

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКРОБИОЛОГИЯ

Оригинальная научная статья

УДК 633.13:631.811:581.131

doi: 10.26897/2949-4710-2023-2-94-106



Диагностика азотного питания и прогнозирование биохимических показателей качества зерна овса по концентрации аминокислот в соке листьев

Николай Николаевич Новиков, Артем Алексеевич Соколов,
Павел Владимирович Терешенков

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Николай Николаевич Новиков; e-mail: tshanovikov@gmail.com

Аннотация. С целью выяснения связи между уровнем азотного питания растений овса сорта Яков и содержанием аминокислот в соке листьев, а также возможности использования этого показателя для оценки содержания и состава белков, активности амилаз, каталаз и пероксидаз в созревшем зерне и активности указанных ферментов в прорастающих зерновках проводили полевой опыт на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. В полевом опыте изучали варианты с разными уровнями азотного питания растений овса, прошедшем послеуборочное дозревание. До посева овса вносили удобрения: нитрат аммония, двойной суперфосфат, хлорид калия. В результате установлено, что при повышении уровня азотного питания растений в соке листьев овса в фазе формирования первого стеблевого узла снижалось содержание аминокислот, которое тесно коррелировало с дозами азота. Эти данные свидетельствуют о возможности использования указанного показателя для диагностики азотного питания растений овса. В ходе исследований также выявлена достоверная корреляция содержания аминокислот в соке листьев с концентрацией в созревшем зерне белков, растворимых в воде и растворах 10% KCl, 0,2% NaOH, а также активностью кислых (pH 5,5), нейтральных (pH 7) и щелочных (pH 8) изоферментов α -амилазы и кислых изоформ β -амилазы. Кроме того, было выявлено, что содержание аминокислот в соке листьев имело сильную корреляционную связь с активностью кислых α -амилаз, кислых и нейтральных β -амилаз в проросшем зерне. Полученные результаты показывают возможность прогнозирования уровня накопления в зерне овса белков, а также позволяют прогнозировать состав белков, активность изоферментов α - и β -амилазы, каталазы, пероксидазы по содержанию аминокислот в соке листьев в фазе формирования первого стеблевого узла. Также установлена достоверная корреляция по активности кислых и нейтральных изоферментов α -амилазы, каталазы и пероксидазы в созревшем и проросшем зерне овса.

Ключевые слова: овес, азотное питание растений, содержание аминокислот в соке листьев, биохимические показатели зерна.

Для цитирования. Новиков Н.Н., Соколов А.А., Терешенков П.В. Диагностика азотного питания и прогнозирование биохимических показателей качества зерна овса по концентрации аминокислот в соке листьев // Тимирязевский биологический журнал. – 2023. – № 2. – С. 94-106. <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-2-94-106>

© Новиков Н.Н., Соколов А.А., Терешенков П.В., 2023

PLANT PHYSIOLOGY, MICROBIOLOGY

Original article

doi: 10.26897/2949-4710-2023-2-94-106



Nutrient Diagnostics and Biochemical Indicators of Oat Grain Quality Predicted by Leaf Juice Amino Acid Concentration

Nikolay N. Novikov, Artem A. Sokolov, Pavel V. Tereshenkov

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Nikolay N. Novikov, e-mail: tshanovikov@gmail.com

Abstract. In order to find out the relationship between the level of nitrogen nutrition of oat plants of the Yakov variety and the content of amino acids in leaf juice, as well as the possibility of using this indicator to assess the content and composition of proteins, the activity of amylases, catalases and peroxidases in ripe grain and the activity of these

enzymes in germinating grain, a field experiment was carried out at the Field Experimental Station of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, on sod-podzolic medium loamy soil. In the field experiment, variants with different levels of nitrogen nutrition of oat plants that had passed post-harvest ripening were studied. Ammonium nitrate, double superphosphate, and potassium chloride were applied in advance. As a result, it was found that as the level of nitrogen nutrition of plants increased, the concentration of amino acids in the juice of oat leaves at the stage of formation of the first stem node decreased, which was closely correlated with the nitrogen doses. These data indicate the possibility of using this indicator for the diagnosis of nitrogen nutrition in oat plants. The studies also revealed a reliable correlation between the content of amino acids in leaf juice and the concentration of proteins soluble in water and solutions of 10% KCl, 0.2% NaOH, as well as the activity of acid (pH 5.5), neutral (pH 7) and alkaline (pH 8) isoenzymes of α -amylase and acid isoforms of β -amylase in ripe grain. In addition, the amino acid content of leaf juice was found to be significantly correlated with the activity of acidic α -amylase, acidic and neutral β -amylase in germinated grain. The results obtained demonstrate the possibility of predicting the level of protein accumulation in oat grains. It is also possible to predict the protein composition, activity of α - and β -amylase, catalase, and peroxidase isoenzymes from the content of amino acids in leaf juice in the phase of the first stem node formation. A reliable correlation was also found for the activity of acid and neutral isoenzymes of α -amylase, catalase, and peroxidase in ripe and germinated oat grain.

Key words: oats, nitrogen nutrition of plants, amino acid content in leaf juice, biochemical parameters of grain.

For citation. Novikov N.N., Sokolov A.A., Tereshenkov P.V. Nutrient Diagnostics and Biochemical Indicators of Oat Grain Quality Predicted by Leaf Juice Amino Acid Concentration. Timiryazev Biological Journal. 2023; 2: 94-106. (In Rus.) <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-2-94-106>

Введение

Важными показателями качества зерна злаковых культур являются общее содержание в нем белков и их фракционный состав, которые зависят от режима питания растений азотом. При низком уровне азотного питания снижаются их урожайность и накопление в зерне белков. Внесение умеренной дозы азота активизирует рост растений, и большая часть внесенного азота используется на формирование их вегетативной массы, в результате чего содержание в зерне белков часто не повышается и даже может понижаться. Поэтому для получения зерна с содержанием белков, которое отвечает нормативным требованиям, важной задачей является оптимальное регулирование уровня азотного питания растений [1, 3, 4, 15, 16]. Вместе с тем обеспеченность растений злаковых культур азотом в ходе их вегетации зависит не только от дозы внесенного азотного удобрения, но и от гидротермических условий внешней среды, особенно в период активного роста и развития растений.

