

УДК 631.847.212:632.95.02

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ИНГИБИТОРОВ НИТРИФИКАЦИИ НА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ

А. В. ВЯЛОВА, Э. А. МУРАВИН

(Кафедра агрономической и биологической химии)

В полевых опытах изучали влияние ингибиторов нитрификации на эффективность КАС, мочевины и безводного аммиака при выращивании на среднесуглинистой серой лесной почве Тульской области ячменя, озимой пшеницы и кукурузы на зеленую массу. Применение ингибиторов обеспечивало торможение нитрификации в почве на протяжении 2 мес, повышение потребления азота растениями и увеличение урожая. Новые ингибиторы нитрификации (КМП и МП) не уступали нитрапирину, дициандиамиду и АТГ по влиянию на трансформацию в почве азота и эффективность азотных удобрений.

Определенный на перспективу ассортимент азотных удобрений в нашей стране наряду с традиционными формами твердых туков будет широко представлен жидкими удобрениями. Доля азота в составе безводного аммиака практически сохранится на достигнутом в настоящее время уровне при росте валового его производства к 1995 г. почти в 1,5 раза. Особенно резко возрастут в абсолютных и относительных количествах производство (более 20 % к общему намечаемому в 1995 г. уровню — около 16 млн т азота) и поставка сельскому хозяйству КАС — водных растворов мочевины и аммиачной селитры. Это обусловлено высокой технологичностью и меньшей себестоимостью производства

КАС, возможностью максимального исключения физических потерь азота этого удобрения, полной механизации работ, большой точности дозирования и равномерности внесения, совместного применения с

другими средствами химизации при интенсивной технологии возделывания сельскохозяйственных культур [1, 4, 5, 11].

Одним из приемов повышения эффективности удобрений (содержащих азот в аммиачной, аммонийной и амидной формах) является применение ингибиторов нитрификации, позволяющее значительно снизить потери азота удобрений вследствие денитрификации и вымывания нитратов, уменьшить нормы удобрений и кратность их внесения, осуществлять осеннее вместо весеннего внесение азота без снижения его эффективности, ограничить накопление нитратов в растениеводческой продукции и загрязнение ими объектов окружающей среды [6, 9, 10].

Американские и отечественные ингибиторы нитрификации типа нитрапирин, японский АТС и отечественный АТГ, отечественный дициандиамид и дидин производства ФРГ, новые перспективные советско-германские препараты на ос-

нове метилпиразола (КМП и МП) проходят за рубежом и в нашей стране широкие и всесторонние испытания. Уже в ближайшие годы в СССР намечается промышленный выпуск ингибиторов нитрификации и модифицированных твердых азотных удобрений, прежде всего мочевины с КМП и АТГ — ее доля в 1995 г. составит 6,4 % валового производства азотных туков [2, 3, 6—10, 12, 13].

Применение водорастворимых нелетучих ингибиторов нитрификации АТГ и МП осуществимо с растворами КАС (основная доля азота которых представлена амидным и аммонийным) в едином технологическом процессе, в том числе в виде баковой смеси в сочетании с другими агрохимикатами [6].

Целью настоящей работы являлись сравнительная оценка КАС и других форм азотных удобрений и изучение их эффективности в зависимости от применения ингибиторов нитрификации при выращивании ячменя, озимой пшеницы и кукурузы на зеленую массу по интенсивной технологии.

### Методика

Полевые опыты с районированными сортами культур проводили

в совхозе «Парники» Ленинского района Тульской области на средне-суглинистой серой лесной почве, агрохимическая характеристика которой представлена в табл. 1.

Площадь опытных делянок — 100—120 м<sup>2</sup>, повторность — 4-кратная, расположение делянок — рендомизированное. Площадь учетных делянок — 76—100 м<sup>2</sup>. Агротехника — зональная, рекомендованная к использованию при интенсивной технологии возделывания опытных культур.

Изучавшиеся формы азотных удобрений вносили по фосфорно-калийному фону в соответствии со схемами опытов, представленными в табл. 2 и 4. Норму двойного суперфосфата и хлористого калия при основном внесении устанавливали с учетом планируемой урожайности и обеспеченности почвы опытными участками подвижными формами фосфора и калия. Гранулированную аммиачную селитру, мочевины обычную и модифицированную ингибиторами нитрификации (КМП и АТГ — 2 %, ДЦД — 10 % N удобрения) вносили вручную взброс, безводный аммиак АБА-1 — с заделкой под предпосевную культивацию, американский ингибитор нитрификации N-ser-

Таблица 1

Агрохимическая характеристика почвы опытных участков

Культура, сорт	Год проведения опыта	Гумус, %	pH <sub>сол</sub>	Н <sub>r</sub>	S	N—NH <sub>4</sub>	N—NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
								по Кирсанову	
				мэв/100 г		мг/кг			
Ячмень Карина	1987	3,75	6,9	2,1	29,0	12,5	2,0	220	140
Кукуруза Жеребковская	1987	3,71	7,3	1,9	25,3	21,2	3,0	130	330
Оз. пшеница:									
Мироновская 808	1987/88	3,01	5,9	1,4	21,5	10,4	10,0	160	120
Ахтырчанка	1988/89	2,30	6,0	1,8	23,2	12,7	2,5	230	110
Кукуруза Коллективная	1989	3,45	6,6	0,4	20,9	17,4	4,4	260	320

