

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

Л. В. Цаценко

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В АГРОНОМИИ: СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО

Учебное пособие

Краснодар
КубГАУ
2020

УДК 631.523(091)(075.8)

ББК 41.3

Ц24

Р е ц е н з е н т ы :

С. В. Зеленцов – зав. отделом сои Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур,
д-р с.-х. наук;

Р. А. Гиш – зав. кафедрой овощеводства, Кубанского государственного аграрного университета,
д-р с.-х. наук, профессор

Цаценко Л. В.

Ц24 **Инновационные технологии в агрономии: селекция и семеноводство : учеб. пособие / Л. В. Цаценко. – Краснодар : КубГАУ, 2020. – 88 с.**

ISBN 978-5-907294-48-6

В учебном пособии рассматриваются вопросы, связанные с применением инновационных технологий в селекционной практике. На различных примерах показан широкий спектр внедрения инноваций в различные процессы селекционной работы с сельскохозяйственными растениями.

Предназначено для магистрантов направления подготовки 35.04.04 Агрономия, профиль «Селекция и семеноводство».

УДК 631.523(091)(075.8)

ББК 41.3

© Цаценко Л. В., 2020
© ФГБОУ ВО «Кубанский
государственный аграрный
университет имени
И. Т. Трубиллина», 2020

ISBN978-5-907294-48-6

ВВЕДЕНИЕ

Слово «инновация» появилось в нашей жизни сравнительно недавно, однако в последнее время мы слышим его довольно часто: с обложек журналов, на страницах газет, новостных порталах, в научной литературе.

История понятия инновация, или innovation впервые упомянуто в научных исследованиях в XIX в, имеет латинское происхождение от «novation», а приставка in переводится как «в направлении». Так, дословно перевод звучит так «innovation» – «в направлении изменений».

В современных словарях инновация трактуется как внедренное новшество, обеспечивающее качественный рост эффективности процессов или продукции. Важным моментом в толковании термина является то, что инновацией является не всякое новшество, а лишь такое, которое серьезно повышает эффективность действующей системы.

На сегодняшний день инновационные технологии в сельскохозяйственном производстве, а также в селекционном процессе играют первостепенную роль. Изучение различных инновационных подходов в селекционной работе позволяет представить процесс создания новых сортов и гибридов многопланово, креативно взглянуть на существующие позиции отбора, поиска новых комбинаций генов.

В учебном пособии на различных примерах показано, как внедряются инновации в селекционный процесс зерновых, бобовых, масличных и цветочных культур. Отмечены главные тенденции и требования рынка. Современная селекция растений использует целый комплекс методов, основанных на последних достижениях множества биологических наук. Значение биотехнологических методов в селекции растений велико. С помощью инновационных подходов решаются следующие селекционные задачи: создание нового исходного материала; ускорение селекционного процесса; снижение трудоемкости селекционных работ. Кроме этого, успешное развитие расте-

ниеводства зависит от быстрой сортосмены, сортообновления и устойчивого семеноводства.

В учебном пособии рассмотрены вопросы визуального фенотипирования по колосу, основанные на методе компьютерного анализа цифровых изображений. Показаны возможности использования метода при работе с разными сельскохозяйственными растениями.

Второй крупный блок вопросов связан с явлением полиплоидии и возможности применения метода при создании исходного материала в селекции кормовых культур и цветоводства.

Детально в учебном пособии представлен материал по хромосомной инженерии растений на примере генома пшеницы. Показан процесс создания рекомбинантных интрогрессированных линий, у которых в геноме селекционной пшеницы введены сегменты хромосом диких злаков. Подобные модели используются для изучения генетической архитектуры количественных признаков, таких как время цветения, компоненты урожая или устойчивость к патогенам.

В качестве применения инновационного подхода в популяризации достижения селекционной работы представлен анализ рынков и базаров по визуальным образам. В качестве одного примера рассматривается использование в современных условиях этикеток на фруктах и овощах.

Для закрепления материала к каждой главе составлен перечень вопросов и заданий, позволяющих закрепить материал и проработать его самостоятельно.

Учебное пособие подготовлено на основе базового курса «Инновационные технологии в селекции и семеноводстве сельскохозяйственных растений», который читается для магистрантов по направлению подготовки ФГОС ВО 35.04.04 «Агрономия».

1 ВИЗУАЛЬНОЕ ФЕНОТИПИРОВАНИЕ РАСТЕНИЙ

1.1 Морфометрическая характеристика колоса

Одни из важнейших хозяйственно ценных признаков злаков – характеристики колоса, которые тесно связаны с продуктивностью растения. Для селекционно-генетических исследований имеют большое значение такие параметры, как число зерен в колосе, масса 1 000 зерен и другие. Форма зерновки также стала полезным селекционным признаком, поскольку ее рассматривают наравне с размером и выравненностью, что в конечном счете определяет рыночную стоимость зерна. Существенное влияние на урожайность растений оказывают ряд характеристик формы колоса, к которым относятся тип колоса, его длина и профиль, число колосков в колосе, остистость-безостость колосьев, число плодоносных и стерильных колосков (озерненность), ломкость колоса, свойства колосковой чешуи и др. Параметры зерновок и колоса контролируются множеством генов, тесно связанных с архитектурой соцветия злаков, в связи с чем идентификация многих генов является сложной задачей

Для идентификации генов, которые могут быть ассоциированы с признаками зерновки и колоса, важным направлением является анализ вариаций указанных признаков в специально собранных коллекциях растений. Однако сложность подобных исследований обусловлена необходимостью получения больших массивов фенотипических данных, включающих в себя промеры тысяч растений. Такой анализ обычно проводится экспертом визуально, что весьма трудоемко, особенно если требуется исследовать детали строения колоса или формы зерновок. Альтернативой этому трудоемкому анализу является использование новых технологий высокопроизводительного фенотипирования, основанных на методе компьютерного анализа цифровых изображений.

Преимущества таких технологий:

- высокая степень автоматизации сбора информации о фенотипе;
- интеграция данных о генотипе и параметрах окружающей среды.

В основе технологий высокопроизводительного фенотипирования лежит разработка протоколов получения цифровых изображений, которые служат исходными данными при применении методов автоматического фенотипирования. При разработке автоматических методов фенотипирования важной задачей является экспертная оценка фенотипических характеристик растений для их дальнейшего использования в обучении и верификации компьютерных алгоритмов. Эта задача особенно актуальна при фенотипировании колоса, поскольку множество морфологических признаков колоса принято оценивать качественно, а не количественно. Например, по данным портала <http://www.cropontology.org/> большинство признаков колоса пшеницы не имеют количественной оценки. К таким признакам относятся форма, в том числе плотность колоса, цвет колоса (колосковых чешуй), опушение колосковых чешуй, тип остистости, цвет остей, форма колоса, ломкоколокосность и др. В связи с этим применение подходов цифрового анализа изображений для описания формы зерна и колоса, а также их сопоставление с оценками признаков колоса, выполненных экспертами-селекционерами, представляется актуальной задачей, которая позволит существенно ускорить процесс получения данных за счет автоматизации и увеличить точность оценки фенотипических параметров зерна и колоса, устранив субъективизм и неточность измерений, присущих человеку.

В качестве примера можно рассмотреть методика съемки колосьев пшеницы в системе Spike DroidDB с каждым колосом можно соотнести несколько изображений.

Для оценки масштаба и калибровки цвета использовали маркер X-Rite Mini Color Checker Classic (<http://xritephoto>).

com/colorchecker-targets), который находился в области кадра. Съемка колосьев проводилась в двух вариантах: в первом колос располагался вертикально перед синим фоном, во втором – горизонтально на стекле над синим фоном (рисунок 1).

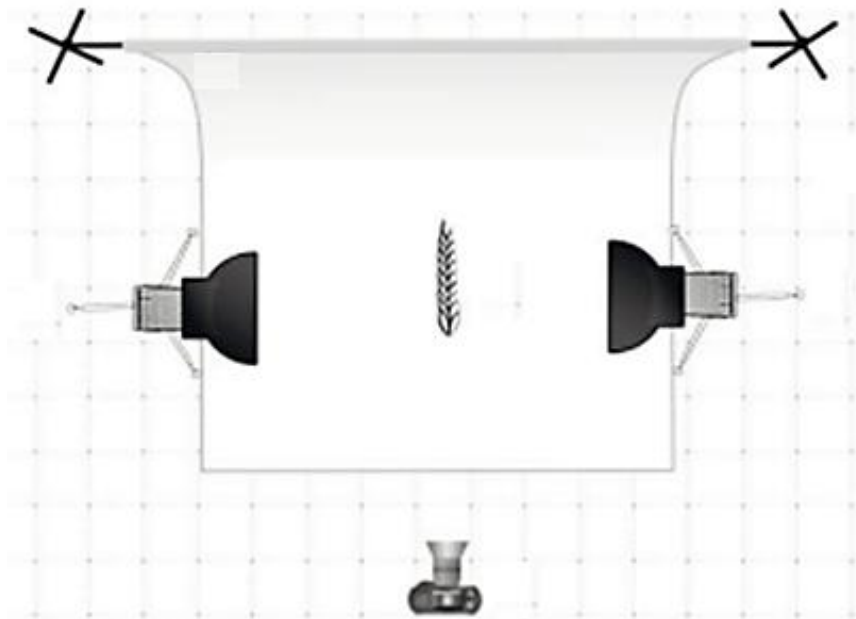


Рисунок 1 – Съемка колоса пшеницы с освещением и фоном.
Главная страница системы SpikeDroidDB расположена по адресу:
<http://spikedroid.biores.cytogen.ru>. Она содержит краткую информацию
о базе данных, ссылки для входа в систему или регистрации,
ссылки на основные блоки информации

1.2 Метод высокопроизводительного фенотипирования

Среди глобальных вызовов сельскому хозяйству являются климатические и социальные процессы. С одной стороны, в связи с увеличением населения Земли стабильно возрастает потребность в продовольствии. По данным ФАО (FAO, Food and Agriculture Organization, <http://www.fao.org/>), численность и доходы населения должны вырасти вдвое к 2050 г. Это увеличивает конкуренцию за природные (водные, земельные) и сельскохозяйственные ресурсы. С другой стороны, мировое сельское хозяйство сталкивается с такими неблагоприятными климатическими изменениями, как повышение сезонных температур во всех широтах, засуха, увеличение содержания углекислого газа в атмосфере. Указанные причины требуют пересмотра методов и подходов в селекции. Актуальным является создание сортов сельскохозяйственных культур с высоким потенциалом урожайности и устойчивости к абиотическим стрессам. Последнее особенно важно, так как расширение посевных площадей возможно только за счет районов, где условия возделывания отличаются от оптимальных и урожайность имеющихся сортов может снижаться. Важной стратегией улучшения сельскохозяйственных культур является поиск генетических образцов, которые эволюционировали в суровых климатических условиях и поэтому адаптировались к ним. Они в огромном количестве представлены в генбанках всего мира, однако большинство из этих образцов требует изучения и детального описания. У растений, адаптированных к суровым условиям, необходимо охарактеризовать множество различных признаков, представляющих ценность при создании новых сортов. Только тогда они будут эффективно использоваться в селекционной работе. Анализ данных большого масштаба актуален и при поиске генов, ответственных за важные хозяйственные признаки растений. Подавляющее большинство этих признаков, такие как урожайность, биомасса растения, сроки основных фаз роста, устойчивость к стрессу и заболеваниям, контролируются полигенно. Основная идея поиска ге-

нов (локусов количественных признаков, QTL), контролируемых такие признаки, заключается в выявлении ДНК-маркеров, которые ассоциированы с уровнем экспрессии исследуемого признака. В последнее время технологии секвенирования ДНК позволяют недорого и быстро прочитывать последовательности как полных геномов индивидуальных организмов, так и отдельных его локусов. Это позволяет эффективно решать задачи идентификации геномных маркеров и выявления их вариаций для большого количества генотипов. Как результат, высокопроизводительные технологии секвенирования привели к созданию новых методов селекции, таких как маркер-контролируемый отбор (Marker-assisted selection, MAS) и геномная селекция.

Следует отметить, что в основе успешного поиска взаимосвязи между генотипом и фенотипом лежат статистические методы, эффективность и точность которых зависит от размера анализируемой выборки. Большой размер выборки позволяет уменьшить ошибку идентификации QTL, а также точность определения генетического расстояния между маркерами. Это демонстрируется аналитическими расчетами, численными экспериментами, практическим опытом проведения QTL. Фактор размера выборки также важен для методов поиска полногеномных ассоциаций. В связи с этим для идентификации локусов, отвечающих за количественные признаки, все чаще используют выборки из тысяч растений. При проведении подобных масштабных экспериментов одним из узких мест в настоящее время является измерение фенотипических параметров растения. В поисках решения этой задачи возникла новая область науки на стыке биологии, информатики и инженерии – феномики.

Задачи феномики растений. Под феномом подразумевают наблюдаемое проявление генотипа в масштабе всего организма. Особенностью феномики растений является необходимость учета широкого спектра условий внешней среды (температуры, влажности, освещенности, типа почвы и др.),

в которой произрастают растения, поскольку предполагается, что до 50 % фенотипических вариаций могут быть обусловлены средовыми факторами.

Существующие подходы к решению задачи взаимосвязи между фенотипом, генотипом и окружающей средой у растений выдвигают ряд вполне естественных требований к основным направлениям развития феномики растений. Прежде всего, технологии фенотипирования должны быть направлены на определение характеристик фенотипа для одного организма, поскольку именно реализация генетической информации на фенотипическом уровне у отдельных организмов позволяет адекватно оценить их популяционную изменчивость. В некоторых селекционно-генетических экспериментах фенотипические характеристики линии или сорта оценивают усреднением по группам растений, например, для растений из одной делянки (урожайность, высота растения). Однако даже в одной делянке идентичность условий произрастания строго не выполняется (из-за конкуренции растений между собой, различной освещенности и т. п.). Одним из важнейших свойств фенотипа является его многоуровневый характер, поскольку проявление генома можно описать на всех уровнях организации живых систем – от молекулярного до целого организма.

Методы анализа микроскопических изображений позволяют изучать особенности экспрессии генов в органах, ансамблях клеток, детально охарактеризовать микроскопическую структуру органов и тканей. Однако область интересов селекционеров в большей степени связана с изучением фенотипических характеристик на уровне органов (таких как корень, лист, стебель, соцветие, колос, семена), физиологических свойств растений (скорость развития на отдельных этапах онтогенеза, показатели эффективности фотосинтеза и эффективность использования воды, устойчивость к стрессу) или их общих характеристик, таких как продуктивность, биомасса, устойчивость к заболеваниям. Поэтому фенотипические характеристики, связанные с этими уровнями организа-

ции или физиологическими параметрами, представляют для феномики растений наибольший интерес.

Еще одной часто встречающейся задачей феномики является подсчет объектов, например, числа зерен, числа трихом на поверхности листа, числа корней. Для этой задачи требуется быстрая идентификация биологических объектов на цифровых изображениях и их подсчет с минимальной ошибкой. Ряд методов основан на анализе цветовых характеристик органов растений. Как правило, эти методы используются для определения спелости плода, степени поражения растения засухой или заболеванием. Разработка высокопроизводительных методов определения физиологических характеристик отдельных растений также является предметом феномики: массово оцениваются такие характеристики, как скорость транспирации растения, эффективность транспирации, проводимость листового покрова. При измерении фенотипических характеристик одним из важных условий является проведение анализа фенотипа без повреждения растений.

Одной из важных составляющих селекционно-генетического эксперимента является необходимость учета условий окружающей среды. При анализе растений для решения этой задачи эксперимент можно проводить в полностью контролируемых условиях (при заданном уровне полива, освещенности, температуры). Варьируя контролируемые параметры среды (например, в теплице или специальном боксе), можно оценить их влияние на изменчивость фенотипа растения.

Одним из актуальных направлений феномики является изучение растений в полевых условиях. Особенности такого анализа заключаются в том, что в полевых условиях объект исследования удален от лабораторного оборудования, что затрудняет анализ растений высокопроизводительными автоматическими методами. Для ускорения сбора информации о фенотипах растений в поле разрабатываются технологии с ис-

пользованием сенсоров, установленных на движущейся платформе.

Одним из перспективных направлений может стать широкое внедрение мобильных устройств, которые даже при использовании низкопроизводительных технологий измерения фенотипа могут существенно ускорить процесс за счет прямого ввода информации в объединенную базу данных, в том числе и через мобильный Интернет. Такие сетевые технологии были использованы для обеспечения контроля за распространением сорных растений в посевах на основе вовлечения в этот процесс добровольцев (технологии краудсорсинга). Большое разнообразие фенотипических характеристик, проведение экспериментов в разных лабораториях и географических точках обуславливают актуальность стандартизации описания фенотипических параметров растения, условий среды и селекционно-генетического эксперимента. Такая стандартизация необходима для того, чтобы можно было сравнивать одни и те же наборы признаков, измеренные исследователями в разных лабораториях и разных экспериментах.

