УДК 635.35:631.811:631:821:546.77

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦВЕТНОЙ КАПУСТОЙ АЗОТА ПОЧВЫ И УДОБРЕНИЯ, БАЛАНС АММОНИЙНОГО И НИТРАТНОГО АЗОТА АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ ПРИ ИЗВЕСТКОВАНИИ И ВНЕСЕНИИ МОЛИБДЕНА

Э. А. МУРАВИН, Т. Л. ЖИГАРЕВА, И. В. ВЕРНИЧЕНКО

(Кафедра агрономической и биологической химии)

Одной из важнейших сторон многофакторного положительного действия известкования на свойства кислых почв и возделываемые растения является усиление минерализации органического азота почвы и улучшение азотного питания сельскохозяйственных культур [1, 8, 9, 16]. Опыты с ^{15}N показали, что под влиянием известкования меняется соотношение между процессами иммобилизации и мобилизации азота в почве в сторону преобладания последнего, значительно увеличиваются усвоение растениями азота почвы и доля почвенного азота в общем выносе этого элемента урожаем. В то же время сложилось представление о том, что известкование незначительно сказывается на использовании растениями азота удобрений. Действительно, в опытах с овсом и райграсом, менее чувствительными к кислотности почвы, коэффициенты использования меченного ^{15}N азота удобрений при известковании кислых дерново-подзолистых почв практически не изменялись [3, 9, 13—19]. Однако в опытах с более чувствительной к кислотности зерновой культурой — ячменем — известкование кислых почв не только улучшало усвоение растениями почвенного азота, но и в определенной степени повышало (на 3—10 % внесенного количества) использование меченного ^{15}N азота [15—17, 20]. В связи с этим представлялось целесообразным изучить влияние известкования кислых почв на использование азота удобрений культурой, требовательной к реакции среды и не переносящей повышенной кислотности.

К таким культурам из числа овощных относится цветная капуста, являющаяся также прекрасным объектом для изучения роли молибдена в азотном питании растений [6, 21]. Цветная капуста исключительно требовательна к условиям азотного питания и отзывчива на применение азотных удобрений. Как и другие растения из семейства капустных, она быстро реагирует на изменение уровня азотного питания. Оптимальный интервал реакции почв для большинства ее сортов близок к нейтральному значению pH. В связи с этим известкование является необходимым условием при выращивании цветной капусты на кислых почвах [7, 12].

Обеспеченность молибденом является одним из факторов, определяющих ценность нитратного и аммонийного азота для растений [10—14]. Содержание доступного молибдена в почве влияет на уровень ее микробиологической активности и на азотный режим. Общеизвестна роль молибдена в процессах ассимиляции молекулярного азота атмосферы свободноживущими почвенными и симбиотическими азотфиксаторами. Увеличение численности ризосферной микрофлоры, повышение микробиологической активности в почве под действием молибдена вызывают усиление мобилизации почвенного азота и его нитрификации [2, 5, 10, 21 и др.]. В то же время, поскольку молибден входит в состав дыхательной нитратредуктазы, его наличие в почве в доступной форме может сказываться также на численности и активности денитрификаторов [10, 21].

При известковании кислых почв подвижность и доступность растениям почвенного молибдена возрастает, что может привести к снижению положительного действия молибденовых удобрений на урожай менее требовательных к этому микроэлементу сельскохозяйственных культур. Однако и на известкованных дерново-подзолистых, а также серых лесных почвах сохраняется положительное действие молибдена на высоту и качество урожая требовательных к этому микроэлементу бобовых и многих овощных культур, особенно при ограниченных его запасах в почвах [1, 5, 13, 14, 21].

При известковании снижаются потери азота почвы и внесенных удобрений за счет хемоденитрификации, но в определенных условиях могут увеличиться численность денитрификаторов [4, 9, 16—18], а следовательно, и газообразные потери азота в результате биологической денитрификации.

В настоящей работе обобщаются результаты исследований, выполненных на кафедре агрономической и биологической химии ТСХА в 1969—1973 гг., по определению ценности различных источников азота для цветной капусты при известковании кислых почв и внесении молибдена, а также (с применением ^{15}N) влияния этих факторов на использование растениями азота почвы и удобрений, баланс нитратного и аммонийного азота аммиачной селитры.

Условия и методика исследований

Для проведения вегетационных опытов использовали кислые дерново-подзолистые почвы с невысоким содержанием подвижных форм молибдена (табл. 1).

Самый низкий уровень известкования — внесение $CaCO_3$ из расчета по 1/4 гидролитической кислотности, что позволило обеспечить минимальные требования цветной капусты к реакции среды и в то же время сохранить относительно высокую отзывчивость растений на повышение нормы известкования (до $1H_г$) и внесение молибдена.

Азотные удобрения в форме сульфата аммония ($N_а$), аммиачной ($N_{аа}$) и кальциевой ($N_{скц}$) селитры вносили в почву перед высадкой рассады цветной капусты 30—35-дневного возраста по фону фосфора, калия, магния и микроэлементов B, Zn, и Mn в рекомендуемых дозах [7, 22]. Молибден в соответствующих вариантах опытов вносили в форме молибдата аммония из расчета 1 мг на 1 кг почвы. В опытах 2, 3, 5 и 6 использовали меченую отдельно в аммонийной и нитратной форме аммиачную селитру. Рассаду выращивали в торфо-перегнойных горшочках и высаживали в сосуды после тщательной отмывки корней.

