

พลังงานในสิ่งมีชีวิต และเอนไซม์

(Introduction to metabolism and enzyme)

ผู้สอน
อ.ดร.รัชพล พะวงศ์รัตน์

ปฏิกิริยาเคมีในสิ่งมีชีวิต

- Metabolism คือปฏิกิริยาเคมีในสิ่งมีชีวิต โดยมีเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. Anabolism คือ การสังเคราะห์สาร โดยใช้พลังงานภายในเซลล์ (ได้จากปฏิกิริยา catabolism) จึงเป็นปฏิกิริยาดูดพลังงาน

2. Catabolism คือ การสลายสาร จัดเป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน

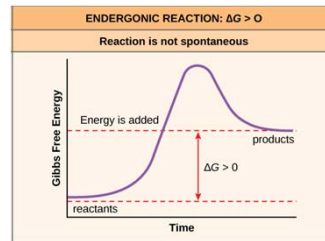
The diagram illustrates the metabolic process within a cell. It starts with 'Organic Food' entering the cell through 'Digestion, absorption and assimilation' to become 'Organic Compounds (in cells)'. From there, two pathways emerge: 'Anabolism (requires energy)' which leads to 'More complex organic compounds', and 'Catabolism (releases energy)' which leads to 'Simple compounds (e.g. CO₂ and H₂O)'. Explanatory boxes on the right provide examples: 'เช่น การสังเคราะห์โปรตีน การสังเคราะห์ด้วยแสง' for anabolism, and 'เช่น การหายใจระดับเซลล์ จะได้พลังงานในรูปแบบ ATP (adenosine triphosphate)' for catabolism.

❑ เราสามารถวัดอัตรา metabolism ของร่างกายโดยการวัดปริมาณ O₂ ที่ใช้ หรือปริมาณ CO₂ ที่ปล่อยออกมา อันเป็นสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ของการหายใจระดับเซลล์

พลังงานของปฏิกิริยา (ΔE หรือ ΔG)

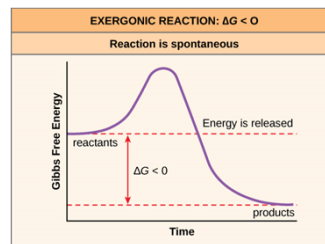
1. ปฏิกิริยาดูดพลังงาน (Endergonic reaction)

- สารตั้งต้นดูดพลังงานเข้ามา -> ผลิตภัณฑ์ที่มีพลังงานสูงขึ้น สิ่งแวดล้อมมี Temp ↓
- ค่า ΔE เป็นบวก



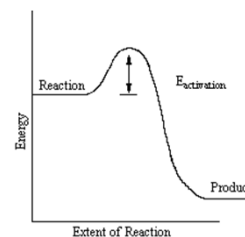
2. ปฏิกิริยาคายพลังงาน (Exothermic reaction)

- สารตั้งต้นคายพลังงานออกไป -> ผลิตภัณฑ์ที่มีพลังงานต่ำลง สิ่งแวดล้อมมี Temp ↑
- ค่า ΔE เป็นลบ



พลังงานกระตุ้น (activation energy: E_a)

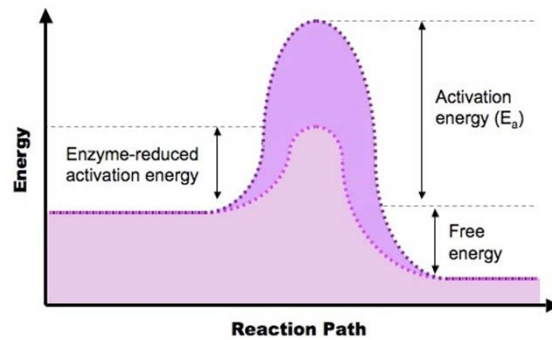
- หรือ พลังงานก่อกัมมันต์ คือพลังงานที่น้อยที่สุดที่สารตั้งต้นต้องมีเพื่อที่จะเปลี่ยนเป็นสารผลิตภัณฑ์
- E_a น้อย -> ปฏิกิริยาเกิดเร็ว
- E_a มาก -> ปฏิกิริยาเกิดช้า
- ค่า E_a ของแต่ละปฏิกิริยาจะไม่คงที่ อาจจะลดลงถ้ามีตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) หรือเพิ่มขึ้น ถ้ามีตัวยับยั้ง (inhibitor)



เอนไซม์ (Enzyme)

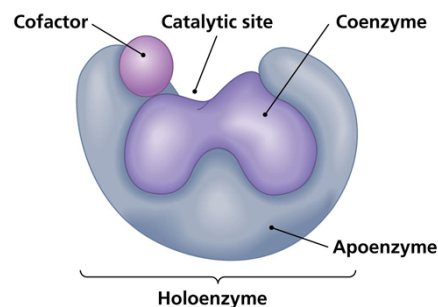
สารเคมีจำพวกโปรตีนที่เซลล์ผลิตขึ้นเพื่อทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเคมี (Catalyze) ให้เกิดเร็วขึ้น โดยการลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา (activation energy; E_a)

