

**СЕЛЕКЦИЯ, СЕМЕНОВОДСТВО  
И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ  
(СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)**

---

Естественные науки. 2024. № 4 (17). С. 27–31.

*Yestestvennyye nauki = Natural Sciences*. 2024; 4 (17): 27–31 (In Russ.)

Научная статья (обзор)

УДК 57.087

doi 10.54398/2500-2805.2024.17.4.004

**СОВРЕМЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ ЯРОВОГО РАПСА  
НА БАЗЕ УДВОЕННЫХ ГАПЛОИДОВ**

*Гаус Григорий Юрьевич*

Российский государственный аграрный университет — Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева, г. Москва, Россия

grisha.gaus@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются современные подходы к селекции ярового рапса с использованием технологий удвоенных гаплоидов, что является важным направлением для повышения урожайности и генетической устойчивости культур. Особое внимание уделяется методам получения удвоенных гаплоидов и гормональной регуляции эмбриогенеза, что может значительно ускорить селекционный процесс. Актуальность данной темы обусловлена растущей потребностью в высококачественном семенном материале и возможностью оптимизации селекционных программ в условиях изменяющегося климата и требований устойчивого сельского хозяйства.

**Ключевые слова:** яровой рапс, удвоенные гаплоиды, селекция, гормональная регуляция, устойчивость

**Для цитирования:** Гаус Г. Ю. Современная селекция ярового рапса на базе удвоенных гаплоидов // Естественные науки. 2024. № 4 (17). С. 27–31. <https://doi.org/10.54398/2500-2805.2024.17.4.004>.

**MODERN SELECTION OF SPRING RAPE  
BASED ON DOUBLED HAPLOYDS**

*Gaus Grigory Yu.*

Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev, Moscow, Russia

grisha.gaus@mail.ru

**Abstract.** The article discusses modern approaches to spring rape breeding using doubled haploid technologies, which is an important direction for increasing crop yields and genetic

stability. Particular attention is paid to methods for obtaining doubled haploids and hormonal regulation of embryogenesis, which can significantly accelerate the breeding process. The relevance of this topic is due to the growing need for high-quality seed material and the possibility of optimizing breeding programs in the context of a changing climate and the requirements of sustainable agriculture. Keywords: spring rape, doubled haploids, breeding, hormonal regulation, stability.

**Key words:** spring rape, doubled haploids, selection, hormonal regulation, resistance

**For citation:** Gaus G. Yu. Modern selection of spring rapeseed based on doubled haploids. *Yestestvennye nauki = Natural Sciences*. 2024; 4 (17): 27–31. <https://doi.org/10.54398/2500-2805.2024.17.4.004>.

**Введение.** Современное сельское хозяйство предъявляет требования к повышению продуктивности и качеству сельскохозяйственных культур. В условиях органического земледелия, где запрещены пестициды, критически важным становится создание сортов и гибридов с высокой генетической устойчивостью к болезням и вредителям [6]. Также важной задачей производства является улучшение качества и количества сырья для производства возобновляемых энергетических ресурсов [7]. Эта необходимость делает селекцию особенно актуальной в контексте устойчивого развития сельского хозяйства.

Одним из наиболее эффективных инструментов повышения урожайности ярового рапса являются гетерозисные  $F_1$  гибриды [10]. Исследования показывают, что такие гибриды могут на 30 % превышать урожайность сортов. Площадь посевов ярового рапса в России составляет свыше 2 млн га, согласно данным Ассоциации производителей и переработчиков рапса на 2024 г., что указывает на высокую потребность в семенном материале [5]. Спрос на гетерозисные гибриды зарубежной и отечественной селекций подчёркивает необходимость их разработки и внедрения в производство.

