 © Авторы статьи / Authors of the article

АГРОХИМИЯ, АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗАЩИТА И КАРАНТИН РАСТЕНИЙ/AGROCHEMISTRY, AGROSOIL SCIENCE, PLANT PROTECTION AND QUARANTINE

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.67.11 EDN: MSSBNV

АГРОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ЙОДА НА ОДНОЛЕТНИХ ТРАВАХ И ПОТЕНЦИАЛ ЕГО НАКОПЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ МИНЕРАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ

Научная статья

Филиппова П.С.[1,] *, Тюкалов Ю.А.[2]
[1] ORCID : 0000-0001-9726-8844;
[2] ORCID : 0000-0002-2987-0806;
[1, 2] Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН - СЗЦППО, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (tipolis[at]yandex.ru)

Предложена: 18.01.2026; Принята: 12.03.2026; Опубликована: 19.03.2026

Аннотация

В микрополевом двухфакторном опыте на культуре однолетних трав была установлена агрономическая эффективность некорневой обработки раствором KI. Оптимальными концентрациями рабочего раствора KI были установлены 0,02% для неудобренного фона и 0,08 и 0,16% для фонов со средней и высокой дозой удобрений соответственно. Прибавки урожая в этих вариантах составили 0,82, 1,71 и 1,60 кг/м^2 соответственно. Содержание йода повышалось в среднем в 4 раза от применения 0,32% раствора KI. Применение йода способствовало увеличению доли вики в составе травосмеси. Коэффициент использования удобрения в оптимальных вариантах с агрономической точки зрения варьировал в пределах 1–2%. А вынос йода с урожаем зеленой массы составил 0,29–7,30 г/га в зависимости от варианта.

Ключевые слова: йод, удобрения, однолетние травы, дерново-подзолистые почвы, некорневая обработка, вынос, коэффициент использования удобрения.

AGRONOMIC EVALUATION OF IODINE APPLICATION ON ANNUAL GRASSES AND ITS CUMULATIVE POTENTIAL IN THE CONTEXT OF A MINERAL FERTILISER SCHEME

Research article

Filippova P.S.[1,] *, Tyukalov Y.A.[2]
[1] ORCID : 0000-0001-9726-8844;
[2] ORCID : 0000-0002-2987-0806;
[1, 2] St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences - NWTSPPO, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (tipolis[at]yandex.ru)

Suggested: 18.01.2026; Accepted: 12.03.2026; Published: 19.03.2026

Abstract

In a microfield two-factor experiment on an annual grass crop, the agronomic efficacy of foliar application of a KI solution was established. The optimal concentrations of the KI working solution were determined to be 0.02% for the unfertilised control and 0.08% and 0.16% for treatments with medium and high fertiliser rates, respectively. Yield increases in these treatments amounted to 0.82, 1.71 and 1.60 kg/m^2 respectively. Iodine content increased on average fourfold following the application of a 0.32% KI solution. The application of iodine contributed to an increase in the proportion of vetch in the grass mixture. The fertiliser utilisation rate in the optimal variants from an agronomic point of view varied between 1–2%. Iodine removal with the green matter yield ranged from 0.29 to 7.30 g/ha, depending on the variant.

Keywords: iodine, fertilisers, annual grasses, sod-podzolic soils, foliar treatment, removal, fertiliser use coefficient.

Введение

В рамках разработки технологий управления продуктивностью сельскохозяйственных культур важными аспектами остаются эффективность и экологичность агроприемов. В этой связи применение минеральных удобрений с комплексом микроэлементов становится перспективным направлением, поскольку способствует не только повышению продуктивности, но и качества сельскохозяйственной продукции [1], обеспечивая продовольственную безопасность страны.

Согласно данным Росстата, рост йододефицитных заболеваний продолжается — с уровня 320,1 случаев заболевания на 100 тысяч человек в 2021 году до уровня 337,3 случаев в 2024 году. Поступление йода в организм человека происходит с пищей, и единственным решением для устранения недостаточного поступления йода становится обогащение продуктов питания. В последние годы были широко описаны преимущества биофортификации сельскохозяйственных культур [2], [3], [4]. Употребление населением сельскохозяйственной продукции с повышенным содержанием йода создает возможности профилактики заболеваний, вызванных йодным дефицитом [5]. В том числе

 © Авторы статьи / Authors of the article

аналогичные задачи стоят и в отрасли животноводства, когда заготовка качественных кормов со сбалансированным питательным составом является залогом высокой продуктивности животных.

