

- Гексаплоидная пшеница: спельтоидность (ген *Q*), компактность (ген *C2*), круглозёрность (ген *s*), ветвистоклосость (ген *V*).

На основании проведённого фенотипирования создана БД цифровых изображений колосьев (<http://spikedroid.biores.cytogen.ru/en>), которая на данном этапе содержит 2 коллекции:

- Коллекция F₂ гибридов *T. aestivum* × *T. yunnanense* – 124 растения – 620 фото.
- Коллекция 7 гексаплоидных видов пшениц (*T. sphaerococcum*, *T. spelta*, *T. macha*, *T. compactum*, *T. antiquorum*, *T. aestivum*, *T. yunnanense*) и 1 амфиплоида (*Amphyploid speltiforme*) – 256 растений – 1280 фото.

Необходимость создания актуальной совершенной БД обусловлена не только созданием информационного продукта на рынке услуг для биологов, но и самой БД, которая позволила бы суммировать весь накопленный материал и упростить задачу изучения таксономии рода *Triticum* L. как начинающим исследователям, так и опытным ученым.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ 22-16-20026 и правительства Новосибирской области.

Список литературы

- 1 Гончаров Н.П. Определитель разновидностей мягкой и твердой пшениц. 2 изд-е. Новосибирск: Сибирское отделение Российской академии наук, 2009. 65 с.
- 2 Дзюбенко Н.И. Коллекции генетических ресурсов растений ВИР: история и современное состояние // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. СПб ВИР. Санкт-Петербург: Т. 169, 2012. С. 4–40.
- 3 Afonnikov D.A., Genaev M.A., Doroshkov A.V., Komyshev E.G., Pshenichnikova T.A. Methods of high-throughput plant phenotyping for large-scale breeding and genetic experiments // Russian journal of genetics. 2016. Vol. 52. №. 7. P. 688–701.
- 4 Genaev M.F., Komyshev E.G., Kruchinina Y.V., Goncharov N.P., Afonnikov D.A., Smirnov N.V. Morphometry of the wheat spike by analyzing 2D images // Agronomy. 2019. № 7. P. 390.

DOI 10.18699/GPB2024-46

Селекционная схема получения голозёрных изогенных линий ячменя с повышенным содержанием антоцианов в зерне на основе сорта Ворсинский 2

Кукоева Т.В. * ст.л.; Шоева О.Ю. к.б.н., с.н.с.

Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики
СО РАН, Новосибирск, Россия

*email: kukoeva@bionet.nsc.ru

В 2023 году при помощи маркер-ориентированного отбора (Marker-Selection MAS), была разработана схема получения голозёрных изогенных линий ячменя с повышенным содержанием антоцианов в зерне на основе сорта Ворсинский2.

Ключевые слова: голозёрный ячмень, ДНК-маркер, антоцианы, Ant2, HvMuc2, Nud1.

Breeding scheme for obtaining naked isogenic lines of barley with an increased content of anthocyanins in the grain into the Vorsinsky 2 variety

Kukoeva T.V., Shoeva O.Yu.

Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

In 2023, with the help of marker-oriented selection (Marker-Selection MAS), a scheme was developed for obtaining naked isogenic lines of barley with a high content of anthocyanins in the grain using the Vorsinsky2 variety.

Key words: naked barley, DNA marker, anthocyanins, Ant2, HvMuc2, Nud1.

Голозёрный ячмень является ценным источником питательных веществ. Он характеризуется высоким содержанием белка и незаменимых аминокислот, прежде всего лизина, превышающие содержание в плёнчатых ячменях. Также содержатся фенилаланин, метионин и треонин, жиры, β -глюканы, стерины, флавоноиды, фитофенолы, обладающие антиоксидантными свойствами [1, 2].

