

## 第3章 酶化学 (Enzyme)

### 【目的与要求】

- 1、掌握酶的化学本质及催化特点。
- 2、了解酶的分类、组成及命名原则。
- 3、了解酶分子结构特点；掌握酶原、酶原激活的概念及其意义；充分理解酶高效的机理。
- 4、重点掌握酶促反应动力学：米氏方程、温度、pH、激活剂、抑制剂对酶促反应速度的影响；掌握三种可逆抑制作用的动力学特点。
- 5、了解多酶体系、别构酶、共价调节酶、同工酶、固定化酶的概念。
- 6、熟知酶的分离提纯的一般方法；酶活力、比活力的概念及其测定方法。

# 第3章 酶化学 (enzyme)

- 一 酶的概念及催化特点
- 二 酶的命名和分类
- 三 酶的化学本质和组成
- 四 酶的结构与功能的关系
- 五 酶作用的专一性
- 六 酶的作用机理
- 七 酶促反应速度和影响酶促反应速度的因素
- 八 酶活力的测定
- 九 别构酶、共价修饰酶、同工酶

# 第一节 酶的概念及特点

- 酶是生物体内活细胞产生的，具有高效催化活性的蛋白质(少数酶为核酸)。又名：生物催化剂(biocatalyst)



# 酶学研究简史



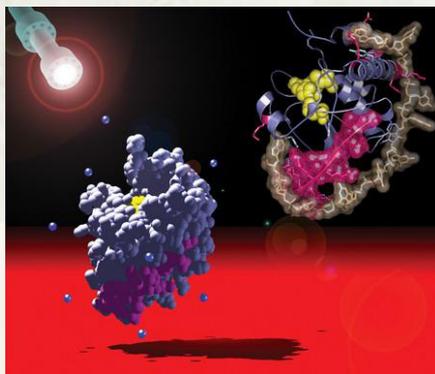
公元前两千多年，我国已有酿酒记载。



巴斯德在做实验



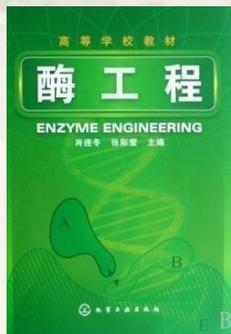
1878年，Kühne首次提出Enzyme一词



1926年，Sumner从刀豆中提纯出脲酶结晶



1897年Eduard Buchner实现了发酵。



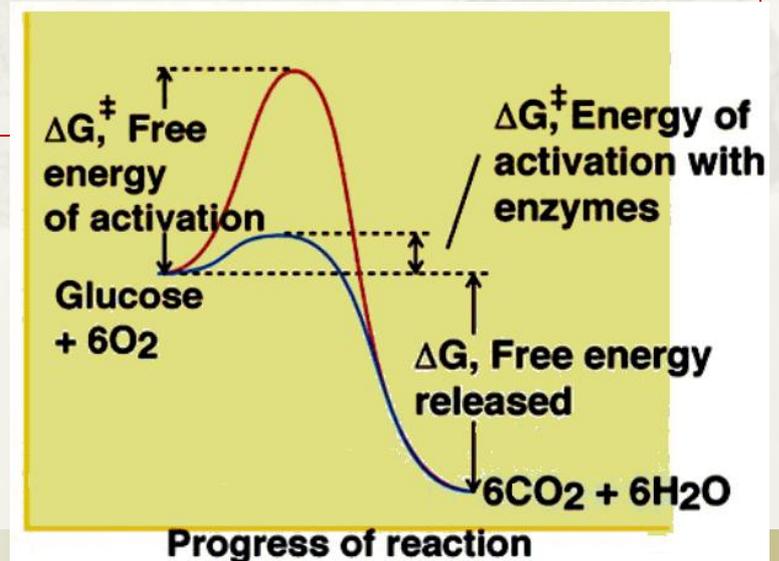
酶工程的应用

# 酶催化作用的特点

## 1、酶与化学催化剂的共同点：

- ① 可加速化学反应的速度，不改变平衡常数；
- ② 本身反应前后无变化，只是降低反应活化能；
- ③ 用量少。

**活化能：**底物分子从初态转变到活化态所需的能量。

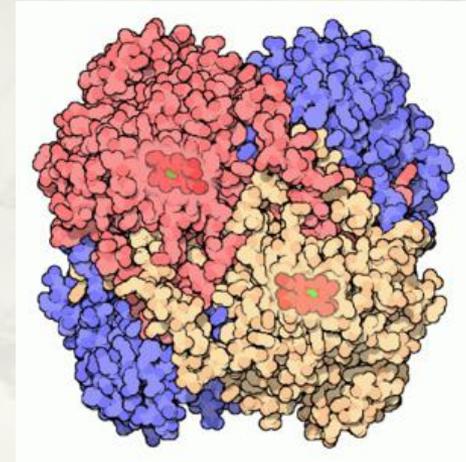
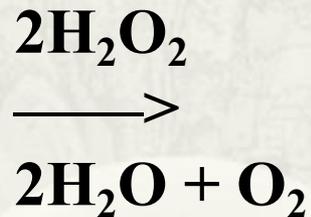


## 2、酶催化作用的特点二

- 催化效率高

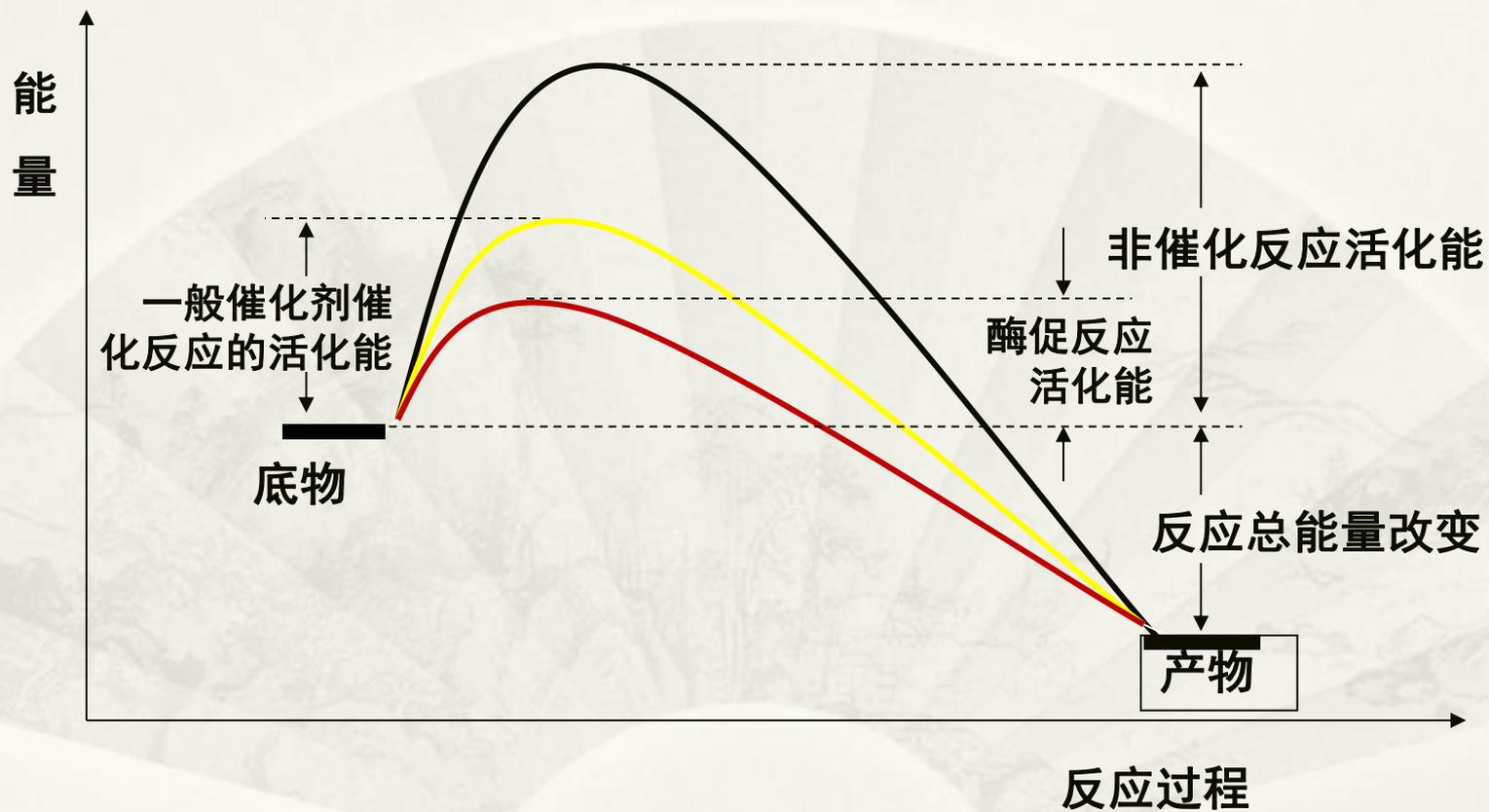
比无催化剂高 $10^8 \sim 10^{20}$ 倍，比一般催化剂高 $10^6 \sim 10^{13}$ 倍

无机催化： $\text{Fe}^{2+}$ 催化  
 $6 \times 10^{-4} \text{ mol} / \text{mol}$  催化剂 $\cdot\text{s}$



$\text{H}_2\text{O}_2$ 酶催化： $6 \times 10^6 \text{ mol} / \text{mol}$  催化剂 $\cdot\text{s}$

# 酶促反应活化能的改变



## 2、酶催化作用的特点三

**催化反应专一** 一种酶只作用于一种或一类化合物，以促进一定的化学变化生成产物。

1. 结构专一性 酶对所催化底物分子化学结构有特殊要求

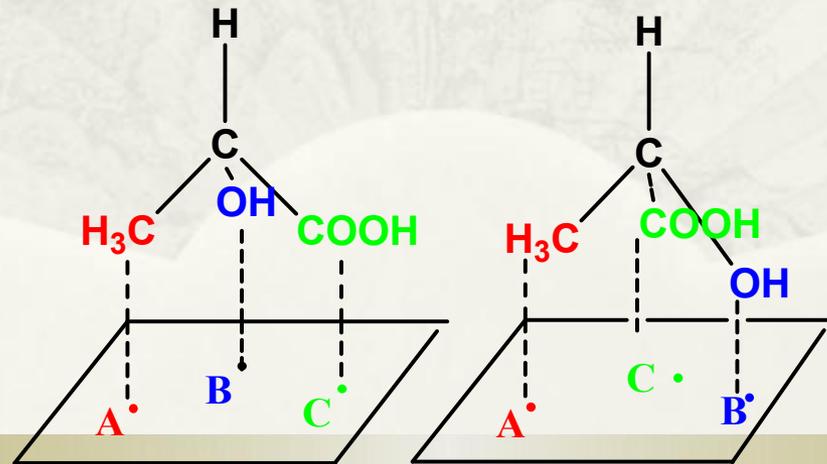
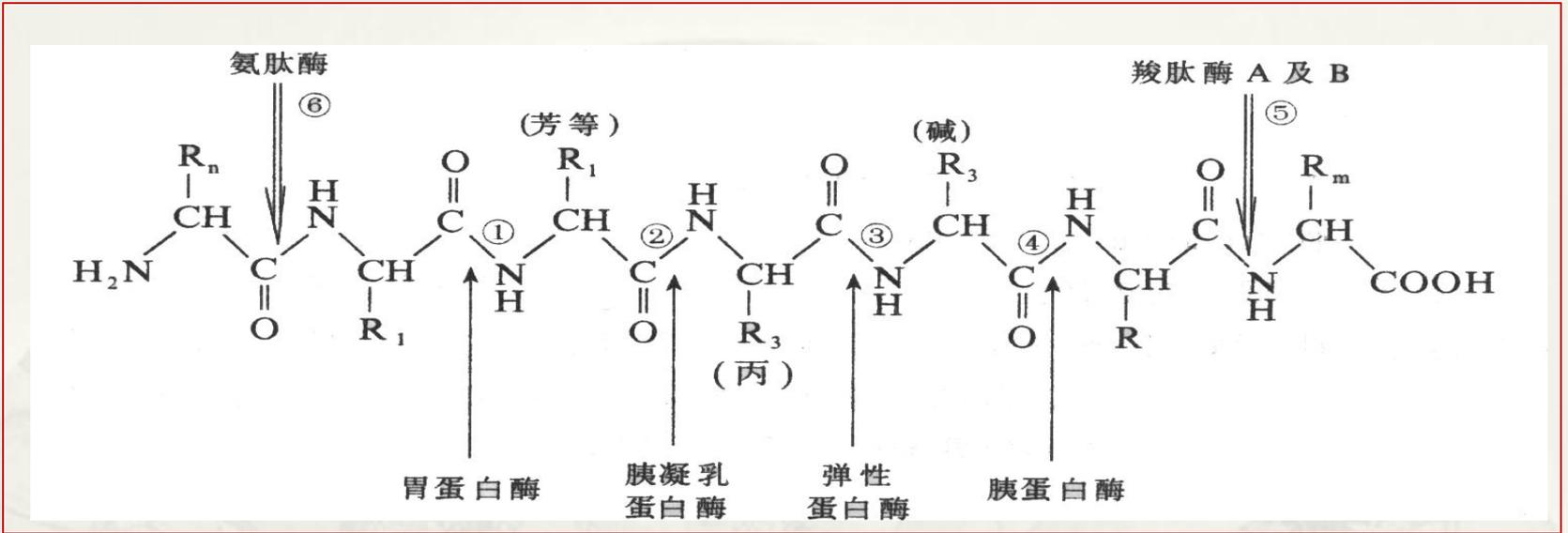
类别：绝对专一性（一种底物）相对专一性（一类底物）

