

ПРЕДИСЛОВИЕ

Для успешного прохождения централизованного тестирования или единого государственного экзамена при поступлении в учреждения высшего и среднего специального образования биологического, сельскохозяйственного и медицинского профиля необходимы глубокие знания основ биологии, преподаваемых в учреждениях общего среднего образования. Абитуриенты должны знать строение и процессы жизнедеятельности вирусов, бактерий, грибов, растений, животных и человека, владеть основными терминами, законами и теориями биологии, уметь решать задачи.

Пособие состоит из 11 глав. В каждой главе изложены основные теоретические положения, которые необходимо знать для успешного решения задач по молекулярной биологии, генетике, эволюции и экологии, представлены примеры решения типовых задач и задачи для самостоятельного решения и проверки своих знаний. Пособие содержит 327 задач, для 47 из них дано решение. В конце пособия приведены ответы на все задачи для самостоятельного решения. Наиболее сложные задачи помечены значком *. Если теоретических положений, изложенных в данном пособии, недостаточно для полного понимания темы, можно воспользоваться пособием для абитуриентов: Биология: для поступающих в вузы (Р.Г. Заяц и др.). Минск: Вышэйшая школа, 2019 г.

При написании пособия авторами использован многолетний опыт преподавания биологии на подготовительном отделении Белорусского государственного медицинского университета.

Пособие предназначено в первую очередь для абитуриентов учреждений высшего и среднего специального образования, слушателей подготовительных отделений. Может быть использовано учителями биологии учреждений общего среднего и среднего специального образования.

Глава 1

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ГЕНЕТИКА

Основные теоретические положения

Генетика — наука о закономерностях наследственности и изменчивости живых организмов. Термин «генетика» ввел в 1906 г. У. Бэтсон.

Наследственность — это свойство живых организмов передавать из поколения в поколение морфологические, биохимические, физиологические признаки и особенности индивидуального развития в определенных условиях среды.

Наследование — это способ передачи генетической информации.

Изменчивость — это свойство дочерних организмов приобретать в процессе онтогенеза признаки, отличающие их от родительских форм.

Наследуемость — это степень соотношения наследственности и изменчивости.

Нуклеиновые кислоты

В начале 1950-х гг. было доказано, что единицей наследственности и изменчивости является ген, материальную основу которого составляет ДНК.

Структура молекулы **ДНК** была расшифрована Дж. Уотсоном, Ф. Криком и М. Уилкинсом в 1953 г. Она представляет собой две спирально закрученные антипараллельные (напротив 3' конца одной цепи располагается 5' конец другой) полинуклеотидные цепи (рис. 1). Мономерами ДНК являются **нуклеотиды**, в состав каждого из них входят:

- пятиуглеродный сахар дезоксирибоза;
- остаток фосфорной кислоты;
- одно из четырех азотистых оснований (аденин, тимин, гуанин, цитозин).

Нуклеотиды соединяются в цепочку путем образования ковалентных (**фосфодиэфирных**) связей меж-

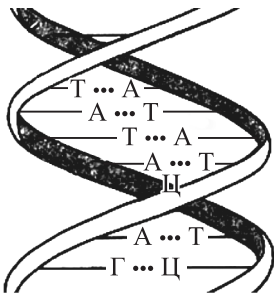


Рис. 1. Схема строения ДНК

ду дезоксирибозой одного и остатком фосфорной кислоты другого нуклеотида. Азотистые основания присоединяются к дезоксирибозе и образуют боковые радикалы. Между азотистыми основаниями цепочек ДНК устанавливаются *водородные* связи: две — между аденином и тиминном, три — между гуанином и цитозином. Строгое соответствие (взаимодополнение) нуклеотидов друг другу в парных цепочках ДНК (А—Т, Г—Ц) называется *комплементарностью*.

ДНК является хранителем генетической информации во всех клетках про- и эукариот. У вирусов эту функцию может выполнять также молекула РНК.

РНК, как и ДНК, представляет собой полинуклеотид. Структура нуклеотидов РНК сходна с таковой ДНК, но имеются *следующие отличия*:

- 1) вместо дезоксирибозы в состав нуклеотидов РНК входит пятиуглеродный сахар рибоза;
- 2) вместо азотистого основания тимина входит урацил;
- 3) молекула РНК обычно представлена одной цепочкой (у некоторых вирусов — двумя).

