

УДК 633.11:631.84
DOI 10.26897/0021-342X-2017-5-29-40

НОВЫЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

Н.Н. НОВИКОВ

(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

В опытах с сортами мягкой пшеницы, проведенных на дерново-подзолистой средне-суглинистой почве, установлено, что при повышении уровня азотного питания понижается концентрация свободных аминокислот в соке листьев вегетирующих растений, находящихся в фазе образования первого или второго стеблевого узла, что свидетельствует о возрастании их потребления на синтез структурных и функционально активных белков. Между концентрацией аминокислот в соке листьев пшеницы и дозой вносимого азота выявлена тесная отрицательная корреляция ($r=-0,94 \dots -0,99$), которая обосновывает возможность применения рассматриваемого показателя для диагностики азотного питания пшеницы. Выявлена также тесная корреляция концентрации аминокислот в соке листьев с показателями продуктивности растений и качества зерна, что позволяет использовать диагностируемый показатель для прогнозирования уровня урожайности и качества зерна мягкой пшеницы. Более точные результаты диагностики азотного питания и прогнозирования урожайности и качества зерна пшеницы по концентрации аминокислот в соке листьев могут быть получены при использовании в качестве индикаторных органов листьев второго яруса (считая от колоса), в которых в наибольшей степени стабилизировались биохимические процессы.

Ключевые слова: мягкая пшеница, концентрация аминокислот в соке листьев, диагностика азотного питания, прогнозирование урожайности и качества зерна пшеницы.

Введение

Как показывают многочисленные исследования, при выращивании пшеницы в условиях производства реально регулируемые факторами можно считать водный режим и питание растений, а в зоне достаточного увлажнения фактически только питание растений. При этом, если учитывать, что фосфорные и калийные удобрения обычно вносят до посева в расчете на планируемый или потенциальный уровень урожайности, то основным фактором, который можно контролировать в процессе выращивания пшеницы, является обеспеченность растений азотом [1, 6, 7, 9, 10, 15, 21, 24].

Чем выше концентрация подвижных форм азота в почве, тем больше его поступает в растения и включается в обмен азотистых веществ, усиливая тем самым интенсивность процессов, связанных с формированием урожая и синтезом запасных белков. Поэтому по интенсивности обмена азотистых веществ уже на ранних стадии

ях развития растений возможна оценка обеспеченности их азотом, а также уровня урожайности и белковистости зерна, по результатам которой в дальнейшем предпринимаются меры по улучшению азотного питания пшеницы. На основе корреляции азота с содержанием белков разрабатываются методы прогнозирования и других качественных показателей зерна [3–5, 8, 13, 22, 23].

Обычно для диагностики азотного питания пшеницы в качестве индикаторного органа используют с первого по четвертый верхние листья. В ряде опытов показано, что более тесная связь между белковистостью зерна и содержанием азота в вегетирующих растениях пшеницы наблюдается при использовании в качестве индикаторного органа второго и третьего листа (считая от колоса) [17], а при диагностике в фазы «цветение – начало формирования зерна» – первого листа [18].

В условиях производства для контроля азотного питания пшеницы наиболее часто используется метод тканевой диагностики, разработанный В.В. Церлинг [19, 20], с помощью которого оценивают обеспеченность растений пшеницы азотом в фазе образования второго стеблевого узла по концентрации нитратов в стеблевых срезах. Однако данный метод имеет определенные недостатки. Так, он не учитывает поступление в растения аммонийного азота и возможное повышение концентрации нитратов в вегетативной массе, вызванное ослаблением работы нитратредуктазной системы растений при недостатке световой энергии, низких температурах, недостаточном питании растений микроэлементами. Поэтому необходима разработка такого метода диагностики, который регистрировал бы поступление в растения всего минерального азота (как нитратного, так и аммонийного), а также его включение в органические азотистые вещества [9–12].

Поскольку первичными азотистыми веществами растений являются аминокислоты, автором статьи была поставлена цель – выяснить возможность проведения диагностики азотного питания и прогнозирования урожайности и качества зерна пшеницы путем измерения в соке листьев вегетирующих растений концентрации аминокислот, образующих окрашенные соединения с реактивом Фолина (тирозин, цистеин), по которым можно судить об изменении концентрации всех протеиногенных аминокислот, одновременно потребляемых на синтез белков.

