

Светлана Александровна Боровая^{1✉}, Елена Николаевна Барсукова²,
Алексей Григорьевич Клыков³

^{1,2,3}Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, п. Тимирязевский, Уссурийск, Приморский край, Россия

¹borovayasveta@mail.ru

²enbar9@yandex.ru

³alex.klykov@mail.ru

ВЛИЯНИЕ СЕЛЕКТИВНЫХ СРЕД С ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ *FAGOPYRUM ESCULENTUM* MOENCH *IN VITRO*

Цель исследования – изучить влияние токсического действия высоких доз цинка (808–1313 мг/л) на жизнеспособность пробирочных растений-регенерантов *Fagopyrum esculentum* Moench и получить *in vitro* исходный материал с использованием селективных сред с Zn^{2+} . Объекты исследования – регенеранты гречихи сорта Изумруд, полученные в результате их культивирования на средах с сульфатом меди (161 и 184 мг/л) и микроклонально размноженные на питательных средах Мурасиге-Скуга (МС). Морфологический анализ исследуемых пробирочных микро-растений проводили по показателям: высота растения, длина листовых пластинок, число междоузлий, число листьев, наличие или отсутствие корней, окраска листьев. На 21-е сут выращивания микроклонов на селективных средах с Zn^{2+} высота растения в среднем составила 0,38–2,01 см (в 3,5–14,1 раза меньше, чем на контроле), длина листовых пластинок уменьшилась до 3,78–8,70 мм, а их количество снизилось на 21,6–66,6 %. Сократилось в 1,9–3,8 раз количество междоузлий. Микро-растения приобрели желто-зеленую окраску, полностью отсутствовал ризогенез. Максимальное негативное воздействие оказали условия с концентрацией 909–1313 мг/л $ZnSO_4 \times 7H_2O$. Генотипы, полученные в результате отбора с использованием повышенной дозы соли меди (184 мг/л), характеризовались наибольшей стрессоустойчивостью к цинку – корнеобразование наблюдалось на двух исследуемых вариантах последствия соли цинка – 808–909 мг/л (I пассаж на МС), выживаемость регенерантов составила 100 %; после 161 мг/л соли меди корнеобразование отмечено на варианте 808 мг/л $ZnSO_4 \times 7H_2O$, нежизнеспособным оказалось 3 % микро-растений. Последующий пассаж (II) на МС позволил растениям восстановиться, на всех вариантах возобновился ризогенез. Отобраны наиболее толерантные к тяжелым металлам линии *F. esculentum*.

Ключевые слова: гречиха посевная, селективные среды, тяжелые металлы, *in vitro*

Для цитирования: Боровая С.А., Барсукова Е.Н., Клыков А.Г. Влияние селективных сред с тяжелыми металлами на рост и развитие *Fagopyrum esculentum* Moench *in vitro* // Вестник КрасГАУ. 2022. № 7. С. 95–101. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-7-95-101.

Svetlana Alexandrovna Borovaya^{1✉}, Elena Nikolaevna Barsukova², Alexey Grigorievich Klykov³

^{1,2,3}Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of the Far East named after A.K. Chaika, Timiryazevsky, Ussuriysk, Primorsky Region, Russia

