УДК 631.828 DOI: 10.25695/AGRPH.2025.02.02

АГРОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЙОДНОЙ НЕКОРНЕВОЙ ПОДКОРМКИ В ОВОЩНОМ СЕВООБОРОТЕ

Ж. А. Иванова

ORCID
Иванова Ж. А. 0000-0002-3138-8285

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,
195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14,
e-mail: janatan2014@yandex.ru

Поступила в редакцию 21.11.2024, принята в печать 04.12.2024

Согласно авторской позиции, земледелием на Северо-Западе России занимаются в условиях хронического недостатка в почвах йода. Преодоление этой проблемы требует обоснования применения йодных микроудобрений. С целью оценки агрономической эффективности некорневой подкормки раствором KI выполнено полевое экспериментальное исследование в овощном севообороте «горох овощной – капуста цветная – свекла столовая – морковь столовая». Почва опыта характеризуется как дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая и хорошо окультуренная: pH_{KCl} – 6,41, содержание $C_{орг}$ – 2,41%, подвижных фосфатов и калия – 377 и 215 мг кг$^{-1}$ соответственно, валового йода – 0,79 мг кг$^{-1}$. Схема опыта включала в себя контроль без подкормки и три варианта с одно-, двух- и трехкратной внекорневой подкормкой 0,02%-м раствором KI при его расходе в 30 мл м$^{-2}$. Первое опрыскивание проведено в фазе 5–6 настоящих листьев, последующие – через 14 дней. Установлено, что отзывчивость культур на применение йода зависела от их биологических особенностей, а также погодно-климатических и фитосанитарных условий. Убывающий ряд отзывчивости культур на йод по уровню прибавки биологической продуктивности принял следующий вид: капуста цветная > морковь столовая ≈ горох овощной > свекла столовая; по товарной продуктивности: свекла столовая > капуста цветная > морковь столовая > горох овощной. Оптимальная кратность подкормок 0,02%-м раствором KI на капусте цветной и свекле столовой составила два опрыскивания, на горохе овощном и моркови столовой – три. Среднегодовая продуктивность гороха посевного, капусты цветной, свеклы столовой и моркови столовой достигла 0,541, 4,661, 4,703 и 8,369 кг м$^{-2}$ при относительной ее прибавке в 30, 29, 15 и 29% соответственно. За счет повышения устойчивости к болезням йодная подкормка повысила товарность основной овощной продукции у капусты цветной с 84 до 93%, у свеклы столовой – с 72 до 90%, у моркови столовой – с 88 до 94%.

Ключевые слова: овощные культуры, йод, некорневая подкормка, урожайность, агрономическая эффективность.

AGRONOMIC EFFICIENCY OF IODINE FOLIAR TREATMENT IN VEGETABLE CROP ROTATION

Zh. A. Ivanova

Agrophysical Research Institute
14, Grazhdansky av., Saint-Petersburg, 195220, Russia,
e-mail: janatan2014@yandex.ru

Abstract. Crop production in the North-West of Russia is carried out in the conditions of constant shortage of iodine in soils. To overcome this problem justification of iodine fertilizers use is requires. In order to assess the agronomic effectiveness of foliar treatment with KI solution, a field experiment was performed in the vegetable crop rotation «pea – cauliflower – beetroot – carrot». The soil of the experiment was sod slightly podzolic with sandy loam texture: pH_{KCl} – 6.41, C org – 2.41%, mobile phosphorus and potassium – 377 and 215 mg kg^{-1}, respectively, total iodine – 0.79 mg kg^{-1}. The scheme of the experiment included control – without top dressing and three treatments with one-, two- and three-fold foliar top dressing with 30 ml m^{-2} of 0.02% KI solution. The first spraying was carried out in the phase of 5–6 real leaves, the second and the third – 14 days after the previous. It was found that the response of crops to the iodine fertilizer use depended on their biological characteristics, as well as weather, climatic parameters and phytosanitary conditions of the fields. The crops range based on their response to the iodine fertilizer in terms of the increase in biological productivity was: cauliflower > carrot ≈ pea > beetroot, and in terms of marketable qualities: beetroot > cauliflower > carrot > pea. The optimum number of foliar treatments with 0.02% KI solution for cauliflower and beetroot was two, for pea and carrot was three. The average annual productivity of pea, cauliflower, beetroot and carrot reached 0.541, 4.661, 4.703 and 8.369 kg m^{-2} with a relative increase of 30, 29, 15 and 29%, respectively. By increasing disease resistance, the iodine fertilizer foliar treatment has increased the marketable quality of cauliflower from 84 to 93%, beetroot from 72 to 90%, carrots from 88 to 94%.

Keywords: vegetable crops, iodine, foliar treatment, yield, agronomic efficiency.

ВВЕДЕНИЕ

Качественная овощная продукция земледелия – один из самых ценных в биохимическом аспекте компонентов здорового диетического питания человека (Солдатенко и др., 2019; Солдатенко, Борисов, 2022). Биологический потенциал повышения его физиологической ценности таков, что позволяет достигать функционального качества отдельных овощных продуктов, помогающего организму человека успешно предотвращать и преодолевать широкий набор патологических состояний (Гинс и др., 2017; Пивоваров, Пышная, Гуркина, 2017). По этой причине в соответствии с принятыми программными документами производство и потребление овощной продукции в нашей стране будет существенно увеличиваться (Доктрина…, 2020), что дополнительно актуализирует ряд задач по совершенствованию систем удобрения овощных культур (Пивоваров, Надежкин, 2016; Солдатенко, Борисов, 2022). Применительно к Северо-Западному региону России, представляющему собой обширную аномалию низкой обеспеченности почв и природных вод йодом, наиболее остро стоит вопрос биообогащения овощных культур именно этим элементом, о физиологической роли которого для растений до сих пор дискутируют ученые. Для сельскохозяйственных животных и человека его роль бесспорна (Карабаева, 2018; Трошина, Платонова, Панфилова, 2021).