Методика исследований

Полевые опыты с сортами яровой мягкой пшеницы Московская 35 (селекции НИИСХ центральных районов Нечерноземной зоны) и Иволга (селекции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева) проводили на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в учхозе «Михайловское» (Подольский район Московской области) и на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Почвы характеризовались следующими показателями:

в опыте 1984 г. на Полевой опытной станции содержание гумуса равнялось 2,1%; рН солевой вытяжки – 6,2; P_2O_5 (в вытяжке по Кирсанову) – 140; K_2O – 120 мг/кг почвы; в опыте 1985 г. в учхозе «Михайловское» содержание гумуса составляло 1,7 %; рН солевой вытяжки – 5,7; P_2O_5 (в вытяжке по Кирсанову) – 69; K_2O – 108 мг/кг почвы; в опытах 2010–2011 гг. на Полевой опытной станции содержание гумуса – 2,4–2,5%; рН солевой вытяжки – 5,8; P_2O_5 (в вытяжке по Кирсанову) – 200–220; K_2O (по Масловой) – 160–180 мг/кг почвы.

Площадь опытных делянок – 1 м², повторность опытов – 5–6-кратная, норма высева – из расчета 5,5 млн всхожих семян на 1 га. Схемы опытов представлены в табл. 1, 3, 5.

Фосфор (в виде двойного суперфосфата) и калий (в виде хлористого калия) вносили до посева, азот в виде аммиачной селитры – до посева и в фазе кущения (корневая подкормка) пшеницы. Концентрацию нитратов в стеблевых срезах определяли по В.В. Церлинг [20] в фазе образования второго стеблевого узла, концентрацию аминокислот в соке листьев пшеницы – в фазы образования первых двух стеблевых узлов путем окрашивания с использованием реактива Фолина (в модификации автора).

Стекловидность и натуру зерна, массу 1000 зерен, содержание и индекс деформации клейковины (ИДК) оценивали стандартными методами [2], содержание и состав белков – по общепринятой методике [16], активность амилаз – методом йод-крахмальной пробы [14], активность протеолитических ферментов – по Ансону [14]. Белковые фракции зерна экстрагировали обессоленной водой, 10%-ным раствором хлористого калия, 70%-ным раствором этанола и 0,2%-ным раствором гидроксида натрия.

Статистическую обработку экспериментального материала проводили дисперсионным методом с помощью компьютерной программы Straz в модификации информационно-вычислительного центра РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (версия 2.1, 1989–1991). Коэффициенты корреляции рассчитывали с использованием компьютерной программы Microsoft Office Excel 2010.

Результаты исследований

В полевом опыте, проведенном в 1984 г. на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, яровую мягкую пшеницу сорта Московская 35 выращивали при разных режимах питания растений азотом, фосфором и калием (табл. 1) и в фазе выхода в трубку (образование второго стеблевого узла) в соке листьев определяли концентрацию аминокислот, образующих окрашенные соединения с реактивом Фолина, по которым оценивали общую концентрацию всех протеиногенных аминокислот, одновременно потребляемых на синтез структурных и функционально активных белков. В зрелых зерновках пшеницы определяли общее содержание белков, которые являются главными показателями качества зерна.

Таблица 1

Концентрация аминокислот в соке листьев, зерновая продуктивность и белковистость зерна пшеницы в зависимости от режима питания растений

| Варианты | Концентрация аминокислот в соке листьев первых трех ярусов (считая от колоса) в фазе образования второго стеблевого узла, оптическая плотность раствора | | | Урожай зерна, г/м ² | Содержание в зерне белков, % |
|------------|---|-------------|-------------|--------------------------------|------------------------------|
| | первый ярус | второй ярус | третий ярус | | |
| P90K90 | 0,53 | 0,63 | 0,61 | 301 | 12,7 |
| N90K90 | 0,53 | 0,54 | 0,59 | 326 | 13,1 |
| N90P90 | 0,49 | 0,52 | 0,51 | 411 | 13,7 |
| N90P90K90 | 0,47 | 0,50 | 0,50 | 389 | 14,2 |
| N180P90K90 | 0,51 | 0,51 | 0,53 | 480 | 14,4 |
| HCP05 | – | – | – | 26 | 0,5 |

В данном опыте была проведена оценка возможности использования в качестве индикаторных органов для прогнозирования уровня урожайности и белковистости зерна пшеницы листьев разных ярусов. Для этого отдельно измеряли концентрацию аминокислот в соке листьев первого, второго и третьего яруса (считая от колоса) на главных побегах растений.

В ходе исследований было установлено, что концентрация аминокислот в соке листьев пшеницы возрастала при низком уровне азотного питания (вариант без внесения азота), когда ослаблялся рост растений и уменьшалось потребление аминокислот на синтез структурных, ферментных и других функционально активных белков. В варианте с внесением повышенной дозы азота активизировался рост растений пшеницы и возрастало потребление аминокислот на синтез белков, в результате чего концентрация свободных аминокислот в соке листьев понижалась. Наибольшая разница концентрации аминокислот в соке листьев по вариантам опыта наблюдалась при использовании в качестве индикаторного органа второго от колоса листа.