Для создания конкурентоспособных  $F_1$  гибридов требуется использование современных селекционных технологий, таких как молекулярно-генетические маркеры и гаплоидные технологии. Эти методы не только ускоряют селекционные процессы, но и позволяют более точно оценивать селекционную ценность линий удвоенных гаплоидов [1]. В связи с этим цель данной обзорной статьи заключается в анализе текущего состояния технологии создания удвоенных гаплоидов, включая их методы получения, гормональную регуляцию эмбриогенеза и факторы, влияющие на успешность селекции рапса и других представителей семейства *Brassicaceae*.

**Технологии получения удвоенных гаплоидов.** Процесс получения удвоенных гаплоидов в растениях включает несколько этапов, среди которых культивирование микроспор, индукция эмбриогенеза и последующая регенерация растений [13]. Наиболее распространённым методом является использование культуры микроспор, которая позволяет получить эмбриониды [2]. Эмбриониды формируются из микроспор под действием определённых условий, включая концентрацию гормонов и особенности среды [3; 12].

На успех индукции эмбриогенеза влияет множество факторов. Уровень ауксинов и абсцизовой кислоты (АБК) играет ключевую роль в переходе от одной стадии развития к другому. Так, низкий уровень ауксинов

у эмбриоидов из микроспор по сравнению с зиготическими эмбриоидами может быть объяснён отсутствием материнских тканей. Кроме того, уровень АБК в эмбриоидах из микроспор также ниже, и его добавление может компенсировать дефицит, повышая процент нормально развивающихся эмбриоидов.

**Гормональная регуляция эмбриогенеза.** Гормоны растительного происхождения играют критическую роль в эмбриогенезе микроспор. Ауксины способствуют симметричному переходу от глобулярной формы эмбриоида к сердцевидной, а их недостаток препятствует нормальному развитию гипокотилия. АБК, синтезируемый в вегетативных частях растений, регулирует морфологическую целостность эмбриоидов, что подтверждает значимость поддержания правильного уровня этих гормонов в питательной среде [9].

Существуют различные исследования, показывающие, что добавление экзогенных регуляторов, таких как N6-бензиламинопурин (БАП) и  $\alpha$ -нафтилуксусная кислота (НУК), может положительно влиять на выход эмбриоидов. Например, добавление БАП способствовало нормальному развитию эмбриоидов у *B. napus* и других видов Brassica. В то же время использование ингибиторов синтеза этилена, таких как нитрат серебра, также показало положительное влияние на индукцию эмбриогенеза, что открывает новые горизонты для оптимизации технологий удвоенных гаплоидов [8].

**Факторы, влияющие на успех технологии создания удвоенных гаплоидов.** Ключевыми факторами, влияющими на эффективность технологии создания удвоенных гаплоидов, являются генотип растений, условия роста доноров и характеристики питательной среды [11]. Генотипическая зависимость эмбриогенеза была продемонстрирована в исследованиях на капусте брюссельской и цветной. Условия выращивания, такие как температура и световой режим, также играют важную роль; выход эмбриоидов от растений, растущих при более низких температурах, оказался выше.

Кроме того, оптимизация pH питательной среды может значительно повысить эффективность индукции эмбриогенеза. Исследования показали, что оптимальное значение pH (6,2–6,4) является более благоприятным для большинства генотипов капусты по сравнению с pH 5,8. Это подчёркивает необходимость комплексного подхода к разработке протоколов для культуры микроспор [4].

**Заключение.** Технологии удвоенных гаплоидов имеют большой потенциал для улучшения селекции растений, особенно в семействах Brassicaceae. Однако успешное применение этих технологий зависит от множества факторов, включая гормональную регуляцию, условия выращивания и генотипические особенности. Необходимы дальнейшие исследования для оптимизации процессов индукции эмбриогенеза и повышения эффективности технологий. Инвестиции в научные исследования, направленные на развитие этих технологий, могут привести к значительным улучшениям в селекции и производстве новых сортов, способных удовлетворить растущие потребности сельского хозяйства.

