

# พลังงานในสิ่งมีชีวิต และเอนไซม์

## (Introduction to metabolism and enzyme)

ผู้สอน  
ผศ.ดร.รัชพล พะวงศ์รัตน์

### ปฏิกิริยาเคมีในสิ่งมีชีวิต

- Metabolism คือปฏิกิริยาเคมีในสิ่งมีชีวิต โดยมีเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. Anabolism คือ การสังเคราะห์สาร โดยใช้พลังงานภายในเซลล์ (ได้จากปฏิกิริยา catabolism) จึงเป็นปฏิกิริยาดูดพลังงาน

2. Catabolism คือ การสลายสาร จัดเป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน

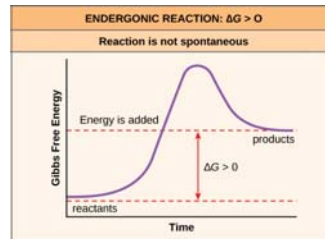
The diagram illustrates the metabolic process within a cell. It starts with 'Organic Food' entering the cell through 'Digestion, absorption and assimilation' to become 'Organic Compounds (in cells)'. From there, two pathways emerge: 'Anabolism (requires energy)' which leads to 'More complex organic compounds', and 'Catabolism (releases energy)' which leads to 'Simple compounds (e.g. CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O)'. Explanatory boxes on the right provide examples: 'เช่น การสังเคราะห์โปรตีน การสังเคราะห์ด้วยแสง' for anabolism, and 'เช่น การหายใจระดับเซลล์ จะได้พลังงานในรูปแบบ ATP (adenosine triphosphate)' for catabolism.

❑ เราสามารถวัดอัตรา metabolism ของร่างกายโดยการวัดปริมาณ O<sub>2</sub> ที่ใช้ หรือปริมาณ CO<sub>2</sub> ที่ปล่อยออกมา อันเป็นสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ของการหายใจระดับเซลล์

## พลังงานของปฏิกิริยา ( $\Delta E$ หรือ $\Delta G$ )

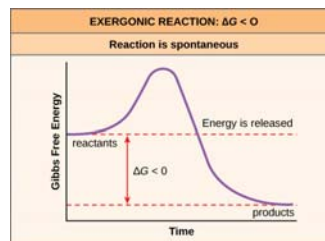
### 1. ปฏิกิริยาดูดพลังงาน (Endergonic reaction)

- สารตั้งต้นดูดพลังงานเข้ามา -> ผลิตภัณฑ์ที่มีพลังงานสูงขึ้น สิ่งแวดล้อมมี Temp ↓
- ค่า  $\Delta E$  เป็นบวก



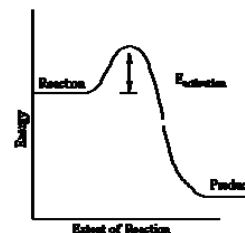
### 2. ปฏิกิริยาคายพลังงาน (Exothermic reaction)

- สารตั้งต้นคายพลังงานออกไป -> ผลิตภัณฑ์ที่มีพลังงานต่ำลง สิ่งแวดล้อมมี Temp ↑
- ค่า  $\Delta E$  เป็นลบ



## พลังงานกระตุ้น (activation energy: $E_a$ )

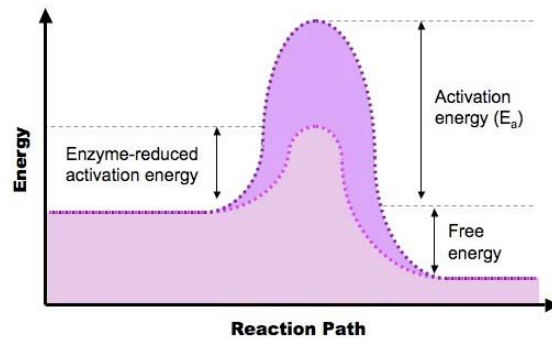
- หรือ พลังงานก่อกัมมันต์ คือพลังงานที่น้อยที่สุดที่สารตั้งต้นต้องมีเพื่อที่จะเปลี่ยนเป็นสารผลิตภัณฑ์
- $E_a$  น้อย -> ปฏิกิริยาเกิดเร็ว
- $E_a$  มาก -> ปฏิกิริยาเกิดช้า
- ค่า  $E_a$  ของแต่ละปฏิกิริยาจะไม่คงที่ อาจจะลดลงถ้ามีตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) หรือเพิ่มขึ้น ถ้ามีตัวยับยั้ง (inhibitor)



