

УДК 633.11:631.811:581.19.04:547.96

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕГКО-, СРЕДНЕ- И ТРУДНОРАСТВОРИМЫХ БЕЛКОВ У ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТЕНИЯМИ АЗОТА НЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК

В. П. КРИЩЕНКО, Т. Ф. УШАКОВА

(Кафедра агрономической и биологической химии)

Изучалось действие амидной, аммиачной и нитратной форм азотных удобрений, применяемых в виде некорневых подкормок, на содержание легко-, средне- и труднорастворимых компонентов в растворимых белках зерна, надземной вегетативной массы и корней яровой пшеницы, выращиваемой без удобрений и при высоком уровне питания. Для изучения скорости обновления белков различных частей растений в опытах применялись меченые удобрения.

Анализ данных об изменениях общего количества белков в пшенице [1], их растворимой и нерастворимой частей [2], включения меченого азота в них при обработке растений мочевиной показывает, что она способствует усилению оттока из вегетативных органов в репродуктивные азотистых соединений и прежде всего тех, которые были синтезированы до проведения некорневой подкормки [2]. Азот нитратного и особенно аммиачного удобрений, внесенных некорневым способом, поступает в зерновку в большей мере, чем азот мочевины.

Значительное влияние разных условий питания пшеницы на ее белковый комплекс, в частности на содержание растворимых белков и скорость их обновления, побудило нас к проведению дополнительных углубленных исследований с целью выявить действие условий питания на компоненты растворимой части белкового комплекса. Предполагалось, что наблюдаемые изменения совокупности растворимых белков не всегда характерны для ее составляющих.

Методика

Изучение указанных вопросов проводили на яровой пшенице сорта Краснозерная в условиях вегетационного опыта. Растения выращивали в сосудах Митчерлиха, заполненных 6 кг дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы. Азотный обмен изучали при двух уровнях корневого питания: без минеральных удобрений (фон 1) и с повышенной дозой макро- и микроэлементов (фон 2). Дозы азота мочевины, сульфата аммония и азотнокислого натрия, использовавшихся для некорневых подкормок, — 6,7 мг на растение (100 мг на сосуд). Обогащение азотных удобрений

меченым азотом было разным. Методика опытов с мечеными азотными удобрениями общепринятая [3]. Методы анализов и проведения опытов, а также данные по урожаю зерна приведены в [1, 4]. Дополнительно укажем на то, что легко-, средне- и труднорастворимую группы белков экстрагировали соответственно 0,005 молярным фосфатным (рН 7,4), 0,05 молярным карбонатным (рН 9,35) и 0,16 молярным боратным (рН 12,3) буферами; последний с добавками до 0,17 моль KCl и до 0,02 моль Na_2SO_3 [5].

Результаты

В работе [2] изучалось влияние некорневых подкормок яровой пшеницы разными формами азотных удобрений на общее содержание растворимых и нерастворимых белков. В настоящей статье освещаются результаты детального исследования растворимой части белков, которые, в свою очередь, разделены на легко-, средне- и труднорастворимую группы.

Изучение динамики содержания этих групп белков в период после проведения некорневых подкормок (с начала формирования зерновок) показало, что наибольшим изменениям подвержены легкорастворимые белки, меньшим — среднерастворимые и еще меньшим — труднорастворимые (рис. 1, табл. 1 и 2).

Выявлены некоторые общие закономерности. Обработка растений мочевиной при первом и втором уровнях питания вызвала уменьшение в растворимых белках зерна их легкорастворимой группы, увеличила количество средне- и труднорастворимых белков. Следовательно, растворимость растворимых белков зерна ухудшилась. При использовании аммиачной формы удобрения стабильно повышалась доля легкорастворимой группы белков в зерне во все контролируемые фазы вегетации и среднерастворимых белков к концу созревания зерновок. В данном случае растворимость растворимых белков в целом повысилась. Действие нитратных азотных удобрений в этом отношении менее определенное. Очевидно лишь то, что при низком уровне корневого питания под их влиянием увеличивалось содержание легкорастворимых белков. Можно говорить и о положительном действии используемого удобрения на содержание среднерастворимых белков на поздних этапах созревания зерновок у растений, выращенных при обоих режимах корневого питания.