ве 24 — совместно с безводным аммиаком из расчета 1 % N удобрения. КАС (производство ПО «Куйбышевазот» или Новомосковского ПО «Азот» соответственно КАС-30 или КАС-32) вносили в соответствии со схемами опытов экспериментальным образцом опрыскивателя на базе ПОМ 630, изготовленным Тульским филиалом НИПТИЖ. Дозы КМП, АТГ и ДЦД в сочетании с КАС были эквивалентны их содержанию в модифицированной мочеvine, МП применяли из расчета 2 % N удобрения. Водные растворы АТГ и МП, ацетоновую суспензию КАС вносили ранцевым опрыскивателем, а порошок ДЦД при смешивании с кварцевым песком для лучшей равномерности — вручную непосредственно после применения КАС и немедленно заделывали в почву.

Методика полевых опытов, обязательная программа наблюдений и аналитических работ соответствовали требованиям ОСТ 10-106—87 «Опыты полевые с удобрениями. Порядок проведения». Дополнительная программа наблюдений согласно рекомендациям по испытанию новых ингибиторов нитрификации и модифицированных ими удобрений [7] включала изучение динамики содержания минеральных соединений азота ( $N-NH_4$  и  $N-NO_3$  колориметрическим методом) в пахотном слое почвы и потребления азота растениями на протяжении вегетации.

В зерне ячменя и озимой пшеницы, зеленой массе кукурузы после уборки урожая в вариантах с КМП и МП определяли остаточное количество этих ингибиторов методом тонкослойной хроматографии на кафедре химических средств защиты растений академии.

Математическую обработку данных об урожае проводили на ЭВМ

методом дисперсионного анализа.

Ниже дается краткая характеристика погодных условий при проведении полевых опытов.

В 1987 г. распределение тепла и влаги было благоприятным для культур раннего срока уборки (в том числе ячменя). Развитие кукурузы в начале вегетации из-за прохладной и влажной погоды затянулось, однако в последующий период условия оказались довольно благоприятными для формирования урожая зеленой массы. Запасы влаги в почве к севу озимых были достаточными, что в сочетании с температурой обеспечивало хорошее состояние посевов осенью. Условия перезимовки озимых складывались нормально. Однако в начале весенней вегетации в 1988 г. стояла засушливая погода, основное количество осадков выпало во 2-й половине вегетационного периода, температура на 2,1—2,7 °C превышала норму. Август отличался теплой и влажной погодой, посев озимых произведен в благоприятных условиях. Осень была сухая, температура близка к среднеоголетней. Перезимовка озимых в 1988/89 г. протекала нормально.

Возобновление вегетации озимых весной 1989 г. проходило на фоне повышенных температур (в апреле на 3,2 °C выше нормы и запасов влаги в почве (44—48 мм). В мае сложились благоприятные условия для сева кукурузы. Теплое лето (в июне температура была на 2,5—4,6 °C выше нормы), обильные ливневые осадки в период интенсивного роста способствовали формированию урожая зеленой массы кукурузы с початками молочно-восковой спелости. В то же время жаркая и сухая погода ускорила созревание зерна озимей пшеницы и приводила к снижению его выполненности, а следовательно, и урожая.

## Результаты

В опыте 1987 г. КАС по влиянию на урожайность ячменя был равноценен другим азотным удобрениям. При урожае 53,7 ц/га в фоновом варианте прибавки в результате внесения 90N в форме КАС, мочевины, аммиачной селитры и безводного аммиака составляли 5,1—7,8 ц/га (табл. 2).

При внесении азотных удобрений содержание белка возросло на 2,5—3,8 % и проявлялась тенденция к снижению количества крахмала в зерне ячменя. Вынос азота с урожаем при использовании всех форм азотных удобрений (без ингибиторов) увеличился в 1,5—1,6 раза по сравнению с фоновым вариантом, при этом потребление растениями и соответственно использование азота КАС и безводного аммиака (62 % внесенного количества, рассчитано разностным методом) были несколько выше, чем аммиачной селитры и мочевины (50 и 54 %).

Под влиянием КМП в составе

модифицированной мочевины и применявшегося в чистом виде с КАС (в эквивалентном количестве 2 % N удобрения) урожайность ячменя возрастала соответственно на 6,4 и 7,2 ц/га, ДЦД в составе мочевины и в сочетании с КАС соответственно на 5,1 и 5,4, нитрапирина (с безводным аммиаком) — на 3,7 ц/га. Применение АТГ не приводило к достоверному повышению урожая, хотя и вызывало тенденцию к его увеличению.

Все изучавшиеся ингибиторы как в составе модифицированной мочевины, так и при сочетании с КАС тормозили нитрификацию и обеспечивали сохранение большего количества минерального азота в почве в аммонийной форме на протяжении 2 мес после посева — вплоть до фазы колошения (табл. 3). Это положительно сказалось на потреблении азота растениями (табл. 2). Коэффициенты использования азота КАС и мочевины ячменем, рассчитанные разностным методом,

Таблица 2

Урожай и качество зерна ячменя, вынос азота с урожаем и коэффициенты использования растениями азота удобрений. Опыт 1987 г.