Массовый анализ тысяч растений накладывает основное требование на методы фенотипирования: необходимость высокой степени автоматизации этого процесса. Особенностью автоматизации фенотипирования является исключение из этого процесса человека (работника), что значительно повышает производительность эксперимента. Одно из решений в этом направлении – создание автоматизированных боксов для выращивания растений или автоматизированных теплиц. Боксы обеспечены установками поддержания микроклимата и освещения, камерой и сенсорами для получения изображений. В автоматических теплицах растения высаживаются в вазоны, которые в процессе эксперимента постоянно перемещаются и автоматически подаются к регистрирующим биологические показатели устройствам, весь процесс роста растений происходит без участия человека, роль которого заключается в формировании программы эксперимента и вводе ее в компью-

тер. Теплицы обеспечены установками автоматического полива, камерами для измерения фенотипических параметров.

Вокруг таких установок формируются исследовательские центры, например, Австралийский Центр феномики (<http://www.plantphenomics.org.au/>), сеть немецких центров по феномике ([http://www.dppn.de/dppn/EN/Infrastructures,% 20 Facilities/facilities_node.html](http://www.dppn.de/dppn/EN/Infrastructures,%20Facilities/facilities_node.html)). Эти центры организованы в масштабную международную сеть по исследованиям в области феномики растений, International Plant Phenotyping Network (IPPN, <http://www.plant-phenotyping.org/>). Автоматизация фенотипирования позволяет решить еще одну важную проблему. Оценка ряда параметров фенотипа человеком часто требует специальной квалификации, подготовки или большого опыта. К таким параметрам можно отнести качественные характеристики, такие как степень поврежденности листа растения заболеванием, поражения засухой или степень окраски, или опущения органов растения. Обычно эксперт на основе визуального анализа определяет одну из нескольких степеней, характеризующую признак: слабая, умеренная, сильная и т. д. Источником ошибок при этом может оказаться субъективизм эксперта. Использование компьютерного анализа при автоматическом фенотипировании позволяет этого избежать и оценивать характеристики с одинаковой точностью вне зависимости от того, кем и в какой лаборатории производится такая оценка. Автоматизация позволяет существенно снизить требования к квалификации экспериментатора: фенотипирование можно поручить менее квалифицированному специалисту. Все это позволяет существенно удешевить процесс фенотипирования вдобавок к увеличению его производительности. Еще одним преимуществом автоматизации процесса фенотипирования является возможность непосредственной записи информации о фенотипе от измерительного прибора в компьютерную базу данных, что актуально при анализе большого количества фенотипических признаков для тысяч растений.

1.3 Получение и анализ изображений

Методы фенотипирования на основе анализа изображений удовлетворяют большинству требований, сформулированных выше. Они могут быть неинвазивными, получены быстро и в автоматическом режиме. Макроскопические изображения в видимом свете наиболее просты для получения и позволяют оценивать морфологию и ряд физиологических параметров органа, целого растения или популяции.

Методы обработки и анализа изображений лежат в основе большинства технологий массового фенотипирования растений. Благодаря прогрессу в разработке эффективных алгоритмов, методов машинного обучения, созданию библиотек и пакетов программ с удобным интерфейсом анализ изображений стал широко использоваться в современной биологии

Фенотипирование растений

Корни. Корневая система высших растений – основной поставщик питательных веществ из почвы. При этом архитектура корневой системы крайне вариабельна. Для этой задачи рекомендуется пакет прикладных программ широкого спектра (<http://www.mathworks.com>), расширяемое программное обеспечение для анализа и обработки изображений Графический Нет (<http://rsbweb.nih.gov/ij/Fiji>), программный пакет OpenCV, основанный на ImageJ (<http://fiji.sc/Fiji>), библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения (<http://opencv.org> FARSIGHT), набор инструментов для обработки и анализа изображений Командная строка ProStack (<http://www.open-microscopy.org/site/support/bio-formats5.1/users/farsight>), платформа для управления программными модулями обработки и анализа изображений CellProfiler (<http://urchin.spbcas.ru/downloads/ProStack/ProStack.htm>), программное обеспечение для решения биологических задач автоматизированного количественного фенотипирования на основе анализа изображений (<http://www.cellprofiler.org>).

Ключевые морфологические признаки можно разделить на макроскопические (размеры, топология корневой системы) и микроскопические (особенности корневых волосков, тканей корня). К основным можно отнести следующие макроскопические признаки: длина главного корня у стержневой системы; диаметр корня и его кончика; размер и количество боковых корней; разветвленность; наличие, размеры и положение придаточных корней. К микроскопическим признакам относятся, прежде всего, количество, размеры и положение корневых волосков, характеристики эпидермальной ткани. Особенностью корневой системы является трудность ее исследования неразрушающими методами (без удаления растения из почвы), тем более в полевых условиях. В связи с этим множество физиологических, генетических и селекционных работ ведутся в контролируемых лабораторных условиях. При этом растения, как правило, выращиваются на гидропонике.

Для детальной оценки характеристик формы и размеров корневой системы разрабатываются методы получения и анализа объемных изображений. В связи с этим активно применяется выращивание растений в прозрачной среде с дальнейшим получением серии снимков под разными углами. Для описания формы и размеров корня можно использовать характеристики проекции корня на нескольких двумерных изображениях. Такой метод позволяет более точно оценить топологию корней, форму, размеры и геометрию области, занятой корневой системой, точно рассчитать углы между корнями, толщину и объем отдельных корней.

Листья являются основным фотосинтетическим органом растений, выполняют такие важные функции, как дыхание, транспирация и гуттация. Посредством листьев растения взаимодействуют с окружающей средой над поверхностью почвы. Связь листа с условиями внешней среды настолько сильна, что по морфологическим характеристикам ископаемых листьев можно реконструировать особенности палеоклимата. У цветковых растений листья демонстрируют большое

разнообразии. При этом внешние характеристики листа (размер, форма, опушение и т. д.) являются одними из базовых для видовой идентификации растения. Морфологические характеристики листа служат параметрами для видовой классификации растений в системе Leaf Snap. С помощью этой системы пользователь может проанализировать изображение листа, полученного с помощью камеры мобильного телефона, и определить, к какому виду относится растение

Для определения расположения и ориентации листа на стебле, определения признаков, меняющихся в процессе суточного ритма, исследования циркадных ритмов растения применяют технологии лазерного сканирования и цифровые стереокамеры, позволяющие получать 3D-модель растения. Важная задача при фенотипировании листа – выявление сегментов листовой пластинки, поврежденных различными заболеваниями или вредителями.

Соцветия, семена и плоды. Одними из важнейших, непосредственно влияющих на продуктивность урожая культурных растений, являются репродуктивные органы: соцветия, семязачатки, семена, плоды и др. Зачастую качественные и количественные признаки именно данных органов определяют потенциальную целесообразность выращивания того или иного сорта сельскохозяйственных культур. В работе Аль-Тама и соавторами предложен метод P-TRAP (Panicle TRAIit Phenotyping) фенотипирования соцветия и зерен у риса на основе двумерных изображений, полученных на фоне белого листа бумаги. Соцветие риса представляет собой метелку из основной ветки, вторичных и третичных ветвей. Программа распознает узлы ветвления на соцветии, а также кончики метелки и на основе этих данных формирует описание соцветия в виде графа. Программа рассчитывает 15 параметров, характеризующих соцветие, и 9 параметров, характеризующих зерно риса, имеет удобный пользовательский интерфейс, позволяющий анализировать соцветие в интерактивном режиме. В работе Дуана с соавторами представлена высокопроизводи-

тельная система для анализа признаков риса, связанных с урожайностью. К достоинствам этой системы можно отнести то, что она автоматически определяет число зерновок у растения, извлекает зерна и определяет их длину и ширину, массу 1000 зерен и другие характеристики. За сутки работы система позволяет обработать примерно 1400 растений.

Побеги. Биомасса растения – один из наиболее важных показателей его развития. Однако растение приходится удалять из почвы, чтобы определить его живую или сухую массу. Это ограничивает возможности оценки массы растения в процессе его роста. Методы высокопроизводительного фенотипирования позволяют успешно решать задачу оценки биомассы растения на основе неинвазивной технологии анализа изображений побега. Оценку биомассы арабидопсиса осуществляют по площади розетки на изображении, полученном сверху. Помимо биомассы методы анализа изображений позволяют также оценивать различные характеристики формы розетки (компактность, количество листьев), динамику роста биомассы и т. п. В некоторых работах информация о видимом изображении розетки комбинируется с другими фенотипическими параметрами, такими как содержание хлорофилла, оцениваемое по флуоресценции, или вес растения вместе с почвой. Все это дает возможность изучать комплексный ответ растения на стрессовые факторы, например засуху.

Таким образом, для феномики растений характерны широкая апробация новых методов фенотипирования для решения разнообразных задач, вовлечение новейших компьютерных и инженерных технологий в создание этих методов

Контрольные вопросы и задание

1. Что такое визуальное фенотипирование?
2. В чем заключается метод высокопроизводительного фенотипирования?

3. Что удастся достигнуть при использовании компьютерного анализа при автоматическом фенотипировании?

4. Охарактеризуйте этапы создания базы образов данных образов растений.

5. В чем заключается технология высокопроизводительного фенотипирования, основанная на методе компьютерного анализа цифровых изображений?

6. Что такое феномика? Какие ее задачи?

7. Приведите примеры использования фенотипирования в полевых условиях.

8. В чем преимущества компьютерного анализа при автоматическом фенотипировании?

9. Укажите основные характеристики фенотипирования растений на примере корней.

10. Укажите основные характеристики фенотипирования растений на примере листьев.

11. Укажите основные характеристики фенотипирования растений на примере соцветий, семян и плодов.

12. Укажите основные характеристики фенотипирования растений на примере листьев.

13. Укажите основные характеристики фенотипирования растений на примере побегов.

14. Сделайте фотообразы семян, соцветий и других частей растений с которыми проводите исследования. Оформите в качестве презентации с указанием возможных вариантов анализа изображения.

2 ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СЕЛЕКЦИИ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

2.1 История вопроса

В современном мире растениеводческая отрасль дает свыше 90 % общей калорийности потребляемой пищи, при этом доля белка составляет 70 % белка. Известно, что из всех произрастающих на Земном шаре, около 390 тысяч видов растений, человек в пищу используется незначительное количество видов, около 400 и это то количество видов, которое ему удалось «одомашнить» в процессе эволюции. Академик Николай Иванович Вавилов, заложил основы создания банка генетических ресурсов растений, где каждой культуре отводится достаточно внимание в перспективе сохранения растительных ресурсов нашей планеты. Под генетическими ресурсами растений понимается «часть биологических ресурсов, включающая растительный материал, содержащий функциональные единицы наследственности, представляющий фактическую или потенциальную ценность для селекции сортов и гибридов растений», в том числе генетические ресурсы определяют успех селекционной работы. Николай Иванович в своих работах обосновал мировые центры происхождения культурных растений, сформулировал «Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости», объяснил роль исходного материала для селекционной работы, выдвинул теорию о географических закономерностях распределения генов культурных растений, о генетических ресурсах, об иммунитете растений. Таким образом, были сформулированы как теоретические, так и практические подходы для получения новых знания о растениях, что сыграло важную роль в решении продовольственной безопасности в мировом масштабе и обеспечения поиска новых ресурсов.

Роль генетических коллекций мировых образцов сельскохозяйственных растений велика. На сегодняшний день актуален вопрос поиска новых источников устойчивости к биоти-

ческим и абиотическим факторам окружающей среды и продуктивности для обогащения генофонда пшеницы с целью рационального использования и создания высокопродуктивных сортов культуры с точки зрения изменения продовольственной ситуации в мире. В нашей стране с начала XX в. проводилось систематическое изучение пшеницы. На основе работы по таксономии образцов пшеницы профессором бюро прикладной ботаники К. А. Фляксбергером опубликовано «Руководство по пшенице». Издание считалось первой монографией по этой культуре. Затем в 1931 г. М. М. Якубцинером в соавторстве опубликовал статью, в которой затрагивались вопросы «новых способов селекции пшеницы в СССР». Заявленный подход объясняется тем, что, по мнению авторов, отечественные селекционеры исчерпали все наиболее ценные признаки местной пшеницы, которые были использованы для производства новых сортов. Выход из этой ситуации авторы усмотрели в использовании «мирового ассортимента пшеницы», при условии предварительного изучения материала. В данной работе авторы вводят новый термин – предварительное отборное исследование, основанное на эколого-географическом анализе генофонда, а также отбор необходимых типов наиболее необходимых и полезных экономических свойств. Эту идею поддержал русский ученый, ботаник Н. И. Вавилов. Он обратил внимание на тот факт, что для тщательного совершенствования пшеницы крайне важно мировое разнообразие ее форм и их систематическое, рациональное использование. Н. А. Вавилов сделал акцент на комплексное изучение признаков, с целью получения информации о биологических и экономически ценных свойствах образцов и определения их локализации в системе по изменчивости рода и вида.

Так, в нашей стране была создана коллекция сортов озимой пшеницы, которая находится в рабочем состоянии ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени

Н. И. Вавилова» г. Санкт-Петербург. По мере усложнения селекционных задач стала очевидной важность всесторонних знаний о генетическом контроле различных признаков пшеницы, а также характеристик образцов для их последующего рационального использования в селекционной практике.

В связи с этим А. Ф. Мережко занимался решением проблемы формирования обширной генетической базы для селекции по агрономическим и физиологическим признакам. Он предложил программу по изучению растительного исходного материала, которая позволяет широко и полностью установить генотипический потенциал видов, определить гены, ответственные за развитие ценных признаков, с тем, чтобы в дальнейшем включать их в селекционную практику. Программа изучения пшеницы была основана на нескольких этапах, которые основывались на создании специальных коллекций по индивидуальным характеристикам, хорошо изучены и описаны. К сожалению данный подход не получил ввиду начавшегося спада российской науки в 1990-х гг.

Достоверные знания организации сбора генотипической изменчивости, для ее эффективного использования, надежного сохранения и расширения генофонда пшеницы. Белковые и ДНК-маркеры используются для получения общего понимания генетического разнообразия образцов, географического распределения.

После введения белковых маркеров для анализа расширило возможности исследования, с помощью геномного анализа геномного анализа и генетической идентификации пшеницы. Исследования с использованием белковых маркеров по-прежнему актуальны сегодня. Запасные белки эндосперма зерен – глиадины – использовались для определения характера и уровня полиморфизма у сортов хлебной пшеницы в Африке и Азии, для определения подлинности сортов и чистоты их семян, содержащих хромосомы ржи или их фрагменты, а также анализ структуры коллекции пшеницы полбы.

Как пишет О. П. Митрофанова появление в 1980-х гг. возможности изучения полиморфизма ДНК позволило провести генотипирование образцов пшеницы и охарактеризовать их генетическое разнообразие. Исследования по этой теме проводились в рамках международных проектов. Различные типы ДНК-маркеров были включены в работу. Выбранные праймеры и условия амплификации обеспечили исследователям обнаружение обширного полиморфизма образцов сорта в исследуемых образцах коллекционных форм и (или) даже среди отдельных единичных типичных растений. Важнейшим условием использования молекулярных маркеров было: их случайное распределение в геноме с одной стороны, а с другой – возможность получения воспроизводимых результатов.

Систематическое изучение мирового генофонда растений для выбора приемлемых доноров и источников биологически и экономически ценных признаков и свойств, использование местных форм в качестве основного улучшенного исходного материала, является основополагающим в процессе размножения. Коллекции были созданы для сохранения и систематизации всех известных форм, разновидностей и разновидностей. Согласно данным ФАО, опубликованным в 2010 г., общее количество хранимых образцов пшеницы в мире составляет около 855 тысяч, которые хранятся в 230 коллекциях. Россия является одной из стран с самой большой коллекцией культурных растений в мире. В России самой большой коллекцией является Всероссийский научно-исследовательский институт завода. Н. И. Вавилов. В 2011 г. коллекция пшеницы ВИГРР содержала 38430 образцов, из которых мягкой пшеницы – 29208, что составляет 76 % от общего количества образцов пшеницы.

Первый сбор пшеницы ВИРОм был осуществлен в 1901 г. Затем появилась первая партия образцов с выставки, проходившей в Тифлисе (ныне Тбилиси), как описано в записи одной из регистрационных книг. В создании коллекции участвовало несколько поколений сотрудников института, в том чис-

ле выдающийся ботаник К. А. Фляксбергер. В 1920–1940-х гг. в ходе экспедиций ВИР с участием Н. И. Вавилова был собран ряд образцов пшеницы. На данный момент материал, собранный в ходе этих экспедиций, составляет около трети всей коллекции и представлен старыми и местными сортами, а также дикими видами. Такой материал имеет особое значение для любого генетического банка, поскольку он содержит значительный запас аллелей генов, которые могут быть уникальными и определять адаптивность пшеницы к различным факторам, как биотическим, так и абиотическим. Благодаря послевоенному поколению сотрудников ВИР в 50–80-х гг. прошлого века и их изучению центров происхождения культурных растений.