В предыдущей публикации указывалось на то, что некорневые азотные подкормки пшеницы сглаживают те различия суммарного накопления белков в ее вегетативной массе, которые определяются неодинаковым уровнем корневого питания [1]. Результаты экспериментов, приводимые здесь, показывают, что эти изменения происходят за счет легко- и среднерастворимой групп растворимых белков.

В предыдущей публикации указывалось на то, что некорневые азотные подкормки пшеницы сглаживают те различия суммарного накопления белков в ее вегетативной массе, которые определяются неодинаковым уровнем корневого питания [1]. Результаты экспериментов, приводимые здесь, показывают, что эти изменения происходят за счет легко- и среднерастворимой групп растворимых белков.

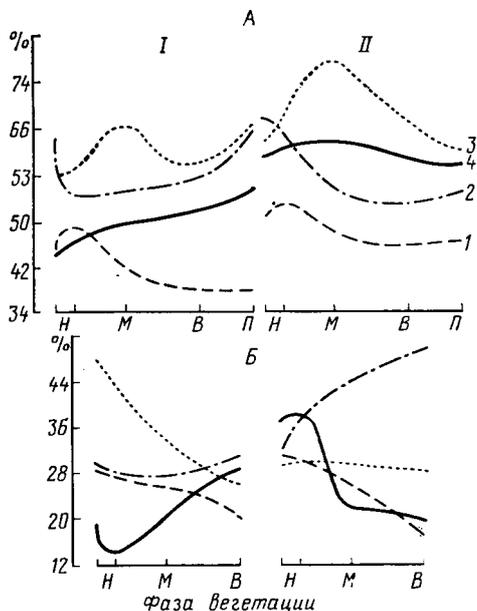


Рис. 1. Содержание легкорастворимых белков в зерне (А) и корнях (Б) яровой пшеницы при низком (I) и высоком (II) уровнях корневого питания и некорневых подкормках азотными удобрениями.

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

Таблица 1
Содержание легкорастворимых белков (% от общего их количества*)
в надземной вегетативной массе пшеницы

Фаза вегетации (дни после подкормки)	Фон 1				Фон 2			
	контроль	некорневая подкормка			контроль	некорневая подкормка		
		NH_4	NO_4	NH_4		NH_3	NO_4	NH_4
Начало налива:								
(1)	51,2	51,5	47,5	45,9	65,5	53,7	48,6	49,9
(4)	49,2	47,4	47,1	47,5	62,5	58,8	48,6	50,3
Молочная (15)	44,0	42,3	45,8	50,0	55,5	62,8	49,0	50,7
Восковая (31)	43,9	45,8	49,1	55,6	57,2	57,7	51,6	52,5

* В общее количество белков (белковый комплекс), кроме легко-, средне- и труднорастворимых групп растворимой части белков, включены также нерастворимые белки, изменение содержания которых обсуждалось в опубликованной работе [2].

Содержание средне- и труднорастворимых белков (% к общему их количеству) в разных частях пшеницы на фоне 1. (в числителе) и фоне 2 (в знаменателе)