2. 立体异构专一性 除了对底物分子化学结构有要求，对

其立体异构也有一定的要求 类别：旋光异构专一性和几何

异构专一性

# 专一性例证



## 2、酶催化作用的特点四

- 反应易失活

活细胞的产物，低温、高温、强酸、强碱、重金属、抑制剂等易改变酶活性。

- 反应活性可调控

许多因素可影响或调节酶的催化活性，如代谢产物、酶分子的共价修饰等

- 有的酶需辅助因子（辅酶、辅基、金属离子）

# 3、酶的分类及命名

- **命名：** 习惯命名（如：胃蛋白酶、胰蛋白酶）

系统命名

- **国际系统分类法及编号** （国际生物化学会酶学委员会  
**Enzyme Commission 1951年**）

酶分成六大类：1.氧化还原酶类，2.移换酶类，3.水解酶类，  
4.裂合酶类，5.异构酶类，6.合成酶类

每一种酶有一个编号,如乙醇脱氢酶

EC	1.	1.	1.	27
大类	亚类	亚亚类	排名序号	

# 六大催化反应类型及特点

大类名	催化反应机理	亚类数及亚类说明	分布
氧化还原类	催化底物发生氧化还原反应	氧化类；还原类；	广泛
移换酶类	催化底物发生基团的转移	氨基转移；甲基转移；酰基转移；醛基或酮基转移等	
水解酶类	催化底物分子水解	淀粉酶；糖酶；脂酶；蛋白酶；磷酸酯酶等	广泛，多数不可逆
裂合酶类	催化从底物分子移动一基团或原子		形成双键，多数可逆
异构酶类	催化底物分子各种异构体之间的转变		
合成酶类	催化两个分子连接一起		伴随能量转移

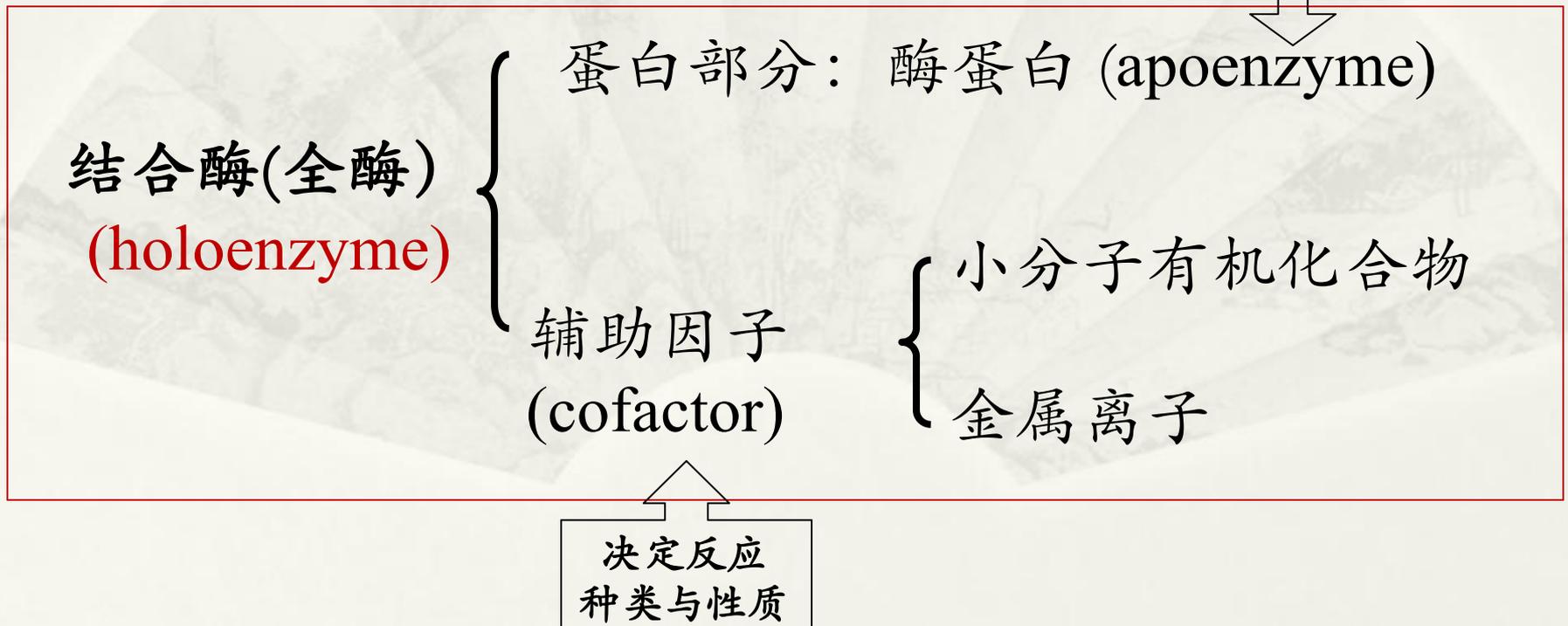
## 4、酶的不同分类形式

---

- \* **单体酶** (monomeric enzyme)
- \* **寡聚酶**(oligomeric enzyme)
- \* **多酶体系**(multienzyme system)
- \* **多功能酶** (multifunctional enzyme)

# 酶的分类二

- 单纯酶 (simple enzyme)
- 结合酶 (conjugated enzyme)



# 酶的辅助因子

## \* 辅酶

与酶蛋白结合**松散**，主要作用是参与酶的催化过程，在反应中**传递电子、质子或一些基团**。

## \* 辅基

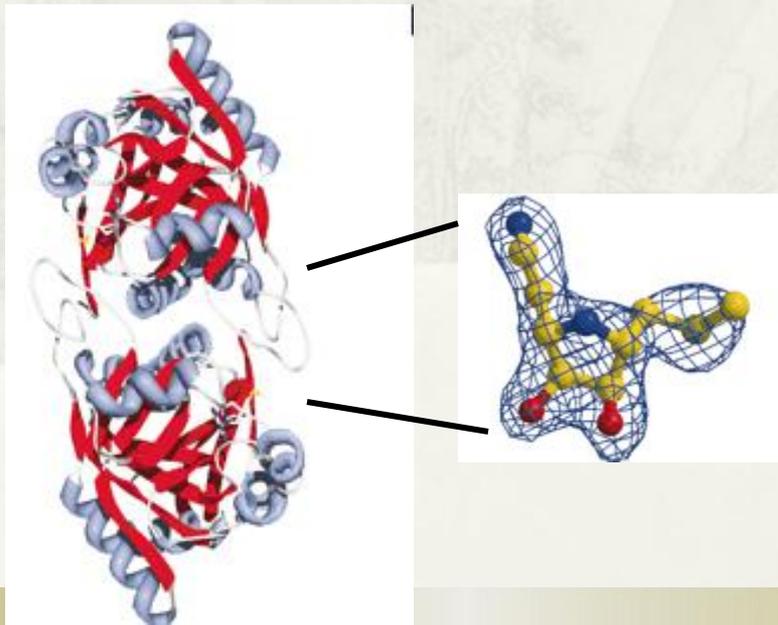
与酶蛋白结合**紧密**

· 金属离子（作用：**传递电子、稳定酶的构象**）

分**金属酶（结合紧密）**与**金属激活酶（结合松）**两类

## 第二节

# 酶的分子结构与功能



# 有关名词

- \* **底物**(substrate, **S**): 酶作用的物质。
- \* **产物**(product, **P**): 反应生成的物质。
- \* **酶促反应**: 酶催化的反应。
- \* **酶活性**: 酶催化化学反应的能力。
- \* **中间产物 ES**: 酶催化反应作用过程中产物



# 结合酶的特点



- 结合酶分为**酶蛋白**与**辅助因子**两部分。

- 辅助因子按**与酶蛋白**  
**结合的紧密程度**分为

## **辅酶 (coenzyme)**

与酶蛋白结合疏松，可用透析或超滤的方法除去。

## **辅基 (prosthetic group)**

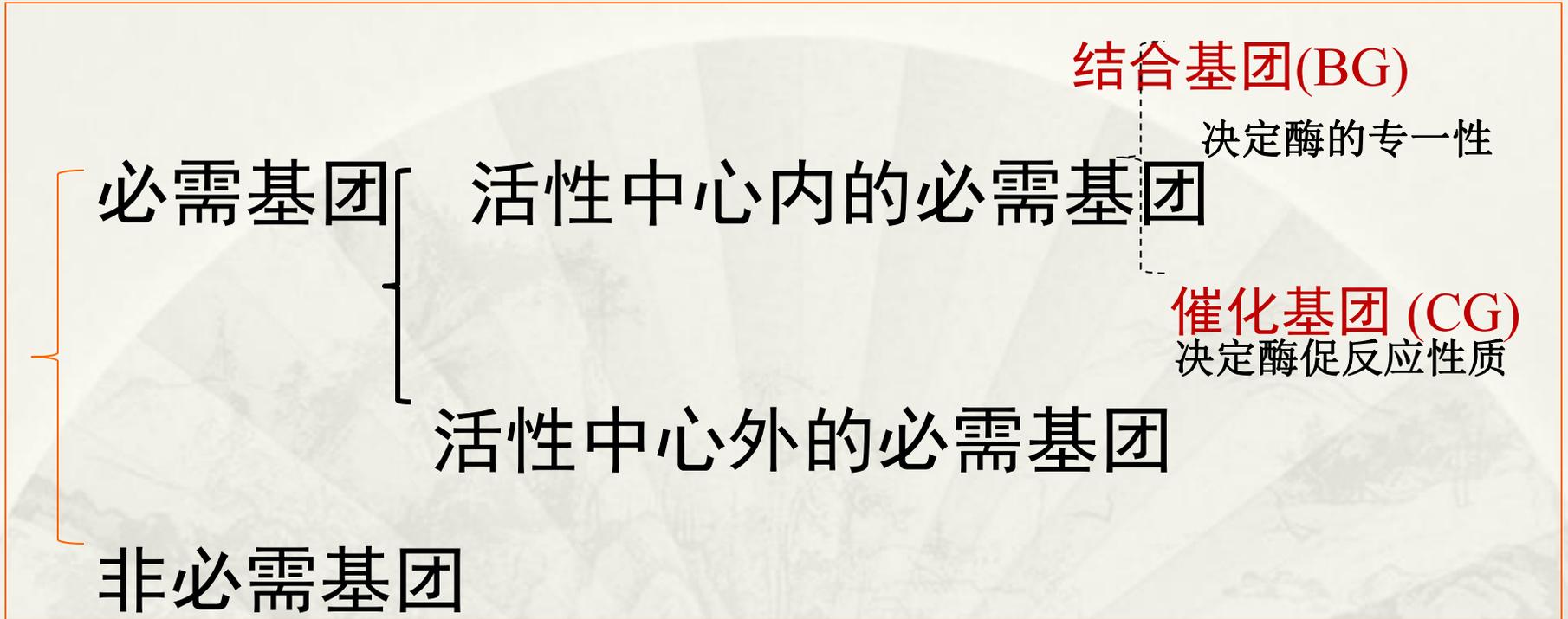
与酶蛋白结合紧密，不能用透析或超滤的方法除去。

# 一、酶的活性中心

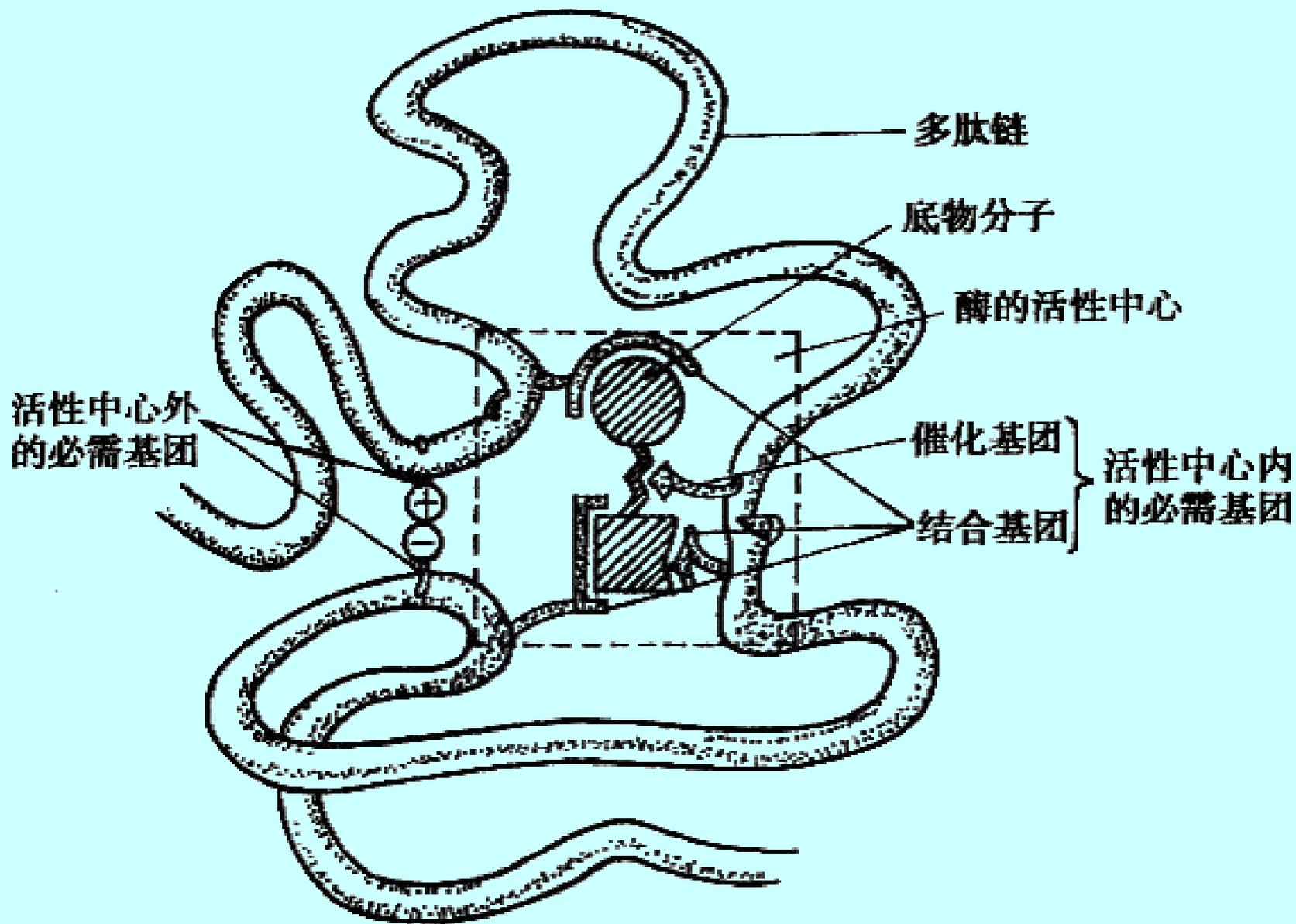
**active center**: 又称活性部位(**active site**), 指**必需基团**在空间结构上彼此靠近, 组成具有特定空间结构的区域, 能与底物特异结合并将底物转化为产物。