Каталог ВИР, ныне ВИГРР пополнялся с разной периодичностью. Например, в период с 1998 по 2011 г., каталог коллекции пшеницы был пополнен лишь 1750 образцами, что составило всего 2,6 % от общего по миру. Обусловлено это было рядом причин: сокращением опытных станций, а так же значительным ограничением возможностей оставшихся, недостаточным финансированием и избирательным привлечением в нее новых образцов. Коллекция ВИР считается основой генетических ресурсов, то есть источником материала для селекции культур и фундаментальных исследований, а также для обучения. Всесторонний сбор перед отбором проб имеет свою систему и историю. В настоящее время это делается главным образом для того, чтобы выявить источники ценных признаков среди образцов, которые можно в дальнейшем использовать в селекции. Методы белка и ДНК-маркеров играют важную роль в структурировании и анализе коллекции генетического разнообразия образцов.

Знание степени генетического сходства выборочных образцов, а также характера их генетических взаимосвязей и различий не только способствует целенаправленному привлечению нового материала для сбора ВИР, но также повышает эффективность отбора проб для любых исследований, в том числе выбор исходного материала для выбора.

2.2 Инновационные технологии в селекции зерновых культур

На основе генофонда, поступившего из ВИГРРа, были созданы для сухостепной зоны сорта озимой пшеницы с продуктивностью 6–7 т/га. В результате изучения во ВНИИЗК, Краснодарском НИИСХ, Поволжском НИИСХ, Самарском НИИСХ генофонда ячменя выделился ряд источников хозяйственно-ценных признаков: по урожайности, крупнозерности, качеству зерна, скороспелости. Создание сортов с высоким уровнем адаптивности считается приоритетным для стабилизации растениеводства. Классический пример – селекционное улучшение яровой пшеницы в НИИСХ Юго Востока, где удалось сформировать с использованием мирового генофонда целое направление по созданию сортов, обладающих повышенной сосущей силой корней (25–32 атм.). Рожь исконно российская культура, не так давно это была основная зерновая культура, но с 50-х гг. прошедшего столетия созданы высокопродуктивные сорта озимой пшеницы и рожь была вытеснена с полей. В настоящее время в Госреестр включено 77 сортов озимой ржи, возделываемых в России. С 2012 г. получил допуск к использованию первый в России сорт белозерной ржи Памяти Бамбышева (НИИСХ ЮВ). В настоящее время в Госсортсети проходит испытания другой сорт этого института светлозерной озимой ржи – Солнышко. Отличительной чертой этих сортов являются высокие показатели содержания белка и его переваримость, меньшее содержание ингибитора трипсина, что делает перспективным использование зерна ржи для приготовления диетических хлебцев и при производстве комбикормов.

Используя генофонд, российским ученым удалось за последние 40 лет продвинуть эту культуру с юга на 500 км в северном направлении. Успешно работают с этой культурой ученые ВНИИ кукурузы, Краснодарского НИИСХ, ныне ФГБНУ Национальный центр зерна имени П. П. Лукьяненко.

Рис – культура, которая была интродуцирована в Россию. В настоящее время в России производится более 1 млн т риса, включено в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию 51 сорт. Только в 2015 г. было передано ВНИИ риса и ВНИИЗК на госиспытание 6 сортов риса, их урожайность составляет от 7 до 12 т/га. Российские сорта риса уникальны по холодостойкости и срокам созревания. Это самый северный ареал возделывания этой культуры в мире. Поэтому иностранные коллеги проявляют повышенный интерес к российскому генофонду риса.

2.3 Инновационные технологии в селекции зернобобовых, масличных и других культур

Важнейшими средообразующими культурами являются зернобобовые. В России довольно большое генетическое их разнообразие – создано около 800 сортов этих культур. Так НИИСХ Северного Зауралья передал на Госсортиспытание горох посевной, Лавр с урожайностью семян 4,33 т/га для условий Северного Зауралья с содержанием белка – 24,7 %. Создан ВНИИЗБК новый сорт чечевицы Чернава с отличными кулинарными качествами с урожайностью выше стандарта на 11 %.

В России возделывается 21 масличная культура. Получены линии донора подсолнечника с высоким содержанием олеиновой кислоты и антиоксидантных форм токоферолов. Важнейшим источником растительного белка является соя. В ее семенах содержится до 45 % полноценного белка, сбалансированного по аминокислотам. В 2016 г. ВНИИ сои было передано на госиспытание четыре сорта сои различных групп спелости с урожайностью 3,5–4,0 т/га, которые рекомендуется возделывать на Дальнем Востоке. Для Уральского и Западно-Сибирского регионов в 2015 г. Сибирским НИИ кормов создан сорт сои с урожайностью 2,5 т/га, содержание белка в семенах 39–42 %. ВНИИМК и ВНИИЗБК создали сорта сои для юга и Центрального региона России с продуктивностью 3 т/га.

Самарский НИИСХ и Ершовская СОС НИИСХ ЮВ – засухоустойчивые сорта сои. Масличная и кормовая культура, которая широко распространилась в России – рапс. Во ВНИИ рапса созданы сорта ярового рапса с продуктивностью 4–5 т/га. Получены трансгенные растения озимого рапса сорта Северянин: 5 линий содержат селективный ген *npt11* и целевой ген *tscsdp3*, кодирующий белок с доменом холодового шока *CspA* из *E. coli*. С использованием фундаментальных методов ускорения селекционного процесса, включая биотехнологические методы учеными создана серия сортов плодовых, ягодных культур и винограда с высокой продуктивностью и комплексной устойчивостью к болезням и неблагоприятным факторам среды. Так, в 2015 г. отечественными селекционерами получены перспективные сорта клоновидной яблони, сочетающие иммунитет к парше (ген *Vf*), зимостойкость ($-41\text{ }^{\circ}\text{C}$), высокие товарно-потребительские качества плодов. Учеными овощеводами разработаны технологии, способы и методы расширения генетического разнообразия и ускорения селекции у овощных культур. По картофелю сформирована генетическая коллекция и доноров хозяйственно ценных признаков по разным направлениям селекции. В Госреестр селекционных достижений, допущенных на территории России внесено 128 видов овоще-бахчевых культур (более 8 тысяч гибридов). Среди них кроме традиционных, таких как огурец, томат, перец, капуста, тыква и т. д. редкие виды для России, которые со временем займут достойное место в меню: вигна, дайкон, индау, лафант анисовый, портулак, ревень, скорцонера и др. На основе этого генетического разнообразия, используя генофонд галофитов, в Республике Калмыкия и Астраханской области созданы долголетние весенне-летние и осенне-зимнее пастбищные экосистемы, обеспечивающие повышение продуктивности в 5–6 раз при одновременном восстановлении биоразнообразия. Россия обладает мощным потенциалом для производства фитопрепаратов. Для исследований дикорастущих растений ученые ВИЛАР проводят их сбор в различных

регионах России. А для сохранения генофонда лекарственных растений и их изучения в ВИЛАР имеется единственный в стране Ботанический сад лекарственных растений, где исследуется 1272 вида растений, различных жизненных форм, имеется коллекция редких и исчезающих видов. В оранжерейно-тепличном комплексе исследуется генофонд 373 видов тропической и субтропической флоры. Имеется уникальный гербарий растений, представленных 20748 видами. На основе изучения генофонда в ВИЛАРе разработано свыше 100 лекарственных средств. В России не уделяется должного внимания к сохранению генетических ресурсов растений. Уже пять лет рассматривается в различных инстанциях «Закон о генетических ресурсах растений», подготовленный учеными совместно с Минсельхозом России, который регулировал бы вопросы сбора, хранения и изучения генресурсов, вопросы финансирования работ и сохранности земельных участков, занятых коллекцией.

Приоритетной задачей исследований в области генетических ресурсов являются усиление работы по молекулярно-генетическому мониторингу генофонда в растениеводстве, использование методов молекулярной генетики с целью идентификации новых генов, регуляторных элементов и физиолого-биохимических механизмов, а основным направлением развития фундаментальных биотехнологических исследований в области генресурсов – работа по молекулярной селекции, включая создание источников и доноров экономически важных генов и признаков растений, а также разработка новых технологий их трансформации, соответствующих современным требованиям биобезопасности.

2.4 Инновационные технологии в селекции цветочных культур

Классифицируя овощные культуры по продуктовым органам В. И. Эдельштейн выделил 10 групп, в том числе те растения, у которых в пищу употребляют цветки. В нашей жизни появилась новая большая и достаточно обособленная группа овощных культур, товарным органом которых является цветок или соцветие. Из литературных источников известно, что цветки и ранее употребляли в пищу в Китае, Индии, других странах Юго-Восточной Азии. Использование в пищу цветков многих растений проверено временем. С древнейших времен известно использование цветков в качестве приправы, для придания аромата и просто для украшения блюд, однако такой всеобщий и широкий интерес к использованию цветков в кулинарии появился совсем недавно.

В цветке выделяют три основных питательных элемента:

Пыльца. Несмотря на то, что она присутствует только в небольших количествах, это очень богатый источник белка. Ее вкус довольно мягкий.

Нектар. Он, как правило, довольно сладкий и является веществом, которое наиболее привлекает пчел к цветкам, чтобы опылить их. Пчелы перерабатывают нектар в мед. При потреблении человеком цветков, сахара в нектаре являются хорошим источником энергии. Нектар обеспечивает сбалансированную форму сахара вместе с различными минералами и не имеет отрицательных последствий рафинированного сахара, таких, например, как гниение зубов.

Лепестки и другие части цветка. Они имеют много общих черт по питательности и поэтому могут предоставить нам хороший выбор витаминов и минералов.

Углеводы являются наиболее распространенными в цветках, затем белки и зола. Установлено, что в лепестках розы и календулы самое высокое содержание органических кислот, главным образом, связано с наличием яблочной и хинной кислот, соответственно. Полиненасыщенные жирные кислоты

преобладают над содержанием насыщенных жирных кислот в основном за счет вклада линолевой кислоты. В лепестках календулы самое высокое содержание токоферола, α -токоферол является наиболее распространенным.

Существует более 100 видов распространенных садовых растений, цветки которых являются съедобными (лук-порей, лук-шнитт, чеснок, индау посевной, двурядник тонколистный, окра, календула, капуста китайская, вербена лимонная, настурция большая, редис, кабачок, имбирь, виды родов бегония, бархатцы, лилейник, хризантема, гибискус, жимолость, горох, бораго, кориандр, укроп, дягиль, жасмин, душица, мята, розмарин, лаванда, банан, цитрус и др.)

За счет съедобных цветков может быть повышена привлекательность пищевых продуктов и отдельных блюд, в этом можно рассматривать инновационную составляющую данного направления селекционно-генетических работ. При этом возможно расширение прав и маркетинговых возможностей для мелких предпринимателей. Основными критериями оценки качества съедобных цветков являются их сенсорные характеристики, т. е. привлекательность, размер, форма, цвет, вкус и аромат. Использование съедобных цветков в качестве пищевых продуктов обусловлено в первую очередь присущим им оригинальным вкусом или ароматом.

Съедобные цветки человек использует в питании не только из-за их эстетического внешнего вида, аромата, пряного вкуса, но и из-за наличия биологически активных веществ. Овощные культуры в целом рассматривают как источник фитонутриентов и продукт функционального питания. Каротиноиды, антоцианы и флавоноиды являются наиболее яркими представителями биологически активных соединений, которые содержатся в лепестках съедобных цветков.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие исторические этапы прошел инновационный процесс в селекции растений? Приведите примеры.

2. В чем заключается значение генетических ресурсов растений?

3. Какие существуют в нашей стране генетические коллекции растений? Приведите примеры.

4. Охарактеризуйте базовые черты инновационных технологий в селекции зерновых культур. Какие особенности инновационного процесса у зерновых культур?

5. Охарактеризуйте базовые черты инновационных технологий в селекции зернобобовых и масличных культур?

6. Охарактеризуйте базовые черты инновационных технологий в селекции цветочных культур.

7. Какие инновационные модели можно использовать в селекции агрокультур?

8. Какие характерные черты инновационных моделей имеются в зависимости от биологии развития агрокультур?

9. Охарактеризуйте роль генетических банков. Приведите примеры различных генбанков в мире.

10. В чем заключается инновационная роль генетических банков в нашей стране и в мире?

3 ХРОМОСОМНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

Пшеница – одна из древних культур мира и вопросы ее улучшения являются одной из тех «вечных» задач, которые стояли перед человечеством во все времена, начиная с первых попыток культивирования ее диких сородичей в процессе «неолитической революции» примерно 10 тысяч лет назад и до сегодняшнего дня. Качественный скачок в увеличении мировой сельскохозяйственной продукции был сделан в середине прошлого века в процессе «Зеленой революции». По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН ФАО (<http://faostat.fao.org>) в 1961 г. мировое производство зерна пшеницы составляло 877 млн т, а в 2007 г. – 2361 млн т. Важную роль в «Зеленой революции» сыграли гены короткостебельности *Rht*, которые кодируют белки DELLA, подавляющие растяжение клеток стебля в длину и присутствующие у большинства современных полукарликовых сортов пшеницы. Одновременно в селекцию были вовлечены гены *Ppd*, определяющие реакцию на длину светового дня и позволившие создать сорта пшеницы, нечувствительные к короткому фотопериоду. Это привело к существенному повышению урожайности злаковых культур в условиях короткого дня тропических широт Земли, где население постоянно страдало от нехватки продуктов питания.

В настоящее время острота и актуальность проблемы улучшения пшеницы не снижается. Для того, чтобы обеспечить растущее население Земли к 2050 г., необходимо производить уже 4000 млн т зерна пшеницы (<http://faostat.fao.org/>). Ресурс для дальнейшего повышения производства зерна видится в создании сортов, хорошо адаптированных к пограничным ареалам возделывания, что особенно актуально для Сибири, где в течение всего вегетационного периода могут происходить резкие колебания погодных условий.

Длительный отбор на высокую продуктивность и качество зерна привел к тому, что произошло обеднение генофонда со-

временных сортов пшеницы по генам устойчивости. Крупные международные программы, такие как Generation Challenge Program или программа международного центра по улучшению пшеницы и кукурузы СИММИТ Global Wheat Program, опираются на последние достижения сравнительной геномики, биоинформатики и селекции с применением молекулярных маркеров для расширения генетического разнообразия современных сортов пшеницы и формирования у них широкой неспецифической устойчивости.

Молекулярные маркеры широко используют селекционеры США, Европейского Союза, Австралии, Японии, Китая и других стран. В нашей стране эта технология находится в стадии становления, ее начинают применять, например, в Краснодарском НИИ сельского хозяйства имени П. П. Лукьяненко, ныне ФГБНУ Национальный центр зерна имени П. П. Лукьяненко в сотрудничестве с РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева и Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР). Развитие этой технологии базируется на уже имеющихся цитогенетических коллекциях мягкой пшеницы, которые создавались в середине прошлого века и использовались для улучшения этой культуры методами хромосомной инженерии.

3.1 Геном пшеницы

Гексаплоидная пшеница *Triticum aestivum* L., появление которой датируется периодом примерно 7–9,5 тыс. лет назад, в настоящее время стала ярким представителем семейства злаковых. По выражению Н. П. Гончарова, «в общих чертах происхождение полиплоидной пшеницы напоминает игру “Лего”, когда сбор конструкции идет из уже готовых блоков». Гексаплоидный геном мягкой пшеницы с числом хромосом кратным 7 ($2n = 42$, ВВАADD) является самой сложной из этих конструкций, образовавшейся путем последовательной гибридизации нескольких диплоидных видов пшениц и эги-

лопсов. По современным данным, донором генома А для мягкой пшеницы могла быть дикая диплоидная пшеница-однозернянка *Triticum urartu* ($2n = 14$, AA), наиболее вероятным донором генома В – *Aegilops speltoides* Tausch ($2n = 14$, SS), геном которого в полиплоидных пшеницах был модифицирован, а донором генома D – *Aegilops tauschii* Coss ($2n = 14$, DD). Таким образом, каждый из диплоидных предков привнес в мягкую пшеницу по 7 пар хромосом. Первый тетраплоид возник, скорее всего, задолго до введения пшеницы в культуру. Относительно возникновения гексаплоидного генома трудно сказать с определенностью, произошло это путем естественной гибридизации или древний человек участвовал в этом процессе.

Научные основы хромосомной инженерии как технологии направленного переноса чужеродных хромосом и сегментов хромосом в геном культурных растений с целью улучшения хозяйственно-ценных признаков заложил американский ученый Эрнест Роберт Сирс (1910–1991). Им были созданы основе южнокитайской пшеницы-Чайниз Спринг Сирс первые пшеничные анеуплоиды – *моносомные, дитело- и монотелосомные линии* по каждой из 21 пар хромосом (рисунок 2).

Сирс описал фенотипические различия между линиями. Изучение моносомных линий пшеницы, у которых отсутствует одна хромосома из пары, позволило генетически идентифицировать все хромосомы. Хромосомный набор мягкой пшеницы был разбит на 7 гомеологичных групп, по 3 пары хромосом в каждой группе, в зависимости от их принадлежности к субгеномам А, В и D (рисунок 2). Манипуляции с хромосомами позволяют решить разнообразные практические задачи.

