

лучших семей, которые свободно переопылялись между собой и проводился массовый отбор растений с малиновыми цветками. Контрольное и конкурсное сортоиспытание проводилось в F<sub>7</sub> и F<sub>8</sub>, при этом полностью повторяемость растений с малиновой окраской достигла 98,0 %, из которых до 2,0 % выщепляются растения с аллелями G и f<sup>c</sup> с пурпурно-карминовым пятном.

Таким образом, использование в селекционном процессе признака пурпурно-красной (малиновой) окраски цветков у кларкии (*C. amoena* (Lehm.) A. Nelson & J. F. Macbr.) послужило основанием для создания нового сорта Малиновая чаша.

#### Список литературы

- 1 Королева Е.В. Изучение декоративного потенциала популяций *Clarkia* Pursh в условиях лесостепи Западной Сибири // Известия Горского государственного аграрного университета. 2022. Т. 59-4. С. 173–183.
- 2 Флора Северной Америки. URL: <http://dev.floranorthamerica.org/Clarkia>.
- 3 Rasmuson H. Beitrage zu einer genetischen Analyse zweier Godetia– Arten und ihrer Bastarde // Hereditas. Vol. II. 1921. P. 248–280.
- 4 Hiorth G. Zur Genetik und Systematik der Gattung Godetia // Z. Vererbungslehre. 1941. N 79. P. 99–219.
- 5 Hiorth G. // Über Hemmungssysteme bei Godetia whitneyi // MGG - Molecular and General Genetics. 1948. N 82 (1). P. 12–63. DOI: 10.1007/BF00308398.
- 6 Lin R.-C., Rausher M.D. R2R3-MYB genes control petal pigmentation patterning in *Clarkia gracilis* ssp. *sonomensis* (Onagraceae) // New Phytol. 2021. V. 229. P. 1147–1162. <https://doi.org/10.1111/nph.16908>.
- 7 Сычева С.В., Деревенских О.А., Деревщюков С.Н. Селекция астры и других летников. Настоящее и будущее Воронежской овощной опытной станции // Известия ФНЦО. 2022. № 3–4. С. 38–46. DOI 10.18619/2658-4832-2022-3-4-38-46.
- 8 Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорта растений. URL: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-sel-ektsionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/>.

DOI 10.18699/GPB2024-45

### Изучение наследования классификационных признаков и скороспелости у пшениц

Кручинина Ю.В. \*, м.н.с.

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

\*email: [kruchinina2023@yandex.ru](mailto:kruchinina2023@yandex.ru)

В процессе разработки классификаций, которые несли бы в себе информацию и о филогенезе, и о генетической структуре видов, актуальной задачей является аннотирование всех крупных и мелких таксонов и дальнейшее хранение

*этой информации в общедоступных базах данных. Для растений пшеницы подавляющее большинство классификационных (таксономически значимых) признаков, являются признаками колоса. С помощью гибридологического анализа скороспелых форм пшеницы проводился анализ наследования видоспецифических признаков, с целью установления модельных для построения БД. Показана возможность обучить нейронную сеть разделять колосья пшеницы по видам, что является важной задачей высокопроизводительного фенотипирования.*

*Ключевые слова: пшеница, видоспецифические признаки, классификация, гибридологический анализ, скороспелость, фенотипирование.*

### **Research on the inheritance of classification traits and earliness in wheat**

*Kruchinina Y.V.\**

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

*\*email: kruchinina2023@yandex.ru*

*In the process of developing classifications that would carry information about both phylogeny and genetic structure of species, the annotation of all large and small taxa and further storage of this information in public databases is an urgent task. For wheat plants, the vast majority of classification (taxonomically important) traits, are spikelet traits. Using hybridological analysis of earliness forms of wheat, the inheritance of species-specific traits was analyzed in order to establish model traits for the construction of databases. The possibility to train a neural network to separate wheat spikes by species was shown, which is an important task of high-throughput phenotyping.*

*Key words: wheat, species-specific traits, classification, hybridological analysis, earliness, phenotyping.*

Важным вектором изучения современной генетики возделываемых сельскохозяйственных растений, включая и пшеницу, является поиск, изучение и вовлечение в биоразнообразие дикорастущих видов-сородичей [1]. Актуальными становятся исследования по определению аутентичности образцов и видов пшениц с целью сохранения и дальнейшего использования в генетических и селекционных экспериментах [2]. Помимо этого, необходимо иметь полную информацию об уже имеющихся видах, а именно, понимать какими признаками характеризуется каждый из них, а также как эти признаки наследуются.

Анализ видоспецифических признаков колоса у растений пшеницы на данный момент – трудоёмкое занятие, в связи с тем, что изучение наследования предполагает большую выборку образцов, а анализировать их приходится вручную. В связи с этим привлечение методов биоинформатики даст не только воз-

возможность посмотреть на задачи селекции под другим углом, но и поможет облегчить процесс фенотипирования колосьев.

Цель работы: изучить таксономически значимые (классификационные) признаки у пшениц разного уровня ploидности, проанализировать их наследование и создать на их основе базу данных цифровых изображений рода *Triticum* L. для их классификации.

Для осуществления выше поставленной цели, из коллекции сектора генетики пшениц ИЦиГ СО РАН (г. Новосибирск) была взята для исследования пшеница разного уровня ploидности (ди-, тетра-, гекса-, окта- и декаploидная) (см. таблицу). В связи с тем, что не все видоспецифические признаки могут служить модельными для построения БД, был проведен гибридологический анализ тетраploидных видов пшеницы для анализа наследования классификационных признаков. Получено более 50 форм F<sub>1</sub> гибридов и более 20 форм F<sub>2</sub> гибридов. Посредством применения метода хи-квадрат ( $\chi^2$ ) оценивались гипотезы о характере наследования признаков.

