

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Кафедра кормления и разведения
сельскохозяйственных животных

Е. В. Давыдович

СЕЛЕКЦИЯ РЫБ

ГЕНЕТИКА ПОЛА

*Методические указания и задачи
для лабораторных занятий и самостоятельной работы
для студентов, обучающихся по специальности
1-74 03 03 Промышленное рыбоводство*

Горки
БГСХА
2022

УДК 639.3.032(072)

ББК 47.2 я73

Д13

*Рекомендовано методической комиссией
факультета биотехнологии и аквакультуры.
Протокол № 2 от 26 октября 2021 г.*

Автор:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Е. В. Давыдович*

Рецензент:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Н. В. Барулин*

Давыдович, Е. В.

Д13

Селекция рыб. Генетика пола : методические указания и задачи для лабораторных занятий и самостоятельной работы / Е. В. Давыдович. – Горки : БГСХА, 2022. – 55 с.

Приведены указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Селекция рыб», необходимые справочные материалы, задачи к лабораторным занятиям и для самостоятельной работы, рекомендуемая литература.

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

УДК 639.3.032(072)

ББК 47.2 я73

© УО «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», 2022

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания к лабораторным занятиям по теме «Генетика пола» для студентов, обучающихся по специальности 1-74 03 03 Промышленное рыбоводство, разработаны в соответствии с типовой программой по учебной дисциплине «Селекция рыб».

Размножение – это важнейший жизненный процесс, обеспечивающий воспроизводство популяции и сохранение вида. Этот процесс у рыб имеет ряд специфических черт, так как рыбы живут в воде. Прежде всего, это наружное оплодотворение и большое количество икры, оставляемой одной особью после выметывания. Однако основные этапы детерминации пола необходимо рассматривать с точки зрения генетических основ.

Половое размножение свойственно всем живым существам, кроме некоторых низших, утративших его в процессе эволюции. Половой процесс в последнее время удалось обнаружить даже у таких примитивных организмов, как бактерии. Значение половой дифференциации организмов и полового размножения определяется той ролью, которую играют в эволюции наследственные изменения, связанные с расщеплением и рекомбинацией генов. Они осуществляются благодаря половому размножению, в результате которого любое наследственное изменение, возникающее у одной особи, может распространиться на всю популяцию данного вида.

Половое размножение благодаря объединению генетического материала двух особей ускоряет процесс эволюции.

Пол организма зависит от взаимодействия двух основных факторов:

- 1) наследственная основа, полученная от родителей;
- 2) условия внешней среды, в которой происходит развитие организма.

Определение пола осуществляется у разных организмов на различных стадиях индивидуального развития.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакай, А. В. Генетика : учебник / А. В. Бакай, И. И. Кочиш, Г. Г. Скрипниченко. – Москва : КолосС, 2006. – 446 с.
2. Генетика : учеб. пособие / А. А. Жученко [и др.]. – Москва : КолосС, 2003. – 479 с.
3. Жимулев, И. Ф. Общая и молекулярная генетика / И. Ф. Жимулев. – Новосибирск : Сиб. универ. изд., 2007. – 479 с.
4. Кирпичников, В. С. Генетические основы селекции / В. С. Кирпичников. – Ленинград : Наука, 1979. – 392 с.
5. Катасонов, В. Я. Селекция рыб с основами генетики / В. Я. Катасонов, Б. И. Гомельский. – Москва : Агропромиздат, 1991. – 420 с.
6. Катасонов, В. Я. Селекция и племенное дело в рыбоводстве / В. Я. Катасонов, Н. Б. Черфас. – Москва : Агропромиздат, 1986. – 184 с.
7. Картель, Н. А. Биоинженерия / Н. А. Картель. – Минск, 1989. – 142 с.
8. Привезенцев, Ю. А. Интенсивное прудовое рыбоводство / Ю. А. Привезенцев. – Москва : Агропромиздат, 1991. – 386 с.

Т е м а 1. РАЗМНОЖЕНИЕ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ И ДЕТЕРМИНАЦИЯ ПОЛА

Цель занятия: изучение различных видов размножения живых организмов и способов детерминации пола.

Содержание и методика. Размножение (репродукция) – одно из основных свойств живого, под которым понимают способность живых организмов воспроизводить себе подобных, обеспечивая непрерывность и преемственность жизни в ряду поколений.

Основными **способами размножения** живых организмов являются бесполое и половое размножение (рис. 1).

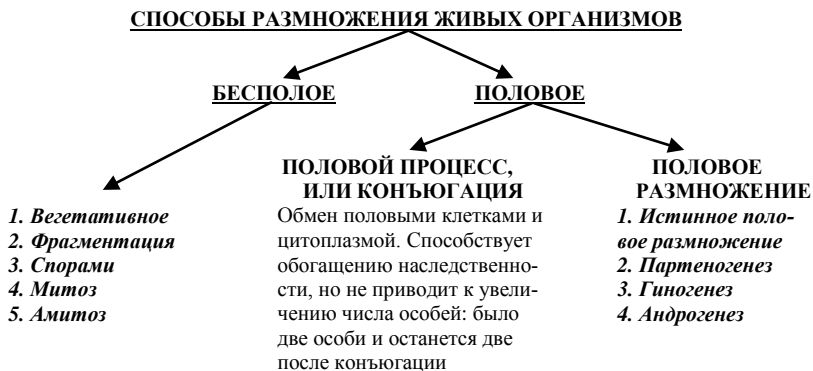


Рис. 1. Способы размножения живых организмов

Бесполое размножение – это воспроизведение себе подобных, в котором участвует только одна родительская особь, из определенной части ее образуются дочерние организмы.

Половое размножение свойственно растениям и животным. Обусловлено оно формированием мужских и женских гаплоидных клеток – *гамет*, которые, соединяясь в процессе оплодотворения, дают начало диплоидным клеткам – *зиготам*. При скрещивании в результате процесса расщепления и комбинации генов в потомстве возможно выявление новых приспособительных сочетаний признаков. За счет полового размножения под контролем естественного отбора в наследственном фонде вида накапливаются сочетания генов, способствующие выживанию вида в данных условиях.

Половое размножение – это прогрессивное в эволюционном отношении размножение живых организмов, подразумевающее размножение нового организма из оплодотворенной яйцеклетки, при котором происходит объединение генетической информации от двух родителей в одном организме.

Выделяют несколько основных видов полового размножения (истинное половое размножение, половой процесс, или конъюгация, андро- и гиногенез).

Истинное половое размножение – это размножение, которое приводит к увеличению численности организмов.

Конъюгация – это процесс, который не приводит к увеличению численности особей (участвуют в процессе две особи и после процесса остаются две, но уже обновленные).

У одноклеточных эукариот сразу было три вида копулятивного размножения (изогамия, анизогамия, оогамия).

У многоклеточных эукариот в процессе эволюции формирование полового диморфизма шло в следующих направлениях: 1) образование женских и мужских гамет; 2) переход от изогамии к анизогамии и оогамии; 3) образование яйцеклеток с большим содержанием желтка, а затем в связи с внутриутробным развитием появление вторично олигоцитальных яйцеклеток; 4) продуцирование большого количества спермы; 5) появление организмов, продуцирующих только сперму (самцов) и только яйцеклетки (самок).

Процесс эволюции различных полов шел длительно, поэтому имело место появление гермафродитов – организмов, которые имеют оба вида репродуктивных органов и могут производить обе гаметы, связанные с мужским и женским полами.

В хромосомном наборе животных и раздельнополых растений различают обычные хромосомы, или аутосомы, и половые, которые получили название X- и Y-хромосом.

Точнее всего определить пол организма можно у взрослой особи после периода полового созревания. Однако определение пола может происходить и на более ранних стадиях оогенеза (рис. 2).



Рис. 2. Детерминация пола

У ряда животных различных видов обнаружена патология по половым хромосомам, часто аналогичная таковой у человека. Основной причиной таких аномалий является нерасхождение половых хромосом в процессе митоза дробящейся зиготы и нерасхождение половых хромосом в бластомеры на ранних этапах развития особи. Нерасхождение половых хромосом при мейозе и митозе сопровождается появлением в фенотипе особей с аномалиями, затрагивающими морфологические и физиологические системы. Существенно снижается или полностью утрачивается воспроизводительная функция, нарушается общее развитие, проявляется патология нервной и гормональной систем, меняется габитус тела.

В результате дальнейших исследований было установлено, что пол определяют не только половые хромосомы, но и аутосомы.

Американский генетик К. Бриджес в начале 1920-х годов обнаружил, что у дрозофилы развитие признаков пола сильно изменяется в зависимости от соотношения X-хромосом и аутосом. У этой мухи иногда случайно появляются самки, имеющие триплоидный набор хромосом 3X–3A. Некоторые триплоидные самки плодовиты, но в митозе у них нарушается нормальное расхождение хромосом. Среди нормальных самок и самцов были и такие особи, у которых признаки женского и мужского пола были гипертрофированы (сверхсамки и сверхсамцы).

К. Бриджес пришел к выводу, что у дрозофилы женский пол определяется не наличием двух хромосом, а развитие мужского пола зависит не от сочетаний X- и Y-хромосом. Пол определяется отношением числа X-хромосом к числу наборов аутосом, или половым индексом X:A.

Это положение легло в основу балансовой теории определения пола, по которой при отношении X:A равном 1, развиваются самки, равном 0,5 – самцы; при значении полового индекса больше 1 образуются сверхсамки, меньше 0,5 – сверхсамцы.

Задача 1. У аквариумных рыбок медаки ген, отвечающий за белую окраску тела, является рецессивным и сцеплен с X-хромосомой. Доминантный аллель R (красная окраска) сцеплен с Y-хромосомой. Гетерогаметным полом у этих рыбок является мужской. На первом этапе произвели скрещивание белых самок с красным самцом. В первом поколении (F₁) получено 24 малька. На втором этапе потомков F₁ скрестили между собой. В F₂ получили 400 мальков разной окраски. Записать условие в соответствии с генетической номенклатурой, привести схемы скрещивания и ответить на вопросы.

1. Сколько вариантов скрещивания получилось в первой и во второй схеме опыта?

2. Сколько типов гамет дает отцовская форма в первом и во втором варианте?

3. Сколько типов гамет дает материнская форма в первом и во втором варианте?

4. Сколько красных самцов получено в F₂?

5. Сколько красных самок получено в F₂?

6. Сколько белых самцов получено в F₂?

7. Сколько белых самок получено в F₂?

Пример решения и оформления задачи.

Дано:

XX – гомогаметные самки

XY – гетерогаметные самцы

X^r – белая окраска

Y^R – красная окраска

F_1 – 24 шт.

F_2 – 400 шт.

Решение:

$P_1 \quad \text{♀ } X^r X^r \times \text{♂ } X^R Y^R$

G $X^r \times X^R; Y^R = 2$ варианта

F_1 : 24 шт., или 100 % красные медаки

$\text{♀ } X^R X^r$ – красные самки – 50 % – 12 шт.

$\text{♂ } X^r Y^R$ – красные самцы – 50 % – 12 шт.

$P_2 \quad \text{♀ } X^R X^r \times \text{♂ } X^r Y^R$

G $X^R; X^r \times X^r; Y^R = 4$ варианта

F_2 : Расщепление по генотипу: 1:1:1:1

Расщепление по фенотипу: 1:1:1:1

$\text{♀ } X^R X^r$ – красные самки – 25 % – 100 шт.

$\text{♂ } X^R Y^R$ – красные самцы – 25 % – 100 шт.

$\text{♀ } X^r X^r$ – белые самки – 25 % – 100 шт.

$\text{♂ } X^r Y^R$ – красные самцы – 25 % – 100 шт.

Ответы на вопросы:

1. В F_1 – 2 варианта; в F_2 – 4 варианта скрещивания.
2. 2 типа гамет дает отцовская форма ($X^R; Y^R$).
3. 1 тип гамет дает материнская форма в F_1 (X^r) и 2 типа гамет – в F_2 ($X^R; X^r$).
4. В F_2 получено 200 красных самцов.
5. В F_2 получено 100 красных самок.
6. В F_2 нет белых самцов.
7. В F_2 получено 200 белых самок.

Вывод. Самцы всегда будут красными, поскольку в Y-хромосоме находится доминантный ген R. При указанном типе наследования сыновья всегда будут нести признак отца.

Т е м а 2. ПАРТЕНОГЕНЕЗ КАК СПОСОБ РАЗМНОЖЕНИЯ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

Цель занятия: изучение партеногенеза как способа размножения живых организмов.