Например, в Институте цитологии и генетики СО РАН под руководством О. И. Майстренко были созданы межсортовые замещенные линии мягкой пшеницы по хромосомам 1-й и 6-й гомеологичных групп, несущим структурные гены глиадина и глютелина, запасных белков пшеницы, определяющих вязко-эластичные свойства теста.

не удалось сбалансировать отношение упругость/растяжимость теста и увеличить объем хлеба.

Источники обогащения генофонда мягкой пшеницы генами устойчивости к неблагоприятным условиям среды и болезням ищут среди диких сородичей, интерес к которым стремительно растет в последние годы, и представителей так называемого «третичного генофонда» – видов, филогенетически далеких от пшеницы (рожь, ячмень, пырей).

Цитогенетические коллекции пшеницы, созданные в прошлом веке в результате многолетнего кропотливого труда, в настоящее время являются ценным исследовательским инструментом, позволяющим идентифицировать в геноме пшеницы новые гены для решения сугубо практических задач. На основе замещенных линий создаются наборы рекомбинантных интрогрессированных линий, у которых в геном селекционной пшеницы введены сегменты хромосом диких злаков. Подобные модели используются для изучения генетической архитектуры количественных признаков, таких как время цветения, компоненты урожая или устойчивость к патогенам. Новые возможности для биотехнологии сельскохозяйственных растений могут появиться с развитием и применением искусственных хромосом, которые являются векторами большой генетической емкости. Решающий вклад в создание искусственной хромосомы растений внес Евгений Витальевич Ананьев (1947–2008), которому удалось реконструировать молекулярную организацию центромеры индивидуальной хромосомы кукурузы и создать искусственную растительную хромосому, используя известные и доступные к тому времени клонированные фрагменты теломер и участков начала репликации.

3.2 Селекция с применением ДНК-маркеров

Генетический маркер или генетическая метка – это признак с известной локализацией в геноме, удобный для генетического анализа и позволяющий следить за характером насле-

дования других признаков, с которыми данный маркер сцеплен. В 60-е гг. прошлого столетия в селекции использовали только «морфологические» (фенотипические) маркеры. Впоследствии, в конце 70-х – начале 80-х гг., с развитием методов белкового электрофореза, в исследования активно вовлекались «биохимические» белковые маркеры, позволившие анализировать генетический полиморфизм на уровне продуктов генов. Некоторые из них, например, субъединицы глютелина, до сих пор используются во всем мире в селекции на хлебопекарное качество. Однако применение такого типа маркеров ограничивалось тем, «что имеют целый ряд преимуществ по сравнению с другими типами маркеров.

Первые молекулярно-генетические карты пшеницы на основе ДНК маркеров были сконструированы для всех 21 хромосом с использованием анализа полиморфизма длины рестрикционных фрагментов (RFLP-маркеры, от англ. restriction fragment length polymorphism), образующихся в результате обработки ДНК рестрицирующими эндонуклеазами (рестриктазами). Достоинством RFLP-маркеров является высокий консерватизм, что позволяет использовать их при сравнительном картировании родственных видов анализ белков позволяет исследовать полиморфизм только белок-кодирующих последовательностей и только у экспрессирующихся генов. При этом из анализа исключаются такие функционально-значимые участки, как промоторные области, энхансеры, различные сайты регуляции, расположенные в интронах или нетранслируемых областях генов, а также вне генов, часто на значительном расстоянии от кодирующей последовательности».

Одна из самых насыщенных ДНК-маркерами карт создана в ИРК в сотрудничестве с компанией Trait Genetics (Гатерслебен). На рисунке 3 представлена молекулярная карта сцепления для хромосом второй гомеологической группы, созданная для картирующей популяции ITMI (International Triticaceae Mapping Initiative). Для всех других хромосом этой популяции созданы такие же насыщенные маркерами карты.

Создание разнообразных картирующих популяций пшеницы, развитие и удешевление технологий генотипирования стимулировало рост работ по изучению архитектуры сложных полигенных признаков в геноме пшеницы через картирование локусов количественных признаков (QTL, от англ. quantitative trait loci). QTL анализ – это анализ ассоциаций между фенотипическими (измеренными признаками) и генотипическими (молекулярными маркерами) данными, который позволяет расчленить генетическую базу сложного признака на простые составляющие.

В течение двух последних десятилетий с применением молекулярных маркеров на хромосомах пшеницы было картировано большое число генов и QTL (рисунок 3). Все сведения о локализации генов или локусов количественных признаков помещаются в Международный каталог генных символов пшеницы на сайте <http://www.shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/symbol>. Информация о маркерах, валидированных (проверенных) для практического использования и рекомендованные протоколы представлены на сайте <http://maswheat.ucdavis.edu/>. На сегодняшний день на этом сайте размещены функциональные маркеры для генов, влияющих на:

- агрономически важные признаки: высота растений (Rht), чувствительность к фотопериоду (Ppd), определяющих тип развития (Vrn);

- хлебопекарное качество (активность липоксигеназы, полифенол оксидазы, локусы, контролирующие субъединицы глютелина и др.);

- устойчивость к различным патогенам.

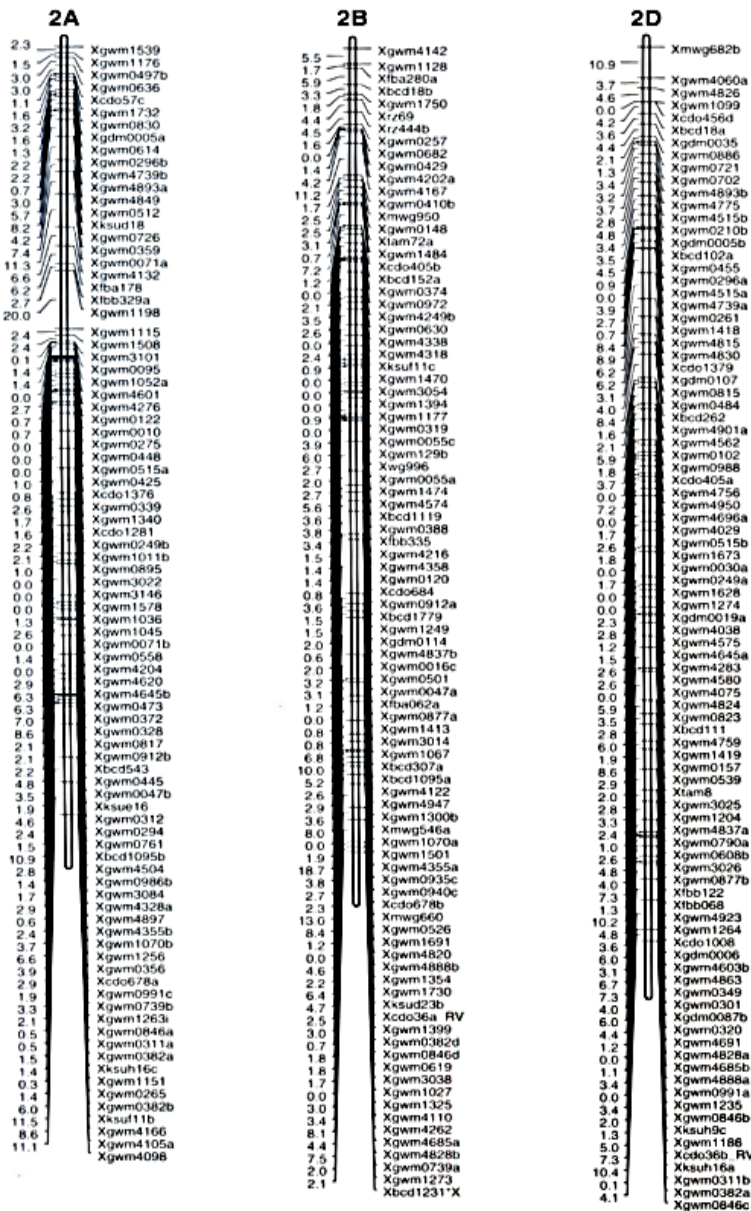


Рисунок 3 – Молекулярная карта сцеплений хромосом второй гомеологической группы пшеницы (Осипова С. В. и др. 2014)

Контрольные вопросы

1. Дайте определение QTL.
2. В чем заключаются технологии секвенирования ДНК?
3. Как технологии секвенирования ДНК привели к созданию новых методов селекции? Приведите примеры.
4. Дайте определение MAS, маркер-контролируемому отбору.
5. В чем заключается геномная селекция?
6. Что такое феномика? Области ее изучения.
7. В чем заключается технология фенотипирования растений?
8. Какие задачи феномики? Приведите примеры.
9. В чем заключается инновационная составляющая методов обработки и анализа изображения?
10. Какие основные характеристики фенотипирования растений?
11. Какие успехи были достигнуты при применении молекулярных маркеров на хромосомах пшеницы?
12. Что такое генетический маркер?
13. Что такое селекция с ДНК-маркированием?

4 ПОЛИПЛОИДИЯ И ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В СЕЛЕКЦИИ РАСТЕНИЙ

4.1 Виды полиплоидов

Полиплоидия – это геномная мутация, заключающаяся в увеличении числа хромосом, кратного гаплоидному набору. **Полиплоиды** – это эуплоиды, у которых соматические клетки имеют множественный набор основных хромосом, больший, чем диплоидное число. Полиплоиды и числа основных хромосом могут быть следующими:

- триплоид – 3 х;
- тетраплоид – 4 х;
- пентаплоид – 5 х;
- гексаплоид – 6 х;
- сентаплоид – 7 х;
- октоплоид – 8 х.

Полиплоидные растения могут возникать за счет удвоения генома одного вида – автополиплоид или автополиплоидия (auto – одинаковый) или за счет комбинирования геномов двух или более неродственных видов, аллополиплоид или аллополиплоидия (allo – различный).

Если аллополиплоид произошел от комбинирования хромосом двух различных диплоидных видов, он называется аллотетраплоид или амфидиплоид.

Полиплоидные формы отличаются от своих диплоидных прародителей большей относительной мощностью: имеют более крупные листья, цветки, семена, более мощные и грубые стебли. Полиплоидные клетки и их ядра также крупнее.

Если в результате геномной мутации все клетки зародыша оказываются полиплоидными, то из него развивается целый полиплоидный организм, а если только часть клеток организма является полиплоидной, то такой организм называется химерным.

Полиплоиды в большинстве случаев имеют большую силу роста и урожайность. Полиплоиды с нечетным числом хромо-

сом, получившие название – триплоиды или пентаплоиды – в большинстве случаев бесплодны и могут быть использованы в дальнейшем для улучшения культуры по числу хромосом. Ряд агрокультур произошли как естественные полиплоиды (таблица 1). Примерно 70 % диких видов семейства злаковых и 23 % бобовых – полиплоиды. Большинство естественных полиплоидов являются аллополиплоидами.

Таблица 1 – Группы близких видов, у которых гаплоидные и диплоидные числа хромосом возрастают в арифметическом порядке

Вид*	Гаметное (гаплоидное) число хромосом	Основное число хромосом	Соматическое (диплоидное) число хромосом
<i>Avena strigosa</i>	7	7	$2n = 2x = 14$
<i>Avena barbata</i>	14	7	$2n = 4x = 28$
<i>Avena sativa</i>	21	7	$2n = 6x = 42$
<i>Gossypium arboreum</i>	13	13	$2n = 2x = 26$
<i>Gossypium hirsutum</i>	26	13	$2n = 4x = 52$
<i>Nicotiana glauca</i>	12	12	$2n = 2x = 24$
<i>Nicotiana glauca</i>	24	12	$2n = 4x = 48$
<i>Triticum monococcum</i>	7	7	$2n = 2x = 14$
<i>Triticum turgidum</i>	14	7	$2n = 4x = 28$
<i>Triticum aestivum</i>	21	7	$2n = 6x = 42$
<i>Festuca pratensis</i>	7	7	$2n = 2x = 14$
<i>Festuca arundinacea</i> <i>var. glaucescens</i>	14	7	$2n = 4x = 28$
<i>Festuca arundinacea</i> <i>var. genuina</i>	21	7	$2n = 6x = 42$

* Виды этих групп имеют полиплоидную серию.

У некоторых видов высших растений гаплоидное и диплоидное число хромосом возрастает в арифметической прогрессии. Геном – это основной моноплоидный набор хромосом вида (или группы родственных видов), он содержит только один вид каждой хромосомы. Моноплоидное или основное число хромосом вида обозначается символом x . Гаплоидное или гаметное число хромосом вида обозначается символом n ,

а диплоидное или соматическое число хромосом – $2n$. Для описания хромосомных чисел вида используют следующие термины:

- моноплоид (основное число хромосом);
- гаплоид (гаметное число хромосом);
- диплоидное (соматическое) число хромосом.

Например, у кукурузы, основное и гаплоидное число – 10,

- диплоидное и соматическое число – 20;
- гаплоидное число записывается: $n = x = 10$;
- диплоидное или соматическое число: $2n = 2x = 20$;

У мягкой пшеницы основное число 7; гаплоидное – 21; соматическое – 42.

Все записывается следующим образом: $2n = 6x = 42$.

Автополиплоиды и аллополиплоиды могут возникать как путем эндомитоза, так и в результате образования нередуцированных гамет, когда число хромосом не уменьшается вдвое в процессе мейоза, и гаметы содержат соматическое число хромосом. Могут возникать мужские или женские нередуцированные гаметы, и их взаимодействие возможно следующим образом:

$(2n + n)$ – женские гаметы нередуцированы, мужские редуцированы;

$(n + 2n)$ – женские гаметы редуцированы, мужские нередуцированы;

$(2n + 2n)$ – обе гаметы – мужские и женские – нередуцированы.

Например, *Dactylis glomerata* является автотетраплоидом. Хорошо известно, что диплоидный субвид *Dactylis glomerata* произошел от формы с $2n$ яйцеклетками и пыльцой от материнского и отцовского растения. Так происхождение многих полиплоидов связано с нередуцированными гаметами. В большинстве случаев все возникает спонтанно.

Искусственная индукция

Полиплоиды могут возникать посредством средового стресса или под действием химических агентов, т. е. всего того, что нарушает нормальное движение хромосом.

Среди химикатов, обладающих таким действием, можно отметить следующие:

- колхицин;
- колчемид;
- аценафтен.

Колхицин разрушает веретено деления, и поэтому хромосомы прекращают свое движение к полюсам. Колхицин наносят на меристему растущих органов в качестве раствора или спрея.

Искусственное получение автополиплоидов

AA – AAAA

Автополиплоиды фертильны, имеют бивалентную и мультивалентную конъюгацию хромосом. Для таких форм высокая семенная продуктивность подчас не всегда важна, большее значение имеет вегетативная масса, что важно для злаковых трав и прядильных культур.

Искусственное получение аллополиплоидов

AA + BB = AABB

У таких форм возможна гомеологичная – частично гомологичная – конъюгация хромосом. Ярким примером такой конъюгации является пшеница и роль системы генов Ph, которая контролирует этот процесс.

Обозначения:

- AAAA – квадриплекс;
- AAAa – триплекс;
- AAaa – дуплекс;
- Aaaa – симплекс;
- Aaaa – нуллиплекс.

4.2 Методы идентификации полиплоидных растений

Выделение полиплоидных растений возможно как косвенными, так и прямыми методами.

Под *косвенными* понимают методы идентификации по изменениям морфологических или цитологических признаков, характерных для полиплоидных растений.

В эту группу методов входят анализ морфологических признаков:

- увеличение размеров вегетативных органов, замедленное развитие;
- увеличение размеров устьичных клеток и числа хлоропластов в замыкающих клетках устьиц;
- пониженная фертильность, более крупные размеры пыльцевых зерен, измененная форма и количество пор пыльцы.

Прямым методом является подсчет числа хромосом.

Влияние полиплоидии на фенотип растений различно и трудно предсказуемо. Селекционеры-садоводы вызывают удвоение хромосом, чтобы увеличить размер цветка. Автополиплоиды часто имеют большие размеры меристематических клеток.

Растения характеризуются значительной изменчивостью размера генома, числа и морфологии хромосом. Числа хромосом варьируют в широчайших пределах – от 4 до 1000 и более, однако большинство видов содержат от 12 до 60 хромосом на диплоидный геном. Показана прямая взаимосвязь между размером генома растения и длиной его хромосом, при этом размер хромосом не зависит от систематического положения вида.

4.3 Роль полиплоидии в эволюции и селекции

Не все виды с увеличенным числом хромосом имеют оптимальные размеры. Многие виды растений имеют максимальные размеры только при одном уровне пloidности.

Пример. Кукуруза имеет максимальный размер при диплоидном числе хромосом. Увеличение их количества до тетраплоидного ведет в большинстве случаев к снижению агрономического интереса.

