

Светлой памяти выдающегося агронома-агрохимика
Владимира Ильича Панасина посвящается

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЙОДА НА ОДНОЛЕТНИХ ТРАВАХ

© 2021 г. А. И. Иванов^{1,2,*}, П. С. Филиппова², П. А. Филиппов¹

¹ Агрофизический научно-исследовательский институт
195220 Санкт-Петербург, Гражданский просп. 14, Россия

² Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения –
Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр РАН
196608 Санкт-Петербург–Пушкин, шоссе Подбельского, 7, лит. А, Россия

*E-mail: ivanovai2009@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.10.2020 г.

После доработки 13.11.2020 г.

Принята к публикации 11.02.2021 г.

В многофакторных микрополевых опытах проведена агроэкологическая оценка некорневой подкормки посева однолетних трав раствором KI в широком диапазоне почвенно-агрохимических условий (степень окультуренности почвы от средней до высокой, дозы NPK от 0 до 180 кг/га). Установлено, что лучшим сроком ее проведения была фаза выхода в трубку овса, оптимальная концентрация раствора KI для опрыскивания посевов трав составляла 0.08% на фоне применения N60P30K90 и 0.16% – на неудобренном и слабоудобренном (N30P30K60) фонах. Это повышало урожайность зеленой массы однолетних трав на 1.30–3.69 т/га или 20–80%, содержание йода в ней – на 0.469–0.672 мг/кг или на 640–730%, снижало концентрацию нитратов на 1120–1460 мг/кг или 55–72%. Отзывчивость однолетних трав на некорневую подкормку KI возрастала до 170% по мере увеличения степени окультуренности почвы и снижалась на 9–65% при применении полного минерального удобрения.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, окультуренность почвы, однолетние травы, система удобрения, йод, некорневая подкормка, качество кормов, урожайность, продуктивность.

DOI: 10.31857/S0002188121050069

ВВЕДЕНИЕ

Специфика почвенно-климатических условий Северо-Западного региона России такова, что основной задачей земледелия является обеспечение крепкой кормовой базы для животноводства [1]. Однако наращивание производства высококачественных, сбалансированных по составу кормов в настоящее время сдерживается совокупностью неблагоприятных факторов. В их числе важное место занимают снижающийся уровень эффективного плодородия дерново-подзолистых почв [2–4], растущие риски погодно-климатических аномалий [5], неудовлетворительное и крайне неоднородное микроэлементное состояние почв [6–8]. В условиях, когда основным фактором оптимизации последнего выступают органические удобрения [9], а среднегодовой уровень их применения сократился до 1–2 т/га, получение по-на-

стоящему высококачественных кормов становится проблематичным.

Особенное, геохимически аномальное положение в этой группе микроэлементов занимает йод. Его дефицит в почвах и природных водах [10–12] негативно сказывается на качестве растениеводческой и животноводческой продукции и, как следствие, на репродуктивной и регуляторной функциях сельскохозяйственных животных [13, 14] и человеческого организма [15–17]. Успешно решить национальную задачу оздоровления населения без всеобъемлющего преодоления последствий геохимической аномалии йодной недостаточности, охватывающей весь северо-западный регион, практически невозможно [16, 17].

Для восполнения недостатка йода сегодня с помощью йодсодержащих компонентов коррек-

тируются рационы питания как человека, так и сельскохозяйственных животных. Доказана положительная роль таких кормовых добавок в укреплении здоровья, повышении репродуктивной функции и увеличении удоев молока коров и коз [18–20]. И все же, несмотря на выраженную очевидность этой проблемы для агрохимической науки, многомасштабные комплексные исследования выполнены к настоящему времени лишь в Калининградской обл. под руководством заслуженного агронома РСФСР, доктора с.-х. наук, профессора В.И. Панасина [21–23]. Их результаты убедительно доказали, что даже приморское расположение региона не гарантирует нормальной обеспеченности почв и сельскохозяйственной продукции йодом. При этом весьма опасно пренебрегать и возможными негативными последствиями, связанными прежде всего с избыточным йодным питанием, которое отделяют от оптимального сотые доли процента концентрации элемента в удобрительных растворах [12, 24].

