

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Майкопский государственный технологический университет»

Экологический факультет

Кафедра ландшафтной архитектуры и лесного дела

**«Генетика, селекция, биотехнологии в лесном хозяйстве  
и садово-парковом строительстве»**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
для самостоятельной работы бакалавров и магистров направления  
подготовки  
«Лесное дело и Ландшафтная архитектура»

Майкоп 2023

УДК [630.2+712.3]:631.52(07)

ББК 28.54

Г 34

**Рекомендованно к изданию учебно-методическим советом  
кафедры Ландшафтной архитектуры и лесного дела ФГБОУ ВО  
«МГТУ»**

***Рецензент*** – доц., канд. биол. наук Бжецева Н.Р.

***Составители*** доц., канд. с.-х. наук, доц. Трушева Н.А.,  
доц., канд. биол. наук, Варзарева В.Г.

Методические рекомендации для самостоятельной работы бакалавров и магистров направления подготовки «Лесное дело и Ландшафтная архитектура»

Методические рекомендации предназначены в помощь бакалаврам направления подготовки 35.03.10 Ландшафтная архитектура, 35.03.01 Лесное дело и магистрам 35.04.09 Ландшафтная архитектура и включают в себя примерную программу по генетике и селекции растений, возможные вопросы для контрольных работ, промежуточной и итоговой аттестации, список литературы, ссылки на сайты научно-популярной информации

## Содержание

1. Структурно-функциональная организация генома растений и анализ функций гена	4
2. Системы размножения растений и их генетический контроль	5
3. Генетические методы селекции	7
4. Генетика иммунитета растений	9
5. Генетика онтогенеза растений	10
6. Генетические технологии растений в решении задач селекции и семеноводства	11
7. Литература	17

## 1. Структурно-функциональная организация генома растений и анализ функций гена

Структурно-функциональная организация [генома](#) одно- и двудольных растений на примере модельных растительных объектов: (*Oriza sativa*, *Brachypodium distachyon*, *Arabidopsis thaliana*, *Lotus japonicus*). Представление о [гомологии](#) и гомеологии, [синтении](#) и [колинеарности](#) геномов. Принципы [сравнительного картирования](#). Внутривидовой [полиморфизм](#) геномов растений, методы анализа. Молекулярные ДНК-маркеры и их роль в генетических исследованиях и селекции. Основные классы молекулярных маркеров.

Геном хлоропластов и митохондрий. Особенности организации хлоропластного генома, кольцевые молекулы ДНК. Вариабельность размера генома хлоропластов и ее причины. Взаимодействие ядерного и хлоропластного геномов (на примере ядерных генов GUN-1,2,5 и [РДФ-карбоксилазы](#)). [Гены Rubisco](#). Ядерные гены как регуляторы [экспрессии хлоропластных генов](#). Доказательства [эндосимбиотического происхождения](#) пластид. Особенности организации [Мт-генома](#), [консервативность мт-генов и высокая вариабельность](#) в порядке их расположения. Взаимодействие ядерного, хлоропластного и митохондриального геномов.

Мобильные генетические элементы растений. Контролирующие элементы растений и история их открытия, от [Б. Мак Клинтон](#) до настоящего времени. [Аси Ds-элементы Z.mays](#). Типы транспозонов растений и их распространенность

В геномах других растений. Влияние мобильных элементов на изменение геномной структуры растений и активности генов. Роль [транспозонов](#) в эволюции геномов растений и горизонтальном переносе. Молекулярное одомашнивание транспозонов. Влияние мобильных элементов на изменение геномной структуры растений. Роль транспозонов в регуляции активности генов. [Молекулярное одомашнивание](#) транспозонов. Использование систем Enhancer-Inhibitor system (En-I); Enhancer-

Suppressor-mutator (Sp-m);Activator-Dissociation (Ac-Ds) для маркирования генома, картирования и установления функции гена.

[Транспозонный мутагенез](#) растений. Транспозоны как генетический инструмент для исследования функции гена и белка. Использование транспозонов для направленного мутагенеза и [инактивации гена](#). Клонирование генов с помощью «вытягивания за транспозон». Однокомпонентная система на основе Ac-элемента кукурузы с [CaMV 35S-промотом](#). [Двухкомпонентная системы Ac/Ds](#) и другие системы транспозонов. Инсерционный T-ДНК и транспозонный мутагенез как инструмент для создания трансгенных растений, используемых в качестве модели для изучения функции гена. Выявление трансформантов в популяциях T2 и T3. Необходимый размер выборки для выявления [инсерции](#) по целевому гену. Выделение генов, маркированных инсерцией. Преимущества и недостатки инсерционных, ЭМС-индуцированных и [делеционных](#) мутантов для решения задач функциональной геномики.

