

Е.Н. Барсукова¹, ✉
А.Г. Клыков¹,
Е.Л. Чайкина²

¹Федеральный научный центр
агробиотехнологий Дальнего Востока
им. А.К. Чайки, Уссурийск, Россия

²Тихоокеанский институт биоорганической
химии им. Г.Б. Елякова, Дальневосточное
отделение Российской академии наук,
Владивосток, Россия

✉ stud_info87@mail.ru

Поступила в редакцию:
25.06.2023

Одобрена после рецензирования:
14.08.2023

Принята к публикации:
29.08.2023

Elena N. Barsukova¹, ✉
Alexei G. Klykov¹
Elena L. Chaikina²

¹Federal Scientific Center of Agricultural
Biotechnology of the Far East named after
A.K. Chaika, Ussuriysk, Russia

²G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic
Chemistry (Far Eastern Branch of Russian
Academy of Sciences), Vladivostok, Russia

✉ stud_info87@mail.ru

Received by the editorial office:
25.06.2023

Accepted in revised:
14.08.2023

Accepted for publication:
29.08.2023

Селекционная оценка сортообразцов гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench), полученных с использованием ионов меди и цинка

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Использование в селекции гречихи новых направлений — биотехнологических методов, включающих скрининг толерантных к ионам меди и цинку форм — повышает адаптивность генотипов и позволяет получить перспективный исходный материал для селекции.

Методы. Исследования по получению образцов гречихи, толерантных к меди и цинку, и селекционной оценке проведены в ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» в 2020–2022 г. в полевых условиях. Объектом исследования служили 10 образцов, полученных на основе сортов Китавадесоба (Япония), Изумруд (Россия), гибрида Изумруд × Китавадесоба, микропогони и семена которых подвергали воздействию ионов меди и цинка. В качестве стандарта взят районированный сорт Изумруд. Применялся метод клеточно-тканевой селекции *in vitro*, а также проращивание семян в концентрированных растворах солей меди и цинка (*in vivo*).

Результаты. В условиях муссонного климата Приморского края проведено трехлетнее испытание 10 образцов гречихи, полученных при воздействии ионов меди и цинка в культуре *in vitro* и *in vivo*. В результате изучения для дальнейшей селекции отобраны три образца (№ 989, 1013, 783), которые характеризуются комплексом хозяйственно ценных признаков: высокой семенной продуктивностью (6,5–7,1 г), стрессоустойчивостью, генетической гибкостью, высокой массой 1000 семян (37,8–44,8 г), сочетанием высокой массы 1000 ядер (27,4–33,1 г) с низкой пленчатостью (23,3–25,5%), и два образца (№ 997, 1005) с повышенным содержанием рутина в плодах (7,1–7,7 мг / 100 г).

Ключевые слова: гречиха посевная, *Fagopyrum esculentum* Moench, селекция, *in vitro*, *in vivo*, медь, цинк, семенная продуктивность, рутин, технологические показатели

Для цитирования: Барсукова Е.Н., Клыков А.Г., Чайкина Е.Л. Селекционная оценка сортообразцов гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench), полученных с использованием ионов меди и цинка. *Аграрная наука*. 2023; 374(9): 84–89. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-84-89>

© Барсукова Е.Н., Клыков А.Г., Чайкина Е.Л.

Breeding evaluation of the common buckwheat accessions (*Fagopyrum esculentum* Moench) obtained with the use of copper and zinc ions

ABSTRACT

Relevance. Employing new biotechnological methods in the breeding of buckwheat, including the screening of forms with tolerance to copper and zinc ions, might increase the adaptability of genotypes and allow the creation of promising starting material for further breeding.

Methods. The research on common buckwheat with tolerance to copper and zinc ions and breeding evaluation of the obtained accessions were conducted at FSBSI «FSC of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika» in 2020–2023. The research object was 10 accessions obtained from buckwheat varieties Kitavasesoba (Japan) and Izumrud (Russia) and hybrid Izumrud×Kitavasesoba, whose microshoots and seeds were exposed to copper and zinc ions. Released variety Izumrud was used as the standard. The method of cell and tissue culture *in vitro* as well as the germination of seeds in concentrated solutions of copper and zinc salts *in vivo* were employed.

Results. In the conditions of the monsoon climate of Primorsky Krai, a three-year test of 10 buckwheat samples obtained under the influence of copper and zinc ions in culture *in vitro* and *in vivo* was carried out. As a result of the study, three samples were selected for further selection (No. 989, 1013, 783), which are characterized by a complex of economically valuable traits: high seed productivity (6.5–7.1 g), stress resistance, genetic flexibility, high mass of 1000 seeds (37.8–44.8 g), a combination of high mass of 1000 kernels (27.4–33.1 d) with low film content (23.3–25.5%), and two samples (No. 997, 1005) with an increased content of rutin in fruits (7.1–7.7 mg / 100 g).

