

Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на продуктивность и структурные показатели нового сорта ячменя ярового Рафаэль

© 2023. О. В. Левакова 

Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», с. Подвязье, Рязанская область, Российская Федерация

Изучение эффективности применения возрастающих доз минеральных удобрений ($N_{16}P_{16}K_{16}...N_{120}P_{120}K_{120}$) проводили в 2020–2022 гг. в условиях Рязанской области на темно-серой лесной тяжелосуглинистой почве среднего уровня плодородия. Объект исследований – новый сорт ячменя ярового Рафаэль, включенный в Государственный реестр РФ по Центральному (3) и Волго-Вятскому (4) регионам в 2022 г. (патент № 12254). В результате исследований выявлен положительный тренд увеличения урожайности сорта Рафаэль от возрастающих доз NPK ($y = 0,1829x + 6,36$, $R^2 = 0,8866$). В среднем за годы исследований минимальной урожайностью (6,50 т/га) характеризовался контрольный вариант ($N_{16}P_{16}K_{16}$), максимальной (7,40 т/га) – вариант с внесением высоких доз ($N_{120}P_{120}K_{120}$). Прибавку урожая на 0,6...0,9 т/га обеспечили минеральные удобрения в дозах $N_{45}P_{45}K_{45}...N_{120}P_{120}K_{120}$. Урожайность ячменя в год с достаточной влагообеспеченностью вегетационного периода (ГТК = 1,39) получена на 4,6–5,1 % выше, чем в засушливые годы (ГТК = 0,63–0,53). Структурный анализ урожайности указывает на то, что в опыте на урожай данного сорта повлияли длина колоса ($r = 0,689$), число зерен в колосе ($r = 0,467$), масса зерна с колоса ($r = 0,715$). Возрастающие дозы вносимых удобрений привели к увеличению площади листовой поверхности растений и высоты продуктивного стеблестоя. Наибольшее содержание белка в зерне ячменя отмечено в варианте с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ (в среднем 14,1 %), минимальное – при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$ (в среднем 13,2 %). Расчет экономической эффективности показал, что наибольшего условно чистого дохода (69413 руб/га) и уровня рентабельности (187,1 %) при урожайности нового сорта Рафаэль 7,1 т/га можно достичь при внесении умеренных доз удобрений $N_{45}P_{45}K_{45}$.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., Рязанская область, урожайность, площадь листовой поверхности, структурные элементы продуктивности, экономическая эффективность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (тема № 0581-2019-0021).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Левакова О. В. Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на продуктивность и структурные показатели нового сорта ячменя ярового Рафаэль. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(1):77–85. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.77-85>

Поступила: 27.10.2022

Принята к публикации: 13.01.2023

Опубликована онлайн: 27.02.2023

The effect of increasing doses of mineral fertilizers on productivity and structural indicators of Raphael spring barley new variety

© 2023. Olga V. Levakova 

Institute of Seed Production and Agrotechnologies – branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Podvyazye village, Ryazan region, Russian Federation

Study of the effectiveness of the use of increasing doses of mineral fertilizers ($N_{16}P_{16}K_{16}...N_{120}P_{120}K_{120}$) was carried out in 2020–2022 in the conditions of the Ryazan region on dark gray forest heavy loamy soil of average fertility. The object of the research was a new variety of spring barley Raphael, included into the State Register of the Russian Federation for the Central (3) and Volga–Vyatka (4) Regions in 2022 (patent No. 12254). As the result of the research, there was revealed a positive trend for raising the yield of the Raphael variety resulted from the use of increasing doses of NPK ($y = 0.1829x + 6.36$, $R^2 = 0.8866$). On average, over the years of the research, the minimum yield productivity (6.50 t/ha) was shown by the control variant ($N_{16}P_{16}K_{16}$), the variant with application of high doses ($N_{120}P_{120}K_{120}$) had the maximum productivity (7.40 t/ha). The yield increase by 0.6...0.9 t/ha was provided by mineral fertilizers in doses of $N_{45}P_{45}K_{45}...N_{120}P_{120}K_{120}$. The yield of barley per year with sufficient moisture supply during the growing season (HTC = 1.39) was 4.6–5.1 % higher than in dry years (HTC = 0.63–0.53). Structural analysis of yield indicates that during the experiment, the yield of this variety has been influenced by the length of the ear ($r = 0.689$), the number of grains in the ear ($r = 0.467$), the weight of grain per the ear ($r = 0.715$). Increasing doses of applied fertilizers led to an increase in the leaf surface area of plants and the height of the productive stems. The highest protein content in barley grain was observed in the variant with the use of $N_{120}P_{120}K_{120}$ (on average 14.1 %), the minimum – with the application of $N_{16}P_{16}K_{16}$ (on average 13.2 %). The calculation of economic efficiency showed that the highest conditional net income (69413 rubles/ha) and the level of profitability (187.1 %) with the yield of the new Raphael variety of 7.1 t/ha can be achieved by applying medium doses of fertilizers $N_{45}P_{45}K_{45}$.