Мутационный анализ для изучения функции генов. Методы прямой и обратной генетики для установления функции гена, современные подходы. Маркирование генома протяженными делециями, вызванными быстрыми нейтронами. Проект DEL-a-GENE – новая стратегия в изучении функции дуплицированных генов. Применение метода геномного вычитания для клонирования генов. Использование [ЭМС](#)-индуцированных мутаций в мутационном анализе.

Эпигенетические механизмы регуляции экспрессии генов и их особенности.

## **2. Системы размножения растений и их генетический контроль**

Жизненные циклы растений. Генетические эффекты при вегетативном и половом размножении, при самоопылении и перекрестном оплодотворении. Несовместимость, Гетероморфная и гомоморфная. Основные

принципы функционирования гаметофитной и спорофитной систем гомоморфной несовместимости (SI). Гены, контролирующие синтез распознающих субстанций в пыльце и ткани пестика. Множественные аллели генов несовместимости и их гаплотипы. Молекулярно-генетические механизмы проявления гаметофитной и спорофитной систем несовместимости. Гены, контролирующие синтез распознающих субстанций в

пыльце и ткани пестика. Множественные аллели генов несовместимости и их гаплотипы. Механизмы однолокусной (S-локус) несовместимости: гаметофитная несовместимость с S-РНК-азным женским детерминантом (Solanaceae); спорофитная несовместимость с S-гликопротеиновыми женскими (SRK) и мужскими (SCR) детерминантами, роль siRNA в регуляции реакции самонесовместимости. Мутации генов несовместимости (SI) и проявление само-совместимости (SC). Трансгенная модель получения самонесовместимости у природного самоопылителя

*A. thaliana*, значение данного эксперимента для создания самоопыляющихся трансгенных растений. Биологическое значение несовместимости в поддержании гетерозиготности популяций.

Двудомность как крайний случай проявления несовместимости. Структурно-функциональная организация половых хромосом двудомных растений на примере *Carica papaya*, *Silene latifolia* и *Rumex acetosa*. Генетический контроль поддержания двудомности.

Апомиксис – природная форма вторично-бесполого размножения. История изучения апомиксиса. Нарушение процесса двойного оплодотворения у цветковых растений как причина образования апомиктичных семян. Основные типы апомиксиса, его распространение и эволюционная роль. Гаметофитный апомиксис и нарушение мейоза (апомейоз) и спорофитного с участием клеток интегумента. Генетический контроль апомиксиса. Мутанты *A. thaliana* с нарушениями мейоза (*nzz*; *swi1/dyad*) и образование апомиктичных семян. Гены-кандидаты апомиксиса. Апомиксис и

его практическое значение. Эпигенетический механизм проявления апо-миксиса у мутантов ago104 кукурузы и ago9 арабидопсис. Роль и функция белков [Argonaute](#) и RBR в контроле развития женского гаметофита.

Координированное развитие зародыша и эндосперма, гены [FIS2](#), [FIE](#), [MEA](#), [PHERES1 A.thaliana](#). Гены [MET1](#) и [DME регуляторы экспрессии материнского аллеля гена MEA](#) в эндосперме. Явление импринтинга материнских и отцовских аллелей при развитии эндосперма, эпигенетический механизм импринтинга.

### 3. Генетические методы селекции

Полиплоидия. Механизмы возникновения полиплоидов и их классификация, автополиплоиды и [аллополиплоиды](#). Полиплоидное происхождение важнейших культурных растений. Палеополиплоиды и неополиплоиды. Роль отдаленной гибридизации в возникновении видов, реконструкция геномов растений. Явление гетерозиса и гипотезы о механизмах его проявления. Генетические эффекты при полиплоидии. Судьба дублированных генов у аллополиплоидов. Влияние полиплоидизации на экспрессию генов у аллополиплоидов: явление замолкания дублированных генов ([реципрокное](#) и органспецифичное), диверсификация функции, изменение уровня экспрессии. Эпигенетический механизм замолкания генов. Синтетические [полиплоиды арабидопсис](#) для изучения экспрессии дублированных генов в ряду поколений. Роль полиплоидии в эволюции геномов растений и видообразования. Структура аллополиплоидных геномов пшеницы, хлопчатника, тритикале, и др. Практическое использование разных типов полиплоидов.

Анеуплоидия для решения задач картирования генов. Типы [анеуплоидов](#). [Моносомный](#) и [нуллисомный](#) анализ на примере пшеницы. Примеры применения анеуплоидии растений в решении практических задач генетики и селекции растений.

