

БИОТЕХНОЛОГИЯ В СОЗДАНИИ СОРТОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

И.Н. Щенникова, член-корреспондент РАН, О.Н. Шуплецова, доктор биологических наук, Л.П. Кокина, кандидат сельскохозяйственных наук

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого,
610007, Киров, ул. Ленина 166 а
E-mail: i.schennikova@mail.ru

Исследования проводили в условиях Кировской области. Оценивали селекционный потенциал нового сорта ячменя регенерантного происхождения Диалог (550-08), созданного на основе гибридной комбинации сортов Valeta (к-22345, Нидерланды) и Lulu (к-25169, Германия). Ячмень вводили в культуру in vitro, индуцировали каллус и проводили последовательный отбор каллусных линий на кислых (рН 3,8) селективных средах с ионами алюминия с последующей регенерацией растений. Семенное потомство растений-регенерантов служило исходным материалом для проведения дальнейшего клеточного отбора. В результате трехэтапной клеточной селекции на фоне повышающегося градиента концентрации ионов алюминия (20 и 40 мг/л) с внесением 1,0 мг/л абсцизовой кислоты в качестве иммуномодулятора получены регенерантные линии, которые изучали в лабораторных, вегетационных и полевых опытах. Сравнительный анализ проводили относительно стандартов (Биос 1 и Белгородский 100) и алюмотолерантного сорта Новичок. Регенерантные линии имели преимущество в условиях алюмокислого стресса. В водной культуре индекс длины корней у них был равен 1,17, при 0,80 у исходной формы и 0,84 у стандарта. В вегетационных опытах преимущество регенерантной линии над стандартом по урожайности составляло 0,66 т/га (90,4 %), в полевых испытаниях – 0,85 т/га (97,6 %). Создан сорт ячменя регенерантного происхождения, характеризующийся высокими адаптивными свойствами в условиях кислых дерново-подзолистых почв Кировской области, в том числе при недостатке влаги: высокой урожайностью, хорошими технологическими свойствами зерна и умеренной устойчивостью к гельминтоспориозным пятнистостям листьев и корневым гнилям.

BIOTECHNOLOGY IN THE CREATION OF SPRING BARLEY VARIETIES

Shchennikova I.N., Shupletsova O.N., Kokina L.P.

Federal Agrarian Scientific Center of the North-East of N.V. Rudnitsky,
610007, Kirov, ul. Lenina 166 а
E-mail: i.schennikova@mail.ru

The studies were carried out on the basis of the Federal Research Center of the North-East (Kirov). The breeding potential of a new barley variety of regenerated origin Dialogue (550-08), created on the basis of a hybrid combination of varieties Valeta (k-22345, the Netherlands) and Lulu (k-25169, Germany), was evaluated. Barley was introduced into in vitro culture, callus was induced, and callus lines were sequentially selected on acidic (pH 3.8) selective media with aluminum ions, followed by plant regeneration. The seed progeny of regenerated plants served as the starting material for further stages of cell selection. As a result of a three-stage cell selection against the background of an increasing concentration gradient of aluminum ions (20 and 40 mg/l) and the introduction of 1.0 mg/l of abscisic acid as an immunomodulator, regenerative lines were obtained, which were studied in laboratory, vegetation and field experiments. A comparative analysis was carried out with respect to the standards (Bios 1 and Belgorodsky 100) and the aluminum tolerant variety Novichok. Regenerated lines had an advantage under conditions of alumina stress: in aquatic culture in terms of the development of the root system (root length index: 1.17 – regenerating, 0.80 – original form, 0.84 – standard); in vegetation experiments, the yield exceeded the standard by 0.66 t/ha (90.4%), in field trials – 0.85 t/ha (97.6%). A variety of barley of regenerative origin has been created, which is characterized by high adaptive properties in the conditions of acid soddy-podzolic soils of the Kirov region, incl. with a lack of moisture: high yield, good technological properties of the grain and moderate resistance to Helminthosporium leaf spots and root rot.

