

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.107-116>

УДК 631.828:635.65

Отзывчивость гороха посевного на некорневую подкормку йодистым калием в условиях Северо-Запада России© 2026. А. И. Иванов , Ж. А. ИвановаФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Производство сельскохозяйственной продукции в условиях геохимической аномалии недостатка йода создает угрозу для здоровья населения Северо-Запада России и продуктивности регионального животноводства. В стационарном многолетнем микрополевым опыте, выполненном в 2020–2024 гг. в Псковской области в системе овощного севооборота, проведена комплексная оценка некорневой подкормки гороха посевного раствором йодистого калия (KI). Почва опыта агродерново-слабоподзолистая легкосуглинистая хорошо окультуренная с очень низким содержанием валового (790 мкг/кг) и подвижного (6 мкг/кг) йода. Схема опыта включала 4 варианта: контроль – без подкормки, одно-, дву- и трехкратное опрыскивание посева гороха посевного сорта Рокет 0,02%-м раствором KI. Установлено, что отзывчивость культуры на йодную подкормку и уровень аккумуляции йода в основной и побочной продукции определяются спецификой погодно-климатических условий и кратностью ее проведения. На фоне засушливых условий в фазу ветвления гороха (гидротермический коэффициент 0,4–0,8) прибавка урожайности зерна и соломы существенно возрастала до 109–193 г/м² (35–48 %) и 169–612 г/м² (35–82 %) соответственно. В среднем за пять лет исследования продуктивность культуры под действием йода повысилась на 23 % (с 0,65 до 0,80 зерновых единиц), а содержание йода в зерне и соломе увеличилось в 5,4 и 6,5 раза – до 300 и 467 мкг/кг соответственно. На фоне 3-кратной некорневой подкормки KI урожайность зерна повысилась на 30 % (с 416 до 541 г/м²), соломы – на 34 % (с 958 до 1280 г/м²), окупаемость 1 г йода достигла 14,9 зерновых единиц. При этом содержание йода в зерне и соломе гороха посевного повысилось относительно контроля в 6,9 и 8,5 раза (с 56 и 72 до 389 и 612 мкг/кг).

Ключевые слова: йод, эффективность, урожайность, окупаемость, зерно, солома, содержание йода

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда и Санкт-Петербургского государственного автономного учреждения «Фонд поддержки научной, научно-технической и инновационной деятельности» в рамках гранта № 24-16-20021 «Биообогащение сельскохозяйственной продукции йодом в условиях Санкт-Петербургской агломерации», <https://ias.rscf.ru/user/doc/a.w.p.2024.91.legacy/552502>

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Иванов А. И., Иванова Ж. А. Отзывчивость гороха посевного на некорневую подкормку йодистым калием в условиях Северо-Запада России. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):107–116.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.107-116>

Поступила: 07.11.2025

Принята к публикации: 04.12.2025

Опубликована онлайн: 27.02.2026

Pea response to foliar application of potassium iodide in North-Western Russia© 2026. Aleksey I. Ivanov , Zhanna A. Ivanova

Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russian Federation

Agricultural production under conditions of a geochemical anomaly of iodine deficiency poses a threat to human health in Northwest Russia and the productivity of regional livestock farming. A comprehensive evaluation of foliar fertilization of peas with potassium iodide (KI) solution was conducted in a long-term stationary microfield experiment conducted from 2020 to 2024 in the Pskov Region within a vegetable crop rotation system. The experimental soil was a well-cultivated agrosoddy-podzolic light loamy soil with very low total (790 µg/kg) and mobile (6 µg/kg) iodine content. The experimental design included four variants: control (no fertilization), single, double, and triple spraying of peas of the 'Rocket' cultivar with a 0.02% KI solution. It has been established that the crop response to iodine fertilization and the level of iodine accumulation in the main and by-products are determined by the specific weather and climate conditions and the frequency of its implementation. Against the background of drought during pea branching phase (hydrothermal coefficient was 0.4–0.8) the grain and straw yield increase grew significantly and reached 109–193 g/m² (35–48 %) and 169–612 g/m² (35–82 %), respectively. On average, over the five years of the study, crop productivity under the influence of iodine increased by 23 % (from 0.65 to 0.80 grain units), and the iodine content in grain rose 5.4 and 6.5 times – up to 300 and 467 µg/kg, respectively. The optimal fertilization frequency was 3 sprays. This resulted in a 30 % increase in grain yield (from 416 to 541 g/m²) and a 34 % increase in straw yield (from 958 to 1280 g/m²), while the return

on investment per gram of iodine reached 14.9 grain units. The iodine content in the grain and straw of the field pea increased by 6.9 and 8.5 times, respectively, compared to the control (from 56 and 72 to 389 and 612 µg/kg).

Keywords: iodine, efficiency, yield, cost-effectiveness, grain, straw, iodine content

Acknowledgments: this work was supported by the Russian Science Foundation and the St. Petersburg State Autonomous Institution "Foundation for Support of Scientific, Technical, and Innovative Activities" under grant No. 24-16-20021 "Biofortification of Agricultural Produce with Iodine in the St. Petersburg Agglomeration", <https://ias.rscf.ru/user/doc/a.w.p.2024.91.legacy/552502>

The authors thank the reviewers for their contributions to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interest.