## เอนไซม์ (Enzyme)

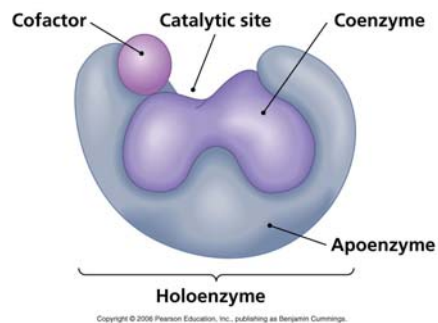
สารเคมีจำพวกโปรตีนที่เซลล์ผลิตขึ้นเพื่อทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเคมี (Catalyze) ให้เกิดเร็วขึ้น โดยการลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา (activation energy;  $E_a$ )

Reaction Pathway of a Typical Exergonic /Exothermic Reaction



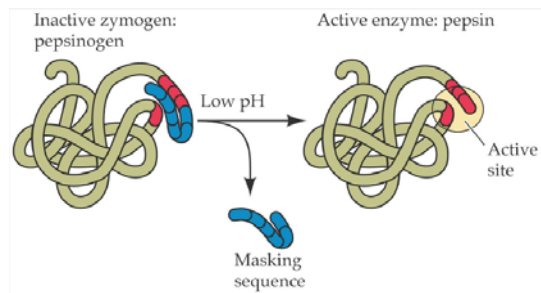
## โครงสร้างและการทำงานของเอนไซม์

- simple enzymes
- conjugated enzymes หรือ Apoenzyme (ส่วนที่ไม่ใช่โปรตีน)
  1. Cofactor เป็นสารอนินทรีย์ เช่น iron, magnesium or zinc
  2. Coenzyme เป็นสารอินทรีย์ พกวิตามิน เช่น  $NAD^+$ ,  $NADP^+$ , FAD



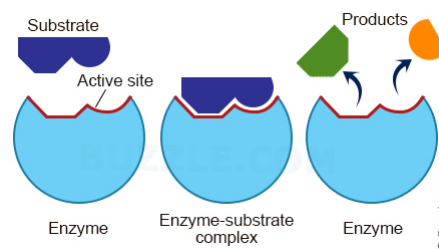
## Activation of Enzymes

Zymogens are inactive enzyme precursors that need to be cleaved in order to assume an active form (e.g. pepsinogen is converted into pepsin)



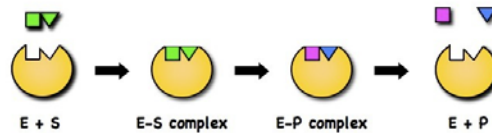
## การทำงานของเอนไซม์

- โมเลกุลที่เข้าเกาะกับเอนไซม์เพื่อให้เกิดการคะตะไลซ์ เรียกว่า ซับสเตรท (substrate)
- ที่ผิวของเอนไซม์ตำแหน่งที่ซับสเตรทเข้าเกาะเพื่อให้เกิดการคะตะไลซ์ เรียกว่า แอคทีฟไซต์ (active site) ทำให้เกิดสารประกอบที่เรียกว่า เอนไซม์-ซับสเตรท

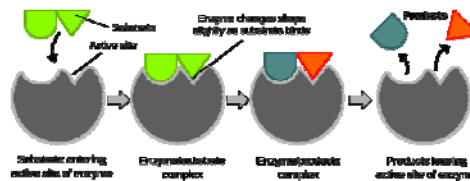


## ทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับซับสเตรท

1. ทฤษฎีแม่กุญแจและลูกกุญแจ (Lock and Key theory) การที่ซับสเตรทจะเข้ารวมกับ active site ของเอนไซม์ได้นั้น จะต้องมีการสร้างที่สวมพอดีกันเปรียบเสมือนแม่กุญแจกับลูกกุญแจ



