

01402313

Biochemistry II

2nd Semester 2021

Website

- เพจเฟซบุ๊ก envibiochemkps
- biosciencekps/01402313

Digestive Enzymes I

- Digestive enzymes เอนไซม์ย่อยอาหาร
- Most dietary nutrients come in the form of large polymeric structures สารอาหารเป็นสารโมเลกุลใหญ่
- Cannot be absorbed in the intact state
- They have to be hydrolyzed by enzymes in the gastrointestinal (GI) tract
- The breakdown products : monosaccharides, amino acids, fatty acids are absorbed

Saliva contains α -amylase and lysozyme

- Main function of saliva is not the digestion of nutrients but the conversion of food into a homogeneous mass. น้ำลายทำให้อาหารเป็นเนื้อเดียวกัน
- α -amylase cleaves α -1,4-glycosidic bonds in starch.
- Starch occurs in two forms. Amylose is a linear polymer of glucose, linked by α -1,4-glycosidic bonds. Amylopectin is a branched molecule with α -1,6-glycosidic bonds at the branch points.

α -amylase

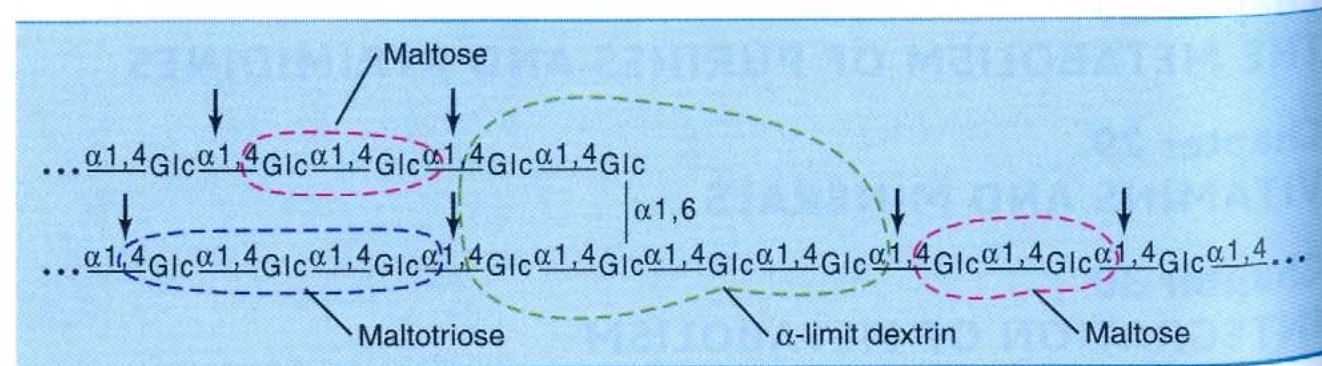
- α -amylase does not act on disaccharides and trisaccharides, and it does not cleave α -1,6 bonds. อะไมเลสไม่ตัดไดแซคคาไรด์ และไตรแซคคาไรด์
- Therefore it produces maltose, maltotriose, and α -limit dextrins rather than free glucose. ตัดแล้วไม่ได้กลูโคสอิสระ
- α -limit dextrins are oligosaccharides containing an α -1,6-glycosidic bond.

Table 19.1 Dietary Nutrients and Their Fates in the Gastrointestinal Tract

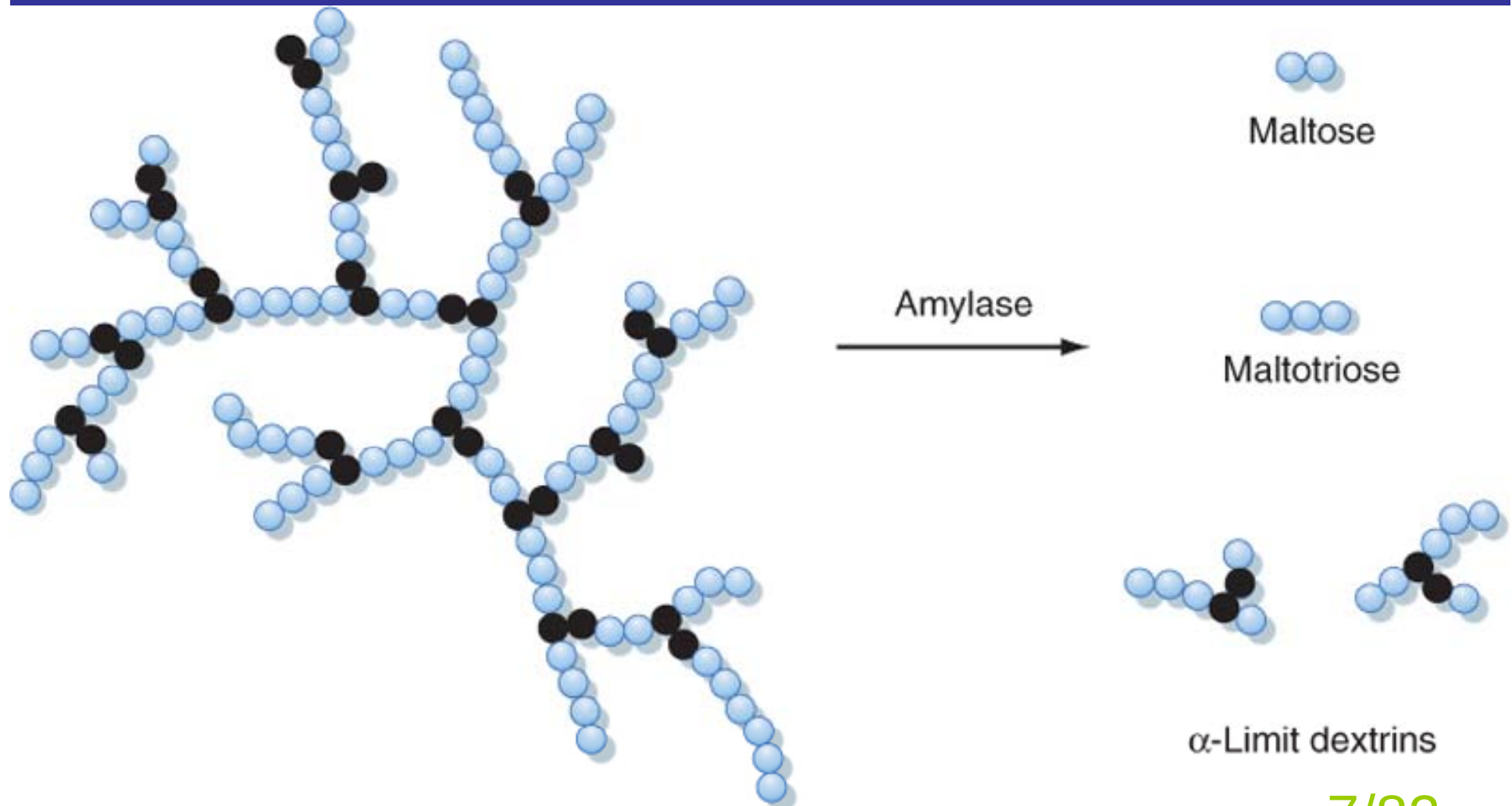
Nutrient	Products Generated	Enzymes	Sites of Digestion
Starch, glycogen	Glucose	α -Amylase, disaccharidases, oligosaccharidases	Saliva, intestinal lumen, brush border
Maltose	Glucose	Glucoamylase, sucrase } Sucrase Lactase	Brush border
Sucrose	Glucose + fructose		
Lactose	Glucose + galactose		
Proteins	Amino acids, dipeptides, tripeptides	Pepsin, pancreatic enzymes, brush border enzymes	Stomach, intestinal lumen, brush border
Triglycerides	Fatty acids, 2-monoacylglycerol	Pancreatic lipase	Intestinal lumen
Nucleic acids	Nucleosides, bases	DNases, RNases	Intestinal lumen
"Fiber": cellulose, lignin, hemicelluloses	Acetate, propionate, lactate, H_2 , CH_4 , CO_2		Only very limited fermentation by colon bacteria

DNase, Deoxyribonuclease; RNase, ribonuclease.

Figure 19.1 Pattern of starch digestion by α -amylase. This enzyme acts strictly as an endoglycosidase. It is unable to cleave the bonds in maltose, maltotriose, and the α -limit dextrins. Arrows indicate cleavage sites.

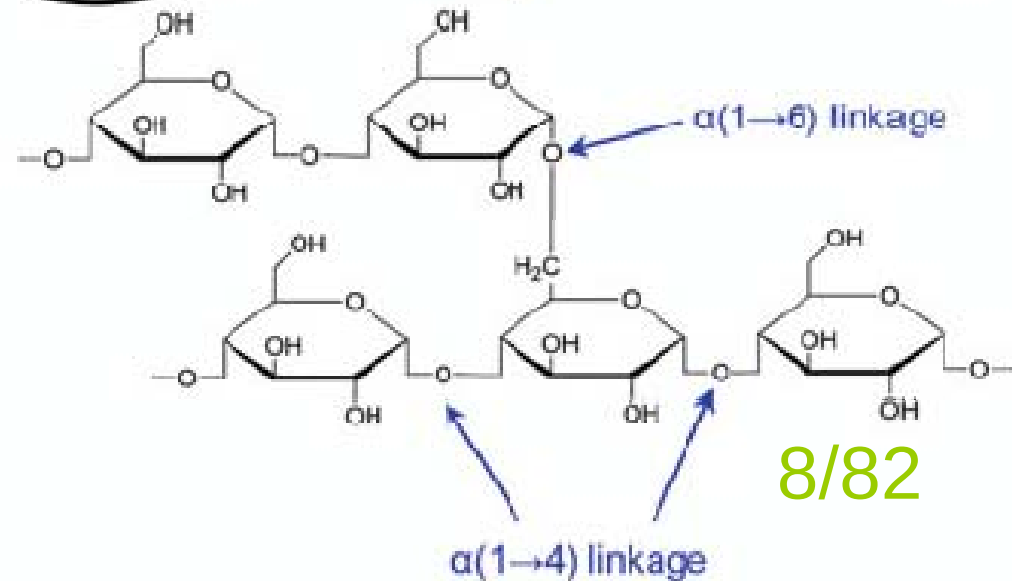
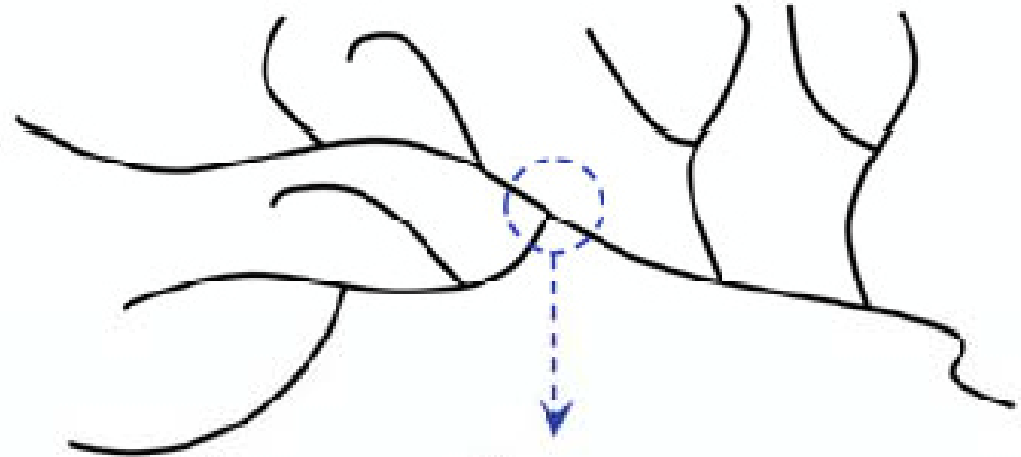
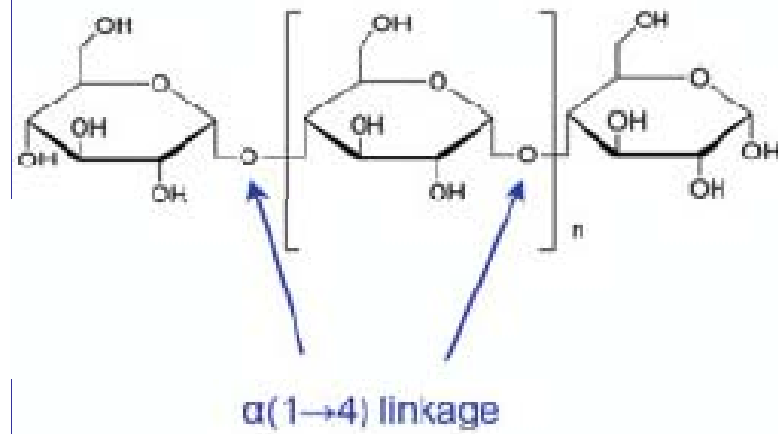
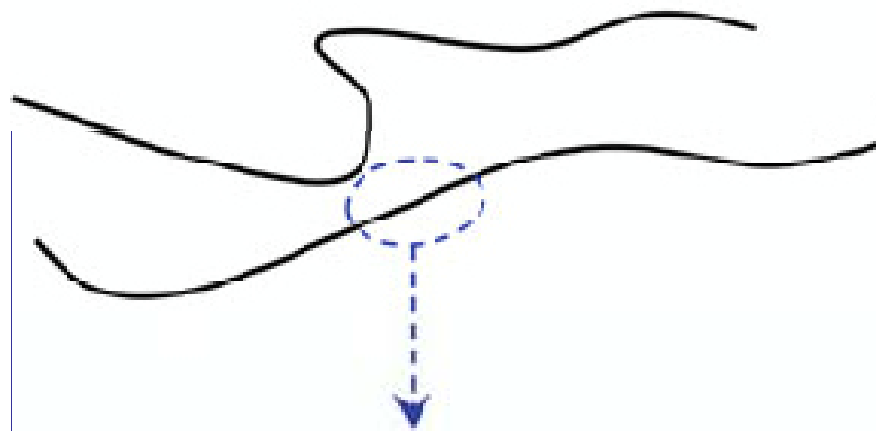


การย่อยแป้งด้วยอะไมเลส



Amylose

Amylopectin



Salivary α -amylase

- Active at the normal salivary pH of 6.5 to 7.0 but is rapidly denatured in the acidic environment of the stomach. แอคทีฟที่ pH ในน้ำลาย แต่เสียสภาพในกระเพาะ
- Its main function is to keep the teeth clean by dissolving starchy bits of food that remain lodged between the teeth after a meal. ฟันสะอาด
- Cancer patients whose salivary glands have been destroyed by radiation therapy develop rapid tooth decay. ผู้ป่วยมะเร็ง ต่อมน้ำลายถูกทำลาย ฟันผุ

Lysozyme

- Hydrolyzes β -1,4-glycosidic bonds in the bacterial cell wall polysaccharide peptidoglycan. ย่อยผนังเซลล์แบคทีเรีย
- Lysozyme kills some types of bacteria. However, other bacteria are resistant because their peptidoglycan is protected from the enzyme by other cell wall components. แบคทีเรียบางชนิดไม่โดนย่อย เพราะมีองค์ประกอบของผนังเซลล์อย่างอื่นปกป้องไว้

