บทที่ 8 สารชีวโมเลกุล (Biomolecules)

เอกสารประกอบการสอนวิชา คม 103 หลักเคมี 2

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2553

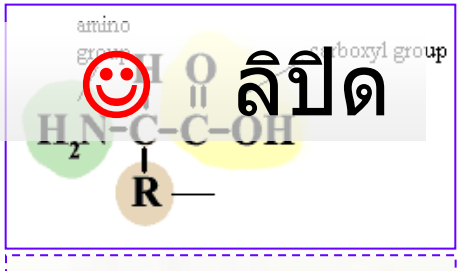
วันที่ 7-17 กุมภาพันธ์ 2554

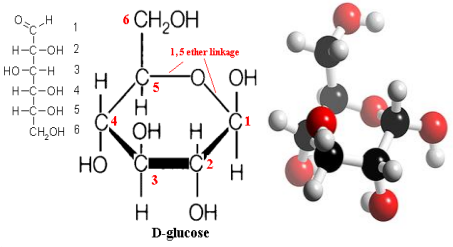
อ. กัญญา บุตราช

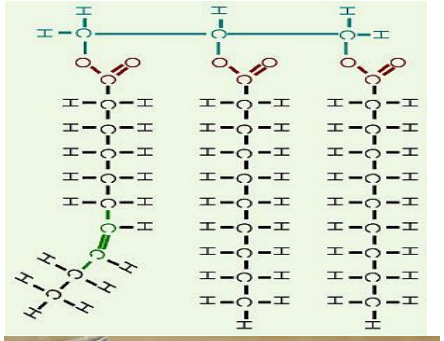
kanya@mju.ac.th, papuimju@hotmail.com

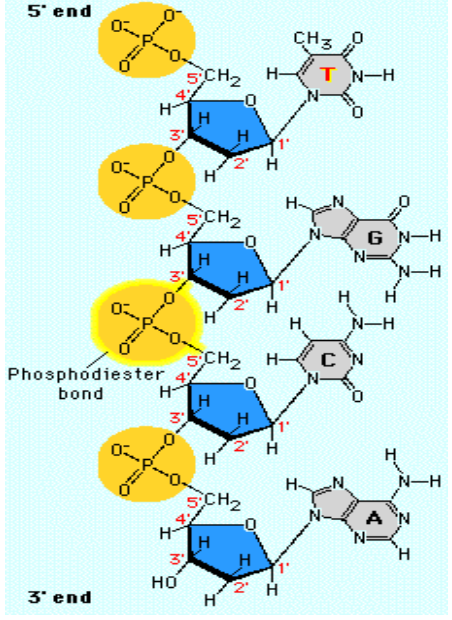
สารชีวโมเลกุล (Biomolecules)

- กรดอะมิโน เปปไทด์ และโปรตีน
- กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์
- คาร์โบไฮเดรต
- ลิปิด





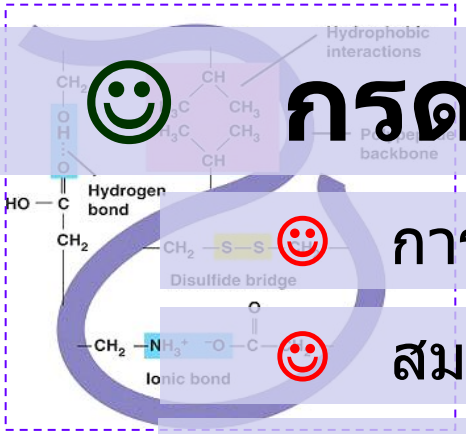


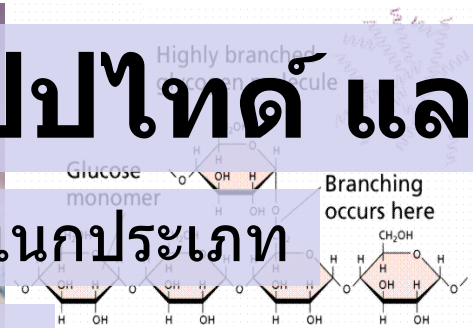


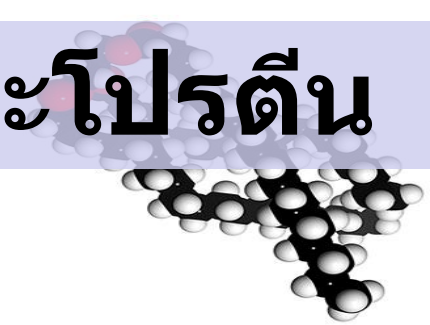
สารชีวโมเลกุล (Biomolecules)

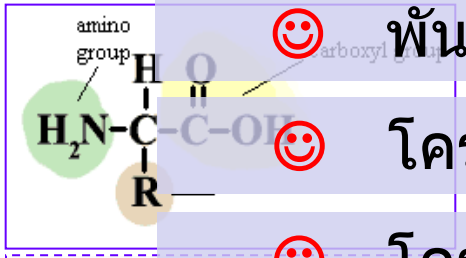
☺ กรดอะมิโน เปปไทด์ และโปรตีน

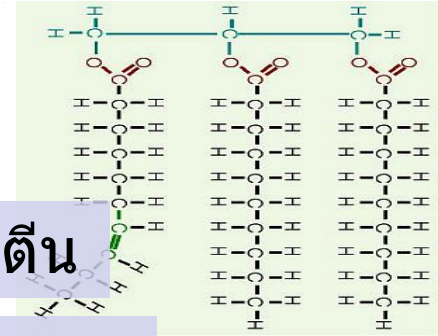
- ☺ การเรียกชื่อ และจำแนกประเภท
- ☺ สมบัติของกรดอะมิโน
- ☺ พันธะเปปไทด์
- ☺ โครงสร้างปฐมภูมิของเปปไทด์และโปรตีน
- ☺ โครงสร้างทุติยภูมิของเปปไทด์และโปรตีน
- ☺ โครงสร้างตติยภูมิและโครงสร้างที่ใหญ่กว่า
- ☺ ปฏิกิริยาเคมีของกรดอะมิโนและโปรตีน

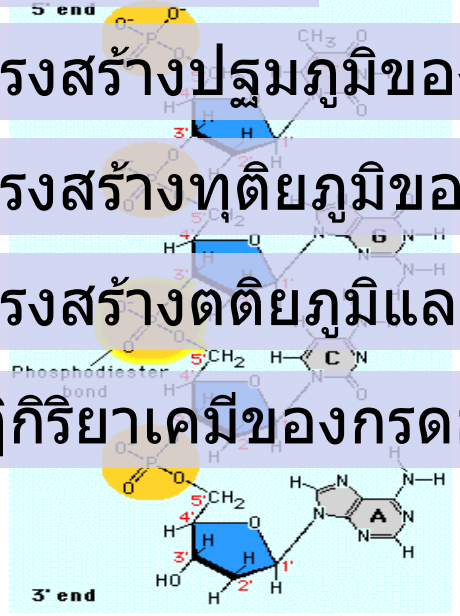












กรดอะมิโน

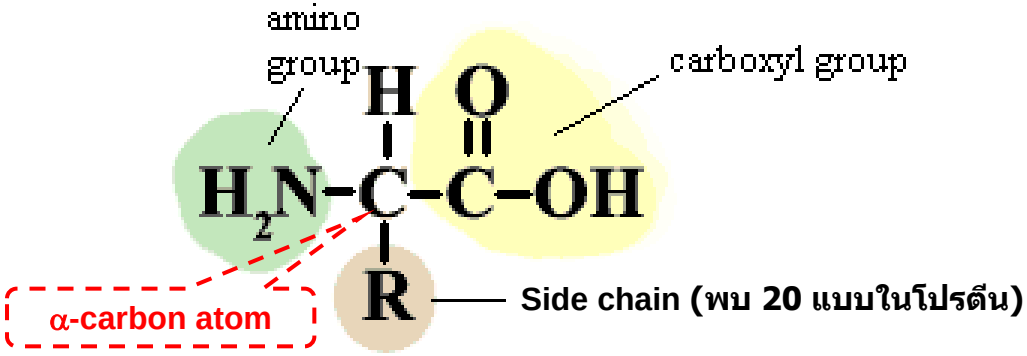
การเรียกชื่อ และการจัดจำแนกประเภท

กรดอะมิโน (Amino acids) มีโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วย