通常指结合底物并催化底物变为产物的区域, 通常是一级结构相隔很远, 而三维结构较靠近的氨基酸残基形成的三维实体。

# 酶活性中心的基团



必需基团：与酶活性有关的基团



# 酶活性中心的特点

1. 位于酶分子**表面**的一个**裂隙**内。
2. 占酶分子总体积的**1%-2%**。
3. 是一个**三维实体**，具有空间结构。
4. 具有柔性的变化，**即诱导契合**。
5. 底物靠**次级键**与酶结合。
6. 七种氨基酸在活性中心出现频率最高，**Ser、His、Cys、Tyr、Asp、Glu、Lys**。

## 二、酶催化作用的本质

- 酶催化作用的本质：降低反应活化能
- 酶催化作用的中间产物学说

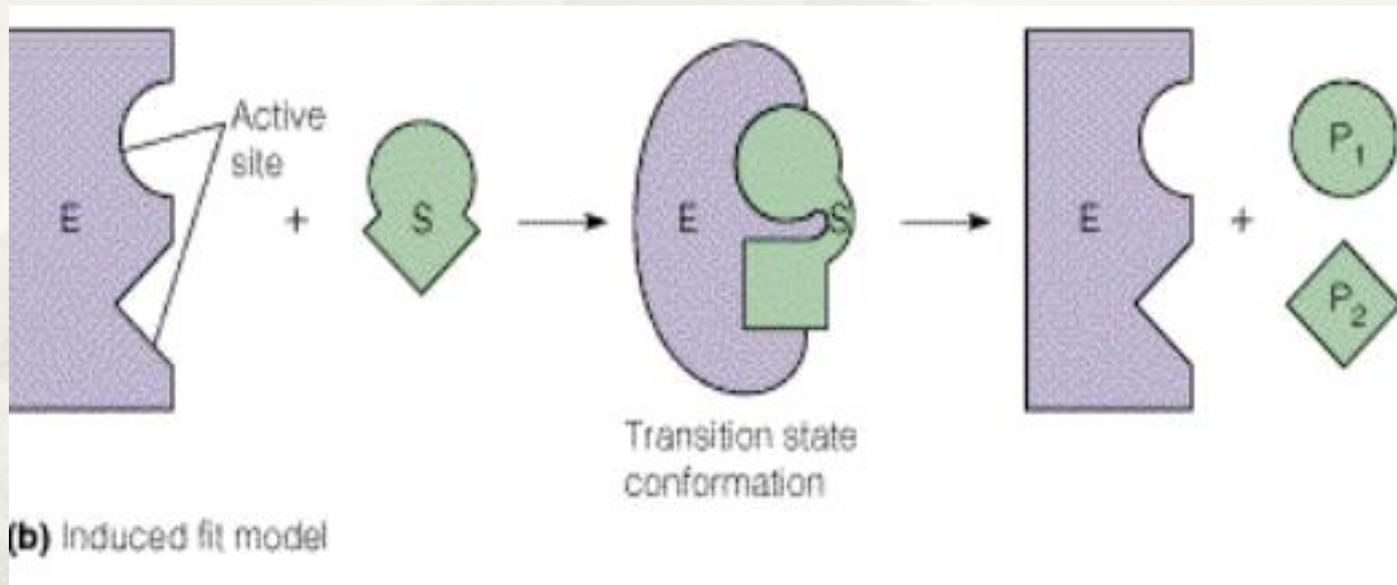
酶催化反应中首先形成酶底物中间复合物，再分解成产物和酶。



- 诱导契合假说 (induced-fit hypothesis)

酶与底物相互接近时，其结构相互诱导、相互变形和适应，进而相互结合。

# 诱导契合假说内容



Induced-fit Model. - The enzyme active site forms a complementary shape to the substrate after binding.

# 三、影响酶高效催化的因素

---

- (1) 邻近、定向效应
- (2) “张力” 和 “形变”
- (3) 酸碱催化
- (4) 共价催化
- (5) 金属离子的催化作用
- (6) 微环境影响

## ( 1 ) 邻近与定向效应

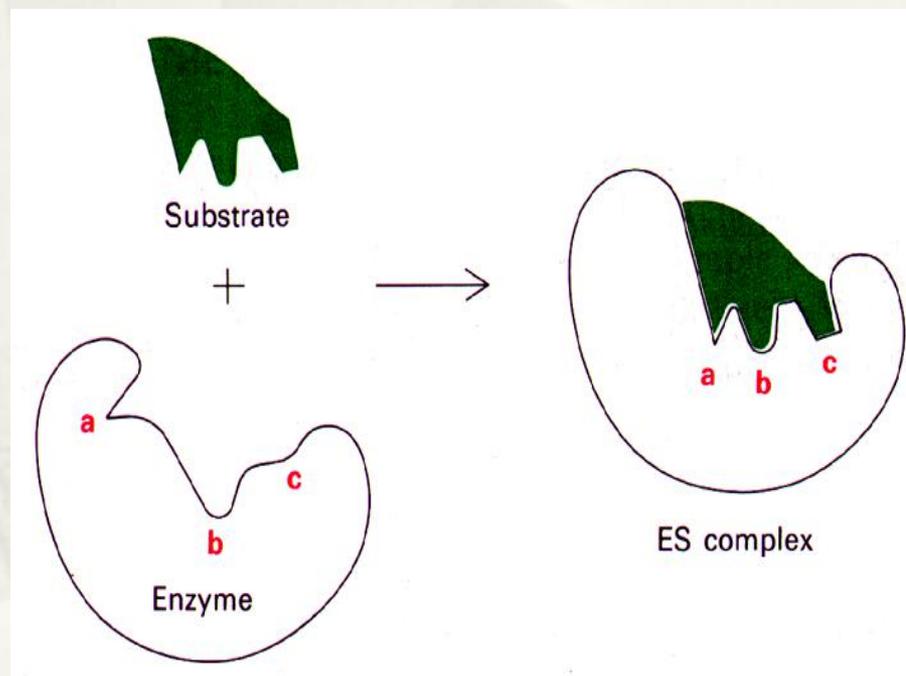
---

- \* **邻近效应** (approximation) 酶和底物间的亲和性,使底物在酶活性中心的有效浓度大大增加。
- \* **定向效应** (orientation) 底物向酶活性中心靠近时,诱导酶分子构象发生改变,使活性中心的相关基团和底物的反应基团正确定向排列。

## ( 2 ) 底物的形变 ( distortion )

底物与酶结合诱导

1. 酶的分子构象变化
2. 底物分子敏感键产生形变

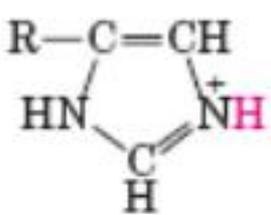
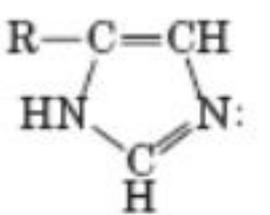


### ( 3 ) 酸碱催化 ( acid-base catalysis )

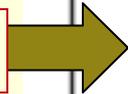
---

- \* 酶促反应中最普遍有效的催化剂
- \* 分狭义酸-碱催化和广义酸-碱催化。
- \* 特指通过质子酸提供部分质子, 或是通过质子碱接受部分质子, 降低反应活化能的过程。
- \* His咪唑基是酸碱催化最活泼的催化基团。

# 酶分子中可作为酸碱催化的功能基团

Amino acid residues	General acid form (proton donor)	General base form (proton acceptor)
Glu, Asp	$R-COOH$	$R-COO^-$
Lys, Arg	$R-\overset{H}{\overset{+}{N}}H$	$R-\overset{\cdot\cdot}{N}H_2$
Cys	$R-SH$	$R-S^-$
His		
Ser	$R-OH$	$R-O^-$
Tyr		

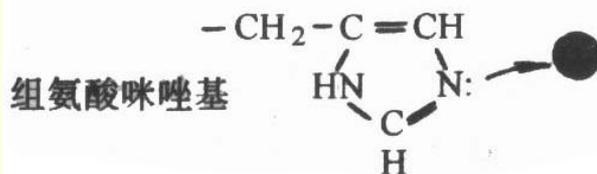
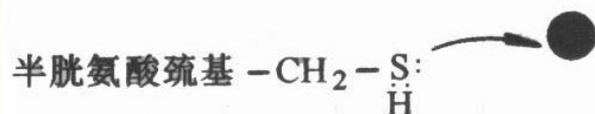
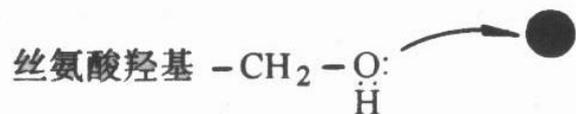
最活泼基团



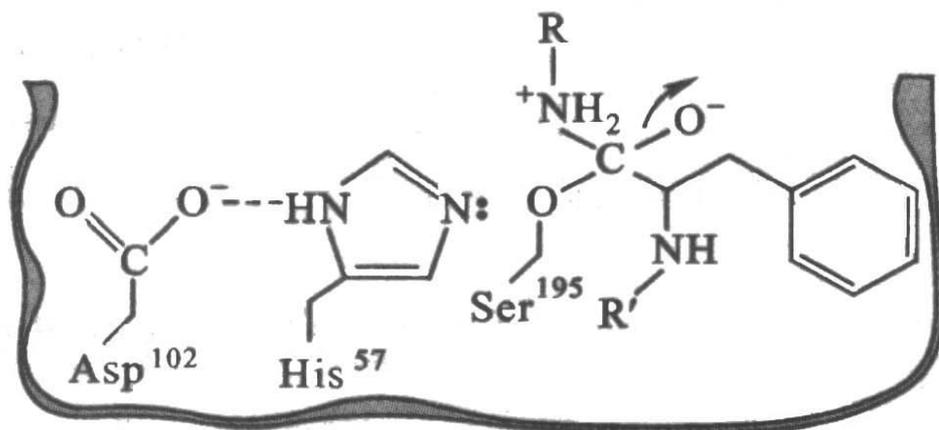
## ( 4 ) 共价催化 ( covalent catalysis )

- **共价催化**：形成活性很高的共价中间产物  
结果降低反应活化能，提高反应速度。
- 参与共价催化的基团主要包括
  - ① **亲核基团**：His 的咪唑基，Cys 的硫基，Asp 的羧基，Ser 的羟基等
  - ② **亲电基团**： $H^+$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Mn^{2+}$ 、 $Fe^{3+}$

亲核基团 亲电子原子



## 胰凝乳蛋白酶活性中心 His57作为质子供体攻击反应中心



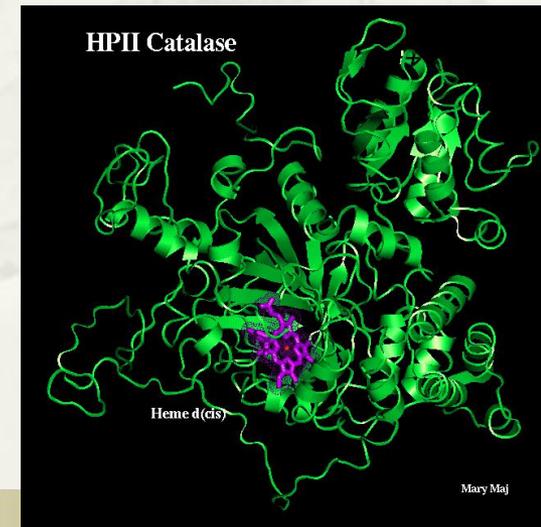
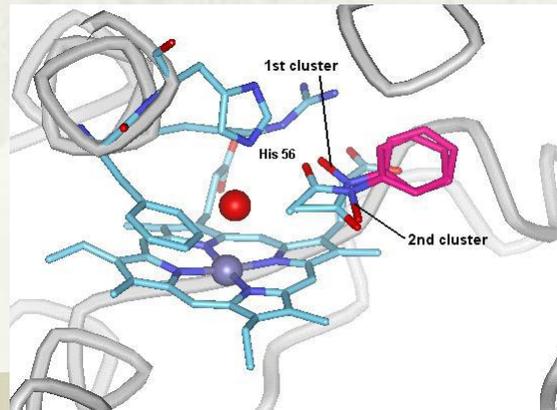
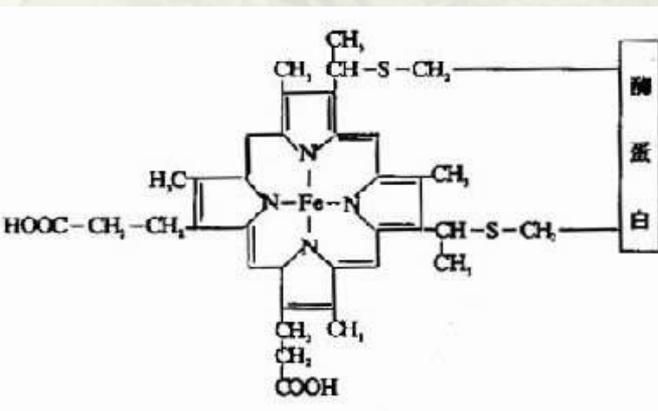
# (5) 金属离子的催化作用