Территория Северо-Западного региона России отличается низким содержанием йода в почвах [6] и его доступность подвержена сложной динамике. Она заключается в его фиксации и улетучивании в зависимости от физико-химических характеристик почвы, таких как содержание органического вещества, взаимодействие с другими минералами, почвенного микробиома, pH и окислительно-восстановительного потенциала [7]. Большая часть почвенного йода адсорбируется твердой фазой почвы, но значительные количества могут содержаться в жидкой и газообразной фазе. Из жидкой фазы йод попадает в поверхностные и подземные воды, поглощается корнями растений и испаряется [8].

Последние исследования демонстрируют важную роль йода во многих ключевых процессах метаболизма растений, таких как азотный обмен, фотосинтез, антиоксидантная защита [9], [10], что способствует повышению продуктивности, а также устойчивости к фитопатогенным микроорганизмам и абиотическим стрессам [11], [12], [13].

Поэтому обогащение йодом сельскохозяйственной продукции в настоящее время является актуальной темой исследований и практической задачей. Биообогащение кормовых трав йодом и использование в качестве зеленого корма или силоса могут увеличить концентрацию этого элемента в промежуточных звеньях пищевой цепи.

Целью данного исследования была оценка применения йодсодержащих удобрений для агрономического биообогащения зеленой массы кормовых однолетних трав в условиях минеральной системы удобрения и установление уровня накопления йода и коэффициента использования удобрения.

Методы и принципы исследования

Опыты были заложены на территории питомника ЛПООС (ИАЭП — филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), г. Санкт-Петербург, г. Павловск (Пушкинский район г. Санкт-Петербург) в 2024 году. Почва участка — дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая на моренном суглинке с высоким уровнем окультуренности.

Агрохимические показатели почвы: pH_{KCl} 6,2, P_2O_5 — 1304 мг/кг, K_2O — 269 мг/кг, органическое вещество — 6,6%. Было проведено предпосевное внесение минеральных удобрений в дозе, соответствующей схеме опыта, в виде аммиачной селитры и фосфата калия.

Объектом исследования выступали однолетние травы, представленные вико-овсяной смесью. В опыте возделывались овес посевной (сорт Яков) и вика посевная (сорт Льговская 22). Соотношение в смеси 3:2. Норма высева 180 кг/га. Схема опытов включала в себя два фактора. Фактор А — система минерального удобрения: 1) без удобрений — контроль, 2) $N_{80}P_0K_{100}$, 3) $N_{120}P_0K_{150}$. Фактор Б — однократная некорневая обработка раствором KI различных концентраций (0–0,64%). Йодистый калий применялся в виде водного раствора в дозе 300 л/га. Обработка проводилась в фазу кущения овса.

Площадь опытной делянки каждого варианта 5 м^2, учеты проводились с 1 м^2 в 4-кратной повторности. Размещение вариантов систематическое. Учет урожая проводился 4 июля в фазу цветения вики и колошения овса.

Агрометеорологические условия в период вегетации трав в 2024 году характеризовались средними температурами воздуха, близкими к многолетним значениям, и малым количеством осадков. Поскольку вегетация длилась в мае и июне до укоса и уборки урожая в начале июля, то сумма осадков за период май–июнь составила 70,5 мм, что в 3 раза меньше средних многолетних значений. Средние температуры воздуха составили 10,9 и 15,6 в мае и июне соответственно. Однако поскольку осадки выпадали относительно равномерно, то это позволило растениям не испытывать сильного дефицита влаги и нормально развиваться.

Общее содержание йода в зеленой массе трав было определено роданидно-нитритным методом по ГОСТ 28458-90. Коэффициент использования удобрения (КИУ) рассчитывался по формуле [14]: (Ву-Вк)/Д*100%, где Ву — вынос I с удобренного участка (г/м^2), Вк — вынос I с контрольного участка (г/м^2), Д — доза йодного удобрения (г/м^2).

