

УДК 631.81.095.337: 631.81.095.338

DOI 10.18286/1816-4501-2023-1-6-13

**ЦИФРОВАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПИТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЛИСТОВОЙ ДИАГНОСТИКИ**

Гуреев Иван Иванович, доктор технических наук, профессор
ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр»
305021, г. Курск, ул. Карла Маркса, 70-б,
Тел. 8-910 310 3908, e-mail: gureev06@mail.ru

Ключевые слова: сельскохозяйственные культуры, элементы питания, хлоропласты, фотохимическая активность, цифровая оптимизация, функциональная диагностика, питательные смеси.

Исследования направлены на создание алгоритма и компьютерной программы цифровой оптимизация питания растений на базе функциональной листовой диагностики. Алгоритм ориентирован на формализацию и последующую оптимизацию взаимосвязанного факторного пространства по влиянию элементов питания на фотохимическую активность хлоропластов растений, которая изменяется пропорционально их потребности в питательных веществах. На основе алгоритма создана и зарегистрирована компьютерная программа, для функционирования которой хлоропласты испытывают на фотохимическую активность при добавлении в их суспензию смесей элементов питания. Номенклатуру и состав смесей подбирают из условия оценки не только линейных эффектов элементов питания, но и синергии взаимодействия между ними. Позитивная особенность программы состоит в автоматизированной нейтрализации антагонистического влияния на усвоение растениями питательных веществ находящихся в почве избыточными элементами, что достигается адаптивными дозировками дефицитных элементов питания при выполнении корневых и листовых подкормок. Эффективность цифровой оптимизации питания растений проверили в трёхлетних опытах на ячмене и озимой пшенице. Почва опытов – чернозём выщелоченный среднесуглинистый с содержанием гумуса 4,7-5,1%, солевая вытяжка $pH_{KCl}=4,7-5,0$. Содержание щёлочногидролизующего азота – 13,9-18,3, подвижного фосфора – 6,0-13,3 и обменного калия – 9,3-16,2 мг на 100 г почвы. С применением цифровой оптимизации диагностики установлено существенное сокращение объёмов удобрений, вследствие чего годовая экономия совокупных затрат при возделывании ячменя и озимой пшеницы возросла, соответственно, на 40 и 24%. Сокращение расхода удобрений попутно обеспечило благоприятные экологические последствия снижением химической нагрузки на окружающую среду.

Работа выполнена по теме государственного задания № FGZU-2022-0005.

Введение

На современном этапе развития научно-технического прогресса в земледелии невозможно получить достойный урожай сельскохозяйственных культур (например, больше 6 т/га пшеницы или ячменя) без комплексного сбалансированного питания растений применением удобрений [1]. Комплексное удобрение предполагает востребованную растениями его широкую номенклатуру. Оно содержит не только макроэлементы питания азот, фосфор и калий (NPK), но и микроудобрения, такие, как цинк, железо, бор, марганец, медь, молибден и

др. Микроудобрения являются катализаторами ферментных процессов в растениях [2], а также повышают эффективность использования NPK [3].

С течением времени условия произрастания растений меняются. Соответственно, меняется их потребность в питательных веществах, объективная оценка которой возможна не единичной, а систематической диагностикой, чувствительной не только к потребности растений в отдельных элементах питания, но и к количественному соотношению между ними [4].

Известные визуальная и химическая диа-

гностики не обеспечивают надлежащий эффект. Так, проявляющиеся визуальные симптомы на листьях в большинстве случаев одинаковые для групп элементов питания, отчего сложно определить в действительно дефицитном элементе. Оцениваемый же химической диагностикой состав тканей растений не учитывает их реакцию на переменные условия вегетации.

В настоящее время обозначенным запросам отвечает функциональная листовая диагностика по фотохимической активности хлоропластов, взаимосвязанной с потребностью растений в элементах питания. При добавлении какого-то элемента питания фотохимическая активность изменяется пропорционально обеспеченности растений им. Недостаток элемента устанавливают по увеличению, а избыток – по уменьшению фотохимической активности по сравнению с контролем. Таким образом, степень изменения фотохимической активности от присутствия в питательной среде испытываемого элемента позволяет судить о величине его потребности или избытке [5].