Несмотря на вполне очевидную, по сути, хроническую остроту широко известной проблемы (Кашин, 1987) и наличие зарубежного опыта успешного биообогащения товарной овощной продукции йодом (Smolen et al., 2011; Lawson et al., 2016; Duborská, Urík, Šeda, 2020), в России комплексных исследований, посвященных этой проблеме, не проводили. Фактически к настоящему времени по-прежнему не выявлены параметры йодного статуса почв и сельскохозяйственной продукции региона; оптимальные методы и средства его оптимизации; технологические регламенты эффективного применения доступных ресурсов йодных микроудобрений, не решены другие сопутствующие вопросы. Осуществленные ранее системные исследования в пределах Калининградской области в полной мере подтвердили обоснованность опасений ученых относительно низкой обеспеченности полевых культур и сырья для производства кормов указанным микроэлементом (Панасин, Вихман, Чечулин, Рымаренко, 2019; Панасин, Рымаренко, Вихман, Чечулин, 2019). При этом они подтвердили наличие установленного и ранее (Кашин, 1987) значительного потенциала наращивания продуктивности полевых культур под действием их некорневой подкормки раствором йодистого калия.

Выполненные в Ленинградской области полевые эксперименты, связанные с некорневой подкормкой кормовых трав и картофеля (Иванов, Филиппова, Филиппов, 2019; 2021; Иванов и др., 2022), показали, что уровень оптимальной концентрации рабочего раствора йодистого калия и востребованная растениями кратность таких обработок зависят от сочетания биологических особенностей культур с комплексом сопутствующих почвенно-агрохимических и агроэкологических условий. Уровень оптимальной дозы йода заметно увеличивался по мере повышения степени окультуренности почвы и роста засушливости погодно-климатических условий. Уровень гарантированно достоверного и безопасного агрономического эффекта соответствовал концентрациям рабочего раствора йодистого калия в пределах 0,02–0,04% (Иванов, Филиппова, Филиппов, 2019; Иванов и др., 2022). Другой важной особенностью действия йодного микроудобрения стала тонкая грань между высокой агрономической эффективностью и проявлением фитотоксичности микроэлемента.

Относительно требовательных к почвенному плодородию овощных культур, возделываемых на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах и нуждающихся в регулярных подкормках, обработках физиологически активными соединениями (Борисов и др., 2022; Солдатенко, Борисов, 2022), можно утверждать, что наиболее актуальным представляется научный поиск оптимальной кратности некорневых подкормок раствором йодистого калия. В связи с этим нами развернуто комплексное полевое экспериментальное исследование. Его целью стало определение отзывчивости доминирующих в структуре посевных площадей региона овощных культур, таких как свекла столовая, морковь столовая, капуста, на некорневую подкормку раствором йодистого калия.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Методической основой исследования, начатого нами в 2020 г. в инициативном порядке, послужил микрополевой опыт в овощном севообороте «горох овощной – капуста цветная – свекла столовая – морковь столовая». С 2024 г. оно стало важной составной частью научного поиска в рамках гранта региональных исследований («Биообогащение сельскохозяйственной продукции йодом в условиях Санкт-Петербургской агломерации», № 24-16-20021), поддержанных Российским научным фондом и Санкт-Петербургским государственным автономным учреждением «Фонд поддержки научной, научно-технической, инновационной деятельности».

Поскольку в процессе опыта возделывали требовательные к плодородию почвы культуры (в особенности цветную капусту и свеклу столовую), для его закладки выбрана хорошо окультуренная дерново-слабоподзолистая почва легкосуглинистого гранулометрического состава, обладающая соответствующим набором агрофизических и агрохимических характеристик: структура – комковато-зернистая, НВ – 31%, $m_{об}$ – 1,18 г см$^{-3}$, pH_{KCl} – 6,41, Нг – 2,37 смоль(экв) кг$^{-1}$ и $S_{обм}$ – 12,88 смоль(экв) кг$^{-1}$, V – 84%, содержание $C_{орг}$ – 2,41%, подвижных фосфатов и калия – 377 и 215 мг кг$^{-1}$ соответственно, валового йода – 0,79 мг кг$^{-1}$. Система обработки этой почвы под культуры овощного севооборота была комбинированной. Основная обработка включала в себя отвальную вспашку на глубину пахотного слоя

23 см. Под пропашные культуры проведена весенняя перепашка зяби. Под нее внесено фоновое удобрение, а на горохе овощном – под предпосевную обработку почвы. Системы удобрения, как и рекомендуют ведущие специалисты (Пивоваров, Надежкин, 2016; Борисов, Вирченко, Янченко, Успенская, 2022), были органо-минерального типа – на капусте цветной (органофоска, 4 т га$^{-1}$ + N75P30K180), а также минерального – на горохе посевном (N75P30K90), свекле столовой (N90P30K210) и моркови столовой (N120P30K180). Органофоска, изготовленная на основе сушки твердого птичьего помета, содержала в составе N – 2,32, P_2O_5 – 4,65, K_2O – 3,28, CaO – 6,93 и MgO – 2,57%. С нею в почву из расчета на 1 га поступало 93 кг азота, 186 кг фосфора, 131 кг калия, 277 кг кальция и 103 кг магния. Кроме того, она служила хорошим источником таких микроэлементов, как марганец, железо, цинк, медь, молибден и бор. Минеральные удобрения вносили под предпосевную или предпосадочную обработку почвы в форме азофоски, аммиачной селитры и калимагнезии.