Ключевые слова: каллус, клеточная селекция, регенерант, алюмоустойчивость, урожайность, адаптивность, качество зерна, устойчивость к болезням

Key words: callus, cell selection, regenerating, aluminum resistance, yield, adaptability, grain quality, disease resistance

Стабильное производство зерна в любой стране или регионе базируется на использовании новейших селекционных достижений. Приволжский федеральный округ (ПФО) один из основных центров производства зерна в РФ, на долю которого приходится 22 % его валового сбора. В целом по ПФО основные площади зернового клина заняты яровой пшеницей, однако в Кировской области первенство принадлежит яровому ячменю. Это проверенная, высоконадёжная культура, которая максимально использует свой биологический потенциал для формирования устойчивых урожаев. Последние годы в Кировской области наблюдается тенденция увеличения площади, занятой ячменем, и в 2021 г. она достигла 100,5 тыс. га [1].

Растения ячменя требовательны к почвенным условиям, имеют слаборазвитую корневую систему, которая размещается, в основном, в пахотном слое по-

чвы [2]. Культура не переносит кислую реакцию почвы и особенно присутствие в почвенном растворе ионов алюминия. Критическое содержание подвижных форм этого минерального элемента, при превышении которого происходит гибель растений, составляет 8...10 мг/100 г почвы [3].

В структуре почвенного покрова Кировской области 76 % пашни приходится на дерново-подзолистые почвы [4]. Это обуславливает наличие больших площадей с высокой степенью кислотности. По результатам последнего цикла агрохимического обследования из 736 тыс. га посевных площадей Кировской области, на кислые почвы приходится 74,6 %, на почвы с низким содержанием фосфора – 26,1 %, калия – 24,5 %, гумуса – 50 %. Деградацию почв связывают с практически полным прекращением проведения мероприятий по известкованию и фосфоритованию кислых почв, значительным

снижением внесения органических и минеральных удобрений [5].

В современных селекционных программах пристальное внимание уделяется созданию адаптивных селекционных форм, которые в условиях нестабильности агроклиматических ресурсов способны формировать экономически значимую урожайность [6, 7, 8]. Совместно с пластичными, широко распространенными сортами, необходимо осуществлять адресную селекцию для конкретных почвенно-климатических и экономических условий [9]. Создание таких регионспецифичных сортов ярового ячменя для условий Волго-Вятского региона успешно ведется в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого [10].

Использование методов прикладной биотехнологии в сочетании с гибридизацией и отбором – перспективное направление интенсификации селекционного процесса [11, 12]. Хорошо разработанная система «растение-клетка *in vitro*-растение» открывает возможности для решения многих проблем практической селекции [13]. Для получения генотипов с необходимыми признаками эффективно использование клеточной селекции – культивирование клеток и тканей на искусственных питательных средах со стрессовым фактором в зависимости от конкретной селекционной задачи. Однако на сегодняшний день не существует универсальных методик проведения отбора *in vitro* для разных видов растений к различным стрессорам [14, 15, 16]. Кроме того, широкому применению клеточной селекции препятствует длительная нестабильность проявления целевых признаков у семенных потомств растений-регенерантов [17, 18]. Поэтому необходима их комплексная оценка в условиях *in vivo*, а также выявление связей между продуктивными признаками регенерантов и используемыми при их получении условиями отбора в каллусной культуре.

Цель исследований – оценка селекционного и хозяйственного потенциала нового сорта ячменя регенерантного происхождения.

Методика. Работу проводили на базе ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров). Объектами исследования служили генотипы ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.): сорт регенерантного происхождения 550-08, первоначально индуцированный в каллусной культуре с применением разработанных ранее методов, и алюмотолерантный сорт ячменя гибридного происхождения Новичок. В качестве стандарта использовали рекомендованные Государственной комиссией по сортоиспытанию сорта Биос 1 и Белгородский 100. Для создания генотипов ячменя, устойчивых к ионной токсичности алюминия в условиях кислых почв, в каллусной культуре на селективных средах получали растения-регенеранты, семенное потомство которых оценивали в лабораторных и вегетационных опытах [19].