Необходимые для продуктивного функционирования растений макроудобрения заделывают в почву, определяя их дефицит по результатам почвенной диагностики. Аналогичный подход для микроудобрений неэффективен, так как их малые дозы связываются в почве в недоступные растениям формы [1], [6], поэтому питание растений в процессе вегетации корректируют по данным листовой диагностики, покрывая недостаток микроудобрений листовыми подкормками [7, 8].

Основоположниками метода функциональной листовой диагностики Плешковым А.С. и Ягодиным Б.А. предложены диагностические действия производить обособленно по каждому из испытываемых элементов питания независимо от других элементов [5].

Однако понятие сбалансированного удобрения значительно шире. Помимо номенклатуры оно подразумевает не только количественное значение каждого из элементов питания, но и соотношение между ними, удовлетворяющее текущую потребность растений, поэтому обособленный подход к испытываемым элементам не позволяет оценить взаимодействие между ними. По словам того же Ягодина Б.А. и др. при питании растений из почвенного раствора соотношение элементов играет даже более существенную роль, нежели их концентрация [9].

Справедливость данного высказывания не может подвергаться сомнению, так как взаимо-

действия между элементами могут быть синергическими, т.е. усиливать потребление растениями одного элемента в присутствии другого и способствовать повышению к.п.д. фотосинтетической активной радиации (ФАР). Но могут быть и антагонистическими, когда наличие одного элемента блокирует усвоение растениями других элементов, понижает к.п.д. ФАР и замедляет нарастание органической массы растений.

Поэтому предложено эффективное экологически ориентированное направление экономики удобрительных ресурсов за счёт синергии взаимодействия между элементами питания. Методология такого подхода предполагает оценку фотохимической активности хлоропластов растений на присутствие в питательной среде не единичных элементов питания, а различных их неповторяющихся смесей [10].

Реализуется инновационный метод посредством прибора Аквадонис, который способен оценивать изменения фотохимической активности хлоропластов при добавлении в их суспензию не только единичных макро- и микроэлементов, но их смесей, что в последующем используется для оптимизации питания культур [11].

Цель исследований – создание алгоритма и компьютерной программы цифровой оптимизации питания растений на базе функциональной листовой диагностики.

Материалы и методы исследований

В основу алгоритма положена формализация и последующая оптимизация взаимосвязанного факторного пространства по влиянию элементов питания на фотохимическую активность хлоропластов. Это позволяет в полной мере реализовать способность живых растений самостоятельно адаптироваться к условиям вегетации с учётом взаимодействия между элементами питания.

Алгоритм представлен в виде кибернетической модели с входными управляемыми факторами (элементами питания) и выходным откликом в виде относительного показателя фотохимической активности хлоропластов Y :

$$Y = 100 \frac{F - F_6}{F_6}, \%;$$

где F - фотохимическая активность хлоропластов в присутствии смеси диагностируемых элементов питания;

F_6 - базовая величина фотохимической активности без наличия элементов питания (контроль).

Положительное значение Y свидетельствует о синергетическом воздействии питательной смеси на растение. При отрицательной величине Y воздействие питательной смеси на растение антагонистическое.

Алгоритм оптимизации питания конкретной культуры предполагает ряд последовательных действий для проведения диагностики (рис.1).

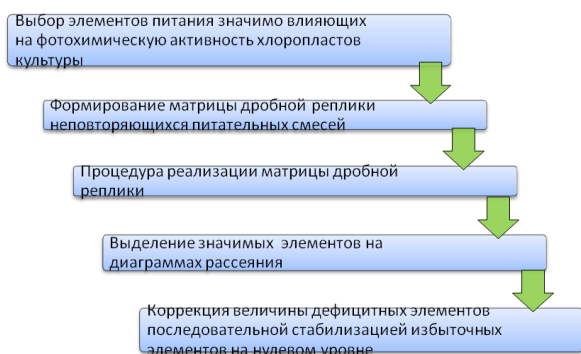


Рис. 1 – Последовательность оптимизации питания сельскохозяйственных культур

На начальном этапе априори выделяют элементы, значительно влияющие на фотохимическую активность хлоропластов растений и проводят формализацию взаимоувязанного факторного пространства по методике оптимального планирования эксперимента. Перечень элементов зависит от биологических особенностей обследуемых культур и, как правило, превышает 10. Полный факторный эксперимент при таком количестве факторов достаточно объёмный как по затратам, так и по времени его проведения, поэтому целесообразна дробная реплика, позволяющая без существенной потери информативности сократить трудоёмкость экспериментальных работ.

