

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Кафедра кормления и разведения сельскохозяйственных животных

*Е. В. Давыдович, А. В. Мартынов*

# **СЕЛЕКЦИЯ РЫБ**

## **ГЕНЕТИКА КАЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ РЫБ**

*Методические указания к лабораторным занятиям  
для студентов, обучающихся по специальности  
1-74 03 03 Промышленное рыбоводство*

Горки  
БГСХА  
2017

УДК 639.3.032(072)

*Рекомендовано методической комиссией  
факультета биотехнологии и аквакультуры.  
Протокол № 2 от 25 октября 2016 г.*

Авторы:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Е. В. Давыдович*;  
ассистент *А. В. Мартынов*

Рецензенты:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор *И. С. Серяков*;  
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Н. В. Барулин*

**Селекция рыб. Генетика качественных признаков рыб** : методические указания к лабораторным занятиям / *Е. В. Давыдович, А. В. Мартынов*. – Горки: БГСХА, 2017. – 28 с.

Представлены теоретические и практические вопросы, связанные с генетикой чешуйного покрова и окраски тела карпа.

Для студентов, обучающихся по специальности 1-74 03 03 Промышленное рыбоводство.

© УО «Белорусская государственная  
сельскохозяйственная академия», 2017

## ВВЕДЕНИЕ

Успех работы селекционера в значительной степени зависит от правильности выбора исходного материала. Исходный материал служит источником наследственной (генетической) изменчивости, которая является основой для искусственного отбора.

Исходный материал должен быть достаточно разнообразен. Чем больше его разнообразие, тем больше возможности выбора и успешнее селекционная работа.

Селекция – это наука о путях создания новых и улучшения существующих пород домашних животных, сортов культурных растений, штаммов микроорганизмов с ценными для человека признаками и свойствами. По образному выражению Н. И. Вавилова, селекция представляет собой эволюцию, управляемую человеком.

Основными методами селекции являются гибридизация и искусственный отбор.

Гибридизация – это скрещивание организмов с различными генотипами, при котором могут получаться новые сочетания признаков. Различают следующие основные виды гибридизации: инбридинг, аутбридинг и отдаленная гибридизация.

Сущность отбора заключается в систематическом сохранении для воспроизводства части популяции с наиболее ценными признаками. В природных популяциях этот процесс протекает стихийно: выживают и оставляют потомство наиболее приспособленные особи, т. е. работает естественный отбор.

При селекции рыб следует учитывать как общие для всех организмов генетические закономерности, так и данные по частной генетике объектов разведения. Данные по частной генетике рыб имеют огромное значение для работ по селекции. Чтобы изменить какой-либо признак в желаемом направлении, селекционер должен располагать сведениями об особенностях наследования этого признака и роли генетических факторов в его изменчивости. Таким образом, данные по частной генетике необходимы для разработки научных основ селекции и племенного дела.

Наиболее исследованным видом является карп, у которого уже изучено наследование около 20 признаков, в том числе типов чешуйного покрова и окраски. Для некоторых генов выявлена тесная корреляция с признаками продуктивности, что представляет непосредственный хозяйственный интерес.

# 1. ГЕНЕТИКА ЧЕШУЙНОГО ПОКРОВА КАРПА

## 1.1. Теоретические основы наследования качественных признаков

Большинство внешних качественных признаков альтернативного характера у всех видов рыб наследуется в соответствии с законами Г. Менделя.

Под качественными признаками понимают альтернативные, зачастую неизмеряемые особенности. Изменчивость по таким признакам выражена в ограниченном числе четко различающихся дискретных типов, которые можно описать, изобразить в виде рисунков или фотографий.

Закономерности наследования генов, расположенных в аутосомах и в половых хромосомах всех диплоидных двуполых организмов, полностью проявляются у рыб. Наследственная изменчивость у рыб так же многообразна, как и у других животных, и успех любой селекции основан на умении комбинировать ее проявление. Изучение качественных признаков у различных видов рыб имеет огромное теоретическое и практическое значение в селекции, а значит, и в рыборазведении в целом.

Среди промысловых рыб карп до недавнего времени был практически единственным объектом генетических исследований. Поэтому достаточно хорошо изучена изменчивость у карпа таких качественных признаков, как чешуйный покров и окраска тела.

По характеру чешуйного покрова культурные карпы делятся на четыре основных типа (рис. 1):

чешуйчатые: по фенотипу – чешуя правильными рядами покрывает все тело, по генотипу –  $SSnn$ ,  $Ssnn$ ;

разбросанные: по фенотипу – крупные (зеркальные) чешуи разбросаны по всему телу, иногда образуют более или менее правильные, прерывистые или непрерывные ряды, по генотипу –  $ssnn$ ;

линейные: по фенотипу – крупные чешуи образуют ровный, как правило, непрерывный ряд вдоль боковой линии; иногда могут проявляться дополнительные ряды чешуи, по генотипу –  $SSNn$ ,  $SsNn$ ;

голые: по фенотипу – тело практически лишено чешуи, немногочисленные чешуи могут находиться у основания плавников, по генотипу –  $ssNn$ . Разбросанных и линейных карпов иногда называют обобщенным термином *зеркальные*.

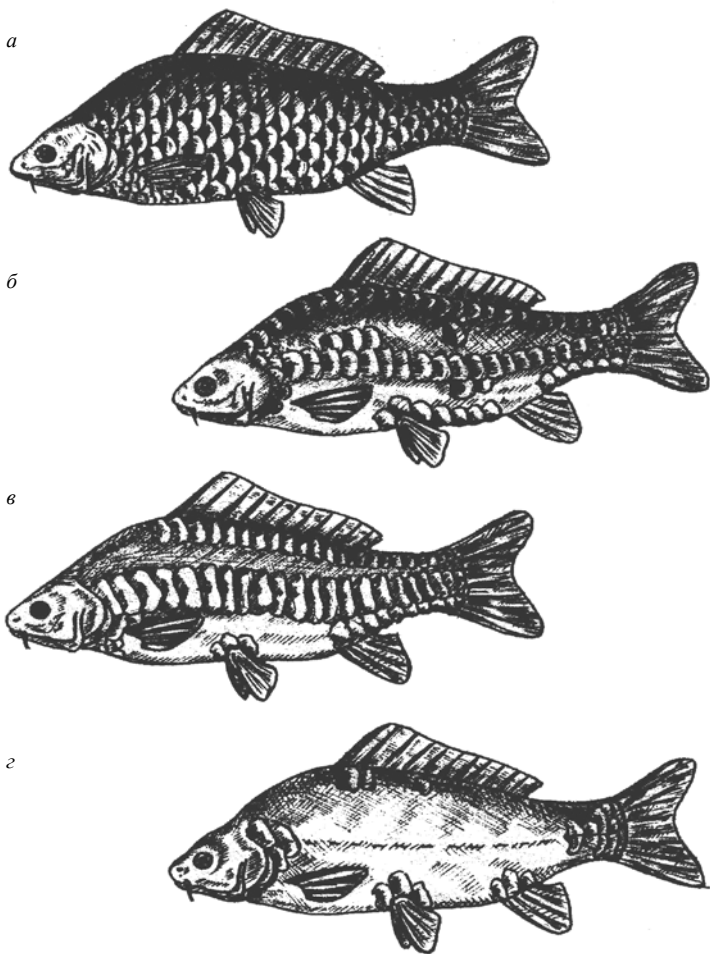


Рис. 1. Типы карпов по характеру чешуйного покрова:  
а – чешуйчатый; б – разбросанный; в – линейный; г – голый