## 1. 需要金属离子的酶分类：

- (1) 金属酶（紧密）如： $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$
- (2) 金属-激活酶（松散）如： $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$

## 2. 金属离子的催化作用：

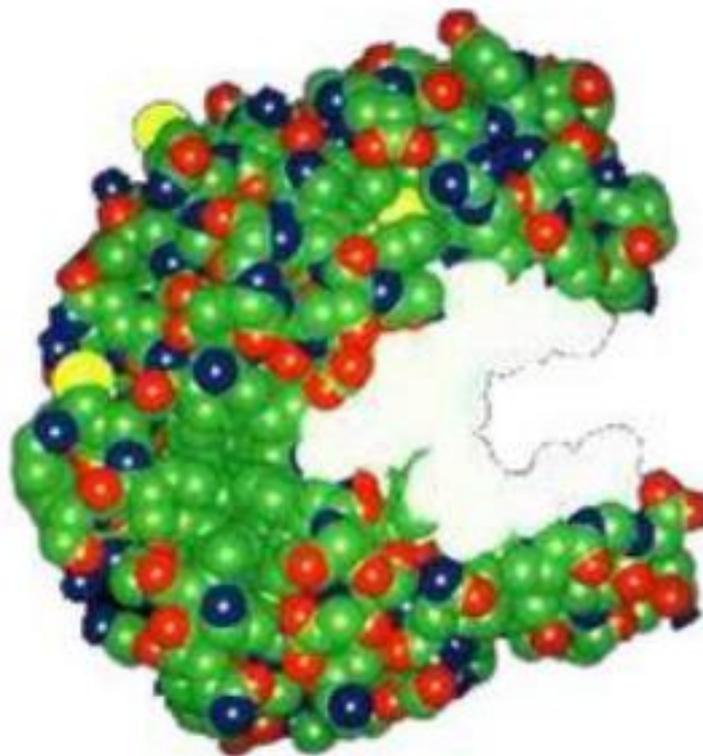
- 通过结合底物为反应定向。
- 通过可逆的改变金属离子的氧化态调节氧化还原反应。
- 通过静电稳定或屏蔽静电荷。

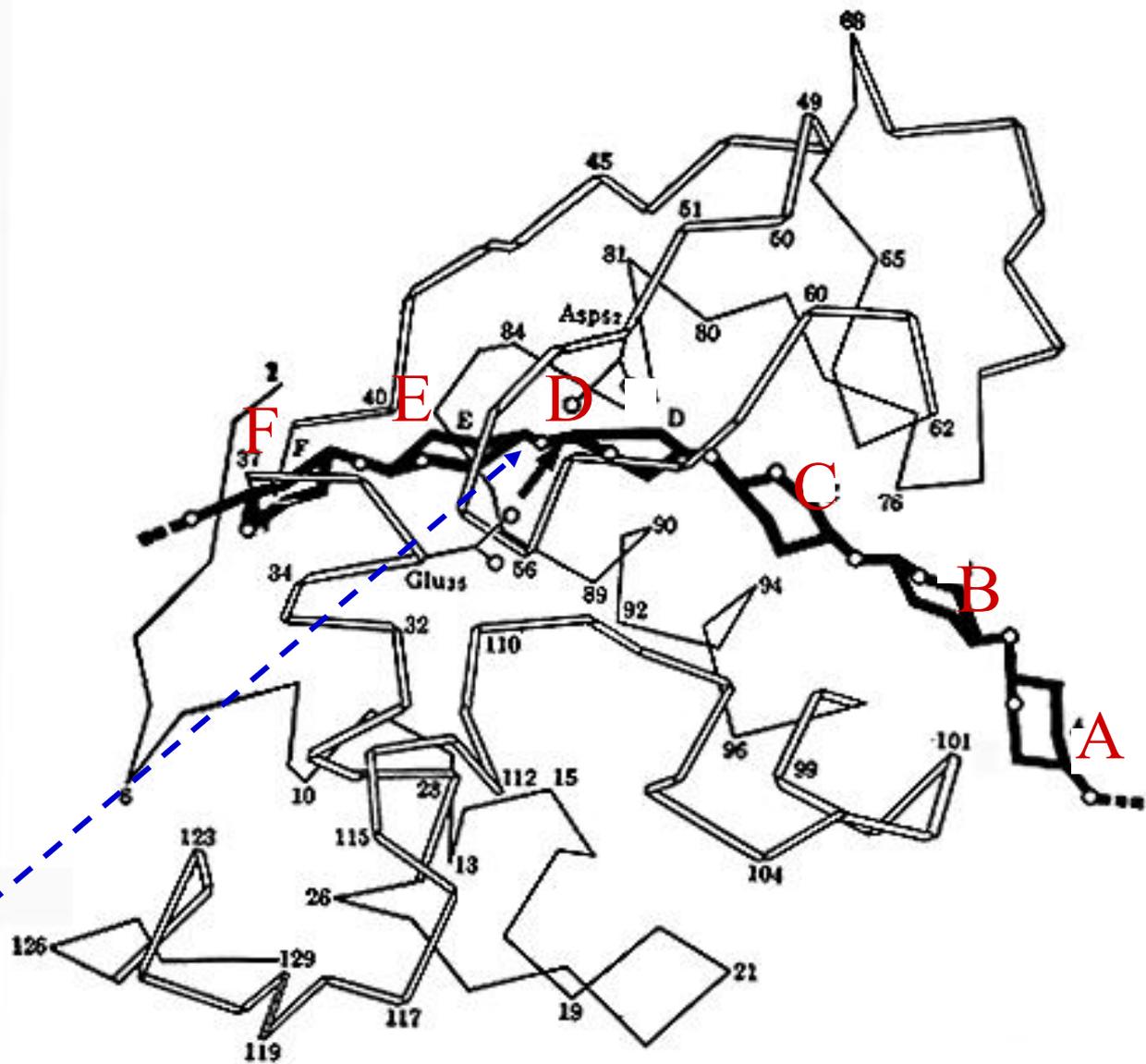


## (6) 微环境影响

\* 疏水中心

\* 电荷中心



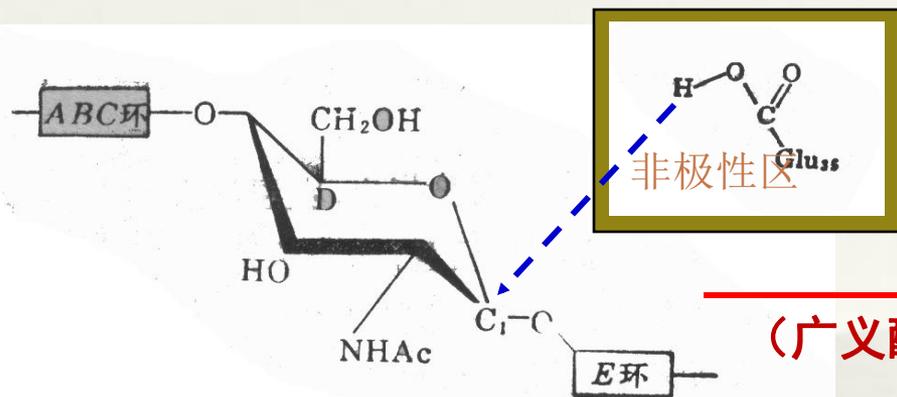


酶切位点

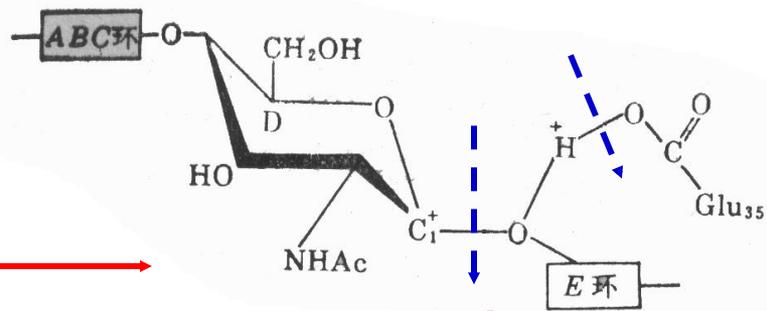
溶菌酶-底物复合物

# 溶菌酶-底物复合物

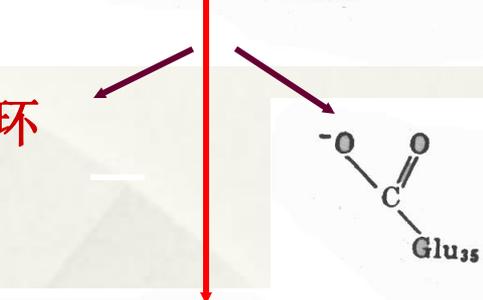
# 溶菌酶催化反应机理



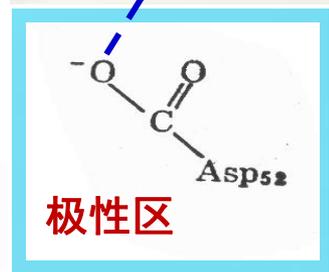
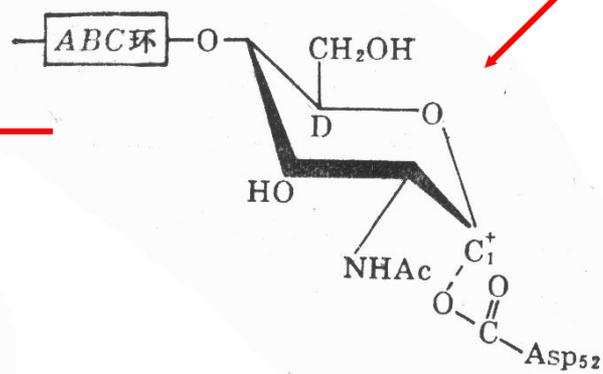
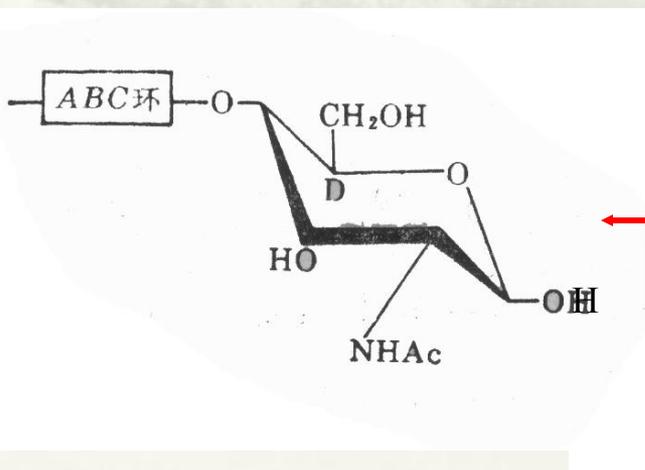
(广义酸碱催化)



HO - E环



极性区



# 第三节 酶促反应动力学

- 内容：研究各种因素对**酶促反应速度**的影响。
- 影响因素包括有：  
底物浓度、酶浓度、pH、温度、  
抑制剂、激活剂等。
- 研究一种因素的影响时，其余各因素均**恒定**。

# 酶促反应动力学提出前提

- I. 单底物、单产物反应
- II. 酶促反应速度用单位时间内底物的消耗量和产物的生成量来表示
- III. 反应速度取其初速度，即底物的消耗量很小（一般在5%以内）时的反应速度

# 酶促反应动力学之一：底物浓度

---

## 1、底物浓度与酶促反应速度的关系

(Michaelis—Menten曲线)

## 2、米氏方程的提出及推导

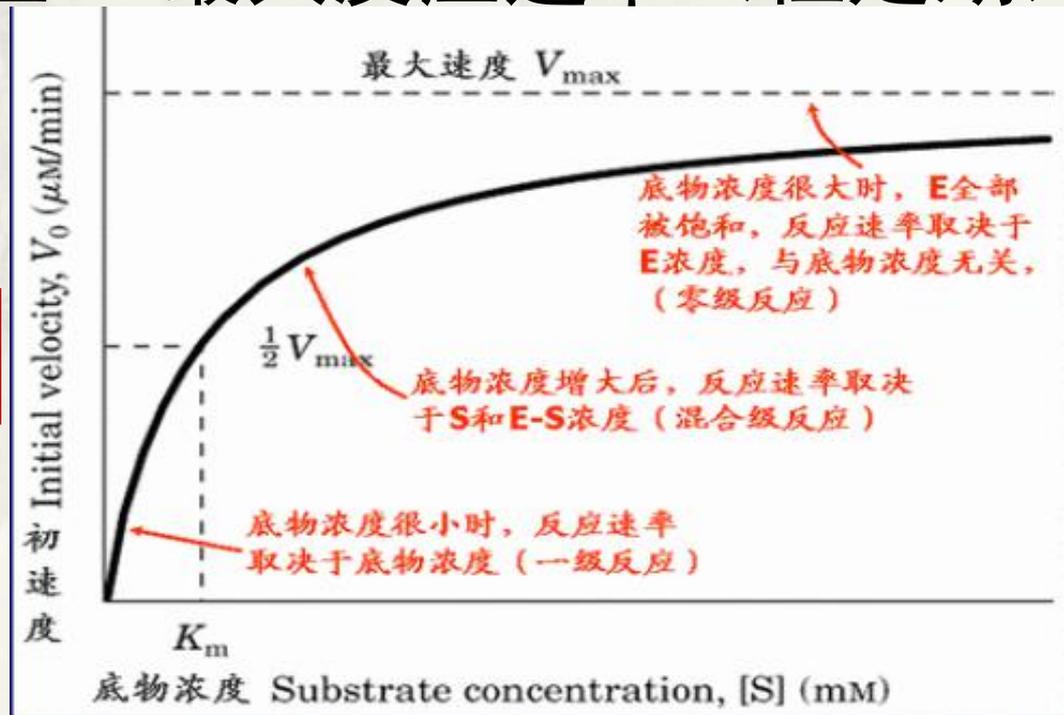
## 3、米氏常数的意义

## 4、米氏常数的测定

# 1、底物浓度与反应速度的关系

- \* 一级反应：线速增长期
- \* 混合级反应：慢速增长期
- \* 零级反应：最大反应速率（恒定期）

即：Michaelis  
—Menten曲线



## 2、米氏方程

1913年**Michaelis**和**Menten**根据中间产物学说提出反应速度与底物浓度关系的数学方程式，即米—曼氏方程式，简称米氏方程式(Michaelis equation)。