Вариант опыта	Урожай зерна, ц/га	Содержание в зерне % к абсолютно сухому веществу		Вынос с урожаем, кг/га	Коэффициент использования азота удобрений, %
		белка	крахмала		
1 — 90P90K (фон)	53,7	8,2	70,7	107	—
2 — фон+90 N <sub>aa</sub>	60,1	10,7	66,2	152	50
3 — +90 N <sub>M</sub>	58,8	11,9	69,3	156	54
4 — +90N <sub>КАС</sub>	61,5	11,8	70,7	163	62
5 — +90N <sub>6a</sub>	60,8	12,0	67,7	168	62
6 — +90N <sub>M</sub> с КМП	65,2	11,7	68,7	175	70
7 — +90N <sub>M</sub> с АТГ	60,9	11,6	67,8	163	68
8 — +90N <sub>M</sub> с ДЦД	63,9	12,1	65,9	179	74
9 — +90N <sub>M</sub> + КМП	68,7	12,4	70,7	182	78
10 — +90N <sub>КАС</sub> + АТГ	63,5	12,5	67,7	174	69
11 — +90N <sub>КАС</sub> + ДЦД	66,9	12,5	67,4	183	79
12 — +90N <sub>6a</sub> + N-serve 24	64,5	12,1	69,0	177	72
HCP <sub>05</sub> , ц/га	2,9				
S <sub>x</sub> , %	1,7				

Таблица 3

Содержание в почве (мг/кг) N—NO<sub>3</sub> (числитель) и N—NH<sub>4</sub> (знаменатель) и сумма минерального азота. Опыт 1987 г. с ячменем

Вариант опыта*	Всходы, 18/V		Кущение, 27/V		Трубкавание, 8/VI		Колошение, 24/VI		Молочно-восковая спелость зерна, 21/VII		Уборка, 12/VIII	
1	$\frac{14,1}{2,7}$	16,8	$\frac{15,3}{3,1}$	18,4	$\frac{12,8}{2,2}$	15,0	$\frac{10,2}{4,3}$	14,5	$\frac{8,0}{2,3}$	10,3	$\frac{4,6}{2,1}$	6,7
2	$\frac{26,0}{22,0}$	48,0	$\frac{28,3}{18,6}$	46,9	$\frac{25,3}{9,9}$	35,2	$\frac{19,3}{8,6}$	27,9	$\frac{14,7}{3,1}$	17,8	$\frac{6,2}{1,9}$	8,1
3	$\frac{23,5}{21,9}$	45,4	$\frac{27,6}{25,1}$	52,7	$\frac{22,2}{17,3}$	39,5	$\frac{17,6}{8,8}$	26,5	$\frac{12,8}{4,0}$	16,8	$\frac{5,7}{2,0}$	7,7
4	$\frac{24,1}{22,5}$	46,6	$\frac{26,2}{25,5}$	51,8	$\frac{22,8}{13,7}$	36,5	$\frac{17,5}{8,0}$	25,5	$\frac{11,1}{3,3}$	14,4	$\frac{5,9}{2,0}$	7,9
5	$\frac{18,8}{27,5}$	46,3	$\frac{21,3}{23,7}$	45,0	$\frac{18,7}{19,1}$	37,8	$\frac{15,2}{13,3}$	28,5	$\frac{13,0}{3,7}$	16,7	$\frac{6,0}{2,3}$	8,4
6	$\frac{20,5}{33,5}$	54,0	$\frac{17,8}{39,2}$	57,0	$\frac{16,7}{28,1}$	44,8	$\frac{13,8}{18,6}$	32,4	$\frac{15,4}{5,4}$	20,8	$\frac{7,3}{2,5}$	9,8
7	$\frac{20,3}{30,6}$	50,9	$\frac{18,6}{35,3}$	53,9	$\frac{18,2}{24,8}$	43,0	$\frac{15,1}{15,7}$	30,8	$\frac{17,6}{4,5}$	22,1	$\frac{6,3}{3,1}$	9,4
8	$\frac{20,9}{32,3}$	53,2	$\frac{19,0}{37,2}$	56,2	$\frac{15,1}{31,0}$	46,1	$\frac{14,2}{19,8}$	34,0	$\frac{17,9}{3,7}$	21,6	$\frac{7,4}{3,5}$	10,9
9	$\frac{18,2}{35,5}$	53,7	$\frac{13,2}{44,8}$	58,0	$\frac{15,5}{30,7}$	46,2	$\frac{13,5}{15,6}$	29,1	$\frac{10,9}{5,9}$	16,8	$\frac{8,1}{1,9}$	10,0
10	$\frac{17,7}{36,0}$	53,7	$\frac{11,0}{45,5}$	56,5	$\frac{17,2}{27,0}$	44,2	$\frac{15,0}{15,3}$	30,3	$\frac{13,0}{2,5}$	15,5	$\frac{7,2}{2,4}$	9,6
11	$\frac{19,1}{37,5}$	56,6	$\frac{13,8}{45,0}$	58,8	$\frac{16,5}{27,4}$	43,9	$\frac{14,5}{17,0}$	31,5	$\frac{12,3}{3,6}$	15,8	$\frac{6,3}{3,1}$	9,4
12	$\frac{15,3}{38,9}$	54,2	$\frac{17,5}{35,1}$	52,6	$\frac{13,3}{29,1}$	42,4	$\frac{12,9}{20,9}$	33,8	$\frac{13,7}{5,2}$	18,9	$\frac{5,9}{2,9}$	8,8

\* Варианты опыта те же, что и в табл. 2.

