

УДК 633.11:631.811:581.19.04:547.96

СОДЕРЖАНИЕ РАСТВОРИМЫХ И НЕРАСТВОРИМЫХ БЕЛКОВ У ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТЕНИЯМИ АЗОТА НЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК ПРИ РАЗНЫХ УРОВНЯХ ПИТАНИЯ

В. П. КРИЩЕНКО, А. А. ПАНТЕЛЕЕВ

(Кафедра агрономической и биологической химии)

Приводятся данные о влиянии меченых амидной, нитратной и аммиачной форм азотных удобрений, примененных в виде некорневых подкормок, на содержание растворимых и нерастворимых белков в зерне, надземной вегетативной массе и корнях пшеницы.

Разные формы азотных удобрений, применяемые в виде некорневых подкормок, по-разному влияют на растения. Это связано с тем, что они ассимилируются разными путями, с разной скоростью и с неодинаковой затратой энергии на усвоение азота [4].

Содержание определенных белков в растении и интенсивность их функционирования зависят, в частности, от формы азотного удобрения. Например, известно, что нитратная форма индуцирует активность нитратредуктазы. Чем больше нитратного азота поступает в растение, тем активнее этот фермент и выше его содержание [1, 2, 5—7]. Мочевина заметно влияет на скорость обновления белков. За этими изменениями следует множество других в разных цепочках метаболизма, что сказывается на таких показателях, как содержание белков и их компонентный состав.

Мы изучали действие некорневых подкормок мочевиной, сульфатом аммония и азотнокислым натрием при разном уровне корневого питания на содержание в корнях, надземной вегетативной массе и зерне яровой пшеницы растворимой и нерастворимой частей белкового комплекса, а также включение в них меченого азота этих удобрений. Цель работы — дать интегральную оценку изменениям белкового комплекса на уровне всего растения.

Методика

Яровую пшеницу сорта Краснозерная выращивали в сосудах Митчерлиха, заполненных 6 кг дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы. В опыте было два уровня корневого питания: без минеральных удобрений (фон 1) и повышенные дозы макро- и микроэлементов (фон 2). При некорневых подкормках, проведенных в начале формирования зерновок, азотные

удобрения вносили из расчета 6,7 мг азота на растение (100 мг на сосуд). Более подробно методы постановки опытов и анализов изложены в работах [3, 4]. Здесь укажем лишь, что разделение белков на растворимую и нерастворимую части осуществлялось с помощью извлечения первых боратым буфером.

Результаты и их обсуждение

Урожай зерна в контрольных вариантах по фонам 1 и 2 составил соответственно 6,3 и 13,5 г на сосуд, а накопление белков в зерне — 10,9 и 16,2 %. Различия в урожае зерна в связи с проведением поздних азотных подкормок незначительны.

Указанные азотные подкормки неодинаково влияли на количество белкового и небелкового азота как в зерне, так и в надземной вегетативной массе растений, выращиваемых на двух фонах корневого пита-

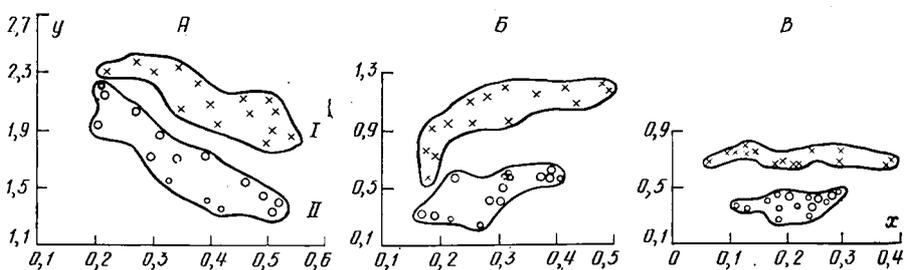
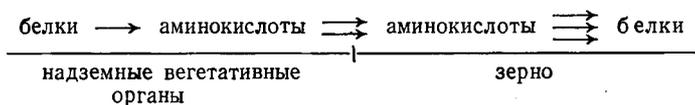


Рис. 1. Зависимость между содержанием белкового (y) и небелкового (x) азота в зерне (*A*), надземной вегетативной массе (*B*) и корнях (*B*) яровой пшеницы при низком (*II*) и высоком (*I*) уровнях корневого питания (в выборки включены результаты всех повторностей опыта. Усреднения данных по вариантам не проводилось).