Во влажных условиях происходят значительные потери азота за счет вымывания нитратов и усиления процесса денитрификации. Для контроля питания растений азотом и установления необходимости азотной подкормки для формирования высококачественного зерна на ранних стадиях развития злаковых культур проводится диагностика азотного питания [2, 5, 8, 13].

Достаточно точные результаты оценки обеспеченности растений пшеницы азотом были получены методом тканевой диагностики, которая проводилась в фазе формирования второго стеблевого узла на главном побеге. По результатам такой диагностики может быть проведена корневая азотная подкормка злаковых растений в фазе начала колошения или выметывания метелок, а также некорневая азотная подкормка в фазе начала формирования зерна. Однако этим методом оценивается только поступление в растения нитратного азота, а питание аммонийной формой азота не учитывается. Кроме того, концентрация нитратов в растениях может повышаться при ослаблении светового режима и понижении температуры, что вносит ошибки в результаты диагностики [14].

Для достижения более точного контроля питания растений нитратной и аммонийной формами азота разработан новый метод диагностики, который основан на измерении содержания аминокислот в соке из пробы листьев, отобранных с главных побегов в фазе формирования первого стеблевого узла. В опытах с разными дозами азота было установлено, что концентрация аминокислот в соке листьев пшеницы и ячменя повышалась при низком уровне азотного питания растений. При увеличении доз азота до оптимального уровня содержание аминокислот в соке листьев понижалось вследствие активизации их использования на синтез структурных и функционально активных белков, нуклеотидов и других азотистых веществ, что было обусловлено усилением ростовых процессов в результате улучшения питания растений азотом [7, 9].

В ходе исследований было определено, что в качестве индикаторного органа необходимо использовать второй лист сверху на главном побеге растения. Из пробы таких листьев отжимается сок и фиксируется в 3%-ном растворе трихлоруксусной кислоты для осаждения белков и связанных с ними пигментов, после чего избыток кислоты нейтрализуется 6%-ным раствором гидроксида натрия, и далее в полученном растворе определяется концентрация аминокислот путем окрашивания тирозина и некоторых других аминокислот по Лоури или спектрофотометрированием при длине волны 280 нм. Учитывая, что на синтез

белков одновременно потребляются все протеиногенные аминокислоты, которые составляют основную часть аминокислот растительного сока, по измерению концентрации хотя бы одной из них можно оценивать общую концентрацию свободных аминокислот [10, 17].

Целью исследований было выяснение связи между уровнем азотного питания растений овса и содержанием аминокислот в соке листьев, а также возможности использования этого показателя для оценки содержания и состава белков, активности амилаз, каталаз и пероксидаз в созревшем зерне и активности указанных ферментов в прорастающих зерновках.

Методика исследований

Растения овса сорта Яков селекции Московского НИИ сельского хозяйства «Немчиновка» выращивали на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в 2021 г. на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, которая имела следующие агрохимические показатели: содержание гумуса – 2,2%; $pH_{\text{сол.}}$ – 5,2; N_t – 3,8; сумма поглощенных оснований – 7,5 мг-экв. на 100 г почвы; азот по Корнфилду – 42 мг/кг почвы; P_2O_5 и K_2O по Кирсанову – соответственно 275 и 112 мг/кг почвы. Повторность опыта – 4-кратная, площадь делянок – 1 м². Под перекопку делянок вносили удобрения: нитрат аммония, двойной суперфосфат, хлорид калия. Азотную подкормку нитратом аммония производили в фазе начала выметывания метелок.

В полевом опыте изучались варианты с разными уровнями азотного питания растений овса: 1 – $P_{60}K_{60}$; 2 – $N_{60}P_{60}K_{60}$; 3 – $N_{90}P_{60}K_{60}$; 4 – $N_{120}P_{60}K_{60}$; 5 – $N_{150}P_{60}K_{60}$; 6 – $N_{60}P_{60}K_{60} + N_{60}$ корневая подкормка. Норма высева в расчете на 1 га составляла 6 млн всхожих семян.

Биохимические показатели определяли в зерне овса, прошедшем послеуборочное дозревание. В ходе аналитических исследований оценивали общее содержание в зерне белков и их фракционный состав, активность амилаз, каталаз, пероксидаз. При этом изучалось действие кислых (pH 5,5), нейтральных (pH 7) и щелочных (pH 8) изоферментов. Необходимую реакцию среды при проведении ферментативных реакций поддерживали с использованием 1/15 М фосфатного буфера. Активность указанных ферментов также определяли в зерне 7-суточных проростков овса.

Содержание в зерне белков рассчитывали по белковому азоту, отдельные фракции белков экстрагировали обессоленной водой, 10%-ным раствором хлористого калия, 70%-ным раствором этилового спирта, 0,2%-ным раствором гидроксида натрия [12]. Активность амилаз определяли методом иод-крахмальной пробы, активность каталаз – по Баху и Опарину [11], активность пероксидаз – при пероксидном окислении тирозина [6]. С целью выяснения последствий уровня азотного питания на активность амилаз, каталаз, пероксидаз в прорастающем зерне зерновки овса проращивали в течение 7 сут. на воде при температуре 25 °С.

Для разработки нового метода диагностики азотного питания и прогнозирования биохимических показателей созревшего и проросшего зерна овса на делянках опыта с возрастающими дозами азота в фазе формирования первого стеблевого узла на главном побеге растений отбирали пробы листьев (второй лист сверху), из которых отжимали сок с помощью соковыжималки из полевой лаборатории Магницкого. Полученный сок приливали в пробирки с 3%-ным раствором трихлоруксусной кислоты для осаждения белков и связанных с ними пигментов. Затем кислоту нейтрализовали гидроксидом натрия и измеряли оптическую плотность полученного раствора при длине волны 280 нм, по которой оценивали содержание аминокислот в соке листьев в пересчете на тирозин (мг тирозина в 1 мл сока) [7].