Диагностику проводят в соответствии с матрицей планирования эксперимента, где каждый вариант предполагает испытания питательной смеси с определённым набором элементов питания. Проектируют матрицу для выбранных значимых элементов питания, которые присутствуют на двух уровнях: отсутствие (0), наличие (+) в определённой концентрации.

Матрицу дробной реплики строят таким образом, чтобы линейные эффекты наиболее значимых элементов выделить в чистом виде без «примеси» эффектов взаимодействий. Эффекты же других менее значимых элементов по убывающей предпочтительности смешивают с эффектами взаимодействия, начиная с наиме-

нее значимого взаимодействия самого высокого порядка (чем выше порядок взаимодействия, тем оно менее значимо).

При выполнении диагностики растений в объёме матрицы каждому испытываемому составу смеси определяют величину откликов. Посредством дисперсионного анализа оценивают вклад диагностируемых элементов питания, устанавливая соотношение между ними с учётом явлений синергизма и антагонизма.

Важное преимущество инновационного метода состоит в возможности оптимизации питательных смесей при наличии в почвенном растворе избыточных элементов питания, управлять концентрацией которых невозможно. Достигается это коррекцией в диаграммах рассеяния величины дефицитных элементов, последовательно стабилизируя избыточные элементы на нулевом уровне. После этого выделяют значимые дефицитные элементы, и недостаток их в почве покрывают подкормками [12].

Приведенный алгоритм формализован применением цифровых технологий, для чего создана специальная компьютерная программа (свидетельство 2021617738). Она позволяет в автоматическом режиме оптимизировать питание растений. Программа функционирует на языке Borland Delphi Enterprise Version 7.0. Объём 512 Кб. Аналоги в литературе отсутствуют [13]. Посредством неё по данным функциональной листовой диагностики, полученным с использованием прибора Аквадонис, оптимизируют питание растений и формируют сбалансированные удобрительные смеси [11].

Правила пользования программой следующие:

Открыть папку «Programma».

Открыть файл «Diagnostika».

Нажать кнопку «Корректировка откликов».

Дальнейшие действия зависят от способа отбора пробы листьев для анализа на приборе Аквадонис.

Способ 1. Отбор единственной смешанной пробы по диагонали обследуемого поля.

Способ 2. Отбор нескольких проб с повторностью 2, 3, 4 и т.д. (не менее 2).

Отобранные пробы размещают в полиэтиленовые пакеты. Срок их доставки для анализа должен быть по возможности коротким – не превышать 30-40 минут. Однако при хранении пакетов в холодильнике (термосе с кусочками льда) при температуре +4...+6 °С этот срок может

быть продлён до 2-3 часов.

В результате диагностических действий на приборе Аквадонис со смешанной пробой, отобранной способом 1, последовательно получают 16 значений фотохимической активности хлоропластов. В открывшемся окне программы (рис. 2) в верхней строке вводят количество вариантов опыта (в данном случае цифра 16), повторность (цифра 2) и табличное значение критерия Стьюдента для принятого уровня значимости.

Диагностика потребности растений в элементах питания
(Вариант статистической МСЭ)

Значения общих данных, содержащихся в БД

Количество отливок: 16 Повторность отливок: 2 Критерий Стьюдента: 2.119

Введите значения откликов по повторам №1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
88	23	14	35	26	25	36	43	39	36	25	34	35	36	39	26

При заполнении строки нажимайте кнопку "Ввод". Ошибки при вводе не допускаются!

Ввод

Корректировка откликов Чтение данных из БД Формирование таблицы рассеяния Расчёт компонентов питательной среды Close

Рис. 2 - Окно для ввода диагностических данных

Затем для каждого варианта, пронумерованного в таблице, расположенной ниже, вводят 16 значений фотохимической активности, полученных с помощью прибора Аквадонис. Нажимают кнопку «Ввод». Повторно вводят те же 16 значений с последующим нажатием кнопки «Ввод».

При отборе проб по способу 2 на приборе Аквадонис для каждой повторности получают по 16 значений фотохимической активности. В верхней строке окна программы (рис. 2) устанавливают соответствующее число повторности. Для первого из диагностируемых образцов вводят 16 значений и нажимают кнопку «Ввод». Для 2-го из диагностируемых образцов также вводят 16 значений и нажимают кнопку «Ввод» и т.д.

После ввода значений фотохимической активности нажимают кнопку «Чтение данных из БД». Компьютер считывает введенные значения и условия выполнения расчётов.