Цель работы – в комплексном исследовании, в широком диапазоне почвенно-агрохимических условий определить оптимальные концентрации рабочего раствора KI, сроки и кратность некорневых подкормок однолетних трав, а также их агроэкологическую оценку.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Методической базой исследования служил многолетний стационарный полевой опыт “Агрофизический стационар”, развернутый в Меньковском филиале Агрофизического НИИ в Гатчинском р-не Ленинградской обл. в 2006 г. [24, 25]. В условиях этого эксперимента в звене полевого севооборота “картофель – однолетние травы + многолетние травы – многолетние травы” в 2018 г. были заложены 2 микрополевых опыта. В качестве однолетних трав изучали смесевой посев овса (сорт Скаун, 130 кг семян/га) и вики посевной (сорт Вера, 80 кг семян/га). Двухфакторный опыт 1 был спланирован по принципу прецизионного эксперимента и заложен на среднеокультуренной дерново-подзолистой почве с целью поиска оптимальной в диапазоне от 0 до 0.64% концентрации рабочего раствора KI. Схема опыта (фактор А) включала в себя 3 варианта минеральной системы удобрения (контроль – без удобрений, N30P30K60 – NPK-1 и N60P30K90 – NPK-2) и 9 вариантов концентраций рабочего раствора KI (фактор Б) (табл. 1). Опрыскивание посева проводили в фазе выхода в трубку овса. Опыт 2 имел трехфакторную схему и был направлен на поиск оптимальной кратности

обработок йодными микроудобрениями на почвах 3-х видов (фактор А) по степени окультуренности (средне-, хорошо- и высокоокультуренной) с 3-мя аналогичными первому опыту вариантами минеральной системы удобрения (фактор Б). Некорневые подкормки 0.02%-ным раствором KI (фактор В) производили в фазах кущения, выхода в трубку овса, а также двукратно в этих фазах.

Почва опытного участка – дерново-слабоподзолистая пылевато-крупнопесчаная супесчаная на маломощной опесчаненной суглинистой морене, подстилаемой озерно-ледниковым песком и локально – красноцветным моренным песком. В средне-, хорошо- и высокоокультуренном состоянии в пределах пахотного слоя она характеризовалась следующими показателями: pH_{KCl} 5.17, 6.13 и 6.52, содержание гумуса – 2.51, 3.48 и 4.46%, подвижных соединений фосфора – 199, 325 и 364 мг/кг, подвижных соединений калия – 49, 162 и 274 мг/кг и валового йода – 0.94, 1.22, 1.48 мг/кг соответственно. Такая обеспеченность йодом соответствовала крайне недостаточному уровню по классификации, предложенной В.И. Панасиным с соавт. [22].

Площадь опытной делянки в опытах составила 1 м², повторность в опыте 1 – трехкратная, в опыте 2 – шестикратная. Размещение вариантов и повторений систематическое. Минеральные удобрения вносили в форме N_{аа}, АФК и K_x под предпосевную обработку почвы в день посева. Учеты проводили в опытах сплошным весовым методом. Химико-аналитические исследования образцов почвы и зеленой массы однолетних трав были выполнены в ГСАС “Псковская” с использованием стандартизированных методик. Содержание йода в почве было определено роданид-нитритным методом по Проскураковой, в сухой зеленой массе однолетних трав – по ГОСТу 28458-90. Статистическую обработку основных данных проводили дисперсионным, корреляционным и регрессионным методами анализа с использованием программного пакета Statistica.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные в ходе исследования с однолетними травами результаты носили во многих аспектах неожиданный характер, по всей видимости связанный с последствиями для развития культуры весьма вероятной, но необычно продолжительной поздневесенней-раннелетней засухи [5]. Острый недостаток влаги задержал развитие однолетних трав и снизил их продуктивность относительно предшествующих лет [25] в 2.6 раза, а

Таблица 1. Агрonomическая эффективность системы удобрения в опыте 1

Вариант		Урожайность, т/га	Прибавка урожайности					
Фактор А (минеральная система удобрения)	Фактор Б (концентрация раствора КІ)		всего		от минеральной системы удобрения		от КІ	
			т/га	%	т/га	%	т/га	%
Без удобрений	Контроль без удобрений	4.62	–	–	–	–	–	–
	C_{KI}							
	0.005%	5.10	0.49	11	–	–	0.49	11
	0.01%	5.19	0.58	12	–	–	0.58	12
	0.02%	5.98	1.36	30	–	–	1.36	30
	0.04%	6.49	1.87	41	–	–	1.87	41
	0.08%	6.61	1.99	43	–	–	1.99	43
	0.16%	8.30	3.69	80	–	–	3.69	80
	0.32%	7.45	2.84	61	–	–	2.84	61
	0.64%	5.76	1.15	25	–	–	1.15	25
NPK-1	Контроль без удобрений	4.88	0.26	6	0.26	6	–	–
	C_{KI}							
	0.005%	5.33	0.71	15	0.23	4	0.45	9
	0.01%	5.44	0.82	18	0.25	5	0.56	12
	0.02%	5.80	1.19	26	–0.18	–3	0.93	19
	0.04%	6.08	1.46	32	–0.41	–6	1.20	25
	0.08%	6.72	2.11	46	0.11	2	1.85	38
	0.16%	8.22	3.60	78	–0.09	–1	3.34	68
	0.32%	6.88	2.26	49	–0.57	–8	2.00	41
	0.64%	6.55	1.93	42	0.79	14	1.67	34
NPK-2	Контроль без удобрений	6.58	1.96	43	1.96	43	–	–
	C_{KI}							
	0.005%	6.91	2.29	50	1.80	35	0.33	5
	0.01%	6.95	2.34	51	1.76	34	0.37	6
	0.02%	7.24	2.62	57	1.26	21	0.66	10
	0.04%	7.42	2.80	61	0.93	14	0.84	13
	0.08%	7.88	3.27	71	1.27	19	1.30	20
	0.16%	6.20	1.58	34	–2.10	–25	–0.38	–6
	0.32%	5.60	0.98	21	–1.85	–25	–0.98	–15
	0.64%	5.16	0.55	12	–0.60	–10	–1.42	–22
HCP_{05}					0.52		0.68	

