

Взаимодействие аллельных генов и множественный аллелизм

Как один ген формирует разные признаки и почему
аллелей бывает больше двух?



От гена к признаку: почему варианты различаются

Один и тот же ген может проявляться по-разному, если его аллели изменяют работу белка, его количество или путь обмена веществ. Именно поэтому сходный локус иногда дает разные фенотипы у разных организмов и в разных сочетаниях.



Основные понятия: ген, локус, аллель

Ген и локус

Ген занимает определённый участок хромосомы, который называют локусом. Это координата, по которой в гомологичных хромосомах располагаются одинаковые по функции, но не всегда одинаковые по строению участки ДНК.

Аллели как варианты

Аллели — это альтернативные формы одного гена, различающиеся последовательностью нуклеотидов. Они возникают в результате мутаций и могут по-разному влиять на синтез белка, а значит, и на проявление признака.

Генотип и фенотип

Генотип диплоидного организма обычно обозначают как АА, Аа или аа. Фенотип — это наблюдаемое проявление признака, формирующееся под действием генов, их взаимодействий и условий среды.

Основа наследования

Понимание этих терминов необходимо, чтобы различать типы аллельного взаимодействия. Без них трудно объяснить, почему один и тот же признак в потомстве может наследоваться классически, промежуточно или одновременно.

Полное доминирование как классический тип наследования

1

Суть явления

При полном доминировании доминантный аллель полностью подавляет проявление рецессивного в гетерозиготе. Поэтому организм с генотипом Аа внешне не отличается от доминантной гомозиготы.

2

Расщепление потомства

При скрещивании $Aa \times Aa$ генотипы потомства распределяются как 1:2:1, а фенотипы — как 3:1. Это одно из самых известных соотношений в школьной генетике.

3

Почему так происходит

Рецессивный аллель не проявляется в гетерозиготе, потому что одного функционального варианта гена достаточно для нормального синтеза продукта. Признак определяется уже имеющейся дозой этого продукта.

4

Пример из биологии

У гороха жёлтая окраска семян доминирует над зелёной, а гладкая форма — над морщинистой. На таких признаках удобно показывать классический закон доминирования в наследовании.

Неполное доминирование: промежуточный фенотип

Промежуточный результат

При неполном доминировании гетерозигота имеет признак, который занимает среднее положение между двумя гомозиготами. Наблюдается не подавление одного аллеля, а неполная выраженность обоих вариантов.