В процессе реализации машинного обучения для предсказания формы колоса (спельтоидная, нормальная, компактная) изучаемые растения на первом этапе необходимо оценить вручную. Этот процесс включает визуальную оценку колосьев, а также разметку цифровых изображений пшеницы. На следующем этапе изображения колосьев обрабатываются путём использования различных моделей, наиболее часто используемых для задач фенотипирования растений (модель сечений, 4-угольников и радиальная модель). Затем производится оценка точности предсказания формы колоса посредством подсчёта  $F$  меры качества [3].

К данному моменту времени процесс машинного обучения направлен на фенотипирование по признаку формы колоса [4]. Однако существуют и другие таксономически значимые признаки, посредством которых можно было бы производить распределение цифровых изображений колосьев не только по уровню ploидности, но и по видам.

Для выбора признаков, которые могли бы послужить модельными, был проведен гибридологический анализ, а далее подсчёт статистических данных. Необходимо понять, будут ли морфологические признаки, важные для разделения изображений по видам, наследоваться по Менделю (3:1) в межвидовых гибридах. Если гипотеза о моногенном наследовании подтверждается, то видоспецифический признак можно брать в качестве модельного для реализации дальнейшего машинного обучения.

По результатам проделанной работы, для дальнейших исследований были выбраны следующие признаки:

- Тетраploидная пшеница: спельтоидность (ген *Q*), тетраостость (ген *ta*), полоникумность (ген *Pl*), ветвистоколосость (ген *bh*);

Число образцов, колосьев и фотографий, сделанных на основании имеющегося материала

| Вид пшеницы                                   | Число образцов | Число колосьев | Число фото   |
|-----------------------------------------------|----------------|----------------|--------------|
| Диплоидные виды пшеницы ( $2n = 2x = 14$ )    |                |                |              |
| <i>T. monococcum</i>                          | 18             | 131            | 655          |
| <i>T. urartu</i>                              | 10             | 25             | 125          |
| <i>T. boeoticum</i>                           | 7              | 29             | 145          |
| <i>T. sinskajae</i>                           | 1              | 1              | 5            |
| <b>Σ</b>                                      | <b>36</b>      | <b>186</b>     | <b>930</b>   |
| Тетраплоидные виды пшеницы ( $2n = 4x = 28$ ) |                |                |              |
| <i>T. dicoccoides</i>                         | 18             | 116            | 580          |
| <i>T. timopheevii</i>                         | 21             | 165            | 825          |
| <i>T. durum</i>                               | 24             | 218            | 1090         |
| <i>T. aethiopicum</i>                         | 29             | 262            | 1310         |
| <i>T. dicoccum</i>                            | 19             | 167            | 835          |
| <i>T. carthlicum</i>                          | 20             | 164            | 820          |
| <i>T. polonicum</i>                           | 18             | 165            | 825          |
| <i>T. turgidum</i>                            | 14             | 127            | 635          |
| <i>T. turanicum</i>                           | 1              | 8              | 40           |
| <i>T. araraticum</i>                          | 1              | 10             | 50           |
| <i>T. militinae</i>                           | 1              | 8              | 40           |
| <b>Σ</b>                                      | <b>166</b>     | <b>1410</b>    | <b>7050</b>  |
| Гексаплоидные виды пшеницы ( $2n = 6x = 42$ ) |                |                |              |
| <i>T. vavilovii</i>                           | 4              | 33             | 165          |
| <i>T. macha</i>                               | 8              | 60             | 300          |
| <i>T. aestivum</i>                            | 11             | 126            | 630          |
| <i>T. antiquorum</i>                          | 2              | 17             | 85           |
| <i>T. compactum</i>                           | 3              | 27             | 135          |
| <i>T. petropavlovskyi</i>                     | 8              | 74             | 370          |
| <i>T. yunnanense</i>                          | 5              | 46             | 230          |
| <i>T. spelta</i>                              | 4              | 38             | 190          |
| <i>T. sphaerococcum</i>                       | 2              | 20             | 100          |
| <i>T. tibetanum</i>                           | 1              | 4              | 20           |
| <i>T. timococcum</i>                          | 1              | 8              | 40           |
| <i>T. kiharae</i>                             | 1              | 5              | 25           |
| <i>T. dimococcum</i>                          | 1              | 10             | 50           |
| <i>T. zhukovskyi</i>                          | 1              | 11             | 55           |
| <b>Σ</b>                                      | <b>52</b>      | <b>479</b>     | <b>2395</b>  |
| Октаплоидные виды пшеницы ( $2n = 8x = 56$ )  |                |                |              |
| <i>T. soveticum</i>                           | 1              | 6              | 30           |
| <i>T. flaksbergeri</i>                        | 1              | 9              | 45           |
| <b>Σ</b>                                      | <b>2</b>       | <b>15</b>      | <b>75</b>    |
| Декаплоидные виды пшеницы ( $2n = 10x = 70$ ) |                |                |              |
| <i>T. borisovii</i>                           | 1              | 7              | 35           |
| <b>Σ</b>                                      | <b>1</b>       | <b>7</b>       | <b>35</b>    |
| Изученные F <sub>1</sub> гибриды              |                |                |              |
| <b>Σ</b>                                      | <b>112</b>     | <b>581</b>     | <b>2905</b>  |
| Изученные F <sub>2</sub> гибриды              |                |                |              |
| <b>Σ</b>                                      | <b>32</b>      | <b>1623</b>    | <b>8115</b>  |
| <b>Σ Σ</b>                                    | <b>401</b>     | <b>4301</b>    | <b>21505</b> |

- 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 F<sub>2</sub> 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