Примечание. Вариант NPK-1 – N30P30K60, NPK-2 – N60P30K90. То же в табл. 2.

отдачу от полного минерального удобрения, особенно на среднекультуренной почве – еще значительнее. Применение N30P30K60 в таких условиях оказалось практически неэффективным (табл. 1). Хотя овес положительно отреагировал

на увеличение дозы до N60P30K90 (доля вики в структуре при этом сокращалась с 58 до 31%), абсолютный уровень прибавки урожайности зеленой массы трав был низким. Окупаемость 1 кг д.в. удобрений с трудом достигла 2.1 з.е.

Вопреки ожиданиям действие некорневой подкормки растворами йодистого калия имело более выраженный, чем влияние макроудобрений, физиологический характер. Достоверные прибавки продуктивности трав на всех почвенно-агрохимических фонах опыта были получены при концентрации рабочего раствора KI равной 0.02%. В отличие от картофеля, для которого оптимальная концентрация рабочего раствора находилась в пределах 0.02–0.04% [24], для однолетних трав эта величина достигла 0.16% в вариантах без удобрений и NPK-1 и 0.08% – в варианте NPK-2. Прибавка урожайности зеленой массы трав от некорневой подкормки раствором йодистого калия достигла 80, 68 и 20% соответственно.

По данным корреляционного и регрессионного анализа, как и в случае с картофелем, зависимость между концентрацией рабочего раствора KI (x) и продуктивностью культуры (y) носила практически функциональный прямолинейный характер с уровнем достоверности аппроксимации равном 0.91–0.98: $y = 20.58x + 5.12$ в варианте без удобрений ($R^2 = 0.91$), $y = 19.13x + 5.2$ – в варианте NPK-1 ($R^2 = 0.98$), $y = 14.57x + 6.79$ – в варианте NPK-2 ($R^2 = 0.92$).

Столь высокие, превосходящие по уровню отдачу от полного минерального удобрения прибавки урожайности от применения KI, вероятно, были связаны не столько с физиологической активностью йода, сколько с острой нуждаемостью растений в условиях засухи в усиленном калийном питании. Это положение нашло свое подтверждение в закономерном снижении отдачи от некорневой подкормки по мере роста дозы калия в составе полного минерального удобрения. Абсолютный уровень прибавок урожайности трав в вариантах с оптимальными дозами калия сократился за счет этого фактора в 2.8 раза.

Токсические эффекты от избытка йода были обнаружены при концентрации рабочего раствора KI равной 0.16% в варианте NPK-2 и в 0.32% – в вариантах без удобрений и NPK-1. Безопасная для самих растений концентрация йода в сухом веществе биомассы однолетних трав достигла 0.7 мг/кг (рис. 1а). Превышение этого уровня вызвало общий токсикоз растений, в первую очередь более чувствительной к йоду вики посевной. Внешне он выражался в остановке ростовых процессов за счет ингибирования синтеза белков, антоциановом окрашивании листьев и растущих побегов за счет образования ксантофилоподобных пигментных структур, частичной и полной (к уборке) гибели растений вики.

За счет увеличения концентрации рабочего раствора йодистого калия до 0.16% в данном эксперименте удалось повысить содержание йода в зеленой массе однолетних трав до 7-ми раз (с 0.105 до 0.695 мг/кг). Прямая функциональная зависимость содержания йода (C_1) от концентрации рабочего раствора йодистого калия (C_{KI} или x) имела вид: $C_1 = 0.0994x + 0.082$ при уровне достоверности аппроксимации $R^2 = 0.95$.

В отличие от опыта с картофелем, где подкормка йодом усиливала накопление нитратов в клубнях [24], для однолетних трав эффект был прямо противоположный (рис. 1б). Зависимость от концентрации рабочего раствора (x) при ее повышении до оптимального уровня в 0.16% имела обратно пропорциональный характер: $C_{NO_3^-} = -218.15x + 2052.8$ при уровне аппроксимации $R^2 = 0.91$. Так как установить прямое влияние этого фактора на накопление сырого протеина не удалось (рис. 1в), вероятно, такой эффект мог быть связан с определенными антагонистическими отношениями этих 2-х анионов внутри растительной клетки.