Статистическая обработка заключалась в расчете НСР по Б.А. Доспехову в программе Excel. На графиках достоверность результатов представлена НСР в виде планок погрешностей.

Основные результаты

Данные опыта на однолетних травах 2024 года показывают, что прибавки от некорневой обработки йодом разных концентраций сопоставимы с прибавками от минеральных удобрений или даже превышают их (табл. 1). Средняя прибавка от применения NPK1 составила 39%, а от NPK2 — 67%. В отличие от опыта 2019 года, здесь не наблюдалось снижения эффективности подкормки с повышением уровня удобренности [15]. Так, средняя прибавка от KI по неудобренному фону составила 54%, по фону NPK1 и NPK2 — 66 и 82% соответственно. Наиболее эффективными были отмечены концентрации раствора KI в диапазоне 0,02–0,08% для вариантов фонов NPK0 и NPK1, а для NPK2 — 0,04–0,64%. Наибольшая абсолютная прибавка была получена при обработке раствором KI 0,08% по фону NPK1 и составила 1,71 кг/м^2. Несколько ниже величина прибавки зеленой массы (1,60 кг/м^2) была установлена по фону NPK2 в варианте с концентрацией KI 0,16%. С повышением уровня минерального питания оптимальная доза йода увеличивалась, что вероятно связано с большей продуктивностью трав и выносом элементов питания. При этом высокий уровень минерального питания позволил получить максимальный урожай и реализовывать стимулирующее влияние йодистого калия. Данный опыт являлся продолжением исследования по изучению влияния йодных микроудобрений в минеральной системе удобрения кормовых трав. Опыт по аналогичной схеме был проведен в 2019 году, его результаты опубликованы в статье Иванова с соавторами [15], где выявленные закономерности подтверждаются в этом опыте. Таким образом, по результатам опыта можно сделать вывод, что уровень удобренности влияет на отдачу от применения йодистого калия в минеральной системе удобрения. Несмотря на то, что урожайность была высокой по фону NPK2 в вариантах с максимальной концентрацией раствора KI, признаки токсичного влияния йода на растения проявлялись в виде симптомов некроза на листьях вики и овса. Поэтому концентрации 0,64 и 0,32% раствора KI для некорневой обработки не рекомендуются к применению.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Таблица 1 - Агрономическая эффективность некорневой обработки раствором KI различной концентрации на примере вико-овсяной смеси

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.67.11.1

Фактор А	Фактор Б, %	Урожайность, кг/м^2	Прибавка, т/га		Прибавка от минеральной системы удобрения		Прибавка от KI	
			кг/м^2	%	кг/м^2	%	кг/м^2	%
NPK0	Контроль	1,12	-	-	-	-	-	-
	0,005	1,37	0,24	22			0,24	22
	0,01	1,58	0,46	41			0,46	41
	0,02	1,95	0,82	73			0,82	73
	0,04	1,93	0,80	72			0,80	72
	0,08	1,70	0,58	52			0,58	52
	0,16	1,70	0,57	51			0,57	51
	0,32	1,88	0,76	67			0,76	67
	0,64	1,75	0,63	56			0,63	56
NPK1	Контроль	1,47	0,34	31	0,34	31	-	-
	0,005	1,58	0,45	40	0,21	15	0,11	7
	0,01	2,42	1,30	116	0,84	53	0,95	65
	0,02	2,23	1,11	98	0,28	15	0,76	52
	0,04	2,90	1,77	158	0,97	50	1,43	97
	0,08	3,18	2,05	183	1,47	87	1,71	117
	0,16	2,40	1,27	113	0,70	41	0,93	63
	0,32	2,46	1,33	119	0,58	31	0,99	68
	0,64	2,30	1,18	105	0,55	31	0,83	57
NPK2	Контроль	1,62	0,49	44	0,49	44	-	-
	0,005	1,89	0,77	68	0,53	38	0,27	17
	0,01	2,95	1,83	163	1,37	87	1,33	82
	0,02	2,97	1,85	165	1,03	53	1,36	84
	0,04	3,00	1,88	167	1,07	56	1,38	85
	0,08	3,09	1,97	175	1,39	81	1,47	91
	0,16	3,21	2,09	186	1,52	89	1,60	99
	0,32	3,24	2,12	189	1,36	72	1,62	100
	0,64	3,23	2,11	188	1,48	85	1,61	100
$НСР_{05}$		1,08			0,82		0,53	