For citation: Ivanov A. I., Ivanova Zh. A. Pea response to foliar application of potassium iodide in North-Western Russia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):107–116.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.107-116>

Received: 07.11.2025 Accepted for publication: 04.12.2025 Published online: 27.02.2026

Расположение северо-западных регионов России в пределах установленной геохимической аномалии йодной недостаточности [1, 2] является весомым фактором, снижающим эффективность животноводства и оказывающим негативное влияние на здоровье местного населения [3, 4, 5]. В группе риска находятся жизненно-важные функции организма (умственная, репродуктивная, регуляция эндокринной и сердечно-сосудистой систем) и целые группы населения (особенно дети и женщины детородного возраста). Поскольку генезис проблемы связан с качеством производимой сельскохозяйственной продукции, ее преодоление должно быть предметом не столько медицинской, сколько агропроизводственной сферы [5, 6].

Однако в условиях, когда эссенциальность йода для растений не была доказана, а государственная политика была сконцентрирована на решении проблемы посредством йодирования отдельных продуктов массового потребления, вопросы применения йодных микроудобрений не стали предметом пристального внимания отечественной агрохимической науки [6, 7]. Фактически комплексные исследования по данной проблематике выполнены локально в Калининградской области [2, 8] и Западной Сибири [9, 10]. Объектами изучения здесь чаще становились зерновые и кормовые культуры, реже картофель. Кормовые травы стали предметом и нашего внимания на первом этапе исследований по йодной проблематике в условиях Северо-Запада РФ [11].

Но, безусловно, ведущая роль в обеспечении организма человека физиологически ценными и незаменимыми нутриентами принадлежит овощным культурам [12, 13]. Среди этой обширной группы нишу особенно ценных занимают представители семейства Бобовые (*Fabaceae* Lindl.), в число наиболее распространенных и важных входит горох посевной

(*Lathyrus oleraceus* Lam.) [14]. Особенности его минерального питания и система удобрения в различных почвенно-агрохимических условиях изучены весьма подробно [14, 15, 16]. Однако проблематикой оптимизации йодного питания этой весьма востребованной культуры ранее системно в нашей стране практически не занимались. При этом по причине природной обогащенности аминокислотами теоретический потенциал бионакопления йода горохом посевным и его овощной формой существенно выше, чем у большинства других полевых и овощных культур. Этот фактор в сочетании с положительной почвоулучшающей ролью гороха стал решающим в его выборе в качестве одного из объектов многолетнего исследования в овощном севообороте [17]. В 2024 г. эта работа стала важной частью более масштабного научного поиска по йодной проблематике в рамках гранта «Биообогащение сельскохозяйственной продукции йодом в условиях Санкт-Петербургской агломерации», № 24-16-20021, получившего совместную поддержку Российского научного фонда и Санкт-Петербургского государственного автономного учреждения «Фонд поддержки научной, научно-технической, инновационной деятельности».

Цель исследования – комплексная оценка эффективности некорневой подкормки гороха посевного раствором йодистого калия.

Научная новизна – впервые в условиях Северо-Западного региона России установлены параметры агрономической эффективности и бионакопления йода в продукции гороха посевного при фолитарном применении данного микроэлемента.

Материал и методы. Исследования выполняли в 2020–2024 гг. в микрополеводном опыте, заложенном в 2020 г. в д. Купуй Великолукского района Псковской области. Его закладке предшествовало освоение участка под посевом тимофеевки луговой (7-й год хозяйст-

венного использования), которое включало опрыскивание отрастающих после 1-го укоса трав гербицидом сплошного действия Ураган Форте, две фрезерные обработки почвы (на глубину 15 см) и позднюю зяблевую вспашку (на 23 см). Таким образом, предшественником посевного гороха в опыте в первый год исследования служила тимофеевка луговая, в последующие – морковь столовая, возделываемая в овощном севообороте «горох посевной – капуста цветная – свёкла столовая – морковь столовая».

Агродерново-слабоподзолистая почва опытного участка, будучи легкосуглинистой по гранулометрическому составу, по комплексу агрофизических и агрохимических свойств относилась к виду хорошо окультуренных с высокой обеспеченностью подвижными соединениями калия и очень высокой – фосфора. В частности, она обладала весьма водопроходной комковато-зернистой структурой, наименьшей влагоемкостью – 31 %, объемной массой – 1,18 г/см³, $S_{орг}$ – 2,41 %, pH_{KCl} – 6,41, $Nг$ – 2,37 смоль(экв)/кг, $S_{обм.}$ – 12,88 смоль(экв)/кг, $V_{осн.}$ – 88 %, P_2O_5 – 377 мг/кг и K_2O – 215 мг/кг (подвижные формы по методу Кирсанова). Однако йодный статус почвы (валовое содержание – 790 мкг/кг (кинетическим роданидно-нитритным методом по Проскураковой), содержание подвижных соединений – 6 мкг/кг (вольтамперометрическим методом) был неудовлетворительным, так как фактическое содержание элемента составило в 5,1 раза ниже кларкового уровня (4000 мкг/кг) и в 6,3 раза – оптимального значения (5000 мкг/кг) [1, 7].