Сбор зерна и его биохимические показатели статистически оценивали методом дисперсионного анализа с использованием программного обеспечения «Straz» (информационно-вычислительный центр РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, версия 2.1 1989-1991). Для расчета коэффициентов корреляции использовали компьютерную программу Microsoft Office Excel 2010.

Результаты и их обсуждение

При определении содержания аминокислот в соке из проб листьев овса, отобранных в фазе формирования первого стеблевого узла, было установлено, что в вариантах опыта с возрастающими дозами азота оно снижалось (табл. 1). Такое изменение указанного показателя происходило вследствие того, что в результате усиления азотного питания активизировались ростовые процессы растений овса, в ходе которых возрастала интенсивность включения свободных аминокислот в синтез белков, нуклеотидов и других азотистых веществ, поэтому их концентрация в соке листьев снижалась.

В результате сопоставления концентрации аминокислот в соке листьев овса с дозами внесенного азота выявлена достоверная отрицательная корреляция между этими показателями (табл. 2), которая свидетельствует о том, что по содержанию свободных аминокислот в соке листьев можно на ранних этапах развития растений оценивать уровень питания их азотом. Следует отметить, что аналогичные результаты были получены в полевых опытах с яровой пшеницей и пивоваренным ячменем [9, 10, 17].

Таблица 1

**Содержание аминокислот в соке листьев, величина урожая и состав белков зерна овса
в зависимости от режима азотного питания растений**

Показатели	P ₆₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + корневая подкормка N ₆₀	HCP ₀₅
Содержание аминокислот в соке листьев, мг/мл тирозина	37,0	35,5	25,5	25,5	24,5	-	0,2
Урожай зерна, г/м ²	201	211	215	219	219	203	8
Содержание белков, % сухой массы	9,0	9,8	10,2	10,7	10,4	10,4	0,2
Азот фракций, % от общего азота белков							
Водорастворимые белки	17,6	17,8	16,3	16,0	16,3	17,3	0,2
Глобулины	26,4	24,4	23,4	22,3	22,3	23,5	0,3
Авенины	12,1	12,2	13,2	13,9	12,6	13,0	0,1
Глютелины	35,2	37,6	39,6	40,7	41,8	39,2	0,4
Неэкстрагируемые белки	8,6	7,9	7,5	7,4	7,0	9,1	0,1

Table 1

**Amino acid content in leaf juice, yield value and protein composition of oat grain depending
on nitrogen nutrition regime of plants**

Indicators	P ₆₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + root top dressing N ₆₀	HCP ₀₅
Amino acid content in leaf juice, mg/ml tyrosine	37.0	35.5	25.5	25.5	24.5	-	0.2
Grain yield, g/m ²	201	211	215	219	219	203	8
Protein content, % of dry matter	9.0	9.8	10.2	10.7	10.4	10.4	0.2
Nitrogen fractions in% of total protein nitrogen							
Water-soluble proteins	17.6	17.8	16.3	16.0	16.3	17.3	0.2
Globulins	26.4	24.4	23.4	22.3	22.3	23.5	0.3
Avenins	12.1	12.2	13.2	13.9	12.6	13.0	0.1
Glutelins	35.2	37.6	39.6	40.7	41.8	39.2	0.4
Non-extractable proteins	8.6	7.9	7.5	7.4	7.0	9.1	0.1

При повышении дозы азота до 120 кг/га повышались урожай и белковистость зерна овса, тогда как более высокая доза азота (150 кг/га) уже не увеличивала сбор зерна и накопление в зерне белков, поэтому не получена достоверная корреляция величины урожая и белковистости зерна с содержанием в соке листьев аминокислот.

В зависимости от уровня азотного питания растений овса заметно изменялся состав белков зерна. Под воздействием возрастающих доз азота до 120 кг/га в белковом комплексе зерна овса уменьшалось содержание водорастворимых белков и глобулинов, но увеличивалось накопление авенинов, тогда как при повышенной дозе азота (150 кг/га) такая закономерность уже не наблюдалась.

Таблица 2

Корреляция между концентрацией аминокислот в соке листьев и дозами азота, продуктивностью растений, содержанием белков в созревшем зерне овса

Коррелирующие показатели	Коэффициенты корреляции
Дозы азотного питания	–0,89
Зерновая продуктивность растений	–0,76
Общее содержание белков	–0,84
Содержание водорастворимых белков	0,98
Содержание глобулинов	0,93
Содержание авенинов	–0,86
Содержание глютелинов	–0,92
Содержание неэкстрагируемых белков	0,84
Корреляция достоверна с вероятностью 95% при $r \geq 0,88 $	

Table 2

Correlation between amino acid concentration in leaf juice and nitrogen doses, crop productivity, and protein content in ripe oat grain

Correlating indicators	Correlation coefficients
Nitrogen nutrition doses	–0.89
Crop productivity	–0.76
Total protein content	–0.84
Water-soluble protein content	0.98
Globulin content	0.93
Avenin content	–0.86
Glutelin content	–0.92
Content of non-extractable proteins	0.84
The correlation is reliable with a probability of 95% at $r \geq 0.88 $	

Концентрация глютелинов в зерне овса существенно возрастала при повышении дозы азота до 150 кг/га, а содержание неэкстрагируемых белков в этих условиях снижалось. При сопоставлении указанных показателей с содержанием в соке листьев аминокислот установлены положительная корреляция содержания аминокислот в соке листьев овса с концентрацией в созревших зерновках глобулинов и белков, растворимых в воде, а также отрицательная корреляция с содержанием глютелиновых белков.

