

СТРАТЕГИЯ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ ФОРМ РЕДИСА, АДАПТИРОВАННЫХ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ В СВЕТОКУЛЬТУРЕ

А.А. Кочетов, Н.Г. Синявина, кандидаты биологических наук

Агрофизический научно-исследовательский институт,
195220, Санкт-Петербург, Гражданский проспект, 14
E-mail: kochetoval@yandex.ru

Разработана и реализована стратегия создания новых форм редиса, адаптированных для выращивания в светокультуре, основанная на оригинальной методологии получения трансгрессивных форм различных культур с прогнозируемым комплексом хозяйственно ценных признаков. Растения выращивали в светоустановках, оборудованных лампами ДНАЗ-400 (12-часовой фотопериод, облученность – 40-60 Вт/м² ФАР), в малом объеме корнеобитаемой среды. Изучено внутривидовое разнообразие редиса (26 сортов различного происхождения) в условиях интенсивной светокультуры. Установлены различия сортов по комплексу хозяйственно ценных признаков (скороспелость, продуктивность, морфологические характеристики). Выявлены наиболее продуктивные сорта, а также сорта-доноры хозяйственно ценных признаков, реализующихся в условиях светокультуры при коротком дне (12-часовой фотопериод) и повышенной температуре. Подобраны родительские пары для последующего получения высокопродуктивных трансгрессивных форм при использовании оригинальной селекционной методологии. Проведена оценка гибридов первого и второго поколения, показавшая наличие гетерозиса по массе корнеплода до 230% в различных комбинациях скрещивания и выявившая перспективные трансгрессивные формы.

THE STRATEGY OF CREATING HIGHLY PRODUCTIVE FORMS OF RADISH, ADAPTED FOR CULTIVATION UNDER ARTIFICIAL LIGHT CONDITIONS

Kochetov A.A., Sinyavina N.G.

Agrophysical Research Institute, 196600, Sankt-Peterburg, Grazhdanskiy pr., 14
E-mail: kochetoval@yandex.ru

The strategy of creating new radish forms adapted for cultivation under artificial lighting was developed and implemented. It was based on the original methodology of obtaining transgressive forms of various cultures with a predictable complex of economically valuable properties. Plants were grown in controlled conditions, under incandescent lamps DNAZ-400 (12 hours photoperiod, irradiation of 40-60 W/m² PAR), in a small volume of the root medium. At the first stage, the intraspecific diversity of radish (26 varieties of different origin) under artificial lighting has been studied. Differences between varieties were determined for the complex of selective-valuable characteristics (early maturity, productivity, morphological characteristics). The most productive varieties are revealed, as well as varieties - donors of economically valuable properties that are realized under artificial lighting at a short day and high temperature. Parent pairs have been selected for the subsequent receipt of highly productive transgressive forms using the original breeding methodology. The evaluation of hybrids of the first and second generation showed the presence of heterosis on the mass of the root up to 230% in various combinations of hybridization and revealed promising transgressive forms.

Ключевые слова: редис, сортовое разнообразие, светокультура, селекционно-ценные признаки, гетерозис, трансгрессия

Key words: radish, varietal diversity, artificial lighting, selective-valuable characteristics, heterosis, transgression

Обеспечение населения северных регионов России свежими овощами в осенне-зимний и зимне-весенний период – приоритетная народно-хозяйственная задача. Важную роль в ее решении играет растениеводство защищенного грунта, что определяет актуальность селекционных исследований, направленных на создание отечественных конкурентоспособных сортов и гибридов овощных культур, максимально реализующих продукционный потенциал в теплицах и светокультуре.

Использование искусственного освещения (досветка искусственным светом) необходимо для полноценного роста тепличных растений в осенне-зимнее и

зимне-весеннее время на большей территории России. В северных регионах при больших потерях тепла в теплицах экономически выгодно выращивать растения в светокультуре в закрытых помещениях без естественного света. Главный недостаток светокультуры – высокая себестоимость продукции, что компенсируется ее более высоким качеством (использование сортов с хорошими вкусовыми свойствами, не предусматривающих длительное хранение или сбор несозревшей продукции, отсутствие химических обработок при хранении и др.).

