

## ДИАГНОСТИКА АЗОТНОГО ПИТАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР ПО КОНЦЕНТРАЦИИ АМИНОКИСЛОТ В СОКЕ ЛИСТЬЕВ

Н.Н. НОВИКОВ, А.А. ЖАРИХИНА, Н.Е. СОЛОВЬЕВА

(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

*В полевых опытах с мягкой пшеницей и пивоваренным ячменем, проведенных на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, было показано, что под воздействием возрастающих доз азотного питания в соке листьев в фазе образования первого стеблевого узла понижалась концентрация аминокислот. Это подтверждалось высокими значениями коэффициентов корреляции. Также установлена тесная корреляция концентрации аминокислот в соке листьев с продуктивностью растений и показателями качества зерна. У пшеницы выявлена тесная отрицательная корреляция концентрации аминокислот в соке листьев с массой 1000 зерен, общим содержанием в зерне белков и клейковины, а также глиадиновых и глютелиновых белков и тесная положительная корреляция с содержанием в зерне водорастворимых, неэкстрагируемых белков и активностью протеаз. У пивоваренного ячменя концентрация аминокислот в соке листьев отрицательно коррелировала с общим содержанием в зерне белков, количеством гордеинов, общей активностью амилаз и положительно коррелировала с показателями натурности, экстрактивности зерна и содержания в зерне водорастворимых белков. Результаты исследований свидетельствуют о том, что по концентрации аминокислот в соке листьев в фазе образования первого стеблевого узла можно достаточно точно проводить диагностику азотного питания и прогнозировать качество зерна мягкой пшеницы и пивоваренного ячменя.*

**Ключевые слова:** мягкая пшеница, пивоваренный ячмень, азотное питание, качество зерна, концентрация аминокислот в соке листьев.

### Введение

Качество зерна пшеницы, ячменя и других злаковых культур в значительной степени определяется содержанием и составом белков, интенсивность синтеза которых зависит от обеспеченности растений азотом как в период их вегетации, так и во время созревания зерновок. Регулирование режима азотного питания злаковых культур осуществляется внесением азотных удобрений до посева, а также в виде подкормок. Для повышения содержания белков в созревающем зерне особенно эффективны поздние азотные подкормки в фазах начала колошения и формирования зерна (некорневые подкормки) [1, 5, 10, 11, 14, 15].

Необходимость проведения поздних азотных подкормок обычно устанавливаются с применением методов тканевой или листовой диагностики азотного питания вегетирующих растений, по результатам которых возможно прогнозирование величины и качества урожая пшеницы и других злаковых культур. Для диагностики азотного питания пшеницы В.В. Церлинг разработан метод тканевой диагностики азотного питания на основе измерения концентрации нитратов в стеблевых срезах, которые делают в фазе образования второго стеблевого узла в средней части главного побега растений между первым и вторым стеблевыми узлами. Затем по интенсивности

окрашивания стеблевых срезов оценивают обеспеченность растений азотом и возможность получения зерна с высоким содержанием белков. На основе такой диагностики при недостаточном уровне азотного питания проводятся корневая подкормка в начале колошения растений пшеницы или некорневая подкормка в начале формирования зерна [3, 4, 7, 12, 13].

В целом этот метод обеспечивает достаточно высокую точность при оценке обеспеченности растений пшеницы азотом, однако имеет и определенные недостатки, так как способен регистрировать только поступление в растения нитратного азота, но не дает сведений об аммонийном питании. Кроме того, концентрация нитратов в растениях может возрастать не только от усиления азотного питания, но и под влиянием понижения температуры окружающей среды, ослабления освещенности растений, а также при недостаточном их питании фосфором, калием и другими питательными элементами, что может вносить существенную ошибку в результаты диагностики [6].

В целях исключения указанных недостатков необходима разработка такого метода диагностики, который бы регистрировал поступление в растения как нитратной, так и аммонийной форм азота, и включение их в обмен органических веществ. Одним из таких методов является диагностика азотного питания и прогнозирование качества зерна пшеницы по измерению концентрации протеиногенных аминокислот в соке листьев. В полевых опытах было показано, что для диагностики азотного питания следует брать листья второго яруса сверху (второй лист от колоса) с главных побегов растений в фазе образования первого стеблевого узла. Эти листья уже полностью сформированы, и в них стабилизировались биохимические процессы [6, 8].