В данном микрополевом опыте было учтено и проанализировано влияние некорневой обработки йодистым калием на развитие растений (табл. 2). Полученные результаты позволяют сделать вывод, что йод и основные минеральные удобрения по-разному влияют на структуру посева. Так, применение минеральных удобрений в отличие от йодистого калия достоверно не влияло на соотношение вики и овса в посеве. Однако йод увеличивал долю вики на 62–139% в зависимости от варианта опыта. Этот эффект был стабильным и достоверным для всех фонов. Также было отмечено, что высота растений вики и их вес преимущественно увеличивались от йода как на фоне внесения средних и высоких доз минеральных удобрений, так и без их внесения. В вариантах без применения минеральных удобрений йод достоверно увеличивал высоту растений овса и их вес в отличие от фонов с удобрениями. Вероятно, из-за стимулирующего влияния йода на растения вики на удобренных фонах, овес уже не выдерживал конкуренцию за элементы питания, так что в результате высота и вес растений овса оставались на уровне контроля. По мере повышения дозы минеральных удобрений влияние йода снижалось на параметры растений. Так, высота растений вики на фоне без внесения удобрений (NPK0) увеличивалась от обработки раствором 0,04% KI на 43%, растений овса — на 48%. На фоне NPK1 увеличение высоты растений под действием йодных обработок (0,04% KI) было отмечено на 31 и 19% соответственно для этих культур, на фоне NPK2 — 16 и 11% соответственно (0,04% KI). Аналогичные закономерности были выявлены по показателю сухой массы растений. Обработка раствором с концентрацией 0,64% KI по фону NPK2 оказала ингибирующее воздействие на вику, наряду с симптомами некроза, сократилась ее доля в посеве и вес растения.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Таблица 2 - Параметры продуктивности растений вики и овса при некорневой обработке раствором KI различной концентрации

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.67.11.2

Вариант		Высота растений, см		Соотношение вики к овсу	Воздушно-сухая масса, г/растение	
Фактор А	Фактор Б, %	Вика	Овес		Вика	Овес
NPK0	Контроль	55,5	36,1	0,72	1,02	0,39
	0,005	60,7	43,9	1,38	0,97	0,30
	0,01	63,7	42,8	1,49	1,03	0,62
	0,02	83,9	48,8	1,72	1,28	0,55
	0,04	79,1	53,3	1,48	1,33	0,60
	0,08	73,0	48,3	1,31	1,30	0,43
	0,16	77,4	52,3	1,48	1,29	0,71
	0,32	73,3	51,4	1,43	1,29	0,55
	0,64	68,2	43,5	1,41	1,15	0,53
NPK1	Контроль	64,3	55,2	0,71	1,52	0,66
	0,005	69,0	58,9	1,17	1,22	0,72
	0,01	75,3	54,7	1,38	1,31	0,54
	0,02	74,0	58,0	1,28	1,12	0,65
	0,04	84,3	65,6	1,28	1,22	0,74
	0,08	87,1	61,4	1,51	1,34	0,62
	0,16	82,6	47,7	1,42	1,39	0,64
	0,32	83,7	56,3	1,45	1,56	0,64
	0,64	79,6	56,8	1,40	1,14	0,68
NPK2	Контроль	70,2	57,1	0,76	1,26	0,84
	0,005	73,6	59,9	1,23	1,32	0,63
	0,01	79,0	56,0	1,41	1,43	0,51
	0,02	81,4	58,9	1,44	1,54	0,90
	0,04	81,6	63,2	1,67	1,45	0,84
	0,08	84,3	58,8	1,50	1,31	0,62
	0,16	85,1	59,0	1,40	1,30	0,71
	0,32	85,8	62,3	1,38	1,57	0,82
	0,64	87,5	57,3	0,85	1,17	0,58
$НСР_{05}$ (А)		25,3	20,5	0,27	0,23	0,22
$НСР_{05}$ (Б)		12,9	11,4	0,16	0,13	0,13

