

Оригинальная статья / Original article
УДК 631.454
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-3-95-101

Экономико-экологическая эффективность адаптивной системы удобрения ярового ячменя

Иван И. Гуреев, Андрей В. Гостев, Людмила Б. Нитченко

Курский федеральный аграрный научный центр, Курск, Россия

Контактное лицо

Иван И. Гуреев, лаборатория адаптивных агротехнологий и средств их механизации, ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр»; 305021, Россия, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 70б.

Тел. +79103103908

Email gureev06@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5995-3322>

Формат цитирования

Гуреев И.И., Гостев А.В., Нитченко Л.Б. Экономико-экологическая эффективность адаптивной системы удобрения ярового ячменя // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 3. С. 95-101. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-3-95-101

Получена 16 апреля 2020 г.

Прошла рецензирование 14 ноября 2020 г.

Принята 26 апреля 2021 г.

Резюме

Цель. Определить экономико-экологическую эффективность системы удобрения ярового ячменя при адаптивном устранении дефицита в элементах питания по данным листовой функциональной диагностики.

Материалы и методы. Проведены трёхлетние испытания в полевом опыте на яровом ячмене. Адаптивный инновационный вариант опыта ориентировали на устранение дефицита в питании растений листовой подкормкой комплексными удобрениями по данным листовой функциональной диагностики, которая учитывала синергию взаимодействия между вносимыми элементами. Инновационный вариант сравнивали по экономико-экологическим показателям с вариантом без удобрений (абсолютный контроль), а также с вариантом, где листовую подкормку проводили без учёта взаимодействия между элементами питания (дополнительный контроль). Потребность культуры в элементах питания определяли посредством портативной лаборатории Аквадонис. Синергию взаимодействия между элементами питания оценивали диагностированием потребности по каждому из них по специально подобранной питательной смеси, позволяющей формализовать модель взаимоувязанного факторного пространства.

Результаты. Установлена высокая эффективность использования комплексных удобрений при выращивании ярового ячменя. Показано, что экономное расходование удобрений достигается адаптивным устранением их дефицита по данным листовой функциональной диагностики, учитывающей синергию взаимодействия между вносимыми элементами.

Заключение. Применение инновации при одинаковом качестве зерна ячменя увеличило годовую экономию совокупных затрат с 1830 до 2571 руб./га в основном за счёт снижения затрат на удобрения. Инновация позволила значительно сократить объёмы используемых удобрений, что наряду с экономическим, обусловило и экологический эффект снижением загрязнения окружающей среды минеральными удобрениями.

Ключевые слова

Минеральное удобрение, яровой ячмень, функциональная диагностика, урожайность, экономико-экологическая эффективность.

Economic and ecological efficiency of adaptive system for fertilising spring barley

Ivan I. Gureev, Andrey V. Gostev and Lyudmila B. Nitchenko

Kursk Federal Agricultural Research Centre, Kursk, Russia

Principal contact

Ivan I. Gureev, Laboratory of Adaptive Agricultural Technologies and Means of Their Mechanisation, Kursk Federal Agricultural Research Centre; 706 Karl Marks St, Kursk, Russia 305021.

Tel. +79103103908

Email gureev06@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5995-3322>

How to cite this article

Gureev I.I., Gostev A.V., Nitchenko L.B. Economic and ecological efficiency of adaptive system for fertilising spring barley. *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 3, pp. 95-101. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-3-95-101

Received 16 April 2020

Revised 14 November 2020

Accepted 26 April 2021

Abstract

Aim. To determine the economic and environmental efficiency of a spring barley fertilizer system by adaptively eliminating nutritional deficiencies according to the functional diagnostics of plant leaves.

Materials and Methods. Three-year tests were conducted in a field experiment on spring barley. An adaptive innovative version of the experiment was oriented toward eliminating the deficit in plant nutrition by foliar fertilizing with complex fertilizers according to leaf functional diagnostics, which took into account the synergy of interaction between the applied elements. It was compared in terms of economic and environmental indicators with the option where top dressing on the leaves was carried out without taking into account the interaction between nutrients (additional control), as well as with the option without fertilizers (absolute control). The fertilizer requirement of the crop was determined using an Aquadonis portable laboratory. The synergy of interaction between the nutrients was assessed by diagnosing the need for each of them using a specially selected nutrient mixture, which allows us to formalise a model of interconnected factor space.