**米氏方程：**

$$V = \frac{V_{\max}[S]}{K_m + [S]}$$

[S]：底物浓度

V：不同[S]时的反应速率

$V_{\max}$ ：最大反应速率

$K_m$ ：米氏常数(Michaelis constant)

解释酶促反应中底物浓度和反应速率关系最合理学说：**中间产物学说**

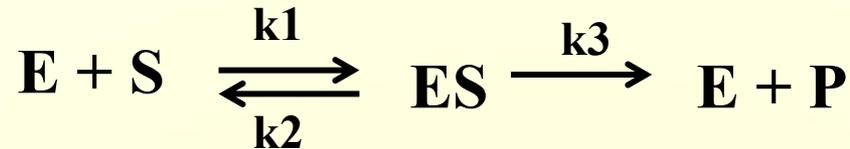


### 3、米氏方程的推导过程

**假设一：**当反应处于稳态时：反应初期，产物的生成量极少为慢反应，因此逆反应可假设不予考虑。

**假设二：**S浓度远远超过E浓度，假设反应初期S浓度变化忽略不计，即  $[S] = [S_0]$ 。

### 3、米氏方程的推导过程



解：反应达到稳态：ES的生成速率 = ES的分解速率

$$k_1 ([E_t] - [ES]) [S] = k_2 [ES] + k_3 [ES] \quad (1)$$

整理得：

$$\frac{([E_t] - [ES])[S]}{[ES]} = \frac{k_2 + k_3}{k_1} \quad (2)$$

$$\text{令：} \quad \frac{k_2 + k_3}{k_1} = K_m \quad (\text{米氏常数})$$

$$\text{则(2)变为：} ([E_t] - [ES]) [S] = K_m [ES]$$

### 3、米氏方程的推导过程

进一步整理得:

$$[\text{ES}] = \frac{[\text{E}_t][\text{S}]}{K_m + [\text{S}]} \quad (3)$$

将(3)代入(1)得

$$V = \frac{k_3[\text{E}_t][\text{S}]}{K_m + [\text{S}]} \quad (4)$$

当底物浓度很高，酶的活性中心全部饱和时，即 $[\text{E}_t] = [\text{ES}]$ ，反应达最大速率

$$V_{\max} = k_3[\text{ES}] = k_3[\text{E}_t] \quad (5)$$

将(5)代入(4)得米氏方程式:

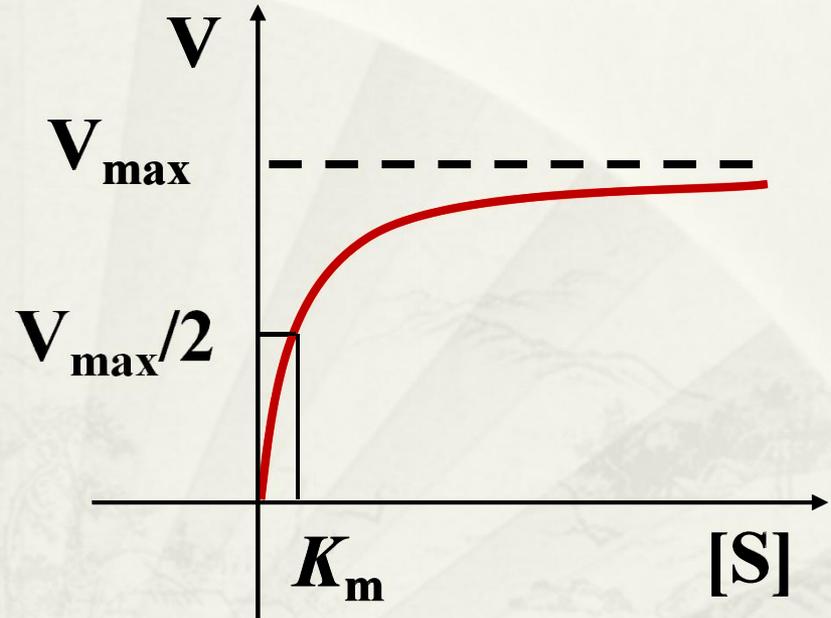
$$V = \frac{V_{\max} [\text{S}]}{K_m + [\text{S}]}$$

## 4、米氏常数 $K_m$ 值的推导过程

当反应速率达最大反应速率一半时：

$$V = \frac{V_{\max}}{2} = \frac{V_{\max}[S]}{K_m + [S]}$$

整理得： $K_m = [S]$



$K_m$  值为酶促反应速率为最大反应速率一半时的底物浓度，单位是 mol/L。

# 米氏常数 $K_m$ 的意义

- $v=V_{\max}/2$ 时， $K_m=[S]$ （单位为浓度单位）
- $K_m$ 是酶的特征常数之一，只与酶的结构、底物和反应环境（如，温度、pH、离子强度）有关，与酶的浓度无关。
- $K_m$ 可近似表示酶对底物的亲和力； $K_m$ 愈小，E对S亲合力愈大， $K_m$ 愈大，亲合力愈小。
- 同一酶对于不同底物有不同的 $K_m$ 值。

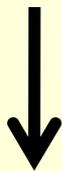
# $V_{max}$ 的意义

- $V_m$ 是酶完全被底物饱和时的反应速率，与酶浓度成正比。  
 $V_{max}=k_3 [E]$
- 如果酶的总浓度已知，可从 $V_{max}$ 计算 $k_3$ 值，称酶的转换数(turnover number)。
- 酶的转换数定义：当酶被底物分子完全饱和，单位时间内每个酶分子催化底物转变为产物的分子数。

# 5、米氏常数与 $V_{\max}$ 的测定

双倒数作图法(double reciprocal plot), 又称为 林-贝氏(Lineweaver- Burk)作图法

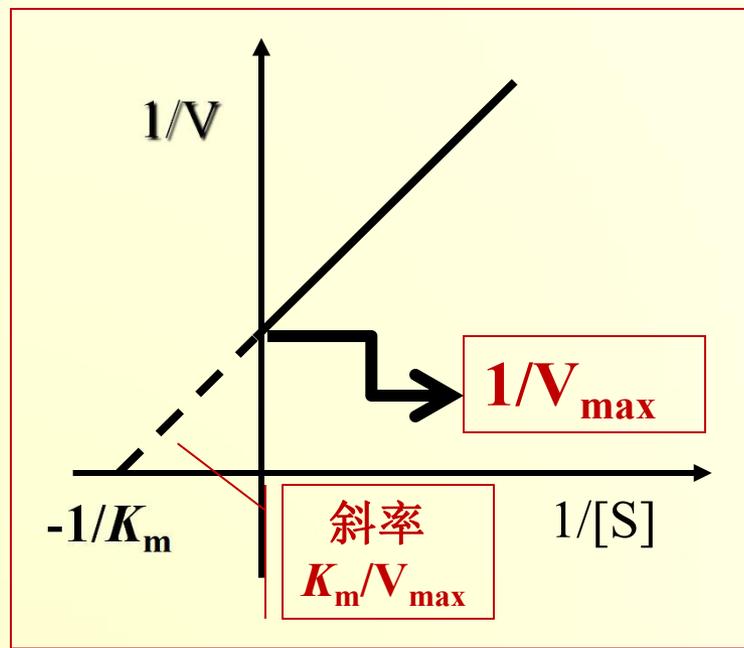
$$V = \frac{V_{\max}[S]}{K_m + [S]}$$



方程两边同时取倒数

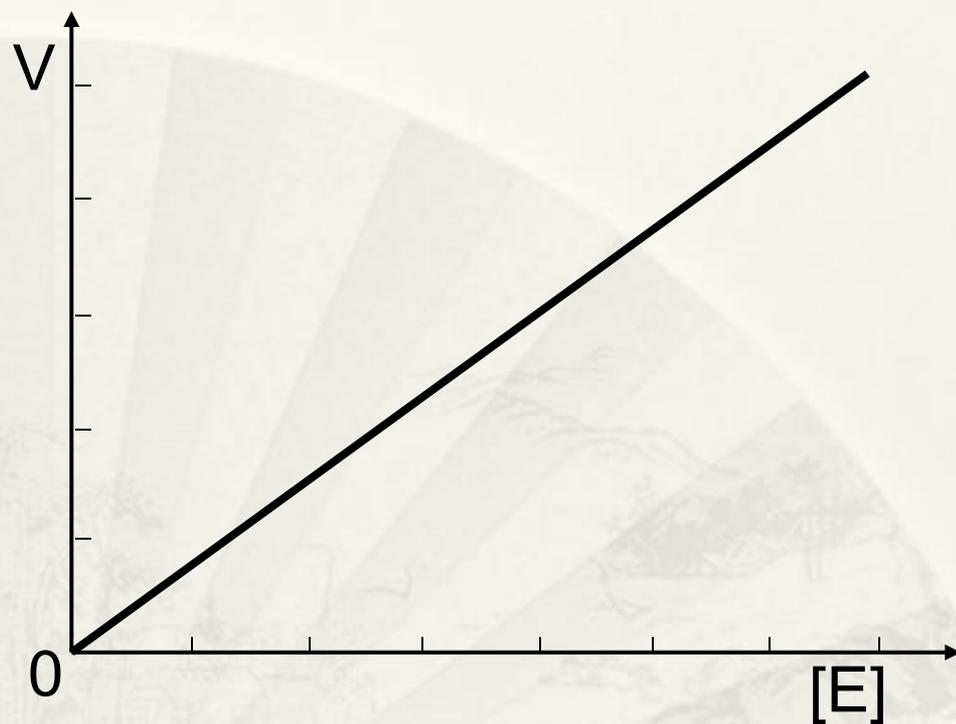
$$1/V = \frac{K_m}{V_{\max}} 1/[S] + 1/V_{\max}$$

方程为:  $y=ax+b$ 的直线方程



## 酶促反应动力学之二：酶浓度

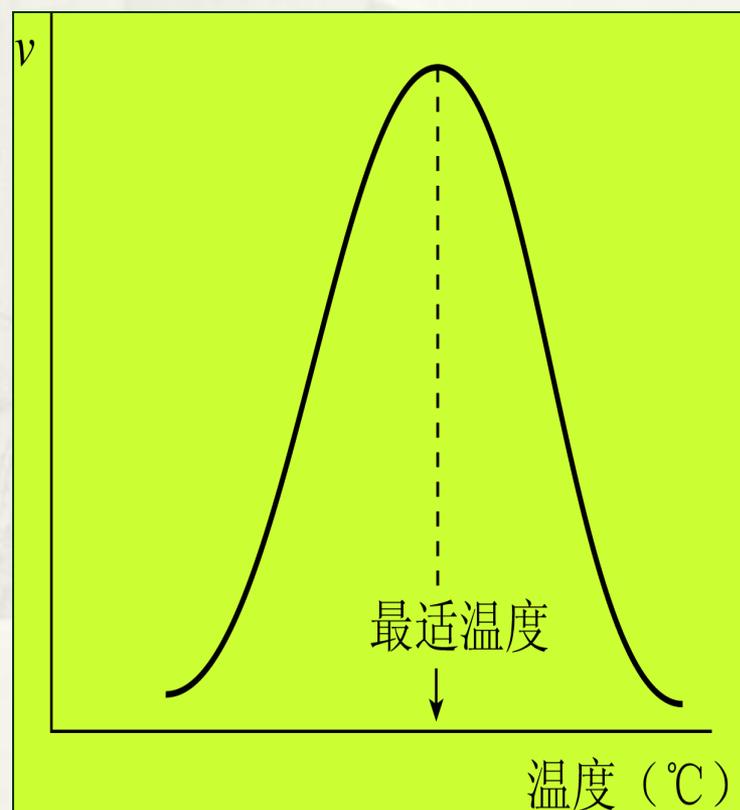
- 当[S]远大于[E]，反应速度与酶浓度成正比。
- 底物分子过量，酶数量越多，生成产物越多，速度越快



方程式为： $V = K_3 [E]$

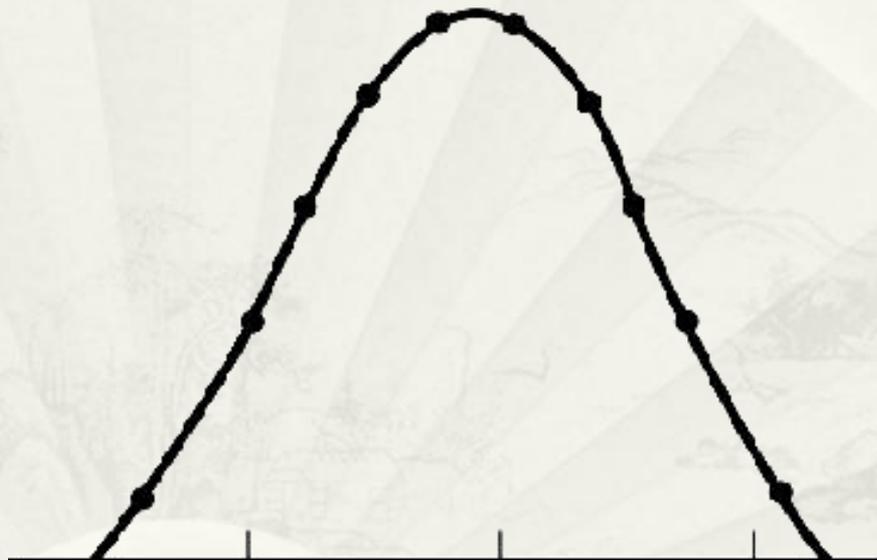
# 酶促反应动力学之三：温度

- **最适温度**：酶促反应速度最快时的环境温度。动物35-40度、植物40-50度；
- 部分酶60度以上变性失活
- 达到最适温度以前，反应速度随温度升高而加快
- 酶的最适温度不是一个固定不变的常数