Фенотипические различия между указанными типами выражены, как правило, четко и хорошо различимы. Установлено, что тип чешуйного покрова у карпа определяется двумя парами аутосомных генов, не сцеп-

ленных друг с другом, каждый из которых имеет по два аллеля –  $S$ ,  $s$  и  $N$ ,  $n$ .

Аллель  $N$  в гомозиготном состоянии обладает летальным эффектом, поэтому зародыши, в генотипе которых имеется пара аллелей второго гена в гомозиготном доминантном состоянии, нежизнеспособны, эмбрионы погибают на стадии вылупления или вскоре после выхода личинки из оболочки.

## 1.2. Пример решения и оформления задачи

**Задача.** При скрещивании самки карпа, имеющей чешуйчатый тип покрова, с самцом, имеющим разбросанный тип, у мальков не произошло расщепления ни по чешуйному покрову, ни по генотипу. В потомстве получили 2 300 шт. мальков. Определите возможные генотипы родителей. Составьте схему скрещивания. Дайте ответы на поставленные вопросы.

1. Сколько типов гамет продуцирует материнская форма?
2. Сколько типов гамет продуцирует отцовская форма?
3. Сколько генотипов у мальков при такой схеме скрещивания?
4. Сколько среди потомков разбросанных карпов?
5. Сколько среди потомков чешуйчатых карпов?

*Решение.*

Дано:

♀ – чешуйчатый тип покрова может иметь два генотипа:  $SSnn$  или  $Ssnn$ . Но только при условии гомозиготности родительских форм у потомства не будет наблюдаться расщепления. Гомозиготной по чешуйчатому типу покрова будет самка с генотипом  $SSnn$ ;

♂ – разбросанный тип покрова может иметь только один генотип –  $ssnn$ ;

$F$  – 2 300 шт.

Схема скрещивания:

$P_1$  ♀  $SSnn \times$  ♂  $ssnn$ ;

$G$  –  $Sn \times sn$ .

Гомозиготные формы дают по одному типу гамет –  $1 \times 1 = 1$ :

$F_1$  –  $Ssnn$ .

У потомства получаем один генотип ( $Ssnn$ ) и один фенотип – мальков с чешуйчатым типом покрова.

1. Материнская форма продуцирует один тип гамет ( $Sn$ ).
2. Отцовская форма продуцирует один тип гамет ( $sn$ ).
3. При такой схеме скрещивания мальки имеют один генотип ( $Ssnn$ ).
4. У потомков в  $F_1$  нет разбросанных карпов.
5. У потомков в  $F_1$  все карпы чешуйчатые – это 2 300 шт., или 100 %.

### 1.3. Анализ результатов расхождения гамет

Воспользуйтесь третьим законом Г. Менделя и составьте решетку Пеннета для дигибридного скрещивания (табл. 1). Обратите внимание на аллельное и неаллельное взаимодействие генов, контролирующих тип чешуйного покрова. Для скрещивания в рыбхозе использовали линейных карпов с дигетерозиготным генотипом ( $SsNn$ ). Всего на инкубацию было заложено 48 000 шт. икринок. Составьте схему скрещивания и ответьте на поставленные вопросы.

Т а б л и ц а 1. Решетка Пеннета

| $G \text{♀}$ | $G \text{♂}$ |      |      |      |
|--------------|--------------|------|------|------|
|              | $SN$         | $Sn$ | $sN$ | $sn$ |
| $SN$         |              |      |      |      |
| $Sn$         |              |      |      |      |
| $sN$         |              |      |      |      |
| $sn$         |              |      |      |      |

1. Сколько в потомстве получили различных генотипов?
2. Сколько в потомстве  $F_2$  получили разных фенотипов?
3. Сколько живых линейных карпов получили в потомстве  $F_2$ ?
4. Сколько нежизнеспособных генотипов голых карпов получили в потомстве  $F_2$ ?
5. Сколько в потомстве было разбросанных мальков?
6. Сколько при таком скрещивании проклюнется чешуйчатых потомков?
7. Сколько мальков будут чистопородными? Выпишите их генотипы и фенотипы.

### 1.4. Определение оптимальных вариантов скрещивания

Составьте все возможные схемы скрещивания карпов с различными типами чешуйного покрова. Сколько вариантов скрещивания воз-

можно получить, если в рыбхозе в виде исходного материала имеются все возможные генотипы по чешуйному покрову карпа?

Рассчитайте (в %) ожидаемое соотношение рыб с разными фенотипами в потомствах при всех возможных типах скрещивания. Данные занесите в табл. 2, проанализируйте их и сделайте заключение о целесообразности комплектования маточных стад рыбхозов производителями с различным типом чешуйного покрова.