- Carboxyl group -COOH
- Amino group $-NH_2$
- H atom -H
- Side chain -R

เกิดพันธะโควาเลนต์กับ α-carbon atom $(-\overset{|}{\underset{|}{C}}-)$

กรดอะมิโน



ที่มา :www.palaeos.com/.../Lists/Glossary/Gloss.html

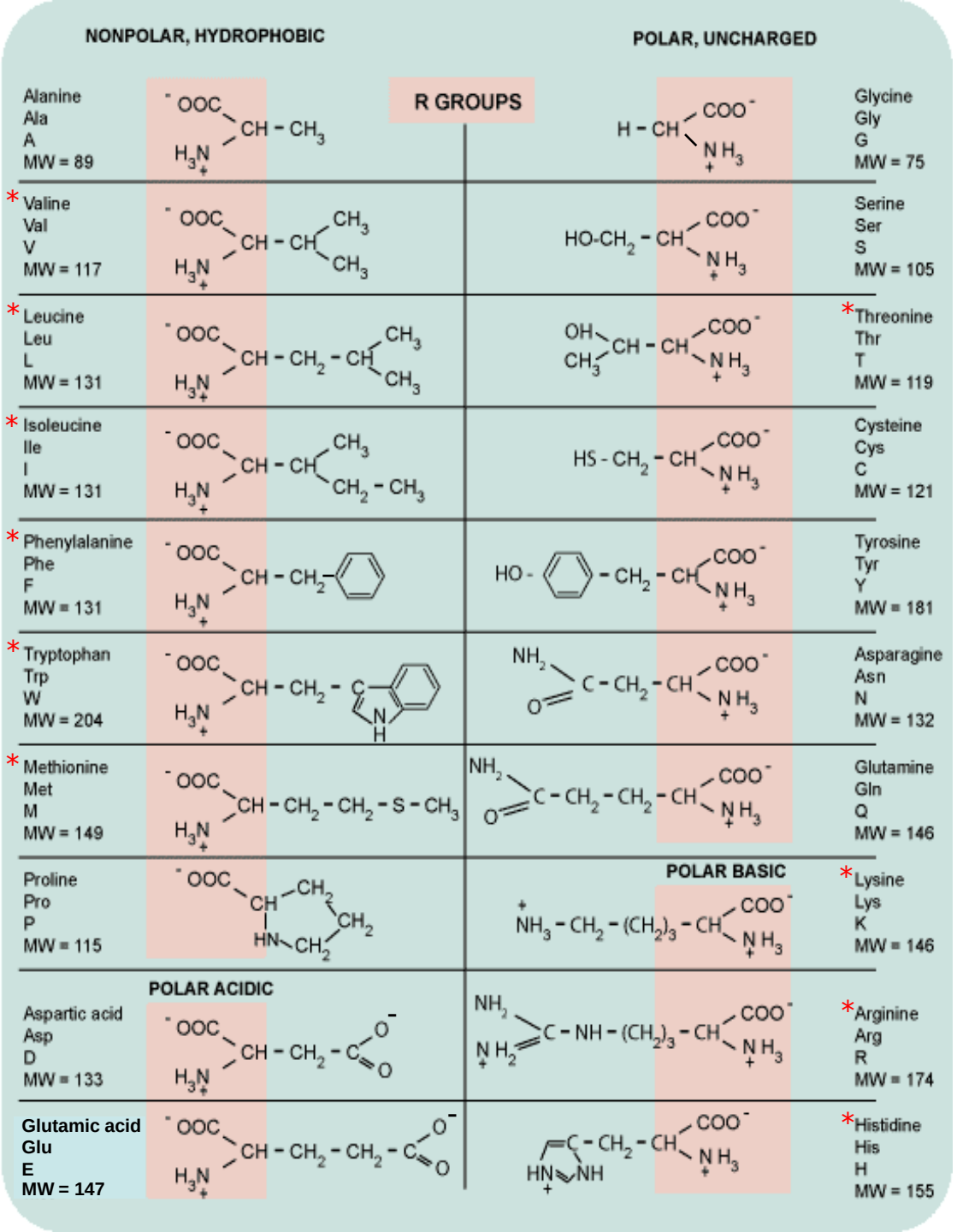
จากโครงสร้างเรียกกรดอะมิโนทั่วๆ ไปว่า กรดอะมิโนแอลฟา (α-amino acid) และมักพบเป็นองค์ประกอบในโปรตีนจึงเรียก โปรตีโนเจนิกอะมิโนแอซิด (proteinogenic amino acid) ด้วย

ตาราง 1 : Proteinogenic amino acids 20 ชนิด ที่พบในธรรมชาติ แบ่งกลุ่มตามคุณสมบัติของ side chain

- Nonpolar, hydrophobic amino acids (กรดอะมิโนที่ไม่มีขั้ว และไม่ชอบน้ำ) 8 ชนิด
- Polar, uncharged amino acids (กรดอะมิโนที่มีขั้วแต่ไม่แตกตัวเป็นประจุ) 7 ชนิด
- Polar, charged amino acids (กรดอะมิโนที่แตกตัวเป็นประจุ) 5 ชนิด แบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย
  - Acidic amino acids
  - Basic amino acids

* กรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acids) ซึ่งร่างกายมนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์ได้ ต้องรับจากอาหารเท่านั้น