В опыте 2 размах почвенно-агрохимических условий был максимальным (табл. 2). На фоне засухи отзывчивость однолетних трав на окультуривание дерново-подзолистой почвы, вопреки бытующему мнению о их низкой требовательности к уровню почвенного плодородия, оказалась очень высокой. За счет повышения обеспеченности подвижным калием (регулирующим обводненность цитоплазмы клеток) в 3.3 и 5.6 раза, а также полевой влажности почвы в пределах пахотного слоя на 1.72 и 2.23% продуктивность однолетних трав увеличилась на хорошо- и высокоокультуренной почвах на 64 и 210% соответственно. В таких условиях максимальная отдача от полного минерального удобрения, вопреки ожиданиям, была получена на высокоокультуренной почве. Окупаемость 1 кг д.в. удобрений в вариантах NPK-1 и NPK-2 достигла 11.2 и 8.0 з.е., тогда как на хорошоокультуренной почве – 5.7 и 6.3 з.е. соответственно. Естественно, что это стало следствием, в том числе и резкого изменения соотношения между злаковым и бобовым компонентом в пользу первого (с 43 : 57 до 88 : 12).

Выбранная для изучения в опыте 2 концентрация рабочего раствора йодистого калия равная 0.02%, как следовало из данных опыта 1, не была оптимальной в сложившихся погодноклиматических условиях. Вероятно, по этой причине эффективность некорневой подкормки в этом случае носила недостаточно устойчивый характер. Средняя в вариантах урожайность зеленой массы однолетних трав при некорневой подкормке рас-

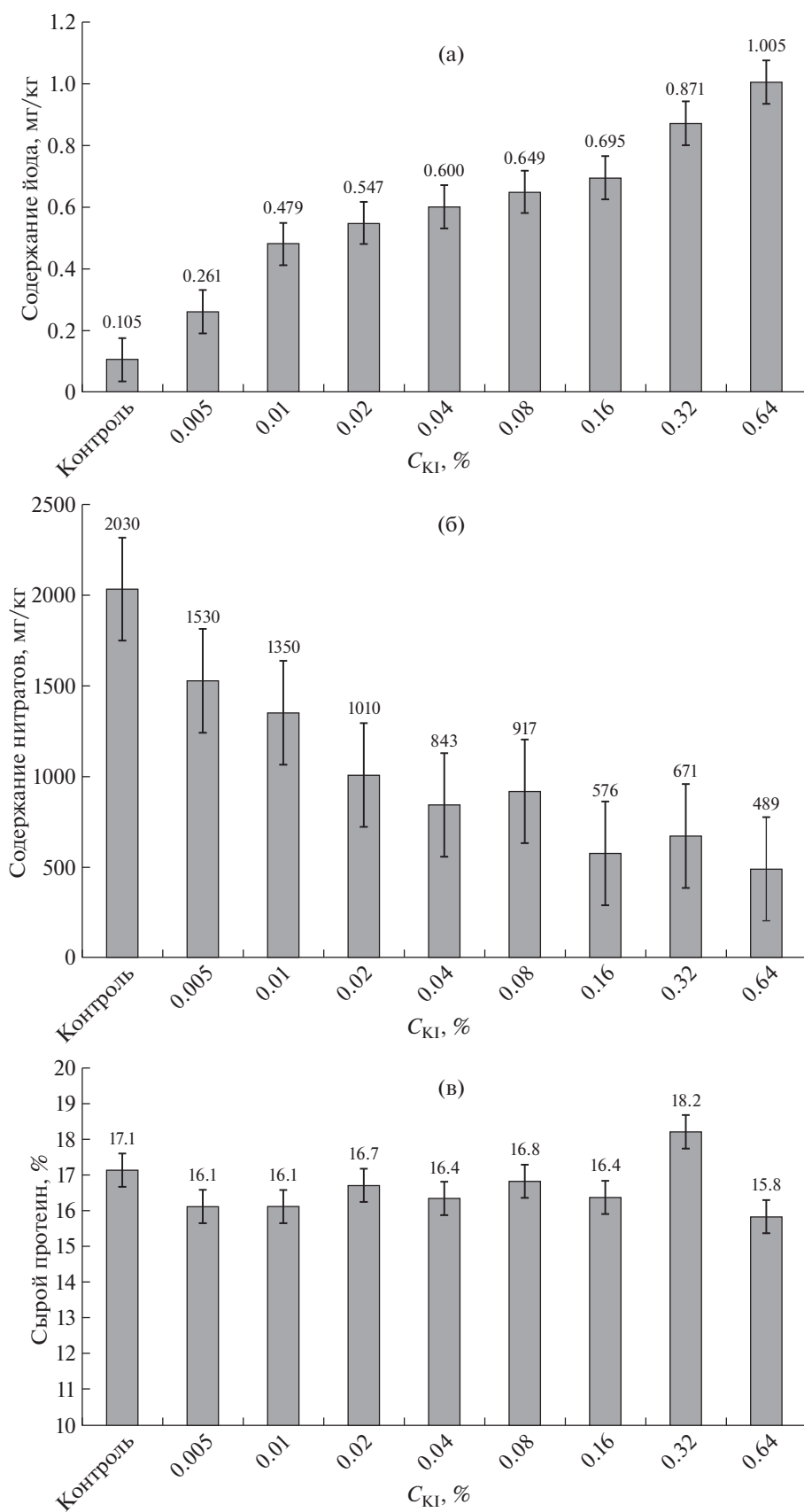


Рис. 1. Зависимость содержания: (а) — йода, (б) — нитратов, (в) — сырого протеина, в сухом веществе зеленой массы однолетних трав от концентрации раствора KI.