Таблица 2. Наследование чешуйного покрова у карпа

| №<br>схемы                         | Генотипы<br>родителей | Родители независимо от пола и % от общего поголовья<br>потомков |                   |          |         |       |         |
|------------------------------------|-----------------------|---|-------------------|----------|---------|-------|---------|
|                                    |                       | Чешуй-<br>чатые   | Разбро-<br>санные | Линейные |         | Голые |         |
|                                    |                       |   |                   | живые    | неживые | живые | неживые |
| <b>Чешуйчатый × разбросанный</b>   |                       |   |                   |          |         |       |         |
| 1                                  | <i>SSnn × ssn</i>     | 100   | 0                 | 0        | 0       | 0     | 0       |
| 2                                  | <i>Ssn × ssn</i>      | 50  | 50                | 0        | 0       | 0     | 0       |
| <b>Чешуйчатый × линейный</b>       |                       |   |                   |          |         |       |         |
| 3                                  |                       |   |                   |          |         |       |         |
| <b>Чешуйчатый × чешуйчатый</b>     |                       |   |                   |          |         |       |         |
|                                    |                       |   |                   |          |         |       |         |
| <b>Чешуйчатый × голый</b>          |                       |   |                   |          |         |       |         |
|                                    |                       |   |                   |          |         |       |         |
| <b>Разбросанный × разбросанный</b> |                       |   |                   |          |         |       |         |
|                                    |                       |   |                   |          |         |       |         |
| <b>Разбросанный × линейный</b>     |                       |   |                   |          |         |       |         |
|                                    |                       |   |                   |          |         |       |         |
| <b>Разбросанный × голый</b>        |                       |   |                   |          |         |       |         |
|                                    |                       |   |                   |          |         |       |         |
| <b>Линейный × линейный</b>         |                       |   |                   |          |         |       |         |
|                                    |                       |   |                   |          |         |       |         |
| <b>Линейный × голый</b>            |                       |   |                   |          |         |       |         |
|                                    |                       |   |                   |          |         |       |         |
| <b>Голый × голый</b>               |                       |   |                   |          |         |       |         |
|                                    |                       |   |                   |          |         |       |         |

Какие селекционные мероприятия необходимо провести (принимая во внимание закономерности наследования чешуйного покрова у карпа), чтобы избежать потерь среди посадочного материала при нерестовой кампании, а также снижения рыбопродуктивности среди выращиваемых рыб других возрастных групп?



## 2. ПЛЕЙОТРОПНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕНОВ ЧЕШУЙНОГО ПОКРОВА

Гены чешуйного покрова обладают широким плейотропным действием. Особенно сильное действие оказывает ген *N*. Различия по жизнеспособности между карпами с генотипами *Nn* и *nn* очень высокие; гетерозиготы отличаются сильно пониженной выживаемостью. Даже при сравнительно благоприятных условиях выращивания карпов наблюдается довольно существенное отклонение от ожидаемых отношений.

Линейные и голые карпы отличаются замедленным темпом роста и пониженной жизнеспособностью. Различия в выживаемости между карпами, несущими ген *N* и лишенными этого гена, резко усиливаются при неблагоприятных условиях содержания рыб.

Плейотропное действие аллеля *s* гораздо слабее, хотя между чешуйчатыми и разбросанными карпами наблюдаются определенные различия по ряду признаков.

Разбросанные карпы вполне жизнеспособны, но в случае неблагоприятных условий содержания количество чешуйчатых особей повышается при возвратном скрещивании до 52–55 % за счет их более высокой жизнестойкости. Доминантность гена *S* является неполной. Гетерозиготные чешуйчатые карпы (*Ssnn*) растут несколько быстрее гомозиготных (*SSnn*); у гетерозигот чаще наблюдаются нарушения в расположении чешуи на теле.

При благоприятных условиях выращивания разбросанные карпы практически не уступают чешуйчатым по темпу роста и жизнеспособности.

Пониженная выживаемость карпов с геном *N* является следствием неблагоприятного действия этого гена на большое число признаков. Аллели *S* и *s* также обладают плейотропным эффектом, но он выражен значительно слабее. Многие органы карпа изменяются под влиянием генов чешуи, меняются при этом и морфологические, и физиологические особенности. По весу чешуйчатые карпы обычно оказываются немного лучше разбросанных, в особенности если их не подкармливают. Линейные и голые карпы растут медленнее других, это отставание усиливается при недостатке корма. Несмотря на замедленный рост линейных и голых карпов коэффициенты использования корма у них более высокие. Отличаются они и повышенным жировым обменом – летом у линейных и голых карпов жир накапливается быстрее, зимой расходуется в больших количествах, чем у чешуйчатых и разбросанных. С этой особенностью связана пониженная зимостойкость сеголетков, имеющих ген *N*.

Редукция жаберного аппарата и уменьшение числа глоточных зубов, возможно, являются главными факторами, обуславливающими замедленный рост линейных и голых карпов. Вместо обычных для сазана трехрядных зубов у карпов этих двух групп часто встречаются двурядные и однорядные зубы.

Очень характерным является действие генов  $N$  и  $s$  на плавники карпа. У разбросанных карпов число мягких лучей в спинном плавнике оказывается несколько сниженным, если сравнивать их с чешуйчатыми карпами. Уменьшено у них и число лучей в брюшном и грудном плавниках. При наличии гена  $N$  действие гена  $s$  проявляется сильнее, редукция всех плавников (спинного, анального, и грудных) у голых карпов ( $s, N$ ) выражена в значительно большей степени, чем у линейных ( $S, n$ ), редуцирующее влияние гена  $N$  оказывается во много раз большим. У чешуйчатых и разбросанных карпов плавники имеют нормальное строение. У линейных и голых карпов некоторые мягкие лучи в средней, а иногда и в задней части спинного плавника не развиваются совсем и общее число лучей заметно уменьшается. Сильная редукция захватывает обычно и анальный плавник, в меньшей степени затронуты брюшные и грудные плавники. Уменьшено и число жестких лучей в спинном и анальном плавниках.

Изучите различные виды неблагоприятного действия генов  $s$  и  $N$  на продуктивные, морфометрические и физиологические признаки (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Плейотропный эффект генов чешуи у карпов

| Признаки   | Чешуйчатые | Разбросанные | Линейные | Голые |
|--|------------|--------------|----------|-------|
| 1  | 2          | 3            | 4        | 5     |
| Вес сеголетков, благоприятные условия*                   | 100        | 93–96        | 85–88    | 79–80 |
| То же, неблагоприятные условия*                          | 100        | 83–94        | 42–70    | 83–84 |
| Вес двухлетков*  | 100        | 94–96        | 86–91    | 83–84 |
| Способность к регенерации плавников*                     | 100        | 76           | 39       | 19    |
| Общая жизнеспособность сеголетков, оптимальные условия*  | 100        | 91–98        | 87–93    | 80–92 |
| То же, неблагоприятные условия                           | 100        | 93–95        | 36–37    | 28–60 |
| Среднее число ветвистых лучей в спинном плавнике ( $D$ ) | 18,8       | 18,7         | 16,4     | 15,4  |

| 1   | 2       | 3         | 4       | 5             |
|---|---------|-----------|---------|---------------|
| То же в анальном плавнике ( <i>A</i> )  | 4,96    | 5,00      | 3,82    | 3,56          |
| Среднее число лучей в брюшном плавнике ( <i>V</i> )   | 8,91    | 8,68      | 8,76    | 8,47          |
| Среднее число ветвистых лучей в грудном плавнике ( <i>P</i> )                                   | 14,7    | 14,3      | 14,3    | 13,1          |
| Индекс прогонистости ( <i>I/H</i> ) – отношение длины тела к максимальной его высоте (вариация) | 2,3–2,7 | 24,0–24,5 | 19–21   | 18,0–20,5     |
| Количество эритроцитов, млн/см <sup>3</sup>   | 1,93    | 1,99      | 1,76    | 1,69          |
| Гемоглобин, г/%   | 9,02    | 8,87      | 8,18    | 8,28          |
| Устойчивость к нагреву (критическая температура), °С  | 37,6    | 37,5      | 36,8    | 36,6          |
| Устойчивость к дефициту кислорода, выживаемость, мин  | 210     | 210       | 132     | 132           |
| Интенсивность жирового обмена   | Низкая  | Низкая    | Высокая | Очень высокая |

\*В процентах от значения данного признака у чешуйчатых карпов, принятого за 100.

