

Лекция 9. Ферменты

План лекции:

1. *Строение и свойства ферментов*
2. *Механизм действия ферментов*
3. *Номенклатура и классификация ферментов*
4. *Регуляция ферментативных процессов в клетке*

1. Строение и свойства ферментов

Ферменты (энзимы) – вещества белковой природы, присутствующие во всех живых клетках и выполняющие роль катализаторов биохимических процессов.

По своему составу ферменты делятся на:

- 1) простые – состоят только из аминокислот;
- 2) сложные – состоят из 2-х частей:
 - из белковой, которая называется апоферментом и
 - небелковой части – кофактора.

Комплекс апофермента и кофактора называется холоферментом.

Ни апофермент, ни кофактор по отдельности не способны катализировать реакцию. Функционально активен только их комплекс.

Виды кофакторов:

По своей химической природе кофакторы могут быть представлены как органическими, так и неорганическими соединениями.

Органические кофакторы можно разделить на две группы:

- 1) простетические группы – кофакторы, которые прочно соединены с апоферментом и при выделении из организма не отсоединяются от белковой части.

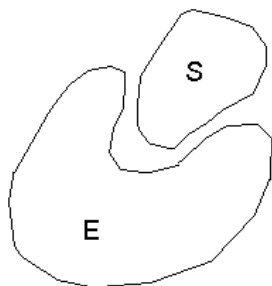
Например, ФАД (флавинадениндинуклеотид — кофермент, принимающий участие во многих окислительно-восстановительных биохимических процессах) в составе фермента сукцинатдегидрогеназы из цикла Кребса.

2) коферменты – кофакторы, которые соединены с апоферментами слабыми связями и легко от него отщепляются: например, НАД (никотинамидадениндинуклеотид), НАДФ (никотинамидадениндинуклеотид фосфат), а иногда и ФАД.

Неорганические кофакторы представлены ионами металлов (чаще всего ионами железа, меди, марганца, цинка и т.д.). Ионы металлов как кофакторы либо непосредственно участвуют в акте катализа, либо образуют мостики, связывающие фермент с субстратом.

Субстрат (S) – вещество, химические превращения которого катализирует фермент.

Строение фермента, или энзима (E):



Поскольку молекулы субстрата обычно мельче молекул ферментов, то в непосредственный контакт с субстратом вступает только часть молекулы фермента – активный центр. Причем, геометрическая форма поверхности участка молекулы субстрата является комплементарной поверхности активного центра.

Активный центр фермента – уникальная комбинация аминокислотных остатков, обеспечивающая взаимодействие с молекулой субстрата и участвующая в акте катализа. У сложных ферментов в состав активного центра обязательно входит кофактор.

Активный центр может иметь 2 участка:

- якорный (субстратный);
- каталитический.

Якорный участок обладает геометрическим сходством (соответствием) молекулы субстрата и обеспечивает специфичность действия фермента.

2. Механизм действия ферментов

Действие фермента основано на образовании фермент-субстратного комплекса. Под действием субстрата изменяется конформация фермента, затем изменяется субстрат.

Механизм действия ферментов можно представить в виде следующей схемы:



Можно выделить 4 фазы:

1. Между субстратом и ферментом возникают соединения (ES), в которых соединения связаны ионной, ковалентной или другой связью.
2. Субстрат под действием присоединенного фермента претерпевает изменения ($S \rightarrow Z$), делающие его более доступным для соответствующей реакции.
3. Происходит химическая реакция с образованием фермент-продуктного комплекса (EP).
4. Продукты реакции высвобождаются из фермент-продуктного комплекса.

3. Номенклатура и классификация ферментов

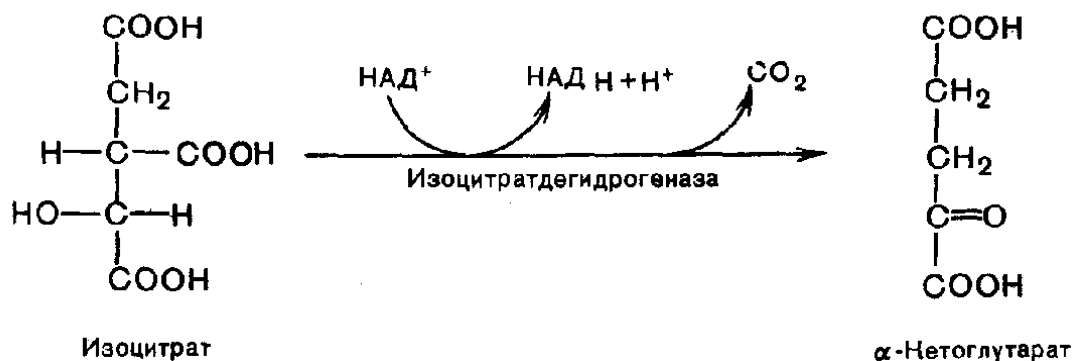
Номенклатура ферментов (правила образования их названий)