Затем нажимают кнопку «Формирование таблицы рассеяния». Компьютер выстраивает введенную информацию в виде таблицы рассеяния, которая позволяет по статистическим

признакам выделить наиболее существенные элементы питания. Последовательно нажимают кнопки «Close» и «Расчёт компонентов питательной среды». В правой нижней части всплывшего окна по величине откликов считывают потребность растений в элементах питания, в % (рис. 3).

Откорректированное рассеяние откликов диагностируемых элементов

Вкр = 0.00

Пропорции вносимых элементов - компонентов питательной среды

Mn	Mo	Cu	Fe	B	S	Mg	P	Zn
10%	8.5	8	7	6	5.5	3.5	2.5	1.5

Close

Рис. 3 - Результаты расчёта компонентов питательной среды

Программа выдаёт относительную потребность в дефицитных элементах питания. Избыточные элементы автоматически нейтрализуются коррекцией величины дефицитных элементов.

Завершают функционирование программы нажатием кнопки «Close».

Необходимое количество удобрений для покрытия установленного дефицита P_y определяют по формуле:

$$P_y = \frac{C_{100} D}{C_y}, \text{ г/га};$$

где D - диагностические данные, %;

C_y - содержание действующего вещества в удобрении, %;

C_{100} - максимальная доза элемента питания при однократной листовой подкормке, г/га (табл. 1).

К примеру, при цифровой оптимизации питания ячменя листовыми подкормками устанавливают компоненты смеси удобрений $Cu=22,5\%$; $K=16\%$; $P=8,5\%$; $Zn=7,5\%$.

Дефицит меди покрывают микроудобрением Хелатэм Cu 15, потребность в котором составляет:

$$P_{Cu} = \frac{130 \cdot 22,5}{15} = 195 \text{ г/га}.$$

Потребность в калии и фосфоре может быть удовлетворена одним видом удобрения

Дозы элементов питания C_{100} при одноразовых листовых подкормках

Питательное вещество	Удобрение	Содержание действующего вещества (C_v), %	Доза (C_{100}), г/га
Азот	Мочевина	N=46,2	900
	Аммиачная селитра	N=34,4	350
Фосфор	Аммофос	P=52, N=12	6000
	Монокалийфосфат	P=52, K=34	
Калий	Калий серноокислый	K=53, S=18	2500
	Калий хлористый	K=60	1500
	Монокалийфосфат	P=52, K=34	6000
	Метаборат калия	K=44, B=10,1	
Сера	Сульфат аммония	N=21, S=24	1500
Магний	Хелат магния	Mg=6	9900
Марганец	Хелат марганца	Mn=13	345
Цинк	Хелат цинка	Zn=15	220
Железо	Хелат железа	Fe=6	300
		Fe=11	
		Fe=13	
Медь	Хелат меди	Cu=15	130
Кальций	Хелат кальция	Ca=10	800
Кобальт	Хелат кобальта	Co=13	30
Бор	Борная кислота	B=17,5	300
Молибден	Молибденовокислый аммоний	Mo=78	40
Йод	Йодистый калий	I=76,4	20

– монокалийфосфатом. Его количество, необходимое для покрытия дефицита калия:

$$P_K = \frac{1500 \cdot 16}{34} = 706 \text{ г/га,}$$

а для покрытия дефицита фосфора:

$$P_P = \frac{6000 \cdot 8,5}{26} = 980 \text{ г/га.}$$

Из двух значений монокалийфосфата для листовых подкормок принимают большее, $P_{KP} = 980$ г/га.

Дефицит цинка покрывают микроудобрением Хелатэм Zn 15:

$$P_{Zn} = \frac{220 \cdot 7,5}{15} = 110 \text{ г/га.}$$

Результаты исследований

Эффективность цифровой оптимизации питания растений проверена в опытах на ячмене и озимой пшенице трёхлетними Государственными испытаниями Центрально-Чернозёмной машиноиспытательной станцией совместно с ФГБНУ «Курский ФАНЦ» и Буйским химическим заводом. Испытания проведены согласно СТО АИСТ 1.3-2007 «Машинные технологии производства продукции растениеводства. Программа и методы испытаний». Экономическую эффективность определяли по ГОСТ Р 53056-2008 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки».

