

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья
УДК 633.16:663.421
DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-79-89



Оценка исходного материала для селекции ячменя пивоваренного направления

О. А. Юсова¹, П. Н. Николаев¹, М. А. Кузьмич², Л. С. Кузьмич²

¹ Омский аграрный научный центр, Омск, Россия

² Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», Московская область, Россия

Автор, ответственный за переписку: Оксана Александровна Юсова, yusova@anc55.ru

Актуальность. Цель исследований – выделить перспективные генотипы ячменя пивоваренного направления из исходного материала селекции Омского аграрного научного центра.

Материал и методы. Исследования проведены с 2017 по 2020 г. в южной лесостепи Западной Сибири. Объект исследований – 13 линий: Саша × Гетьман (2 линии); Саша × Margret; Подарок Сибири × Гетьман (3 линии); Омский 95 × Беатрис (3 линии); Омский 95 × Деспина; Омский 95 × Viva; Омский 100 × Margret; Омский 90 × Margret. Биохимическая оценка зерна на пивоваренные качества проведена совместно с Федеральным исследовательским центром «Немчиновка» по ГОСТ 5060-86 (Ячмень пивоваренный. Технические условия).

Результаты и обсуждение. Наиболее перспективными являются линии, характеризующиеся повышенной урожайностью (5,39–6,21 т/га) и пониженной массовой долей белка (11,39–11,92%): Саша × Гетьман (1), Саша × Гетьман (2), Омский 90 × Margret, Омский 95 × Беатрис (2), Омский 95 × Беатрис (3), Омский 95 × Деспина. Также данные линии обладают комплексом следующих пивоваренных признаков: выравненность зерна (98,7–99,95); пленчатость зерна: (9,3–9,9%), масса 1000 зерен (55,6–57,0 г), экстрактивность зерна (78,1 и 78,9%), массовая доля крахмала (55,35–56,83%), цветность (0,15–0,30 ед. ЕВС), стекловидность солода (0,0–3,0%).

Заключение. Для дальнейших исследований рекомендуются линии Саша × Гетьман (1) и (2), Омский 90 × Margret, Омский 95 × Беатрис (2) и (3), Омский 95 × Деспина.

Ключевые слова: генотип, линии ячменя, пивоваренные качества, урожайность

Благодарности: работа выполнена в рамках тематики № FNUN-0222-0026 «Создание новых сортов пшеницы (озимой, яровой мягкой и твердой), зернобобовых культур (горох и соя), зернофуражных (ячмень, овес) и многолетних трав (люцерна, костреч безостый) с улучшенными показателями продуктивности и качества, повышенной устойчивостью к болезням, к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам среды».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Юсова О.А., Николаев П.Н., Кузьмич М.А., Кузьмич Л.С. Оценка исходного материала для селекции ячменя пивоваренного направления. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):79-89. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-79-89

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-79-89

Assessment of source material for malting barley breeding

Oksana A. Yusova¹, Petr N. Nikolaev¹, Mikhail A. Kuzmich², Lyudmila S. Kuzmich²¹ Omsk Agricultural Scientific Center, Omsk, Russia² Nemchinovka Federal Research Center, Moscow Province, RussiaCorresponding author: Oksana A. Yusova, yusova@anc55.ru

Background. The objective of the research was to identify promising genotypes of malting barley in the source material developed at Omsk Agricultural Scientific Center.

Material and methods. The studies were carried out from 2017 to 2020. in the southern forest-steppe of Western Siberia. The target material included 13 lines: Sasha × Getman (2 lines), Sasha × Margret, Podarok Sibiri × Getman (3 lines), Omsky 95 × Beatrice (3 lines), Omsky 95 × Despina, Omsky 95 × Viva, Omsky 100 × Margret, and Omsky 90 × Margret. Biochemical assessment of grain quality for brewing qualities was carried out jointly with Nemchinovka Federal Research Center according to GOST 5060-86 (Barley for brewing. Specifications).

Results and discussion. The most promising were the lines demonstrating increased yield (5.39–6.21 t/ha) and reduced mass fraction of protein (11.39–11.92%): Sasha × Getman (1), Sasha × Getman (2), Omsky 90 × Margret, Omsky 95 × Beatrice (2), Omsky 95 × Beatrice (3), and Omsky 95 × Despina. Besides, these lines had a set of the following brewing characteristics: grain evenness (98.7–99.95); grain filminess (9.3–9.9%), 1000 grain weight (55.6–57.0 g), grain extractivity (78.1 and 78.9%), mass fraction of starch (55.35–56.83%), color (0.15–0.30 EBC units), and malt vitreousness (0.0–3.0%).

Conclusion. The lines Sasha × Getman (1) and (2), Omsky 90 × Margret, Omsky 95 × Beatrice (2) and (3), Omsky 95 × Despina are recommended for further research.