Повторность опытов при учете урожая 4—6-кратная, при промежуточных учетах 2-кратная. В опытах с меченой аммиачной селитрой в одной половине сосудов метка в нитратной, а в другой половине в аммонийной группе.

Содержание общего азота в почве и растениях (после сжигания с фенолсерной кислотой), а также нитратного (после восстановления по Ульшу) и амонийного азота в вытяжке 0,1 н. KCl из почвы определяли по методу Кьельдаля.

Изотопный анализ азота в растительных и почвенных образцах из сосудов с меченой аммиачной селитрой проводили после соответствующей подготовки проб на масс-спектрометре МИ-1315.

Таблица 1

Агрохимическая характеристика почв

Год проведения опыта	Номер опыта	Гумус, %	pH_{KCl}	$H_г$	S	T	V, %	P_2O_5 по Кирсанову	K_2O по Пейве	Mo по Григу, мг/кг
				мг·экв/100 г				мг/100 г		
1969	1,2	1,36	4,5	5,3	8,4	13,7	61,0	3,8	7,4	0,04
1970	3	1,24	4,2	6,0	5,3	11,3	47,0	4,3	8,0	0,03
1971	4,5	1,53	4,3	4,3	7,1	11,4	59,1	11,3	15,1	0,08
1973	6	1,34	4,2	3,8	4,1	7,9	51,4	3,4	7,3	0,05

Результаты исследований

В вариантах без азотных удобрений цветная капуста уже через несколько дней после высадки испытывала явный недостаток азота — рост растений резко замедлялся, у них образовывалась мелкая розетка бледно-зеленых с лиловым оттенком листьев, располагавшихся под острым углом к стеблю. Особенно сильно угнетался рост на фоне известкования по 1/4 гидролитической кислотности. В этом случае страдание растений от дефицита азота усугублялось неблагоприятной реакцией среды и недостатком доступного молибдена в почве. У растений наряду с симптомами азотной недостаточности проявлялись и внешние признаки молибденового голодания, описанные ранее [10]. Образование мелких рыхлых головок начиналось уже через 10—15 дней после высадки рассады, а у отдельных растений, особенно в опыте 4 при более позднем (летнем) сроке высадки, из-за отмирания главного стебля головки вообще не сформировались или были недоразвиты вследствие нарушения дифференциации конуса нарастания и ветвления генеративных побегов. На известкованной по полной гидролитической кислотности дерново-подзолистой почве состояние растений было лучше, у них отсутствовали специфические признаки страдания от недостатка молибдена, но дефицит азота, несмотря на усиление мобилизации почвенного азота, сильно ограничивал рост и развитие цветной капусты.

Применение молибдена без азотных удобрений существенно не сказалось на урожае цветной капусты. Под действием молибдена повышалось усвоение растениями азота почвы (табл. 2), однако дополнительное (по отношению к фону РК) его использование было слишком незначительно для обеспечения нормального азотного питания и приводило лишь к увеличению относительного содержания азота в растениях.

При внесении азотных удобрений заметно улучшились рост и развитие растений, что и определило повышение урожая цветной капусты. Возросло также относительное содержание азота в вегетативных органах и в головках.

Эффективность азотных удобрений зависела от нормы известкования и внесения молибдена. На фоне известкования по 1/4 $Н_г$ сульфат аммония оказался менее благоприятным источником азота для цветной капусты, чем кальциевая и аммиачная селитры, очевидно, вследствие ухудшения поглощения аммонийного азота растениями при повышенной концентрации ионов водорода. В то же время из-за недостатка доступного молибдена в почве ограничивалось использование цветной капустой нитратного азота удобрений. В вариантах с кальциевой селитрой без молибдена у растений в первый период после высадки рассады появлялись симптомы азотного, а в дальнейшем и молибденового голодания. Ранее нами было показано [10—14], что у цветной капусты появлению специфических морфологических изменений вследствие молибденовой недостаточности предшествуют серьезные нарушения в азотном обмене — резко тормозится редукция нитратов, которые в больших количествах накапливаются в тканях растений, замедляется синтез органических соединений азота (аминокислот, амидов и, наконец, белка).

При снабжении растений аммонийным (сульфат аммония), а также одновременно аммонийным и нитратным азотом (аммиачная селитра) явных симптомов молибденовой недостаточности у цветной капусты не наблюдалось. Однако в данном случае, как и при внесении кальциевой селитры, в результате применения молибдена на фоне известкования по 1/4 $Н_г$ значительно усилился рост цветной капусты и повысился урожай. Это являлось следствием улучшения азотного питания растений, о чем свидетельствуют данные о выносе ими азота, и обус-

Таблица 2

Урожай цветной капусты (г на растение) и содержание азота (% на сухое вещество) в растениях (числитель — головка, знаменатель — вегетативные органы) при известковании