ния, но на фоне 2 значения контролируемых показателей были выше (рис. 1).

Установлено, что в зерне с увеличением содержания белкового азота, вызванным некорневыми подкормками, содержание небелкового азота снижается, а в надземной вегетативной массе — возрастает. Взаимозависимых изменений содержания этих форм азота в корнях при проведении подкормок не обнаружено.

Причины таких изменений в общих чертах ясны. В надземной вегетативной массе происходят изменения интенсивности транслокационных процессов (отток азотистых веществ в зерновку). Чем она ниже, тем больше остается азотистых веществ в надземной вегетативной массе растений. Это относится практически в одинаковой мере к белковым и небелковым соединениям азота, поскольку белки сначала расщепляются до аминокислот, а затем образующиеся соединения поступают в репродуктивную часть растения. Указанная последовательность предопределяет названные изменения. Отрицательная зависимость между содержанием белкового и небелкового азота в зерне является логичным результатом тех изменений, которые происходят в вегетативных органах. В целом направленность этого процесса можно схематично выразить следующим образом:



Соотношение между растворимыми и нерастворимыми белками при проведении некорневых подкормок азотными удобрениями меняется (рис. 2, табл. 1 и 2).

Разные формы азотных удобрений, примененные в одинаковых дозах, оказывают разное действие на состав белкового комплекса. Последний в определенной степени зависит и от уровня корневого питания. Действие этих двух факторов взаимосвязано.

Доля растворимых белков в белковом комплексе зерна при обработке растений аммиачной и нитратной формами азотного удобрения повышалась на 15—20 %. Под действием мочевины растворимость белкового комплекса зерна увеличивалась лишь в первый период после применения этого удобрения, а затем она оказывалась близкой к контролю.

Нерастворимых белков в зерне яровой пшеницы намного меньше, чем растворимых. В необработанных растениях и в варианте с мочевиной доля нерастворимых белков в белковом комплексе зерна составляет 28—33 %, а при опрыскивании растений аммиачной или нитратной формами азотных удобрений — 10—17 %. Эти две формы азотных удобрений повышают растворимость белкового комплекса зерна пшеницы.

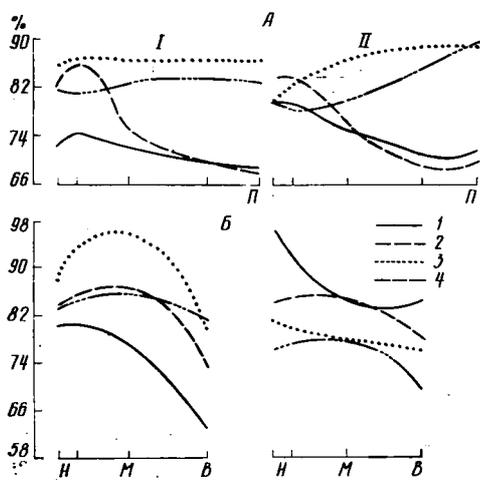


Рис. 2. Содержание растворимых белков в зерне (А) и надземной вегетативной массе (Б) яровой пшеницы при низком (I) и высоком (II) уровнях корневого питания и некорневых подкормках азотными удобрениями.

1 — контроль (без некорневых подкормок); 2 — подкормка NH_2 ; 3 — NH_4 ; 4 — NO_3 ; Н — образование и начало налива зерна; М, В и П — соответственно молочная, восковая и полная спелость зерна.

творимых белков более радикальное, чем мочевины.

В корнях пшеницы в поздние фазы развития белков мало: в среднем 2,35 % при низком уровне корневого питания и, 4,55 % при повышенной дозе минеральных удобрений. Растворимость белкового комплекса корней тоже зависит от уровня корневого питания и некорневых азотных подкормок. Очевидно, это связано с общей циркуляцией азотистых веществ в растении, разной активностью ферментных систем корней при разном уровне корневого питания, с изменением активности отдельных этапов циркуляционного процесса при некорневых подкормках. Действие мочевины на белковый комплекс корней меньше, чем сульфата аммония или азотнокислого натрия; растворимость белкового комплекса в данном случае мало отличалась от контроля.