Редис – одна из наиболее скороспелых и продуктивных культур, выращиваемых в защищенном

грунте и содержащих комплекс биохимически-ценных веществ. Продуктивность лучших отечественных сортов в теплицах достигает 2,0-4,0 кг/м² за 25-28 дней в зависимости от условий выращивания при общей массе растений 24-34 г и доле корнеплода в ней 60-67% [1]. В корнеплодах редиса содержится ряд полезных для человека биохимических соединений [2], в том числе витаминов, макро- и микроэлементов. Перспективно использовать в питании не только корнеплоды, но и листья этой культуры, которые по многим биохимическим показателям значительно богаче питательными веществами и витаминами, чем корнеплоды [3].

Селекционная работа с овощными культурами – одно из традиционных направлений исследований в лаборатории экологической генетики и селекции растений Агрофизического научно-исследовательского института (АФИ). В результате многолетней работы по изучению взаимодействия генотип – среда у разных культур в условиях регулируемой агроэкосистемы (РАЭС) и представлений о эколого-генетической организации количественных признаков, изложенных В.А. Драгавцевым [4], разработана методология получения трансгрессивных форм различных культур с прогнозируемым комплексом хозяйственно ценных признаков [5]. На ее основе создан алгоритм получения селекционно-ценных форм различных культур, адаптированных к конкретным условиям выращивания, который был реализован нами при интродукции дайкона в Северо-Западный регион России (сорт дайкона Петербургский).

Цель настоящих исследований – разработка и реализация стратегии создания новых высокопродуктивных форм редиса, адаптированных для выращивания в светокультуре, при использовании оригинальной методологии.

Методика. Работа выполнена в 2015-2017 гг. на биополигоне АФИ. В опытах по сортоиспытанию использовали семена редиса 26 сортов различного происхождения (из Нидерландов, Дании, Швеции, Франции, Японии, Монголии, Перу, Чехии, Венгрии) коллекции Всероссийского научно-исследовательского института растениеводства им. Вавилова, а также семена редиса отечественных селекционных компаний. На втором этапе работы растения выращивали из полученных гибридных семян (F₁-F₃) в подобранных комбинациях скрещивания.

Редис высаживали сухими семенами в оригинальную ярусную вегетационную светостановку, оборудованную лампами ДНАЗ-400. Облученность растений в опытах составляла 40-60 Вт/м² ФАР, продолжительность светового периода – 12 ч/сут. В качестве субстрата использовали торфяной питательный субстрат (производитель ООО «Пельгорское-М») с толщиной корнеобитаемого слоя 5 см. Схема посадки – 10x10 см. Размер оцениваемой выборки для каждого сорта (гибрида F₁) – 40 растений. Полив растений осуществляли водой ежедневно, чередуя его с

подкормкой 0,5 н раствором Кнопа (2-3 раза в неделю). Температуру в установке поддерживали на уровне 23±3 °С. Уборку растений проводили на 23-28-31-е сутки от высева для родительских сортов и на 23-25-е сутки – для гибридов. При уборке учитывали массу растений, число листьев, длину и ширину максимально развитого листа, длину, диаметр и массу корнеплода, степень опушенности листа, компактность листовой розетки, количество товарных (стандартных по массе, цвету и форме) корнеплодов среди общего числа растений в варианте, а также скороспелость и устойчивость к стрелкованию в условиях интенсивной светокультуры. Для проведения скрещиваний и получения гибридных семян отобранные корнеплоды поштучно высаживали в сосуды объемом 1,8 л, наполненные таким же субстратом, и выращивали при аналогичных условиях окружающей среды и 16-часовом фотопериоде.

Результаты и обсуждение. Стратегия получения новых скороспелых высокопродуктивных форм редиса, адаптированных для выращивания в светокультуре, предусматривает следующие этапы работы:

- создание логистической модели селектируемого сорта;
- скрининг внутривидового разнообразия редиса с учетом эколого-географического происхождения образцов и степени проявления селектируемых признаков (по данным литературы) для последующего их изучения в светокультуре;
- изучение отобранных сортов редиса по темпам роста, продуктивности и степени проявления селектируемых признаков при указанных режимах выращивания;
- подбор перспективных комбинаций скрещивания для прогнозируемого получения трансгрессий по продуктивности (использование принципа благоприятного взаимодополнения генотипов родителей по длине и диаметру корнеплода);
- выращивание родительских сортов и получение гибридных семян (F₁ и F₂) в подобранных комбинациях скрещивания в светокультуре;
- выращивание гибридов F₁ и F₂ и оценка проявления у них селектируемых признаков по сравнению с родительскими сортами;
- выделение в расщепляющихся гибридных популяциях F₂ разных комбинаций скрещивания трансгрессивных форм – родоначальников будущих сортов с требуемым комплексом хозяйственно ценных признаков;
- стабилизирующий отбор среди гибридов 3-6 поколения у наиболее перспективных линий в регулируемых условиях;
- размножение лучших линий в защищенном и открытом грунте.