В качестве главных объектов исследования возделывали горох овощной сорта Рокет, капусту цветную (Скайвокер F_1), свеклу столовую (Двусемянная ТСХА) и морковь столовую (Нарбонне F_1). В опыте при необходимости проводили мероприятия по защите растений от вредителей (капустной блошки, капустной моли, морковной мухи, гороховой зерновки и др.).

Для исследований в этом опыте выбрана концентрация рабочего раствора йодистого калия в 0,02%, так как, по данным предшествовавших исследований (Иванов, Филиппова, Филиппов, 2019; Иванов и др., 2022), она могла сочетать достоверную положительную результативность с отсутствием токсических эффектов. Схема опыта включала в себя пять вариантов: KI-0 – необрабатываемый контроль; KI-1 – подкормка раствором KI в фазе 5–6 настоящих листьев; KI-2 – двухкратная подкормка с периодичностью в две недели после первой обработки; KI-3 – трехкратная подкормка с периодичностью в две недели после второй обработки. Фактически первое опрыскивание проведено 24–27 июня 2020 г., 25–29 июня 2021 г., 7–10 июля 2022 г., с 25 июня по 1 июля 2023 г. и 6–12 июля 2024 г. Норма расхода рабочей жидкости (30 мл м$^{-2}$) обеспечена использованием ранцевого опрыскивателя Stihl SG51 (Andreas Stihl AG & Co., Германия).

Площадь делянки в данном микрополевом опыте составляла 3 м^2, учетная – 1 м^2 на горохе овощном, 3 м^2 – на пропашных культурах, при шестикратной повторности. Достоверность различий средних по вариантам полевого эксперимента значений отдельных свойств оценивали на 5%-м уровне значимости по критерию Фишера. Полученные результаты обработаны методом дисперсионного анализа с использованием программного пакета Statistica 7.0.

Важное значение в продукционном процессе изучаемых в опыте овощных культур имеет специфика складывающихся условий: погодно-климатических и зависимых от них фитосанитарных. Относительно благоприятными при проведении исследований погодно-климатические условия были в 2022 и 2024 гг., избыточно влажными – в 2020 г., остро засушливыми – в 2021 и 2023 гг. В эти годы в нормированных поливах нуждались все культуры севооборота, а в более благоприятные – капуста цветная и свекла столовая. Годовые поливные нормы при этом варьировали от 30 до 155 л м$^{-2}$. Ввиду засухи возникали условия для эпифитотийного развития возбудителей килы на цветной капусте и парши обыкновенной – на свекле столовой. Поступление тепла в течение вегетационного периода 2024 г. было ниже, чем в предшествующие годы. Продолжительная волна холода сопровождала в целом начальную фазу вегетационного периода, задерживая прорастание, рост и развитие растений. В совокупности это оказывало существенное влияние как на общую продуктивность культур, так и на товарность основной овощной продукции.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдения за ростом и развитием изучаемых овощных культур показали, что некорневая подкормка 0,02% раствором KI способствовала, с одной стороны, усилению биопродукционного процесса. Это выражено в незначительном увеличении высоты растений и площади листовой поверхности. С другой стороны, процесс созревания культур был замедленным (в среднем пять-восемь дней), что давало им физическую возможность увеличивать общую биологическую продуктивность. Еще один положительный эффект связан с купированием негативных проявлений поражения цветной капусты возбудителем килы (*Plasmodiophora brassicae Wor.*), столовой свеклы – возбудителем парши обыкновенной (*Actinomyces scabies*).

Тем не менее вследствие прецизионного регулирования водного режима почвы в критические по ее увлажнению периоды урожайность овощной продукции в неудобряемых вариантах достигла высоких значений (в пересчете на 1 га 4,16 т зерна гороха, 36,11 т – головок цветной капусты, 40,77 т – корнеплодов свеклы столовой, 64,64 т – корнеплодов моркови столовой), в полной мере отвечающих уровню ее плодородия и питательного режима в сочетании с высоким агротехническим фоном, что отражено в таблице. Таким образом, среднегодовая продуктивность овощного севооборота в контроле с учетом побочной продукции достигла 7,45 тыс. зерн. ед. га$^{-1}$.

Таблица. Влияние йодной подкормки на продуктивность культур овощного севооборота (в среднем за 2020–2024 гг.)

Вариант	Параметры продуктивности по культурам											
	горох овощной (зерно)			капуста цветная (головки)			свекла столовая (корнеплоды)			морковь столовая (корнеплоды)		
	урож-ть, кг м$^{-2}$	прибавка		урож-ть, кг м$^{-2}$	прибавка		урож-ть, кг м$^{-2}$	прибавка		урож-ть, кг м$^{-2}$	прибавка	
		кг м$^{-2}$	%		кг м$^{-2}$	%		кг м$^{-2}$	%		кг м$^{-2}$	%
Контроль-0	0,416	–	–	3,611	–	–	4,077	–	–	6,464	–	–
KI-1	0,454	0,038	9	4,317	0,707	20	4,339	0,262	6	7,118	0,654	10
KI-2	0,514	0,098	24	4,661	1,051	29	4,703	0,626	15	7,983	1,519	23
KI-3	0,541	0,125	30	4,802	1,192	33	4,863	0,786	19	8,369	1,905	29
$НСР_{05}$	0,018			0,193			0,222			0,280		

Агрономическая эффективность некорневой йодной подкормки определена совокупностью факторов. Среди них наибольшее значение имели биологические особенности возделываемых в опыте культур, сортов и гибридов, а также специфика погодно-климатических и зависящих от них фитосанитарных условий.