под влиянием КМП и ДЦД возрастали на 16—20 %, АТГ — соответственно на 14 и 7 %, а азота безводного аммиака под действием N-serve 24 — на 10 % внесенного количества.

Содержание белка и крахмала в зерне ячменя под действием ингибиторов нитрификации существенно не изменялось (табл. 2).

В полевых опытах с озимой пшеницей разовое осеннее или весеннее, а также дробное (осенью и в подкормку при весеннем

кущении и трубкавании с учетом результатов растительной диагностики) внесение 150N КАС обеспечивало практически одинаковое увеличение урожая зерна: на 12,0—14,0 ц/га в опыте 1987—1988 гг. и 11,8—14,0 ц/га в 1988—1989 гг. В равной мере возрастало и содержание белка, а также сырой клейковины в зерне (табл. 4).

Внесение более умеренной нормы азота (100 кг/га) осенью повышало урожай зерна по сравнению с фоном по годам на 6,5 (16 %) )

Таблица 4

Урожай и качество зерна озимой пшеницы, вынос азота с урожаем и коэффициенты использования растениями азота КАС

Вариант опыта	Урожай зерна, ц/га		Содержание в зерне, % к абсолютно сухому веществу				Вынос с урожаем, кг/га		Коэффициенты использования азота удобрений, %	
			белка		сырой клейковины					
	1*	2*	1	2	1	2	1	2	1	2
1 — РК (фон)	40,0	28,0	10,4	10,3	22,1	22,8	84	58	—	—
2 — фон+150N осенью	53,5	40,6	13,6	12,0	27,3	25,4	155	118	47	40
3 — » +150N весной	52,0	39,8	13,5	12,2	26,9	25,9	159	115	50	38
4 — » +150N дробно	54,0	42,0	13,6	12,5	27,4	26,5	158	122	49	43
5 — » +150N**+КМП (КМП***)	56,0	45,0	13,6	12,9	27,2	20,0	168	128	56	47
6 — фон+150N+АТГ (МП)	56,0	45,0	13,6	12,9	27,2	27,3	167	130	55	48
7 — фон+150N+ДЦД (N-serve)	57,0	44,0	14,3	11,9	27,8	25,2	169	125	57	45
8 — фон+100N осенью	46,5	38,4	13,2	12,8	26,7	26,2	141	110	57	52
9 — фон+100N**+КМП (КМП)	50,5	43,5	14,4	13,1	27,7	27,3	151	125	67	67
10 — фон+100N+АТГ (МП)	50,9	45,1	13,3	12,6	26,9	26,7	149	130	65	72
11 — фон+100N+ДЦД (N-serve)	50,9	43,0	13,8	12,8	27,5	26,5	151	122	67	64
НСР <sub>05</sub> , ц/га	2,4	2,4								
S <sub>x</sub> , %	1,5	2,0								

\* 1 — 1987—1988 гг.; 2 — 1988—1989 гг.

\*\* В вариантах с ингибиторами азот внесен осенью.

\*\*\* Ингибитор без скобок — 1987—1988 гг., в скобках — 1988—1989 гг.

и 10,4 ц/га (37 %), увеличение нормы азота до 150 кг/га при всех сроках внесения оказалось оправданным только в 1987—1988 гг. (прибавка к фону 12,0—14,0 ц/га, или 30—35 %).

Применение всех изучавшихся ингибиторов нитрификации на фоне разового осеннего внесения КАС, а также N-serve 24 с безводным аммиаком (100N) позволило получить близкие прибавки урожая зерна в оба года 4,6—6,7 ц/га (или 10—12 % к соответствующему фону без ингибиторов).

При внесении 150N прибавки от ингибиторов были меньше и составляли в годы исследований 2,5—

3,5 и 3,4—4,4 ц зерна пшеницы на 1 га.

Увеличение урожая зерна под действием ингибиторов нитрификации не сопровождалось изменением содержания в нем белка и сырой клейковины (лишь в варианте с КМП на фоне 100N в 1987—1988 гг. эти показатели существенно повысились).

Анализ данных о динамике содержания минеральных соединений азота в почве под озимой пшеницей в оба года проведения опытов (табл. 5 и 6) и его потреблению растениями на протяжении вегетации в опыте 1988—1989 гг. (табл. 7) показал положительное влияние ингибиторов на режим азотного питания.

Таблица 5

Содержание в почве (мг/кг) N—NO<sub>3</sub> (числитель) и N—NH<sub>4</sub> (знаменатель) и сумма минерального азота. Опыт 1987/88 г. с озимой пшеницей