В ходе наших исследований было установлено, что концентрация аминокислот в соке листьев пшеницы возрастала при недостаточном уровне азотного питания растений вследствие ослабления ростовых процессов и снижения потребления аминокислот на синтез структурных и функционально активных белков и других азотистых веществ. С другой стороны, усиление азотного питания растений активизировало в них синтез указанных веществ и потребление на эти процессы аминокислот, в результате чего их концентрация в соке листьев снижалась.

Таким образом, было выявлено, что по концентрации аминокислот в соке листьев можно оценивать уровень обеспеченности растений азотом, а на основе корреляций данного показателя с показателями продуктивности растений и химического состава зерновок прогнозировать величину урожая и качество зерна пшеницы. При этом общую концентрацию аминокислот в соке листьев можно оценивать по изменению концентрации одной или нескольких протеиногенных аминокислот, так как на синтез белков все протеиногенные аминокислоты потребляются одновременно [8].

Для практического применения полученных результатов исследований необходимо дальнейшее уточнение параметров изменения концентрации аминокислот в соке листьев разных генотипов пшеницы и других злаковых культур в зависимости от особенностей почвы, режимов азотного питания и гидротермических условий во время вегетации растений.

Цель нашей работы – выяснить влияние режимов азотного питания на концентрацию аминокислот в соке листьев, продуктивность растений и качество зерна мягкой пшеницы и пивоваренного ячменя при выращивании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве.

## Методика исследований

На Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева проведены опыты с яровой мягкой пшеницей сорта Иволга селекции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (2010–2011 гг.) и яровым ячменем сорта Владимир селекции Московского НИИСХ «Немчиновка» и Рязанского НИИСХ (2016–2017 гг.). Почва на опытном участке дерново-подзолистая среднесуглинистая, содержание гумуса – 2,4–2,5%,  $pH_{\text{сол.}}$  – 5,8–6,2; в опытах с пшеницей  $P_2O_5$  – 200–220 мг/кг (по Кирсанову),  $K_2O$  – 160–180 мг/кг (по Масловой); в опытах с ячменем  $P_2O_5$  – 160–190 мг/кг,  $K_2O$  – 200–213 мг/кг (по Кирсанову). Площадь делянок – 1 м<sup>2</sup>, повторность опытов с пшеницей пятикратная, с ячменем – четырехкратная. Азотное удобрение вносили до посева в виде нитрата аммония в дозах от 0 до 150 кг/га азота. Фосфорное и калийное удобрения в виде суперфосфата и хлорида калия вносили до посева во всех вариантах опытов в виде фона  $P_{20}K_{20}$  (2010–2011 гг.),  $P_{30}K_{30}$  (2016 г.) и  $P_{60}K_{60}$  (2017 г.).

Показатели качества зерна, прошедшего послеуборочное дозревание, натуру, массу 1000 зерен, содержание и качество клейковины, экстрактивность определяли общепринятыми методами [2]. Содержание в зерне белков оценивали по белковому азоту, белковые фракции последовательно экстрагировали из цельносмолотого зерна обессоленной водой, 10%-ным раствором KCl, 70%-ным раствором этилового спирта и 0,2%-ным раствором NaOH с последующим определением азота. Активность амилолитических ферментов определяли методом иод-крахмальной пробы, протеаз – по Ансону [9].

Пробы сока листьев выделяли из образцов зеленой массы, в которые включали листья второго сверху яруса, отобранные с главных побегов растений пшеницы и ячменя в фазе образования первого стеблевого узла, и затем фиксировали в 3%-ном растворе трихлоруксусной кислоты (ТХУ). После нейтрализации ТХУ раствором гидроксида натрия в пробах сока измеряли концентрацию тирозина и цистеина окрашиванием с реактивом Фолина (опыты с пшеницей) или спектрофотометрированием ароматических аминокислот при длине волны 280 нм (опыты с ячменем). По измеренной концентрации указанных аминокислот оценивали общее содержание аминокислот в соке листьев [6, 8].

Результаты опытов статистически оценивали методом дисперсионного анализа с применением компьютерной программы «Straz» в модификации информационно-вычислительного центра РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (Версия 2.1, 1989–1991). Расчет коэффициентов корреляции выполняли на основе компьютерной программы Microsoft Office Excel 2010. В ходе исследований изучали большой набор технологических и биохимических показателей качества зерна мягкой пшеницы и пивоваренного ячменя, но в материалах статьи представлены показатели, которые тесно коррелировали с концентрацией аминокислот в соке листьев.