Key words: common buckwheat, *Fagopyrum esculentum* Moench, breeding, *in vitro*, *in vivo*, copper, zinc, seed productivity, rutin, technological parameters

For citation: Barsukova E.N., Klykov A.G., Chaikina E.L. Breeding evaluation of the common buckwheat accessions (*Fagopyrum esculentum* Moench) obtained with the use of copper and zinc ions. *Agrarian science*. 2023; 374(9): 84–89 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-84-89>

© Barsukova E.N., Klykov A.G., Chaikina E.L.

Введение/Introduction

Гречиха по уровню урожайности существенно уступает другим зерновым культурам, средняя ее урожайность составляет 0,94 т/га [1, 2]. Продуктивность гречихи отличается нестабильностью в связи с тем, что возделываемые сорта характеризуются низкой устойчивостью к неблагоприятным факторам окружающей среды [3]. Перспективным направлением повышения эффективности селекционного процесса является использование современных методов биотехнологии, позволяющих за короткие сроки существенно расширить диапазон изменчивости существующих сортов и создать формы с новыми свойствами и признаками. Значительное место в решении этих задач занимает клеточно-тканевая селекция, основанная на отборе генотипов, устойчивых к селективному фактору, в частности к ионам тяжелых металлов [4–6].

Использование в селекции форм гречихи, толерантных к ионам тяжелых металлов, позволяет повысить адаптивность исходного материала за счет явления сопряженной устойчивости, при которой действие на растения одним видом стресса делает организм более устойчивым и к другим экстремальным факторам¹. Селекция гречихи с применением повышенных концентраций ионов меди и цинка в нашем учреждении проводится с 2006 г. За этот период создано более 70 образцов, один из которых включен в гибридизацию при создании сорта гречихи Уссуричка, районированного в 2021 г. в Дальневосточном регионе [7]. Полученные положительные результаты подтверждают необходимость и перспективность развития данного направления исследований, расширения поиска эффективных концентраций тяжелых металлов для увеличения генетического разнообразия исходного материала гречихи².

Традиционная селекция гречихи направлена на повышение урожайности и технологических качеств зерна, обеспечивающих наибольший выход крупяной продукции при переработке [8]. Крупность семян в меньшей степени зависит от влияния окружающей среды, и вероятность отбора по фенотипу составляет 88% [9], поэтому прямой отбор на крупнозерность достаточно эффективен. По мнению А.В. Амелина с соавторами, роста урожайности гречихи можно достичь как за счет укрупнения семян, так и увеличения их количества. Причем коэффициент корреляции между урожайностью и массой 1000 семян, по их данным, составляет +0,89, что указывает на тесную зависимость этих признаков [10]. Однако важно найти у семян перспективного сорта оптимальное соотношение между крупностью, питательной и технологической ценностью [1].

В селекции гречихи актуальным и приоритетным направлением является выведение сортов с высоким содержанием флавоноидов (рутина) в зерне и надземной части растений [7, 11]. Флавоноиды гречневой крупы предупреждают развитие злокачественных новообразований, предохраняют наш организм от старения и болезней, стимулируют иммунитет [12, 13].

Цель исследования — провести оценку образцов гречихи в полевых условиях, полученных при воздействии повышенных концентраций солей меди и цинка.

Таблица 1. Показатели семенной продуктивности и массы 1000 семян сортообразцов гречихи, полученных при воздействии солей меди и цинка *in vitro* и *in vivo* (СП 2019 г.)
Table 1. Parameters of the seed productivity and 1000 kernel weight of the buckwheat accessions obtained as the result of exposure to copper and zinc salts *in vitro* and *in vivo* (Breeding nursery of 2019)