Возделывание гороха посевного в опыте осуществляли по фону минеральной системы удобрения в дозе $N_{75}P_{30}K_{90}$, применяемой вручную в виде сухой смеси из азофоски (18,8 г/м²), аммиачной селитры (13,0 г/м²) и калимагнезии (18,8 г/м²). Посев гороха посевного сорта Рокет (TOFT PLANT BREEDING APS, Дания) проводили вручную широкорядным способом по схеме 2×40 см. После полных всходов посев прореживали до густоты 90 раст/м². Уход за посевом в течение вегетации включал послеуборочное боронование, одно междурядное рыхление, одну прополку, два инсектицидных опрыскивания против гороховой зерновки и полив в критически засушливые периоды, когда полевая влажность почвы снижалась до уровня менее

20,2 % (65 % НВ). Такое периодическое орошение было особенно важно для данного сорта гороха, так как он обладает повышенной чувствительностью к дефициту влаги, который фиксировался в 2020 и 2024 гг. – в мае, в 2023 г. – в мае – июне, в 2021 г. – июле, в 2022 г. – августе. Годовые нормы орошения варьировали от 8 л/м² в 2020 г. до 62 л/м² в 2023 г.

Схема опыта включала четыре варианта некорневой подкормки гороха посевного 0,02%-м раствором KI: контроль – без подкормки; KI-1 – однократное опрыскивание (доза йода 46 г/га, или 4,6 мг/м²); KI-2 – двукратное опрыскивание (доза йода 92 г/га, или 9,2 мг/м²); KI-3 – трёхкратное опрыскивание (доза йода 138 г/га, или 13,8 мг/м²). Выбор данной концентрации рабочего раствора был продиктован гипотетическими соображениями ожидания достоверной агрономической эффективности с гарантированным отсутствием токсичных эффектов [11]. Первое опрыскивание проводили в фазу «ветвление» (5-6 настоящих листьев), последующие – с периодичностью в две недели. Второе опрыскивание приходилось на фазу «бутонизация – начало цветения», третье – на «цветение – начало завязывания бобов». Норма расхода рабочего раствора KI, вносимого с помощью ранцевого опрыскивателя Stihl SG51 (Andreas Stihl AG & Co., Германия), составляла 30 мл/м². Ее точный контроль осуществляли по времени, затрачиваемому на опрыскивание одной делянки площадью 3 м². В качестве источника йода использовали отечественный кристаллический KI хч. производства ОАО «Троицкий йодный завод».

При общей площади делянки в опыте 3 м² ее учетная часть составила 1 м². Варианты в шестикратной повторности размещали в пространстве систематически. Программа наблюдений включала фенологический, биометрический и фитосанитарный разделы. Учет проводили сплошным весовым методом (точность взвешивания 1 г) с определением основных факторов продуктивности культуры: густота стояния растений перед уборкой; количество бобов на 1 растении; количество зерен в бобе; масса 1000 зерен. Образцы зерна и соломы гороха посевного массой 0,4 и 1 кг, соответственно, подвергались анализу в испытательной лаборатории ФГБНУ АФИ. Содержание йода в них определяли по ГОСТ 28458-90¹.

¹ГОСТ 28458-90. Корма растительные. Метод определения йода. М.: Стандартинформ, 2006. 7 с.
URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/3734/>

Статистическую обработку результатов исследования проводили дисперсионным методом анализа с использованием разработанного в ФГБНУ АФИ программного обеспечения. Достоверность различий средних по вариантам микрополевого опыта величин отдельных показателей оценивали на 5%-м уровне значимости по критерию Фишера.

Результаты и их обсуждение. Рост и развитие гороха посевного в условиях опыта, где питательный режим почвы был практически оптимальным, определялись, главным образом, спецификой погодно-климатических условий. Повышенная теплообеспеченность и недостаток влаги заметно ускоряли прохождение отдельных фаз онтогенеза, напротив, прохладные и избыточно влажные условия увеличивали их продолжительность. В частности, в 2023 г. необычно длительная поздневесенняя – раннелетняя засуха, даже на фоне проведения поливов, сократила вегетационный период в среднем на 6 дней. Напротив, пришедшаяся на такой же засушливый период начала вегетации в 2024 г. беззаморозковая волна холода задержала развитие растений на 8 дней. Растения гороха сорта Рокет оказались гораздо более чувствительны к таким продолжительным негативным проявлениям погоды, чем к заморозкам, сопровождавшим начальные фазы роста в 2022 г. Действие йодной некорневой подкормки на прохождение растениями фенологических фаз развития носило весьма неустойчивый характер. При благоприятной теплой и влажной погоде второй половины вегетации это выражалось в удлинении межфазных периодов заключительной части вегетации, на фоне жарких и засушливых условий (например, в 2021 г.) – в их сокращении. Это вызвало разнонаправленное изменение общей продолжительности вегетационного периода под действием йодной некорневой подкормки в среднем по вариантам на 3–5 дней.

Избыточно влажные и теплые условия заключительной части вегетации в 2023 и 2024 гг. способствовали развитию возбудителя фузариозного увядания и умеренной распространенности болезни (ниже среднего уровня), что, тем не менее, оказало негативное воздействие на продуктивность культуры. В отличие от цветной капусты и свеклы столовой, где оптимизация йодного питания вызвала достоверную активизацию иммунитета к некоторым возбудителям заболеваний [17], относительно поражения гороха посевного фузариозом этот эффект имел лишь форму положительной тенденции.

Все эти факторы оказали разностороннее влияние на результирующую продукционного процесса – урожайность основной (зерна) и побочной (соломы) продукции гороха посевного (табл. 1). Наиболее благоприятные погодные условия для роста и развития гороха сложились в 2022 г. – урожайность основной и побочной продукции сформировалась в контроле выше на 59 и 41 % соответственно, чем в среднем за пять лет исследования (416 и 958 г/м²). Главными факторами снижения зерновой продуктивности культуры в 2020 г. (на 18 %) стала недостаточная теплообеспеченность, в 2021 г. (на 12 %) – июльская засуха, в 2024 г. (на 25 %) – продолжительная майско-июньская волна холода и в меньшей степени поражение растений фузариозным увяданием. Минимальная урожайность соломы гороха (на 50 % ниже среднего многолетнего показателя – 958 г/м²) была сформирована в критически засушливых условиях июня – начала июля 2023 г. Однако вопреки ожиданиям, показатель отношения побочной продукции к основной в годы исследования варьировал значительно от 1,2 ед. 2023 г. до 3,8 ед. в 2020 г. при среднем значении – 2,4 ед. Это привело к определенному разобщению между уровнями урожайности основной и побочной продукции.