Содержание и методика. *Партеногенез* (от греч. *parthenos* – дева, девственница и *genesis* – развитие) представляет собой половое размножение, при котором зародыш развивается из неоплодотворенной яйцеклетки.

Различают две формы партеногенеза (рис. 3).

ПАРТЕНОГЕНЕЗ

СОМАТИЧЕСКИЙ – диплоидный,
или *редуцированный*, –

свойствен видам из родов *Poa*, *Ranunculus*, *Taraxacum* и др. При этом типе партеногенеза в развитии зародышевого мешка мейоз отсутствует, его заменяет митоз, в этом случае яйцеклетка в зародышевом мешке имеет нередуцированный набор хромосом $2n$, из такой яйцеклетки при нередуцированном партеногенезе развивается вполне плодovitое растение. Яйцеклетка сохраняет диплоидный набор хромосом, так как в ней при мейозе либо не происходит редукционное деление, либо после него две гаплоидные клетки сливаются. Такая форма партеногенеза встречается у некоторых позвоночных (пресмыкающихся)

ГЕНЕРАТИВНЫЙ – гаплоидный,
или *нередуцированный*, –

зародыш развивается из неоплодотворенной яйцеклетки, имеющей число хромосом, равное n , в дальнейшем из такого зародыша развивается гаплоидный организм. Мейоз протекает нормально, но зародыш развивается из неоплодотворенной гаплоидной яйцеклетки. Так размножаются некоторые виды членистоногих. У пчел, например, из неоплодотворенных яиц развиваются самцы (трутни), а из оплодотворенных – самки и рабочие пчелы, так что самцы оказываются гаплоидными, а самки и рабочие пчелы – диплоидными

Рис. 3. Формы партеногенеза

У некоторых видов после нескольких поколений, развивающихся партеногенетически, появляется поколение самок и самцов, развившихся в результате нормального полового размножения. Например, у тли весеннее однополое поколение, состоящее из самок, сменяется осенним двуполым, состоящим из самок и самцов.

На рис. 4 (2) представлен механизм партеногенеза.

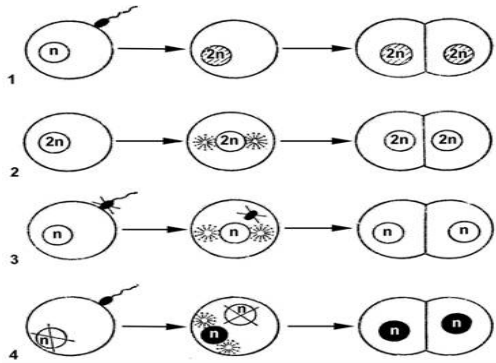


Рис. 4. Схема получения потомства (1 – нормальное оплодотворение; 2 – партеногенез; 3 – гиногенез; 4 – андрогенез)

У растений чаще встречается диплоидная форма партеногенеза, называемая апомиксисом (от греч. *apo* – верх и лат. *mixtus* – смешанный).

В некоторых случаях апомиксис обуславливается псевдогамией, т. е. ложным оплодотворением яйца, когда один спермий разрушается, а другой лишь стимулирует развитие зародыша из яйцеклетки (сливается с ее центральным ядром и участвует в образовании ткани эндосперма). Такой зародыш наследует признаки материнского растения, а эндосперм – и материнского, и отцовского.

Партеногенез можно классифицировать как факультативный, циклический и обязательный (рис. 5).



Рис. 5. Классификация партеногенеза

Имеется и другая классификация партеногенеза: естественный и искусственный.

Естественный партеногенез – яйцо, претерпевшее или не претерпевшее созревания, под влиянием внутренних или внешних причин начинает дробиться и развивается в нормальный эмбрион без какого-либо участия сперматозоида (низшие ракообразные, коловратки, перепончатокрылые – осы, пчелы и др.).

Искусственный партеногенез представляет собой экспериментально вызванную активацию неоплодотворенных яиц. Честь этого открытия принадлежит русскому зоологу А. А. Тихомирову, который впервые осуществил искусственный партеногенез в 1885 году на яйцах тутового шелкопряда.

Т е м а 3. ГИНОГЕНЕЗ – ОСОБЫЙ ВИД РАЗМНОЖЕНИЯ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

Цель занятия: изучение гиногенеза.

Содержание и методика. *Гиногенез* – это редкая форма полового размножения, при котором развитие зародыша осуществляется без участия отцовской наследственности (см. рис. 4 (3)).

Гиногенез подразделяют:

- на *естественный* (обнаружен у четырех семейств рыб, в том числе у карповых и серебряного карася);
- *индуцированный* (искусственное получение гиногенетических потомков у видов рыб, размножающихся обычным половым путем – карп, белый амур, белый толстолобик, радужная форель, камбала и др.).

Гиногенетическое размножение живых организмов можно отнести к типу партеногенетического размножения, т. е. развитие зародыша происходит исключительно за счет женского ядра. В отличие от партеногенеза в этом случае необходимо участие сперматозоида для стимуляции развития яйцеклетки, но оплодотворения при этом не происходит. Сперматозоид проникает в яйцеклетку, однако слияние его ядра с ядром яйцеклетки не происходит. Сперматозоид лишь активирует яйцеклетку. Такое оплодотворение называется ложным, или псевдогамией. При гиногенезе потомство получает наследственную информацию только от матери и тождественно ей по полу и признакам.

Гиногенез обнаружен у гермафродитных круглых червей, живородящей рыбки (*Mollienisia Formosa*) и у серебряного карася (*Carassius auratus gibelio*). Гиногенез, как правило, обнаруживается у особой вида на границах его ареала как механизм, гарантирующий здесь сохранение вида.

Гиногенетическое развитие яиц можно вызвать искусственно, если перед оплодотворением сперму облучить рентгеновскими лучами, обработать химическими веществами или подвергнуть действию высокой температуры. При этом разрушается ядро сперматозоида, и оно теряет способность к кариогамии, но такой сперматозоид может активировать яйцо. Естественный и искусственный гиногенез встречается также и у растений и вызывается теми же факторами, что и у животных. В случае естественного гиногенеза развивающиеся особи содержат нормальное диплоидное число хромосом. Искусственный гиноге-

нез часто связан с гаплоидией, поэтому такие зародыши мало жизнеспособны.

Этапы гиногенеза.

1-й этап: облучение спермы в дозах 100–200 кР; ультрафиолетовое облучение в дозе 300 Дж/м³; воздействие других (высоких доз) мутагенных факторов для генетической инактивации спермиев, т. е. для разрушения хромосом. Облученный сперматозоид сохраняет возможность двигаться в данной среде, проникать в яйцеклетку, снимать блокировку и побуждать яйцеклетку к дальнейшему ее развитию.

2-й этап: удвоение гаплоидного набора хромосом: *спонтанное* (очень редко) и *искусственное*. В результате шока (воздействие на неоплодотворенные яйца на стадии анафазы II высокой температуры, радиации, давления и других мутагенных факторов) в клетке не происходит расхождение хроматид к двум полюсам, а только к одному полюсу отходят все хроматиды.

Последствия гиногенеза у гиногенетических потомков – *инбредная депрессия*:

- снижается жизнеспособность (на 1-й и 2-й год жизни);
- уродства;
- повышение восприимчивости к заболеваниям;
- нарушение в развитии яичников.

Цели применения гиногенеза в селекции:

- 1) ускоренное получение высокоинбредных и высокогомозиготных семейств и линий;
- 2) получение эффекта гетерозиса;
- 3) изучение генов;
- 4) изучение влияния инбредной депрессии;
- 5) получение однополых женских потомств, так как самки позднее созревают и лучше растут, дают икру.

Т е м а 4. АНДРОГЕНЕЗ КАК СПОСОБ РАЗМНОЖЕНИЯ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

Цель занятия: изучение андрогенеза как способа размножения живых организмов.

Содержание и методика. *Андрогенез* (от греч. *aneg* – мужчина и *genesis* – развитие) – это развитие оплодотворенной яйцеклетки, у которой собственное ядро погибает еще до оплодотворения. Другими словами, *андрогенез* – это мужской партеногенез – развитие гаплоид-

ного организма после оплодотворения, при котором ядро яйцеклетки по каким-либо причинам элиминировалось (разрушилось). Зародыш развивается за счет информации, поступающей из ядра мужской гаметы и из материнской цитоплазмы (см. рис. 4 (4)).

Андрогенез может идти по пути развития гиногенеза с образованием гаплоидных и диплоидных потомков. Однако полноценным он может быть только тогда, когда в яйцеклетку проникнут одновременно несколько спермиев и если ядра двух гаплоидных спермиев сольются. Это создает условия для восстановления в клетке диплоидного набора хромосом. Потомство при этом размножении наследует признаки отцовского организма.

Андрогенез встречается редко, лишь у некоторых растений (табак, кукуруза) и животных (тутовый шелкопряд, паразитическая оса). Его можно вызвать экспериментально. Так в 1940-х годах Б. Л. Астауров путем воздействия на яйцеклетку шелкопряда рентгеновским излучением разрушил ядро и, таким образом, стимулировал ее развитие по типу андрогенеза.

Развитие особей до взрослого состояния происходит лишь у тутового шелкопряда и паразитической осы. Эти особи оказываются сходными с отцовским организмом и всегда бывают только мужского пола в случае его гомогаметности.

Болгарский генетик Д. Котов в опытах с табаком получил растение с гаплоидным набором хромосом и целиком похожее на отцовскую форму, следовательно, ядро матери не принимало участия в оплодотворении и развитие растения началось из клетки, содержащей только ядро спермия.

Т е м а 5. ХРОМОСОМНЫЙ МЕХАНИЗМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛА

Цель занятия: изучение механизма хромосомного определения пола у живых организмов.

Содержание и методика. У живых существ наблюдают закономерности при распределении пола. Так, еще Грегор Мендель заметил, что в природе обычно на свет появляется одинаковое количество как мужских, так и женских организмов, т. е. 1:1, или 50 % тех и 50 % других. Такое будет возможно лишь при скрещивании особей, имеющих гетерозиготный (Aa) и рецессивный (aa) генотипы.

$$\begin{aligned}
 & P_1 \quad \text{♀ } Aa \times \text{♂ } aa \\
 & G \quad A; a \times a = 2 \text{ варианта} \\
 & F_1: \quad Aa : aa \\
 & \quad 50 \% : 50 \% \\
 & \quad 1 : 1
 \end{aligned}$$

Цитологи доказали эту закономерность при помощи хромосомной теории наследственности, согласно которой каждому организму, его клеткам свойствен свой набор хромосом – *кариотип*. Различают несколько типов хромосом:

- *аутосомы* – несут информацию о признаке и не отвечают за определение пола;

- *половые хромосомы* – отвечают за определение пола.

Половые хромосомы принято обозначать буквами латинского алфавита X; Y; Z; W.

X и Z – половые хромосомы, помимо определения пола могут отвечать за признак, хромосомы Y и W считаются нулевыми, так как гены в них несут информацию, которую трудно проследить фенотипически. Эти хромосомы являются партнерами X- и Z-хромосом при мейозе, т. е. при образовании бивалентов (прил. 1).

Пол, у которого две половые хромосомы одинаковы, называют *гомогаметным* (XX; ZZ). Гомогаметный организм дает один тип гамет $G \rightarrow X$ и $G \rightarrow Z$. Пол, у которого пара половых хромосом представлена разными хромосомами, называется *гетерогаметным* (XY; XO; ZW). Такие организмы продуцируют различные типы гамет (GX и GY; GZ и GW) (прил. 2, 3, 4).

Задача 2. У сельди гетерогаметным полом является мужской. Провели скрещивание самок и самцов. В потомстве получено 2800 мальков. Записать условие в соответствии с генетической номенклатурой, привести схемы скрещивания и ответить на вопросы.

1. Сколько вариантов скрещивания получилось при данной схеме опыта?

2. Сколько типов гамет дает отцовская форма?

3. Сколько типов гамет дает материнская форма?

4. Сколько получено самцов?

5. Сколько получено самок?

6. Какое получилось расщепление по генотипу?

7. Какое получилось расщепление по фенотипу?

Пример решения и оформления задачи.

Дано:

♀ XX – гомогаметные самки
♂ XY – гетерогаметные самцы
F – 2800 шт.

