

УДК 581.182.04:547.96

## ИЗМЕНЕНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА АЗОТИСТЫХ ВЕЩЕСТВ У ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ НЕКОРНЕВЫХ АЗОТНЫХ ПОДКОРМКАХ

В. П. КРИЩЕНКО, В. Н. МАРКЕЛОВА

(Кафедра агрономической и биологической химии)

Некорневые подкормки растений азотными удобрениями, особенно мочевиной, являются, как отмечают многие авторы, наиболее эффективным способом обеспечения их азотом и, следовательно, трансформации азота удобрений в белки. В связи с этим представляет интерес изучение влияния разных видов азотных удобрений на продуктивность растений в зависимости от их развития и уровня корневого питания. Важно также знать особенности перераспределения азотистых веществ между органами растения, которое происходит весьма стремительно и, к сожалению, не всегда исследуется.

Для ассимиляции одной молекулы азота в нитратной форме до глутаминовой кислоты растению необходима энергия 31 молекулы АТФ, а в аммиачной форме — около 20 молекул. Однако, как известно, аммиачный азот должен сразу же включаться в обмен, накопление его в тканях вредно. Нитратная форма для растений нетоксична. Преимущество мочевины заключается в том, что она ассимилируется не одним путем. Мочевина, нанесенная на листья, помимо расщепления под действием уреазы до аммиака и включения его в обмен, может вступать в метаболизм без гидролиза. По данной причине для ассимиляции азота, примененного в виде мочевины, необходимо меньше энергии, чем в случаях использования других форм. Это важно, поскольку некорневые подкормки с целью повышения качества урожая обычно проводятся в поздние фазы развития, когда ассимиляционные и энергетические возможности растения уменьшаются. Существенно и то, что мочевина по сравнению с аммиачной формой азота является как бы медленно действующим азотным удобрением. Гидролиз мочевины происходит постепенно, что повышает эффективность ее использования.

Мы изучали действие некорневых подкормок мочевиной, сульфатом аммония и азотнокислым натрием на содержание небелковых соединений азота, низкомолекулярных белковых веществ (пептидов) и белков в зерне, надземной вегетативной массе и корнях яровой пшеницы сорта Краснозерная. Растения выращивали в сосудах Митчерлиха заполненных 6 кг дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы. Азотный обмен исследовали при двух уровнях корневого питания: без минеральных удобрений (фон 1) и с внесением повышенной дозы макро- и микроэлементов в почву (фон 2). Дозы азотных удобрений для некорневых подкормок устанавливали из расчета 6,7 мг азота на одно растение (100 мг на сосуд). Более подробно методики проведения опытов и анализов изложены в работе [2].

### Результаты и обсуждение

Урожай зерна в контрольных вариантах по фону 1 и фону 2 составил соответственно 6,3 и 13,5 г на сосуд, а накопление белков в зерне — 10,9 и 16,2 %. Различия по урожаю зерна в связи с проведением позд-

Изменение содержания азота в пшенице при некорневых подкормках разными видами азотных удобрений и разных уровнях корневого питания (%)

Фаза спелости зерна	Фон 1				Фон 2			
	контроль	некорневая подкормка			контроль	некорневая подкормка		
		NH <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>		NH <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>
Зерно								
Образование	1,72	2,01	1,92	1,82	2,74	2,50	2,59	2,53
Начало налива	1,66	2,06	2,01	1,88	2,64	2,77	2,58	2,63
Молочная	1,59	2,13	2,06	2,08	2,60	2,78	2,84	2,80
Восковая	1,91	2,42	2,24	2,39	3,10	3,30	3,24	3,30
Полная	2,18	2,48	2,25	2,42	3,20	3,30	3,24	3,43
Надземная вегетативная масса								
Образование	0,74	1,05	0,99	1,00	1,52	1,82	1,74	1,84
Начало налива	0,73	1,08	0,96	0,99	1,45	1,62	1,68	1,77
Молочная	0,53	0,83	0,80	0,94	1,23	1,26	1,33	1,37
Восковая	0,41	0,51	0,51	0,50	1,11	1,02	1,01	0,97
Корни								
Образование	0,56	0,63	0,52	0,63	0,98	1,09	0,98	1,17
Начало налива	0,61	0,71	0,69	0,79	0,96	1,16	0,99	1,12
Молочная	0,56	0,65	0,55	0,70	0,92	1,02	0,99	1,12
Восковая	0,49	0,51	0,50	0,61	0,81	0,91	0,93	0,94

них азотных подкормок недостаточно, поэтому данные не приводятся.

