ЧАСТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ КОЛЛЕДЖ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

ЛЕКЦИЯ 3. ТЕМА 3. ОСНОВЫ ГЕНЕТИКИ И СЕЛЕКЦИИ

1. Генетика — наука о наследственности и изменчивости

Генетика — наука о закономерностях наследственности и изменчивости организмов и о методах управления ими. Наследственность — свойство организмов передавать свои признаки и особенности развития потомству; она обеспечивает преемственность между поколениями и постоянство видов. Изменчивость — свойство организмов приобретать новые признаки, отличающие их от родителей; именно изменчивость создаёт материал для естественного и искусственного отбора.

Объект наследственности — гены: участки молекул ДНК (у РНК-содержащих вирусов — РНК), кодирующие первичную структуру белков либо регулирующие их экспрессию. Совокупность генов организма составляет его генотип, совокупность внешних и внутренних признаков — фенотип. Фенотип формируется в результате взаимодействия генотипа со средой.

2. Г. Мендель — основоположник генетики

Научную генетику принято отсчитывать от 1865 года, когда чешский исследователь Грегор Иоганн Мендель в Брню (Брюнне) доложил о результатах опытов по гибридизации сортов гороха посевного (*Pisum sativum*). Успех Менделя обусловлен удачным выбором объекта: горох самоопыляется, даёт чистые линии, имеет чётко различимые альтернативные признаки и короткий жизненный цикл, а применение математической обработки результатов сделало его выводы строго доказуемыми. В 1866 году Мендель опубликовал работу «Опыты над растительными гибридами», однако научное сообщество не оценило её по достоинству: переоткрытие законов Менделя состоялось лишь в 1900 году независимо тремя исследователями — К. Корренсом, Э. Чермаком и Г. де Фризом. Этот год и считают годом рождения генетики.

3. Генетическая терминология и символика

Ключевые понятия:

• **Ген** — наследственный фактор, участок ДНК, отвечающий за признак или его проявление.

• **Аллели** — альтернативные формы одного гена, занимающие одинаковые локусы гомологичных хромосом.

• **Гомозигота** — особь с одинаковыми аллелями одного гена (АА или аа); **гетерозигота** — с разными (Аа).

• **Доминантный признак (А)** — подавляющий проявление альтернативного аллеля; **рецессивный (а)** — подавляемый, проявляющийся только в гомозиготном состоянии.

• **Гибриды первого поколения (F_1)**, второго (F_2) и последующих поколений.

Принятая символика: Р — родительские особи, F_1, F_2 — поколения потомков, ♀ — женская особь, ♂ — мужская особь, × — скрещивание. Генотип записывают буквами латинского алфавита: доминантный аллель — прописной буквой, рецессивный — строчной (Аа, АА, аа).

4. Законы Менделя. Моногибридное и дигибридное скрещивание

Первый закон — закон единообразия гибридов первого поколения (закон доминирования). При скрещивании двух гомозиготных особей, различающихся по одной паре альтернативных признаков, всё потомство первого поколения единообразно по фенотипу и генотипу (АА × аа → Аа) и несёт доминантный признак.

Второй закон — закон расщепления. При скрещивании гибридов первого поколения между собой в потомстве наблюдается расщепление по фенотипу в

соотношении 3 : 1, а по генотипу — 1 : 2 : 1 (AA : Aa : aa). Причина — расхождение гомологичных хромосом (аллелей) в мейозе, вследствие чего каждый гамет получает по одному аллелю каждого гена.

Третий закон — закон независимого комбинирования (наследования) признаков. При дигибридном скрещивании гены разных аллельных пар и соответствующие признаки передаются потомству независимо друг от друга и комбинируются свободно. Скрещивание дигетерозигот (AaBb × AaBb) даёт в F_2 расщепление по фенотипу 9 : 3 : 3 : 1. Закон справедлив для генов, расположенных в разных (негомологичных) хромосомах; для генов одной хромосомы действует закономерность сцепленного наследования, установленная позднее Т. Морганом.

Условия проявления закономерностей Менделя: полная доминирование одного аллеля; равная жизнеспособность всех классов потомков; независимое расхождение пар генов; равновероятное образование гамет и их сочетание.