Results. The high efficiency of using complex fertilizers in the cultivation of spring barley has been established. It is shown that the economical use of fertilizers is achieved by the adaptive elimination of their deficit according to foliar functional diagnostics, taking into account the synergy of interaction between the applied elements.

Conclusion. The application of innovation with the equal quality of barley grain increased the annual saving of total costs from 1830 to 2571 roubles/ha, mainly due to the reduction of fertilizer costs. The innovation allowed a significant reduction in the amount of fertilizers used, which, together with the economic effect, also led to an environmental effect, i.e. environmental pollution by mineral fertilizers was decreased.

Key Words

Mineral fertilizer, spring barley, functional diagnostics, productivity, economic and environmental efficiency.

ВВЕДЕНИЕ

Продовольственную безопасность страны преимущественно определяет зерновая отрасль, являющаяся источником производства большинства продуктов питания для человека и кормов для животноводства. Потребность в растительном протеине человек удовлетворяет в основном за счёт продуктов из зерна [1]. За последние десятилетия в сельском хозяйстве произошли качественные изменения технологий производства зерна, позволяющие наращивать урожайность культур и способствовать повышению плодородия почвы.

Важное место среди зерновых культур отводится яровому ячменю. Его используют для производства перловой и ячневой крупы, а также муки, которую в количестве 20-25% можно примешивать к ржаной или пшеничной муке. Яровой ячмень используется для откорма животных, он является сырьём для производства спирта и пива. Выращивают его в разных почвенно-климатических зонах России, в том числе в Центрально-Чернозёмном регионе. Наиболее сильное позитивное влияние на экономико-экологические показатели производства ярового ячменя оказали технологии его возделывания, адаптированные к природно-ресурсному потенциалу.

Понятие адаптивности технологии интегральное и распространяется на её составляющие элементы – севооборот, обработку почвы, защиту растений от вредных организмов и др. Одним из определяющих ресурсов технологии является удобрение, без чего невозможна интенсификация производства культуры. Адаптивное использование данного ресурса подразумевает устранение дефицита в элементах питания на протяжении процесса вегетации культуры и оказывает существенное влияние на продуктивность и экологическую безопасность её производства.

Использование удобрения в адаптивном режиме сопряжено с необходимостью систематической диагностики потребности растений в широкой номенклатуре не только макро-, но и микроэлементов минерального питания [2]. Последние являются катализатором ферментных процессов в растениях [3]. Сбалансированное комплексное их внесение в сочетании с макроэлементами увеличивает урожайность культуры и повышает эффективность использования NPK [4]. Применение комплексных удобрений предпочтительно в листовых подкормках в сравнении с внесением их в почву [5]. Любые отклонения от оптимума в питании негативно сказываются на экономико-экологических показателях производства зерна.

Значимым резервом экономии удобрительных ресурсов являются синергетические взаимосвязи между элементами питания в растениях. Единственным известным методом, позволяющим оценить синергию взаимодействия, является листовая функциональная диагностика с использованием лаборатории Аквадонис [6]. Метод основан на свойстве хлоропластов обследуемых растений активизировать фотосинтез при дефиците испытываемого элемента питания и снижать его, если концентрация данного элемента избыточна.

Фотосинтез не только биологическая категория, но и агрономическая. Урожай культур является, прежде всего, результатом продуктивности фитоценоза вследствие его фотосинтетической деятельности. Примерно 95% массы сухого органического вещества урожая создаётся фотосинтезом. Элементы же минерального питания составляют лишь около 5% сухой массы. Но они являются средством оптимизации процессов формирования фотосинтетического аппарата

и его адаптации к переменному радиационному режиму и, в конечном счёте, повышению КПД фотосинтетической активной радиации (ФАР).

При этом синергию взаимодействия элементов питания оценивают по методике, когда диагностирование потребности проводят не обособленно по каждому из них, а по специально подобранной питательной смеси, позволяющей формализовать модель взаимосвязанного факторного пространства. В составе смеси должны быть элементы, оказывающие значимое влияние на продуктивность культуры. Затем проектируют матрицу планирования активного эксперимента в виде дробной реплики, в соответствии с ней испытывают неповторяющиеся смеси элементов питания и приступают к нейтрализации избыточных элементов. Для этого строят диаграммы рассеяния полученных в испытаниях данных и корректируют их величиной дефицитных элементов, последовательно стабилизируя избыточные элементы на нулевом уровне. Посредством модели оперативно «по запросу растений» формируют сбалансированные удобрительные смеси и оптимизируют питательную среду [7].