Решение:

P_1 ♀ XX × ♂ XY
G X × X; Y = 2 варианта
F: ♀ XX – самки – 50 % – 1400 шт.
♂ XY – самцы – 50 % – 1400 шт.
Расщепление по генотипу: 1:1
Расщепление по фенотипу: 1:1

Ответы на вопросы:

1. 2 варианта скрещивания.
2. 2 типа гамет дает отцовская форма (X; Y).
3. 1 тип гамет дает материнская форма (X).
4. Получено 1400 самцов.
5. Получено 1400 самок.
6. Расщепление по генотипу: 1:1.
7. Расщепление по фенотипу: 1:1.

Вывод. При анализе скрещивания получили подтверждение закономерности Г. Менделя о появлении на свет одинакового количества как мужских, так и женских организмов, т. е. 1:1, или 50 % тех и 50 % других. Такое будет возможно лишь при скрещивании особей, имеющих гомогаметный (XX) и гетерогаметный (XY) пол.

**Тема 6. ФОРМИРОВАНИЕ ПОЛОВЫХ ЖЕЛЕЗ
И ДИФФЕРЕНЦИРОВКА ПОЛА У РЫБ В ОНТОГЕНЕЗЕ**

Цель занятия: изучение процесса формирования половых желез и дифференцировки пола у рыб в онтогенезе.

Содержание и методика. Процесс развития воспроизводительной системы (гонадогенез) включает формирование половой железы – яичника или семенника – и превращение первоначально индифферентных половых клеток в зрелые мужские или женские половые клетки – гаметы (гаметогенез).

На начальной стадии онтогенеза выделяют так называемый индифферентный период, в течение которого появляются первичные половые клетки (ППК). Позднее в результате многократных митозов ППК в половой железе образуется необходимый запас половых клеток – гоноиев (оогониев у самок и сперматогониев у самцов). У карповых рыб зачаток гонады с ППК можно обнаружить уже в первый месяц после

вылупления. В дальнейшем наступает период анатомической и цитологической дифференцировки пола.

Признаки анатомической дифференцировки пола у разных видов рыб различны (рис. 6). У карповых рыб, в том числе у карпа, карася, белого амура, белого толстолобика, главным признаком анатомической дифференцировки пола является способ прикрепления гонады к перитонеальному эпителию. Так, у самок яичник прикрепляется двумя мезовариями, в результате чего образуется овариальная полость. У самцов семенник подвешен на одном мезорхии, на поперечном срезе имеет вид грушевидного образования.

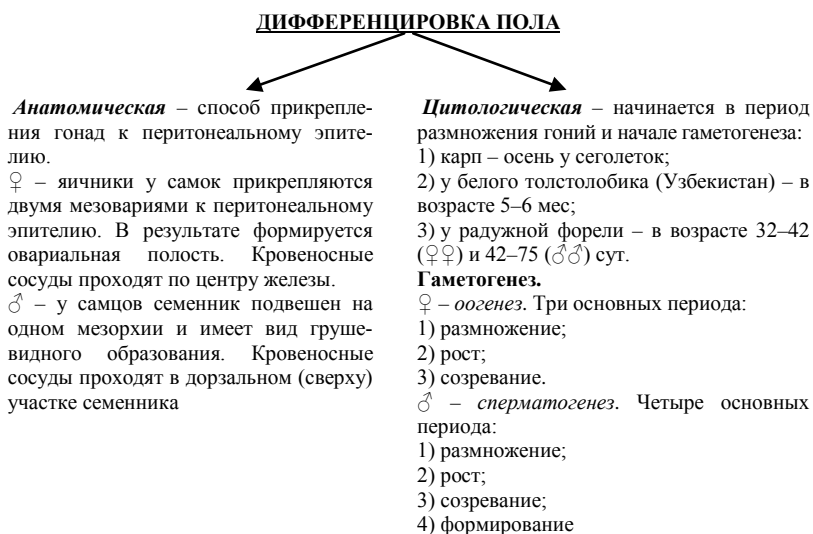


Рис. 6. Способы определения пола у рыб

У радужной форели и других представителей рода *Salmo* первыми признаками анатомической дифференцировки пола являются особенности расположения кровеносных сосудов: у самцов крупные кровеносные сосуды проходят в дорзальном участке железы, а у самок – по центру. Анатомическая дифференцировка пола у карпа и белого толстолобика завершается в течение первого лета жизни, в возрасте 2–2,5 месяца.

Цитологическая дифференцировка пола связана с началом гаметогенеза, т. е. превращением первоначально индифферентных гониев в

оогонии или сперматогонии. У карпа в зоне умеренного климата цитологическая дифференцировка гонады выявляется осенью у сеголеток; у белого толстолобика (Узбекистан) – в возрасте 5–6 месяцев; у радужной форели – в возрасте 32–42 суток у самок и 42–75 суток у самцов.

Цитоморфологические особенности отдельных фаз гаметогенеза у разных видов в целом сходны. Видовые различия касаются в основном продолжительности отдельных фаз и периодов гаметогенеза. Ниже дается краткая характеристика этого процесса, включая составляющие его основу мейотические преобразования хромосом.

Т е м а 7. ООГЕНЕЗ

Цель занятия: изучение процесса оогенеза и основных признаков стадии зрелости яичника.

Содержание и методика. Процесс образования мужских и женских половых клеток называется гаметогенезом (рис. 7).

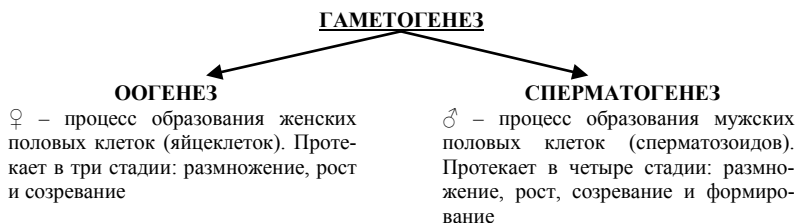


Рис. 7. Классификация гаметогенеза

Гаметогенез происходит в гонадах $2n$ (половых железах мужского и женского организма). Он продолжается с момента полового созревания и в течение репродуктивной жизни.

Гаметы – зрелые половые клетки, содержащие гаплоидный набор хромосом (n) в отличие от соматических клеток, которые содержат диплоидный набор хромосом ($2n$). Гаметы бывают двух видов: яйцеклетки – зрелые женские половые клетки и сперматозоиды – зрелые мужские половые клетки. Гаметы созревают в гонадах, которые тоже бывают двух видов: яичники – женские половые железы и семенники – мужские половые железы.

Гонии – это незрелые половые клетки, содержащие диплоидный набор хромосом ($2n$), как в обычной соматической клетке. Гонии за-

кладываются еще в эмбриональном периоде в гонадах из зародышевых листков и клеток путем митоза.

В процессе развития женская половая клетка претерпевает существенные изменения, в результате чего она превращается в зрелую яйцеклетку (рис. 8, Б). Эти изменения затрагивают все структурные элементы клетки: хромосомы (и ядро в целом), цитоплазму, оболочки. Они приводят к изменению размеров клетки, ее морфологии, химического состава, метаболизма. В период оогенеза осуществляется первое (редукционное) деление мейоза, которое приводит к перераспределению хромосом в половых клетках и к сокращению их числа до гаплоидного уровня.

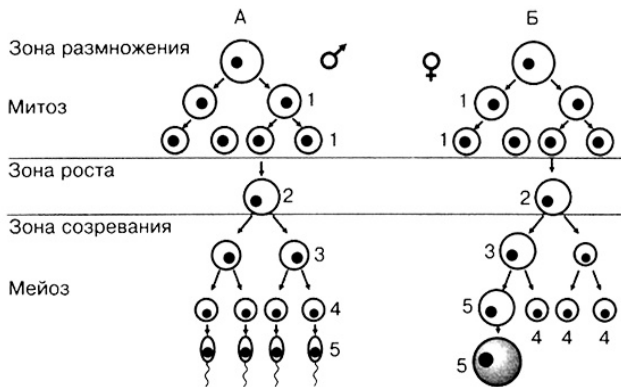


Рис. 8. Схема сперматогенеза (А) и оогенеза (Б)

Стадии оогенеза.

1-я стадия: размножение – многократное деление митозом гоний (незрелых половых клеток) с образованием мелких клеток с диплоидным набором хромосом $2n$.

2-я стадия: рост – в эту стадию сперматогонии и оогонии начинают расти и, накапливая питательные вещества, сперматогонии превращаются в сперматоциты 1-го порядка, а оогонии – в ооциты 1-го порядка. Причем сперматоциты 1-го порядка намного мельче, чем ооциты 1-го порядка, у животных одного вида. В эту стадию делений нет.

3-я стадия: созревание – после увеличения размеров сперматоциты и ооциты 1-го порядка приступают к первому редукционному мейотическому делению, при котором из одного сперматоцита 1-го порядка

(2n) образуются две равноценные клетки с гаплоидным набором хромосом (n). Эти клетки называются сперматоцитами 2-го порядка. При овогенезе из одного ооцита 1-го порядка (2n) благодаря мейозу I (M_I) образуются две неравнозначные (по размерам) клетки: ооциты 2-го порядка с гаплоидным (n) набором хромосом. Деление M_I неравноценное, в овогенезе одна клетка большего размера (ооцит 2-го порядка) забирает у второй питательные вещества. Вторая клетка называется полярным, или направительным, тельцем. Оно также имеет гаплоидный набор хромосом, меньший размер и не участвует в процессе оплодотворения. После первого мейотического деления сперматоциты 2-го порядка и ооциты 2-го порядка вступают во второе мейотическое деление – эквационное, в результате которого образуются еще по две равноценные клетки с гаплоидным набором хромосом при сперматогенезе, они называются сперматидами. При овогенезе ооцит 2-го порядка делится неравноценно: на большую клетку ооцитид и маленькое полярное тельце. Первое полярное тельце также делится мейозом II и дает себе подобные два маленьких полярных тельца. В результате двух мейотических делений из сперматоцита 1-го порядка в стадии созревания образуется лишь одна полноценная клетка, которая в дальнейшем вступает в процесс оплодотворения, и три клетки, называемые направительными, или полярными, тельцами.

Из 40 сперматоцитов 1-го порядка в процессе оплодотворения примут участие 160 сперматозоидов, а из 40 ооцитов 1-го порядка в оплодотворении будут участвовать лишь 40 яйцеклеток, а 120 направительных телец отдадут свой запас питательных веществ яйцеклеткам и в процессе оплодотворения участвовать не будут.

Весь путь развития женской половой клетки – от ее начальной стадии до зрелого яйца – подразделяют на четыре периода: синаптенный путь, протоплазматический (малый) рост, трофоплазматический (большой) рост и период созревания.

Период синаптенного пути связан со вступлением оогония в мейоз. С этого момента женскую половую клетку называют ооцитом (до завершения первого деления мейоза – ооцитом 1-го порядка). Основными признаками периода синаптенного пути являются спирализация хромосом и характер их распределения в ядре: на стадии зиготены в процессе конъюгации (синапсиса) гомологов одни концы хромосом объединяются в хроматиновую глыбку, смещенную к оболочке ядра, а другие, противоположные свободные концы хромосом распределяются по остальному пространству ядра. На гистологическом препарате такая ориентация хромосом создает подобие букета («стадия букета»).

Период протоплазматического роста характеризуется появлением в ядре многочисленных ядрышек и хромосом типа «ламповых щеток». Вокруг ооцита формируется однослойная оболочка из фолликулярных клеток. Размеры ооцита в этот период сильно увеличиваются, в основном за счет увеличения объема протоплазмы.

В период трофоплазматического роста в ооците происходит интенсивное накопление желтка. Этот процесс может быть подразделен на несколько следующих друг за другом фаз: фазы вакуолизации, начальные фазы отложения желтка и т. д. Одновременно усложняется строение оболочки: фолликулярная оболочка становится двуслойной, в собственной оболочке ооцита возникает радиально исчерченная зона (*zona radiata*), образованная особыми микроворсинками. К концу данного периода ооцит достигает дефинитивного размера (у разных рыб до 1 мм и более в диаметре).

Трофоплазматический рост ооцита регулируется женскими половым гормонами – эстрогенами, которые вызывают в печени рыбы синтез вителлогенина. Последний переносится по кровеносному руслу к ооциту, поступает через систему его оболочек в цитоплазму (в незначительном объеме вителлогенин синтезируется и в самом ооците).

Период созревания характеризуется быстро протекающими ядерными преобразованиями: завершается первое редукционное деление мейоза и наступают начальные стадии второго мейотического деления.