### Список литературы

1. Бочкарева, Э. Б. Селекционная ценность дигаплоидных линий рапса ярового (*Brassica napus* L.) / Э. Б. Бочкарева, Л. А. Горлова, В. В. Сердюк, Е. А. Стрельников // Масличные культуры. — 2019. — Вып. 4 (180). — С. 18–22.
2. Вишнякова, А. В. Факторы прямого прорастания микроспорогенных эмбрионидов *Brassica napus* L. / А. В. Вишнякова, А. А. Александрова, С. Г. Монахос // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. — 2022. — № 6. — С. 43–53.
3. Григолава, Т. Р. Методические подходы создания удвоенных гаплоидов сахарной и столовой свеклы (*Beta vulgaris* L.) / Т. Р. Григолава, А. В. Вишнякова, А. А. Синицына, А. В. Воронина, О. Н. Зубко, О. В. Зудова, С. Г. Монахос // Вавиловский журнал генетики и селекции. — 2021. — Т. 25, № 3. — С. 276–283.
4. Комплексный подход ускоренной селекции F1-гибридов ярового рапса на основе ЦМС / А. В. Вишнякова, Г. Ю. Гаус, А. А. Александрова [и др.] // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. — 2023. — № 5. — С. 35–50. — doi 10.26897/0021-342X-2023-5-35-50, EDN PPNXYR.
5. РАСРАПС: Ассоциация производителей и переработчиков рапса. — URL: <https://rosraps.ru/ru/> (дата обращения: 25.10.2024).
6. Селекция растений на устойчивость — основа защиты от болезней в органическом земледелии / С. Г. Монахос, А. В. Воронина, А. В. Байдина, О. Н. Зубко // Картофель и овощи. — 2019. — № 6. — С. 38–40. — doi 10.25630/PAV.2019.92.83.009, EDN YLREOA.
7. Черятова, Ю. С. Рапс как альтернативный источник сырья для производства биотоплива / Ю. С. Черятова, С. Г. Монахос // Биосферное хозяйство: теория и практика. — 2023. — № 6 (59). — С. 26–30.
8. Шмыкова, Н. А. Получение удвоенных гаплоидов у видов рода *Brassica* L. / Н. А. Шмыкова, Д. В. Шумилина, Т. П. Супрунова // Вавиловский журнал генетики и селекции. — 2015. — Т. 19, № 1. — С. 111–120. — EDN TWQXTP.
9. Dunwell, J. M. Haploids in flowering plants: origins and exploitation / J. M. Dunwell // Plant Biotechnology Journal. — 2010. — Vol. 8 (4). — P. 377–424. doi 10.1111/j.1467-7652.2009.00498.x, PMID: 20233334.
10. Ferrie, A. M. R. Haploids and doubled haploids in *Brassica* spp. for genetic and genomic research / A. M. R. Ferrie, Ch. Möllers // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. — 2011. — Vol. 104. — P. 375–386.
11. Murovec, J. Haploids and Doubled Haploids in Plant Breeding / J. Murovec, B. Bohanec // Plant Cell Reports. — 2012. — Vol. 31 (6). — P. 907–920. — doi 10.1007/s00299-011-1218-6.
12. Rahman, M. Behind the scenes of microspore-based double haploid development in *Brassica napus*: A review / M. Rahman, M. Michalak de Jiménez // Journal of Plant Science and Molecular Breeding. — 2016. — Vol. 5. — P. 1. — doi 10.7243/2050-2389-5-1.
13. Starosta, E. *Brassica napus* Haploid and Double Haploid Production and Its Latest Applications / E. Starosta, J. Szwarc, J. Niemann, K. Szewczyk, D. Weigt // Current Issues in Molecular Biology. — 2023. — Vol. 45 (5). P. 4431–4450. — doi 10.3390/cimb45050282, PMID: 37232751, PMCID: PMC10217080.

