

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОТКЛИКА КОРМОВЫХ ТРАВ НА ПРИМЕНЕНИЕ ЙОДА НА АГРОДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ РАЗЛИЧНОЙ ОКУЛЬТУРЕННОСТИ

А.И. ИВАНОВ<sup>1, 2</sup> ✉, М.В. РАК<sup>3</sup>, Ж.А. ИВАНОВА<sup>1</sup>, П.С. ФИЛИПОВА<sup>2</sup>, П.А. ФИЛИППОВ<sup>1</sup>

Северо-Западный регион Российской Федерации находится в условиях геохимической аномалии недостатка йода, что негативно сказывается на урожайности и качестве товарной продукции регионального земледелия и кормов, жизнеспособности и продуктивности сельскохозяйственных животных, здоровье населения. В настоящем исследовании впервые в условиях Ленинградской области мы установили оптимальные концентрации рабочего раствора KI для некорневой подкормки и срок ее проведения на доминирующих в структуре посевных площадей Нечерноземья однолетних и многолетних травах. Нашей целью было изучение биологических особенностей и оценка параметров отзывчивости кормовых трав на изменение концентрации рабочего раствора KI и сроков проведения йодной некорневой подкормки. Исследования проводили в 2018-2021 годах в Меньковском филиале ФГБНУ АФИ (Гатчинский р-н, Ленинградская обл.). Два микрополевых опыта были заложены в системе длительного фундаментального полевого эксперимента «агрофизический стационар» в звене полевого севооборота: картофель—однолетние травы + многолетние травы—многолетние травы 1-го года пользования—многолетние травы 2-го года пользования. Объектом изучения служили смесевые посевы: однолетние травы — овес посевной (*Avena sativa* L.) сорта Скакун и вика посевная (*Vicia sativa* L.) сорта Вера, многолетние травы — клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) сорта Орфей и тимфеевка луговая (*Phleum pratense* L.) сорта Ленинградская 204. Оба опыта имели двухфакторную схему. Фактор А — степень окультуренности супесчаной агродерново-подзолистой почвы (среднеокультуренная, хорошо окультуренная и высокоокультуренная). Схема первого опыта по фактору Б включала девять вариантов концентрации рабочего раствора KI (С<sub>кд</sub>): 0; 0,005; 0,01; 0,02; 0,04; 0,08; 0,16; 0,32 и 0,64 %. Некорневая подкормка однолетних трав проводилась в фазу выхода в трубку овса, многолетних трав — в фазу кушения. Во втором опыте по фактору Б изучали четыре варианта сроков проведения некорневой подкормки трав 0,02 % раствором KI: KI-0 — контроль без подкормки; KI-1 — ранняя подкормка в фазу кушения овса посевного, клевера лугового и тимфеевки луговой; KI-2 — поздняя подкормка в фазу выхода в трубку овса посевного и в фазу ветвления клевера лугового; KI-3 — двукратная подкормка в сроки, соответствующие вариантам KI-1 и KI-2. Урожайность надземной биомассы трав, используемой для приготовления кормов, учитывали сплошным весовым методом (делянка площадью 1 м<sup>2</sup>). Размещение делянок по повторениям и вариантам систематическое. Повторность в первом опыте 3-кратная, во втором — 6-кратная. Проводили химико-аналитическое исследование отобранных почвенных и растительных образцов. В результате краткосрочных полевых экспериментов было установлено, что отзывчивость кормовых трав на применение йодной некорневой подкормки в условиях геохимической аномалии недостатка йода определяется сочетанием погодноклиматических и почвенно-агрохимических условий с биологическими особенностями культур, зависит от сроков проведения опрыскивания и концентрации рабочего раствора. Для однолетних трав более действенным вариантом оказалось опрыскивание в фазу выхода в трубку (урожайность увеличивалась в среднем на 2,49 т/га, или на 29 %;  $p \leq 0,05$ ), тогда как для многолетних трав — в фазу кушения клевера лугового и тимфеевки луговой (прибавка на 3,39 т/га, или на 18 %;  $p \leq 0,05$ ). Оптимальная С<sub>кд</sub> для обработки однолетних трав составила 0,16 % независимо от степени окультуренности почвы, а на многолетних травах на почвах средней, хорошей и высокой окультуренности — соответственно 0,04; 0,08 и 0,16 %. При этом прибавка продуктивности ( $p \leq 0,05$ ) достигла 3,69-9,38 т/га, или 67-80 %, на однолетних травах и 3,91-8,03 т/га, или 22-30 %, — на многолетних. Положительное влияние йода возрастало по мере оптимизации почвенно-агрохимических условий до хорошей и высокой окультуренности на 68 и 128 %. На фоне высокой толерантности к концентрации рабочего раствора токсикоз был обнаружен только при С<sub>кд</sub> 0,32-0,64 %, когда потери урожая достигали 19 %. К избытку йода оказались более чувствительны бобовые виды трав. Снижению токсичности йода в опытах способствовало повышение окультуренности почвы и изменение ботанического состава посевов в пользу злаков. Многолетние травы аккумулировали на 9 % меньше йода, чем однолетние. В вариантах с оптимальной С<sub>кд</sub> содержание йода в надземной биомассе однолетних и многолетних трав удалось увеличить в среднем со 119 и 88 до 766 и 628 мкг/кг, то есть в 6,4 и 7,1 раза. Накопление нитратов, напротив, сократилось ( $p \leq 0,05$ ) на 13 % у однолетних и на 11 % — у многолетних трав. Максимальные параметры аккумуляции йода в зеленой массе однолетних трав составили на среднеокультуренной почве около 600, на

хорошо окультуренной — 900, на высокоокультуренной — 1500 мкг/кг. У менее чувствительных к окультуриванию почвы многолетних трав эта величина практически не зависела от почвенно-агрохимических условий и составляла 900 мкг/кг. Одним из проявлений йодной токсичности стало увеличение содержания нитратов в продукции на 23-33 % ( $p \leq 0,05$ ).

**Ключевые слова:** кормовые травы, однолетние травы, многолетние травы, йод, нитраты, йодные удобрения, агродерново-подзолистая почва, окультуренность, продуктивность.

Повышение качества продукции земледелия — одна из крупнейших фундаментально-прикладных задач современного сельскохозяйственного производства (1, 2). Глобальной проблемой здесь по-прежнему остается недостаток йода, обусловленный геохимическими особенностями его распределения и поведения в окружающей среде. Реализация долгосрочных государственных программ профилактики дефицита йода позволила избавиться от наиболее тяжелых патологий человека, вызываемых хроническим недостатком йода в продуктах питания, но в полной мере не решила проблему ни в России (3, 4), ни в Европейском Союзе (4, 5). К ее обострению, наряду с низким содержанием элемента в почвах и водах, приводят такие факторы, как пространственная неоднородность обеспеченности почв йодом и их локальное загрязнение в Беларуси и России радиоактивным изотопом (6-8), а также ограниченные возможности части населения, преимущественно сельского, в употреблении обогащенных йодом продуктов (9).

Негативные последствия дефицита йода в кормах испытывает и животноводство (10, 11) — основная товарная отрасль сельского хозяйства Нечерноземья (2). Несмотря на то, что в мире накоплен обширный научный материал по вопросам эффективного применения йодных микроудобрений (12-15), в том числе совместно с селеном (15-19), в Северо-Западном регионе России различные аспекты их использования системно изучались только в Калининградской области (20). Было показано, что даже приморское положение региона не позволяет компенсировать обусловленную генезисом недостаточность йода в пахотных почвах.

