

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОС-
СИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Смоленская государственная сельскохозяйственная академия»
ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА**

ГЕНЕТИКА

Часть 2

**ХРОМОСОМНАЯ ТЕОРИЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ.
ГЕНЕТИКА ПОЛА**

Методические указания к занятиям семинарского типа и самостоятельной
работе студентов

**Смоленск
ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА
2021**

УДК 575.1:581.162 (072)
К 93

Рецензент: Кашко Л. С., доцент кафедры биотехнологии и ветеринарной медицины ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА, кандидат ветеринарных наук, доцент

Курская Ю. А.

К 93 Генетика. Часть. 2. Хромосомная теория наследственности. Генетика пола: методические указания к занятиям семинарского типа и самостоятельной работе студентов. /Ю. А. Курская, – Смоленск: ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА, 2021. – 18 с.

Печатается по решению методического совета ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА, протокол № 4 от 11 июня 2021 года.

УДК 575.1:581.162 (072) 40.716 Р

© Курская Ю. А. 2021
© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Смоленская государственная сельскохозяйственная академия, 2021 г.

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания включают: цель занятия, содержание, указания и примеры решения генетических задач по темам:

- сцепление генов (полное и неполное);
- сцепленное с полом наследование.

В конце данного издания представлены вопросы для самоконтроля и сдачи блока.

Решение задач, их анализ с соответствующими выводами ведутся в рабочих тетрадях студентов по общепринятой форме с использованием генетических символов.

1. ХРОМОСОМНАЯ ТЕОРИЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

1.1. Сцепление генов (полное и неполное)

Цель занятия: изучить особенности наследования признаков при полном и неполном сцеплении, понять сущность линейного расположения генов в хромосомах, научиться определять частоту кроссинговера (рекомбинаций).

Материалы и оборудование: схемы скрещивания, таблицы, рисунки, методические пособия, индивидуальные задания.

Содержание и методика проведения занятий. Число хромосом у каждого организма относительно невелико – от 2 до 500, а генов значительно больше – тысячи, десятки и даже сотни тысяч. Следовательно, в каждой хромосоме содержится не один, а много генов, расположенных линейно друг за другом. Такие гены, находящиеся в определенной хромосоме, называются сцепленными, наследуются группами и образуют группы сцепления.

Число групп сцепления равно гаплоидному набору хромосом. Так, у крупного рогатого скота кариотип (диплоидный набор) составляет 60 хромосом, следовательно, у этого вида животных имеется 30 групп сцепления (у карпа 100 хромосом (50 групп сцепления) и т. д.).

Сцепленные гены имеют свой характер наследования, и независимого их комбинирования в последующих поколениях не наблюдается. Отличить наследования несцепленных генов от сцепленных можно при помощи анализирующего скрещивания.

При изучении сцепления генов используется специальная символика, рекомендованная XII Международным генетическим конгрессом в Токио (1966 г.).

Хромосомы обозначаются черточками, а локализованные в них гены, контролирующие развитие признаков, – буквенными символами.

Пример записи генотипов и определения типов гамет

1. *При независимом наследовании* (гены расположены в разных хромосомах):

$Aa \left(\frac{A}{a} \right)$ – моногибрид, образует два типа гамет: A и a.

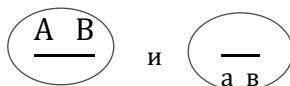
$AaBb \left(\frac{A}{a} \frac{B}{b} \right)$ – дигибрид, образует четыре типа гамет: AB, Ab, aB, ab.

$AaBbCc \left(\frac{A}{a} \frac{B}{b} \frac{C}{c} \right)$ – тригибрид, дает 8 типов гамет: ABC, ABc, AbC, Авс, aBC, aBc, abC, авс.

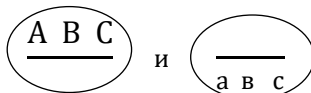
Гены, находящиеся в разных хромосомах при гаметогенезе, комбинируются и попадают в разные гаметы.