№	Сорт, сортообразец	Получен при концентрации $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$ ($\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$), мг/л	Продуктивность растений, г $\bar{X} \pm \bar{S}\bar{X}$	Масса 1000 семян, г
763	Изумруд (стандарт, исходный сорт)	0	$2,9 \pm 0,68$	33,0
764	Китавасесоба (исходный сорт)	0	$4,1 \pm 0,99$	32,2
765	Изумруд × Китавасесоба (исходная форма)	0	$3,6 \pm 0,50$	30,5
Образцы получены <i>in vitro</i>				
989	Изумруд × Китавасесоба $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	11,5	$4,1 \pm 0,53$	37,3
997	Изумруд × Китавасесоба $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	115,0	$5,4 \pm 1,12$	33,3
1005	Изумруд × Китавасесоба $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	161,0	$5,2 \pm 0,82$	33,4
1013	Изумруд × Китавасесоба $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	184,0	$3,8 \pm 0,64$	31,1
947	Китавасесоба $\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$	101,0	$5,2 \pm 0,54$	34,8
955	Китавасесоба $\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$	606,0	$6,1 \pm 0,79$	34,7
Образцы получены <i>in vivo</i>				
1030	Изумруд $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	1150	$3,3 \pm 0,34$	33,0
783	Изумруд Cu^{2+} $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	3450	$4,5 \pm 0,67$	40,0
791	Изумруд Cu^{2+} $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	5750	$4,0 \pm 0,64$	41,8
1037	Изумруд $\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$	404	$2,5 \pm 0,31$	36,6

Материалы и методы исследования /

Materials and methods

Исследования по изучению в полевых условиях образцов гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench), толерантных к ионам меди и цинка, проведены в ФГБНУ «ФНЦ агробiotехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» (г. Уссурийск, Россия) в 2020–2022 гг.

Объектом исследования служили 10 образцов, полученных на основе сортов Китавасесоба (Япония), Изумруд (Россия) и гибрида Изумруд × Китавасесоба, краткая характеристика которых по итогам испытания в селекционном питомнике в 2019 г. представлена в таблице 1.

В качестве стандарта использовали районированный сорт Изумруд. Для получения толерантных к меди и цинку образцов гречихи в 2018 г. использовали два подхода. В первом случае применялся метод клеточно-тканевой селекции, при котором микропобеги гречихи культивировали на селективных средах с высокими дозами ионов меди (11,5 мг/л, 115 мг/л, 161 мг/л, 184 мг/л) и цинка (101 мг/л, 606 мг/л) в условиях *in vitro*, во втором — семена проращивали в растворах (*in vivo*) с повышенным содержанием солей меди (1150 мг/л, 3450 мг/л, 5750 мг/л) и цинка (404 мг/л).

¹ Физиологические основы селекции растений / В.А. Драгавцев, Г.В. Удовенко, Н.Ф. Батыгин и др.; ред.: Г.В. Удовенко, В.С. Шевелухи. СПб.: ВИР. 1995; 654 (Теоретические основы селекции. Т. II. Ч. II). ISBN 5-10-002877-7

² Боровая С.А., Клыков А.Г., Барсукова Е.Н., Фисенко П.В. Патент RU 2789885 С1. Способ получения новых генотипов гречихи *in vitro*. Опубликовано 14.02.2023.

Растения-регенеранты и проросшие после обработки семена высаживали в почву для получения семян, далее размноженное семенное потомство изучали в полевых условиях селекционного питомника (СП). Почва опытного участка — лугово-бурая отбеленная, по механическому составу относится к иловато-пылеватым и средним глинам. Пахотный слой почвы — 20–24 см, со сравнительно высоким уровнем плодородия. Опытный участок характеризуется средним гумусовым горизонтом (3,10%), среднекислой pH почвы (4,8), средним содержанием калия (105 мг/кг), высоким значением показателя общего азота (0,24%) и азота легкогидролизуемого (90 мг/кг), низким содержанием подвижных форм фосфора (20 мг/кг). Посев гречихи в селекционном питомнике проводился вручную, площадь делянки — 3,2 м², повторность — однократная.

Климатические условия в период проведения полевых исследований контрастно различались по температурному режиму и количеству выпавших осадков: гидротермический коэффициент (ГТК) в 2020 г. составлял 1,9, в 2021-м — 0,6, в 2022-м — 2,6. Это позволило объективно оценить селекционный материал в полевых испытаниях.

Массу 1000 семян определяли по ГОСТ 12042-80³, показатель пленчатости — по ГОСТ 10843-76⁴. Биохимический анализ на содержание рутина в семенах проводили в Тихоокеанском институте биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН (г. Владивосток, Россия) по методикам М.Н. Запрометова⁵, Kreft *et al.*⁶. Адаптивные свойства селекционных образцов, толерантных к ионам тяжелых металлов, по признакам семенной продуктивности оценивали по параметрам стрессоустойчивости, генетической гибкости⁷. Уровень устойчивости к стрессу определяли по разности между минимальной и максимальной урожайностью ($Y_2 - Y_1$). Этот параметр имеет отрицательный знак, и чем его величина меньше, тем выше стрессоустойчивость образца. Средняя урожайность сортов в контрастных (стрессовых и нестрессовых) условиях ($Y_1 + Y_2/2$) характеризует их генетическую гибкость. Высокие значения этого показателя указывают на большую степень соответствия между генотипом сорта и факторами среды.