Цель данной работы предусматривала определение экономико-экологической эффективности системы удобрения ярового ячменя при адаптивном устранении дефицита в элементах питания по данным листовой функциональной диагностики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения поставленной цели ФГБНУ «Курский ФАНЦ» совместно с Центрально-Чернозёмной машиноиспытательной станцией (ЦЧ МИС) и ОАО «Буйский химический завод» провели трёхлетние Государственные испытания в опыте на яровом ячмене с сортами Ксанаду и Гонар. Опыт был заложен на полях ЦЧ МИС на чернозёме выщелоченном среднесуглинистом кислотностью $pH_{KCl}=4,7-5,0$ и содержанием гумуса 4,8-5,0%.

Технология возделывания ячменя в опыте включала в себя следующие агроприёмы. После уборки предшественника стерню лущили дисковой боронкой. В зависимости от складывающихся погодных условий по годам испытаний, через 1-3 недели выполняли основную обработку почвы дисковой боронкой или отвальным плугом. Весной перед посевом культуры проводили предпосевную обработку почвы ранним весенним боронованием зяби сцепкой борон и предпосевной культивацией комбинированным почвообрабатывающим агрегатом.

На момент посева по годам испытаний запас продуктивной влаги в метровом горизонте колебался от 158 до 201 мм, а сумма осадков за вегетационный период – 196-315 мм. Содержание NPK составляло (мг/100 г почвы): азот щелочно-гидролизуемый – 14,1-17,1; калий (K_2O) – 9,3-14,2; фосфор (P_2O_5) – 6,0-13,2. Масса 1000 штук высеваемых семян 44,6-52,2 г. Норма высева семян 186-200 кг/га, глубина их заделки в почву 4,4-6,1 см.

Под предпосевную культивацию в качестве фона вносили диаммофоску в физическом весе 200 кг/га. В испытаниях применяли отечественные комплексные удобрения, производимые ОАО «Буйский химический завод». Большая часть элементов питания этих удобрений в хелатной форме. Для обработки семян использовали концентрированное микроудобрение Аквамикс СТ, содержащее, %: N=1,55; $P_2O_5=5,0$; $K_2O=1,55$; Fe (ДТПА)=1,74; Fe (ЭДТА)=2,1; Mn (ДТПА)=2,57; Zn (ДТПА)=0,53; Cu (ДТПА)=0,53; Ca (ДТПА)=2,57; B=0,52; Mo=0,13. Листовые подкормки

проводили комплексным удобрением Акварин 15 с элементами питания, %: N=3,0; P₂O₅=11,0; K₂O=38,0; Fe (ДТПА)=0,054; Zn (ЭДТА)=0,014; Cu (ЭДТА)=0,01; Mn (ЭДТА)=0,042; Mo=0,004; B=0,02, а также смесями элементов питания по составу эквивалентными Акварину 15.

Удобрения для листовых подкормок не конфликтуют с пестицидами, поэтому применяли их в баковой смеси на опрыскивании посевов [8]. В сравниваемых вариантах ориентировались на одинаковые сопутствующие фоновые пестициды. Площадь делянок составляла 0,35 га. Повторность вариантов шестикратная.

Опыт включал в себя четыре варианта: 1 – абсолютный контроль, в нём удобрений на обработке семян и листовых подкормках не применяли; варианты 2...4 – на семена культуры совместно с протравителями наносили Аквамикс СТ (100 г/т) + листовые подкормки вегетирующих растений двукратно – в фазах кущения растений и выхода в трубку.

Вариант 2 традиционного применения на листовых подкормках удобрения Акварин 15 по 2 кг/га в каждую подкормку. Дозировки препаратов устанавливали по рекомендациям производителя.

В адаптивных вариантах 3 (дополнительный контроль) и 4 баковые смеси для листовых подкормок культуры (также двукратных) формировали по данным листовой функциональной диагностики, выполняемой посредством лаборатории Аквадонис, приняв состав диагностируемых элементов питания эквивалентный Акварину 15. Дозировки дефицитных элементов питания для варианта 3 готовили по отзывчивости растений на обособленное испытание каждого из них (метод Плешкова А.С. и Ягодина Б.А.) [9]. В инновационном варианте 4 диагностику проводили, испытывая специально подобранные питательные смеси, позволяющие учитывать синергию взаимодействия между элементами питания в растениях [7].