2. При сцепленном наследовании (гены расположены в одной хромосоме):

$\frac{AB}{ab}$ – дигибрид (сцеплены два гена), образует два типа гамет



$\frac{ABC}{abc}$ – тригибрид (сцеплены три гена), образует два типа гамет



Гены, находящиеся в одной хромосоме, наследуются вместе и при гаметогенезе попадают в одну гамету.

1.2. Генетические термины

Сцепление генов – это совместное наследование генов, расположенных в одной и той же хромосоме, ограничивающих их свободное комбинирование.

Сцепленные гены – гены, находящиеся в одной хромосоме.

Группа сцепления – группа генов, локализованных в одной хромосоме. Число групп сцепления у каждого организма равно гаплоидному набору хромосом.

Локус (от лат. локус – место) – место локализации гена в хромосоме.

Кроссинговер (от англ. кроссинг-овер – пересечение, перекрест) – обмен участками между парой гомологичных хромосом в процессе мейоза.

Одинарный кроссинговер – перекрест между гомологичными хромосомами, происходящий в одном месте.

Двойной кроссинговер – перекрест между гомологичными хромосомами, происходящий одновременно в двух точках.

Множественный кроссинговер – перекрест между гомологичными хромосомами, происходящий в нескольких точках.

Некроссоверные гаметы (родительские) – гаметы, полученные до кроссинговера (несущие признаки родителей).

Кроссоверные гаметы – гаметы, возникшие в результате кроссинговера.

Кроссоверы – потомство, несущее рекомбинантные признаки.

Процент кроссинговера (частота рекомбинаций) – отношение (деление) количества кроссоверных потомков (кроссоверов) к общему числу потомков, умноженное на 100.

Единица рекомбинации – 1 % кроссинговера или одна морганида. Если единица кроссинговера выражена в долях единицы, то ее называют сантиморганом (сМ).

Генетическая карта хромосом – графическое изображение хромосом с указанием размещающихся в них генов и расстояний между ними.

Пол – это совокупность морфологических, физиологических, поведенческих и других признаков организма, обеспечивающих половое размножение.

Аутосомы (от греч. ауто – сам и сомо – тело) – все хромосомы каприотипа, идентичные у мужской и женской особей.

1.3. Реализация генетической информации при независимом и сцепленном наследовании

Схемы анализирующего скрещивания.

А. При независимом наследовании

$$P: \text{♀} \frac{A}{a} \frac{B}{b} \times \text{♂} \frac{a}{a} \frac{B}{b}$$

$$G \quad \left(\frac{A}{a} \frac{B}{b} \right) \quad \left(\frac{A}{a} \frac{b}{b} \right) \quad \left(\frac{a}{a} \frac{B}{b} \right)$$

$$\left(\frac{a}{a} \frac{B}{b} \right) \quad \left(\frac{a}{a} \frac{b}{b} \right)$$

$$F_A \quad \frac{A}{a} \frac{B}{b}; \quad \frac{A}{a} \frac{b}{b}; \quad \frac{a}{a} \frac{B}{b}; \quad \frac{a}{a} \frac{b}{b}$$

Потомство (F) анализирующего скрещивания будет иметь четыре разных генотипа и четыре фенотипа.

Расщепление по генотипу и фенотипу 1:1:1:1.

Б. При сцепленном наследовании (полное сцепление генов)

$$P: \text{♀ } \frac{AB}{ab} \times \text{♂ } \frac{ab}{ab}$$

$$G \quad \left(\frac{A}{A} \frac{B}{B} \right) \quad \left(\frac{a}{a} \frac{b}{b} \right) \quad \left(\frac{a}{a} \frac{b}{b} \right)$$

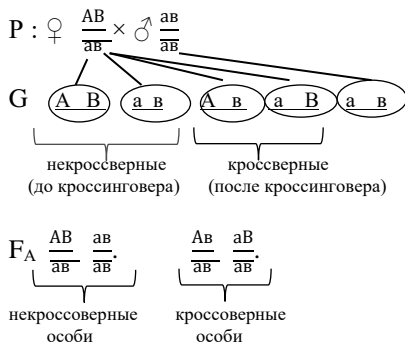
$$F_A \quad \frac{AB}{ab}; \frac{ab}{ab}$$

Потомство (F) анализирующего скрещивания будет иметь два разных генотипа и два фенотипа.