В результате улучшения азотного питания в варианте с внесением повышенной дозы азота существенно возрастала зерновая продуктивность пшеницы (на 59%) и увеличивалось накопление в зерне белков (на 1,7%).

На основе полученных данных были рассчитаны коэффициенты корреляции, выражающие связь между концентрацией аминокислот в соке листьев и уровнем урожайности и белковистости зерна пшеницы (табл. 2). Наиболее тесная корреляция между рассматриваемыми показателями отмечалась в тех вариантах опыта, где пробу сока отбирали из листьев второго яруса (второй от колоса лист). Они по сравнению с листьями первого яруса уже полностью сформировали свою структуру и в них стабилизировались биохимические процессы, тогда как в листьях третьего яруса начинают иницироваться процессы старения клеток и гидролиза белков, влияющие на динамику в них свободных аминокислот. Таким образом, было выяснено, что наиболее надежные результаты прогнозирования величины и качества урожая яровой мягкой пшеницы могут быть получены при измерении концентрации аминокислот в соке листьев второго яруса (считая от колоса).

Т а б л и ц а 2

Коэффициенты корреляции между концентрацией аминокислот в соке листьев, зерновой продуктивностью и содержанием белков в зерне пшеницы сорта Московская 35

| Коррелирующие показатели | Нумерация листьев (начиная от колоса) | Коэффициенты корреляции |
|---|---------------------------------------|-------------------------|
| Концентрация аминокислот в соке листьев – зерновая продуктивность | Первый | -0,55 |
| | Второй | -0,76 |
| | Третий | -0,72 |
| Концентрация аминокислот в соке листьев – содержание в зерне белков | Первый | -0,78 |
| | Второй | -0,87 |
| | Третий | -0,86 |

Примечание. Корреляция достоверна при значениях $r \geq 0,71$.

**Зерновая продуктивность и концентрация азотистых веществ
растений пшеницы сорта Московская 35
в зависимости от режима питания**

| Варианты | Концентрация аминокислот в соке листьев, оптическая плотность раствора | Концентрация нитратов в стеблевых срезах, баллы | Урожай зерна, г/м ² | Сырая клейковина, % |
|--------------------------------|--|---|--------------------------------|---------------------|
| Без удобрения | 0,76 | 0,0 | 225 | 20,6 |
| P90K90 | 0,70 | 0,0 | 216 | 19,7 |
| N90K90 | 0,56 | 0,7 | 351 | 22,3 |
| N90P90 | 0,59 | 2,7 | 358 | 23,9 |
| N90P90K90 | 0,56 | 2,0 | 364 | 23,4 |
| N90P90K90 + N60 в фазе кущения | 0,54 | 5,7 | 407 | 26,4 |
| HCP05 | – | – | 28 | 2 |

Учитывая результаты опыта 1984 г., в следующем опыте (1985 г.) пробы сока отбирали из листьев второго яруса на главном побеге растений пшеницы в фазе образования второго стеблевого узла. В этих исследованиях было показано, что концентрация аминокислот в соке листьев пшеницы возрастала при низком уровне азотного питания (варианты без внесения азота), но она понижалась в вариантах с внесением азота. В результате оптимизации азотного питания в указанных вариантах опыта увеличивался урожай зерна, а в зерновках повышалось содержание клейковины (табл. 3).

Концентрация аминокислот в соке листьев пшеницы тесно коррелировала с дозой внесенного азота ($r=-0,94$), а также уровнем зерновой продуктивности растений ($r=-0,96$) и содержанием в зерне клейковины ($r=-0,87$). Для сравнения в качестве контроля определяли также концентрацию нитратов в соке стеблевых срезов по В.В. Церлинг (стандартный метод). При сопоставлении полученных данных выявлено, что коэффициенты корреляции, выражающие связь концентрации аминокислот в соке листьев с дозой внесенного азота, величиной урожая и содержанием в зерне клейковины, существенно выше, чем аналогичные показатели, рассчитанные по данным тканевой диагностики, где они были, соответственно, равны $-0,88$, $0,81$, $0,84$ (табл. 4).

**Коэффициенты корреляции между концентрацией азотистых веществ
в растениях, дозой азота и показателями продуктивности и качества зерна пшеницы**

| Показатели | Концентрация аминокислот в соке листьев | Концентрация нитратов в стеблевых срезах |
|-------------------------|---|--|
| Доза азота | -0,94 | 0,88 |
| Зерновая продуктивность | -0,96 | 0,81 |
| Содержание клейковины | -0,87 | 0,84 |

Примечание. Корреляция достоверна при значениях $r \geq 0,71$.

