

УДК 631.811.1:633.11 «324» (470.61)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ В ПОСЕВАХ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

М. В. ТЕХИНА, С. Д. БАЗИЛЕВИЧ
(Кафедра агрономической и биологической химии)

Для разработки приемов, направленных на повышение эффективности азотных удобрений, важно располагать данными о количестве использованного растениями азота почвы и удобрений, балансе азота в системе почва — растение при различных условиях. Полевые опыты на дерново-подзолистых почвах с применением ^{15}N ¹ показали, что растения используют 30—50 % азота удобрений, 20—40 % азота (от внесенного) закрепляется в органической форме, а 10—30 % теряется в газообразной форме. Поскольку подобных опытов с ^{15}N на почвах Ростовской области не проводилось, представляло интерес изучить влияние орошения и разных форм меченного ^{15}N сульфата аммония при внесении с ингибитором нитрификации на урожай и качество зерна озимой пшеницы, а также определить количество использованного растениями азота почвы и удобрения и его потери.

Методика проведения опыта

Микрополевые опыты с ^{15}N были заложены в совхозе «Висловский» Ростовской области, расположенном в зоне недостаточного увлажнения (годовое количество осадков 400 мм, часто повторяющиеся воздушные и почвенные засухи). Опыты проводили в течение 3 лет в полиэтиленовых сосудах без дна размером 33×33×50 см (площадь 0,1 м²), вмещающих по 21 кг почвы (слой 0—25 см). Повторность опытов 6-кратная, в 3 повторностях вносили ^{15}N , в остальных — немеченый N_a . Почва — легкоглинистый чернозем, содержание гумуса — 4,6 %, общего азота по Кьельдалю — 244 мг, фосфора по Мачигину — 2,8, калия по Протасову — 28 мг на 100 г, рН 7,3, сумма поглощенных оснований — 35 м-экв на 100 г. $\text{P}_{c.г}$ и K_x (фон) вносили из расчета 80 кг P_2O_5 на 1 га (0,8 г на микроделянку) и 40 кг K_2O на 1 га (0,4 г на микроделянку). Использовали меченый сульфат аммония, обогащенный ^{15}N : в 1973 г. — 24,04 ат%, в 1974 г. — 21,2 и в 1975 г. — 24,8 ат%. Вносили его из расчета 60, 90 и 120 кг N на 1 га (или 0,6; 0,9 и 1,2 г N на микроделянку) в 2 срока: одну половину — перед посевом озимых, другую — весной в подкормку, предварительно обработав согласно схеме опыта ингибитором нитрификации — циангуанидином (ЦГ).

Почву в сосудах тщательно перемешивали (в вариантах с орошением предва-

рительно проводили влагозарядковый полив — 800 м³ воды на 1 га, или 8 л на сосуд), удобрения вносили в слой 0—20 см. После посева озимой пшеницы (по 70 зерен на сосуд) почву увлажняли из расчета 600 м³ воды на 1 га, или 6 л на сосуд. На протяжении вегетационного периода растения дополнительно поливали в фазу кущения, выхода в трубку и колошения — норма полива 400 м³/га, или 4 л на сосуд. Оросительная норма за весь вегетационный период 2600 м³/га, или 26 л на сосуд. Пшеницу убирали в фазу полной спелости.

В течение вегетации и после уборки в почве и растениях определяли содержание общего азота методом Кьельдаля — Йодльбауэра, аммиачного азота — в 0,1 г KCl вытяжке с отгоном его, по Кьельдалю, сумму минерального азота (NH_4^+ + NO_3^-) после восстановления нитратов до аммиака до Деварду.

Изотопный состав азота устанавливали с помощью масс-спектрометра МИ-1305.

Менее благоприятными были метеорологические условия в 1975 г., когда в апреле и июне выпало всего 15,6 и 11,6 мм осадков при норме 33 и 45 мм. Это отрицательно сказалось на урожае озимой пшеницы в вариантах без орошения. В работе представлены данные в среднем за 3 года.

¹ Смирнов П. М. Вопросы агрохимии азота (в исследованиях с ^{15}N). М.: ТСХА, 1982.