Зерновая продуктивность гороха овощного в контрольном варианте варьировала по годам: от 0,480 в 2023 г. до 1,287 кг м$^{-2}$ в 2020 г. Однократное опрыскивание обеспечило достоверную прибавку продуктивности только в 2024 г. Вероятная причина отсутствия положительного эффекта – слишком ранний с биологических позиций срок проведения первой подкормки. В 2024 г. ввиду продолжительной волны холода в мае-июне он смещен на середину июля, что и позволило увеличить продуктивность культуры на 66%. Стабильный положительный эффект обеспечивало двукратное опрыскивание вегетирующих растений 0,02%-м раствором KI. Более того, в четырех годах из пяти лет исследований достоверную прибавку урожайности зерна гороха овощного принесла и третья некорневая подкормка.

Отзывчивость цветной капусты на применение йодного микроудобрения носила более сложный характер. В значительной мере она определена устойчивостью возделываемого гибрида к поражению возбудителем килы капусты. Как показано в детализирующем исследовании, чем она ниже, тем выше отдача от опрыскиваний посадок раствором йодного микроудобрения, достигающая уровня в 270–453% (Иванов, Иванова, 2024). Несмотря на наличие генетической устойчивости к поражению килой у гибрида Скайвокер F_1, поступление йода индуцировало иммунитет растений (Wang et al., 2014), что привело к снижению распространенности заболевания на 3–5%, а его развития – в 2,0–3,7 раза. В результате агрономическая эффективность йодной некорневой подкормки даже на устойчивом к киле гибриде Скайвокер F_1 носила стабильный достоверно положительный характер уже при ее однократном применении.

В условиях высокого агротехнического уровня возделывания, при которых урожайность головок цветной капусты в контроле варьировала от 2,58 в 2023 г. до 4,12 кг м$^{-2}$ в 2024 г., оптимальным вариантом оказалась двукратная йодная подкормка. При этом с учетом более благоприятной погоды на стадии формирования головок в 2020 и 2024 г. достоверный положительный эффект обнаружен и от третьей некорневой подкормки.

Свекла столовая, как и остальные культуры севооборота, сформировала высокий уровень продуктивности в контрольном варианте с размахом по годам: от 3,437 в 2022 г. до 4,613 кг м$^{-2}$ в 2023 г. Среди изученных в опыте культур она отличилась наименьшей отзывчивостью на применение йода, несмотря на то, что йодная подкормка резко (в 2,5–3,9 раза) снижала распространенность парши обыкновенной на корнеплодах свеклы столовой (с 24,5 до 5,3–11,4%). Вероятной причиной этого стала относительно низкая вредоносность заболевания по отношению к биопродукционному процессу у столовой свеклы. В результате достоверная прибавка урожайности корнеплодов (0,493 кг м$^{-2}$) от однократного опрыскивания наблюдается только в 2024 г., а от трехкратного – в 2022 г. Как и на капусте, стабильную агрономическую эффективность гарантировала двукратная некорневая подкормка.

Возделываемую в опыте столовую морковь отличала максимальная биологическая продуктивность, что видится вполне характерным для нее (Солдатенко, Борисов, 2022). Несмотря на более низкую относительно других культур требовательность к плодородию почвы, вариабельность урожайности ее корнеплодов в контрольном варианте по годам также была существенной (от 4,633 в 2023 г. до 8,800 кг м$^{-2}$ в 2020 г.). Это в большей мере зависело от специфики погодно-климатических условий. Из числа изученных овощных культур она оказалась единственной, обеспечившей устойчивую достоверную прибавку продуктивности в течение каждого года исследований не только от двух-, но и от однократного

опрыскивания. В среднем по годам оптимальным оказалось трехразовое проведение некорневой подкормки, несмотря на то, что достоверная прибавка от нее получена только в 2021 и 2024 гг.

С учетом достигнутого уровня прибавок урожайности основной продукции изученные в опыте овощные культуры сформировали убывающий ряд биологической отзывчивости на применение йодной некорневой подкормки: капуста цветная > морковь столовая ≈ горох овощной > свекла столовая. Установленный в течение пяти лет исследования оптимальный уровень кратности некорневых опрыскиваний посевов 0,02%-м раствором KI составил для капусты цветной и свеклы столовой две обработки, для гороха овощного и моркови столовой – три обработки. Факторами повышения отдачи от кратности йодной подкормки у отдельных культур могут быть засушливые погодные условия (горох овощной) или восприимчивость к возбудителям заболеваний (капуста цветная).