Статистическую обработку результатов экспериментов проводили по Б.А. Доспехову⁸ с применением компьютерных программ Microsoft Excel 2010.

Таблица 2. Показатели семенной продуктивности сортообразцов гречихи, полученных при воздействии солей меди и цинка *in vitro* и *in vivo* (СП 2020–2022 гг.)

Table 2. Parameters of the seed productivity of the buckwheat accessions obtained as the result of exposure to copper and zinc salts *in vitro* and *in vivo* (Breeding nursery of 2020–2022)

№ в СП 2022 г.	Сорт, сортообразец	Получен при концентрации $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$, мг/л	Продуктивность растения, г		$\pm$ к стандарту, %	Стрессоустойчивость	Генетическая гибкость
			$\bar{X} \pm S\bar{X}$	lim			
763	Изумруд (стандарт)	0	6,1 $\pm$ 0,47	5,2–6,8	–	-1,6	6,0
Образцы получены <i>in vitro</i>							
989	Изумруд $\times$ Китавадесоба $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	11,5	7,1 $\pm$ 0,30*	6,5–7,7	16,4	-1,2	7,1
997	Изумруд $\times$ Китавадесоба $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	115,0	5,6 $\pm$ 0,86	4,0–6,9	-8,2	-2,9	5,5
1005	Изумруд $\times$ Китавадесоба $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	161,0	5,6 $\pm$ 1,10	4,4–7,9	-8,2	-3,5	6,2
1013	Изумруд $\times$ Китавадесоба $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	184,0	7,1 $\pm$ 0,39*	6,6–7,9	16,4	-1,3	7,3
947	Китавадесоба $\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$	101,0	5,4 $\pm$ 0,58	4,8–6,6	-11,5	-1,8	5,7
955	Китавадесоба $\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$	606,0	5,4 $\pm$ 1,3	3,1–7,5	-11,5	-4,4	5,3
Образцы получены <i>in vivo</i>							
1030	Изумруд $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	1150,0	5,3 $\pm$ 0,45	4,8–5,7	-13,1	-0,9	6,3
783	Изумруд $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	3450,0	6,5 $\pm$ 0,45	6,0–6,9	6,6	-0,9	6,4
791	Изумруд $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	5750,0	5,9 $\pm$ 1,6	4,3–9,1	-3,3	-4,8	6,7
1037	Изумруд $\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$	404,0	6,6 $\pm$ 0,64*	5,6–7,8	8,2	-2,2	6,7
	$\bar{X} \pm S\bar{X}$		6,05 $\pm$ 0,2				
	V, %		11,1				

Примечание: * Различия достоверны при $p < 0,05$ в сравнении со стандартом, *in vitro* — растения-регенеранты получены в результате культивирования микропобегов на среде с сульфатом меди или цинка, *in vivo* — растения получены в результате проращивания семян в растворах сульфата меди или цинка.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Анализ результатов показал, что наибольшей устойчивостью к стрессу и способностью формировать стабильную продуктивность в различных климатических условиях характеризуются образцы № 783 (-0,9), 989 (-1,2), 1013(-1,3), толерантные к ионам меди (табл. 2).

Продуктивность семян двух образцов гречихи (№ 989 и 1013), полученных при добавлении в селективную среду повышенных доз сульфата меди в условиях *in vitro*, превысила показатели сорта стандарта Изумруд на 16,4% и составила 7,1 г с растения. Среди образцов, толерантных к повышенным концентрациям цинка и меди, полученных *in vivo*, превышение по продуктивности (на 8,2%) отмечено у сортообразца № 1037 (6,6 г) и (на 6,6%) № 783 (6,5 г). Образцы № 989 и 1013 показали также наибольшую генетическую гибкость, что указывает на высокое соответствие между данными генотипами и факторами среды. Важно отметить тот факт, что повышенная устойчивость к стрессу и генетическая гибкость проявлялись у образцов, созданных при воздействии солей меди и цинка как в культуре *in vitro*, так и *in vivo*.

³ ГОСТ 12042-80 Семена сельскохозяйственных культур. Метод определения массы 1000 семян.

⁴ ГОСТ 10843-76 Зерно. Метод определения пленчатости.

⁵ Запрометов М.Н. Фенольные соединения: распространение, метаболизм и функции в растениях. М.: Наука. 1993; 272.