Keywords: *Hordeum vulgare* L., Ryazan region, yield productivity, leaf surface area, structural elements of productivity, economic efficiency

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (topic No. 0581-2019-0021).

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author has declared no conflict of interest.

For citation: Levakova O. V. The effect of increasing doses of mineral fertilizers on productivity and structural indicators of Raphael spring barley new variety. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(1):77-85. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.77-85>

Received: 27.10.2022

Accepted for publication: 13.01.2023

Published online: 27.02.2023

Ячмень является одной из основных сельскохозяйственных культур среди злаков. Его значение достаточно велико в основном за счет многообразия его использования [1, 2, 3].

Одной из наиболее важных задач агропромышленного комплекса России является укрепление кормовой базы фуражными культурами, в первую очередь ячменем. Для этого необходимо не только развивать животноводческую отрасль, но также обеспечить ее зерном, т. к. на кормовые цели уходит до 2/3 его валовых сборов [4, 5, 6].

Изменения климата, наблюдающиеся в последние годы в Нечерноземной зоне РФ [7], и выведение новых сортов ячменя ярового оставляют по-прежнему актуальным вопрос оптимизации условий выращивания культуры. Надёжный путь повышения урожайности – внедрение интенсивных технологий выращивания, значительную долю в которых занимает обеспечение полноценного питательного режима. Особую актуальность приобретает определение доз и норм минеральных удобрений, сочетаний и соотношений питательных элементов в них для получения высоких урожаев в конкретных почвенно-климатических условиях [8, 9, 10].

Формирование урожая и интенсивность биохимических процессов в созревающем зерне ячменя зависят от обеспеченности растений элементами питания, прежде всего азотом, фосфором и калием [11, 12].

Минеральные удобрения оказывают значительное воздействие на почву, в частности, внесение NPK способствует сохранению органического вещества почвы, повышает уровень содержания основных элементов питания, обеспечивает повышение урожайности сельскохозяйственных культур [13, 14, 15].

Необходимо учитывать и то условие, что отечественные сельхозпроизводители на первый план выдвигают экономическую целесообразность агротехнологий: ориентир не на рекордные урожаи любой ценой при высоких дозах использования удобрений, а на доход,

который будет получен с гектара сельскохозяйственных угодий [16, 17].

Цель исследований – изучить влияние возрастающих доз минеральных удобрений на продуктивность и структурные показатели нового сорта ячменя ярового Рафаэль и на основе расчета экономической эффективности выявить оптимальную дозу внесения основного удобрения.

Научная новизна проводимых исследований заключается в том, что впервые установлены закономерности влияния различных доз минеральных удобрений (NPK) на урожайность нового сорта ячменя ярового Рафаэль на темно-серых лесных почвах Рязанской области.

Материал и методы. Изучение эффективности применения возрастающих доз минеральных удобрений (NPK) проводили на базе Института семеноводства и агротехнологий (ИСА – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) в 2020-2022 гг. в условиях полевого опыта на темно-серой лесной тяжелосуглинистой почве со средним уровнем плодородия (содержание органического вещества – 5,60 %, рН_{сол.} – 4,88 ед., P₂O₅ (по Кирсанову) – 378 мг/кг почвы, K₂O – 275 мг/кг почвы).

Объект исследований – новый сорт ячменя ярового Рафаэль, включенный в Государственный реестр по Центральному (3) и Волго-Вятскому (4) регионам в 2022 г. Патент № 12254 [18].

Закладку опыта проводили в оптимальные сроки сева культуры для Нечерноземной полосы Центрального региона по предшественнику «пар». Учетная площадь делянки 10 м², повторность четырехкратная. Норма высева – 5,0 млн всхожих семян на 1 га. В опытах использовали комплексное удобрение – азофоска (N:P:K = 16:16:16). Схема опыта предусматривала следующие варианты:

1. N₁₆P₁₆K₁₆ (контроль).
2. N₃₀P₃₀K₃₀.
3. N₄₅P₄₅K₄₅.
4. N₆₀P₆₀K₆₀.
5. N₉₀P₉₀K₉₀.
6. N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀.

Внесение удобрений проводили весной под предпосевную культивацию.

Анализ структуры урожая, статистическая обработка экспериментальных данных методами дисперсионного и корреляционного анализа проведены с использованием соответствующих методик¹ с помощью компьютерной программы Microsoft Office Excel. Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитывали по Г. Т. Селянинову², балл устойчивости растений ячменя к развитию болезней и полеганию по Методическим указаниям по изучению мировой коллекции ячменя и овса³ (где 1 балл – устойчивость очень низкая; 3 – устойчивость низкая; 5 – средняя; 7 – высокая; 9 – очень высокая).