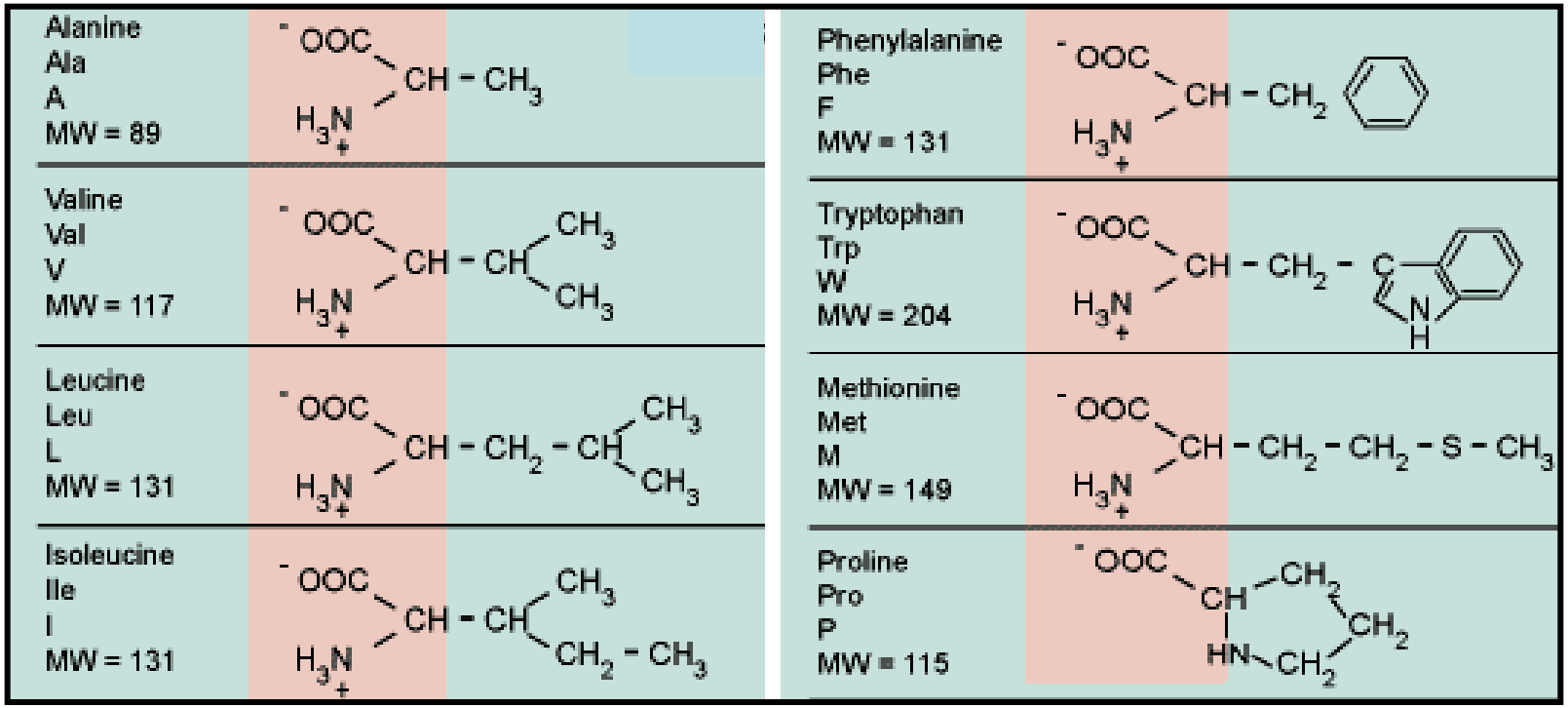
ดัดแปลงจาก : www.allstarhealth.com/.../



กรดอะมิโน

1. Nonpolar, hydrophobic amino acid (กรดอะมิโนที่ไม่มีขั้ว) side chain R เป็นพวกไม่มีขั้ว จึงทำให้กรดอะมิโนกลุ่มนี้ละลายน้ำได้น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นๆ