# 酶促反应动力学之四：pH值

- 最适pH：酶催化活性最高时的环境pH。
- 不是酶的特征性常数，受底物浓度、缓冲液种类与浓度及酶纯度等因素的影响。
- 影响底物分子解离状态
- 影响酶分子解离状态
- 影响酶的活性中心构象



# 酶促反应动力学之五：激活剂

- \* 能提高酶活性的物质，称酶的激活剂  
(activator)

- \* 分为非必需和必需<sup>类别</sup>两种

金属离子： $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Cu^{2+}$ 、 $Mn^{2+}$ 、 $Zn^{2+}$ 、 $Se^{3+}$ 、 $Co^{2+}$ 、 $Fe^{2+}$

阴离子： $Cl^-$ 、 $Br^-$

有机分子还原剂：抗坏血酸、半胱氨酸、谷胱甘肽

金属螯合剂：EDTA

# 酶促反应动力学之六：抑制剂

\* **定义inhibitor:** 凡能使酶的催化活性下降而不引起酶蛋白变性的物质。

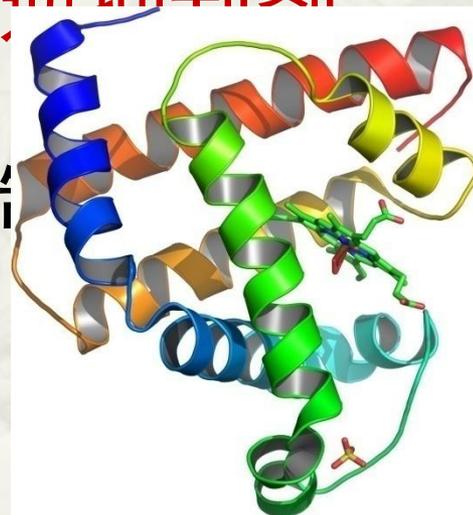
\* **类型:** 不可逆抑制剂、可逆抑制剂

\* **应用:** 杀虫剂、药物的研究

\* **区别**

抑制剂对酶选择性

变性对酶没有选择性



# 抑制作用的类型

根据抑制剂和酶结合的紧密程度不同，酶的抑制作用分为：

- **不可逆抑制 (irreversible inhibition)**

- **可逆抑制 (reversible inhibition)**

竞争性抑制 (competitive inhibition)

非竞争性抑制 (non-competitive inhibition)

反竞争性抑制 (uncompetitive inhibition)

# (1) 不可逆抑制作用

## 定义：

抑制剂通常以共价键与酶活性中心的必需基团相结合，使酶失活，不能用透析、超滤等方法予以除去。

## 举例：

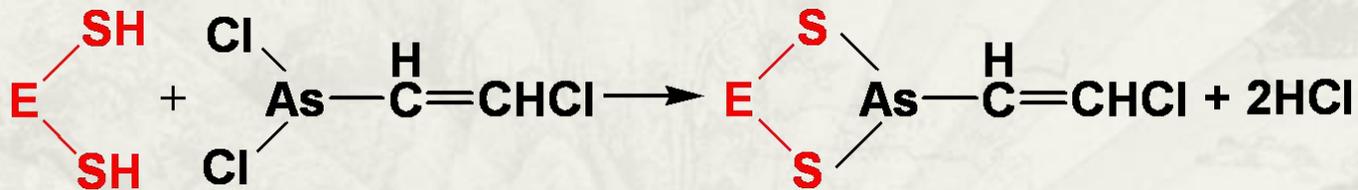
有机磷化合物 如：二异丙基氟磷酸、敌敌畏等

重金属离子及砷化合物 如：巯基酶、对氯汞苯甲酸等

氰化物、烷化剂



有机磷化合物对羟基酶的抑制



路易士气对巯基酶的抑制

## (2) 可逆抑制作用

### 定义：

抑制剂以非共价键与酶或酶-底物复合物可逆性结合，使酶活性降低或丧失；抑制剂可用透析、超滤等方法除去。

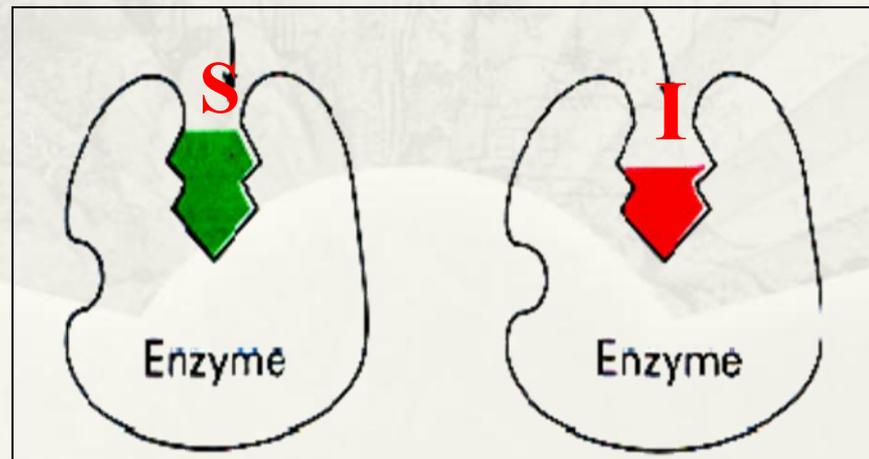
### 类型

竞争性抑制、非竞争性抑制、反竞争性抑制

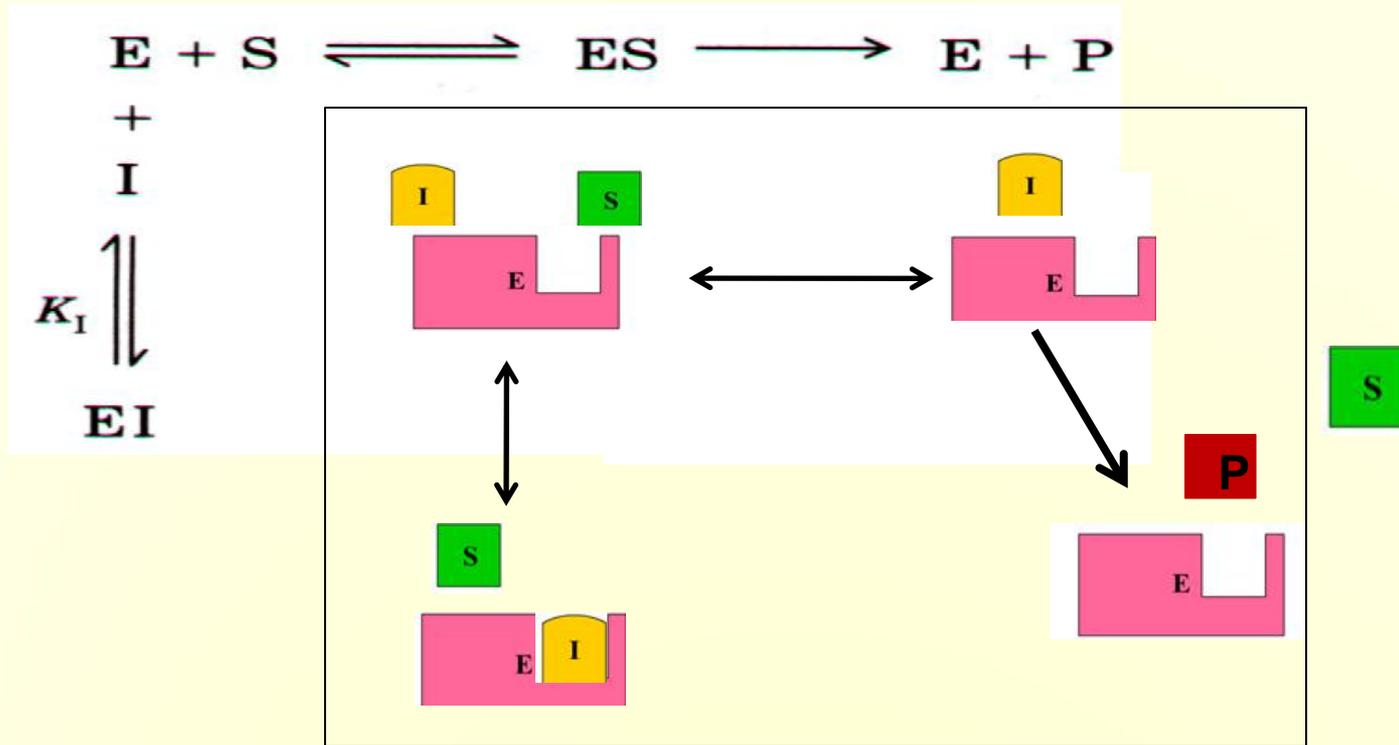
# 可逆抑制作用之竞争性抑制作用

## 定义

抑制剂**I**与底物**S**的结构相似，能与底物竞争酶的活性中心，从而阻碍酶底物复合物的形成，使酶的活性降低。



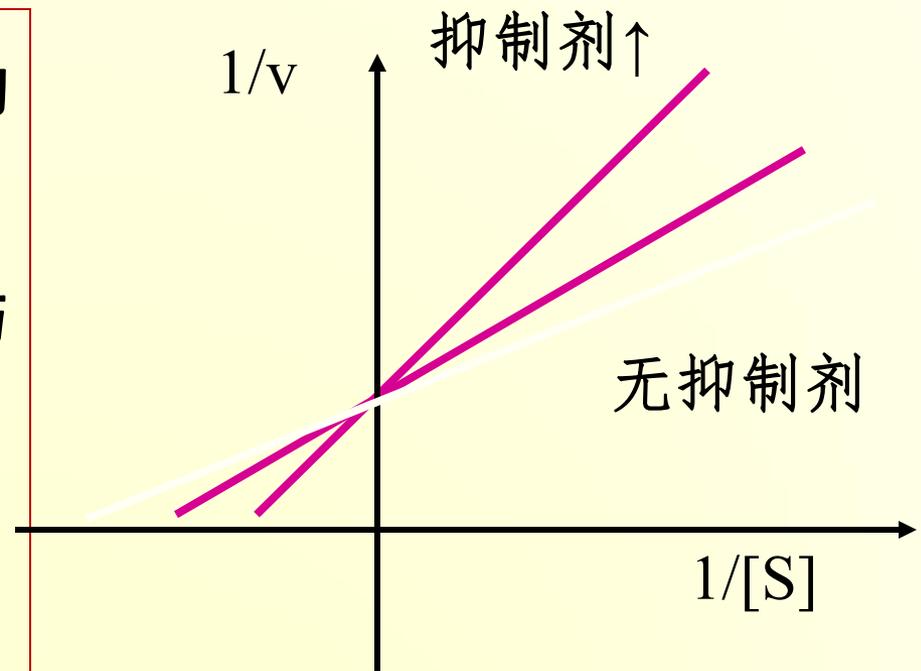
# 竞争性抑制作用反应模式图



例如：丙二酸与琥珀酸竞争琥珀酸脱氢酶



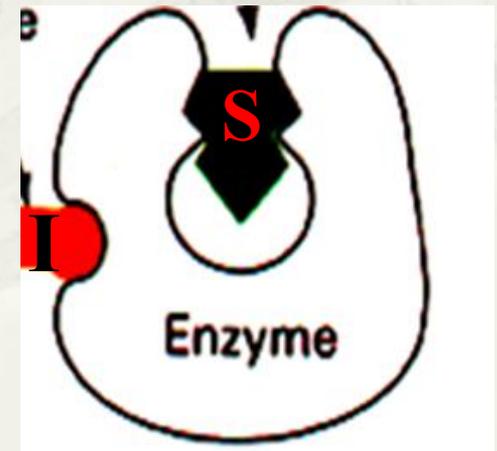
1. I与S结构类似，竞争酶的活性中心；
2. 抑制程度取决于抑制剂与酶的相对亲和力及[S]；
3. 动力学特点： $V_{\max}$ 不变，表观 $K_m$ 增加。