В результате многомасштабных полевых экспериментов установлено преимущество некорневой подкормки растений йодным микроудобрением перед его внесением в почву (21-23), а также повышенная токсичность и некоторое превосходство йодидной ( $I^-$ ) формы элемента перед йодатной ( $IO_3^-$ ) (24-27). Установлено, что йод в оптимальных концентрациях, взаимодействуя с аминокислотами, белками и ферментами, стимулирует синтез сахаров и белков, ферментативную (пероксидазную и оксидоредуктазную) и антиоксидантную активность растительных клеток (28, 29). Усиливая биосинтез триптофана и его трансаминирование в индолные ауксины, способствующие растяжению клеток меристемы, йод активизирует также и транспорт питательных веществ в растениях (30).

Прямым следствием этого становится усиление продукционного процесса и устойчивости агроценозов к негативным биотическим и абиотическим воздействиям, а также повышение качества товарной продукции в части ее обеспеченности йодом, белком, витаминами, а иногда и сахарами (18, 19, 28). Напротив, избыток йода ингибирует часть ферментов азотного цикла (нитратредуктазу, глутаматдегидрогеназу), тормозит биосинтез белков, в том числе посредством усиленного образования фитогормона этилена, и способствует накоплению нитратов (31, 32). Оптимальная дозировка, аккумуляция в биомассе растений и степень токсичности йода зависят от биологических особенностей культур, сортов и почвенно-агрохимических условий (26, 27, 33, 34).

Несмотря на вполне очевидные теоретические предпосылки, про-

блема улучшения йодного статуса кормовых культур долгие годы игнорировалась региональным научным сообществом. Фактически отсутствуют научные рекомендации по выбору видов, способов, доз и сроков применения йодных микроудобрений на кормовых травах, при том что йодная биофортификация открывает перспективу повышения урожайности трав, их кормовой ценности, продуктивности крупного рогатого скота и качества молочной продукции (11, 30), в которой йод представлен физиологически наиболее ценной для человека комплексной формой с молочным белком казеином (11, 35).

В настоящем исследовании впервые в условиях Ленинградской области мы установили оптимальные концентрации рабочего раствора KI для некорневой подкормки и срок ее проведения на доминирующих в структуре посевных площадей Нечерноземья однолетних и многолетних травах.

Нашей целью было изучение биологических особенностей и оценка параметров отзывчивости кормовых трав на изменение концентрации рабочего раствора KI и сроков проведения йодной некорневой подкормки.

*Методика.* Исследования проводили в 2018–2021 годах в Меньковском филиале ФГБНУ АФИ (Гатчинский р-н, Ленинградская обл.). Два микрополевых опыта были заложены в системе длительного фундаментального эксперимента «агрофизический стационар» в звене полевого севооборота: картофель—однолетние травы + многолетние травы—многолетние травы 1-го года пользования—многолетние травы 2-го года пользования.

Объектом изучения служили смесевые посевы: однолетние травы — овес посевной (*Avena sativa* L.) сорта Скакун (ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка», Россия) и вика посевная (*Vicia sativa* L.) сорта Вера (ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка», ФГБНУ ФНЦ ВИК им. В.Р. Вильямса, Россия), многолетние травы — клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) сорта Орфей (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, Россия) и тимopheевка луговая (*Phleum pratense* L.) сорта Ленинградская 204 (Ленинградский НИИСХ «Белогорка» — филиал ФГБНУ ФИЦ картофеля им. А.Г. Лорха, Россия).

Оба опыта имели двухфакторную схему. Фактор А — степень окультуренности супесчаной агродерново-подзолистой почвы (среднеокультуренная, хорошо окультуренная и высокоокультуренная) за счет длительного применения органических удобрений и извести. Содержание гумуса в пахотном слое — соответственно 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, валового йода — 0,94; 1,22; 1,48 мг/кг, рНкCl 5,12; 5,99 и 6,25.

Схема первого опыта по фактору Б включала девять вариантов концентрации рабочего раствора KI (СкI): 0; 0,005; 0,01; 0,02; 0,04; 0,08; 0,16; 0,32; 0,64 %. Некорневая подкормка однолетних трав проводилась в фазу выхода в трубку овса, многолетних трав — в фазу кущения. Во втором опыте по фактору Б изучали четыре варианта сроков проведения некорневой подкормки трав 0,02 % раствором KI: KI-0 — контроль без подкормки; KI-1 — ранняя подкормка в фазу кущения овса посевного, клевера лугового и тимopheевки луговой; KI-2 — поздняя подкормка в фазу выхода в трубку овса посевного и в фазу ветвления клевера лугового; KI-3 — двукратная подкормка в сроки, соответствующие вариантам KI-1 и KI-2.

Опрыскивание осуществлялось в вечернее время в безветренную погоду с помощью ранцевого опрыскивателя STIHL SG51 («Andreas Stihl AG & Co. KG», Германия) с нормой расхода рабочей жидкости 30 мл/м<sup>2</sup>. Для приготовления рабочего раствора использовался кристаллический KI хч (ОАО «Троицкий йодный завод», Россия).

Урожайность надземной биомассы трав, используемой для приготовления кормов, учитывали сплошным весовым методом с делянки площадью 1 м<sup>2</sup>. Размещение делянок по повторениям и вариантам систематическое. Повторность в первом опыте 3-кратная, во втором — 6-кратная.

Химико-аналитическое исследование отобранных в процессе уборки урожая средних (масса 1-1,2 кг) образцов зеленой массы трав, составленных из 10 индивидуальных проб, осуществляли в 3-кратной повторности с использованием стандартизированных методик (исследование проводили аккредитованные лаборатории ФГБУ ГСАС «Псковская» и ФГБНУ АФИ). Содержание йода в сухой зеленой массе однолетних и многолетних трав определяли по ГОСТ 31660-2012 (М., 2012) инверсионно-вольтамперометрическим методом после сухого озоления и растворения осадка в растворе серной кислоты с использованием Экотест-ВА-йод (ООО «Эконикс-Эксперт», Россия). Содержание нитратов оценивали по ГОСТ 13496.19-2015 (М., 2016) ионометрическим методом после экстракции 1 % раствором алюмокалиевых квасцов с использованием HI98191 («Hanna Instruments», Германия).

Статистическую обработку результатов проводили дисперсионным методом после проверки соответствия выборки закону нормального распределения в программном пакете Statistica 7.0 («StatSoft, Inc.», США). Достоверность различий отклонений оценивали на 5 % уровне значимости по *F*-критерию Фишера. Его результаты в таблицах представлены в форме НСР<sub>05</sub> для каждого фактора и их взаимодействия. В таблицах и на рисунках приведены средние значения показателей (*M*) с доверительным интервалом в виде ошибки средней ( $\pm$ SEM).

*Результаты.* Было показано значительное влияние на продукционный процесс неблагоприятных погодных-климатических условий начала вегетационного периода во все годы исследований. Характерная для региона раннелетняя засуха (2) сократила гидротермический коэффициент в июне, на который у обеих культур приходится наиболее интенсивный период роста, до 0,2-0,7 ед. Особенно сильно пострадали однолетние травы и многолетние травы 1-го года пользования. От критических последствий июньской засухи в 2021 году посев многолетних трав 2-го года пользования уберегло переувлажнение почвы в апреле-мае.

Прямым следствием этого стала не только необычно низкая продуктивность однолетних трав, но и их очень высокая отзывчивость на повышение эффективного плодородия агродерново-подзолистой почвы (табл. 1). За счет оптимизации водного и калийного режимов почвы, контролирующей обводненность цитоплазмы клеток, по мере увеличения окультуренности почвы до хорошей и высокой продуктивность однолетних трав увеличилась соответственно на 59 и 195 % ( $p \leq 0,05$ ). У многолетних трав аналогичные параметры в среднем за 2 года составили 52 и 72 % ( $p \leq 0,05$ ).