В фазу «кущение» проводили обработку баковой смесью гербицидов (Балерина, СЭ –

0,4 л/га + Магнум, ВДГ – 7 г/га) с добавлением инсектицида Борей, СК – 0,1 л/га. Элементы структуры урожая определяли со снопового материала с учетных площадок, взятых с площади 0,25 м² в 4 повторениях. Уборку делянок проводили в фазу «полная спелость» культуры комбайном Сампо 130, урожайные данные приводили к стандартной 14%-ой влажности. Качественные показатели зерна (содержание крахмала и белка) определяли методом инфракрасной спектроскопии на анализаторе цельного зерна Infratec 1241.

По метеорологическим данным ИСА-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, рассчитаны показатели средней дневной температуры воздуха и суммы осадков по основным месяцам вегетации ярового ячменя Рафаэль (табл. 1).

Таблица 1 – Условия вегетации ярового ячменя сорта Рафаэль (2020-2022 гг.) / Table 1 – Growing conditions of spring barley Raphael variety (2020-2022)

Год / Year	Показатель / Indicator	Май / May			Июнь / June			Июль / July		
		декада / decade								
		I	II	III	I	II	III	I	II	III
2020	Осадки, мм / Precipitation, mm	27,7	8,1	21,3	71,0	11,7	30,2	17,9	31,2	6,4
	Температура воздуха, °C / Air temperature, °C	14,7	11,9	15,5	18,9	23,1	20,6	24,6	21,3	21,7
2021	Осадки, мм / Precipitation, mm	26,9	6,6	9,0	62,5	6,6	3,2	9,7	-	31,4
	Температура воздуха, °C / Air temperature, °C	12,8	21,2	17,4	18,1	22,5	28,9	25,0	29,6	23,2
2022	Осадки, мм / Precipitation, mm	19,6	16,4	13,6	17,1	15,6	8,0	-	8,7	7,3
	Температура воздуха, °C / Air temperature, °C	12,3	12,4	15,4	20,7	20,9	22,5	25,4	22,1	24,4
Средне-голетнее / Average long-term	Осадки, мм / Precipitation, mm	11,0	12,0	14,0	16,0	17,0	19,0	20,0	22,0	22,0
	Температура воздуха, °C / Air temperature, °C	10,7	12,8	14,6	15,8	16,6	17,4	18,3	18,9	19,3

Из всех периодов наблюдений наиболее контрастным отмечен 2020 год, когда растения ячменя развивались в условиях обильных осадков, с резкими колебаниями среднесуточных температур. Неблагоприятно повлияли выпавшие в 1-ой декаде июня (ГТК = 3,9) осадки,

которые спровоцировали раннее прикорневое полегание растений ячменя еще до наступления фазы «колошение». ГТК вегетационного периода составил 1,34. Засушливыми условиями вегетационных периодов ячменя отличались 2021 и 2022 год при ГТК 0,63 и 0,53 соответственно.

¹Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 2012. 352 с.; Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур под ред. В. И. Головачева, Е. В. Кириловской. М., 2019. 194 с.

²Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928;(20):165-177.

³Методические указания по изучению мировой коллекции ячменя и овса. Сост. М. В. Лукьянова, Н. А. Родионова, А. Я. Трофимовская. Л.: ВИР, 1981. 31 с.

Результаты и их обсуждение. Внесение минеральных удобрений оказало существенное влияние на урожайность нового сорта ячменя ярового Рафаэль по годам исследований. Мак-

симальные значения урожайности получены в увлажненном 2020 году, в среднем по опыту 7,22 т/га, что на 4,6-5,1 % выше показателей в сухие годы (2021-2022 гг.) (табл. 2).

Таблица 2 – Урожайность ячменя сорта Рафаэль по годам исследований в зависимости от внесенных доз NPK, т/га /

Table 2 – Yield of barley Raphael variety according to the years of research, depending on the doses of NPK, t/ha

Вариант / Variant	2020 г.	2021 г.	2022 г.
N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ (контроль) / (control)	6,85	6,41	6,30
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	6,55	6,73	6,60
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	7,35	6,96	6,85
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	7,45	6,89	7,20
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	7,55	6,93	7,10
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	7,59	7,21	7,33
Среднее / Average	7,22	6,85	6,89
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,31	0,16	0,14

В результате исследований выявлен положительный тренд увеличения средней

урожайности сорта Рафаэль от возрастающих доз NPK ($y = 0,1829x + 6,36$, $R^2 = 0,8866$) (рис. 1).