Главной целью диагностики обеспеченности растений овса азотом в фазе формирования первого стеблевого узла является определение целесообразности проведения поздней азотной подкормки с целью

улучшения качества зерна. В нашем опыте показано, что под воздействием азотной подкормки в фазе начала выметывания метелок растениями овса не повышалась их зерновая продуктивность, но заметно возрастала белковистость зерна, а в составе белков снижалась концентрация водорастворимых белков и глобулинов, но увеличивалось содержание авенинов, глютелинов и неэкстрагируемых белков. Однако если сравнивать варианты с подкормкой и $N_{120}P_{60}K_{60}$, где суммарные дозы азота равны 120 кг/га, то совершенно очевидно, что в гидротермических условиях 2021 г. внесение повышенной дозы азота до посева по сравнению с подкормкой обеспечивало существенное повышение зерновой продуктивности растений овса и содержания в зерне белков. В варианте же с поздней азотной подкормкой отмечалось увеличение концентрации в зерновках глобулинов, водорастворимых и неэкстрагируемых белков, но при этом – снижение содержания авенинов и глютелинов, в связи с чем несколько повышалась биологическая ценность суммарных белков зерна.

Под воздействием режима азотного питания растений в зерновках овса заметно изменялась активность амилаз, каталаз и пероксидаз. При возрастании доз азота до 120 кг/га в созревшем зерне овса повышалась активность кислых и нейтральных изоферментов α - и β -амилазы, каталазы и пероксидазы, а возрастание активности щелочных изоферментов отмечалось при увеличении дозы азота до 150 кг/га (табл. 3). В проведенном опыте выявлена достоверная отрицательная корреляция концентрации аминокислот с α -амилазной активностью (кислых, нейтральных и щелочных изоформ этого фермента), а также активностью кислых β -амилаз (табл. 4).

Таблица 3

Влияние доз азотного питания растений на активность амилаз, каталаз и пероксидаз в созревшем зерне овса

Показатели	$P_{60}K_{60}$ фон	$N_{60}P_{60}K_{60}$	$N_{90}P_{60}K_{60}$	$N_{120}P_{60}K_{60}$	$N_{150}P_{60}K_{60}$	$N_{60}P_{60}K_{60}$ +корневая под-кормка N_{60}	HCP_{05}
Изоферменты α-амилазы, мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы							
кислые (pH 5,5)	2,8	4,9	6,8	10,1	9,0	7,9	0,3
нейтральные (pH 7)	2,7	4,2	5,5	7,7	7,3	5,1	0,2
щелочные (pH 8)	1,4	2,1	2,9	3,6	4,6	3,0	0,1
Изоферменты β-амилазы, мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы							
кислые (pH 5,5)	13,7	15,3	17,6	18,7	19,0	16,9	0,6
нейтральные (pH 7)	10,7	11,6	12,8	15,7	14,2	10,8	0,4
щелочные (pH 8)	5,9	6,7	6,1	6,3	7,9	6,3	0,1
Изоферменты каталазы, мккат в расчете на 1 г сухой массы							
кислые (pH 5,5)	0,28	0,34	0,36	0,44	0,46	0,38	0,02
нейтральные (pH 7)	1,18	1,25	1,26	1,32	1,34	1,36	0,03
щелочные (pH 8)	1,28	1,33	1,33	1,37	1,39	1,32	0,02
Изоферменты пероксидазы, мккат в расчете на 1 г сухой массы							
кислые (pH 5,5)	0,36	0,53	0,55	0,79	0,84	0,65	0,06
нейтральные (pH 7)	2,99	3,76	3,85	4,09	4,19	3,64	0,12
щелочные (pH 8)	4,58	5,44	5,64	5,93	6,21	5,80	0,22

Table 3

Effect of nitrogen fertiliser doses on the activity of amylases, catalases and peroxidases in ripe oat grain

Indicators	P ₆₀ K ₆₀ background	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +root top dressing N ₆₀	HCP ₀₅
α-amylase isoenzymes, mg hydrolysed starch per 1 min per 1 g of dry matter							
acid (pH 5.5)	2.8	4.9	6.8	10.1	9.0	7.9	0.3
neutral (pH 7)	2.7	4.2	5.5	7.7	7.3	5.1	0.2
alkaline (pH 8)	1.4	2.1	2.9	3.6	4.6	3.0	0.1
β-amylase isoenzymes, mg hydrolysed starch per 1 min per 1 g of dry matter							
acid (pH 5.5)	13.7	15.3	17.6	18.7	19.0	16.9	0.6
neutral (pH 7)	10.7	11.6	12.8	15.7	14.2	10.8	0.4
alkaline (pH 8)	5.9	6.7	6.1	6.3	7.9	6.3	0.1
Catalase isoenzymes, µcat per 1 g of dry matter							
acid (pH 5.5)	0.28	0.34	0.36	0.44	0.46	0.38	0.02
neutral (pH 7)	1.18	1.25	1.26	1.32	1.34	1.36	0.03
alkaline (pH 8)	1.28	1.33	1.33	1.37	1.39	1.32	0.02
Peroxidase isoenzymes, µcat per 1 g of dry matter							
acid (pH 5.5)	0.36	0.53	0.55	0.79	0.84	0.65	0.06
neutral (pH 7)	2.99	3.76	3.85	4.09	4.19	3.64	0.12
alkaline (pH 8)	4.58	5.44	5.64	5.93	6.21	5.80	0.22

Под воздействием поздней азотной подкормки в созревшем зерне овса возрастала активность кислых, нейтральных и щелочных α-амилаз, кислых β-амилаз, кислых и нейтральных каталаз, кислых и щелочных пероксидаз, но снижалась активность нейтральных и щелочных β-амилаз, а также нейтральных пероксидаз. По сравнению с вариантом N₁₂₀P₆₀K₆₀ в варианте с корневой азотной подкормкой в фазе начала выметывания метелок, в котором была такая же суммарная доза азота, понижалась активность кислых, нейтральных и щелочных изоферментов α-амилазы, кислых и нейтральных изоформ β-амилазы и пероксидазы, кислых и щелочных каталаз.