Анализ результатов опыта с ^{15}N показал, что в растворимые белки зерновки наиболее интенсивно поступал азот аммиачной формы удобрения, внесенного в некорневую подкормку, менее интенсивно — азот нитратного удобрения и еще меньше — азот мочевины (рис. 3). Это четко прослеживалось уже через 5—6 ч после обработки растений. С этого же периода в контролируемом интервале времени (4 сут) по всем трем вариантам увеличение содержания азота некорневых подкормок в растворимых белках зерна пшеницы было близким к линейному.

Таблица 1

Содержание растворимых белков (% к общему их количеству) в корнях пшеницы

Время после подкормки, сут	Фон 1				Фон 2			
	контроль	некорневая подкормка			контроль	некорневая подкормка		
		NH_2	NO_3	NH_4		NH_2	NO_3	NH_4
1	45,9	54,0	55,7	69,1	52,2	50,6	49,6	46,0
4	49,1	45,0	53,2	67,7	53,9	49,9	59,0	50,6
15	44,7	45,8	52,1	58,6	37,9	45,2	67,6	54,0
31	44,0	42,1	53,2	47,2	37,4	31,8	69,8	50,8

Содержание нерастворимых белков (% к общему их количеству) в разных частях пшеницы

Время после подкормки, сут	Фон 1				Фон 2			
	роль	некорневая подкормка			контроль	некорневая подкормка		
		NH ₂	NO ₃	NH ₄		NH ₂	NO ₃	NH ₄
Зерно								
1	28,0	17,5	18,5	14,5	20,4	16,6	20,5	20,2
4	25,6	14,3	19,0	13,1	20,8	16,1	21,7	17,8
15	27,9	25,3	17,1	13,6	24,8	23,4	20,2	13,5
31	30,1	30,2	16,7	13,3	28,9	30,7	14,9	11,3
42	31,0	31,9	17,2	13,3	28,0	30,0	10,4	11,4
Надземная вегетативная масса								
1	20,0	16,4	17,1	12,2	3,5	16,6	24,4	19,4
4	19,7	15,6	16,8	6,7	7,9	15,6	23,1	20,8
15	23,4	13,2	14,8	5,4	15,9	15,4	23,2	23,1
31	37,3	26,8	18,9	21,1	15,9	22,6	31,4	24,5
Корни								
1	54,1	46,0	44,3	30,9	47,8	49,4	50,4	54,0
4	50,9	55,0	46,8	32,3	46,1	50,1	41,0	49,4
15	55,3	54,2	47,9	41,4	62,1	54,8	32,4	46,0
31	56,0	57,9	46,8	52,8	62,6	68,2	30,2	49,2

В надземной вегетативной массе относительное содержание азота некорневых подкормок в растворимых белках возрастало в течение 10—15 ч, а затем несколько уменьшалось. Следовательно, после некорневых

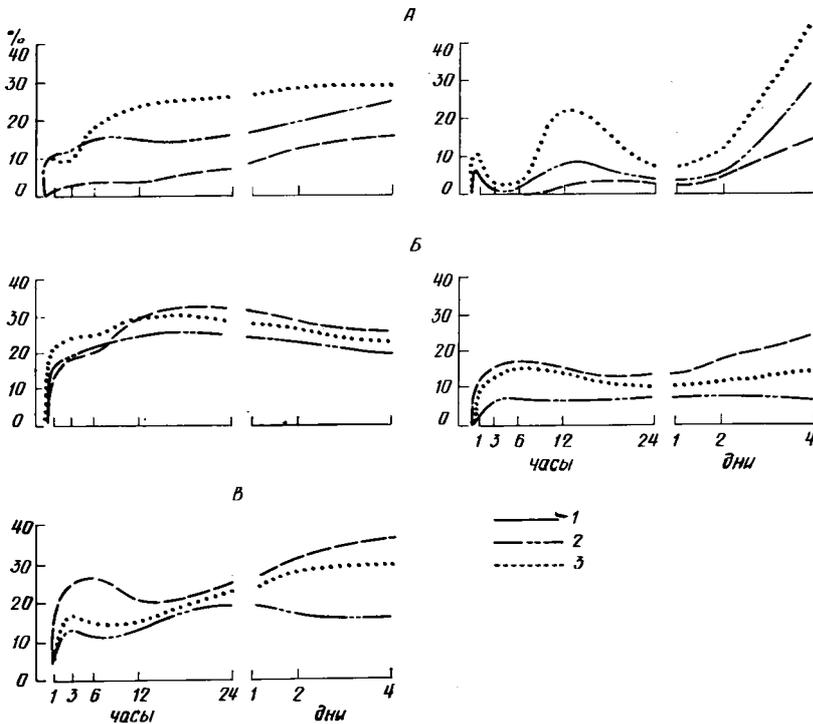


Рис. 3. Динамика включения азота некорневых подкормок (опыт с ¹⁵N) в растворимые (слева) и нерастворимые белки зерна (А), надземной вегетативной массы (Б) и корней (В) яровой пшеницы при низком уровне корневого питания и некорневых подкормках разными видами азотных удобрений.