Таблица 2. Агрономическая эффективность системы удобрения в опыте 2

Фактор А (окультуренность почвы)		Вариант		Урожайность, т/га	Прибавка урожайности								
фактор А	фактор Б (минеральная система удобрения)	фактор В (подкормка К1 в фазах развития растений овса)	Урожайность, т/га		всего		от окультуривания		от минеральной системы удобрения		от К1		
				т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%
Среднеокультуренный фон	Без удобрений	Контроль без обработки	4.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Кущение	5.9	1.4	31	—	—	—	—	—	—	1.4	31
		Выход в трубку	6.3	1.7	38	—	—	—	—	—	—	1.7	38
		Кущение + выход в трубку	5.3	0.8	17	—	—	—	—	—	—	0.8	17
	НРК-1	Контроль без обработки	5.0	0.5	11	—	—	—	—	—	0.5	11	—
		Кущение	5.7	1.2	26	—	—	—	—	—	-0.2	0.7	14
		Выход в трубку	6.7	2.1	47	—	—	—	—	—	0.4	1.6	32
		Кущение + выход в трубку	6.7	2.2	48	—	—	—	—	—	1.4	1.7	33
	НРК-2	Контроль без обработки	6.5	1.9	42	—	—	—	—	—	1.9	42	—
		Кущение	7.1	2.6	57	—	—	—	—	—	1.2	0.7	11
		Выход в трубку	6.6	2.0	45	—	—	—	—	—	0.3	0.1	2
		Кущение + выход в трубку	6.1	1.5	34	—	—	—	—	—	0.8	-0.4	-6
Хорошо окультуренный фон	Без удобрений	Контроль без обработки	7.4	2.9	64	2.9	64	—	—	—	—	—	—
		Кущение	9.4	4.9	110	3.5	58	—	—	—	—	2.0	26
		Выход в трубку	9.7	5.1	110	3.4	54	—	—	—	—	2.2	30
		Кущение + выход в трубку	8.6	4.1	91	3.4	63	—	—	—	—	1.2	16
	НРК-1	Контроль без обработки	11.2	6.7	150	6.2	120	3.8	51	—	—	—	—
		Кущение	12.0	7.5	170	6.3	110	2.6	28	—	—	0.8	7
		Выход в трубку	12.0	7.5	170	5.3	80	2.3	24	—	—	0.8	7
		Кущение + выход в трубку	10.3	5.7	130	3.6	54	1.6	19	—	—	-1.0	-8

Таблица 2. Окончание

фактор А (окультуренность почвы)	Вариант		Урожай- ность, т/га	Прибавка урожайности							
	фактор Б (минеральная система удобрения)	фактор В (подкормка К1 в фазах развития растений овса)		всего		от окультуривания		от минеральной системы удобрения		от К1	
				т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%
Высококультур- ренный фон	NPK-2	Контроль без обработки	13.7	9.2	200	7.3	113	6.3	84	—	—
		Кущение	14.2	9.7	210	7.1	99	4.8	51	0.5	4
		Выход в трубку	14.7	10.2	230	8.1	120	5.1	52	1.0	7
		Кущение + выход в трубку	13.2	8.7	190	7.2	120	4.6	53	-0.5	-4
	Без удобрений	Контроль без обработки	13.9	9.4	210	9.4	210	—	—	—	—
		Кущение	14.8	10.3	230	8.9	150	—	—	0.9	7
		Выход в трубку	17.4	12.8	280	11.1	180	—	—	3.5	25
		Кущение + выход в трубку	13.0	8.4	190	7.7	150	—	—	-0.9	-7
	NPK-1	Контроль без обработки	21.3	16.8	370	16.3	320	7.5	54	—	—
		Кущение	23.7	19.1	420	17.9	310	8.8	60	2.3	11
		Выход в трубку	24.2	19.7	440	17.6	260	6.9	39	2.9	14
		Кущение + выход в трубку	20.4	15.9	350	13.8	210	7.5	58	-0.9	-4
NPK-2	Контроль без обработки	21.9	17.4	380	15.4	240	8.0	58	—	—	
	Кущение	22.9	18.4	410	15.8	220	8.1	55	1.0	5	
	Выход в трубку	24.9	20.4	450	18.4	280	7.6	44	3.0	14	
	Кущение + выход в трубку	22.0	17.4	390	15.9	260	9.0	70	0.1	0	
НСР ₀₅				0.9		1.5		2.0			

