

СЕЛЕКЦИЯ, СЕМЕНОВОДСТВО И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ / PLANT BREEDING, SEED PRODUCTION AND BIOTECHNOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.34.4>

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СЕЛЕКЦИИ *BRASSICA NAPUS* L.: ОБЗОР МИРОВЫХ ТЕНДЕНЦИЙ

Научная статья

Черятова Ю.С.^{1,*}

¹ ORCID : 0000-0001-5614-2225;

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (u.cheryatova[at]rgau-msha.ru)

Аннотация

В статье рассмотрены основные направления селекции хозяйственно ценной масличной культуры *Brassica napus* L. Показано, что создание новых генотипов с высоким содержанием масла и желательным уровнем жирнокислотного состава является приоритетным в селекции *B. napus*. Перспективные технологии в селекции: генетическое картирование, молекулярные маркеры, геномные инструменты и генные технологии направлены на получение селекционных линий масличного рапса с высоким содержанием олеиновой и низким содержанием линоленовой кислоты. Разработка интеллектуальных методов интеграции и анализа гетерогенных данных (геномных, транскриптомных, протеомных и метаболомных) для реконструкции генных сетей, контролирующих селекционно значимые признаки *B. napus*, позволит понять различные молекулярные и клеточные механизмы, лежащие в основе устойчивости к абиотическому стрессу и улучшения семян рапса.

Ключевые слова: *Brassica napus* L., селекция, генные технологии, рапсовое масло, жирные кислоты.

MODERN TRENDS OF *BRASSICA NAPUS* L. SELECTION: A REVIEW OF GLOBAL TENDENCIES

Research article

Cheryatova Y.S.^{1,*}

¹ ORCID : 0000-0001-5614-2225;

¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (u.cheryatova[at]rgau-msha.ru)

Abstract

The article examines the main directions of selection of the economically valuable oil-bearing crop *Brassica napus* L. It is shown that the creation of new genotypes with high oil content and a desirable level of fatty acid composition is a priority in the selection of *B. napus*. Promising selection technologies: genetic mapping, molecular markers, genomic tools, and gene techniques are aimed at obtaining selective lines of oilseed rape with high oleic acid content and low linolenic acid content. Development of intelligent methods for integration and analysis of heterogeneous data (genomic, transcriptomic, proteomic and metabolomic) to reconstruct gene networks controlling breeding significant traits of *B. napus* will allow to understand various molecular and cellular mechanisms underlying resistance to abiotic stress and seed improvement in rapeseed.

Keywords: *Brassica napus* L., selection, gene technology, rapeseed oil, fatty acids.

Введение

С момента одомашнивания виды масличных культур рода *Brassica* претерпели прогрессивную трансформацию, связанную с развитием селекции и молекулярных технологий. Благодаря стремительному прогрессу в области генетики и геномных исследований *Brassica*, технологии трансформации теперь регулярно используются для выяснения функции генов, а также для содействия развитию новых улучшенных культур.

Brassica napus L. ($2n = 4x = 38$, ААСС) – важная аллополиплоидная культура, полученная в результате межвидового скрещивания *Brassica rapa* L. ($2n = 2x = 20$, АА) и *Brassica oleracea* L. ($2n = 2x = 18$, СС). *Brassica napus* L. является третьей по величине масличной культурой в мире, представляет собой молодой вид *Brassica* с ограниченной генетической базой, обусловленной его короткой историей одомашнивания, выращивания и интенсивного отбора во время селекции для экономических целей. Однако генофонд *B. napus* был значительно обогащен за последние десятилетия, что принесло пользу во всем мире благодаря успешному внедрению обильных субгеномных вариаций и новых геномных вариаций посредством внутривидовых, межвидовых и межродовых скрещиваний [1].