Расщепление по генотипу и фенотипу 1:1.

В. При сцепленном наследовании (неполное сцепление).

Причиной, нарушающей сцепление генов, является кроссинговер, протекающий в профазе мейоза I.



В потомстве (F) анализирующего скрещивания будут как кроссоверные, так и некроссоверные особи. В данном случае будет получено четыре разных генотипа и четыре разных фенотипа, но не в равном процентном соотношении.

При неполном сцеплении возникают два новых класса зигот с иным, чем у родителей, сочетанием генов, которые всегда составляют менее 50 %.

Появление новых форм (кроссоверов) зависит от частоты кроссинговера (рекомбинации).

Частота кроссинговера определяется в процентах и служит показателем расстояния между генами:

$$X = \frac{A+B}{N} \cdot 100 \%,$$

где X – частота кроссинговера;

A и B – число кроссоверных особей;

N – общее количество особей.

За единицу расстояния между генами принята морганида, равная 1 % кроссинговера.

1.4. Примеры решения задач на сцепленное наследование

А. Полное сцепление.

Пример. У дрозофилы серая окраска тела доминирует над черной, а нормальные по строению крылья – над зачаточными. Проведено анализирующее скрещивание гетерозиготной самки с самцом, имеющим рецессивные признаки. Было получено 540 потомков. Определить количество мушек с рецессивными признаками.

Методика решения задачи.

1. Дано:

Ген	Признак
A	серое тело
a	черное тело
B	нормальные крылья
b	зачаточные крылья

$$F_A = 540$$

2. *Найти:* количество особей с рецессивными признаками ($aabb$).

3. *Решение:*

$$P: \text{♀ } \frac{AB}{ab} \times \text{♂ } \frac{ab}{ab}$$

$$G \quad \left(\frac{A}{B} \right) \quad \left(\frac{a}{b} \right) \quad \left(\frac{a}{b} \right)$$

$$F_A \quad \frac{AB}{ab} \quad \frac{ab}{ab} \quad \text{генотипы}$$

серое тело черное тело – фенотипы
нормальные зачаточные
крылья крылья

В F_A получили расщепление 1:1. Так как всего получено в F_A 540 мушек, можно найти, сколько среди них с рецессивными признаками:

$$X = \frac{540 - 2 \text{ части} \\ X - 1 \text{ часть} \\ 540 \cdot 1}{2} = 270 \text{ мушек.}$$

Ответ: в потомстве F_A получено 270 мушек с рецессивными признаками.

Б. Неполное сцепление.

Пример. Скрещивались гетерозиготные коротконогие с розовидным гребнем куры с петухами, имеющими рецессивные признаки: длинные ноги и простой гребень. В потомстве получено 200 цыплят, из них 40 кроссоверных (с новыми признаками).

Определить, на каком расстоянии расположены гены, определяющие данные признаки.

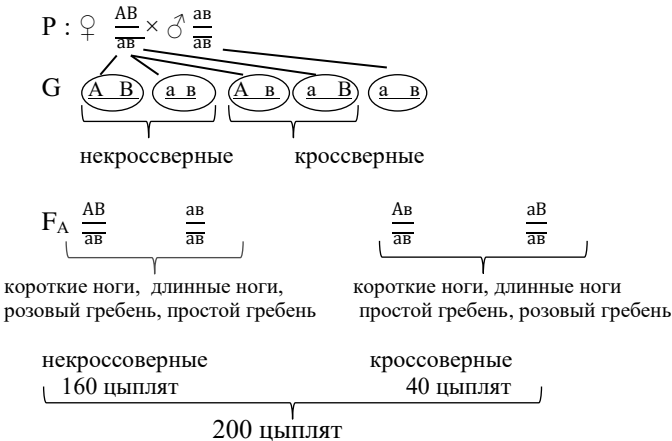
Методика решения задачи.