1. Случайная (по случайным признакам) – тривиальная
Пример: папаин (carica pape – из дерева).
2. Рациональная: субстрат + "аза" (липиды – липаза)
3. Систематическая: субстрат + тип катализируемой реакции + «аза» (лактатдегидрогеназа), либо субстрат + название класса, к которому относится данный фермент + «аза» (лактат-оксидоредуктаза).

Классификация ферментов

В основу классификации положен тип катализируемой реакции:

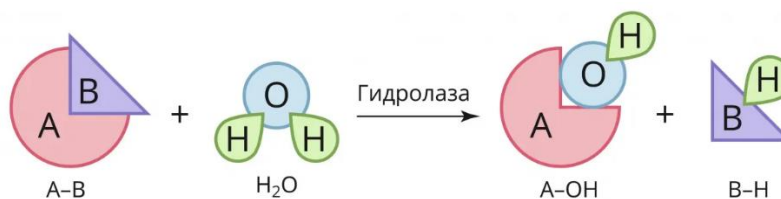
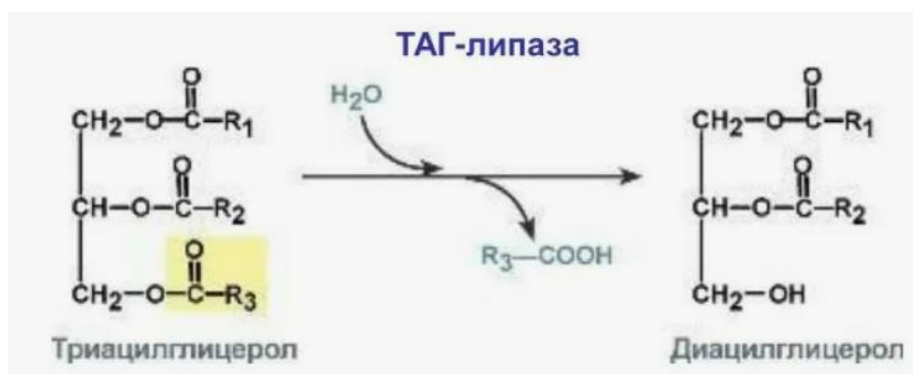
1. Оксидоредуктазы (сложные ферменты, катализирующие окислительно-восстановительные реакции). Пример: изоцитратдегидрогеназа из цикла Кребса.



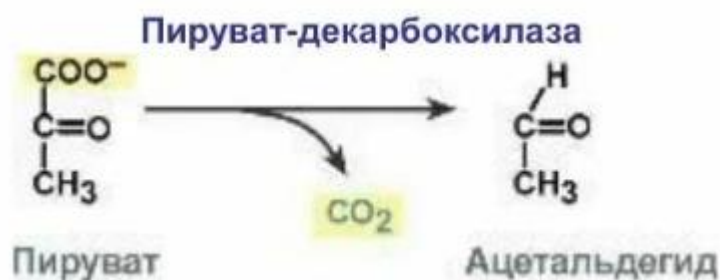
2. Трансферазы (катализируют реакции переноса функциональных групп или молекулярных остатков между молекулами). Пример: киназы – трансферазы 1-й стадии гликолиза.