На таком критическом погодных-климатическом фоне неожиданно высокой оказалась и отзывчивость однолетних трав на некорневую подкормку раствором йодистого калия — 27 % против 13 % ( $p \leq 0,05$ ) у многолетних трав. Оптимальная СК<sub>д</sub> для однолетних трав составила 0,16 % независимо от степени окультуренности почвы, а на многолетних травах на почвах средней, хорошей и высокой окультуренности — соответственно 0,04; 0,08 и 0,16 %. Оптимальная концентрация рабочего раствора йодистого калия в этом эксперименте оказалась существенно выше, чем ранее на культурах картофеля (34), овса посевного (36) и озимого рапса (37). При этом прибавка продуктивности от некорневой подкормки йодом достигла 3,69-

9,38 т/га, или 67-80 % ( $p \leq 0,05$ ), на однолетних травах и 3,91-8,03 т/га, или 22-30 % ( $p \leq 0,05$ ), — на многолетних травах. Вероятной причиной столь значимого влияния этого приема, наряду с компенсацией недостатка йода в почве, стало наличие в составе микроудобрения калия, играющего одну из ключевых ролей в засухоустойчивости растений. Защитная физиологическая функция самого йода во многом связана с усилением антиоксидантной активности клеточной цитоплазмы за счет стимулирования синтеза глутатиона, аскорбиновой кислоты, а также фенольных соединений и предотвращением окислительной деструкции белков, нуклеиновых кислот и углеводов (25, 38, 39). А.В. Синдиревой с соавт. (36) в вегетационном эксперименте доказано трехкратное увеличение активности каталазы в надземной биомассе овса посевного.

**1. Урожайность однолетних и многолетних трав в зависимости от степени окультуренности агродерново-подзолистой почвы и концентрации рабочего раствора KI (СкI) ( $n = 3$ ,  $M \pm SEM$ , Меньковский филиал ФГБНУ АФИ, Гатчинский р-н, Ленинградская обл., 2019-2020 годы)**

Вариант		Однолетние травы			Многолетние травы		
окультуренность почвы (фактор А)	СкI, % (фактор Б)	урожайность, т/га	прибавка от KI		урожайность, т/га	прибавка от KI	
			т/га	%		т/га	%
Средняя	0	4,62±0,32			17,50±0,79		
	0,005	5,10±0,27	0,49	11	17,79±0,51	0,29	2
	0,01	5,19±0,28	0,58	12	18,64±0,77	1,14	7
	0,02	5,98±0,19	1,36	30	20,39±0,84	2,88	16
	0,04	6,49±0,23	1,87	41	21,42±0,46	3,91	22
	0,08	6,61±0,09	1,99	43	22,28±0,64	4,78	27
	0,16	8,30±0,22	3,69	80	22,38±0,39	4,88	28
	0,32	7,45±0,17	2,84	61	20,07±0,58	2,57	15
	0,64	5,76±0,17	1,15	25	16,94±0,51	-0,57	-3
Хорошая	0	7,36±0,10			26,54±1,10		
	0,005	7,59±0,07	0,23	3	26,86±0,97	0,32	1
	0,01	8,38±0,26	1,02	14	27,79±0,57	1,25	5
	0,02	9,44±0,29	2,08	28	29,51±0,32	2,97	11
	0,04	10,65±0,25	3,29	32	32,65±0,39	6,11	23
	0,08	11,45±0,27	4,09	56	34,43±0,34	7,89	30
	0,16	12,26±0,34	4,90	67	34,80±0,56	8,26	31
	0,32	11,61±0,29	4,25	69	30,74±0,34	4,20	16
	0,64	10,41±0,39	3,05	37	28,26±0,68	1,72	6
Высокая	0	13,65±0,31			30,03±0,71		
	0,005	14,12±0,32	0,47	3	30,29±0,68	0,25	1
	0,01	15,38±0,27	1,73	13	31,38±0,45	1,35	4
	0,02	17,07±0,34	3,42	25	33,40±0,71	3,37	11
	0,04	19,25±0,34	5,60	41	33,77±0,33	3,73	12
	0,08	20,94±0,44	7,31	54	36,62±0,41	6,59	22
	0,16	23,03±0,55	9,38	69	38,06±0,68	8,03	27
	0,32	22,12±0,56	8,47	62	34,55±0,90	4,52	15
	0,64	18,95±0,29	5,30	39	30,72±0,93	0,69	2
НСР <sub>05</sub>							
фактор А		0,31			1,39		
фактор Б		0,53			1,48		
взаимодействие АБ		0,92			$F_{\text{факт.}} < F_{05}$		

Примечание. Однолетние травы — овес посевной (*Avena sativa* L.) сорта Скакун, вика посевная (*Vicia sativa* L.) сорта Вера, многолетние травы — клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) сорта Орфей, тимopheвка луговая (*Phleum pratense* L.) сорта Ленинградская 204.

Положительное влияние йода на обеих культурах заметно увеличилось по мере оптимизации почвенно-агрохимических условий. Прибавка урожайности зеленой массы трав от некорневой подкормки йодом в оптимальной концентрации при переходе от средней к хорошей и высокой степени окультуренности увеличилась соответственно на 33-102 и 105-154 % ( $p \leq 0,05$ ).

В отличие от картофеля, который проявлял острую чувствительность к избытку йода уже при СкI 0,06-0,08 % (34), реакция трав оказалась более пластичной. Острее реагировали на повышение СкI бобовые виды (вика

посевная и клевер луговой), у которых при концентрации 0,64 % обнаруживался краевой некроз листьев, аналогичный описанному P.G. Lawson с соавт. (22). Потери урожая от избытка йода относительно оптимальных вариантов здесь составили в среднем 19 % ( $p \leq 0,05$ ) и оказались сопоставимыми с 20 % снижением урожайности салата и кольраби в экспериментах P.G. Lawson с соавт. (22).

Снижению чувствительности посевов к избытку КІ способствовало повышение окультуренности почвы и связанное с ним изменение их ботанического состава. Так, если на среднеокультуренной почве доля вики посевной в составе биомассы достигала 71-78 %, то на высокоокультуренной — 43-47 %, а доля клевера лугового в урожае многолетних трав распределялась более равномерно — соответственно 76-88 и 69-73 %. Поэтому однолетние травы лучше переносили избыток йода на окультуренных почвах, чем многолетние. Кроме этого, по мнению С.Л. Maskowiak с соавт. (40), за счет обогащенности гуминовыми кислотами окультуренные почвы обладают значительно более высоким потенциалом детоксикации йода, чем менее гумусированные виды почв.

В силу биологической специфики развития по-разному отреагировали культуры и на сроки проведения некорневой подкормки 0,02 % раствором КІ (табл. 2).