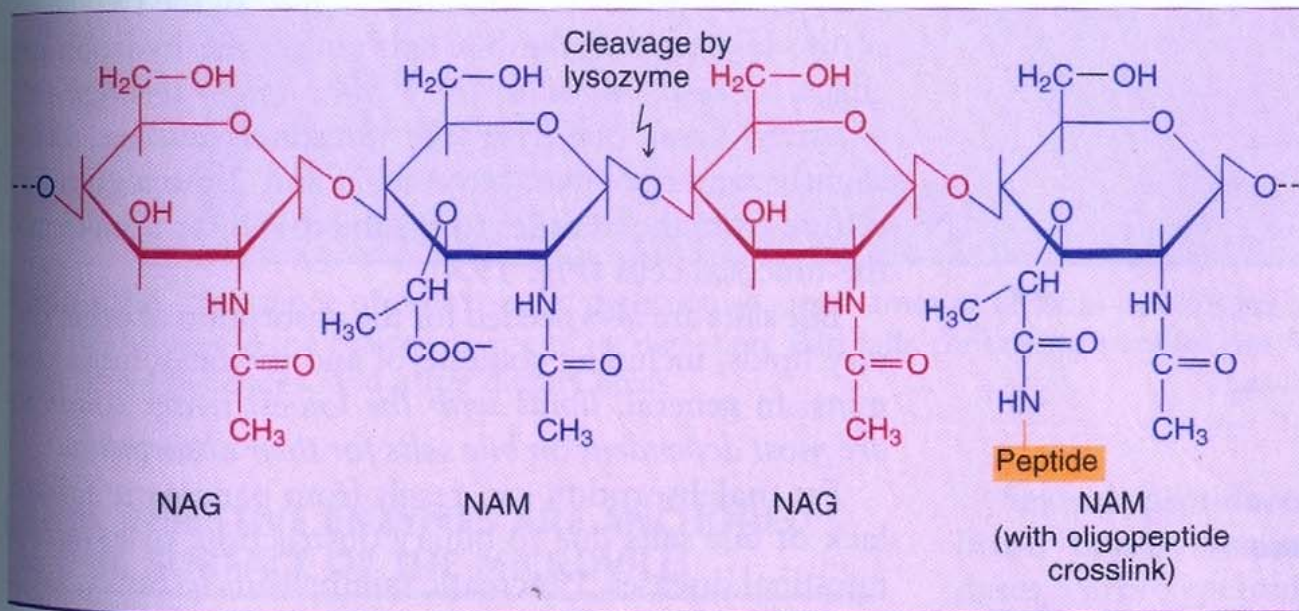
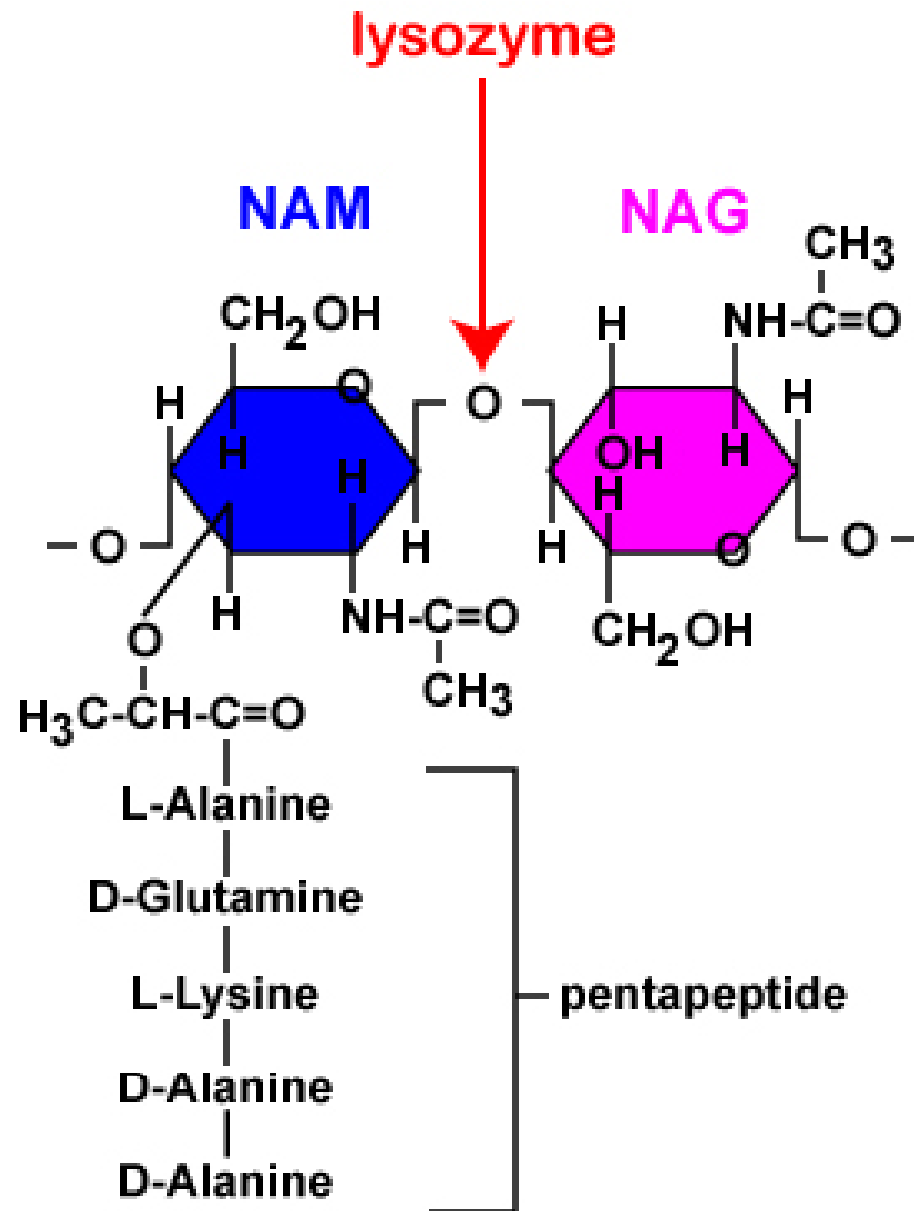


Figure 19.2 Structure of peptidoglycan, the substrate of lysozyme. NAG, N-acetylglucosamine; NAM, N-acetylmuramic acid.

Table 19.2 Enzymes of Protein Digestion

Enzyme	Source	Type	Catalytic Mechanism	Cleavage Specificity
Pepsin	Stomach	Endopeptidase	Carboxyl protease	NH side of hydrophobic amino acids
Trypsin	Pancreas	Endopeptidase	Serine protease	CO side of basic amino acids
Chymotrypsin	Pancreas	Endopeptidase	Serine protease	CO side of hydrophobic amino acids
Elastase	Pancreas	Endopeptidase	Serine protease	CO side of small amino acids
Carboxypeptidase A	Pancreas	Carboxypeptidase	Metalloprotease (Zn^{2+})	Hydrophobic amino acids at C-terminus
Carboxypeptidase B	Pancreas	Carboxypeptidase	Metalloprotease (Zn^{2+})	Basic amino acids at C-terminus

Peptidoglycan Monomer



การย่อย
peptidoglycan
ด้วยไลโซไซม์

- Normal bacterial flora in the mouth are resistant to lysozyme. นอร์มอลฟลอราในปากต้านไลโซไซม์
- However, many bacteria from other ecosystems are killed by lysozyme.
- Animals make use of this effect by licking their wounds. They use their saliva as an antiseptic. สัตว์ใช้น้ำลายเป็นยาฆ่าเชื้อ

Saliva of different dog breeds as antimicrobial agents against microorganisms isolated from wound infections.

Akpomie, O.O.¹, Ukoha, P.², Nwafor, O.E.² and Umukoro, G¹.

นำลายสุนัขพันธุ์ต่าง ๆ เป็นสารต้านจุลินทรีย์ในแผลติดเชื้อ

¹Department of Microbiology, Delta State University, Abraka, **Nigeria**.

²Department of Chemistry, University of Nigeria, Nsukka **Nigeria**.

*Corresponding author

The study investigated the antimicrobial potential of saliva samples from five breeds of dog namely Alsatian, Belgium shepherd, Doberman, crossbreed of Doberman and Alsatian and Local breeds. The antimicrobial properties of the saliva samples were tested on *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Candida albicans* isolated from wounds of patients receiving treatment at the Delta State University, Abraka, Nigeria. The wounds had total bacterial counts that ranged from 1.43×10^6 to 4.7×10^9 CFU/ml. All the breeds' saliva samples contained lysozyme, peroxidase and lactoferrin as antimicrobial constituents. The peroxidase activity was found to be highest at 0.81 ± 0.021 U/ml in Alsatian

Protein and fat digestion

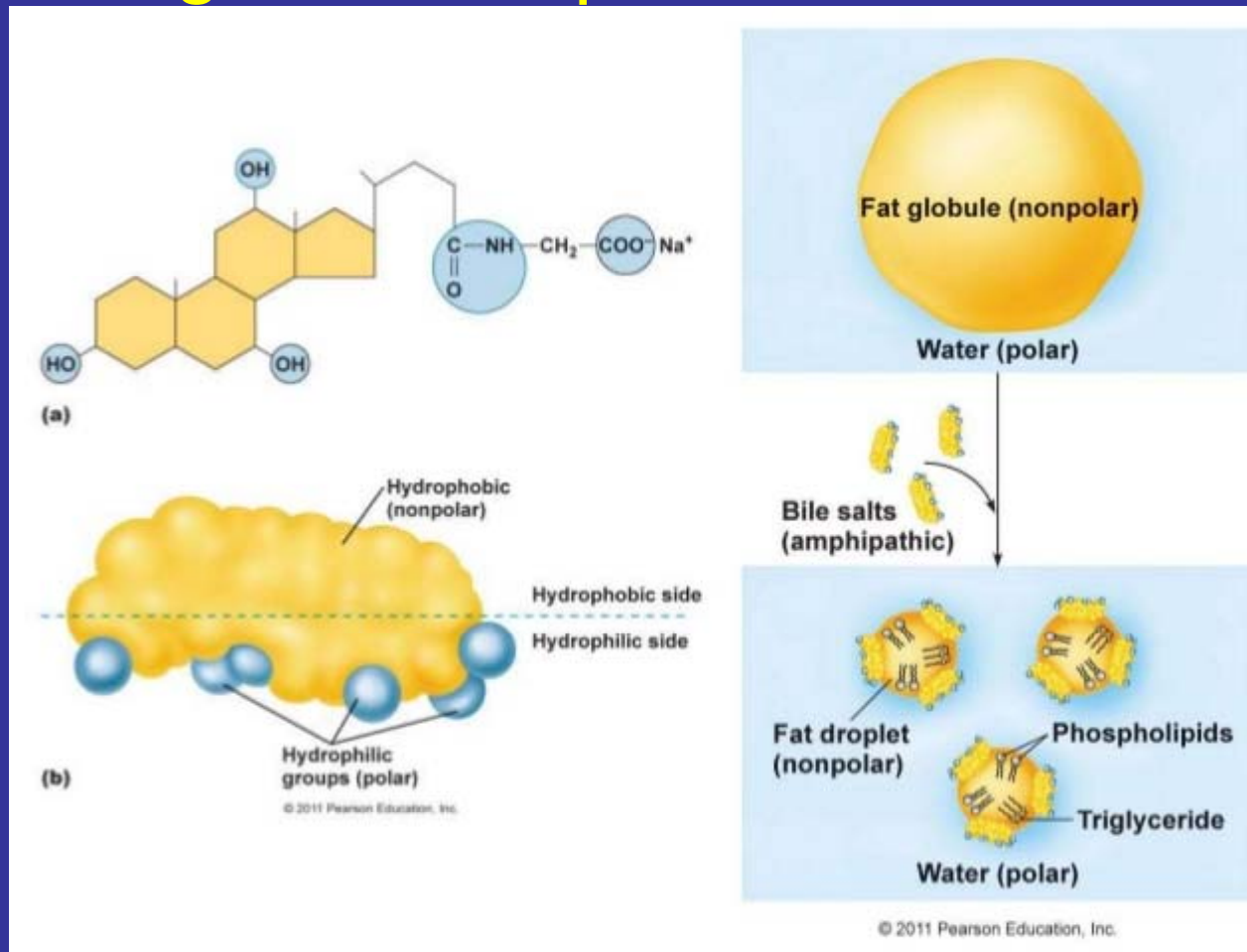
- Start in the stomach เริ่มย่อยในกระเพาะอาหาร
- pH close to 2.0
- The gastric acid has three major functions: (1) It kills most microorganisms (2) It denatures dietary proteins (3) It is required for the action of pepsin. ฆ่าจุลินทรีย์ โปรตีนเสียสภาพ ทำให้เปปซินทำงานได้
- 10-20% of dietary fat is digested by an acid-tolerant gastric lipase. ไลเปสในกระเพาะ ทนกรด ย่อยไขมันได้ 10-20%

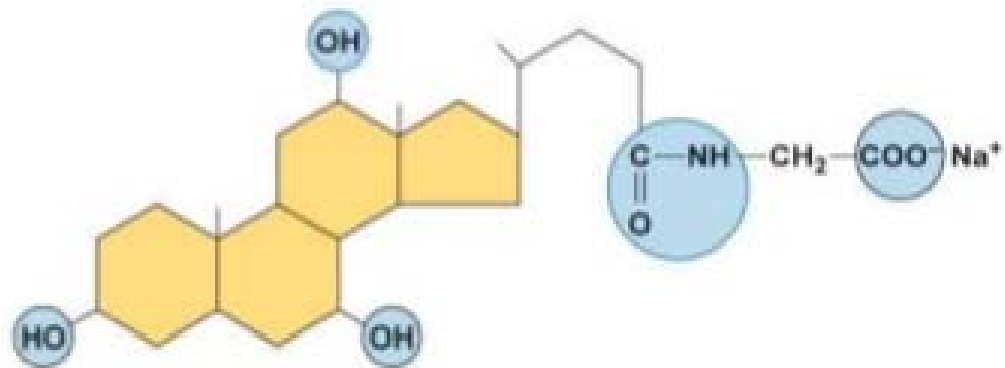
The pancreas

- The pancreas is a factory for digestive enzymes.
- α -amylase is secreted in large amounts.
- This enzyme is different from the salivary α -amylase, which has a slightly different structure and is encoded by a separate gene.
- Closely related enzymes that catalyze the same reaction but differ in molecular structure, physical properties, and reaction kinetics are called isoenzymes.