## Результаты и их обсуждение

В опытах с пшеницей, выращенной в разных гидротермических условиях (за период вегетации 2010 г. ГТК = 0,6; 2011 г. – ГТК = 1,0), установлено, что при внесении возрастающих доз азота отмечалось существенное снижение концентрации аминокислот в соке листьев (табл. 1, 2) в фазе образования первого стеблевого узла. Усиление азотного питания растений активизировало ростовые процессы, в ходе которых возрастало потребление аминокислот на синтез структурных и функционально активных белков, а также других азотистых веществ. В результате происходило повышение продуктивности растений, содержания в зерне белков и клейковины, увеличение массы 1000 зерен.

Таблица 1

**Влияние режима азотного питания на концентрацию аминокислот  
в соке листьев, урожайность и качество зерна пшеницы в опыте 2010 г.**

Показатели	N <sub>0</sub>	N <sub>60</sub>	N <sub>90</sub>	N <sub>120</sub>	N <sub>150</sub>	HCP <sub>05</sub>
Концентрация аминокислот в соке листьев, ед. опт. плотности	0,73	0,65	0,59	0,56	0,53	-
Урожай зерна, г/м <sup>2</sup>	134	157	175	210	236	14
Масса 1000 зерен, г	26,8	27,2	28,5	28,4	30,7	2,2
Сырая клейковина, %	25,7	25,9	27,6	28,5	30,0	2,0
Общее содержание белков в зерне, % сухой массы	10,5	11,7	13,0	14,1	14,7	0,5
Азот фракций, % от белкового азота						
Водорастворимые белки	13,3	12,0	12,3	10,5	10,2	0,3
Глиадины	28,8	30,0	30,5	31,2	31,5	0,5
Глютенины	31,2	33,6	34,4	36,2	37,8	0,4
Неэкстрагируемые белки	13,0	11,7	10,2	9,3	9,0	0,4
Активность в зерне кислых протеаз (рН = 5,8), мкг тирозина за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы зерна	149	138	140	119	112	5
Активность в зерне щелочных протеаз (рН = 8), мкг тирозина за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы зерна	77	66	60	49	44	4

В засушливых гидротермических условиях 2010 г. вследствие ослабления ростовых процессов концентрация аминокислот в листьях пшеницы была выше, а урожай зерна и масса 1000 зерен ниже, чем в более благоприятных условиях вегетации 2011 г., однако общая тенденция изменения этих показателей под влиянием возрастающих доз азота была одинаковой. Поэтому в двухлетних опытах наблюдалась тесная корреляция, с одной стороны, между дозами азота и концентрацией аминокислот в соке листьев ( $r = -0,96-0,99$ ) (табл. 3), а с другой – между концентрацией аминокислот в соке листьев и величиной урожая, массой 1000 зерен, содержанием в зерне белков и сырой клейковины ( $r = -0,87-0,98$ ).

Из полученных коэффициентов корреляции следует, что по измерению концентрации аминокислот в соке листьев пшеницы в фазе образования первого стеблевого узла можно с достаточно высокой точностью оценивать уровень обеспеченности растений азотом и прогнозировать величину урожая и показатели качества зерна (масса 1000 зерен, содержание в зерне белков и клейковины). На основе такой диагностики представляется возможным обосновывать необходимость проведения поздних азотных подкормок растений пшеницы.

Таблица 2

**Влияние режима азотного питания на концентрацию аминокислот  
в соке листьев, урожайность и качество зерна пшеницы в опыте 2011 г.**

Показатели	N <sub>0</sub>	N <sub>60</sub>	N <sub>90</sub>	N <sub>120</sub>	N <sub>150</sub>	HCP <sub>05</sub>
Концентрация аминокислот в соке листьев, ед. опт. плотности	0,64	0,60	0,53	0,50	0,50	-
Урожай зерна, г/м <sup>2</sup>	201	210	254	281	296	15
Масса 1000 зерен, г	28,5	30,5	33,7	36,1	38,4	2,1
Сырая клейковина, %	24,4	25,3	25,8	27,1	27,8	2,0
Общее содержание белков в зерне, % сухой массы	11,9	12,9	13,4	13,7	14,9	0,5
Азот фракций, % от белкового азота						
Водорастворимые белки	13,8	12,3	12,2	11,6	10,8	0,7
Глиадины	29,7	30,6	30,7	31,0	31,1	0,5
Глютенины	30,4	31,9	33,1	34,5	36,7	0,5
Неэкстрагируемые белки	13,2	11,8	11,7	10,5	9,6	0,9
Активность в зерне кислых протеаз (рН = 5,8), мкг тирозина за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы зерна	170	165	148	126	124	5
Активность в зерне щелочных протеаз (рН = 8), мкг тирозина за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы зерна	63	55	54	41	33	3