5. Хромосомная теория наследственности

Материальным носителем наследственной информации являются хромосомы. Хромосомная теория сформировалась в начале XX века и была окончательно сформулирована Т. Морганом с сотрудниками (1910–1916 гг.) на основе опытов с плодовой мушкой дрозофилой. Основные положения теории:

- гены расположены в хромосомах линейно, каждый занимает определённый локус;
- гены, расположенные в одной хромосоме, образуют группу сцепления и наследуются совместно, что нарушает закон независимого комбинирования;
- число групп сцепления равно гаплоидному набору хромосом;
- между гомологичными хромосомами в мейозе может происходить кроссинговер (обмен участками), частота которого пропорциональна расстоянию между генами; на этом основано построение генетических карт хромосом;
- половые хромосомы (гетеросомы) определяют пол организма; аутосомы с полом не связаны.

6. Взаимодействие генов

Один признак может контролироваться не одним геном, а взаимодействующей системой генов. Различают взаимодействие **аллельных** генов:

- полное доминирование (классические расщепления Менделя);
- неполное доминирование — гетерозигота имеет промежуточный фенотип (например, красная и белая окраски цветка дают розовую; расщепление в F_2 — 1 : 2 : 1);
- кодоминирование — оба аллеля проявляются в равной мере (наследование групп крови человека по системе AB0);
- сверхдоминирование — гетерозигота превосходит обе гомозиготы по выраженности признака.

Взаимодействие **неаллельных** генов включает комплементарность (два гена, сочетаясь, дают новый признак), эпистаз (ген-подавитель подавляет действие другого гена), полимерию (количественный признак усиливается суммарным действием нескольких генов — так наследуются рост, масса, продуктивность). Многие признаки носят комплексный характер: на проявление гена влияют и другие гены (плейотропия — множественное действие одного гена), и условия среды.

7. Генетика пола. Сцепленное с полом наследование

Пол определяется сочетанием половых хромосом. У человека, млекопитающих и дрозофилы женский пол — гомогаметный (XX), мужской — гетерогаметный (XY); у птиц, бабочек — наоборот. Соотношение полов при рождении близко к 1 : 1, что объясняется равновероятным образованием гамет с X- и Y-хромосомой.

В Х-хромосоме содержится значительное число генов, в Y-хромосоме их мало. Гены, расположенные в половых хромосомах, наследуются сцепленно с полом: их проявление зависит от пола особи. У человека к таким признакам относятся дальтонизм (неспособность различать красный и зелёный цвета) и гемофилия — рецессивные, сцепленные с Х-хромосомой болезни. Поскольку у мужчин (XY) лишь одна Х-хромосома, рецессивный аллель проявляется у них чаще, чем у женщин: больные гемофилией — практически только мужчины, а женщины, как правило, являются гетерозиготными носительницами. Голандрические признаки (гены Y-хромосомы, например гипертрихоз ушной раковины) передаются только от отца всем сыновьям.

8. Значение генетики для селекции и медицины. Наследственные болезни человека

Генетика служит теоретическим фундаментом селекции, медицины, фармакологии, сельского хозяйства. Знание законов наследования позволяет прогнозировать результаты скрещиваний, вести целенаправленную племенную работу и оценивать генетические риски.

Наследственные болезни человека обусловлены мутациями и подразделяются на:

• **генные** — следствие мутации одного гена (фенилкетонурия, серповидноклеточная анемия, муковисцидоз, гемофилия, дальтонизм);

• **хромосомные** — следствие изменения числа или структуры хромосом (синдром Дауна — трисомия по 21-й хромосоме, синдромы Клайнфельтера, Тернера, «кошачьего крика»);

• **мультифакториальные** — результат взаимодействия генетических и средовых факторов (гипертоническая болезнь, шизофрения, сахарный диабет II типа).

Мутации возникают под действием мутагенов — физических (ионизирующее излучение, ультрафиолет), химических (колхицин, нитросоединения, некоторые лекарства и консерванты) и биологических (вирусы, некоторые продукты метаболизма). **Профилактика** наследственных болезней включает медико-генетическое консультирование семей с риском наследственной патологии, пренатальную (дородовую) диагностику (УЗИ, биохимические тесты, амниоцентез, кордоцентез), скрининг новорождённых на фенилкетонурию и врождённый гипотиреоз, ограничение контакта с мутагенными факторами, а также диетотерапию и заместительную терапию при ряде заболеваний обмена веществ.

9. Закономерности изменчивости

Различают две основные формы изменчивости: **наследственную (генотипическую)** и **ненаследственную (модификационную)**.