В данном опыте было показано, что путем измерения концентрации аминокислот в соке листьев в фазе образования второго стеблевого узла можно с достаточно высокой точностью проводить диагностику азотного питания растений и прогнозировать уровень урожайности и качество зерна яровой мягкой пшеницы и на основании полученных данных решать вопрос о необходимости поздних азотных подкормок.

Однако поскольку корневые азотные подкормки с целью повышения белковистости зерна обычно проводят в конце фазы выхода в трубку – начале колошения пшеницы, желательнее оценивать обеспеченность растений азотом не в фазе образования второго стеблевого узла, а в более ранние сроки. Поэтому в опытах 2010–2011 гг. с яровой мягкой пшеницей сорта Иволга концентрацию аминокислот в соке листьев второго яруса определяли в фазе образования первого стеблевого узла на главных побегах растений. Варианты опыта включали возрастающие дозы азота, вносимого до посева, на фоне фосфорно-калийного питания $P_{30}K_{30}$ (табл. 5).

В варианте без внесения азота концентрация аминокислот в соке листьев в фазе образования первого стеблевого узла достигала максимального значения, и это свидетельствует об ослаблении потребления аминокислот на синтез структурных и функционально активных белков. При увеличении дозы азота концентрация аминокислот

Таблица 5

**Зерновая продуктивность, технологические свойства зерна
и концентрация аминокислот в соке листьев пшеницы
в опыте 2010–2011 гг.**

| Варианты | Урожай зерна, г/м ² | Стекло-видность зерна, % | Натура, г/л | Масса 1000 зерен, г | Сырая клейковина, % | Качество клейковины, ед. ИДК | Концентрация аминокислот в соке листьев, оптическая плотность раствора |
|----------|--------------------------------|--------------------------|-------------|---------------------|---------------------|------------------------------|--|
| 2010 г. | | | | | | | |
| N0 | 134 | 82 | 661 | 26,8 | 25,7 | 70 | 0,73 |
| N60 | 157 | 85 | 673 | 27,2 | 25,9 | 73 | 0,65 |
| N90 | 175 | 86 | 682 | 28,5 | 27,6 | 78 | 0,59 |
| N120 | 210 | 87 | 694 | 28,4 | 28,5 | 78 | 0,56 |
| N150 | 236 | 92 | 708 | 30,7 | 30,0 | 80 | 0,53 |
| HCP05 | 14 | 5 | 5 | 2,2 | 2 | 5 | – |
| 2011 г. | | | | | | | |
| N0 | 201 | 80 | 710 | 28,5 | 24,4 | 70 | 0,64 |
| N60 | 210 | 83 | 721 | 30,5 | 25,3 | 70 | 0,60 |
| N90 | 254 | 80 | 731 | 33,7 | 25,8 | 65 | 0,53 |
| N120 | 281 | 86 | 728 | 36,1 | 27,1 | 70 | 0,50 |
| N150 | 296 | 85 | 748 | 38,4 | 27,8 | 75 | 0,50 |
| HCP05 | 15 | 5 | 5 | 2,1 | 2 | 5 | – |

**Коэффициенты корреляции между концентрацией аминокислот
в соке листьев, дозой азота и показателями продуктивности и качества
зерна пшеницы**

| Показатели, коррелирующие с концентрацией аминокислот в соке листьев | Опыт 2010 г. | Опыт 2011 г. | Среднее |
|--|--------------|--------------|---------|
| Доза азота | -0,99 | -0,96 | -0,98 |
| Зерновая продуктивность | -0,95 | -0,97 | -0,96 |
| Стекловидность зерна | -0,90 | -0,65 | -0,78 |
| Натура зерна | -0,96 | -0,85 | -0,91 |
| Масса 1000 зерен | -0,87 | -0,96 | -0,92 |
| Содержание клейковины | -0,92 | -0,93 | -0,93 |
| ИДК | -0,98 | -0,16 | -0,57 |
| Общее содержание белков | -0,98 | -0,90 | -0,94 |
| Содержание водорастворимых белков | 0,90 | 0,89 | 0,90 |
| Содержание глобулинов | 0,85 | 0,80 | 0,83 |
| Содержание глиадинов | -0,99 | -0,91 | -0,95 |
| Содержание глютелинов | -0,97 | -0,91 | -0,94 |
| Содержание неэкстрагируемых белков | 0,99 | 0,90 | 0,95 |
| Активность α -амилаз | -0,83 | -0,77 | -0,80 |
| Активность β -амилаз | -0,89 | -0,77 | -0,83 |
| Активность кислых протеаз (рН=5,8) | 0,94 | 0,96 | 0,95 |
| Активность щелочных протеаз (рН=8,0) | 0,97 | 0,87 | 0,92 |

Примечание. Корреляция достоверна при значениях $r \geq 0,88$.