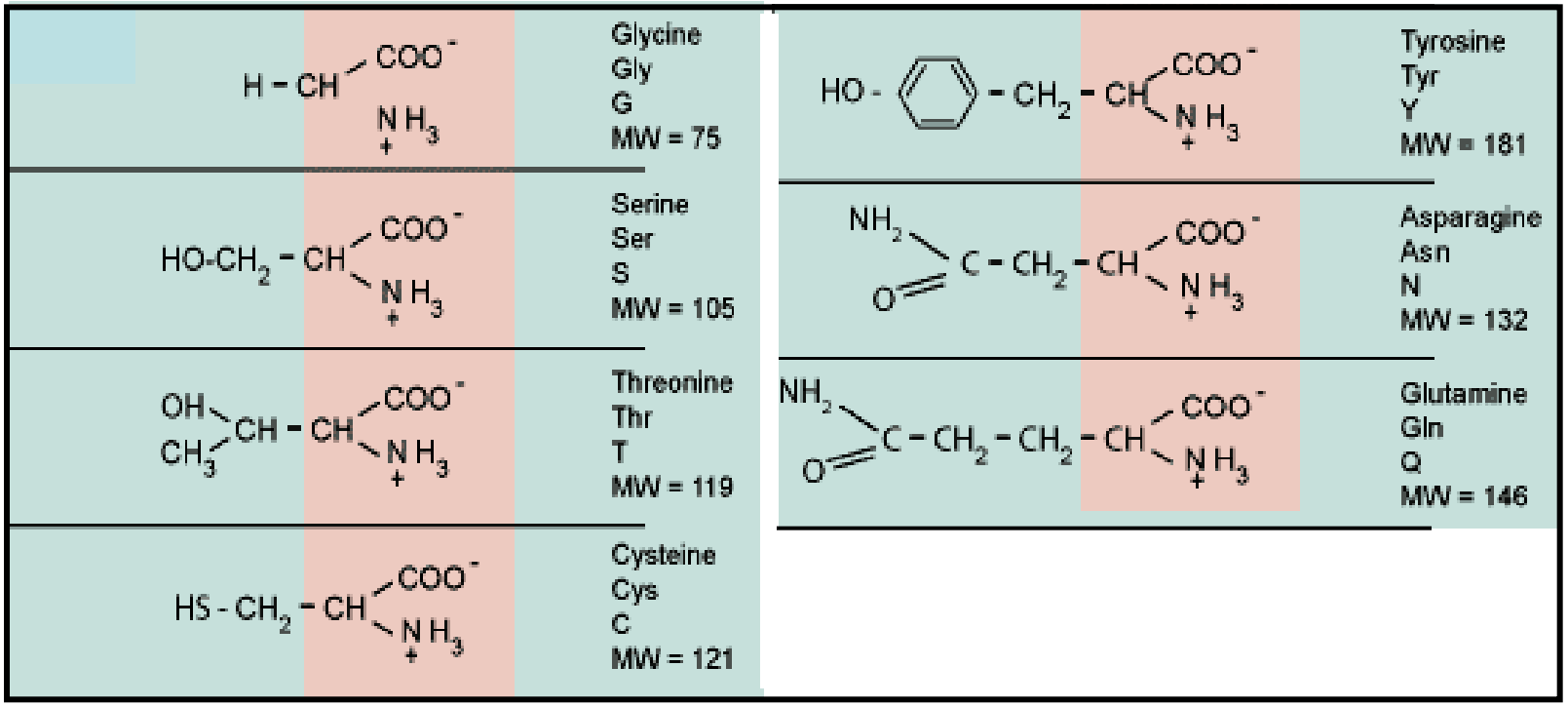
ประกอบด้วยกรดอะมิโน 8 ชนิด



กรดอะมิโน

2. Polar, uncharged amino acid (กรดอะมิโนที่มีขั้วแต่ไม่แตกตัวเป็นประจุ) side chain R เป็นพวกมีขั้วแต่ไม่เป็นประจุ

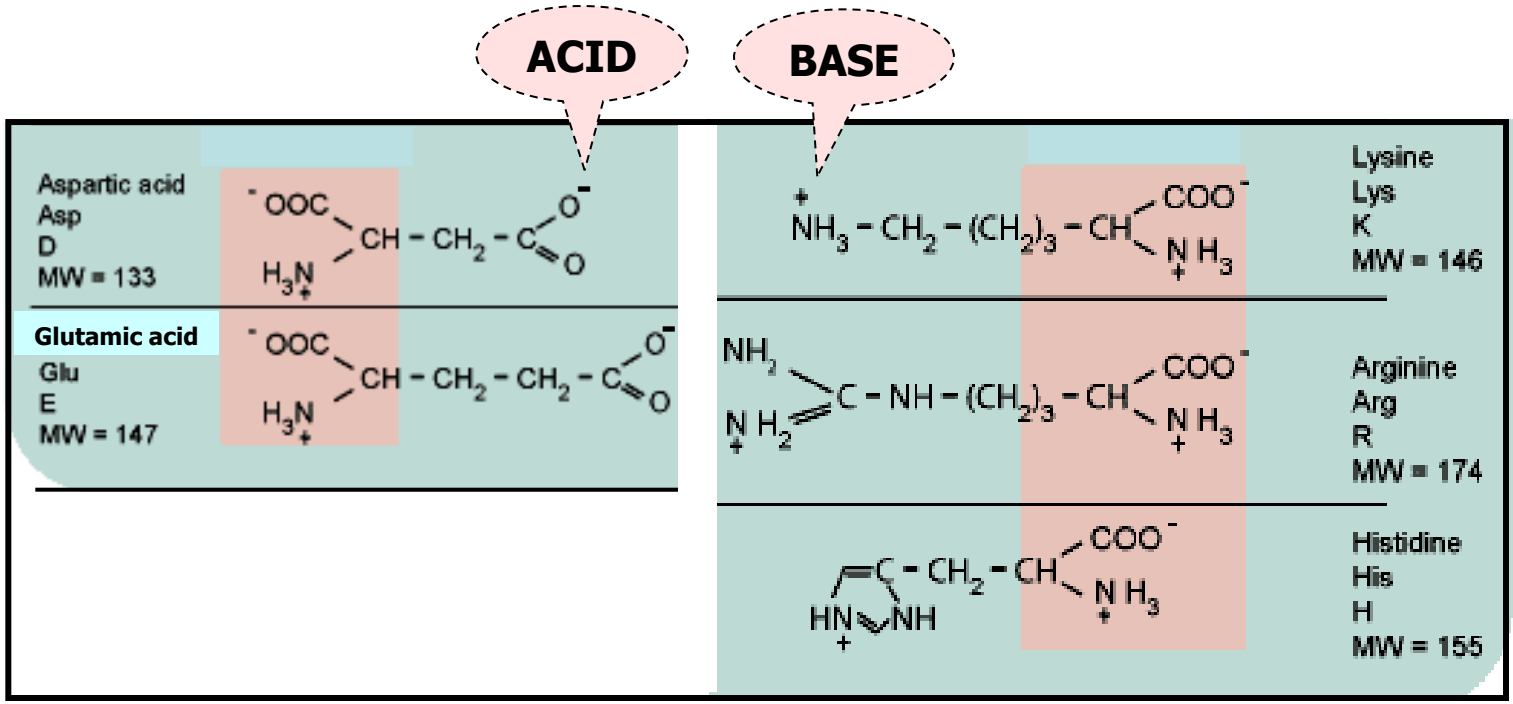
ประกอบด้วยกรดอะมิโน 7 ชนิด



กรดอะมิโน

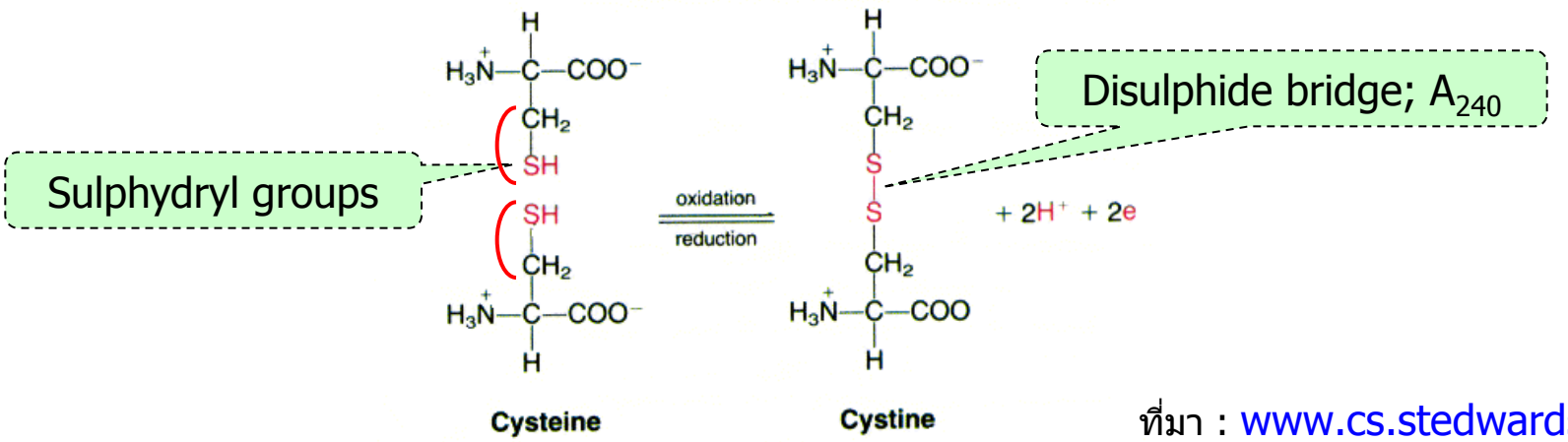
3. Polar, charged amino acid (กรดอะมิโนที่มีขั้วและแตกตัวเป็นประจุ) side chain R เป็นพวกมีขั้ว และเป็นประจุบวกหรือลบ

ประกอบด้วยกรดอะมิโน 5 ชนิด



กรดอะมิโน

"ซีสทีน" (cystine) ที่เคยถือว่าเป็นโปรตีโนเจนิกอะมิโนแอซิดชนิดหนึ่ง ความจริงคือไดเมอร์ของซิสเตอีน (cysteine)