Оценивали результаты испытаний по ГОСТ Р 53056-2008, согласно которому интегральным показателем экономической эффективности является

годовая экономия совокупных затрат денежных средств. В качестве исходных данных для расчёта экономико-экологических показателей определяли урожайность зерна и его качественные показатели – массу и массу 1000 зёрен (масса отражает наличие примесей в зерне, а масса 1000 зёрен состоит в прямой пропорциональной связи с его крупностью). Влияние удобрений на распределение продуктов фотосинтеза при формировании основного и побочного урожая определяли относительным содержанием массы зерна в общем объёме биологической урожайности продукции.

В расчётах использовали материалы эксплуатационно-технологической оценки машин, прошедших испытания, и нормативно-справочный материал. Агрорприёмы возделывания ячменя по вариантам опыта неизменные, следовательно, состав и стоимость машинотракторного парка, т.е. капитальные вложения для них одинаковые. Цены на используемую технику, горюче-смазочные материалы, удобрения, средства защиты растений, зерно ячменя взяты среднерыночные. Экспериментальные данные получены с учётом методики полевого опыта [10]. Статистическая обработка их проведена с использованием программ Microsoft office EXCEL, STATISTICA.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При проведении научно-исследовательской работы в полевом опыте по изучению экономико-экологической эффективности адаптивной системы удобрения ярового ячменя получены данные, из анализа которых вытекает следующее.

В период развития культуры прохождения фенофаз (появление всходов, кущение, выход в трубку, колошение, цветение, созревание) для всех вариантов опыта было примерно одинаковым. Однако динамика накопления сухого вещества в растениях по фазам роста и развития по инновационному варианту 4 протекала интенсивнее, чем по контрольным вариантам 1 и 3 (рис. 1).

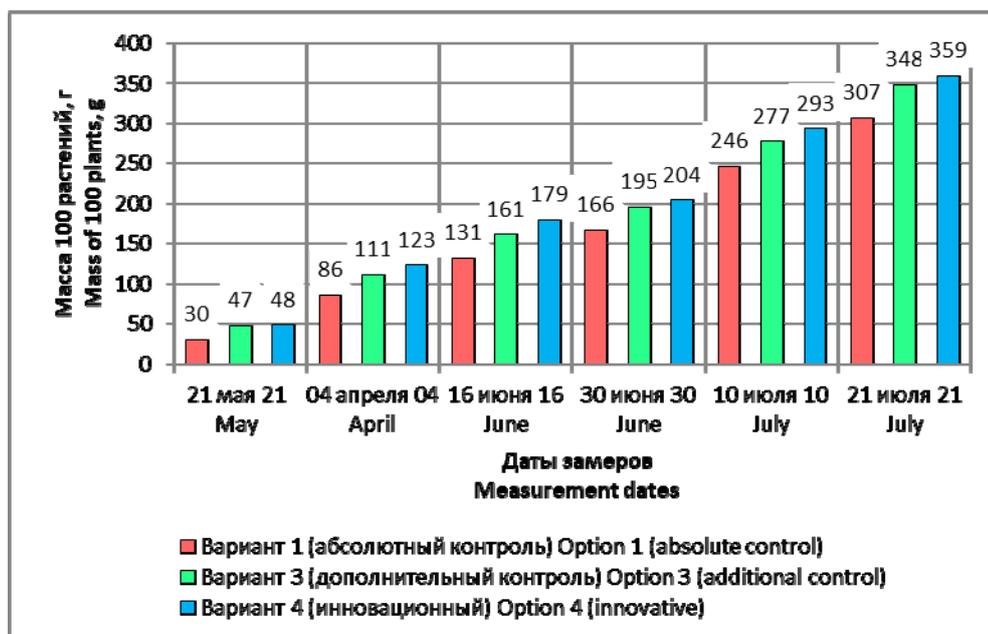


Рисунок 1. Динамика накопления сухого вещества ярового ячменя в опыте
Figure 1. Dynamics of accumulation of dry matter of spring barley in the experiment

Таблица 1. Агроэкономическая эффективность оптимизации питания ярового ячменя
 Table 1. Agroeconomic efficiency of spring barley nutrition optimization