Отзывчивость гороха посевного на оптимизацию йодного питания в форме некорневой подкормки также в значительной мере определялась спецификой погодно-климатических условий и, конечно, кратностью ее проведения. Относительно высокий уровень прибавок урожайности в среднем по вариантам подкормки зафиксировали в 2023 г. (зерна – 193 г/м², или 48 %; соломы – 169 г/м², или 35 %) и в 2024 г. (зерна – 109 г/м², или 35 %; соломы – 612 г/м², или 82 %), когда первое опрыскивание проводили на фоне критической засухи (ГТК – 0,4–0,8). Аналогичный эффект повышенной отдачи от некорневой подкормки раствором йодистого калия на фоне засушливых условий получили ранее на однолетних травах (смеси овса и вики посевных) [11] и яровой пшенице [18]. Наиболее вероятной причиной этого эффекта является усиление под действием йода синтеза фенолпроизводных антиоксидантов и регуляция обменных реакций, определяющих стрессоустойчивость растений [19]. Косвенным подтверждением повышения обводненности цитоплазмы клеток под действием йода стало существенное увеличение (на 1,5–2,9 %) влажности зерна и соломы гороха в соответствующих вариантах.

Таблица 1 – Агрономическая эффективность йодной некорневой подкормки гороха посевного сорта Рокет по годам исследования / Table 1 – Agronomic effectiveness of iodine foliar top dressing of 'Rocket' peas by the years of study

Вариант опыта / Variant of the experiment	2020 г.			2021 г.			2022 г.			2023 г.			2024 г.		
	урожайность, г/м ² / yield, g/m ²	прибавка / increase		урожайность, г/м ² / yield, g/m ²	прибавка / increase		урожайность, г/м ² / yield, g/m ²	прибавка / increase		урожайность, г/м ² / yield, g/m ²	прибавка / increase		урожайность, г/м ² / yield, g/m ²	прибавка / increase	
		г/м ² / g/m ²	%		г/м ² / g/m ²	%		г/м ² / g/m ²	%		г/м ² / g/m ²	%		г/м ² / g/m ²	%
Контроль / Control	340	-	-	367	-	-	660	-	-	400	-	-	311	-	-
KI-1	367	27	8	370	3	1	647	13	-2	500	100	25	388	77	25
KI-2	373	33	10	393	26	7	780	120	18	613	213	53	412	101	32
KI-3	400	60	18	420	53	14	760	100	15	667	267	67	459	148	48
Среднее KI / Medium KI	380	40	12	394	27	7	729	69	10	593	193	48	420	109	35
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	-	21	-	-	14	-	-	29	-	-	16	-	-	10	-
Зерно (влажность 14 %) / Grain (moisture content 14 %)															
Контроль / Control	1287	-	-	927	-	-	1353	-	-	480	-	-	743	-	-
KI-1	1313	26	2	907	-20	-2	1373	20	1	533	53	11	1233	490	66
KI-2	1527	240	19	1080	153	17	1573	20	16	640	160	33	1415	672	90
KI-3	1500	213	17	1130	203	22	1580	227	17	773	293	61	1417	674	91
Среднее KI / Medium KI	1447	160	12	1039	112	12	1509	156	12	649	169	35	1355	612	82
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	-	103	-	-	82	-	-	69	-	-	56	-	-	60	-
Солома (влажность 18 %) / Straw (moisture content 18 %)															
Контроль / Control	1287	-	-	927	-	-	1353	-	-	480	-	-	743	-	-
KI-1	1313	26	2	907	-20	-2	1373	20	1	533	53	11	1233	490	66
KI-2	1527	240	19	1080	153	17	1573	20	16	640	160	33	1415	672	90
KI-3	1500	213	17	1130	203	22	1580	227	17	773	293	61	1417	674	91
Среднее KI / Medium KI	1447	160	12	1039	112	12	1509	156	12	649	169	35	1355	612	82
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	-	103	-	-	82	-	-	69	-	-	56	-	-	60	-

Примечания: некорневая подкормка 0,02%-м раствором йодистого калия: KI-1 – однократная, KI-2 – двукратная, KI-3 – трехкратная / Notes: foliar dressing with 0.02% potassium iodide solution: KI-1 – one-fold, KI-2 – two-fold, KI-3 – three-fold

По мере повышения кратности опрыскивания растений гороха посевного их агрономическая эффективность заметно возрастала. Так, если однократная некорневая подкормка обеспечила достоверную прибавку урожайности зерна в течение 3 лет, а соломы – 1 года из 5 лет исследования, то дву- трехкратная – во все годы проведения опыта. При этом достоверное превосходство варианта KI-3 над KI-2 по урожайности зерна было зафиксировано по 4 годам, соломы – по 1 году исследования. Эта закономерность вполне соответствует ранее установленным данным о более высоком уровне потребности в йоде бобовых культур [11].

