УДК 631.52:633.853.494

DOI: 10.25230/2412–608X–2020–2–182–33–39

Метод педигри в селекции рапса и горчицы во ВНИИМК: основные идеи, схема, модификации

Л.А. Горлова,

кандидат биологических наук

Э.Б. Бочкарева,

доктор сельскохозяйственных наук

В.С. Трубина,

научный сотрудник

В.В. Сердюк,

старший научный сотрудник

Е.А. Стрельников,

кандидат биологических наук

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК

Россия, 350038, Краснодар, ул. им. Филатова, д. 17

Тел.: (861) 275-79-10

E-mail: raps@vniimk.ru

Для цитирования: Горлова Л.А., Бочкарева Э.Б., Трубина В.С., Сердюк В.В., Стрельников Е.А. Метод педигри в селекции рапса и горчицы во ВНИИМК: основные идеи, схема, модификации // Масличные культуры. – 2020. – Вып. 2 (182). – С. 33–39.

Ключевые слова: рапс, горчица, метод педигри, скрещивания, инбридинг, отбор, схема селекции.

В селекции рапса и горчицы во Всероссийском научно-исследовательском институте масличных культур используют метод педигри, основной идеей которого является оценка генетического потенциала отдельного самоопыленного растения по потомству. Использование индивидуального отбора ценных биотипов в совокупности с самоопылением позволило селекционерам ВНИИМК перейти к созданию линейных сортов. Цель статьи – описание методов и схем в селекции рапса и горчицы во ВНИИМК. Изложенный материал позволяет увидеть результаты применения модифицированного метода педигри в селекции капустных масличных культур за последние 15 лет. Созданные линейные сорта рапса озимого превосходят сорта-популяции по урожайности семян на 0,87 т/га, по масличности – на 1,7 % и по сбору масла – на 0,44 т/га. Сорта горчицы сарептской, полученные методом педигри на базе инбредных линий, демонстрируют преимущество по урожай-

ности семян на 0,48 т/га, масличности семян – на 0,9 % и сбору масла – на 0,27 т/га в сравнении с сортами, полученными методом индивидуально-семейственного отбора. Отбор отдельных растений по фенотипу проводится в F_2S_1 в фазе бутонизации – начала цветения. Основным критерием отбора является количество бутонов на растении и количество боковых ветвей первого порядка. Урожайность линий в поколениях от F_1 до F_4 определяется визуально. Отбор урожайных растений рапса и горчицы на начальном этапе основывается на «взгляде селекционера», его опыте и интуиции. Сравнительная оценка линий по продуктивности начинается с поколения F_5 в контрольном питомнике и далее в предварительном и конкурсном сортоиспытании. Создание линейного сорта рапса и горчицы по существующей схеме занимает 8–10 лет.

UDC 631.52:633.853.494

A pedigree method in breeding of rapeseed and mustard in VNIIMK: general ideas, scheme, modification

L.A. Gorlova, PhD in biology

E.B. Bochkaryova, doctor of agriculture

V.S. Trubina, researcher

V.V. Serdyuk, senior researcher

E.A. Strelnikov, PhD in biology

V.S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops (VNIIMK)

17, Filatova str., Krasnodar, 350038, Russia

Tel.: (861) 275-79-10

E-mail: raps@vniimk.ru

Key words: rapeseed, mustard, a pedigree method, crossing, inbreeding, selection, breeding scheme.

A pedigree method is used in breeding works with rapeseed and mustard in the V.S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops (VNIIMK). The general idea of this method is estimation of genetic potential of an individual self-pollinated plant by progenies. Usage of individual selection of valuable genotypes combined with self-pollination allowed breeders of the institute starting development of linear varieties. The purpose of the work is to describe methods and schemes in rapeseed and mustard breeding in the V.S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops (VNIIMK). The presented material showed results of a usage of the modified method of pedigree in breeding of Brassicaceae oil crops during last 15 years. Developed linear varieties of winter rapeseed exceed OP-varieties on seed yield by 0.87 t per ha, on oil content – by 1.7% and on oil yield – by 0.44 t per ha. Varieties of brown mustard developed by pedigree method using inbred lines demonstrated advantage on seed yield by 0.48 t per ha, on oil content of seeds – by 0.9% and on oil yield – by 0.27 t