Результаты определения содержания йода в зеленой массе однолетних трав показали положительную зависимость накопления йода от применяемой дозы удобрения за исключением вариантов с применением максимальной концентрации KI 0,64% (рис. 1). Из-за токсичности раствора с данной концентрацией накопление йода было меньше по сравнению с концентрацией 0,32%. Вероятно, в растениях активировались механизмы защиты против токсичного воздействия йода, что препятствовало его накоплению. Однократные некорневые обработки раствором 0,32 % KI позволяли повышать содержание йода в 4,1–4,8 в зависимости от фона, что выражалось величиной в 1350–2145 мкг/кг с.в. Стоит отметить, что возделывание трав на фоне со средними (NPK1) и высокими (NPK2) дозами удобрений позволяло аккумулировать больше йода в массе трав на 40 и 81% соответственно.

 © Авторы статьи / Authors of the article

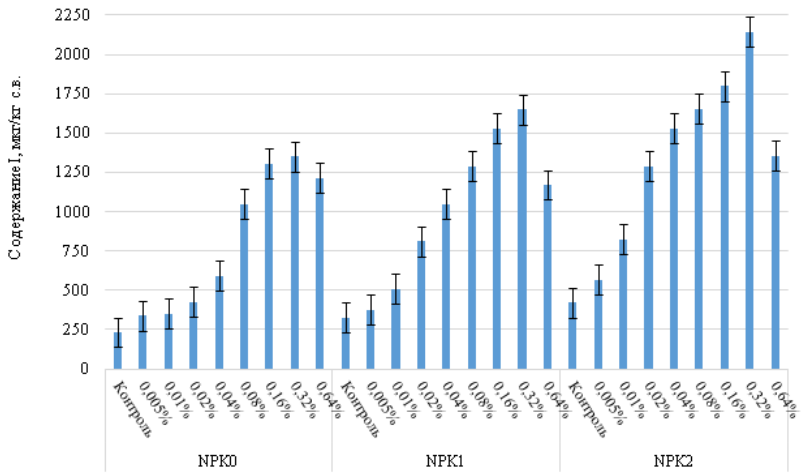

Рисунок 1 - Содержание йода в зеленой массе трав в зависимости от концентрации раствора KI и дозы минерального удобрения
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.67.11.3

По мере повышения уровня удобренности и ростом концентрации рабочего раствора KI увеличивается хозяйственный вынос йода с зеленой массой кормовых трав (рис. 2). И в то же время снижается коэффициент использования элемента питания из удобрения. Коэффициент использования удобрения в данном опыте варьировал от 0,11 до 6,43%. Концентрации KI с максимальным значением КИУ для фонов NPK0, NPK1 и NPK2 составляют 0,005, 0,01 и 0,01% соответственно со значениями 1,46, 2,78 и 6,43%. Из представленных данных следует вывод, что с точки зрения аккумуляции йода в продукции наиболее эффективными можно считать 0,005–0,02% для фона NPK0 и 0,01–0,04% для фонов NPK1 и NPK2. Вынос йода как микроэлемента в целом по опыту очень мал и составляет 0,29–7,30 г/га. На это могут существенно повлиять погодные условия [16], а также генетические особенности возделываемых сортов [17].

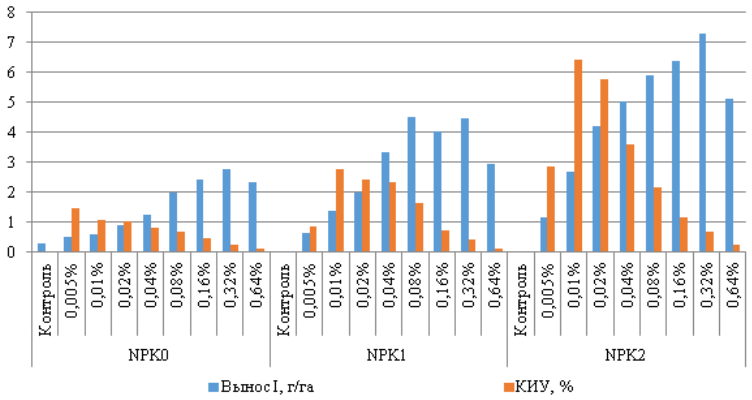

Рисунок 2 - Агрономическая оценка применения йода на однолетних травах в зависимости от уровня минерального питания и концентраций KI
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.67.11.4