В начале периода созревания наблюдается постепенное смещение ядра (зародышевого пузырька) в область анимального полюса яйцеклетки к микропиле. К концу периода созревания оболочка зародышевого пузырька разрушается и хромосомы выходят в цитоплазму. У многих видов рыб (в том числе у карпа, форели, серебряного карася) ядрышки сливаются и образуют капсулу кариосферы, отделяющую хромосомы от окружающей их цитоплазмы. Первое деление мейоза завершается незадолго до овуляции отделением первого направительного тельца и образованием ооцита 2-го порядка с гаплоидным числом хромосом. Вслед за этим сразу же начинается второе деление мейоза, которое протекает до стадии метафазы II. На данной стадии второе деление мейоза временно приостанавливается. Стадия метафазы II наступает непосредственно перед овуляцией.

В период созревания происходят изменения фолликулярного эпителия, приводящие к разрыву фолликулярной оболочки и выходу ооцита из фолликула (овуляция). Овулировавшие ооциты теряют связь с яйценосными пластинками и выпадают либо в полость яичника

(у карповых), либо в полость тела (у лососевых и осетровых). Эта стадия соответствует моменту появления у самок текучей икры. У самок и самцов в процессе полового созревания выделяют пять стадий зрелости половой железы (табл. 1).

Таблица 1. Основные признаки отдельных стадий зрелости яичника

Стадии зрелости (период оогенеза у ооцитов старшей генерации)	Внешние признаки гонады	Коэффициент зрелости $K_3 = \frac{\text{Масса гонад}}{\text{Масса тела}} \cdot 100\%$
I (синаптенный путь)	Тонкие прозрачные тяжи. Половые клетки неразличимы. Пол визуально не определяется	Карп: менее 0,1–0,2 Белый амур: менее 0,01 Белый толстолобик: менее 0,1 Пестрый толстолобик: менее 0,001
II (протоплазматический рост)	Лентовидные, почти бесцветные образования, плотно прилегающие к перитонеальному эпителию. По центру проходит заметный кровеносный сосуд. Половые клетки не различимы. Пол не определяется визуально	Карп: 0,04–0,14 Белый амур: 0,55–0,65 Белый толстолобик: 0,3–0,90 Пестрый толстолобик: 0,16–0,56
III (начало трофоплазматического роста)	Гонады светло-желтого цвета. Различимы отдельные ооциты. Пол определяется визуально	Карп: менее 0,9–1,7 Белый амур: 1,2–1,6 Белый толстолобик: 0,8–7,0 Пестрый толстолобик: 0,4–6,2
IV (трофоплазматический рост – завершение)	Обе доли яичника заполняют большую часть полости тела. Половые клетки старшей генерации представлены ооцитами дефинитивного размера, зеленоватого (иногда серозеленого с желтым оттенком) цвета	Карп: 22–24 Белый амур: 3,5–6,0 Белый толстолобик: 3,3–17,0 Пестрый толстолобик: 1,6–7,3
V (созревший ооцит)	Овуляция, появление текучей икры	–
VI (посленерестовое состояние)	Лопнувшие фолликулы и ооциты последующих генераций	–

Процессы созревания и овуляции регулируются гонадотропными гормонами гипофиза, которые, в свою очередь, стимулируют синтез в фолликулярных клетках гормона прогестерона. Прогестерон действует

непосредственно на ооциты, вызывая их созревание и овуляцию. При естественном размножении эти процессы стимулируются наступлением нерестовых условий (температура, наличие нерестового субстрата, присутствие самцов и т. д.). При искусственном воспроизводстве для стимуляции процессов созревания и овуляции применяют гормональные инъекции.

В отличие от всех предшествующих периодов оогенеза, длящихся месяцами или даже годами, период созревания протекает очень быстро. Например, у карпа и растительноядных рыб при температуре 20–22 °С он завершается в течение 1–2 суток.

Гаметогенез сопровождается изменениями половой железы: в процессе полового созревания, по мере роста и развития мужских и женских половых клеток увеличивается размер гонад, изменяются их форма, цвет и другие признаки. Составлены шкалы зрелости, которые позволяют по внешнему виду железы определить состояние половых клеток старшей генерации.

Т е м а 8. СПЕРМАТОГЕНЕЗ

Цель занятия: изучение процесса сперматогенеза и основных признаков стадии зрелости семенников.

Содержание и методика. Началу сперматогенеза (как и оогенеза) предшествуют многочисленные митозы, ведущие к образованию большого числа сперматогониев (см. рис. 8, А). Собственно сперматогенез включает три стадии: рост, созревание и формирование сперматозоида (спермиогенез).

Цитологическую основу сперматогенеза (как и оогенеза) составляет мейоз. Мужская половая клетка в начале мейоза называется сперматоцитом 1-го порядка. В сперматоците 1-го порядка быстро проходят преобразования профазы первого деления мейоза. У самцов некоторых видов рыб профазы I сопровождается незначительным (в 1,5–2 раза) увеличением размеров клетки, что дало основание обозначать ее как стадию роста. Затем следует первое деление мейоза, завершающееся образованием двух гаплоидных клеток – сперматоцитов 2-го порядка.

На стадии созревания проходит второе деление мейоза и образуются сперматиды.

В период спермиогенеза сперматида претерпевает морфологические изменения (формируются головка спермия с заключенными в ней хромосомами, средняя часть и хвост) и превращается в зрелый сперматозоид.

В ходе сперматогенеза диаметр мужской половой клетки сильно уменьшается: от 10–20 мкм (сперматогоний) до 1–2 мкм (головка спермия).

У самок и самцов в процессе полового созревания выделяют пять стадий зрелости половой железы.

В табл. 2 приведены основные признаки отдельных стадий зрелости семенника.

Таблица 2. Стадии зрелости семенника

Стадия, гистологическая картина	Внешний вид гонады
I (размножение сперматогоний – до начала мейоза)	Тонкие прозрачные тяжи, пол визуально не определяется
II (размножение сперматогоний – до начала мейоза)	Некоторое увеличение размеров железы. Гонада становится мутной, серого или бледно-розового цвета. Пол визуально определяется
III (все стадии сперматогенеза: сперматогонии, сперматоциты 1-го и 2-го порядка, сперматиды, немногочисленные сперматозоиды)	Резкое увеличение размера железы, цвет белый, желтовато-белый
IV (семенные каналцы заполнены сперматозоидами; единичные сперматогонии)	Полностью развитый семенник, цвет белый, при разрезе железы отделяются капли спермы
V (семенные каналцы заполнены сперматозоидами)	Полностью развитый семенник, цвет белый, при разрезе железы отделяются капли спермы
VI (посленерестовое состояние: семенные каналцы с остаточными сперматозоидами; сперматогонии)	Семенник розоватого цвета, незначительное уменьшение размера железы

Широко используемым в рыбоводстве показателем зрелости половой железы является коэффициент зрелости. У самцов, как и у самок, коэффициент зрелости в процессе полового созревания значительно возрастает: например, у самцов карпа – от 0,05–1 (на стадии I) до 7,0–9,5 (на стадии IV); у самцов белого амура – от 0,05–0,1 до 1,8 соответственно. Заметное (в сравнении с нормой) снижение коэффициента зрелости связано обычно с нарушениями в развитии гонад, что позднее может привести к снижению плодовитости.

Определение половой принадлежности особи возможно уже на ранних стадиях по признакам анатомической и (или) цитологической дифференцировки пола. Визуально пол может быть определен, начиная со стадии II зрелости по форме и цвету половой железы, присутствию (у самок) крупного кровеносного сосуда. Для проверки пра-

вильности визуального определения пола можно раздавить под покровным стеклом кусочек гонады: в яичнике на стадии II при просмотре под бинокляром видны ооциты протоплазматического роста. В специальных исследованиях при необходимости получения точных данных проводят гистологический анализ.

Следует отметить, что продолжительность отдельных стадий зрелости и связанный с нею срок наступления половой зрелости зависят от внешних (в первую очередь, температурных) условий. Например, в центральной зоне России карп достигает половой зрелости в возрасте 4–5 лет (самки) и 3 лет (самцы), а в Туркмении – в возрасте 1–2 лет (самки) и 1 года (самцы). У самок длительность полового созревания зависит в первую очередь от продолжительности стадий I и II. Так, в указанных выше примерах общая продолжительность стадий I и II составляла в первом случае 3 года, во втором – 1,5 года.

Т е м а 9. ПРОЦЕСС ОПЛОДОТВОРЕНИЯ У РЫБ

Цель занятия: изучение процесса оплодотворения у рыб.

Содержание и методика. *Механизм оплодотворения* – слияние мужских и женских половых клеток (гамет) с образованием зиготы с диплоидным набором хромосом (рис. 9).

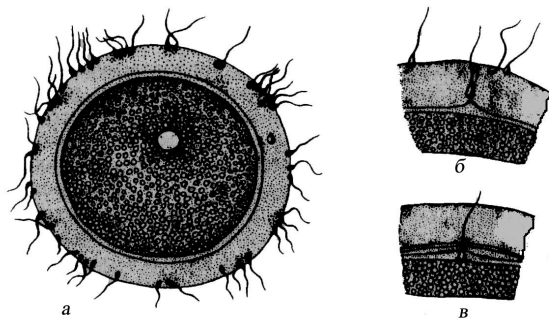


Рис. 9. Оплодотворение яйца морской звезды:
а – яйцо, окруженное сперматозоидами; *б* – проникновение сперматозоида в студенистую оболочку яйца; *в* – проникновение сперматозоида в протоплазму яйца

Общие закономерности процесса оплодотворения, его цитоморфологическая характеристика изучены у рыб достаточно подробно.

Костистым рыбам свойственно моноспермное оплодотворение (рис. 10). Зрелая яйцеклетка имеет одно микропиле, через которое

проникает единственный спермий. Редкие случаи полиспермного оплодотворения можно рассматривать как патологический процесс, связанный с нарушением кортикальной реакции.

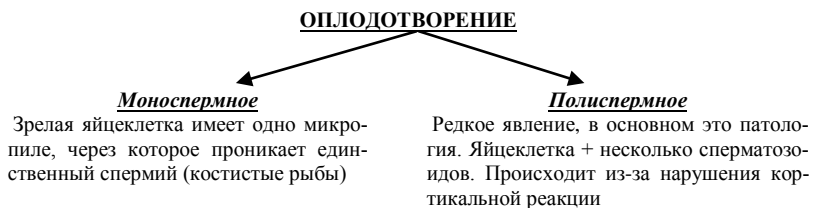


Рис. 10. Типы оплодотворения

Зрелая овулировавшая яйцеклетка, как отмечалось выше, находится на стадии метафазы II. После проникновения сперматозоида завершается второе деление мейоза и отделяется второе направительное тельце. У карпа отделение второго направительного тельца происходит примерно через 15 минут (при температуре 20 °С), у белого амура – через 7–8 минут (при 21,5 °С), у пеляди – через 100 минут (при 6 °С) после проникновения спермия в яйцеклетку.

Позднее в яйцеклетке формируются женский и мужской пронуклеусы и веретено первого деления дробления зародыша. В результате процесса оплодотворения в ядрах клеток восстанавливается диплоидное (соматическое) число хромосом.

Наружное оплодотворение – случайный способ осеменения (примитивный). Происходит у большинства водных животных, земноводных. Гаметы выделяются в воду, где и происходит оплодотворение.

У животных в спермальной жидкости находятся миллионы сперматозоидов, каждый из которых активно движется по направлению к яйцеклетке.

Как только первый сперматозоид проникает сквозь мембрану яйцеклетки, тут же образуется оболочка оплодотворения, которая не допускает проникновения в яйцеклетку других сперматозоидов. Затем оба ядра (внутри яйцеклетки) движутся друг к другу и сливаются. Так образуется зигота (2n).

В ядре зиготы все хромосомы вновь становятся парными: в каждой паре гомологичных хромосом одна из них отцовская, другая – материнская. Диплоидный набор хромосом, характерный для соматических клеток каждого вида организмов, восстанавливается именно при оплодотворении (рис. 11).