per ha comparing to the varieties developed by a method of individual families selection. Selection of individual plants by phenotype is done in F2S1 in a phase of budding – beginning of flowering. The basic criteria of selection are quantity of bud per a plant and amount of side branches of the first level. Productivity of lines in F₁–F₄ is determined visually. Selection of productive rapeseed plants at first stage is based ‘at-a-breeder’s-glance’, his experience and intuition. A comparative estimation of lines by productivity starts in F₅ in a control nursery and further in preliminary and competitive variety trials. Development of linear variety of rapeseed and mustard due to existing scheme takes 8–10 years.

Введение. Рапс и горчицу сарептскую относят к культурам со смешанным типом опыления, так как перекрёстное опыление может варьировать от 10 до 50 %. В селекции таких культур используют методы как популяционной, так и линейной селекции, а также методы создания гибридов [1].

До середины 90-х годов прошлого столетия во ВНИИМК селекция рапса и горчицы была сосредоточена на создании сортов-популяций. Основным методом селекции был метод индивидуально-семейственного отбора из гибридных популяций. Бесспорным свидетельством его эффективности являлся тот факт, что за 20 лет селекционерами ВНИИМК было районировано 15 сортов рапса и 20 горчицы. С целью улучшения и закрепления необходимых качественных признаков (низкое содержание эруковой кислоты и глюкозинолатов) применяли самоопыление.

Гибридная селекция для культур со смешанным типом опыления теоретически особенно многообещающая. В 1988 г. во ВНИИМК были начаты исследования гетерозисного эффекта, характера, частоты и степени его проявления у гибридов F₁ рапса. Одной из значимых частей этой работы было посвящено изучению влияния самоопыления растений рапса на урожайность инбредных линий в первом и последующих поколениях инбридинга [2].

В гетерозиготных популяциях рапса наблюдалось значительное варьирование

показателя степени отзывчивости на самоопыление составляющих популяцию биотипов. В среднем при самоопылении растений рапса в течение четырёх поколений инбредная депрессия по урожайности составила 11,9 % [2]. Однако существенная дифференциация материала в процессе самоопыления позволяла выделить линии, которые превосходили исходную популяцию по урожайности, что указывало на возможность использования самоопыления в качестве метода создания исходного материала.

Биологические особенности опыления у рапса и горчицы позволяют использовать самоопыление растений в селекционной практике в качестве способа генетической дифференциации исходных популяций и метода создания ценного по комплексу хозяйственно полезных признаков селекционного материала. Данный метод селекции в большей степени выступает как технология концентрации в биотипе положительных наследственных факторов и служит отправным пунктом на пути к гетерозисной селекции.

Индивидуальный отбор ценных биотипов в совокупности с самоопылением позволили селекционерам ВНИИМК перейти на создание линейных сортов. Линейная селекция имеет преимущество, прежде всего с точки зрения фиксации в сорте генов по желаемым качественным свойствам. Линейные сорта генетически гомогенны и поэтому не включают в себя нежелательные генотипы [3].

Использование многократного индивидуального отбора с постоянным контролем гомозиготности потомств отобранных растений обеспечивает константность и однородность сорта [4]. Линейная селекция использует два различных метода: метод массового отбора и метод педигри. Селекционеры ВНИИМК используют в своей работе один из самых эффективных методов – метод педигри. Основной идеей этого метода, о чём, впрочем, говорит название (родословная), является оценка генетического потенциа-

ла отдельного растения по потомству и по родству. Поэтому достаточно надёжно могут оцениваться такие хозяйственно ценные признаки, как высота растений, продолжительность вегетационного периода, устойчивость к болезням, масса 1000 семян, биохимические характеристики.