Урожай и качество зерна озимой пшеницы

Урожай зерна зависел от орошения, погодных условий и норм удобрений. В условиях засушливого 1975 г. без орошения при внесении 60N, 90N и 120N он был соответственно на 10—13, 10—12 и 8—11 г на сосуд меньше, чем в 1973 и 1974 гг. Прибавка урожая в результате орошения в среднем за 3 года в контроле составила 9 г, а по фону 30P40K — 13,2 г на сосуд (табл.1). В результате применения фосфорно-калийных удобрений сбор зерна на богаре и особенно при орошении немного повысился — соответственно на 7,9 и 12,1 г на сосуд. Суммарная прибавка урожая от орошения и фосфорно-калийных удобрений составила 21,1 г на сосуд. Азотные удобрения значительно повысили урожайность озимой пшеницы, особенно при орошении, но максимальная прибавка в среднем за 3 года получена в варианте 90N — 6,3 г на богаре и 11,1 г на сосуд при орошении. При увеличении нормы азота до 120N она была меньше, что, очевидно, связано с относительным недостатком фосфора в этом варианте. Следовательно, особенно отзывчивой оказалась озимая пшеница на внесение 80P40K90N в условиях орошения — суммарная прибавка урожая составила 32,2 г на сосуд, т. е. урожай зерна повысился в 2 раза.

При внесении азотного удобрения в смеси с ингибитором нитрификации в дозе 10 % от азота удобрения и орошении урожай зерна озимой пшеницы был выше, чем в соответствующих вариантах без ингибиторов. Прибавка урожая зерна от ингибитора в вариантах с 60N и 90N составила в среднем соответственно 0,8 и 0,6 г на сосуд. Применение циангуанидина в условиях богары не оказало влияния на урожай зерна.

Об эффективности азотных удобрений судят не только по урожайности озимой пшеницы, но и по накоплению белка и клейковины в зерне. При внесении сульфата аммония содержание их повышалось и на богаре, и при орошении, но в большей мере на богаре. Так, в варианте 60N в этих условиях разница по содержанию сырого белка и клейковины составила соответственно 0,6 и 1,4 %, в варианте 90N — 0,9 и 3,3 %, при орошении — 0,4 и 0,8; 0,4 и 1,8 %. Общий сбор сырого белка без орошения увеличился с 6,1 г по фону 80P40K до 7,1 г в варианте 60N и до 7,5 г в варианте 90N, а при орошении — соответственно с 7,4 до 8,6 и 9,5 г на сосуд.

При увеличении нормы азотного удобрения с 90 до 120 кг N прибавка урожая озимой пшеницы, как отмечалось выше, снижалась, однако содержание сырого белка в зерне на богаре продолжало возрастать, поэтому выход его приближался к варианту, оптимальному по урожайности (90N). Содержание сырой клейковины в зерне в варианте 120N также возрастало — разница по сравнению с вариантами 60N

Т а б л и ц а 1

Отзывчивость озимой пшеницы на орошение, удобрения и ингибиторы нитрификации

Вариант опыта	На богаре			При орошении		
	урожай, г/сосуд	сырой белок, %	сырая клейковина, %	урожай, г/сосуд	сырой белок, %	сырая клейковина, %
Контроль	31,2	15,4	28,0	40,2	13,7	26,0
80P40K (фон)	39,1	15,6	28,8	52,3	14,1	27,6
Фон+60N	43,7	16,2	30,1	59,7	14,6	28,0
» +60N+ЦГ	43,6	16,4	30,1	60,5	14,6	28,0
» +90N	45,4	16,5	32,1	63,4	14,9	29,4
» +90N+ЦГ	45,2	16,5	32,0	64,0	14,9	29,6
» +120N	43,1	16,8	33,7	60,4	15,2	30,2
» +120N+ЦГ	42,7	16,9	33,8	61,0	15,2	30,2
НСР ₀₅	2,28—3,12	—	—	2,40—3,47	—	—

и 90N на богаре составила соответственно 3,6 и 1,7 %, при орошении — 2,5 и 1,7 %.