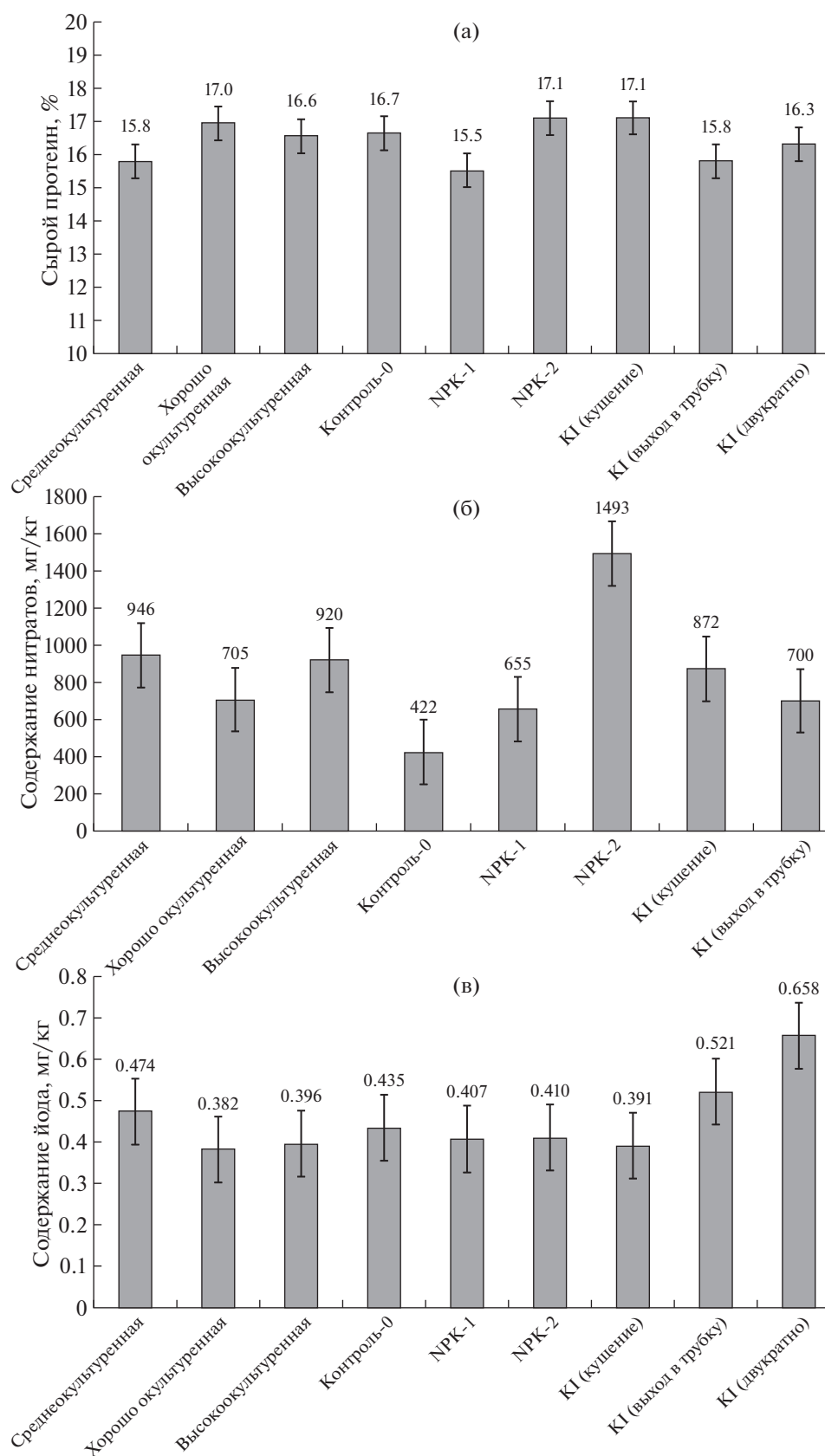


Рис. 2. Зависимость содержания: (а) – сырого протеина, (б) – нитратов, (в) – йода в сухом веществе зеленой массы однолетних трав от почвенно-агрохимических условий и срока применения некорневой подкормки 0.02%-ным раствором К1.