Вариант опыта		По 1/4 $H_г$			По 1 $H_г$		
форма азота*	внесение Mo	сырая масса	сухое вещество	содержание N	сырая масса	сухое вещество	содержание N
Опыт 1							
Без N	—	26 / 28	2,7 / 5,0	2,40 / 1,51	30 / 53	3,4 / 8,7	2,54 / 1,67
	+	23	2,6	2,71	30	3,2	2,83
$N_{скц}$	—	65 / 159	8,1 / 29,1	3,28 / 2,43	102 / 191	12,2 / 32,7	3,22 / 2,52
	+	98 / 181	11,0 / 30,5	2,58 / 2,64	133 / 219	15,4 / 35,9	3,27 / 2,60
$N_{аа}$	—	62 / 177	7,4 / 30,1	3,30 / 2,50	129 / 197	15,4 / 32,1	3,29 / 2,48
	+	87 / 196	11,2 / 32,4	3,51 / 2,71	159 / 230	18,3 / 36,6	3,29 / 2,47
$N_а$	—	46 / 139	6,5 / 24,4	3,27 / 2,40	115 / 190	13,0 / 30,4	3,32 / 2,43
	+	66 / 143	8,7 / 24,2	3,31 / 2,56	139 / 199	15,0 / 31,4	3,31 / 2,50
$НСР_{05}$		1,27 / 1,10				0,91 / 1,99	
Опыт 4							
Без N	—	8 / 32	0,8 / 6,5	2,62 / 1,39	13 / 61	1,6 / 11,5	2,46 / 1,42
	+	9 / 36	1,0 / 7,1	2,61 / 1,50	15 / 58	1,8 / 10,4	2,65 / 1,48
$N_{скц}$	—	60 / 164	9,8 / 27,5	2,70 / 1,48	75 / 165	9,6 / 32,8	2,68 / 1,70
	+	69 / 176	12,1 / 28,3	2,80 / 2,02	85 / 182	12,0 / 33,2	2,85 / 1,80
$N_{аа}$	—	52 / 176	7,1 / 32,7	2,76 / 1,65	84 / 166	10,1 / 32,1	2,72 / 1,80
	+	64 / 194	9,8 / 35,7	2,70 / 1,75	94 / 159	12,1 / 29,8	3,06 / 1,80
$N_а$	—	47 / 186	6,2 / 36,2	2,75 / 1,70	79 / 196	8,9 / 36,7	2,63 / 1,60
	+	62 / 203	8,9 / 38,0	2,40 / 1,92	87 / 208	10,1 / 35,8	2,60 / 1,72
$НСР_{05}$			0,94 / 2,05			1,18 / 1,99	

* Доза азота в опыте 1—1100 мг на сосуд емкостью 5,5 кг почвы, в опыте 4—700 мг на сосуд емкостью 7 кг.

ловлено в первую очередь той ролью, которую играет молибден в процессе редукции нитратов. Под действием молибдена, по-видимому, повышалась ассимиляция растениями не только нитратного азота удобрений, но и нитратов, образующихся при нитрификации аммонийного азота удобрений (даже при кислой реакции аммонийный азот, внесенный перед высадкой рассады, к моменту наибольшего потребления азота цветной капустой нитрифицировался в почве), и азота почвы (мобилизация которого при внесении азотных удобрений возрастала).

С увеличением нормы известкования эффективность азотных удобрений повышалась, при этом сглаживались различия между отдельными их формами, возрастали размеры потребления и продуктивность использования азота на формирование урожая. Аммиачная селитра в рассматриваемом случае имела определенное преимущество перед кальциевой селитрой и сульфатом аммония. Хотя при снижении кислотности подвижность и доступность растениям почвенного молибдена повышались, высокая отзывчивость цветной капусты на внесение молибдена сохранялась, особенно при удобрении селитрами и на известкованных по полной гидролитической кислотности почвах.

В исследованиях с меченной ^{15}N аммиачной селитрой ставилась задача проследить за действием известкования и молибдена на превращение азота удобрений в почве, использование цветной капустой азота почвы и удобрения, а также количественно оценить влияние этих факторов на баланс азота удобрений.

Наиболее сильное положительное действие аммиачной селитры на урожай цветной капусты проявлялось на фоне известкования по 1 $Н_г$, особенно в сочетании с молибденом. При известковании кислой дерново-подзолистой почвы по 1/4 $Н_г$ аммиачная селитра оказалась менее эффективной. Так, масса головок цветной капусты в вариантах с аммиачной селитрой без молибдена на фоне известкования по 1/4 $Н_г$ в опытах 2 и 5 была в 2,2 и 1,4 раза меньше, а при внесении азота в сочетании с молибденом в обоих опытах — в 1,6 раза меньше, чем при известковании почвы по 1 $Н_г$. Существенно различались масса вегетативных органов растений соответствующих вариантов и общие размеры потребления азота цветной капустой, что также связано с кислотностью почвы (табл. 3).

С увеличением нормы известкования значительно возрастали не только мобилизация почвенного азота под влиянием азотных удобрений и усвоение экстра-азота растениями (в опытах 2 и 5 вынос азота почвы с урожаем повысился соответственно в 1,7 и 1,5 раза), но и использование ими меченого азота удобрений.

Внесение молибдена обеспечивало лучшее усвоение растениями азота удобрения и почвы, но по мере повышения нормы извести этот эффект снижался. В среднем по опытам общее потребление азота цветной капустой при внесении молибдена в вариантах с аммиачной селитрой на фоне известкования по 1/4 $Н_г$ увеличивалось на 30 %, а по 1 $Н_г$ — на 16 %, в том числе использование азота почвы — соответственно на 52 и 23 % (табл. 3).