Применение метода педигри в совокупности с самоопылением позволило селекционерам ВНИИМК создать сорта не только с высокими урожайными свойствами, но и со специфическими качественными характеристиками. Например, сорт рапса ярового Амулет имеет высокое содержание олеиновой кислоты в масле (77,5 %), сорт рапса ярового Кенар – жёлтую окраску семенной оболочки, сорт горчицы сарептской Горлинка – высокое содержание (0,7–0,8 %) аллилгорчичного масла [5; 6; 7].

Преимущества метода педигри – это возможность проверить генетическую ценность каждого из отобранных генотипов, контролировать признак в потомстве на всех этапах селекционного процесса. Шансы выделения нужных генотипов при использовании этого метода высоки, если они действительно могут выявляться на ранних этапах селекционного процесса. Выделение может проводиться только при визуальном отборе индивидуальных растений на одном фоне, и успех такой селекции зависит от того, насколько велика генетическая изменчивость материала, как много учитывается признаков, как велика их наследуемость, благоприятны ли для отбора условия среды и, наконец, насколько надёжной является глазомерная оценка селекционера.

Цель статьи – описание методов и схем в селекции рапса и горчицы во Всероссийском научно-исследовательском институте масличных культур имени В.С. Пустовойта. Изложенный материал позволяет увидеть результаты применения этих методов и схем за последние годы.

Материалы и методы. В основе статьи лежит использование метода педигри

в современной селекции линейных сортов рапса и горчицы во ВНИИМК. Описывается модифицированная схема и все этапы селекционной работы. Материалом служит селекционный материал (более 5 тыс. номеров), ежегодно вовлекаемый в работу. Даны критерии отбора нужных и браковки нежелательных генотипов. Описана методика полевых опытов, проводимые наблюдения, учёты и анализы.

Результаты и обсуждение. С 2006 г. практически весь арсенал селекционных достижений рапса озимого представлен высокопродуктивными безэруковыми и низкоглюкозинолатными линейными сортами. Сравнительная характеристика сортов (табл. 1) наглядно демонстрирует прогресс в селекции не только на повышение урожайности, но и на увеличение масличности семян. Линейные сорта превышают сорта-популяции по урожайности семян на 0,87 т/га, по масличности – на 1,7 % и по сбору масла – на 0,44 т/га.

Таблица 1

Продуктивность сортов рапса озимого селекции ВНИИМК

ЦЭБ ВНИИМК, 2014–2019 гг.

Сорт	Тип сорта	Урожайность, т/га	Масличность, %	Сбор масла, т/га
Отраденский	Сорт-популяция	4,23	46,5	1,77
Оникс	Сорт-популяция	3,78	45,6	1,55
Дракон	Сорт-популяция	4,09	46,2	1,70
Метеор	Сорт-популяция	4,26	46,7	1,79
Элвис	Линейный сорт	4,31	48,6	1,88
Лорис	Линейный сорт	4,46	48,7	1,95
Сармат	Линейный сорт	5,33	47,5	2,28
Селегор	Линейный сорт	5,72	46,8	2,41

С 2009 г. селекция яровой горчицы сарептской также идёт в направлении создания линейных сортов. Сорта горчицы сарептской, полученные на базе инбредных линий, продемонстрировали очевидное преимущество по урожайности семян (на 0,48 т/га), масличности семян (на 0,9 %) и сбору масла (на 0,27 т/га) в сравнении с сортами, полученными методом индивидуально-семейственного отбора (табл. 2).

Таблица 2

**Продуктивность сортов яровой горчицы
сарептской селекции ВНИИМК**

ЦЭБ ВНИИМК, 2014–2018 гг.