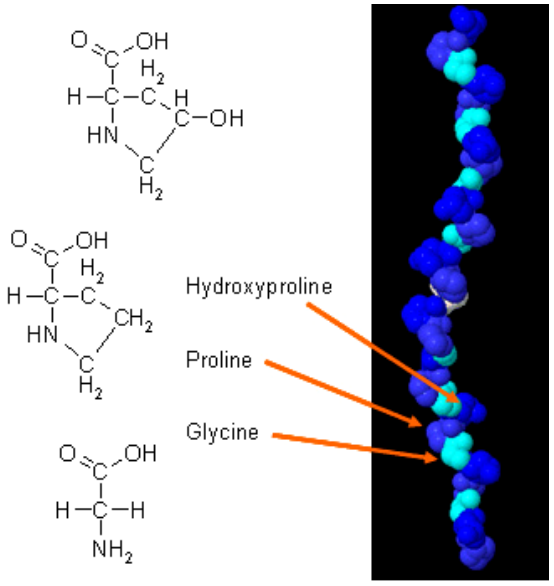


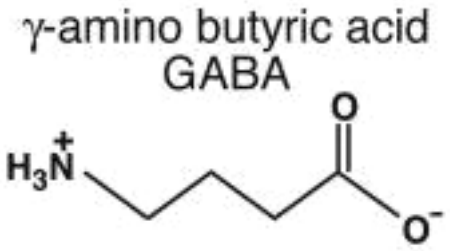
ที่มา : www.cs.stedwards.edu

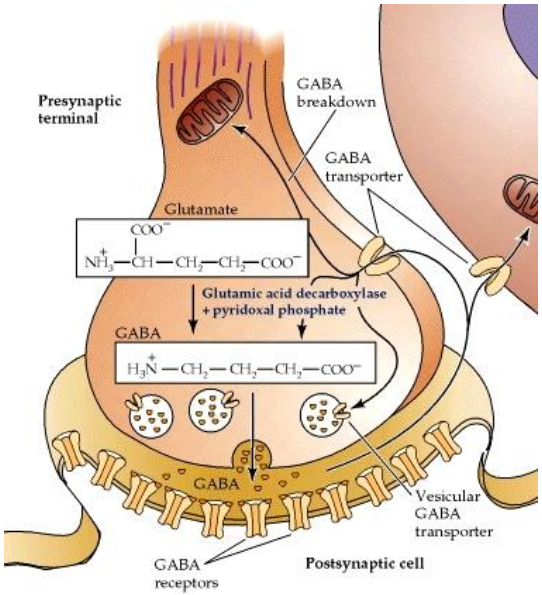
พันธะไดซัลไฟด์ (disulphide bridge) ที่เกิดระหว่างหมู่ซัลไฟดริว (sulphydryl group) ของกรดอะมิโนซิสเตอีนทำให้โปรตีนมีการขดตัวได้โครงรูปกลม โครงสร้างระดับนี้ถูกทำลายได้โดยความร้อนซึ่งทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ (denature) และไม่สามารถทำหน้าที่ทางชีวภาพได้

กรดอะมิโน

นอกจากนี้ยังพบนอน-โปรตีโนเจนิก อะมิโน แอซิด (non-proteinogenic amino acid) ซึ่งอาจเป็นองค์ประกอบของโปรตีนหรือไม่ก็ได้ เช่น ไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxyproline) ที่เป็นองค์ประกอบของคอลลาเจน และแกมมา-อะมิโน บิวไทริก แอซิด (γ-amino butyric acid; GABA) ซึ่งเป็นสารสื่อกระแสประสาทแบบยับยั้ง (inhibitory neurotransmitter)







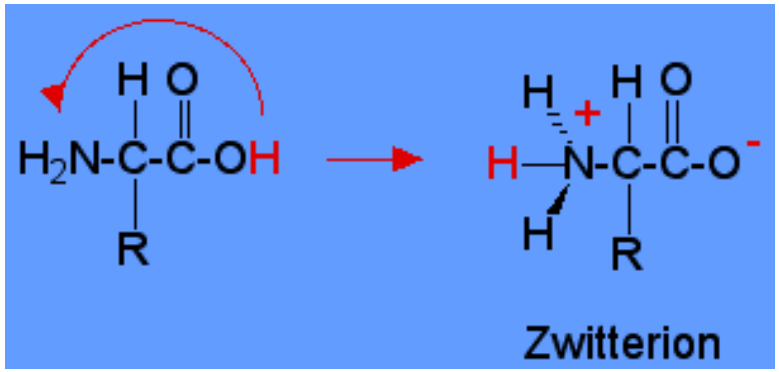
ที่มา : https:/.../Collagen+-+B-+rgam, www.getnutri.com/**gaba**.html, www.ncbi.nlm.nih.gov/bookshelf/br.fcgi?book=n...

กรดอะมิโน

สมบัติของกรดอะมิโน

1. จุดหลอมเหลวที่สูงมาก กรดอะมิโนมีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรดและเบสอยู่ในโมเลกุลเดียวกัน (amphoteric) ซึ่งทำปฏิกิริยากันเองเกิดเป็นเกลือ (internal salt)

   เรียกโครงสร้างที่เกิดขึ้นว่าสวิทเทอร์ไอออน (zwitterion) หรือไดโพลาร์ไอออน (dipolar ion) โดย



เบส

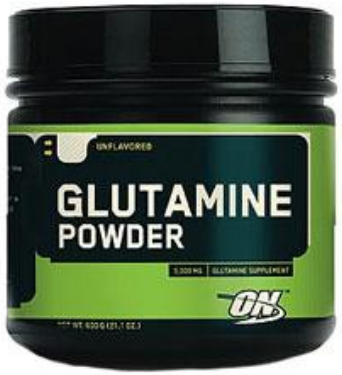
- $-NH_2$ เปลี่ยนเป็น $-NH_3^+$
- $-COOH$ เปลี่ยนเป็น $-COO^-$

กรด

กรดอะมิโน

สมบัติของกรดอะมิโน

ผลึกของกรดอะมิโนที่ตกจากสภาพ zwitterion จะสลายตัวก่อนหลอมเหลวที่ 200-300 °C เพราะโมเลกุลยึดกันด้วยพันธะไอออนิก การจะทำลายพันธะนี้ต้องใช้อุณหภูมิสูง



กรดอะมิโน

สมบัติของกรดอะมิโน

2. ค่า pK เฉพาะตัว

กรดอะมิโนมีหมู่ฟังก์ชันที่แตกตัวได้ 2 หมู่ คือ หมู่คาร์บอกซิล (-COOH) และหมู่เอมีน ($-NH_3^+$) ซึ่งเป็นการแตกตัวอย่างอ่อน จึงมีค่า pK เฉพาะตัวดังแสดงใน ตาราง 2

ตาราง 2 : ค่า pK ของ amino acids

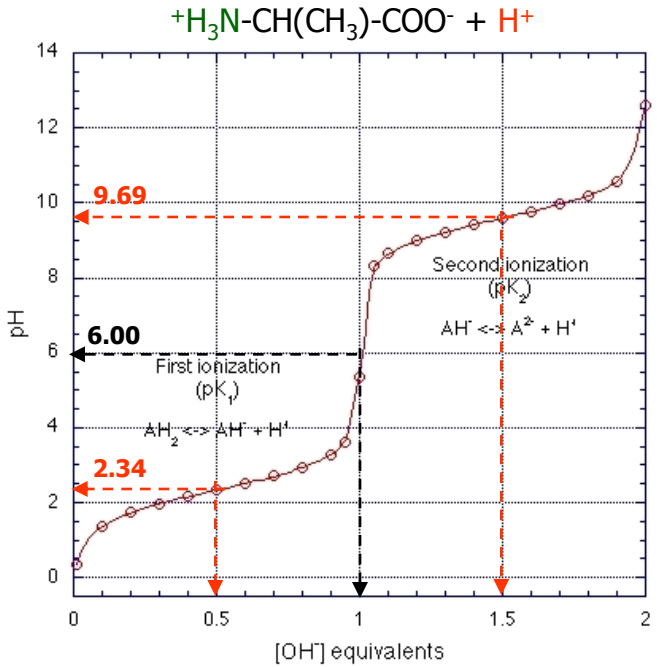
Amino Acid	Abbreviation		pK_1	pK_2	pK_R	pI
	3-Letters	1-Letter	-COOH	$-NH_3^+$	R group	
Alanine	Ala	A	2.34	9.69	-	6.00
Arginine	Arg	R	2.17	9.04	12.48	10.76
Asparagine	Asn	N	2.02	8.80	-	5.41
Aspartic Acid	Asp	D	1.88	9.60	3.65	2.77
Cysteine	Cys	C	1.96	10.128	8.18	5.07
Glutamic Acid	Glu	E	2.19	9.67	4.25	3.22
Glutamine	Gln	Q	2.17	9.13	-	5.65
Glycine	Gly	G	2.34	9.60	-	5.97
Histidine	His	H	1.82	9.17	6.00	7.59
Isoleucine	Ile	I	2.36	9.60	-	6.02
Leucine	Leu	L	2.36	9.60	-	5.98
Lysine	Lys	K	2.18	8.95	10.53	9.74
Methionine	Met	M	2.28	9.21	-	5.74
Phenylalanine	Phe	F	1.83	9.13	-	5.48
Proline	Pro	P	1.99	10.60	-	6.30
Serine	Ser	S	2.21	9.15	-	5.58
Threonine	Thr	T	2.09	9.10	-	5.60
Tryptophan	Trp	W	2.83	9.39	-	5.89
Tyrosine	Tyr	Y	2.20	9.11	10.07	5.66
Valine	Val	V	2.32	9.62	-	5.96