Ингибитор нитрификации практически не оказал влияния на качество зерна.

Использование растениями азота почвы и удобрений

Применение меченного ¹⁵N удобрения позволило установить степень использования озимой пшеницей азота почвы и удобрения. Коэффициенты использования растениями азота удобрения, определенные как изотопным методом, так и по разности с контролем, колебались в значительных пределах в зависимости от условий года, орошения, норм азотного удобрения и применения циангуанидина. Использование азота удобрений озимой пшеницей (табл. 2) на богаре при увеличении нормы азота от 60 до 90N повысилось в среднем за 2 года с 31,3 до 44,2 %, в варианте 120N снизилось до 34,4 %, в условиях орошения — увеличилось соответственно с 41,3 до 55,0 % и уменьшилось до 43,7 %. Как видно из приведенных данных, коэффициенты использования азота удобрений озимой пшеницей при орошении во всех вариантах были значительно выше, чем в условиях богары. Значения коэффициентов, полученных разностным методом, оказались значительно более высокими. Разница между коэффициентами, определенными разностным и изотопным методами, на богаре составила 7,5; 10,4 и 11,8 %, а при поливе — 23,4; 7,4 и 16,7 %. По этой разнице можно судить о количестве почвенного азота, которое дополнительно усваивается растениями из почвы при внесении азотных удобрений. Оно варьировало по вариантам от 3,3 до 25,8 % и мало зависело от нормы азота, но при внесении ингибитора заметно возрастало.

В результате применения циангуанидина использование пшеницей азота удобрений увеличилось на 2—4 %. В условиях богары коэффициенты использования азота удобрения, внесенного вместе с ингибитором, во всех вариантах были меньше, чем при орошении. При внесении циангуанидина растения использовали значительно больше азота почвы, чем без ингибитора: на богаре в варианте 60N — на 199 мг; 90N — на 75; 120N — на 58 мг на сосуд; при орошении — соответственно на 123; 95 и 306 мг на сосуд.

Таблица 2

Использование озимой пшеницей азота удобрений и почвы в зависимости от норм азота и применения ингибитора нитрификации (в числителе — на богаре, в знаменателе — при орошении)

Вариант опыта	Вынос N растениями, мг/сосуд		Использование N удобрений, %		Использование N почвы		
	общий	удобрений	изотопным методом	по разнице с контролем	мг на сосуд	% от общего выноса	% от РК
80P40K60N	1590	188	31,3	38,8	1402	88,2	103,3
	2397	248	41,3	64,7	2149	89,7	107,0
То же+ЦГ	1794	193	32,1	72,8	1601	89,2	118,0
	2539	267	44,5	88,5	2272	89,5	113,1
80P40K90N	1849	266	44,2	54,6	1583	85,6	116,6
	2578	336	55,9	63,3	2242	87,0	111,6
То же+ЦГ	1940	282	47,0	64,7	1658	85,5	122,2
	2683	346	57,7	75,0	2337	87,1	116,4
80P40K120N	1912	412	34,4	46,2	1499	78,4	110,4
	2733	525	43,7	60,4	2209	80,8	110,0
То же+ЦГ	1989	432	36,0	52,6	1557	78,2	114,7
	2788	273	45,5	65,0	2515	90,2	125,2

Баланс меченного ^{15}N азота удобрения на богаре и при орошении

Использование в опыте меченного ^{15}N сульфата аммония позволило определить баланс азота в системе почва — растение в разные периоды вегетации (табл. 3). Озимая пшеница потребляет азот удобрения в основном до цветения. К этому времени растения как на богаре, так и при орошении усваивали более 80 % меченного ^{15}N азота удобрения (от всего усвоенного). Содержание минерального азота в почве непрерывно снижалось. Так, в условиях богары количество минерального азота в почве ($^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-$ и $^{15}\text{N}-\text{NH}_4^+$) в фазу цветения по сравнению с фазой кущения в вариантах 60N, 90N и 60N+ЦГ, 90N+ЦГ уменьшилось соответственно в 7,4; 9,7 и 7,1; 7,2 раза, при орошении — в 6,7; 12,2 и 5,9; 11,0 раз.