При внесении аммиачной селитры доля азота почвы в общем его выносе цветной капустой в зависимости от действия изучавшихся факторов колебалась от 37 до 54 %, при этом в опыте 2 более четко прослеживалось увеличение доли почвенного азота под влиянием молибдена, а в опыте 5 — в результате повышения нормы известкования (табл. 3).

Для цветной капусты, как уже отмечалось, характерен медленный темп накопления сухого вещества и потребления азота в начальный период роста. За первые 25 дней после высадки растения потребляли всего около 15 % азота от общего выноса с урожаем. В это время ими в значительно большей степени использовался азот удобрения, чем азот

Таблица 3

Урожай цветной капусты и использование растениями азота почвы и аммиачной селитры (числитель — головка, знаменатель — вегетативные органы)

Вариант опыта *	Сырая масса (г на растение)	Сухое вещество (г на растение)	Содержание общего N, % на сухое вещество	Использовано азота, мг на растение: всего	из почвы	из удобрения
Опыт 2						
Известкование по $^1/_4$ $H_г$						
PK	28 / 28	2,9 / 4,3	1,79 / 1,30	114	114	—
PK + Mo	27 / 24	2,6 / 3,7	2,50 / 1,82	138	138	—
NPK	33 / 68	3,4 / 9,0	3,46 / 2,38	326	136	190
NPK + Mo	62 / 71	6,0 / 9,6	3,55 / 2,93	505	270	335
$НСР_{05}$		0,76 / 0,49				
По 1 $H_г$						
PK	19 / 38	2,1 / 5,4	229 / 1,45	139	139	—
PK + Mo	23 / 41	2,1 / 5,4	270 / 2,00	172	172	—
NPK	71 / 84	7,4 / 11,9	3,21 / 2,52	548	232	316
NPK + Mo	103 / 92	9,7 / 12,6	3,34 / 2,80	683	336	347
$НСР_{05}$		0,66 / 0,76				
Опыт 3 (по $^1/_4$ $H_г$)						
PK	22 / 18	2,1 / 2,5	2,61 / 1,40	95	95	—
PK + Mo	28 / 23	2,7 / 3,1	2,81 / 1,69	132	132	—
NPK	44 / 32	4,8 / 4,1	3,29 / 2,59	278	113	165
NPK + Mo	58 / 37	6,1 / 5,0	3,40 / 2,84	365	155	210
$НСР_{05}$		0,72 / 0,51				
Опыт 5						
По $^1/_4$ $H_г$						
PK	16**	2,2	0,78	22	22	—
PK + Mo	43**	5,5	1,16	54	54	—
NPK	35 / 212	3,6 / 34,3	2,80 / 1,32	500	187	313
NPK + Mo	48 / 249	4,9 / 36,0	3,18 / 1,55	563	217	346

Продолжение

Вариант опыта*	Сырая масса	Сухое вещество	Содержание общего N, % на сухое вещество	Использовано азота, мг на растение		
	г на растение			всего	из почвы	из удобрений
			По 1 $H_г$			
РК	6/63	0,7/10,1	3,15/1,19	139	139	—
РК + Мо	11/83	1,2/12,2	3,20/1,47	171	171	—
NPK	54/243	5,1/36,7	3,26/1,26	610	280	330
NPK + Мо	82/231	7,8/34,4	3,39/1,52	712	316	396
$НСР_{05}$		0,45/2,30				
			Опыт 6 (по 1 $H_г$)			
РК	21/67	2,2/10,4	2,04/1,23	172	172	—
РК + Мо	24/71	3,1/13,2	2,33/1,16	225	225	—
NPK	124/187	13,5/28,7	2,40/1,48	732	275	457
NPK + Мо	127/191	13,8/29,3	2,41/1,62	797	308	489
$НСР_{05}$		1,56/2,20				

* Доза азота в опытах 2 и 3 — 600 мг на сосуд емкостью 3 кг почвы, в опытах 5 и 6 — соответственно 550 и 750 мг на сосуды емкостью 5,5 и 5,0 кг почвы.
** Общая надземная масса, головки не образовались.

почвы (табл. 4). К началу завязывания головок в вариантах с внесением аммиачной селитры (через 35 дней после высадки рассады) цветная капуста потребила 23—31 % азота, поступившего из почвы и удобрения к моменту учета урожая. Следовательно, за последующие 30—35 дней до наступления товарной спелости головок растения использовали остальные 69—77 % азота. Наиболее интенсивно азот удобрения и почвы поглощался в первые 10 дней от начала развития головок (40—50 % от общего выноса).

Поскольку при внесении аммиачной селитры и молибдена, а также под влиянием известкования усиливались мобилизация почвенного азота и усвоение его растениями, коэффициенты использования цветной капустой азота удобрения, вычисленные по разнице с фоном (РК), оказались значительно выше действительного его использования растениями непосредственно из меченного ^{15}N удобрения, определенного изотопным методом (табл. 5). В среднем реальное использование растениями азота удобрения при увеличении нормы известкования с 1/4 до 1 $H_г$ независимо от внесения молибдена возросло на 19—20 % от внесенного количества. Под действием молибдена использование цветной капустой азота удобрения независимо от нормы известкования повышалось на 7—8 % от внесенного азота аммиачной селитры. Усвоение азота удоб-