Вариант опыта*	Всходы, 11/IV	Кущение				Трубкавание, 25/V	Колошение 5/VI		Молочная спелость, 21/VI		Уборка, 20/VII	
		1/X—87 г.	10/V—88 г.									
1	17,8	15,6	12,6	12,4	10,4	6,2	3,3					
	4,1	3,1	7,5	6,4	5,4	2,0	2,1					
2	31,7	27,8	37,4	31,5	23,9	15,3	8,9					
	28,3	24,2	24,0	14,6	9,0	3,8	3,0					
3	16,5	13,0	47,9	30,8	21,7	14,2	9,2					
	5,9	5,5	25,7	20,7	7,0	4,3	3,3					
4	18,4	15,6	45,8	28,2	24,7	18,5	8,9					
	15,8	12,4	25,5	25,5	17,8	6,2	3,4					
5	25,8	22,6	33,1	27,0	19,1	17,0	10,8					
	44,3	37,5	33,7	26,5	19,6	7,7	2,8					
6	26,1	23,1	32,3	25,5	20,5	18,8	11,6					
	39,9	35,1	37,3	28,5	18,5	4,7	2,5					
7	28,0	21,2	32,8	26,0	19,6	17,5	9,9					
	40,0	38,7	36,1	26,5	17,7	8,0	2,9					
8	26,1	23,5	29,1	24,1	24,1	15,2	7,6					
	21,1	17,3	20,0	15,8	4,2	4,8	2,2					
9	20,2	16,4	23,0	20,7	21,7	13,5	8,0					
	31,7	29,8	30,6	25,5	10,7	9,2	2,6					
10	23,9	17,9	24,7	20,5	21,3	14,4	7,7					
	29,9	27,1	30,3	25,4	9,7	6,9	3,2					
11	22,4	16,0	24,1	21,8	21,8	14,6	8,1					
	28,3	28,4	31,8	24,1	9,8	9,5	2,9					

\* Варианты опыта те же, что и в табл. 4.

В вариантах с ингибиторами нитрификации к периоду весеннего кущения и трубкавания пшеницы сохранялось большее количество минерального азота в почве и возросло потребление этого элемента растениями.

При внесении ингибитора на фоне 100N вынос азота с урожаем и, следовательно, рассчитанные разностным методом коэффициенты использования пшеницей азота КАС в 1987—1988 гг. увеличивались на 8—10 %, в 1988—1989 гг. — на 12—20 %, а на фоне 150N соответственно на 8—10 и 5—7 % к весеннему количеству (табл. 4).

В полевых опытах 1987 и 1989 гг. с кукурузой при внесении КАС до посева сбор зеленой массы в вариантах 120N и 180N увеличивался соответственно на 45—46 и 58—65 % по отношению к фону. Дробное применение КАС (120N до посева и 60N в подкормку в фазу 3 листьев) не имело преимуществ перед разовым допосевным внесением полной нормы (табл. 8).

При использовании ингибиторов нитрификации АТГ, ДЦД (в 1987 г.) и МП (в 1988 г.) на фоне 120N в форме КАС прибавки урожая составили 56—62 и 68—79 ц/га (или 10—12 % по отношению к фо-

Таблица 6

Содержание в почве (мг/кг)  $N-NO_3$  (числитель) и  $N-NH_4$  (знаменатель) и сумма минерального азота. Опыт 1988/89 г. с озимой пшеницей

Вариант опыта*	Всходы, 6/IX—88 г.	Кущение		Трубкавание, 17/V	Колошение — цветение, 5/VI	Молочная спелость, 26/VI	Уборка, 16/VII	
		20/IX—88 г.	26/IV—89 г.					
1	13,1	16,2	18,2	18,5	13,2	15,2	7,4	3,4
	3,1		4,4	2,2	6,0		4,9	4,4
2	48,0	69,1	36,8	34,5	29,5	31,0	12,5	5,9
	21,1		25,4	21,9	16,1		7,5	6,5
3	14,7	18,4	16,7	18,4	26,1	30,3	13,0	6,9
	3,7		7,2	2,9	13,2		6,1	7,8
4	26,1	40,8	22,6	28,5	24,2	22,5	11,8	6,3
	14,7		16,0	11,5	10,1		6,4	7,9
5	37,1	75,6	30,7	28,5	21,6	34,6	12,8	8,5
	38,5		36,8	33,9	30,0		16,0	10,2
6	36,1	76,2	31,9	28,3	20,7	33,9	13,2	10,1
	40,1		37,8	36,1	30,0		14,7	10,6
7	39,5	74,2	30,5	29,4	20,3	32,6	13,6	9,3
	34,7		38,7	32,6	30,6		12,0	8,0
8	31,9	55,0	30,4	26,2	21,0	22,2	10,8	4,9
	23,1		17,3	15,3	10,0		6,9	4,5
9	22,6	64,0	26,3	22,4	17,5	25,2	11,8	8,1
	41,4		27,7	22,8	21,7		13,0	7,6
10	19,7	62,6	25,4	21,6	17,0	26,3	11,9	8,9
	42,9		30,9	25,0	22,6		14,4	8,4
11	24,8	60,5	26,9	22,3	17,5	24,1	12,1	6,7
	2,8		26,1	22,4	20,6		11,4	7,0

\* Варианты опыта те же, что и в табл. 4.

ну). В варианте с более высокой нормой азота проявлялась лишь тенденция к повышению урожая зеленой массы кукурузы под действием ингибиторов. Эти изменения в урожае, как показали результаты изучения динамики содержания минеральных соединений азота в почве под кукурузой (табл. 9 и 10) и потребления азота растениями (табл. 11), связаны с сохранением в почве в аммонийной форме значительно большего количества внесенного с КАС и минерализованного почвенного азота вследствие тормо-

жения ингибиторами процесса нитрификации до периода интенсивного накопления сухого вещества и потребления азота кукурузой, а также с усилением азотного питания растений. Коэффициенты использования азота удобрений, рассчитанные разностным методом, возрастали под действием ингибиторов нитрификации на фоне 120N по годам проведения опытов на 12—19 и 12—20 % к внесенному количеству, а на фоне 180N — соответственно на 16—22 и 4—10 % (табл. 8). Особенно благоприятно сказывались на

Таблица 7

Содержание азота в растениях (числитель — % к абсолютно сухому веществу) и его потребление озимой пшеницей (знаменатель — кг/га). Опыт 1988/89 г.