**2. Урожайность однолетних и многолетних трав в зависимости от степени окультуренности агродерново-подзолистой почвы и сроков проведения некорневой подкормки КІ ( $n = 6$ ,  $M \pm SEM$ , Меньковский филиал ФГБНУ АФИ, Гатчинский р-н, Ленинградская обл., 2019-2020 годы)**

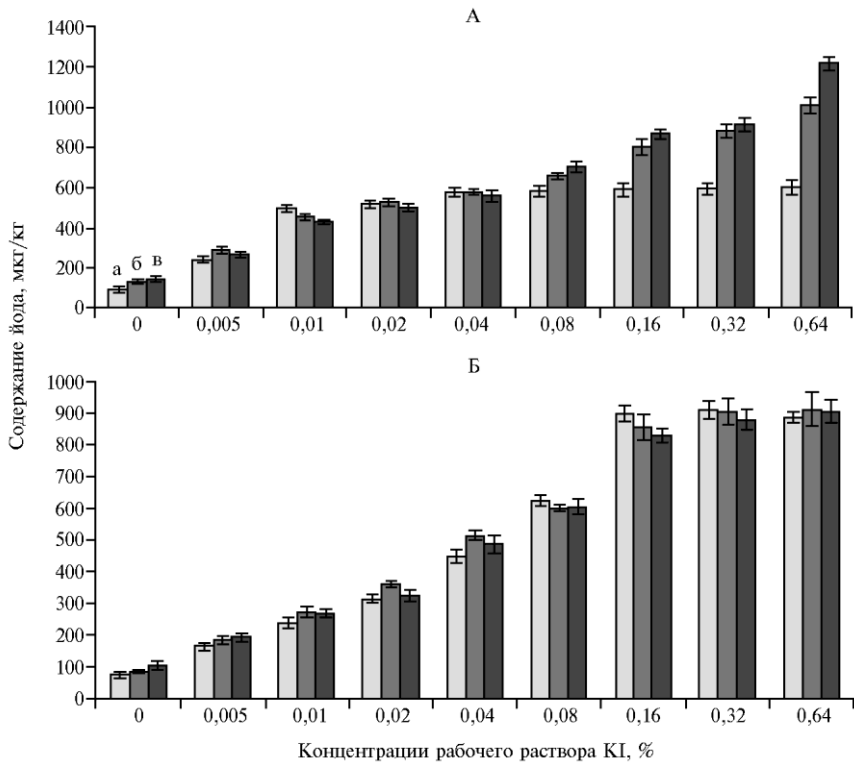
Вариант		Урожайность, т/га	Прибавка урожайности					
окультуренность почвы (фактор А)	срок обработки (фактор Б)		всего		от окультуривания		от КІ	
			т/га	%	т/га	%	т/га	%
		Однолетние травы						
Средняя	КІ-0	4,53±0,18						
	КІ-1	5,94±0,08	1,41	31			1,41	31
	КІ-2	6,27±0,12	1,74	38			1,74	38
	КІ-3	5,29±0,14	0,76	17			0,76	17
Хорошая	КІ-0	7,44±0,12	2,91	64	2,91	64		
	КІ-1	9,39±0,16	4,86	107	3,45	58	1,95	26
	КІ-2	9,65±0,20	5,12	113	3,38	54	2,21	30
	КІ-3	8,64±0,18	4,11	91	3,35	63	1,20	16
Высокая	КІ-0	13,88±0,39	9,35	206	9,35	206		
	КІ-1	14,82±0,11	10,29	227	8,88	149	0,94	7
	КІ-2	17,37±0,19	12,84	283	11,10	177	3,49	25
	КІ-3	12,96±0,15	8,43	186	7,67	145	-0,92	-7
НСР <sub>05</sub>			2,95		0,92		1,97	
		Многолетние травы						
Средняя	КІ-0	15,47±0,35						
	КІ-1	19,97±0,59	4,50	29			4,50	29
	КІ-2	18,90±0,50	3,43	22			3,43	22
	КІ-3	20,50±0,19	5,03	33			5,03	33
Хорошая	КІ-0	19,69±0,37	4,22	27	4,22	27		
	КІ-1	22,78±0,26	7,31	47	2,81	14	3,09	16
	КІ-2	21,48±0,46	6,01	39	2,58	14	1,79	9
	КІ-3	23,28±0,33	7,81	50	2,78	14	3,59	18
Высокая	КІ-0	20,52±0,44	5,05	33	5,05	33		
	КІ-1	23,10±0,16	7,63	49	3,13	16	2,58	13
	КІ-2	21,67±0,65	6,20	40	2,77	15	1,15	6
	КІ-3	23,14±0,39	7,67	50	2,64	13	2,62	13
НСР <sub>05</sub>			1,03		0,52		0,60	

Примечание. Однолетние травы — овес посевной (*Avena sativa* L.) сорта Скакун, вика посевная (*Vicia sativa* L.) сорта Вера, многолетние травы — клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) сорта Орфей, тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.) сорта Ленинградская 204.

Для однолетних трав более благоприятным был поздний вариант опрыскивания в фазу выхода в трубку (увеличение урожайности в среднем на 2,49 т/га, или на 29 %), для многолетних — более ранняя некорневая

подкормка в фазу кушения (прибавка на 3,39 т/га, или на 18 %) ( $p \leq 0,05$ ). Весьма очевидной причиной этого стало слабое развитие растений овса посевного и вики в фазу кушения (проективное покрытие почвы менее 5 %), вследствие чего на растения попала лишь незначительная часть удобрения. В этой же фазе у клевера лугового и тимopheевки луговой проективное покрытие листьями почвы превышало 60 %, что в сочетании с благоприятным водным режимом обеспечило преимущество указанного варианта.

Реакция на повторное опрыскивание также резко различалась. Если у многолетних трав она имела вполне закономерную форму положительной тенденции к увеличению урожая, то у однолетних проявилась весьма заметная токсичность. Найти однозначное объяснение последней с учетом высокой эффективности йода в первом опыте пока не представляется возможным.



**Рис. 1.** Содержание йода в зеленой массе однолетних (овес посевной *Avena sativa* L. сорта Скакун, вика посевная *Vicia sativa* L. сорта Вера) (А) и многолетних трав (клевер луговой *Trifolium pratense* L. сорта Орфей, тимopheевка луговая *Phleum pratense* L. сорта Ленинградская 204) (Б) в зависимости от концентрации рабочего раствора KI на почвах с разной степенью окультуренности: а — среднеокультуренная, б — хорошо окультуренная, в — высокоокультуренная почва ( $n = 3$ ,  $M \pm \text{SEM}$ , Меньковский филиал ФГБНУ АФИ, Гатчинский р-н, Ленинградская обл., 2019-2020 годы).

Обладая высокой физиологической активностью, йод существенно влиял на качество зеленой массы трав, используемой для приготовления кормов. Из девяти изученных показателей (сухое вещество, азот, фосфор, калий, сырой протеин, сырая клетчатка, сырая зола, йод и нитраты) наиболее чувствительными к нему оказались два — содержание йода и нитратов (рис. 1). Как и в опыте В.И. Панасина с соавт. (37), на культуре озимого рапса йод в большей части изученного диапазона доз поглощался поверхностью листьев трав по безбарьерному механизму. В первом опыте была

установлена практически линейная функциональная зависимость содержания йода в зеленой массе многолетних трав вплоть до  $С_{KI}$  0,16 %, однолетних трав на среднеокультуренной почве — до  $С_{KI}$  0,04 %, на хорошо и высокоокультуренной — до  $С_{KI}$  0,32 %. В результате максимальные параметры аккумуляции йода в зеленой массе однолетних трав составили на среднеокультуренной почве около 600, на хорошо окультуренной — 900, на высокоокультуренной — 1200 мкг/кг. У менее чувствительных к окультуриванию почвы многолетних трав эта величина практически не зависела от почвенно-агрохимических условий и составляла 900 мкг/кг. Эти параметры можно принять как предельные, при которых у трав обнаруживаются необратимые токсические реакции (22). Они существенно превысили показатели, ранее достигнутые А.В. Синдиревой с соавт. (36) на культуре овса, что, вероятно, связано со специфическими условиями проведения вегетационного опыта. Однако R. Li с соавт. (12) удалось биофортифицировать плодовоовощную продукцию до содержания йода 1330-4000 мкг/кг, а абсолютный максимум в 10000 мкг/кг был достигнут в исследованиях на плодах томата (41).