Рапсовое масло характеризуется высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот, особенно полиненасыщенных жирных кислот, которые делают его очень питательным. Помимо жирных кислот, в рапсовом масле есть девять функциональных компонентов (витамин Е, флавоноиды, сквален, каротиноиды, глюкографанин, индол-3-карбинол, стеролы, фосфолипиды и феруловая кислота), которые способствуют его антимикробному, противовоспалительному, антидиабетическому, противораковому, нейрозащитному и кардиозащитному действию [2]. Белковая часть семян масличного рапса также привлекает внимание из-за содержащихся незаменимых аминокислот, в том числе большого количества серосодержащих аминокислот. Поэтому белок *B. napus* рассматривается для крупномасштабного использования в рецептурах кормов для скота и рыб. В связи с вышесказанным, современная селекция *B. napus* в основном направлена на улучшение состава жирного масла и белковых фракций семян. Учеными

также проводятся селекционные исследования, связанные с оптимизацией и повышением уровня полезных эндогенных вторичных метаболитов (каротиноиды, холин и тохоферолы) и снижению нежелательных веществ (глюкозинолатов, синапина и фитата) [3].

Однако, несмотря на экономическое значение *B. napus*, многое остается нерешенным в отношении его филогеномных взаимоотношений, генетической структуры и разнообразия. Поэтому обзор современных направлений в селекции *B. napus* является актуальным и своевременным.

Работа проводилась на кафедре ботаники, селекции и семеноводства садовых растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в 2023 году. Был проведен анализ данных современных литературных источников, рассматривающих актуальные направления селекции *B. napus*.

Основные результаты

За последние 30 лет урожайность рапса возросла во всем мире благодаря интенсивным инновациям, что обеспечило более широкий спектр рынков, помимо пищевой промышленности. Революция в генетике и геномных технологиях, включая генетическое картирование, молекулярные маркеры, геномные инструменты и геномные технологии, особенно инструменты редактирования генов, позволила понять сложный генетический состав и функции генов в основных биопроцессах Brassicales, особенно в масле *B. napus* [4].

Выведение новых генотипов с высоким содержанием масла и желательным уровнем жирнокислотного состава является основной целью программ селекции *B. napus*. Разработка селекционных линий масличного рапса, производящих масло с высоким содержанием олеиновой и низким содержанием линоленовой кислоты, также является приоритетным направлением мировой селекции. Такое масло идеально подходит для жарки во фритюре, и может использоваться в качестве сырья для производства биодизеля. Селекция *B. napus* в данном направлении проводится путем проведения химического мутагенеза с использованием этилметансульфоната, позволяющая получать мутантные селекционные линии озимого рапса, способные продуцировать масло с высоким содержанием олеиновой кислоты (более 75%) и низким содержанием линоленовой кислоты (менее 3%). Генотипирование проводится путем отбора гомозиготных линий с высоким содержанием олеиновой и низкой линоленовой кислот с использованием аллель-специфических маркеров CAPS и анализа SNaPshot соответственно. Селекционерами уже получены новые высокоолеиновые и низколиноленовые рекомбинантные линии озимого рапса для использования в качестве исходного материала для создания новых сортов, которые могут иметь высокую ценность на рынке масличных культур [5], [6].

В настоящее время по-настоящему диких популяций *B. napus* в мире не известно; так же как и его происхождение и процессы совершенствования остаются неясными. Однако ученые обнаружили, что субгеном А может произойти от предка европейской репы, а субгеном С может произойти от общего предка кольраби, цветной капусты, брокколи и китайской капусты. Кроме того, озимые масличные культуры могут быть исходной формой *B. napus*. Субгеномный отбор генов защитного ответа способствовал адаптации к окружающей среде после формирования вида, тогда как асимметричный субгеномный отбор привел к изменению экотипа. Интегрируя полногеномные ассоциативные исследования, селекционные сигналы и анализ транскриптома, можно идентифицировать гены, связанные с улучшенной устойчивостью к стрессу, содержанием масла, качеством семян и улучшением экотипа. Поэтому именно они послужат кандидатами для дальнейшей функциональной характеристики и генетического улучшения *B. napus*. Следует при этом отметить, что аллополиплоидизация *de novo* у *Brassica* обеспечивает очень успешную модель для реконструкции полиплоидных геномов с использованием видов-предшественников и родственников для расширения генофондов культур и понимания эволюции генома после полиплоидии, межвидовой гибридизации и интрогрессии [7]. Как известно, состав жирных кислот (ЖК) определяет пищевую и экономическую ценность масла *B. napus*. Десатуразы жирных кислот (FAD) играют ключевую роль в регуляции состава ЖК. Поэтому в настоящее время становится актуальным проведение всестороннего полногеномного анализа семейства генов FAD в семенах рапса и его родительских видах [8].