Для банана оптимален диплоидный уровень. Диплоидный банан имеет семена. Люцерна, шпинат, картофель, кофе, лилия – эти виды имеют максимум силы на тетраплоидном уровне. Земляника лучше отзывается на полиплоидный уровень от 2 до 12 х.

Часто хромосомное удвоение связано с применением колхицина. При получении полиплоидов важно учитывать следующие три правила:

1. Получение полиплоидов должно обеспечивать большой вегетативный рост и уменьшение семенной продуктивности, так как автополиплоиды более урожайны по вегетативным частям (корнеплоды, цветы, облиственность), чем культуры, выращенные из семян.

2. Наибольший успех в получении сильных и фертильных автополиплоидов достигается путем удвоения числа хромосом у диплоидов с низким числом хромосом.

3. Автополиплоиды, произошедшие от перекрестноопыляющихся видов могут быть более успешны, чем автополиплоиды от самоопыляющихся видов, потому что перекрестное опыление способствует интенсивной генной рекомбинации по сравнению с самоопылением и дает возможность получить баланс в полиплоидном генотипе.

У полиплоидов, относящихся к видам с большим числом хромосом, происходит большой дисбаланс по числу хромосом в мейозе и нарушение ядерно-цитоплазматических отношений.

Удачными полиплоидами являются корнеплоды: сахарная свекла, турнепс, кормовая свекла.

Коммерческие полиплоиды сахарной свеклы были анисоплоидны, т. е. смешанный триплоид, тетраплоид и диплоид.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение полиплоидии.
2. Какие организмы называются амфидиплоидами?
3. Какие организмы называются химерными? Приведите примеры.
4. Укажите методы получения полиплоидов.
5. Дайте определение автополиплоидов и аллополиплоидов.
6. Укажите пути возникновения авто- и аллополиплоидов.
7. Какие химические агенты могут быть использованы при искусственной индукции полиплоидов?
8. Перечислите методы идентификации полиплоидных растений.
9. В чем роль полиплоидии в эволюции и селекции растений?
10. В чем суть межвидовых скрещиваний полиплоидов?
11. Как используются аллополиплоиды в селекционной практике?
12. Что такое анеуплоидия?
13. Какие организмы называются полисомиками и моносомиками?
14. Приведите примеры естественных и искусственных полиплоидов.
15. Какие полиплоиды возделываются в культуре? Приведите примеры.
16. Прокомментируйте рисунок 4. Приведите примеры.

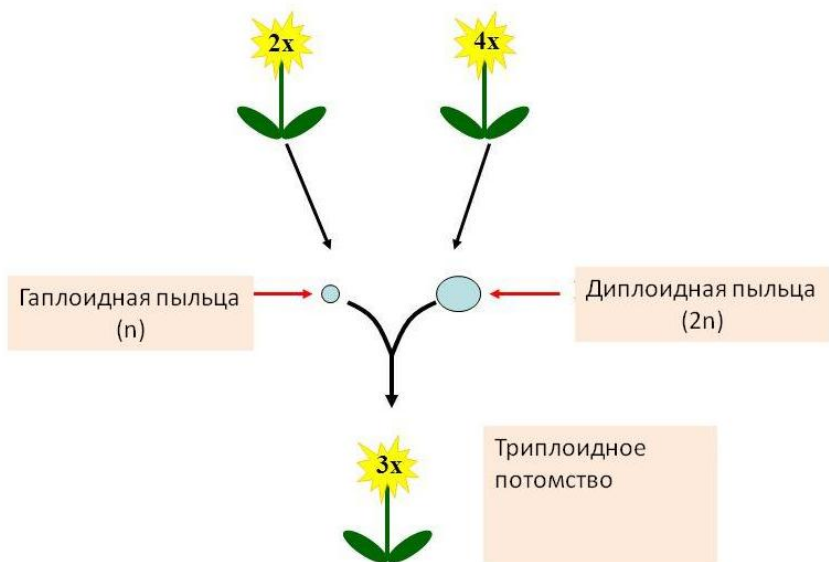


Рисунок 4

16. Прокомментируйте рисунок 5. Приведите примеры получения полиплоидов у сельскохозяйственных растений.

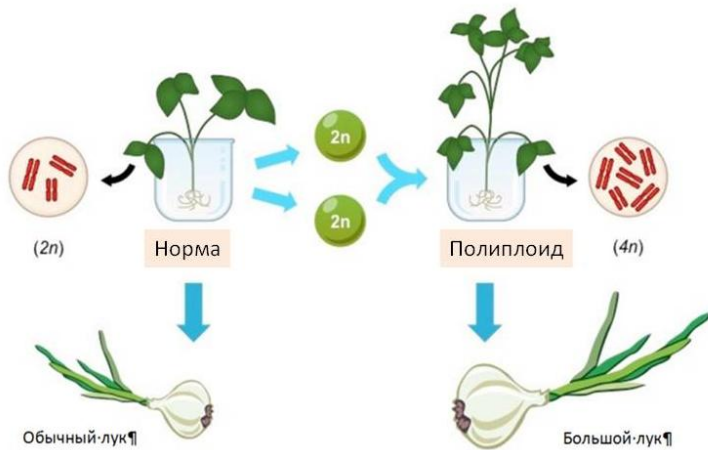


Рисунок 5

17. Объясните рисунок 6.

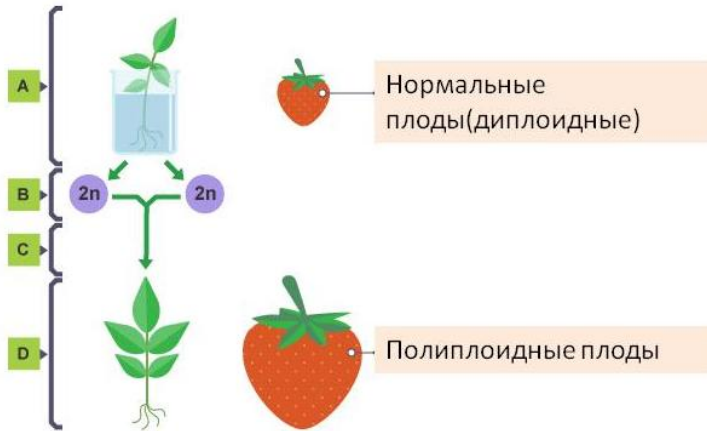


Рисунок 6

18. Сделайте пояснения к рисунку 7.

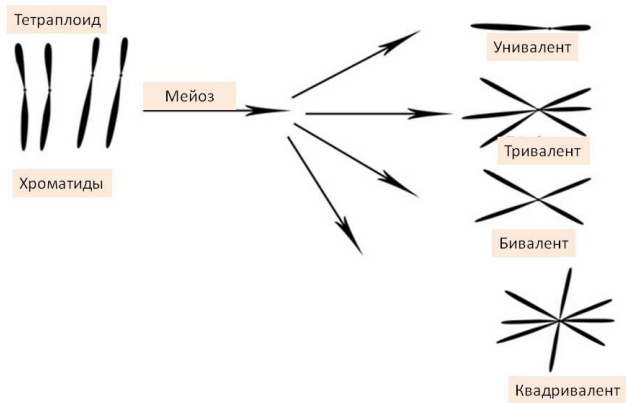


Рисунок 7

5 РАСТЕНИЯ В БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Термин «биотехнология» был введен в 1917 г. венгерским инженером Карлом Эреки и характеризовал все виды работ, при которых из сырьевых материалов с помощью живых организмов производятся те или иные продукты. Согласно определению академика А. А. Баева (1984), биотехнология – это использование живых организмов и их систем в промышленных целях. В этой связи основной целью биотехнологии является получение коммерческого продукта, рентабельного производства с инновационной составляющей. Биотехнология наука междисциплинарная.

Ситуация в мире складывается так, что одной из самых насущных проблем наступившего XXI в. является быстрый прирост населения. Традиционное сельское хозяйство уже не может удовлетворять возрастающие пищевые потребности особенно в белке. По оценкам специалистов Международной Организации питания и сельского хозяйства (FAO), мировой дефицит белка оценивается до 30–35 млн т в год. Данные цифры указывают на то, что более 25 % мирового населения страдает от голода или недостатка питания. В связи с этим поиск дополнительных источников белка предпринимаются повсеместно и становится актуальной задачей. Широко внедряются новые сельскохозяйственные приемы; выводятся новые сорта злаков с повышенным содержанием белка; интенсивно внедряется выращивание сои и земляного ореха; белки начинают экстрагировать путем ультрафильтрации из определенных жидких отходов; и, наконец, разрабатываются новые нетрадиционные способы производства белковых соединений. Определенные успехи достигнуты в получении белка с помощью микробного синтеза. Это направление получило название «производство белка одноклеточных» (Single-Celled Protein), поскольку большинство микроорганизмов, используемых для этих целей, растут в виде одноклеточных или мицелиальных особей, а не как сложные многоклеточные организмы.

Биотехнология растений. Первые работы в области развития метода культуры изолированных тканей растений относятся к концу XIX и началу XX вв. и связаны с именами таких выдающихся немецких ученых, как Н. Vöchting (1892), К. Rechinger (1893) и Н. Haberlandt (1902). Н. Vöchting (1892) в своих исследованиях сделал попытку установить минимальный размер экспланта. Он выращивал тонкие срезы корня свеклы и одуванчика, сегменты стебля тополя на песке с применением водопроводной воды без стерильных условий. Эти исследования показали, что каллус образуется при толщине среза не менее 1,5 мм. Еще в XIX в. Н. Vöchting провел ряд экспериментов, убедительно доказывающих полярность как органов, так и клеток. Н. Haberlandt (1902), в свою очередь, впервые высказал идею о возможности культивирования *in vitro* изолированных клеток растений. Он наблюдал сохранение живыми клеток мезофилла листа в течение нескольких дней. Но для культивирования он выбрал ассимилирующие зеленые клетки – зрелые и высокодифференцированные, утратившие способность к меристематической деятельности. Поэтому результаты его экспериментов оказались отрицательными. Не достигнув экспериментальных успехов, эти исследователи высказали ряд идей и гипотез, подтвержденных значительно позже. Так, Н. Vöchting при изучении полярности пришел к выводу, что она свойственна не только органам растения, но и отдельной клетке. Н. Haberlandt выдвинул гипотезу о тотипотентности любой живой клетки. Длительный период (1902–1922 гг.) исследователи пытались создать подходящую среду и благоприятные условия для выращивания изолированных органов, тканей и клеток. Своей работой они внесли значительный вклад в развитие метода культуры клеток и тканей высших растений. Наиболее успешный период в развитии этого метода начался с работ R. Gautheret (1932) и F. White (1931), которые показали способность каллусов и тканей растительных опухолей к неограниченному росту при переносе на свежие питательные среды.

В настоящее время клеточная биотехнология имеет в своем распоряжении ряд методов, основными из которых, помимо культивирования клеток и тканей отдельных растений, являются:

1) методы клонального микроразмножения, включающие индукцию органогенеза и соматического эмбриогенеза;

2) методы изолирования протопластов и получения соматических гибридов;

3) методы получения гаплоидных растений и производных от них дигаплоидов;

4) методы генетической трансформации с последующей регенерацией модифицированных растений.

Основой методов культуры изолированных клеток и тканей растений является уникальное свойство растительных клеток – тотипотентность. Под ним подразумевается способность растительной клетки при определенных условиях вторично дифференцироваться и под влиянием внешних условий выбирать тот или иной путь морфогенеза. Морфогенез является сложным процессом, регуляция которого осуществляется на клеточном, тканевом и организменном уровнях. В этом процессе участвуют взаимозависимые факторы, определяющие 190 процессы деления, растяжения, дифференциации, старения и гибели клеток. В ходе морфогенеза возникают сформированные заново ткани и органы, и соответствующие этому процессы носят названия, отражающие существо морфогенеза – гистогенез, ризогенез, геммогенез (образование листьев или побегов), флоральный геммогенез (образование цветков и (или) отдельных элементов цветка) и соматический эмбриогенез. Полученное в результате морфогенеза *in vitro* растение носит название растения-регенеранта.

В настоящее время при использовании современных методических подходов растение любого вида может быть теоретически регенерировано из каллусной ткани, хотя определено представление о трудных для регенерации видах и генотипах. Для многих видов растений разработаны несколько методов регенерации.

Клональное микроразмножение. Явление соматического эмбриогенеза в культуре клеток и тканей обнаружено у представителей более 150 видов из более чем 30 семейств цветковых растений, например, рис, соя, дуб, яблони. На основе этого способа регенерации растений была создана техника искусственных семян. Соматические эмбриониды, в отличие от зиготических и полученных из зигот семян, не имеют эндосперма и не могут обеспечить себя питательными веществами, поэтому предлагается заключать эмбриониды в капсулу из желатина с элементами питательной среды и с повышенным содержанием сахарозы. По мнению специалистов, искусственные семена, в первую очередь, перспективно использовать для гибридных овощных культур и для размножения генетически трансформированного материала.

Соматический эмбриогенез с точки зрения биотехнологии имеет преимущество перед органогенезом. Растение-регенерант, развившееся из соматического зародыша, является изначально целым растением, оно имеет побег и корень и развивается под действием своей собственной гормональной регуляторной системы. В то время как регенеранты, полученные на основе геммогенеза, не всегда имеют собственные корни и нуждаются в укоренении, что нередко составляет нелегкую задачу. Методы клонального микроразмножения *in vitro* и культуры изолированных клеток и тканей позволяют решать важные вопросы в размножении и селекции и получать за более короткий промежуток времени генетически однородный безвирусный посадочный материал с высоким коэффициентом размножения. Кроме цветочных культур с помощью микроразмножения размножают цитрусовые, виноград, картофель и в последнее время – древесные культуры. Для 194 некоторых культур, таких как картофель, технология клонального размножения поставлена на промышленную основу (рисунок 8).

Несмотря на многолетнюю историю существования метода культуры клеток и тканей, многочисленные разработки

конкретных методик по реализации различных морфогенетических путей не всегда применимы к конкретным объектам, т.к. клеточные и молекулярные основы и механизмы морфогенеза остаются малоизученными и требуют более глубоких исследований. Еще одним методом биотехнологии растений является криоконсервирование. Это сохранение культуры клеток и тканей, семенного материала новых и перспективных сортов, лекарственных и редких видов растений без занятия посевных площадей.



Рисунок 8 – Схема морфогенетического цикла у цветковых растений

Он позволяет селекционерам использовать в любое время генотипы, обладающие искомыми признаками (пыльцу для проведения гибридизации; семена, не способные переносить обезвоживание; трансформированные, мутантные, гибридные

клетки разных видов растений, способных к морфогенезу *in vitro*; зиготические и соматические зародыши и т. д.)

Получение соматических гибридов методом слияния изолированных протопластов. Соматическая (парасексуальная) гибридизация – создание неполовых гибридов путем слияния изолированных протопластов, полученных из соматических клеток. Использование соматической гибридизации позволяет скрещивать филогенетически отдаленные виды растений; получать асимметричные гибриды, несущие генный набор одного из родителей наряду с несколькими хромосомами, органеллами или цитоплазмой другого; проводить слияние трех и более клеток; получать гибриды, представляющие сумму генотипов родителей; переводить мутации в гетерозиготное состояние и получать жизнеспособные формы растений; получать растения, гетерозиготные по внеядерным генам и др.

Протопласты выделяют из клеток листьев, меристем, стебля или из каллусных, суспензионных клеток. Они являются уникальной моделью для изучения фундаментальных физиологических функций у растений, незаменимы при изучении состава, структуры и функционирования плазмалеммы в норме и при воздействии на нее гормонами, ингибиторами, фитотоксинами, а также при взаимодействии самих протопластов в популяции (рисунок 9).

При слиянии могут образовываться и так называемые асимметричные гибриды – продукты слияния, имеющие полный хромосомный набор одного из партнеров и часть хромосом другого партнера. Такие гибриды часто возникают при слиянии клеток организмов, филогенетически удаленных друг от друга. В этом случае вследствие неправильных делений клетки, обусловленных некоординированным поведением двух разнородных наборов хромосом, в ряду поколений теряются частично или полностью хромосомы одного из родителей. Асимметричные гибриды бывают устойчивее, плодовитее и жизнеспособнее, чем симметричные, несущие полные наборы генов родительских клеток.