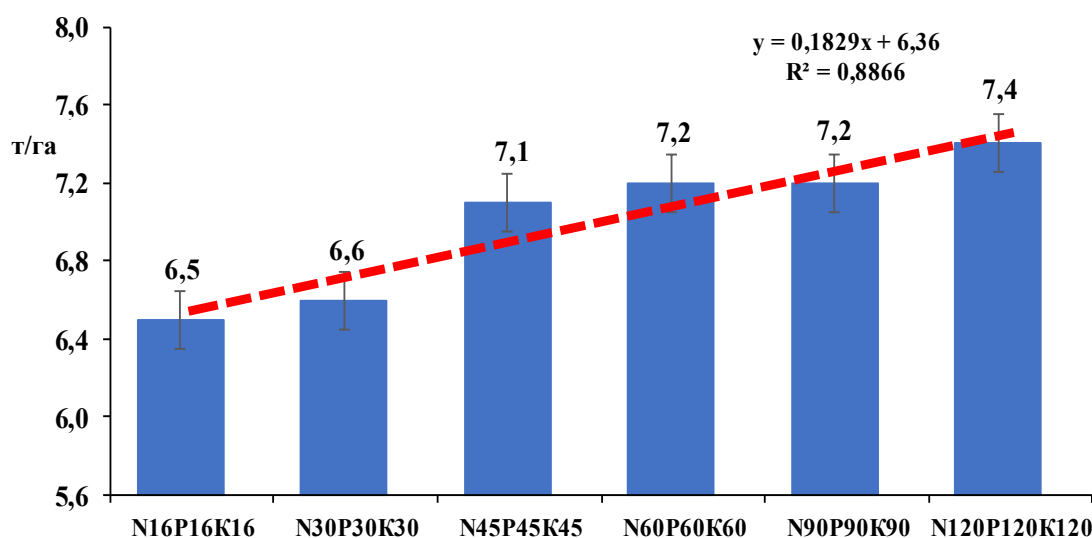


Рис. 1. Средняя урожайность нового сорта ярового ячменя Рафаэль в зависимости от внесенных доз NPK (2020-2022 гг.) /

Fig. 1. Average yield of Raphael spring barley new variety depending on NPK doses (2020-2022)

При увеличении внесенных доз NPK урожайность сорта возрастала относительно контроля: на 1,5 % (N₃₀P₃₀K₃₀); 9,2 % (N₄₅P₄₅K₄₅); 10,8 % (N₆₀P₆₀K₆₀ и N₉₀P₉₀K₉₀); 13,8 % (N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀).

В формировании величины урожая и его качества большая роль принадлежит листовому аппарату. Возрастающие дозы минеральных удобрений способствовали увеличению площади листовой поверхности ячменя (рис. 2).

Прослеживается взаимосвязь увеличения площади листовой поверхности от вносимых доз NPK на протяжении всего периода роста

и развития сорта Рафаэль. В фазу «кущение» площадь листовой поверхности одного растения находилась в пределах от 9,8 (N₁₆P₁₆K₁₆) до 12,1 см²/раст. (N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀), аналогичная тенденция прослеживалась и в фазу «выход в трубку» – от 20,1 до 24,2 см²/раст. соответственно. Наибольшая площадь листовой поверхности одного растения достигала в фазу «колошение» (45,4-48,3 см²/раст.), достигая максимального значения при дозах удобрений N₉₀P₉₀K₉₀-N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ – 47,9-48,3 см²/раст.

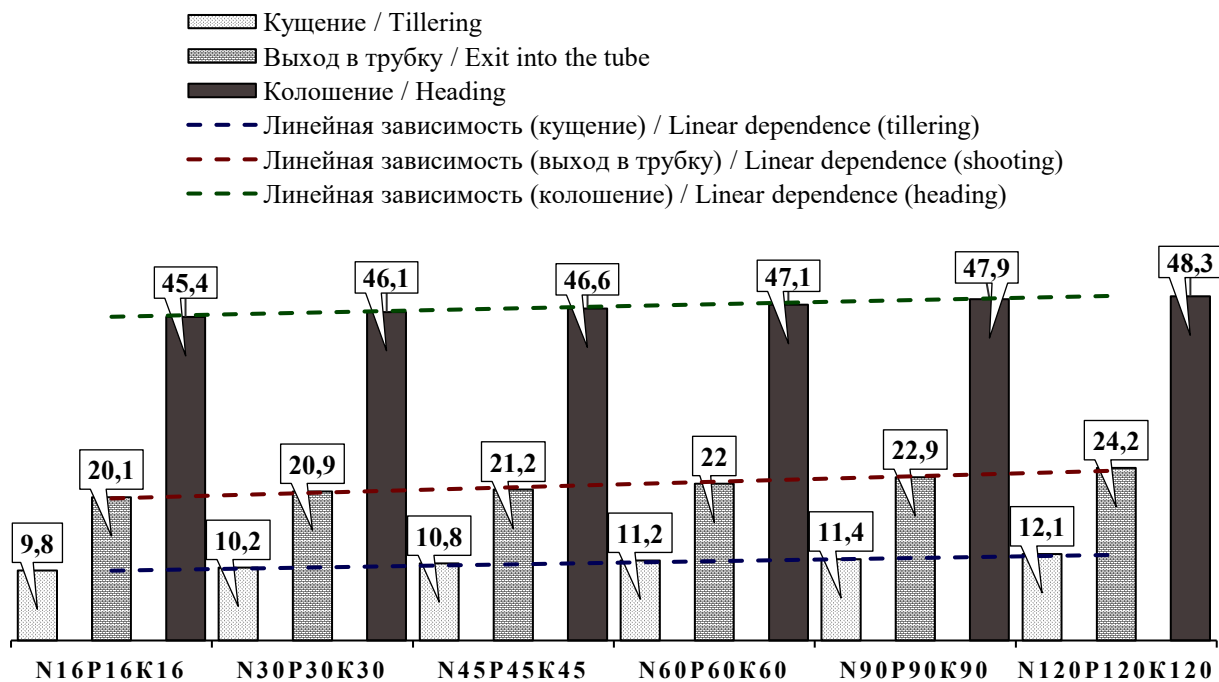


Рис. 2. Площадь листовой поверхности нового сорта ярового ячменя Рафаэль в зависимости от внесенных доз NPK, см²/раст. (в среднем за 2020-2022 гг.) /