Сорт	Тип сорта	Урожайность, т/га	Масличность, %	Сбор масла, т/га
Славянка	Сорт-популяция	2,53	46,6	1,06
Росинка	Сорт-популяция	2,60	47,0	1,10
Ракета	Сорт-популяция	2,62	47,2	1,10
Золушка	Линейный сорт	2,65	47,7	1,14
Ника	Линейный сорт	2,97	48,1	1,43
Юнона	Линейный сорт	3,25	47,7	1,39

Исходной точкой начального этапа селекционного процесса является внутри-видовое скрещивание. В качестве родителей выступают гомозиготные линии, сорта, мутанты, коллекционные образцы. Вовлекаются в скрещивания только те родители, которые выделяются по своим хозяйственно ценным признакам. Родительскими компонентами в скрещиваниях рапса и горчицы выступают как генетически удаленные друг от друга генотипы, так и продуктивные, климатически адаптированные, родственные друг другу и имеющие совместных предков.

Удачная рекомбинация признаков, а по отдельным характеристикам (эфиро-масличность у горчицы) резкая трансгрессия в F_2 – источник получения интересного в практическом отношении исходного материала. Во ВНИИМК распространены комплексные скрещивания. Если одна из родственных родительских линий имеет особенно хорошие свойства, то могут проводиться возвратные скрещивания с этой линией, чтобы повысить долю аллелей из этой линии в потомстве.

Последние несколько лет получение нового исходного материала рапса и горчицы во ВНИИМК проводится в фитотронно-тепличном комплексе. Ежегодно селекционеры делают 400–500 скрещиваний (рис. 1).

Рисунок 1 – Гибридизация рапса и горчицы в фитотронно-тепличном комплексе ВНИИМК

Гибридный питомник F_1 включает все комбинации скрещивания, которые оцениваются визуально и выбраковываются те гибридные комбинации, которые явно не соответствуют по каким-либо параметрам. Лучшие растения гибридных комбинаций, получивших высокий балл по общей хозяйственной оценке, самоопыляют.

Отбор отдельных растений по фенотипу проводится в F_2S_1 в фазе бутонизации – начала цветения. Основным критерием отбора является количество бутонов на растении и количество боковых ветвей первого порядка. Обязательно учитывается площадь питания растения. Отобранное растение полностью закрывается изолятором, оно должно быть устойчиво к полеганию и не поражено болезнями (рис. 2). По мере роста растения в высоту проводят постепенный подъем изолятора.

Рисунок 2 – Самоопыление рапса в питомнике отбора расщепляющейся гибридной комбинации F_2S_1

Потомство F_3S_2 каждого отобранного самоопыленного растения возделывается в селекционном питомнике (питомник оценки потомства) в виде 2-рядковых делянок площадью $2,25 \text{ м}^2$ в однократной повторности (рис. 3). В поколении F_3S_2 выбирают лучшие по фенотипу делянки и внутри делянки отбирают лучшие отдельные растения, которые самоопыляют. Семена, полученные под изоляторами, проходят биохимическую оценку и бракуются по масличности, жирно-кислотному составу, содержанию глюкозинолатов и крупности. Выделенные лучшие по комплексу показателей линии высеваются по родству ещё раз в питомнике оценки потомств.

Рисунок 3 – Селекционный питомник F_3S_2 и F_4S_3

В поколении F_4S_3 также выбирают лучшие по фенотипу делянки и внутри делянки отбирают лучшие отдельные

растения, которые самоопыляют. Во время вегетации селекционер ещё несколько раз проводит оценку лучших делянок на потенциальную урожайность, устойчивость к полеганию, болезням, осыпаемости. Полученные под изоляторами семена проходят биохимическую оценку и по результатам анализов бракуются по масличности, жирно-кислотному составу, содержанию глюкозинолатов, эфиромасличности и крупности.

Одной из модификаций метода педигри является оценка продуктивности в ранних поколениях, которая идёт параллельно с созданием линий. Во ВНИИМК на протяжении 15 лет урожайность линий в поколениях от F_1 до F_4 не определяется. Отбор урожайных растений рапса и горчицы на начальном этапе основывается на «взгляде селекционера», его опыте и интуиции. Это связано с уменьшением затрат, но также уменьшает точность прогнозирования перспектив успешного скрещивания и в дальнейшем получения продуктивных линий.