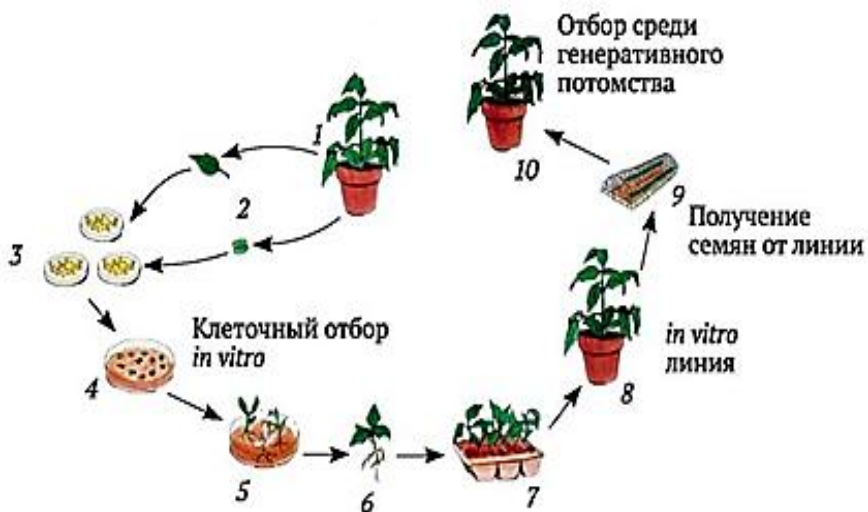


Рисунок 9 – Схема клеточной селекции томата с использованием соматклональной и гаметоклональной изменчивости

В целях асимметричной гибридизации возможна избирательная обработка клеток одного из родителей для разрушения части его хромосом. Возможен прицельный перенос в клетку нужной хромосомы. Из таких гибридных клеток могут быть выращены растения-регенеранты. Первый зрелый межвидовой гибрид, полученный в результате парасексуальной гибридизации протопластов двух сортов табака (*Nicotiana glauca* с 24 хромосомами и *N. langsdorfii* с 18 хромосомами) описан в 1972 г. (Carlson et al, 1972). Каллус амфиплоидного гибрида мог расти на безгормональной среде. Гибридное растение цело. Впоследствии были получены жизнеспособные внутривидовые, межвидовые и межродовые гибриды.

Гаплоидные растения. Гаплоидные растения имеют важное значение для селекции, так как открывают возможности для ускоренного получения гомозиготных генетически стабильных линий. Обычно для стабилизации используют традиционные методы – отдаленную гибридизацию, обработку фитогормонами и температурные шоки. Но эти приемы

трудоемки, требуют много времени и неэффективны вследствие низкого коэффициента выхода гаплоидных растений.

Для увеличения эффективности индуцирования гаплоидов используют следующие методы:

- 1) андрогенез в культуре пыльников и пыльцы;
- 2) элиминация хромосом в гибридном зародыше (в селекциях злаковых);
- 3) псевдогамия – развитие гаплоидного зародыша после оплодотворения инородной пыльцой без оплодотворения яйцеклетки, или же гиногенез – развитие изолированного семязачатка.

В основе метода культуры изолированных пыльников лежит феномен андрогенеза *in vitro* – процесса образования гаплоидного растения-регенеранта из спорогенной клетки пыльника, как правило, находящейся в фазе сильновакуолизованной микроспоры. Микроспоры являются уникальным объектом для изучения тотипотентности растительных клеток, процессов морфогенеза и регенерации растений на гаплоидном уровне. Достоверно установлено, что спорогенные клетки пыльника способны в условиях *in vitro* переключать программу своего развития с обычного гаметофитного пути на принципиально иной – спорофитный путь. Таким образом, спорогенные клетки в полной мере проявляют свой морфогенетический потенциал, вплоть до развития целого растения-регенеранта, причем контролируемые условия позволяют управлять этим процессом.

Впервые гаплоидные растения были получены индийскими исследователями S. Guha и S. Maheshwari (1964) при культивировании пыльников *Datura innoxia* L. С тех пор этим методом получены гаплоидные растения более чем у 200 видов, в том числе у пшеницы, ячменя, ржи, риса, картофеля и других культур. Для культуры пыльников используют целые пыльники, стерильно выделенные из бутонов в определенной фазе развития. Их помещают на твердую питательную среду либо на поверхность жидкой питательной среды. В редких случаях культивируют бутоны или соцветия.

Уникальность метода культуры *in vitro* изолированных пыльников состоит в том, что на сегодняшний день это единственный способ закрепить ценный гетерозисный эффект гибридов 1-го поколения. Важно отметить, что способность к андрогенезу у разных видов растений сильно варьирует. Так, некоторые виды семейств Solanaceae и Brassicaceae имеют очень высокую способность к андрогенезу. Существенная разница наблюдается также между отдельными линиями и сортами. Дигаметоиды характеризуются более высокой частотой андрогенеза по сравнению с исходными (донорными) растениями. Способность к андрогенезу наследуется при скрещивании.

Генетическая инженерия растений. В качестве инструмента прямого генетического воздействия на растения уже в течение многих лет широко применяются технологии генетической трансформации клеток, т. е. перенос чужеродной ДНК в клетку-реципиент. Основными приемами трансформации являются введение целевого гена из генома других организмов (или синтезированного искусственно) в геном реципиента для изменения его свойств и признаков, избирательная активация или блокировка генов, позволяющая вывести из строя или активировать любой ген внутри живой клетки, и целенаправленное изменение гена – мутагенез. Основными целями введения чужеродного гена (генов) являются повышение сельскохозяйственной ценности, устойчивости к патогенам и декоративных качеств культурных растений. Трансгенные растения или их клеточные культуры служат живыми биореакторами при малозатратном производстве экономически важных белков и метаболитов. Применяя специальные приемы и оборудование, из одной клетки, созданной с помощью генноинженерных методов, может быть регенерировано фертильное растение, несущее чужеродные гены.

Наиболее остро стоит вопрос о получении растений, устойчивых к вредителям сельского хозяйства. Традиционно для этого используют ген *bt*, продуктом которого является бакте-

риальный токсин *Bacillus thuringiensis*. Эта тюрингская бактерия продуцирует крупный белок (протоксин), контролируемый геном *bt*, который, попадая в кишечник личинок насекомых, разрушается под действием ферментов, а его фрагмент (эндотоксин) приводит к их гибели. В настоящее время уже синтезирован искусственный ген *bt*, конструкция с которым более эффективна, а сами трансгенные растения обладают широким спектром устойчивости к насекомым. Трансгенные растения картофеля, хлопка, кукурузы с геном *bt* уже производятся фирмами «Monsanto», «Ciba Seeds» и продаются на рынках мира, хотя дискуссии о безопасности их использования еще не закончены.

Генетически модифицированные культуры сегодня в мире занимают площадь 8,1 млн га, а продажи ежегодно растут на 20 %. Крупнейшим в мире производителем и потребителем генетически модифицированных растений является США (35,7 млн га пахотных земель), далее следуют Аргентина (11,8 млн га), Канада (3,2 млн га) и Китай (1,5 млн га). Основной генетически измененной культурой остается соя (35,7 млн га, что составляет 63 % общей площади земель), затем кукуруза (10 млн га) и трансгенный хлопок (6,8 млн га). В настоящее время 46 % всей выращиваемой сои составляют ее генетически модифицированные варианты, тогда как в 2000 г. доля трансгенной сои составляла только 36 %. В странах Европейского Союза под выращивание генетически модифицированных растений отведены очень малые площади земель. Это связано с негативным общественным мнением. Правительства стран-участниц Европейского Союза в 1998 г. приняли решение запретить проведение испытаний новых генетически модифицированных растений.

Контрольные вопросы и задания

1. Кто первый ввел термин «Биотехнология»?
2. Укажите основные достижения биотехнологии растений.
3. Что такое клональное микроразмножение?
4. Что такое соматический эмбриогенез?
5. Что такое растение-регенерант? Как его получают?
6. На чем основывается техника создания искусственных семян?
7. В каких отраслях сельскохозяйственного производства используют искусственные семена?
8. В чем заключается криоконсервирование?
9. Что такое соматическая гибридизация?
10. Прокомментируйте рисунок 10. В чем использован инновационный подход в создании нового селекционного материала?

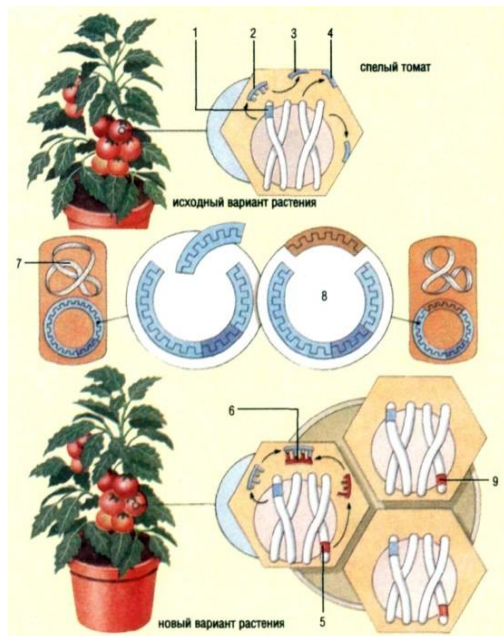


Рисунок 10

11. На рисунке 11 представлена схема происхождения важных овощей из различных частей растений. Приведите примеры инновационных подходов в решении проблемы создания овощей для питания человека.

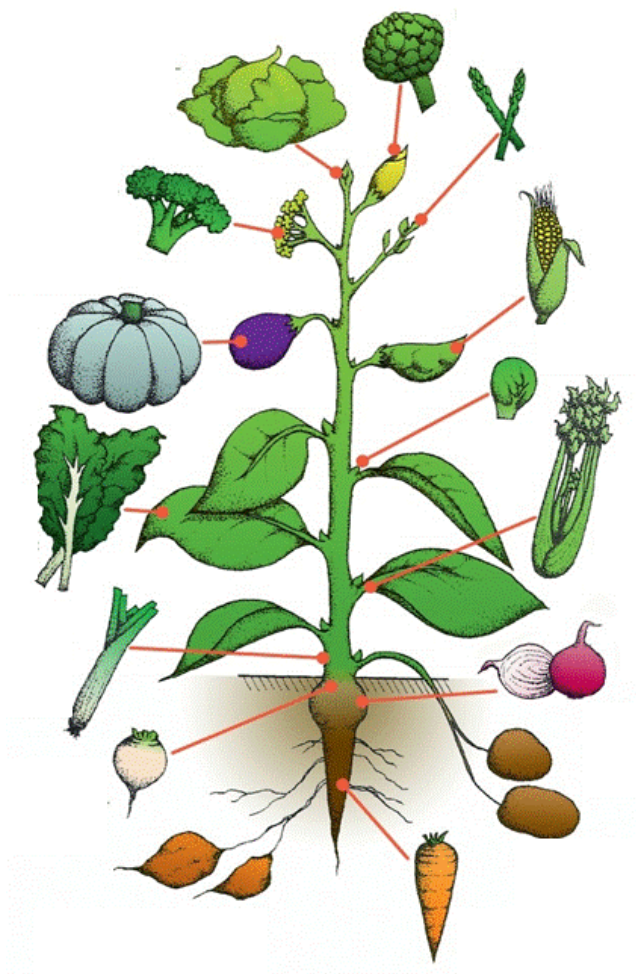


Рисунок 11

6 ФАСЦИАЦИЯ И ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В СОЗДАНИИ НОВЫХ СОРТОВ

Поиск новых форм растений, удовлетворяющих потребности рынка, может затрагивать инновационный подход в работе с тератными образцами. Тераты – измененные органы растений под действием различных факторов. К ним относятся и растения с фасциациями, у которых наблюдается срастание различных частей.

При проведении селекционных исследований с фасцированными растениями в первую очередь актуальным является вопрос о наследственном закреплении мутации с фасциацией. На ряде культур, таких как киви, горох, лилии, капуста цветная, целлозия метельчатая удалось закрепить и передать этот признак. На основе полученных гибридных форм выведены сорта.

Например, известно, что многие культивируемые сорта Азиатских гибридов лилий подвержены тератологическим изменениям. К ним относят – многолисточковость околоцветника. Тератологические изменения лилий в условиях Центральной Якутии более часты по сравнению с другими регионами за счет высокой солнечной инсоляции. Формирования фасциаций связано с резким нарастанием тепла на фоне низкой относительной влажности воздуха в начале лета, когда происходит закладка цветков и почек. При появлении таких отклонений как линейная фасциация и махровость цветка, по мнению М. А. Игнатьевой (2011), растения лилии не теряют привлекательности, а могут быть успешно использованы в декоративном цветоводстве.

Срастания цветков представляют собой достаточно распространенное явление и характерны для многоцветковых соцветий с плотным расположением цветков. К ним относят *Helianthus annuus* L., головки *Fllium*, *Cornus mas*. Значительную сложность вызывает интерпретация так называемых «дубликаций» плода у вишни, сливы и других плодов. Эти видо-

изменения носят спонтанный характер, и из-за их редкости проследить за их развитием сложно. Их можно интерпретировать двояко: как результат слияния нескольких флоральных меристем или закладки избыточных плодолистиков в фасциированном цветке (рисунок 12).

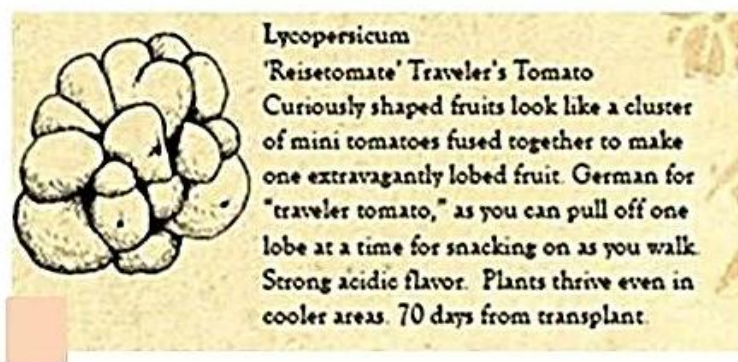


Рисунок 12 – Плоды томата сорт «Лотарингская красавица» (сверху) и фрагмент буклета известной французской селекционной фирмы Вильморен (снизу), занимающейся популяризацией новых овощных культур, Vilmorin-Andriex, 1885 г. На буклете представлен сорт томата «Путешественник», плод которого «выглядит как кластер мини-помидоров, слившихся вместе, внешне это смотрится экстравагантно как лопастные фрукты»

При развитии фасцированного цветка формируется плод с увеличенным числом плодолистиков, и во многих случаях наследственные формы фасциации закреплены при создании высокопродуктивных сортов (у клубники, киви, томата) (рисунки 12–13).



Рисунок 13 – Сорт томата лотарингская красавица с фасцированными плодами

Так называемый «флэт» происходит от английского «flat», что означает «плоский». Такие плоды получаются в условиях скученности грозди на ветке. Это происходит, когда обрезка деревьев была проведена некачественно, что привело к плотному расположению плодов киви на ветке, а также по другим объективным причинам.

Баттерфляй (от англ. butterfly – бабочка) – это своеобразные «сиамские близнецы», то есть сдвоенные, либо строенные плоды киви. При некоторой доле фантазии такие плоды действительно можно сравнить по форме с бабочкой. На рисунке 14 представлены плоды киви в разрезе, где отчетливо видна сросшаяся, вытянутая сердцевина.

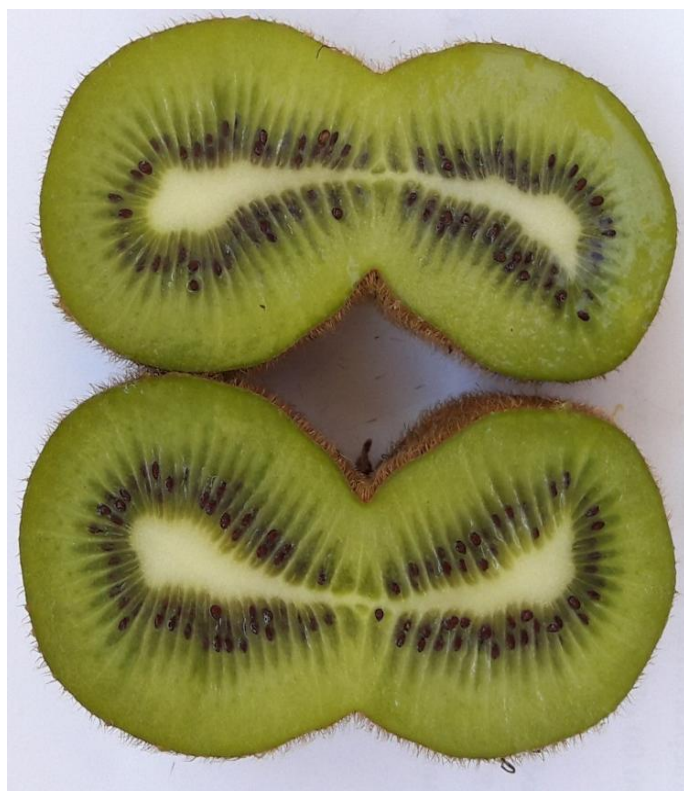


Рисунок 14 – Фасциированные плоды киви (Краснодар, 2017 г.)

Ряд авторов у различных растений явление срастания отмечают в следующих случаях:

1) фасциирование идет за счет нерасхождения боковых плетей растений или частичного утолщения стеблей за счет уменьшения числа ветвей;

2) чаще всего фасцируют органы размножения растений – цветки и завязи,

3) фасциация совершается путем отложения запаса питательных веществ, которые, заполняя собой орган, объединяют отдельные его части в одно массивное образование.

Возможно, селекция с фасцированными растениями будет идти по пути поиска уникальных генотипов с закрепленной мутацией. В производстве возделывается сорт гороха с двойными стручками (рисунок 15).