Keywords: genotype, barley lines, brewing qualities, yield

Acknowledgements: the work was carried out as part of the implementation of Theme No. FNUN-0222-0026 “Development of new cultivars of wheat (winter, spring bread, and durum), leguminous crops (pea and soybean), grain fodder (barley, and oat) and perennial grasses (alfalfa, and awnless brome) with improved indicators of productivity and quality, and increased resistance to diseases and unfavorable biotic and abiotic environmental factors”.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Yusova O.A., Nikolaev P.N., Kuzmich M.A., Kuzmich L.S. Assessment of source material for malting barley breeding. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):79-89. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-79-89

Введение

Несмотря на достаточное количество сортов ячменя отечественной селекции (более 100), на сегодняшний день производство пивоваренного сырья не отвечает запросам производства (потребность в сырье составляет около двух млн т). Усугубляется данная ситуация дальнейшим повышением спроса на зерно ячменя для пивоварения, что восполняется импортным сырьем (Yeroshenko et al., 2015; Kobelev et al., 2015) и создает определенную зависимость отечественного производства от импорта. Преимущество иностранных сортов перед отечественными в основном определяет стабильно пониженное содержание в зерне белка и более краткий период солодоращения.

Отсутствие в течение продолжительного периода времени государственного сортообновления и сортосмены отечественных пивоваренных сортов привело к тому, что возделывание в РФ сортов пивоваренного ячменя иностранной селекции возрастает (Yeroshenko et al., 2015; Kobelev et al., 2015). По данным Россельхозцентра, доля зарубежного семенного материала составляет около 90%.

В Российской Федерации основное производство пивоваренного ячменя сконцентрировано в Центрально-Черноземной зоне и на юге Сибири. В последние годы отмечено его продвижение на север – в Ленинградскую и Ярославскую области (Ponomareva, Zakharova, 2015).

Одним из факторов, оказывающих непосредственное влияние на урожайность и формирование качественных показателей зерна ячменя, являются изменяющиеся климатические условия (Morcia et al., 2016; Nogueira et al., 2018). Основное влияние на получение качественной продукции оказывают агротехнологии и применение в производстве новых адаптивных сортов (Yeroshenko et al., 2015; Oganesyants et al., 2019), что обуславливает непрерывный анализ данных факторов.

В Омском регионе наиболее благоприятные гидро-термические условия для получения зерна необходимого качества складываются в зоне подтайги и тайги – вероятность получения зерна в соответствии с ГОСТ 5060-86 (ГОСТ 5060-86..., 2019) составляет 80%. В северной лесостепи такая вероятность составляет 60–70%, в южной лесостепи – 50–60%, в степной зоне – 50–30% (Maksimov, 2004).

Итогом многолетней селекционной работы ФГБНУ «Омский АНЦ» являются пивоваренные сорта ячменя, внесенные в Госреестр РФ («Омский 90» и «Омский 100»); находится на ГСИ новый перспективный сорт «Омский 102».

Цель исследований – выделить перспективные генотипы ячменя пивоваренного направления из исходного материала селекции Омского АНЦ.

Материал и методы

Представлены материалы исследований с 2017 по 2020 г., проведенные на опытных полях ФГБНУ «Омский АНЦ» (южная лесостепь Западной Сибири) по общепринятой методике (Loskutov et al., 2012) с последующей математической обработкой (Dospelkhov, 1985).

Почва представлена черноземом луговым среднесильно-тяжелосуглинистым. Содержание гумуса (по Тюрину) варьировало от 5,90 до 7,00%, подвижного фосфора – 90–120 мг/кг (по Кирсанову); обменного калия – 240–320 мг/кг почвы (по Масловой), нитратного

азота (по Кочергину) – 6,0 мг/кг, сумма поглощенных оснований – 40,0 мг-экв./100 г почвы, pH_{KCl} почвенного раствора – 6,3–6,6 ед. В составе катионов преобладает кальций (90,0%), на магний приходится 9,5% от общей емкости поглощения, натрия – менее 0,5%.

Климатические условия Западно-Сибирской равнины обусловлены переходом континентального климата на западе в резко континентальный на востоке. Периоды исследований с 2017 по 2020 г. характеризовались контрастными условиями, что подтверждает перечисленные выше общие тенденции. Так, засушливые условия наблюдались в 2017 и 2020 г. (ГТК = 0,68 и 0,60). Оптимальные по влагообеспеченности – 2018 и 2019 г. (ГТК = 1,06 и 1,39). Май и июнь за исследуемый период (2017–2020 гг.) характеризовались либо увлажнением на уровне нормы (+3,8 мм к среднесезонным данным), либо значительным переувлажнением (+65,5 мм). Аналогичная тенденция наблюдалась в последующие месяцы, за исключением июля 2020 г. (13,5 мм осадков, что составило 64,5% к норме) и августа 2017 г. (14 мм; 87,5% к норме). На этом фоне отмечен недостаток тепла в мае и августе с 2017 по 2019 г. (–0,2...–5,8°С к среднесезонным), июне 2018–2020 гг. (–2,1...–3,8°С к среднесезонным), июле 2017 и 2019 г. (–1,0...–6,9°С к норме).

Объект исследований – 13 линий:

- Саша × Гетьман (2 линии);
- Саша × Margret;
- Подарок Сибири × Гетьман (3 линии);
- Омский 95 × Беатрис (3 линии);
- Омский 95 × Деспина;
- Омский 95 × Viva;
- Омский 100 × Margret;
- Омский 90 × Margret.

Родительскими сортами являются сорта селекции Омского АНЦ («Омский 90», «Омский 95», «Омский 100», «Саша», «Подарок Сибири»), инорайонные («Гетьман» – Северо-Кавказский ФНАЦ) и зарубежные («Margret» – оригинатор Saaten-UnionGMBH, «Беатрис» – Nordsaat Saatzzucht GMBH, «Деспина» – Nordsaat Saatzzucht GMBH).