1 — подкормка NH₂; 2 — NO₃; 3 — NH₄

**Включение азота некорневых подкормок (% к N белка)
в растворимые и нерастворимые белки пшеницы,
выращиваемой при высоком уровне корневого питания в опыте с ¹⁵N**

Время отбора проб		Растворимые белки			Нерастворимые белки		
фаза вегетации	после подкормки	NH ₂	NO ₃	NH ₄	NH ₂	NO ₃	NH ₄
Зерно							
Начало налива	1 ч	0,8	11,6	8,0	Сл.	5,4	1,7
	3 »	0,8	7,4	5,3	Сл.	0,4	1,6
	6 »	0,6	7,3	3,9	Сл.	0,8	0,9
	12 »	3,2	5,5	8,2	0,8	2,7	3,1
	1 сут	3,2	7,3	17,8	1,9	1,8	3,8
	2 »	5,0	8,9	22,1	2,7	4,5	5,8
	4 »	8,2	13,9	18,8	8,2	5,3	27,1
Молочная спелость	15 »	9,4	18,6	15,2	5,0	12,3	36,4
Восковая »	31 »	8,3	10,5	8,9	3,3	7,5	23,5
Полная »	42 »	9,0	9,2	7,1	2,7	5,6	22,0
Надземная вегетативная масса							
Начало налива	1 ч	16,6	8,3	9,9	2,1	0,2	1,6
	3 »	13,2	9,8	10,6	1,5	0,7	2,5
	6 »	14,0	13,2	13,8	1,0	0,5	1,9
	12 »	16,3	16,2	16,5	2,0	1,0	2,9
	1 сут	19,3	14,4	21,2	4,9	2,8	7,0
	2 »	23,6	16,3	22,3	7,3	3,4	8,3
	4 »	23,9	16,9	23,6	5,9	4,1	6,3
Молочная спелость	15 »	14,9	15,9	18,8	2,6	3,3	9,6
Восковая »	31 »	14,1	15,3	17,9	4,1	2,5	6,3
Корни							
Начало налива	3 ч	22,8	8,2	27,4	0,9	0,3	0,1
	6 »	26,7	11,5	29,5	0,7	0,2	0,4
	12 »	27,7	18,0	27,0	0,2	0,4	0,2
	1 сут	32,1	19,9	19,2	0,4	0,7	0,7
	2 »	29,5	17,4	21,5	0,6	0,6	2,0
	4 »	31,7	17,2	20,2	0,8	1,8	0,5
	Молочная спелость	15 »	24,2	12,4	17,9	1,2	0,9
Восковая »	31 »	22,6	12,3	18,5	1,0	1,2	0,7

подкормок вновь синтезированные азотистые вещества поступают в зерновки интенсивнее, чем ранее синтезированные.

В корнях растений на фоне 1 в первые часы после некорневой подкормки количество меченого азота обычно больше, чем по истечении 10—15 ч. Уменьшение содержания меченого азота в растворимых белках

корней к 10—15 ч после обработки растений совпадает с максимумом поступления его в растворимые белки надземной вегетативной массы и зерна. Спад поступления меченого азота в корни сменяется новым его увеличением, однако не во всех вариантах опыта.

При высоком уровне корневого питания (табл. 3 и 4) особенности включения азота некорневых подкормок в растворимые белки разных частей растений чаще были такими же, как на фоне 1. Различия касались лишь количественных выражений наблюдаемых изменений. Так, на фоне 2 содержание белков в корнях, надземной вегетативной массе и зерновках заметно большее,

Таблица 4

**Включение азота некорневых подкормок (% к N белка) в нерастворимые белки
корневой пшеницы, выращиваемой
при низком уровне корневого питания
в опыте с ¹⁵N**