На начальном этапе работы создана концептуальная модель генотипа редиса, предназначенного для промышленного выращивания и максимально реали-

Биометрические показатели и продуктивность родительских сортов и гибридов F₁ редиса в подобранных вариантах скрещивания

Сорт/гибрид	Масса		Число листьев, шт.	Лист			Корнеплод			Опушенность	% растений в стрелке
	растения, г	листьев, г		длина, см	ширина, см	число долей	масса, г	длина, см	диаметр, см		
Виола	34,3±5,5	13,5±2,1	6,0±0,4	20,1±1,4*	6,7±0,5	1,3±0,4	20,8±3,4	3,7±0,4	3,2±0,2	Слабая	0
Ризенбуттер	41,2±5,6	16,6±1,3	6,0±0,4	23,5±1,9	8,5±0,6	2,7±0,3	24,6±4,3	3,9±0,4	3,4±0,3	Средняя	40
Славия	30,3±2,1	10,1±0,7	5,5±0,2	26,9±0,9	7,7±0,5	2±0,5	20,2±0,6	8,6±0,5	1,9±0,4	Средняя	60
Глобус	40,7±6,7	20,9±3,0	6,1±0,4	25,4±1,7	10,0±0,7	3,1±0,4	19,8±4,4	10,8±0,6	1,7±0,2	Средняя	40
Спринтер	39,1±8,1	18,0±3,6	6,2±0,3	25,5±2,2	7,6±0,7	3,6±0,3	21,1±2,5	4,2±0,5	3,4±0,3	Средняя	0
Перно	35,9±2,6	14,7±1,7	6,8±0,3	27,5±0,9	7,5±0,4	3,7±0,4	21,2±2,1	8,5±0,3	2,0±0,2	Средняя	50
F ₁ Славия x Виола	93,6±9,8	41,5±5,7	6,6±0,3	33,2±1,7	12,4±1,0	2,9±0,4	52,1±6,2	9,1±0,8	3,5±0,2	Средняя	40
F ₁ Спринтер x Глобус	52,6±6,5	22,5±4,9	6,1±0,5	27,5±1,2	8,6±0,9	3,8±0,4	30,2±4,3	6,4±0,6	3,1±0,2	Средняя	0
F ₁ Спринтер x Славия	49,5±4,2	22,1±5,0	6,6±0,4	26,3±1,2	8,5±0,7	2,8±0,5	27,5±3,8	6,4±0,5	3,2±0,3	Средняя	0
F ₁ Глобус x Виола	90,8±9,5	35,3±4,9	6,7±0,3	29,8±2,2	10,9±0,7	3,8±0,3	55,5±6,3	8,8±0,5	3,8±0,2	Средняя	10
F ₁ Перно x Виола	91,3±8,3	37,6±2,9	6,7±0,4	31,3±1,5	11,1±0,8	4,2±0,4	53,7±6,2	7,3±0,5	3,9±0,4	Средняя	10
F ₁ Ризенбуттер x Славия	62,4±6,1	23,9±4,2	6,1±0,4	31,7±1,6	11,3±0,9	2,3±0,4	38,5±4,2	6,8±0,4	3,2±0,2	Средняя	50
F ₁ Ризенбуттер x Глобус	49,5±5,9	22,2±4,7	6,4±0,3	31,6±2,5	9,7±0,9	2,9±0,4	27,3±3,8	5,5±0,7	3,2±0,5	Средняя	10

Примечание. Жирным шрифтом выделены показатели наиболее важных хозяйственно ценных признаков сортов, используемых в селекции.

зующего потенциал продуктивности в светокультуре. По нашим представлениям, такой генотип должен в условиях искусственного облучения при коротком дне, повышенной температуре, плотной посадке и малом объеме корнеобитаемой среды реализовать следующие хозяйственно ценные признаки: высокие темпы роста корнеплода, устойчивость к стрелкованию, товарность и хорошие вкусовые качества корнеплодов, компактность розетки, иметь малую опушенность листа для потенциального использования всего растения в питании.