¹borovayasveta@mail.ru

²enbar9@yandex.ru

³alex.klykov@mail.ru

SELECTIVE MEDIA WITH HEAVY METALS INFLUENCE ON *FAGOPYRUM ESCULENTUM* MOENCH *IN VITRO* GROWTH AND DEVELOPMENT

The aim of research is to study the impact of the toxic effect of high doses of zinc (808–1313 mg/l) on the viability of *Fagopyrum esculentum* Moench test-tube regenerated plants and to obtain *in vitro* starting material using selective media with Zn^{2+} . The objects of study were buckwheat regenerants of the Izumrud variety, obtained as a result of their cultivation on media with copper sulfate (161 and 184 mg/l) and microclonally propagated on Murashige-Skoog (MS) nutrient media. Morphological analysis of the test-tube microplants under study was carried out according to the parameters: plant height, length of leaf blades, number of internodes, number of leaves, presence or absence of roots, leaf color. On the 21st day of growing microclones on selective media with Zn^{2+} , the plant height averaged 0.38–2.01 cm (3.5–14.1 times less than in the control), the length of leaf blades decreased to 3.78–8.70 mm, and their number decreased by 21.6–66.6 %. The number of internodes decreased by 1.9–3.8 times. Microplants acquired a yellow-green color, rhizogenesis was completely absent. The maximum negative impact was exerted by conditions with a concentration of 909–1313 mg/L $ZnSO_4 \times 7H_2O$. The genotypes obtained as a result of selection using an increased dose of copper salt (184 mg/l) were characterized by the greatest stress resistance to zinc – root formation was observed in two studied variants of the aftereffect of zinc salt - 808–909 mg/l (I passage on MS), the survival of regenerants was 100 %; after 161 mg/l of copper salt, root formation was noted on the variant of 808 mg/l $ZnSO_4 \times 7H_2O$, 3 % of microplants turned out to be non-viable. The subsequent passage (II) on MS allowed the plants to recover, and rhizogenesis resumed in all variants. The most tolerant to heavy metals lines of *F. esculentum* were selected.

Keywords: common buckwheat, selective media, heavy metals, *in vitro*

For citation: Borovaya S.A., Barsukova E.N., Klykov A.G. Selective media with heavy metals influence on *Fagopyrum esculentum* Moench *in vitro* growth and development // Bulliten KrasSAU. 2022;(7): 95–101. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-7-95-101.

Введение. Гречиха посевная *Fagopyrum esculentum* Moench – культура многоцелевого использования. Из нее получают продукты питания, лекарства, зеленое удобрение, это прекрасный медонос и богатый источник рутина, катехинов и других флавоноидов [1]. Она обладает высокой пластичностью и большим потенциалом в селекционных программах [2]. Применение биотехнологических методов в выведении новых сортов считается перспективным направлением сельскохозяйственной науки. Селекция *F. esculentum* с использованием тяжелых металлов (ТМ) в качестве селективных фонов *in vitro* может быть новым инструментом создания растений с улучшенными показателями и высоким потенциалом устойчивости к средовым абиотическим стрессорам [3].

Влияние селективных сред, содержащих повышенные дозы солей цинка (46–606 мг/л) и меди (6–230 мг/л), на рост и развитие микропоголов гречихи посевной исследовано в более ранних наших работах [4]. Однако существует мнение, что повышение жесткости селективных систем является весьма эффективным методом селекции [5], поэтому изучение токсического воздействия более высоких доз тяжелых ме-

таллов на культуру гречихи посевной *in vitro* может быть перспективным направлением решения селекционных задач.

Цель исследования – изучить влияние токсического действия высоких доз цинка (808–1313 мг/л) на жизнеспособность пробирочных растений-регенерантов *Fagopyrum esculentum* Moench и получить *in vitro* исходный материал гречихи с использованием селективных сред с Zn^{2+} .

Объекты и методы. Объектами исследования являлись одноузловые черенки (длина 1,0–1,5 см) регенерантов гречихи посевной сорта Изумруд селекции ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, которые получали в результате деления стебля пробирочных микрорастений (2–3 нижних междоузлия), ранее прошедших отбор в селективных условиях с $CuSO_4 \times 5H_2O$ в концентрации 161 и 184 мг/л [4]. Изолированные *in vitro* объекты культивировались в пробирках с ватно-марлевыми пробками при освещенности 4 тыс. лк, температуре 22–25 °С, фотопериоде 16 ч в условиях культуральной комнаты. Приготовление и стерилизация бокса, посуды, инструментов проводились по общепринятым методикам.

Для создания селективных условий использовали соль цинка ($ZnSO_4 \times 7H_2O$). В основную питательную среду Мурасиге-Скуга [6] (далее МС), содержащую 20 г/л сахарозы и 6 г/л агара, вносили соли цинка в следующих количествах по вариантам опыта: 808, 909, 1010, 1111, 1212 и 1313 мг/л. Контрольным вариантом являлась среда МС с сахарозой и агаром и со стандартным содержанием сульфата цинка 8,6 мг/л. Число пробирок по каждому варианту – 20. Повторение – 5.