Внесенный в почву азот удобрений не только потребляется растениями, но и подвергается иммобилизации (закреплению в органической форме). Максимальное количество азота удобрения закрепилось в почве в период всходов (в октябре) и во время цветения (в июне) озимой пшеницы. Первый максимум по времени совпал с прекращением роста растений из-за понижения температуры, второй — с периодом их цветения. Закрепление азота удобрения в почве началось с момента его внесения. Так, через 5 дней после закладки опыта как на богаре,

Таблица 3

Баланс меченного ^{15}N сульфата аммония в слое 0—25 см по фазам развития озимой пшеницы (% от внесенного; в числителе — на богаре, в знаменателе — при орошении)

Норма азота, кг/га	Без ингибитора нитрификации					С ингибитором нитрификации				
	использовано	осталось в почве ^{15}N в форме			дефицит	использовано	осталось в почве ^{15}N в форме			дефицит
		NH_4^+	NO_3^-	$\text{N}_{\text{орг}}$			NH_4^+	NO_3^-	$\text{N}_{\text{орг}}$	
Посев, 5-й день после закладки опыта										
60N	—	54,1	24,2	12,5	9,2	—	67,3	10	17,6	5,1
		50,4	22,4	14,8	12,4		66,1	13,0	13,2	7,7
90N	—	63,5	12,4	13,0	11,1	—	68,6	14,5	11,0	5,9
		52,6	20,8	15,5	11,1		68,0	17,9	16,9	7,2
Всходы, 30-й день										
60N	7,6	25,8	22,9	27,2	16,5	7,5	46,7	17,3	18,5	9,9
	7,5	20,8	25,8	—	—	7,7	44,0	17,3	18,3	12,7
90N	3,3	20,1	37,7	22,9	16,0	3,6	41,7	22,8	20,4	11,5
	3,6	24,5	30,0	26,9	24,3	3,7	32,0	27,2	25,5	11,6
60N	16,8	22,4	12,3	21,8	26,7	19,8	33,3	15,7	14,8	16,5
	31,2	20,2	13,5	8,1	27,0	32,4	30,2	14,7	8,4	14,3
Кущение, 200-й день										
90N	25,4	29,3	17,2	8,3	19,8	22,8	30,6	24,3	9,2	13,1
	28,0	24,8	16,7	10,2	20,3	31,6	29,4	15,8	8,1	15,1
Цветение, 238-й день										
60N	28,7	2,4	2,3	35,4	31,2	30,1	3,1	3,8	43,1	19,8
	38,7	2,0	3,0	23,9	32,4	41,2	4,0	3,5	29,1	22,2
90N	32,9	2,2	2,6	33,3	28,9	33,2	4,1	3,5	37,2	22,0
	50,6	1,4	2,1	19,9	26,0	52,4	2,1	2,0	22,8	20,7
Полная спелость, 268-й день										
60N	31,3	1,4	1,4	33,0	32,9	32,1	2,9	3,4	40,4	21,2
	41,3	1,3	1,7	21,9	23,8	44,5	2,4	1,9	25,5	25,7
90N	44,2	2,3	2,6	20,0	31,0	47,0	2,5	2,7	22,8	25,0
	55,9	0,4	0,7	11,4	31,6	57,7	2,1	1,2	15,6	23,4

Баланс азота меченого ^{15}N сульфата аммония в слое 0—25 см в конце опыта с озимой пшеницей (% от внесенного; в числителе — на богаре, в знаменателе — при орошении)

Норма азота, кг/га	Без ингибитора нитрификации				С ингибитором нитрификации			
	использо-вано	осталось в почве ^{15}N в форме		дефицит	использо-вано	осталось в почве ^{15}N в форме		дефицит
		мин.	орг.			мин.	орг.	
60N	31,3	2,8	33,0	32,9	32,1	6,3	40,4	21,2
	41,3	3,0	21,9	33,8	44,5	4,3	25,5	25,7
90N	44,2	4,9	20,0	31,0	47,0	5,2	22,8	22,0
	55,9	1,1	11,4	31,6	57,7	5,3	15,6	23,4

так и при орошении в органическую форму перешло около 11,0—17,6 % внесенного с удобрением азота. К периоду появления всходов (на 30-й день после закладки опыта) уже закрепилось 16,0—26,9 % азота.