В указанных опытах изучались также влияние уровня азотного питания на состав белков и активность протеаз в зерне пшеницы. При увеличении доз азотного питания растений наблюдались повышение в зерновках содержания клейковинных белков и снижение концентрации водорастворимых и неэкстрагируемых белков, а также активности кислых (рН = 5,8) и щелочных (рН = 8,0) протеаз. Между этими показателями и концентрацией аминокислот в соке листьев была выявлена тесная корреляция (для клейковинных белков  $r = -0,91-0,99$ , для других белков и активности протеаз  $r = 0,87-0,99$ ). Следовательно, по измерению концентрации аминокислот в соке листьев пшеницы, кроме общих показателей качества, можно также прогнозировать некоторые биохимические показатели качества зерна.

**Коэффициенты корреляции концентрации аминокислот в соке листьев с дозами азотного питания, урожайностью и показателями качества зерна пшеницы**

Коррелирующие показатели	Урожай 2010 г.	Урожай 2011 г.
Дозы азотного питания	-0,99	-0,96
Урожай зерна	-0,95	-0,97
Масса 1000 зерен	-0,87	-0,96
Содержание в зерне клейковины	-0,92	-0,93
Общее содержание белков в зерне	-0,98	-0,90
Содержание в зерне водорастворимых белков	0,90	0,89
Содержание в зерне глиадинов	-0,99	-0,91
Содержание в зерне глютеинов	-0,97	-0,91
Содержание в зерне неэкстрагируемых белков	0,99	0,90
Активность в зерне кислых протеаз (рН = 5,8)	0,94	0,96
Активность в зерне щелочных протеаз (рН = 8,0)	0,97	0,87
Корреляция достоверна при:	$r \geq 0,87$	

Возможность диагностики азотного питания и прогнозирования качества зерна пшеницы по измерению концентрации аминокислот в соке листьев была проверена в опыте 2011 г., в котором на фоне допосевного внесения  $N_{120}$  проводилась некорневая азотная подкормка растений в фазе начала формирования зерна ( $N_{30}$ ) путем их опрыскивания раствором мочевины. Как следует из таблицы 2, в варианте  $N_{120}$  содержание белков и клейковины в зерне пшеницы не достигает нормативного уровня, принятого для сильной пшеницы (14% белков и 28% сырой клейковины). Под влиянием некорневой азотной подкормки содержание белков увеличилось до 14,6%, клейковины – до 29,7%, показатель природы зерна повысился от 728 до 738 г/л.

Как показано в представленных опытах, при усилении азотного питания растений пшеницы возрастало накопление в зерновках клейковинных белков (глиадинов и глютеинов), поэтому доля других белковых фракций уменьшалась, в том числе водорастворимых белков, в которой содержатся ферментные белки протеаз. Поэтому активность этих ферментов под влиянием повышенных доз азотного питания уменьшалась. С другой стороны, известно, что клейковинные белки способны связывать протеолитические ферменты в неактивные комплексы, в связи с чем повышение их концентрации в зерне под влиянием повышенной дозы азота также снижало активность протеаз.

На активность протеолитических ферментов существенное влияние оказали гидротермические условия. При вододефицитном режиме (2010 г.) в зерновках

пшеницы понижалась активность кислых, но повышалась активность щелочных протеаз.

В опытах с пивоваренным ячменем, проведенных в 2016 г. (ГТК = 1,3) и 2017 г. (ГТК = 2,3), как и в опытах с пшеницей, было показано, что под влиянием возрастающих доз азота вследствие усиления синтеза белков и других азотистых веществ понижалась концентрация аминокислот в соке листьев (табл. 4, 5), и между этими показателями установлена тесная корреляция ( $r = -0,95-0,99$ ) (табл. 6). Наличие такой корреляции свидетельствует о том, что по концентрации аминокислот в соке листьев можно оценивать уровень азотного питания растений ячменя.