Фаза вегетации (дни после подкормки)	Среднерастворимые белки				Труднорастворимые белки			
	конт-роль	NH ₂	NO ₃	NH ₄	конт-роль	NH ₂	NO ₃	NH ₄
Зерно								
Начало налива:								
(1)	23,7	27,8	18,3	20,8	4,0	8,8	6,8	6,5
	14,1	25,2	7,7	11,4	4,2	9,2	4,0	4,8
(2)	24,0	29,9	19,5	21,9	3,6	6,8	7,2	5,9
	13,2	22,0	8,6	10,4	4,0	9,3	4,1	4,3
Молочная спелость (15)	20,2	24,6	19,5	17,2	2,5	8,4	8,1	2,8
	8,1	19,6	19,8	5,7	3,6	9,4	4,4	3,8
Восковая (31)	16,3	22,3	19,1	22,8	1,7	9,4	6,8	3,7
	7,0	14,7	26,0	15,6	3,6	8,8	6,0	5,8
Полная (41)	11,9	19,4	13,8	17,0	1,7	10,8	3,7	3,1
	8,1	15,0	30,2	19,1	4,5	8,6	4,8	9,6
Надземная вегетативная масса								
Начало налива:								
(1)	25,5	21,4	22,6	33,0	7,2	10,7	12,8	8,9
	22,0	18,6	18,4	15,1	8,0	11,1	9,6	15,6
(4)	22,7	21,7	22,5	30,9	8,4	15,4	13,6	14,6
	21,3	16,3	18,1	17,9	8,3	9,3	10,6	11,0
Молочная (15)	25,3	29,1	27,9	26,2	7,4	15,4	11,5	18,2
	23,9	17,0	14,9	19,7	4,7	4,6	12,9	6,5
Восковая (31)	11,4	16,7	22,0	13,9	7,3	10,7	10,0	9,2
	24,1	13,9	7,0	19,3	2,8	5,8	10,0	3,7
Корни								
Начало налива:								
(1)	22,6	19,2	15,8	13,2	4,6	6,7	10,2	8,2
	12,0	14,8	13,5	9,6	3,4	5,0	4,4	7,1
(4)	29,5	16,7	15,3	15,8	5,0	4,6	9,8	8,0
	11,2	13,8	16,6	11,6	4,4	6,0	5,4	9,4
Молочная (15)	15,8	9,2	14,3	14,1	8,5	11,1	10,3	10,6
	9,6	14,6	17,0	15,2	6,2	4,8	6,7	9,4
Восковая (31)	13,2	18,9	17,7	15,6	2,0	3,2	4,6	5,7
	9,0	12,3	12,8	17,7	8,7	2,5	7,5	4,8

На фоне 2 некорневые подкормки обеспечивали несколько большее (в 1,1—1,2 раза) накопление легкорастворимых белков в надземной вегетативной массе, чем на фоне 1. Количество среднерастворимых белков в надземной вегетативной массе особенно сильно зависело от некорневых азотных подкормок: применение мочевины, сульфата аммония или азотнокислого натрия на фоне 1 приводило к его повышению, а на фоне 2 — к понижению.

Растворимых белков в корнях пшеницы мало. Некорневые азотные подкормки влияют на компонентный состав этой части белкового комплекса сразу же после их проведения, причем степень указанного влияния зависит от уровня корневого питания растений. На фоне 1 подкормки привели к моментальному повышению содержания легкорастворимой группы белков, однако в процессе вегетации позитивное влияние некорневой обработки сглаживалось. Иной была реакция растений на фоне

2 при обработке азотнокислым натрием: если начальные различия в содержании легкорастворимых белков, вызванные действием подкормки, были небольшими, то к концу вегетации они увеличились.

Возможно, содержание этой группы белков следует рассматривать как наиболее специфичный параметр, характеризующий реакцию пшеницы на условия минерального питания.

Изменчивость содержания среднерастворимой группы белков в корнях меньше, чем легкорастворимой, но она также проявляется, особенно на фоне 1. И здесь можно говорить о том, что некорневые подкормки азотными удобрениями сглаживают различия в содержании этих белков, определяемые разным уровнем корневого питания.

Содержание труднорастворимой группы белков невелико во всех анализируемых частях растения. Некорневые подкормки при обоих режимах корневого питания, как правило, несколько увеличивали их количество. Растворяемость растворимых белков корней в основном зависела от содержания легкорастворимой их группы, меньше от средне- и еще меньше — от труднорастворимой группы.

Ранее указывалось, что интенсивность включения азота некорневых подкормок в нерастворимые белки зерна пшеницы имеет волнообразный характер с перепадом максимальных и минимальных значений показателя в 10 и более раз, отмечалась также тенденция к подобным изменениям в вегетативной массе растений [2]. Указанная закономерность выявляется и для растворимой части белкового комплекса разных частей растения.

Разделение растворимых белков на группы позволило получить новые сведения, имеющие принципиальное значение. Оказалось, что изучаемые группы белков разных частей растений различаются по скорости включения в них меченого азота — по скорости обновления (рис. 2—4). Наиболее низкой скоростью обновления обладают среднерастворимые белки, наиболее высокой — легкорастворимые. Особенно высока скорость обновления труднорастворимых белков надземной вегетативной массы и корней пшеницы в период 1,5—2,0 сут после обработки растений мочевиной.