Вариант опыта*	Кущение, 26/IV—89 г.	Трубкавание, 17/V	Колошение — цветение, 5/VI	Молочная спелость, 26/VI	Вывос азота с урожаем зерна и соломой (в скобках), кг/га
1	3,92	2,49	2,38	1,04	47 (11)
	17	20	47	50	
2	6,20	3,03	2,46	1,19	86 (32)
	25	36	78	84	
3	3,91	3,90	2,64	1,26	83 (32)
	20	35	74	84	
4	6,65	3,72	3,14	1,40	88 (34)
	21	49	92	95	
5	6,20	3,59	2,59	1,33	90 (38)
	25	46	93	105	
6	6,26	3,44	2,63	1,38	93 (37)
	28	49	96	108	
7	6,64	3,64	2,64	1,33	89 (36)
	28	47	92	103	
8	5,82	3,14	2,46	1,27	83 (27)
	20	39	71	80	
9	6,10	3,54	2,73	1,55	92 (33)
	23	56	90	104	
10	5,93	3,26	2,84	1,51	94 (36)
	26	50	94	106	
11	6,12	3,21	2,84	1,37	93 (30)
	27	49	89	101	

\* Варианты опыта те же, что и в табл. 6.

формировании урожая зеленой массы при умеренном уровне азотного питания, т. е. на фоне меньшей из испытывавшихся норм КАС, снижение потерь и повышение использования азота удобрения и почвы кукурузой за счет применения ингибиторов.

Улучшение азотного питания кукурузы при внесении КАС и ингибиторов нитрификации обеспечивало повышение содержания сырого белка в растениях при одновременном уменьшении количества клет-

чатки, при этом концентрация нитратов в зеленой массе была значительно ниже ПДК (проявлялась тенденция к ее снижению в вариантах с ингибиторами).

Другие (помимо отмечавшихся ранее) изменения в химическом составе растений, структуре урожая опытных культур в результате применения ингибиторов нитрификации имели ту же направленность, что и наблюдавшиеся при повышении нормы азота. Улучшение азотного питания растений и формирование

Таблица 8

Урожай и качество зеленой массы кукурузы, вынос азота с урожаем и коэффициенты использования растениями азота удобрений

Вариант опыта	Урожай, ц/га		Содержание в растениях				Вынос азота с урожаем, кг/га		Кoeffи- циенты использо- вания азота удобрений, % к внесе- нному	
			сухого вещества, %		нитратов, мг на 1 кг сырой массы					
	1*	2*	1	2	1	2	1	2	1	2
1 — фон**	382	440	13,8	21,2	11	31	88	106	—	—
2 — фон + 180N до посева	632	705	14,9	23,4	69	69	166	211	43	59
3 — » + 180N дробно	629	696	16,5	22,9	52	61	191	219	57	63
4 — » + 180N + КМП (КМП)***	674	750	15,6	23,9	62	49	212	234	69	71
5 — » + 180N + АТГ (АТГ)	665	759	14,9	23,8	53	49	205	226	65	67
6 — » + 180N + ДЦД (МП)	672	747	14,9	23,8	77	25	207	230	66	69
7 — » + 120N до посева	558	638	13,8	22,6	97	98	129	183	51	63
8 — » + 120N + КМП (КМП)	616	706	15,9	23,1	93	62	172	202	70	80
9 — » + 120N + АТГ (АТГ)	614	717	15,6	23,3	63	49	166	205	65	83
10 — » + 120N + ДЦД (МП)	620	710	14,3	23,0	75	39	163	196	63	75
НСР <sub>05</sub> ц/га	52	58								
S <sub>x</sub> , %	2,9	2,8								

\* 1 — 1987 г., 2 — 1989 г.

\*\* Фон — 60 т навоза под предшественник, 90P120K — в 1987 г., 120P120K — в 1989 г.

\*\*\* Здесь и в последующих вариантах ингибитор нитрификации, внесенный в 1987 г. (без скобок), в 1989 г. (в скобках) по фону КАС в дозе 180 до посева.

большой биомассе под действием ингибиторов нитрификации сопровождались увеличением выноса с урожаем не только азота, но и фосфора, калия и кальция. При этом, как правило, концентрация фосфора и калия в ячмене и озимой пшенице в вариантах с ингибиторами нитрификации не изменялась или несколько возрастала, а в кукурузе при довольно стабильной концентрации фосфора относительное содержание калия на фоне 120N существенно возрастало (несмотря на более высокие прибавки урожая от ингибиторов), а на фоне 180N — снижалось. Следует отметить, что увеличение абсолютной дозы ингибиторов нитрификации при больших нормах КАС (ингибиторы вносили из расчета к внесенному азоту

удобрения) не приводило к возрастанию степени и продолжительности торможения нитрификации в почве (табл. 5, 6, 9 и 10).