Показатели Indicators	Повторности по годам испытаний Repeatability by years of testing	Варианты опыта Experiment Options			
		1 (абсолютный контроль) 1 (absolute control)	2 (традиционное применение микроудобрений) 2 (traditional application of microfertilizers)	3 (дополнительный контроль) 3 (additional control)	4 (инновационный) 4 (innovative)
Годовая экономия совокупных затрат денежных средств, руб./га Annual savings in total monetary costs, rub/ha	1 2 3 Среднее Average	- - - -	1106 1186 1107 1133	2303 334 2854 1830	2395 2269 3050 2571
Урожайность зерна, т/га Grain productivity, t/ha	1 2 3 Среднее Average, НСР ₀₅ =0,14	2,76 2,36 4,09 3,07	3,16 2,69 4,52 3,46	3,42 2,81 4,91 3,71	3,34 2,87 5,0 3,74
Полевая всхожесть семян, % Field germination of seeds, %	1 2 3 Среднее Average, НСР ₀₅ =0,30	90,6 90,3 91,0 90,6	92,0 92,8 92,7 92,5	92,0 92,8 92,7 92,5	92,0 92,8 92,7 92,5
Натура зерна, г/л Grain nature, g/l	1 2 3 Среднее Average, НСР ₀₅ =3,55	647 632 630 636	658 636 633 642	655 638 636 643	656 638 638 644
Масса 1000 зёрен, г Weight 1000 grains, g	1 2 3 Среднее Average, НСР ₀₅ =0,57	44,7 45,3 44,3 44,8	44,9 46,8 45,1 45,6	45,1 47,8 45,8 46,2	45,0 47,8 46,0 46,3
Содержание зерновой части в биологической урожайности, % Content of grain component in biological productivity, %	1 2 3 Среднее Average	38,8 42,8 45,9 42,5	40,5 43,5 46,8 43,6	42,2 43,5 48,1 44,6	42,2 43,5 48,1 44,6

Превышение динамики накопления сухого вещества над вариантом 1 на начальном этапе развития растений составило 60% и к концу вегетации плавно уменьшилось до 17%. Это свидетельствует о том, что полноценное качественное питание наиболее действительно на начальной стадии развития растений.

По динамике нарастания сухого вещества вариант 4 также опережал и вариант 3. Но в данном случае на начальном этапе развития растений опережение составило лишь 2%, увеличившись до 11% к середине вегетации, и затем постепенно снизилось до 3%. Следует предположить, что синергетические взаимосвязи элементов питания более действенны при увеличивающихся объёмах потребления удобрений растениями. Как известно, в начале и по завершении вегетации культуры потребление удобрений относительно невысокое.

Сравнительные показатели экономико-экологической эффективности вариантов опыта представлены в таблице 1, из которой следует, что в целом с применением удобрений на обработке семян и листовых подкормках культуры по вариантам получена прибавка урожайности зерна до 22%, годовая экономия совокупных затрат возросла до 2571 руб./га.

Предпосевная обработка семян удобрениями способствовала повышению на 1,9% их полевой всхожести. С использованием удобрений созданы лучшие условия для работы хлоропластов, так как перераспределение продуктов фотосинтеза оказалось в среднем на 1,1-2,1% больше ориентировано в сторону зерновой части урожая.

Позитивное влияние удобрений сказалось и на качестве зерна: возросли его натура (с 636 до 644 г/л) и масса 1000 зёрен (с 44,8 до 46,3 г).

Особенностью варианта 2 является применение удобрений на обработке семян и листовых подкормках в номенклатуре и дозировках, декларируемых производителем независимо от складывающихся почвенно-погодных условий – без диагностических процедур. Вследствие такого использования препаратов годовая экономия совокупных затрат составила 1133 руб./га. Полевая всхожесть семян возросла с 90,6 до 92,5%. Улучшилось качество зерна – натура увеличилась с 636 до 642 г/л, а масса 1000 зёрен – с 44,8 до 45,6 г. Содержание зерновой части в биологической урожайности культуры поднялось с 42,5 до 43,6%.

В адаптированном к почвенно-погодным условиям варианте 3, где в результате функциональной диагностики обособленным испытанием элементов питания определена их номенклатура и дозировки, относительно варианта 2 произошли дальнейшие позитивные изменения экономических показателей. Возросли урожайность с 3,46 до 3,71 т/га (на 7%), годовая экономия совокупных затрат – в 1,6 раза (с 1133 до 1830 руб./га). Полевая всхожесть семян осталась на уровне варианта 2 и далее в варианте 4 не изменялась, так как листовые подкормки не могли оказать влияние на данный показатель. Значимого изменения натуры зерна не произошло, а масса 1000 зёрен повысилась с 45,6 до 46,2 г. Зерновая часть в биологической урожайности достигла 44,6%.