Кроме того, разделение растворимых белков на группы расширило сведения о волнообразном изменении во времени интенсивности включения меченого азота в различные белки. Наиболее выраженным это явление было у средне- и труднорастворимых белков и менее заметным — у легкорастворимой группы. Последнее объясняется, видимо, тем, что легкорастворимые белки обладают особой гетерогенностью состава. Можно предположить, что у разных их компонентов продолжительность фазы волнообразного изменения интенсивности включения меченого азота неодинаковая. При одновременном выделении всех этих компонентов имеет место наложение фаз, что маскирует возможную волнообразность. Последующее разделение легкорастворимых белков на фракции позволит ответить и на этот вопрос.

Хотя волнообразность включения меченого азота в легкорастворимые белки зерна мала, она все же слабо проявлялась при аммиачной подкормке в первые несколько часов после обработки растений, а при нитратной тенденция к спаду включения меченого азота в эту группу белков обозначилась через 10 ч после опрыскивания пшеницы. В легкорастворимых белках надземной вегетативной массы отмечен лишь один спад и по одной форме удобрения — по мочеvine.

В этой группе белков корней спад интенсивности включения меченого азота в легкорастворимые белки произошел через 2 ч после обработки растений меченым сульфатом аммония или азотнокислым натрием и через 6—7 ч после применения мочевины. В первом случае он продолжался до 6—8 ч, во втором — до 14—15 ч после некорневой подкормки. По окончании спада постепенно начиналось нарастание интенсивности включения меченого азота в легкорастворимые белки, скорость обновления их возрастала.

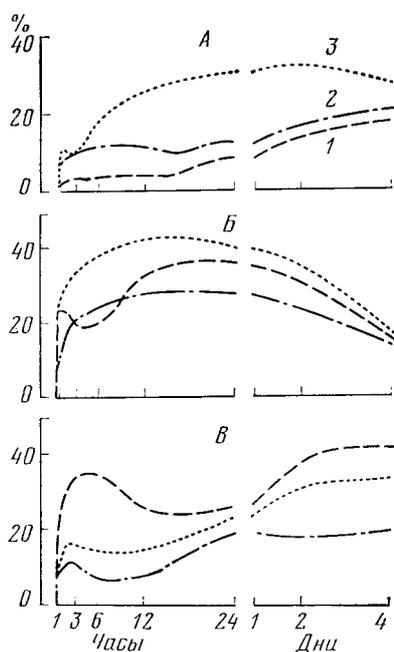


Рис. 2. Динамика включения азота некорневых подкормок (опыт с ^{15}N) в легкорастворимые белки зерна (А), надземной вегетативной массы (Б) и корней (В) яровой пшеницы при низком уровне корневого питания.

Обозначения те же, что на рис. 1.

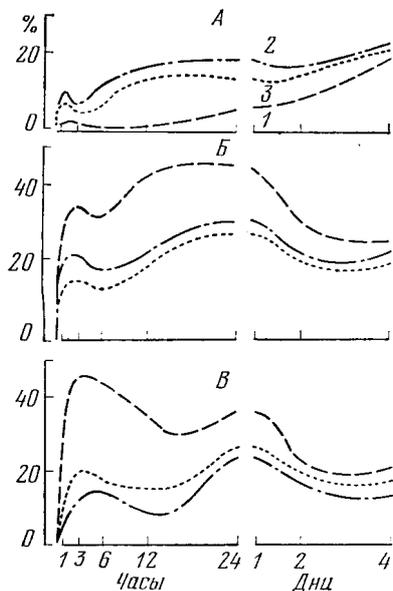


Рис. 4. Динамика включения азота некорневых подкормок (опыт с ^{15}N) в труднорастворимые белки яровой пшеницы при низком уровне корневого питания.

Обозначения те же, что на рис. 1 и 2.