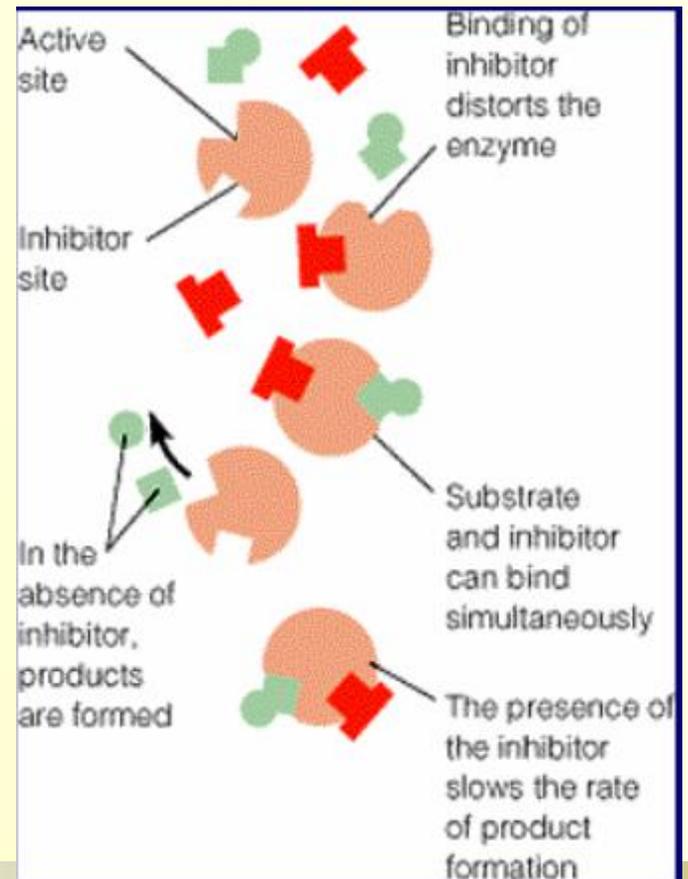
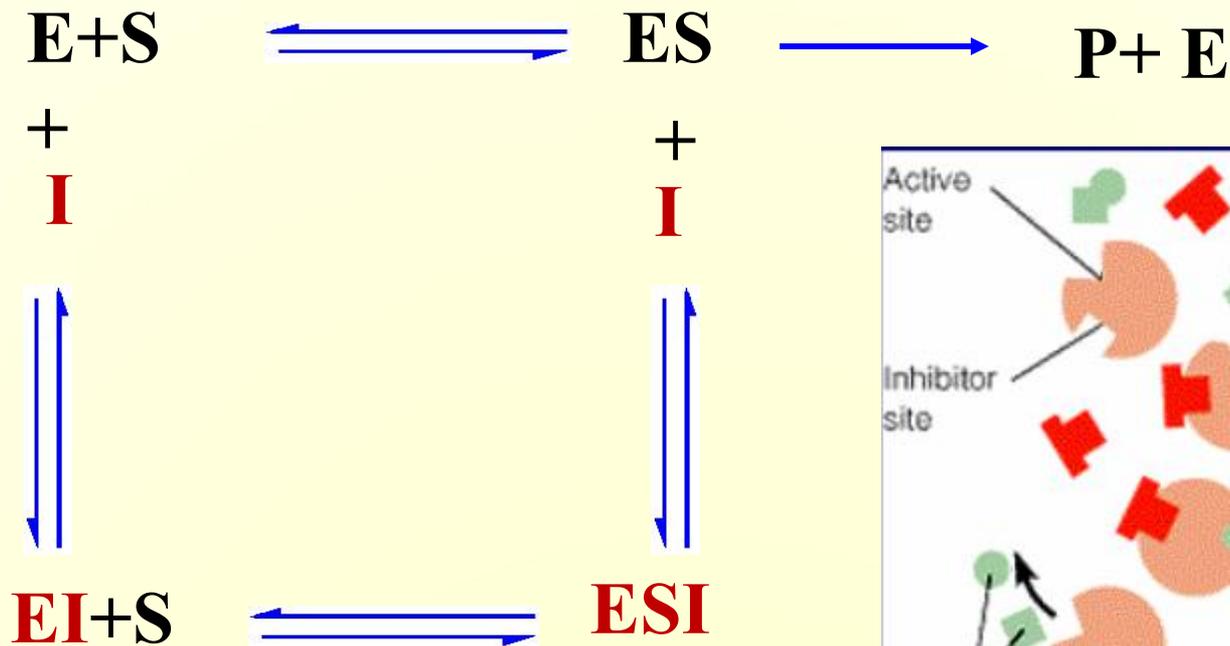
# 可逆抑制作用之非竞争性抑制作用

**定义：**酶同时与底物及抑制剂结合，引起分子构象变化，并使酶活性下降。但这类物质并不与底物竞争与活性中心的结合，所以称非竞争性抑制剂。

如某些金属离子（ $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ag}^+$ 、 $\text{Hg}^{2+}$ ）以及EDTA等，通常能与酶分子的调控部位中的-SH基团作用，改变酶的空间构象，引起非竞争性抑制



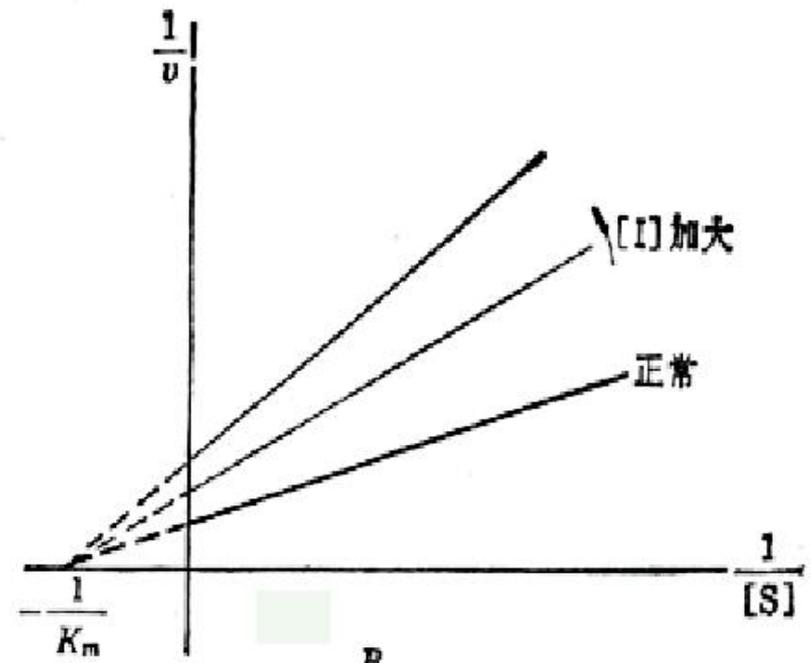
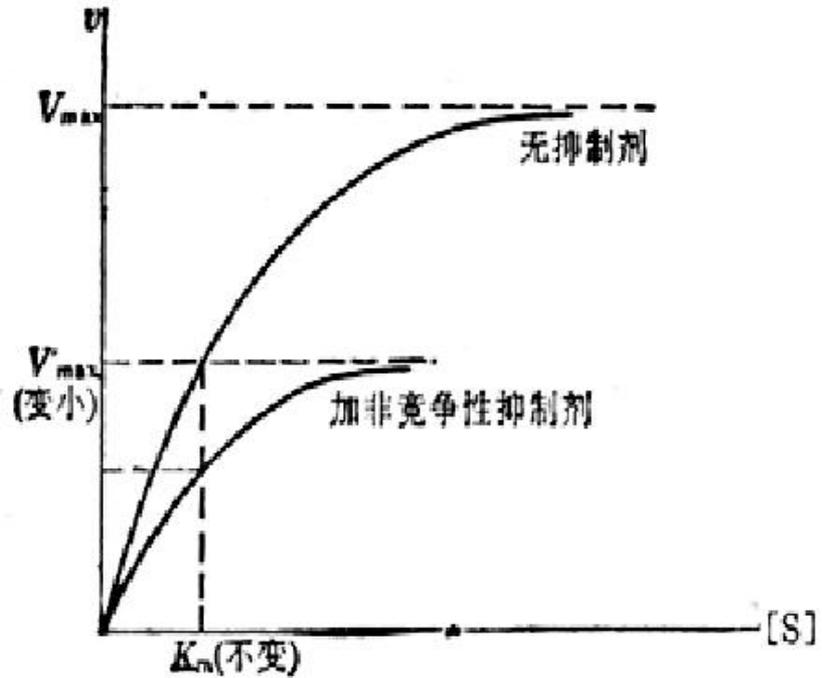
# 非竞争性抑制作用模式图



# 非竞争性抑制作用特点

1. 抑制剂与底物结构不相似，抑制剂与酶活性中心以外的基团结合。

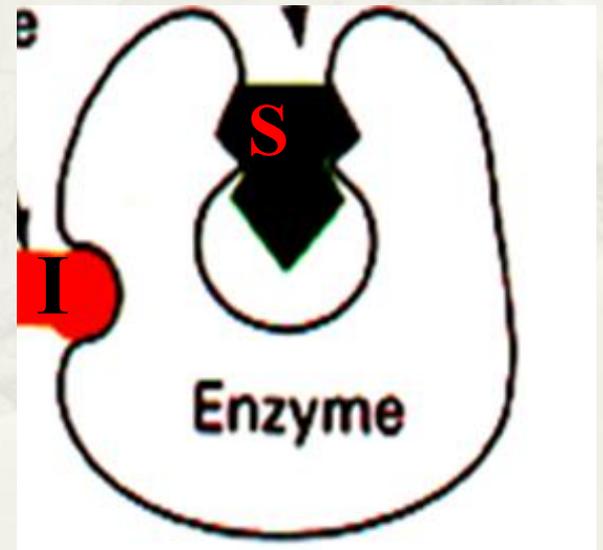
2.  $V_{max}$  下降  $K_m$  不变



# 可逆抑制作用之反竞争性抑制作用

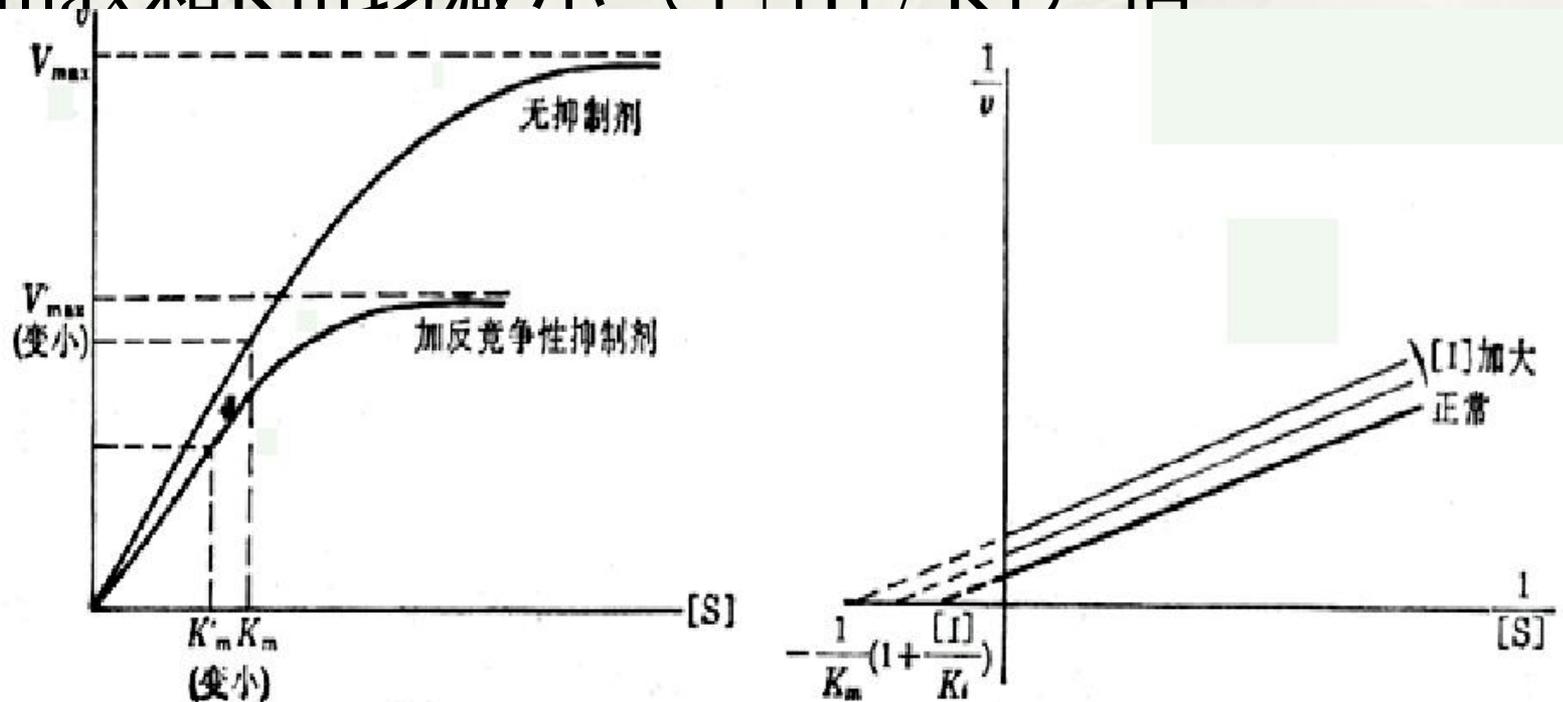
**定义：**抑制剂只能和中间产物结合，形成ESI，而不能和酶直接结合，ESI不能转变成产物，从而抑制酶的活性。

如 **胍类化合物**引起胃蛋白酶反竞争性抑制作用



# 反竞争性抑制作用特点

1. 抑制剂与底物结构不相似，抑制剂与酶活性中心以外的基团结合。
2.  $V_{max}$ 和 $K_m$ 均减小  $(1 + [I] / K_i)$  倍



# 有无抑制剂存在时结果比较

抑制类型	方程式	$V_{max}$	$K_m$
无抑制剂	$v = \frac{V \cdot [S]}{K_m + [S]}$	$V_{max}$	$K_m$
竞争性抑制剂	$v = \frac{V \cdot [S]}{K_m (1 + \frac{[I]}{K_i}) + [S]}$	不变	增大
非竞争性抑制剂	$v = \frac{V \cdot [S]}{(K_m + [S]) \cdot (1 + \frac{[I]}{K_i})}$	降低	不变
反竞争性抑制剂	$v = \frac{V \cdot [S]}{K_m + (1 + \frac{[I]}{K_i}) \cdot [S]}$	降低	降低

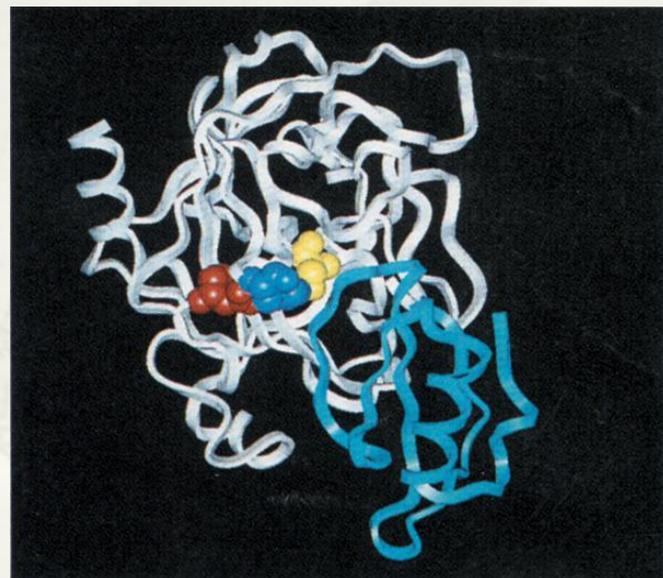
# 第四节 酶的调节与量度

一、别构酶及酶的**别构（变构）**效应

二、酶的多种分子形式

**同工酶**

三、酶原的**激活**



# 一、活力测定与酶的活力单位

## 1、酶活力

检测酶含量及存在，不可直接用酶的“量”（质量、体积、浓度）来表示，常用**酶催化某一特定反应的能力**来表示酶量，即用**酶的活力**表示。

酶活力常以最适条件下酶所催化的化学反应的速度来确定。

2、酶活力测定方法：**终点法 动力学法**

# 酶活力的表示方法

- **活力单位** (active unit)