Заключение

По результатам опыта были выявлены общие закономерности с данными опыта, проведенного по аналогичной схеме в 2019 году. Так, были подтверждены оптимальные концентрации рабочего раствора KI и тенденция увеличения с повышением уровня удобренности дерново-подзолистой почвы. Однако в данном опыте содержание йода в зеленой массе трав было отмечено как более высокое (как в контрольных вариантах, так и с обработкой) по сравнению с предыдущим исследованием, что может быть связано с почвенными и погодными условиями. Кормовые травы хорошо отзывались на некорневую обработку йодом (в оптимальных концентрациях раствора) в виде прибавок урожайности, а также аккумулировали дополнительно йод, что подтверждает целесообразность применения йодных микроудобрений.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Финансирование

Работа выполнена при поддержке Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук в рамках государственного задания FFZF-2022-0016.

Funding

The work was supported by St Petersburg Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences. This work was carried out as part of a state assignment FFZF-2022-0016.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Спиридонов А.Ю., ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва Российская Федерация

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.67.11.1

Review

Spiridonov A.Y., Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow Russian Federation

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.67.11.1

Список литературы / References

1. Усанова З.И. Продуктивность сортов яровой пшеницы при применении некорневых подкормок / З.И. Усанова, А.Н. Громов, М.Н. Павлов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. — 2024. — № 3 (233). — С. 5–9. — DOI: 10.53083/1996-4277-2024-233-3-5-9
2. Krzepiłko A. Quality of Rye Plants (Secale cereale) as Affected by Agronomic Biofortification with Iodine / A. Krzepiłko, B. Kościk, M. Skowrońska et al. // Plants (Basel). — 2022. — № 12 (1). — P. 100. — DOI: 10.3390/plants12010100
3. Ofori K.F. Improving nutrition through biofortification – A systematic review / K.F. Ofori, S. Antoniello, M.M. English et al. // Frontiers in Nutrition. — 2022. — № 9. — P. 1043655. — DOI: 10.3389/fnut.2022.1043655
4. Ram H. Agronomic biofortification of genetically biofortified wheat genotypes with zinc, selenium, iodine, and iron under field conditions / H. Ram, A. Naeem, A. Rashid et al. // Frontiers in Plant Science. — 2024. — № 15. — P. 1455901. — DOI: 10.3389/fpls.2024.1455901
5. Oztekin Y. Agronomic Biofortification of Plants with Iodine and Selenium: A Potential Solution for Iodine and Selenium Deficiencies / Y. Oztekin, Z. Buyuktuncer // Biological Trace Element Research. — 2025. — № 203 (5). — P. 2899–2910. — DOI: 10.1007/s12011-024-04346-7
6. Ковальский В.В. Микроэлементы в почвах СССР / В.В. Ковальский. — Москва: Наука, 1970. — 180 с.
7. Sheppard M.I. Factors affecting the soil sorption of iodine / M.I. Sheppard, D.H. Thibault, J. Mcmurry et al. // Water, Air, & Soil Pollution. — 1995. — Vol. 83. — № 1–2. — P. 51–67.
8. Ashworth D.J. Transfer of iodine in the soil-plant-air system: solid-liquid partitioning, migration, plant uptake and volatilization / D.J. Ashworth. // Comprehensive handbook of iodine; — Oxford: Academic, 2009. — P. 107–118.
9. Kiferle C. Evidences for a Nutritional Role of Iodine in Plants / C. Kiferle, M. Martinelli, A.M. Salzano et al. // Frontiers in Plant Science. — 2021. — № 12. — P. 616868. — DOI: 10.3389/fpls.2021.616868