ОПЛОДОТВОРЕНИЕ

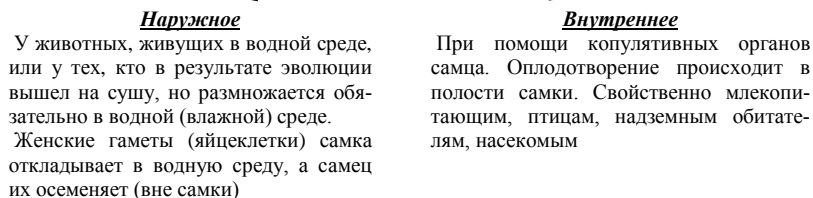


Рис. 11. Виды оплодотворения

Внутреннее оплодотворение характерно для особей с наружными половыми органами, которые служат для переноса спермальной жидкости из тела самца в тело самки, где внутри происходит оплодотворение (пресмыкающиеся, птицы, млекопитающие).

Т е м а 10. ИНВЕРСИЯ ПОЛА

Цель занятия: изучение инверсии пола у рыб.

Содержание и методика. Открытие и изучение хромосомного механизма определения пола выдвинули задачу искусственного изменения численного соотношения полов и получения у животных желаемого количества особей женского или мужского пола.

Овладение этим процессом у многих сельскохозяйственных животных представляет большой практический интерес. Регуляция пола может быть использована для решения разных селекционных и хозяйственных задач. В рыбоводстве иногда нужно выращивать особей одного пола. Так, при разведении лососевых, осетровых и карповых рыб более выгодным является выращивание самок, в связи с тем что они лучше растут и позднее созревают. К тому же самки лососевых и осетровых рыб являются продуцентами деликатесного продукта – красной и черной икры. В других случаях, например при разведении тилапии, более выгодным является разведение самцов, которые растут значительно быстрее самок. Выращивание однополого потомства предотвращает неконтролируемый нерест и тем самым обеспечивает возможность регуляции численности рыб в водоеме. Последнее очень важно при выращивании быстрозревающих рыб на труднооблавливаемых водоемах.

Для регуляции пола у рыб применяют различные методы. Одним из перспективных способов получения однополого потомства является

гормональное воздействие. У рыб дифференцировка половой железы находится под контролем генотипа и осуществляется через эндокринную систему. У самок вырабатываются женские половые гормоны – **эстрогены**, у самцов – мужские половые гормоны – **андрогены**.

Введение в определенных дозах мужского гормона (метилтестостерона) или женского (эстрадиола) при кормлении молоди на ранних стадиях онтогенеза, соответствующих началу дифференцировки половой железы, приводит к развитию яичников у генетических самцов по женскому типу. Скрещивание самцов-инверсантов с обычными самками позволяет получить однополое женское потомство.

В некоторых случаях получение однополого потомства возможно с помощью скрещивания разных (близких) видов рыб. При скрещивании, например, некоторых видов тилапий в потомстве появляются только самцы.

1-й вид: ♀ XX – самки тилапий 1-го вида (гомогамет);

♂ XY – самцы тилапий 1-го вида (гетерогамет).

2-й вид: ♀ ZW – самки тилапий 2-го вида (гетерогамет);

♂ ZZ – самцы тилапий 2-го вида (гомогамет).

Задача 3. Скрестили самок 1-го вида с генотипом XX с самцами 2-го вида с генотипом ZZ. В потомстве получено 1300 мальков. Записать условие в соответствии с генетической номенклатурой, привести схемы скрещивания и ответить на вопросы.

1. Сколько вариантов скрещивания получилось при данной схеме опыта?

2. Сколько типов гамет дает отцовская форма?

3. Сколько типов гамет дает материнская форма?

4. Сколько получено самцов?

5. Сколько получено самок?

Пример решения и оформления задачи.

Дано:

♀ XX – гомогаметные самки

♂ ZZ – гомогаметные самцы

F₁ – 1300 шт.

Решение:

P₁ ♀ XX × ♂ ZZ
G X × Z = 1 вариант

F₁: ♂ XZ самцы гетерогаметные –
100 %, или 1300 шт.

Ответы на вопросы:

1. 1 вариант скрещивания.

2. 1 тип гамет дает отцовская форма (Z).

3. 1 тип гамет дает материнская форма (X).

4. Получено 1300 самцов.

5. Получено 0 самок.

Вывод. При скрещивании получили 100 % гетерогаметных самцов. При скрещивании различных видов рыб расщепления по полу не произошло.

В популяциях горбуши часто встречается инверсия пола, при которой фактические половые признаки не соответствуют генетической программе. Ученые считают, что это весьма эффективный способ поддерживать численность популяций. В популяциях горбуши за счет этого процесса поддерживается соотношение полов. Оказалось, что доля «трансвеститов» среди рыб составляет примерно 15 %, причем чаще всего встречаются генетические самки, родившиеся самцами. При скрещивании настоящей самки с самцом-инверсантом получаем потомство, состоящее только из самок, а значит, в следующем поколении возможна вспышка численности самок, например, в ответ на селективное истребление самок при браконьерской заготовке красной икры.

Задача 4. Скрестили самок 1-го вида с генотипом XX с самцами-инверсантами с генотипом, как у самок (XX). В потомстве получено 6400 мальков. Записать условие в соответствии с генетической номенклатурой, привести схемы скрещивания и ответить на вопросы.

1. Сколько вариантов скрещивания получилось при данной схеме опыта?
2. Сколько типов гамет дает отцовская форма?
3. Сколько типов гамет дает материнская форма?
4. Сколько получено самцов?
5. Сколько получено самок?

Пример решения и оформления задачи.

Дано:

♀ XX – гомогаметные самки
F – 6400 шт.

Решение:

Схема получения инверсии пола:
♀ XX – обычные самки при рождении получают дозу мужского гормона тестостерона, в результате получаем самца-инверсанта ♂ XX. Пол у рыбы поменялся, а генотип остался без изменения (как у самки).

$P_1 \text{ ♀ XX} \times \text{♂ XX'}$

G X × X = 1 вариант

F: ♀ XX самки гомогаметные –
100 %, или 6400 шт. мальков

Ответы на вопросы:

1. 1 вариант скрещивания.

2. 1 тип гамет дает отцовская форма (X).
3. 1 тип гамет дает материнская форма (X).
4. Получено 0 самцов.
5. Получено 6400 самок.

Вывод. При скрещивании получили 100 % гетерогаметных самок. При скрещивании нормальной самки с гомогаметным генотипом с самцом-инверсантом расщепления по полу не произошло.

Задача 5. Скрестили самок 1-го вида с генотипом XX с нормальными самцами. В потомстве получено 8800 мальков. Записать условие в соответствии с генетической номенклатурой, привести схемы скрещивания и ответить на вопросы.

1. Сколько вариантов скрещивания получилось при данной схеме опыта?
2. Сколько типов гамет дает отцовская форма?
3. Сколько типов гамет дает материнская форма?
4. Сколько получено самцов?
5. Сколько получено самок?

Пример решения и оформления задачи.

Дано:	Решение:
♀ XX – гомогаметные самки	P₁ ♀ XX × ♂ XY
♂ XY – гетерогаметные самцы	G X × X; Y = 2 варианта
F – 8800 шт.	F: ♀ XX и ♂ XY 50 % и 50 % 4400 и 4400 шт. мальков

Ответы на вопросы:

1. 2 варианта скрещивания.
2. 2 типа гамет дает отцовская форма (X и Y).
3. 1 тип гамет дает материнская форма (X).
4. Получено 4400 самцов (50 %).
5. Получено 4400 самок (50 %).

Вывод. При анализе скрещивания получили подтверждение закономерности Г. Менделя о появлении на свет одинакового количества как мужских, так и женских организмов, т. е. 1:1, или 50 % тех и 50 % других. Такой результат будет возможен лишь при скрещивании особей, имеющих гомогаметный (XX) и гетерогаметный (XY) пол.

Задача 6. Скрестили самок-инверсантов с нормальными самцами 1-го вида (при мужской гетерогаметности). В потомстве получено

4400 мальков. Записать условие в соответствии с генетической номенклатурой, привести схемы скрещивания и ответить на вопросы.

1. Сколько вариантов скрещивания получилось при данной схеме опыта?

2. Сколько типов гамет дает отцовская форма?

3. Сколько типов гамет дает материнская форма?

4. Сколько получено самцов?

5. Сколько получено фертильных самцов?

6. Сколько получено стерильных самцов?

7. Сколько получено самок?

Пример решения и оформления задачи.

Дано:

♀ XX – гомогаметные самки
♂ XY – гетерогаметные самцы
F – 4400 шт.

Решение:

Схема получения инверсии пола:
♂ XY – обычные самцы при рождении получают дозу женского гормона эстрогена, в результате получаем самок-инверсантов ♀ XY. Пол у рыбы поменялся, а генотип остался без изменения (как у самцов).

P_1 ♀ XY' × ♂ XY

G X; Y × X; Y = 4 варианта

F: ♀ XX; ♂ XY; ♂ XY; ♂ YY

25 %; 25 %; 25 %; 25 %

1100; 1100; 1100; 1100 шт. мальков

Ответы на вопросы:

1. 4 варианта скрещивания.

2. 2 типа гамет дает отцовская форма (X и Y).

3. 2 типа гамет дает материнская форма (X и Y).

4. Получено 3300 самцов (75 %).

5. Получено 2200 фертильных самцов (75 %).

6. Получено 1100 стерильных самцов (25 %).

7. Получено 1100 самок (25 %).

Вывод. При скрещивании самцов и самок, несущих Y-хромосому, появляется потомство, на 3/4 состоящее из генетических самцов, треть из которых (или 25 % от популяции) имеет две Y-хромосомы. В результате в популяции становится слишком мало самок, что ведет к уменьшению поголовья рыб.

Т е м а 11. РЕГУЛЯЦИЯ ПОЛА

Цель занятия: изучение способов регуляции пола у рыб.

Содержание и методика. Существенный сдвиг соотношения организмов в сторону одного из полов имеет как теоретическое, так и практическое значение, так как один из полов обычно более продуктивен. Необходимость получить мальков того или иного пола очень часто возникает и перед аквариумистом-селекционером, и перед промышленным разводчиком.

Опыты по регуляции пола у рыб проводятся давно. С помощью гормонов получены положительные результаты по изменению пола у тиляпии, карпа, карася, медаки, форели, симы, лосося, расборы и других рыб. Эти методы используются при разведении и селекции, в частности для выявления генетически запрограммированной «мужской окраски» у самок гуппи. Характерно, что пол «превращенных» рыб, приобретенный в процессе индивидуального развития, потомкам по наследству не передается, а снова определяется половыми хромосомами – гормоны не влияют на генотип. Возможность переопределения пола объясняется тем, что введенные искусственно в организм гормоны опережают деятельность индукторов (гормонов и гонадотропных веществ), контролируемых определяющими пол генами.

Методы регуляции пола сведены к нескольким основным направлениям. Зависят они в основном от механизма определения пола у рыб. Обработка рыб может проводиться различными методами: при помощи скармливания корма с добавлением гормонов, купания в растворе, инъекирования, вшивания капсул с гормоном в полость тела. Высокие концентрации стероидных гормонов, необходимые для переопределения пола рыб, при применении их на ранних стадиях онтогенеза могут вызывать различные нарушения развития, возникновение уродств, снижение темпов роста и даже массовую гибель молоди, поэтому очень важен подбор дозы гормона и выбор метода воздействий.

Если механизм определения пола отсутствует или его диагностика затруднена, то проведение гормональной обработки не имеет смысла.

У большинства рыб, включая и тех, у которых изредка появляются гермафродиты, имеются четкие генетические механизмы определения пола, которые различаются по степени их развития. Именно гермафродитизмом можно объяснить случаи, когда у виргинной (неоплодотворенной) самки гуппи вдруг появляется потомство, состоящее из одних самок.

Раствор метилтестостерона приготавливают следующим образом: 0,1 г метилтестостерона растворяют в 100 см³ 70%-ного этилового или метилового спирта, после чего в раствор вливают 900 см³ дистиллированной воды. Метилтестостерон можно заменить этинилтестостероном. Можно использовать метиландростендиол. Его добавляют прямо в воду из расчета 0,25–0,50 мг/л. Полученный раствор вносят в аквариум из расчета одна капля на литр воды. Опыты по содержанию гуппи в таком растворе показали, что для проявления большинства пятен в окраске достаточно 3–4 недель. Молодые виргинные самки окрашиваются быстрее, чем взрослые или оплодотворенные. Содержание 2–4-месячных самок в растворе может привести к бесплодию, взрослые самки не теряют плодовитости даже после месяца содержания в растворе. Кроме проявления окраски, у самок увеличиваются хвостовой и спинной плавники, анальный плавник заостряется. Перед подсаживанием самок к самцам их 1–1,5 месяца выдерживают в чистой воде без гормонов. При введении в организм рыб эстрадиола или этинилэстрадиола (20–50 мг/кг) можно в потомстве получить 100 % самок.