Изменения общего количества азота в растениях, выращиваемых без некорневых подкормок, соответствуют ожидаемым (табл. 1). В начале периода налива зерна масса зерновки увеличивается быстрее, чем поступление азотистых веществ. Относительное содержание азота в зерне снижается, и этот процесс тем продолжительнее, чем ниже уровень питания. В наших опытах при низком уровне корневого питания содержание азота в зерне снижалось вплоть до конца молочной спелости. В последующие фазы, когда уменьшается скорость накопления массы зерновкой, возрастает не только абсолютное, но и относительное содержание азотистых веществ. Следовательно, синхронность в интенсивности накопления в зерновке углеводов и азотистых веществ отсутствует.

Динамическое равновесие обмена азотных веществ детерминировано генетическими факторами. Некорневые подкормки азотными удобрениями нарушают это равновесие. Содержание небелковых соединений азота в растениях — один из наиболее изменяемых показателей. Накопление этих соединений определяется, с одной стороны, поступлением азота извне, с другой — интенсивностью использования его на биосинтез белков. Непосредственно после обработки растений азотными удобрениями (NH<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>) содержание небелковых соединений азота в надземной вегетативной массе, корнях и зерне возрастает в 1,5—2 раза (рис. 1). По степени влияния на содержание небелковых соединений азота в надземной вегетативной массе и зерне при высоком уровне корневого питания пшеницы формы азотных удобрений можно расположить в следующей последовательности: NH<sub>4</sub> > NO<sub>3</sub> > NH<sub>2</sub>. Расположение азотных удобрений по степени влияния на содержание небелкового азота в корнях и вегетативной массе начиная с фазы молочной спелости зерна у растений, испытывающих недостаток в элементах питания, иное: NH<sub>4</sub> > NH<sub>2</sub> > NO<sub>3</sub>. Интерпретация полученных данных о содержании небелковых соединений азота будет дана ниже.

Количество пептидов, участвующих в обмене веществ, незначительное — сотые доли процента. Самостоятельной функциональной нагрузки эти соединения не имеют. Меньше всего пептидов содержится в корнях, несколько больше — в надземных вегетативных органах и еще больше — в репродуктивной части растений (рис. 2, табл. 2). При некорневых подкормках азотными удобрениями количество пептидов во

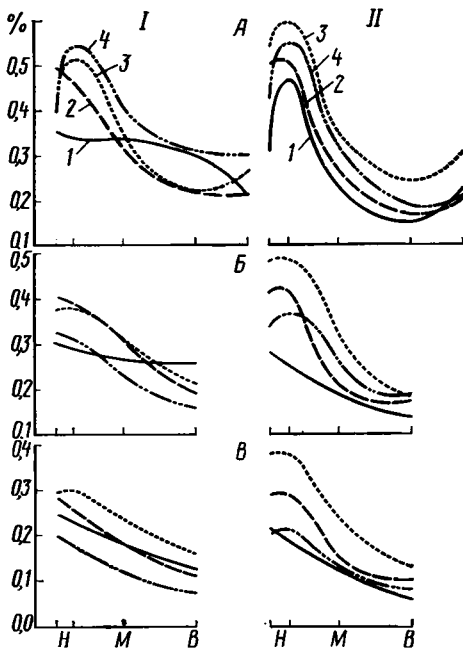


Рис. 1. Содержание небелковых соединений азота в зерне (А), надземной вегетативной массе (Б) и корнях (В) яровой пшеницы при низком (I) и высоком (II) уровнях корневого питания и некорневых подкормках азотными удобрениями.

1 — контроль (без некорневых подкормок); 2 — с некорневой подкормкой  $\text{NH}_2$ ; 3 —  $\text{NH}_4$ ; 4 —  $\text{NO}_3$ .  
 Н — образование и начало налива зерна; М, В и П соответственно молочная, восковая спелость зерна.

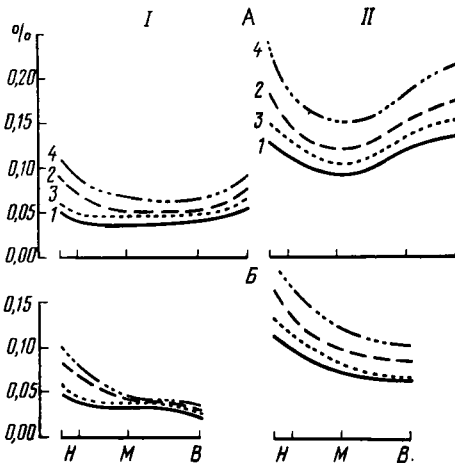


Рис. 2. Содержание низкомолекулярных белковых веществ (пептидов) в зерне и надземной вегетативной массе яровой пшеницы при низком и высоком уровнях корневого питания и некорневых подкормках азотными удобрениями.