Углубленная адаптация системы удобрения ячменя по инновационному варианту 4 позволила увеличить годовую экономию совокупных затрат до максимального значения в опыте – 2571 руб./га при неизменной зерновой части в биологической урожайности – 44,6%.

Структуру полученных экономико-экологических показателей удобно проследить по вариантам 3-4, где качественные показатели зерна (натура и масса 1000 зёрен) примерно одинаковы. Разница годовой экономии совокупных затрат величиной 741 руб./га в пользу варианта 4 обусловлена прибавкой урожайности культуры и снижением расхода удобрения. Но по урожайности вариант 4 незначимо превышает вариант 3. Поэтому эффективность инновационного варианта 4 носит не только экономический, но и экологический характер, так как получена вследствие экономии минерального удобрения, одновременно снизив загрязнение окружающей среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инновационная адаптивная листовая функциональная диагностика, учитывающая синергию взаимодействия между элементами питания в растениях, способствовала эффективному перераспределению продуктов фотосинтеза на формирование основного урожая, позволила минимизировать применение удобрений при выращивании ярового ячменя и увеличить годовую экономию совокупных затрат с 1830 до 2571 руб./га. При оптимизации состава питательных смесей на основе инновации реализована способность растений самостоятельно адаптироваться к условиям вегетации. Результатом этого явилась существенная экономия используемых удобрений и, как следствие, позитивные экологические последствия.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр» по теме № 0632–2019–0015.

ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out within the framework of the state task for FSBSI Kursk Federal Agricultural Research Center on theme No. 0632–2019–0015.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зерновые культуры (Выращивание, уборка, доработка и использование). Под общей редакцией Д. Шпаара. Москва: ИД ООО «DLV АГРОДЕЛО», 2008. 656 с.
2. Хорошкин А.Б. Способы повышения эффективности минерального питания сельскохозяйственных культур. Ростов-на-Дону, 2011. 67 с.
3. Monreal C.M., Derosa M., Mallubhotla S.C., Bindraban P.S., Dimkpa C. Nanotechnologies for increasing the crop use efficiency of fertilizer-micronutrients // *Biology and Fertility of Soils*. 2016. V. 52. N 3. P. 423-437. DOI: 10.1007/s00374-015-1073-5
4. Ding W., Xu X., He P., Ullah S., Zhang J., Cui Z., Zhou W. Improving yield and nitrogen use efficiency through alternative fertilization options for rice in China: a meta-analysis // *Field Crops Research*. 2018. V. 227. P. 11-18. DOI: 10.1016/j.fcr.2018.08.001
5. Cakmak I., Yazici A., Tutus Y., Ozturk L., Prom-u-thai C., Phuphong P., Guilherme L.R.G., Dinali G.S., Rashid A., Hora K.H., Savasli E., Kalayci M., Rizwan M., Martins F.A.D., Dinali G.S., Ozturk L. Iodine biofortification of wheat, rice and maize through fertilizer strategy // *Plant and Soil*. 2017. V. 418. N 1-2. P. 319-335. DOI: 10.1007/s11104-017-3295-9

6. Гуреев И.И. Перспективы функциональной диагностики потребности растений в питательных веществах // АПК Юга России: состояние и перспективы: Сб. докл. Региональной науч.-практ. конф. Майкоп: Магарин О.Г., 2014. С. 44-47.

7. Gureev I.I. A method for diagnosing the needs of plants in mineral nutrients. Patent RF, no 2541310, 2015.

8. Ram H., Bal R.S., Malik S.S., Sohu V.S., Rashid A., Zhang W., Zou C.Q., Duarte A.P., Freitas R., Phattarakul N., Rerkasem B., Simunji S., Kalayci M., Savasli E., Mahmood K., Lungu O., Wang Z.H., de Barros V.L.N.P., Arisoy R.Z., Guo J.X., Sohu V.S., Zou C.Q., Cakmak I. Biofortification of wheat, rice and common bean by applying foliar zinc fertilizer along with pesticides in seven countries // *Plant and Soil*. 2016. V. 403. N 1-2. P. 389-401. DOI: 10.1007/s11104-016-2815-3

9. Pleshkov A.S., Jagodin B.A. The method of providing plants with mineral elements. Certificate of authorship USSR, no 952168, 1982.

