

## ТЕМА 10. ФЕРМЕНТЫ

- 10.1. Общая характеристика ферментов
- 10.2. Структурно-функциональная организация ферментов
- 10.3. Регуляция активности ферментов
- 10.4. Номенклатура и классификация ферментов

### 10.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФЕРМЕНТОВ

Ферменты (от лат. *fermentum* – закваска) или энзимы (греч. *en* – в, *zyme* – дрожжи, закваска) – биологические катализаторы ускоряющие химические реакции в живых системах. В XIX в. Луи Пастер, изучая превращение углеводов в этиловый спирт под действием дрожжей, пришёл к выводу, что этот процесс (брожение) катализируется некой жизненной силой, находящейся в дрожжевых клетках. Начало современной науки о ферментах (энзимологии) связывают с открытием в 1814 К. Кирхгофом превращения крахмала в сахар под действием водных вытяжек из проростков ячменя. Действующее начало из этих вытяжек было выделено в 1833 А. Пайеном и Ж. Персо. Им оказался фермент *амилаза*. Ферменты обладают следующими свойствами:

- как правило, ферменты – это биополимеры белковой природы синтезирующиеся из аминокислот в рибосомах в соответствии с генетическим кодом или реге молекулы РНК (рибозимы);
- не расходуются и не изменяются в химических реакциях;
- имеют высокую специфичность по отношению к субстрату и типу реакции;
- ферментативные реакции характеризуются  $\approx 100\%$  выходом конечного продукта (почти не образуются побочные продукты);
- большая зависимость (лабильность) ферментов от ряда внешних воздействий — температуры, рН среды, окислительно-восстановительных условий;
- активность ферментов регулируется различными факторами;
- ферменты способны оказывать действие в ничтожно малых концентрациях (например, одна молекула фермента ренина, содержащегося в слизистой оболочке желудка теленка, створаживает около 106 молекул казеиногена молока за 10 мин при температуре 37°C).

### 10.2. СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ФЕРМЕНТОВ

Ферменты – это белки, которые могут быть *простыми (однокомпонентными)* и *сложными (двухкомпонентными)*. Двухкомпонентные ферменты состоят из белковой (*апофермент*) и небелковой части (*кофактор*). В зависимости от прочности связи с апоферментом, кофакторы классифицируются на: *коферменты* (легко диссоциирующие), и *простетические группы* (недиссоциирующие). Разделение по классам условно, потому что часто бывает сложно определить принадлежность некоторых групп кофакторов.

Кофакторы или небелковые части бикомпонентных ферментов обладают следующими качествами:

- участвуют в катализе;
  - участвуют в формировании связи между ферментом и субстратом;
  - стабилизирует апофермент;
  - не отвечают за специфичность и тип реакции;
  - молекулярный вес у них сравнительно невелик и они термостабильны.
- По химическому составу кофакторы делят на 4 группы:
- производные нуклеотидов (NAD, NADP);

- производные витаминов (тиаминпирофосфат, FAD, CoA и др.);
- металлы и их производные (Fe, Zn, Cu, Mo);

*Активный центр* – это часть фермента, в которой непосредственно происходит катализ. У монокомпонентных ферментов активный центр представляет собой совокупность радикалов определенных аминокислот. У двухкомпонентных ферментов в активный центр входит и кофактор.

Вещество, на которое действует фермент, называется *субстратом*. Во всех ферментативных реакциях молекула субстрата входит в активный центр фермента и образует с ним промежуточное соединение (фермент – субстратный комплекс), которое нестабильно и распадается с образованием свободного фермента и продуктов реакции. Активный центр находится во внутренней гидрофобной части белковой молекулы фермента. Его структура соответствует как замок ключу структуре субстрата (S) (рис. 10.1).