1. Дано:

Ген	Признак
A	коротконогость
a	длинноногость
B	розовидный гребень
b	простой гребень
$F_A = 200$ цыплят, в том числе 40 кроссоверных	

2. *Найти:* расстояние между генами (A и B).

3. *Решение:*



В F₂ получено четыре генотипа и четыре фенотипа, но соотношение неравное.

Зная количество кроссоверных особей, можно определить частоту кроссинговера и расстояние между генами А и В:

$$X = \frac{A+B}{N} = \frac{40}{200} \cdot 100 = 20 \% \text{ (частота кроссинговера).}$$

Это значит, что кроссоверов в потомстве 20 % (каждого нового фенотипа по 10 %). Зная частоту кроссинговера, можно определить расстояние между генами А и В, учитывая, что 1 % кроссинговера = 1 морганиде. В данном случае расстояние между генами А и В равно 20 морганид.

2. ГЕНЕТИКА ПОЛА

2.1. Хромосомный механизм определения пола

Цель занятия: изучить хромосомный механизм определения пола. Знать типы хромосомного определения пола. Научиться отличать признаки, сцепленные с полом, от признаков, ограниченных полом и зависящих от пола. Составлять схемы скрещивания и решать задачи на наследования признаков, гены которых локализованы в половых хромосомах.

Материалы и оборудование: схемы, таблицы, методические пособия, индивидуальные задания.

Содержание и методика проведения занятия. Пол, как и любой другой признак организма, наследственно детерминирован. Важнейшая роль в генетической детерминации пола принадлежит хромосомному аппарату. Хромосомы, по которым различаются особи мужского и женского пола, получили название *половых хромосом*. Те половые хромосомы, которые являются парными у одного из полов, называются *X-хромосомами*. Непарная половая хромосома, имеющаяся только у особей одного пола и отсутствующая у другого, называется *Y-хромосомой*. Сочетание половых хромосом приводит к появлению гомогаметных и гетерогаметных по полу организмов.

Типы хромосомного определения пола

Тип определения пола	Набор половых хромосом		Организмы
	♀	♂	
1. XY (дрозофильный)	XX	XY	Млекопитающие, амфибии, рептилии, многие беспозвоночные
2. XY	XY	XX	Птицы, бабочки, некоторые рыбы
3. XO	XX	XO	Кузнечики, клопы
4. XO	XO	XX	Моль, тля

Механизм хромосомного определения пола

1-й вариант (первый тип определения пола):

P : ♀ XX × ♂ XY

G $\begin{matrix} \text{X} \\ \text{X} \end{matrix}$ $\begin{matrix} \text{X} \\ \text{Y} \end{matrix}$

F XX , XY
♀ ♂

соотношение полов 1 : 1.

2-й вариант (второй тип определения пола):

P : ♀ XY × ♂ XX

G $\begin{matrix} \text{X} \\ \text{Y} \end{matrix}$ $\begin{matrix} \text{X} \\ \text{X} \end{matrix}$

F XX , XY
♂ ♀

соотношение полов 1 : 1.

3-й вариант (третий тип определения пола):

P ♀ XX × ♂ XO

G $\begin{matrix} \text{X} \\ \text{X} \end{matrix}$ $\begin{matrix} \text{X} \\ \text{O} \end{matrix}$

F XX XO
♀ ♂

соотношение полов 1 : 1.