习惯单位 (U) : 底物(或产物)变化量 / 单位时间

国际单位 (IU) :  $1\mu\text{mol}$ 变化量 / 分钟

Katal (Kat) :  $1\text{mol}$ 变化量 / 秒

- **比活力** = 
$$\frac{\text{总活力单位}}{\text{总蛋白mg数}} = \text{U(或IU)} / \text{mg蛋白}$$

- **转换系数** (Kcat) 底物 ( $\mu\text{mol}$ ) / 秒·每个酶分子

## 二、酶活性的调节

---

### (一) 酶原与酶原的激活

#### 定义：酶原

有些酶在细胞内合成或初分泌时只是酶的无活性前体，此前体物质称为酶原。

#### 酶原的激活

在一定条件下，酶原向有活性酶转化的过程。

## (二) 变构酶

---

- 定义：**变构调节**

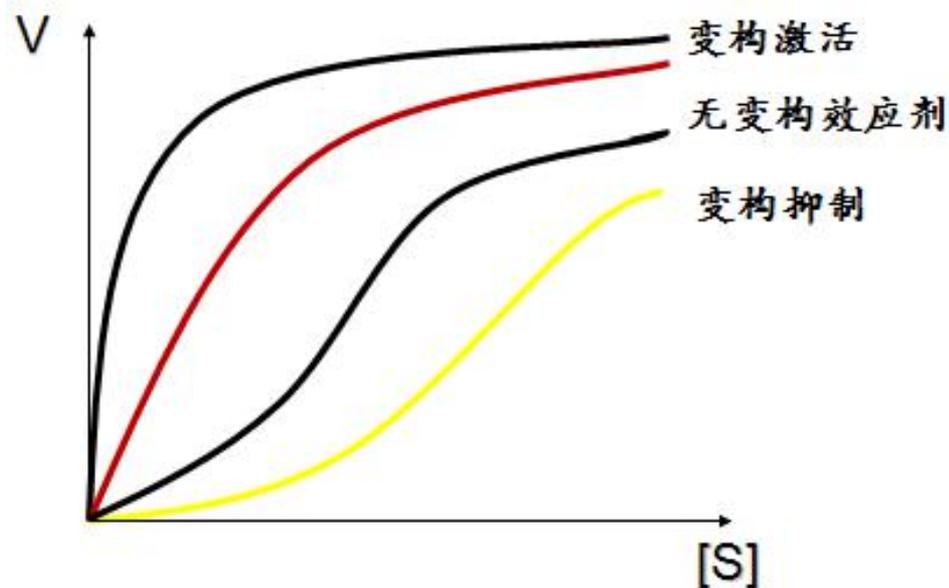
一些代谢物可与某些酶分子活性中心以外的部位可逆地结合，使酶构象改变，从而改变酶的催化活性，此种调节方式称变构调节。

- **该酶称为变构酶**。

- 分变构激活与变构抑制两种

# 变构酶的特点

- \* 通常具有**四级结构**，存在协同效应；
- \* 含有**催化亚基和调节亚基**
- \*  $[S]$ - $v$ 关系曲线为**S形**



## (三) 酶的共价修饰调节

- 共价修饰

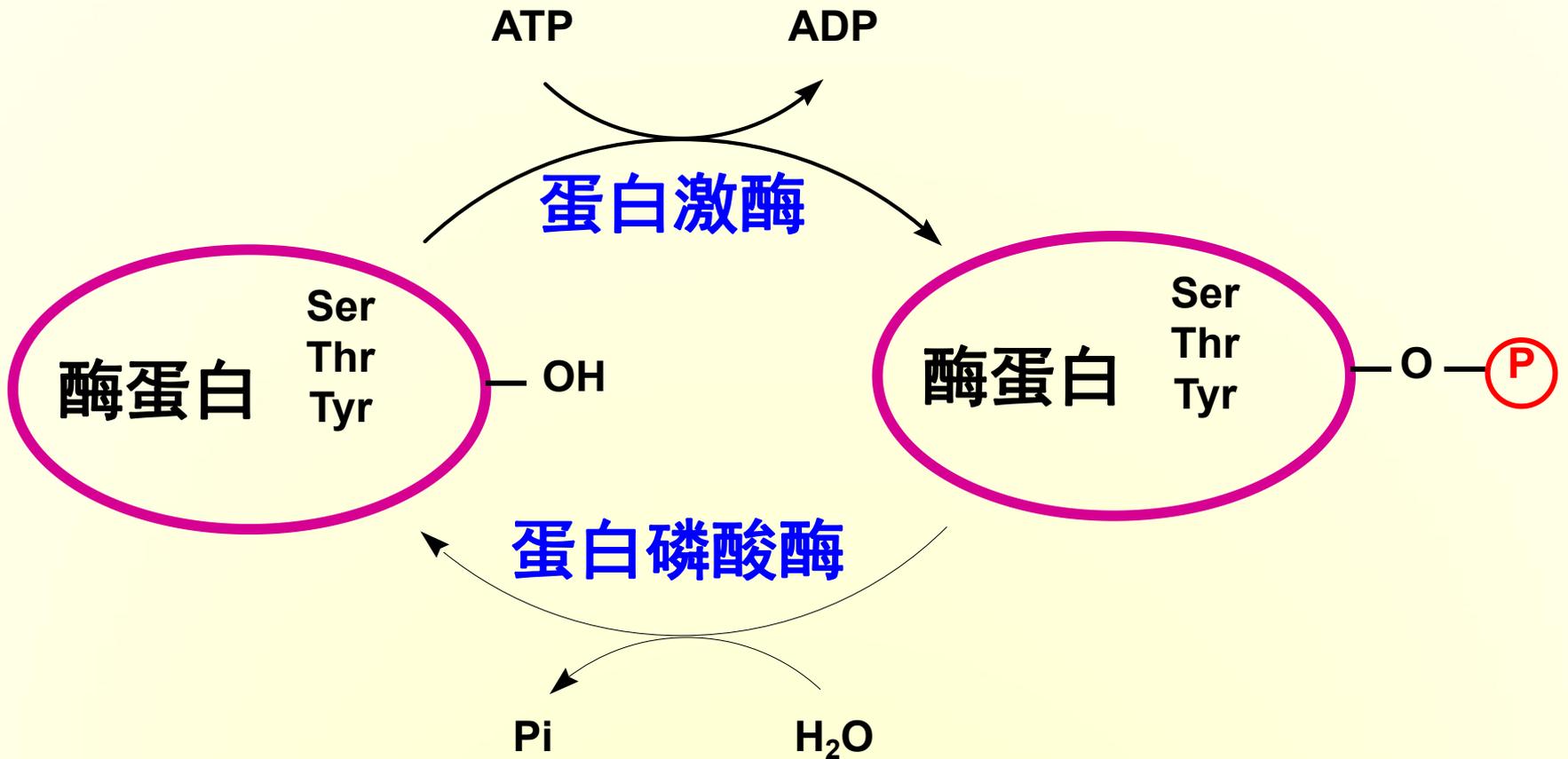
其他酶催化下，酶肽链上一些基团可与某化学基团（如：**磷酸基、乙酰基等**）发生可逆共价结合，从而改变酶的活性。

- 常见类型

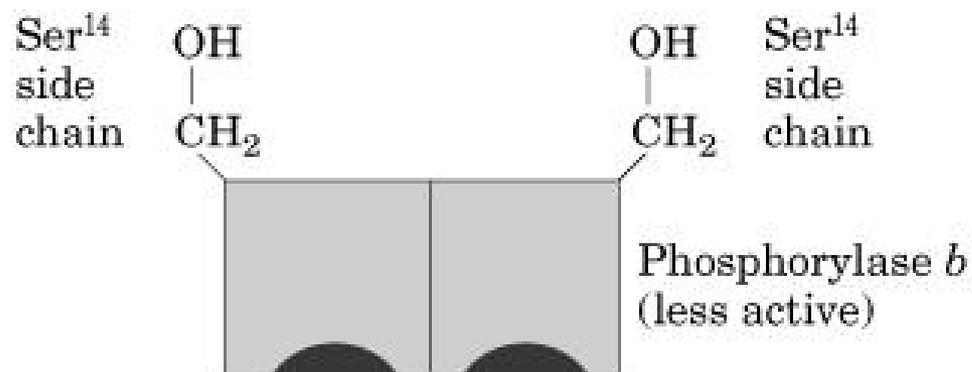
**磷酸化与脱磷酸化（最常见）、乙酰化和脱乙酰化**

**甲基化和脱甲基化、腺苷化和脱腺苷化等**

# 酶的磷酸化与脱磷酸化

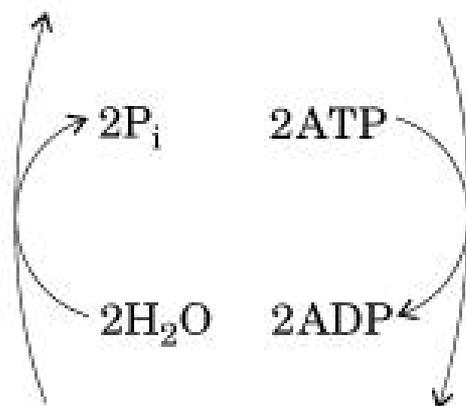


蛋白质的磷酸化和脱磷酸化作用是生物体内广泛存在的一种调节方式。



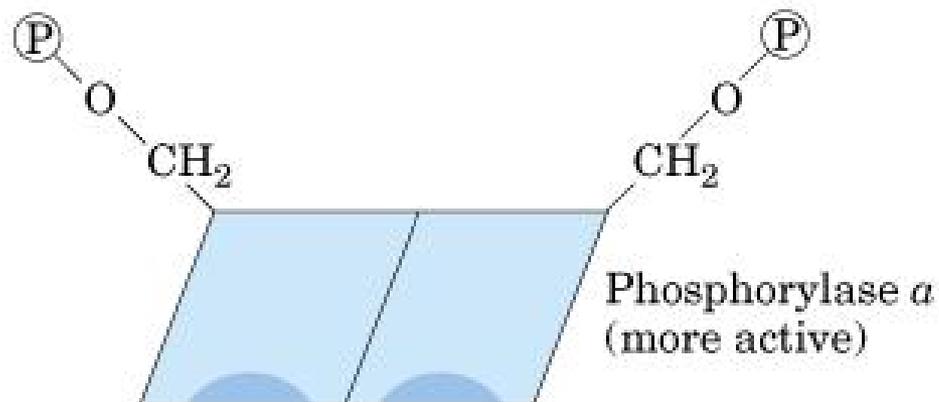
磷酸化酶磷酸酶

phosphorylase  
phosphatase



磷酸化酶激酶

phosphorylase  
kinase

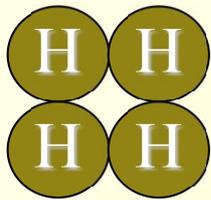


## (四) 同工酶(isoenzyme)

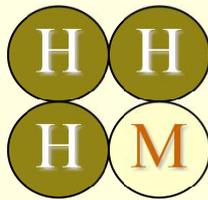
- **同工酶定义:**

是指催化相同的化学反应，而酶蛋白的分子结构、理化性质乃至免疫学性质不同的一组酶。

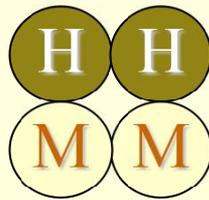
- 举例：乳酸脱氢酶(LDH<sub>1</sub> ~ LDH<sub>5</sub>)



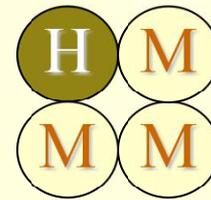
**LDH<sub>1</sub>**  
**(H<sub>4</sub>)**



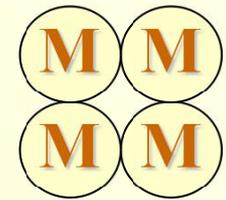
**LDH<sub>2</sub>**  
**(H<sub>3</sub>M)**



**LDH<sub>3</sub>**  
**(H<sub>2</sub>M<sub>2</sub>)**



**LDH<sub>4</sub>**  
**(HM<sub>3</sub>)**



**LDH<sub>5</sub>**  
**(M<sub>4</sub>)**

乳酸脱氢酶的同工酶

LDH同工酶有组织特异性，LDH<sub>1</sub>（H<sub>4</sub>）在心肌含量高，而LDH<sub>5</sub>（M<sub>4</sub>）在肝脏、骨骼肌含量高。因此，LDH同工酶的相对含量的改变在一定程度上反映了某器官的功能状态，临床上利用这些同工酶在血清中的相对含量的改变作为某脏器病变鉴别诊断的依据。

例如心、肝病变将引起血清LDH同工酶酶谱的变化。

心脏疾病LDH<sub>1</sub>（H<sub>4</sub>）、LDH<sub>2</sub>（H<sub>3</sub>M）上升；急性肝炎LDH<sub>5</sub>（M<sub>4</sub>）明显升高，随病情好转而逐渐恢复正常。

同工酶存在于生物的同一种属或同一个体的不同组织、甚至同一组织或细胞中。

同工酶是研究代谢调节、分子遗传、生物进化、个体发育、细胞分化和癌变的有力工具，在酶学、生物学、和医学中均占有重要地位。