кислот в соке листьев понижалась в результате усиления потребления аминокислот на синтез белков, который возрастал при активизации ростовых процессов под воздействием внесенного азота. Изменение концентрации аминокислот в соке листьев достаточно хорошо отражало уровень азотного питания растений, о чем свидетельствуют высокие значения коэффициентов корреляции данного показателя с дозой азота (табл. 6).

Под воздействием возрастающих доз азота (от 0 до 150 кг/га) зерновая продуктивность яровой мягкой пшеницы возрастала на 47–76%, содержание в зерне сырой

клейковины увеличивалось на 3,4–4,3%, стекловидность зерна – на 5–10%, натура – на 38–47 г/л, масса 1000 зерен – на 3,9–9,9 г. Однако при этом наблюдалось ослабление клейковины на 5–10 единиц ИДК. Между концентрацией аминокислот в соке листьев вегетирующей пшеницы и продуктивностью растений, а также основными показателями качества зерна (натура зерна, масса 1000 зерен, содержание в зерне клейковины) установлена тесная отрицательная коррелятивная связь (табл. 6).

Кроме основных технологических параметров качества зерна пшеницы, в опытах 2010–2011 гг. оценивались также многие биохимические показатели, характеризующие хлебопекарные свойства зерна: общее содержание в зерне белков и содержание отдельных белковых фракций (водорастворимые белки, глобулины, глиадины, глютенины, неэкстрагируемые белки), активность в зерновках α - и β -амилаз, а также кислых (рН=5,8) и щелочных (рН=8,0) протеаз. В ходе исследований было установлено, что при повышении дозы азота от 0 до 150 кг/га общее накопление белков в зерне пшеницы возрастало на 3–4,2%, доля глиадинов в составе белкового комплекса зерна – на 1,4–2,7 %, доля глютеинов – на 6,3–6,6 %, тогда как относительное содержание водорастворимых белков в составе белкового комплекса зерна уменьшалось на 3–3,1%, глобулинов – на 1,1–2,2%, неэкстрагируемых белков – на 3,6–4%.

В процессе проведения опытов было выявлено влияние уровня азотного питания пшеницы на активность в зерне гидролитических ферментов. При повышении дозы азота в ее зерновках возрастала активность амилолитических ферментов, причем в общей активности амилаз доля α -амилазной активности увеличивалась, а β -амилазной активности уменьшалась, что в определенной степени ухудшало хлебопекарные свойства зерна. Под действием возрастающих доз азота в зерновках пшеницы понижалась активность как кислых (активных при рН=5,8), так и щелочных (активных при рН=8,0) протеаз, и это уже улучшало хлебопекарные свойства зерна.

Выявлена тесная отрицательная корреляция между концентрацией аминокислот в соке листьев пшеницы в фазе образования первого стеблевого узла и общим содержанием в зерне белков, концентрацией глиадинов и глютеинов (табл. 6) и тесная положительная корреляция между концентрацией аминокислот в соке листьев и содержанием в зерне водорастворимых белков, глобулинов, неэкстрагируемых белков, а также активностью кислых и щелочных протеаз.

В целом, исходя из полученных данных, можно отметить, что по результатам определения аминокислот в соке листьев второго яруса на главных побегах растений, находящихся в фазе образования первого или второго стеблевого узла, можно с достаточно высокой точностью проводить диагностику азотного питания и прогнозировать уровень урожайности и качества зерна яровой мягкой пшеницы с целью обоснования необходимости поздних азотных подкормок. При этом разработанный метод диагностики азотного питания и прогнозирования качества зерна пшеницы имеет определенные преимущества по сравнению с существующим стандартным аналогом (метод тканевой диагностики по В.В. Церлинг), поскольку он более точно отражает обеспеченность растений азотом, а также лучше адаптирован для работы в полевых условиях. Непосредственно в поле производится только отбор проб листьев и получение из них сока, который смешивают с консервирующим раствором и затем концентрацию аминокислот в растворе измеряют в лаборатории, тогда как при тканевой диагностике концентрацию нитратов определяют в полевых условиях на свежих стеблевых срезах с использованием довольно трудоемкой методики, в связи с чем сокращается время на отбор растительных проб.

Выводы

1. При повышении уровня азотного питания яровой мягкой пшеницы отмечается устойчивая тенденция понижения концентрации свободных аминокислот в соке листьев вегетирующих растений, находящихся в фазе образования первого или второго стеблевого узла, что свидетельствует о возрастающем их потреблении на синтез структурных и функционально активных белков.