Различия между плёнчатым и голозёрным ячменём контролируется единственным геном *Nud1*, локализованным на длинном плече хромосомы 7Н, между SCAS-маркерами KT2 и KT4 [3, 4]. Плёнчатая зерновка является доминантным признаком, а голая зерновка – рецессивным. С помощью секвенирования было показано, что у всех голозёрных образцов присутствует делеция почти 17 тысяч пар нуклеотидов на хромосоме 7Н, охватывающая ген *Nud1*. Были разработаны диагностические ДНК-маркеры для выявления доминантных и рецессивных аллелей этого гена [5].

Голозёрный ячмень можно использовать в различных сферах: для производства крупы, для кормовых целей, в пивоваренной промышленности (немного изменив технологический процесс), а также как хлебное растение [6]. Но почти все сорта голозёрного ячменя имеют ряд недостатков, которые сдерживают его распространение: нестабильность урожайности, низкая засухоустойчивость и устойчивость к полеганию, низкая устойчивость к грибным заболеваниям. Самый основной недостаток выпячивание центрального зародышевого корешка за пределы сферы поверхности зерновки, что обуславливает повышенный травматизм семян при обмолоте и, как следствие, пониженную их полевую всхожесть. Необходимо вести селекцию на устранение этих недостатков. Но есть и много

положительных признаков.

Голозёрные ячмени не требуют затрат на освобождение от цветочных плёнок. Он в большей степени отвечает технологическим качествам при производстве ячневой и перловой крупы. Благодаря высокому содержанию белка, каши из голозёрного ячменя более питательны и калорийны. Поэтому, замена хотя бы части плёнчатого ячменя на голозёрный, может оказаться весьма целесообразной. Для повышения пищевой ценности ячменя сегодня актуальным направлением является селекция на содержание антоцианов в зерне.

У ячменя накопление антоцианов может происходить в перикарпе зерновки под контролем регуляторных генов *Ant1* (картирован в коротком плече хромосомы 7Н) и *Ant2* (2НL), в результате чего зерно приобретает фиолетовую окраску, либо в алейроне под контролем гена *HvMyс2* (4НL) – тогда зерно имеет голубую окраску. К настоящему времени выделены нуклеотидные последовательности перечисленных регуляторных генов и разработаны диагностические ДНК-маркеры, позволяющие уже во втором поколении (F₂) отбирать гомозиготные по соответствующим генам растения. [7].

В нашей лаборатории на основе среднеспелого сорта Ворсинский 2, пивоваренного и пищевого назначения Алтайской селекции, разработана схема получения голозёрных изогенных линий с антоциановой пигментацией зерна, с окрашенным перикарпом и алейронового слоя. Сорт Ворсинский 2, включён в Госреестр по Западно-Сибирскому (10) региону. Рекомендован для возделывания в Алтайском крае в зонах Кулундинской степи и Предгорья Алтая и Тюменской области.

Было проведено скрещивание плёнчатой фиолетовозёрной линии Ворс2-PLP BC₆F₆ (*Ant1*, *Ant2*) и голозёрной голубозёрной линии Ворс2-BA BC₆F₆ (*HvMyс2*, *Nud1*). Из полученных гибридов F₂ с помощью ДНК маркёров из 285 растений отобраны растения с различными комбинациями доминантных и рецессивных аллелей генов *Ant2* и *HvMyс2*, но несущих рецессивный аллель гена *Nud1* в гомозиготном или гетерозиготном состоянии. В результате на основе сорта Ворсинский 2 отобрано 8 голозёрных и 7 плёнчатых линий с фиолетовой, голубой и черной окраской зерна (см. таблицу).

В дальнейшем аналогично этой схеме, будут отобраны голозёрные изогенные линии с окрашенной зерновкой на сортах Танай и Алей. Полученные линии будут оценены по содержанию белка, антоцианов, фенолов и антиоксидантной активности.