⁶ Kreft S., Strukelj B., Gaberscik A., Kreft I. Rutin in buckwheat herbs grown at different UV-B radiation levels: comparison of two UV spectrophotometric and an HPLC method. Journal of Experimental Botany. 2002; 53(375): 1801–1804. <https://doi.org/10.1093/jxb/erf032>

⁷ Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. Вестник Россельхозакадемии. 2005; (6): 49–53.

⁸ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Альянс. 2014; 351.

Образцы гречиши, полученные в результате воздействия высоких концентраций ионов меди и цинка, отличались крупным зерном, среднее значение массы 1000 семян у изученных образцов — 39,6 г (при изменчивости от 35,7 до 44,8 г) (коэффициент вариации — 5,9%) (табл. 3).

Достоверное превышение по крупности семян по сравнению с сортом стандартом Изумруд выявлено у двух образцов (№ 989 и 955), полученных на селективных средах *in vitro*, а также у трех (№ 783, 791 и 1037), полученных *in vivo*.

Показателями технологических свойств зерна гречиши, кроме массы 1000 семян и крупности, являются также пленчатость, выход крупы и ядра. Опытные сортообразцы № 997, 1013, 947, 1037 относятся к среднеспелчатым (20,1–24,9%), остальные — к толстопленчатым (25% и выше) (табл. 3). По данным Ф.З. Кадыровой [14], увеличение крупности семян часто сопровождается и увеличением доли пленчатости. Доля плодовой оболочки у сортов также увеличивается в годы проявления неблагоприятных климатических условий в процессе вегетации, что связано с адаптивными свойствами сорта, поэтому наличие большого количества среди опытных образцов толстопленчатых как раз может быть связано с повышением их адаптивности к климатическим условиям муссонного климата Приморского края.

Для крупяного производства наибольшее значение имеет показатель массы 1000 ядер [14]. Между крупностью семян, выравненностью и выходом ядрицы отмечена прямая тесная связь ($r = 0,72-0,79$) [15]. В исследовании между признаками «масса 1000 семян» и «масса 1000 ядер» установлена средняя корреляционная зависимость ($r = 0,66$). В среднем значение показателя «масса 1000 ядер» у изучаемых сортообразцов составило 28,9 г при низкой изменчивости (коэффициент вариации — 8,3%). Значение показателя массы 1000 ядер сорта Изумруд превысили девять образцов, в том числе пять, созданных в культуре *in vitro*, и четыре — *in vivo* (табл. 2). Максимальное превышение данного показателя по отношению к стандарту отмечено у образцов № 783 (32,9%), № 1037 (26,9%), № 791 (22,9%), полученных при проращивании семян в растворах сульфата меди и цинка (*in vivo*).

В последние годы селекционерами выведены крупноплодные сорта гречиши, которые при переработке зерна в крупу требуют совершенствования технологии, предназначенной для зерна меньшего размера. Уменьшение потерь на стадии шелушения и увеличения выхода целого ядра повысит прибыль и рентабельность переработки зерна гречиши, улучшит качество [8, 16].

В таблице 4 представлены результаты содержания рутина в плодах гречиши. Значение данного показателя находилось в пределах 2,8–7,7 мг /100 г, наблюдалась

Таблица 3. Оценка сортообразцов гречиши по технологическим параметрам качества семян
Table 3. Evaluation of the studied buckwheat accessions for the technological properties of seeds

№ СП 2022 г.	Сорт, сортообразец	Получен при концентрации $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$ ($\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$), мг/л	Масса 1000 семян, г		$\pm$ к стандарту, %	Масса 1000 ядер, г	$\pm$ к стандарту, %	Пленчатость, %
			$\bar{X} \pm s\bar{X}$	lim				
763	Изумруд (стандарт)	0	$38,0 \pm 1,1$	36,5–40,2	–	24,9	–	23,4
Образцы получены <i>in vitro</i>								
989	Изумруд $\times$ Китаваесособа $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	11,5	$40,4 \pm 1,2^*$	38,0–42,0	6,3	29,6*	18,9	28,0*
997	Изумруд $\times$ Китаваесособа $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	115,0	$38,2 \pm 2,0$	34,8–41,9	0,5	27,9*	16,8	23,7
1005	Изумруд $\times$ Китаваесособа $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	161,0	$39,3 \pm 2,3$	36,4–43,8	3,4	27,0	8,4	28,1*
1013	Изумруд $\times$ Китаваесособа $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	184,0	$37,8 \pm 1,6$	35,0–40,5	-0,5	30,1*	20,9	23,3
947	Китаваесособа $\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$	101,0	$35,7 \pm 2,3$	31,1–38,8	-6,0	27,4*	10,0	23,8
955	Китаваесособа $\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$	606,0	$40,6 \pm 1,3^*$	37,9–42,0	6,8	28,3*	13,6	31,5*
образцы получены <i>in vivo</i>								
1030	Изумруд $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	1150	$39,8 \pm 0,9$	38,8–40,8	4,7	29,9*	20,0	26,7*
783	Изумруд $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	3450	$44,8 \pm 1,4^*$	43,4–46,3	17,9	33,1*	32,9	25,5
791	Изумруд $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	5750	$40,3 \pm 1,4^*$	37,8–42,6	6,0	30,6*	22,9	29,3*
1037	Изумруд $\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$	404	$40,9 \pm 0,9^*$	39,4–42,7	7,6	31,6*	26,9	25,4
$\bar{X} \pm s\bar{X}$			$39,6 \pm 0,7$			$28,9 \pm 0,7$		$26,2 \pm 0,8$
V, %			5,9			8,3		9,9