Fig. 2. The leaf surface area of the new variety of spring barley Raphael, depending NPK doses, cm²/plant (average for 2020-2022)

В таблице 3 представлены структурные показатели продуктивности, влияющие на урожайность сорта Рафаэль.

Структурный анализ урожайности при различных дозах NPK-удобрений указывает на то, что в опыте на урожай данного сорта повлияли длина колоса, число зерен в колосе, масса зерна с колоса ($r = +0,467...+0,715$).

Уборочный индекс ($K_{хоз}$, %), определяемый как соотношение массы зерновой части и убираемой соломы, является показателем аттракции пластических веществ из соломы в зерно. Максимальные показатели данного индекса (53,1 %) получены в варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$, при этой дозе получены высокие значения показателей «длина колоса» (7,6 см) и «число зерен в колосе» (23,1 шт.).

При возрастании доз вносимых NPK увеличивается высота сорта Рафаэль, но это практически не повлияло на полегаемость растений (табл. 4).

Согласно полученным данным, увеличение доз вносимых удобрений ($N_{90}P_{90}K_{90}$ - $N_{120}P_{120}K_{120}$) оказывало сильное влияние на рост и развитие растений ярового ячменя, которое проявилось в увеличении листовой поверхности растений и высоты продуктивного

стеблестоя, за счет чего изменялись микроклиматические и световые условия посева. Это, в свою очередь, отразилось на небольшом усилении развития листовых заболеваний – на 0,2-0,3 балла. Как показали расчеты, вносимые удобрения оказывали существенное влияние на содержание белка в зерне ячменя во все годы исследований. Максимальные значения белка зафиксированы в варианте с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ (14,1 % в среднем), минимум – при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$ (в среднем 13,2 %).

В последние годы, в связи со сложными экономическими условиями, на первое место при оценке эффективности использования сортов выходит окупаемость затрат на их возделывание. Расчет экономической эффективности, исходя из рыночной стоимости продукции (при продаже фуражного зерна ячменя по стоимости 15 000 руб. за тонну), производственных затрат и урожайности, представленных в таблице 5, показал, что при возделывании нового сорта Рафаэль при внесении дозы $N_{45}P_{45}K_{45}$ получен наибольший условно чистый доход – 69413 руб/га, уровень рентабельности составил 187,1 %. При увеличении доз вносимых минеральных удобрений рентабельность возделывания сорта резко падает.

Таблица 3 – Структурный анализ ярового ячменя сорта Рафаэль при различных дозах НРК (в среднем 2020-2022 гг.) / Table 3 – Structural analysis of Raphael spring barley at various NPK doses (average for 2020-2022)

Вариант / Variant	Кол-во продуктивных стеблей, шт/м ² / Number of productive stems, pcs / m ²	Продуктивная кустированность / Productive bushiness	Длина колоса, см / Ear length, cm	Число зерен в колосе, шт./ Number of grains per ear, pcs.	Масса зерна с колоса, г / Weight of grain per ear, g	Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g	K _{воз} , % / K _{хоз} , %
N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ (контроль) / (control)	978±47	3,2±0,26	7,0±0,40	20,6±0,8	0,96±0,05	43,1±2,1	48,8±0,8
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	912±19	3,2±0,03	7,3±0,01	20,4±0,3	0,93±0,05	43,1±3,3	50,1±2,3
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	932±30	3,1±0,09	7,1±0,23	20,2±0,3	0,96±0,01	43,2±1,6	51,5±1,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	870±54	3,1±0,26	7,4±0,26	20,7±0,1	0,99±0,01	43,2±2,8	51,2±1,1
N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀	870±59	3,1±0,38	7,6±0,17	23,1±0,8	1,04±0,01	42,7±2,1	53,1±2,1
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	980±14	3,3±0,10	7,5±0,20	21,5±0,1	1,00±0,04	43,4±3,7	51,5±1,8
Среднее	924±20	3,2±0,04	7,3±0,09	21,0±0,4	0,98±0,02	43,1±0,1	51,0±0,6
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	14,1	0,13	0,23	1,3	0,12	0,14	0,82
Коррелируемые с урожайностью показатели, r / Indicators correlated with yield productivity, r							
+0,886	-0,230	-0,067	+0,689*	+0,467*	+0,715*	+0,166	+0,820*
Коррелируемые с дозой НРК показатели, r / Indicators correlated with NPK dose, r							
x	-0,041	+0,285*	+0,825*	+0,6670*	+0,759*	+0,099	+0,739*