Морфологические показатели определяли на 21-е сут культивирования растений на контроле и селективных средах с цинком, а также по окончании последующих пассажей (каждый пассаж длительностью 33 сут) на питательных средах МС. Измеряли высоту каждого пробирочно-растения и длину его листовых пластинок, которые выражали соответственно в см и мм, считали число междоузлий и число листьев (шт.), отмечали наличие (+) или отсутствие (-) корней. Окраску листьев определяли визуально по преобладающему цвету всех листовых пластинок растения.

Для ввода данных, обработки исходных данных и статистического анализа использовали пакет программ Microsoft Excel 2010. Программное обеспечение Statistica 6 [7] использовали для выполнения однофакторного дисперсионного анализа. Тест множественного рангового критерия Дункана ($p < 0,05$) применяли для измерения значимости различий. Результаты выражаются в виде средних значений \pm стандартное отклонение.

Результаты и их обсуждение. Исследование устойчивости пробирочных растений-регенерантов линий гречихи сорта Изумруд, полученных в результате отбора после обработки $CuSO_4 \times 5H_2O$, к высоким дозам цинка и их морфологический анализ проводили на 21-й день культивирования микроклонов на селективных средах (табл. 1).

Все испытываемые линии существенно отставали в развитии по сравнению с контролем, особенно по показателю высота растения, которая в среднем составила 0,38–2,01 см (в 3,5–14,1 раза меньше, чем у растений контрольной группы), и приобретали желто-зеленую окраску. Листовые пластинки стали более мелкими, длиной 3,78–8,70 мм, а их количество снизилось на 21,6–66,6 % по сравнению с контролем. Количество междоузлий уменьшилось в 1,9–3,8 раз. Максимальное негативное воздействие на микроклоны оказали селективные условия с концентрацией от 909 до 1313 мг/л $ZnSO_4 \times 7H_2O$. Сильная токсическая нагрузка повлияла на корнеобразование (важнейший показатель, отражающий состояние растений в условиях стресса) – ризогенез отсутствовал на всех вариантах. По мнению многих исследователей, токсичность тяжелых металлов, приводящая к снижению роста и развития растений, обусловлена в первую очередь окислительным стрессом, индуцируемым ТМ; в итоге нарушается работа фотосинтетического аппарата и всего растительного организма в целом [8, 9].

Таблица 1

Влияние селективных сред с $ZnSO_4 \times 7H_2O$ на развитие микрорастений гречихи, толерантных к повышенному содержанию меди, на 21-е сут культивирования

Вариант содержания соли цинка	Высота растения, см	Число междоузлий, шт.	Число листьев, шт.	Длина листовой пластинки, мм	Наличие корней, +/-	Окраска листьев
1	2	3	4	5	6	7
<i>Изумруд in vitro</i> после $CuSO_4 \times 5H_2O$ 161 мг/л						
Контроль	7,03 \pm 2,60 с	3,78 \pm 0,44 с	5,11 \pm 0,78 с	11,33 \pm 2,45 с	+	Зеленые
808 мг/л	2,01 \pm 1,32 б	2,00 \pm 0,67 б	3,80 \pm 1,23 б	7,90 \pm 1,66 б	–	Зелено-желтые
909 мг/л	1,44 \pm 0,56 б	1,38 \pm 0,52 а	3,50 \pm 1,31 а	8,13 \pm 1,36 б	–	Желто-зеленые
1010 мг/л	0,69 \pm 0,28 а	1,00 \pm 0,00 а	2,80 \pm 1,23 а	6,50 \pm 2,17 б	–	Желто-зеленые
1111 мг/л	0,43 \pm 0,23 а	1,00 \pm 0,00 а	2,86 \pm 0,69 а	6,43 \pm 1,99 б	–	Желто-зеленые
1212 мг/л	0,56 \pm 0,40 а	1,00 \pm 0,00 а	2,60 \pm 0,70 а	4,50 \pm 2,99 а	–	Желто-зеленые
1313 мг/л	0,51 \pm 0,37 а	1,00 \pm 0,00 а	2,89 \pm 0,93 а	3,78 \pm 2,54 а	–	Желто-зеленые