2. ทฤษฎีเหนี่ยวนำให้พอดี (Induced fit theory) ซับสเตรทจะไปเหนี่ยวนำ active site ของเอนไซม์ให้เปลี่ยนเข้ากับซับสเตรทได้พอดี



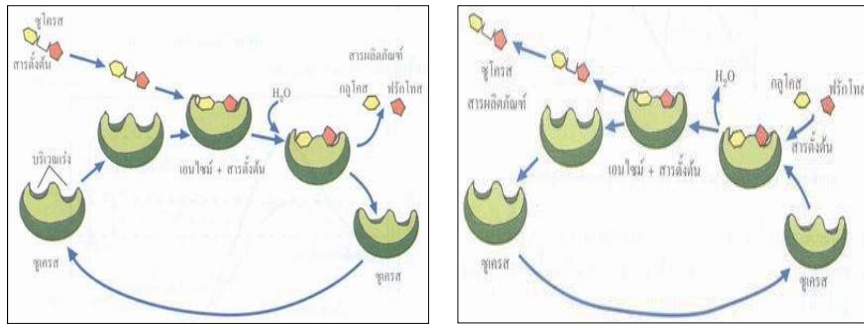
9

## คุณสมบัติในการเป็นตัวเร่งของเอนไซม์

- เอนไซม์เป็นสารที่ทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น  $10^8$ - $10^{20}$  เท่า เมื่อเทียบกับปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์เร่ง และ
- เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุด เอนไซม์ก็สามารถทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยานั้นๆ ได้อีก
- เอนไซม์สามารถเร่งปฏิกิริยาเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อย
- เอนไซม์มีความจำเพาะ (specificity) กับสารที่เป็นซับสเตรท (substrate specificity)
- เอนไซม์สามารถเร่งปฏิกิริยาได้โดยไม่ต้องใช้อุณหภูมิและความดันสูง

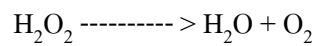
10

- เมื่อปฏิกิริยาลีนสุดเอนไซม์ก็สามารถทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยานั้นๆ ได้อีก



- เอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาชีวเคมีในการสลายตัวของ  $H_2O_2$  คือ เอนไซม์คะตะเลส (catalase)

Catalase



- สารเคมีที่สามารถทำให้ปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่งหยุดชะงักลงเรียกว่าตัวยับยั้งเอนไซม์ (Inhibitor) ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายซับสเตรท จะเข้าจับเอนไซม์ที่ที่แอกทีฟไซต์ ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถจับกับซับสเตรทได้ ปฏิกิริยาจึงหยุดชะงักลง

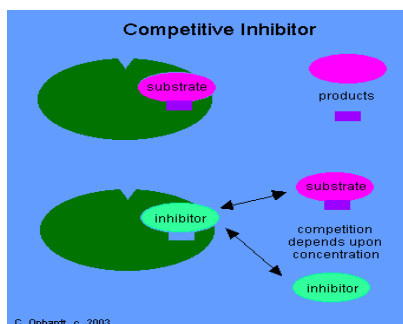
## อัตราการทำงานของเอนไซม์

1. ความเข้มข้นของ substrate และความเข้มข้นของ enzyme
2. อุณหภูมิ
3. ความเป็นกรด-เบส (pH)
4. ตัวยับยั้งเอนไซม์ (enzyme inhibitors)
  - ตัวยับยั้งแบบแข่งขัน (competitive inhibitors)
  - ตัวยับยั้งแบบไม่แข่งขัน (non-competitive inhibitors)
  - ตัวยับยั้งแบบจับกับเอนไซม์ที่ไซต์อื่น (uncompetitive inhibitors)

13

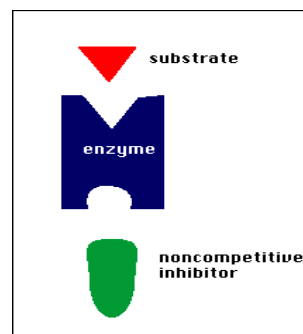
### Competitive inhibitors

- ตัวยับยั้งเอนไซม์เข้าจับกับ active site ทำให้ซับสเตรทไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ได้