Оценка вклада отдельных факторов зерновой продуктивности культуры в прибавку урожайности зерна показала, что под действием некорневой йодной подкормки в среднем за пять лет они сформировали убывающий ряд: количество бобов на растении → густота стояния растений (выживаемость растений к уборке) → число зёрен в бобе → масса 1000 зёрен. Но и их положение в данном ряду было весьма неустойчивым. Так, при благоприятной погоде, когда масса 1000 зерен на фоне вариантов с йодом доходила до 261 г, положительное значение этого показателя становилось более выраженным, в других случаях – недостоверным. В большинстве лет исследования более 80 % прибавки урожайности зерна обеспечивалось за счет положительного действия оптимизации йодного питания на количество бобов на 1 растении и выживаемость растений к моменту проведения уборки.

Несмотря на то, что по уровню отзывчивости на фолиарное применение йодистого калия горох посевной уступил остальным культурам овощного севооборота [17], в среднем за пять лет исследования были достигнуты высокие параметры его продуктивности (табл. 2). Вполне закономерно, вегетативная биомасса гороха, учтенная в опыте в виде соломы, оказалась чувствительнее к применению йода, чем генеративная (в 1,2 раза по относительному

уровню прибавки урожайности). Достоверная прибавка урожайности зерна и соломы на 9 и 12 % была достигнута уже при однократном опрыскивании гороха посевного 0,02%-м раствором КИ. Трехкратная некорневая подкормка позволила увеличить урожайность зерна в 1,30 раза, соломы – в 1,34 и общую продуктивность культуры – 1,31 раза, т. е. почти на треть относительно контрольного варианта.

Таблица 2 – Влияние йодной некорневой подкормки на продуктивность гороха посевного сорта Рокет (в среднем за 2020–2024 гг.) /

Table 2 – The effect of iodine foliar top dressing on the productivity of ‘Rocket’ peas (on average for 2020–2024)

Вариант опыта / Variant of the experiment	Показатель продуктивности по видам продукции / Productivity indicator by product types								
	зерно / grain			солома / straw			основная и побочная / main and secondary		
	урожайность, г/м ² / yield, g/m ²	прибавка / increase		урожайность, г/м ² / yield, g/m ²	прибавка / increase		продуктивность, зерн. ед./м ² / productivity, grain unit/m ²	прибавка / increase	
г/м ² / g/m ²		%	г/м ² / g/m ²		%	зерн.ед./м ² / grain unit/m ²		%	
Контроль / Control	416	-	-	958	-	-	0,65	-	-
КИ-1	454	38	9	1072	114	12	0,72	0,07	10
КИ-2	514	98	24	1247	289	30	0,82	0,17	26
КИ-3	541	125	30	1280	322	34	0,86	0,21	31
Среднее КИ / Medium KI	503	87	21	1200	242	25	0,80	0,15	23
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	-	18	-	-	74	-	-	0,04	-

Расчет натуральной окупаемости внесенного при подкормке йода в дозах от 46 до 138 г/га показал, что её уровень достиг очень высоких значений. Так, по зерну гороха на каждый грамм внесенного йода в вариантах КИ-1, КИ-2 и КИ-3 она составила 8,3 кг, 10,7 и 9,1 кг, а по общей хозяйственной продуктивности – 14,6, 18,5 и 14,9 зерн. ед.

Однако в оценке отзывчивости гороха посевного на применение йодной некорневой подкормки критически важен не столько этот результат, сколько его способность накопить йод в своей продукции. Как показали лабораторные исследования, естественный уровень содержания йода в сухом веществе зерна и соломы варьировал в характерных для региона низких пределах 42–68 и 57–85 мкг/кг соответственно (рис.). Коэффициент вариации этого показателя составил 18 % для зерна и 16 % – для соломы. При этом обнаружилась тенденция к более высокому накоплению йода на фоне дождливой погоды второй половины вегетации. Однако противоположный характер влияния на аккумуляцию йода в биомассе имел эффект биологического разбавления вследствие усиления продукционного процесса растений гороха посевного.

Однократное опрыскивание посева 0,02%-м раствором КИ увеличило содержание йода в зерне и соломе до 115–251 и 198–394 мкг/кг, двукратное – до 262–404 и 373–590 мкг/кг и трехкратное – до 303–486 и 442–761 мкг/кг соответственно. Вариабельность этого показателя в среднем по удобренным йодом вариантам увеличилась для зерна и соломы до 21 и 22 %. Причем избыточное увлажнение второй половины вегетации стало уже достоверным фактором сокращения аккумуляции йода в биомассе гороха. Его содержание в зерне (252 мкг/кг) и соломе (384 мкг/кг) в среднем по удобренным йодом вариантам на фоне 1,5–3-кратного превышения среднемесячных нормативов выпадения осадков в июле – августе 2020 и 2023 гг. отмечено на 18 и 22 % ниже, чем в 2021 и 2022 гг. с засушливыми условиями в этот период (307 и 492 мкг/кг). Вероятной причиной снижения аккумуляции йода стало увеличение его потерь при смывании с поверхности растений в дождливые периоды. Как следствие, минимальный уровень аккумуляции йода в зерне и соломе (227 и 338 мкг/кг) пришелся на 2020 г., когда ГТК в период «июль – август» составил 2,38.