Наследственная (генотипическая) изменчивость связана с изменениями генотипа и передаётся потомству. Её формы:

• **комбинативная** — возникает при перекомбинации генов в мейозе (кроссинговер, независимое расхождение хромосом) и при случайном сочетании гамет при оплодотворении;

• **мутационная** — результат внезапных стойких изменений генетического материала. Мутации бывают генные (изменение последовательности нуклеотидов), хромосомные (структурные перестройки: делеции, дупликации, инверсии, транслокации), геномные (изменение числа хромосом, в том числе полиплоидия — кратное увеличение набора). Мутации делятся на соматические и генеративные, на полезные, нейтральные и вредные. Мутационный процесс служит элементарным материалом эволюции и селекции.

Модификационная (фенотипическая) изменчивость возникает под действием факторов среды без изменения генотипа и не наследуется. Модификации носят

приспособительный (адаптивный) характер: так, масса и молочность животных при хорошем кормлении выше, а у растений одного сорта, выросших при разной освещённости, различается размер листьев. Пределы модификационной изменчивости признака, ограниченные его генотипом, называют **нормой реакции**. Узкая норма реакции характерна для качественных признаков (группа крови, окраска шерсти), широкая — для количественных (рост, масса, молочность, урожайность). Статистическим выражением модификационной изменчивости служит **вариационный ряд** и построенная на его основе **вариационная кривая**, отражающая частоту встречаемости особей с разными значениями признака; наиболее часто встречается среднее значение признака.

10. Генетика — теоретическая основа селекции. Одомашнивание

Селекция — наука о методах создания пород домашних животных, сортов культурных растений и штаммов микроорганизмов с хозяйственно ценными признаками. Порода, сорт, штамм — искусственно созданные популяции организмов, обладающие наследственно закреплёнными полезными признаками. Теоретической базой селекции служит генетика: учение о наследственности и изменчивости, законы Менделя и Моргана, генетика популяций.

Начальный этап селекции — **одомашнивание (доместикация)** животных и **выращивание культурных растений**, начавшееся около 10–12 тысяч лет назад в неолите. Одомашнивание сопровождалось отбором и разведением наиболее продуктивных и покладистых особей, что накопило в домашних формах значительные генетические отличия от диких предков: так, продуктивность современных сортов и пород многократно превышает таковую у исходных диких форм. Однако одомашнивание и стихийный отбор опирались на естественную изменчивость; лишь с созданием научной генетики селекция стала целенаправленной и управляемой. Дикие родичи сохраняют ценный генофонд и служат источником признаков, утраченных культурными формами (устойчивость к болезням, засухе).

11. Учение Н. И. Вавилова о центрах происхождения культурных растений

Николай Иванович Вавилов, советский генетик и селекционер, организовал десятки экспедиций по всем континентам, собрав крупнейшую в мире коллекцию семян культурных растений и их диких родичей (свыше 300 тысяч образцов). Обобщив материалы, он сформулировал **закон гомологических рядов наследственной изменчивости** (1920): генетически близкие виды и роды характеризуются сходными рядами наследственной изменчивости с той лишь разницей, что у одних эти ряды полны, у других — укорочены. Закон позволяет предсказывать наличие форм с заданными признаками у родственных видов и искать их в природе.

Второй фундаментальный вклад Вавилова — учение о **центрах многообразия (происхождения) культурных растений**. Он выделил восемь основных центров: индийский (индиго, рис, огурец), индо-малайский, китайский (соя, просо), среднеазиатский, переднеазиатский, средиземноморский (олива, капуста), абиссинский (твёрдая пшеница, кофе), южноамериканский (картофель, томаты, кукуруза). Позднее к ним добавили центральноамериканский. Учение Вавилова лежит в основе современной стратегии сохранения генетических ресурсов растений.

12. Основные методы селекции: гибридизация и искусственный отбор

Ведущие методы селекции:

• **Искусственный отбор** — сохранение для размножения особей с нужными признаками и выбраковка остальных. Массовый отбор ведётся по внешним признакам

популяции; индивидуальный — по качеству потомства и фенотипу отдельных особей; на его основе созданы линии и сорта-чистые линии.