10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

REFERENCES

1. Shpaar D., ed. *Zernovye kul'tury (Vyrashchivanie, uborka, dorabotka i ispol'zovanie)* [Crops growing (Cultivation, harvesting, cultivation and use)]. Moscow, DLV AGRODELO LLC Publ., 2008, 656 p. (In Russian)

2. Khoroshkin A.B. *Sposoby povysheniya effektivnosti mineral'nogo pitaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Ways to increase the efficiency of mineral nutrition of crops]. Rostov-on-Don, 2011, 67 p. (In Russian)

3. Monreal C.M., Derosa M., Mallubhotla S.C., Bindraban P.S., Dimkpa C. Nanotechnologies for increasing the crop use efficiency of fertilizer-micronutrients. *Biology and Fertility of Soils*, 2016, vol. 52, no. 3, pp. 423-437. DOI: 10.1007/s00374-015-1073-5

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Иван И. Гуреев разработал теорию функциональной диагностики с учётом синергии взаимодействия между элементами питания, обосновал схему опыта и осуществил научное руководство его проведением. Андрей В. Гостев провёл экономико-экологическую оценку результатов исследований. Людмила Б. Нитченко выполнила обработку полевых экспериментальных данных. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

4. Ding W., Xu X., He P., Ullah S., Zhang J., Cui Z., Zhou W. Improving yield and nitrogen use efficiency through alternative fertilization options for rice in China: a meta-analysis. *Field Crops Research*, 2018, vol. 227, pp. 11-18. DOI: 10.1016/j.fcr.2018.08.001

5. Cakmak I., Yazici A., Tutus Y., Ozturk L., Prom-u-thai C., Phuphong P., Guilherme L.R.G., Dinali G.S., Rashid A., Hora K.H., Savasli E., Kalayci M., Rizwan M., Martins F.A.D., Dinali G.S., Ozturk L. Iodine biofortification of wheat, rice and maize through fertilizer strategy. *Plant and Soil*, 2017, vol. 418, no. 1-2, pp. 319-335. DOI: 10.1007/s11104-017-3295-9

6. Gureev I.I. [Prospects for functional diagnostics of plant needs for nutrients]. In: *APK Yuga Rossii: sostoyanie i perspektivy* [Agroindustrial complex of the South of Russia: state and prospects]. Maykop, 2014, pp. 44-47 (In Russian)

7. Gureev I.I. A method for diagnosing the needs of plants in mineral nutrients. Patent RF, no 2541310, 2015.

8. Ram H., Bal R.S., Malik S.S., Sohu V.S., Rashid A., Zhang W., Zou C.Q., Duarte A.P., Freitas R., Phattarakul N., Rerkasem B., Simunji S., Kalayci M., Savasli E., Mahmood K., Lungu O., Wang Z.H., de Barros V.L.N.P., Arisoy R.Z., Guo J.X., Sohu V.S., Zou C.Q., Cakmak I. Biofortification of wheat, rice and common bean by applying foliar zinc fertilizer along with pesticides in seven countries. *Plant and Soil*, 2016, vol. 403, no. 1-2, pp. 389-401. DOI: 10.1007/s11104-016-2815-3

9. Pleshkov A.S., Jagodin B.A. The method of providing plants with mineral elements. Certificate of authorship USSR, no. 952168, 1982.

10. Dospikhov B.A. *Metodika opytnogo dela (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezultatov issledovaniy)* [Methods of the Field Experiment (with the fundamentals of statistical processing of research results)]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, 351 p. (In Russian)

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ivan I. Gureev developed the theory of functional diagnostics, taking into account the synergy of interaction between nutrients, substantiated the experimental scheme and carried out the scientific management of its implementation. Andrey V. Gostev conducted an economic and environmental assessment of the research results. Lyudmila B. Nitchenko performed the processing of field experimental data. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Иван И. Гуреев / Ivan I. Gureev <https://orcid.org/0000-0001-5995-3322>
 Андрей В. Гостев / Andrey V. Gostev <https://orcid.org/0000-0001-7043-1525>
 Людмила Б. Нитченко / Lyudmila B. Nitchenko <https://orcid.org/0000-0002-8744-6130>