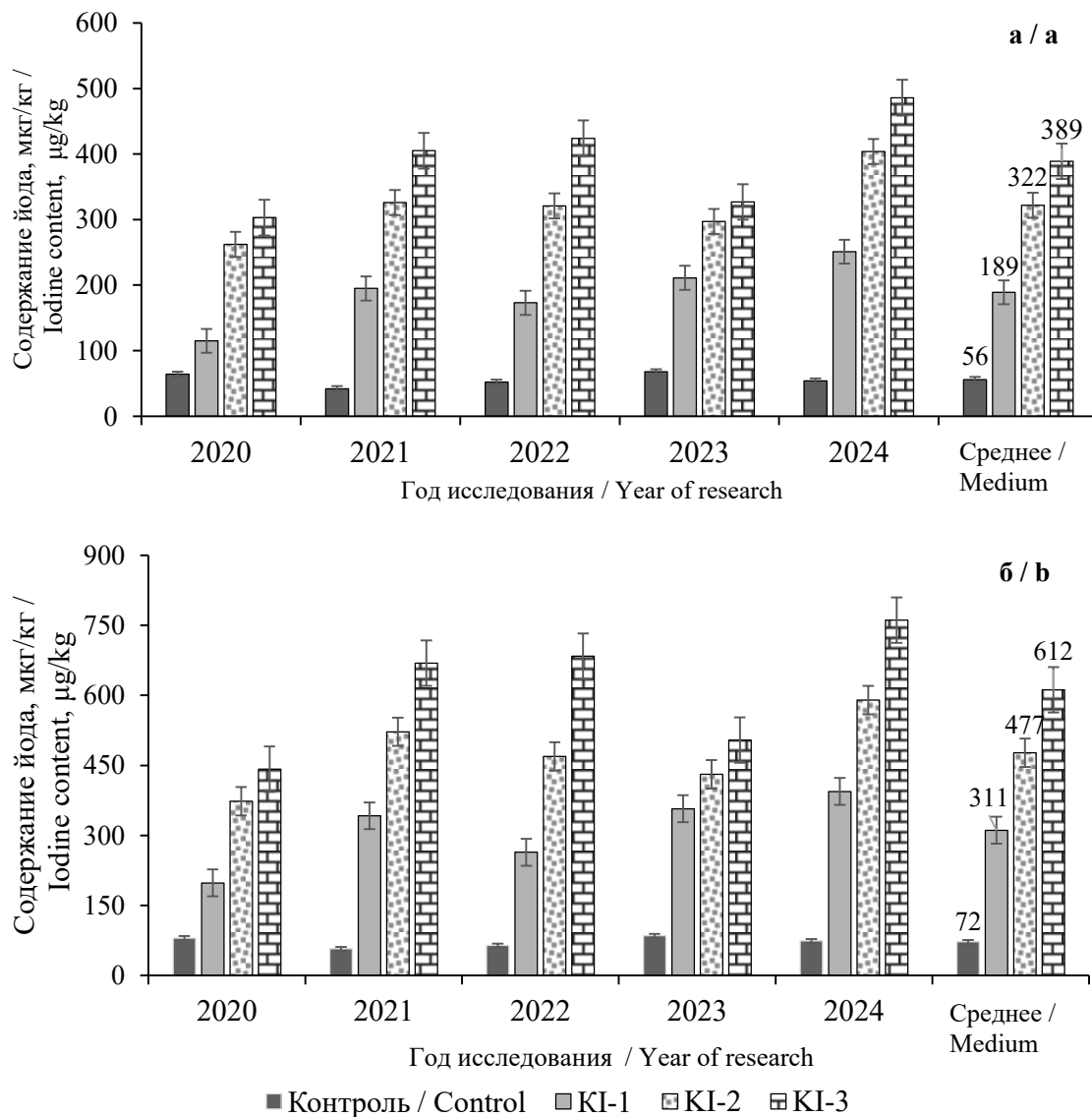


Рис. Содержание йода в зерне (а) и соломе (б) гороха посевного сорта Рокет в зависимости от кратности применения некорневой подкормки КИ (доверительный интервал представлен удвоенным стандартным отклонением, средний НСР₀₅ для зерна – 24 мкг/кг, соломы – 31 мкг/кг) /

Fig. Iodine content in grain (a) and straw (b) of 'Rocket' peas, depending on the frequency of application of KI foliar top dressing (the confidence interval is represented by a doubled standard deviation, the average LSD₀₅ for grain is 24 µg/kg, for straw – 31 µg/kg)

И все же, несмотря на возрастающую вариабельность по годам, в среднем по вариантам с йодной некорневой подкормкой гороха посевного содержание йода в зерне и соломе увеличилось относительно контроля в 5,4 и 6,5 раза, достигнув 300 и 467 мкг/кг соответственно. Уровень дополнительной биоаккумуляции йода в основной и побочной продукции гороха существенно возрастал по мере увеличения кратности некорневых подкормок со 133 и 239 мкг/кг при однократной до 266 и 406 мкг/кг – при двукратной и 333 и 540 мкг/кг – при трехкратной подкормке соответственно. Однако параметры прироста содержания йода от каж-

дого последующего опрыскивания посева гороха 0,02%-м раствором КИ заметно снижались.

Достигнутые за пять лет исследования показатели бионакопления йода в зерне и соломе гороха посевного, свидетельствующие об увеличении его содержания при одно-, дву- и трехкратной подкормке 0,02%-м КИ – в 3,4 и 4,3, 5,8 и 6,6, 6,9 и 8,5 раза соответственно, подтвердили высокий функциональный потенциал данной культуры. Этот факт имеет особенно важное значение в связи с тем, что горох посевной является ценной культурой многостороннего использования от кормового и фуражного до овощного и продовольственного направления.