### References

1. Bochkareva, Ye. B., Gorlova, L. A., Serdyuk, V. V., Strelnikov, E. A. Breeding value of dihaploid lines of spring rape (*Brassica napus* L.). *Maslichnye kultury = Oilseeds*. 2019; 4 (180): 18–22.
2. Vishnyakova, A. V., Aleksandrova, A. A., Monakhos, S. G. Factors of direct germination of microsporogenous embryoids of *Brassica napus* L. *Izvestiya Timiryazevskoy*

*selskokhozyaystvennoy akademii = News of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2022; 6: 43–53.

3. Grigolava, T. R., Vishnyakova, A. V., Sinitsyna, A. A., Voronina, A. V., Zubko, O. N., Zudova, O. V., Monakhos, S. G. Methodological approaches to creating doubled haploids of sugar and table beet (*Beta vulgaris* L.). *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021; 25 (3): 276–283.

4. Vishnyakova, A. V., Gaus, G. Yu., Aleksandrova, A. A. [et al.]. An integrated approach to accelerated selection of F1 hybrids of spring rapeseed based on CMS. *Izvestiya Timiryazevskoy selskokhozyaystvennoy akademii = News of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2023; 5: 35–50. doi 10.26897/0021-342X-2023-5-35-50, EDN PPNXYR.

5. RASRAPs: Assotsiatsiya proizvoditeley i pererabotchikov rapsa = RASRAPs: Association of Rapeseed Producers and Processors. Available at: <https://rosraps.ru/ru/> (accessed: 25.10.2024).

6. Monakhos, S. G., Voronina, A. V., Baydina, A. V., Zubko, O. N. Plant breeding for resistance — the basis of disease protection in organic farming. *Kartofel i ovoshhi = Potatoes and vegetables*. 2019; 6: 38–40. doi 10.25630/PAV.2019.92.83.009, EDN YLREOA.

7. Cheryatova, Yu. S., Monakhos, S. G. Rape as an alternative source of raw materials for biofuel production. *Biosfernoe khozyaystvo: teoriya i praktika = Biosphere economy: theory and practice*. 2023; 6 (59): 26–30.

8. Shmykova, N. A., Shumilina, D. V., Suprunova, T. P. Obtaining doubled haploids in species of the genus *Brassica* L. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015; 19 (1): 111–120. EDN TWQXTP.

9. Dunwell, J. M. Haploids in flowering plants: origins and exploitation. *Plant Biotechnology Journal*. 2010; 8 (4): 377–424. doi 10.1111/j.1467-7652.2009.00498.x, PMID: 20233334.

10. Ferrie, A. M. R., Möllers Ch. Haploids and doubled haploids in *Brassica* spp. for genetic and genomic research. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2011; 104: 375–386.

11. Murovec, J., Bohanec, B. Haploids and Doubled Haploids in Plant Breeding. *Plant Cell Reports*. 2012; 31 (6): 907–920. doi 10.1007/s00299-011-1218-6.

12. Rahman, M., Michalak de Jiménez, M. Behind the scenes of microspore-based double haploid development in *Brassica napus*: A review. *Journal of Plant Science and Molecular Breeding*. 2016; 5: 1. doi 10.7243/2050-2389-5-1.

13. Starosta, E., Szwarc, J., Niemann, J., Szewczyk, K., Weigt, D. *Brassica napus* Haploid and Double Haploid Production and Its Latest Applications. *Current Issues in Molecular Biology*. 2023; 45 (5): 4431–4450. doi 10.3390/cimb45050282, PMID: 37232751, PMCID: PMC10217080.

#### **Информация об авторе**

Гаус Г. Ю. — инженер-исследователь, аспирант.

#### **Information about the author**

Gaus G. Yu. — Research Engineer, postgraduate student.

Статья поступила в редакцию 12.11.2024; одобрена после рецензирования 16.11.2024; принята к публикации 21.11.2024.

The article was submitted 12.11.2024; approved after reviewing 16.11.2024; accepted for publication 21.11.2024.