Заметную специфику имело и воздействие йодной подкормки на товарность основной овощной продукции. И по этому показателю положительный эффект оказался более выраженным на свекле столовой и капусте белокочанной, а на моркови столовой – менее заметным, как видно на рисунке 1. С учетом достигнутых параметров увеличения товарности корнеплодов свеклы столовой на 34, 39 и 42% (абс.) в вариантах с одно-, двух- и трехкратным опрыскиванием соответственно можно утверждать, что фактическая агрономическая эффективность йодной некорневой подкормки оказывается одной из самых высоких среди изученных культур. Так, ее товарная продуктивность в среднем за пять лет составила по четырем вариантам опыта 2,935, 3,732, 4,280 и 4,571 кг м$^{-2}$ соответственно, что увеличило отдачу от KI-1 до 27%, от KI-2 – до 46%, от KI-3 – до 56%. Аналогичные показатели у цветной капусты составили 22, 40 и 49% соответственно. Исходя из этого, убывающий ряд хозяйственно значимой отзывчивости культур на применение йода принял вид: свекла столовая > капуста цветная > морковь столовая > горох овощной.

Оценка агрономической эффективности йодной некорневой подкормки в целом за ротацию овощного севооборота с учетом основной и побочной продукции, выполненная в зерновых единицах, лишь подтвердила общую закономерность положительной роли 0,02%-го раствора KI в результирующей биопродукционного процесса отдельных культур, как показано на рисунке 2. Агрономически эффективными оказались все три варианта йодной некорневой подкормки. Абсолютный уровень прибавки среднегодовой продуктивности севооборота к контролю составил в варианте KI-1 – 0,136 кг м$^{-2}$, KI-2 – 0,255, KI-3 – 0,302 кг м$^{-2}$. Фактическая отдача от первой, второй и третьей подкормки достигла 0,136, 0,119 и 0,047 кг м$^{-2}$ соответственно, то есть она закономерно сокращалась. Достигнутый в указанных вариантах относительный уровень прибавки продуктивности севооборота в 18, 34 и 40% свидетельствует о высокой агрономической эффективности некорневой йодной подкормки культур овощного севооборота на благоприятном почвенно-агрохимическом и агротехнологическом фоне.