твором КІ в фазе кущения овса характеризовалась лишь тенденцией к увеличению относительно неудобреного йодом фона (11.7 т/га) на 1.1 т/га (на 10%), в фазе выхода в трубку – достоверным увеличением на 1.9 т/га (на 16%), двукратно в обеих фазах – нулевым приростом относительно контроля и достоверным снижением относительно однократной обработки в фазе выхода в трубку. Но даже наиболее эффективный вариант некорневой подкормки однократно в фазе выхода в трубку растений овса позволил повысить продуктивность посева на средне-, хорошо- и высококультуренной почвах всего на 1.2, 1.3 и 3.1 т/га или на 22, 12 и 17% соответственно. Средняя во всех вариантах почвенно-агрохимических условий опыта прибавка урожайности зеленой массы однолетних трав достигла 1.9 т/га (16%), что было в 1.5 раза меньше при подкормке растворами оптимальной концентрации 0.08 и 0.16% КІ в опыте 1 на среднекультуренной почве.

Тем не менее, влияние некорневых подкормок на основные качественные показатели биомассы однолетних трав было вполне ощутимым. Основными факторами изменения содержания сырого протеина в зеленой массе однолетних трав в пределах 0.90–4.73 отн.% были ботанический состав (соотношение бобового и злакового компонентов) и уровень азотного питания, с одной стороны, сокращавший долю вики посевной, с другой стороны, увеличивавший содержание азота в злаковом компоненте (рис. 2а).

Содержание нитратов в зеленой массе однолетних трав в таких условиях практически не зависело от уровня окультуренности почвы (рис. 2б). Под действием азотного компонента полного минерального удобрения в вариантах НРК-1 и НРК-2 оно увеличивалось в среднем на 55 и 350% соответственно. Напротив, как и в опыте 1, некорневая подкормка йодом в фазах кущения и выхода в трубку овса сократила накопление нитратов на 19 и 35% соответственно. Она же имела решающее значение для увеличения в среднем в 3.9–6.6 раза накопления йода в зеленой массе однолетних трав (рис. 2в). При двукратном опрыскивании посева средний уровень накопления йода в надземной биомассе трав приблизился к безопасной пороговой величине 0.7 мг/кг, ставшей критической и в опыте 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе комплексного полевого исследования на культуре однолетних трав (смесь вики посевной и овса посевного) было установлено, что смесь была весьма отзывчива на оптимизацию

питания йодом за счет некорневой подкормки как относительно продуктивности, так и биологической ценности зеленой массы. Оптимальным сроком ее проведения установлена фаза выхода в трубку овса. Оптимальная концентрация раствора йодистого калия для опрыскивания посевов с нормой расхода рабочего раствора 300 л/га составила 0.08% на фоне N60P30K90 и 0.16% – на неудобреном и слабоудобреном (N30P30K60) фонах. При этом повышение урожайности зеленой массы однолетних трав достигало 1.30–3.69 т/га или 20–80%, содержания йода в ней – 0.469–0.672 мг/кг или 640–730%, снижение уровня накопления нитратов – 1120–1460 мг/кг или 55–72%.

Отзывчивость посева однолетних трав на некорневую подкормку раствором йодистого калия в оптимальной концентрации в засушливых условиях уменьшалась на фоне полного минерального удобрения в дозах N30P30K60 и N60P30K90 на 9 и 65%. Напротив, по мере повышения степени окультуренности почвы со средней до высокой, абсолютный уровень прибавок продуктивности культуры от некорневой подкормки раствором 0.02% КІ увеличивался на 170% (с 1.16 до 3.14 т/га). При этом среднее содержание йода в зеленой массе трав удалось повысить на 660% (с 0.100 до 0.658 мг/кг).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Научные основы эффективного использования агроресурсного потенциала Северо-Запада России / Под ред. М.В. Архипова. СПб.–Пушкин, 2018. 135 с.
2. Ефимов В.Н., Иванов А.И. Деградация хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв // Докл. РАСХН. 2001. № 6. С. 21–23.
3. Иванов А.И., Воробьев В.А., Иванова Ж.А. Современные деградационные процессы в хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах // Пробл. агрохим. и экол. 2015. № 3. С. 15–19.
4. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: РАН, 2019. 325 с.
5. Иванов А.И., Конашенков А.А. Снижение зависимости земледелия Северо-Запада России от погодноклиматических аномалий: проблемы и решения // Мелиорат. и водн. хоз-во. 2018. № 5. С. 32–37.
6. Панасин В.И. Избр. научн. тр. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. Т. 2. Биогеохимические аспекты распространения микроэлементов. 199 с.
7. Панасин В.И., Депутатов К.В., Рымаренко Д.А. Эколого-геохимические особенности распределения микроэлементов в почвах Калининградской области // Пробл. агрохим. и экол. 2019. № 3. С. 3–7.
8. Иванов А.И., Конашенков А.А., Хомяков Ю.В., Фоменко Т.Г., Федькин И.А. Оценка параметров пространственной неоднородности показателей поч-