Примечание: * Различия достоверны при $p < 0,05$ в сравнении со стандартом.

Таблица 4. Содержание рутина в плодах образцов, полученных в результате воздействия ионов меди и цинка (СП 2022 г.)
Table 4. Rutin content in seeds of the buckwheat accessions obtained as the result of exposure to copper and zinc ions (Breeding nursery of 2022)

№ В СП 2022 г.	Сорт, сортообразец	Получен при концентрации $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$ ($\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$), мг/л	Содержание рутина в плодах	
			мг / 100 г	$\pm$ к стандарту, %
763	Изумруд (стандарт)	0	$5,6 \pm 0,01$	–
Образцы получены <i>in vitro</i>				
989	Изумруд $\times$ Китаваесособа $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	11,5	$4,9 \pm 0,02$	-12,5
997	Изумруд $\times$ Китаваесособа $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	115,0	$7,7^* \pm 0,01$	37,5
1005	Изумруд $\times$ Китаваесособа $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	161,0	$7,1^* \pm 0,01$	26,8
1013	Изумруд $\times$ Китаваесособа $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	184,0	$3,5 \pm 0,01$	-37,5
947	Китаваесособа $\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$	101,0	$4,2 \pm 0,02$	-25,0
955	Китаваесособа $\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$	606,0	$5,6 \pm 0,01$	0
Образцы получены <i>in vivo</i>				
1030	Изумруд $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	1150	$2,8 \pm 0,01$	-50,0
783	Изумруд $\text{Cu}^{2+} \text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	3450	$5,6 \pm 0,02$	0
791	Изумруд $\text{Cu}^{2+} \text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	5750	$6,3 \pm 0,00$	12,5
1037	Изумруд $\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$	404	$4,9 \pm 0,03$	-12,5
$\bar{X} \pm s\bar{X}$			$5,3 \pm 0,42$	
V, %			27,6	

Примечание: * Различия достоверны при $p < 0,05$ в сравнении со стандартом.

значительная изменчивость ($V = 27,6\%$). Максимальное накопление флавоноида выявлено в образцах № 997, 1005, соответственно, 7,7 мг / 100 г и 7,1 мг / 100 г. У образца № 997 превышение данного показателя над стандартом сортом Изумруд составило 37,5%, № 1005 — 26,8%. Содержание рутина в образце № 791 превысило стандарт на 12,5%.