Гаплоиды естественные и искусственные. Методы получения гаплоидов: близнецовый метод, псевдогамия, индуцированный андрогенез в культуре пыльников, гибридизация с другими видами и селективная элиминация хромосом в гибридном зародыше. Практическое использование и значение гаплоидов в селекционном процессе.

Цитоплазматическая мужская стерильность растений (ЦМС). Кольцевые и линейные ДНК митохондрий растений. Повторы и внутримолекулярная рекомбинация. РНК-редактирование мт-ДНК и химерные гены. Роль Мт-химерных генов в проявлении ЦМС. ЦМС как пример взаимодействия ядерных и митохондриальных генов. Молекулярно-генетические механизмы восстановления фертильности пыльцы, гены-восстановители фертильности (Rf), роль PPR белков. Специфичность Rf-генов к типу ЦМС. Типы цитоплазмы кукурузы – Т (техасский), С (чарруа) и S (молдавский) и проявление ЦМС. Механизм действия генов-восстановителей ЦМС на примере кукурузы С- S- и Т-цитоплазмой. Экономическое значение мутаций митохондриального генома и проявления ЦМС. Использование ЦМС в селекционном процессе. Генетическая схема получения [межлинейных гибридов](#) на основе мутаций ЦМС и восстановителей фертильности. Распространение практического применения явления ЦМС в селекции сельскохозяйственных культур.

Спонтанный и индуцированный мутагенез у растений. Ядерные и цитоплазматические мутации. Основы закона гомологических рядов наследственной изменчивости Н.И. Вавилова. Индуцированный мутагенез растений физическими, химическими мутагенами и тяжелыми металлами. Спектр возникающих мутаций. Особенности выявления индуцированных мутаций у растений. Основные принципы выделения мутаций у самоопылителей, перекрестников и вегетативно размножаемых растений. Химеры, структура химерного растения и судьба мутантного сектора в онтогенезе.



Особенности генетического анализа растений и выявления мутантов в M1-, M2-, M3-поколениях. Генетически эффективные клетки и их роль в проявлении индуцированных мутаций. Типы мутаций и методы их выделения. Хлорофильные и эмбриолетальные мутации. Растительные тест-системы для оценки мутагенного действия различных соединений и факторов окружающей среды. Селекционные достижения с использованием метода мутагенеза.

Хромосомная инженерия растений. Манипуляции хромосомным составом растений на уровне целых геномов, отдельных хромосом и их сегментов с целью увеличения генетического разнообразия культурных видов.

#### **4. Генетика иммунитета растений**

Понятие иммунитета растений. Вклад Н.И. Вавилова в изучении проблемы иммунитета. Основные возбудители болезней и вредители растений. Практическое значение изучения генетики иммунитета растений.

Основные типы иммунитета растений. Врожденный активный иммунитет — устойчивость к болезни, которая обеспечивается свойствами растений, проявляющимися у них только в случае нападения патогена. Типы активного иммунитета

— неспецифичный (базовый иммунитет или горизонтальная устойчивость) и специфичный (вертикальная или расоспецифическая устойчивость). Приобретенный иммунитет растений, особенности, отличия от приобретенного иммунитета животных.

Молекулярно-генетические механизмы неспецифического врожденного иммунитета растений. Рецепторы врожденного неспецифического иммунитета и их [лиганды](#). Структура рецепторов PRR. Активирующие их лиганды PAMP, HAMP, DAMP — чужеродный биоматериал, по-

павший на поверхность клетки. Консервативность рецепторов неспецифического иммунитета (на примере рецепторов [флагеллина](#) растений и животных). Другие компоненты иммунного ответа.

Молекулярно-генетические механизмы специфического врожденного иммунитета. Эффекторные молекулы патогенов ([элиситоры](#)) и их рецепторы (R – белки). Доменная структура рецепторов, основные типы. LRRs – структурная основа иммунного ответа растений. R-гены типа I – самые полиморфные гены растений. Теория сопряженной эволюции хозяина и паразита. Гипотеза Флора «ген на ген». Функция салициловой кислоты, жасмоновой кислоты, этилена и др. гормонов в иммунном ответе. Реакция сверхчувствительности. Различия ответа на повреждение биотрофами, некротрофами и насекомыми. Антогонизм сигнальных путей, участвующих в защите от биотрофов и некротрофов. Влияние патогенов на развитие иммунного ответа.

Сторожевая модель иммунитета. Аутоиммунные реакции у растений. Явление гибридного некроза — распространенность и генетический контроль. Роль мобильных иммунных сигналов в развитии системного приобретенного иммунитета и иммунной памяти.