2. Между концентрацией аминокислот в соке листьев пшеницы, находящейся в фазе образования первого или второго стеблевого узла, и дозой вносимого азота установлена тесная отрицательная корреляция ($r=-0,94\dots-0,99$), которая обосновывает возможность применения рассматриваемого показателя для диагностики азотного питания пшеницы.

3. Выявлена тесная корреляция концентрации аминокислот в соке листьев пшеницы в фазе образования первого или второго стеблевого узла с показателями продуктивности растений и качества зерна, что позволяет использовать диагностируемый показатель для прогнозирования уровня урожайности и качества зерна яровой мягкой пшеницы.

4. Более точные результаты диагностики азотного питания и прогнозирования урожайности и качества зерна пшеницы по концентрации аминокислот в соке листьев могут быть получены при использовании в качестве индикаторных органов листьев второго яруса (считая от колоса), в которых в наибольшей степени стабилизировались биохимические процессы.

5. Разработанный новый метод диагностики азотного питания и прогнозирования качества зерна пшеницы достаточно точно отражает обеспеченность растений азотом и хорошо адаптирован для работы в полевых условиях, поэтому имеет определенные преимущества по сравнению с существующим стандартным аналогом (метод тканевой диагностики по В.В. Церлинг).

Библиографический список

1. *Аристархов А.Н.* Оптимизация питания растений и применение удобрений в агроэкосистемах. М.: ЦИНАО, 2000. 522 с.

2. *Беркутова Н.С.* Методы оценки и формирование качества зерна. М.: Росагропромиздат, 1991. 206 с.

3. *Болдырев Н.К.* Листовая диагностика питания и качества урожая сельскохозяйственных культур // Успехи современной биологии. 1962. Т. 53. Вып. 2. С. 246–264.

4. *Болдырев Н.К.* Листовая диагностика как метод прогнозирования качества урожая сельскохозяйственных культур // Труды ВИУА. 1980. Вып. 59. С. 29–33.

5. *Ермохин Ю.И.* Экспресс-методы химической диагностики потребности сельскохозяйственных культур в удобрениях. Омск: Вариант-Омск, 2010. 120 с.

6. *Лясковский Г.М., Сергиенко С.Н.* Некоторые вопросы диагностики минерального питания озимой пшеницы // Сб. науч. трудов Харьковского СХИ, 1979. Т. 263. С. 18–23.

7. *Масловский В.В., Панков В.В., Бардина А.В.* К вопросу диагностики качества зерна яровой пшеницы // Труды Горьковского СХИ. 1977. Т. 115. С. 13–16.

8. *Никитишан В.И.* Содержание азота в растении как показатель обеспеченности озимой пшеницы этим элементом питания // Агрехимия. 1974. № 12. С. 7–15.

9. Новиков Н.Н. Белки зерна пшеницы и формирование качества урожая: дис. ... д-р биол. наук. М., 1995. 62 с.
10. Новиков Н.Н. Формирование урожая и качества зерна хлебопекарной пшеницы при выращивании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве // Известия ТСХА. 2010. Вып. 1. С. 59–72.
11. Новиков Н.Н. Биохимия растений: учебник. 2-е изд. М.: ЛЕНАНД, 2014. 680 с.
12. Новиков Н.Н. Биохимические основы формирования качества продукции растениеводства: учеб. пособие. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014. 194 с.
13. Новиков Н.Н., Жарихина А.А. Состав белков и качество зерна яровой мягкой пшеницы (*T. aestivum*) в зависимости от уровня азотного питания и применения фиторегуляторов при выращивании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве // Известия ТСХА. 2012. Вып. 5. С. 73–82.
14. Новиков Н.Н., Таразанова Т.В. Лабораторный практикум по биохимии растений. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2012. 92 с.
15. Павлов А.Н. Повышение содержания белка в зерне. М.: Наука, 1984. 118 с.
16. Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. М.: Колос, 1985. 255 с.
17. Созинов А.А., Попереля Ф.А., Хохлов А.Н. Зависимость между содержанием белка в листьях озимой пшеницы и белковостью зерна полной спелости // Научно-технический бюллетень ВСГИ. 1972. Вып. 18. С. 40–43.
18. Флоринский М.А. Диагностика питания озимых зерновых культур // Химия в сельском хозяйстве. 1984. Вып. 5. С. 14–16.
19. Церлинг В.В. Растительная диагностика и биологическое качество урожая // Агрохимия. 1971. № 3. С. 135–148.
20. Церлинг В.В. Методические указания по растительной диагностике зерновых культур. М.: Колос, 1980. 135 с.
21. Braziene Z. Spring wheat yield and productivity components as affected by nitrogen fertilization and weather conditions // Zemdirbyste / Lietuvos zemes ukio univ. Akademija. 2007. Vol. 94. No. 1. P. 89–99.
22. Holmes F.S. Optimising yields and quality in wheat and barley // J. Nat. Inst. Agr. Botany. 1982. Vol. 16. No. 1. P. 1–6.
23. Novikov N.N., Zharikhina A.A. Protein composition and grain quality of spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) depending on the level of nitrogen nutrition and phyto regulators use in case of cultivation on sod-podzol medium loamy soil // Izvestiya TSKhA. 2013. Special Issue. P. 142–152.
24. Strong W.M. Effect of late application of nitrogen on the yield and protein content of wheat // Australian J. exp. Agric. Anim. Husb. 1982. Vol. 222. No. 114–115. P. 54–61.