В опытах с 7-суточными проростками выяснили последствие доз азотного питания растений овса на активность в проросшем зерне амилолитических и антиоксидантных ферментов (каталаз, пероксидаз). При увеличении доз азота до 120 кг/га в зерне проростков овса повышалась активность кислых изоферментов α-амилазы, нейтральных изоформ каталазы и пероксидазы, но снижалась активность β-амилаз (табл. 5). Вместе с тем активность нейтральных и щелочных изоферментов α-амилазы, кислых и щелочных изоформ каталазы и пероксидазы возрастала при увеличении доз азота до 150 кг/га, но в этих же условиях понижалась активность всех изоферментов β-амилазы. Выявлена отрицательная корреляция содержания в соке листьев аминокислот с активностью кислых α-амилаз, а также положительная корреляция с активностью кислых и нейтральных β-амилаз (табл. 4).

В результате последствие азотной подкормки в проросшем зерне овса повышалась активность кислых и щелочных α-амилаз, щелочных β-амилаз, кислых, нейтральных и щелочных каталаз и пероксидаз. В варианте с подкормкой по сравнению с N₁₂₀P₆₀K₆₀ была понижена активность всех изоферментов α-амилазы, кислых и щелочных каталаз, нейтральных и щелочных пероксидаз, но повышена активность всех изоферментов β-амилазы.

Таблица 4

**Корреляция между содержанием в соке листьев аминокислот и активностью
изоферментов амилаз, каталаз, пероксидаз в созревшем и проросшем зерне овса**

Показатели	Коэффициенты корреляции для кислых (pH 5,5), нейтральных (pH 7), щелочных (pH 8) изоферментов		
	pH 5,5	pH 7	pH 8
Созревшее зерно			
Изоферменты α -амилазы	–0,90	–0,90	–0,89
Изоферменты β -амилазы	–0,96	–0,86	–0,38
Изоферменты каталазы	–0,85	–0,82	–0,75
Изоферменты пероксидазы	–0,82	–0,81	–0,84
Зерно 7-суточных проростков			
Изоферменты α -амилазы	–0,90	–0,82	–0,84
Изоферменты β -амилазы	0,89	0,94	–0,20
Изоферменты каталазы	–0,81	–0,85	–0,80
Изоферменты пероксидазы	–0,80	–0,79	–0,79
Корреляция достоверна с вероятностью 95% при $r \geq 0,88 $			

Table 4

**Correlation between the content of amino acids in leaf juice and activity
of amylase, catalase, peroxidase isoenzymes in ripe and germinated oat grain**

Indicators	Correlation coefficients for acid (pH 5.5), neutral (pH 7), alkaline (pH 8) isoenzymes		
	pH 5.5	pH 7	pH 8
Ripe grain			
α -amylase isoenzymes	–0.90	–0.90	–0.89
β -amylase isoenzymes	–0.96	–0.86	–0.38
Catalase isoenzymes	–0.85	–0.82	–0.75
Peroxidase isoenzymes	–0.82	–0.81	–0.84
Grain of 7-day-old seedlings			
α -amylase isoenzymes	–0.90	–0.82	–0.84
β -amylase isoenzymes	0.89	0.94	–0.20
Catalase isoenzymes	–0.81	–0.85	–0.80
Peroxidase isoenzymes	–0.80	–0.79	–0.79
The correlation is reliable with a probability of 95% at $r \geq 0.88 $			

В ходе проведенных исследований были рассчитаны коэффициенты корреляции между активностью выше указанных ферментов в созревшем и проросшем зерне овса. При этом выявлена достоверная положительная корреляция по активности кислых и нейтральных α -амилаз, каталаз и пероксидаз, а также щелочных пероксидаз (табл. 6).

Таким образом, в ходе полевых и лабораторных исследований установлено, что при повышении уровня азотного питания растений овса в соке листьев в фазе образования первого стеблевого узла снижалось содержание свободных аминокислот вследствие интенсивного их включения в синтез белков цитоплазмы и внутриклеточных органелл в результате активизации роста растений под воздействием возрастающих доз азота. Между дозами азота и концентрацией аминокислот в соке листьев овса выявлена достоверная отрицательная корреляция ($r = -0,89$), которая свидетельствует о возможности использования содержания в соке листьев аминокислот в фазе формирования первого стеблевого узла для диагностики обеспеченности растений доступными формами азота и обоснования проведения в фазе начала выметывания метелок азотной подкормки с целью повышения белковистости зерна.

В проведенном полевом опыте показано, что при увеличении дозы вносимого азота до 120 кг/га происходило повышение урожая овса и содержания в зерне белков, а в составе белков уменьшалась доля глобулинов, водорастворимых и неэкстрагируемых белков, но усиливалось накопление авенинов и глютелинов. Увеличение дозы азота до 150 кг/га не повышало урожай и белковистость зерна овса. Выявлена достоверная положительная корреляция содержания в соке листьев аминокислот с концентрацией в зерне водорастворимых белков ($r = 0,98$) и глобулинов ($r = 0,93$), однако указанный показатель отрицательно коррелировал с содержанием глютелиновых белков ($r = -0,92$).

Таблица 5

Влияние внесения доз азотного питания растений на активность амилалитических ферментов, каталаз и пероксидаз в зерне 7-суточных проростков овса

Показатели	$P_{60}K_{60}$ фон	$N_{60}P_{60}K_{60}$	$N_{90}P_{60}K_{60}$	$N_{120}P_{60}K_{60}$	$N_{150}P_{60}K_{60}$	$N_{60}P_{60}K_{60}$ + корневая подкормка N_{60}	НСР ₀₅
Изоферменты α-амилазы, мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы							
кислые (рН 5,5)	353	385	419	481	484	425	15
нейтральные (рН 7)	265	303	310	367	395	311	13
щелочные (рН 8)	111	169	187	257	296	220	7
Изоферменты β-амилазы, мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы							
кислые (рН 5,5)	151	150	125	99	85	149	12
нейтральные (рН 7)	93	90	73	60	54	88	8
щелочные (рН 8)	45	56	56	56	44	59	3
Изоферменты каталазы, мккат в расчете на 1 г сухой массы							
кислые (рН 5,5)	0,32	0,45	0,47	0,72	0,80	0,50	0,02
нейтральные (рН 7)	1,23	1,33	1,34	1,40	1,41	1,41	0,03
щелочные (рН 8)	1,27	1,38	1,39	1,49	1,91	1,46	0,03
Изоферменты пероксидазы, мккат, в расчете на 1 г сухой массы							
кислые (рН 5,5)	1,64	2,54	2,61	2,85	3,12	2,80	0,08
нейтральные (рН 7)	4,31	4,96	4,91	5,56	5,65	5,21	0,13
щелочные (рН 8)	7,18	8,57	8,48	9,68	10,10	9,41	0,14