Обозначения те же, что на рис. 1.

всех частях растений возрастает, особенно в надземной вегетативной массе и зерне. По степени влияния на этот показатель разные формы азотных удобрений располагаются в такой последовательности:  $\text{NO}_3 > \text{NH}_2 > \text{NH}_4$ , что характерно для обоих режимов корневого питания.

Накопление белков в пшенице также зависит от уровня корневого питания. При низкой обеспеченности растений питательными веществами, когда биосинтез белков в вегетативных органах ограничен, некорневые подкормки азотом существенно повышают их накопление (табл. 3). Однако эффективность некорневых подкормок растений, в вегетативной массе которых много белков, снижается.

Содержание белков в корнях изменяется незначительно при проведении некорневых подкормок азотными удобрениями, причем эти изменения не зависят от уровня корневого питания.

Установлены небольшие различия в содержании белков в надземной вегетативной массе и корнях в зависимости от формы азотных удобрений. Фактические же изменения этого показателя, особенно в вегетативных органах, безусловно, более значительные, но они не обнаруживаются, поскольку в период налива зерна идет интенсивный гидролиз белков и отток азотистых веществ из вегетативной массы. В результате изменения химического состава вегетативных органов касаются в основном репродуктивных органов (рис. 3).

Известно, что мочевина, применяемая в качестве некорневой подкормки, оказывает наиболее эффективное действие на накопление белков в зерне. Известно также, что наименьший положительный результат дает нитратная форма азота. Следует, однако, отметить, что действие некорневых подкормок разными видами азотных удобрений зависит от уровня корневого питания. Чем выше этот уровень и лучше развиты растения, тем меньше действие равнозначных доз азотных удобрений и разница между ними. Имеет значение и количество дополнительного азота, приходящееся как на одно растение, так и на единицу вегетативной массы.

Изменение содержания пептидов в корнях пшеницы при некорневых подкормках разными видами азотных удобрений и разных уровнях корневого питания (%)

Фаза спелости зерна	Фон 1				Фон 2			
	контроль	некорневая подкормка			контроль	некорневая подкормка		
		NH <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>		NH <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>
Образование	0,038	0,057	0,059	0,044	0,090	0,117	0,126	0,102
Начало налива	0,028	0,046	0,047	0,033	0,078	0,094	0,100	0,089
Молочная	0,022	0,020	0,021	0,029	0,052	0,059	0,063	0,065
Восковая	0,011	0,017	0,017	0,023	0,031	0,050	0,051	0,049

В наших опытах при повышенном уровне корневого питания различия в эффективности действия некорневых подкормок разными видами азотных удобрений на накопление белков в зерне были меньше, чем при дефицитном корневом питании. Кроме того, при благоприятном корневом питании и хорошем развитии растений эффективность некорневой подкормки аммиачным азотом не меньшая, чем при подкормке мочевиной.

При низком уровне корневого питания положительное действие некорневых подкормок проявлялось сразу же, при высоком уровне опрыскивание хорошо развитых растений азотными удобрениями приводило к некоторому затормаживанию притока и утилизации в зерновке азотистых веществ в периоды образования и начала налива зерна. В эти фазы в вегетативных органах опытных растений белка содержалось больше, а в зерне — меньше, чем в контрольных. Начиная с периода молочной спелости у обработанных растений реутилизация азотистых веществ из вегетативных органов была большей, чем у контрольных, что обеспечило большее накопление белков в зерне. Некорневые азотные подкормки при достаточно высоком уровне корневого питания способствовали повышению реутилизации азотистых веществ из вегетативных органов.