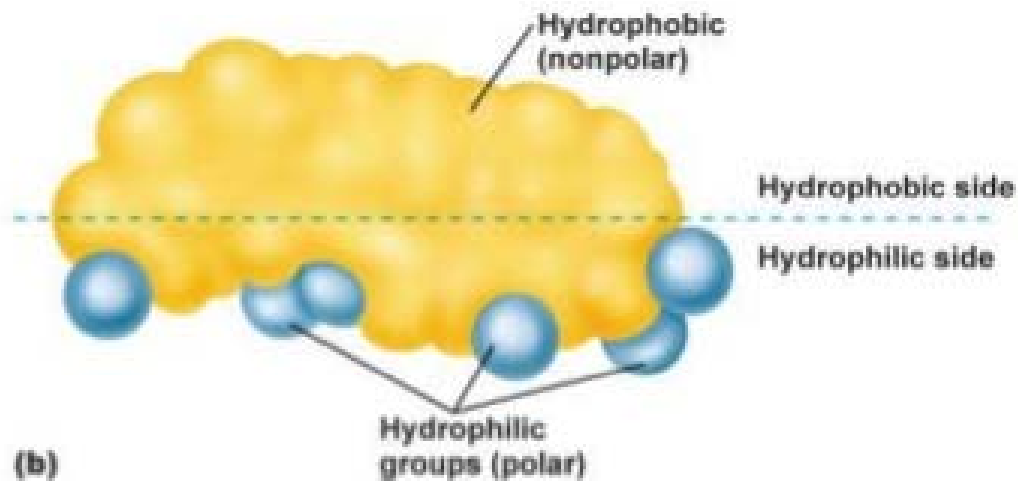
Digestive Enzymes II

- Fat digestion requires “bile salts”



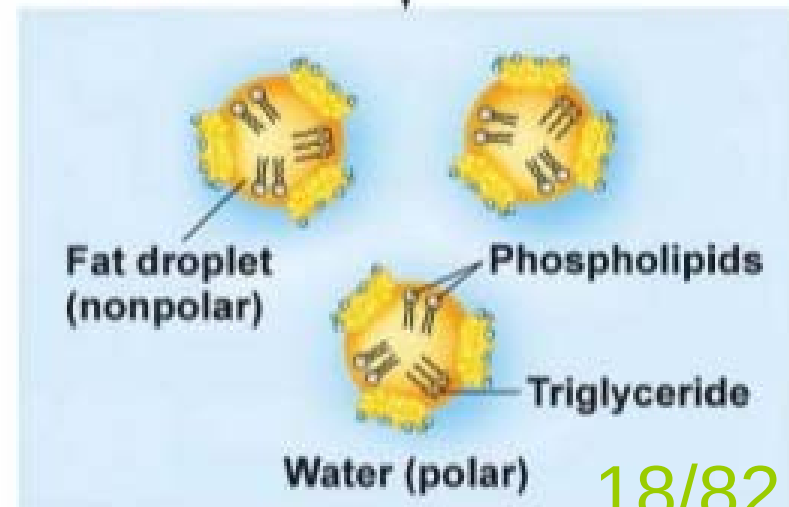
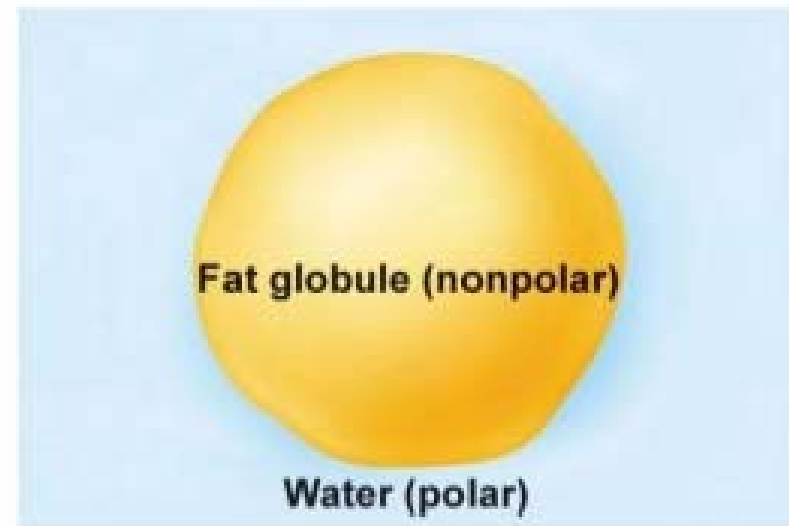


(a)



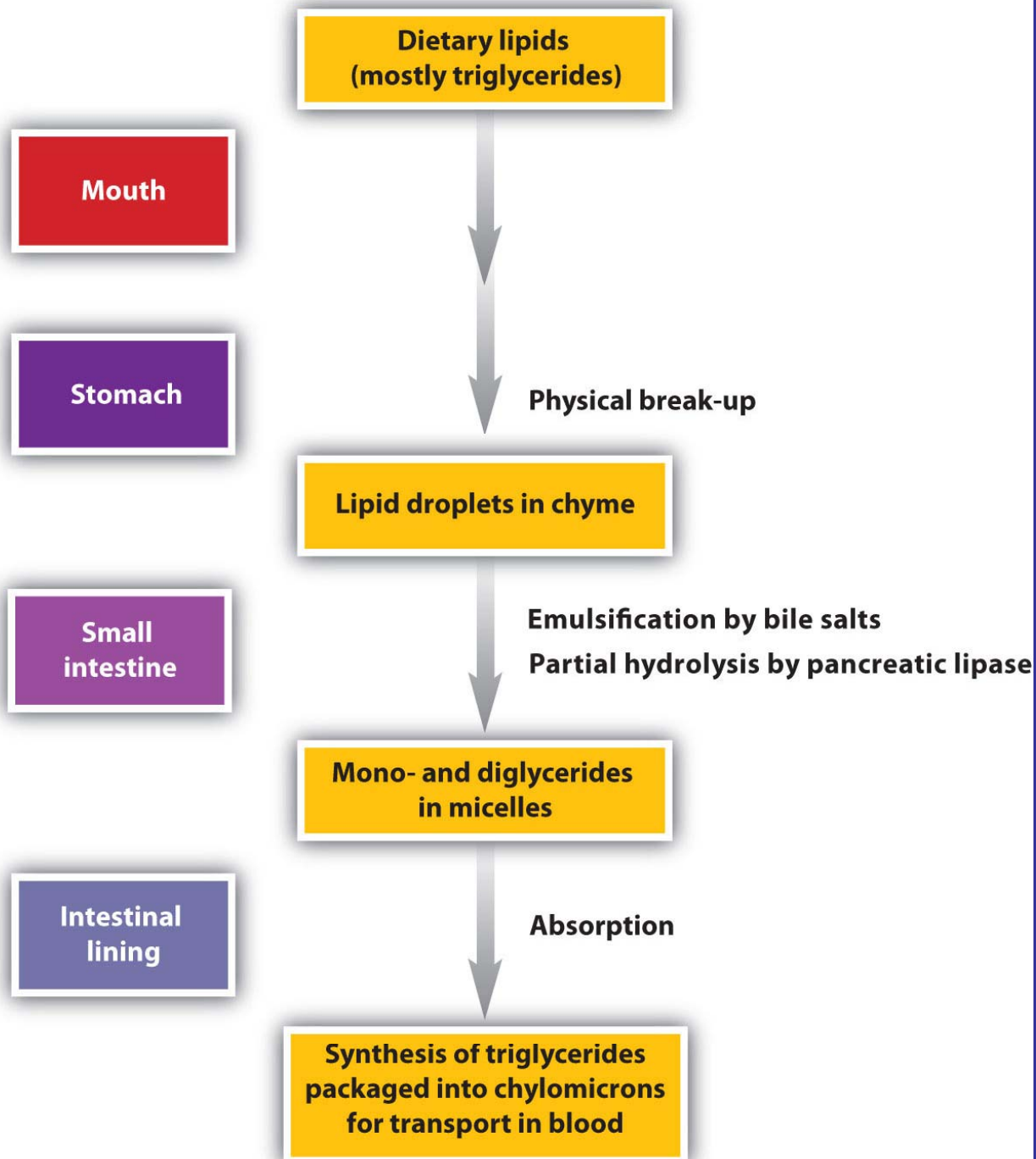
(b)

© 2011 Pearson Education, Inc.



18/82

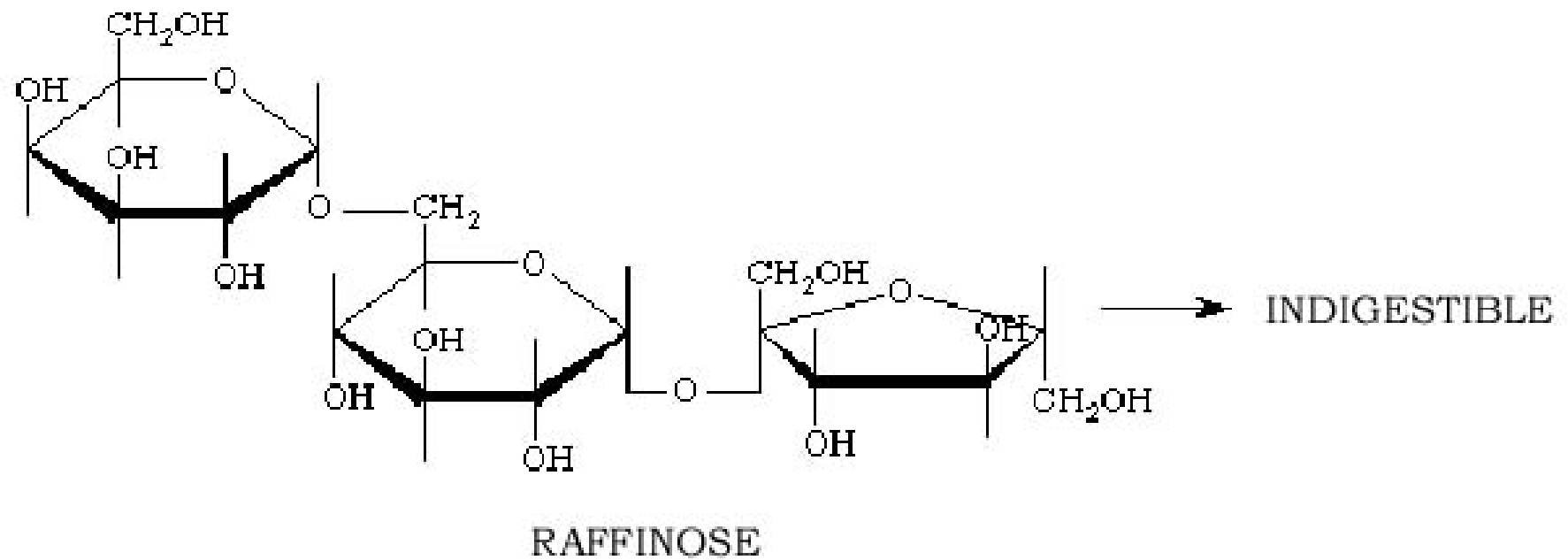
© 2011 Pearson Education, Inc.



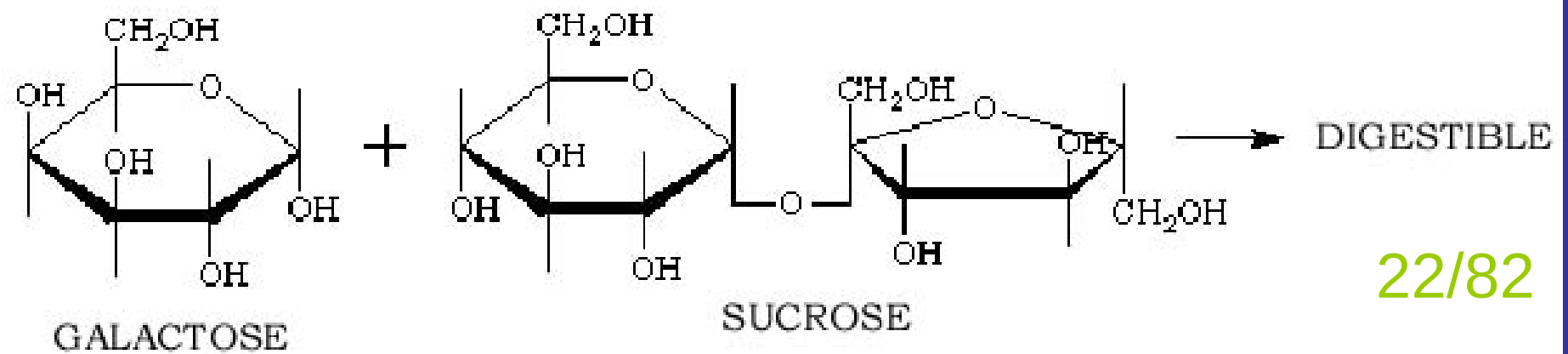
Poorly digestible nutrients cause flatulence

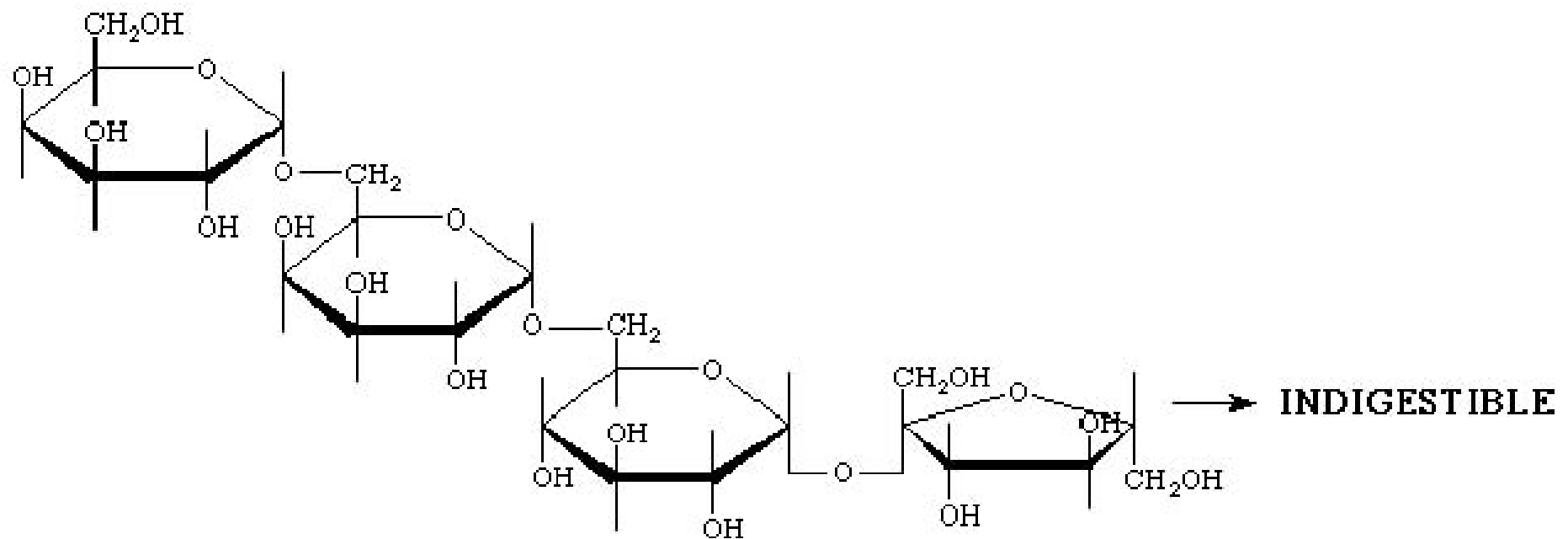
- Many plant polymers, including cellulose, hemicelluloses, inulin, pectin, lignin and suberin, are resistant to human digestive enzymes.
- A small percentage of this undigestible “dietary fiber” is hydrolyzed and anaerobically fermented by the bacterial flora of the colon.

- Some vegetables contain oligosaccharides in which galactose forms an α -1,6-glycosidic bond.
- These α -galactosides are resistant to digestive enzymes but are hydrolyzed rapidly by intestinal bacteria.
- Raffinose and stachyose in beans and peas are examples.