После перезимовки (в фазу кущения) содержание в почве иммобилизованного азота удобрений в вариантах 60N+ЦГ и 90N+ЦГ снизилось соответственно до 14,8 и 9,2 %, а при поливе — до 8,4 и 8,1 % от внесенного, однако к периоду цветения количество его вновь увеличилось. Причем на богаре в органическую форму перешло значительно больше азота удобрений, чем при орошении.

Потери азота удобрений наблюдались в течение всей вегетации, но особенно большие они были в первые 30 дней вегетационного периода, когда элемент еще не полностью использовался растениями и подвергался интенсивному воздействию нитрифицирующих и денитрифицирующих микроорганизмов. При добавлении ингибитора нитрификации дефицит азота значительно уменьшился (табл. 3, рис. 1 и 2). Так, в вариантах 60N+ЦГ и 90N+ЦГ потери азота удобрения через 5 дней после их внесения на богаре и при орошении уменьшились почти в 2 раза, а к моменту полной спелости пшеницы — более чем на 8 %.

Из приведенных в табл. 4 данных, полученных в конце опыта, видно, что в минеральной форме осталось очень мало азота удобрений: без ингибитора — 1—5 %, а с его добавлением — 3—6 % внесенного с удобрениями. В органическую форму перешло значительное количество меченого азота удобрения. Внесение циангуанидина усиливало закрепление азота удобрения в органической форме как на богаре, так и при орошении (разница между вариантами 60N и 90N составила соответственно 7,4 и 2,8 % на богаре, 3,6 и 4,2 % при орошении).

Потери меченого ^{15}N сульфата аммония за вегетационный период, несмотря на их снижение в результате применения циангуанидина, были весьма большие и составляли около четверти внесенного азота удобрения. В связи с этим актуальной остается задача изучения возможности дальнейшего снижения непроизводительных потерь азота удобрений из почвы и повышения коэффициента использования его растениями.

Выводы

1. В микрополевых опытах, проведенных в условиях Ростовской области, в среднем за 3 года наибольшая прибавка урожая зерна как на богаре, так и при орошении получена в варианте 90N. Применение циангуанидина способствовало увеличению урожая только при орошении.

2. Под влиянием возрастающих норм азотного удобрения (60N, 90N и 120N) значительно повышалось содержание сырого белка и клейковины в зерне.

3. Коэффициенты использования растениями азота удобрений в вариантах 60N, 90N и 120N в среднем за 3 года составили соответственно 31,3; 44,2 и 34,4 % на богаре и 41,3; 55,9 и 43,7 % в условиях орошения, при добавлении к удобрениям циангуанидина они были более высокими — 32,1; 47,0 и 36,0 % на богаре и 44,5; 57,7 и 45,5 % при орошении. Если же учитывать дополнительно использованный растениями азот почвы, то их значения равнялись 72,8; 64,7 и 52,6 % на богаре и 88,5; 75,0 и 65,0 % при орошении.

4. Доля закрепленного в почве азота удобрений с увеличением его нормы несколько снижалась и при орошении была значительно ниже, чем на богаре.

5. Потери азота удобрений в среднем за 3 года составили 20—34 % внесенного, при использовании ингибитора нитрификации во всех вариантах они были ниже на 5—8 %.

Статья поступила 14 января 1983 г.

SUMMARY

In microfield experiments with the use of labelled by ^{15}N sulphate of ammonium (variants of N60, N90 and N120 with 80P40K) on southern sandy loam chernozem of the Rostov region it was found that irrigation, mineral fertilizers and inhibitors of nitrification beneficially affect the yield of winter wheat. The highest grain yield was obtained with the application of 90N. The article contains the data of balance dynamics of labelled ^{15}N of the fertilizer depending on water supply. With the complex application of dicyandiamid alongside with nitrogenous fertilizers the coefficients of utilization of fertilizer nitrogen increase, while its non-productive losses decrease.