Перечисленные линии получены в результате гибридизации в 2011 г. В статье представлены результаты исследования данных линий поколений F_6 – F_8 .

Ниже представлена характеристика родительских сортов, рекомендованных к возделыванию в Уральском (9) и Западно-Сибирском (10) регионах. Сорта селекции Омского АНЦ являются источниками адаптивности к резко континентальным местным условиям.

– «Саша»: характеризуется высокой потенциальной продуктивностью, засухоустойчив, слабо восприимчив к черной и каменной головне.

– «Подарок Сибири»: не был включен в Госреестр РФ, но используется в селекционном процессе в качестве источника адаптивности.

– «Омский 95»: высокая потенциальная продуктивность и качество зерна, устойчивость к полеганию и засухе. Сорт слабо восприимчив к каменной и черной головне.

– «Омский 100»: сорт среднеспелый, высокоустойчив к полеганию, характеризуется слабой восприимчивостью к черной головне, высокой потенциальной продуктивностью и качеством зерна.

– «Омский 90»: способен формировать пивоваренное зерно в условиях Западной Сибири, отличается высокой и стабильной урожайностью. Выступал в исследованиях в качестве стандартного сорта.

В качестве отцовских сортов в схемы скрещивания включены перечисленные ниже сорта инорайонной и иностранной селекции.

– ‘Гетьман’: (оригинатор ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ) среднеспелый, устойчив, средне засухоустойчив. Пивоваренный и ценный по качеству. Устойчив к твердой головне, восприимчив к гельминтоспориозу, сильно восприимчив к пыльной головне. Включен в Госреестр по Северо-Кавказскому (6) региону.

– ‘Margret’: (оригинатор Saaten-UnionGMBH) среднеспелый, устойчив к полеганию, засухоустойчивость на уровне стандартов. Пивоваренный. Умеренно устойчив к твердой головне; восприимчив к пыльной головне, гельминтоспориозу, корневым гнилям. Включен в Госреестр по Центральному (3) и Центрально-Черноземному (5) регионам. Рекомендован для возделывания в Московской области.

– ‘Беатрис’: (оригинатор Nordsaat Saatzucht GMBH) среднеспелый, устойчив к полеганию, засухоустойчивость на уровне или несколько ниже стандартов. Пивоваренный. Восприимчив к пыльной головне и гельминтоспориозу. Включен в Госреестр по Центральному (3) и Центрально-Черноземному (5) регионам. Рекомендован для возделывания в Белгородской, Курской и Липецкой областях.

– ‘Деспина’: (оригинатор Nordsaat Saatzucht GMBH) среднеспелый, устойчив к полеганию, средnezасухоустойчив. Содержание белка 9,5–12,3%. Умеренно восприимчив к пыльной головне; сильно восприимчив к гельминтоспориозу. Включен в Госреестр по Волго-Вятскому (4) региону. Рекомендован для возделывания в Нижегородской области.

– ‘Viva’: получен в качестве пивоваренного коллекционного образца из ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР).

Биохимическая оценка качества зерна проведена совместно с Федеральным исследовательским центром «Немчиновка». Оценка образцов ячменя на пивоваренные качества проведена в соответствии с требованиями ГОСТ 5060-86 (GOST 5060-86..., 2019) по следующим признакам: выравненность, пленчатость, стекловидность, способность и энергия прорастания, масса 1000 зерен, экстрактивность, массовые доли белка и крахмала, время осахаривания, кислотность, цветность.

Результаты и обсуждение

Выравненность солода показывает пригодность зерна к процессам дробления и затирания, а также выходу экстракта. При сходе с сит (с размером отверстий 2,8 на 2,5 мм) не менее 85% зерен солод определяется как высококачественный.

Согласно данным наших исследований, все исследуемые образцы отличались высокой выравненностью солода (от 92,9 до 99,9%) при незначительной изменчивости ($CV = 2,6\%$), таблица 1. Максимальное значение данного признака отмечено у линий Саша × Гетьман (2) и Подарок Сибири × Гетьман (1) (99,9 и 99,6%), что на уровне стандарта.

Пленчатость не регламентируется ГОСТом, но проходит контроль на промышленных предприятиях как «мякинная оболочка» и должна составлять около 9% (Khokopova, 2015) с отклонениями в зависимости от года от 8 до 10% (Cai et al., 2016). Ячмень при пленчатости ниже указанного предела считается тонкоплен-

чатым (применяется для производства светлых сортов пива), выше – грубопленчатым (применяется для производства темных сортов пива) (GOST5060-86..., 2019).

Пленчатость является сортовым признаком, но также изменяется в зависимости от почвенно-климатических и агротехнических условий выращивания (Cai et al., 2016). В среднем по опыту пленчатость зерна ячменя составила 9,1%, при незначительном варьировании ($CV < 10\%$). Минимальная пленчатость отмечена у стандартного сорта ‘Омский 90’ и линии Омский 90 × Margret (8,4%), максимальная – Саша × Margret (1) и Омский 95 × Беатрис (2) (9,9%). Все исследуемые линии соответствовали требованиям ГОСТ по данному признаку.