Количество завязавшихся под изолятором семян одного растения рапса и горчицы составляет от 6 до 20 г. Такого количества семян, как правило, достаточно для закладки контрольного питомника, и позволяет посеять 4-рядковые делянки площадью $7,5 \text{ м}^2$ в 2-кратной повторности.

В поколении F_5S_4 генотипы уже достигают достаточно высокой степени гомозиготности. Основная задача селекционера на данном этапе – идентификация лучших чистых линий. Поэтому в контрольном питомнике несколько раз проводят фенологические наблюдения, в фазе зелёного и жёлто-зелёного стручка осуществляют фитопатологическую оценку. На лучших по фенотипу делянках отбирают и самоопыляют лучшие растения (рис. 4). Делянки убирают селекционными комбайнами, а семена после взвешивания и очистки отдаются на все необходимые биохимические анализы.

Рисунок 4 – Контрольный питомник F_5S_4

На следующем этапе селекционного процесса перед селекционером ставятся те же задачи – выделение наилучших по комплексу признаков линий рапса и горчицы. В поколении F_6S_5 лучшие генотипы высеваются в питомнике предварительного испытания, который закладывается в 3-кратной повторности на 4-рядковых делянках площадью $7,5 \text{ м}^2$. Набор испытываемых образцов уже достаточно узкий (50–70 шт.), а достоверность продуктивности довольно высока. В питомнике предварительного испытания так же, как и в контрольном питомнике, проводят фенологические наблюдения и фитопатологическую оценку линий. На лучших по фенотипу делянках ставят групповые изоляторы для опыления растений в пределах лучшей линии (рис. 5). Делянки также убирают селекционными комбайнами, а у семян после взвешивания и очистки определяют масличность, эфиромасличность, жирно-кислотный состав масла, содержание глюкозинолатов, массу 1000 семян.

Рисунок 5 – Групповые изоляторы в предварительном сортоиспытании рапса

Завершающим этапом селекции является конкурсное сортоиспытание перспективных линейных сортов с проходящим параллельно экологическим сортоиспытанием. У рапса и горчицы конкурсное и экологическое испытание во ВНИИМК закладывается семенами, полученными под изоляторами предварительного испытания, на 4-рядных делянках площадью 12 м^2 в 4-кратной повторности. Такие испытания проводят 2 или 3 года, используя резервы семян.

Конкурсное сортоиспытание включает оценку линейных сортов (35 шт.) по комплексу хозяйственно значимых признаков. Если в течении 2–3 лет сорт показывает стабильную урожайность семян, имеет высокую масличность семян и низкий уровень глюкозинолатов, толерантен к основным болезням, не полегает и устойчив к растрескиванию стручков, а также демонстрирует экологическую пластичность, то он переходит в разряд главных претендентов на звание нового сорта. На визуально лучшую делянку в окончательный год испытания этого сорта устанавливают изолятор с целью сохранения генетической чистоты. Создание сорта рапса или горчицы, согласно представленной селекционной схеме, занимает 8–10 лет.

Окончательным этапом селекционного цикла является размножение оригинальных семян на изолированном участке. Собранный партия семян нового сорта проходит комплексную оценку со стороны не только селекционеров, но и семеноводов. После получения всех соответствующих документов семена нового сорта рассылаются на Госсортоучастки для прохождения государственного испытания, по результатам которого новый сорт имеет шансы быть зарегистрированным в Государственном реестре селекционных достижений.

Выводы. Использование метода педигри в селекции рапса и горчицы, модификация которого заключается в индивидуальном отборе и самоопылении

ценных биотипов, позволило селекционерам ВНИИМК перейти на создание линейных сортов. В связи с уменьшением затрат отбор урожайных растений рапса и горчицы на начальном этапе основывается на визуальной оценке, опыте и интуиции селекционера.

Линейные сорта рапса озимого превышают сорта-популяции по урожайности семян на 0,87 т/га, по масличности – на 1,7 % и по сбору масла – на 0,44 т/га. Линейные сорта горчицы сарептской имеют преимущество в сравнении с сортами, полученными методом индивидуально-семейственного отбора, по урожайности семян на 0,48 т/га, масличности семян – на 0,9 % и сбору масла – на 0,27 т/га.