Проанализируйте данные табл. 3, сделайте вывод о целесообразности разведения карпов с различными типами чешуйного покрова. При выборе объекта разведения для рыбхоза определите, карпам с каким типом чешуйного покрова вы отдали бы предпочтение.

### 3. ГЕНЕТИКА РАЗЛИЧНОЙ ОКРАСКИ ТЕЛА КАРПА

#### 3.1. Теоретические основы наследования пигментов покрова

Генетическая изменчивость по окраске тела рыб связана с мутациями генов, влияющих на синтез пигментов или на структуру пигментных клеток. Генетический анализ показал, что ряд типов окраски контролируется аутосомными генами, не сцепленными друг с другом и с генами чешуйного покрова.

Чешуйчатый карп и сазан обычно имеют серебристо-серую с зеленоватым отливом окраску тела, более темную со стороны спины и почти белую со стороны брюшка. У форм с редуцированным чешуйным покровом (разбросанные, линейные и голые) окраска кожи зеленовато- или желтовато-коричневая. Наряду с такими «нормальными» рыбами встречаются карпы с измененной окраской – хромисты.

Голубые карпы часто встречаются среди различных одомашненных породных групп. Наследуется голубая окраска, как простой рецессивный признак. Голубые карпы возникли в результате мутаций разных генов. Голубая окраска была обнаружена и изучена у немецких, польских и израильских карпов.

Известны карпы с золотой и серой окрасками. Оба эти типа, как и голубой, являются простыми рецессивными признаками. «Золотые» особи, точнее красные или оранжевые, с черными глазами встречаются во многих странах, как среди культивируемых пород карпа, так и среди разновидностей дикого родича карпа – сазана. Гены золотой и серой окрасок, как и ген голубой окраски, отрицательно влияют на рост.

Оранжевая окраска у японских карпов вызвана отсутствием пигментных клеток – меланофоров (последнее приводит к усиленному синтезу оранжевого пигмента в ксантофорах). На личиночной стадии двойные гомозиготы прозрачны (в коже нет черных пигментных клеток – меланофоров), лишь глаза у них черные, оранжевая окраска появляется на более поздних стадиях. Оранжевые карпы в сравнении с обычными характеризуются замедленным темпом роста и пониженной выживаемостью.

«Белые» особи характеризуются сильно пониженной выживаемостью и медленным ростом. Большая часть из них погибает до достижения половой зрелости.

«Светлые» карпы характеризуются устойчивой концентрацией меланина в центре меланофоров и в связи с этим похожи на обычных карпов, длительное время выдержанных на светлом фоне. Признак «светлая окраска» контролируется доминантным геном, обладающим летальным эффектом в гомозиготном состоянии.

Совсем не изучены «зеленые» карпы, нередко появляющиеся среди амурских сазанов и в породах, созданных с их участием. Не изучены и многие цветные разновидности карпов и сазанов в тропиках – желтые, фиолетовые, коричневые, настоящие альбиносы и др. Предполагается, что большинство из этих вариантов окраски определяется одним, иногда двумя или тремя генами, влияющими на развитие пигментных клеток.

Сцепления генов окраски друг с другом и с генами чешуйного покрова *S* и *N* до последнего времени обнаружено не было. Это предоставляет широкие возможности для использования многих из них в качестве маркеров селекционных отводок и породных групп карпа.

Генетическая изменчивость по окраске тела рыб, связанная с мутациями генов, влияет на синтез пигментов и на структуру пигментных клеток. Изменение пигментации под действием мутантных генов сопровождается проявлением плейотропного эффекта этих генов, который может как положительно, так и отрицательно влиять на хозяйственно ценные признаки (табл. 4). Изучите плейотропный эффект, который вызывают гены окраски тела карпа.

Т а б л и ц а 4. Генотипы различных типов окраски тела карпа и плейотропный эффект, вызываемый генами окраски

| Тип окраски           | Генотип   | Плейотропный эффект   |
|-----------------------|---|---|
| Светлая               | <i>Ll</i>   | Доминантные гомозиготы нежизнеспособны, у гетерозигот снижается выживаемость  |
| Светло-желтый рисунок | <i>DD Dd</i>  | Удлинена задняя камера плавательного пузыря, увеличено число позвонков. По скорости роста не отличаются от обычных  |
| Золотистая            | <i>GG</i>   | По скорости роста уступают обычным карпам   |
| Серая                 | <i>ff</i>   | По скорости роста уступают обычным карпам   |
| Голубая               | <i>rr</i>   | По скорости роста не уступают обычным карпам  |
| Оранжевая             | <i>b<sub>1</sub>b<sub>1</sub>b<sub>2</sub>b<sub>2</sub></i>   | Оранжевые карпы по сравнению с обычными отличаются замедленным темпом роста и пониженной выживаемостью  |
| Белая                 | <i>rrb<sub>1</sub>b<sub>1</sub>b<sub>2</sub>b<sub>2</sub></i> | Сильно пониженная выживаемость, низкий темп роста. Большая часть из них не достигает половой зрелости   |
| Альбинизм             | <i>aa</i>   | Вызывает отсутствие окраски радужной оболочки, снижает плотность костной ткани, приводит к редукции интермускулярных косточек, снижает общую жизнеспособность |

На основании данных табл. 4 охарактеризуйте типы аллельного и неаллельного взаимодействия генов, вызывающих появление в природе карпов-хромистов.

### 3.2. Пример решения и оформления задачи

**Задача.** У карпа признак «светлая окраска» контролируется доминантным геном *L*, обладающим летальным эффектом в гомозиготном состоянии, ген *l* – обычная темно-серая окраска. При скрещивании карпов со светлой окраской между собой получили 4 000 шт. икринок, которые были заложены на инкубацию. Запишите генотипы родителей. Составьте схему скрещивания. Дайте ответы на поставленные вопросы.