Отобранные в F₂ голозёрные и плёнчатые растения на основе сорта Ворсинский 2

№ растения	Аллельное состояние гена <i>Ant2</i>	Аллельное состояние гена <i>HvMyс2</i>	Аллельное состояние гена <i>Nud1</i>	Окраска зерна	Плёнчатость
1-9	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>HvMyс2 HvMyс2</i>	<i>nud1 nud1</i>	чёрная	голозёрное
2-8	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>HvMyс2 HvMyс2</i>	<i>nud1 nud1</i>	чёрная	голозёрное
2-13	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>HvMyс2 HvMyс2</i>	<i>nud1 nud1</i>	чёрная	голозёрное
3-46	<i>ant2 ant2</i>	<i>hvmyc2 hvmyc2</i>	<i>nud1 nud1</i>	белая	голозёрное
2-25	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>hvmyc2 hvmyc2</i>	<i>nud1 nud1</i>	фиолетовая	голозёрное
4-8	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>hvmyc2 hvmyc2</i>	<i>nud1 nud1</i>	фиолетовая	голозёрное
4-14	<i>ant2 ant2</i>	<i>HvMyс2 HvMyс2</i>	<i>nud1 nud1</i>	голубая	голозёрное
5-19	<i>ant2 ant2</i>	<i>HvMyс2 HvMyс2</i>	<i>nud1 nud1</i>	голубая	голозёрное
2-40	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>HvMyс2 HvMyс2</i>	<i>Nud1 nud1</i>	чёрная	плёнчатое
4-30	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>HvMyс2 HvMyс2</i>	<i>Nud1 nud1</i>	чёрная	плёнчатое
5-10	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>HvMyс2 HvMyс2</i>	<i>Nud1 nud1</i>	чёрная	плёнчатое
3-11	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>HvMyс2 HvMyс2</i>	<i>Nud1 nud1</i>	фиолетовая	плёнчатое
3-47	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>hvmyc2 hvmyc2</i>	<i>Nud1 nud1</i>	фиолетовая	плёнчатое
4-46	<i>Ant2 Ant2</i>	<i>hvmyc2 hvmyc2</i>	<i>Nud1 nud1</i>	фиолетовая	плёнчатое
3-20	<i>ant2 ant2</i>	<i>HvMyс2 HvMyс2</i>	<i>Nud1 nud1</i>	голубая	плёнчатое

Финансирование: Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 21-76-10024.

Список литературы

- 1 Аниськов Н.И., Поползухин П.В., Николаев П.Н., Сафонова И.В. Агробиологическая ценность сортов ярового ячменя Омский голозёрный 1 и Омский голозёрный 2. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2015. № 6. С. 24–29.
- 2 Mains B., Vallejos C., Hayes P. Multi-use naked barley: A new frontier. J Cereal Sci. 2021;102:103370. DOI 10.1016/j.jcs.2021.103370.
- 3 Ftdak G., Tsuchya T., Helgason S.B. Use of monotelotrisomics for linkage mapping in barley // Canadian Journal of Genetics and Cytology 1972. V 14. P 949–957.
- 4 Kikuchi S., Taketa S., Ichii M., Kawasaki S. Efficient fine mapping of naked caropsis gene (*nud*) by HEGS (High Efficiency Genome Scanning) AFLP in barley// Theoretical and applied of Genetics 2003. V 108 P 73–78.
- 5 Taketa S., Amano S., Tsujino Y., Sato T., Saisho D., Kakeda K., Nomura M., Suzuki T., Matsumoto T., Sato K., Kanamori H., Kawasaki S., Takeda K. Barley grain with adhering hulls is controlled by an ERF family transcription factor gene regulating a lipid biosynthesis pathway. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2008. No105. P. 4062–4067. DOI: 10.1073/pnas.0711034105
- 6 Быковец А.Г. Голозёрный ячмень, его разнообразие и пути селекции. М.: Сельхозгиз, 1949. 87с.
- 7 Шоева О.Ю., Стрыгина К.В., Хлесткина Е.К. Гены, контролирующие синтез флавоноидных и меланиновых пигментов ячменя // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. № 22(3). С. 333–342.