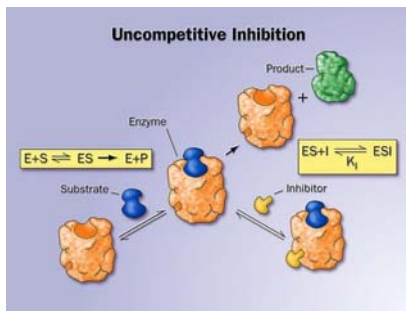
### Non-competitive inhibitors

- หรือ allosteric inhibition ตัวยับยั้งเอนไซม์เข้าจับกับบริเวณใดก็ได้แล้วมีผลทำให้ Active site เปลี่ยนแปลง ทำให้ซับสเตรทไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้

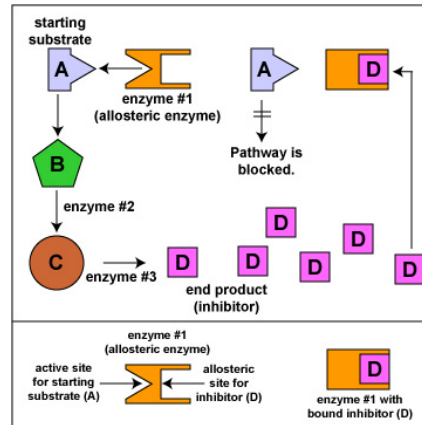


### Uncompetitive inhibitors

- ตัวยับยั้งเอนไซม์เข้าจับกับสารเชิงซ้อนของ เอนไซม์-ซับสเตรท (ES-complex) เกิดเป็น เอนไซม์-ซับสเตรท-ตัวยับยั้ง (ESI-complex) ทำให้ปฏิกิริยาเกิดไม่ได้

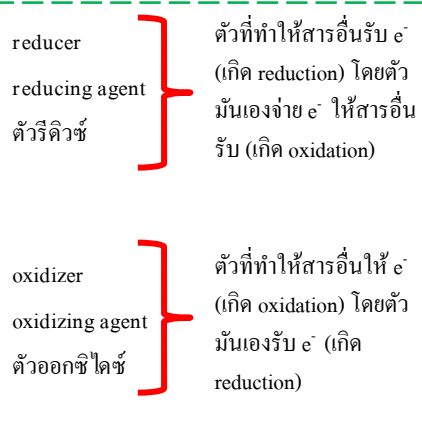


### End-product inhibition / feed back inhibition



## ปฏิกิริยารีดอกซ์และการสร้างสารพลังงานสูงของเซลล์

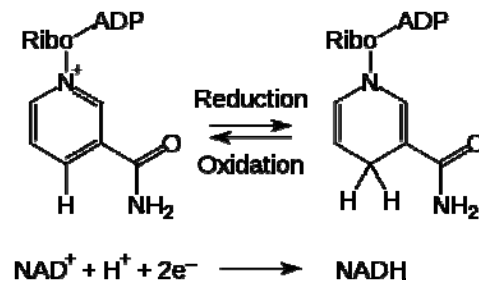
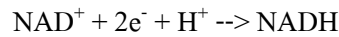
- ปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction) คือปฏิกิริยาที่มีการถ่ายโอน  $e^-$  จากสารหนึ่งไปยังอีกสารหนึ่ง ทำให้เลขออกซิเดชันของสารเปลี่ยนแปลงเสมอ
  - **Oxidation** คือ ปฏิกิริยาที่มีการจ่าย  $e^-$  (สารตั้งต้นถูกออกซิไดซ์, มีเลขออกซิเดชันลดลง) เช่น  $Na \rightarrow Na^+ + e^-$
  - **Reduction** คือ ปฏิกิริยาที่มีการรับ  $e^-$  (สารตั้งต้นถูกรีดิวซ์, มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น) เช่น  $Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$
- เมื่อนำปฏิกิริยาทั้งสองรวมกันจะได้ปฏิกิริยารีดอกซ์  $2Na + Cl_2 \rightarrow 2NaCl$