1. По сколько типов гамет продуцируют родительские формы?
2. Сколько генотипов можно получить при такой схеме скрещивания?
3. Сколько в потомстве получили обычных мальков?
4. Сколько в потомстве получили светлых мальков?
5. Сколько икринок были нежизнеспособными?

*Решение.*

Дано:

♀ – светлой окраски  $Ll$ ;

♂ – светлой окраски  $Ll$ ;

на инкубацию заложено 4 000 шт. икринок.

Схема скрещивания:

$P_1 \text{ ♀ } Ll \times \text{ ♂ } Ll$ ;

$G - L \text{ и } l \times L \text{ и } l$ .

Гетерозиготные формы дают по два типа гамет –  $2 \times 2 = 4$ . Разместим их в решетке Пеннета (табл. 5).

Т а б л и ц а 5. Р е ш е т к а П е н н е т а

| $G \text{ ♀}$ | $G \text{ ♂}$   |   |
|---------------|---|---|
|               | $L$   | $l$   |
| $L$           | $LL - 1\ 000$ шт.<br>Гомозиготы доминантные, нежизнеспособные | $Ll - 1000$ шт.<br>Гетерозиготы светлые, живые                  |
| $l$           | $Ll - 1\ 000$ шт.<br>Гетерозиготы светлые, живые              | $ll - 1000$ шт.<br>Гомозиготы рецессивные, обычные, темно-серые |

В потомстве  $F_2$  – получаем четыре возможных варианта скрещивания ( $LL : Ll : Ll : ll$ ) и три генотипа ( $1 - LL : 2 - Ll : 1 - ll$ ).

1. Родительские формы продуцируют по 2 типа гамет ( $L$  и  $l$ ).
2. При такой схеме скрещивания можно получить три генотипа ( $1 - LL : 2 - Ll : 1 - ll$ ).
3. В потомстве получили 1 000 шт. обычных темно-серых мальков.
4. В потомстве получили 2 000 шт. светлых мальков.
5. Нежизнеспособными были 1 000 шт. икринок с генотипом  $LL$ .

## 4. ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### 4.1. Задачи по генетике чешуйного покрова

Решите задачи по предложенному образцу, запишите все возможные генотипы и фенотипы рыб, ответьте на поставленные вопросы.

**Задача 1.** При скрещивании чешуйчатых карпов между собой у мальков расщепление по чешуйному покрову произошло в следующем отношении: 3 части чешуйчатых и 1 часть разбросанных. В потомстве получили 4 600 шт. мальков. Определите возможные генотипы родителей. Составьте схему скрещивания. Дайте ответы на вопросы.

1. Сколько генотипов у мальков при такой схеме скрещивания?
2. Сколько типов гамет продуцируют родительские формы?
3. Сколько среди потомков разбросанных карпов?
4. Сколько среди потомков чешуйчатых карпов?
5. Сколько среди потомков чистопородных мальков?

**Задача 2.** При скрещивании между собой карпов, имеющих линейный тип чешуйного покрова, у мальков получилось 8 вариантов скрещивания. В инкубатор было заложено 16 000 шт. икринок. Определите возможные генотипы родителей. Составьте схему скрещивания. Дайте ответы на вопросы.

1. Есть ли среди родительских форм чистопородные карпы?
2. Сколько генотипов у мальков при такой схеме скрещивания?
3. Сколько среди потомков линейных карпов?
4. Сколько среди потомков чешуйчатых карпов?
5. Сколько икринок были нежизнеспособными?

**Задача 3.** При скрещивании самки карпа, имеющей чешуйчатый тип покрова, с самцом, имеющим линейный тип, у мальков расщепление по чешуйному покрову произошло в следующем соотношении: 1 часть чешуйчатых и 1 часть линейных. Всего в потомстве получили 1 800 шт. мальков. Определите возможные генотипы родителей. Составьте схему скрещивания. Дайте ответы на вопросы.

1. Сколько генотипов у мальков при такой схеме скрещивания?
2. Сколько типов гамет продуцирует материнская форма?
3. Сколько типов гамет продуцирует отцовская форма?

4. Сколько среди потомков чешуйчатых карпов?
5. Сколько среди потомков линейных карпов?

**Задача 4.** При скрещивании чешуйчатых карпов между собой у мальков расщепления по фенотипу не произошло, а по генотипу произошло в соотношении 1 : 1. Определите возможные генотипы родителей. В потомстве получили 1 550 шт. мальков. Определите возможные генотипы родителей. Составьте схему скрещивания. Дайте ответы на вопросы.

1. Сколько генотипов у мальков при такой схеме скрещивания?
2. Сколько среди потомков чистопородных карпов?
3. Скрестите чистопородных самок из полученного потомства с разбросанными самцами. Сколько генотипов у новых гибридов?
4. Сколько в новом потомстве будет чешуйчатых мальков при условии, что всего получили 1 000 шт.
5. Сколько в потомстве разбросанных карпов?

**Задача 5.** При скрещивании самки карпа, имеющей линейный тип чешуйного покрова, с самцом, не имеющим чешуйного покрова, у мальков появились все формы по чешуйному покрову в разном соотношении. Всего получили в потомстве 3 600 шт. жизнеспособных мальков. Определите возможные генотипы родителей. Составьте схему скрещивания. Дайте ответы на вопросы.

1. Сколько типов гамет продуцирует материнская форма?
2. Сколько типов гамет продуцирует отцовская форма?
3. Сколько среди потомков разбросанных карпов?
4. Сколько среди потомков линейных карпов?
5. Сколько икринок были нежизнеспособными?

**Задача 6.** При скрещивании самки карпа с чешуйчатым типом покрова с самцом, имеющим линейный тип чешуи, у мальков расщепление по чешуйному покрову произошло в следующем соотношении:  $\frac{1}{8}$  часть голых,  $\frac{1}{8}$  часть разбросанных,  $\frac{3}{8}$  части чешуйчатых и  $\frac{3}{8}$  части линейных. Всего получили в потомстве 4 000 шт. мальков. Определите возможные генотипы родителей. Составьте схему скрещивания. Дайте ответы на вопросы.

1. Сколько типов гамет продуцирует материнская форма?
2. Сколько типов гамет продуцирует отцовская форма?
3. Сколько генотипов у мальков при такой схеме скрещивания?



4. Сколько среди потомков разбросанных карпов?
5. Сколько среди потомков линейных карпов?

**Задача 7.** При скрещивании самки карпа, имеющей линейный тип чешуйного покрова, с самцом, не имеющим чешуйного покрова, у мальков произошло расщепление по чешуйному покрову (чешуйчатые и линейные) и по генотипу. Всего было заложено на инкубацию 8 000 шт. икринок. Определите возможные генотипы родителей. Составьте схему скрещивания. Дайте ответы на вопросы.