Для определения уровня относительной алюмоустойчивости в лабораторных опытах в условиях рулонной культуры оценивали ИДК (индекс длины корней) как отношение средней длины корней при наличии стрессового фактора (рН 3,8, Al³⁺ 20 мг/л) к средней длине корней при его отсутствии (рН 6,0, Al³⁺ 0 мг/л). Вегетационные испытания проводили в сосудах (5...7 л) с дерново-подзолистой почвой в следующих вариантах: 1 – рН 6,0 Al³⁺ 0 мг/100 г почвы; 2 – рН 4,3; Al³⁺ 2,1 мг/100 г почвы; 3 – рН 3,8 Al³⁺ 8,7 мг/100 г почвы; 4 – рН 3,7 Al³⁺ 21 мг/100 г почвы.

Полевые наблюдения, оценки и учет урожая осуществляли в соответствии с методикой Госкомиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур [20]. Изучение проводили в конкурсном сортоиспытании

на делянках с учетной площадью 10 м², в 4-х кратной повторности. Посевы располагались в селекционном севообороте. Почва опытных участков типичная для Кировской области дерново-подзолистая с низким содержанием гумуса, небольшой мощностью пахотного горизонта в значительной части с низкой рН. Основную и предпосевную обработку почвы осуществляли в соответствии с зональными рекомендациями [21, 22] Посев проводили в оптимально ранние сроки, минеральные удобрения вносили перед посевом в дозе N₄₈P₁₀K₁₄.

В целом почвенно-климатические условия способствовали выявлению потенциальных возможностей сортов (табл. 1). В 2018–2020 гг. во все межфазные периоды, за исключением «выход в трубку – колошение», складывались близкие к оптимальным по влагообеспеченности (1,0 ≤ ГТК ≥ 2,0) условия вегетации, что способствовало проявлению потенциальных возможностей сортов. Условия вегетации 2021 г. позволили оценить стрессоустойчивость генотипов, поскольку от фазы «всходы» до фазы «колошение» отмечали дефицит осадков (0 ≤ ГТК ≤ 0,83).

Табл. 1. Условия вегетации (ГТК) сортов ячменя

Сорт	ГТК в период			
	всходы– куще- ние	кущение– выход в трубку	выход в трубку– колошение	коло- шение– созревание
2018–2020 гг.				
Белгородский 100, стандарт	1,10	2,30	0,74	1,56
Новичок	1,10	2,67	0,54	1,55
Диалог	1,14	2,15	0,55	1,61
2021 г.				
Белгородский 100, стандарт	0,65	0*	0,83	1,60
Новичок	0,62	0,22	0,82	1,65
Диалог	0,62	0*	0,49	1,72

*осадки не выпадали

Экологическую стабильность сортов оценивали в соответствии с методикой, описанной А.А. Гончаренко [23], согласно которой разность между минимальной и максимальной урожайностью сорта за годы изучения ($Y_{\min} - Y_{\max}$). Этот показатель имеет отрицательный знак и отражает уровень устойчивости сорта к стрессовым факторам, чем меньше разрыв между значениями, тем выше стрессоустойчивость сорта. Средняя урожайность сорта в контрастные по условиям вегетации годы ($(Y_{\min} - Y_{\max})/2$) характеризует генетическую гибкость сорта, чем выше соответствие между генотипом и различными факторами среды, тем больше величина этого показателя.

Для оценки влагообеспеченности в период вегетации растений, использовали гидротермический коэффициент (ГТК), вычисляемый по формуле:

$$ГТК = \Sigma P / \Sigma T \cdot 0,1$$

где ΣP – сумма осадков за рассматриваемый период, мм; ΣT – сумма активных температур выше 10 °С, накопившихся за тот же период уменьшенная в 10 раз, °С.

Математическую обработку полученных результатов осуществляли статистическими методами в изложении Б.А. Доспехова [24].

Результаты и обсуждение. Регенерантная линия 550-08 была получена в процессе разработки оптимальных селективных систем *in vitro* для индукции новых стрессоустойчивых генотипов со стабильным целевым признаком алюмоустойчивости. Исходной формой

служила гибридная линия, созданная с участием коллекционных образцов ячменя *Valletta* (к-22345, Нидерланды) и *Lulu* (к-25169, Германия), которая характеризовалась чувствительностью к токсичности алюминия на кислых почвах. Ячмень вводили в культуру *in vitro*, индуцировали каллус и проводили отбор каллусных линий на кислых селективных средах с ионами алюминия с последующей регенерацией растений. Семенное потомство растений-регенерантов служило исходным материалом для проведения последующих этапов клеточного отбора. Первоначально осуществляли селекцию каллуса в присутствии 20 мг/л Al^{3+} и pH 3,8 (табл. 2). В этих условиях погибло более половины каллусной ткани при невысокой частоте регенерации (12,4 %), а способность к каллусогенезу даже в контрольных условиях (в отсутствие ионной токсичности алюминия) не превышала 50 %. Таким образом, наблюдали совпадение реакции на стресс условий *in vivo* / *in vitro*.