## **5. Генетика онтогенеза растений**

Общие принципы регуляции развития растений. Генетические основы регуляции развития растений фитогормонами. Генетический контроль морфогенеза растений. Генетический контроль развития разных доменов зародыша. Генетический контроль развития апикальной меристемы побега, листа, корня. Генетический контроль инициации цветения, развития меристемы цветка и органов цветка. [АВС-модель генетического контроля развития цветка.](#)

## **6. Генетические технологии растений в решении задач селекции и семеноводства**

Генетическая инженерия растений. История получения трансгенных растений. Методы получения трансгенных растений. Прямые методы получения трансгенных растений. Векторы для генетической трансформации растений. Создание [коинтегративных](#) и [бинарных](#) векторов для переноса чужеродной ДНК. Использование селективных маркеров и [репортерных генов](#).

Области применения трансгенных растений. Получение качественно новых продуктов на основе трансгенных растений: с замедлением созревания и контролируемым созреванием; улучшение пищевых и технологических свойств; устойчивые к гербицидам; устойчивые к насекомым-вредителям; устойчивые к болезням и др.

Метаболическая инженерия на основе трансгенных технологий – воссоздание отсутствующих метаболических путей. Трансгенные растения риса с каротиноидами, трансгенные растения томата с плодами, накапливающими антоциан, голубые розы и гвоздики. [Трансгенные растения](#) – продуценты фармацевтических белков, вакцин, антител. Трансформация хлоропластной ДНК.

Разработка методов защиты окружающей среды на основе трансгенных растений. Биodeградируемые материалы на основе трансгенных растений. Трансгенные растения для очистки почв и водоемов (поглощающие и разрушающие токсичные соединения). Трансгенные растения – тестеры загрязнений. Биотопливо из трансгенных растений. Аргументы противников использования трансгенных растений. Потенциальные проблемы использования трансгенных растений и пути их решения.

Геномное редактирование растений. [Система CRISPR–Cas](#) для получения целевых мутаций в различных растительных организмах. Типы

мутаций, генерируемых [CRISPR–Cas9](#). Редакторы [цитозиновых оснований \(CBE\)](#) и редакторы [адениновых оснований \(ABEs\)](#) на основе CRISPR и их особенности.

Молекулярно-генетические маркеры в решении фундаментальных и практических задач генетики, и селекции. Типы генетических маркеров. Методы создания генетических маркеров. Особенности применения генетических маркеров в решении генетических и селекционных задач. Маркер- опосредованная селекция растений. Принципы геномной селекции растений. Практические примеры применения методов маркерной и геномной селекции растений.

## **Примерные вопросы и темы домашних заданий**

1. Указать особенности организации растений как объектов генетических исследований.
2. Значение модельных объектов в генетике растений.
3. Указать типы полиплоидов и различие между ними.
4. Пояснить термины гомологии и гомеологии генов и геномов.
5. Объяснить суть терминов синтения и колинеарность групп сцепления.
6. Что такое сравнительное картирование?
7. Роль полиплоидии в эволюции геномов растений.
8. Генетические эффекты дупликаций.
9. Типы самонесовместимости- гаметофитная или спорофитная.
10. Как определить тип самонесовместимости.
11. Проявление ЦМС и ее причины.
12. Химерные гены митохондрий и ЦМС.
13. Вторичный эндосперм и гены, контролирующие его развитие.
14. Импринтинг гена MEA.
15. Методы получения индуцированных мутаций.
16. Особенности метода Tilling на основе ЭМС-индуцированных мутаций.
17. Расчет размера выборок для выявления специфических мутаций.
18. Мобильные элементы Ac и Dsi их использование для маркирования генома арабидопсис.
19. Иммуитет растений – специфический и неспецифический.
20. Гомология и гомеология генов и геномов.
21. Синтения и колинеарность групп сцепления.
22. Сравнительное картирование.
23. Особенности метода Tillingна основе ЭМС-индуцированных мутаций.

24. Расчет выборок для выявления специфических мутаций.
25. Мобильные элементы Ac и Dsi их использование для маркирования генома арабидопсис.