NEW METHODOLOGY FOR DIAGNOSING NITROGEN NUTRITION AND PREDICTING WHEAT GRAIN QUALITY

N.N. NOVIKOV

(Russian Timiryazev State Agrarian University)

The field experiments held on sod-podzol medium loamy soil have proved that, with increasing doses of nitrogen nutrition, there is a decrease in the concentration of free amino acids in the leaf

sap of spring soft wheat in the phase of formation of the first or second stem node. It indicates their increasing consumption necessary for the synthesis of structural and functionally active proteins in the vegetative mass of wheat. A close negative correlation has been revealed between the concentration of free amino acids in the wheat leaf sap and the nitrogen doses ($r=-0,94\dots-0,99$), that proves a possibility of using this indicator for the diagnostics of nitrogen nutrition. At the same time, there has been established a close correlation of amino acids concentration in the leaf sap with the level of wheat yield and grain quality, which indicates a possibility of using the examined indicator for soft wheat yield and quality prediction. More substantial results on diagnosing nitrogen nutrition and predicting wheat yield and grain quality based on the concentration of amino acids in the leaf sap can be obtained using samples of vegetative mass of a second level (from the ear) as tracer elements, as their biochemical processes have been mostly stabilized.

Key words: soft wheat; concentration of amino acids in leaf sap, diagnostics of nitrogen nutrition, prediction of yield and wheat grain quality.

References

1. *Aristarkhov A.N.* Optimizatsiya pitaniya rasteniy i primeneniye udobreniy v agroekosistemakh [Optimization of plant nutrition and application of fertilizers in agroecosystems]. M.: TsINAO, 2000. 522 p.
2. *Berkutova N.S.* Metody otsenki i formirovaniye kachestva zerna [Methods of evaluation and the formation of grain quality]. M.: Rosagropromizdat, 1991. 206 p.
3. *Boldyrev N.K.* Listovaya diagnostika pitaniya i kachestva urozhaya sel'skokhozyaystvennykh kultur [Leaf diagnostics of the nutrition and crop quality of agricultural crops] // *Uspekhi sovremennoy biologii*. 1962. Vol. 53. Issue 2. P. 246–264.
4. *Boldyrev N.K.* Listovaya diagnostika kak metod prognozirovaniya kachestva urozhaya selskokhozyaystvennykh kultur [Leaf diagnostics as a method for predicting the yield quality of farm crops] // *Trudy VIUA*. 1980. Vol. 59. P. 29–33.
5. *Yermokhin Yu.I.* Ekspres-metody khimicheskoy diagnostiki potrebnosti sel'skokhozyaystvennykh kultur v udobreniyakh [Express methods of chemical diagnostics of the needs of agricultural crops in fertilizers]. Omsk: Variant-Omsk, 2010. 120 p.
6. *Lyaskovskiy G.M., Sergiyenko S.N.* Nekotoryye voprosy diagnostiki mineralnogo pitaniya ozimoy pshenitsy [Some issue of the diagnostics of mineral nutrition of winter wheat] // *Sb. nauch. trudov Kharkovskogo SKhI*. 1979. Vol. 263. P. 18–23.
7. *Maslovskiy V.V., Pankov V.V., Bardina A.V.* K voprosu diagnostiki kachestva zerna yarovoy pshenitsy [To the problem of diagnosing grain quality of spring wheat] // *Trudy Gorkovskogo SKhI*. 1977. Vol. 115. P. 13–16.
8. *Nikitishen V.I.* Soderzhaniye azota v rastenii kak pokazatel obespechennosti ozimoy pshenitsy etim elementom pitaniya [The content of nitrogen in a plant as an indicator of the provision of winter wheat with this nutrition element] // *Agrokimiya*. 1974. No. 12. P. 7–15.
9. *Novikov N.N.* Belki zerna pshenitsy i formirovaniye kachestva urozhaya [Proteins of wheat grain and crop quality formation]: DSc (Bio) thesis in the form of a scientific report. M., 1995. 62 p.
10. *Novikov N.N.* Formirovaniye urozhaya i kachestva zerna khlebope-karnoy pshenitsy pri vyrashchivaniy na dernovo-podzolistoy srednesugli-nistoy pochve [Ensuring yield and grain quality of bread-baked wheat grown on sod-podzolic medium-loamy soil] // *Izvestia TSKhA*. 2010. Issue 1. P. 59–72.
11. *Novikov N.N.* Biokhimiya rasteniy [Biochemistry of plants]: Textbook, 2nd ed. M.: LENAND, 2014. 680 p.