- венного плодородия // *Агрохимия*. 2014. № 2. С. 39–49.
9. *Иванов А.И., Суханов П.А., Дымова Е.А., Воробьев В.А.* Влияние различных систем удобрения на микроэлементный состав дерново-подзолистой почвы // *Агрохимия*. 2010. № 12. С. 3–9.
 10. *Шеуджен А.Х.* Биогеохимия. Майкоп: ГУРИПП “Адыгея”, 2003. 1028 с.
 11. *Кашин В.К.* Биогеохимия, физиология и агрохимия йода. Л.: Наука, 1987. 261 с.
 12. *Панасин В.И.* Избр. научн. тр. / Сост., подготовка текста Д.А. Рымаренко. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. Т. 1: Микроэлементы в земледелии. 209 с.
 13. *Карабаева М.Э.* Проблема йододефицита у животных // *Эффект животноводства*. 2018. № 2. С. 28–29.
 14. *Субботин С.В., Хоштария Е.Е., Смирнова Л.В.* Влияние качества кормов на уровень и полноценность питания коров // *Молочно-хоз. вестн.* 2011. № 4. С. 44–46.
 15. *Дедов И.И.* Дефицит йода – угроза здоровью и развитию детей России: Нац. докл. М.: ЮНИСЕФ, 2006. 124 с.
 16. *Хинталь Т.В.* Дефицит йода и йододефицитные заболевания: актуальность проблемы профилактики и лечение в Российской Федерации // *Terra medica nova*. 2010. № 1. С. 25–28.
 17. *Платонова Н.М.* Йодный дефицит: решение проблемы в мире и России (25-летний опыт) // *Consilium Med.* 2015. № 17 (4). С. 44–50.
 18. *Короткова А.А., Мосолова Н.И., Ковзалов Н.И., Козенко З.Н.* Повышение молочной продуктивности и качества молока для детского питания при использовании в рационах козوماتок органических форм йода и селена // *Изв. Нижневолж. агроуниверситет. компл.* 2011. № 4 (24). С. 1–6.
 19. *Белосов Н.М.* Эффективность использования Гумитона, обогащенного йодом, в рационах высокопродуктивных коров // *Достиж науки и техн АПК*. 2012. № 5. С. 61–63.
 20. *Шалак М.В., Почкина С.Н., Марусич А.Г., Муравьева М.И., Шейграцова Л.Н.* Коррекция продуктивности коров йодсодержащим препаратом “Йодомарин” // *Актуал. пробл. интенсиф. разв. животноводства*. 2019. № 22–2. С. 85–93.
 21. *Панасин В.И., Рымаренко Д.А., Дедков В.П., Саврасова В.А.* Содержание и распространение йода в экосистемах Калининградской области. Калининград: Изд-во Калининград. гос. ун-та, 2002. 115 с.
 22. *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.
 23. *Панасин В.И., Рымаренко Д.А., Вихман М.И., Чечулин Д.С.* Действие йодных микроудобрений на урожай и качество озимого рапса // *Агрохим. вестник*. 2019. № 2. С. 39–41.
 24. *Иванов А.И., Филиппова П.С., Филиппов П.А.* Некоторые возможности управления продуктивностью и качеством картофеля (*Solanum tuberosum* L.) с использованием йода // *Пробл. агрохим. и экол.* 2019. № 4. С. 43–49.
 25. *Филиппов П.А.* Эффективность средств управления продуктивностью культур и плодородием почв в полевом и овоще-кормовом севооборотах // *Пробл. агрохим. и экол.* 2020. № 1. С. 14–19.

Efficiency of the Fertilizer Systems with Iodine on Annual Grasses

A. I. Ivanov^{a, b, #}, P. S. Filippova^b, and P. A. Filippov^a

^a *Agrophysical Research Institute
Grazhdanskiy prosp. 14, St.-Peteburg 195220, Russia*

^b *Northwestern Center for Interdisciplinary Research on Food Security Problems –
Saint Petersburg Federal Research Center of the RAS
shosse Podbelskogo 7, lit. A, Saint Petersburg–Pushkin 196608, Russia*

[#] *E-mail: ivanovai2009@yandex.ru*

In multivariate microfield experiments, an agroecological assessment of non-root top dressing of annual grasses with KI solution was carried out in a wide range of soil and agrochemical conditions (the degree of soil cultivation from medium to high, NPK doses from 0 to 180 kg/ha). It is established that the best period was a phase of booting, oats, optimal concentration of KI solution for spraying herbs amounted to 0.08% on the background of the application N60P30K90 and 0.16% for waste and slobodina (N30P30K60) backgrounds. This increased the yield of the green mass of annual grasses by 1.30–3.69 t/ha or 20–80%, the iodine content in it-by 0.469–0.672 mg kg or 640–730%, reduced the concentration of nitrates by 1120–1460 mg/kg or 55–72%. The responsiveness of annual grasses to non-root top dressing KI increased to 170% as the degree of cultivation of the soil increased and decreased by 9–65% when using a full mineral fertilizer.

Key words: sod-podzolic soil, soil cultivation, single-year grasses, fertilizer system, iodine, foliar top dressing, feed quality, yield, productivity.