Табл. 2. Влияние кратности отборов *in vitro* в алюмокислых условиях на параметры развития каллусной культуры ячменя

Генотип (происхождение)	Параметр развития каллусной культуры		
	условия отбора <i>in vitro</i>	выживаемость, %	частота регенерации, %
<i>Valletta</i> × <i>Lulu</i>	исходный генотип	–	–
173-85 (RA <i>Valletta</i> × <i>Lulu</i>)	20 мг/л Al^{3+} (pH 3,8)	44,8	12,4
530-98 (RA 173-85)	40 мг/л Al^{3+} (pH 3,8)	67,9	25,6*
550-08 (RA 530-98)	40 мг/л Al^{3+} (pH 3,8) + 1,0 мг/л абсцизовая кислота	62,5	50,0

Изолированные зародыши с растений-регенерантов (линия 173-85) вводили в культуру *in vitro*, а индуцированный каллус помещали на селективные среды с удвоенной концентрацией Al^{3+} (40 мг/л) при сохранении кислотности (pH 3,8). При повторном введении регенерантов ячменя в культуру *in vitro* способность незрелых зародышей к каллусогенезу, а также толерантность к алюмокислотному стрессу индуцированных из них каллусов и регенерированных из них растений существенно повышалась: выживаемость каллуса – в 1,5 раз; регенерационная способность – в 1,8 раз (при $P > 0,99$). Полученная на этом этапе регенерантная линия 530-98 была передана в коллекцию ВИР в качестве генетического источника толерантности к повышенному содержанию в почве ионов водорода и алюминия. Очевидно, при первом культивировании изолированных зародышей происходил негативный отбор по признакам способности к каллусогенезу и регенерации. Поэтому клеточную селекцию генотипов с низкими стрессоустойчивостью и способностью к каллусогенезу целесообразно проводить в несколько этапов [14].

На третьем этапе отборов в селективные среды дополнительно в качестве неспецифического иммуномодулятора вносили абсцизовую кислоту в количестве 1,0 мг/л. Известно, что экзогенное внесение этого фитогормона повышает активность морфогенетических процессов каллусной ткани ячменя в присутствии стрессоров различной природы [14]. В результате такой многоэтапной клеточной селекции была создана линия 550-08.

Дальнейшая оценка регенерантных линий в лабораторных и вегетационных опытах подтвердила эффективность используемых методов *in vitro*. В условиях водной культуры было установлено, что длина корневой системы регенеранта 530-98 на стрессовом фоне была достоверно больше, чем в отсутствие стресса и, соответственно, их соотношение (ИДК) превышало единицу. Кроме того, величина ИДК у линии 530-98 было существенно (на 0,37 единиц) больше, чем у 173-85 и стандарта (рис. 1).

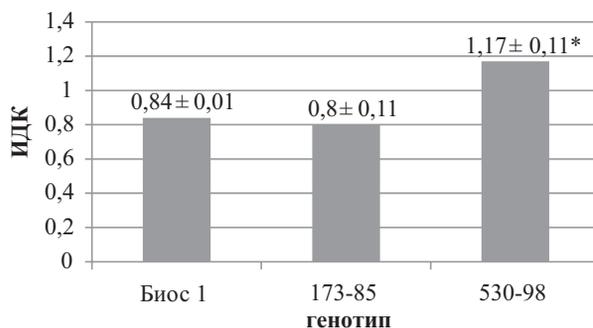


Рис. 1. Оценка алюмоустойчивости (ИДК) регенерантных линий ячменя в водной культуре (*достоверно отличается от стандарта при $P \geq 0,95$).