Заключение. В многолетних микрополевых исследованиях в условиях Северо-Западного региона России получены результаты по эффективности некорневой подкормки гороха посевного (на примере сорта Рокет) 0,02%-м раствором йодистого калия. Отзывчивость гороха посевного, возделываемого на хорошо окультуренной агродерново-слабоподзолистой почве, на применение йода варьировала по годам и определялась, главным образом, биологическими особенностями культуры, спецификой погодно-климатических условий и кратностью ее проведения. Увеличению эффективности подкормки способствовали засушливые условия второй половины вегетационного периода, на фоне которых абсолютный уровень прибавки урожайности зерна увеличился в 3,4 раза (с 45 до 151 г/м²), соломы – в 2,6 раза (со 148 до 391 г/м²). В среднем по обработанным КИ вариантам отзывчивость культуры достигла высоких значений и выразилась в формировании урожайности зерна – 503 г/м², соломы – 1200 г/м² и общей продуктивности 0,80 зерн. ед./м² при относительном уровне их прибавки к контролю в 21–25 %. При установленном оптимальном трехкратном уровне проведения некорневых

подкормок 0,02%-м рабочим раствором КИ с расходом 30 мл/м² урожайность зерна гороха посевного повысилась на 30 % (с 416 до 541 г/м²), соломы – на 34 % (с 958 до 1280 кг/м²), общая продуктивность – на 31 % (с 0,65 до 0,86 зерн. ед./м²), а окупаемость 1 г йода составила 14,9 зерн. ед.

При возделывании гороха посевного на почвах с низким содержанием йода уровень его накопления в зерне (56 мкг/кг) и соломе (72 мкг/кг) не отвечает физиологическим потребностям человека и животных. Под действием некорневых подкормок раствором КИ его удастся повысить в среднем до 300 и 467 мкг/кг соответственно. При трехкратном опрыскивании уровень накопления йода увеличивается в зерне гороха посевного до 389 мкг/кг (в 6,9 раза относительно контроля) и в соломе – до 612 мкг/кг (в 8,5 раза).

Достигнутый в опыте потенциал бионакопления йода показал, что агротехническое биообогащение овощной и кормовой продукции на основе гороха посевного этим элементом может и должно стать важным средством в решении крупной геохимической проблемы недостатка йода в почвах Северо-Западного региона России.

Список литературы

1. Ковальский В. В., Андрианова Г. А. Микроэлементы в почвах СССР. М.: Наука, 1970. 180 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007401791?ysclid=mh12lg7qni66264553#>
2. 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)):31–35. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.106.10> EDN: VVXAFE
3. Дедов И. И., Мельниченко Г. А., Трошина Е. А., Платонова Н. М., Абдулхабирова Ф. М., Шатнюк Л. Н. и др. Дефицит йода – угроза здоровью и развитию детей России: Национальный доклад. М.: ЮНИСЕФ, 2006. 124 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18782788> EDN: PVAPXF
4. 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):10–19. DOI: <https://doi.org/10.14341/probl12433> EDN: YENAYS
5. Платонова Н. М., Трошина Е. А. Йодный дефицит: решение проблемы в мире и России (25-летний опыт). Consilium Medicum. 2015;17(4):44–50. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23636329> EDN: TXGBVT
6. Голубкина Н. А., Кекина Е. Г., Надежкин С. М. Перспективы обогащения сельскохозяйственных растений йодом и селеном (обзор). Микроэлементы в медицине. 2015;16(3):12–19. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24928385> EDN: UZNFCJ
7. Шеуджен А. Х. Биогеохимия. Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2003. 1028 с.
8. 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):39–41. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10025> EDN: ZFALSX
9. Конарбаева Г. А., Бойко В. С., Якименко В. Н. Изменение почвенного фонда йода в агроценозах лесостепи Западной Сибири. Агрохимия. 2022;(12):55–61. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188122120080> EDN: MDSXWS
10. Синдирева А. В., Курдуманова О. И., Степанова О. В., Гилязова И. Б. Экологическая оценка различных способов применения йодида калия под зерновые культуры. Вестник КрасГАУ. 2017;(2):134–141. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28376416> EDN: XWYZMD

11. 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;57(3):486–499. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.3.486rus> EDN: EOIOBA
12. Пивоваров В. Ф., Пышная О. Н., Гуркина Л. К. Овощи – продукты и сырьё для функционального питания. *Вопросы питания*. 2017;86(3):121–127. Режим доступа: https://elibrary.ru/title_about_new.asp?id=7711 EDN: ZFQFFN
13. 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):3–5. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28904721> EDN: YINOQJ
14. Пивоваров В. Ф. Овощи России. М.: ГНУ ВНИИССОК, 2006. 384 с.
15. Борисов В. А. Система удобрения овощных культур. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. 392 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01008508121?ysclid=mh13b811br139573483#>
16. Солдатенко А. В., Борисов В. А. Экологическое овощеводство. М.: ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», 2022. 504 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49388517> EDN: HBRGMW
17. Иванова Ж. А. Агрономическая эффективность йодной некорневой подкормки в овощном севообороте. *Агрофизика*. 2025;(2):10–17. DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2025.02.02> EDN: JSGUHV
18. Серегина И. И., Ахметжанов Д. М. Оценка влияния йодида калия на урожайность и устойчивость к засухе яровой пшеницы. *Плодородие*. 2024;(3(138)):52–56. DOI: <https://doi.org/10.24412/1994-8603-2024-3138-52-56> EDN: KZPKZO
19. Wang L., Zhou X., Fredimoses M., Liao S., Liu Y. Naturally occurring organoiodines. *RSC Advances*. 2014;4:57350–57376. DOI: <https://doi.org/10.1039/C4RA09833A>