Время отбора проб		NH ₂	NO ₃	NH ₄
фаза вегетации	после подкормки			
Начало налива	3 ч	0,3	0,1	0,1
	6 »	4,0	0,6	2,1
	12 »	1,4	0,5	3,1
	1 сут	3,7	1,2	2,4
	2 »	3,2	0,9	2,0
	4 »	3,1	1,5	5,3
	Молочная спелость	15 »	4,5	2,6
Восковая »	31 »	4,0	2,6	7,0

чем на фоне 1. При высоком уровне корневого питания некорневые азотные подкормки обеспечивали меньшие относительный прирост белков и долю меченого азота в них. Обогащение растворимых белков зерна меченым азотом в этом случае тоже было меньше. Последовательность распределения форм азотных подкормок по интенсивности включения их азота в нерастворимые белки надземной вегетативной массы и зерна та же, что и в растворимые белки, — соответственно $\text{NH}_2 > \text{NH}_4 > \text{NO}_3$ и $\text{NH}_4 > \text{NO}_3 > \text{NH}_2$, но различия в этом случае выражены в большей мере (рис. 3).

Кроме спада обогащения белков зерна меченым азотом, наступившего через час после обработки растений, имел место повторный спад. Он достигал минимума к 24 ч после некорневых подкормок. В некоторых случаях первый или второй спад при использовании для подкормки той или иной формы азотных удобрений наметился и для растворимых белков зерна, а также для растворимых и нерастворимых белков надземной вегетативной массы и корней пшеницы.

Включение меченого азота в нерастворимые белки корней незначительно, особенно на фоне 2. Меньше включался азот некорневых подкормок и в нерастворимые белки надземной вегетативной массы, а также зерна на фоне 2.

Заключение

Анализ изменений общего количества белков в растениях, их растворимой и нерастворимой частей, включения меченого азота в них показывает, что обработка растений мочевиной усиливает отток азотистых веществ из репродуктивных органов в зерновку. Причем это относится прежде всего к азотистым веществам, синтезированным до момента проведения некорневой подкормки. Азот нитратной и особенно аммиачной некорневой подкормки в большем количестве поступает через вегетативные органы в зерновку, чем азот мочевины.

В целом складывается мнение, что в растениях происходит волнообразное перераспределение азотистых веществ между органами. Амплитуда волны зависит от общего накопления белков в органах растений и растворимости белков. Чем меньше накопление белков, тем больше она выражена. Более четко прослеживается волнообразность включения меченого азота в нерастворимые белки, чем в растворимые.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахания Н. А., Нуцубидзе Н. Н. Регуляция активности нитратредуктазы фазоли нитратом в начале вегетации. — В сб.: Сообщ. АН ГССР, 1976. Т. 81, № 3, с. 705—708. — 2. Кретович В. Л. Обмен азота в растениях. — М.: Наука, 1972. — 3. Крищенко В. П. Изменение содержания азотистых веществ и состава белкового комплекса яровой пшеницы, выращиваемой при разном питании. — Физиол. и биохим. культурных растений, 1984. Т. 16, № 4, с. 360—368. — 4. Крищенко В. П., Маркелова В. Н. Изменение компонентного состава азотистых веществ у яровой пшеницы при некорневых азотных подкормках. — Изв. ТСХА, 1985, вып. 3, с. 86—91. — 5. Кузнецова Т. А., Слухай С. И., Петренко Н. И. Редукция нитратов и водообмен у молодых растений кукурузы в условиях ингибирования хлорамфениколом. — Физиол. и биохим. культурных растений, 1976. Т. 8, № 2, с. 159—165. — 6. Beevers L. — Nitrogen metabolism in plants. L., Edward Arnold, 1976. — 7. P a t e F. S. — In: Crop Physiology. Some case histories/Ed. L. F. Ewans. Camb. Univ. Press., 1975, p. 191—224.

Статья поступила 2 июля 1986 г.

SUMMARY

In the experiments, labelled amide, nitrate and ammonia forms of nitrogenous fertilizers were used as leaf-feeding dressings. It is shown that according to intensiveness of their getting into soluble and non-soluble proteins of the aboveground vegetative mass and the grain, different forms of nitrogenous fertilizers are arranged in the following order: $\text{NH}_2 > \text{NH}_4 > \text{NO}_3$ and $\text{NH}_4 > \text{NO}_3 > \text{NH}_2$. It is found that response of wheat to some leaf-feeding dressings with nitrogenous fertilizers depends considerably on the rate of root feeding.