В вегетационных опытах толерантность к токсическому действию ионов водорода и алюминия регенеранта 530-98 проявлялась при усилении эдафического стресса. При благоприятных условиях выращивания (pH 6,0) и отсутствии свободных ионов алюминия в почвенном растворе отмечали преимущество стандарта (+0,24 т/га, 4,5 %).

Усиление почвенного стресса повлияло на урожайность обоих сортов (рис. 2). В условиях повышенной кислотности и невысокого содержания ионов алюминия в почвенном растворе (вариант 2), она была равной и составляла 5,0 т/га. Дальнейшее ухудшение условий произрастания (вариант 3) вызвало существенное снижение урожайности у стандарта и незначительное её повышение у RA 530-98, относительно предыдущего варианта, в итоге урожайность регенеранта была на 1,37 т/га (35,8 %) выше, чем у стандарта. Явное преимущество регенеранта проявилось при увеличении содержания алюминия в почвенном растворе до 21 мг/100 г почвы (4 вариант), превышение урожайности, по отношению к стандарту, составляло 0,66 т/га (90,4 %).

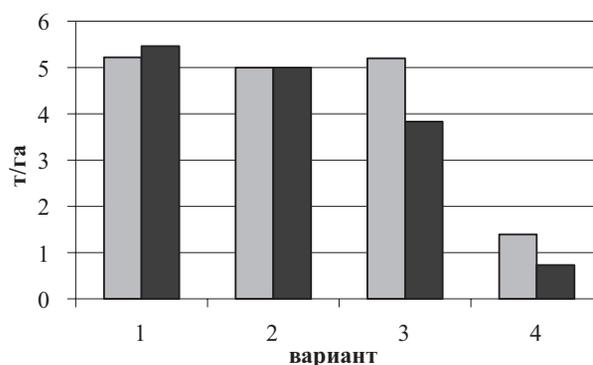


Рис. 2. Влияние условий выращивания на урожайность сортов ячменя: 1 – pH 6,0 Al^{3+} 0 мг/100 г почвы; 2 – pH 4,3; Al^{3+} 2,1 мг/100 г почвы; 3 – pH 3,8 Al^{3+} 8,7 мг/100 г почвы; 4 – pH 3,7 Al^{3+} 21 мг/100 г почвы; ■ – RA 530-98; ■ – стандарт.

Табл. 3. Характеристика сортов ячменя по дополнительному сбору зерна относительно стандарта

Сорт	Прибавка к стандарту, т/га				
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	средняя
Диалог	+0,05	+0,63	+0,51	+1,40	+0,85
Новичок	-0,46	-0,58	+1,05	+0,83	+0,43
НСР ₀₅	0,67	0,61	0,69	0,39	–

Адаптационное свойство некоторых алюмотолерантных сортов ячменя повышать урожайность при наличии небольшого содержания ионов алюминия в почвенном растворе, относительно известкованного фона, ранее уже отмечали [20] в вегетационных опытах на сортах ячменя Новичок, Фермер и др.

В результате последующих отборов *in vitro* была получена линия 550-08 (см. табл. 2). По итогам полевой оценки, включающей всю схему селекционного процесса для самоопылителей, ее выделили по ряду селекционно-ценных признаков и урожайности и подготовили для передачи на государственное сортоиспытание под рабочим названием Диалог.

Ботаническая характеристика перспективного сорта Диалог (550-08). Разновидность *nutans*. Форма куста – полупрямостоячая-промежуточная. Опушение листовых влагалищ нижних листьев отсутствует. Антоциановая окраска ушек и стеблевых узлов имеется. Соломина полая, средней толщины, прочная. Колос двурядный, цилиндрической формы, со слабым восковым налетом, средней длины и плотности, полупрямостоячий, соломенно-желтый. Ости длинные, зазубренные по всей длине, соломенно-желтые. Переход цветковой чешуи в ость постепенный. Опушение основной щетинки зерновки длинное.

Продолжительность вегетационного периода перспективного сорта находилась на уровне среднеспелого стандарта Белгородский 100 (83±8 дней, НСР₀₅=3 дня, $r=1,25\%$) и в среднем за годы изучения составляла 86±6 дней. По времени наступления фаз развития существенных различий между сортами не отмечали.