References

1. Kovalsky V. V., Andrianova G. A. Trace elements in the soils of the USSR. Moscow: *Nauka*, 1970. 180 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007401791?ysclid=mh12lg7qnj66264553#>
2. Panasin V. I., Vikhman M. I., Chechulin D. S., Rimarenko D. A. Agrochemical peculiarities of iodine distribution in soils of agrolandscapes of Kaliningrad region. *Plodородие*. 2019;(1(106)):31–35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.106.10>
3. Dedov I. I., Melnichenko G. A., Troshina E. A., Platonova N. M., Abdulkhabirova F. M., Shatnyuk L. N. et al. Iodine deficiency is a threat to the health and development of Russian children: National report. Moscow: *YUNISEF*, 2006. 124 p. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18782788>
4. Troshina E. A., Platonova N. M., Panfilova E. A. Dynamics of epidemiological indicators of thyroid pathology in the population of the Russian Federation: analytical report for the period 2009–2018. *Problemy endokrinologii = Problems of Endocrinology*. 2021;67(2):10-19. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14341/probl12433>
5. Platonova N. M., Troshina E. A. Iodine deficiency: current status. *Consilium Medicum*. 2015;17(4):44–50. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23636329>
6. Golubkina N. A., Kekina E. G., Nadezhkin S. M. Prospects of enrichment of agricultural plants with iodine and selenium (review). *Mikroelementi v meditsine = Trace Elements in Medicine* (Moscow). 2015;16(3):12–19. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24928385>
7. Sheudzhen A. Kh. Biogeochemistry. Maykop: *GURIPP «Adigeya»*, 2003. 1028 p.
8. Panasin V. I., Rimarenko D. A., Vikhman M. I., Chechulin D. S. Effect of iodine microfertilizers on yield and quality of winter rape. *Agrokhimichesky vestnik = Agrochemical Herald*. 2019;(2):39–41. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10025>
9. Konarbaeva G. A., Boyko V. S., Yakimenko V. N. Changes in the soil fund of iodine in the agrocenosis of the forest-steppe of Western Siberia. *Agrokimiya*. 2022;(12):55–61. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188122120080>
10. Sindireva A. V., Kurdumanova O. I., Stepanova O. V., Gilyazova I. B. Ecological assessment of various methods of iodide potassium application under grain crops. *Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU*. 2017;(2):134–141. ((In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28376416>
11. Ivanov A. I., Rak M. V., Ivanova Zh. A., Filippova P. S., Filippov P. A. Biological features of the response of fodder grasses to the use of iodine on agrosod-podzolic soils of various cultivation levels. *Selskokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2022;57(3):486–499. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.3.486rus>
12. Pivovarov V. F., Pishnaya O. N., Gurkina L. K. Vegetables are products and raw material for functional nutrition. *Voprosi pitaniya = Problems of Nutrition*. 2017;86(3):121–127. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/title_about_new.asp?id=7711

13. Gins M. S., Gins V. K., Pivovarov V. F., Kononkov P. F., Derkanosova N. M. The vegetable crops value in remodeling of the human dietary biochemical composition. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2017;(2):3–5. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28904721>
14. Pivovarov V. F. Vegetables of Russia. Moscow: *GNU VNISSOK*, 2006. 384 p.
15. Borisov V. A. Vegetable fertilization system. Moscow: *FGBNU «RosinformagroteKH»*, 2016. 392 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01008508121?ysclid=mh13b811br139573483#>
16. Soldatenko A. V., Borisov V. A. Ecological vegetable growing. Moscow: *FGBNU «Federalny nauchny tsentr ovoshchevodstva»*, 2022. 504 c. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49388517>
17. Ivanova Zh. A. Agronomic efficiency of iodine foliar treatment in vegetable crop rotation. *Agrofizika* = *Agrophysica*. 2025;(2):10–17. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2025.02.02>
18. Seregina I. I., Akhmetzhanov D. M. Assessment of the effect of potassium iodide on the yield and drought resistance of various spring wheat varieties. *Plodorodie*. 2024;(3(138)):52–56. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/1994-8603-2024-3138-52-56>
19. Wang L., Zhou X., Fredimoses M., Liao S., Liu Y. Naturally occurring organoiodines. *RSC Advances*. 2014;4:57350–57376. DOI: <https://doi.org/10.1039/C4RA09833A>

Сведения об авторах

✉ **Иванов Алексей Иванович**, доктор с.-х. наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский проспект, д. 14, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195220, e-mail: office@agrophys.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1502-0798>, e-mail: ivanovai2009@yandex.ru

Иванова Жанна Анатольевна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский проспект, д. 14, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195220, e-mail: office@agrophys.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3138-8285>

Information about the authors

✉ **Alexey I. Ivanov**, DSc in Agricultural Science, professor, corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, Agrophysical Research Institute, Grazhdansky pr., 14, Saint-Petersburg, Russian Federation, 195220, e-mail: office@agrophys.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1502-0798>,
e-mail: ivanovai2009@yandex.ru

Zhanna A. Ivanova, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Agrophysical Research Institute, Grazhdansky pr., 14, Saint-Petersburg, Russian Federation, 195220, e-mail: office@agrophys.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3138-8285>

✉ – Для контактов / Corresponding author