Рисунок 15 – Растение гороха посевного *Pisum sativum* L. с фасциацией (по рисунку Worsdell W. C., 1905 г.)

В некоторых случаях создание формы будут решать производственные задачи, т. е. больший размер плодов, больше урожая, в других случаях – это создание декоративных форм. Например, найденная тератная форма рогоза в г. Иванове имеет декоративную привлекательность. При искусственном создании такой формы она будет привлекать внимание своей оригинальной структурой.

В некоторых цветочных фирмах, например в Голландии, ведут разработку декоративных фасцированных соцветий герберы, как модельные объекты для украшения интерьера, как демонстрационное обучающее наглядное пособие.

Таким образом, изучение явления фасциации у высших растений могло бы дать нам с одной стороны, метод селекции на крупноплодность, с другой – установить адаптационные способности вновь создаваемых генотипов.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое фасциация? Дайте определение, приведите примеры?
2. Укажите причины, вызывающие фасциации у растений.
3. Приведите примеры полезных фасциаций и их роль в инновационных задачах селекционных исследований.
4. Какие на рынке существуют продукты с фасциацией? Укажите их базовые характеристики.
5. Где чаще всего встречаются фасциации?
6. Приведите примеры коммерческого использования фасциаций в аграрном производстве.
7. Укажите факторы, вызывающие фасциации у растений.
8. Прокомментируйте схему на рисунке 16.

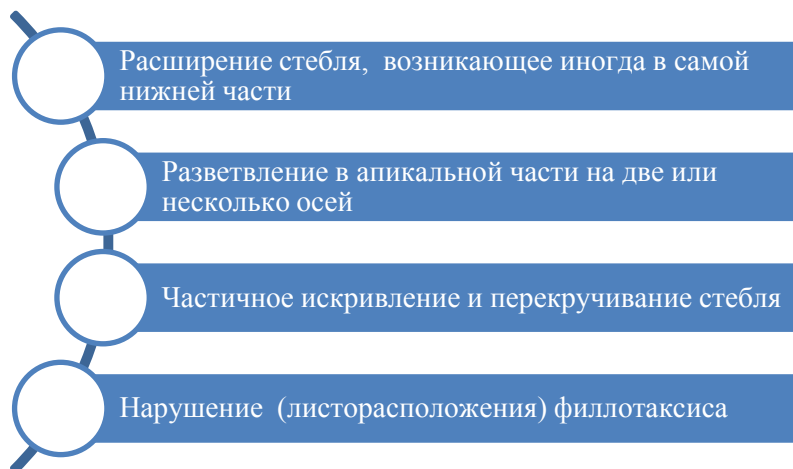


Рисунок 16

9. Приведите примеры и пояснения предметных областей, где изучается явление фасциации (рисунок 17).



Рисунок 17

7 МАРКИРОВАНИЕ И ЭТИКЕТИРОВАНИЕ РАСТЕНИЙ И СОРТОВ. ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В РЫНКЕ

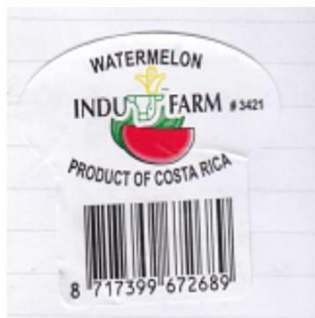
Ранее исследования по образу был проведен анализ с целью изучения истории агрокультур на основе произведений живописи, почтовой открытки, почтовой марки, наклейки на спичечные коробки, малой фарфоровой пластики, агитационном плакате и текстиле. Таким образом, изображения растений, нашедшие отражение в различных произведениях искусства, могут служить документальным материалом по истории агрономии, интродукции, археогенетики культур и их селекции.

В задачу нашего исследования входило провести анализ по образу на основе этикеток фруктов и овощей с целью установления основных трендов в развитии селекционных технологий агрокультур, инноваций в селекционном процессе.

Первые этикетки появились в начале XX в. на винных бутылках. Кроме виноделия, этикетки получили значительную популярность среди торговцев фруктами и овощами. В конце XIX – начале XX вв. продовольственный рынок вырос настолько, что производителям пришлось в буквальном смысле слова сражаться за потребителей. В результате появился особый вид литографии, специализирующейся на разработке этикеток исключительно для ящичков и жестяных банок. В период с 2012 по 2018 гг. была создана база данных по иконографическим образам этикеток, насчитывающая 565 образцов. В работе использовался метод сравнения и визуального анализа. Наиболее ярко представлен селекционный процесс на примере арбуза. В этикетках нашли отражение сочные и спелые ягоды с красной мякотью. Селекция арбуза шла на насыщение мякоти красным цветом за счет ликопина, который является каротиноидным пигментом, определяющим окраску плода. Современные сорта характеризуются высоким содержанием сахаров, малым количеством косточек, а у некоторых форм они полностью отсутствуют (рисунки 18–19).



а



б



в



г



д

Рисунок 18 – Разнообразные плоды арбуза:
а, б – ягода с красной мякотью, в – арбуз без семечек;
г – ягода с желтой мякотью, д – мини-арбузы

Кроме того, в современном селекционном рынке преобладают арбузы с желтой мякотью. Первый желтый арбуз появился как сорт в Таиланде. В других странах – США и странах средиземноморья продаются наравне с арбузами с красной мякотью. Гибриды с желтой мякотью были получены в России, Польше, Чехии, Израиле и США. По вкусовым качествам они аналогичны арбузам с красной мякотью. Сейчас на рынке желтые арбузы представлены сортами и гибридами: Лунный, Оранж Кинг, Желтый дракон, Желтый мяч.

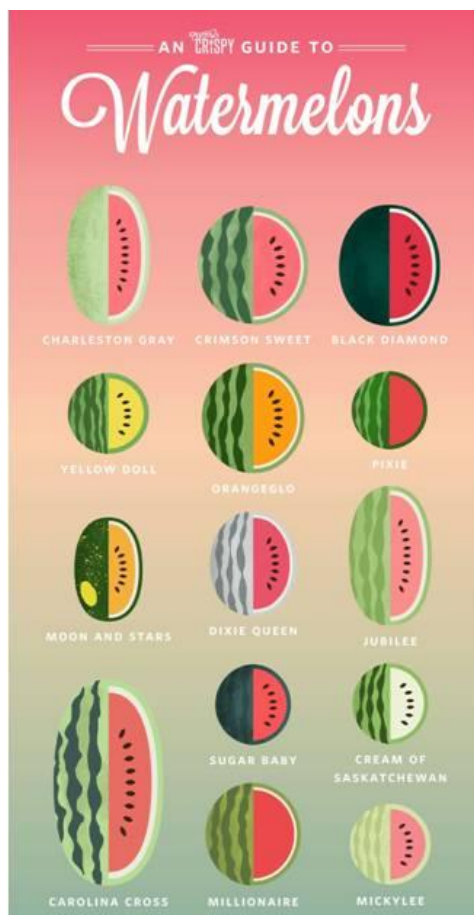


Рисунок 19 – Буклет об инновационных подходах в селекции арбуза. Окраска мякоти меняется от розовой, белой, красной, желтой, светло-желтой. Мякоть арбуза с косточкой и без

Другим направлением селекционной работы с арбузом являются мини-арбузы, вес плода колеблется от 800 г до 1,2 кг. Такие арбузы еще называют порционными. Выращивают их в Америке и Азии, экспортируют затем в разные страны мира (см. рисунки 18, д, 19).

В селекции дыни за последние 200 лет также были достигнуты большие успехи, что отражено на этикетках с разны-

ми плодами данной культуры. Как пишет Н. И. Кичунов, многие сорта дыни в начале века «далеко не способны вызвать восторга по части вкуса их потребителей». На сегодняшний день современные сорта дынь характеризуются сладкой мякотью, ароматом, нежным вкусом. Н. И. Вавилов называл селекцию искусством. И результаты селекционной работы, представленные в этикетках фруктов и овощей, являются доказательством художественного подхода к изменению архитектуры растений, их вкусовых качеств и морфологических признаков. Американский селекционер Лютер Бёрбанк (1849–1926) потратил 18 лет, работая с кактусом опунция, чтобы получить формы без колючек. Работа была тяжелой и кропотливой, и в итоге результат был достигнут. Сегодня во многих странах разводят кактус-опунцию без колючек и продают плоды с обязательной инструкцией, как их разделявать (рисунок 20).

Желтый киви (арт-киви) относится к видам актинидии китайской. Желтый киви или голд-киви впервые был выведен как сорт в 1992 г. в Новой Зеландии, селекционером А. Аллисондом. Желтый киви гораздо слаще обычного – зеленого. Сегодня его выращивают в Италии, Чили, Греции, Франции, Японии, Иране, Турции, США и Испании.

Среди перцев можно выделить сорта болгарского перца названные «Тигром», из-за полосок желтого и оранжевого в окраске плода (рисунок 20, в). Анализ по образцу этикеток фруктов и овощей позволил выделить несколько селекционных трендов в современном рынке:

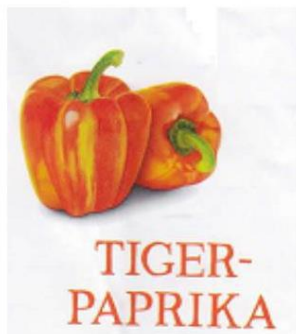
- изменение вкусовых качеств;
- новые формы окраски, «артистические окраски», которые ранее не встречались;
- изменения некоторых морфологических свойств, что делает плоды более привлекательными.



а



б



в

Рисунок 20 – Этикетки:

а – с кактусом – опунцией без колючек; б – с плодами желтого киви;
в – с плодами перца тигровой окраски

Сбор и обработка информации по образу на этикетках позволяет получить дополнительную информацию о селекционном процессе, учит наблюдательности и может быть применен как самостоятельный инновационный подход подачи информации, как в учебном, так и научном процессе.

Контрольные вопросы и задания

1. Для чего нужно этикетирование фруктов и овощей?
2. Какие инновационные подходы используются при этикетировании сельскохозяйственных растений (рисунок 21)?
3. Какие инновационные подходы используются при этикетировании плодов сельскохозяйственных растений?
4. Приведите примеры истории инновационных достижений при этикетировании сельскохозяйственной продукции.
5. Прокомментируйте картину Л. Бёрбанка (рисунок 22) и выращивание опунции в Сискеи. В чем был инновационный подход его работ?



Рисунок 21

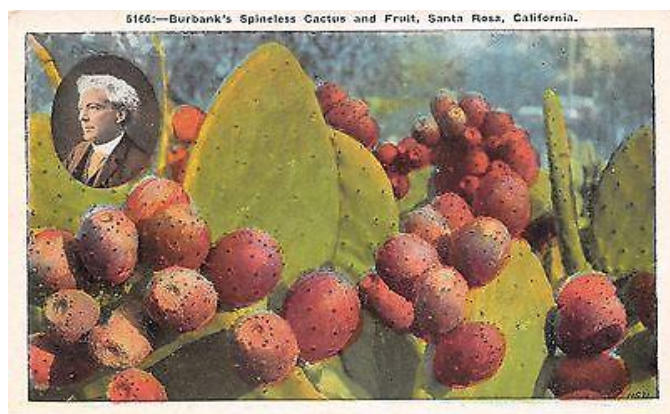


Рисунок 22

8 АРХЕОГЕНЕТИКА РАСТЕНИЙ И ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В РЕШЕНИИ СЕЛЕКЦИОННЫХ ЗАДАЧ

Среди направлений генетических исследований появление археогенетики как отдельной дисциплины сформировалось сравнительно недавно. Археогенетику определяют как область исследований молекулярной генетики, в которой методы популяционной генетики применяются к изучению истории человечества. Первоначально автором термина «археогенетика» является британский археолог Колин Ренфрю. В 1963 г. Эмиль Цукеркандль и химик Лайнус Полинг предложили термин «палеогенетика», а «крестным отцом» новой дисциплины стал биолог Сванте Паабо. Археогенетика, область исследований, находящаяся на стыке археологии и молекулярной генетики, занимается генетическими исследованиями древней ДНК, содержащейся в биологических останках и ископаемых организмах.

Позже американским генетиком Джулианом Джеником было введено понятие «археогенетика растений», где рассматривалось происхождение исторических форм различных культур с помощью визуального анализа, в частности образов произведений искусства.

К методам археогенетики относят анализ ДНК, полученный из археологических останков (древней ДНК, англ. aDNA), рассмотрение древних видов растений на художественных полотнах, керамике, чеканке и монетах, агроботанической иллюстрации, гобеленах, древних манускриптах, мелкой пластике, марках и т. п.

Для проведения визуального анализа образов сельскохозяйственных растений первой задачей является создание коллекции образов, позволяющих проследить трансформацию образа и найти новую парадигму. Таким образом, тема визуального анализа, т. е. работы по образу, с включением междисциплинарного подхода, а именно использования знаний по

генетики, биотехнологии, истории, лингвистики, становится актуальной в современном мире. Методический инструментальный визуального анализа нацелен на то, чтобы посредством целенаправленного отбора, создания и анализа изобразительных текстов возможно получить значимую информацию относительно объекта изучения.

В качестве еще одного примера рассмотрим видовое разнообразие растений баклажана изображенных на картинах японских художников с XV по XX вв. Использование иконографических образов культурных растений в истории, археогенетике и распространении культурной флоры становится одним из методов изучения.

Первая работа по анализу иконографии баклажана была сделана Мари-Кристиан Даунай и Джулианом Яником, в которой авторам удалось проследить первые этапы возрождения этой культуры, затем ее распространение по странам и континентам. Выбор японской живописи обосновывается тем, что в картинах японских художников детально изображено разнообразие местных генотипов на протяжении четырехсот лет. Японская живопись отражает в деталях биологическое разнообразие растения, а многочисленные картины позволяют увидеть видовое разнообразие, распространение в диком виде и культуре, а также его народно-хозяйственное значение.

В работе использовался метод работы по образцу – иконографический анализ. Была создана база данных, насчитывающая 65 образов. Живописные образы были взяты из различных каталогов выставок, книг по искусству Японии, с сайта Reader Collection, насчитывающего картины более 1000 художников с изображением цветов и птиц.

Баклажан как овощное растение имеет широкую площадь распространения – от северной части Индии и Бирмы до Северного Таиланда, Лаоса, Вьетнама, Северного Китая, Японии, и как дикое растение может встречаться в различных странах мира.

Мировое производство баклажана как овощной культуры достигает 31 млн т. Ведущими производителя являются: Китай (17 млн т), Индия (10,6 млн т), Египет (1,23 млн т), Турция (0,9 млн т), Япония и Италия (0,4 млн т).

Баклажан, по мнению А. И. Филова (1958), представлен в Восточной Азии особыми агроэкологическими группами местных сортов: японской скороспелой и северокитайской.

Е. Н. Синская, будучи в экспедиции на юге Японии, встречала там крупноплодные и поздние сорта баклажана, занесенные сюда из Южной Азии. На картине «Книга насекомых» художника Китагава Утамаро (1753–1806) изображен крупноплодный баклажан. На остальных полотнах можно увидеть шаровидные и продолговатые формы с фиолетовой и белой окраской, чашечкой с колючками: Тойота Хоккей (1780–1850) «Баклажаны», из серии «Три счастливых сна»; Окамото Джоен, (1628–1673); Ракузан Тсутия (1896–1976); Утагава Хиросигэ (1797–1858) «Рыбы с цветущими баклажанами», а также несколько картин, авторы которых не были установлены, относящиеся к эпохе Эдо, где изображены рядовые посевы баклажана [3].

Также на картинах японских художников мы видим основные цвета этого овоща – от темно-синего до белого, форма шаровидная, вытянутая, встречаются крупноплодные виды (рисунки 23–24).

Изучение образов баклажана в картинах японских художников несет в себе инновационный подход, так как позволяет выделить несколько важных блоков:

- использование баклажана в горшечной культуре;
- селекция на скороспелость, путем создания мелкоплодных форм.

Н. И. Вавилов в книге «Пять континентов» отмечал, что в Японии встречаются мелкоплодные, даже карликовые формы баклажана, отличающиеся скороспелостью. Подтверждением этому может выступать картина «Гора Фудзи, сокол и бакла-

жан» Харунобу Судзуки (1725–1770), на которой изображено растение баклажана, выращенное в горшечной культуре.