Таблица 4

**Влияние режима азотного питания на концентрацию аминокислот в соке листьев, урожайность и качество зерна пивоваренного ячменя в опыте 2016 г.**

Показатели	N <sub>0</sub>	N <sub>60</sub>	N <sub>90</sub>	N <sub>120</sub>	НСР <sub>05</sub>
Концентрация аминокислот в соке листьев, ед. опт. плотности	0,50	0,35	0,29	0,23	-
Урожай зерна, г/м <sup>2</sup>	418	442	461	494	21
Натура зерна, г/л	650	641	634	628	5
Общее содержание белков в зерне, % сухой массы	9,3	12,4	12,7	13,2	0,5
Экстрактивность зерна, % сухой массы	78,9	77,0	76,7	75,8	2,9
Азот фракций, % от белкового азота					
Водорастворимые белки	12,6	9,8	8,5	8,0	0,7
Гордеины	29,4	34,1	36,7	40,6	1,9
Общая активность амилаз в зерне, мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы зерна	65,4	80,6	87,3	95,3	4,3

При внесении возрастающих доз азота существенно увеличивались урожай зерна и содержание в зерне белков, но снижались натура и экстрактивность зерна. Указанные показатели тесно коррелировали с концентрацией аминокислот в соке листьев ( $r = -0,91-0,99, 0,91-0,99$ ). В результате усиления азотного питания в зерновках ячменя возрастало содержание гордеинов и снижалась концентрация водорастворимых белков. При этом установлены тесная положительная корреляция концентрации аминокислот в соке листьев с содержанием в зерне водорастворимых белков ( $r = 0,98-0,99$ ) и отрицательная корреляция с содержанием гордеинов ( $r = -96-0,98$ ).

Под воздействием повышения уровня азотного питания в зерне пивоваренного ячменя увеличивалась общая активность амилаз, тесно коррелировавшая с концентрацией аминокислот в соке листьев, пробы которых отбирали в фазе образования первого стеблевого узла ( $r = -0,91-0,99$ ).

**Влияние режима азотного питания на концентрацию аминокислот  
в соке листьев, урожайность и качество зерна пивоваренного ячменя  
в опыте 2017 г.**

Показатели	N <sub>0</sub>	N <sub>60</sub>	N <sub>90</sub>	N <sub>120</sub>	N <sub>150</sub>	HCP <sub>05</sub>
Концентрация аминокислот в соке листьев, ед. опт. плотности	0,60	0,55	0,44	0,42	0,42	-
Урожай зерна, г/м <sup>2</sup>	419	465	505	559	603	23
Натура зерна, г/л	732	730	725	724	719	5
Общее содержание белков в зерне, % сухой массы	8,9	9,1	10,1	11,7	11,0	0,5
Экстрактивность зерна, % сухой массы	81,1	80,4	80,1	79,4	79,0	2,9
Азот фракций, % от белкового азота						
Водорастворимые белки	11,8	10,9	9,4	8,3	8,2	0,7
Гордеины	32,5	35,0	36,7	38,0	38,9	1,7
Общая активность в зерне амилаз, мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы зерна	53,8	57,7	66,5	82,6	83,6	1,1

В отличие от пшеницы, у которой по концентрации аминокислот в соке листьев можно обосновывать применение поздних азотных подкормок для улучшения качества зерна, цель диагностики азотного питания пивоваренного ячменя – прогнозирование возможности формирования качества зерна, отвечающего требованиям пивоваренного производства. Как показано в наших опытах, при внесении повышенных доз азота (90–150 кг/га) заметно возрастало содержание в зерне белков, по которому установлено нормативное ограничение – не более 12%. Кроме того, существенно снижались показатели натуры и экстрактивности зерна.

Измерение концентрации аминокислот в соке листьев показало, что нормативное ограничение по содержанию в зерне пивоваренного ячменя белков не превышалось при значениях оптической плотности раствора (определяемой по указанной выше методике) не ниже 0,4. Из полученных данных следует, если по указанной методике диагностируется высокий уровень азотного питания, при котором будет получено зерно с высоким содержанием белков, то это может служить обоснованием для его использования не в пивоваренном производстве, а для пищевой или кормовой переработки.