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Изумруд <i>in vitro</i> после $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ 184 мг/л						
Контроль	6,64±2,75 b	3,8±0,42 c	5,10±0,74 b	11,1±2,42 d	+	Зеленые
808 мг/л	1,18±0,81 a	1,60±0,70 b	3,00±0,67 a	8,70±2,31 c	–	Зеленые
909 мг/л	0,90±0,62 a	1,56±0,53 b	2,33±0,50 a	7,56±2,40 bc	–	Зелено-желтые
1010 мг/л	0,82±0,29 a	1,11±0,33 a	2,67±0,71 a	7,33±1,80 abc	–	Зелено-желтые
1111 мг/л	0,47±0,39 a	1,11±0,32 a	2,60±0,52 a	5,70±1,16 ab	–	Желто-зеленые
1212 мг/л	0,56±0,27 a	1,11±0,33 a	2,44±0,73 a	6,89±2,09 abc	–	Желто-зеленые
1313 мг/л	0,38±0,28 a	1,11±0,32 a	2,50±0,71 a	5,30±2,54 a	–	Желто-зеленые

Здесь и далее: разные строчные буквы (a, b, c, d) в одном и том же столбце по каждому опыту указывают на значимые различия между вариантами при $P < 0,05$.

При дальнейшем культивировании микроклонов на питательной среде МС со стандартным содержанием $\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ (8,6 мг/л) (I пассаж) в течение 33 сут выявлено, что токсическое влияние тяжелого металла сохранилось, однако растения выглядели менее угнетенными, что выразилось в увеличении показателей морфологического развития (табл. 2). Некото-

рое превышение над контролем числа междоузлий и листьев по исследуемым вариантам связано с тем, что у многих испытуемых растений на данном этапе опыта появились морфологические изменения: нижние листья были собраны в розетку, при этом наблюдалось уменьшение листовых пластинок в размере, а стебли укорачивались.

Таблица 2

Морфологические показатели регенерантов гречихи на питательных средах МС после меди и цинка

Вариант содержания соли цинка	Высота растения, см	Число междоузлий, шт.	Число листьев, шт.	Длина Листовой пластинки, мм	Наличие корней, +/-	Окраска листьев
Изумруд <i>in vitro</i> после $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ 161 мг/л						
Контроль	17,1±2,4 c	5,9±0,9 ab	6,9±0,9 a	10,6±1,2 c	+	Зеленые
808 мг/л	14,2±4,1 bc	6,9±2,1 b	9,8±3,3 a	10,0±1,8 c	+	Зеленые
909 мг/л	10,7±6,0 b	7,4±1,5 b	12,8±5,4 a	7,6±1,9 b	–	Зелено-желтые
1010 мг/л	8,6±4,3 ab	6,8±1,0 b	13,0±5,4 a	7,5±1,8 b	–	Зелено-желтые
1111 мг/л	10,1±3,9 b	7,3±1,4 b	11,5±3,9 a	7,3±2,0 b	–	Зелено-желтые
1212 мг/л	7,3±5,6 ab	6,5±2,5 ab	12,6±5,6 a	6,2±2,3 ab	–	Зелено-желтые
1313 мг/л	4,2±3,4 a	4,9±2,8 a	9,7±6,1 a	4,8±1,9 a	–	Зелено-желтые
Изумруд <i>in vitro</i> после $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ 184 мг/л						
Контроль	16,5±2,8 c	5,8±1,0 b	6,8±1,1 a	12,8±0,8 d	+	Зеленые
808 мг/л	16,3±3,4 c	7,2±1,1 b	10,1±2,4 abc	11,0±1,2 cd	+	Зеленые
909 мг/л	16,0±4,8 c	7,9±1,2 b	13,6±6,7 d	9,2±1,8 bc	+	Зеленые
1010 мг/л	13,6±3,3 c	7,8±0,6 b	12,6±2,2 cd	7,9±1,9 b	–	Зелено-желтые
1111 мг/л	7,7±4,2 b	7,3±1,7 b	11,5±3,6 bcd	7,5±1,4 b	–	Зелено-желтые
1212 мг/л	8,9±5,6 b	6,8±2,2 b	9,3±3,7 ab	8,5±2,9 b	–	Зелено-желтые
1313 мг/л	5,3±4,0 a	5,0±3,1 a	8,6±4,4 ab	5,3±2,5 a	–	Зелено-желтые