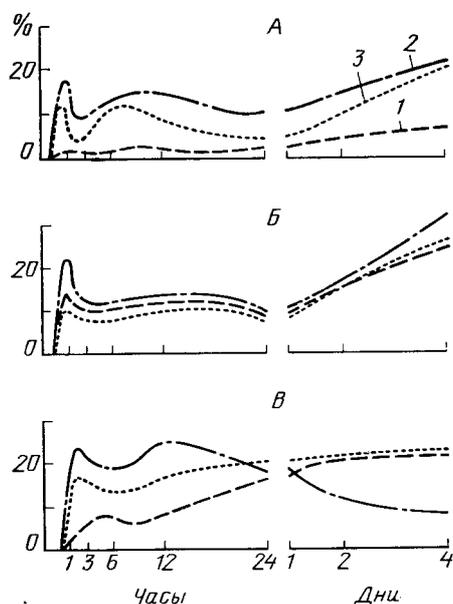


Рис. 3. Динамика включения азота некорневых подкормок (опыт с ^{15}N) в среднерастворимые белки яровой пшеницы при низком уровне корневого питания.

Обозначения те же, что на рис. 1 и 2.

Необходимо обратить внимание на тот факт, что резкое увеличение количества включенного меченого азота мочевины в легкорастворимые белки корней сопровождалось усиленным оттоком его из вегетативной массы растений и резким снижением содержания меченого азота в легкорастворимых белках последней. Это может свидетельствовать о наличии причинно-следственной связи между изменением содержания данных белков в указанных частях растений и некорневой подкормкой их мочевиной.

Изменение интенсивности включения меченого азота в среднерастворимые белки зерна, надземной вегетативной массы и корней пшеницы в первые сутки наблюдений имело две полные волны. Для зерна продолжительность этих волн была равна 3 и 21 ч, для надземной вегетативной массы — 5 и 19, корней — 7 и 17 ч (последнее число не во всех вариантах). Вслед за второй волной начиналось новое увеличение содержания меченого азота в среднерастворимых белках надземной вегетативной массы и зерна. Этот подъем можно характеризовать как начальную фазу третьей волны.

Включение азота некорневых подкормок (% от N белка)
в белки в начальный период налива зерна пшеницы, выращиваемой на фоне 2,
в опыте с ¹⁵N

Время отбора проб после подкормки	Легкорастворимые			Среднерастворимые			Труднорастворимые		
	NH ₂	NO ₃	NH ₄	NH ₃	NO ₃	NH ₄	NH ₂	NO ₃	NH ₄
Зерно									
1 ч	0,9	9,3	6,7	Сл.	13,2	11,6	1,0	6,2	9,8
3 »	0,6	5,8	5,0	0,1	9,1	3,6	0,7	6,1	3,9
6 »	0,3	5,4	2,5	0,6	12,0	9,9	0,7	12,1	5,2
12 »	1,5	3,3	6,6	1,6	14,4	9,0	1,3	17,1	13,3
1 сут	3,3	6,3	19,5	1,9	10,1	4,5	5,5	21,7	13,4
2 »	5,7	7,9	24,1	4,0	14,2	9,4	9,1	17,5	15,1
4 »	9,6	12,1	18,7	7,2	21,0	19,4	16,6	23,6	22,4
Надземная вегетативная масса									
1 ч	20,9	6,6	12,3	11,5	18,9	9,5	21,9	18,4	12,7
3 »	15,9	9,7	14,1	11,2	11,6	8,6	34,3	20,9	14,3
6 »	18,0	14,3	19,7	10,0	11,6	7,3	31,4	17,0	12,1
12 »	18,9	17,2	20,6	10,9	13,5	10,6	42,4	21,4	18,2
1 сут	21,9	17,2	23,5	13,1	9,5	8,7	44,4	30,5	26,8
2 »	28,1	18,9	26,4	16,5	16,3	13,8	30,7	20,6	19,8
4 »	27,4	15,1	24,8	23,8	29,7	25,1	24,6	30,3	18,0
Корни									
3 ч	24,8	3,8	31,9	6,3	21,5	16,1	45,7	12,7	20,3
6 »	28,5	8,6	36,3	7,3	18,7	14,5	43,7	14,5	16,8
12 »	32,6	12,4	34,3	8,5	24,6	16,9	34,7	9,1	16,3
1 сут	37,3	18,2	21,9	16,0	17,8	19,4	36,0	22,8	23,7
2 »	36,1	17,0	23,6	20,9	11,1	19,9	21,7	16,2	19,2
4 »	37,2	18,5	23,3	19,9	6,9	21,1	20,9	13,0	17,2

Труднорастворимые белки значительно отличались от легко- и среднерастворимых по продолжительности второй волны изменения интенсивности включения меченого азота. Так, значение этого показателя для труднорастворимых белков зерна достигало 45 ч, вегетативной массы — 65, корней — 55 ч, продолжительность первой волны составляла соответственно 2, 7 и 17 ч.