1. Сколько типов гамет продуцирует материнская форма?
2. Сколько типов гамет продуцирует отцовская форма?
3. Сколько генотипов у мальков при такой схеме скрещивания?
4. Сколько среди потомков чешуйчатых карпов?
5. Сколько живых линейных мальков?

**Задача 8.** При скрещивании самки карпа с чешуйчатым типом покрова с самцом, не имеющим чешуи, у мальков расщепление по чешуйному покрову произошло в следующем соотношении: 1 часть чешуйчатых, 1 часть линейных, 1 часть голых и 1 часть разбросанных. Всего на инкубацию было заложено 24 000 шт. икринок. Определите возможные генотипы родителей. Составьте схему скрещивания и ответьте на поставленные вопросы.

1. Сколько типов гамет продуцирует материнская форма?
2. Сколько генотипов должно получиться у потомков при такой схеме скрещивания?
3. Сколько в потомстве голых мальков?
4. Сколько в потомстве разбросанных карпов?
5. Сколько икринок нежизнеспособных?

**Задача 9.** Известно, что чешуйчатые карпы обладают наибольшей интенсивностью роста. В рыбхозе для воспроизводства оставили чешуйчатых карпов при условии, что их будут скрещивать между собой. Как проверить генотипы производителей, исключив при этом таких, которые могут дать расщепление в потомстве?

**Задача 10.** В рыбхозе имеются только линейные производители карпа. При скрещивании их между собой у потомства появляются различные типы чешуйного покрова. Какие мероприятия провели бы вы, используя на начальном этапе скрещивания линейных произво-

дителей между собой? Дайте оценку полученному потомству. Подберите карпов для дальнейших скрещиваний и получения потомства, которое состояло бы только из чешуйчатых карпов? Составьте возможные схемы скрещиваний. Проанализируйте результаты каждого скрещивания. Сделайте выводы.

**Задача 11.** Известно, что чешуйчатые карпы обладают наибольшей интенсивностью роста. В рыбхозе для воспроизводства оставили чешуйчатых карпов при условии, что их будут скрещивать между собой для получения только чешуйчатых мальков. В лаборатории рыбхоза имеются разбросанные карпы, которых использовали для проверки генотипов производителей, исключив при этом таких, которые могут дать расщепление в потомстве. Составьте возможные схемы скрещиваний. Проанализируйте результаты каждого скрещивания. Сделайте выводы.

#### 4.2. Задачи по генетике окраски тела рыб

**Задача 1.** У карпа признак «светлая окраска» контролируется доминантным геном  $L$ , обладающим летальным эффектом в гомозиготном состоянии, ген  $l$  – отсутствие светлой окраски (темно-серая). Было проведено анализирующее скрещивание светлых самок с самцами обычной темно-серой окраски. В потомстве получено 800 шт. жизнеспособных мальков. Составьте схему скрещивания, запишите генотипы родителей и мальков. Ответьте на вопросы.

1. Сколько типов гамет продуцирует материнская форма?
2. Сколько типов гамет продуцирует отцовская форма?
3. Сколько среди потомков светлых карпов?
4. Сколько среди потомков обычных карпов?
5. Сколько получено генотипов при таком скрещивании?

**Задача 2.** У карпа появление серой окраски связано с геном  $f$ , отсутствие серой окраски – с геном  $F$ . Было проведено два скрещивания обычного карпа с карпом, имеющим серую окраску. В первом случае получено 1 935 шт. мальков, у которых расщепления по окраске не произошло. Во втором случае получено 2 400 шт. мальков, у которых наблюдалось расщепление по окраске. Составьте схему скрещивания, запишите генотипы родителей и мальков. Ответьте на вопросы.

1. Сколько в первом скрещивании получено серых карпов?

2. Сколько типов гамет продуцируют родители  $F_2$ ?
3. Сколько среди потомков  $F_2$  серых карпов?
4. Сколько среди потомков  $F_2$  обычных карпов?
5. Сколько получено генотипов  $F_2$  в таком скрещивании?

**Задача 3.** У карпа оранжевая окраска контролируется двумя рецессивными аллелями генов  $b_1$  и  $b_2$ . Обычная окраска появляется, когда в генотипе присутствует хотя бы один доминантный аллель гена  $B_1$  или гена  $B_2$ . Было проведено скрещивание самки карпа с обычной окраской, гетерозиготной по обоим генам, с оранжевым самцом. Составьте схему скрещивания. Определите генотипы и фенотипы мальков, если в результате такого скрещивания в потомстве  $F_A$  получено 480 шт. мальков. Ответьте на вопросы.

1. Сколько типов гамет продуцирует материнская форма?
2. Сколько типов гамет продуцирует самец?
3. Сколько среди потомков  $F_A$  обычных карпов?
4. Сколько среди потомков  $F_A$  оранжевых карпов?
5. Сколько вариантов скрещивания можно ожидать в потомстве  $F_A$ ?

**Задача 4.** У карпа появление золотистой окраски связано с геном  $g$ , отсутствие золотистой окраски – с геном  $G$ . Было проведено два скрещивания обычного карпа с карпом, имеющим золотистую окраску. В первом случае получено 2 500 шт. мальков, у которых расщепления по окраске не произошло. Во втором случае получено 2 400 шт. мальков, у которых наблюдалось расщепление по окраске. Составьте схему скрещивания, запишите генотипы родителей и мальков. Ответьте на вопросы.

1. По сколько типов гамет дают родители первой схемы?
2. Сколько потомков  $F_1$  имели обычную окраску?
3. Сколько среди потомков  $F_2$  обычных карпов?
4. Сколько среди потомков  $F_2$  золотистых карпов?
5. Сколько вариантов скрещивания можно ожидать в потомстве  $F_2$ ?

**Задача 5.** У карпа обычная окраска, контролируемая геном  $R$ , преобладает над голубой, которая контролируется геном  $r$ , а наличие светло-желтого орнамента на голове, контролируемого геном  $D$ , преобладает над отсутствием этого орнамента (ген  $d$ ). Было проведено скрещивание карпов, гетерозиготных по обоим генам, между собой. Какое расщепление по генотипу и фенотипу будет наблюдаться у

мальков, если количество полученного потомства составило 4 800 шт.? Ответьте на вопросы.

1. Сколько типов гамет продуцируют родительские формы?
2. Сколько получено генотипов при таком скрещивании?
3. Сколько вариантов скрещивания можно ожидать в потомстве  $F_2$ ?
4. Сколько среди потомков голубых карпов?
5. Сколько получено обычных карпов с орнаментом?