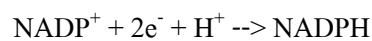


## NAD<sup>+</sup>, NADP<sup>+</sup>, FAD

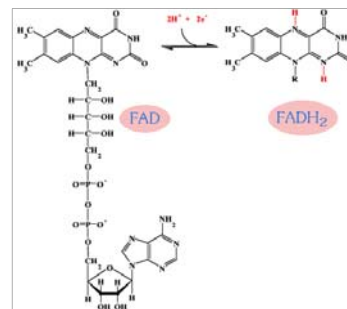
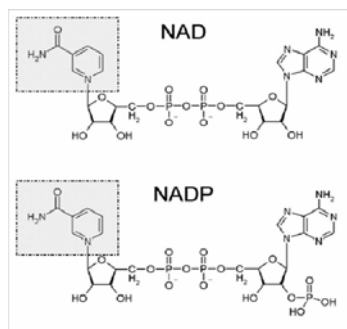
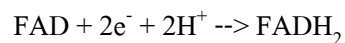
1. NAD<sup>+</sup> (nicotinamide adenine dinucleotide) มีวิตามิน niacin เป็นองค์ประกอบสำคัญ พบในการหายใจระดับเซลล์ รับ e<sup>-</sup> ดังสมการ



2. NADP<sup>+</sup> (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate) มีวิตามิน niacin เป็นองค์ประกอบสำคัญ พบในการสังเคราะห์แสง รับ e<sup>-</sup> ดังสมการ



3. FAD (flavin adenine dinucleotide) มีวิตามินบี 2 (riboflavin) เป็นองค์ประกอบสำคัญ พบในการหายใจระดับเซลล์ รับ e<sup>-</sup> สมการ

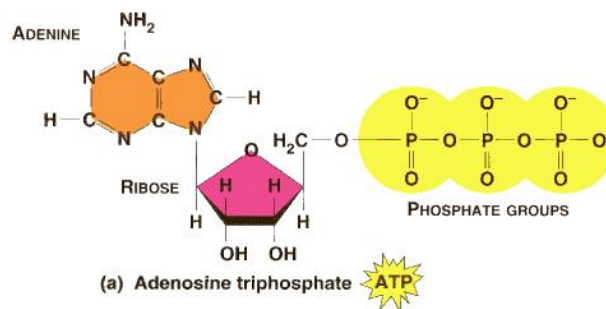


## การสร้างสารพลังงานสูง ATP

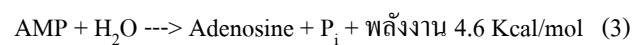
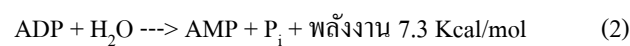
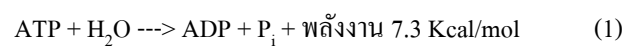
เป็นการเติมหมู่ฟอสเฟตให้กับ ADP เรียกว่า phosphorylation

1. Substrate-level phosphorylation
2. Oxidative phosphorylation
3. photophosphorylation

❖ ATP เก็บพลังงานใน  
พันธะพลังงานสูง 2 พันธะ  
ส่วนตัวรับ  $e^-$  เก็บพลังงานใน  
 $e^-$  พลังงานสูง 2 อนุภาค



- ATP เป็นอนุพันธ์ของ nucleotide เพราะ 1 โมเลกุลประกอบด้วย เบส adenine น้ำตาล ribose (เรียกรวมกันว่า adenosine) และหมู่ฟอสเฟต 3 หมู่



## เอกสารอ้างอิง

โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ (สอวน). ชีววิทยา 2,  
กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549, 61 หน้า

<http://coursewares.mju.ac.th/bi100/powerpoint-2/presentation PS.>

[http://web.agri.cmu.ac.th/hort/course/359311/PPHY4\\_phot](http://web.agri.cmu.ac.th/hort/course/359311/PPHY4_phot)

[osyn.htm#process http://www.bs.ac.th/lab2000/web\\_bio/sun.htm -](http://www.bs.ac.th/lab2000/web_bio/sun.htm)  
15k <http://www.science.cmru.ac.th/biology/from/Photo.ppt>