Стекловидность зерна ячменя обуславливается повышенной массовой долей белка либо цементации крахмальных зерен (что нивелируется при солодоращении). Нормы допустимой стекловидности не установлены. В нашем опыте среднегрупповая стекловидность составила 36,7%, изменяясь от 27,0% у линии Подарок Сибири × Гетьман (2) до 50% – у линии Омский 90 × Margret. Изменчивость признака средняя ($CV = 18,7\%$).

Энергия прорастания (45 суток после уборки), в среднем по опыту, составила 97,2%, при незначительной изменчивости ($CV < 10\%$). Минимальное значение данного показателя отмечено у линии Омский 100 × Margret (94,6%, что на уровне стандарта) максимальное (99,0%) – Омский 95 × Беатрис (3).

Среднее значение способности прорастания составило 92,4% (Lim. = 87,4–96,0%) (см. табл. 1). Для зерна, поставляемого не ранее чем через 45 суток после его уборки, показатель данного признака 95% соответствует ячменю 1-го класса; 90% – 2-го класса. Таким образом, к 1-му классу относится зерно стандарта ‘Омский 90’ и линии Омский 95 × Беатрис (3). Повышенные значения данного показателя означают готовность зерна для переработки в солод. Разница между энергией и способностью прорастания, превышающая 2%, означает нарушение процессов соложения. В наших исследованиях линия Омский 90 × Margret соответствовал требуемым параметрам (94,6 и 96,6% способность и энергия прорастания соответственно).

Еще одним фактором благоприятного соложения является крупность зерна (Khokopova, 2015; Neugschwandner et al., 2019). Масса 1000 зерен пивоваренного ячменя должна составлять более 40 г, чему соответствовали все исследуемые образцы (49,8–57,8 г), при максимальном значении у стандарта (57,8%) и линии Омский 95 × Деспина (57,0%).

В таблице 2 представлен качественный, а также цитолитический анализ растворимости солода. Цитолиз – это процесс растворения клеточных стенок, который оказывает непосредственное влияние на прохождение технологических процессов и качество готового продукта.

Основным показателем высоких пивоваренных качеств зерна ячменя, является экстрактивность (которая, в свою очередь, зависит главным образом от количества крахмала) (Khokopova, 2015) и должна составлять не менее 75–78%. Данному условия соответствуют все исследуемые линии (при незначительной изменчивости $CV = 0,9\%$), при максимальном значении экстрактивности (80,4%) у линии Саша × Гетьман (2), Саша × Margret (2), Омский 95 × Беатрис (2), что превышает стандарт (78,0%).

Массовая доля белка для пивоваренного ячменя не должна превышать 12%, иначе переработка зерна в со-

Таблица 1. Физиологические показатели зерна ячменя, в среднем за 2017–2020 гг., южная лесостепь Западной Сибири
 Table 1. Physiological indicators of barley grain on average for 2017–2020, southern forest-steppe of Western Siberia

Генотип / Genotype	Выравненность, % / Grain evenness, %	Пленчатость зерна, % / Grain filminess, %	Стекловидность, % / Vitreousness, %	Способность прорастания, % / Germination ability, %	Энергия прорастания, % / Germination energy, %	Масса 1000 зерен, г / 1000 grain weight, g
Омский 90 / Omsky 90, St	99,9	8,3	32,8	95,2	98,7	57,8
Саша × Гельман (1) / Sasha × Getman (1)	99,7	9,3	35,0	91,4	95,8	55,6
Саша × Гельман (2) / Sasha × Getman (2)	99,9	9,7	33,0	93,6	97,6	53,8
Саша × Margret (1) / Sasha × Margret (1)	96,0	9,9	37,0	90,0	96,4	54,8
Саша × Margret (2) / Sasha × Margret (2)	92,9	9,2	30,0	91,8	96,4	54,6
Омский 95 × Viva / Omsky 95 × Viva	95,0	8,7	47,0	92,6	98,8	54,0
Омский 90 × Margret / Omsky 90 × Margret	98,1	8,4	50,0	94,6	96,6	55,6
Подарок Сибири × Гельман (1) / Podarok Sibiri × Getman (1)	99,6	9,0	28,0	87,4	97,8	55,6
Подарок Сибири × Гельман (2) / Podarok Sibiri × Getman (2)	92,9	8,5	27,0	92,2	98,6	50,2
Подарок Сибири × Гельман (3) / Podarok Sibiri × Getman (3)	99,0	9,6	40,0	92,2	97,0	55,0

Таблица 1. Окончание
Table 1. The end

Генотип / Genotype	Выравненность, % / Grain evenness, %	Пленчатость зерна, % / Grain filminess, %	Стекловидность, % / Vitreousness, %	Способность прорастания, % / Germination ability, %	Энергия прорастания, % / Germination energy, %	Масса 1000 зерен, г / 1000 grain weight, g
Омский 100 × Margret / Omsky 100 × Margret	99,0	9,2	45,0	90,0	94,6	55,2
Омский 95 × Беатрис (1) / Omsky 95 × Beatrice (1)	98,6	8,8	30,0	94,0	97,2	51,6
Омский 95 × Беатрис (2) / Omsky 95 × Beatrice (2)	94,5	9,9	29,0	93,2	98,2	52,2
Омский 95 × Беатрис (3) / Omsky 95 × Beatrice (3)	98,7	9,6	44,0	96,0	99,0	49,8
Омский 95 × Деспина / Omsky 95 × Despina	98,9	8,5	43,0	91,8	95,8	57,0
\bar{X} по признаку / mean by feature	97,5	9,1	36,7	92,4	97,2	54,2
max	99,9	9,9	50,0	96,0	99,0	57,8
min	92,9	8,3	27,0	87,4	94,6	49,8
CV, %	2,6	5,8	18,7	2,3	1,3	4,0
$S_{\bar{x}}$	0,7	0,2	1,9	0,6	0,3	0,6