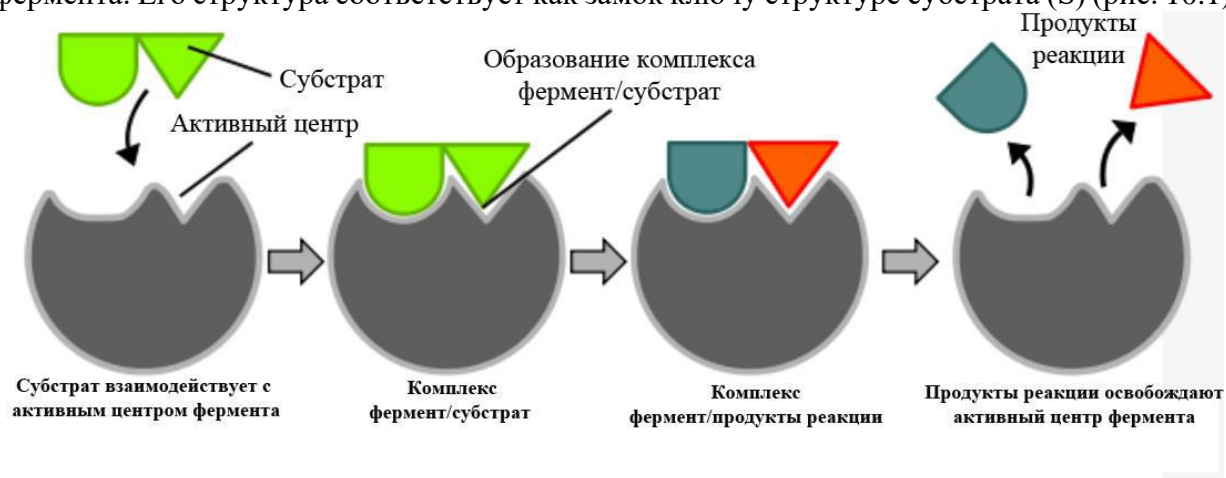


Рис. 10.1. Взаимодействие фермента с субстратом и образование продуктов реакции

Изменения в третичной структуре фермента приводят к изменению конформации активного центра и, следовательно, к изменению ферментативной активности. Некоторые ферменты, особенно олигомерные, состоящие из двух или более субъединиц, обладают активным центром и еще другим центром – *аллостерическим* центром (рис. 10.2).

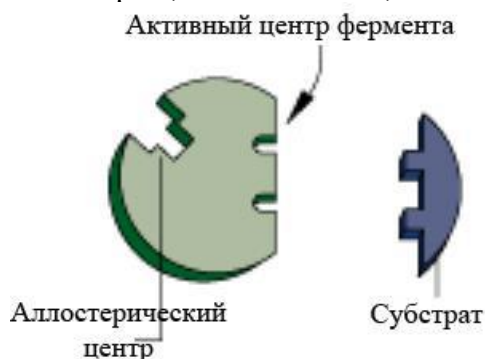


Рис. 10. 2. Аллостерический центр

Фиксирование аллостерического эффектора в аллостерическом центре приводит к изменению третичной структуры фермента и, следовательно, к изменению его активности.

*Мультиферментные комплексы.* В мультиферментном комплексе несколько ферментов прочно связаны между собой в единый комплекс и осуществляют ряд последовательных реакций, в которых продукт реакции непосредственно передается на следующий фермент и является только его субстратом. Благодаря таким комплексам значительно ускоряется скорость превращения молекул.

### 10.3. РЕГУЛЯЦИЯ АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ

Контроль обмена веществ осуществляется путем регуляции каталитической активности фермента и его биосинтеза. Среди механизмов регуляции активности ферментов выделяются:

- генетическая регуляция;
- регуляция *feed – back* или обратное ингибирование;
- аллостерическая регуляция.

10.3.1. *Генетическая регуляция.* Биосинтез ферментов в клетке находится под генетическим контролем.

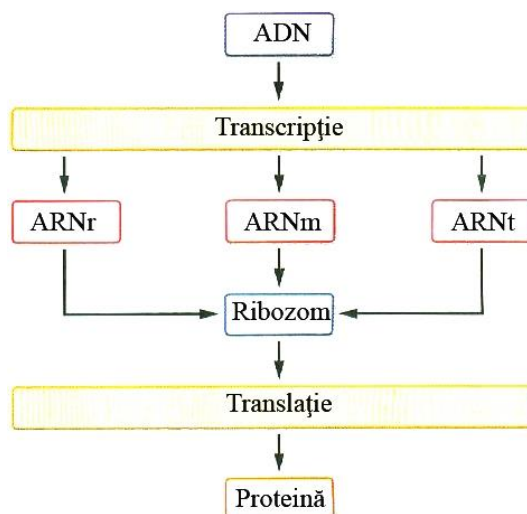


Рис. 10.3. Центральная догма молекулярной биологии

10.3.2. *Ингибирование feed–back или обратное ингибирование.* Это механизм регуляции активности ферментов при котором накопление конечного продукта метаболического пути инактивирует ферменты, необходимые для синтеза этого продукта (рис. 10.4). В большинстве случаев конечный продукт инактивирует первый фермент метаболического пути.