* Доверительная вероятность P ≥ 0,95 / * Confidence probability P ≥ 0,95

Таблица 4 – Влияние доз НРК на устойчивость к полеганию, болезням и качественные показатели зерна сорта ячменя Рафаэль (в среднем 2020-2022 гг.) / Table 4 – The effect of NPK doses on lodging, disease resistance and quality indicators of Raphael barley grain (average for 2020-2022)

Вариант / Variant	Высота, см / Height, cm	Устойчивость к полеганию, балл / Resistance to lodging, points	Устойчивость к болезням, балл / Disease resistance, points				Содержание в зерне, % / Content in grain, %	
			мучнистая роса / powdery mildew	темно-бурая пятнистость / dark brown spotting	сетчатая пятнистость / mesh spotting	белок / protein	крахмал / starch	
N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ (контроль) / (control)	67±1,7	8,5±1,2	8,0±0,3	7,0±0,2	7,0±0,4	13,2±0,1	52,4±0,3	
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	68±1,5	8,5±1,2	8,0±0,4	7,0±0,2	7,0±0,4	13,4±0,1	52,2±0,2	
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	67±0,1	8,5±1,0	8,0±0,4	6,8±0,4	7,0±0,4	13,6±0,2	52,6±0,2	
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	70±2,9	8,4±1,0	8,0±0,4	6,8±0,3	6,8±0,3	13,6±0,1	52,2±0,1	
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	71±1,1	8,4±1,1	7,8±0,3	6,7±0,4	6,7±0,3	13,7±0,2	52,3±0,2	
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	73±1,2	8,3±1,2	7,8±0,3	6,7±0,3	6,7±0,3	14,1±0,2	52,3±0,2	

Таблица 5 – Экономическая эффективность внесенных доз NPK при возделывании ячменя сорта Рафаэль (2020-2022 гг.) /

Table 5 – Economic efficiency of introducing various NPK doses in the cultivation of the Raphael variety (2020-2022)

Показатель / Indicator	$N_{16}P_{16}K_{16}$ (контроль) / (control)	$N_{30}P_{30}K_{30}$	$N_{45}P_{45}K_{45}$	$N_{60}P_{60}K_{60}$	$N_{90}P_{90}K_{90}$	$N_{120}P_{120}K_{120}$
Урожайность, т/га / Yield, t/ha	6,5	6,6	7,1	7,2	7,2	7,4
Прибавка урожайности, т/га / Yield increase, t/ha	-	+0,1	+0,6	+0,7	+0,7	+0,9
Средняя цена зерна, руб/т / Average grain price, rub/t	15000	15000	15000	15000	15000	15000
Стоимость продукции, руб/га / Cost of the product, rub/ha	97500	99000	106500	108000	108000	111000
Производственные затраты, руб/га / Production costs, rub/ha	32581	34759	37087	39428	44097	48766
Себестоимость зерна, руб/т / Net cost of grain, rub/t	5012	5266	5223	5476	6124	6590
Условно чистый доход, руб/га / Conditional net income, rub/ha	64919	64241	69413	68572	63903	62234
Уровень рентабельности, % / Profitability level, %	199,2	184,8	187,1	173,9	144,9	127,6

Заключение. На основании проведенных исследований установлено, что увеличение доз минеральных удобрений на темно-серых лесных тяжелосуглинистых по гранулометрическому составу почвах Рязанской области повышает урожайность и качественные показатели фуражного зерна нового сорта ярового ячменя Рафаэль. Лучшие результаты получены при внесении доз $N_{45}P_{45}K_{45}$ (7,1 т/га)... $N_{120}P_{120}K_{120}$ (7,4 т/га), что увеличивает прибавку урожая на 0,6...0,9 т/га относительно контрольного варианта $N_{16}P_{16}K_{16}$ (6,50 т/га). Определено статистически значимое влияние показателей «длина колоса», «число зерен в колосе», «масса зерна с колоса» ($r = 0,467...0,715$) на урожайность

данного сорта. Высокое содержание белка в зерне ячменя наблюдали в варианте $N_{120}P_{120}K_{120}$ (в среднем 14,1 %), минимальное – при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$ (в среднем 13,2 %). Расчет экономической эффективности показал, что при возделывании нового сорта ячменя Рафаэль наибольший условно чистый доход (69413 руб/га) и уровень рентабельности (187,1 %) получены в варианте с внесением умеренных доз удобрений $N_{45}P_{45}K_{45}$. При увеличении доз вносимых минеральных удобрений рентабельность возделывания сорта снижалась, особенно резко от применения повышенных доз ($N_{90}P_{90}K_{90}$ - $N_{120}P_{120}K_{120}$).