Количественный анализ включения в белки азота некорневых подкормок в начале налива зерна показал неравнозначность действия разных видов азотных удобрений. Больше всего поступает в белки зерна азот аммиачной формы удобрений, меньше — нитратной и еще меньше — амидной (табл. 4). Очевидно, подтверждается мнение, что мочевина снижает скорость обновления белков за счет уменьшения их распада. Это сдвигает динамическое равновесие между новообразованием

Т а б л и ц а 3

Изменение содержания белков в надземной вегетативной массе и корнях пшеницы при некорневых подкормках разными видами азотных удобрений и разных уровнях корневого питания (%)

Фаза спелости зерна	Фон 1				Фон 2			
	контроль	некорневая подкормка			контроль	некорневая подкормка		
		NH <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>		NH <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>
Надземная вегетативная масса								
Образование	2,46	3,50	3,55	3,55	7,06	7,75	7,63	7,69
Начало налива	2,56	3,94	3,56	3,56	6,88	6,66	7,19	7,31
Молочная	1,43	3,06	3,38	3,69	6,06	5,94	5,94	6,03
Восковая	0,81	1,81	1,94	1,63	5,69	4,75	4,50	4,56
Корни								
Образование	1,75	1,79	1,69	1,81	4,20	4,25	4,18	4,24
Начало налива	2,26	2,44	2,88	2,85	4,31	4,81	4,19	4,06
Молочная	2,20	2,81	2,63	2,70	4,63	5,19	5,00	5,06
Восковая	2,21	2,40	2,50	2,64	4,44	4,69	4,88	4,69

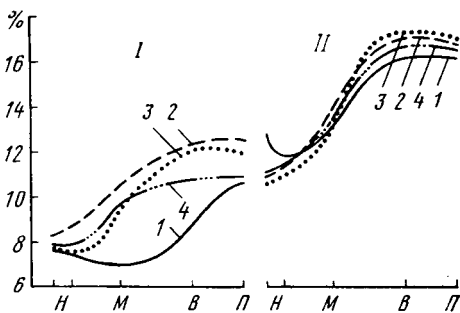


Рис. 3. Содержание белков в зерне яровой пшеницы при низком и высоком уровнях корневого питания и некорневых подкормках азотными удобрениями. Обозначения те же, что на рис. 1. П — полная спелость зерна.

в зерне и корнях, можно утверждать, что независимо от уровня корневого питания на 3—4-е сутки после обработки растений большая часть привнесенного азота усваивается. В дальнейшем наступает период перераспределения ранее и вновь синтезированных азотистых веществ между вегетативными и репродуктивными органами пшеницы.

Следует отметить, что уже через 3 ч после опрыскивания растений примерно 10 % азота белков корней и 19 % такового вегетативной массы составлял азот некорневых подкормок. В дальнейшем интенсивность изменения содержания азота некорневых подкормок в белках была на порядок меньше и относительно равномерной. В обычных условиях развития (в данном случае без некорневых подкормок) изменения скорости обновления белков и включения в них азота носят линейный характер [2]. Столь существенное повышение скорости включения азота в начале развития растений при некорневых подкормках мы склонны объяс-

и распадом в сторону накопления белковых веществ. При обработке растений аммиачным удобрением поглощение азота из почвы наиболее значительное.

Обогащение белков вегетативных органов меченым азотом некорневых подкормок при низком уровне корневого питания было максимальным по истечении суток после проведения указанного агроприема и примерно на 2-е сутки при высокой обеспеченности питательными веществами. Растения, испытывающие недостаток элементов питания, быстрее усваивают азот некорневых подкормок. С учетом всех изменений, в том числе происходящих в

Таблица 4

Включение азота некорневых подкормок (опыты с  $^{15}\text{N}$ ) в белки пшеницы при разных уровнях корневого питания (N подкормки, % от N белка)

Время после обработки растений	Фон 1			Фон 2		
	$\text{NH}_2$	$\text{NO}_2$	$\text{NH}_4$	$\text{NH}_2$	$\text{NO}_2$	$\text{NH}_4$
Зерно						
1 ч	0,7	9,3	9,9	0,7	10,3	6,7
3 »	1,2	8,4	7,2	0,7	6,0	4,6
6 »	1,9	10,8	13,3	0,5	6,0	3,3
12 »	2,3	12,1	20,7	2,8	4,9	7,2
1 сут	5,1	11,3	20,6	3,0	6,2	15,0
2 »	9,4	14,3	23,6	4,6	8,0	19,0
4 »	13,4	22,7	27,8	8,2	12,0	20,3
Надземная вегетативная масса						
1 ч	17,8	12,4	18,4	14,2	6,3	8,3
3 »	18,1	16,3	21,6	11,3	7,6	9,4
6 »	18,6	17,3	22,3	11,8	10,1	11,8
12 »	26,4	20,2	26,1	13,9	12,5	14,7
1 сут	27,8	20,5	24,6	16,9	11,6	18,4
2 »	25,7	18,9	24,6	21,0	13,2	19,5
4 »	20,2	18,7	19,4	21,1	13,9	20,0
Корни						
3 ч	13,8	7,8	11,2	12,0	4,2	12,7
6 »	15,7	6,6	10,8	13,9	5,8	13,8
12 »	11,4	7,6	11,9	14,1	9,1	12,5
1 сут	14,8	11,2	17,9	16,4	10,2	9,2
2 »	17,1	9,0	19,1	15,1	9,7	11,4
4 »	17,8	8,5	21,8	16,2	10,9	10,5