Установлена достоверная корреляционная связь между значением ГТК в период «выход в трубку-колошение» и урожайностью ($r = 0,520$) ячменя. У перспективного сорта Диалог и сорта Новичок период «выход в трубку-колошение» проходил при явном недостатке влаги, что не помешало им проявить адаптационные свойства, сформировав более высокую, чем у стандарта, урожайность. Ранее была установлена способность линии 550-08 формировать мощную корневую систему при дефиците влаги. Так, в 2016 г. в условиях жесткой засухи на протяжении всего вегетационного периода у нее отмечали в среднем 9,1 корень/раст. (при 3,7 шт. у стандартного сорта, НСР₀₅=2,4 корня/раст.), что обеспечило высокую сохранность растений к уборке (87,3 %, против 74,3 % у стандарта, НСР₀₅=7,9%) и, соответственно, большую урожайность. Высокие адаптивные свойства перспективного сорта Диалог подтвердились в 2021 г., когда в условиях засухи, которая продолжалась в течение всего межфазного периода «кущение – колошение» (см. табл. 1), его урожайность была выше, чем у стандарта, на 1,40 т/га (табл. 3).

По результатам оценки адаптивности и экологической пластичности регенерант отличался наименьшей разностью между максимальной и минимальной урожайностью, что характеризовало его высокую стрессоу-

стойчивость, относительно стандарта и сорта Новичок. По средней урожайности в контрастные по условиям вегетации годы он также продемонстрировал преимущество перед стандартом (табл. 4).

Табл. 4. Адаптивный потенциал сортов ячменя (2018–2020 гг.), т/га

Сорт	Показатель			
	Y _{min}	Y _{max}	Y _{min} -Y _{max}	(Y _{min} -Y _{max})/2
Белгородский 100, стандарт	1,48	6,18	-4,70	3,83
Диалог	2,88	6,69	-3,81	4,79
Новичок	2,31	7,23	-4,92	4,77

Перспективный сорт Диалог формировал зерно с хорошими технологическими свойствами: натура – 662 г/л, выровненность – 93,2 %, содержание сырого протеина в зерне – 10,9 %, крахмала – 50,7 %, жира – 1,7 %, клетчатки – 3,33 %. Оценка на инфекционно-провокационном фоне, проведенная в лаборатории иммунитета и защиты растений ФАНЦ Северо-Востока, характеризует его как умеренно устойчивый к гелиминтоспориозным пятнистостям листьев (степень поражения сетчатой пятнистостью 15,0 %, темно-бурой – 16,3 %; при величинах этих показателей у индикаторных сортов 29,0 и 50,0 % соответственно) и средне устойчивый к корневым гнилям (24,6 %, при 48,4 % у индикаторного сорта). В естественных полевых условиях отмечали слабое поражение пыльной головней (до 0,2%).

Таким образом, использование регенерантных линий ячменя позволяет усовершенствовать технологию селекционного процесса. Создан новый перспективный сорт ярового ячменя регенерантного происхождения Диалог (550-08), характеризующийся высокой урожайностью в условиях эдафического стресса, хорошими технологическими свойствами зерна и умеренной устойчивостью к болезням. Его высокие адаптивность и экологическая пластичность обусловлены фактом отборов алюмоустойчивых форм на стадии каллуса в селективных системах *in vitro*, что подтверждает эффективность применяемых методов клеточной селекции.

Литература.

1. Генералов И.Г. Тенденции развития зернового хозяйства в Приволжском федеральном округе // Вестник НГИЭИ. 2019. № 1 (92). С. 129–138.
2. Родина Н.А. Селекция ячменя на Северо-Востоке Нечерноземья. Киров, 2006. 488 с.
3. Дзюин Г.П., Дзюин А.Г. Урожайность ячменя в зависимости от уровня плодородия дерново-подзолистой суглинистой почвы // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2016. Т. 2. № 4 (8). С. 16–21.
4. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2019 году: Региональный доклад / Под общей редакцией А.В. Албеговой. Киров: Министерство охраны окружающей среды Кировской области, 2020. 208 с.
5. Молодкин В.Н., Бусыгин А.С. Плодородие пахотных почв Кировской области // Земледелие. 2016. №8. С. 16-18.
6. Баталова Г.А. Состояние и перспективы селекции и возделывания зернофуражных культур в России // Зерновое хозяйство России. 2011. №3. С.15-22.
7. Оценка качественных показателей зерна сортов и линий ярового ячменя / Л.М. Ерошенко, М.М. Ро-