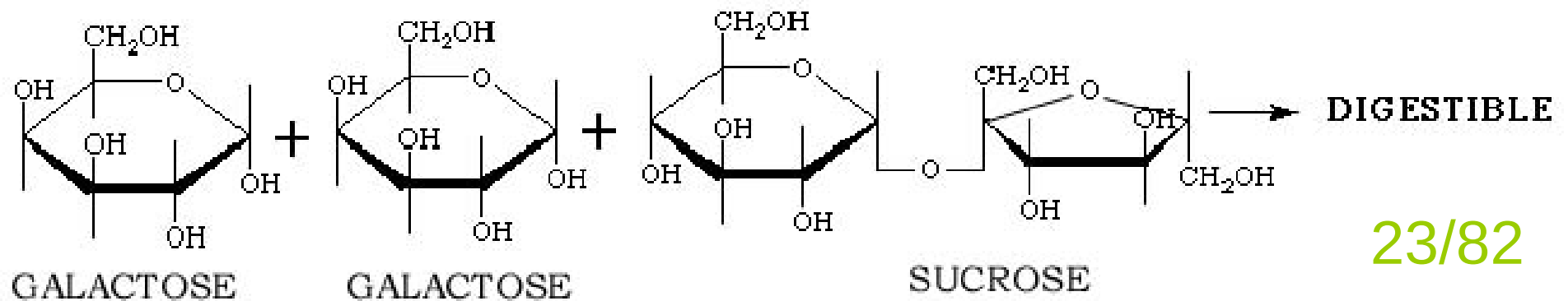
α -GALACTOSIDASE (BEANO*)





STACHYOSE

α - GALACTOSIDASE (BEANO*)

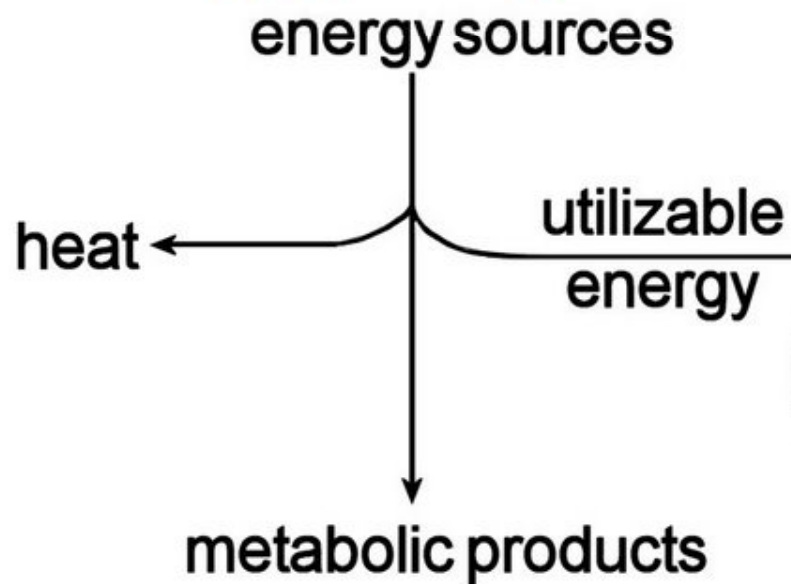


Introduction to Metabolic Pathways

- The cell has to synthesize its macromolecules. Biosynthesis processes are called **anabolic**.
- The cell has to generate metabolic energy. Degradative processes are called **catabolic**.

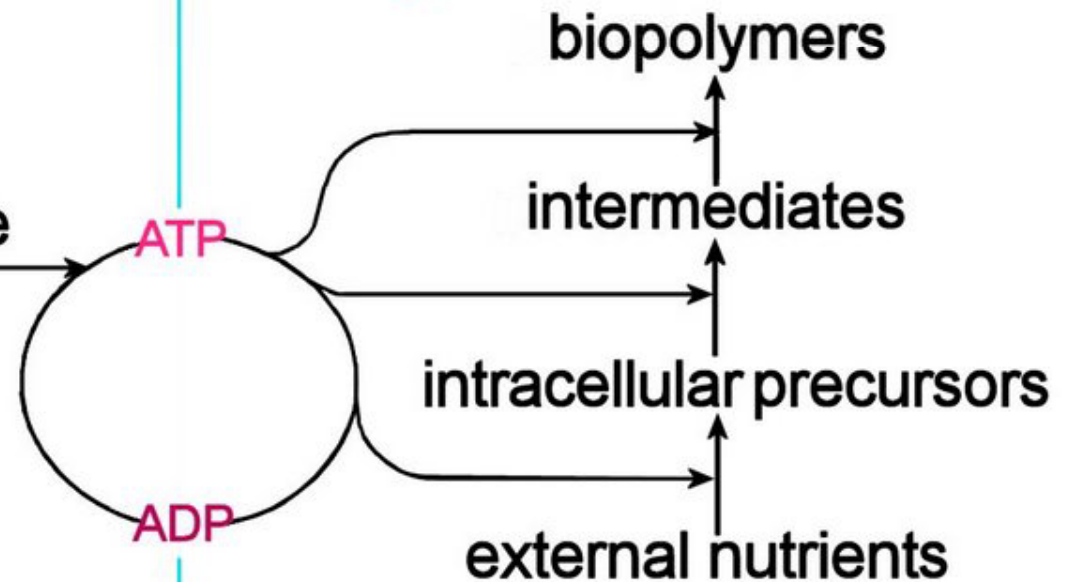
Catabolism

energy-yielding metabolism



Anabolism

biosynthetic metabolism



- Therefore a nutrient molecule entering a cell has two alternative fates

สารอาหารที่กำลังเข้าสู่เซลล์ มี 2 ทางเลือกที่จะไปต่อ

- It becomes incorporated into a cellular macromolecules

เข้ารวมตัวกันกลายเป็นสารโมเลกุลใหญ่

- It is oxidized for the generation of ATP

ถูกออกซิไดซ์เพื่อใช้ในการสร้าง ATP

- The biosynthesis of cellular macromolecules has to be balanced by their degradation

การสังเคราะห์สารโมเลกุลใหญ่ภายในเซลล์ จะต้องสมดุลกับการย่อยสลาย

- Under steady-state conditions, the rates of synthesis and degradation are balanced and the amount of the macromolecule remain constant.

ภายใต้สภาวะ “มั่นคง” อัตราการสังเคราะห์กับย่อยสลายจะสมดุลกัน และปริมาณสารโมเลกุลใหญ่จะคงที่

ดังเช่น pathway ที่ 2 ในภาพหน้าถัดไป (Figure 20.1)

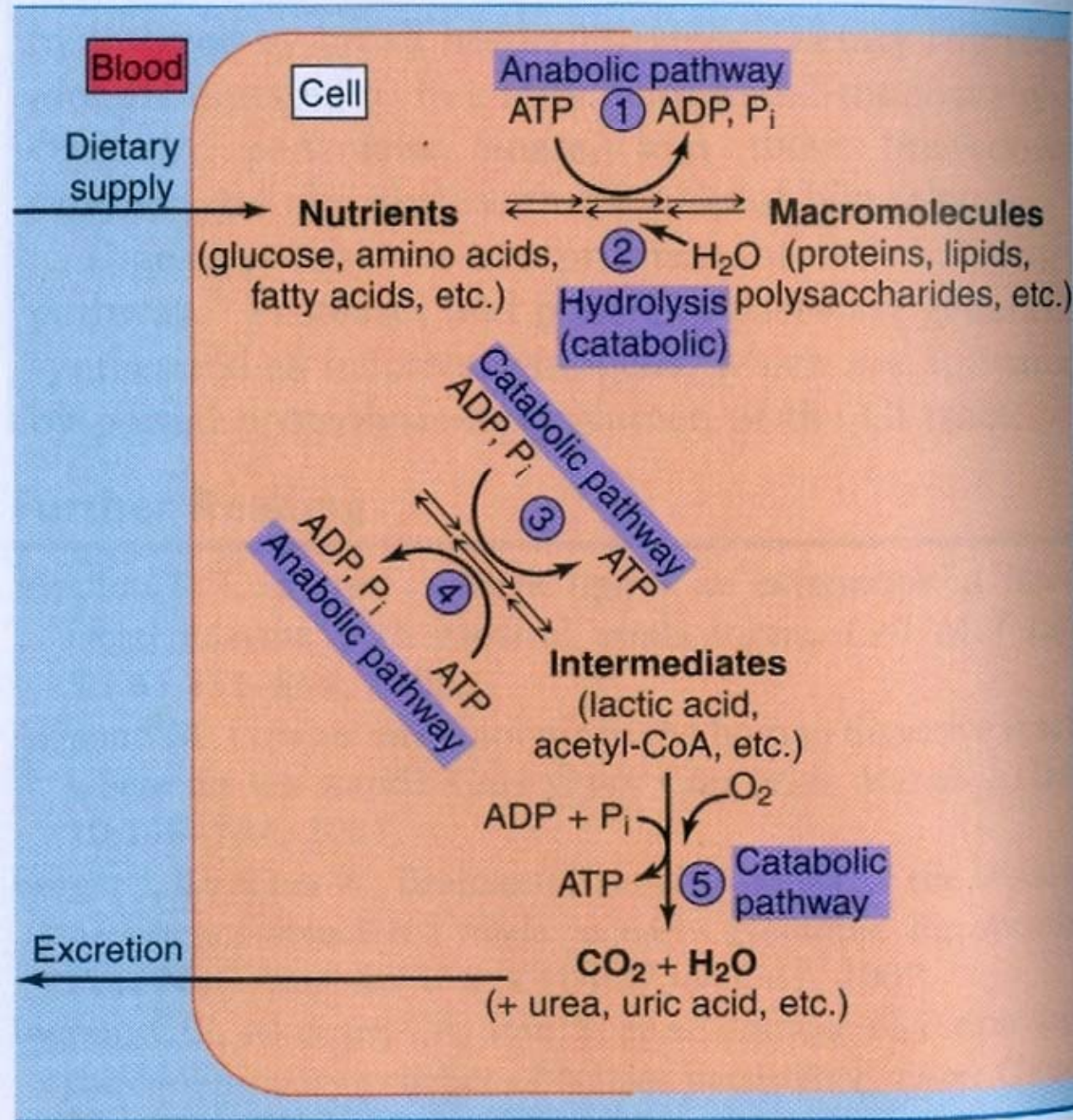


Figure 20.1 Major types of metabolic activity in the cell. ADP, Adenosine diphosphate; ATP, adenosine triphosphate; CoA, coenzyme A; P_i, inorganic phosphate.

- Different nutrients can also be interconverted through metabolic intermediates

สารอาหารต่าง ๆ ก็สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ ผ่านสารตัวกลางของเมแทบอลิซึม

- For example, most amino acids can be converted to glucose, and glucose can be converted to amino acids and fatty acids

ตัวอย่างเช่น กรดแอมิโนสามารถเปลี่ยนเป็นกลูโคส และกลูโคสสามารถเปลี่ยนเป็นกรดแอมิโนและกรดไขมันได้

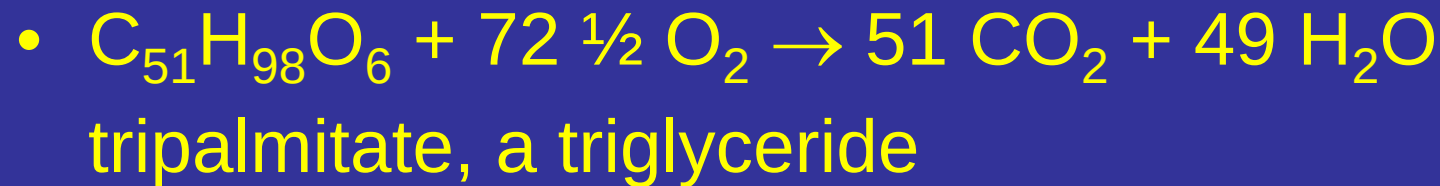
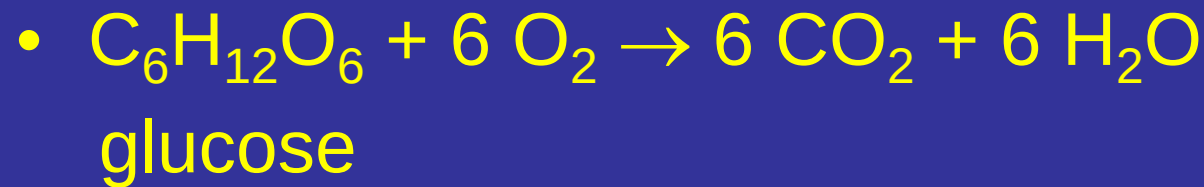
ดังเช่น pathway 3 กับ 4 ใน Figure 20.1

Alternative substrates can be oxidized in the body

- ร่างกายสามารถเลือกออกซิไดซ์สารต่าง ๆ ได้
- Several nutrients can be used as a source of metabolic energy.

สารอาหารหลายชนิดสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานจากเมแทบอลิซึมได้

- During their oxidation to carbon dioxide and water, carbohydrates yield about 4 kcal/g, triglycerides 9.3 kcal/g, proteins between 4.0 and 4.5 kcal/g, and alcohol 7.1 kcal/g.
- Molecular oxygen is consumed during aoxidative metabolism, and carbon dioxide is produced:



The stoichiometry of O_2 consumption and CO_2 production is described by the respiratory quotient (RQ)

Metabolic processes are compartmentalized

- ภายในเซลล์ กระบวนการเมแทบอลิซึมจะแบ่งเป็นส่วน ๆ ตามออร์แกเนลล์ต่าง ๆ โดยมีชุดของเอนไซม์ของแต่ละส่วน