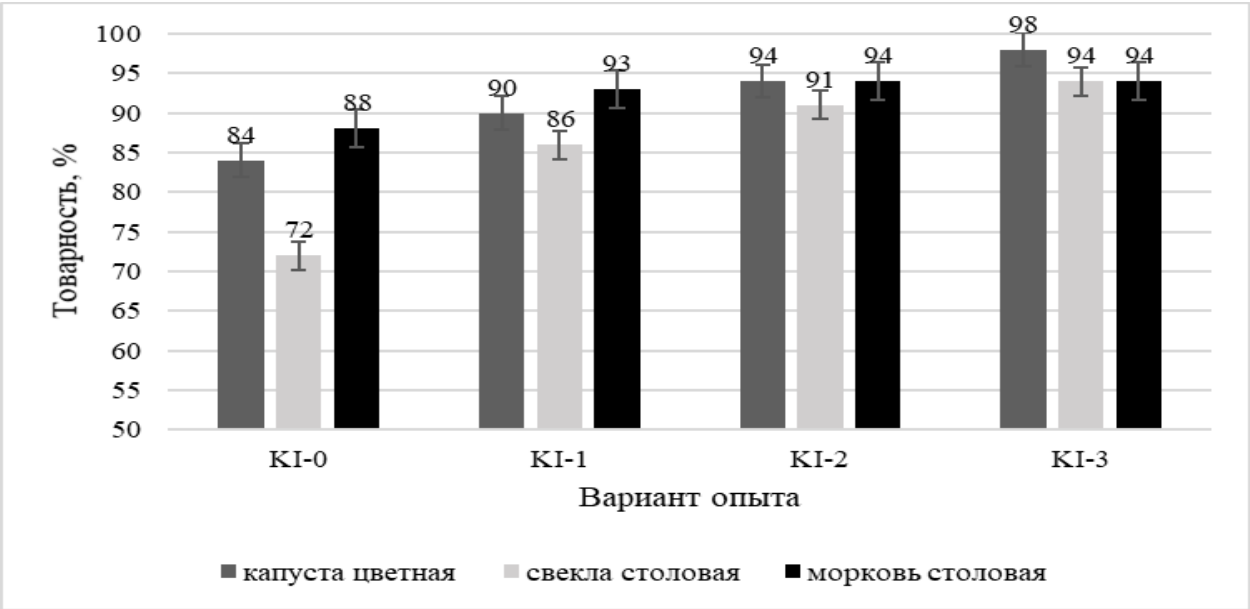

Рис. 1. Влияние йодной некорневой подкормки на товарность овощной продукции

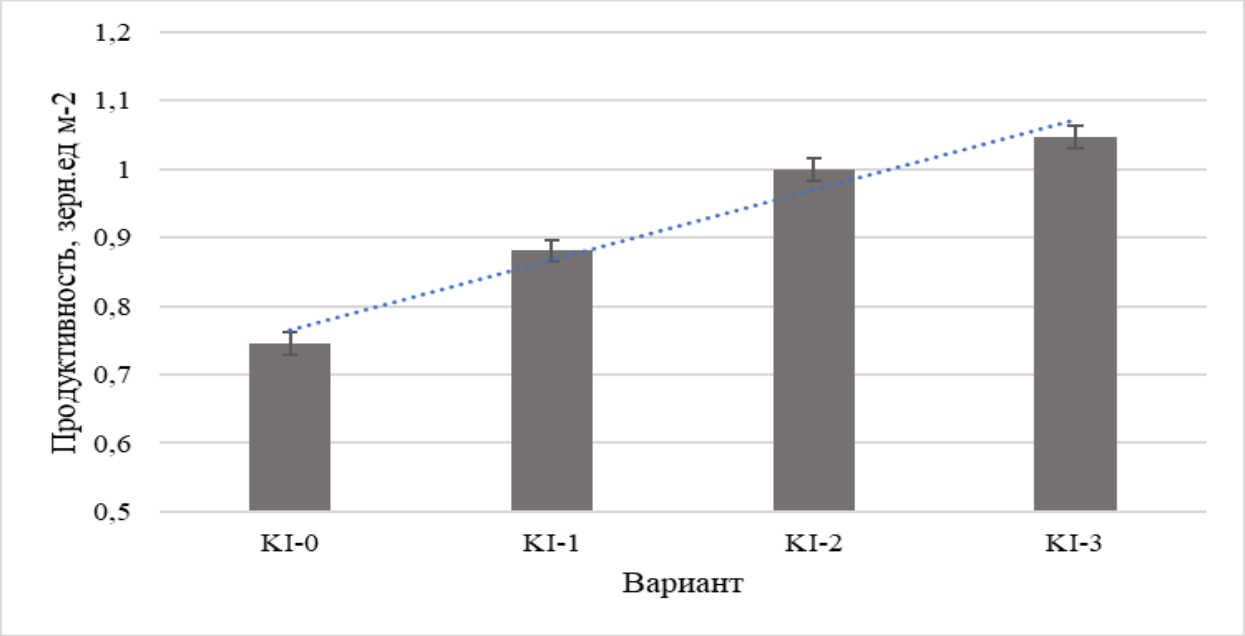

Рис. 2. Влияние йодной некорневой подкормки на среднегодовую продуктивность овощного севооборота (с учетом основной и побочной продукции)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направленная оптимизация питательного и водного режима хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы позволила сформировать высокий среднегодовой уровень продуктивности овощного севооборота в 0,745 зерн. ед. м$^{-2}$. Отзывчивость овощных культур на применение некорневой подкормки определена их биологическими особенностями, спецификой погоды и сильно зависимых от нее фитосанитарных условий.

Убывающий ряд отзывчивости культур на йод по уровню прибавки биологической продуктивности принял следующий вид: капуста цветная > морковь столовая ≈ горох овощной > свекла столовая; по товарной продуктивности: свекла столовая > капуста цветная > морковь столовая > горох овощной.

Оптимальная кратность некорневой подкормки варьировала по годам исследования у разных культур. Более стабильной отзывчивостью отличалась морковь столовая. Оптимальная кратность подкормок 0,02%-м раствором KI на капусте цветной и свекле столовой составила два опрыскивания, на горохе овощном и моркови столовой – три опрыскивания. Среднегодовая продуктивность гороха посевного, капусты цветной, свеклы столовой и моркови столовой достигла 0,541, 4,661, 4,703 и 8,369 кг м$^{-2}$ при относительной ее прибавке в 30, 29, 15 и 29% соответственно.

Фактором достоверного повышения отдачи от йода на капусте цветной и свекле столовой стало усиление их полевой устойчивости в отношении поражения возбудителями килы и парши обыкновенной. Агрономическая эффективность йодной подкормки возросла и за счет увеличения товарности основной овощной продукции: у капусты цветной с 84 до 90–98%, у свеклы столовой – с 72 до 86–94%, у моркови столовой – с 88 до 93–94%.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда и Санкт-Петербургского государственного автономного учреждения «Фонд поддержки научной, научно-технической, инновационной деятельности» в рамках гранта «Биообогащение сельскохозяйственной продукции йодом в условиях Санкт-Петербургской агломерации», № 24-16-20021.

Список литературы

Борисов В.А., Бебрис А.Р., Коломиец А.А., Успенская О.Н., Янченко Е.В. Комплексное действие удобрений и регуляторов роста на урожайность и качество овощных культур // Картофель и овощи. 2022. № 8. С. 12–15.

Борисов В.А., Вирченко И.И., Янченко Е.В., Успенская О.Н. Отзывчивость сортообразцов цветной капусты на применение биокомпоста и минеральных удобрений // Картофель и овощи. 2022. № 1. С. 19–22.

Гинс М.С., Гинс В.К., Пивоваров В.Ф., Кононков П.Ф., Дерканосова Н.М. Значение овощных культур в коррекции биохимического состава рациона человека // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 2. С. 3–5.

Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 23 с.

Иванов А.И., Иванова Ж.А. Отзывчивость цветной капусты на йод и потери урожая от килы в условиях Северо-Запада России // Агрохимический вестник. 2024. № 5. С. 21–26.

Иванов А.И., Рак М.В., Иванова Ж.А., Филиппова П.С., Филиппов П.А. Биологические особенности отклика кормовых трав на применение йода на агродерново-подзолистых почвах различной окультуренности // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57. № 3. С. 486–499.

Иванов А.И., Филиппова П.С., Филиппов П.А. Некоторые возможности управления продуктивностью и качеством картофеля с использованием йода // Проблемы агрохимии и экологии. 2019. № 4. С. 43–49.

Иванов А.И., Филиппова П.С., Филиппов П.А. Эффективность систем удобрения с применением йода на однолетних травах // Агрохимия. 2021. № 5. С. 37–46.

Карабаева М.Э. Проблема йододефицита у животных // Эффективное животноводство. 2018. № 2. С. 28–29.

Кашин В.К. Биогеохимия, фитофизиология и агрохимия йода. Л.: Наука, 1987. 261 с.

Панасин В.И., Вихман М.И., Чечулин Д.С., Рымаренко Д.А. Агрохимические особенности распределения йода в почвах агроландшафтов Калининградской области // Плодородие. 2019. № 1(106). С. 31–35.