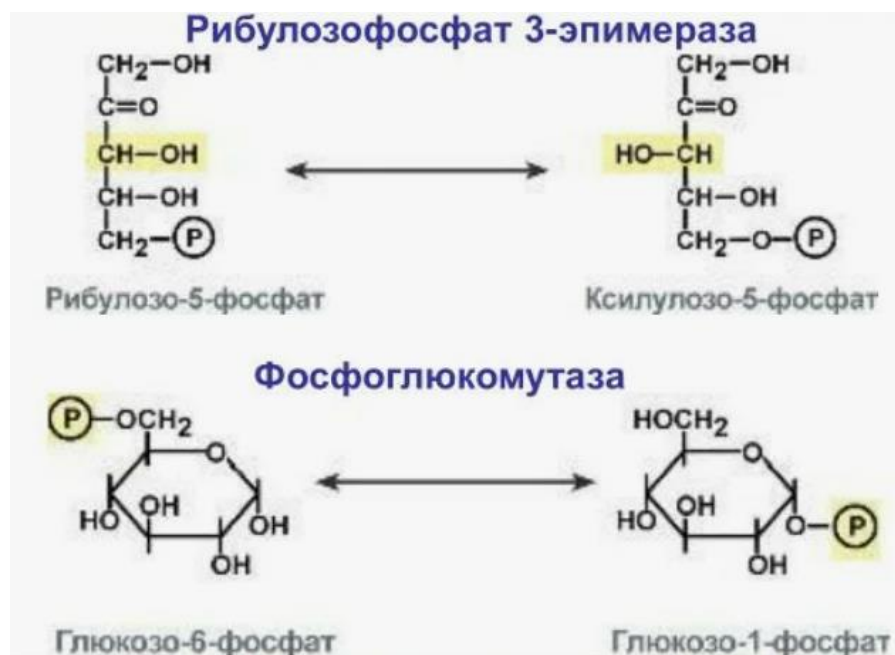
3. Гидролазы (простые ферменты, катализируют реакции гидролиза крахмала, олигосахаридов, жиров). Примеры: липаза, инвертаза, мальтаза и др.



4. Лиазы (катализируют негидролитическое отщепление от субстратов определенных групп атомов с образованием двойной связи, либо присоединением по двойной связи). Пример: альдолаза из гликолиза.



5. ИЗОМЕРАЗЫ (катализируют реакции изомеризации – пространственной или структурной перестройки в пределах 1-й молекулы).
Пример: триозофосфатизомераза из гликолиза.



6. Лигазы (часто называются синтетазами) – катализируют реакции синтеза, сопряженные с распадом богатых энергией связей (АТФ).



Каждый фермент имеет 4-х-значный шифр: класс-подкласс-подподкласс- индивидуальный номер фермента.

4. Регуляция ферментативных процессов в клетке

Многочисленные способы регуляции ферментативных процессов можно разделить на две группы:

1. Регуляция содержания фермента за счет изменения скорости его синтеза и распада. Следует отметить следующие процессы:

репрессия – процесс подавления (или снижения) скорости синтеза фермента;

индукция – процесс ускорения синтеза ферментов под действием специфических низкомолекулярных соединений – индукторов.

2. Регуляция активности имеющихся в клетке ферментов.

а) путем изменения температуры, значения pH, количества субстрата, кофакторов и т.д.;

б) аллостерическая регуляция (характерна только для аллостерических ферментов). Аллостерическими называют ферменты, имеющие кроме активного центра дополнительный центр связывания (аллостерический центр). Активность аллостерических ферментов регулируется путем изменения конформации молекул ферментов, вызванного присоединением специального метаболита к аллостерическому центру. Метаболит-регулятор (аллостерический эффектор) выполняет функции либо активатора, либо ингибитора;

в) ковалентная модификация ферментов – регуляция каталитической активности ферментов может осуществляться за счет ковалентного присоединения фосфатной группы или нуклеотида. Например, фосфорилированная форма гликогенфосфорилазы обладает более высокой каталитической активностью;

г) изменение активности ферментов с помощью активаторов – химических соединений, повышающих активность ферментов (например,

аминокислота цистеин и трипептид глутатион активируют действие многих протеаз).

д) изменение активности ферментов с помощью ингибиторов – химических соединений, подавляющих активность ферментов.

Контрольные вопросы:

1. Что такое ферменты?
2. Какова основная функция ферментов?
3. Какова классификация ферментов?

Рекомендуемая литература:

1. Комов, В. П. Биохимия: учебник для вузов / В. П. Комов, В. Н. Шведова; под общей редакцией В. П. Комова. — 4-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2026. — 684 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-13939-6. — Текст: электронный. — URL: <https://urait.ru/bcode/588486>
2. Биохимия: учебное пособие / Ф.Н. Гильмиярова [и др.]. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2025. — 418 с. — ISBN 978-5-4497-4113-4. — Текст: электронный. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/148306.html>
3. Динамическая биохимия: практикум / составитель В. А. Гордеева. — Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2024. — 84 с. — ISBN 978-5-4497-2876-0. — Текст : электронный. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/138436.html>