Почва опытов – чернозём выщелоченный

среднесуглинистый с содержанием гумуса 4,7-5,1%. Солевая вытяжка $pH_{KCl} = 4,7-5,0$. Содержание щёлочногидролизуемого азота – 13,9-18,3, подвижного фосфора – 6,0-13,3 и обменного калия – 9,3-16,2 мг на 100 г почвы. В процессе ведения опытов использовали отечественные стандартные водорастворимые макроудобрения, а также производимые Буйским химическим заводом комплексные микроудобрения и хелатные формы микроэлементов (табл. 1).

В опытах, выполненных в шестикратной повторности, представлены два варианта с информацией по эффективности цифровой оптимизации питания растений (табл. 2).

Семена культур в вариантах обрабатывали микроудобрением Аквамикс в дозе 100 г/т при их протравливании. Листовые подкормки проводили дважды – опрыскиванием растений в фазах кущения и выхода в трубку. Приёмы возделывания культур в опытах соответствовали зональным технологиям, в схемах защиты ориентировались на одинаковые сопутствующие фоновые пестициды, макроудобрения и др. Площадь делянок составляла 0,35 га. Оценку проводили по показателям полевой всхожести семян, урожайности и качества зерна (содержания клейковины, натуре и массе 1000 зёрен). Интегральной оценкой являлась годовая экономия совокупных затрат денежных средств (ГОСТ

Таблица 2

Агроэкономическая эффективность оптимизации питания ячменя и озимой пшеницы

Наименование показателей	Ячмень				Озимая пшеница			
	По годам исследований		Среднее		По годам исследований		Среднее	
Вариант 1. Индивидуальные испытания каждого элемента питания (контроль)								
Полевая всхожесть семян, %	92,0	92,8	92,7	92,5	94,2	91,3	91,3	92,3
НСР ₀₅	0,30				0,41			
Урожайность зерна, т/га	3,42	2,81	4,91	3,71	4,54	6,07	3,47	4,69
НСР ₀₅	0,14				0,15			
Содержание клейковины в зерне, %	-	-	-	-	29,0	30,0	28,3	29,1
НСР ₀₅	-				2,9			
Натура зерна, г/л	655	638	636	643	748	772	745	755
НСР ₀₅	3,55				7,7			
Масса 1000 зёрен, г	45,1	47,8	45,8	46,2	43,2	48,5	40,3	44,0
НСР ₀₅	0,57				1,1			
Годовая экономия совокупных затрат денежных средств, руб./га	2303	334	2854	1830	1633	2701	2252	2195
Вариант 2. Цифровая оптимизация питания растений с учётом синергии взаимодействия между питательными веществами								
Полевая всхожесть семян, %	92,0	92,8	92,7	92,5	94,2	91,3	91,3	92,3
НСР ₀₅	0,30				0,41			
Урожайность зерна, т/га	3,34	2,87	5,0	3,74	4,64	6,11	3,51	4,75
НСР ₀₅	0,14				0,15			
Содержание клейковины в зерне, %	-	-	-	-	27,6	31,3	28,0	29,0
НСР ₀₅	-				2,9			
Натура зерна, г/л	656	638	638	644	753	775	746	758
НСР ₀₅	3,55				7,7			
Масса 1000 зёрен, г	45,0	47,8	46,0	46,3	44,4	48,8	40,4	44,5
НСР ₀₅	0,57				1,1			
Годовая экономия совокупных затрат денежных средств, руб./га	2395	2269	3050	2571	2356	2890	2931	2726
3. Экономическая эффективность инновации								
Превышение над контролем годовой экономии совокупных затрат, руб./га	92	1935	196	741	723	189	679	531

Р 53056-2008).

В контрольном варианте 1 номенклатуру и дозировки удобрений устанавливали по реакции хлоропластов живых растений на индивидуальные испытания каждого элемента питания (метод Плешкова и Ягодина) [5]. В варианте 2 проведена цифровая оптимизация питания растений с учётом синергии взаимодействия между элементами [10].

Обсуждение

Экономическую эффективность определяли по превышению над контролем годовой экономии совокупных затрат от использования инновации. При возделывании ячменя годовая экономия совокупных затрат в среднем превысила контроль на 741 руб./га (40%), а при возделывании озимой пшеницы – на 531 руб./га (24%) (табл. 2). Исходя из анализа полученных данных, увеличение урожайности и улучшение качества зерна как ячменя, так и озимой пшеницы незна-

чительно сказалось на экономических показателях. Основным же источником роста годовой экономии совокупных затрат явилось сокращение объёма используемых удобрений с применением инновации, что попутно обусловило благоприятные экологические последствия снижением химической нагрузки на окружающую среду.