12. *Novikov N.N.* Biokhimicheskiye osnovy formirovaniya kachestva pro-duktsii rasteniyevodstva [Biochemical foundations of crop production quality assurance]: Study manual. M.: RGAU-MSKhA imeni K.A. Timiryazeva, 2014. 194 p.

13. *Novikov N.N., Zharikhina A.A.* Sostav belkov i kachestvo zerna yarovoy myagkoy pshenitsy (*T. aestivum*) v zavisimosti ot urovnya azotnogo pitaniya i primeneniya fitoregulyatorov pri vyrashchivanii na dernovo-podzolistoy srednesuglinistoy pochve [Protein composition and the grain quality of spring soft wheat (*T. aestivum*) depending on the level of nitrogen nutrition and the use of phyto regulators in growing on sod-podzolic medium loamy soil] // *Izvestiya TSKhA*. 2012. Issue 5. P. 73–82.

14. *Novikov N.N., Tarazanova T.V.* Laboratorniy praktikum po biokhimii rasteniy [Laboratory Workshop on Plant Biochemistry]. M.: RGAU-MSKhA imeni K.A. Timiryazeva, 2012. 92 p.

15. *Pavlov A.N.* Povysheniye sodержaniya belka v zerne [Increasing grain protein content]. M.: Nauka, 1984. 118 p.

16. *Pleshkov B.P.* Praktikum po biokhimii rasteniy [Workshop on plant biochemistry]. M.: Kolos, 1985. 255 p.

17. *Sozinov A.A., Popereya F.A., Khokhlov A.N.* Zavisimost mezhdru sodержaniyem belka v list'yakh ozimoy pshenitsy i belkovost'yu zerna polnoy spelosti [Dependence between the protein content in winter wheat leaves and the protein content in a fully ripened grain // *Nauchno-tekhicheskiy byulleten VSGL*. 1972. Vol. 18. P. 40–43.

18. *Florinskiy M.A.* Diagnostika pitaniya ozimyykh zernovykh kultur [Diagnostics of winter cereals nutrition] // *Khimiya v selskom khozyaystve*, 1984. Vol. 5. P. 14–16.

19. *Tserling V.V.* Rastitelnaya diagnostika i biologicheskoye kachestvo urozhaya [Plant diagnostics and biological quality of crops] // *Agrokhimiya*. 1971. No. 3. P. 135–148.

20. *Tserling V.V.* Metodicheskiye ukazaniya po rastitelnoy diagnostike zernovykh kultur [Methodical instructions for plant diagnostics of cereals]. M.: Kolos, 1980. 135 p.

21. *Braziene Z.* Spring wheat production and components as affected by nitrogen fertilization and weather conditions // *Zemdirbyste / Lietuvos zemes ukio univ. Akademija*. 2007. Vol. 94. No. 1. P. 89–99.

22. *Holmes F.S.* Optimizing yields and quality in wheat and barley // *J. Nat. Inst. Agr. Botany*. 1982. Vol. 16. No. 1. P. 1–6.

23. *Novikov N.N., Zharikhina A.A.* Protein composition and grain quality of spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) depending on the level of the nutrient and phyto regulators use in the case of cultivation on sod-podzol medium loamy soil // *Izvestiya TSKhA*. 2013. Special Issue. P. 142–152.

24. *Strong W.M.* Effect of a late application of nitrogen on the yield and protein content of wheat // *Australian J. exp. Agric. Anim. Husb.* 1982. Vol. 222. No. 114–115. P. 54–61.

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

Nikolai N. Novikov – DSc (Bio), Professor of the Department of Agronomic and Biological Chemistry, Radiology and Safety of Living, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; phone: +7 (499) 976-29-71, +7 (499) 976-16-60; e-mail tshanovikov@gmail.com).