Список литературы

1. Темирбекова С. К., Афанасьева Ю. В., Куликов И. М., Ковалева О. Н., Ионова Н. Э. Исходный материал для селекции ярового ячменя в центральной нечерноземной зоне. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019;(6):19-23. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/6/19-23> EDN: QFAUWD
2. Nakala K., Jauhainen L., Rajala A. A., Jalli M., Kujala M., Laine A. Different responses to weather events may change the cultivation balance of spring barley and oats in the future. Field Crops Research. 2020;259:107956. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107956>
3. Смулов С. И., Наумкин В. Н., Ермолаев С. Н. Урожайность и качество зерна ярового ячменя в зависимости от различных предшественников и фонов минерального питания. Вестник аграрной науки. 2020;(2(83)):36-44. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.2.36> EDN: GYVEMG
4. Благополучная О. А. Влияние различных доз минеральных удобрений на формирование урожая кормовых культур. Новые технологии. 2017;(3):69-73. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30542152> EDN: ZSJEZN
5. Завьялова Н. Е., Шишков Д. Г. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур в длительном стационарном опыте в климатических условиях Предуралья. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2020;(5):5-17. DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-5-5-17> EDN: FLTQEI

6. Попов Ф. А., Козлова Л. М., Носкова Е. Н., Светлакова Е. В. Эффективность возрастающих доз минеральных удобрений при возделывании ярового ячменя сорта Новичок. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(2):254-263. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.254-263> EDN: AFGGFD
7. Левакова О. В., Дедушев И. А., Ерошенко Л. М., Ромахин М. М., Ерошенко А. Н., Ерошенко Н. А., Болдырев М. А., Гладышева О. В. Влияние агрометеорологических изменений климата на зерновую продуктивность ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны РФ. Юг России: экология, развитие. 2022;17(1):128-135. DOI: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-1-128-135> EDN: APZPOW
8. Козлова Л. М., Попов Ф. А., Носкова Е. Н., Светлакова Е. В. Влияние биологической интенсификации на баланс элементов питания дерново-подзолистых почв в полевых севооборотах. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(4):527-537. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.527-537> EDN: NBIIIM
9. Monzon J. P., Calviño P. A., Sadras V. O., Zubiaurre J. B., Andrade F. H. Precision agriculture based on crop physiological principles improves whole-farm yield and profit: A case study. *European Journal of Agronomy*. 2018;(99):62-71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.06.011>
10. Nordblom T. L., Hutchings T. R., Schefe C. R. Precision variable rate nitrogen for dryland farming on waterlogging Riverine Plains of Southeast Australia? *Agricultural Systems*. 2021;(186):102962. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102962>
11. Левакова О. В. Вариабельность элементов структуры урожая ярового ячменя в зависимости от гидротермических условий вегетации. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(3):327-333. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.327-333> EDN: BSOZZS
12. Абашев В. Д., Светлакова Е. В. Влияние минеральных удобрений на урожайность культур зернопаротравяного севооборота. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2015;(2):37-43. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23113617> EDN: TLURKR
13. Ерёмин Д. И., Кибук Ю. П. Дифференцированное внесение удобрений как инновационный подход в системе точного земледелия. *Вестник КрасГАУ*. 2017;(8):17-26. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29875923> EDN: ZDUDNP
14. Филатов А. Н., Мазуров В. Н., Храмой В. К., Арланцева Е. Р. Влияние способов обработки почвы и уровней минерального питания на урожайность и качество зерна ярового ячменя сорта Владимир в условиях центрального района Нечерноземной зоны. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2021;(1):18-28. DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-1-18-28> EDN: FZSJZN
15. Гуреев И. И., Гостев А. В., Нитченко Л. Б. Экономико-экологическая эффективность адаптивной системы удобрения ярового ячменя. Юг России: экология, развитие. 2021;16(3):95-101. DOI: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-3-95-101> EDN: VQWTYT
16. Левакова О. В., Гладышева О. В. Влияние минеральных удобрений на продуктивность нового сорта ярового ячменя Знатный в Нечерноземной зоне РФ. *Зерновое хозяйство России*. 2021;4(76):86-90. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-76-4-86-90> EDN: HBUURA
17. Лапшин Ю. А., Максимов В. А., Золотарёва Р. И. Влияние агроклиматических условий и минерального питания на зерновую продуктивность ярового тритикале в условиях Республики Марий Эл. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(3):307-317. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.307-317> EDN: SQZMMU
18. Ерошенко Л. М., Ерошенко А. Н., Ерошенко Н. А., Ромахин М. М., Гладышева О. В., Левакова О. В., Дедушев И. А., Лапочкина И. Ф., Ромахина В. В. Ячмень яровой Рафаэль: пат. № 12254 от 17.06.2022: патентообладатель ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка», ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»; зарегистр. в Государственном реестре охраняемых селекционных достижений 17.09.2022.