Панасин В.И., Рымаренко Д.А., Вихман М.И., Чечулин Д.С. Действие йодных микроудобрений на урожай и качество озимого рапса // Агрохимический вестник. 2019. № 2. С. 39–41.

Пивоваров В.Ф., Надежкин С.М. Основные пути совершенствования систем удобрения в овощеводстве // Плодородие. 2016. № 5(92). С. 16–18.

Пивоваров В.Ф., Пышная О.Н., Гуркина Л.К. Овощи – продукты и сырьё для функционального питания // Вопросы питания. 2017. № 86(3). С. 121–127.

Солдатенко А.В., Борисов В.А. Экологическое овощеводство. М.: ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», 2022. 504 с.

Солдатенко А.В., Разин А.Ф., Пивоваров В.Ф., Шатилов М.В., Иванова М.И., Россинская О.В., Разин О.А. Овощи в системе обеспечения продовольственной безопасности России // Овощи России. 2019. № 2(46). С. 9–15.

Трошина Е.А., Платонова Н.М., Панфилова Е.А. Аналитический обзор результатов мониторинга основных эпидемиологических характеристик йододефицитных заболеваний у населения Российской Федерации за период 2009–2018 гг. // Проблемы эндокринологии. 2021. № 67(2). С. 10–19.

Duborská E., Urík M., Šeda M. Iodine Biofortification of Vegetables Could Improve Iodine Supplementation Status // Agronomy. 2020. 10(10). 1574.

Lawson P.G., Daum D., Czauderna R., Vorsatz C. Factors influencing the efficacy of iodine foliar sprays used for biofortifying butterhead lettuce (Lactuca sativa) // J. Plant Nutr. Soil Sci. 2016. 179. P. 661–669.

Smolen S, Sady W, Rozek S, Ledwozyw-Smolen I, Strzetelski P. Preliminary evaluation of the influence of iodine and nitrogen fertilization on the effectiveness of iodine biofortification and mineral composition of carrot storage roots // J. Elem. 2011. 16(4). P. 613-622.

Wang L., Zhou X., Fredimoses M., Liao S., Liu Y. Naturally occurring organoiodines // RSC Adv. 2014. 4. P. 57350–57376.

References

Borisov V.A., Bebris A.R., Kolomiec A.A., Uspenskaya O.N., YAnchenko E.V. Kompleksnoe dejstvie udobrenij i regulyatorov rosta na urozhajnost' i kachestvo ovoshchnyh kul'tur [The complex effect of fertilizers and growth regulators on the yield and quality of vegetable crops] // *Kartofel' i ovoshchi*, 2022, no. 8, pp. 12–15.

Borisov V.A., Virchenko I.I., YAnchenko E.V., Uspenskaya O.N. Otzyvchivost' sortoobrazcov cvetnoj kapusty na primenenie biokomposta i mineral'nyh udobrenij [Responsiveness of cauliflower cultivars to the use of biocompost and mineral fertilizers] // *Kartofel' i ovoshchi*. 2022. no.1. S. 19–22.

Gins M.S., Gins V.K., Pivovarov V.F., Kononkov P.F., Derkanosova N.M. Znachenie ovoshchnyh kul'tur v korrekcii biohimicheskogo sostava raciona cheloveka [The importance of vegetable crops in correcting the biochemical composition of the human diet] // *Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki*, 2017, no. 2, pp. 3–5.

Doktrina prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii [The Doctrine of Food Security of the Russian Federation]. M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2020. 23 p.

Ivanov A.I., Ivanova ZH.A. Otzyvchivost' cvetnoj kapusty na jod i poteri urozhaya ot kily v usloviyah Severo-Zapada Rossii [The responsiveness of cauliflower to iodine and crop losses from kila in the conditions of Northwestern Russia] // *Agrohimicheskij vestnik*, 2024, no. 5, pp. 21–26.

Ivanov A.I., Rak M.V., Ivanova ZH.A., Filippova P.S., Filippov P.A. Biologicheskie osobennosti otklika kormovyh trav na primenenie joda na agrodernovo-podzolistyh pochvah razlichnoj okul'turennosti [Biological features of the response of forage grasses to the use of iodine on agrodernum-podzolic soils of various cultivation] // *Sel'skohozyajstvennaya biologiya*, 2022, vol. 57, no. 3, pp. 486–499.

Ivanov A.I., Filippova P.S., Filippov P.A. Nekotorye vozmozhnosti upravleniya produktivnost'yu i kachestvom kartofelya s ispol'zovaniem joda [Some possibilities of potato productivity and quality management using iodine] // *Problemy agrohimii i ekologii*, 2019, no. 4, pp. 43–49.

Ivanov A.I., Filippova P.S., Filippov P.A. Effektivnost' sistem udobreniya s primeneniem joda na odnoletnih travah [The effectiveness of iodine fertilizer systems on annual grasses] // *Agrohimiya*, 2021, no. 5, pp. 37–46.

Karabaeva M.E. Problema jododeficita u zhivotnyh [The problem of iodine deficiency in animals] // *Effektivnoe zhivotnovodstvo.* 2018. no. 2. S. 28–29.

Kashin V.K. *Biogeohimiya, fitofiziologiya i agrohimiya joda* [Biogeochemistry, phytophysiology and agrochemistry of iodine]. L.: Nauka, 1987. 261 p.