10. Rivera-Solís L.L. Tomato Biostimulation with Nanochitosan-Iodine Complexes: Enhancing Antioxidant Metabolism / L.L. Rivera-Solís, H. Ortega-Ortiz, A. Benavides-Mendoza et al. // Plants (Basel). — 2025. — № 14 (5). — P. 801. — DOI: 10.3390/plants14050801
11. Blasco B. Iodine effects on phenolic metabolism in lettuce plants under salt stress / B. Blasco, R. Leyva, L. Romero et al. // Journal of Agricultural and Food Chemistry. — 2013. — № 61 (11). — P. 2591–2596. — DOI: 10.1021/jf303917n
12. Medrano-Macías J. Use of Iodine to Biofortify and Promote Growth and Stress Tolerance in Crops / J. Medrano-Macías, P. Leija-Martínez, S. González-Morales et al. // Frontiers in Plant Science. — 2016. — № 7. — P. 1146. — DOI: 10.3389/fpls.2016.01146
13. Shalaby O.A. Iodine application induces the antioxidant defense system, alleviates salt stress, reduces nitrate content, and increases the nutritional value of lettuce plants / O.A. Shalaby // Functional Plant Biology. — 2025. — № 7. — P. 1146. — DOI: 10.3389/fpls.2016.01146
14. Гусева Ю.Е. Практикум по системе удобрения / Ю.Е. Гусева, А.Н. Налиухин, В.А. Демин. — Москва: РГАУМСХА имени К.А. Тимирязева, 2023. — 136 с.
15. Иванов А.И. Эффективность систем удобрения с применением йода на однолетних травах / А.И. Иванов, П.С. Филиппова, П.А. Филиппов // Агрохимия. — 2021. — № 5. — С. 37–46. — DOI: 10.31857/S0002188121050069
16. Филиппова П.С. Перспективы применения йода в системе удобрения дерново-подзолистых почв на примере картофеля / П.С. Филиппова, П.А. Филиппов, Н.С. Прияткин и др. // Агрохимический вестник. — 2024. — № 3. — С. 36–41. — DOI: 10.24412/1029-2551-2024-3-006
17. Павлов М.Н. Оценка состава и выноса питательных веществ с клубнями антоциансодержащих сортов картофеля в ЦРНЗ РФ / М.Н. Павлов, К.Н. Хомякова, Т.И. Смирнова // Аграрная наука. — 2024. — № 5. — С. 97–101. — DOI: 10.32634/0869-8155-2024-382-5-97-101

Список литературы на английском языке / References in English

1. Usanova Z.I. Produktivnost' sortov yarovoj pshenicy' pri primenenii nekornevy'x podkormok [Productivity of spring wheat varieties under application of foliar treatment] / Z.I. Usanova, A.N. Gromov, M.N. Pavlov // Bulletin of Altai State Agricultural University. — 2024. — № 3 (233). — P. 5–9. — DOI: 10.53083/1996-4277-2024-233-3-5-9 [in Russian]

 © Авторы статьи / Authors of the article

2. Krzepiłko A. Quality of Rye Plants (Secale cereale) as Affected by Agronomic Biofortification with Iodine / A. Krzepiłko, B. Kościk, M. Skowrońska et al. // Plants (Basel). — 2022. — № 12 (1). — P. 100. — DOI: 10.3390/plants12010100

3. Ofori K.F. Improving nutrition through biofortification – A systematic review / K.F. Ofori, S. Antoniello, M.M. English et al. // Frontiers in Nutrition. — 2022. — № 9. — P. 1043655. — DOI: 10.3389/fnut.2022.1043655

4. Ram H. Agronomic biofortification of genetically biofortified wheat genotypes with zinc, selenium, iodine, and iron under field conditions / H. Ram, A. Naeem, A. Rashid et al. // Frontiers in Plant Science. — 2024. — № 15. — P. 1455901. — DOI: 10.3389/fpls.2024.1455901

5. Oztekin Y. Agronomic Biofortification of Plants with Iodine and Selenium: A Potential Solution for Iodine and Selenium Deficiencies / Y. Oztekin, Z. Buyuktuncer // Biological Trace Element Research. — 2025. — № 203 (5). — P. 2899–2910. — DOI: 10.1007/s12011-024-04346-7