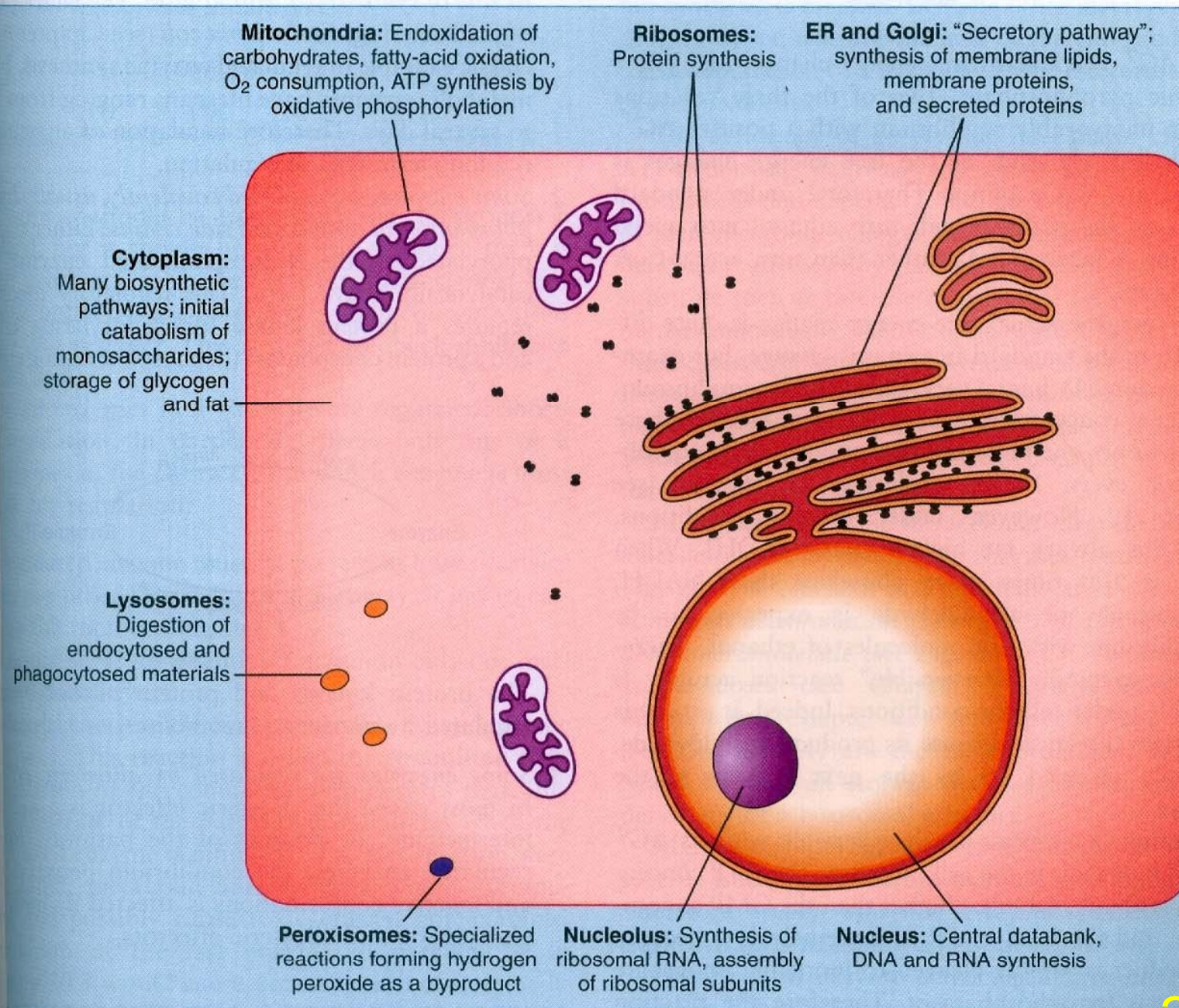


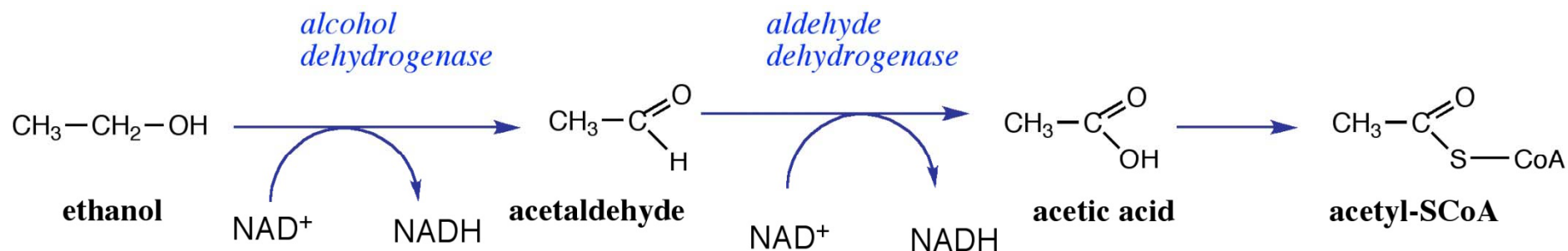
Figure 20.2 Metabolic functions of the major organelles. *ATP*, Adenosine triphosphate; *DNA*, deoxyribonucleic acid; *ER*, endoplasmic reticulum; *RNA*, ribonucleic acid.

Metabolic processes are compartmentalized

- ภายในเซลล์ กระบวนการเมแทบอลิซึมจะแบ่งเป็นส่วน ๆ ตามออร์แกเนลล์ต่าง ๆ โดยมีชุดของเอนไซม์ของแต่ละส่วน เช่น
 1. Cytoplasm พบ pathway ในการสังเคราะห์สาร และ catabolic pathway ที่เป็นแบบ nonoxidative บาง pathway นอกจากนี้ glycogen และ fat ก็สะสมเป็นแหล่งพลังงานใน cytoplasm ด้วย
 2. Endoplasmic reticulum และ Golgi apparatus เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีนและ membrane lipids
 3. Mitochondria สร้าง ATP ให้กับเซลล์ผ่านกระบวนการ oxidative phosphorylation

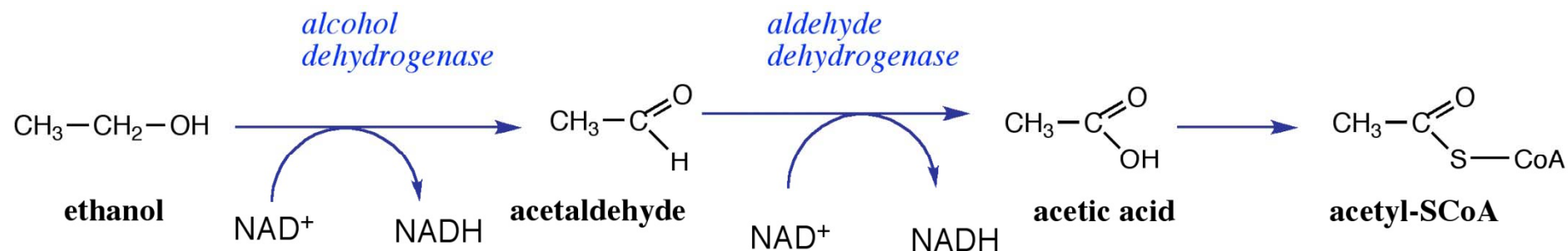
Free energy changes in metabolic pathways are additive

- การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระใน pathways ของเมแทบอลิซึมสามารถนำมาบวกกลับกันได้
- กระบวนการเมแทบอลิซึมที่สลับซับซ้อน เช่น การสังเคราะห์กลูโคสจาก lactate และการออกซิไดซ์ lactate เป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ไม่สามารถเกิดได้ในขั้นตอนเดียว
- ลำดับปฏิกิริยาทั้งหมด เรียกว่า metabolic pathway
- ทิศทางของ pathway จะไปทางไหน ขึ้นอยู่กับผลรวมของพลังงานอิสระของแต่ละปฏิกิริยา



- ethanol $\rightarrow$ acetaldehyde $\Delta G^{0'} = +5.5 \text{ kcal/mol}$
- acetaldehyde $\rightarrow$ acetic acid $\Delta G^{0'} = -12.9 \text{ kcal/mol}$
- acetic acid $\rightarrow$ acetyl CoA $\Delta G^{0'} = +0.7 \text{ kcal/mol}$

สองในสามปฏิกิริยามีค่า $\Delta G^{0'}$ เป็นบวก แต่ผลรวมทั้งหมดเป็นลบ คือ -6.7 kcal/mol ดังนั้น ภายใต้สภาวะมาตรฐาน pathway จะมีแนวโน้มเปลี่ยน ethanol เป็น acetyl CoA ไม่ใช่เปลี่ยน acetyl CoA เป็น ethanol



- ethanol $\rightarrow$ acetaldehyde $\Delta G^{0'} = +5.5 \text{ kcal/mol}$
- acetaldehyde $\rightarrow$ acetic acid $\Delta G^{0'} = -12.9 \text{ kcal/mol}$
- acetic acid $\rightarrow$ acetyl CoA $\Delta G^{0'} = +0.7 \text{ kcal/mol}$

แต่ในสภาวะจริง ๆ จะต่างจากสภาวะมาตรฐาน ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาที่ 1 ถ้ามีความเข้มข้นของ NAD^+ เท่ากับ NADH ที่สมดุลจะมี acetaldehyde เพียง 1 โมเลกุล ต่อ ethanol 10,000 โมเลกุล

อย่างไรก็ตาม ภายใต้สภาวะ aerobic $[\text{NAD}^+]$ จะมีความเข้มข้นสูงกว่า $[\text{NADH}]$ เสมอ

เมื่อมี NAD^+ มากกว่า NADH 100 เท่า ก็จะมี acetaldehyde 1 โมเลกุล ต่อ ethanol 100 โมเลกุล

Most metabolic pathways are regulated

- เมแทบอลิซึม ส่วนมากจะมีระบบควบคุม
- ในกรณีของมนุษย์ จะมีกลไกควบคุมตามสภาวะของร่างกาย ว่ามีพลังงานหรือต้องการพลังงานมากน้อยแค่ไหน มีสารอาหารเพียงพอต่อความต้องการหรือไม่ โดยอาศัยฮอร์โมนที่สำคัญเช่น
 - Insulin ปล่อยออกมาหลังจากกินอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตมาก และกระตุ้นการใช้สารอาหาร
 - Glucagon ปล่อยออกมาระหว่างอดอาหาร เพื่อรักษาระดับน้ำตาลในเลือด
 - Epinephrine และ norepinephrine ปล่อยออกมาระหว่างภาวะเครียดอย่างเฉียบพลัน และกระตุ้นการเคลื่อนที่ของสารอาหารสะสม (ไขมัน, ไกลโคเจน)
 - Cortisol ปล่อยออกมาเมื่อมีภาวะเครียดยาวนานขึ้น ส่งเสริมการสังเคราะห์กลูโคส และย่อยสลายไขมัน

การควบคุม metabolic pathways

- มี 3 แบบ

1. ปรับปริมาณของเอนไซม์ โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราการสังเคราะห์หรือย่อยสลาย เช่น กรณีของ lactose operon ในแบคทีเรีย *Escherichia coli*

2. เอนไซม์บางชนิดจะถูกดัดแปลงด้วยวิธีการเติมหมู่ phosphate เข้าไปที่กรดแอมิโน ทำให้เอนไซม์นั้นทำงานได้ หรือไม่สามารถทำงานได้ วิธีนี้ต้องใช้ protein kinase และ protein phosphatase

3. เอนไซม์บางชนิดถูกควบคุมโดย allosteric effectors ซึ่งเป็น substrate, intermediate หรือ product ของ pathway

3. เอนไซม์บางชนิดถูกควบคุมโดย allosteric effectors ซึ่งเป็น substrate, intermediate หรือ product ของ pathway

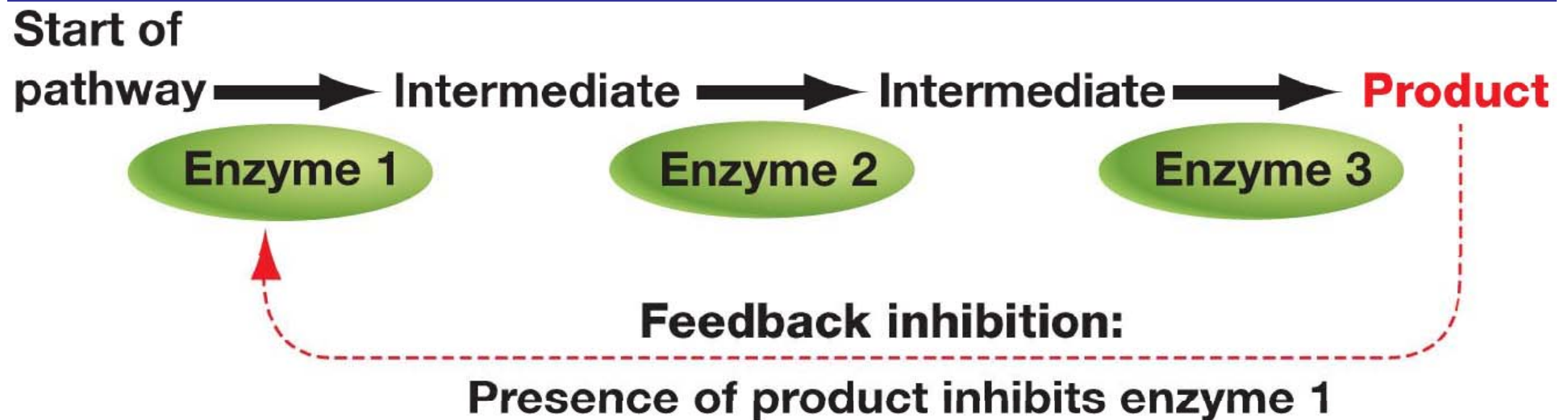
Allosteric site

- เป็นบริเวณบนเอนไซม์ที่อยู่คนละที่กันกับ active site
- มีส่วนในการเร่งหรือชะลอการทำงานของเอนไซม์ได้
- ตัวอย่างเช่น เอนไซม์ใน catabolic pathway มีบริเวณ allosteric site ให้ ATP กับ AMP มาจับได้

- ATP ทำหน้าที่เป็น ตัวยับยั้ง (inhibitor)
- AMP ทำหน้าที่เป็น ตัวเพิ่ม (enhancer)
- เมื่อมีการสร้าง ATP มากเกินความต้องการ ATP จะสะสม ทำให้ pathway ช้าลงหรือหยุดการทำงาน
- เมื่อมีการสร้าง ATP ช้าเกินไป AMP จะสะสม เพิ่มการทำงานของ pathway

Feedback inhibition

- ผลิตภัณฑ์ของ pathway ทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งของ pathway



© 2011 Pearson Education, Inc.

ตัวอย่างการควบคุมด้วย Feedback inhibition

- Pathway การเปลี่ยน threonine เป็น isoleucine
- ใช้เอนไซม์ 5 ชนิด
- การควบคุม เกิดขึ้นที่เอนไซม์ threonine deaminase ซึ่งเป็นเอนไซม์แรกของ pathway
- เมื่อมีการสร้าง isoleucine มากเกินไป จะไปจับกับเอนไซม์ threonine deaminase ที่บริเวณอื่นที่ไม่ใช่ active site ทำให้ pathway หยุดลง
- เมื่อ isoleucine ถูกใช้ไปจนปริมาณลดลง ก็จะหลุดออกจากเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์จับกับ substrate คือ threonine ได้อีก pathway ก็จะทำงานได้เหมือนเดิม