Reaction Pathway of a Typical Exergonic /Exothermic Reaction



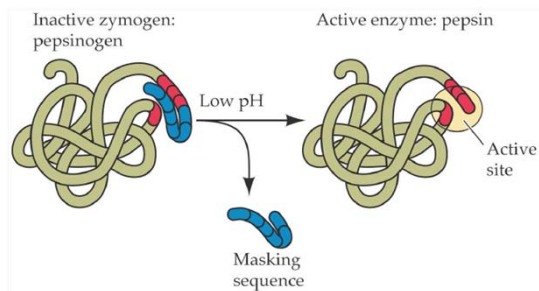
โครงสร้างและการทำงานของเอนไซม์

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



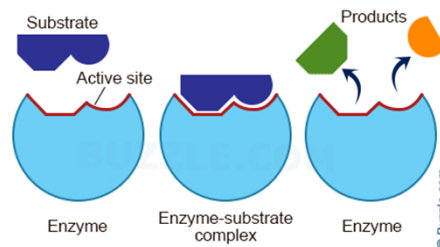
Activation of Enzymes

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



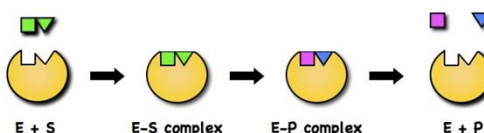
การทำงานของเอนไซม์

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

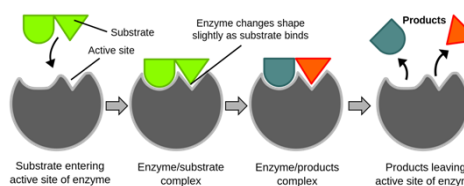


ทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับซับสเตรท

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



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



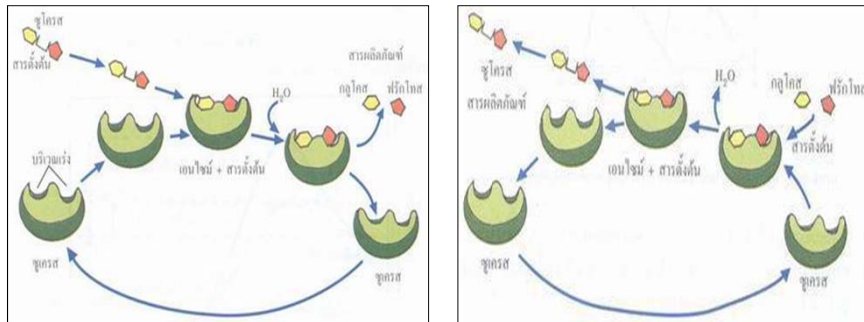
9

คุณสมบัติในการเป็นตัวเร่งของเอนไซม์

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

10

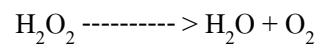
- เมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุดเอนไซม์ก็สามารถทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยานั้นๆ ได้อีก



11

- เอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาชีวเคมีในการสลายตัวของ H_2O_2 คือ เอนไซม์คะตะเลส (catalase)

Catalase



- สารเคมีที่สามารถทำให้ปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่งหยุดชะงักลงเรียกว่า ตัวยับยั้งเอนไซม์ (Inhibitor) ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายซับสเตรท จะเข้าจับเอนไซม์ที่ที่แอกทีฟไซต์ ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถจับกับซับสเตรทได้ ปฏิกิริยาจึงหยุดชะงักลง

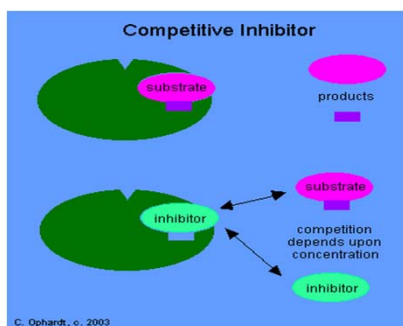
อัตราการทำงานของเอนไซม์

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

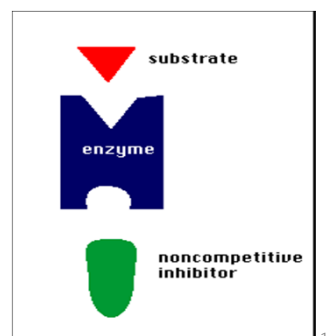
Competitive inhibitors

- ตัวยับยั้งเอนไซม์เข้าจับกับ active site ทำให้ซับสเตรทไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ได้



Non-competitive inhibitors

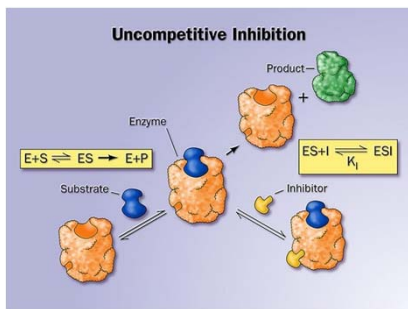
- หรือ allosteric inhibition ตัวยับยั้งเอนไซม์เข้าจับกับบริเวณใดก็ได้แล้วมีผลทำให้ Active site เปลี่ยนแปลงทำให้ซับสเตรทไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้