Далее проведен скрининг ассортимента имеющихся сортов с целью отбора их по признакам скороспелости и высокой продуктивности. Отобранные сорта изучали по степени выраженности селективируемых признаков в условиях интенсивной светокультуры. Наблюдали значительные различия образцов как по морфологическим признакам, так и по продуктивности. Средняя масса корнеплода у разных сортов варьировала от 10,2 до 24,6 г, доля листьев в общей массе растения – от 20 до 70%; форма корнеплода – от округлой до цилиндрической (диаметр – 2,0÷3,6 см, длина – 3,6÷10,8), цвет коры корнеплода – от белой до красной и фиолетовой,

опушенность листа – от неопушенного до сильноопушенного; устойчивость к стрелкованию – от 0 (все растения стрелкуются) до 100% (без стрелки на момент уборки). Продуктивность лучших сортов достигала 2,5-3,5 кг/м² за 23-28 сут вегетации, в то время как в опытах Д.А. Янаевой [6] в защищенном грунте в зимнее время максимальная продуктивность отмечена у гибрида F₁ Донар (2,7 кг/м²) при продолжительности вегетационного периода 38 сут. Это свидетельствует о перспективности выращивания редиса в светокультуре по сравнению с выращиванием в теплицах в зимнее время.

Проведенные в РАЭС исследования не выявили скороспелых сортов, сочетающих значительные диаметр и длину корнеплода, что позволило сделать вывод о вероятности получения трансгрессий по размеру и массе корнеплода у редиса в светокультуре при взаимодополняющем подборе родительских пар по этим признакам. Ранее в наших исследованиях показано, что при скрещивании редиса и дайкона с лобой признаки длина (L) и диаметр (D) корнеплода наследуются независимо и служат компонентами, детерминирующими размер и массу корнеплода. В гибридном потомстве при взаимо-

дополняющем подборе этих признаков у родительских сортов наблюдали превышение массы гибридных корнеплодов над родительскими за счет сочетания у трансгрессивных потомков генов длины одного родителя и диаметра другого [5].

Аналогичную работу было решено провести и с редисом. Для этого среди скороспелых и высокопродуктивных образцов были выделены сорта с округлой (Спринтер, Ризенбуттер, Виола) и цилиндрической (Pernot, Slavia, Глобус) формой корнеплода, обладающие максимально выраженными размерами соответственно диаметра и длины корнеплода. Кроме размера корнеплодов и их товарности особое внимание уделяли также устойчивости к раннему стрелкованию, компактности розетки, степени опушенности листа, реализующихся в светокультуре при 12-часовом фотопериоде и повышенной температуре. Родительские сорта подбирали в первую очередь с учетом благоприятного взаимодополнения генотипов родителей по длине и диаметру корнеплода, а также по другим селективируемым признакам, рассчитывая получить в F_2 формы, близкие к концептуальной модели. Все гибридные растения F_1 в подобранных комбинациях скрещивания имели эллипсоидные корнеплоды (индекс формы корнеплода $L/D=1,6-2,6$) и превосходили по массе лучшие родительские сорта. При этом гетерозис по массе корнеплода (а также растения в целом) составлял в разных комбинациях 110-230%. Однако растения части гибридных комбинаций к моменту уборки полностью или частично давали стрелку. По учитываемым признакам между гибридами в прямых и реципрокных комбинациях скрещивания не выявлено достоверных различий. Данные об основных биометрических показателях, продуктивности родителей и их гибридов F_1 приведены в табл.

Перспективность получения трансгрессий по продуктивности в разных комбинациях скрещивания оценивали по степени проявления гетерозисного эффекта



Рис. 1. Корнеплоды родительских сортов (верхний ряд) и гибридов второго поколения (нижний ряд) в комбинации скрещивания редиса Глобус x Виола.

по массе корнеплода у гибридов F_1 , а также по доле корнеплода в общей массе гибридных растений и устойчивости к стрелкованию. По совокупности этих свойств для дальнейшей селекционной работы были выделены комбинации Slavia x Ризенбуттер, Slavia x Виола, Глобус x Виола, Виола x Pernot (прямые и обратные). Корнеплоды растений F_1 в этих комбинациях скрещивания за 3 нед вегетации в светокультуре достигали средней массы 40-55 г, а уровень истинного гетерозиса составлял 170-230%.