Таблица 4

Использование цветной капустой азота почвы и удобрения (в числителе — мг на растение за вычетом N в рассаде, в знаменателе — % от выноса азота с урожаем). **Опыт 2**

Вариант опыта	Источник азота	По 1/4 $H_г$					По 1 $H_г$				
		срок определения, дни от начала опыта									
		15	25	35	45	60—66	15	25	35	45	60—66
РК	Из почвы	—	3/4	12/15	32/39	82/100	—	15/14	25/23	60/56	107/100
РК + Мо	» »	—	16/15	26/25	57/54	106/100	7/5	20/14	30/21	94/67	140/100
NPK	Из удобрения	12/6	26/14	14/34	147/78	190/100	22/7	29/9	110/35	230/73	316/100
	Из почвы	9/9	15/14	26/25	110/105	104/100	4/2	21/10	43/22	192/96	200/100
NPK + Мо	Из удобрения	19/8	37/15	77/33	193/82	235/100	33/10	43/12	131/38	298/86	347/100
	Из почвы	21/9	19/8	32/13	222/93	238/100	7/2	52/17	71/23	241/79	304/100

рения и азота почвы растениями было наиболее продуктивным при известковании по 1 $H_г$ в сочетании с применением молибдена.

На протяжении всей вегетации цветная капуста в равном количестве использовала аммонийный и нитратный азот аммиачной селитры (табл. 6, рис. 1 и 2). Это, а также одинаковый характер зависимости усвоения азота данных групп от степени кислотности почв и внесения молибдена обусловлены тем, что в первый период после высадки рассады растения использовали лишь ограниченное количество азота удобрения, а к моменту интенсивного его потребления значительная часть аммонийного азота аммиачной селитры (как и дополнительно мобилизованного азота почвы) даже при известковании по 1/4 $H_г$ нитрифицировалась.

Положительное действие увеличения нормы известкования и внесения молибдена на усвоение азота удобрения и почвы наблюдалось уже при первых промежуточных учетах (через 15—25 дней после высадки рассады), но наиболее рельефно оно проявилось в период максимального потребления азота цветной капустой — с начала закладки головок до товарной спелости (табл. 6).

Вследствие низких темпов и размеров потребления азота удобрения цветной капустой в первый период (до 25-го дня после высадки рассады растения использовали

Таблица 5

Коэффициенты использования азота удобрения цветной капустой (% от внесенного количества азота)

Варианты опыта	По 1/4 $H_г$		По 1 $H_г$	
	разностный метод	изотопный метод	разностный метод	изотопный метод
Опыт 2				
NH_4NO_3	35	32	67	53
NH_4NO_3+Мо	61	40	85	58
Опыт 3			Опыт 4	
NH_4NO_3	29	29	75	62
NH_4NO_3+Мо	37	35	83	65
Опыт 5				
NH_4NO_3	87	57	86	60
NH_4NO_3+Мо	92	63	97	72
В среднем по опытам				
NH_4NO_3	50	38	76	58
NH_4NO_3+Мо	63	46	88	65

Таблица 6

Потребление цветной капустой меченого аммонийного и нитратного азота аммиачной селитры в течение вегетации (% от внесенного количества). Опыт 2

Меченый азот удобрения	По 1/4 $H_г$					По 1 $H_г$				
	сроки определения, дни от начала опыта									
	15	25	35	45	60—66	15	25	35	45	60—66
	Без молибдена									
$^{15}NH_4NO_3$	3	5	11	24	31	3	5	19	40	54
$NH_4{}^{15}NO_3$	2	4	10	22	32	4	5	18	36	52
$^{15}NH_4{}^{15}NO_3$	2	4	11	23	32	4	5	18	38	53
	С молибденом									
$^{15}NH_4NO_3$	3	6	13	32	40	6	6	20	50	58
$NH_4{}^{15}NO_3$	4	6	13	32	41	5	8	24	49	58
$^{15}NH_4{}^{15}NO_3$	3	6	13	32	40	6	7	22	50	58