Заключение

Эффективная интенсификация производства сельскохозяйственных культур невозможна без сбалансированного полного комплекса элементов минерального питания на протяжении периода вегетации. Для определения потребности растений в элементах питания на базе функциональной листовой диагностики создан алгоритм и специальная компьютерная программа, позволяющая в автоматическом режиме оптимизировать питание растений с учётом синергии взаимодействия между питательными

веществами. В трёхлетних опытах на ячмене и озимой пшенице эффективность цифровой оптимизации проявилась преимущественно в существенном сокращении объёмов используемых удобрений. В результате годовая экономия совокупных затрат при возделывании ячменя и озимой пшеницы возросла, соответственно, на 40 и 24%, что попутно обеспечило благоприятные экологические последствия снижением химической нагрузки на окружающую среду.

Библиографический список

1. Assessing the impact of soil degradation on food production / P. S. Bindraban, M. van der Velde, L. Ye [et al.] // *Curr Opin Environ Sust.* – 2012. - № 4. – P. 478–488.

2. Nanotechnologies for increasing the crop use efficiency of fertilizer-micronutrients / C. M. Monreal, M. Derosa, S. C. Mallubhotla, P. S. Bindraban, C. Dimkpa // *Biology and Fertility of Soils.* - 2016. - Vol. 52, N 3. - P. 423-437.

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

4. Хорошкин, А. Б. Способы повышения эффективности минерального питания сельскохозяйственных культур / А. Б. Хорошкин. - Ростов-на-Дону : ГНУ Донской НИИСХ Россельхозакадемии, 2011. - 67 с.

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

6. Feed the crop not the soil: rethinking phosphorus management in the food chain / P. J. A.

Withers, R. Sylvester-Bradley, D. L. Jones [et al.] // *Environ Sci Technol.* -2014. - № 48. – P. 6523–6530.

7. Iodine bio fortification of wheat, rice and maize through fertilizer strategy / I. Cakmak, A. Yazici, Y. Tutus [et al.] // *Plant and Soil.* - 2017. - Vol. 418, N 1-2. - P. 319-335.

8. Беляев, Н. Н. Продуктивность сортов озимой пшеницы в зависимости от применения микроудобрения Аквадон-Микро / Н. Н. Беляев, Е. А. Дубинкина // *Земледелие.* - 2013. - № 6. - С. 45-47.

9. Агрохимия / Б. А. Ягодин, П. М. Смирнов, А. В. Петербургский [и др.] ; под редакцией Б. А. Ягодина. - 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Агропромиздат, 1989. - 639 с. – ISBN 5-10-000624-2.

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

11. Углубленная адаптация технологий производства зерновых культур в Центрально-Чернозёмном регионе / И. И. Гуреев, Л. Б. Нитченко, И. А. Прущик ; под редакцией И. И. Гуреева. – Курск : ФГБНУ Курский федеральный аграрный научный центр, 2021. – 238 с. – ISBN 978-5-907407-39-8.

12. Статистические методы в инженерных исследованиях : лабораторный практикум. Учебное пособие / В. П. Бородюк, А. П. Вошинин, А. З. Иванов [и др.]. – Москва : Высшая школа, 1983. - 216 с.

13. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021617738 Российская Федерация. Программа для оптимизации питания растений по данным функциональной листовой диагностики : № 2021610382 : заявл. 18.01.2021 : опубл. 19.05.2021 / Гуреев И. И.

DIGITAL IMPROVEMENT OF PLANT NUTRITION USING FUNCTIONAL LEAF DIAGNOSTICS

Gureev I.I.

Federal Agricultural Kursk Research Center,
305021, Kursk, Karl Marx st., 70-b,
Tel. 8-910 310 3908, e-mail: gureev06@mail.ru

Keywords: agricultural plants, nutrients, chloroplasts, photochemical activity, digital improvement, functional diagnostics, nutrient mixtures.