4-й вариант (четвертый тип определения пола):

P ♀ XO × ♂ XX

G (X)(O) (X)

F XX XO
♂ ♀

соотношение полов 1 : 1.

Гетерогаметные и гемизиготные особи образуют два типа гамет.

2.2. Генетические термины

Половые хромосомы – пара хромосом, по которым особи разного пола отличаются друг от друга.

Гомогаметный пол – пол с одинаковыми половыми хромосомами (XX), дающий гаметы одного сорта.

Гетерогаметный пол – пол с разными половыми хромосомами (XY), дающий два типа гамет.

Гемизиготный пол – пол, в паре половых хромосом которого присутствует одна X-хромосома (XO).

Сцепленные с полом признаки – признаки, гены которых локализованы в половых хромосомах (X и Y).

Голландрический тип наследования связан с наследованием признаков, гены которых расположены в Y-хромосоме и передаются от отца только сыновьям.

2.3. Пример решения задач на сцепленное с полом наследование

Признаки, гены которых локализованы в половых хромосомах (X или Y), называются сцепленными с полом.

Для всех организмов при определенном скрещивании признаки, определяемые генами, находящимися в X-хромосоме, наследуются крест-накрест (англ. крисс-кросс), т. е. от матери – к сыновьям, а от отца – к дочерям:

А. Ген находится в X-хромосоме.

Пример. У мухи-дрозофилы красный цвет глаз является доминантным признаком, а белый – рецессивным. Гены, определяющие цвет глаз, локализованы в X-хромосоме. При скрещивании белоглазых самцов дрозофилы с красноглазыми (дикого типа) самками в первом по-

колении все потомство оказывается красноглазым. Рассчитайте процент белоглазых самцов у гибридов второго поколения.

Дано:

X^A – красный цвет глаз

X^a – белый цвет глаз

Найти:

% ♂ с белыми глазами среди гибридов F_2 .

Решение:

$P: \overset{\text{красноглазые}}{\text{♀ } X^A X^A} \times \overset{\text{белоглазые}}{\text{♂ } X^a Y}$

G $\textcircled{X^A}$ $\textcircled{X^a} \textcircled{Y}$

F_1 $\text{♀ } X^A X^a$ $\text{♂ } X^A Y$
красноглазые все

$P: \text{♀ } X^A X^a \times \text{♂ } X^A Y$

G $\textcircled{X^A} \textcircled{X^a}$ $\textcircled{X^A} \textcircled{Y}$

F_2 $\text{♀ } X^A X^A$ $\text{♂ } X^A Y$ $\text{♀ } X^A X^a$ $\text{♂ } X^a Y$ – генотип
красный цвет красный цвет красный цвет белый цвет – фенотип

В F_2 расщепление по генотипу 1 : 1 : 1 : 1;

по фенотипу 3 : 1;

по полу 2: 2 (1 : 1).

Самцов дрозофилы в F_2 две части : одна часть – красноглазые, вторая – белоглазые. Можно найти процент белоглазых самцов:

$$X = \frac{100\% - 2 \text{ части} \quad X - 1 \text{ часть}}{100 \times 1} = 50\%.$$

Ответ: в F_2 белоглазых самцов 50 %.

Б. Ген находится в X- и Y-хромосомах.

Пример. У азиатской щучки (Aplocheilus) коричневая окраска определяется геном **В**, а голубая – **в**. Ген **В** может находиться в X- и Y-хромосомах, а его аллель **в** никогда не встречается в Y-хромосоме.

Дано:

Признак	Ген	Генотип
Полосатое оперение	X^B	$X^B X^B, X^B X^b, X^B Y$
Черное оперение	X^b	$X^b X^b, X^b Y$
Наличие гребня	A	AA, Aa
Отсутствие гребня	a	aa

Найти:

количество цыплят с полосатой окраской и гребешком.