нить не столько увеличением биосинтеза аминокислот и белков, сколько процессом, соответствующим термину «включение». Очевидно, имеет место связывание проникающего в растения азота не только в звеньях ассимиляции и образования аминокислот, но и непосредственно белками. Адсорбция поступающего азота определенными белками — реальный путь резервного накопления этого элемента для пролонгирования ассимиляции. Роль белка как связывающего вещества хорошо известна, например, при детоксикации нежелательного количества тех или иных веществ [1].

Давая общую оценку изменению содержания азотистых веществ, отметим, что аммиачная форма азота больше всего влияет на функционирование звена обмена «свободные аминокислоты — пептиды». В результате увеличилось содержание небелковых соединений азота и меньше накапливалось пептидов, чем в вариантах с другими формами азота. В данном случае первичный обмен азотистых веществ модифицирован. По-видимому, наблюдается значительный дисбаланс в пуле свободных аминокислот, который приводит к снижению эффективности (полноты) использования их для биосинтеза пептидов и белков. При использовании нитратной формы азотных удобрений скорость функционирования звена обмена «пептиды — белки» была недостаточной, отсюда содержание пептидов в надземной вегетативной массе, зерне и в меньшей мере в корнях при обработке растений азотнокислым натрием оказалось больше, чем в вариантах с мочевиной или сульфатом аммония. Кроме того, накопление белков в зерне увеличивалось менее интенсивно. Недостаточную скорость функционирования указанного звена обмена мы склонны объяснить тем, что биосинтез определенных аминокислот неадекватен потребности растений в них. Это препятствует более полному использованию пептидов как промежуточных продуктов обмена на биосинтез белков. Возможно, с данным фактом во многом связано меньшее увеличение содержания белков в зерне при использовании нитратной формы азота в качестве некорневой подкормки.

Некоторое увеличение количества небелковых соединений азота, пептидов и белков в корнях при некорневых подкормках азотными удобрениями, вероятно, частично обусловлено снижением оттока азотистых веществ из них вследствие уменьшения атрагирующей силы зерновки. Это, очевидно, происходит из-за того, что потребность репродуктивных органов в азотных веществах в известной мере удовлетворяется за счет ассимиляции азота некорневых подкормок. Азот, поступающий через корни, чуть больше задерживается в них в виде названных соединений. При опрыскивании растений растворами азотных удобрений, как отмечалось в опытах с меченым азотом, этот элемент в достаточных количествах поступает из вегетативных органов в корни. Следовательно, некоторое увеличение содержания азотистых веществ в корнях может быть результатом прямого влияния некорневых подкормок азотными удобрениями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Белки. Т. II. Физико-химия белковых веществ / Под ред. Г. Нейрата и К. Бэйли. М.: ИЛ, 1956. — 2. Крищенко В. П. Формирование качества урожая зерновых культур при различных условиях азотного питания. — Тр. ЦИНАО. Влияние применения химических средств на качество урожая с.-х. культур. Вып. 4, ч. 1. М., 1976, с. 28—39. — 3. Крищенко В. П. Изменения содержания азотистых веществ и компонентного состава белкового комплекса яровой пшеницы, выращиваемой при разном питании. — Физиология и биохимия культурных растений, т. 16, № 4, 1984, с. 360—368.

*Статья поступила 1 октября 1984 г.*

#### SUMMARY

Experiments with  $^{15}\text{N}$  have shown that response of spring wheat to top dressing with various kinds of nitrogen fertilizers depends on the general level of root nutrition. Under low level of root nutrition the change of protein content in grain due to the kind of nitrogen fertilizers is more considerable than under heavy supply of nutritive elements. The speed of incorporation of nitrogen into protein and the renovation of the latter differ according to various kinds of nitrogen fertilizers.