Применение в качестве селективных агентов ионов меди и цинка, как в культуре *in vitro*, так и *in vivo*, способствовало получению перспективного исходного материала для селекции гречихи с улучшенными технологическими характеристиками качества зерна, высокой продуктивностью и стрессоустойчивостью к неблагоприятным факторам среды.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Амелин А.В., Фесенко А.Н., Кадырова Ф.З., Заикин В.В., Чекалин В.И. Физиолого-генетические аспекты селекции гречихи на адаптивность. Орел: Картуш. 2021; 408. ISBN 978-5-9708-0890-0 <https://elibrary.ru/tmneph>
- Фесенко А.Н., Фесенко И.Н. Развитие селекции и производства гречихи в России за 100 лет. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019; 180(1): 113–117. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-1-113-117>
- Мазалов В.И., Наумкин В.П. Сравнительная оценка урожайности сортов гречихи посевной. Биология в сельском хозяйстве. 2018; (4): 20–25. <https://elibrary.ru/yysydj>
- Maksymiec W. Effect of copper on cellular processes in higher plants. Photosynthetica. 1997; 34(3): 132–342. <https://doi.org/10.1023/A:1006818815528>
- Gebhart E. Chromosome damage in individuals exposed to heavy metals. Toxicological & Environmental Chemistry. 1984; 8(4): 253–266. <https://doi.org/10.1080/02772248409357057>
- Сергеева Л.Е., Бронникова Л.И. Ионы тяжелых металлов *in vitro*: новые идеи для получения генетически измененных форм растений. Вестник защиты растений. 2016; (3): 152, 153. <https://elibrary.ru/wyrdxp>
- Клыков А.Г., Барсукова Е.Н. Биотехнология и селекция гречихи на Дальнем Востоке России. Владивосток: Дальнаука. 2021; 351. ISBN 978-5-6046477-3-8 <https://elibrary.ru/vppyyz>
- Варлахова Л.Н., Бобков С.В., Мартыненко Г.Е., Михайлова И.М. Особенности технологических качеств зерна новых крупноплодных сортов гречихи. Зернобобовые и крупяные культуры. 2012; (2): 54–60. <https://elibrary.ru/qcrlhb>
- Драгавцев В.А. (ред.) Генофонд и селекция крупяных культур. Гречиха. Санкт-Петербург: ВИР. 2006; 195. <https://elibrary.ru/qkvhtl>
- Амелин А.В., Фесенко А.Н., Заикин В.В., Чекалин Е.И., Мазалов В.И. Морфоанатомические и физиолого-биохимические параметры семян гречихи в связи с селекцией на высокую и качественную урожайность. Аграрный научный журнал. 2021; (9): 4–8. <https://doi.org/10.28983/asj.y20219pp4-8>
- Магафурова Ф.Ф., Хуснутдинов В.В. Предварительные результаты селекции на повышение урожайности у гибридных комбинаций гречихи с высоким содержанием рутина. Вестник КРАСГАУ. 2022; (9): 27–32. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-9-27-32>
- Luthar Z. et al. Breeding Buckwheat for Increased Levels of Rutin, Quercetin and Other Bioactive Compounds with Potential Antiviral Effects. Plants. 2020; 9(12): 1638. <https://doi.org/10.3390/plants9121638>
- Тутельян В.А., Батурин А.К., Мартинчик Э.А. Флавоноиды: содержание в пищевых продуктах, уровень потребления, биодоступность. Вопросы питания. 2004; 73(6): 43–48. <https://www.elibrary.ru/xvortf>
- Кадырова Ф.З., Климова Л.Р., Кадырова Л.Р. Формирование качества плодов в процессе селекции гречихи. Агроботехнологии и цифровое земледелие. 2022; 1(4): 29–33. <https://doi.org/10.12737/2782-490X-2022-29-33>
- Глазова З.И., Михайлова И.М. Урожайность и технологические свойства зерна гречихи в зависимости от сорта и удобрений. Зернобобовые и крупяные культуры. 2018; (1): 87–91. <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-10006>
- Марын В.А., Верещагин А.Л., Бычин Н.В. Выработка гречневой крупы ядрица без продела. Дальневосточный аграрный вестник. 2019; (3): 51–57. <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2019-13035>