Таблица 2. Качественные и урожайные показатели, цитологическая растворимость солода, в среднем за 2017–2020 гг., южная лесостепь Западной Сибири
Table 2. Qualitative and yield indicators, and cytolytic malt solubility on average for 2017–2020, southern forest-steppe of Western Siberia

Генотип / Genotype	Экстрактивность, % / Extractivity, %				Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %	Массовая доля крахмала, % / Mass fraction of starch, %	Осахаривание, мин / Saccharification, min	Кислотность, мЛ 1 н NaOH/100 г / Сула / Acidity, ml 1 n NaOH/100 g wort	Цветность, ед. EBC / Color, European Brewery Convention units	Стекловидность солода, % / Malt vitreousness, %	Урожайность, т/га / Yield, t/ha
	цельное зерно / whole grain	зерно грубого помола / coarsely ground grain	зерно тонкого помола / finely ground grain	разность экстракта тонкого и грубого помола / extract difference between fine and coarse grinding							
Омский 90 / Omsky 90, St	78,0	73,5	76,3	2,8	14,53	53,60	15,9	1,5	0,49	3,5	6,50
Саша × Гельман (1) / Sasha × Getman (1)	80,4	78,5	80,3	1,8	11,92	55,35	15,0	1,4	0,30	2,0	5,31
Саша × Гельман (2) / Sasha × Getman (2)	78,1	74,6	77,6	3,0	11,92	56,16	10,0	1,1	0,19	3,0	5,99
Саша × Margret (1) / Sasha × Margret (1)	79,5	74,6	78,6	4,0	14,16	55,11	15,0	1,1	0,24	0,0	5,26
Саша × Margret (2) / Sasha × Margret (2)	77,9	77,2	77,0	-0,2	12,44	56,17	15,0	1,2	0,30	4,0	5,40
Омский 95 × Viva / Omsky 95 × Viva	78,9	73,0	78,3	5,3	12,44	55,19	15,0	1,0	0,24	2,0	5,97
Омский 90 × Margret / Omsky 90 × Margret	80,0	76,9	79,8	3,0	11,58	57,82	10,0	1,3	0,43	0,0	5,39
Подарок Сибири × Гельман (1) / Podarok Sibiri × Getman (1)	79,5	73,6	77,8	4,2	12,95	57,16	15,0	1,0	0,12	1,0	6,48
Подарок Сибири × Гельман (2) / Podarok Sibiri × Getman (2)	79,5	77,3	79,1	1,8	14,02	56,18	20,0	1,3	0,30	0,0	6,21
Подарок Сибири × Гельман (3) / Podarok Sibiri × Getman (3)	78,9	75,2	78,2	3,0	13,48	54,86	15,0	1,2	0,27	4,0	5,38

Таблица 2. Окончание
Table 2. The end

Генотип / Genotype	Экстрактивность, % / Extractivity, %				Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %	Массовая доля крахмала, % / Mass fraction of starch, %	Осахаривание, мин / Saccharification, min	Кислотность, мл 1 н NaOH/100 г сусла / Acidity, ml 1 n NaOH/100 g wort	Цветность, ед. EBC / Color, European Brewery Convention units	Стекловидность солода, % / Malt vitreousness, %	Урожайность, т/га / Yield, t/ha
	цельное зерно / whole grain	зерно грубого помола / coarsely ground grain	зерно тонкого помола / finely ground grain	разность экстракта тонкого и грубого помола / extract difference between fine and coarse grinding							
Омский 100 × Margret / Omsky 100 × Margret	78,9	75,1	78,9	3,8	12,56	53,55	15,0	1,2	0,19	1,0	5,99
Омский 95 × Беатрис (1) / Omsky 95 × Beatrice (1)	78,7	78,6	78,5	-0,1	12,07	56,83	10,0	1,4	0,46	0,0	5,86
Омский 95 × Беатрис (2) / Omsky 95 × Beatrice (2)	77,9	77,5	79,4	1,9	11,43	56,50	10,0	1,3	0,61	2,0	5,71
Омский 95 × Беатрис (3) / Omsky 95 × Beatrice (3)	78,9	73,9	79,4	5,5	11,80	54,86	15,0	0,9	0,15	2,0	5,79
Омский 95 × Деспина / Omsky 95 × Despina	79,5	77,7	80,6	2,9	11,39	56,83	10,0	1,0	0,24	0,0	6,21
\bar{x} по признаку / mean by feature	79,0	75,8	78,7	2,9	12,58	55,74	13,7	1,2	0,30	1,6	5,83
max	80,4	78,6	80,6	5,5	14,53	57,82	20,0	1,5	0,61	4,0	6,50
min	77,9	73,0	76,3	-0,2	11,39	53,55	10,0	0,9	0,12	0,0	5,26
CV, %	0,9	2,5	1,3	30,2	7,0	2,0	22,5	11,7	25,9	26,9	6,7
$S_{\bar{x}}$	0,2	0,5	0,3	0,5	0,23	0,30	0,8	0,2	0,04	0,4	0,10

лод значительно затрудняется. В нашем опыте пониженное содержание белка имели линии Саша × Гетьман (1), Саша × Гетьман (2), Омский 95 × Беатрис (2), Омский 95 × Беатрис (3), Омский 95 × Деспина, Омский 90 × Margret (11,39–11,92%), что значительно ниже показателей стандарта (14,53%).