Оплодотворенные самки, содержащиеся в растворе метилтестостерона, способны выметать мальков, причем мальки могут окраситься окрашенными. Если же выращивать мальков в растворе гормона, то можно получить потомство из одних самцов. Генотипические самки способны к размножению, но их потомство состоит из одних генотипических самок. То есть, когда при разведении рыб какого-либо вида получается только однополое потомство, а достать особей другого пола нет возможности, имеет смысл рискнуть с помощью гормонов попытаться изменить пол потомства. Очевидно, что приобретенные под действием гормонов признаки потомству не передаются, поэтому нет никакого смысла использовать их для выведения новых пород быстрорастущих или крупных рыб.

У костистых рыб предпочтительное разведение особей одного определенного пола, обладающего большей скоростью роста, ценно с хозяйственной точки зрения. У карпа (*Cyprinus carpio*) преимущество в росте принадлежит женским особям и составляет примерно 10–30 %. Такая же картина наблюдается и у лососевых рыб (*Salmonidae*), а у тропических видов тилапий (*Oreochromis*) и африканских сомов (*Clarias*) наоборот, мужские особи обладают большей скоростью роста, чем женские. Для большинства рыб доказано, что на ранних стадиях развития в течение определенного периода времени существует

возможность при помощи больших доз половых стероидных гормонов изменить соотношение полов в популяции рыб в сторону преобладания женского или мужского пола. Таким образом, может быть осуществлена прямая инверсия пола.

Если задачей разведения является получение женской популяции рыб, то применяют эстрогены, если мужской, то андрогены. Действенность применяемых гормонов определяет множество факторов: вид рыб, тип соединения и доза гормона, начало, продолжительность и метод гормонального воздействия, температура воды и некоторые другие.

Большое преимущество перед непосредственными методами воздействия гормонами имеет так называемое не прямое переопределение пола, когда гормональное воздействие осуществляется на родительскую популяцию, а поступающая в торговлю рыбопродукция не подвергалась непосредственной обработке гормоном. Если гормональное воздействие андрогенами проводилось на ранних этапах онтогенеза, то может произойти фенотипическая инверсия пола и, как следствие, развитие семенников. У такого самца будут формироваться зрелые сперматозоиды, способные оплодотворять икру. Однако при этом генотип особей сохраняется, а значит, все половые клетки инвертированных самцов будут содержать только X-половые хромосомы. При скрещивании таких самцов с обычными, не обработанными гормоном самками в первом поколении будет получена однополая популяция самок.

Т е м а 12. СТРОЕНИЕ ЗРЕЛЫХ ПОЛОВЫХ КЛЕТОК

Цель занятия: изучение строения зрелых половых клеток.

Содержание и методика. Сперматозоиды – зрелые мужские половые клетки, состоят из головки, шейки и хвостика, ядра, цитоплазмы. Подвижные мужские клетки называются сперматозоидами, неподвижные – спермиями. На кончике головки расположен аппарат Гольджи, преобразованный в кольцевое тельце – акросому (рис. 12). В ней образуются ферменты, растворяющие мембрану яйцеклетки при оплодотворении. В цитоплазме шейки сосредоточены митохондрии, одна или несколько центриолей.

Яйцеклетка – зрелая женская половая клетка (рис. 13). Яйцеклетки у многоклеточных животных различаются по количеству желтка: 0,085 мм – у морского ежа; 0,2 мм – у человека; 22 см – у сельдевой акулы. Ядро яйцеклетки содержит гаплоидный набор хромосом (n).

В цитоплазме функционируют митохондрии, рибосомы, аппарат Гольджи, слабо развита эндоплазматическая сеть (ЭПС), накапливается значительное количество нуклеотидов, аминокислот, белков и других веществ, необходимых для развития зародыша. Яйцеклетка имеет одну или несколько сложных по строению оболочек.

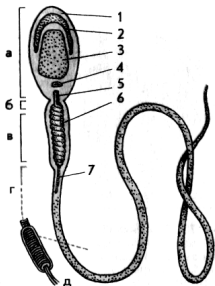


Рис. 12. Строение сперматозоида млекопитающих:
а – головка; *б* – шейка; *в* – средняя часть; *г* – хвостик; *д* – нить;
 1 – акросома; 2 – головной чехлик;
 3 – ядро; 4, 5 – центриоли;
 6 – митохондрия; 7 – нить

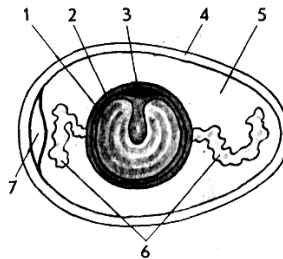


Рис. 13. Строение яйца курицы:
 1 – желток; 2 – желточная оболочка;
 3 – зародышевый диск; 4 – скорлупа;
 5 – белок; 6 – канатики,
 удерживающие яйцеклетку в центре
 яйца; 7 – воздушная камера

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Размножение живых организмов.
2. Когда начинается редукционное деление? К чему оно приводит?
3. Партогенез как особый способ размножения живых организмов.
4. Что такое гонии? В какой период они образуются? Их отличия от других типов половых клеток.
5. Андрогенез как особый способ размножения живых организмов.
6. Когда начинается эквационное деление? К чему оно приводит?
7. Гиногенез как особый способ размножения живых организмов.
8. Дайте определение термину «гаметы». Приведите их классификацию.
9. Способы определения пола у живых организмов.
10. Дайте определение термину «гаметогенез». Типы гаметогенеза. Основные особенности.
11. Хромосомная детерминация пола у живых организмов.

12. Опишите признаки цитологической дифференцировки пола у рыб.
13. Хромосомный тип определения пола у рыб.
14. На примере опишите особый тип размножения живых организмов путем партеногенеза.
15. Инверсия пола, регуляция пола и получение стерильных рыб.
16. Когда, где и каким способом образуются первичные половые клетки (ППК)?
17. Дифференцировка пола у рыб (цитологическая и анатомическая).
18. Явление гермафродитизма.
19. Особенности оогенеза у рыб (характерные признаки последовательных периодов развития ооцита).
20. Опишите процесс гормональной инверсии пола у рыб.
21. Основные признаки отдельных стадий зрелости яичника.
22. Основное различие между гетерогенным и гомогенным полом.
23. Основные признаки отдельных стадий зрелости семенника.
24. Этапы получения андрогенетических потомков у рыб.
25. Оплодотворение.
26. Анатомическая дифференцировка пола у рыб.

ЗАДАЧИ

Задача 1. У речной камбалы гетерогаметный пол у самки. Используя методы генетической инверсии пола самки или самца, докажите это. Запишите все возможные схемы скрещивания. Дайте ответы на вопросы:

1. Сколько схем скрещивания возможно осуществить при такой постановке вопроса?
2. Возможно ли получить в потомстве 100 % самок?
3. Возможно ли получить в потомстве 100 % самцов?
4. При какой схеме скрещивания ожидается гибель потомства или получение стерильных рыб?
5. Какую схему скрещивания лучше использовать в рыбхозе для получения товарной икры?

Задача 2. У серебряного карася гетерогаметный пол у самца. Используя методы генетической инверсии пола самки или самца, докажите это. Запишите все возможные схемы скрещивания. Дайте ответы на вопросы:

1. Сколько схем скрещивания возможно осуществить при такой постановке вопроса?

2. Возможно ли получить в потомстве 100 % самок?

3. Возможно ли получить в потомстве 100 % самцов?

4. При какой схеме скрещивания ожидается гибель потомства или получение стерильных рыб?

5. Какую схему скрещивания лучше использовать в рыбнохозяйстве для получения товарной икры?

Задача 3. У гамбузии гетерогаметный пол у самки. Используя методы генетической инверсии пола самки или самца, докажите это. Запишите все возможные схемы скрещивания. Дайте ответы на вопросы:

1. Сколько схем скрещивания возможно осуществить при такой постановке вопроса?

2. Возможно ли получить в потомстве 100 % самок?

3. Возможно ли получить в потомстве 100 % самцов?

4. При какой схеме скрещивания ожидается гибель потомства или получение стерильных рыб?

5. Какую схему скрещивания лучше использовать в рыбнохозяйстве для получения товарной икры?

Задача 4. У белого толстолобика гетерогаметный пол у самца. Используя методы генетической инверсии пола самки или самца, докажите это. Запишите все возможные схемы скрещивания. Дайте ответы на вопросы:

1. Сколько схем скрещивания возможно осуществить при такой постановке вопроса?

2. Возможно ли получить в потомстве 100 % самок?

3. Возможно ли получить в потомстве 100 % самцов?

4. При какой схеме скрещивания ожидается гибель потомства или получение стерильных рыб?

5. Какую схему скрещивания лучше использовать в рыбнохозяйстве для получения товарной икры?

Задача 5. У белого амурского карпа гетерогаметный пол у самца. Используя методы генетической инверсии пола самки или самца, докажите это. Запишите все возможные схемы скрещивания. Дайте ответы на вопросы:

1. Сколько схем скрещивания возможно осуществить при такой постановке вопроса?

2. Возможно ли получить в потомстве 100 % самок?

3. Возможно ли получить в потомстве 100 % самцов?

4. При какой схеме скрещивания ожидается гибель потомства или получение стерильных рыб?

5. Какую схему скрещивания лучше использовать в рыбхозе для получения товарной икры?

Задача 6. У медаки гетерогаметный пол у самца. Используя методы генетической инверсии пола самки или самца, докажите это. Запишите все возможные схемы скрещивания. Дайте ответы на вопросы:

1. Сколько схем скрещивания возможно осуществить при такой постановке вопроса?

2. Возможно ли получить в потомстве 100 % самок?

3. Возможно ли получить в потомстве 100 % самцов?

4. При какой схеме скрещивания ожидается гибель потомства или получение стерильных рыб?

5. Какую схему скрещивания лучше использовать в рыбхозе для получения товарной икры?

Задача 7. У аквариумной золотой рыбки гетерогаметный пол у самца. Используя методы генетической инверсии пола самки или самца, докажите это. Запишите все возможные схемы скрещивания. Дайте ответы на вопросы:

1. Сколько схем скрещивания возможно осуществить при такой постановке вопроса?

2. Возможно ли получить в потомстве 100 % самок?

3. Возможно ли получить в потомстве 100 % самцов?

4. При какой схеме скрещивания ожидается гибель потомства или получение стерильных рыб?

5. Какую схему скрещивания лучше использовать в рыбхозе для получения товарной икры?

Задача 8. У карпа гетерогаметный пол у самца. Используя методы генетической инверсии пола самки или самца, докажите это. Запишите все возможные схемы скрещивания. Дайте ответы на вопросы:

1. Сколько схем скрещивания возможно осуществить при такой постановке вопроса?

2. Возможно ли получить в потомстве 100 % самок?

3. Возможно ли получить в потомстве 100 % самцов?

4. При какой схеме скрещивания ожидается гибель потомства или получение стерильных рыб?

5. Какую схему скрещивания лучше использовать в рыбхозе для получения товарной икры?

Задача 9. У гамбузии гетерогаметный пол у самца. Используя методы генетической инверсии пола самки или самца, докажите это. Запишите все возможные схемы скрещивания. Дайте ответы на вопросы:

1. Сколько схем скрещивания возможно осуществить при такой постановке вопроса?
2. Возможно ли получить в потомстве 100 % самок?
3. Возможно ли получить в потомстве 100 % самцов?
4. При какой схеме скрещивания ожидается гибель потомства или получение стерильных рыб?
5. Какую схему скрещивания лучше использовать в рыбхозе для получения товарной икры?

Задача 10. У морской камбалы гетерогаметный пол у самки. Используя методы генетической инверсии пола самки или самца, докажите это. Запишите все возможные схемы скрещивания. Дайте ответы на вопросы:

1. Сколько схем скрещивания возможно осуществить при такой постановке вопроса?
2. Возможно ли получить в потомстве 100 % самок?
3. Возможно ли получить в потомстве 100 % самцов?
4. При какой схеме скрещивания ожидается гибель потомства или получение стерильных рыб?
5. Какую схему скрещивания лучше использовать в рыбхозе для получения товарной икры?