В среднем накопление йода в надземной биомассе растений в удобренных вариантах составило 619 мкг/кг у однолетних трав и 557 мкг/кг — у многолетних. Отставание многолетних трав по этому показателю на 9 %, вероятнее всего, было связано с эффектом биологического разбавления в существенно превосходящем урожае последних. В оптимальных по влиянию на продуктивность культур вариантах содержание йода в надземной биомассе однолетних и многолетних трав удалось увеличить в среднем со 119 и 88 до 766 и 628 мкг/кг, то есть в 6,4 и 7,1 раза ( $p \leq 0,05$ ).

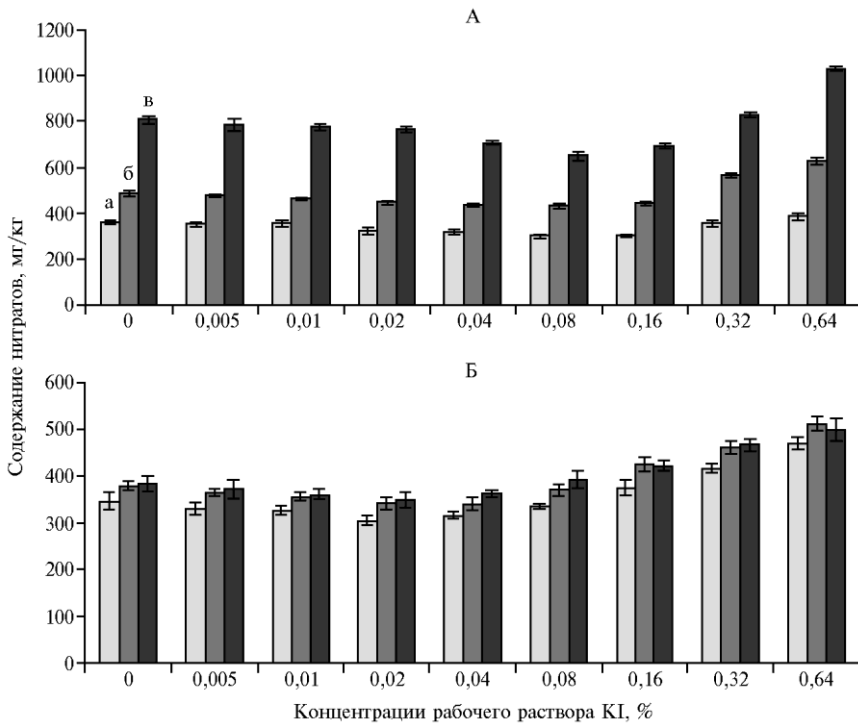
Накопление нитратов в однолетних травах в значительной мере зависело от окультуренности почвы, определяющей ее азотный статус (содержание  $N-NO_3^-$  в пахотном слое средне-, хорошо- и высокоокультуренной почвы в I декаде июня составляло соответственно 19, 32 и 44 мг/кг), и повышалось на хорошо и высокоокультуренной почве на 34 и 122 % ( $p \leq 0,05$ ) (рис. 2). В многолетних травах, где доминировал мало нуждающийся в почвенном азоте клевер луговой, этот показатель реагировал на окультуривание почвы слабо.

Влияние йода на накопление нитратов в биомассе трав носило существенно более сложный характер. Важными факторами здесь выступали разная обеспеченность почвы нитратным азотом, стимулирующий биосинтетический эффект в области малых концентраций рабочего раствора и ингибирующий восстановление нитратов в клетке — в вариантах с высокими значениями  $С_{KI}$  (31, 32). Максимальный эффект снижения аккумуляции нитратов в зеленой массе трав был достигнут при  $С_{KI}$  0,08 % на однолетних травах и при  $С_{KI}$  0,02 % — на многолетних. В среднем по этим вариантам и культурам он достиг 63 мг/кг (с 461 до 398 мг/кг), или 14 %. В вариантах опыта, оптимальных по фактору продуктивности, среднее снижение содержания нитратов достигло 13 % на однолетних и 11 % — на многолетних травах ( $p \leq 0,05$ ). Вероятно, во многом по этой причине в опыте В.И. Панасина с соавт. (37) при концентрации рабочего раствора  $KI$  до 0,1 % обнаруживалось достоверное повышение содержания сырого протеина в зеленой массе озимого рапса.

Повышение концентрации рабочего раствора до максимальных значений вызвало усиление аккумуляции нитратов в биомассе однолетних трав на 128 мг/кг (с 552 до 680 мг/кг), или на 23 %, в зеленой массе многолетних



трав — на 123 мг/кг (с 370 до 493 мг/кг), или на 33 % ( $p \leq 0,05$ ), за счет ингибирования восстановительных ферментов. Сопоставимые по относительному (10–30 %) увеличению содержания нитратов под действием избытка йода данные были получены в экспериментах других исследователей на культурах салата полевого, моркови дикой, шпината огородного (31, 32, 42).

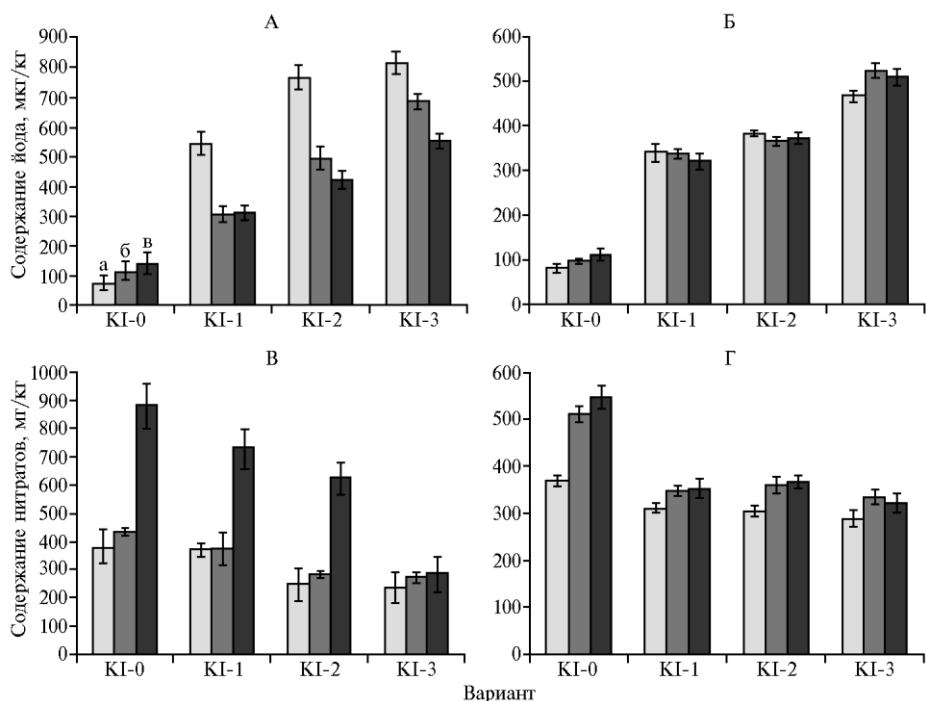


**Рис. 2.** Содержание нитратов в зеленой массе однолетних (овес посевной *Avena sativa* L. сорта Скаун, вика посевная *Vicia sativa* L. сорта Вера) (А) и многолетних трав (клевер луговой *Trifolium pratense* L. сорта Орфей, тимофеевка луговая *Phleum pratense* L. сорта Ленинградская 204) (Б) в зависимости от концентрации рабочего раствора KI на почвах с разной степенью окультуренности: а — среднеокультуренная, б — хорошо окультуренная, в — высокоокультуренная почва ( $n = 3$ ,  $M \pm SEM$ , Меньковский филиал ФГБНУ АФИ, Гатчинский р-н, Ленинградская обл., 2019–2020 годы).