**Задача 6.** У карпа проявление оранжевой окраски вызывается генами  $b_1$  и  $b_2$ , а голубой окраски – геном  $r$ . Оранжевая и голубая окраска являются рецессивными по отношению к обычной – темно-серой, которая возникает при наличии в генотипе хотя бы одного доминантного аллеля генов  $b_1$  и  $b_2$ . Сочетание генов оранжевой ( $b_1$  и  $b_2$ ) и голубой ( $r$ ) окрасок в рецессивном состоянии приводит к комплементарному взаимодействию, в результате чего появляется белая окраска. Было проведено анализирующее скрещивание обычных (темно-серых) карпов, гетерозиготных по трем генам, со светлым карпом. Составьте схему скрещивания. Запишите генотипы и фенотипы мальков, если всего их получено 2 400 шт. Ответьте на вопросы.

1. Сколько типов гамет продуцируют родительские формы?
2. Сколько получено генотипов при таком скрещивании?
3. Сколько вариантов скрещивания можно ожидать в потомстве  $F_2$ ?
4. Сколько среди потомков голубых карпов?
5. Сколько получено обычных карпов с орнаментом?

**Задача 7.** У форели ген золотистой окраски  $G$  неполно доминирует над темно-серой  $g$ , вызывая появление окраски «паломино».

При скрещивании самки форели, имеющей окраску «паломино», с форелью темно-серой окраски получено 3 700 шт. мальков. Какое расщепление по генотипу и фенотипу будет наблюдаться у потомства? Ответьте на вопросы.

1. Сколько типов гамет продуцирует материнская форма?
2. Сколько получено генотипов при таком скрещивании?
3. Сколько среди потомков карпов с окраской «паломино»?
4. Сколько среди потомков темно-серых карпов?
5. Сколько получено чистопородных мальков?

**Задача 8.** У канального сомика имеется ген альбинизма  $a$ . При скрещивании самца и самки, имеющих нормальную окраску, в потомстве появились альбиносы. Какое расщепление по генотипу и феноти-

пу будет наблюдаться у мальков, если их получено 3 200 шт.? Запишите схему скрещивания. Ответьте на вопросы.

1. Сколько типов гамет продуцируют родительские формы?
2. Сколько получено генотипов при таком скрещивании?
3. Сколько вариантов скрещивания можно ожидать?
4. Сколько среди потомков обычных карпов?
5. Сколько среди потомков карпов альбиносов?

## 5. ВОПРОСЫ И ТЕСТЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### 5.1. Вопросы для самоконтроля

1. Что такое полиморфные системы?
2. Перечислите качественные признаки рыб.
3. Перечислите количественные признаки рыб.
4. Как определить массу тела рыб?
5. К какому признаку относится окраска тела рыб?
6. Какой тип чешуйного покрова встречается у рыб?
7. К какому типу признаков относят наследование чешуйного покрова у карпа?
8. Какие типы чешуйного покрова выделяют у карпа?
9. Каким генотипом определяется чешуйчатый тип покрова у карпа?
10. Каким генотипом определяется голый тип покрова у карпа?
11. Каким генотипом определяется линейный тип покрова у карпа?
12. Каким генотипом определяется разбросанный тип покрова у карпа?
13. С каким типом покрова получают мальки при скрещивании генотипов карпа  $SSnn \times ssnn$ ?
14. С каким типом покрова получают мальки при скрещивании генотипов карпа  $Ssnn \times ssnn$ ?
15. С каким типом покрова получают мальки при скрещивании генотипов карпа  $ssNn \times ssnn$ ?
16. С каким типом покрова получают мальки при скрещивании генотипов карпа  $SSNn \times ssnn$ ?
17. С каким типом покрова получают мальки при скрещивании генотипов карпа  $SsNn \times ssnn$ ?
18. С каким типом покрова получают мальки при скрещивании генотипов карпа  $Ssnn \times ssnn$ ?
19. Качественные признаки рыб: чешуйный покров.

20. Тип окраски и другие качественные признаки рыб.
21. Фенодиванты у рыб.
22. Понятие о количественных признаках.
23. Особенности исследования и методы изучения количественных признаков.
24. Использование основных биометрических констант при изучении количественных признаков (генотипическая и фенотипическая изменчивость, коэффициент наследуемости, корреляционный и регрессионный анализ).
25. Значение количественных признаков в эволюции и селекции.
26. Полиплоидия в эволюции селекции рыб, перспективы ее использования в селекции.

## 5.2. Тестовые задания

### **1. Качественные признаки рыб – это:**

- 1) признаки, которые невозможно измерить, так как нет приборов и нет единиц измерения;
- 2) ценные признаки;
- 3) признаки, которые можно измерить с помощью измерительных приборов и у которых есть единицы измерения;
- 4) варианты 2 и 3;
- 5) нет правильных ответов.

### **2. Количественные признаки рыб – это:**

- 1) признаки, которые невозможно измерить, так как нет приборов и нет единиц измерения;
- 2) ценные признаки;
- 3) признаки, которые можно измерить с помощью измерительных приборов и у которых есть единицы измерения;
- 4) варианты 1 и 2;
- 5) нет правильных ответов.

### **3. Масса тела рыб – это признак:**

- 1) количественный;
- 2) качественный;
- 3) альтернативный;
- 4) варианты 2 и 3;
- 5) нет правильных ответов.

### **4. Окраска тела рыб – это признак:**

- 1) количественный;

- 2) качественный;
- 3) альтернативный;
- 4) варианты 2 и 3;
- 5) нет правильных ответов.

**5. Тип чешуйного покрова рыб – это признак:**

- 1) количественный;
- 2) качественный;
- 3) альтернативный;
- 4) варианты 2 и 3;
- 5) нет правильных ответов.

**6. Число икринок в 1 г – это признак:**

- 1) количественный;
- 2) качественный;
- 3) альтернативный;
- 4) варианты 2 и 3;
- 5) нет правильных ответов.

**7. Длина туловища рыб – это признак:**

- 1) количественный;
- 2) качественный;
- 3) альтернативный;
- 4) варианты 2 и 3;
- 5) нет правильных ответов.

**8. Пол рыбы – это признак:**

- 1) количественный;
- 2) качественный;
- 3) альтернативный;
- 4) варианты 2 и 3;
- 5) нет правильных ответов.

**9. Коэффициент упитанности рыб – это признак:**

- 1) количественный;
- 2) качественный;
- 3) альтернативный;
- 4) варианты 2 и 3;
- 5) нет правильных ответов.