**Коэффициенты корреляции концентрации аминокислот в соке листьев с дозами азотного питания, урожайностью и показателями качества зерна пивоваренного ячменя**

Коррелирующие показатели	Урожай 2016 г.	Урожай 2017 г.
Дозы азотного питания растений	-0,99	-0,95
Урожай зерна	-0,95	-0,92
Натура зерна	0,99	0,92
Общее содержание белков в зерне	-0,97	-0,91
Содержание в зерне водорастворимых белков	0,99	0,98
Содержание в зерне гордеинов	-0,98	-0,96
Экстрактивность зерна	0,99	0,91
Общая активность в зерне амилаз	-0,99	-0,91
Корреляция достоверна при:	$r \geq 0,95$	$r \geq 0,88$

Таким образом, в опытах с мягкой пшеницей и пивоваренным ячменем было показано, что под воздействием возрастающих доз азотного питания понижается концентрация аминокислот в соке листьев в фазе образования первого стеблевого узла вследствие увеличения их потребления на синтез структурных и функционально активных белков, а также других азотистых веществ. Это подтверждается высокими значениями коэффициентов корреляции. На основе этих данных возможно достаточно точное диагностирование обеспеченности растений пшеницы и ячменя доступными для питания формами азота. Вместе с тем установлена тесная корреляция концентрации аминокислот в соке листьев с продуктивностью растений пшеницы и ячменя, а также многими технологическими и биохимическими показателями качества зерна. У пшеницы выявлены тесная отрицательная корреляция между концентрацией аминокислот в соке листьев и массой 1000 зерен, общим содержанием в зерне белков и клейковины, а также глиадиновых и глютеиновых белков и тесная положительная корреляция концентрации аминокислот в соке листьев с содержанием в зерне водорастворимых и неэкстрагируемых белков, а также активностью кислых и щелочных протеаз. У пивоваренного ячменя концентрация аминокислот в соке листьев отрицательно коррелировала с общим содержанием в зерне белков, количеством гордеинов, общей активностью амилаз и положительно коррелировала с показателями натуры и экстрактивности зерна и содержанием в зерне водорастворимых белков.

В целом полученные данные свидетельствуют о том, что по концентрации аминокислот в соке листьев в фазе образования первого стеблевого узла возможны достаточно точная диагностика азотного питания и прогнозирование качества зерна мягкой пшеницы и пивоваренного ячменя.

## Выводы

1. В полевых опытах с мягкой пшеницей и пивоваренным ячменем, проведенных на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, установлено, что при повышении уровня азотного питания в соке листьев растений в фазе образования первого стеблевого узла снижается концентрация аминокислот вследствие усиления ростовых процессов и возрастания их потребления на синтез структурных и функционально активных белков, а также других азотистых веществ. Этот показатель имеет тесную отрицательную корреляцию с дозой вносимого азота.

2. У мягкой пшеницы в фазе образования первого стеблевого узла установлены тесная отрицательная корреляция концентрации аминокислот в соке листьев с продуктивностью растений, массой 1000 зерен, общим содержанием в зерне белков и клейковины, количеством глиадинов и глютеинов и тесная положительная корреляция с содержанием в зерне водорастворимых и неэкстрагируемых белков, а также активностью кислых и щелочных протеаз.

3. У пивоваренного ячменя в фазе образования первого стеблевого узла выявлены тесная отрицательная корреляция концентрации аминокислот в соке листьев с урожаем зерна, общим содержанием в зерне белков и количеством гордеинов, общей активностью амилаз и тесная положительная корреляция с натурой, экстрактивностью зерна, а также содержанием в зерне водорастворимых белков.

4. Результаты исследований показывают, что на основе выявленных корреляций по измерению концентрации аминокислот в соке листьев в фазе образования первого стеблевого узла можно с достаточно высокой точностью проводить диагностику азотного питания растений мягкой пшеницы и пивоваренного ячменя, а также прогнозировать их зерновую продуктивность и показатели качества зерна.

## Библиографический список

1. *Аристархов А.Н.* Оптимизация питания растений и применения удобрений в агроэкосистемах / А.Н. Аристархов. – М. – 2000. – 522 с.
2. *Беркутова Н.С.* Методы оценки и формирование качества зерна / Н.С. Беркутова. – М.: Росагропромиздат, 1991. – 206 с.
3. *Болдырев Н.К.* Листовая диагностика как метод прогнозирования качества урожая сельскохозяйственных культур / Н.К. Болдырев // Труды ВИУА. – 1980. – Вып. 59. – С. 29–33.
4. *Ермохин Ю.И.* Экспресс-методы химической диагностики потребности сельскохозяйственных культур в удобрениях / Ю.И. Ермохин. – Омск: Вариант-Омск, 2010. – 120 с.
5. *Макаров В.И.* Урожайность и качество зерна яровой пшеницы при дробном внесении азотных удобрений / В.И. Макаров, Ф.И. Грязина, Г.И. Чендемерова // Зерновые культуры. – 1998. – № 5. – С. 18–19.
6. *Новиков Н.Н.* Формирование урожая и качества зерна хлебопекарной пшеницы при выращивании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве / Н.Н. Новиков // Известия ТСХА. – 2010. – Вып. 1. – С. 59–72.
7. *Новиков Н.Н.* Биохимические основы формирования качества продукции растениеводства / Н.Н. Новиков. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014. – 194 с.
8. *Новиков Н.Н.* Новый метод диагностики азотного питания и прогнозирования качества зерна пшеницы / Н.Н. Новиков // Известия ТСХА. – 2017. – Вып. 5. – С. 29–40.

9. Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений / Б.П. Плешков. – М.: Колос, 1985. – 255 с.
10. Ряховский А.В. Содержание белка в зерне яровой и озимой пшеницы в зависимости от уровня и характера минерального питания / А.В. Ряховский // *Агрохимия*. – 1995. – № 1. – С. 11–19.
11. Соколов О.А. Физиолого-биохимические основы азотного питания растений / О.А. Соколов // *Бюллетень ВНИИА*. – 2001. – № 115. – С. 104–106.
12. Церлинг В.В. Растительная диагностика и биологическое качество урожая / В.В. Церлинг // *Агрохимия*. – 1971. – № 3. – С. 135–148.
13. Церлинг В.В. Методические указания по растительной диагностике зерновых культур / В.В. Церлинг. – М.: Колос, 1980. – 135 с.
14. Abeledo L.G. Genetic improvement of yield responsiveness to nitrogen fertilization and its physiological determinants in barley / L.G. Abeledo, D.F. Calderini, G.A. Slafer // *Euphytica*. – 2003. – Vol. 133. – P. 291–298.
15. Braziene Z. Spring wheat yield and productivity components as affected by nitrogen fertilization and weather conditions / Z. Braziene // *Zemdirbyste: Lietuvos zemes ukio univ.* – Akademija, 2007. – Vol. 94. – № 1. – P. 89–99.

## GRAIN QUALITY FORECASTING BY AMINO ACID CONCENTRATION IN THE LEAF JUICE

N.N. NOVIKOV, A.A. ZHARIKHINA, N.E. SOLOVYEVA

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

*Field experiments with soft wheat and malting barley, conducted on sod-podzolic medium loamy soil showed that under the influence of increasing rates of nitrogen nutrition in the leaf juice in the first stem node phase, the concentration of amino acids decreases. This fact is confirmed by high correlation coefficients. There is also a close correlation between the concentration of amino acids in the leaf juice, plant productivity and grain quality indicators. Wheat showed a close negative correlation of the concentration of amino acids in the leaf juice with the weight of 1000 grains, the total content of proteins and gluten in the grain, as well as gliadin and glutenin proteins, and a close positive correlation with the content of water-soluble, non-extractable proteins in the grain and the activity of proteases. The concentration of amino acids in the malting barley leaf juice was negatively correlated with the total content of proteins in the grain, the amount of gordeins, the total activity of amylases, and positively correlated with the test value indicators, grain extractivity, and the content of water-soluble proteins in the grain. The research results indicate that the concentration of amino acids in the leaf juice in the first stem node phase provides for a fairly accurate diagnostics of nitrogen nutrition and prediction of the quality of soft wheat and malting barley grains.*

**Key words:** *soft wheat, malting barley, nitrogen nutrition, grain quality, amino acid concentration in leaf juice.*

### References

1. Aristarkhov A.N. Optimizatsiya pitaniya rasteniy i primeneniya udobreniy v agroekosistemakh [Optimization of plant nutrition and application of fertilizers in agroecosystems]. – М.: Moskva, 2000: 522. (In Rus.)