Стекловидность солода в пределах 2–3% наблюдается у высококачественного солода. Стандартный сорт 'Омский 90' характеризуется повышенным значением данного показателя (3,5%). Отсутствие стекловидности солода (0%) отмечено у линий Саша × Margret (1), Омский 90 × Margret, Подарок Сибири × Гетьман (2) и Омский 95 × Деспина. Пониженное значение данного признака (1–3%) отмечено у линий Саша × Гетьман (2), Омский 95 × Viva, Саша × Гетьман (1), Подарок Сибири × Гетьман (1), Омский 100 × Margret, Омский 95 × Беатрис (2) и Омский 95 × Беатрис (3).

Основная масса углеводов зерна ячменя представлена крахмалом, который превращается в сбраживаемый экстракт (декстрин) (Khokonova, 2016). Повышенное содержание крахмала увеличивает пивоваренную ценность ячменя. Литературные источники по-разному регламентируют содержание крахмала в зерне пивоваренного ячменя: от 60–70% (Khokonova, 2015) до 73–82% (Yeroshenko et al., 2015). Общепринятыми нормами массовой доли крахмала является интервал от 50 до 60%. В нашем опыте массовая доля крахмала изменялась от 53,55% (Омский 100 × Margret) до 57,82% (Омский 90 × Margret).

Для солода высшего качества кислотность должна составлять 0,9–1,1 мл 1н NaOH/100 г суслу. Данному требованию соответствуют линии Омский 95 × Viva и Саша × Гетьман (2), Подарок Сибири × Гетьман (1), Омский 95 × Беатрис (3), Омский 95 × Деспина. Максимальная кислотность (1,5 мл 1н NaOH/100 г суслу) наблюдалась у стандарта.

Прозрачность суслу (его мутность) определяют с помощью детектора (под углом 90°). Единица цвета EBC (ед. EBC) – это условная единица цвета пива, принятая Европейской конвенцией (European Brewery Convention) и рассчитывается на основе измерения оптической плотности пива. EBC не должно превышать 3 ед. В нашем опыте все исследуемые линии соответствуют данному показателю (0,12–0,61 EBC).

Время осахаривания зависит от способности солода к растворению и от активности амилолитических ферментов. Время осахаривания 10–15 минут означает солод высокого качества. Результаты нашего исследования показали, что минимальным временем осахаривания (10 мин) обладают линии Омский 90 × Margret, Саша × Гетьман (2), Омский 95 × Беатрис (1), Омский 95 × Беатрис (2) и Омский 95 × Деспина. Осахаривание в течение 15 минут характерно для линии Подарок Сибири × Гетьман (3), Омский 100 × Margret, Саша × Margret (2), Подарок Сибири × Гетьман (1), Саша × Гетьман (1), Саша × Margret (1), Омский 95 × Viva и Омский 95 × Беатрис (3), что значительно ниже данных стандартного сорта (15,9 мин).

Разность массовых долей экстрактов тонкого и грубого помола указывает на степень растворения солода. Нормально растворенный солод имеет значение от 1,2 до 1,8%. Соответствуют данному требованию линии Подарок Сибири × Гетьман (2) и Омский 95 × Беатрис (2), что составляет –1,1 и –1,2% к стандарту соответственно.

Урожайность является интегральным признаком, который определяет эффективность использования в производстве того или иного сорта (Vescari et al., 2017;

Churyukin, Geras'kin, 2017; Yusova et al., 2020a) и оказывает прямое влияние на формирование показателей качества зерна (Yusova et al., 2020b). Средняя по опыту урожайность составила 5,83 т/га (Lim. = 5,26–6,50 т/га), при незначительной изменчивости (CV = 6,7%).

Повышенной урожайностью (на уровне стандарта) характеризуются линии Саша × Гетьман (1), Саша × Гетьман (2), Омский 90 × Margret, Омский 95 × Беатрис (2), Омский 95 × Беатрис (3), Омский 95 × Деспина (5,39–6,21 т/га).

Проведенные исследования позволяют говорить о том, что стандартный сорт 'Омский 90', в силу особенностей отечественной селекции, характеризуется максимальной урожайностью и повышенными значениями физиологических показателей зерна на фоне низких показателей качества зерна и цитолитической растворимости солода. Данный факт является еще одним объяснением широкого использования в пивоваренной промышленности сортов иностранной селекции.