Существующая схема селекции рапса и горчицы даёт возможность создавать новые линейные сорта различного направления использования (высокоурожайные, высокомасличные, высокоолеиновые, высокоэфирные, желтосемянные) за 8–10 лет.

Список литературы

1. Горлова Л.А. Современные методы селекции рапса // Материалы школы молодых учёных. – Краснодар: ФГБНУ ВНИИМК, 2018. – С. 17–27.

2. Горлов С.Л. Селекция озимого рапса (*Brassica napus* L.) на гетерозис: дис. ... канд. с.-х наук. – Краснодар, 1995. – 141 с.

3. Беккер Х. Селекция растений. – М.: Тов-во научных изданий КМК. – 2015. – 425 с.

4. Коновалов Ю.Б., Пыльнев В.В., Хупацария Т.И., Рубец В.С. Общая селекция растений // Учебник – СПб.: Изд-во «Лань», 2013. – 480 с.

5. Горлов С.Л., Боцкарёва Э.Б., Горлова Л.А., Сердюк В.В. Высокоолеиновый сорт рапса ярового Амулет // Масличные культуры. Науч.-тех. бюл. ВНИИМК. – 2015. – Вып. 2 (162). – С. 127–128.

6. Горлова Л.А., Боцкарёва Э.Б., Сердюк В.В., Стрельников Е.А., Поморова Ю.Ю. Первый отечественный желтосемянный сорт рапса ярового Кенар // Мас-

личные культуры. – 2019. – Вып. 3 (179). – С. 168–170.

7. Горлова Л.А., Трубина В.С., Шипиевская Е.Ю., Сердюк О.А., Ефименко С.Г., Поморова Ю.Ю. Новый сорт горчицы сарептской с повышенным содержанием эфирного масла Горлинка // Масличные культуры. Науч.-тех. бюл. ВНИИМК. – 2018. – Вып. 3 (175). – С. 165–166.

References

1. Gorlova L.A. Sovremennyye metody selektsii rapsa // Materialy shkoly molodykh uchenykh. – Krasnodar: FGBNU VNIIMK, 2018. – S. 17–27.

2. Gorlov S.L. Seleksiya ozimogo rapsa (*Brassica napus* L.) na geterozis: dis. ... kand. s.-kh nauk. – Krasnodar, 1995. – 141 s.

3. Bekker Kh. Seleksiya rasteniy. – M.: Tov-vo nauchnykh izdaniy KMK. – 2015. – 425 s.

4. Konovalov Yu.B., Pyl'nev V.V., Khupatsariya T.I., Rubets V.S. Obshchaya selek-tsiya rasteniy // Uchebnik – SPb.: Izd-vo «Lan'», 2013. – 480 s.

5. Gorlov S.L., Bochkareva E.B., Gorlova L.A., Serdyuk V.V. Vysokooleinovyy sort rapsa yarovogo Amulet // Maslichnye kul'tury. Nauch.-tekhn. byul. VNIIMK. – 2015. – Vyp. 2 (162). – S. 127–128.

6. Gorlova L.A., Bochkareva E.B., Serdyuk V.V., Strel'nikov E.A., Pomorova Yu.Yu. Pervyy otechestvennyy zheltosemyannyy sort rapsa yarovogo Kenar // Maslichnye kul'tury. – 2019. – Vyp. 3 (179). – S. 168–170.

7. Gorlova L.A., Trubina V.S., Shipievskaya E.Yu., Serdyuk O.A., Efimenko S.G., Pomorova Yu.Yu. Novyy sort gorchitsy sareptskoy s povyshennym sodержaniem efirnogo masla Gorlinka // Maslichnye kul'tury. Nauch.-tekhn. byul. VNIIMK. – 2018. – Vyp. 3 (175). – S. 165–166.

Получено: 06.05.2020 Принято: 27.05.2020
Received: 06.05.2020 Accepted: 27.05.2020