**10. Окраска плавников у рыб – это признак:**

- 1) количественный;
- 2) качественный;
- 3) альтернативный;
- 4) варианты 2 и 3;

5) нет правильных ответов.

**11. Окраска глаз у рыб – это признак:**

1) количественный;

2) качественный;

3) альтернативный;

4) варианты 2 и 3;

5) нет правильных ответов.

**12. Индексы телосложения рыб – это признак:**

1) количественный;

2) качественный;

3) альтернативный;

4) варианты 2 и 3;

5) нет правильных ответов.

**13. Изменчивость количественных признаков изучают с помощью:**

1) измерительных приборов;

2) статистических показателей ( $C_v$ ,  $\sigma$ );

3) таблицы умножения;

4) термометра;

5) нет правильных ответов.

**14. Коэффициент изменчивости ( $C_v$ ) измеряется:**

1) в кг;

2) в %;

3) в абсолютных величинах;

4) в относительных величинах;

5) нет правильных ответов.

**15. Наследование чешуйного покрова у карпа это признак:**

1) качественный;

2) характеризующий продуктивность карпа;

3) количественный;

4) варианты 2 и 3;

5) нет правильных ответов.

**16. У карпа выделяют следующие типы чешуйного покрова:**

1) чешуйчатый, линейный, рябой и голый;

2) чешуйчатый, линейный, разбросанный и голый;

3) чешуйчатый, нечешуйный, линейный, разбросанный и голый;

4) красивый, полезный, вредный, некрасивый;

5) нет правильных ответов.

**17. У карпа чешуйчатый тип покрова определяется генотипом:**



- 1)  $SSnn, Ssnn$ ;
- 2)  $ssnn$ ;
- 3)  $SSNn, SsNn$ ;
- 4)  $ssNn$ ;
- 5)  $AABB$ .

**18. У карпа голый тип покрова определяется генотипом:**

- 1)  $SSnn, Ssnn$ ;
- 2)  $ssnn$ ;
- 3)  $SSNn, SsNn$ ;
- 4)  $ssNn$ ;
- 5)  $AABB$ .

**19. У карпа линейный тип покрова определяется генотипом:**

- 1)  $SSnn, Ssnn$ ;
- 2)  $ssnn$ ;
- 3)  $SSNn, SsNn$ ;
- 4)  $ssNn$ ;
- 5)  $AABB$ .

**20. У карпа разбросанный тип покрова определяется генотипом:**

- 1)  $SSnn, Ssnn$ ;
- 2)  $ssnn$ ;
- 3)  $SSNn, SsNn$ ;
- 4)  $ssNn$ ;
- 5)  $AABB$ .

**21. При скрещивании генотипов карпа  $SSnn \times ssnn$  получают мальки с покровом:**

- 1) чешуйчатым;
- 2) голым;
- 3) линейным;
- 4) разбросанным;
- 5) варианты 2 и 3.

**22. При скрещивании генотипов карпа  $Ssnn \times ssnn$  получают мальки с покровом:**

- 1) чешуйчатым;
- 2) голым;
- 3) линейным;
- 4) разбросанным;
- 5) варианты 2 и 3.

**23. При скрещивании генотипов карна  $ssNn \times ssnn$  получаются малышки с покровом:**

- 1) чешуйчатым;
- 2) голым;
- 3) линейным;
- 4) разбросанным;
- 5) варианты 2 и 4.

**24. При скрещивании генотипов карна  $SSNn \times ssnn$  получаются малышки с покровом:**

- 1) чешуйчатым;
- 2) голым;
- 3) линейным;
- 4) разбросанным;
- 5) варианты 1 и 3.

**25. При скрещивании генотипов карна  $SsNn \times ssnn$  получаются малышки с покровом:**

- 1) чешуйчатым;
- 2) голым;
- 3) линейным;
- 4) разбросанным;
- 5) все ответы верны.

**26. При скрещивании генотипов карна  $Ssnn \times ssnn$  получаются малышки с покровом:**

- 1) чешуйчатым;
- 2) голым;
- 3) линейным;
- 4) разбросанным;
- 5) варианты 1 и 2.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бакай, А. В. Генетика / А. В. Бакай, И. И. Кочиш, Г. Г. Скрипниченко. – М.: Колос, 2006. – 461 с.
2. Генетика / А. А. Жученко [и др.]. – М.: Колос, 2003. – 505 с.
3. Жимулев, И. Ф. Общая и молекулярная генетика / И. Ф. Жимулев. – Новосибирск: Изд-во Сибир. ун-та, 2003. – 478 с.
4. Кирпичников, В. С. Генетические основы селекции / В. С. Кирпичников. – Л.: Наука, 1979. – 392 с.
5. Катасонов, В. Я. Селекция рыб с основами генетики / В. Я. Катасонов, Б. И. Гомельский. – М.: Агропромиздат, 1991. – 420 с.
6. Катасонов, В. Я. Селекция и племенное дело в рыбоводстве / В. Я. Катасонов, Н. Б. Черфас. – М.: Агропромиздат, 1986. – 184 с.
7. Картель, Н. А. Биоинженерия / Н. А. Картель. – Минск, 1989. – 143 с.
8. Привезенцев, Ю. А. Интенсивное прудовое рыбоводство / Ю. А. Привезенцев. – М.: Агропромиздат, 1991. – 386 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....   | 3  |
| 1. ГЕНЕТИКА ЧЕШУЙНОГО ПОКРОВА КАРПА.....                            | 4  |
| 1.1. Теоретические основы наследования качественных признаков ..... | 4  |
| 1.2. Пример решения и оформления задачи .....                       | 6  |
| 1.3. Анализ результатов расхождения гамет .....                     | 7  |
| 1.4. Определение оптимальных вариантов скрещивания .....            | 7  |
| 2. ПЛЕЙОТРОПНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕНОВ ЧЕШУЙНОГО ПОКРОВА.....         | 9  |
| 3. ГЕНЕТИКА РАЗЛИЧНОЙ ОКРАСКИ ТЕЛА КАРПА .....                      | 11 |
| 3.1. Теоретические основы наследования пигментов покрова .....      | 11 |
| 3.2. Пример решения и оформления задачи .....                       | 13 |
| 4. ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ .....                         | 15 |
| 4.1. Задачи по генетике чешуйного покрова .....                     | 15 |
| 4.2. Задачи по генетике окраски тела рыб .....                      | 18 |
| 5. ВОПРОСЫ И ТЕСТЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ .....                 | 21 |
| 5.1. Вопросы для самоконтроля .....                                 | 21 |
| 5.2. Тестовые задания .....   | 22 |
| ЛИТЕРАТУРА .....  | 27 |