Следует отметить, что гетерозис по массе корнеплода у гибридов сопровождался увеличением размера и массы листьев, что имеет негативный характер в условиях светокультуры, где компактность листовой розетки – одно из важных требований к выращиваемым формам редиса. Поэтому в гибридных популяциях F_2 мы отбирали растения с компактной и средней розеткой, учитывая, что сорта с компактной розеткой обычно развивают более мелкие корнеплоды. Значительное варьирование растений в F_2 по массе, цвету, форме и размеру корнеплодов (рис.1), а также другим селективируемым признакам позволило отобрать в гибридных популяциях формы, наиболее полно соответствующие логистической модели сорта. У гибридов наблюдали значительное количество высокопродуктивных растений, превышающих по массе корнеплода родительские (рис.2). Среди них наряду с гомозиготными трансгрессивными, может присутствовать и некоторая часть гетерозиготных генотипов, в потомстве которых также возможно выделить трансгрессивные формы. В последующих поколениях для размножения оставляли растения с массой корнеплодов, не меньшей, чем у исходно отобранных растений F_2 . Уменьшающийся разброс в гибридных популяциях F_3 - F_5 по форме и массе корнеплода, другим селективируемым признакам позволит получить стабильные высокопродуктивные формы редиса, близкие к линейным, уже в 6-7 поколениях.

В гибридном потомстве F_2 и F_3 некоторых комби-

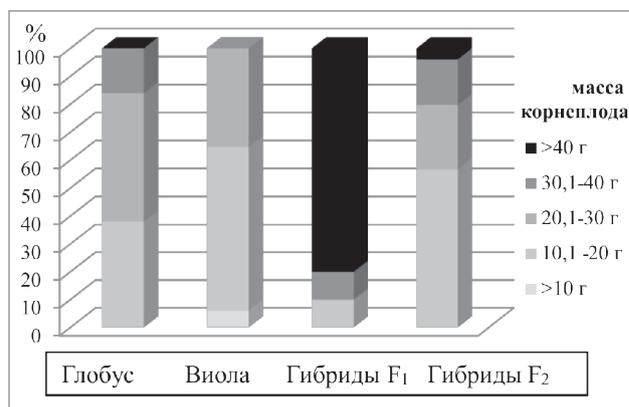


Рис. 2. Распределение (%) по массе корнеплодов в популяциях родительских сортов и гибридов F_1 и F_2 в комбинации скрещивания Глобус x Виола.

наций скрещивания были также выделены перспективные для селекции формы редиса с компактной розеткой и формы с салатным типом листа, несколько уступающие по продуктивности лучшим гибридным растениям. С ними также планируется проведение селекционной работы по получению линий редиса с соответствующими характеристиками.

В ближайшей перспективе при использовании инбридинга и стабилизирующего отбора в потомстве отобранных гибридов возможно получение стабильных высокопродуктивных линий редиса с массой корнеплода 40-50 г (выход товарных корнеплодов – 4-5 кг/м² за 23-28 сут вегетации), предназначенных для промышленного выращивания в светокультуре.

Таким образом, использование нашей методологии получения трансгрессий растений с прогнозируемым комплексом хозяйственно ценных свойств помогает значительно ускорить селекционный процесс и создать селекционно-ценные формы разных культур, адаптированные к конкретному сочетанию климатических факторов и других условий выращивания.

Литература.

1. Федорова М.А., Заячковская Т.В. Сорты редиса селекции ВНИИССОК и их использование // *Овощи России*. – 2016. – № 3. – С. 54-61.
2. *Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник / Под ред. И.М. Скурихина и В.А. Тутельяна*. – М.: ДеЛи принт, 2002. – 236 с.
3. Воскресенская В.В., Сазонова Л.В. Культурная флора – Л.: Агропромиздат. – 1985. – Т.18. – 273 с.
4. Драгавцев В.А., Литун П.П., Шкель Н. и др. Модель эколого-генетического контроля количественных признаков растений // *Доклады АН СССР*. – 1984. – Т. 274. – № 3. – С. 720-723.
5. Макарова Г.А., Мирская Г.В., Кочетов А.А., Синявина Н.Г., Драгавцев В.А. *Методология прогнозирования трансгрессий по хозяйственно ценным признакам растений. Методические рекомендации*. – С.-Пб., 2009. – 48 с.
6. Янаева Д.А. Сорты и гибриды редиса для кассетной технологии // *Картофель и овощи*. – 2015. – №2. – С. 17-21.

Поступила в редакцию 18.04.18

Принята к публикации 17.05.18