Наконец, необходимо подчеркнуть, что даже при наибольших абсолютных дозах КМП и МП (3 и 3,6 кг д. в/га) в зерне ячменя и озимой пшеницы, а также зеленой массе кукурузы при учете урожая не обнаружено остатков этих ингибиторов. Предел обнаружения КМП и МП применявшимся методом составлял соответственно 0,08 и 0,04 мг на 1 кг сухого вещества, что касается других изучавшихся ингибиторов нитрификации, то уже накоплен значительный экспериментальный материал, свидетельствующий о безвредности их применения в рекомендуемых дозах [6, 13].

Таблица 9

Содержание в почве (мг/кг) N—NO<sub>3</sub> (числитель) и N—NH<sub>4</sub> (знаменатель) и сумма минерального азота. Опыт 1987 г. с кукурузой

Вариант опыта*	3 листа, 15/VI		7 листьев, 2/VII		11 листьев, 24/VII		Выметывание, 13/VIII		Уборка, 27/VIII	
1	15,8	26,5	13,5	23,6	12,3	20,3	11,6	14,6	2,9	4,0
	9,7		10,1		8,0		3,0		1,1	
2	44,3	72,2	40,8	67,3	24,9	43,9	18,3	25,9	6,3	7,8
	27,9		26,5		19,0		7,6		1,5	
3	34,0	55,6	37,9	68,8	31,5	50,9	17,6	30,6	7,9	9,6
	21,6		30,9		19,4		13,0		1,7	
4	37,2	87,2	37,3	77,4	28,3	48,3	17,9	31,2	9,9	12,2
	50,0		40,1		20,0		13,3		2,3	
5	35,7	88,3	33,9	77,1	28,0	52,2	22,3	33,9	9,7	13,7
	52,6		43,2		24,2		11,6		4,0	
6	32,9	91,3	36,0	82,0	29,1	51,0	19,2	32,7	9,8	13,1
	58,4		46,0		21,9		13,5		2,3	
7	38,0	61,6	32,9	56,1	25,5	55,5	14,6	24,4	4,8	6,9
	23,6		23,2		30,0		9,8		2,1	
8	33,2	82,2	23,3	65,5	18,7	42,7	15,1	27,6	8,2	10,3
	49,0		32,2		24,0		12,5		2,1	
9	34,8	82,3	23,9	64,0	19,6	43,8	15,8	26,7	8,6	11,5
	47,5		40,1		24,2		10,9		2,9	
10	34,7	78,9	26,9	69,3	19,5	41,7	15,0	28,8	7,9	10,6
	44,2		42,4		22,2		13,8		2,7	

\* Варианты опыта те же, что и в табл. 8.

Таблица 10

Содержание в почве (мг/кг) N—NO<sub>3</sub> (числитель) и N—NH<sub>4</sub> (знаменатель) и сумма минерального азота. Опыт 1989 г. с кукурузой

Вариант опыта*	Всходы, 29/V		3 листа, 7/VI		7 листьев, 29/VI		11 листьев, 13/VII		Выметывание метелки, 12/VIII		Уборка, 30/VIII	
1	15,6	22,6	20,9	29,2	13,5	23,8	14,2	20,1	11,0	16,0	4,5	6,4
	7,0		6,3		10,3		5,9		5,0		1,9	
2	39,5	65,8	45,5	68,9	42,0	64,3	38,2	44,7	16,5	20,8	5,8	8,0
	26,3		23,4		22,3		6,5		4,3		2,2	
3	33,4	53,2	39,4	57,0	35,2	62,5	27,6	39,1	19,4	22,0	4,4	6,6
	19,8		17,6		27,3		11,5		2,6		2,2	
4	32,5	76,0	40,9	83,9	36,0	79,7	33,0	54,6	22,3	35,8	13,5	15,4
	43,5		43,0		43,7		31,6		13,5		1,9	
5	33,0	78,0	40,2	84,1	35,9	75,6	32,3	56,5	24,2	36,7	12,4	14,6
	45,0		43,9		39,7		24,2		12,6		2,2	
6	34,1	76,6	41,5	85,7	37,0	76,3	33,9	48,2	20,4	32,1	10,9	14,2
	42,5		44,2		39,3		14,3		11,7		3,3	

Вариант опыта*	Всходы, 29/V		3 листа, 7/VI		7 листьев, 29/VI		11 листьев, 13/VII		Выметывание метелки, 12/VIII		Уборка, 30/VIII	
7	34,3	50,4	40,0	54,7	35,6	51,7	30,3	38,3	14,0	17,5	5,8	7,5
	16,1		14,7		16,1		8,0		13,5		1,7	
8	26,2	73,2	34,9	80,7	31,7	69,2	24,9	49,5	20,6	31,8	16,5	18,2
	47,0		45,8		37,5		24,6		11,2		1,7	
9	25,2	69,6	32,3	80,0	29,5	69,4	23,9	51,2	19,7	32,4	14,7	16,5
	44,4		47,4		39,9		27,3		12,7		1,8	
10	25,9	74,6	35,5	83,3	32,8	71,8	25,3	49,1	18,1	28,1	11,8	14,8
	48,7		47,8		39,0		23,8		10,0		3,0	

\* Варианты те же, что и в табл. 8.

## Выводы

Т а б л и ц а 11  
Содержание азота в растениях (числитель — % к абсолютно сухому веществу) и его потребление кукурузой (знаменатель — кг/га). Опыт 1989 г.