References

1. Temirbekova S. K., Afanasyeva Yu. V., Kulikov I. M., Kovaleva O. N., Ionova N. E. Base line for selection of spring barley in central nonchernosemic region. *Vestnik rossiyской sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2019;(6):19-23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/6/19-23>
2. Hakala K., Jauhiainen L., Rajala A. A., Jalli M., Kujala M., Laine A. Different responses to weather events may change the cultivation balance of spring barley and oats in the future. *Field Crops Research*. 2020;259:107956. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107956>
3. Smurov S. I., Naumkin V. N., Ermolaev S. N. Yield and quality of spring barley grain in dependence on various predecessors and backgrounds of mineral nutrition. *Vestnik agrarnoy nauki* = Bulletin of Agrarian Science. 2020;(2(83)):36-44. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.2.36>
4. Blagopoluchnaya O. A. influence of various doses of mineral fertilizers on the formation of the yield of fodder crops. *Novye tekhnologii* = New technologies. 2017;(3):69-73. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30542152>
5. Zavyalova N. E., Shishkov D. G. Effect of mineral fertilizers on crop quality and yield in long-term stationary experiment in the climatic conditions of the Cis-Urals. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2020;(5):5-17. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-5-5-17>

6. Popov F. A., Kozlova L. M., Noskova E. N., Svetlakova E. V. Effectiveness of increasing doses of mineral fertilizers in the cultivation of spring barley of the Novichok variety. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(2):254-263. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.254-263>

7. Levakova O. V., Dedushev I. A., Eroshenko L. M., Romakhin M. M., Eroshenko A. N., Eroshenko N. A., Boldyrev M. A., Gladysheva O. V. Influence of agrometeorological climate changes on grain productivity of spring barley in the Non-chernozem zone of the Russian Federation. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie = South of Russia: ecology, development*. 2022;17(1):128-135. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-1-128-135>

8. Kozlova L. M., Popov F. A., Noskova E. N., Svetlakova E. V. Influence of biological intensification on the balance of sod-podzolic soil nutrient elements in field crop rotations. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(4):527-537. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.527-537>

9. Monzon J. P., Calviño P. A., Sadras V. O., Zubiaurre J. B., Andrade F. H. Precision agriculture based on crop physiological principles improves whole-farm yield and profit: A case study. *European Journal of Agronomy*. 2018;(99):62-71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.06.011>

10. Nordblom T. L., Hutchings T. R., Sclafani C. R. Precision variable rate nitrogen for dryland farming on waterlogging Riverine Plains of Southeast Australia? *Agricultural Systems*. 2021;(186):102962.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102962>

11. Levakova O. V. Variability of the elements of spring barley yield structure depending on the hydrothermal conditions of vegetation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(3):327-333. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.327-333>

12. Abashev V. D., Svetlakova E. V. Influence of mineral fertilizers on productivity of grain-fallow-grass crop. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2015;(2):37-43. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23113617>

13. Eremin D. I., Kibuk Yu. P. Differentiated application of fertilizers as an innovative approach in the system of precision farming. *Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU*. 2017;(8):17-26. (In Russ.).

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29875923>

14. Filatov A. N., Mazurov V. N., Khramov V. K., Arlantseva E. R. Effect of tillage methods and levels of mineral nutrition on yield and grain quality of the “Vladimir” spring barley variety in the Central region of the Non-chernozem zone. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2021;(1):18-28. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-1-18-28>

15. Gureev I. I., Gostev A. V., Nitchenko L. B. Ekonomiko-ekologicheskaya effektivnost' adaptivnoy sistemy udobreniya yarovogo yachmenya. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie = South of Russia: ecology, development*. 2021;16(3):95-101. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-3-95-101>

16. Levakova O. V., Gladysheva O. V. The effect of mineral fertilizers on productivity of the new spring barley variety ‘Znatny’ in the non-blackearth part of the Russian Federation. *Zernovoe khozyaystvo Rossii = Grain Economy of Russia*. 2021;(4):86-90. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-76-4-86-90>

17. Lapshin Yu. A., Maksimov V. A., Zolotareva R. I. The influence of agroclimatic conditions and mineral fertilizers on the grain productivity of spring triticale in the conditions of Mari El Republic. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(3):307-317. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.307-317>

18. Eroshenko L. M., Eroshenko A. N., Eroshenko N. A., Romakhin M. M., Gladysheva O. V., Levakova O. V., Dedushev I. A., Lapochkina I. F., Romakhina V. V. Spring barley Raphael: pat. No. 12254 17.06.2022: patent holder is FRC “Nemchinovka, Federal Scientific Agroengineering Center VIM; registered in the State Register of Protected Breeding Achievements 17.09.2022

Сведения об авторе

Ольга Викторовна Левакова, кандидат с.-х. наук, зав. отделом селекции и первичного семеноводства, Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», ул. Парковая,1, с. Подвьязь, Рязанский район, Рязанская область, Российская Федерация, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5400-669X>, e-mail: levakova.olga@bk.ru

Information about the author

Olga V. Levakova, PhD in Agricultural Science, Head of the Department of Breeding and Primary Seed Production, Institute of Seed Production and Agrotechnologies – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM», Parkovaya str.,1, Podvyazye village, Ryazan district, Ryazan region, Russian Federation, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5400-669X>, e-mail: levakova.olga@bk.ru

– Для контактов / Corresponding author