Необходимо отметить, что у линий, полученных в результате последовательного отбора на средах с ТМ при использовании более высокой дозы $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ (184 мг/л), ризогенез наблюдался на двух исследуемых вариантах последствия соли цинка (808–909 мг/л). В то же время у регенерантов, созданных на селективных средах со 161 мг/л соли меди, выявлена меньшая устойчивость к металлическому стрессу – корнеобразование наблюдалось только после культивирования на средах с 808 мг/л сульфата цинка. В итоге выживаемость генотипов, прошедших отбор в селективных системах с более высокой дозой соли меди (184 мг/л), на всех вариантах опыта с Zn^{2+} составила 100 %, а

после 161 мг/л Cu^{2+} – не выжило 3 % микроклубков. Таким образом, подтверждается факт, что повышенная резистентность к одному стрессору может приводить к увеличению устойчивости к другому [10].

Проявления токсического стресса у полученных микроклубков полностью исчезли при последующем культивировании на питательных средах без токсиканта (II пассаж на МС) (рис.). Морфологические показатели регенерантов по вариантам слабо различались от контроля и между собой. Ризогенез у растений наблюдался на всех вариантах.

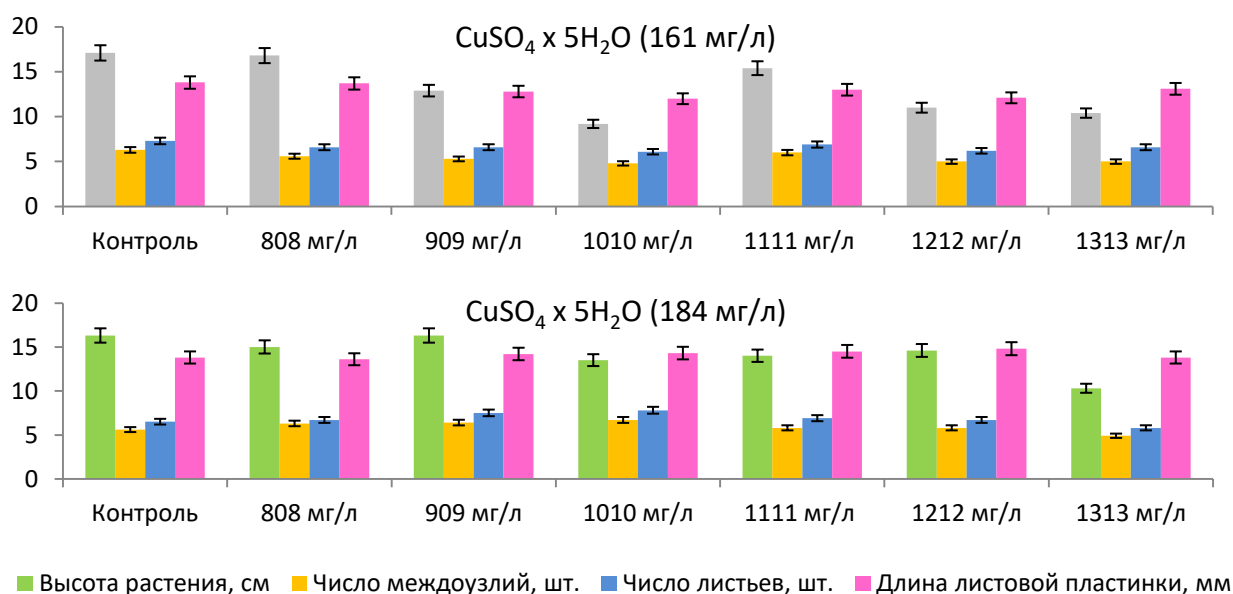


Рис. 1. Морфологические показатели регенерантов гречихи, полученных в результате последовательного отбора на селективных средах с медью и цинком (II пассаж на МС)