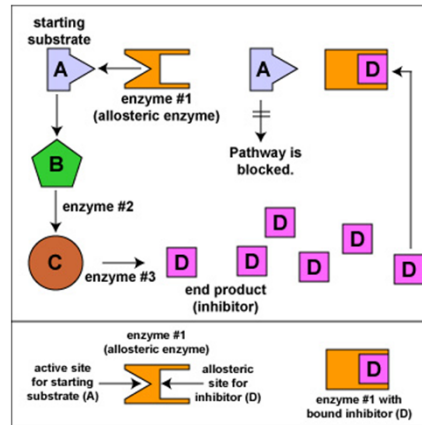
14

Uncompetitive inhibitors

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



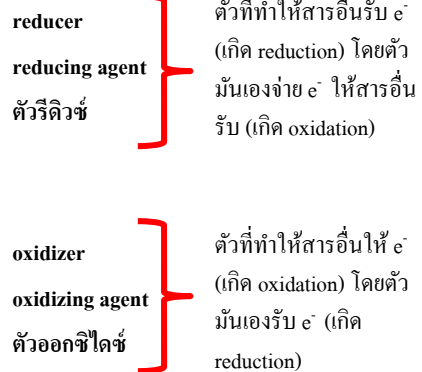
End-product inhibition / feed back inhibition



15

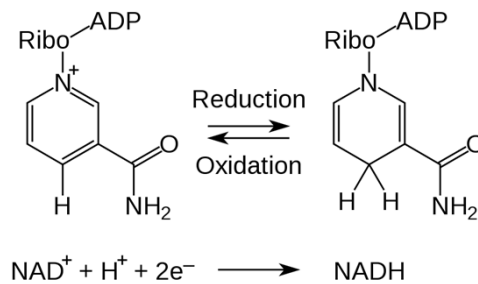
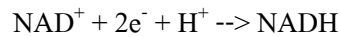
ปฏิกิริยารีดอกซ์และการสร้างสารพลังงานสูงของเซลล์

- 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 $2Na + Cl_2 \rightarrow 2NaCl$

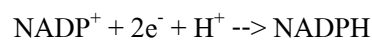


NAD⁺, NADP⁺, FAD

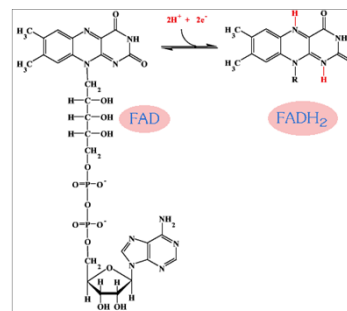
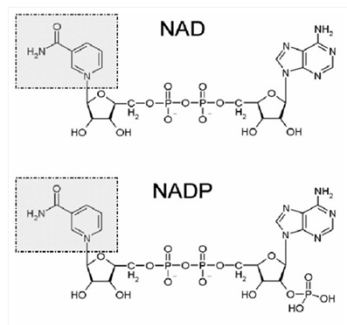
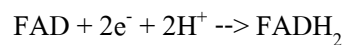
1. NAD⁺ (nicotinamide adenine dinucleotide) มีวิตามิน niacin เป็นองค์ประกอบสำคัญ พบในการหายใจระดับเซลล์ รับ e⁻ ดังสมการ



2. NADP⁺ (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate) มีวิตามิน niacin เป็นองค์ประกอบสำคัญ พบในการสังเคราะห์แสง รับ e⁻ ดังสมการ



3. FAD (flavin adenine dinucleotide) มีวิตามินบี 2 (riboflavin) เป็นองค์ประกอบสำคัญ พบในการหายใจระดับเซลล์ รับ e⁻ สมการ

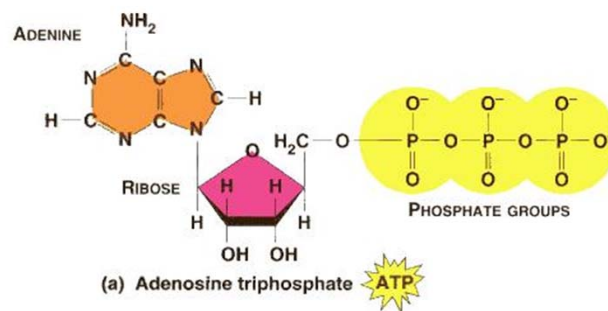


การสร้างสารพลังงานสูง ATP

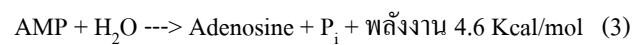
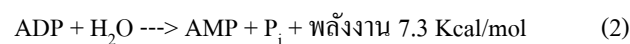
เป็นการเติมหมู่ฟอสเฟตให้กับ ADP เรียกว่า **phosphorylation**

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://coursewares.mju.ac.th/bi100/powerpoint-2/presentation PS.)

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>