Table 5

Effects of nitrogen nutrition doses on the activity of amylolytic enzymes, catalases and peroxidases in the grain of 7-day-old oat seedlings

Indicators	P ₆₀ K ₆₀ фон	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + root top dressing N ₆₀	HCP ₀₅
α-amylase isoenzymes, mg hydrolysed starch per 1 min per 1 g of dry matter							
acid (pH 5.5)	353	385	419	481	484	425	15
neutral (pH 7)	265	303	310	367	395	311	13
alkaline (pH 8)	111	169	187	257	296	220	7
β-amylase isoenzymes, mg hydrolysed starch per 1 min per 1 g of dry matter							
acid (pH 5.5)	151	150	125	99	85	149	12
neutral (pH 7)	93	90	73	60	54	88	8
alkaline (pH 8)	45	56	56	56	44	59	3
Catalase isoenzymes, μcat per 1 g of dry matter							
acid (pH 5.5)	0.32	0.45	0.47	0.72	0.80	0.50	0.02
neutral (pH 7)	1.23	1.33	1.34	1.40	1.41	1.41	0.03
alkaline (pH 8)	1.27	1.38	1.39	1.49	1.91	1.46	0.03
Peroxidase isoenzymes, μcat per 1 g of dry matter							
acid (pH 5.5)	1.64	2.54	2.61	2.85	3.12	2.80	0.08
neutral (pH 7)	4.31	4.96	4.91	5.56	5.65	5.21	0.13
alkaline (pH 8)	7.18	8.57	8.48	9.68	10.10	9.41	0.14

Таблица 6

Коэффициенты корреляции между активностью изоферментов α-и β-амилазы, каталазы, пероксидазы в созревшем и проросшем зерне овса

Ферменты	Кислые изоферменты (pH 5,5)	Нейтральные изоферменты (pH 7)	Щелочные изоферменты (pH 8)
α-амилаза	0,94	0,95	0,86
β-амилаза	–0,79	–0,85	0,05
Каталаза	0,95	0,89	0,84
Пероксидаза	0,91	0,88	0,93
Корреляция достоверна с вероятностью 95% при $r \geq 0,88 $			

Table 6

Correlation coefficients between the activity of α- and β-amylase, catalase, peroxidase isoenzymes in ripe and germinated oat grain

Enzymes	Acid isoenzymes (pH 5.5)	Neutral isoenzymes (pH 7)	Alkaline isoenzymes (pH 8)
α-amylase isoenzymes	0.94	0.95	0.86
β-amylase isoenzymes	–0.79	–0.85	0.05
Catalase isoenzymes	0.95	0.89	0.84
Peroxidase isoenzymes	0.91	0.88	0.93
The correlation is reliable with a probability of 95% at $r \geq 0.88 $			

Полученные данные свидетельствуют о том, что по концентрации в соке листьев овса аминокислот в фазе формирования первого стеблевого узла можно прогнозировать содержание белковых фракций в созревших зерновках овса.

Под влиянием возрастающих доз азота (до 120 кг/га) в созревших зерновках овса повышалась активность всех изоферментов (кислых, нейтральных, щелочных) α - и β -амилазы, каталазы и пероксидазы, что способствовало ускорению растворения эндосперма и усилению защиты от пероксидного окисления в прорастающем зерне овса. При этом выявлена достоверная отрицательная корреляция активности всех изоферментов α -амилазы ($r = -0,89 \dots -0,90$) и кислых изоформ β -амилазы ($r = -0,96$) с концентрацией аминокислот в соке листьев. Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования активности указанных ферментов в созревшем зерне овса на основе измерения содержания в соке листьев свободных аминокислот.

Изучение последствий возрастающих доз азота (до 120 кг/га) на активность ферментов в зерне 7-суточных проростков показало, что при усилении азотного питания растений овса в его проросших зерновках возрастала активность кислых, нейтральных и щелочных изоферментов α -амилазы, каталазы и пероксидазы, но снижалась активность кислых и нейтральных β -амилаз. При сопоставлении этих данных с содержанием в соке листьев аминокислот видим, что указанный показатель отрицательно коррелировал с активностью в проросшем зерне кислых α -амилаз ($r = -0,90$) и положительно коррелировал с активностью кислых ($r = 0,89$) и нейтральных ($r = 0,94$) β -амилаз. В связи с этим показатель содержания в соке листьев аминокислот может быть использован для прогнозирования посевных качеств зерновок овса, которые в значительной степени зависят от активности амилаз, каталаз и пероксидаз в прорастающем зерне.

При сопоставлении активности ферментов в созревшем и проросшем зерне овса была установлена достоверная положительная корреляция по активности кислых и нейтральных изоферментов α -амилазы ($r = 0,94$ и $0,95$), каталазы ($r = 0,95$ и $0,89$) и пероксидазы ($r = 0,91$ и $0,88$). Полученные результаты представляют интерес для прогнозирования активности указанных изоферментов в прорастающем зерне по их активности в созревших зерновках и оценки на этой основе способности зерновок к прорастанию.