Panasin V.I., Vihman M.I., CHechulin D.S., Rymarenko D.A. Agrohimicheskie oso-bennosti raspredeleniya joda v pochvah agrolandshaftov Kaliningradskoj oblasti [Agrochemical features of iodine distribution in soils of agricultural landscapes of the Kaliningrad region] // *Plodorodie*, 2019. no. 1(106), pp. 31–35.

Panasin V.I., Rymarenko D.A., Vihman M.I., CHechulin D.S. Dejstvie jodnyh mikroudobrenij na urozhaj i kachestvo ozimogo rapsa [The effect of iodine micronutrients on the yield and quality of winter rapeseed] // *Agrohimicheskij vestnik,*2019. no. 2, pp. 39–41.

Pivovarov V.F., Nadezhkin S.M. Osnovnye puti sovershenstvovaniya sistem udobreniya v ovoshchevodstve [The main ways to improve fertilizer systems in vegetable growing] // *Plodorodie*, 2016, no. 5 (92), pp. 16–18.

Pivovarov V.F., Pyshnaya O.N., Gurkina L.K. Ovoshchi – produkty i syr'yo dlya funkcional'nogo pitaniya [Vegetables – products and raw materials for functional nutrition] // *Voprosy pitaniya*, 2017, no. 86(3), pp. 121–127.

Soldatenko A.V., Borisov V.A. *Ekologicheskoe ovoshchevodstvo* [Ecological vegetable growing]. M.: FGBNU «Federal'nyj nauchnyj centr ovoshchevodstva», 2022. 504 s.

Soldatenko A.V., Razin A.F., Pivovarov V.F., SHatilov M.V., Ivanova M.I., Rossinskaya O.V., Razin O.A. Ovoshchi v sisteme obespecheniya prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossii [Vegetables in the Russian food security system] // *Ovoshchi Rossii,*2019, no. 2(46), pp. 9–15.

Troshina E.A., Platonova N.M., Panfilova E.A. Analiticheskij obzor rezul'tatov monitoringa osnovnyh epidemiologicheskih harakteristik jododeficitnyh zabolevanij u naseleniya Rossijskoj Federacii za period 2009–2018 gg. [An analytical review of the results of monitoring the main epidemiological characteristics of iodine deficiency diseases in the population of the Russian Federation for the period 2009–2018] // *Problemy endokrinologii,* 2021, no. 67 (2). pp. 10–19.

Duborská E., Urík M., Šeda M. Iodine Biofortification of Vegetables Could Improve Iodine Supplementation Status // Agronomy. 2020. 10(10). 1574.

Lawson P.G., Daum D., Czauderna R., Vorsatz C. Factors influencing the efficacy of iodine foliar sprays used for biofortifying butterhead lettuce (Lactuca sativa) // J. Plant Nutr. Soil Sci. 2016. 179. P. 661-669.

Smolen S, Sady W, Rozek S, Ledwozyw-Smolen I, Strzetelski P. Preliminary evaluation of the influence of iodine and nitrogen fertilization on the effectiveness of iodine biofortification and mineral composition of carrot storage roots // J. Elem. 2011. 16(4). P. 613–622.

Wang L., Zhou X., Fredimoses M., Liao S., Liu Y. Naturally occurring organoiodines // RSC Adv. 2014. 4. P. 57350–57376.

УДК 631.95 DOI: 10.25695/AGRPH.2025.02.03

ПЕСТРОТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ И ЕЕ СВЯЗЬ С ПОЧВЕННЫМ ПОКРОВОМ

И. Ю. Савин[1,2], Ю. И. Вернюк[1], О. Д. Кучер[2]

ORCID
Савин И. Ю. 0000-0002-8739-5441
Вернюк Ю. И. 0000-0002-3621-8330
Кучер О. Д. 0009-0002-9816-7759

[1]*Почвенный институт имени В. В. Докучаева,*
119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2,
e-mail: savin_iyu@esoil.ru;
[2]*Институт экологии Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы,*
117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Поступила в редакцию 25.03.2025, принята в печать 15.05.2025

В статье утверждается, что внедрение современных, локально-адаптированных технологий земледелия требует информации о пространственных неоднородностях посевов, возникающих на поле в процессе выращивания сельскохозяйственных культур. Одним из факторов, влияющих на пестроту полей, служат неоднородности почвенного покрова. На примере тестового поля с преобладанием дерновых почв, в разной степени оглеенных, и посевами горчицы белой проведен анализ связи пестроты поля с неоднородностями почвенного покрова. Пестрота поля оценена на основе анализа изображений, полученных с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА) четыре раза за сезон вегетации, с использованием вегетационного индекса NGRDI. Проанализирована пространственная корреляция индекса с зонами потенциального плодородия почв (ЗППП), выделенными по изображению с максимально открытой поверхностью почв. Максимальные коэффициенты корреляции составили от 0,3 до 0,4. Установлено, что пестрота сельскохозяйственных полей динамична во времени, и для ее полного понимания необходим анализ нескольких изображений за сезон. Пестрота полей сильнее коррелирует с ЗППП, чем с традиционными почвенными картами. Но выраженность этой связи зависит от ЗППП и фенофазы посевов, что подтверждает результаты предыдущих исследований, проведенных в Тверской, Тульской областях и Кабардино-Балкарии. Для выявления общих закономерностей и разработки рекомендаций по мониторингу и прогнозированию урожайности, согласно выводам авторов статьи, необходимо расширение исследований на другие культуры и почвенные условия.

Ключевые слова: пространственная неоднородность, посевы, БПЛА, мониторинг посевов, структура почвенного покрова.