Feedback Inhibition

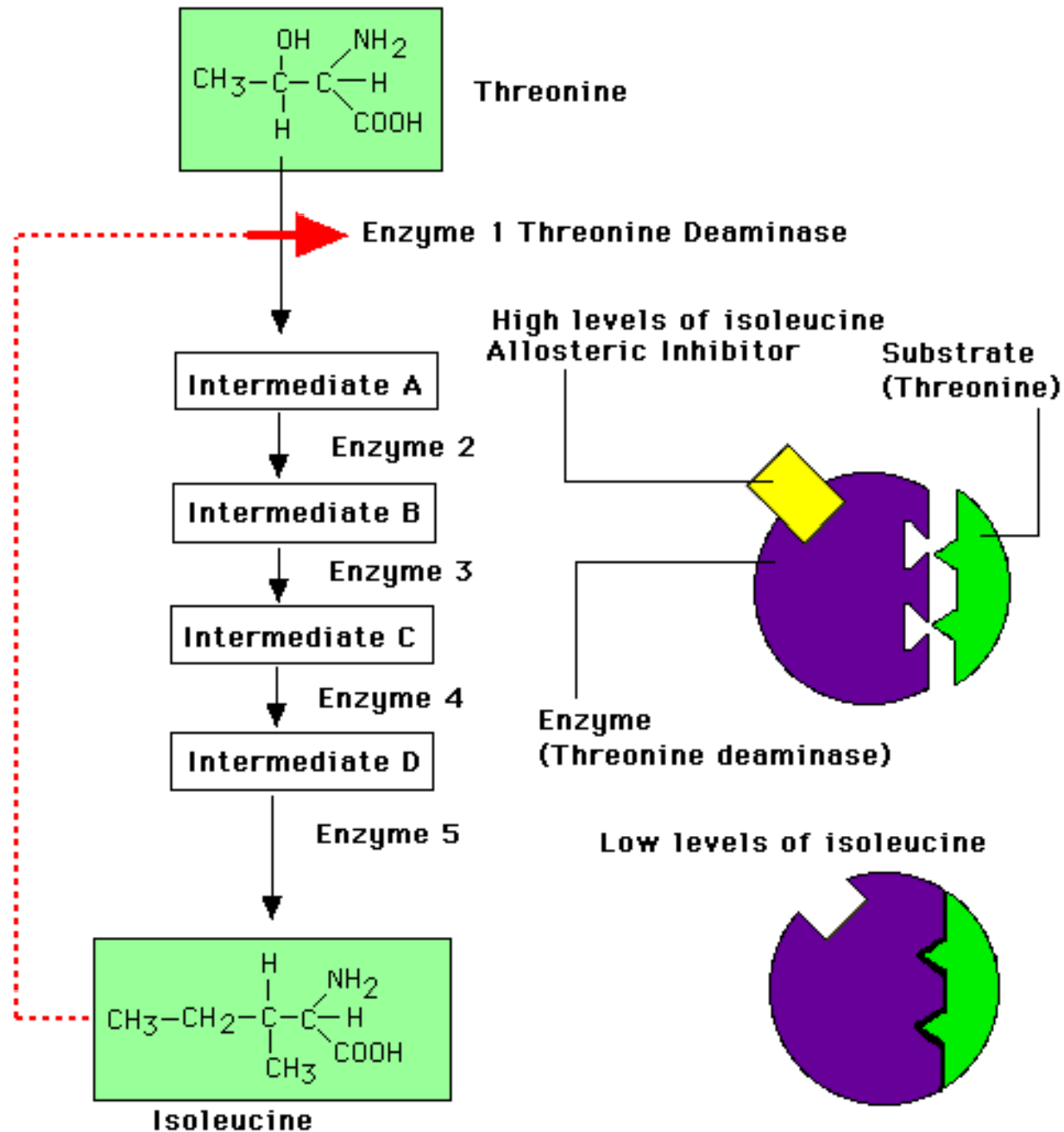
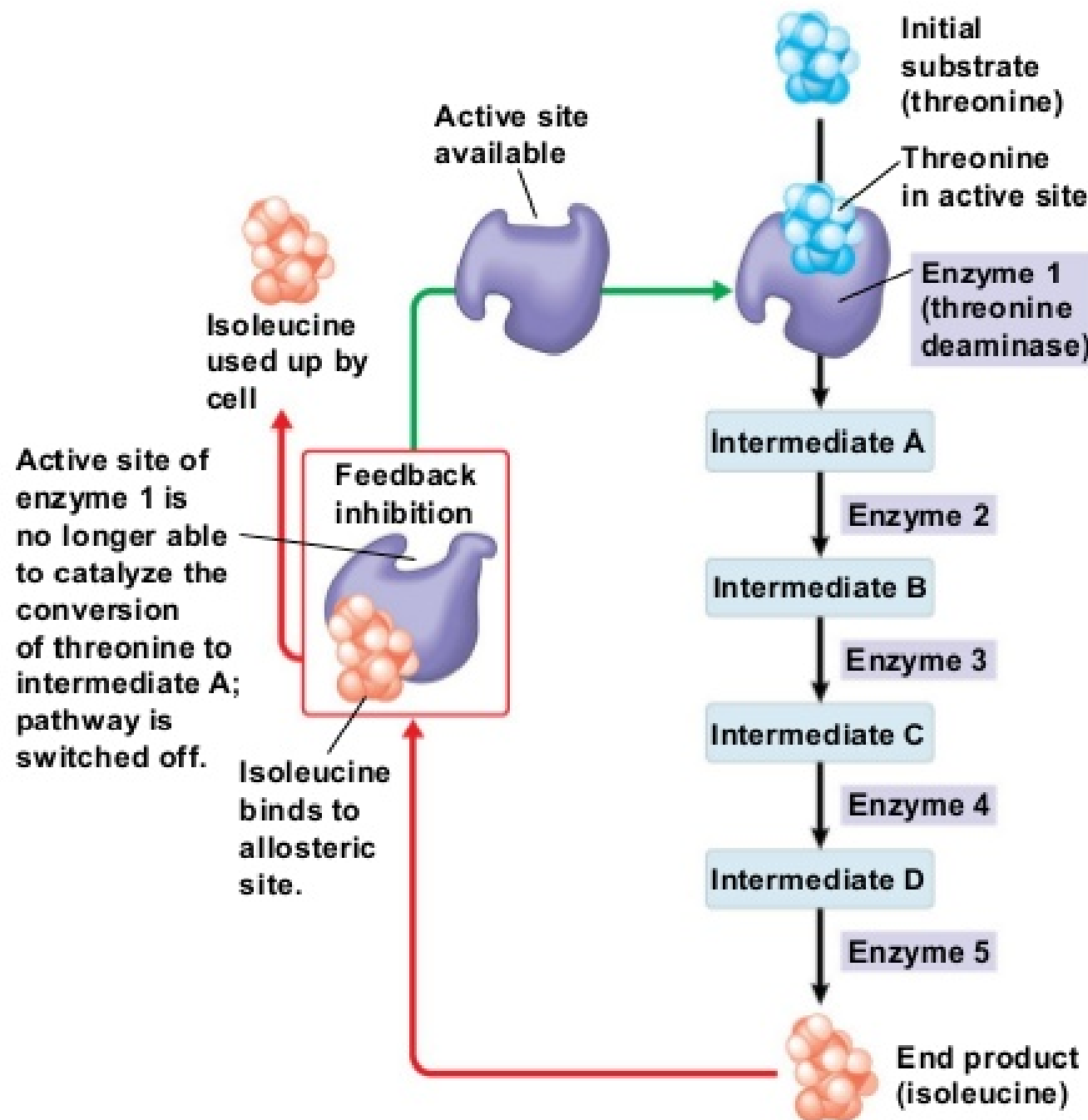


Figure 8.21



- ดู animation ประกอบได้ที่

[https://biochem.flas.kps.ku.ac.th/01402313/
feedback.mp4](https://biochem.flas.kps.ku.ac.th/01402313/feedback.mp4)

หรือที่ youtu.be/esEF00ldzmE

Inherited enzyme deficiencies cause metabolic diseases

- ความบกพร่องของเอนไซม์ (แต่กำเนิด) ทำให้เกิดโรคทางเมแทบอลิซึม
- เกิดการสะสมของ substrate หรือ
- เกิดการขาดสารผลิตภัณฑ์
- ตัวอย่างเช่น oculocutaneous albinism เกิดจากการขาดสารรงควัตถุ melanin

The deficiency of an enzyme

- ถ้าเกิดขึ้นกับ pathway สำหรับการสังเคราะห์ ATP ก็จะเป็นปัญหาร้ายแรง
- โดยทั่วไป พบปัญหา catabolism ของสารใดสารหนึ่ง เช่น galactose หรือ phenylalanine

Storage diseases

- เกิดจากการขาดเอนไซม์ย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ภายในเซลล์
- ตัวอย่างเช่น mucopolysaccharidoses
- บางครั้งอาจเกิดจากความบกพร่องของเอนไซม์ใน lysosome

โรคเมแทบอลิซึมจากสาเหตุอื่น

- Toxins เช่น ตะกั่ว ยับยั้งการสังเคราะห์ heme, cyanide ยับยั้งการหายใจระดับเซลล์
- การขาดวิตามิน ที่เป็นโคเอนไซม์
- Endocrine disorders ความผิดปกติของระบบต่อมไร้ท่อ ทำให้ขาดฮอร์โมนควบคุมเมแทบอลิซึม

วีดิทัศน์

- รายการ ดูให้รู้ ตอน สารความแก่ เอาออกได้
- AGE = Advanced glycation end-product
- Glycation = การสร้างพันธะโควาเลนต์ระหว่างโปรตีนหรือลิพิด กับน้ำตาล (โดยไม่มีเอนไซม์มาควบคุม)
- ดูย้อนหลังได้ที่ youtu.be/ISU3ymBxvAE

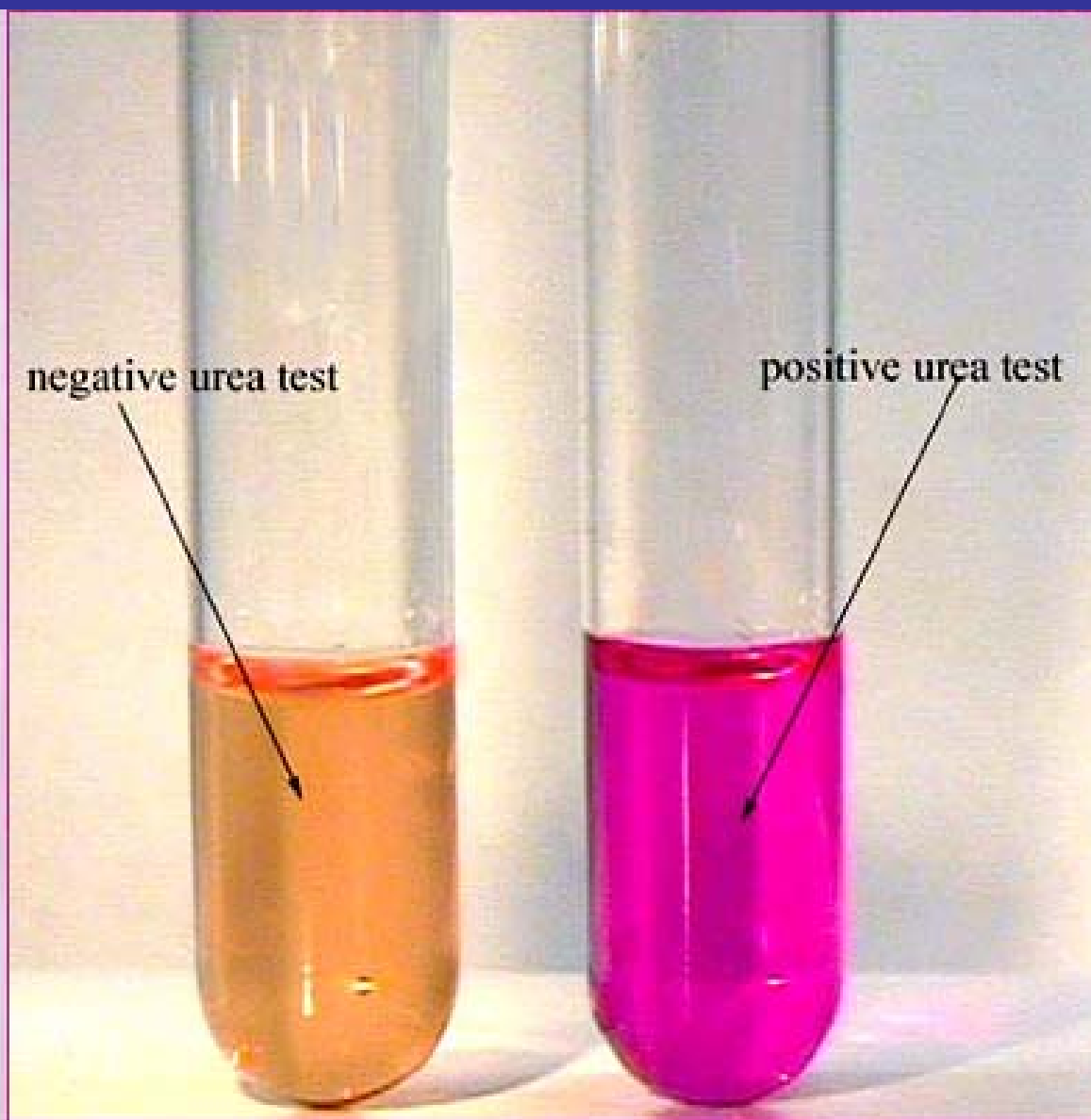
Enzyme Nomenclature

การเรียกชื่อเอนไซม์

- เพื่อให้การเรียกชื่อปฏิกิริยาต่าง ๆ ในเมแทบอลิซึมเป็นระบบ
- แบบดั้งเดิม ตั้งชื่อเอนไซม์โดยการเติม –ase หลังชื่อสารที่เอนไซม์นั้น ๆ เข้าทำปฏิกิริยา
เช่น urease คือ เอนไซม์ที่ hydrolyze urea
phosphatase คือ เอนไซม์ที่ hydrolyze phosphoryl group
นอกจากสารประกอบ organic phosphate