Классические примеры

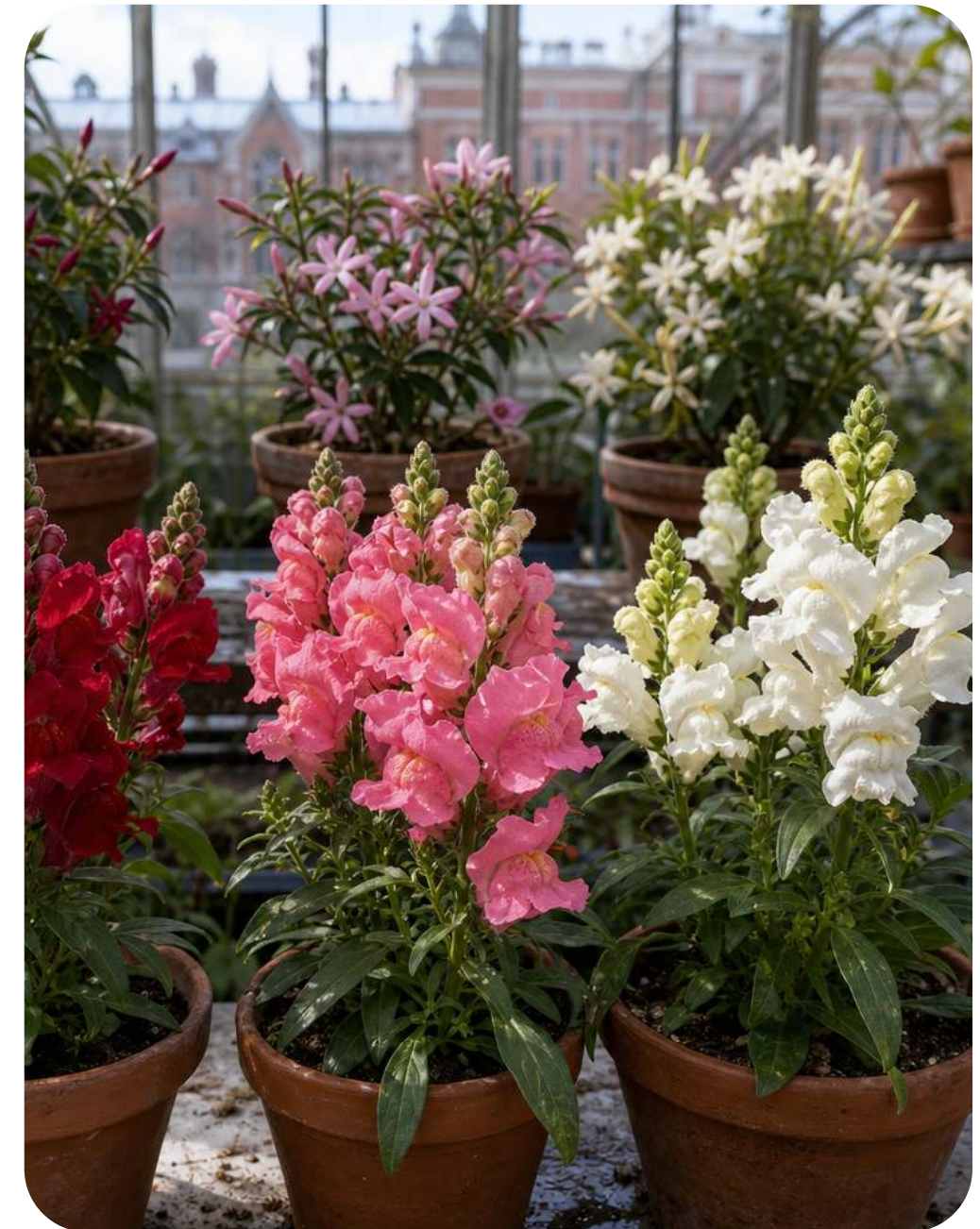
У львиного зева при скрещивании красных и белых цветков появляются розовые гибриды. Подобные переходные окраски встречаются и у других растений, например у ночной красавицы.

Соотношения в потомстве

Если скрещиваются две гетерозиготы, генотипическое и фенотипическое расщепление обычно совпадают и составляют 1:2:1. Это отличает неполное доминирование от классического полного доминирования.

Что важно заметить

Промежуточный фенотип не означает смешение признаков «наполовину». Он отражает особый способ работы гена, при котором количество или активность продукта недостаточны для полного доминирования.



Кодоминирование: совместное проявление двух аллелей

1

Главный принцип

При кодоминировании оба аллеля в гетерозиготе выражаются одновременно и одинаково заметно. Ни один из них не маскирует другой, поэтому в фенотипе проявляются сразу две особенности.

2

Пример ABO

Классический пример — система групп крови ABO. Аллели IA и IB определяют группу AB, если встречаются вместе, а это означает совместное присутствие двух признаков на клеточном уровне.

3

Что происходит на эритроцитах

У носителя группы AB на поверхности эритроцитов присутствуют оба антигена — A и B. В плазме при этом нет антител, направленных против этих антигенов, что важно для переливания крови.