• **Гибридизация** — скрещивание особей с разными генотипами. Внутрисортовая и межсортовая гибридизация используется для объединения признаков близких форм; отдалённая (межвидовая и межродовая) — для переноса ценных признаков диких видов культурным (пример — создание плодно-ягодных и зерновых гибридов Г. Д. Карпеченко, тритикале — гибрид пшеницы и ржи). Потомство отдалённых скрещиваний часто стерильно; преодолению стерильности помогает полиплоидия.

• **Инбридинг (инцухт)** — тесное родственное скрещивание, применяемое для закрепления признаков; неизбежно повышает гомозиготность и приводит к инбредной депрессии, поэтому сочетается с последующей гетерозисной (межлинейной) гибридизацией.

• **Полиплоидия и искусственный мутагенез** — обработка колхицином или мутагенными факторами для получения ценных форм (полиплоидные сорта сахарной свёклы, гречихи, ржи).

• **Клеточная и генная инженерия** — современный этап селекции, позволяющий переносить гены между организмами разных видов.

13. Основные достижения современной селекции

В растениеводстве созданы высокоурожайные сорта зерновых, в том числе короткостебельные «полукарлики» пшеницы и риса, положившие начало «зелёной революции» (Н. Э. Борлоуг); гетерозисные гибриды кукурузы, подсолнечника, сахарной свёклы; сорта, устойчивые к болезням и засолению почв. В животноводстве выведены продуктивные породы крупного рогатого скота, свиней, овец, птицы; применяется искусственное осеменение и трансплантация эмбрионов. В микробиологии получены штаммы-продуценты антибиотиков, витаминов, аминокислот, ферментов; разработаны способы микробиологического получения кормового белка и биогаза.

14. Биотехнология, её достижения и перспективы

Биотехнология — дисциплина, использующая живые организмы, клетки и биологические процессы для получения продуктов и решения производственных задач. Её традиционные направления — хлебопечение, сыроварение, виноделие; современные — микробиологический синтез (антибиотики, вакцины, инсулин, ферменты, витамины), иммобилизованные ферменты, клеточная инженерия (получение гибридом и моноклональных антител, размножение ценных растений культурой ткани), генная инженерия (создание генетически модифицированных организмов — ГМО). Перспективы развития связаны с получением лекарств и вакцин на основе трансгенных растений и животных, редактированием генома методами типа CRISPR-Cas9, созданием искусственного мяса, биотоплив, биоразлагаемых материалов, а также с экологическими применениями: очисткой сточных вод, биодеградацией загрязнений.

15. Этические аспекты биотехнологии. Проблема клонирования

Развитие биотехнологии ставит перед обществом серьёзные этические вопросы. Редактирование генома зародышевых клеток человека потенциально позволяет устранять наследственные болезни, но одновременно открывает путь к «редактированию» признаков по желанию (интеллект, внешность), что вызывает опасение необратимых последствий для генофонда человечества. Испытания генной терапии на человеке требуют строжайшего этического контроля; промышленное выращивание ГМО и трансгенных организмов вызывает общественную полемику о безопасности для здоровья и экосистем.

Клонирование — получение генетически идентичных особей. Овца Долли (1996, Шотландия, Р. Уилмут и сотрудники) — первое млекопитающее, клонированное методом переноса ядра соматической клетки в энуклеированную яйцеклетку. Метод применён для клонирования мышей, крупного рогатого скота, свиней, кошек, собак; его перспективы — сохранение редких видов, воспроизводство высокопродуктивных животных, а в медицине — терапевтическое клонирование клеток и тканей для лечения болезней.

Клонирование человека остаётся недопустимым по этическим и научным причинам. Репродуктивное клонирование человека в большинстве стран запрещено законом. Основные проблемы: высокая частота патологий и смертности клонированных эмбрионов, преждевременное старение и нарушения развития клонов, риск нарушения уникальности личности и её права на генетическую идентичность, угроза манипуляций человеком. Международное научное сообщество, в том числе ЮНЕСКО, осуждает репродуктивное клонирование человека и допускает терапевтические технологии лишь при жёстком этическом регулировании, не допускающем создания клонированных людей.

Итог лекции: генетика раскрывает механизмы сохранения и воспроизведения жизни, а селекция и биотехнология превращают эти знания в инструменты повышения продуктивности живых организмов и медицины. Вместе с тем применение генетических знаний требует научной обоснованности и этической ответственности, поскольку вмешательство в наследственность определяет судьбу будущих поколений.