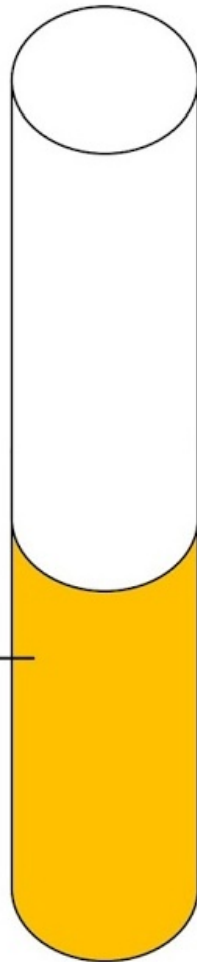
Urease Hydrolyzes Urea





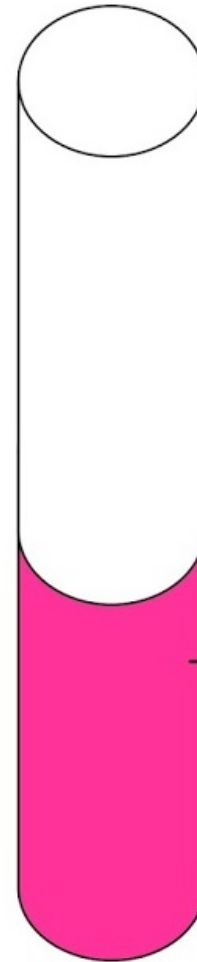
Urease Test

Negative
Reaction



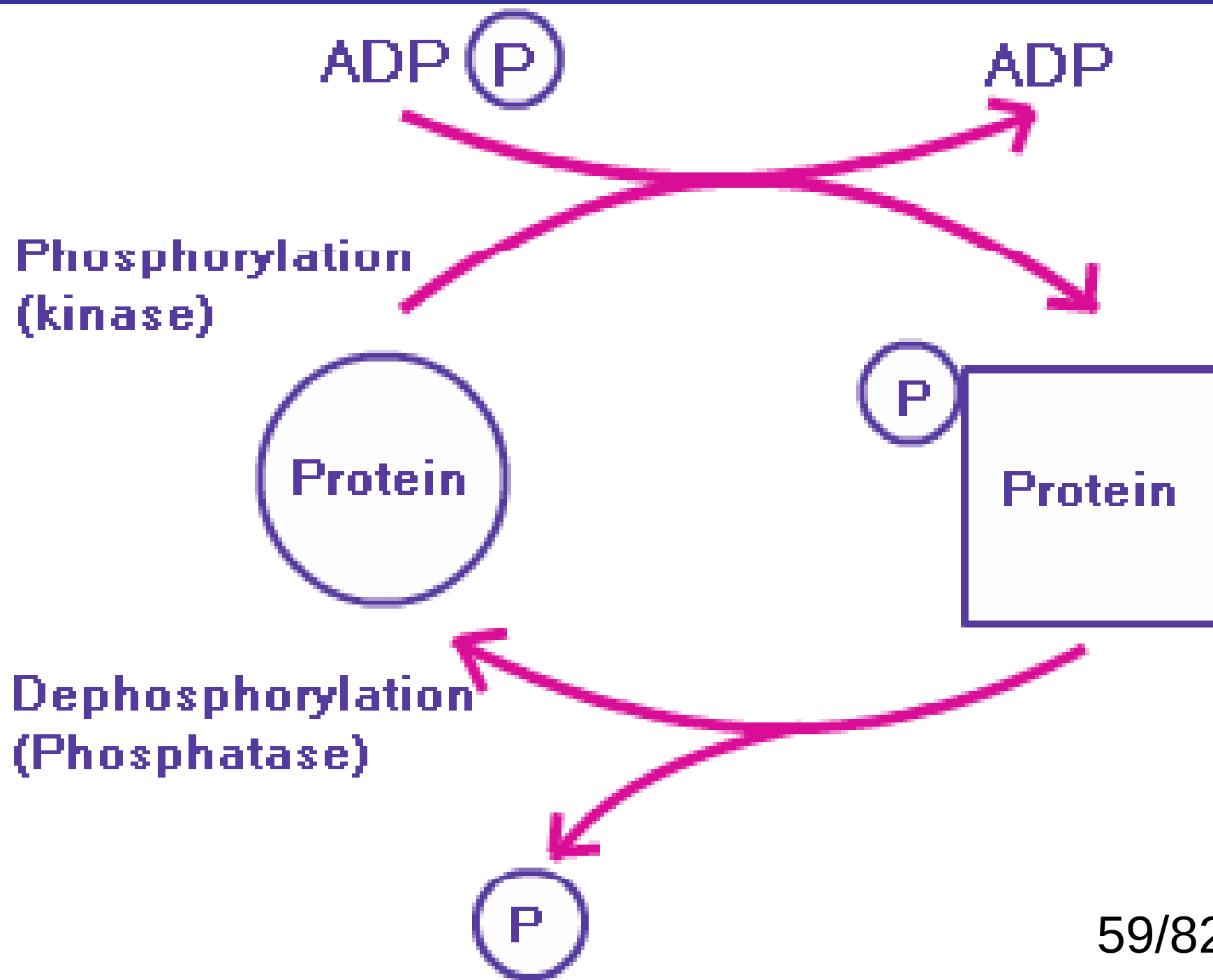
E.coli

Positive
Reaction

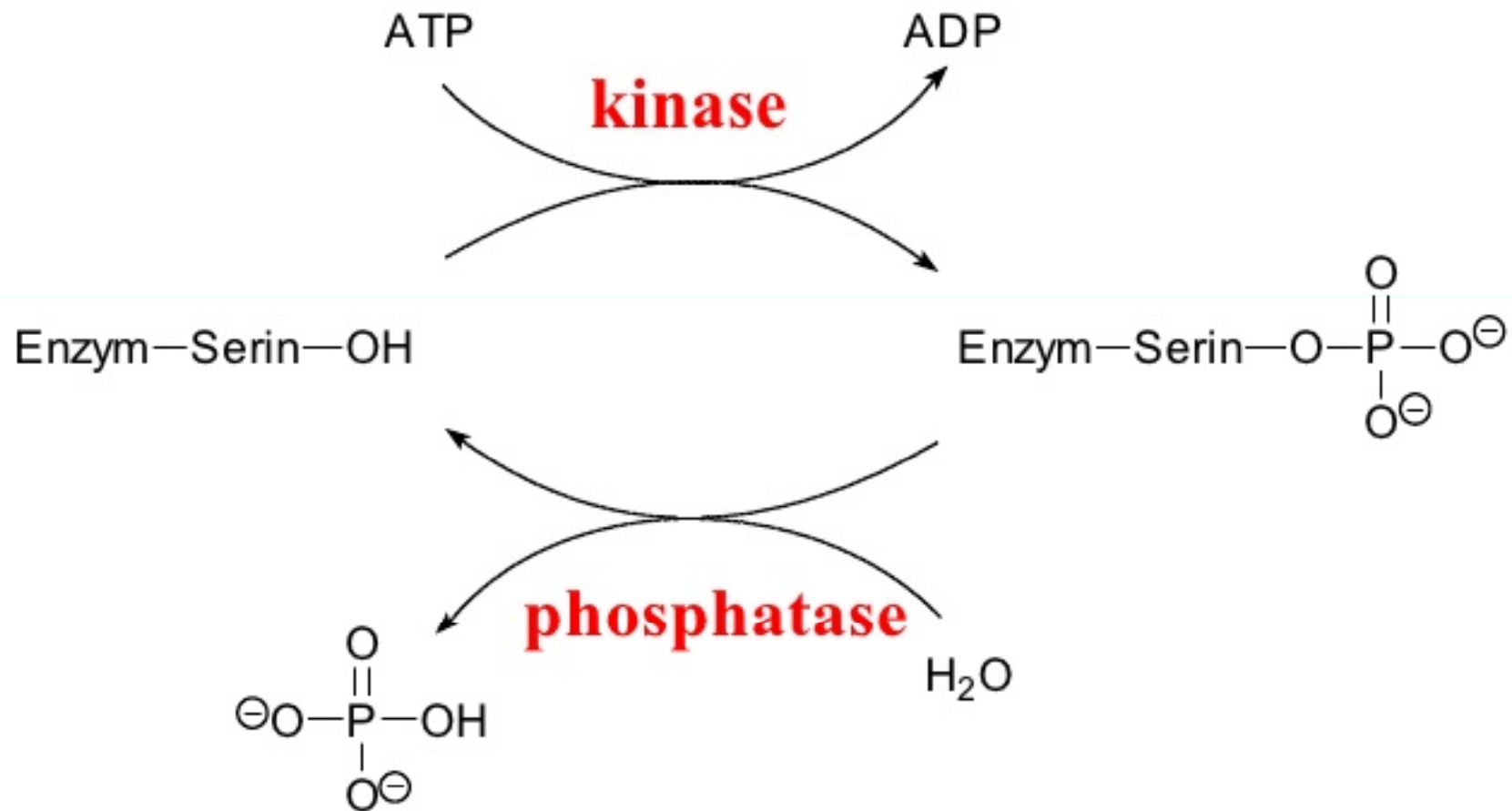


Proteus sp.

58/82



Phosphorylation and dephosphorylation of enzyme alters its activity



Phosphatase test:

- @ Test for effective pasteurization.
- @ To detect phosphatase enzyme in milk.
- @ If the enzyme is absent, milk is pasteurized
- @ Add disodium nitrophenyl phosphate to milk. This reacts with phosphatase enzyme to give nitrophenol (yellow colour). **Yellow colour indicates unpasteurized milk.**



Test used to detect pasteurization of milk

Phosphatase Test

- Take 1 ml of milk sample.
- Put 5 ml of nitrate Phosphate buffer solution.
- Incubate it in water bath at temperature of about 37°C.
- Check for colour change after 15 minutes.
- If colour changes then the milk is not pasteurized.
- Conclusion : In the image Test tube on left side with pale yellow colour is showing test of Raw milk confirms alkaline phosphate activity and test tube on right side is showing no colour change in case of packed milk confirming Pasteurization.



Semen – Presumptive tests

Acid phosphatase (AP) test

An older test

☐ Sodium a-naphthyl phosphate

- ✓ broken down by AP
- ✓ frees naphthyl group

☐ Fast Blue

- ✓ o-dianisidine
- ✓ combines with naphthyl group

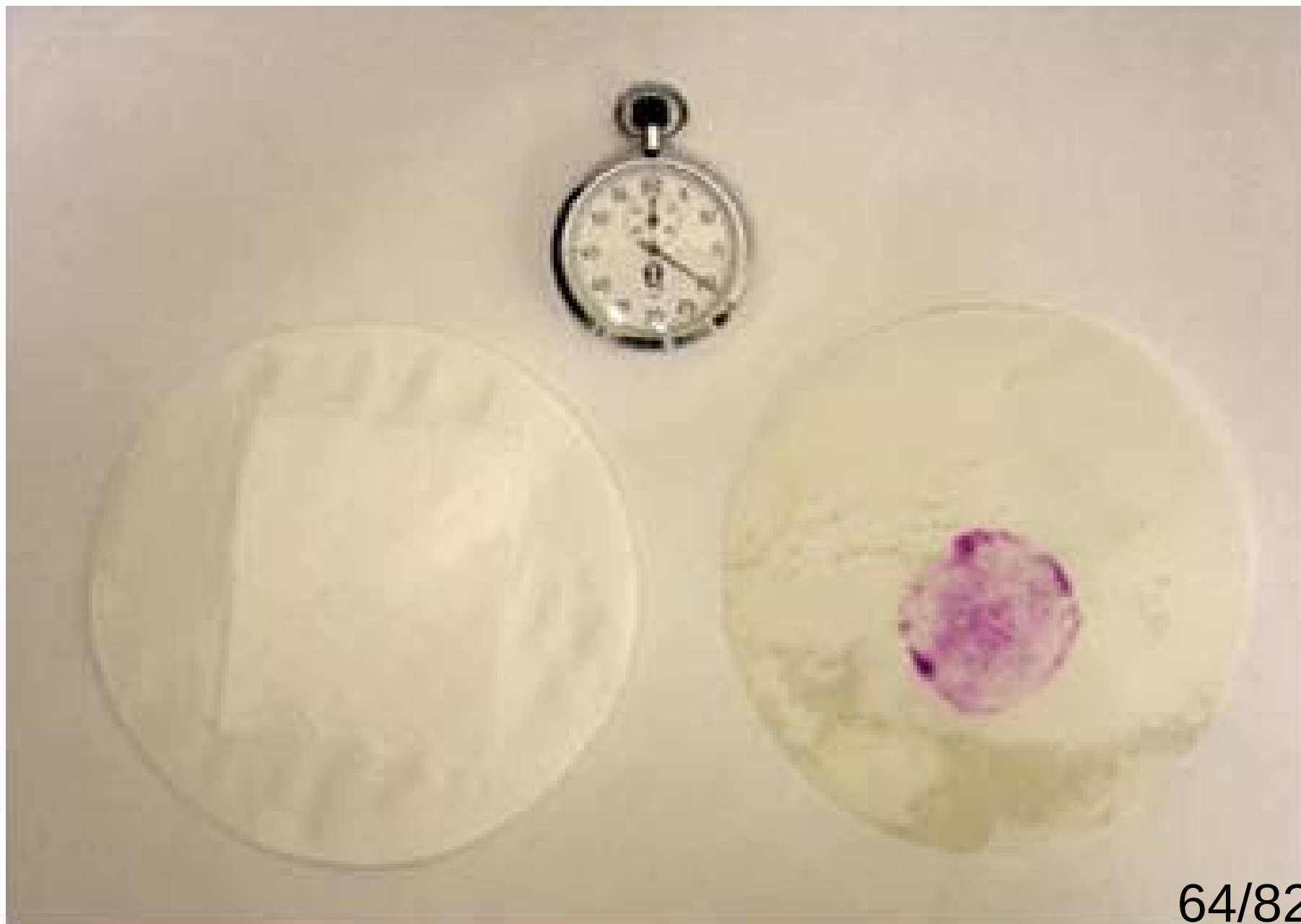
☐ produces scarlet red color

a-naphthyl phosphate

o-dianisidine
Acid Phosphatase
↓

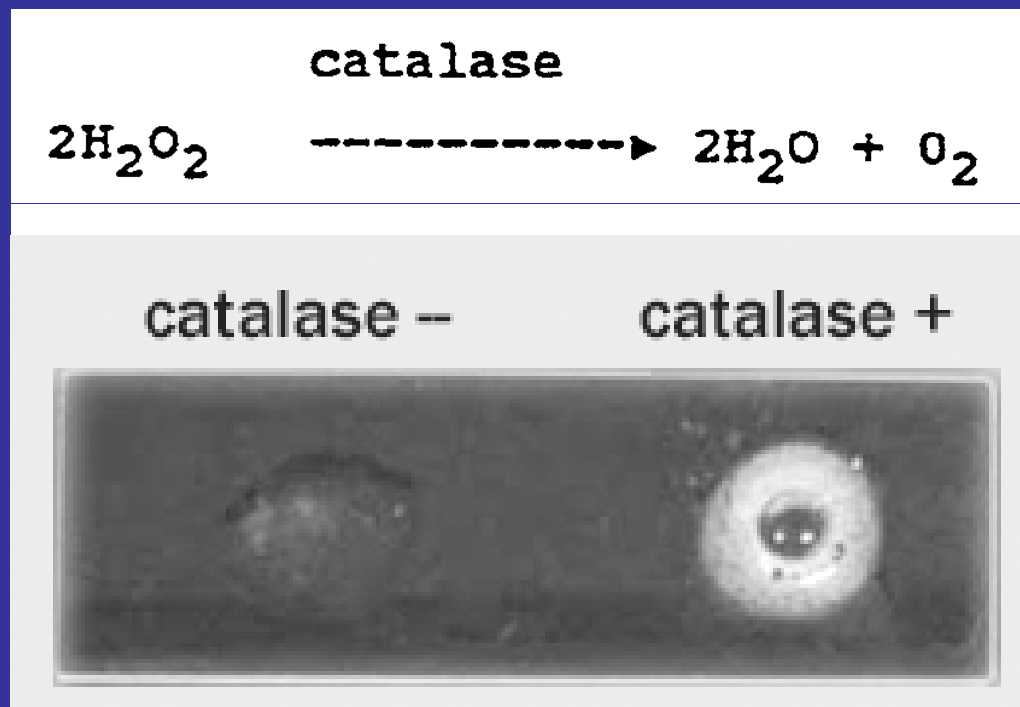
Scarlet Color





64/82

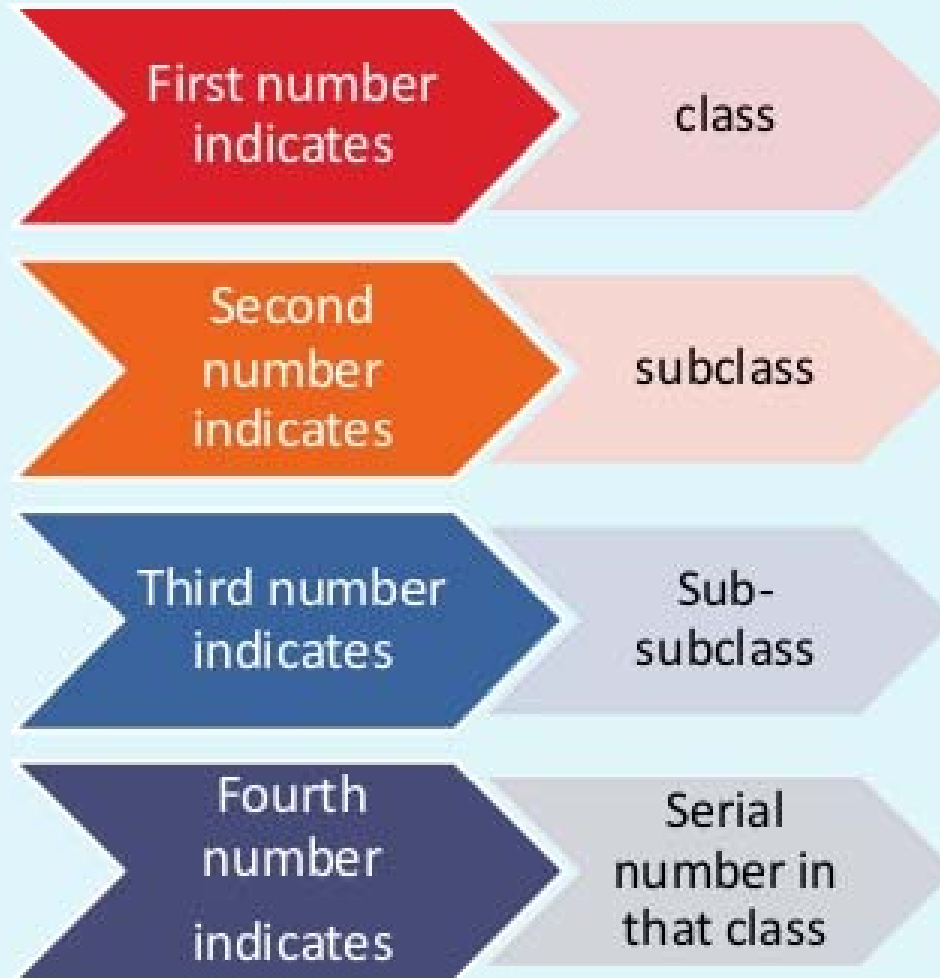
- เอนไซม์บางชนิด ตั้งชื่อโดยไม่ได้อิงตามปฏิกิริยา เช่น catalase ทำหน้าที่ย่อย peroxide หรือ pepsin, trypsin ย่อยโปรตีน