### **Типовые вопросы для проведения промежуточной аттестации**

1. Гомология и гомеологии геномов растений, паралогичные и ортологичные гены. Синтения и колинеарность геномов. Принципы сравнительного картирования растений, роль модельных объектов.
2. Полиплоидия растений и ее типы, механизмы возникновения полиплоидов. Судьба дублицированных генов у аллополиплоидов.
3. Гаметофитный контроль несовместимости, гены локусов несовместимости и механизм ее реализации на примере *Solanaceae*- и *Papaveraceae*.
4. Половые типы цветковых растений и генетические механизмы, обеспечивающие перекрестное оплодотворение. Молекулярно-генетические механизмы гаметофитной и спорофитной самонесовместимости.
5. Спорофитный контроль несовместимости, гены локусов несовместимости и механизм ее реализации на примере *Brassica*.
6. Цитоплазматическая мужская стерильность, ее природа, распространение и практическое использование. Роль митохондриального генома в проявлении ЦМС. Химерные митохондриальные гены.
7. Парамутации как специфический тип взаимодействия аллелей. Понятия парамутегенности и парамутабельности. Эпигенетический механизм проявления парамутаций.
8. Индукция мутаций у растений и особенности их выявления. Генетически эффективные клетки апикальной меристемы. Значение размера популяций M1 и M2 для выделения мутаций.
9. Специфичность ЭМС-индуцированных мутаций. Методы обратной генетики для установления функции гена, TILLING и Delet-a-gene.

10. Инсерционный Т-ДНК мутагенез и выявление трансформантов в T1 и T2 поколениях.

11. Мобильные генетические элементы и их распространение у растений.

12. Транспозонный мутагенез, одно и двухкомпонентные системы на основе Ac и Ds элементов.

13. Гены, контролирующие независимое развитие эндосперма у покрытосеменных растений. Понятие импринтинга на примере гена *MEDEA* арабидопсис.

14. Иммуитет растений, его основные типы. Молекулярно-генетические основы неспецифичного активного иммунитета и специфичного активного иммунитета.

15. Генетический контроль определения типа органов цветка. ABC-модель (логика построения).

16. Доказательства правильности ABC-модели (предсказание фенотипа двойных мутантов; подтверждение ABC-модели с использованием трансгенных растений арабидопсис; молекулярно-генетическая проверка модели).

17. Молекулярные механизмы взаимодействия генов В-класса. Фенотип мутантов по генам В-класса.

18. Примеры парамутаций; молекулярные механизмы их возникновения.

19. Индукция мутаций у растений и особенности их выявления. Генетически эффективные клетки апикальной меристемы. Значение размера популяций M1 и M2 для выделения мутаций.

20. Специфичность ЭМС-индуцированных мутаций. Методы обратной генетики для установления функции гена, TILLING и Delet-a-gene.

21. Инсерционный Т-ДНК мутагенез и выявление трансформантов в T1 и T2 поколениях.

22. Мобильные генетические элементы и их распространение у растений.

23. Транспозонный мутагенез, одно и двухкомпонентные системы на основе Ac и Ds элементов.

24. Гены, контролирующие независимое развитие эндосперма у покрытосеменных растений. Понятие импринтинга на примере гена *MEDEA* арабидопсис.

25. Иммуитет растений, его основные типы. Молекулярно-генетические основы неспецифичного активного иммунитета и специфичного активного иммунитета.

26. Генетический контроль определения типа органов цветка. ABC-модель (логика построения).

27. Доказательства правильности ABC-модели (предсказание фенотипа двойных мутантов; подтверждение ABC-модели с использованием трансгенных растений арабидопсис; молекулярно-генетическая проверка модели).

28. Молекулярные механизмы взаимодействия генов В-класса. Фенотип мутантов по генам В-класса.

29. Примеры парамутаций; молекулярные механизмы их возникновения.

30. Молекулярные механизмы эпигенетических изменений (привести примеры).

31. Понятие импринтинга на примере генов *R* кукурузы и *MEDEA* арабидопсис.



## 7. Литература

1. Коновалов Ю.Б. Общая селекция растений [Электронный ресурс]: учебник / Ю.Б. Коновалов [и др.]. - СПб.: Лань, 2018. - 480 с. 8.2.
2. Броувер В., Штелин А. Справочник по семеноведению сельскохозяйственных, лесных и декоративных культур с ключом для определения важнейших семян/ В. Броувер, А. Штейлин. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. - 640 с.
3. Царев, А.П. Селекция лесных и декоративных древесных растений: учебник для вузов / А.П. Царев, С.П. Погиба, Н.В. Лаур. - Москва: МГУЛ, 2014. - 552 с.
4. Селекция и сорторазведение садовых культур [Электронный ресурс] / ВНИИ селекции плодовых культур. – Электрон. журн. – Жилина: ВНИИ селекции плодовых культур. – Издается с 2016 года. – Режим доступа: [https://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=60000](https://elibrary.ru/title_about.asp?id=60000).
5. Селекция, семеноводство и генетика [Электронный ресурс] / ООО «Успех». – Электрон. журн. – Москва: Успех. – Издается с 2014 года. – Режим доступа: <http://agrobezopasnost.com/category/journals/selection/>.