4

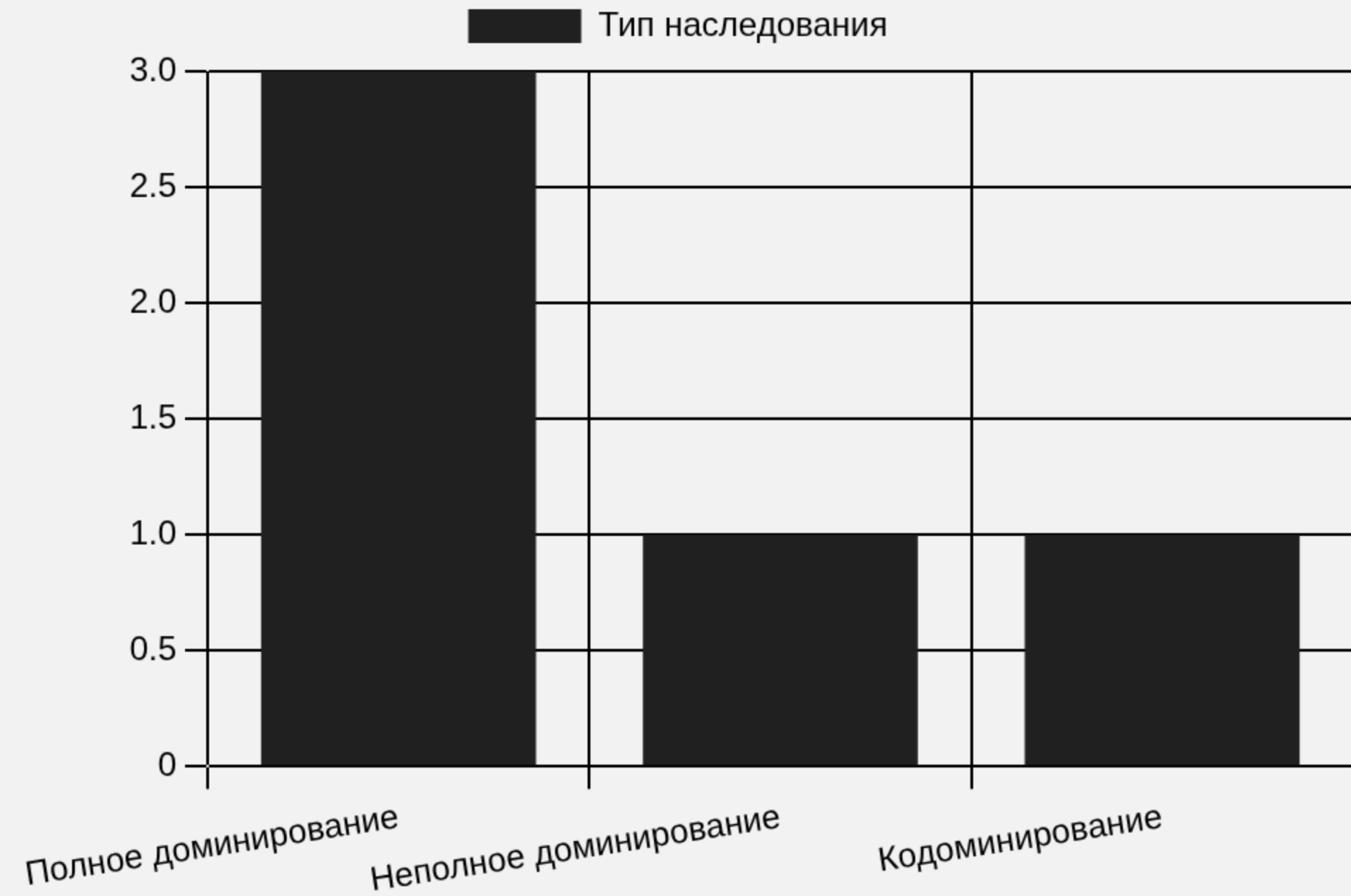
Не смешение, а сосуществование

Кодоминирование не создаёт «средний» вариант признака. Оно показывает, что оба аллеля работают параллельно, а результатом становится одновременное проявление двух наследственных вариантов.

Сравнение типов взаимодействия аллельных генов

Диаграмма показывает, как по-разному проявляется гетерозигота: от полного подавления до совместного действия двух аллелей.

При скрещивании $Aa \times Aa$ генотипическое расщепление одинаково, но фенотип зависит от типа взаимодействия аллелей.



Аллельные серии и множественный аллелизм

Что означает термин

Множественный аллелизм — это существование в популяции трёх и более аллелей одного гена. У отдельного организма при этом всё равно присутствуют только два аллеля, полученные от родителей.

Почему это важно

Чем больше вариантов одного гена сохраняется в популяции, тем шире диапазон возможных фенотипов. Такое разнообразие повышает наследственную изменчивость без увеличения числа самих генов.

Связь с наследованием

Аллельные серии усложняют анализ признаков, потому что разные комбинации могут давать несколько фенотипических вариантов. Именно поэтому некоторые признаки, например группы крови, наследуются по более сложным схемам.

Система АВО как пример множественного аллелизма

Таблица показывает связь генотипов, фенотипов и антигенов в системе АВО.

Один локус имеет три аллеля: I^A и I^B кодоминантны, а i рецессивен. Группа крови определяется их сочетанием и набором антигенов на эритроцитах.

Генотип	Фенотип	Антигены
I ^A I ^A	A	A
I ^B I ^B	B	B
I ^A I ^B	AB	A и B
ii	O	нет

Как формируются аллельные ряды

1. Возникает мутация

В гене происходят замены нуклеотидов, вставки, делеции или изменения регуляторных участков. Такой процесс создаёт новый вариант последовательности ДНК.