Линии, приведенные в данном исследовании, в качестве материнских форм имеют сорта селекции Омского АНЦ, что благоприятно сказалось на формировании урожайности данных линий и их общей адаптивности к местным условиям. Сорта иностранной селекции (отцовские формы) послужили для полученных линий источниками качества зерна и цитолитической растворимости солода, которые отвечают требованиям пивоваренной промышленности.

Между тем, все линии обладают различным набором пивоваренных показателей. Выделить линии, которые соответствовали бы ГОСТ 5060-86 (ГОСТ 5060-86..., 2019) по всем описанным выше признакам не представляется возможным.

Заключение

Таким образом, для дальнейших исследований выделяются линии ячменя пивоваренного направления, характеризующиеся повышенной урожайностью (5,39–6,21 т/га) и пониженной массовой долей белка (11,39–11,92%): Саша × Гетьман (1), Саша × Гетьман (2), Омский 90 × Margret, Омский 95 × Беатрис (2), Омский 95 × Беатрис (3), Омский 95 × Деспина.

Также, перечисленные линии характеризуются комплексом следующих пивоваренных признаков:

- выравненность зерна: Саша × Гетьман (1), Саша × Гетьман (2), Омский 95 × Беатрис (3), Омский 95 × Деспина (98,7–99,95%);
- пленчатость зерна: Саша × Гетьман (1), Саша × Гетьман (2), Омский 90 × Margret, Омский 95 × Беатрис (2), Омский 95 × Беатрис (3) (9,3–9,9%);
- масса 1000 зерен: Омский 95 × Деспина (57,0 г), Саша × Гетьман (1) и Омский 90 × Margret (55,6 г);
- экстрактивность зерна: Саша × Гетьман (1), Омский 95 × Беатрис (3) (79,5 и 80,4%); Саша × Гетьман (2), Омский 95 × Беатрис (3) (78,1 и 78,9%);
- массовая доля крахмала: Саша × Гетьман (1), Саша × Гетьман (2), Омский 90 × Margret, Омский 95 × Беатрис (3), Омский 95 × Деспина (55,35–56,83%);
- цветность: Саша × Гетьман (1), Саша × Гетьман (2), Омский 90 × Margret, Омский 95 × Беатрис (3), Омский 95 × Деспина (0,15–0,30 ед. EBC);
- стекловидность солода: Саша × Гетьман (1), Саша × Гетьман (2), Омский 95 × Беатрис (2), Омский 95 × Беатрис (3) (2,0–3,0%); Омский 90 × Margret и Омский 95 × Деспина (0,0%).