Ранее нами указывалось на толерантность клеточно-тканевых культур и микропобегов гречихи посевной к повышенным концентрациям сульфатов меди и цинка *in vitro* [4]. По мнению N.K. Chrunghoo et al. [11], гречиха имеет широкий экологический диапазон пластичности, и, следовательно, она может хорошо расти практически при любых неблагоприятных условиях.

Заключение. Гречиха посевная является культурой весьма пластичной и устойчивой к длительному воздействию высокотоксичных доз цинка, о чем свидетельствует большой процент выживших на селективных средах растений (97–100 %) и быстрое послестрессовое восста-

новление исследуемых микроклубков. Регенеранты, полученные в результате последовательного отбора на средах с использованием более высоких концентраций меди, показывают повышенную устойчивость к цинку. Отобраны толерантные к токсической нагрузке Cu^{2+} и Zn^{2+} генотипы *F. esculentum*, которые в дальнейшем могут быть использованы для создания сортов регенерантного происхождения с индуцированными новыми хозяйственно полезными признаками, в т. ч. адаптированных к неблагоприятным условиям почвенного стресса, обусловленного токсичностью тяжелых металлов.

Список источников

1. Zielińska D., Turemko M., Kwiatkowski J., Zieliński H. Evaluation of flavonoid contents and antioxidant capacity of the aerial parts of common and Tartary buckwheat plants // *Molecules*. 2012. Vol. 17 (8). P. 9668–9682. DOI: 10.3390/molecules17089668.
2. Lee D.-G., Woo S.H., Choi J.-S. Biochemical Properties of Common and Tartary Buckwheat: Centered with Buckwheat Proteomics // *Molecular breeding and nutritional aspects of buckwheat*. London: Elsevier, Academic Press, 2016. P. 239–259. DOI: 10.1016/B978-0-12-803692-1.00019-5.
3. Использование методов биотехнологии в селекции гречихи на Дальнем Востоке / Е.Н. Барсукова [и др.] // Вестник ДВО РАН. 2020. № 4 (2012). С. 58–66. DOI: 10.37102/08697698.2020.212.4.010.
4. Барсукова Е.Н., Клыков А.Г., Чайкина Е.Л. Использование метода культуры ткани для создания новых форм *Fagopyrum esculentum* Moench // Российская сельскохозяйственная наука. 2019. № 5. С. 3–6. DOI: 10.31857/S2500-2627201953-6.
5. Шуплецова О.Н. Клеточная селекция ячменя на устойчивость к эдафическим стрессам // Биология клеток растений *in vitro* и биотехнологии: сб. науч. ст. IX Междунар. конф. М., 2008. С. 444–445.
6. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures // *Physiol. Plant*. 1962. Vol. 15. P. 473–497. DOI: 10.1098/rstb.2000.0713.
7. Халафян А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных. М.: Бином-Пресс, 2007.
8. Kaznina N.M., Titov A.F. Effect of Zinc Deficiency and Excess on the Growth and Photosynthesis of Winter Wheat // *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*. 2017. Vol. 13 (4). P. 88–94.
9. Effect of copper and zinc on the *in vitro* regeneration of *Rauvolfia serpentina* / N. Ahmad [et al.] // *Biologia Plantarum*. 2015. Vol. 59 (1). P. 11–17. DOI: 10.1007/s10535-014-0479-5.
10. Зинченко М.А., Дубровная О.В., Бавол А.В. Клеточная селекция мягкой пшеницы на устойчивость к комплексу стрессовых факторов и анализ полученных форм // Изв. Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. № 15 (3). С. 1610–1614.
11. Chrungoo N.K., Dohtdong L., Chettry U. Phenotypic Plasticity in Buckwheat // *Molecular Breeding and Nutritional Aspects of Buckwheat*. London: Elsevier, Academic Press, 2016. P. 137–149. DOI: 10.1016/B978-0-12-803692-1.00010-9.