Признаки, связанные со временем цветения, являются наиболее многообещающими маркерными признаками, которые напрямую влияют на урожай семян и качество масла рапса. Поэтому выведение раннецветущих и скороспелых сортов является важной задачей селекции *B. napus* [9]. Перспективным направлением работы также служит селекция рапса на устойчивость к многочисленным биотическим и абиотическим стрессам. Чтобы понять различные молекулярные и клеточные механизмы, лежащие в основе устойчивости к абиотическому стрессу и улучшения семян рапса, в последние годы широко использовались омикские подходы. Решение данной проблемы селекционеры видят в области геномики, транскриптомики, протеомики, метаболомики и их использование в регуляции абиотического стресса у *B. napus*. Кроме того, учеными также были объяснены потенциальные перспективы системы CRISPR/Cas9 для редактирования генома, чтобы помочь молекулярной селекции в разработке устойчивых к абиотическому стрессу генотипов рапса [10].

Обсуждение

Последние два десятилетия ознаменовались многочисленными значимыми событиями в области геномной инженерии по выявлению различных генов-мишеней для повышения урожайности масличного рапса. В частности, подходы геномной инженерии стали крупным мировым прорывом в повышении содержания масла в семенах *B. napus*. Манипуляции с составом рапсового масла для получения улучшенных композиций жирных кислот, наиболее подходящих для пищевых целей, также составляли одну из задач селекционеров [11], [12]. Глубокое понимание геномных сетей, участвующих в биосинтезе масла во время развития семян рапса, стало необходимым условием для выведения сортов с высоким его содержанием [13]. В настоящее время секвенировано большинство эталонных геномов рапса; стали доступны обширные наборы данных omics для разных стадий развития семян. Исследования транскриптома и протеома позволило ученым выявить преобладание ферментов метаболизма крахмала и гликолиза, которые могут быть причиной более высокого содержания масла *B. napus* по сравнению с другими масличными

культурами. Кроме того, новаторские работы по изучению возможностей изменения генетической экспрессии ключевых регуляторов накопления масла, наряду с биохимическими исследованиями для выяснения биосинтеза липидов, позволяют разрабатывать протоколы для создания трансгенного *B. napus* с гораздо улучшенным составом масла.

Заключение

Современные перспективные технологии в селекции, такие как генетическое картирование, молекулярные маркеры, геномные инструменты и генные технологии позволят получать селекционные линии *B. napus* с высоким содержанием олеиновой и низким содержанием линоленовой кислоты. Разработка интеллектуальных методов интеграции и анализа гетерогенных данных (геномных, транскриптомных, протеомных и метаболомных) для реконструкции генных сетей, контролируемых селекционно значимые признаки *B. napus*, будет способствовать пониманию различных молекулярных и клеточных механизмов, лежащих в основе устойчивости к абиотическому стрессу и улучшения семян рапса. Таким образом, сочетание интегрированной омики, редактирования генома и ускоренной селекции может изменить производство рапса во всем мире.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в соответствии с соглашением 075-15-2023-220 на поддержку программы развития университета "Приоритет-2030".

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Буктыбаева А.Б., Баишев Университет г.Актобе, Актобе, Казахстан
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.34.4.1>

Funding

The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in accordance with agreement 075-15-2023-220 to support the University's development program "Priority-2030".

Conflict of Interest

None declared.

Review

Buktibaeva A.B., Baishev University, Aktobe, Kazakhstan
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.34.4.1>

Список литературы / References

1. Sparrow P.A. Brassica oleracea and *B. napus*. / P.A. Sparrow, J.A. Irwin // *Methods Mol Biol.* — 2015. — 1223. — p. 287-297. — DOI: [10.1007/978-1-4939-1695-5_23](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1695-5_23)
2. Shen J. Comprehensive Review of Health-Benefiting Components in Rapeseed Oil. / J. Shen, Y. Liu, X. Wang et al. // *Nutrients.* — 2023. — Vol. 15, No. 4. — p. 999. — DOI: [10.3390/nu15040999](https://doi.org/10.3390/nu15040999)
3. Hannoufa A. Genetic Enhancement of Brassica napus Seed Quality. / A. Hannoufa, B.V. Pillai, S. Shellamma // *Transgenic Res.* — 2014. — Vol. 23, No. 1. — p. 39-52. — DOI: [10.1007/s11248-013-9742-3](https://doi.org/10.1007/s11248-013-9742-3)
4. Ton L.B. The Use of Genetic and Gene Technologies in Shaping Modern Rapeseed Cultivars (*Brassica napus* L.). / L.B. Ton, T.X. Neik, J. Batley // *Genes (Basel).* — 2020. — Vol. 11, No. 10. — p. 1161. — DOI: [10.3390/genes11101161](https://doi.org/10.3390/genes11101161)
5. Mason A.S. Oilseed Rape: Learning about Ancient and Recent Polyploid Evolution from a Recent Crop Species. / A.S. Mason, R.J. Snowdon // *Plant Biol (Stuttg).* — 2016. — 18. — p. 883-892. — DOI: [10.1111/plb.12462](https://doi.org/10.1111/plb.12462)
6. Spasibionek S. Marker Assisted Selection of New High Oleic and Low Linolenic Winter Oilseed Rape (*Brassica napus* L.) Inbred Lines Revealing Good Agricultural Value. / S. Spasibionek, K. Mikołajczyk, H. Ćwiek-Kupczyńska et al. // *PLoS One.* — 2020. — Vol. 15, No. 6. — p. 0233959. — DOI: [10.1371/journal.pone.0233959](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233959)
7. Hu D. Exploring the Gene Pool of Brassica napus by Genomics-Based Approaches. / D. Hu, J. Jing, R.J. Snowdon et al. // *Plant Biotechnol J.* — 2021. — Vol. 19, No. 9. — p. 1693-1712. — DOI: [10.1111/pbi.13636](https://doi.org/10.1111/pbi.13636)
8. Helal M. SNP- and Haplotype-Based GWAS of Flowering-Related Traits in Brassica napus. / M. Helal, R.A. Gill, M. Tang et al. // *Plants (Basel).* — 2021. — Vol. 10, No. 11. — p. 2475. — DOI: [10.3390/plants10112475](https://doi.org/10.3390/plants10112475)
9. Xue Y. Genome-Wide Survey and Characterization of Fatty Acid Desaturase Gene Family in Brassica napus and Its Parental Species. / Y. Xue, B. Chen, R. Wang et al. // *Appl Biochem Biotechnol.* — 2018. — Vol. 184, No. 2. — p. 582-598. — DOI: [10.1007/s12010-017-2563-8](https://doi.org/10.1007/s12010-017-2563-8)
10. Raza A. The Way forward to Enhance Abiotic Stress Tolerance in Brassica napus L.. / A. Raza, A. Razzaq, S.S. Mehmood et al. // *GM Crops Food.* — 2021. — Vol. 12, No. 1. — p. 251-281. — DOI: [10.1080/21645698.2020.1859898](https://doi.org/10.1080/21645698.2020.1859898)
11. Горлова А.А. Направления и результаты селекции рапса и сурепицы во ВНИИМК. / А.А. Горлова, Э.Б. Бочкарева, В.В. Сердюк и др. // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии.* — 2017. — 2. — с. 20-33.
12. Вертелецкий И.А. Качество масличного сырья и урожайность отечественных и зарубежных сортов ярового рапса. / И.А. Вертелецкий // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева.* — 2014. — 3 (23). — с. 84-87.
13. Кузнецова Г.Н. Новый сорт рапса ярового Сибиряк 60. / Г.Н. Кузнецова, Р.С. Полякова // *Масличные культуры.* — 2021. — 2 (186). — с. 101-104. — DOI: [10.25230/2412-608X-2021-2-186-101-104](https://doi.org/10.25230/2412-608X-2021-2-186-101-104)

Список литературы на английском языке / References in English

1. Sparrow P.A. Brassica oleracea and *B. napus*. / P.A. Sparrow, J.A. Irwin // *Methods Mol Biol.* — 2015. — 1223. — p. 287-297. — DOI: [10.1007/978-1-4939-1695-5_23](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1695-5_23)

2. Shen J. Comprehensive Review of Health-Benefiting Components in Rapeseed Oil. / J. Shen, Y. Liu, X. Wang et al. // *Nutrients*. — 2023. — Vol. 15, No. 4. — p. 999. — DOI: 10.3390/nu15040999
3. Hannoufa A. Genetic Enhancement of Brassica napus Seed Quality. / A. Hannoufa, B.V. Pillai, S. Shellamma // *Transgenic Res.* — 2014. — Vol. 23, No. 1. — p. 39-52. — DOI: 10.1007/s11248-013-9742-3
4. Ton L.B. The Use of Genetic and Gene Technologies in Shaping Modern Rapeseed Cultivars (Brassica napus L.). / L.B. Ton, T.X. Neik, J. Batley // *Genes (Basel)*. — 2020. — Vol. 11, No. 10. — p. 1161. — DOI: 10.3390/genes11101161
5. Mason A.S. Oilseed Rape: Learning about Ancient and Recent Polyploid Evolution from a Recent Crop Species. / A.S. Mason, R.J. Snowdon // *Plant Biol (Stuttg)*. — 2016. — 18. — p. 883-892. — DOI: 10.1111/plb.12462
6. Spasibionek S. Marker Assisted Selection of New High Oleic and Low Linolenic Winter Oilseed Rape (Brassica napus L.) Inbred Lines Revealing Good Agricultural Value. / S. Spasibionek, K. Mikołajczyk, H. Ćwiek-Kupczyńska et al. // *PLoS One*. — 2020. — Vol. 15, No. 6. — p. 0233959. — DOI: 10.1371/journal.pone.0233959
7. Hu D. Exploring the Gene Pool of Brassica napus by Genomics-Based Approaches. / D. Hu, J. Jing, R.J. Snowdon et al. // *Plant Biotechnol J.* — 2021. — Vol. 19, No. 9. — p. 1693-1712. — DOI: 10.1111/pbi.13636
8. Helal M. SNP- and Haplotype-Based GWAS of Flowering-Related Traits in Brassica napus. / M. Helal, R.A. Gill, M. Tang et al. // *Plants (Basel)*. — 2021. — Vol. 10, No. 11. — p. 2475. — DOI: 10.3390/plants10112475
9. Xue Y. Genome-Wide Survey and Characterization of Fatty Acid Desaturase Gene Family in Brassica napus and Its Parental Species. / Y. Xue, B. Chen, R. Wang et al. // *Appl Biochem Biotechnol*. — 2018. — Vol. 184, No. 2. — p. 582-598. — DOI: 10.1007/s12010-017-2563-8
10. Raza A. The Way forward to Enhance Abiotic Stress Tolerance in Brassica napus L.. / A. Raza, A. Razzaq, S.S. Mehmood et al. // *GM Crops Food*. — 2021. — Vol. 12, No. 1. — p. 251-281. — DOI: 10.1080/21645698.2020.1859898
11. Gorlova A.A. Napravleniya i rezul'taty' selekcii rapsa i surepicy' vo VNIIMK [Directions and Results of Rapeseed and Colza Breeding at VNIIMK]. / A.A. Gorlova, E'.B. Bochkareva, V.V. Serdyuk et al. // *Izvestiya Timiryazevskoj sel'skoxozyajstvennoj akademii [Proceedings of Timiryazev Agricultural Academy]*. — 2017. — 2. — p. 20-33. [in Russian]
12. Vertelecckij I.A. Kachestvo maslichnogo sy'r'ya i urozhajnost' otechestvenny'x i zarubezhny'x sortov yarovogo rapsa [The Quality of Oilseed Raw Materials and the Yield of Domestic and Foreign Varieties of Spring Rapeseed]. / I.A. Vertelecckij // *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva [Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University. P.A. Kostychev]*. — 2014. — 3 (23). — p. 84-87. [in Russian]
13. Kuzneczova G.N. Novy'j sort rapsa yarovogo Sibiryak 60 [New Variety of Spring Rapeseed Sibiryak 60]. / G.N. Kuzneczova, R.S. Polyakova // *Maslichny'e kul'tury' [Oilseeds]*. — 2021. — 2 (186). — p. 101-104. — DOI: 10.25230/2412-608X-2021-2-186-101-104 [in Russian]