- махин, А.Н. Ерошенко и др. // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019. №20(2). С. 126-133.
8. Носков А.Н., Батакова О.Б., Корелина В.А. Сравнительная оценка гибридных форм ярового ячменя по урожайности и адаптивным свойствам в условиях северного региона РФ // *Земледелие*. 2022. №1. С. 35-38.
 9. Марухняк А.Я. Оценка адаптивных особенностей сортов ярового ячменя. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. №1. С. 67–72.
 10. Щенникова И.Н., Кокина Л.П. Приоритетные направления и некоторые результаты селекции ярового ячменя в Волго-Вятском регионе // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2018. Т.20. №2(2). С. 214-219.
 11. Егорова Н.А., Ставцева И.В. Использование биотехнологических методов для создания исходного селекционного материала у некоторых эфиромасличных растений // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2016. №. 59. С. 122-131.
 12. Расторгуев С.Л., Квочкин А.Н., Соловых Н.В. Применение методов биотехнологии в агропромышленном секторе страны // *Достижения науки и техники АПК*. 2010. №. 12. С. 8-9.
 13. Кильчевский А.В. Генетико-экологические основы селекции растений // *Информационный вестник ВОГИС*. 2005. Т.9. №5. С. 518-526.
 14. Induced dedifferentiation of barley (*Hordeum vulgare* L.) embryonic cells and its relationship with agronomic traits / R. Naseri, K. Cheghamirza, L. Zarei, et al. // *Cell Mol Biol (Noisy le Grand)*. 2017. Vol. 63. P. 11-19.
 15. Highly efficient and genotype-independent barley gene editing based on anther culture / Y. Han, S. Broughton, L. Liu, et al. // *Plant Communications*. 2021. Vol. 2. No 2. P.1-13. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259034622030105X?via%3Dihub> (дата обращения: 10.02.2022) doi: 10.1016/j.xplc.2020.100082.
 16. A cell death assay in barley and wheat protoplasts for identification and validation of matching pathogen AVR effector and plant NLR immune receptors // I. Saur, S. Bauer, X. Lu, et al. // *Plant Methods*. 2019. Vol. 15. No. 118. P. 1-17. URL: <https://plantmethods.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13007-019-0502-0> (дата обращения: 09.02.2022) doi: 10.1186/s13007-019-0502-0.
 17. Никитина Е.Д., Хлебова Л.П., Ерещенко О.В. Разработка отдельных элементов технологии клеточной селекции яровой пшеницы на устойчивость к абиотическим стрессам // *Известия Алтайского государственного университета*. 2014. Т.2. №.3. С. 50-54.
 18. Рожанская О.А., Горшикова Е.М. Культура *in vitro* как источник биоразнообразия для селекции сои // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2019. Т. 49. №. 4. С. 24-31.
 19. Шуплецова О.Н. Селективные системы *in vitro* для получения генотипов ячменя с комплексной устойчивостью к почвенным стрессовым факторам: дис. ... докт. биол. наук. М., 2019. 291 с.
 20. Методика Госкомиссии по испытанию сельскохозяйственных культур. – М.: Калининская областная типография, 1985. 389 с.
 21. Popov F.A., Noskova E.N., Kozlova L.M. Effectiveness of various elements of grain cultivation technology // *BIO Web of Conferences*. 2021. Vol. 36. article 07001. URL: https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2021/08/bioconf_fsraaba2021_07001/bioconf_fsraaba2021_07001.html (дата обращения: 15.02.2022). doi: 10.1051/bioconf/20213607001
 22. Дёмишин С.Л. Техника для обработки почвы и посева в условиях Евро-Северо-Востока России. *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016. №3(18). С. 17-24.
 23. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2005. №6. С. 49-53.
 24. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агрпромиздат. 1985. 351 с.

Поступила в редакцию 09.03.2022
 После доработки 14.04.2022
 Принята к публикации 11.05.2022