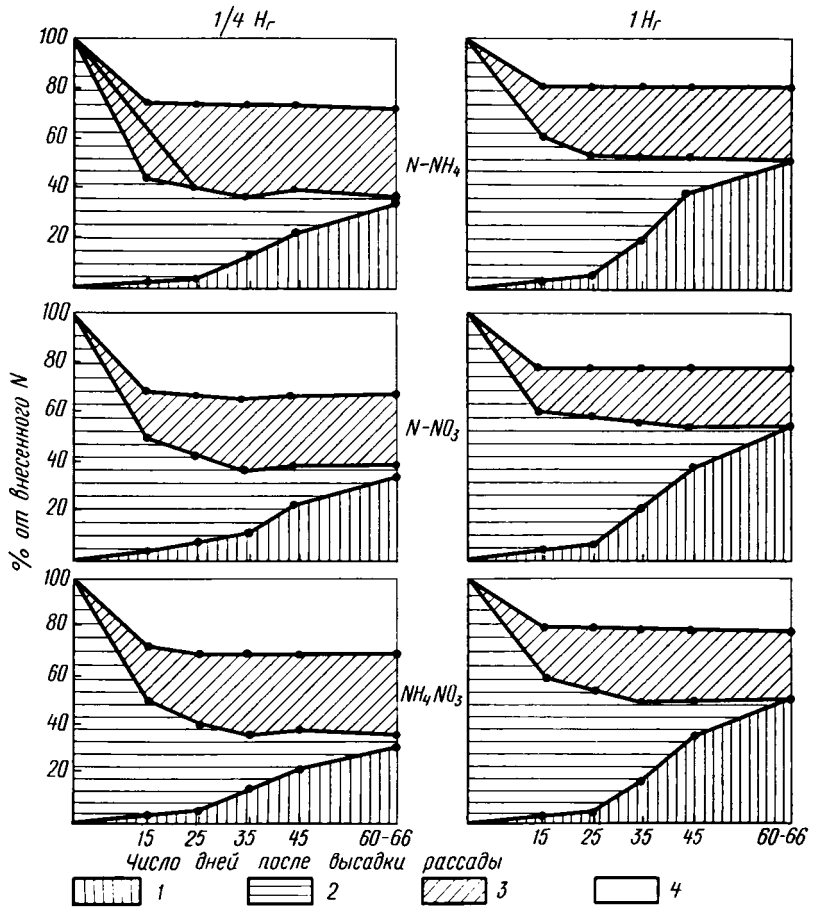

Рис. 1. Изменение баланса меченного ^{15}N аммонийного ($N—NH_4$), нитратного ($N—NO_3$) азота аммиачной селитры и в целом азота удобрения (NH_4NO_3) в опыте 2 при разных нормах известкования в вариантах без внесения молибдена.

1 — использовано растением; *2* — осталось в почве в минеральной форме; *3* — закрепилось в почве в органической форме; *4* — потери.

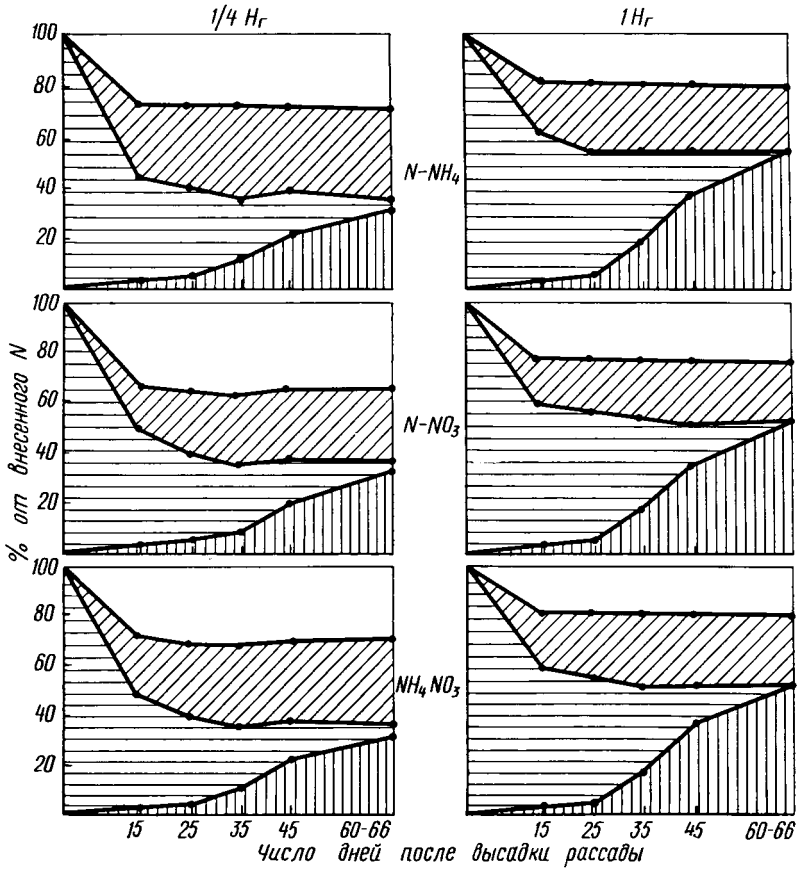

Рис. 2. То же, что на рис. 1, но при внесении молибдена в почву.
Обозначения те же, что на рис. 1.

всего 4—7 % азота от внесенного количества, а до 35-го — 10—13 и 18—22 % на фоне известкования соответственно по 1/4 $H_г$ и 1 $H_г$) превращение аммиачной селитры происходило практически в таких же условиях, как в парующих почвах. Содержание в почве меченого аммонийного и нитратного азота удобрения в минеральной форме быстро снижалось прежде всего за счет иммобилизации его в почве в органической форме и газообразных потерь.

Азот удобрения в органической форме наиболее интенсивно закреплялся в первые 15—25 дней, при этом на фоне известкования по 1/4 $H_г$ конечные размеры иммобилизации меченого аммонийного азота аммиачной селитры были значительно больше (32 % от внесенного в среднем для трех опытов), чем нитратного (20—22 %), и при внесении молибдена существенно не изменялись. При увеличении нормы известкования до 1 $H_г$ количество закрепленного в почве в органической форме как нитратного, так и аммонийного азота удобрения в конце вегетации снижалось на 11—13 % от внесенного (табл. 7).