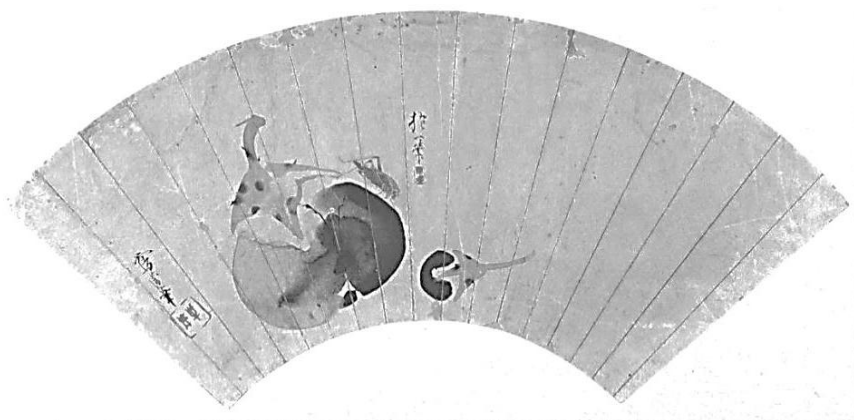


Рисунок 23 – «Кузнечик и баклажан», Сакая Охо (1808–1841).
Видовое разнообразие баклажана по форме плода – крупная и мелкоплодная



Рисунок 24 – Видовое разнообразие баклажана по цвету плода (желтый, фиолетовый и белый):

- а – «Баклажан», Окамото Джоен (1628–1673);
- б – «Баклажан и воробей», Котозука Эйити (1906–1979);
- в – «Баклажаны», Тойота Хоккей (1780–1850)

Баклажан достиг Японии в VIII в., во времена правления династии Танг. Анализ картин японских художников, таких как: Катусико Хакусай (1760–1849); Экаку Хакуин (1685–1768); Огато Корин (1658–1716); Шибата Зешин (1807–1891); Исода Корюсай (1658–1716), «Сокол, баклажан и Фудзи», «Женщины и баклажаны»; Окамото Джоен, «Баклажаны» (1628–1673); Китагава Утамаро (1753–1806), «Книга насекомых»; Ракузан Тсутия (1896–1976); Енье Таката (начало XXI в.), «Баклажан и Вигна», «Баклажан»; Кобаяши Кокеи (1892–1974); Сосеки Косе (1843–1919), «Баклажан и огурец»; Иссуи Номура (середина XX в.), «Каштан и баклажан»; Сакаи Охо (1808–1841), «Баклажан и кузнечик»; Ссе Гессшо (1772–1832); Утагава Хиросигэ (1797–1858), «Рыбы с цветущими баклажанами»; Утагава Хиросигэ (1797–1858), «Две ставриды и баклажаны»; Сюмман Кубо (1757–1820); Китагава Утамаро (1753–1806); Набаяши Чикүто (1776–1853), «Бобы, баклажан и редис», «Овощи»; Шиокава Бунрин (1808–1877), «Баклажан и воробей»; Харунобу Судзуки (1725–1770), «Гора Фудзи, сокол и баклажан» позволили выделить ряд видовых особенностей.

Наличие различных по размеру и форме плодов – от маленьких и округлых до крупноплодных и удлинённых. Варьирование по цвету: от белого до насыщенно фиолетового и желтого. По скорости созревания: мелкоплодной формы – скороспелые, о чем свидетельствует картина неизвестного автора «Первые весенние дни» (начало XVIII в.), что позволяет судить о сборе нескольких урожаев баклажана в условиях муссонного климата Японии. Интересной особенностью культуры баклажана в этой стране является возможность выращивания его в горшечной культуре и способности хорошо плодоносить (рисунок 25).

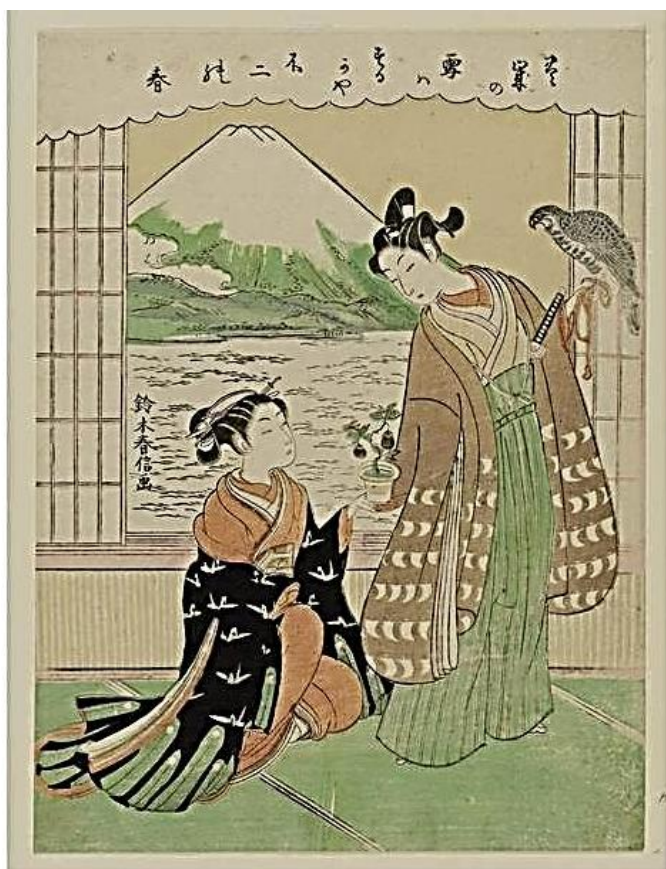


Рисунок 25 – Изображение карликовых форм баклажана.
«Гора Фудзи, сокол и баклажан», Харунобу Судзуки (1725–1770)

Также иконографический анализ позволил отметить, что баклажаны употребляли в пищу рыбы, что можно увидеть из картины Утагава Хиросигэ (1797–1858), «Рыбы с цветущими баклажанами» и «Две ставриды и баклажаны».

Наличие большого количества образов баклажана в Японской живописи указывает на широкое распространение данной культуры и ее народно-хозяйственное значение.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое археогенетика?
2. Кто ввел термин археогенетика?
3. Приведите примеры областей, где используется археогенетика.
4. Какие выделяют базовые подходы при формировании баз данных образов растений?
5. Какие визуальные ресурсы могут быть использованы при формировании базы данных образов растений? Приведите примеры.
6. Охарактеризуйте этапы создания базы образов данных образов растений.
7. В чем преимущества иконографического анализа в исследовании археогенетики тыквенных культур?
8. Прокомментируйте рисунок 26. Как в нем отражены элементы инновационных достижений в селекции арбуза?



С. Ватанабе, 1892 г.



Рисунок 26

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии представлены различные направления инновационной деятельности, связанные с селекцией и генетикой сельскохозяйственных растений. Поскольку современный рынок аграрных технологий наполняется новыми идеями, технологиями и методами, то будущим специалистам необходимо дать представления в разнообразной сфере инновационных идей.

В курсе дисциплины «Инновационные технологии в агрономии» раскрывается история возникновения инноваций, пути их развития, современные тенденции.

В пособии уделено достаточно внимания технологии визуального фенотипирования, созданию моделей, этикетированию, получению полиплоидных генотипов, роли полиплоидии в современной селекции, рассмотрены вопросы археогенетики растений.

Через образ, который нашел отражение в произведениях искусства, показано, что можно получить объемную информацию, достоверно отражающую проявление того или иного признака у растения. В качестве уникального примера представлен материал по чалмовидным формам тыквенных культур, археогенетика арбуза.

В приложении приведен визуальный материал по курсу, а также представлены ресурсы сети Интернет.

Некоторые задания представлены в виде схем и рисунков, нацелены на развитие нескольких видов памяти.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабикина А. В. Растение как объект биотехнологии / А. В. Бабикина, Т. Ю. Горпенченко, Ю. Н. Журавлев // Комаровские чтения. – 2007. – № 55. – С. 184–211.
2. Беспалова Л. А. Развитие генофонда как главный фактор третьей зеленой революции в селекции пшеницы / Л. А. Беспалова // Вестник российской академии наук. – 2015. – Т. 85. – № 1. – С. 9–11.
3. Вавилов Н. И. Пять континентов / Н. И. Вавилов. – М. : Мысль, 1987. – 456 с.
4. Вавилов Н. И. Ботанико-географические особенности селекции / Н. И. Вавилов // Избранные произведения. В 2 т. – Л. : Наука, 1967. – Т. 1. – С. 343–405.
5. Вавилов Н. И. Центры происхождения культурных растений / Н. И. Вавилов // Избранные произведения. В 2 т. – Л. : Наука, 1967. – Т. 1. – С. 88–247.
6. Коваль С. Ф. Пахари и скотоводы / С. Ф. Коваль. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. – 468 с.
7. Кудряшов И. Н. Актуальность сортовых структур при производстве озимой пшеницы в современных условиях / И. Н. Кудряшов, Л. А. Беспалова, Д. А. Пономарев // Агронабфोरум. – 2016. – № 7 (147). – С. 70–72.
8. Митрофанова О. П. Генетические ресурсы пшеницы в России: состояние и предселекционное изучение / О. П. Митрофанова // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2012. – Т. 16. – № 1. – С. 10–20.
9. Хромосомная инженерия и селекция с применением ДНК-маркеров-перспективные биотехнологические подходы к улучшению пшеницы / С. В. Осипова [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2014. – №. 3 (8).
10. Синская Е. Н. Историческая география культурной флоры (на заре земледелия) / Е. Н. Синская. – Ленинград : Колос, 1969. – 480 с.

11. Тагиров М. Ш. Инновационная роль сорта и производства семян в современном растениеводстве / М. Ш. Тагиров // Аграрный вестник Юго-Востока. – 2014. – №. 1–2. – С. 14–15.

12. Цаценко Л. В. Анализ изображения лагенарии (*Lagenaria siceraria* (Molina) standl.) в живописи как источник информации для истории интродукции и археогенетики культуры / Л. В. Цаценко // Науч. журн. КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2013. – № 3 (87). – С. 169–181. – IDA [article ID]: 0871303011. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/03/pdf/11.pdf>.

13. Цаценко Л. В. Анализ полиморфизма плодов у бутылочной лагенарии *Lagenaria siceraria* (molina) standl. на основе образов произведений искусства / Л. В. Цаценко // Науч. журн. КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2013. – № 9 (093). – С. 1343–1353. – IDA [article ID]: 0931309092. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/09/pdf/92.pdf>.

14. Цаценко Л. В. Метод скетчей в археогенетике и селекции сельскохозяйственных растений / Л. В. Цаценко // Науч. журн. КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – № 2 (106). – С. 1083–1097. – IDA [article ID]: 1061502071. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/02/pdf/71.pdf>.

15. Цаценко Л. В. Ботаническая иконография тыквенных культур : учеб. пособие / Л. В. Цаценко. – Краснодар : КубГАУ, 2017. – 97 с.

16. Цаценко Л. В. Изображение растений, как материал для анализа в генетике и селекции / Л. В. Цаценко. – Германия : Ламберт Академик Пресс, 2014. – 85с.

17. Цаценко Л. В. Инновационные технологии в селекции и семеноводстве сельскохозяйственных растений. Учебное пособие / Л. В. Цаценко. – Краснодар : КубГАУ, 2017. – 99 с.

Приложение А

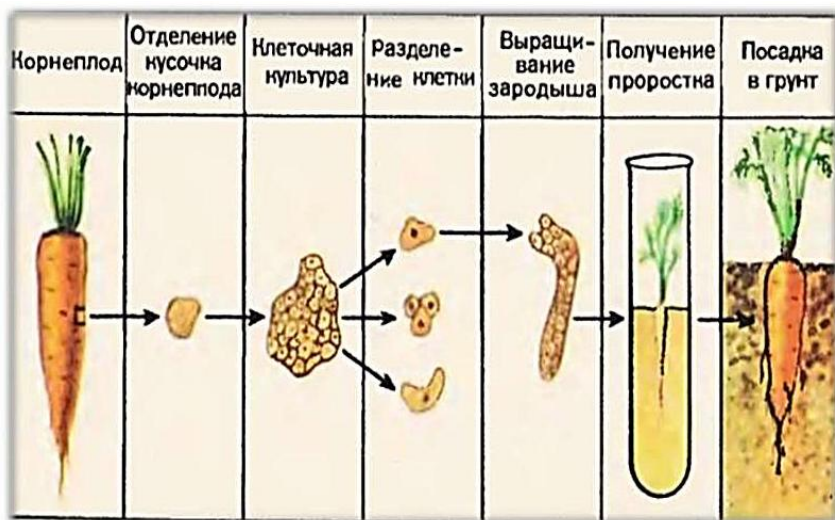


Рисунок А1 – Выращивание в культуре клеток и тканей растений «in vitro»

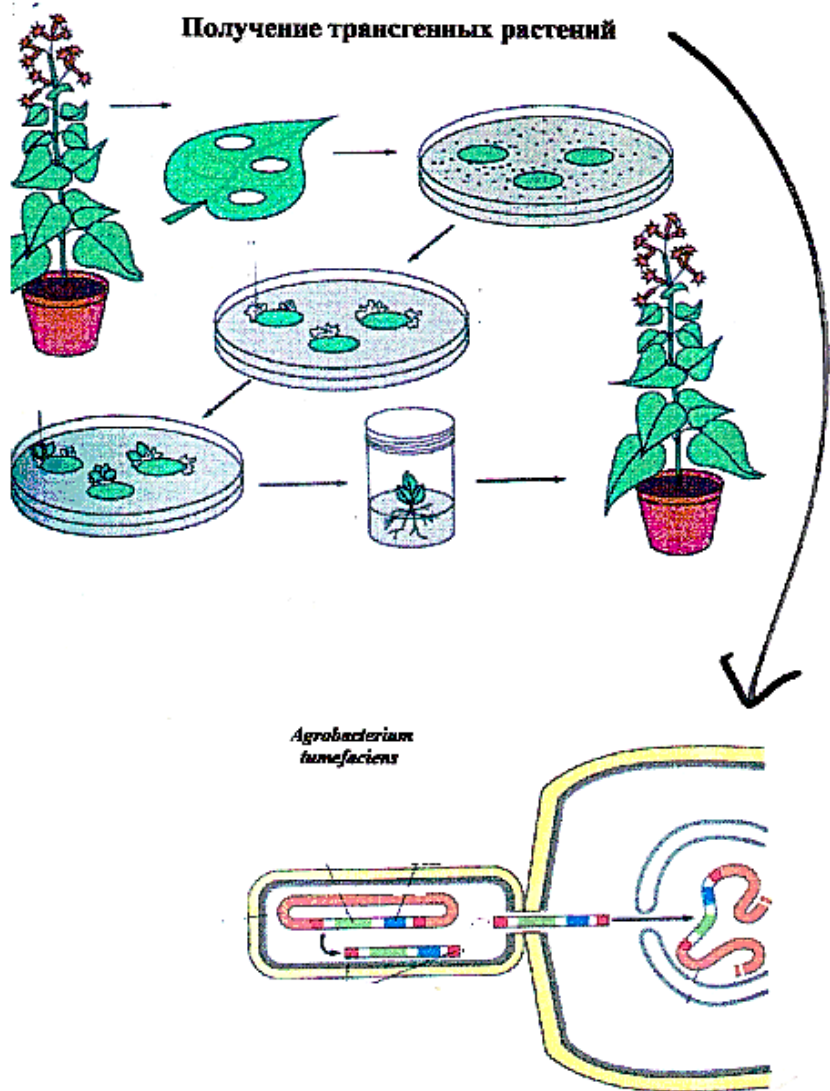


Рисунок А2 – Этапы выделения растительного образца, культурального размножения и отбора

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 ВИЗУАЛЬНОЕ ФЕНОТИПИРОВАНИЕ РАСТЕНИЙ.....	5
1.1 Морфометрическая характеристика колоса	5
1.2 Метод высокопроизводительного фенотипирования.....	8
1.3 Получение и анализ изображений.....	14
2 ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СЕЛЕКЦИИ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ	19
2.1 История вопроса.....	19
2.2 Инновационные технологии в селекции зерновых культур	24
2.3 Инновационные технологии в селекции зернобобовых, масличных и других культур	25
2.4 Инновационные технологии в селекции цветочных культур	28
3 ХРОМОСОМНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ.....	31
3.1 Геном пшеницы.....	32
3.2 Селекция с применением ДНК-маркеров	35
4 ПОЛИПЛОИДИЯ И ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В СЕЛЕКЦИИ РАСТЕНИЙ	40
4.1 Виды полиплоидов	40
4.2 Методы идентификации полиплоидных растений	44
4.3 Роль полиплоидии в эволюции и селекции	45

5 РАСТЕНИЯ В БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ.....	49
6 ФАССИАЦИЯ И ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В СОЗДАНИИ НОВЫХ СОРТОВ	61
7 МАРКИРОВАНИЕ И ЭТИКЕТИРОВАНИЕ РАСТЕНИЙ И СОРТОВ. ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В РЫНКЕ	68
8 АРХЕОГЕНЕТИКА РАСТЕНИЙ И ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В РЕШЕНИИ СЕЛЕКЦИОННЫХ ЗАДАЧ.....	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	81
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	82

У ч е б н о е и з д а н и е

Цаценко Людмила Владимировна

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В АГРОНОМИИ:
СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО**

Учебное пособие

В авторской редакции
Дизайн обложки – Н. П. Лиханская

Подписано в печать 26.01.2020. Формат 60 × 84 ¹/₁₆.
Усл. печ. л. – 5,1. Уч.-изд. л. – 4,0.
Тираж 30 экз. Заказ №

Типография Кубанского государственного аграрного университета.
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13