Во втором эксперименте характер влияния почвенно-арохимических условий и йодной некорневой подкормки на изучаемые качественные показатели был во многом аналогичным (рис. 3). Так, применение некорневой подкормки 0,02 % раствором KI в оптимальные сроки повысило содержание йода в зеленой массе однолетних трав в 5,1 раза (со 109 до 561 мкг/кг), многолетних — в 3,4 раза (с 99 до 333 мкг/кг). В отличие от последних, однолетние травы, чутко реагирующие на оптимизацию комплекса свойств почвы при окультуривании, вследствие эффекта биологического разбавления сокращали аккумуляцию йода при переходе от средней степени окультуренности к хорошей и высокой.

С позиций обеспечения лучших условий для закрепления йода в биомассе более эффективными были поздние сроки проведения некорневой подкормки. Оправданным в этом отношении оказалось и двухкратное проведение некорневого опрыскивания трав 0,02 % раствором KI, положительный эффект от которого на хорошо и высокоокультуренных почвах был существенно выше. Лучшие результаты такой вариант применения йодных микроудобрений обеспечил и для снижения содержания нитратов в биомассе трав, особенно на высокоокультуренных агродерново-подзолистых

почвах. Их содержание в зеленой массе удалось снизить на 67 % у однолетних и на 41 % — у многолетних трав ( $p \leq 0,05$ ), что существенно больше значений (18 %), достигнутых ранее как в нашем опыте на картофеле (34), так и на других сельскохозяйственных культурах (31, 32, 42).



**Рис. 3.** Влияние сроков проведения подкормки KI на содержание йода (А, Б) и нитратов (В, Г) в зеленой массе однолетних (овес посевной *Avena sativa* L. сорта Скакун, вика посевная *Vicia sativa* L. сорта Вера) (А, В) и многолетних трав (клевер луговой *Trifolium pratense* L. сорта Орфей, тимофеевка луговая *Phleum pratense* L. сорта Ленинградская 204) (Б, Г) на почвах разной окультуренности: а — среднеокультуренная, б — хорошо окультуренная, в — высокоокультуренная почва ( $n = 6$ ,  $M \pm SEM$ , Меньковский филиал ФГБНУ АФИ, Гатчинский р-н, Ленинградская обл., 2019-2020 годы).

Таким образом, отзывчивость кормовых трав на применение йодной некорневой подкормки в условиях геохимической аномалии недостатка йода определяется сочетанием погодно-климатических и почвенно-агрохимических условий с биологическими особенностями культур и зависит от сроков ее проведения и концентрации рабочего раствора KI. Оптимальным сроком проведения некорневой подкормки раствором йодистого калия на однолетних травах стала фаза выхода в трубку овса, а на многолетних травах — фаза кушения клевера лугового и тимофеевки луговой. При этом урожайность однолетних и многолетних трав увеличилась соответственно на 29 и 18 % ( $p \leq 0,05$ ). Оптимальная концентрация рабочего раствора KI для подкормки однолетних трав не зависела от почвенно-агрохимических условий и достигла 0,16 %. У многолетних трав она составляла 0,04 % на среднеокультуренной, 0,08 % — на хорошо окультуренной, 0,16 % — на высокоокультуренной почве. За счет активизации биопродукционного процесса в этих вариантах урожайность зеленой массы повысилась ( $p \leq 0,05$ ) у однолетних трав на 3,69-9,38 т/га (67-80 %), у многолетних трав — на 3,91-8,03 т/га (22-30 %). Содержание йода в надземной биомассе однолетних и многолетних трав при этом увеличилось ( $p \leq 0,05$ ) в среднем со 119 и 88 до 766 и 628 мг/кг, то есть на 544 и 614 %, а нитратов, напротив, уменьшилось ( $p \leq 0,05$ ) на 11-13 %. Токсическое действие избытка йода, выразив-