При сопоставлении размеров дополнительной мобилизации азота почвы (по сравнению с вариантом РК) и иммобилизации азота аммиачной селитры отчетливо проявляются изменения в соотношении этих процессов при увеличении нормы известкования. Так, в опыте 2 на фоне известкования по 1/4 $H_г$ закрепление меченого азота удобрения в почве в органической форме с лихвой компенсировало дополнительное использование азота почвы растениями при внесении этого элемента совместно с молибденом, а в условиях известкования по 1 $H_г$ процессы

Таблица 7

Баланс меченого аммонийного и нитратного азота аммиачной селитры в опытах с цветной капустой (% от внесенного количества; числитель — в вариантах без молибдена, знаменатель — с молибденом)

Меченый азот удобрения	По 1/4 $H_г$			По 1 $H_г$		
	использовано растениями	осталось в почве	потери	использовано растениями	осталось в почве	потери
			Опыт 2			
$^{15}NH_4NO_3$	31/40	41/38	28/22	54/58	30/26	16/16
$NH_4^{15}NO_3$	32/41	34/34	34/25	52/58	22/25	22/17
	Опыт 3			Опыт 4		
$^{15}NH_4NO_3$	29/35	45/48	26/17	61/63	26/24	13/13
$NH_4^{15}NO_3$	26/35	41/43	33/22	63/68	16/13	21/19
			Опыт 5			
$^{15}NH_4NO_3$	58/62	22/23	21/15	62/70	21/20	17/10
$NH_4^{15}NO_3$	57/64	7/10	36/26	58/75	13/11	29/14
			В среднем по опытам			
$^{15}NH_4NO_3$	39/46	36/36	25/18	59/64	26/23	15/13
$NH_4^{15}NO_3$	38/47	27/27	35/26	58/67	17/16	25/17
$^{15}NH_4^{15}NO_3$	38/46	32/32	30/22	58/65	22/20	20/15

мобилизации почвенного азота явно преобладали над иммобилизацией азота аммиачной селитры.

Потери азота удобрения происходили в основном в первые две недели с начала опыта, в дальнейшем они были ограничены, несмотря на то, что в почве оставалось еще значительное количество азота удобрения в минеральной форме (через 25 и 35 дней соответственно около 1/2 и 1/4—1/3 от внесенного), в том числе нитратного (рис. 1 и 2). По-видимому, в условиях опытов либо преобладали потери азота удобрения в результате химических процессов, либо биологическая денитрификация тормозилась из-за отсутствия доступных источников углерода в почве.

Меченый азот из аммонийной группы аммиачной селитры терялся в виде газообразных продуктов в меньших количествах, чем из нитратной. Потери азота удобрения при повышении нормы известкования почвы и внесении молибдена снижались. В конце вегетации в вариантах без молибдена на фоне известкования по 1/4 $H_г$ потери аммонийного и нитратного азота аммиачной селитры составляли в среднем 25 и 32 % от внесенного количества, а с молибденом — 18 и 26 % (табл. 7). На фоне известкования по 1 $H_г$ эти потери без молибдена составляли соответственно 15 и 25 %, а при его внесении — 13 и 17 %.

Следовательно, увеличение нормы извести в равной мере положительно сказалось на использовании растениями и потерях как нитратного, так и аммонийного азота аммиачной селитры. Внесение молибдена в известкованную по полной гидролитической кислотности почву в большей степени повышало усвоение цветной капустой и снижало потери нитратного, чем аммонийного азота удобрения.

Суммарные потери (аммонийного и нитратного) азота аммиачной селитры при одновременном увеличении дозы известкования и внесении молибдена уменьшались вдвое — с 30 до 15 % от внесенного с удобрением.

Выводы

1. Кислотность почвы и обеспеченность молибденом оказывают существенное влияние на эффективность различных форм азотных удобрений и продуктивность усвоения цветной капустой азота почвы и удобрений.

2. При снижении кислотности дерново-подзолистых почв в результате известкования создаются более благоприятные условия для роста и развития цветной капусты, повышаются урожай и потребление азота растениями. С увеличением нормы известкования (с 1/4 до полной по $Н_г$) эффективность азотных удобрений, особенно сульфата аммония, возрастает.

3. Недостаток доступного растениям молибдена в кислых почвах ограничивает положительное действие азотных, особенно нитратных, удобрений на рост, развитие и урожай цветной капусты. Высокая отзывчивость этой культуры на внесение молибдена сохраняется и при известковании кислых дерново-подзолистых почв по 1 $Н_г$.

4. На фоне известкования кислых дерново-подзолистых почв по 1 $Н_г$ различия в действии изучавшихся форм азотных удобрений на урожай цветной капусты, потреблении азота растениями при одинаковой обеспеченности молибденом сглаживаются. Определенное преимущество перед кальциевой селитрой и сульфатом аммония имеет аммиачная селитра.

5. В опытах с ^{15}N нитратный и аммонийный азот аммиачной селитры использовался цветной капустой в одинаковом количестве на протяжении всей вегетации независимо от нормы известкования и применения молибдена. Потери меченого азота из аммонийной группы удобрения во всех случаях были меньше, а размеры закрепления в почве в органической форме — больше, чем меченого азота нитратной группы.

6. Одинаковый характер зависимости использования растениями нитратного и аммонийного азота аммиачной селитры от нормы известкования и внесения молибдена обусловлен тем, что основное количество азота поглощается цветной капустой в период интенсивного роста головки, а к этому времени даже при известковании меньшей нормой аммонийный азот удобрения в почве нитрифицируется.

7. По мере увеличения нормы известкования не только возрастает использование цветной капустой почвенного азота, но и значительно повышается использование азота удобрения (в среднем на 20 % от внесенного в форме аммиачной селитры азота).