Выводы/Conclusion

В результате трехлетних полевых испытаний 10 образцов гречихи, полученных при воздействии высоких концентраций меди и цинка в культуре *in vitro* и *in vivo*, выделены образцы с селекционно-ценными признаками: высокая семенная продуктивность, стрессоустойчивость, генетическая гибкость (№ 989, 1013), высокая масса 1000 семян (№ 989, 955, 783, 791, 1037), повышенное содержание рутина в плодах (№ 997, 1005), а также сочетающие высокую массу 1000 ядер с низкой пленчатостью (№ 997, 1013, 947, 783, 1037). Перспективные сортообразцы № 989, 1013, 783 с комплексом хозяйственно ценных признаков будут включены в схему селекционного процесса для дальнейшего изучения.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- Amelin A.V., Fesenko A.N., Kadyrova F.Z., Zaikin V.V., Chekalin V.I. Physiological and genetic aspects of buckwheat breeding for adaptation. Orel: Kartush. 2021; 408 (In Russian). ISBN 978-5-9708-0890-0 <https://elibrary.ru/tmneph>
- Fesenko A.N., Fesenko I.N. Buckwheat breeding and production in Russia during the past 100 years. Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2019; 180(1): 113–117 (In Russian). <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-1-113-117>
- Mazalov V.I., Naumkin V.P. Comparative estimation of yield of buckwheat varieties planting. Biology in Agriculture. 2018; (4): 20–25 (In Russian). <https://elibrary.ru/yysydj>
- Maksymiec W. Effect of copper on cellular processes in higher plants. Photosynthetica. 1997; 34(3): 132–342. <https://doi.org/10.1023/A:1006818815528>
- Gebhart E. Chromosome damage in individuals exposed to heavy metals. Toxicological & Environmental Chemistry. 1984; 8(4): 253–266. <https://doi.org/10.1080/02772248409357057>
- Sergeeva L.E., Bronnikova L.I. Heavy metal ions in vitro: new ideas for obtaining genetically changed plant forms. Plant Protection News. 2016; (3): 152, 153 (In Russian). <https://elibrary.ru/wyrdxp>
- Klykov A.G., Barsukova E.N. Biotechnology and buckwheat breeding in the Russian Far East. Vladivostok: Dalnauka. 2021; 351 (In Russian). ISBN 978-5-6046477-3-8 <https://elibrary.ru/vppyyz>
- Varlakhova L.N., Bobkov S.V., Martynenko G.E., Mikhajlova I.M. Features of technological qualities of grain of new large-fruited varieties of buckwheat. Legumes and Groat Crops. 2012; (2): 54–60 (In Russian). <https://elibrary.ru/qcrlhb>
- Dragavtsev V.A. (ed.) The Gene bank and breeding of groat crops. Buckwheat. St. Petersburg: All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. 2006; 195 (In Russian). <https://elibrary.ru/qkvhtl>
- Amelin A.V., Fesenko A.N., Zaikin V.V., Chekalin E.I., Mazalov V.I. Morpho-anatomical and physiological-biochemical parameters of buckwheat seeds in connection with selection for high and high-quality yield. The Agrarian Scientific Journal. 2021; (9): 4–8 (In Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y20219pp4-8>
- Magafurova F.F., Khusnutdinov V.V. Preliminary results of breeding to increase buckwheat hybrid combinations yield with rutin high content. Bulletin of KSAU. 2022; (9): 27–32 (In Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-9-27-32>
- Luthar Z. et al. Breeding Buckwheat for Increased Levels of Rutin, Quercetin and Other Bioactive Compounds with Potential Antiviral Effects. Plants. 2020; 9(12): 1638. <https://doi.org/10.3390/plants9121638>
- Tutel'yan V.A., Baturin A.K., Martichnik E.A. Flavonoids: content in food, the rate of consumption, and bioavailability. Problems of Nutrition. 2004; 73(6): 43–48 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/xvortf>
- Kadyrova F.Z., Klimova L.R., Kadyrova L.R. Improving fruits quality in the process of breeding buckwheat. Agrobiotechnologies and digital farming. 2022; 1(4): 29–33 (In Russian). <https://doi.org/10.12737/2782-490X-2022-29-33>
- Glazova Z.I., Mihajlova I.M. Yield and technological properties of buckwheat grains depending on variety and fertilizers. Legumes and Groat Crops. 2018; (1): 87–91 (In Russian). <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-10006>
- Maryin V.A., Vereshchagin A.L., Bychin N.V. Production of unground buckwheat. Far East Agrarian Herald. 2019; (3): 51–57 (In Russian). <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2019-13035>

ОБ АВТОРАХ

Елена Николаевна Барсукова¹,

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
enbar9@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7880-252X>

Алексей Григорьевич Клыков¹,

доктор биологических наук, академик РАН
alex.klykov@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-2390-3486>

Елена Леонидовна Чайкина²,

научный сотрудник
chaykin.dima@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0003-4413-3414>

¹ Федеральный научный центр агробиотехнологий
Дальнего Востока им. А.К. Чайки,
ул. Воложенина, 30Б, пос. Тимирязевский, Уссурийск,
Приморский край, 692539, Россия

² Тихоокеанский институт биоорганической химии
им. Г.Б. Елякова — Дальневосточное отделение Российской
академии наук,
пр-т 100 лет Владивостоку, 159, Владивосток, 690022, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Elena Nikolaevna Barsukova¹,

Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher
enbar9@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7880-252X>

Alexei Grigor'evich Klykov¹,

Doctor of Biological Sciences, Academician of RAS
alex.klykov@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-2390-3486>

Elena Leonidovna Chaikina²,

Researcher Associate
chaykin.dima@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0003-4413-3414>

¹ Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology
of the Far East named after A.K. Chaika,
30B Volozhenin Str., Timiryazevsky village, Ussuriysk, Primorsky Krai,
692539, Russia

² G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry (Far Eastern
Branch of Russian Academy of Sciences),
159 100 Let Vladivostok Ave., Vladivostok, 690022, Russia