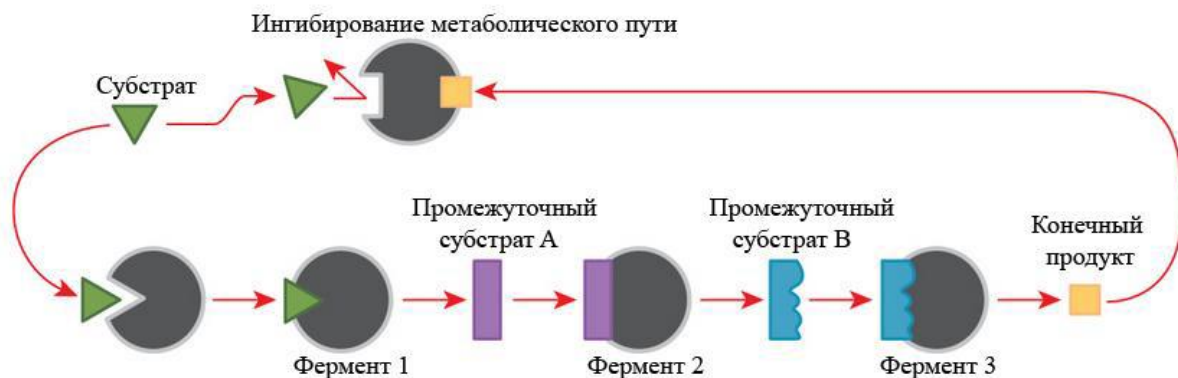


Рис. 10.4. Схема регуляции обратным ингибированием

10.3.3. *Аллостерическая регуляция*. В основе этого типа регуляции стоит связывание аллостерических эффекторов с аллостерическим центром фермента (рис. 10.5).

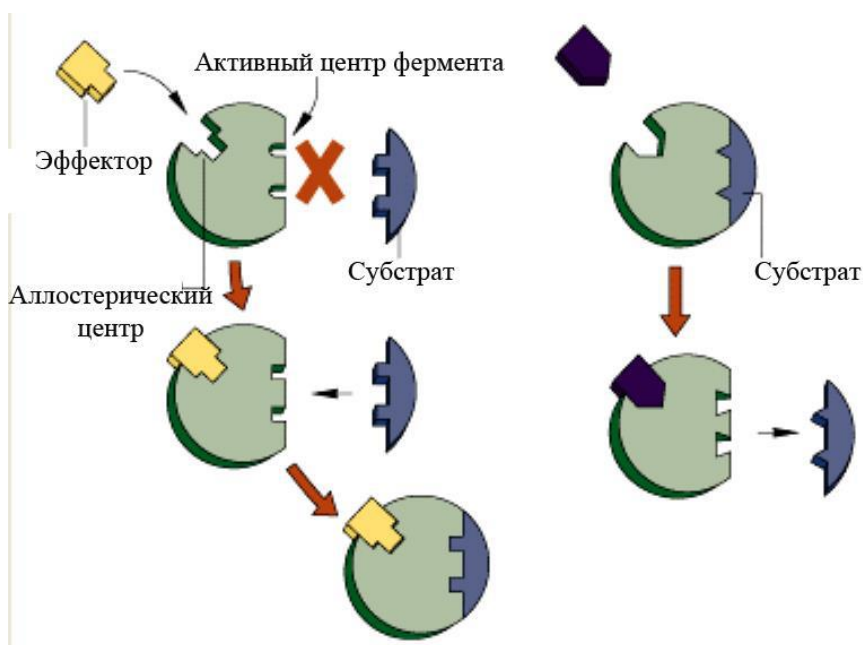


Рис. 10.5. Аллостерическая регуляция

#### 10.4. НОМЕНКЛАТУРА И КЛАССИФИКАЦИЯ ФЕРМЕНТОВ

Название фермента получают добавлением окончанием *-аза* к названию субстрата (целюллаза, пептидаза). В зависимости от характера катализируемой реакции ферменты делятся на 6 классов (табл. 10.1).

Таблица 10.1. Классы ферментов и типы катализируемых ими реакций

Класс ферментов	Тип реакции
1	2
<i>Оксидоредуктазы</i>	Окислительно-восстановительные процессы, лежащие в основе биологического окисления
<i>Трансферазы</i>	Перенос отдельных атомов или групп атомов с одной молекулы на другую
<i>Гидролазы</i>	Гидролитическое расщепление химических связей
<i>Лиазы</i>	Негидролитическое расщепление химических связей с образованием в молекуле двойных связей
<i>Изомеразы</i>	Взаимопревращения различных изомеров
<i>Лигазы</i> ( <i>синтетазы</i> )	Образование связей при взаимодействии двух или более соединений с использованием энергии распада аденозинтрифосфорной кислоты