References / Литература

- Beccari G., Tini F., Bonciarelli U., Onofri A., Queslati S., Limayma M. et al. Changes in the *Fusarium* head blight complex of malting barley in a three-year field experiment in Italy. *Toxins*. 2017;9(4):120. DOI: 10.3390/toxins9040120
- Cai G., Li X., Zhang C., Lu J., Zhang M. Dextrin as the main turbidity components in wort produced from major malting barley cultivars of Jiangsu province in China. *Journal of the Institute of Brewing*. 2016;122(3):543-546. DOI: 10.1002/jib.356
- Churyukin R.S., Geras'kin S.A. Hormesis in barley (*Hordeum vulgare* L.) plants derived from γ -irradiated seeds under contrasting weather conditions. *Agricultural Biology*. 2017;52(4):820-829. [in Russian] (Чурюкин Р.С., Гераскин С.А. Проявление эффекта гормезиса у растений ячменя (*Hordeum vulgare* L.) в контрастных условиях произрастания при γ -облучении семян. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(4):820-829). DOI: 10.15389/agrobiology.2017.4.820rus
- Dospikhov V.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспихов В.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).
- GOST 5060-86. Interstate standard. Barley for brewing. Specifications. Moscow: Standartinform; 2010. [in Russian] (ГОСТ 5060-86. Межгосударственный стандарт. Ячмень пивоваренный. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2010). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023680> [дата обращения: 15.12.2022].
- Khokonova M.B. Improving the methods of barley cultivation for brewing production (Sovershenstvovaniye priyemov vozdel'yvaniya yachmenya dlya pivovarennogo proizvodstva). *Innovatsionnaya nauka = Innovative Science*. 2016;(8-3):42-44. [in Russian] (Хоконова М.Б. Совершенствование приемов возделывания ячменя для пивоваренного производства. *Инновационная наука*. 2016;(8-3):42-44).
- Khokonova M.B. Influence of the method of barley harvesting on the yield and brewing qualities of grain (Vliyaniye sposoba uborki yachmenya na urozhaynost i pivovarennyye kachestva zerna). *Innovatsionnaya nauka = Innovative Science*. 2015;8-2(8):86-89. [in Russian] (Хоконова М.Б. Влияние способа уборки ячменя на урожайность и пивоваренные качества зерна. *Инновационная наука*. 2015;8-2(8):86-89).
- Kobelev K.V., Danilyan A.V., Selina I.V., Sozinova M.S. The evaluation system of brewing properties of barley breeding. *Pivo i napitki = Beer and Drinks*. 2015;(2):40-42. [in Russian] (Кобелев К.В., Данилян А.В., Селина И.В., Созинова М.С. Система оценки пивоваренных свойств селекционного ячменя. *Пиво и напитки*. 2015;(2):40-42).
- Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Guidelines for the study and preservation of the world collection of barley and oats (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniyu mirovoy kollektzii yachmenya i ovsa). St. Petersburg: VIR; 2012. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. Санкт-Петербург: ВИР; 2012).
- Maksimov R.A. Main methods of seed production of malting barley in the southern forest-steppe of Omsk Province (Osnovnyye priemy proizvodstva semyan pivovarennogo yachmenya v yuzhnoy lesostepi Omskoy oblasti) [dissertation]. Omsk; 2003. [in Russian] (Максимов Р.А. Основные приемы производства семян пивоваренного ячменя в южной лесостепи Омской области: дис. ... канд. сельскохозяйств. наук. Омск; 2003).
- Morcia C., Tumino G., Ghizzoni R., Badeck F.W., Terzi V., Lattanzio V.M.T. et al. Occurrence of *Fusarium langsethiae* and T-2 and HT-2 toxins in Italian malting barley. *Toxins*. 2016;8(8):247. DOI: 10.3390/toxins8080247
- Neugschwandtner R.W., Papst S., Kemetter J., Wagentristl H., Sedlář O., Kaul H.P. Effect of seed size on soil cover, yield, yield components and nitrogen uptake of two-row malting barley. *Die Bodenkultur*. 2019;70(2):89-98. DOI: 10.2478/boku-2019-0008
- Nogueira M.S., Decundo J., Martinez M., Dieguez S.N., Moreyra F., Moreno M.V. et al. Natural contamination with mycotoxins produced by *Fusarium graminearum* and *Fusarium poae* in malting barley in Argentina. *Toxins*. 2018;10(2):78. DOI: 10.3390/toxins10020078
- Oganesyants L., Vafin R., Galstyan A., Ryabova A., Khurshudyan S., Semipyatniy V. DNA authentication of brewery products: basic principles and methodological approaches. *Foods and Raw Materials*. 2019;7(2):364-374. DOI: 10.21603/2308-4057-2019-2-364-374
- Ponomareva Yu.N., Zaharova O.A. The effect of mineral fertilizers and growth regulator on yield and quality of malt barley when drought. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2015;3(27):36-42. [in Russian] (Пономарёва Ю.Н., Захарова О.А. Действие минеральных удобрений и регулятора роста на урожайность и качество пивоваренного ячменя в условиях засухи. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2015;3(27):36-42).
- Yeroshenko L.M., Yeroshenko A.N., Romakhin M.M., Gladysheva O.V., Levakova O.V. Productivity and quality of brewing varieties of spring barley in the Central Region of the RF. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2015;(2):40-43. [in Russian] (Ерошенко Л.М., Ерошенко А.Н., Ромашин М.М., Гладышева О.В., Левакова О.В. Продуктивность и качество пивоваренных сортов ярового ячменя в Центральном регионе РФ. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2015;(2):40-43).
- Yusova O.A., Nikolaev P.N., Bendina Ya.B., Safonova I.V., Aniskov N.I. Stress resistance in barley cultivars of various agroecological origin under extreme continental climate conditions. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020a;181(4):44-55. [in Russian] (Юсова О.А., Николаев П.Н., Бендина Я.Б., Сафонова И.В., Анисков Н.И. Стрессоустойчивость сортов ячменя различного агроэкологического происхождения для условий резко континентального климата. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020a;181(4):44-55). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-44-55
- Yusova O.A., Nikolaev P.N., Safonova I.V., Aniskov N.I. Changes in oat grain yield and quality with increased adaptability of cultivars. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020b;181(2):42-49. [in Russian] (Юсова О.А., Николаев П.Н., Сафонова И.В., Анисков Н.И. Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020b;181(2):42-49). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49

Информация об авторах

Оксана Александровна Юсова, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией, Омский аграрный научный центр, 644012 Россия, Омск, пр. Королева, 26, yusova@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3679-8985>

Петр Николаевич Николаев, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, Омский аграрный научный центр, 644012 Россия, Омск, пр. Королева, 26, nikolaev@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5192-2967>

Михаил Александрович Кузьмич, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», 143026 Россия, Московская обл., Одинцово, р. п. Новоивановское, ул. Агрохимиков, 6, m-kuzmich@yandex.ru

Людмила Семеновна Кузьмич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», 143026 Россия, Московская обл., Одинцово, р. п. Новоивановское, ул. Агрохимиков, 6, m-kuzmich@yandex.ru

Information about the authors

Oksana A. Yusova, Cand. Sci. (Agriculture), Head of a Laboratory, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russia, yusova@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3679-8985>

Petr N. Nikolaev, Cand. Sci. (Agriculture), Head of a Laboratory, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russia, nikolaev@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5192-2967>

Mikhail A. Kuzmich, Dr. Sci. (Agriculture), Head of a Laboratory, Nemchinovka Federal Research Center, 6 Agrokhimikov St., Novoivanovskoye Settle., Odintsovo, Moscow Province 143026, Russia, m-kuzmich@yandex.ru

Lyudmila S. Kuzmich, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Nemchinovka Federal Research Center, 6 Agrokhimikov St., Novoivanovskoye Settle., Odintsovo, Moscow Province 143026, Russia, m-kuzmich@yandex.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 31.05.2021; одобрена после рецензирования 04.05.2022; принята к публикации 02.03.2023. The article was submitted on 31.05.2021; approved after reviewing on 04.05.2022; accepted for publication on 02.03.2023.