2. *Berkutova N.S.* Metody otsenki i formirovanie kachestva zerna [Methods of evaluation and grain quality formation]. – M.: Rosagropromizdat, 1991: 206. (In Rus.)
3. *Boldyrev N.K.* Listovaya diagnostika kak metod prognozirovaniya kachestva urozhaya selskokhozyaystvennykh kultur [Leaf diagnostics as a method of predicting the yield quality of agricultural crops] // Trudy VIUA, 1980; 59: 29–33. (In Rus.)
4. *Ermokhin Yu.I.* Ekspress-metody khimicheskoy diagnostiki potrebnosti selskokhozyaystvennykh kultur v udobreniyakh [Express methods of chemical diagnosing the need of agricultural crops for fertilizers]. – Omsk: Variant-Omsk, 2010: 120. (In Rus.)
5. *Makarov V.I., Gryazina F.I., Chendemerova G.I.* Urozhaynost i kachestvo zerna yarovoy pshenitsy pri drobnom vnesenii azotnykh udobreniy [Yield and quality of spring wheat grain with fractional application of nitrogen fertilizers] // Zernoviye kultury, 1998; 5: 18–19. (In Rus.)
6. *Novikov N.N.* Formirovanie urozhaya i kachestva zerna khlebopekarnoy pshe-nitsy pri vyratshivanii na dernovo-podzolistoy srednesuglinistoy pochve [Formation of the yield and grain quality of baking wheat when grown on sod-podzolic medium-loamy soil] // Izvestiya TSKHA, 2010; 1: 59–72. (In Rus.)
7. *Novikov N.N.* Biokhimicheskie osnovy formirovaniya kachestva produktsii raste-niyevodstva [Biochemical fundamentals of obtaining crop product quality]. – M.: Izdatel-stvo RGAU–MSKHA imeni K.A. Timiryazeva, 2014: 194. (In Rus.)
8. *Novikov N.N.* Noviy metod diagnostiki azotnogo pitaniya i prognozirovaniya kachestva zerna pshenitsy [New method for diagnosing nitrogen nutrition and predicting the quality of wheat grain] // Izvestiya TSKHA, 2017; 5: 29–40. (In Rus.)
9. *Pleshkov B.P.* Praktikum po biokhimmii rasteniy [Workshop on plant biochemis-try]. – M.: Kolos, 1985: 255. (In Rus.)
10. *Ryakhovskiy A.V.* Soderzhanie belka v zerne yarovoy i ozimoy pshenitsy v zavi-simosti ot urovnya i kharaktera mineralnogo pitaniya [Protein content in spring and winter wheat grains, depending on the level and pattern of mineral nutrition] // Agrokhimiya, 1995; 1: 11–19. (In Rus.)
11. *Sokolov O.A.* Fiziologo-biokhimicheskie osnovy azotnogo pitaniya raste-niy [Physiological and biochemical fundamentals of nitrogen nutrition of plants] // Byulle-ten VNIIA, 2001; 115: 104–106. (In Rus.)
12. *Tserling V.V.* Rastitelnaya diagnostika i biologicheskoe kachestvo uroz-haya [Plant diagnostics and biological quality of crop yield] // Agrokhimiya, 1971; 3: 135–148. (In Rus.)
13. *Tserling V.V.* Metodicheskie ukazaniya po rastitelnoy diagnostike zernovykh kultur [Guidelines for plant diagnostics of grain crop yield]. – M.: Kolos, 1980: 135. (In Rus.)
14. *Abeledo L.G., Calderini D.F., Slafer G.A.* Genetic improvement of yield respon-siveness to nitrogen fertilization and its physiological determinants in barley // Euphytica, 2003; 133: 291–298.
15. *Braziene Z.* Spring wheat yield and productivity components as affected by nitro-gen fertilization and weather conditions // Zemdirbyste / Lietuvos zemes ukio univ. Aka-demija, 2007; 94; 1: 89–99.

**Новиков Николай Николаевич**, д-р биол. наук, профессор кафедры агрономической, биологической химии и радиологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: tshanovikov@gmail.com; тел.: (499) 976–29–71; (499) 976–16–60).

**Жарихина Анастасия Аркадьевна**, аспирант кафедры агрономической, биологической химии и радиологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: Ali\_baul@mail.ru; тел.: (499) 976–29–71; (499) 976–16–60).

**Соловьева Нюргуяна Егоровна**, аспирант кафедры агрономической, биологической химии и радиологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: nurguyana.s@mail.ru; тел.: (499) 976–29–71; (499) 976–16–60).

**Nikolai N. Novikov**, DSc (Bio), Professor, the Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; phone: (499) 976–29–71, (499) 976–16–60); e-mail: tshanovikov@gmail.com).

**Anastasya A. Zharikhina**, post-graduate student, the Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University– Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; phone: (499) 976–29–71, (499) 976–16–60); e-mail: Ali\_baul@mail.ru).

**Nurguyana Ey. Solovyeva**, post-graduate student, the Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; phone: (499) 976–29–71, (499) 976–16–60); e-mail: nurguyana.s@mail.ru).