Вариант опыта*	3 листа, 15/VI	7 листьев, 2/VII	11 листьев, 24/VII	Выметывание метелки, 13/VIII	Уборка, 27/VIII
1	3,75	3,35	2,65	1,81	1,14
	0,37	5,7	55	83	106
2	3,95	3,84	3,84	2,41	1,28
	0,68	8,1	117	169	211
3	3,75	3,46	3,63	2,45	1,38
	0,55	6,9	120	181	219
4	4,49	3,84	3,47	2,22	1,31
	0,67	7,0	128	191	234
5	4,48	3,81	3,29	2,21	1,25
	0,67	7,3	128	197	226
6	4,44	3,66	3,63	2,19	1,29
	0,62	7,5	134	199	230
7	4,05	3,66	3,32	2,01	1,27
	0,57	6,9	90	133	183
8	3,89	3,75	3,28	1,97	1,24
	0,54	7,5	103	154	202
9	4,42	3,78	3,16	1,93	1,23
	0,57	7,1	102	153	205
10	3,57	3,59	3,38	2,02	1,20
	0,50	7,7	102	159	196

\* Варианты опыта те же, что и в табл. 8.

1. В полевых опытах 1987—1989 гг. применение ингибиторов нитрификации повышало эффективность КАС и использование азота удобрения ячменем, озимой пшеницей и кукурузой, выращивавшихся по интенсивной технологии на среднесуглинистых серых лесных почвах Тульской области.

2. Новые ингибиторы нитрификации КМП и МП по влиянию на трансформацию в почве азота удобрений, азотное питание растений, урожай, химический состав и качество продукции не уступали нитрапирину, ДЦД и АТГ.

3. КАС по действию на урожай равноценен традиционным формам твердых азотных удобрений (мочевине и аммиачной селитре) и безводному аммиаку. Для снижения потерь и повышения эффективности азота КАС целесообразно применять ингибиторы нитрификации, пригодные для совместного внесения с удобрениями и другими средствами химизации, в виде баковой смеси.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алейнов Д. П., Стрижевский И. И. Растворы, содержащие карбамид и ам-

миачную селитру — новое высокоэффективное удобрение.— Журн. Всесоюз. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева, 1983, т. XXVIII, с. 59—65.— 2. Горелик Л. А., Выволокина А. Г., Переpravо В. В. и др. Ингибиторы нитрификации на основе 3(5)-метилпиразола.— Агрохимия, 1988, № 11, с. 18—25.— 3. Горелик Л. А., Янишевский Ф. В., Подколзина Г. В. и др. Эффективность ингибитора нитрификации 1-карбамоил-3(5)-метилпиразола в полевых опытах геосети НИУИФ.— Агрохимия, 1989, № 10, с. 16—26.— 4. Кореньков Д. А. Агрохимия азотных удобрений.— М.: Наука, 1976.— 5. Кореньков Д. А., Капцынель Ю. М., Синдяшкина Р. И. и др. Эффективность жидких минеральных удобрений в сельском хозяйстве.— Агрохимия, 1989, № 9, с. 119—138.— 6. Муравин Э. А. Ингибиторы нитрификации.— М.: Агропромиздат, 1989.— 7. Рекомендации по изучению эффективности перспективных ингибиторов нитрификации (1-карбамоил-3(5)-метилпиразола-КМП, дicyандиамида, аминотриазола-АТГ) в лабораторных, вегетационных и полевых опытах.— М.: МСХ СССР, 1985.—

8. Рекомендации по производственному испытанию ингибиторов нитрификации типа нитрапирина.— М.: МСХ СССР, 1981.— 9. Смирнов П. М. Вопросы агрохимии азота (в исследованиях  $^{15}\text{N}$ ).— М.: ТСХА, 1982.— 10. Смирнов П. М., Муравин Э. А., Базилевич С. Д. и др. Основные результаты изучения и перспективы применения ингибиторов нитрификации для повышения эффективности азотных удобрений.— Агрохимия, 1981, № 12, с. 3—7.— 11. Янишевский Ф. В. Задачи совершенствования ассортимента азотных удобрений.— Вестник с.-х. науки, 1984, № 5, с. 26—33.— 12. Янишевский Ф. В., Блюм Б. Г., Выволокина А. Г. и др. Сравнительная эффективность 1-карбамоил-3(5)-метилпиразола и других ингибиторов нитрификации.— Агрохимия, 1985, № 3, с. 18—25.— 13. Янишевский Ф. В., Горелик Л. А., Муравин Э. А. и др. Агрохимическая эффективность нового ингибитора нитрификации 1-карбамоил-3(5)-метилпиразола.— М.: НИИТЭХИМ.

Статья поступила 20 июля 1990 г.

## SUMMARY

In field experiments the effect of nitrification inhibitors on KAS, urea and anhydrous ammonia efficiency with growing barley, winter wheat and corn for green mass on medium loamy grey forest soil was studied. Application of inhibitors provided retardation of nitrification in the soil during 2 months, higher nitrogen consumption by plants and increase in yield. New nitrification inhibitors (KMP and MP) were not worse than nitrapirine, dicyandiamid and ATG as to their effect on nitrogen transformation in the soil and on efficiency of nitrogenous fertilizers.