Задача 11. У радужной форели отмечена мужская гетерогаметность. При скрещивании нормальной самки радужной форели с инвертированным самцом получено 1500 мальков. Запишите изначальную схему детерминации пола, составьте схему скрещивания родительских особей и схему получения потомства. Дайте ответы на вопросы:

1. Сколько типов гамет продуцирует инвертированный самец?
2. Сколько типов гамет продуцирует нормальная самка?
3. Какое количество потомков получено фертильных?
4. Какое количество потомков получено стерильных?
5. Сколько было получено самок при такой схеме скрещивания?

Задача 12. У пецилии отмечены случаи мужской и женской гетерогаметности. При скрещивании нормальной самки и инвертированного самца у потомства обнаружено следующее расщепление по полу: 3 части самки и 1 часть самцы. Запишите схему скрещивания, генотипы родителей, если в потомстве ожидается 2400 мальков. Дайте ответы на вопросы:

1. Какой в данном случае пол у пецилии гетерогаметный?
2. Какова структура распределения мальков по генотипу?
3. Какова структура распределения мальков по фенотипическому проявлению?

4. Сколько при таком разведении получено в потомстве самок?

5. Какое количество самцов было среди потомства?

Задача 13. При скрещивании инвертированной самки и обыкновенного самца радужной форели получено 1600 мальков. Фенотипическое расщепление по полу произошло следующим образом: 1 часть самки и 3 части самцы. Запишите генотипы полученных мальков. Дайте ответы на вопросы:

1. Какой в данном случае пол у радужной форели гетерогаметный?

2. Какова структура распределения мальков по генотипу?

3. Какова структура распределения мальков по фенотипическому проявлению?

4. Сколько при таком разведении получено в потомстве самок?

5. Какое количество самцов было среди потомства?

Задача 14. У тилапии отмечены случаи мужской и женской гетерогаметности. При скрещивании нормальной самки и инвертированного самца у потомства не обнаружено расщепления по полу. Запишите схему скрещивания, генотипы родителей при условии, что в потомстве получено 333 малька. Дайте ответы на вопросы:

1. Какой в данном случае пол у тилапии гетерогаметный?

2. Какова структура распределения мальков по генотипу?

3. Какова структура распределения мальков по фенотипическому проявлению?

4. Сколько при таком скрещивании получено в потомстве самок?

5. Какое количество самцов было среди потомства?

Задача 15. У пецилии отмечены случаи мужской и женской гетерогаметности. При скрещивании инвертированной самки и нормального самца у потомства обнаружено следующее расщепление по полу: 3 части самцы и 1 часть самки. Запишите схему скрещивания, генотипы родителей при условии, что в потомстве получено 4000 мальков. Дайте ответы на вопросы:

1. Какой в данном случае пол у пецилии гетерогаметный?

2. Какова структура распределения мальков по генотипу?

3. Какова структура распределения мальков по фенотипическому проявлению?

4. Сколько при таком скрещивании получено в потомстве самок?

5. Какое количество самцов было среди потомства?

Задача 16. При скрещивании нормальной самки и инвертированного самца тилипии получено 2400 мальков. Фенотипическое расщепление по полу не произошло. Запишите генотипы полученных мальков.

Дайте ответы на вопросы:

1. Какой в данном случае пол у тилипии гетерогаметный?
2. Какова структура распределения мальков по генотипу?
3. Какова структура распределения мальков по фенотипическому проявлению?
4. Сколько при таком скрещивании получено в потомстве самок?
5. Какое количество самцов было среди потомства?

Задача 17. При скрещивании нормальной самки и инвертированного самца пецилии получено 4800 мальков. Фенотипическое расщепление по полу не произошло. Запишите генотипы полученных мальков.

Дайте ответы на вопросы:

1. Какой в данном случае пол у пецилии гетерогаметный?
2. Какова структура распределения мальков по генотипу?
3. Какова структура распределения мальков по фенотипическому проявлению?
4. Сколько при таком скрещивании получено в потомстве самок?
5. Какое количество самцов было среди потомства?

Задача 18. У гамбузии отмечены случаи мужской и женской гетерогаметности. При скрещивании инвертированной самки и нормально самца у потомства не обнаружено расщепления по полу. Запишите схему скрещивания, генотипы родителей. Дайте ответы на вопросы:

1. Какой в данном случае пол у гамбузии гетерогаметный?
2. Какова структура распределения мальков по генотипу?
3. Какова структура распределения мальков по фенотипическому проявлению?
4. Сколько при таком скрещивании получено в потомстве самок?
5. Какое количество самцов было среди потомства?

Задача 19. При скрещивании инвертированной самки и обыкновенного самца радужной форели получено 1600 мальков. Фенотипическое расщепление по полу произошло следующим образом: 1 часть самки и 2 части самцы. Запишите генотипы полученных мальков при условии, что в потомстве 3000 живых мальков. Дайте ответы на вопросы:

1. Какой в данном случае пол у радужной форели гетерогаметный?
2. Какова структура распределения мальков по генотипу?

3. Какова структура распределения мальков по фенотипическому проявлению?

4. Сколько при таком скрещивании получено в потомстве самок?

5. Какое количество самцов было среди потомства?

Задача 20. У золотой рыбки отмечена мужская гетерогаметность. При скрещивании нормальной самки золотой рыбки с инвертированным самцом получено 1600 мальков. Дайте ответы на вопросы:

1. Какой в данном случае пол у радужной форели гетерогаметный?

2. Какова структура распределения мальков по генотипу?

3. Какова структура распределения мальков по фенотипическому проявлению?

4. Сколько при такой схеме скрещивания получено в потомстве самок?

5. Какое количество самцов было среди потомства?

БЛОКИ

Вариант 1

Вопрос 1. Способы определения пола у живых организмов.

Вопрос 2. Дайте определение термину «гаметогенез». Типы гаметогенеза. Основные особенности.

Задачи

1. У белого амура гетерогаметный пол у самца. Используя методы генетической инверсии пола самки или самца, докажите это. Запишите все возможные схемы скрещивания.

2. При скрещивании инвертированной самки и инвертированного самца теляпии получено 6000 мальков. Какое расщепление по полу произойдет у потомства в результате такого скрещивания? Запишите генотипы полученных мальков, если:

а) гетерогаметный пол у самки;

б) гетерогаметный пол у самца.

3. У гамбузии отмечены случаи мужской и женской гетерогаметности. При скрещивании инвертированной самки и нормального самца у потомства не обнаружено расщепления по полу. Какой в данном случае пол у гамбузии гетерогаметный? Запишите схему скрещивания,

генотипы родителей. Какие генотипы и фенотипы по полу возможны у мальков, полученных от такого скрещивания?

Вариант 2

Вопрос 1. Хромосомная детерминация пола у живых организмов.

Вопрос 2. Опишите признаки цитологической дифференцировки пола у рыб.

Задачи

1. У серебряного карася гетерогаметный пол у самца. Используя методы генетической инверсии пола самки или самца, докажите это. Запишите все возможные схемы скрещивания.

2. При скрещивании инвертированной самки и обыкновенного самца радужной форели получено 1600 мальков. Фенотипическое расщепление по полу произошло следующим образом: 1 часть самки и 2 части самцы. Какой пол у радужной форели гетерогаметный? Запишите генотипы полученных мальков при условии, что в потомстве получено 3000 живых мальков.

3. У тилапии отмечены случаи мужской и женской гетерогаметности. При скрещивании нормальной самки и инвертированного самца у потомства не обнаружено расщепления по полу. Какой в данном случае пол у тилапии гетерогаметный? Запишите схему скрещивания, генотипы родителей. Какие генотипы и фенотипы по полу возможны у мальков, полученных от такого скрещивания?

Вариант 3

Вопрос 1. Хромосомный тип определения пола у рыб.

Вопрос 2. На примере опишите особый тип размножения живых организмов путем партеногенеза.

Задачи

1. У медаки гетерогаметный пол у самца. Используя методы генетической инверсии пола самки или самца, докажите это. Запишите все возможные схемы скрещивания.

2. У золотой рыбки отмечена мужская гетерогаметность. При скрещивании нормальной самки золотой рыбки с инвертированным самцом получено 8000 мальков. Какое расщепление по полу генотипически и фенотипически будет наблюдаться у мальков?

3. У гамбузии отмечены случаи мужской и женской гетерогаметности. При скрещивании инвертированной самки и нормального самца получено 6400 мальков и обнаружено следующее расщепление по полу: 3 части самки и 1 часть самцы. Какой в данном случае пол у гамбузии гетерогаметный? Запишите схему скрещивания, генотипы родителей. Какова структура распределения мальков по генотипу и фенотипическому проявлению?

Вариант 4

Вопрос 1. Инверсия пола, регуляция пола и получение стерильных рыб.

Вопрос 2. Когда, где и каким способом образуются первичные половые клетки (ППК)?

Задачи

1. У аквариумной золотой рыбки гетерогаметный пол у самца. Используя методы генетической инверсии пола самки или самца, докажете это. Запишите все возможные схемы скрещивания.

2. При скрещивании инвертированной самки и инвертированного самца теляпии получено 8800 мальков. Какое расщепление по полу произойдет у потомства в результате такого скрещивания? Запишите генотипы полученных мальков, если:

- а) гетерогаметный пол у самки;
- б) гетерогаметный пол у самца.

3. У гамбузии отмечены случаи мужской и женской гетерогаметности. При скрещивании нормальной самки и инвертированного самца у потомства не обнаружено расщепления по полу. Какой в данном случае пол у гамбузии гетерогаметный? Запишите схему скрещивания, генотипы родителей. Какие генотипы и фенотипы по полу возможны у мальков, полученных от такого скрещивания?

Вариант 5

Вопрос 1. Дифференцировка пола у рыб (цитологическая и анатомическая).

Вопрос 2. Явление гермафродитизма.

Задачи

1. У белого толстолобика гетерогаметный пол у самца. Используя методы генетической инверсии пола самки или самца, докажите это. Запишите все возможные схемы скрещивания.

2. При скрещивании нормальной самки и инвертированного самца пецилии получено 2800 мальков. Фенотипическое расщепление по полу не произошло. Какой пол у пецилии гетерогаметный? Запишите генотипы полученных мальков.

3. У тилляпии отмечены случаи мужской и женской гетерогаметности. При скрещивании нормальной самки и инвертированного самца получено 2100 мальков и обнаружено следующее расщепление по полу: 2 части самки и 1 часть самцы. Какой в данном случае пол у тилляпии гетерогаметный? Запишите схему скрещивания, генотипы родителей. Какова структура распределения мальков по генотипу и фенотипическому проявлению?

Вариант 6

Вопрос 1. Особенности оогенеза у рыб (характерные признаки последовательных периодов развития ооцита).

Вопрос 2. Опишите процесс гормональной инверсии пола у рыб.

Задачи

1. У гамбузии гетерогаметный пол у самки. Используя методы генетической инверсии пола самки или самца, докажите это. Запишите все возможные схемы скрещивания.

2. При скрещивании инвертированной самки и обыкновенного самца радужной форели получено 1600 мальков. Фенотипическое расщепление по полу произошло следующим образом: 1 часть самки и 3 части самцы. Какой пол у радужной форели гетерогаметный? Запишите генотипы полученных мальков.

3. У пецилии отмечены случаи мужской и женской гетерогаметности. При скрещивании инвертированной самки и нормального самца у потомства не обнаружено расщепления по полу. Какой в данном случае пол у пецилии гетерогаметный? Запишите схему скрещивания, генотипы родителей. Какие генотипы и фенотипы по полу возможны у мальков, полученных от такого скрещивания?

Вариант 7

Вопрос 1. Особенности сперматогенеза у рыб (характерные признаки последовательных периодов развития сперматоцита).

Вопрос 2. Этапы получения гиногенетических потомков у рыб.

Задачи

1. У серебряного карася гетерогаметный пол у самца. Используя методы генетической инверсии пола самки или самца, докажите это. Запишите все возможные схемы скрещивания.

2. При скрещивании инвертированной самки и обыкновенного самца радужной форели получено 1500 мальков. Фенотипическое расщепление по полу произошло следующим образом: 1 часть самки и 3 части самцы. Какой пол у радужной форели гетерогаметный? Запишите генотипы полученных мальков.

3. У тилляпии отмечены случаи мужской и женской гетерогаметности. При скрещивании нормальной самки и инвертированного самца получено 2200 мальков и обнаружено следующее расщепление по полу: 3 части самки и 1 часть самцы. Какой в данном случае пол у тилляпии гетерогаметный? Запишите схему скрещивания, генотипы родителей. Какова структура распределения мальков по генотипу и фенотипическому проявлению?