В клетках существуют три вида РНК: информационная, транспортная и рибосомальная.

Информационная РНК (иРНК) представляет собой копию кодирующей цепочки определенного участка ДНК, выполняет роль переносчика генетической информации от ДНК к месту синтеза белка (в рибосомы) и непосредственно участвует в сборке его молекул.

Транспортная РНК (тРНК) транспортирует аминокислоты из цитоплазмы в рибосомы.

Рибосомальная РНК (рРНК) входит в состав рибосом. Считают, что рРНК обеспечивает определенное пространственное взаиморасположение иРНК и тРНК.

Первичные функции гена

По современным представлениям *ген* — это участок молекулы ДНК, определяющий последовательность нуклеотидов в молекулах РНК и аминокислот в полипептиде.

Первичные функции ДНК — это хранение и передача генетической информации. Передача генетической информации происходит от ДНК к ДНК при репликации ДНК (*аутосинтетическая функция* при размножении клеток) и от ДНК через иРНК к белку (*гетеросинтетическая функция* при биосинтезе белка).

Репликация молекулы ДНК

Репликация молекулы ДНК происходит в синтетический период интерфазы при участии фермента *ДНК-полимеразы*. Каждая из двух цепей материнской молекулы служит матрицей для дочерней. После репликации вновь синтезированная молекула ДНК содержит одну материнскую цепочку, а вторую — дочернюю, вновь синтезированную (*полуконсервативный способ*). Для матричного синтеза новой молекулы ДНК необходимо, чтобы старая молекула была деспирализована и вытянута. Репликация начинается в нескольких местах молекулы ДНК (рис. 2). Участок молекулы ДНК от точки начала одной репликации до точки начала другой называется *репликоном*. «Бактериальная хромосома» содержит один репликон, а эукариотическая — много репликонов.

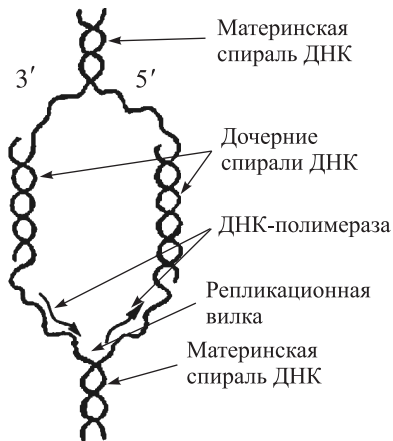


Рис. 2. Схема репликации молекулы ДНК

В каждом репликоне ДНК-полимераза может двигаться вдоль материнской нити только в одном направлении ($3' \rightarrow 5'$). Поэтому присоединение комплементарных нуклеотидов дочерних нитей ДНК к материнским нитям идет в противоположных направлениях (*антипараллельно*). Репликация во всех репликонах идет одновременно. Весь геном клетки реплицируется один раз за период времени, соответствующий одному митотическому циклу.

Биосинтез белков

Информация о первичной структуре белковой молекулы закодирована последовательностью нуклеотидов (*генетический код*) в кодирующей цепочке соответствующего участка молекулы ДНК – гене.

Свойства генетического кода:

- *однозначность* – каждый триплет кодирует только одну аминокислоту;

- *избыточность* – так как число возможных комбинаций из 4 нуклеотидов по 3 равно 4^3 , т.е. 64, а аминокислот – 20, то некоторые из них будут кодироваться 2, 3, 4 или даже 6 триплетами (валин кодируется 4 триплетами, а серин – 6);

- *неперекрываемость* – одновременно один нуклеотид входит в состав только одного триплета;

- *универсальность* – у всех организмов одинаковые триплеты кодируют одинаковые аминокислоты;

- *однонаправленность* – считывание последовательности нуклеотидов идет только в одном направлении: $3' \rightarrow 5'$;

- *наличие нонсенс (стоп)-кодонов* – триплетов, которые не кодируют аминокислоты. Когда рибосома в процессе трансляции доходит до таких кодонов, синтез белка прекращается. В молекуле иРНК – это кодоны *УАА, УГА, УАГ*;

- *непрерывность (без знаков препинания)* – при выпадении одного нуклеотида в процессе считывания его место занимает нуклеотид из соседнего кодона. Правильное считывание кода обеспечивается только в том случае, если он считывается со строго определенного пункта. Стартовым кодоном в молекуле иРНК является кодон *АУГ* (табл. 1).

Таблица 1

Соответствие кодонов иРНК аминокислотам (генетический код)

Первое азотистое основание	Второе азотистое основание				Третье азотистое основание
	У	Ц	А	Г	
1	2	3	4	5	6
У	фен	сер	тир	цис	У
	фен	сер	тир	цис	Ц
	лей	сер	поп	поп	А
	лей	сер	поп	три	Г
Ц	лей	про	гис	арг	У
	лей	про	гис	арг	Ц
	лей	про	глн	арг	А
	лей	про	глн	арг	Г

1	2	3	4	5	6
А	иле	тре	асн	сер	У
	иле	тре	асн	сер	Ц
	иле	тре	лиз	арг	А
	мет	тре	лиз	арг	Г
Г	вал	ала	асп	гли	У
	вал	ала	асп	гли	Ц
	вал	ала	глу	гли	А
	вал	ала	глу	гли	Г

Транскрипция – процесс синтеза молекулы информационной РНК (иРНК), происходящий в ядре. Фермент *РНК-полимераза* подходит к молекуле ДНК, раскручивает ее и разрывает водородные связи между двумя комплементарными цепочками. Одна из цепей ДНК является *кодирующей (кодогенной)*. Она начинается с 3' конца; фермент РНК-полимераза движется от 3' конца к 5' концу, и в этом же направлении происходит транскрипция (считывание последовательности нуклеотидов), а иРНК синтезируется в направлении 5' → 3'. Из свободных нуклеотидов РНК, которые есть в кариолимфе, фермент строит молекулу иРНК по принципу *комплементарности* азотистых оснований нуклеотидов (*аденину ДНК* соответствует *урацил РНК*, *тимину ДНК* – *аденин РНК*, *гуанину ДНК* – *цитозин РНК*, *цитозину ДНК* – *гуанин РНК*).

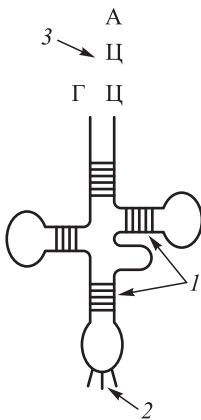


Рис. 3. Схема строения транспортной РНК:
1 – водородные связи;
2 – антикодон; 3 – место прикрепления аминокислоты

Таким образом, генетическая информация молекул ДНК преобразовывается в последовательность нуклеотидов молекулы иРНК, которая затем выходит из ядра и направляется к рибосомам.

Рекогниция – процесс узнавания молекулами тРНК своих аминокислот и присоединение их к одному из своих активных центров (акцепторный конец) тРНК (рис. 3). Активацию аминокислот осуществляют ферменты *аминоацил-тРНК-синтазы* (для каждой аминокислоты – свой фермент).

Механизм активации: фермент одновременно взаимодействует с соответствующей аминокислотой и с АТФ, которая те-

ряет при этом фосфат. Тройной комплекс из фермента, аминокислоты и АТФ называется *активированной (богатой энергией) аминокислотой*, которая способна спонтанно образовать в процессе последующей трансляции пептидную связь с соседней аминокислотой. Свободные неактивированные аминокислоты не могут прямо присоединяться к полипептидной цепи. Тройной комплекс соединяется с тРНК, и образовавшаяся *аминоацил-тРНК* идет в рибосому.

Следующий этап в биосинтезе белка – трансляция.

Трансляция – перевод генетической информации с языка последовательности нуклеотидов на язык последовательности аминокислот (расшифровка генетического кода) происходит в цитоплазме на рибосомах. Участвуют: иРНК, аминоацил-тРНК, рРНК, ферменты. Считывание информации с иРНК осуществляется в направлении $5' \rightarrow 3'$.

В рибосоме есть 2 активных центра: *аминоацильный* (происходит фиксация тРНК с аминокислотой) и *пептидильный* (образуются пептидные связи между соседними аминокислотами). Трансляция состоит из трех этапов: инициации, элонгации и терминации.

Инициация – объединение малой субъединицы рибосом, иницирующего триплета иРНК (АУГ), метионин-аминоацил-тРНК и большой субъединицы рибосомы.

Элонгация – наращивание полипептида. Эта фаза включает все реакции с момента образования первой пептидной связи до присоединения последней аминокислоты.

Внутри рибосомы находятся 2 кодона иРНК: в аминоацильном и в пептидильном центрах. После инициации тРНК₁ с метионином располагается в пептидильном центре, аминоацильный центр свободен. К аминоацильному центру подходит тРНК₂ с аминокислотой и устанавливается там, если антикодон тРНК комплементарен кодону иРНК. Между аминокислотами, находящимися в рибосоме, устанавливается пептидная связь. Для освобождения аминоацильного центра рибосома передвигается на один триплет иРНК вперед. Вследствие этого тРНК с аминокислотой переходят в пептидильный центр рибосомы. К свободному аминоацильному центру рибосомы подходит следующая тРНК с аминокислотой, и процесс повторяется.

Терминация – заключительный этап трансляции, на котором рибосома доходит до одного из нонсенс-кодонов иРНК, и синтез полипептида прекращается.

Классификация генов

Все гены подразделяются на структурные и функциональные.

Структурные гены несут информацию о последовательности нуклеотидов в различных видах РНК и о последовательности аминокислот в белках (ферментах, гистонах и др.).

Функциональные гены подразделяются на *гены-модуляторы*, усиливающие или ослабляющие действие структурных генов (ингибиторы, модификаторы), и гены, регулирующие работу структурных генов, — *регуляторы* и *операторы*.

Регуляция работы генов у прокариот

Схема регуляции транскрипции у прокариот была предложена Ф. Жакобом, Ж. Моно и А. Львовым в 1961 г. Группа структурных генов, управляемая одним геном-оператором, образует **оперон** (рис. 4). В состав оперона входит также небольшой участок ДНК — *промотор* — место первичного прикрепления *РНК-полимеразы* — фермента, катализирующего реакции ДНК-зависимого синтеза иРНК. За ним располагается *инициатор* — место начала считывания генетической информации. *Ген-оператор* способен включать в работу и выключать структурные гены. Заканчивается оперон *терминатором*. В конце каждого структурного гена располагается *стоп-кодон*. Регулирует работу оперона *ген-регулятор*, находящийся обычно на определенном расстоянии от него. Он постоянно активен, и на основе его информации синтезируется особый *белок-репрессор*. Этот белок обладает способностью блокировать ген-оператор, вступая с ним в химическую связь, после чего фермент РНК-полимераза не может расщеплять двойную цепочку ДНК, и считывание информации не происходит.

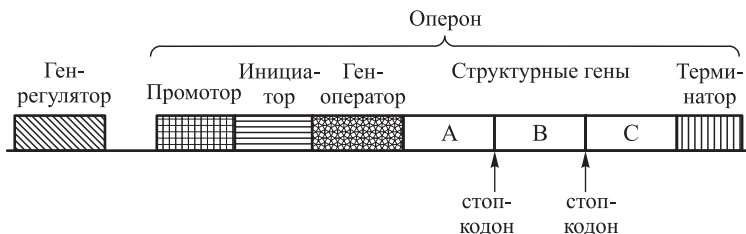


Рис. 4. Схема строения оперона

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
<i>Глава 1.</i> Молекулярная генетика	4
<i>Глава 2.</i> Закономерности наследования	19
2.1. Закономерности образования гамет	20
2.2. Моногибридное скрещивание	23
2.3. Полигибридное скрещивание	30
2.4. Множественные аллели, летальные гены, плейотропия, пенетрантность	38
<i>Глава 3.</i> Взаимодействие генов	46
<i>Глава 4.</i> Сцепление генов	58
<i>Глава 5.</i> Генетика пола	71
<i>Глава 6.</i> Изменчивость	84
<i>Глава 7.</i> Популяционная генетика	89
<i>Глава 8.</i> Методы генетики человека	95
<i>Глава 9.</i> Определение вероятности генетически обусловленных событий	103
<i>Глава 10.</i> Генная инженерия	109
<i>Глава 11.</i> Закономерности движения вещества и энергии в экосистеме	115
Ответы	125
Литература	143