц/га, или на 22 % в среднем за 2 года по сравнению с фоном РК. Коэффициенты использования азота мочевины, рассчитанные разностным методом, составили 45 % от внесенного количества.

2. Ингибиторы нитрификации, внесившиеся как отдельно, так и в составе мочевины, активно тормозили нитрификацию в почве на протяжении 1—1,5 мес.

3. При внесении КМП в составе модифицированной мочевины уро-

жай зеленой массы возрос на 12—14 %, а коэффициент использования азота удобрений, рассчитанный разностным методом, — на 12—19 %. Действие АТГ в составе мочевины на потребление растениями азота и урожай зеленой массы кукурузы было нестабильным.

4. Улучшение азотного питания кукурузы под действием ингибиторов нитрификации приводило к увеличению выноса фосфора и калия как за счет повышения урожая зеленой массы, так и вследствие увеличения относительного содержания этих элементов в растениях.

5. Внесение ингибиторов нитрификации и модифицированной ими мочевины практически не сказалось на основных показателях качества урожая зеленой массы кукурузы, при этом остаточных количеств метилпиразола в продукции не обнаружено.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горелик Л. А., Янишевский Ф. В., Подколзина Г. В., Водопьянов В. Г. Эффективность ингибитора нитрификации 1-карбамоил-3(5)-метилпиразола в полевых опытах Геосети НИУИФ. — *Агрохимия*, 1989, № 10, с. 16—26.
2. Кореньков Д. А. Продуктивное использование минеральных удобрений. М.: Россельхозиздат, 1985.
3. Муравин Э. А. Применение ингибиторов нитрификации для снижения потерь и повышения эффективности азота удобрений. — *Итоги науки и техники. Проблемы агрохимии азота*, т. 3. М.: Изд-во АН СССР, 1979, с. 5—84.
4. Муравин Э. А. Ингибиторы нитрификации. — М.: Агрпромиздат, 1989.
5. Перспективы использования ингибиторов нитрификации для повышения эффективности азотных удобрений. — *Тез. Всесоюз. совещ.* М.: НИУИФ, 1986.
6. Регламенты по применению азотных удобрений под картофель,

кормовые и силосные культуры.— М.: ЦИНАО, 1987.— 7. Рекомендации по изучению эффективности перспективных ингибиторов нитрификации (1-карбамоил-3(5)-метилпиразола — КМП, дициандиамида, аминотриазола — АТГ) в лабораторных, вегетационных и полевых опытах.— М.: МСХ СССР, ВПНО «Союзсельхозхимия», Минудобрений, НИУИФ, Дзержинский филиал ГИАП, ЦИНАО, ТСХА, 1985.— 8. Семини-шен Н. Г. Влияние азотных удобрений и ингибиторов нитрификации на технологические качества корнеплодов сахарной свеклы.— Химия в сельск. хоз-ве, 1985, № 5, с. 23—26.— 9. Смирнов П. М., Базилевич С. Д., Обухов-ская Л. В. Влияние азотного удобрения и N-serve на накопление нитратов в овощных культурах.— Химия в сельск. хоз-ве, 1982, № 2, с. 16—19.— 10. Смирнов П. М. Вопросы агрохимии азота (в исследованиях с ^{15}N).— М.: ТСХА, 1982.— 11. Янишевский Ф. В., Горелик Л. А., Муравин Э. А. и др. Агрохимическая эффективность нового ингибитора нитрификации 1-карбамоил-3(5)-метилпиразола.— М.: ВНИИТЭ-ХИМ, 1990.— 12. Huber D. M.— Down to Earth, 1980, vol. 37, N 1, p. 1—5.— 13. Scaife A., Saraiva Ferreira M. E., Turner M. C.— Plant and Soil., 1986, vol. 94, N 1, p. 3—16. Статья поступила 16 апреля 1992 г.

SUMMARY

In field experiments on forest-steppe soils (grey-forest soils) application of nitrification inhibitor CMP in modified urea retarded the nitrification process for a period of 1—1.5 months, registering causing an increase in uptake of fertilizer nitrogen and increasing the green forage yield of maize by 5.2—7.4 t/hect. when compared to application of urea fertilizer alone.