Вариант 8

Вопрос 1. Основные признаки отдельных стадий зрелости яичника.

Вопрос 2. Основное различие между гетерогенным и гомогенным полом.

Задачи

1. У аквариумной золотой рыбки гетерогаметный пол у самца. Используя методы генетической инверсии пола самки или самца, докажете это. Запишите все возможные схемы скрещивания.

2. При скрещивании инвертированной самки и инвертированного самца тилапии получено 1200 мальков. Какое расщепление по полу произойдет у потомства в результате такого скрещивания? Запишите генотипы полученных мальков, если:

- а) гетерогаметный пол у самки;
- б) гетерогаметный пол у самца.

3. У гамбузии отмечены случаи мужской и женской гетерогаметности. При скрещивании нормальной самки и инвертированного самца у потомства не обнаружено расщепления по полу. Какой в данном случае пол у гамбузии гетерогаметный? Запишите схему скрещивания, генотипы родителей. Какие генотипы и фенотипы по полу возможны у мальков, полученных от такого скрещивания?

Вариант 9

Вопрос 1. Основные признаки отдельных стадий зрелости семеника.

Вопрос 2. Этапы получения андрогенетических потомков у рыб.

Задачи

1. У речной камбалы гетерогаметный пол у самки. Используя методы генетической инверсии пола самки или самца, докажете это. Запишите все возможные схемы скрещивания.

2. У радужной форели отмечена мужская гетерогаметность. При скрещивании нормальной самки радужной форели с инвертированным самцом получено 1500 мальков. Какое расщепление по полу генотипически и фенотипически будет наблюдаться у мальков, полученных при таком скрещивании?

3. У тилапии отмечены случаи мужской и женской гетерогаметности. При скрещивании инвертированной самки и нормального самца получено 2200 мальков и обнаружено следующее расщепление по полу: 3 части самцы и 1 часть самки. Какой в данном случае пол у тила-

пии гетерогаметный? Запишите схему скрещивания, генотипы родителей. Какова структура распределения мальков по генотипу и фенотипическому проявлению?

ТЕСТЫ

1. Оплодотворенная яйцеклетка называется:

- 1) сперматозоид;
- 2) зигота;
- 3) яйцеклетка;
- 4) сперматид;
- 5) гония.

2. Зрелая мужская гамета – это:

- 1) сперматозоид;
- 2) зигота;
- 3) яйцеклетка;
- 4) гония;
- 5) ооцит.

3. Зрелая женская гамета – это:

- 1) сперматозоид;
- 2) зигота;
- 3) яйцеклетка;
- 4) гония;
- 5) ооцит.

4. Гонии – это:

- 1) зрелые половые клетки;
- 2) незрелые половые клетки;
- 3) гаметы;
- 4) клетки мышечной ткани;
- 5) клетки нервной ткани.

5. Первичные половые клетки (ППК) закладываются:

- 1) на 1-й стадии эмбриогенеза;
- 2) на 2-й стадии эмбриогенеза;
- 3) после проклевывания личинки;
- 4) в мальковой стадии;
- 5) в ювенальный период.

6. Процесс созревания половых клеток (гамет) называется:

- 1) гаметогенез;
- 2) онтогенез;

- 3) филогенез;
- 4) верны варианты ответов 2 и 3;
- 5) нет правильных ответов.

7. Процесс индивидуального развития организма – это:

- 1) гаметогенез;
- 2) онтогенез;
- 3) филогенез;
- 4) сперматогенез;
- 5) нет правильных ответов.

8. Рыбы по типу хромосомной детерминации пола могут относиться:

- 1) к гонохористам;
- 2) к гермафродитам;
- 3) верны варианты ответов 1 и 2;
- 4) к монополистам;
- 5) нет правильных ответов.

9. Гермафродиты – это:

- 1) строго раздельнополые животные;
- 2) организм, способный продуцировать как женские, так и мужские половые клетки;
- 3) организм, неспособный продуцировать половые клетки;
- 4) верны варианты ответов 1 и 3;
- 5) нет правильных ответов.

10. Стерильный – это организм:

- 1) с нормальной фертильностью;
- 2) способный продуцировать как женские, так и мужские половые клетки;
- 3) неспособный продуцировать половые клетки;
- 4) верны варианты ответов 1 и 2;
- 5) хорошо отмытый.

11. Гаметогенез – это:

- 1) процесс созревания половых клеток – гамет;
- 2) процесс созревания соматических клеток;
- 3) процесс индивидуального развития;
- 4) верны варианты ответов 2 и 3;
- 5) нет правильных ответов.

12. Онтогенез – это:

- 1) процесс созревания половых клеток – гамет;
- 2) процесс созревания соматических клеток;

- 3) процесс индивидуального развития организма;
- 4) верны варианты ответов 2 и 3;
- 5) нет правильных ответов.

13. В сперматогенезе рыб выделяют следующие основные стадии:

- 1) воспроизведения, созревания и роста;
- 2) размножения, роста, созревания и формирования;
- 3) размножения, роста и созревания;
- 4) роста;
- 5) нет правильных ответов.

14. Развитие зародыша происходит под контролем только материнской наследственности. Это:

- 1) гиногенез;
- 2) андрогенез;
- 3) сперматогенез;
- 4) оогенез;
- 5) нет правильных ответов.

15. Андрогенез – это:

- 1) женский партеногенез;
- 2) мужской партеногенез;
- 3) гаметогенез;
- 4) сперматогенез;
- 5) нет правильных ответов.

16. С помощью гиногенеза и андрогенеза можно:

- 1) изучить вредное действие рецессивных генов;
- 2) изучить вредное действие доминантных генов;
- 3) изучить рост рыб;
- 4) создавать новые породы рыб;
- 5) нет правильных ответов.

17. Выведение однополых женских потомков возможно:

- 1) при гиногенезе;
- 2) андрогенезе;
- 3) сперматогенезе;
- 4) оогенезе;
- 5) нет правильных ответов.

18. Выведение однополых мужских потомков возможно:

- 1) при гиногенезе;
- 2) андрогенезе;
- 3) сперматогенезе;

- 4) оогенезе;
- 5) нет правильных ответов.

19. Способы определения пола у живых существ:

- 1) прогамный;
- 2) сингамный;
- 3) эпигамный;
- 4) все варианты ответов верны;
- 5) нет правильных ответов.

20. Прогамный способ подразумевает определение пола:

- 1) до оплодотворения яйцеклеток;
- 2) в момент оплодотворения яйцеклеток;
- 3) после оплодотворения яйцеклеток;
- 4) при выклеве из икринок личинки;
- 5) нет правильных ответов.

21. Сингамное определение пола происходит:

- 1) до оплодотворения яйцеклеток;
- 2) в момент оплодотворения яйцеклеток;
- 3) после оплодотворения яйцеклеток;
- 4) при выклеве из икринок личинки;
- 5) нет правильных ответов.

22. Эпигамный способ определения пола – это:

- 1) определение пола до оплодотворения яйцеклеток;
- 2) в момент оплодотворения яйцеклеток;
- 3) после оплодотворения яйцеклеток;
- 4) при выклеве из икринок личинки;
- 5) нет правильных ответов.

23. Гонохористы – это:

- 1) строго раздельнополые животные;
- 2) организм, способный продуцировать как женские, так и мужские половые клетки;
- 3) организм, неспособный продуцировать половые клетки;
- 4) верны варианты ответов 2 и 3;
- 5) нет правильных ответов.

24. Дифференцировка пола у рыб подразделяется:

- 1) на анатомическую и цитологическую;
- 2) гистологическую и морфологическую;
- 3) генеалогическую и онтогенетическую;
- 4) верны варианты ответов 2 и 3;
- 5) нет правильных ответов

25. При анатомической дифференцировке пола у рыб определяют:

- 1) вторичные половые признаки;
- 2) тип гамет (мужские или женские половые клетки) в начале гаметогенеза;
- 3) способ прикрепления гонад к перитониальному эпителию при помощи мезоварий;
- 4) первичные половые признаки;
- 5) нет правильных ответов.

26. Если гонады прикреплены к перитониальному эпителию при помощи двух мезоварий, в результате чего образуется овариальная полость, – это:

- 1) самка;
- 2) самец;
- 3) гермафродит;
- 4) верны варианты ответов 2 и 3;
- 5) нет правильных ответов.

27. Если гонады прикреплены к перитониальному эпителию при помощи одного мезовария, в результате чего образуется грушевидное образование, – это:

- 1) самка;
- 2) самец;
- 3) гермафродит;
- 4) верны варианты ответов 1 и 3;
- 5) нет правильных ответов.

28. Инверсия пола – это:

- 1) определение половой принадлежности;
- 2) смена пола, при которой фактические половые признаки не соответствуют генетической программе;
- 3) проявление вторичных половых признаков;
- 4) дифференцировка пола;
- 5) нет правильных ответов.

29. Если малька-самку кормить комбикормом с добавлением мужских гормонов (тестостеронов), получится:

- 1) самец-инверсант;
- 2) самка-инверсант;
- 3) гермафродит;
- 4) малек погибнет;
- 5) нет правильных ответов.

30. Если малька-самца кормить комбикормом с добавлением женских гормонов (эстрагенов), получится:

- 1) самец-инверсант;
- 2) самка-инверсант;
- 3) гермафродит;
- 4) малек погибнет;
- 5) нет правильных ответов.

31. При дрозофильном типе детерминации пола у рыб самка-инверсант содержит в генотипе половые хромосомы:

- 1) XX;
- 2) XXX;
- 3) ХУУ;
- 4) ХУ;
- 5) УУУ.

32. При дрозофильном типе детерминации пола у рыб самец-инверсант содержит в генотипе половые хромосомы:

- 1) XX;
- 2) XXX;
- 3) ХУУ;
- 4) ХУ;
- 5) УУУ.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Хромосомная детерминация пола у живых организмов

Пол	Организмы	Соматические клетки		Гаметы		Гетерогаметность
		♀	♂	Сперматозоид	Яйцеклетка	
XY	Человек Млекопитающие Двудомные растения Двукрылые насекомые Рыбы	XX	XY	X Y	X	Мужская
ZW	Некоторые виды рыб Птицы Пресмыкающиеся	ZW	ZZ	Z	X W	Женская
XY	Птицы Бабочки	XY	XX	X	X Y	Женская
XO	Кузнечики	XX	XO	X O	X	Мужская
XO	Моль Тля	XO	XX	X	X O	Женская

Приложение 2

Определение пола у дрозофильного типа

Пол	Генотип	Половые хромосомы	Число гамет G
♀	Гомогаметный	XX	X
♂	Гетерогаметный	XY	X и Y

Приложение 3

Определение пола у карпозубых

Пол	Генотип	Половые хромосомы	Число гамет G
♀	Гетерогаметный	XY	X и Y
♂	Гомогаметный	XX	X

Определение пола у телятий

Пол	Генотип	Половые хромосомы	Число гамет G
♀	Гетерогаметный	ZW	Z и W
♂	Гомогаметный	ZZ	Z
♀	Гомогаметный	XX	X
♂	Гетерогаметный	XY	X и Y

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Список рекомендуемой литературы	4
Тема 1. Размножение живых организмов и детерминация пола	4
Тема 2. Партогенез как способ размножения живых организмов	8
Тема 3. Гиногенез – особый вид размножения живых организмов	11
Тема 4. Андрогенез как способ размножения живых организмов	12
Тема 5. Хромосомный механизм определения пола	13
Тема 6. Формирование половых желез и дифференцировка пола у рыб в онтогенезе.....	15
Тема 7. Оогенез	17
Тема 8. Сперматогенез	22
Тема 9. Процесс оплодотворения у рыб.....	24
Тема 10. Инверсии пола	26
Тема 11. Регуляция пола.....	31
Тема 12. Строение зрелых половых клеток	33
Вопросы для самоконтроля.....	34
Задачи	35
Блоки.....	41
Тесты.....	47
Приложения.....	52

Учебное издание

Давыдович Елена Вячеславовна

СЕЛЕКЦИЯ РЫБ

ГЕНЕТИКА ПОЛА

Методические указания и задачи
для лабораторных занятий и самостоятельной работы

Редактор *Н. А. Матасёва*

Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 20.05.2022. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 3,25. Уч.-изд. л. 2,43.

Тираж 40 экз. Заказ .

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».

Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.

Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».

Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.