References

1. Zielińska D., Turemko M., Kwiatkowski J., Zieliński H. Evaluation of flavonoid contents and antioxidant capacity of the aerial parts of common and Tartary buckwheat plants // *Molecules*. 2012. Vol. 17 (8). P. 9668–9682. DOI: 10.3390/molecules17089668.
2. Lee D.-G., Woo S.H., Choi J.-S. Biochemical Properties of Common and Tartary Buckwheat: Centered with Buckwheat Proteomics // *Molecular breeding and nutritional aspects of buckwheat*. London: Elsevier, Academic Press, 2016. P. 239–259. DOI: 10.1016/B978-0-12-803692-1.00019-5.
3. Ispol'zovanie metodov biotekhnologii v selekcii grechihy na Dal'nem Vostoke / E.N. Barsukova [i dr.] // Vestnik DVO RAN. 2020. № 4 (2012). S. 58–66. DOI: 10.37102/08697698.2020.212.4.010.
4. Barsukova E.N., Klykov A.G., Chajkina E.L. Ispol'zovanie metoda kul'tury tkani dlya sozdaniya novyh form *Fagopyrum esculentum* Moench // Rossijskaya sel'skohozyajstvennaya nauka. 2019. № 5. S. 3–6. DOI: 10.31857/S2500-2627201953-6.
5. Shuplecova O.N. Kletochnaya selekciya yachmenya na ustojchivost' k `edaficheskim stressam // Biologiya kletok rastenij *in vitro* i biotekhnologii: sb. nauch. st. IX Mezhdunar. konf. M., 2008. S. 444–445.
6. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures // *Physiol. Plant*. 1962. Vol. 15. P. 473–497. DOI: 10.1098/rstb.2000.0713.
7. Halafyan A.A. STATISTICA 6. Statisticheskij analiz dannyh. M.: Binom-Press, 2007.
8. Kaznina N.M., Titov A.F. Effect of Zinc Deficiency and Excess on the Growth and Photosynthesis of Winter Wheat // *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*. 2017. Vol. 13 (4). P. 88–94.
9. Effect of copper and zinc on the *in vitro* regeneration of *Rauvolfia serpentina* / N. Ahmad

- [et al.] // *Biologia Plantarum*. 2015. Vol. 59 (1). P. 11–17. DOI: 10.1007/s10535-014-0479-5.
10. *Zinchenko M.A., Dubrovnaya O.V., Baval A.V.* Kletochnaya selekciya myagkoj pshenicy na ustojchivost' k kompleksu stressovyh faktorov i analiz poluchennyh form // *Izv. Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. 2013. № 15 (3). S. 1610–1614.
11. *Chrungoo N.K., Dohtdong L., Chettry U.* Phenotypic Plasticity in Buckwheat // *Molecular Breeding and Nutritional Aspects of Buckwheat*. London: Elsevier, Academic Press, 2016. P. 137–149. DOI: 10.1016/B978-0-12-803692-1.00010-9.

Статья принята к публикации 31.05.2022 / The article accepted for publication 31.05.2022.

Информация об авторах:

Светлана Александровна Боровая¹, аспирант, научный сотрудник лаборатории селекционно-генетических исследований полевых культур

Елена Николаевна Барсукова², исполняющая обязанности заведующей лабораторией, ведущий научный сотрудник лаборатории сельскохозяйственной биотехнологии, кандидат сельскохозяйственных наук

Алексей Григорьевич Клыков³, заведующий отделом селекции и биотехнологии сельскохозяйственных культур, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН

Information about the authors:

Svetlana Alexandrovna Borovaya¹, Postgraduate Student, Researcher, Laboratory of Breeding and Genetic Research of Field Crops

Elena Nikolaevna Barsukova², Acting Head of the Laboratory, Leading Researcher at the Laboratory of Agricultural Biotechnology, Candidate of Agricultural Sciences

Alexey Grigorievich Klykov³, Head of the Department of Breeding and Biotechnology of Agricultural Crops, Doctor of Biological Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences