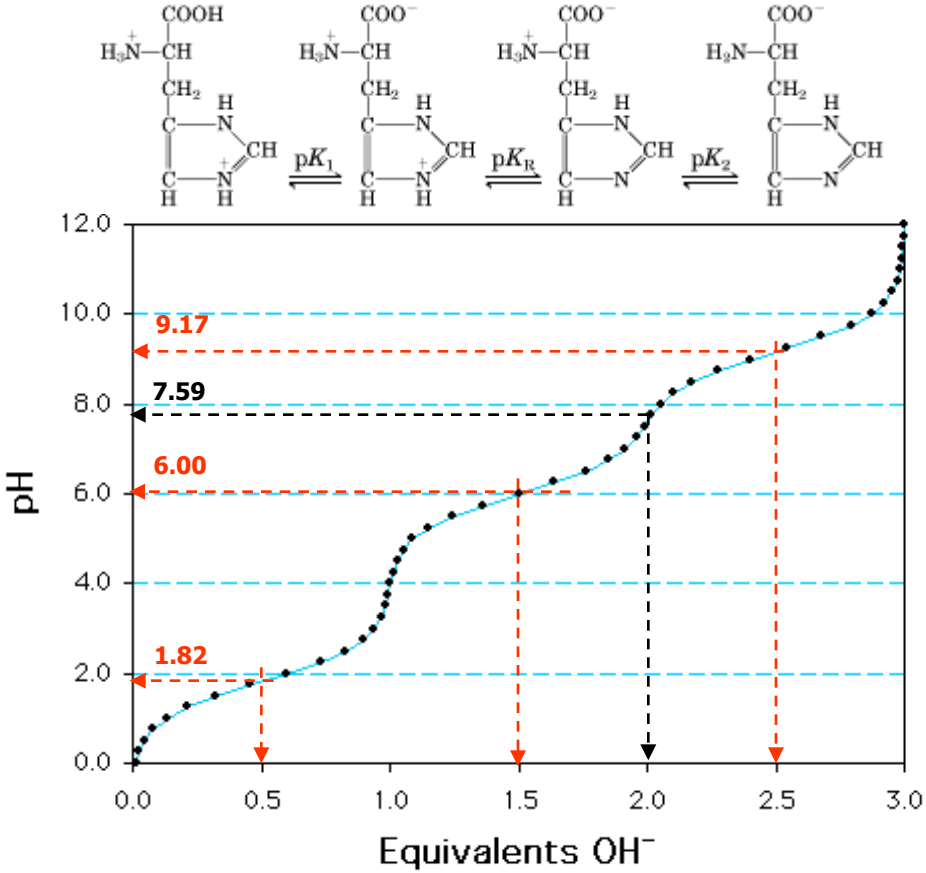
ที่มา : www.geneinfinity.org/sp_aaprops.html

กรดอะมิโน (Amino acids)

สมบัติของกรดอะมิโน

Titration curve ของกรดอะมิโน alanine และ histidine





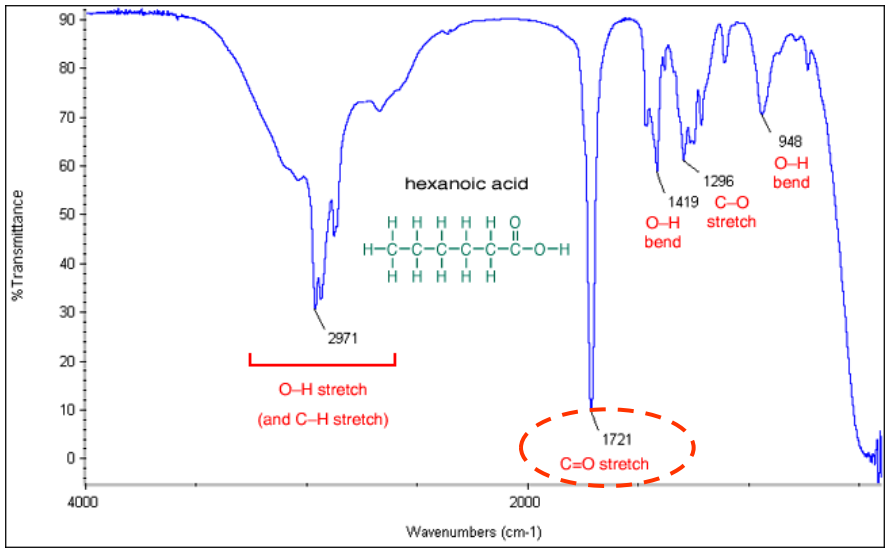
+H3N-CH(CH3)-COOH H2N-CH(CH3)-COO- + H+

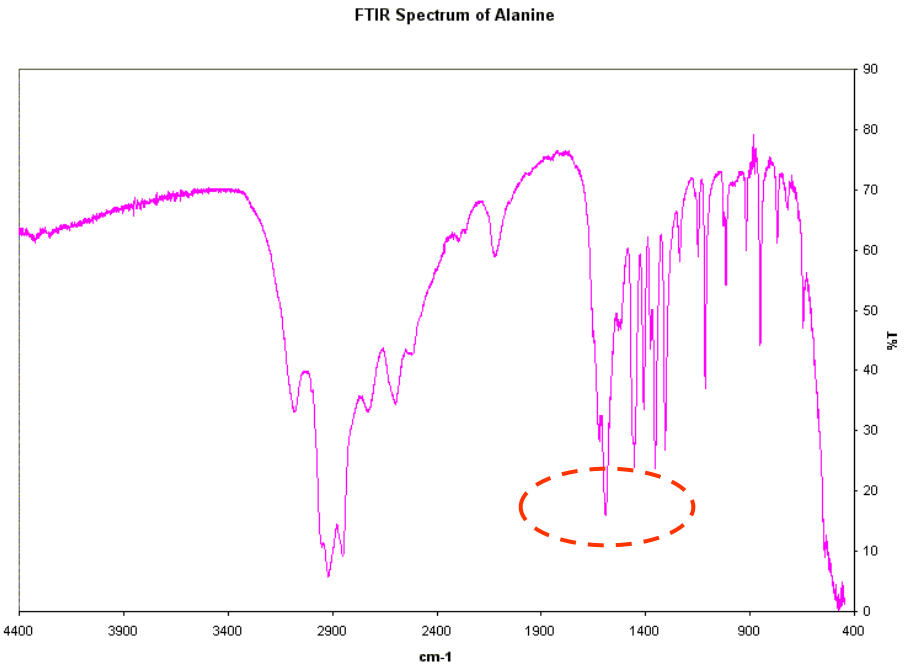
ที่มา : tonga.usip.edu/gmoyna/biochem341/lecture9.html, www.bio.cmu.edu/.../03231/LecF04/LecLinks.html, www.biochem.arizona.edu/.../amino_acids.htm

กรดอะมิโน

สมบัติของกรดอะมิโน

3. อินฟาเรดสเปกตรัม (IR spectrum) ของกรดอะมิโน แสดงให้เห็นว่าหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) อยู่ในรูปคาร์บอกซิเลตไอออน ($-COO^-$) [ν_{max} ~1610-1550 cm^{-1} เทียบกับ 1750-1680 cm^{-1}]

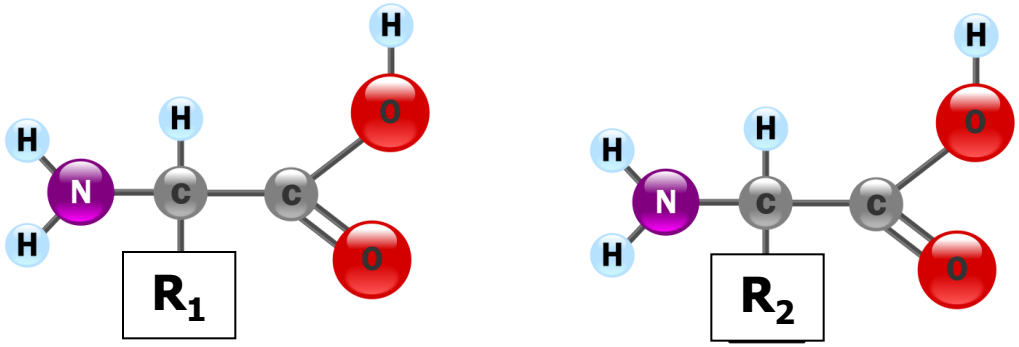




เปปไทด์และโปรตีน

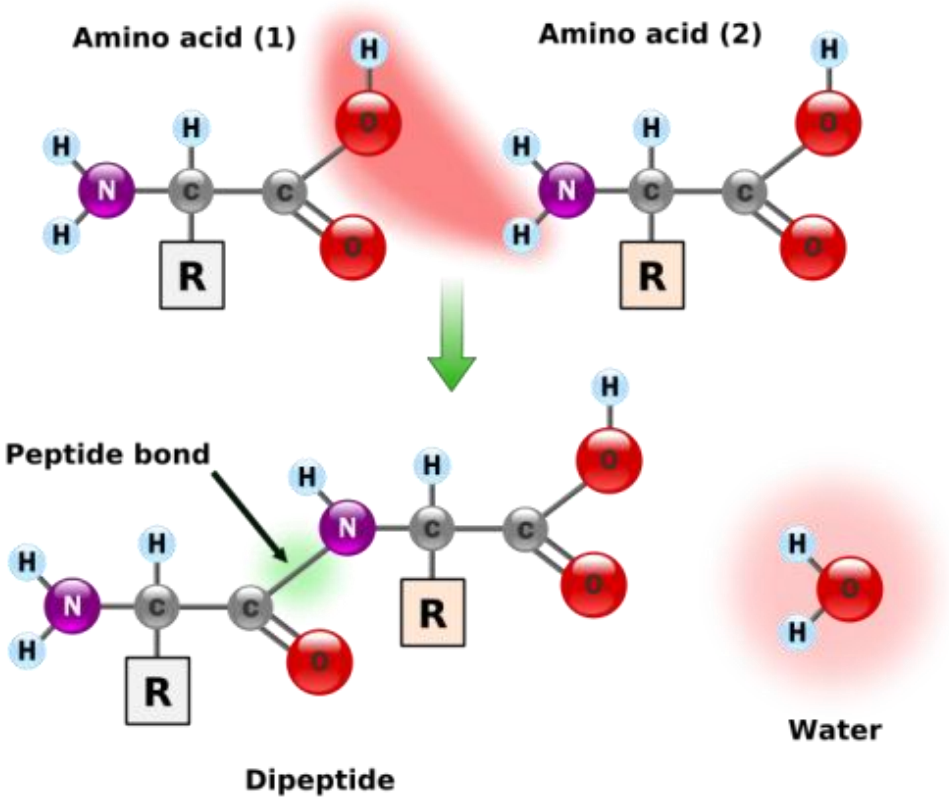
พันธะเปปไทด์

โปรตีนเกิดจากกรดอะมิโนมาเชื่อมโยงกันเป็นสายยาวด้วยพันธะเปปไทด์ (peptide bond) ซึ่งเป็นพันธะเอไมด์ (amide bond) ที่เกิดจากหมู่ carboxyl (-COOH) ของกรดอะมิโนโมเลกุลแรกกับหมู่ amino ($-NH_2$) ของกรดอะมิโนโมเลกุลถัดไป



เปปไทด์และโปรตีน

พันธะเปปไทด์



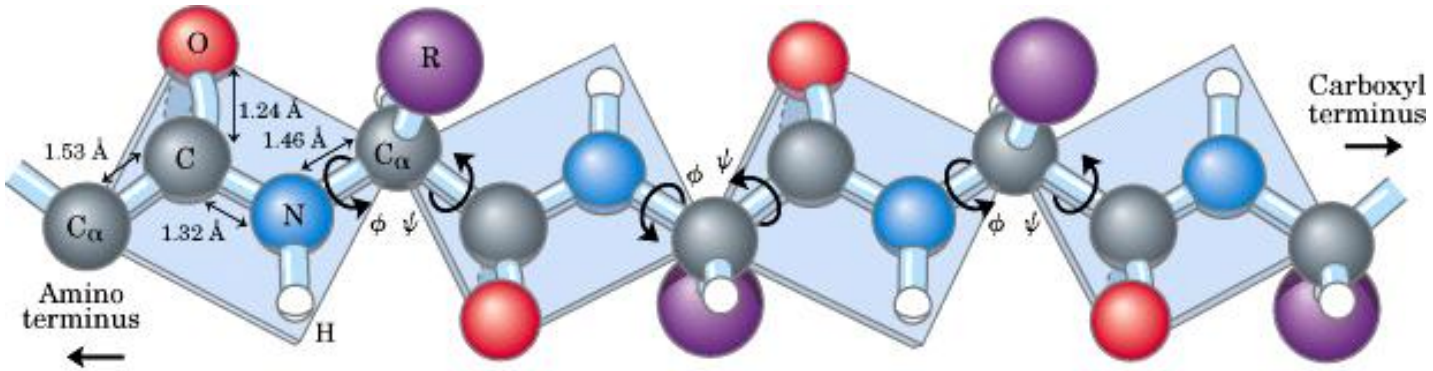
ที่มา :www.mcat45.com/content/protein

เปปไทด์และโปรตีน

พันธะเปปไทด์

ลักษณะสำคัญของพันธะเปปไทด์

1. พันธะมีลักษณะแบนราบ เนื่องจาก -N- ที่มาเกิดพันธะใช้ไฮบริดไดเซชันแบบ sp^2 และสามารถเกิดเรโซแนนซ์ระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของ N กับหมู่คาร์บอนิล -C- ได้