В ходе исследований показано воздействие на биохимические показатели зерна овса поздней азотной подкормки, которая может быть проведена по результатам диагностики обеспеченности растений доступными формами азота. Под влиянием азотной подкормки овса с дозой азота 60 кг/га в фазе начала выметывания метелок на фоне допосевого внесения $N_{60}P_{60}K_{60}$ существенно возрастало накопление в зерновках белков, которое сопровождалось снижением концентрации водорастворимых и глобулиновых белков, но при этом – увеличением содержания авенинов, глютелинов и неэкстрагируемых белков. Азотная подкормка повышала в созревшем зерне овса активность кислых, нейтральных и щелочных изоферментов α -амилазы, кислых изоферментов β -амилазы, кислых и нейтральных изоформ каталазы, кислых и щелочных пероксидаз, но снижала активность нейтральных и щелочных изоферментов β -амилазы, а также нейтральных пероксидаз. А в проросшем зерне в результате последствий азотной подкормки повышалась активность кислых и щелочных изоферментов α -амилазы, щелочных β -амилаз и всех изоформ каталазы и пероксидазы.

Следует отметить, что увеличение активности амилаз, каталаз и пероксидаз в продовольственном и кормовом зерне не является улучшением его качества, но возрастание активности указанных ферментов в зерне проростков повышает его способность к прорастанию.

В варианте $N_{120}P_{60}K_{60}$, в котором суммарная доза азота была такой же, как и в варианте с поздней азотной подкормкой, в созревшем зерне овса были повышены зерновая продуктивность растений и общее содержание в зерне белков, а также активность всех изоферментов α -амилазы, кислых и нейтральных β -амилаз и пероксидаз, кислых и щелочных каталаз. В проросшем зерне этого варианта была повышена активность всех изоферментов α -амилазы, кислых и щелочных каталаз, нейтральных и щелочных пероксидаз, но понижена активность всех изоферментов β -амилазы.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что для получения семенного зерна овса наиболее эффективным является применение более высокой дозы азота до посева, чем проведение поздней азотной подкормки, так как в этом случае вследствие увеличения активности большинства изоферментов α -амилазы, каталазы и пероксидазы повышалась способность зерновок к прорастанию.

Выводы

1. В полевом опыте, проведенном на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, установлено, что при повышении уровня азотного питания растений овса в соке листьев в фазе формирования первого стеблевого узла понижалась концентрация аминокислот, которые более интенсивно включались в синтез структурных и функционально активных белков. Между дозами азота и содержанием в соке листьев аминокислот выявлена достоверная отрицательная корреляция ($r = -0,89$), которая может быть использована

для обоснования применения указанного показателя при оценке обеспеченности растений овса доступными формами азота.

2. При увеличении доз вносимого азота до 120 кг/га возрастали урожай зерна овса и содержание белков в зерне, а в составе белкового комплекса зерна снижалась концентрация глобулинов, водорастворимых и неэкстрагируемых белков, но усиливалось накопление авенинов и глютелинов. Содержание в соке листьев аминокислот коррелировало положительно с концентрацией в зерне водорастворимых ($r = 0,98$) и глобулиновых ($r = 0,93$) белков, отрицательно – с содержанием глютелинов ($r = -0,92$).

3. Под влиянием возрастающих доз азота (до 120 кг/га) в созревших зерновках овса повышалась активность кислых, нейтральных, щелочных изоферментов α - и β -амилазы, каталазы и пероксидазы, что активизировало гидролиз крахмала и усиление защиты от пероксидного окисления в проросшем зерне. При этом выявлена достоверная отрицательная корреляция активности кислых, нейтральных и щелочных изоферментов α -амилазы ($r = -0,89 \dots -0,90$) и кислых изоформ β -амилазы ($r = -0,96$) с содержанием в соке листьев аминокислот.

4. Изучение последствий возрастающих доз азота (до 120 кг/га) на биохимические процессы в прорастающих зерновках показало, что при усилении азотного питания растений овса в зерне 7-суточных проростков возрастала активность всех изоферментов α -амилазы, каталазы и пероксидазы, но снижалась активность кислых и нейтральных β -амилаз. Содержание в соке листьев аминокислот коррелировало отрицательно с активностью в проросшем зерне кислых α -амилаз ($r = -0,90$), положительно – с активностью кислых ($r = 0,89$) и нейтральных ($r = 0,94$) β -амилаз.

5. Выявленная в ходе проведенных исследований достоверная тесная корреляция содержания в соке листьев аминокислот в фазе формирования первого стеблевого узла с биохимическими показателями созревшего и проросшего зерна овса может быть использована для прогнозирования содержания в созревших зерновках белков и их состава, а также активности изоферментов α - и β -амилазы, каталазы и пероксидазы в прорастающем зерне.

6. При сопоставлении активности ферментов в созревшем и проросшем зерне овса установлена достоверная положительная корреляция по активности кислых и нейтральных изоферментов α -амилазы ($r = 0,94$ и $0,95$), каталазы ($r = 0,95$ и $0,89$) и пероксидазы ($r = 0,91$ и $0,88$), которая свидетельствует о возможности использования этих данных для прогнозирования активности указанных изоферментов в прорастающем зерне по их активности в созревших зерновках.

Список источников

1. Баталова Г.А. Формирования урожая и качества зерна овса // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 11. – С. 10-13.
2. Ермохин Ю.И. Экспресс-методы химической диагностики потребности сельскохозяйственных культур в удобрениях: учебное пособие. – Омск: Вариант-Омск, 2010. – 120 с.
3. Завалин А.А., Потапов В.И. Формирование урожая и качества зерна ячменя и овса в зависимости от доз и сроков внесения азота // Агрохимия. – 1996. – № 11. – С. 20-26.
4. Каскарбаев Ж.А., Салаченок Е.П. Формирование продуктивности посевов овса в зависимости от сорта, срока посева и удобрений // Зерновое хозяйство. – 2001. – № 1. – С. 33-34.
5. Новиков Н.Н. Биохимические основы формирования качества продукции растениеводства: учебное пособие. – М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2014. – 194 с.
6. Новиков Н.Н. Новый метод определения активности пероксидаз в растениях // Известия ТСХА. – 2016. – № 3. – С. 36-46.
7. Новиков Н.Н. Новый метод диагностики азотного питания и прогнозирования качества зерна пшеницы // Известия ТСХА. – 2017. – № 5. – С. 29-40.
8. Новиков Н.Н. Биохимия растений: учебник. – М.: ЛЕНАНД, 2022. – 680 с.
9. Новиков Н.Н., Жарихина А.А., Соловьева Н.Е. Диагностика азотного питания и прогнозирование качества зерна злаковых культур по концентрации

References

1. Batalova G.A. Formation of the yield and quality of oat grain. Dostizheniya nauki i tehniki APK. 2010; 11: 10-13. (In Rus.).
2. Ermokhin Yu.I. Express methods of chemical diagnostics of agricultural crops need for fertilizers. Omsk: Variant-Omsk, 2010: 120. (In Rus.).
3. Zavalin A.A., Potapov V.I. Formation of yield and grain quality of barley and oats depending on the doses and timing of nitrogen application. Agrokimiya. 1996; 11: 20-26. (In Rus.).
4. Kaskarbaev Zh.A., Salachenok E.P. Formation of oat crops productivity depending on the variety, sowing period and fertilizers. Zernovoe khozyaystvo. 2001; 1: 33-34. (In Rus.).
5. Novikov N.N. Biochemical bases of crop products quality formation. M.: Izdatel'stvo RGAU-MSKhA imeni K.A. Timiryazeva, 2014: 194. (In Rus.).
6. Novikov N.N. A new method for peroxidase activity determining in plants. Izvestiya TSKhA. 2016; 3 36-46. (In Rus.).
7. Novikov N.N. A new method for diagnosing nitrogen nutrition and predicting the quality of wheat grain. Izvestiya TSKhA. 2017; 5: 29-40. (In Rus.).
8. Novikov N.N. Biochemistry of plants. M.: LENAND, 2022: 680. (In Rus.).
9. Novikov N.N., Zharikhina A.A., Solov'eva N.E. Nitrogen nutrition diagnostics and quality forecasting grains of cereals by amino acid concentration

аминокислот в соке листьев // Известия ТСХА. – 2021. – № 1. – С. 29-41.

10. Новиков Н.Н., Соловьева Н.Е. Формирование качества зерна пивоваренного ячменя в зависимости от режима питания и применения фиторегуляторов при выращивании на дерново-подзолистой почве // Агрохимия. – 2019. – № 2. – С. 43-51.

11. Новиков Н.Н., Таразанова Т.В. Лабораторный практикум по биохимии растений. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. – 97 с.

12. Пleshkov Б.П. Практикум по биохимии растений. – М.: Колос, 1985. – 255 с.

13. Соколов О.А. Физиолого-биохимические основы азотного питания растений // Бюллетень ВНИИ. – 2001. – № 115. – С. 104-106.

14. Церлинг В.В. Методические указания по растительной диагностике зерновых культур. – М.: Колос, 1980. – 135 с.

15. Abeledo L.G., Calderini D.F., Slafer G.A. Genetic improvement of yield responsiveness to nitrogen fertilization and its physiological determinants in barley // Euphytica. – 2003. – Vol. 133. – Pp. 291-298. doi: 10.1023/A:1025796527208.

16. Braziene Z. Spring barley yield and productivity components as affected by nitrogen fertilisation and weather conditions // Žemdirbystė. Mokslodarbų. – 2007. – 94 (1). – Pp. 89-99.

17. 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 phytohormones use in case of cultivation on sod-podzol medium loamy soil // Izvestiya TSKhA. – 2013. – Special is. – Pp. 142-152.

in the leaf juice. Izvestiya TSKhA. 2021; 1: 29-41. (In Rus.).

10. Novikov N.N., Solov'eva N.E. Formation of the malting barley grain quality depending on nutrition regime and the use of phytohormones when grown on sod-podzolic soil. Agrokhimiya. 2019; 2: 43-51. (In Rus.).

11. Novikov N.N., Tarazanova T.V. Laboratory workshop on plant biochemistry. M.: Izdatel'stvo RGAU-MSKhA imeni K.A. Timiryazeva, 2012: 97. (In Rus.).

12. Pleshkov B.P. Workshop on plant biochemistry. M.: Kolos, 1985: 255. (In Rus.).

13. Sokolov O.A. Physiological and biochemical bases of nitrogen nutrition of plants. Byulleten' VNIIA. 2001; 115: 104-106. (In Rus.).

14. Tserling V.V. Guidelines for plant diagnostics of grain crops yield. M.: Kolos, 1980: 135. (In Rus.).

15. Abeledo L.G., Calderini D.F., Slafer G.A. Genetic improvement of yield responsiveness to nitrogen fertilization and its physiological determinants in barley. Euphytica. 2003; 133: 291-298. doi: 10.1023/A:1025796527208.

16. Braziene Z. Spring wheat yield and productivity components as affected by nitrogen and weather conditions. Žemdirbystė. Mokslodarbų. 2007; 94; 1: 89-99.

17. 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 phytohormones use in case of cultivation on sod-podzol medium loamy soil. Izvestiya TSKhA. 2013; special issue: 142-152.

Информация об авторах

Николай Николаевич Новиков, д-р биол. наук, профессор кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, профессор, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 125500, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: tshanovikov@gmail.com

Артём Алексеевич Соколов, аспирант кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 125500, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: sakred.gladiator@mail.ru

Павел Владимирович Терешенков, студент магистратуры кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 125500, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Статья поступила в редакцию 27.03.2023
Одобрена после рецензирования 10.05.2023
Принята к публикации 16.10.2023

About authors

Nikolay N. Novikov, DSc (Bio), Professor, Professor of the Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: tshanovikov@gmail.com).

Artem A. Sokolov, post-graduate student, Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: sakred.gladiator@mail.ru).

Pavel V. Tereshenkov, Master's Degree Student, Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation).

The article was submitted to the editorial office 27 Mar 2023
Approved after reviewing 10 May 2023
Accepted for publication 16 Oct 2023