шеся в снижении продуктивности культур на 19 % и увеличении содержания нитратов в зеленой массе на 23-33 %, проявлялось при СКИ 0,32-0,64 %. Более чувствительными к нему оказались бобовые компоненты травосмесей — вика посевная и клевер луговой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. *Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечерноземной зоны Российской Федерации до 2030 года. Версия 2.0* /Под ред. С.Г. Митина, А.Л. Иванова. М., 2021.
3. 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.
4. Платонова Н.М., Трошина Е.А. Йодный дефицит: решение проблемы в мире и России (25-летний опыт). *Consilium Medicum*, 2015, 17(4): 44-50.
5. Zimmermann M.B., Andersson M. Prevalence of iodine deficiency in Europe in 2010. *Annales d'Endocrinologie*, 2011, 72(2): 164-166 (doi: 10.1016/j.ando.2011.03.023).
6. Романов С.Л., Червань А.Н., Коробова Е.М., Яблонская Т.С. Особенности проявления йододефицита на территории республики Беларусь. *Доклады национальной академии наук Беларуси*, 2018, 62(6): 739-749 (doi: 10.29235/1561-8323-2018-62-6-739-749).
7. Коробова Е.М. Комплексная оценка эколого-геохимического состояния техногенно трансформированных территорий. *Геохимия*, 2017, 10: 863-874 (doi: 10.7868/S0016752517100065).
8. Федак И.Р., Трошина Е.А. Проблема дефицита йода в РФ и пути её решения в ряде стран мира. *Проблемы эндокринологии*, 2007, 53(5): 40-45.
9. Franke K., Meyer U., Wagner H., Flachowsky G. Influence of various iodine supplementation levels and two different iodine species on the iodine content of the milk of cows fed rapeseed meal or distillers dried grains with solubles as the protein source. *J. Dairy Sci.*, 2009, 92(9): 4514-4523 (doi: 10.3168/jds.2009-2027).
10. Лигомина И.П., Фурман С.В., Лисогурская Д.В. Йодная недостаточность у крупного рогатого скота в условиях техногенного загрязнения окружающей среды. *Ученые записки УО ВГАВМ*, 2018, 54(1): 126-129.
11. Weng H.-X., Liu H.-P., Li D.-W., Ye M., Pan L., and Xia T.-H. An innovative approach for iodine supplementation using iodine-rich phytogetic food. *Environmental Geochemistry and Health*, 2014, 36: 815-828 (doi: 10.1007/s10653-014-9597-4).
12. Li R., Liu H.-P., Hong C.-L., Dai Z.-X., Liu J.-W., Zhou J., Hu C.-Q., Weng H.-X. Iodide and iodate effects on the growth and fruit quality of strawberry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2017, 97(1), 230-235 (doi: 10.1002/jsfa.7719).
13. Duborská E., Urik M., Šeda M. Iodine biofortification of vegetables could improve iodine supplementation status. *Agronomy*, 2020, 10(10): 1574 (doi: 10.3390/agronomy10101574).
14. Lawson P.G., Daum D., Czauderna R., Vorsatz C. Factors influencing the efficacy of iodine foliar sprays used for biofortifying butterhead lettuce (*Lactuca sativa*). *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 2016, 179(5): 661-669 (doi: 10.1002/jpln.201600213).
15. Izydorczyk G., Ligas B., Mikula K., Witek-Krowiak A., Moustakas K., Chojnacka K. Biofortification of edible plants with selenium and iodine — a systematic literature review. *The Science of the Total Environment*, 2020, 754: 141983 (doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141983).
16. Golubkina N., Moldovan A., Kekina H., Kharchenko V., Sekara A., Vasileva V., Skrypnik L., Tallarita A., Caruso G. Joint biofortification of plants with selenium and iodine: new field of discoveries. *Plants*, 2021, 10(7): 1352 (doi: 10.3390/plants10071352).
17. Jerše A., Maršić N.K., Kroflič A., Germ M., Šircelj H., Stibilj V. Is foliar enrichment of pea plants with iodine and selenium appropriate for production of functional food? *Food Chemistry*, 2018, 267: 368-375 (doi: 10.1016/j.foodchem.2018.02.112).
18. Cakmak I., Marzorati M., Van den Abbeele P., Hora K., Holwerda H.T., Yazici M.A., Savasli E., Neri J., Du Laing G. Fate and bioaccessibility of iodine in food prepared from agronomically biofortified wheat and rice and impact of co-fertilization with zinc and selenium. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020, 68(6): 1525-1535 (doi: 10.1021/acs.jafc.9b05912).
19. Smoleń S., Baranski R., Ledwoźyw-Smoleń I., Skoczylas L., Sady W. Combined biofortification of carrot with iodine and selenium. *Food Chemistry*, 2019, 300: 125202 (doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125202).
20. 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: 10.25680/S19948603.2019.106.10).
21. Altinok S., Sozudogru-Ok S., Halilova H. Effect of iodine treatments on forage yields of alfalfa. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2003, 34(1-2): 55-64 (doi: 10.1081/CSS-120017415).
  22. Lawson P.G., Daum D., Czauderna R., Meuser H., Härtling J.W. Soil versus foliar iodine fertilization as a biofortification strategy for field-grown vegetables. *Front. Plant Sci*, 2015, 6: 450 (doi: 10.3389/fpls.2015.00450).
  23. Cakmak I., Prom-u-thai C., Guilherme L.R.G., Rashid A., Hora K., Yazici A., Savasli E., Kalayci M., Tutus Y., Phuphong P., Rizwan M., Martins F.A.D., Dinali G.S., Ozturk L. Iodine biofortification of wheat, rice and maize through fertilizer strategy. *Plant and Soil*, 2017, 418(2): 319-335 (doi: 10.1007/s11104-017-3295-9).
  24. Ojok J., Omara P., Opolot E., Odongo W., Olum S., Gijs D.L., Gellynck X., De Steur H., Ongeng D. Iodine agronomic biofortification of cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) is effective under farmer field conditions. *Agronomy*, 2019, 9(12): 797 (doi: 10.3390/agronomy9120797).
  25. Blasco B., Rios J.J., Cervilla L.M., Sánchez-Rodríguez E., Ruiz J.M., Romero L. Iodine biofortification and antioxidant capacity of lettuce: potential benefits for cultivation and human health. *Annals of Applied Biology*, 2008, 152(3): 289-299 (doi: 10.1111/j.1744-7348.2008.00217.x).
  26. Caffagni A., Arru L., Meriggi P., Milc J., Perata P., Pecchioni N. Iodine fortification plant screening process and accumulation in tomato fruits and potato tubers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2011, 42(6): 706-718 (doi: 10.1080/00103624.2011.550372).
  27. Kato S., Wachi T., Yoshihira K., Nakagawa T., Ishikawa A., Takagi D., Tezuka A., Yoshida H., Yoshida S., Sekimoto H., Takahashi M. Rice (*Oryza sativa* L.) roots have iodate reduction activity in response to iodine. *Front. Plant Sci.*, 2013, 4: 227 (doi: 10.3389/fpls.2013.00227).
  28. Wang L., Zhou X., Fredimoses M., Liao S., Liu Y. Naturally occurring organoiodines. *RSC Advances*, 2014, 4(101): 57350-57376 (doi: 10.1039/C4RA09833A).
  29. Kiferle C., Martinelli M., Salzano A.M., Gonzali S., Beltrami S., Salvadori P.A., Hora K., Holwerda H.T., Scaloni A., Perata P. Evidences for a nutritional role of iodine in plants. *Front. Plant Sci.*, 2021, 12: 616868 (doi: 10.3389/fpls.2021.616868).
  30. Кашин В.К. *Биогеохимия, физиология и агрохимия йода*. Л., 1987.
  31. Blasco B., Rios J.J., Cervilla L.M., Sanchez-Rodriguez E., Rubio-Wilhelmi M.M., Rosales M., Ruiz J.M., Romero L. Photorespiration process and nitrogen metabolism in lettuce plants (*Lactuca sativa* L.): induced changes in response to iodine biofortification. *J. Plant Growth Regul.*, 2010, 29: 477-486 (doi: 10.1007/s00344-010-9159-7).
  32. Smoleń S., Skoczylas Ł., Ledwozyw-Smoleń I., Rakoczy R., Liszka-Skoczylas M., Kopeć A., Piątkowska E., Bieżanowska-Kopeć R., Koronowicz A., Kapusta-Duch J., Sady W. The quality of carrot (*Daucus carota* L.) cultivated in the field depending on iodine and selenium fertilization. *Folia Hort.*, 2016, 28(2): 151-164 (doi: 10.1515/fhort-2016-0018).
  33. Weng H.-X., Weng J.-K., Yan A.-L., Hong C.-L., Yong W.-B., Qin Y.-Q. Increment of Iodine content in vegetable plants by applying iodized fertilizer and the residual characteristics of iodine in soil. *Biol. Trace Elem. Res.*, 2008, 123: 218-228 (doi: 10.1007/s12011-008-8094-y).
  34. Иванов А.И., Филиппова П.С., Филиппов П.А. Некоторые возможности управления продуктивностью и качеством картофеля (*Solanum tuberosum* L.) с использованием йода. *Проблемы агрохимии и экологии*, 2019, 4: 43-49 (doi: 10.26178/АЕ.2019.72.57.010).
  35. Пилипенко Т.В., Пилипенко Н.И. *Формирование качества и потребительских свойств молочных продуктов: монография*. СПб, 2007.
  36. Синдирева А.В., Курдуманова О.И., Степанова О.В., Гилязова И.Б. Влияние различных способов применения йода на рост и химический состав растений овса. *Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ*, 2016, 4(7): 1-6.
  37. 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: 10.24411/0235-2516-2019-10025).
  38. Leyva R., Sánchez-Rodríguez E., Rios J.J., Rubio-Wilhelmi M.M., Romero L., Ruiz J.M., Blasco B. Beneficial effects of exogenous iodine in lettuce plants subjected to salinity stress. *Plant Science*, 2011, 181: 195-202 (doi: 10.1016/j.plantsci.2011.05.007).
  39. Gupta N., Bajpai M., Majumdar R., Mishra P. Response of iodine on antioxidant levels of *Glycine max* L. grown under Cd<sup>2+</sup> stress. *Adv. Biol. Res.*, 2015, 9(1): 40-48 (doi: 10.5829/idosi.abr.2015.9.1.9183).
  40. Mackowiak C.L., Grossl P.R., Cook K. Iodine toxicity in a plant-solution system with and without humic acid. *Plant Soil*, 2005, 269: 141-150 (doi: 10.1007/s11104-004-0401-6).
  41. Kiferle C., Gonzali S., Holwerda H.T., Ibaceta R.R., Perata P. Tomato fruits: a good target for iodine biofortification. *Front. Plant Sci.*, 2013, 4: 205 (doi: 10.3389/fpls.2013.00205).