- การเรียกชื่อเอนไซม์แบบดั้งเดิม ทำให้เกิดความสับสน ดังนั้น International Commission on Enzymes จึงจัดระบบวิธีเรียกชื่อเอนไซม์ขึ้น
- แต่ชื่อเอนไซม์เดิมที่เป็นที่นิยม ก็ยังใช้อยู่
- แยกออกเป็น 6 classes ตามปฏิกิริยาที่เร่ง
- แต่ละ class แยกย่อยเป็น subclass
- แต่ละ sub-class ก็แยกย่อยเป็น sub-subclass

Each enzyme is represented by 4 numbers as per enzyme commission



e.g. lactate dehydrogenase (1.1.1.27)

CLASS	DESIGNATION	FUNCTION
EC1	Oxidoreductases	catalyze oxidation/reduction reactions
EC2	Transferases	transfer a functional group (e.g. a methyl or phosphate group)
EC3	Hydrolases	catalyze the hydrolysis of various bonds
EC4	Lyases	cleave various bonds by means other than hydrolysis and oxidation
EC5	Isomerases	catalyze isomerization changes within a single molecule
EC6	Ligases	join two molecules covalent bonds.

Classification of enzymes: six classes according to reaction type

(Each class comprises other subclasses)

Enzyme class	General scheme of reaction
1. Oxidoreductases	$A_{\text{red}} + B_{\text{ox}} \rightleftharpoons A_{\text{ox}} + B_{\text{red}}$
2. Transferases	$A-B + C \rightarrow A + C-B$
3. Hydrolases	$A-B + H_2O \rightarrow A-H + B-OH$
4. Lyases	$A-B \rightleftharpoons A + B$ (reverse reaction: synthases)
5. Isomerases	$A-B-C \rightleftharpoons A-C-B$
6. Ligases (synthetases)	$A + B + \text{ATP} \rightarrow A-B + \text{ADP} + P_i$

Table 5.2. IUB classification of enzymes

Major Class (Type of reaction catalyzed)	Common examples	Kind of reaction	Specific Example
1. Oxidoreductases (Transfer of electrons)	Oxidases Reductases Dehydrogenase	$A^{+3} + B^{+2} \rightarrow A^{+2} + B^{+3}$	Alcohol + NAD ↓ <i>Alcohol dehydrogenase</i> Aldehyde + NADH ₂
2. Transferases (Transfer of functional groups)	Transaminase Transketolase Transaldolase	$A - X + B \rightarrow A + B - X$	Glucose + ATP ↓ <i>Glukokinase or hexokinase</i> Glucose-6-Phosphate + ADP
3. Hydrolases (Hydrolysis Reactions)	Amylases Lipases Proteases Nucleases	$A - B + H_2O \rightarrow A - OH + B - H$	Sucrose ↓ <i>Sucrase</i> Glucose + Fructose
4. Lyases or Desmolases (Group elimination to form double bonds without hydrolysis)	Aldolase Decarboxylase Fumarase Citrate synthase	$A - B \rightarrow A = B + X - Y$ X Y	Histidine ↓ <i>Hlstidine decarboxylase</i> Histidine + CO ₂
5. Isomerases (Transfer of Groups within a molecule)	Isomerase Mutase Epimerase	$A - B \rightarrow A - B$ Y X X Y	Glucose - 6-Phosphate ↓ <i>Isomerase</i> Fructose-6-Phosphate
6. Ligases or Synthetases (Bond formation couples with ATP hydrolysis)	Synthetases Carboxylases	$A + B + ATP \rightarrow A - B + ADP + Pi$	Pyruvate + CO ₂ + ATP ↓ <i>Pyruvate carboxylase</i> Oxaloacetate + ADP + Pi

- การสืบค้นข้อมูลเอนไซม์ผ่านเว็บ มีหลาย
ฐานข้อมูล เช่น BRENDA

www.brenda-enzymes.org

ExPASy

enzyme.expasy.org

ExplorEnz

www.enzyme-database.org

ExplorEnz - The Enzyme Database

Home	Search	Enzymes by Class	New/Amended Enzymes	Statistics	Forms	News	Information	Downloads
------	--------	------------------	---------------------	------------	-------	------	-------------	-----------

Your query returned 1 entry. Printable version

EC 3.4.21.4

Accepted name: trypsin

Reaction: Preferential cleavage: Arg⁺, Lys⁺

Other name(s): α-trypsin; β-trypsin; coconase; parenzyme; parenzymol; tryptan; trypure; pseudotrypsin; tryptase; tripcellin; sperm-receptor hydrolase

Comments: The single polypeptide chain cattle β-trypsin is formed from trypsinogen by cleavage of one peptide bond. Further peptide bond cleavages produce α and other isozymes. Isolated as multiple cationic and anionic trypsins [5] from the pancreas of many vertebrates and from lower species including crayfish, insects (coconase) and microorganisms (*Streptomyces griseus*) [3]. Type example of [peptidase family S1](#).

Links to other databases: [BRENDA](#), [EXPASY](#), [GTD](#), [KEGG](#), [MetaCyc](#), [MEROPS](#), [PDB](#), CAS registry number: 9002-07-7

- References:**
1. Huber, R. and Dode, W. Structural basis of the activation and action of trypsin. *Acc. Chem. Res.* **11** (1978) 114–122.
 2. Walsh, K.A. Trypsinogens and trypsins of various species. *Methods Enzymol.* **19** (1970) 41–63.
 3. Read, R.J., Brayer, G.D., Jurásek, L. and James, M.N.G. Critical evaluation of comparative model building of *Streptomyces griseus* trypsin. *Biochemistry* **23** (1984) 6570–6575. [PMID: [6442134](#)]
 4. Fiedler, F. Effects of secondary interactions on the kinetics of peptide and peptide ester hydrolysis by tissue kallikrein and trypsin. *Eur. J. Biochem.* **163** (1987) 303–312. [PMID: [3643948](#)]
 5. Fletcher, T.S., Alhadeff, M., Craik, C.S. and Largman, C. Isolation and characterization of a cDNA encoding rat cationic trypsinogen. *Biochemistry* **26** (1987) 3081–3086. [PMID: [3112218](#)]

Glutamine → Carbamoyl-P → Carbamoyl aspartate → Dihydroorotate → Orotate → Uridylate

EC 3.5.5 2.1.3.2 2.4.2.1

Trifunctional Enzyme

MITOCHONDRIA

Forms

[Printable version](#)

Other name(s): α-trypsin; β-trypsin; cocoonase; parenzyme; parenzymol;
trypser; trypture; pseudotrypsin; tryptose; trincelline; exorm

ENZYME class: 3.4.21

Release of 31-Jan-18

Hydrolases

Acting on peptide bonds (peptidases)

Serine endopeptidases

All UniProtKB/Swiss-Prot entries corresponding to class 3.4.21.-.

The following ENZYME entries belong to class 3.4.21.-:

3.4.21.1	Chymotrypsin
3.4.21.2	Chymotrypsin C
3.4.21.3	Metridin
3.4.21.4	Trypsin
3.4.21.5	Thrombin
3.4.21.6	Coagulation factor Xa
3.4.21.7	Plasmin

Enzyme Application in Food Industry

- นม (Dairy Industry)
- เบียร์ (Brewing Industry)
- ขนมอบ (Baking Industry)
- ไวน์และน้ำผลไม้ (Wine and Fruit Juice Industry)
- เนื้อสัตว์ (Meat)

- นม (Dairy Industry)

ได้แก่ rennet ใช้ในการทำชีส เป็นเอนไซม์
Chymosin ซึ่งเป็น protease จากกระเพาะลูก
วัว และมี rennet จากพืชด้วย เช่น Cynzime®

Lactase ใช้ทำ lactose-free milk สกัดจากยีสต์

Catalase ผลิตจากตับวัวหรือจากจุลินทรีย์ ใช้
ป้องกันการออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์

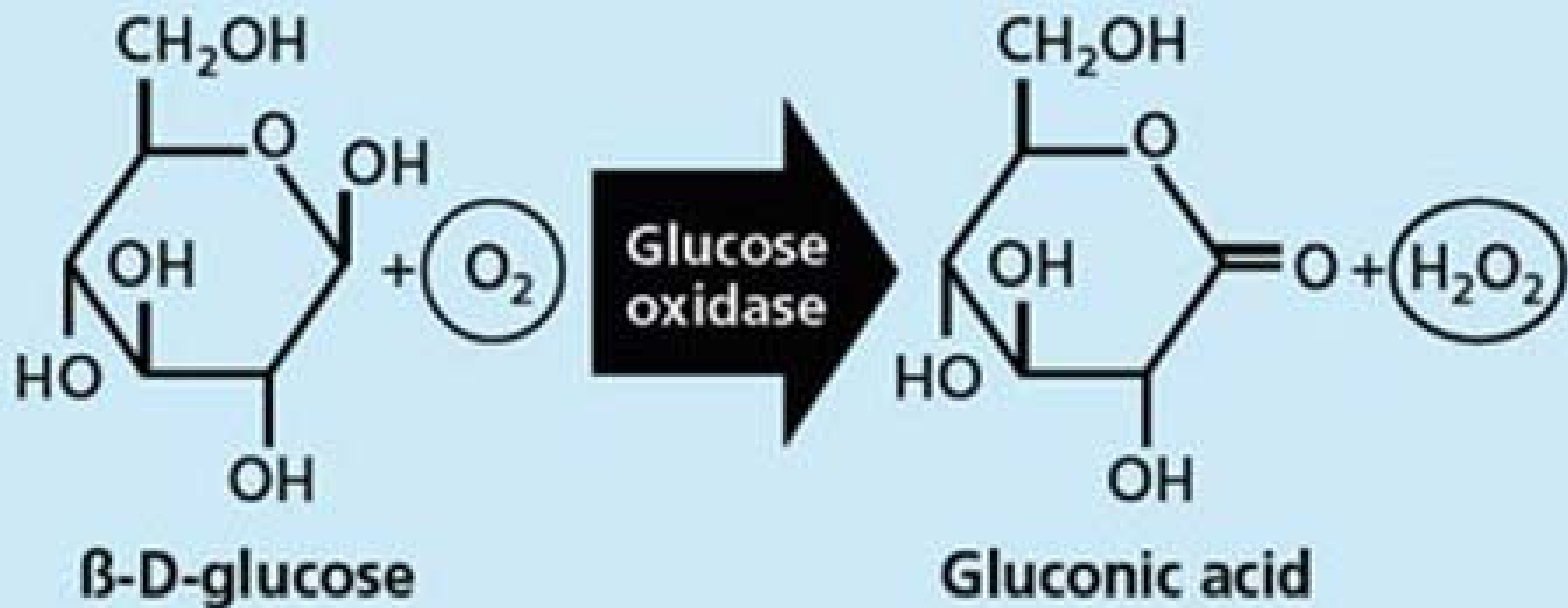
Protease ช่วยให้ชีสมีรสชาติและเนื้อสัมผัส
เฉพาะ เช่น รสขม

- เบียร์ (Brewing Industry)

ได้แก่ Protease, β -glucanase, α -amylase และ amyloglucosidase ระหว่างกระบวนการ malting ของข้าวบาร์เลย์

- ขนมอบ (Baking Industry)

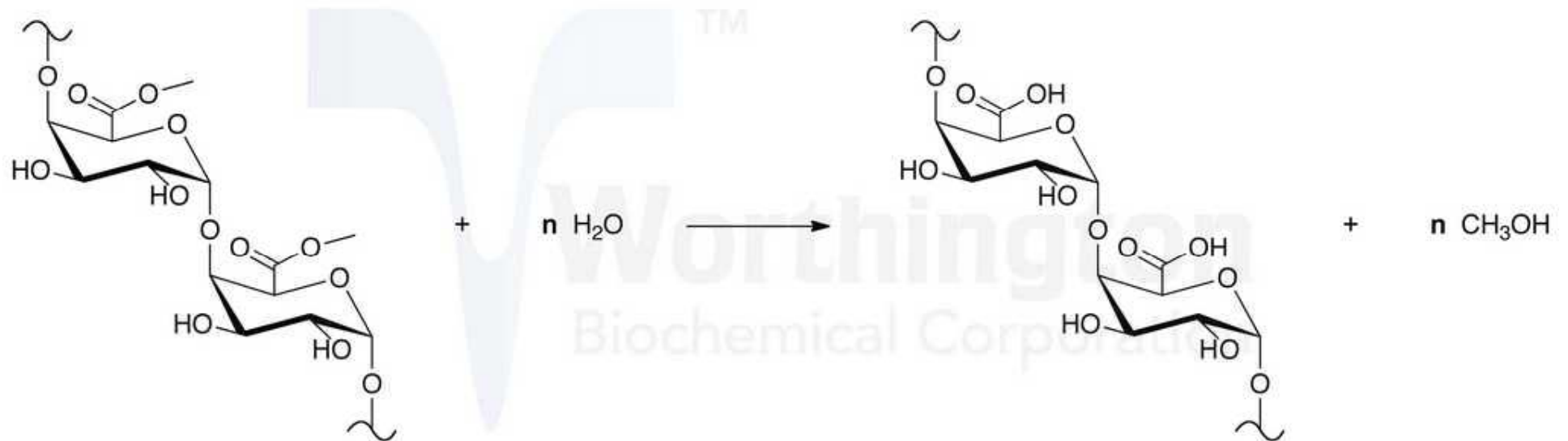
เช่น glucose oxidase ช่วยให้แป้งมีความเหนียว นุ่ม เนื่องจาก H_2O_2 เพิ่มความแข็งแรงให้พันธะ ไดซัลไฟด์ใน Gluten



- ไวน์และน้ำผลไม้

เช่น Pectinase ป้องกันไม่ให้น้ำผลไม้ขุ่น และช่วยให้ผนังเซลล์อ่อนนุ่ม สกัดสีและน้ำผลไม้ ออกมาได้มากขึ้น แต่ถ้าใช้มากเกินไปจะได้ methanol ที่เป็นพิษ เนื่องจากกิจกรรม pectin esterase

Pectinesterase



Pectin

Pectic acid

Methanol

- เนื้อ (meat)
เช่น papain,
bromelain