The research is aimed at creating an algorithm and a computer program for digital improvement of plant nutrition based on functional leaf diagnostics. The algorithm focuses on formalization and subsequent improvement of interconnected factor space on the effect of nutrients on photochemical activity of plant chloroplasts, which changes in proportion to their need for nutrients. Based on the algorithm, a computer program was developed and registered, for its functioning the chloroplasts are tested for photochemical activity when mixtures of nutrients are added to their suspension. The nomenclature and composition of the mixtures are selected from the condition of assessing not only the linear effects of the batteries, but also the synergy of interaction between them. A positive feature of the program is automated neutralization of the antagonistic effect on the absorption of nutrients by excess elements in the soil, which is achieved by adaptive dosages of deficient nutrients when performing root and foliar feeding. The effectiveness of digital improvement of plant nutrition was tested in three-year experiments on barley and winter wheat. The soil of the experiments was leached medium loamy soil with a humus content of 4.7-5.1%, salt extract $pH_{KCl}=4.7-5.0$. The content of alkaline hydrolysable nitrogen is 13.9-18.3, mobile phosphorus is 6.0-13.3 and exchangeable potassium - 9.3-16.2 mg per 100 g of soil. With application of digital improvement of diagnostics, a significant reduction of fertilizer volumes was found, as a result of which the annual savings in total costs for cultivation of barley and winter wheat increased by 40 and 24%, respectively. Reduction of fertilizer consumption also provided favorable environmental impacts by reducing the chemical load on the environment.

Bibliography:

1. Assessing the impact of soil degradation on food production / P. S. Bindraban, M. van der Velde, L. Ye [et al.] // *Curr Opin Environ Sust.* - 2012. - №4. - P. 478–488.
2. Nanotechnologies for increasing the crop use efficiency of fertilizer-micronutrients / C. M. Monreal, M. Derosa, S. C. Mallubhotla, P. S. Bindraban, C. Dimkpa // *Biology and Fertility of Soils.* - 2016. - Vol. 52, №3. - P. 423-437.
3. Improving yield and nitrogen use efficiency through alternative fertilization options for rice in China: a meta-analysis / W. Ding, X. Xu, P. He, S. Ullah, J. Zhang, W. Zhou, Z. Cui // *Field Crops Research.* - 2018. - Vol. 227.-P. 11-18.
4. Khoroshkin, A.B. Ways to improve the efficiency of mineral nutrition of agricultural crops / A.B. Khoroshkin. - Rostov-on-Don: State Scientific Institution of the Don Research Institute of Agriculture of the Russian Agricultural Academy, 2011. - 67 p.
5. Pleshkov, A. S. The method of providing plants with mineral elements / A. S. Pleshkov, B. A. Jagodin // Certificate of authorship USSR, no 952168. - 1982.
6. Feed the crop not the soil: rethinking phosphorus management in the food chain / P. J. A. Withers, R. Sylvester-Bradley, D. L. Jones [et al.] // *Environ Sci Technol.* -2014. - №48. - P. 6523-6530.
7. Iodine bio fortification of wheat, rice and maize through fertilizer strategy / I. Cakmak, A. Yazici, Y. Tutus [et al.] // *Plant and Soil.* - 2017. - Vol. 418, №1-2. - P. 319-335.
8. Belyaev, N. N. Productivity of winter wheat varieties depending on application of Akvadon-Micro microfertilizer / N. N. Belyaev, E. A. Dubinkina // *Agriculture.* - 2013. - №6. - P. 45-47.
9. Agrochemistry: textbook / B. A. Yagodin, P. M. Smirnov, A. V. Petersburgskiy [and others]; edited by B. A. Yagodin. - 2nd ed., revised. and upgraded - Moscow: Agropromizdat, 1989. - 639 p. – ISBN 5-10-000624-2.
10. Patent RF, no 2541310, 2015. A method for diagnosing the needs of plants in mineral nutrients / Gureev I. I.
11. In-depth adaptation of technologies for production of grain crops in the Central Black Soil region / I. I. Gureev, L. B. Nitchenko, I. A. Prushchik; edited by I. I. Gureev. - Kursk : Kursk Federal Agrarian Research Center, 2021. - 238 p. – ISBN 978-5-907407-39-8.
12. Statistical methods in engineering research: laboratory practice. Textbook / V. P. Borodyuk, A. P. Voshchinin, A. Z. Ivanov [and others]. - Moscow: Higher School, 1983. - 216 p.
13. Certificate of registration of the computer program №2021617738 Russian Federation. Program for improvement of plant nutrition by functional leaf diagnostics: №2021610382: Appl. 18.01.2021: publ. 19.05.2021 / Gureev I.I.