2. Аллель сохраняется в популяции

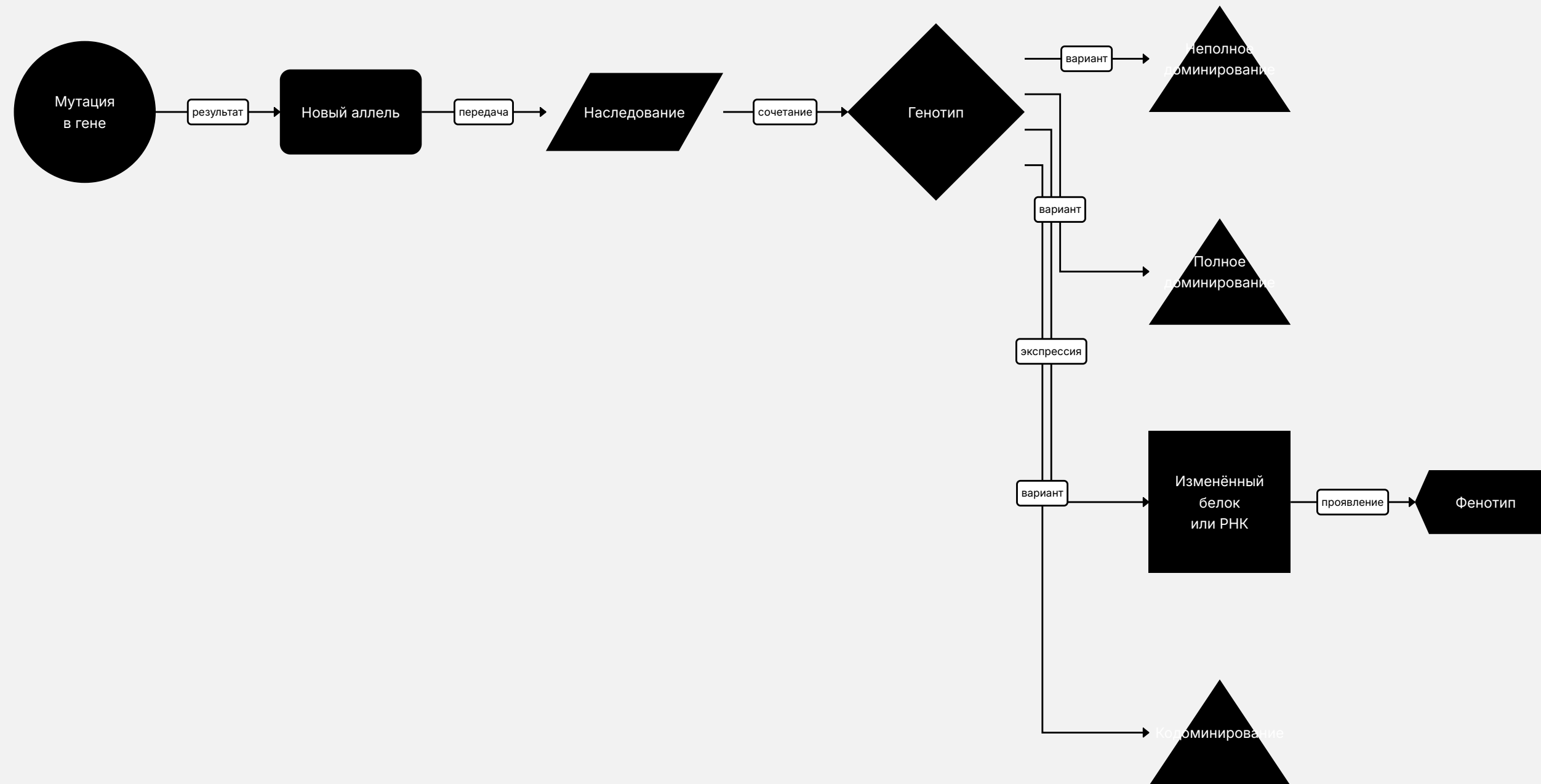
Если вариант не мешает выживанию, а иногда даже даёт преимущество, он может передаваться дальше и закрепляться в поколениях.

3. Формируется аллельный ряд

Когда в популяции накапливаются несколько устойчивых вариантов одного гена, возникает аллельная серия. Она расширяет наследственную изменчивость и усложняет проявление признака.

Путь от мутации к фенотипу

Последовательность от изменения ДНК до проявления признака при разных типах взаимодействия аллелей



Молекулярная основа доминирования

Достаточность продукта

Во многих случаях один функциональный аллель обеспечивает нужное количество белка, поэтому гетерозигота выглядит как доминантная гомозигота. Рецессивный вариант не меняет внешний признак, пока сохраняется нормальная работа клетки.

Доза гена

Фенотип зависит от того, сколько продукта синтезируется и насколько он активен. Если его недостаточно, возникают промежуточные признаки; если оба варианта работают одинаково, возможны одновременные проявления.

Потеря функции

Рецессивный аллель нередко кодирует белок с нарушенной структурой или вовсе без активности. Тогда заметный эффект проявляется только у особей, у которых оба аллеля не дают полноценного продукта.

Биохимический путь

Изменение одного белка способно ослабить целую цепочку реакций. Поэтому доминирование связано не с «силой» аллеля, а с тем, как конкретная мутация влияет на обмен веществ в клетке.

Примеры множественного аллелизма у человека

Система ABO

Классический пример — три аллеля одного локуса, определяющие группы крови А, В, АВ и О. Аллели I^A и I^B проявляются кодоминантно, а аллель i не даёт собственных антигенов.

Комплекс HLA

Гены комплекса HLA имеют множество аллелей и участвуют в распознавании «своего» и «чужого». Их разнообразие важно для совместимости при пересадке органов и объясняет различия иммунного ответа.

Наследственные различия

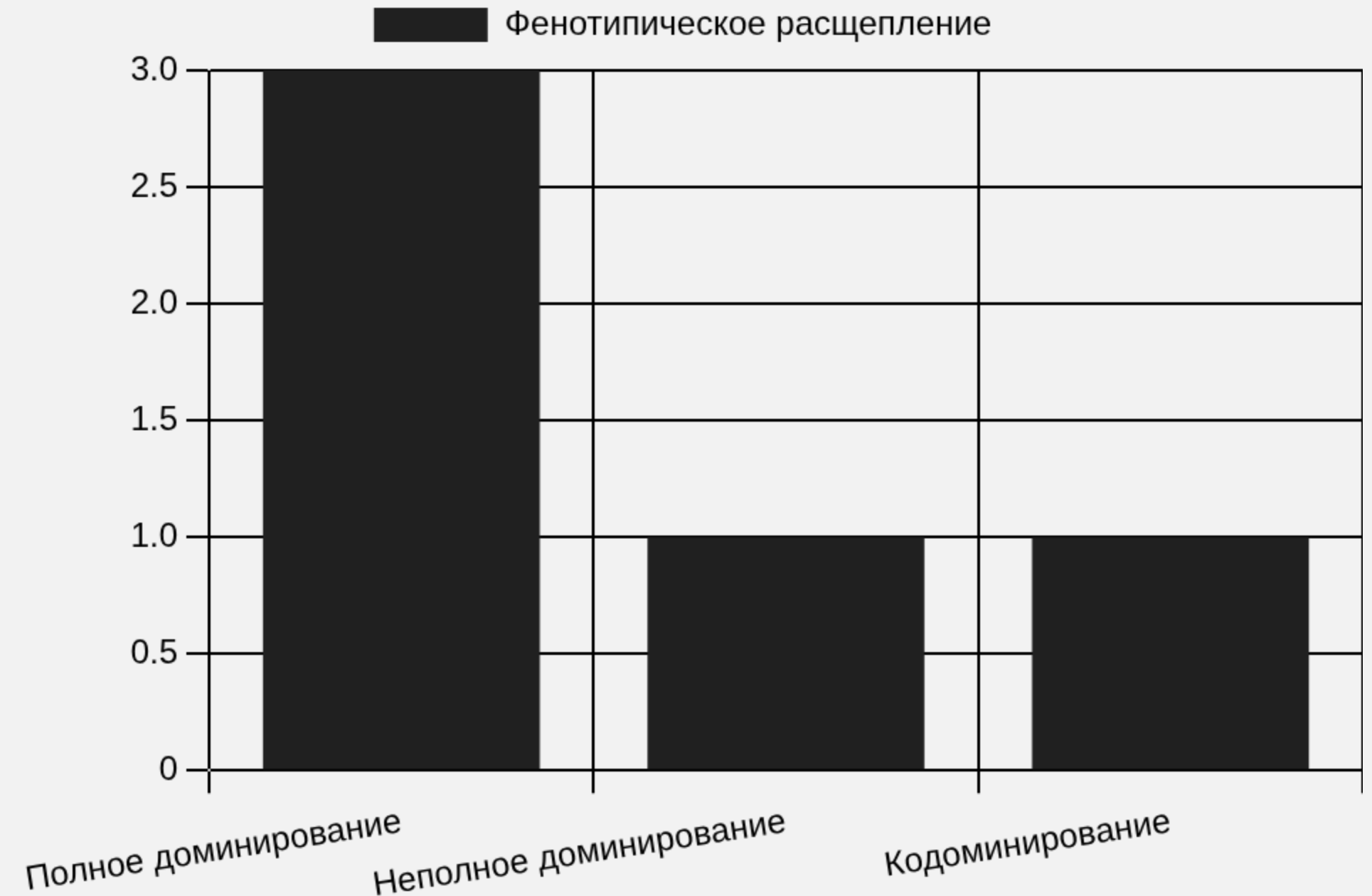
У некоторых генов множественные варианты связаны с болезнями обмена веществ, особенностями ферментной активности и индивидуальными внешними признаками. Один локус может давать несколько устойчивых фенотипических вариантов.



Расщепление фенотипов при скрещивании гетерозигот

Во всех трёх случаях генотипическое расщепление при скрещивании $Aa \times Aa$ остаётся одинаковым, но число фенотипов зависит от характера взаимодействия аллелей.

Полное доминирование скрывает рецессивный фенотип, тогда как неполное доминирование и кодоминирование делают расщепление по внешнему признаку более разнообразным.



Значение множественного аллелизма для популяций

1

Источник разнообразия

Несколько аллелей одного гена создают широкий набор генотипов и фенотипов без увеличения числа самих генов. Это повышает наследственную изменчивость и расширяет возможности популяции.

2

Материал отбора

В изменяющейся среде естественный отбор сохраняет те варианты, которые обеспечивают лучшую выживаемость и размножение. Поэтому частоты аллелей со временем могут заметно меняться.

3

Устойчивость популяций

Чем разнообразнее аллельный состав, тем выше шанс, что часть особей окажется устойчивой к новым болезням, климатическим колебаниям или дефициту ресурсов.

Сравнение взаимодействий аллельных генов

Тип	Гетерозигота	Фенотипы	Пример
Полное доминирование	Как доминантный	2	Горох
Неполное доминирование	Промежуточный	3	Львиный зев
Кодоминирование	Оба признака	3	ABO

Таблица показывает, как тип взаимодействия влияет на фенотип гетерозиготы и число фенотипических вариантов в потомстве.

Тип взаимодействия определяет не только внешний признак гетерозиготы, но и характер расщепления. Множественный аллелизм относится к числу вариантов гена в популяции.

Типичные ошибки при изучении темы

1

«Сильный» и «слабый» аллель

Доминантность не означает биологическое превосходство аллеля. Она описывает только то, как признак проявляется в гетерозиготе по сравнению с другим вариантом гена.

2

Пара аллелей у особи

Даже при множественном аллелизме у диплоидного организма в одном локусе находятся лишь два аллеля. Большое число вариантов существует в популяции, а не в отдельной особи.

3

Кроссинговер и новые аллели

Кроссинговер перемешивает участки хромосом, но не создаёт новые аллели. Источником новых вариантов гена остаются мутации, изменяющие последовательность ДНК.

Алгоритм решения генетических задач

Последовательность действий при анализе наследования признаков и группы крови



Практическое значение в медицине и селекции

Медицина

Знание взаимодействия аллелей помогает определять группы крови, оценивать совместимость при переливании и пересадке тканей, а также точнее анализировать наследственные риски в семьях.

Генетическое консультирование

При составлении родословных важно понимать, как проявляются доминантные, рецессивные и кодоминантные аллели. Это позволяет объяснить вероятность рождения ребёнка с определённым признаком.

Селекция

В растениеводстве и животноводстве учёт аллельных вариантов помогает сохранять нужные свойства, подбирать родительские формы и прогнозировать, какие признаки закрепятся у потомства.



Генетика признаков начинается с аллелей

Аллельные гены определяют разнообразие наследования через доминирование, неполное доминирование и кодоминирование, а множественный аллелизм делает популяции более изменчивыми. Эти закономерности важны и в учебных задачах, и в реальной биологии.