Решение:

P : ♀ aaX^BY × ♂ Aa X^BX^b

G $\begin{matrix} \text{aX}^{\text{b}} & \text{aY} \\ \text{AX}^{\text{B}} & \text{AX}^{\text{b}} & \text{aX}^{\text{B}} & \text{aX}^{\text{b}} \end{matrix}$

F₁ AaX^BX^b, AaX^bX^b, aaX^BX^b, aaX^bX^b, AaX^BY, AaX^bY, aaX^BY, aaX^bY
 ♂ ♂ ♂ ♂ ♀ ♀ ♀ ♀
 полосат. полосат. черн. черн. полосат. полосат. черн. черн.
 с гребнем без гребня с гребнем без гребня с гребнем без гребня с гребнем без гребня

В F₁ получено 840 цыплят – 8 частей. Из них две части потомков будут с полосатым оперением без гребня, можно найти их количество:

$$X = \frac{840 \times 2}{8} = 210 \text{ цыплят.}$$

Ответ: 210 цыплят имеют полосатую окраску и гребешок.

4. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какие гены называются сцепленными?
2. Что такое группа сцепления? Их количество у разных видов сельскохозяйственных животных.
3. Как идет наследование признаков при полном сцеплении?
4. Что нарушает полное сцепление генов?
5. Роль кроссинговера, рекомбинации генов в эволюции и селекции.
6. Что такое интерференция?

7. Как определяется частота кроссинговера и расстояние между генами?
8. В каких единицах измеряется расстояние между генами?
9. Принципы построения хромосомных карт.
10. Основные положения хромосомной теории наследственности.
11. Чем отличаются половые хромосомы от аутосом?
12. Что такое гомо- гетерогаметность?
13. Чем объясняется механизм распределения по полу в отношении 1 : 1?
14. Какие признаки называются сцепленными с полом, ограниченными полом и зависимыми от пола?
15. Что такое половой индекс?
16. Что такое партеногенез, гиногенез, андрогенез?
17. Бисексуальность и интерсексуальность.
18. Что такое гинандроморфизм, фримартинизм и каковы причины их происхождения?
19. Искусственная регуляция пола у животных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Генетика : учебник для вузов / Н. М. Макрушин, Ю. В. Плугатарь, Е. М. Макрушина [и др.] ; под редакцией Н. М. Макрушина. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 404 с. — ISBN 978-5-8114-7348-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/158959>
2. Кадиев, А. К. Генетика. Наследственность и изменчивость и закономерности их реализации : учебное пособие / А. К. Кадиев. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 332 с. — ISBN 978-5-8114-4985-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/130187>
3. Карманова, Е. П. Практикум по генетике : учебное пособие для вузов / Е. П. Карманова, А. Е. Болгов, В. И. Митюлько. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 228 с. — ISBN 978-5-8114-7823-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/166343>
4. Кургуз, Р. В. Генетика человека с основами медицинской генетики : учебное пособие / Р. В. Кургуз, Н. В. Киселева. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 176 с. — ISBN 978-5-8114-5656-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/143706>

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Хромосомная теория наследственности.....	4
1.1. Сцепление генов (полное и неполное).....	4
1.2. Генетические термины.....	5
1.3. Реализация генетической информации при независимом и сцепленном наследовании.....	6
1.4. Примеры решения задач на сцепленное наследование.....	8
2. Генетика пола.....	10
2.1. Хромосомный механизм определения пола.....	10
2.2. Генетические термины.....	12
2.3. Пример решения задач на сцепленное с полом наследование.....	12
3. Вопросы для самоконтроля.....	15
Литература.....	17

Учебно-методическое издание

Курская Юлия Алексеевна

ГЕНЕТИКА

Часть 2

**ХРОМОСОМНАЯ ТЕОРИЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ.
ГЕНЕТИКА ПОЛА**

Методические указания к занятиям семинарского типа и самостоятельной
работе студентов

Подписано для размещения в ЭБС ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА
Печ. л. 1,2

ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА
214000, Смоленск, ул. Б. Советская, 10/2.