Таким образом, продолжительность первой волны включения меченого азота в средне- и труднорастворимые белки зерна была меньше, чем в эти же группы белков надземной вегетативной массы, а в последней — меньше, чем в корнях, — соответственно 3, 5 и 7 ч и 2, 7 и 17 ч. Продолжительность второй волны для указанных групп белка зерна, вегетативной массы и корней составила соответственно 21, 19, 17 ч и 45, 65 и 55 ч.

Ранее было установлено [2], что при одинаковых условиях обработки растений разными формами азотных удобрений на растворимую часть белкового комплекса большее влияние оказывает азот аммиачного удобрения, меньшее — нитратного и еще меньшее — амидного. Благодаря разделению этих белков на три группы было установлено, что указанная закономерность относится только к легкорастворимой части растворимых белков. На содержание средне- и труднорастворимых белков преимущественно влияют нитратные удобрения.

В растворимых белках вегетативной массы больше накапливается азот амидной формы удобрения и в основном за счет труднорастворимых белков.

В отношении особенностей включения азота разных форм удобрений в растворимые белки корней определенные выводы сделать трудно. Но разделение белков на группы все же показало, что и в данном случае имеются различия в скорости обновления белков и использовании раз-

ных форм азотных удобрений, примененных в виде некорневых подкормок, на образование белков. Так, азот мочевины в заметно большем количестве включался в легко- и труднорастворимые белки, чем в среднерастворимые.

Проведенный выше анализ относился к результатам опыта с растениями, выращиваемыми на фоне 1 (без минеральных удобрений). На фоне 2 чаще наблюдались те же закономерности (табл. 3), но вместе с тем имелись и отличия: волны изменения интенсивности включения меченого азота в белки в этих условиях выражены меньше; нет четких перепадов верхних и нижних значений.

Заключение

Некорневая подкормка яровой пшеницы мочевиной ухудшала, а аммиачным азотным удобрением повышала растворимость растворимой части белкового комплекса зерна. В вегетативной массе растений этот комплекс изменялся при некорневых азотных подкормках прежде всего в связи с изменениями доли среднерастворимых белков.

Выявленная ранее волнообразность изменения интенсивности включения азота некорневых подкормок в белки наиболее характерной оказалась для средне- и труднорастворимой групп. В первые сутки после обработки наблюдались две волны интенсивности включения азота в средне- и труднорастворимые белки зерна, надземной вегетативной массы и корней пшеницы. Однако продолжительность второй волны у труднорастворимых белков намного больше, чем у среднерастворимых. Разные группы белков разных частей растений обладают разной скоростью обновления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крищенко В. П., Маркелова В. Н. Изменения компонентного состава азотистых веществ у яровой пшеницы при некорневых азотных подкормках. — Изв. ТСХА, 1985, вып. 3, с. 86—91.
2. Крищенко В. П., Пантелеев А. А. Содержание растворимых и нерастворимых белков у яровой пшеницы и использование растениями азота некорневых подкормок при разном уровне питания. — Изв. ТСХА, 1986, вып. 6, с. 60—65.
3. Смирнов П. М. Вопросы агрохимии азота (в исследованиях с N^{15}). — М.: ТСХА, 1982.
4. 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.
5. Крищенко В. П. Методика определения аминокислотного состава растительных образцов и разделения белков на фракции буферными растворами. — Изв. АН СССР, сер. биол., 1978, № 3 с. 405—407.

Статья поступила 11 сентября 1986 г

SUMMARY

It has been found that treating spring wheat with urea resulted in lower solubility of soluble part of grain protein complex, while treating with ammonia nitrogen fertilizer increased this solubility. Wavy intensiveness of inclusion of non-root dressing nitrogen into proteins proved to be most typical for their middle- and hard-soluble groups. Different intensiveness of nitrogen inclusion into middle- and hard-soluble proteins of grain, aboveground vegetative mass, and wheat roots had two waves during the first 24 hours, but in hard-soluble proteins the second wave lasted longer.

It is shown that different protein groups of different plant parts have different renovation speed