8. Внесение молибдена способствует усилению мобилизации почвенного азота и повышает использование цветной капустой «экстра-азота», особенно при известковании по 1/4 $Н_г$, при известковании полной нормой по $Н_г$ его эффективность снижается. Под действием молибдена стабильно (независимо от нормы известкования) увеличивается использование азота удобрения (на 7—8 % от внесенного количества).

9. При увеличении нормы извести и внесении молибдена наряду с повышением использования цветной капустой азота аммиачной селит-

ры происходит снижение газообразных потерь азота удобрений, наибольших в первые две недели после высадки рассады. Закрепление азота удобрения в органической форме уменьшается при увеличении нормы известкования и существенно не изменяется при внесении молибдена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдонин Н. С. Научные основы применения удобрений. М.: Колос, 1969. — 2. Бершова О. И. Микроэлементы и почвенные микроорганизмы. Киев, 1967. — 3. Блюм Б. Г. Влияние реакции почвы на эффективность медленнодействующих удобрений. — Агрохимия, 1964, № 1, с. 63—68. — 4. Борисова Н. И., Зерцалов В. В. Потери азота удобрений в форме молекулярного азота и закиси азота. — Агрохимия, 1966, № 1, с. 13—19. — 5. Буркин И. А. Физиол. роль и с.-х. значение молибдена. М.: Изд-во АН СССР, 1968. — 6. Журбицкий З. И. Физиол. и агрохим. основы применения удобрений. М.: Изд-во АН СССР, 1963. — 7. Журбицкий З. И. Теория и практика вегетационного метода. М.: Наука, 1968. — 8. Кедров-Зихман О. К. Известкование почв и применение микроэлементов. М.: Изд-во с.-х. лит-ры, 1957. — 9. Кореньков Д. А. Агрохимия азотных удоберний. М.: Наука, 1976. — 10. Муравин Э. А. К изучению роли молибдена в азотном питании растений. — Автореф. канд. дис., М., 1964. — 11. Муравин Э. А. Взаимосвязь использования неорганических форм азота с наличием в почве доступного молибдена. — Докл. ТСХА, 1965, вып. 115, ч. 1, с. 23—31. — 12. Муравин Э. А., Верниченко И. В. Использование цветной капустой аммиачного и нитратного азота удобрений и азота почвы в зависимости от дозы извести и обеспечения молибденом. — Докл. ТСХА, 1974, вып. 198, с. 41—27. — 13. Петербургский А. В., Муравин Э. А., Жигарева Т. Л. Использование овсом и цветной капустой азота аммиачной селитры и почвы в зависимости от известкования дерново-подзолистых почв и внесения молибдена. — В кн.: Применение стабильного изотопа ^{15}N в исследованиях по земледелию. Тр ВАСХНИЛ, М.: Колос,1973, с. 246—250. — 14. Петербургский А. В., Муравин Э. А., Нелюбова Г. Л. Микроэлементы в периодической системе Д. И. Менделеева и их роль в земледелии. — Изв. ТСХА, 1970, вып. 2, с. 115—128. — 15. Превращение азота в почве и использование его растениями. — Результаты, полученные н.-и. учрежден. стран — членов СЭВ, сотруднич. в рамках Координац. центра минеральн. удобр. Берлин: Акад. с.-х. наук ГДР, 1978. — 16. Смирнов П. М. Проблемы азота в земледелии и результаты исследований с ^{15}N. — Агрохимия, 1977, № 1, с. 3—25. — 17. Смирнов П. М., Вуйцек-Вотковяк Д., Лаврова И. А. Превращение различных форм азотных удобрений в почве и их использование растениями. — Изв. ТСХА, 1965, вып. 2, с. 70—79. — 18. Смирнов П. М., Педюшис Р. К. Влияние реакции и влажности почвы на превращение азота удобрений в дерново-подзолистой почве.— Докл. ТСХА, 1971, вып. 169, с. 21—26. — 19. Смирнов П. М., Суков А. А. Превращения азота мочевины, аммиачной воды и сульфата аммония в почве и его использование растениями. — Изв. ТСХА, 1968, вып. 4, с. 71—85. — 20. Шемпель В. И., Безлюдный Н. Н. Использование ячменем азота удобрения и почвы в зависимости от их формы и способа внесения.— В кн.: Применение стабильного изотопа ^{15}N в исследованиях по земледелию. Тр. ВАСХНИЛ. М.: Колос, 1973, с. 214—222.— 21. Школьник М. Л. Микроэлементы в жизни растений. Л.: Наука, 1975. — 22. Хьюитт Э. И. Песчаные и водные культуры в изучении питания растений. М.: ИЛ, 1960.

Статья поступила 29 июля 1980 г.

SUMMARY

In pot trials with cauliflower, heavier liming of acid soddy-podzolic soils from 1/4 up to full hydrolytic acidity resulted not only in more intensive utilization by plants of soil extra-nitrogen, but also in higher utilization of fertilizer nitrogen (on the everage by 20 % of that applied as ammonium nitrate). Under the action of molybdenum the utilization of soil nitrogen and fertilizer nitrogen (on the average by 8 % of that applied) by cauliflower increased too. At the same time, heavier liming and higher rate of molybdenum resulted in much lower losses of fertilizer nitrogen in the form of gas.