42. Smoleń S., Sady W. Influence of iodine form and application method on the effectiveness of iodine biofortification, nitrogen metabolism as well as the content of mineral nutrients and heavy metals in spinach plants (*Spinacia oleracea* L.). *Sci. Hortic.*, 2012, 143: 176-183 (doi: 10.1016/J.SCIENTA.2012.06.006).

<sup>1</sup>ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт,

195220 Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский просп., 14,  
e-mail: ivanovai2009@yandex.ru ✉, janatan2022@yandex.ru,  
filpeter1988@bk.ru;

<sup>2</sup>Северо-Западный центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения — обособленное подразделение

ФГБУН Санкт-Петербургский ФИЦ РАН,

196608 Россия, г. Санкт-Петербург—Пушкин, ш. Подбельского, 7,  
e-mail szcentr@bk.ru, tipolis@yandex.ru;

<sup>3</sup>Республиканское научное дочернее унитарное предприятие Институт почвоведения и агрохимии,

220108 Беларусь, г. Минск, ул. Казинца, 90,  
e-mail brissagro@gmail.com

Поступила в редакцию  
21 апреля 2022 года

*Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2022, V. 57, № 3, pp. 486-499

## BIOLOGICAL FEATURES OF THE RESPONSE OF FODDER GRASSES TO THE USE OF IODINE ON AGROSOD-PODZOLIC SOILS OF VARIOUS CULTIVATION LEVELS

A.I. Ivanov<sup>1, 2</sup> ✉, M.V. Rak<sup>3</sup>, Zh.A. Ivanova<sup>1</sup>, P.S. Filippova<sup>2</sup>, P.A. Filippov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Agrophysical Research Institute, 14, Grazhdanskiy prosp., St. Petersburg, 195220 Russia, e-mail ivanovai2009@yandex.ru (✉ corresponding author), janatan2022@yandex.ru, filpeter1988@bk.ru;

<sup>2</sup>St. Petersburg Federal Research Center RAS, North-West Centre of Interdisciplinary Researches of Problems of Food Maintenance, 7, sh. Podbelskogo, St. Petersburg—Pushkin, Russia 196608, e-mail szcentr@bk.ru, tipolis@yandex.ru;

<sup>3</sup>Institute for Soil Science and Agrochemistry, 90, Kasinca st., Minsk, 220108 Belarus, e-mail brissagro@gmail.com

ORCID:

Ivanov A.I. orcid.org/0000-0002-1502-0798

Filippova P.S. orcid.org/0000-0001-9726-8844

Rak M.V. orcid.org/0000-0002-1801-000X

Filippov P.A. orcid.org/0000-0002-2362-8330

Ivanova Zh.A. orcid.org/0000-0002-3138-8285

The authors declare no conflict of interests

Received April 21, 2022

doi: 10.15389/agrobiol.2022.3.486eng

### Abstract

A geochemical anomaly of iodine deficiency the North-Western region of the Russian Federation negatively affects the yield and quality of marketable products of regional agriculture and feed, the viability and productivity of farm animals, and the health of the population. In this study, for the first time in the conditions of the region, the optimal concentration levels of the KI solution for foliar fertilization and the time period of treatment on the annual and perennial grasses dominating in the structure of the acreage of the Non-Chernozem region were established. Our goal was to study the biological characteristics and evaluate the parameters of responsiveness of forage grasses to changes in the concentration of the KI solution and the period of time of iodine foliar treatments. The research was carried out in 2019-2021 in the Menkovo branch of the Agrophysical Institute (Gatchinsky District, the Leningrad Province). Two micro-field experiments were laid down in the system of a long-term fundamental field agrophysical experiment in the field crop rotation link: potatoes—annual grasses + perennial grasses—perennial grasses of the 1st year of use—perennial grasses of the 2nd year of use. The object of the study was mixed crops. Annual grasses were presented by the oat (*Avena sativa* L.) variety Skakun and the garden vetch (*Vicia sativa* L.) variety Vera, perennial grasses were presented by the red clover (*Trifolium pratense* L.) variety Orpheus and the timothy (*Phleum pratense* L.) variety Leningradskaya 204. Both experiments had a two-factor scheme. Factor A is the degree of cultivation of sandy loam agrosod-podzolic soil (medium-cultivated, well-cultivated and highly cultivated). The scheme of the first experiment on factor B included nine variants of the concentration of the KI solution: 0, 0.005, 0.01, 0.02, 0.04, 0.08, 0.16, 0.32, and 0.64 %. Foliar treatments of annual grasses were carried out in the booting stage of oat, perennial grasses were in the tillering stage. In the second experiment, four variants of the time period of foliar treatment with 0.02 % KI solution were studied by factor B: KI-0 — control without treatment; KI-1 — early treatment in the tillering stage of oats, red clover and timothy; KI-2 — late treatment in the booting stage of oat and in the stage of branching of red clover; KI-3 — two-fold treatments in terms corresponding to variants KI-1 and KI-2. The

yield of the aboveground biomass of grasses used for the preparation of feed was counted by a continuous weight method from a 1 m<sup>2</sup> plot. The placement of plots by repetitions and variants was systematic. The repetition in the first experiment was threefold, in the second — sixfold. A chemical-analytical analysis of selected soil and plant samples was carried out. As a result of short-term field experiments, it was found that the responsiveness of forage grasses to the iodine foliar treatment under a geochemical anomaly of iodine deficiency is determined by a combination of weather-climatic and agrochemical soil conditions with biological characteristics of crops and depends on the period of time of treatment and the concentration of the KI solution. For annual grasses, the treatment was more effective in the booting stage of oat (yield increased by an average of 2.49 t/ha, or 29 %;  $p \leq 0.05$ ), whereas for perennial grasses in the tillering stage of red clover and timothy (an increase of 3.39 t/ha, or 18 %;  $p \leq 0.05$ ). The optimal  $C_{KI}$  for the treatment of annual grasses was 0.16 %, regardless of the degree of cultivation of the soil, and of perennial grasses on soils of medium, good and high cultivation was 0.04, 0.08 and 0.16 %, respectively. The increase ( $p \leq 0.05$ ) in productivity reached 3.69-9.38 t/ha, or 67-80 %, for annual grasses and 3.91-8.03 t/ha, or 22-30%, for perennial grasses. The positive effect of iodine increased with the optimization of soil and agrochemical conditions to good and high cultivation by 68 and 128 %. Due to high tolerance to the concentration of the KI solution, toxic effect was detected only at  $C_{KI}$  0.32-0.64 %, when crop losses reached 19 %. Legume types of herbs were more sensitive to the excess of iodine. The reduction of iodine toxicity in the experiments was facilitated by an increase in soil cultivation and a change in the botanical composition of crops with an increase in the proportion of cereals. Perennial grasses accumulated 9 % less iodine than annual ones. In the variants with optimal  $C_{KI}$ , the iodine content in the aboveground biomass of annual and perennial grasses increased on average from 119 and 88 to 766 and 628  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , that is, 6.4-fold and 7.1-fold. The accumulation of nitrates, on the contrary, decreased ( $p \leq 0.05$ ) by 13 % in annual and 11 % in perennial grasses. The maximum level of iodine accumulation in the green mass of annual grasses were about 600 on medium cultivated soil, 900 on well-cultivated soil, and 1500  $\mu\text{g}/\text{kg}$  on highly cultivated soil. In perennial grasses less sensitive to soil cultivation, this value practically did not depend on soil and agrochemical conditions and amounted to 900  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . One of the signs of iodine toxicity was a 23-33 % ( $p \leq 0.05$ ) increase in the content of nitrates in products.

Keywords: fodder grasses, annual grasses, perennial grasses, iodine, nitrates, iodine fertilizers, agrosod-podzolic soil, cultivation, productivity.