6. Koval'skij V.V. Mikroe'lementy' v pochvax SSSR [Trace elements in the soils of the USSR] / V.V. Koval'skij. — Moscow: Nauka, 1970. — 180 p. [in Russian]

7. Sheppard M.I. Factors affecting the soil sorption of iodine / M.I. Sheppard, D.H. Thibault, J. Mcmurry et al. // Water, Air, & Soil Pollution. — 1995. — Vol. 83. — № 1–2. — P. 51–67.

8. Ashworth D.J. Transfer of iodine in the soil-plant-air system: solid-liquid partitioning, migration, plant uptake and volatilization / D.J. Ashworth. // Comprehensive handbook of iodine; — Oxford: Academic, 2009. — P. 107–118.

9. Kiferle C. Evidences for a Nutritional Role of Iodine in Plants / C. Kiferle, M. Martinelli, A.M. Salzano et al. // Frontiers in Plant Science. — 2021. — № 12. — P. 616868. — DOI: 10.3389/fpls.2021.616868

10. Rivera-Solís L.L. Tomato Biostimulation with Nanochitosan-Iodine Complexes: Enhancing Antioxidant Metabolism / L.L. Rivera-Solís, H. Ortega-Ortiz, A. Benavides-Mendoza et al. // Plants (Basel). — 2025. — № 14 (5). — P. 801. — DOI: 10.3390/plants14050801

11. Blasco B. Iodine effects on phenolic metabolism in lettuce plants under salt stress / B. Blasco, R. Leyva, L. Romero et al. // Journal of Agricultural and Food Chemistry. — 2013. — № 61 (11). — P. 2591–2596. — DOI: 10.1021/jf303917n

12. Medrano-Macías J. Use of Iodine to Biofortify and Promote Growth and Stress Tolerance in Crops / J. Medrano-Macías, P. Leija-Martínez, S. González-Morales et al. // Frontiers in Plant Science. — 2016. — № 7. — P. 1146. — DOI: 10.3389/fpls.2016.01146

13. Shalaby O.A. Iodine application induces the antioxidant defense system, alleviates salt stress, reduces nitrate content, and increases the nutritional value of lettuce plants / O.A. Shalaby // Functional Plant Biology. — 2025. — № 7. — P. 1146. — DOI: 10.3389/fpls.2016.01146

14. Guseva Yu.E. Praktikum po sisteme udobreniya [Handbook on the fertilizer system] / Yu.E. Guseva, A.N. Naliukhin, V.A. Demin. — Moscow: Russian State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2023. — 136 p. [in Russian]

15. Ivanov A.I. E'ffektivnost' sistem udobreniya s primeneniem joda na odnoletnix travax [The effectiveness of iodine fertilizer systems on annual grasses] / A.I. Ivanov, P.S. Filippova, P.A. Filippov // Agrochemistry. — 2021. — № 5. — P. 37–46. — DOI: 10.31857/S0002188121050069 [in Russian]

16. Filippova P.S. Perspektivy' primeneniya joda v sisteme udobreniya dernovo-podzolisty'x pochv na primere kartofelya [Prospects for the use of iodine in the fertilization system of sod-podzolic soils in potatoe cultivation] / P.S. Filippova, P.A. Filippov, N.S. Priyatkin et al. // Agrochemical Bulletin. — 2024. — № 3. — P. 36–41. — DOI: 10.24412/1029-2551-2024-3-006 [in Russian]

17. Pavlov M.N. Ocenka sostava i vy'nosa pitatel'ny'x veshhestv s klubnyami antociansoderzhashhix sortov kartofelya v CzRNZ RF [Assessment of the composition and removal of nutrients from tubers of anthocyanin-containing potato varieties in the Central region of the non-Chernozem zone of the Russian Federation] / M.N. Pavlov, K.N. Xomyakova, T.I. Smirnova // Agricultural science. — 2024. — № 5. — P. 97–101. — DOI: 10.32634/0869-8155-2024-382-5-97-101 [in Russian]