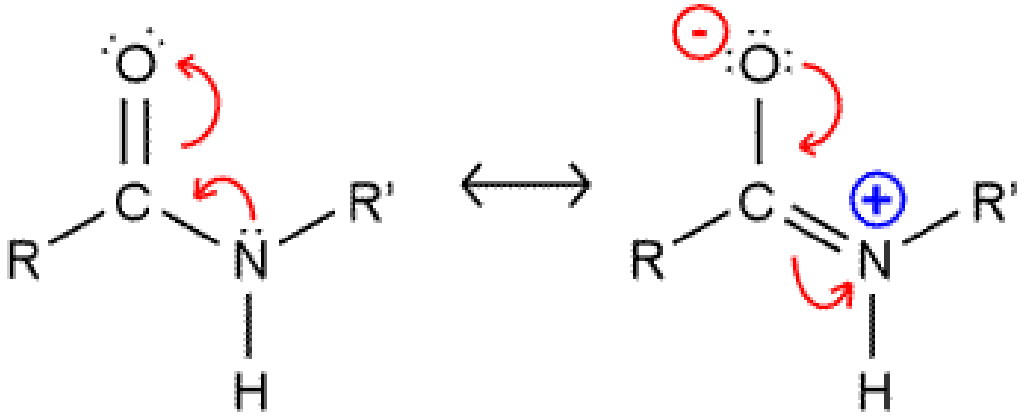


ที่มา : www.imb-jena.de/.../basics_peptide_bond.html

เปปไทด์และโปรตีน

พันธะเปปไทด์

2. ความยาวพันธะระหว่าง C(O)-N ประมาณ 1.47 pm ซึ่งเป็นความยาวระหว่างพันธะคู่และพันธะเดี่ยว เนื่องจากเกิดเรโซแนนซ์ อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของไนโตรเจนกับหมู่คาร์บอนิล

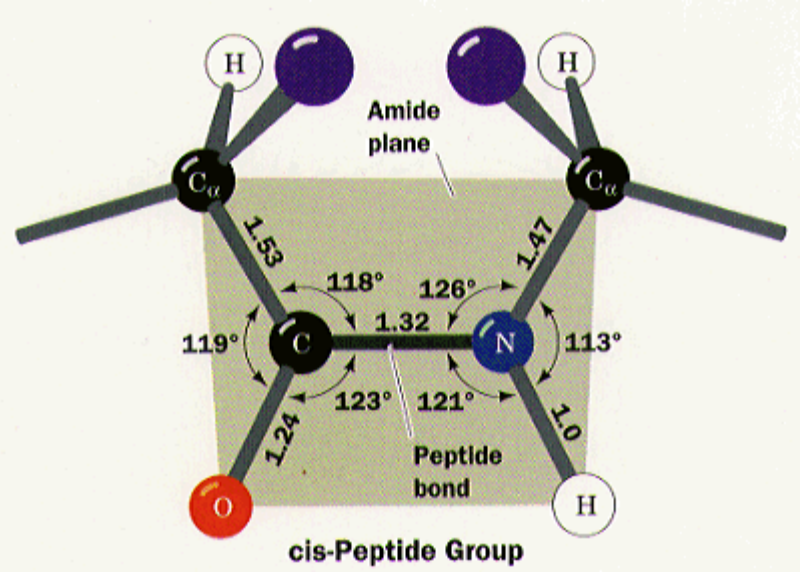


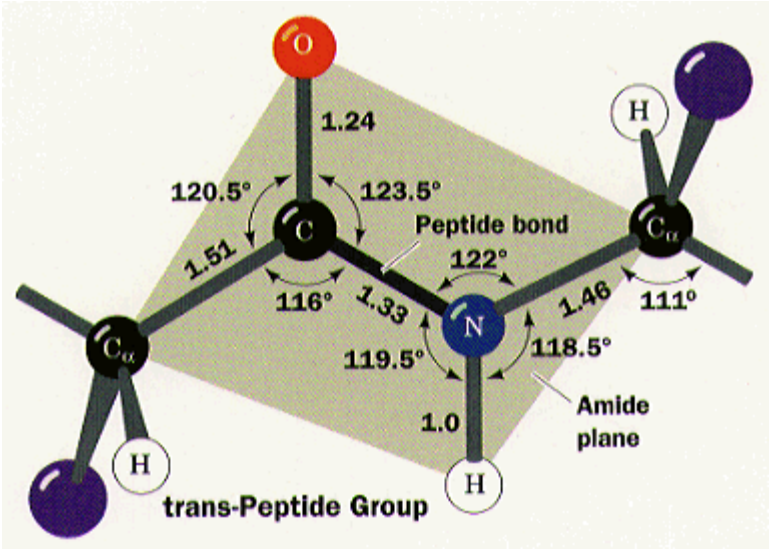
ที่มา : guweb2.gonzaga.edu/.../CHEM440pub/L05-index.cfm

เปปไทด์และโปรตีน

พันธะเปปไทด์

3. พันธะเปปไทด์สามารถอยู่ได้ 2 conformation คือ *cis* และ *trans* ซึ่งโดยทั่วไปแบบ *trans* เสถียรกว่า





ที่มา : www.nd.edu/~aseriann/ctpep.html

เปปไทด์และโปรตีน

โครงสร้างปฐมภูมิของเปปไทด์และโปรตีน

เมื่อกรดอะมิโนมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์จะเกิดพอลิเมอร์ (เปปไทด์) โดย

Dipeptide ประกอบด้วยกรดอะมิโน 2 โมเลกุล

Oligopeptide ประกอบด้วยกรดอะมิโน ≤ 50 โมเลกุล

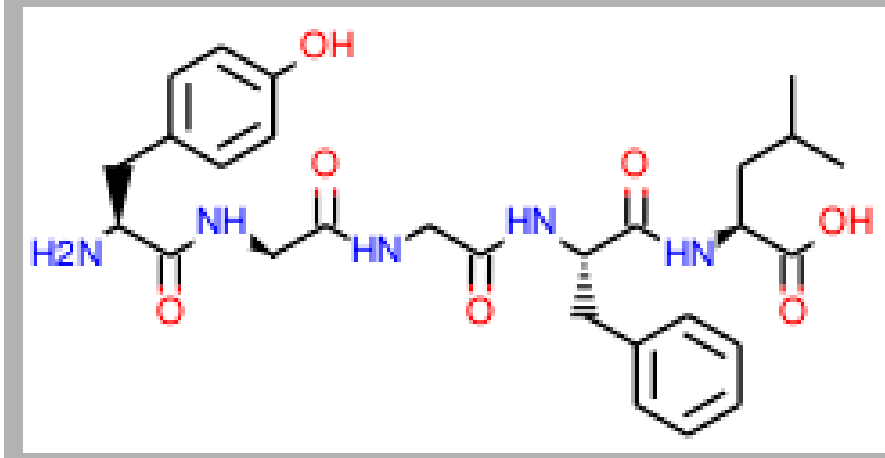
Polypeptide หรือโปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโน 100 ถึง 800 โมเลกุล (MW : 10,000-80,000)

เปปไทด์และโปรตีน

โครงสร้างปฐมภูมิของเปปไทด์และโปรตีน

ตัวอย่างโครงสร้างปฐมภูมิ การเรียกชื่อ และสัญลักษณ์ของเปปไทด์

ลิวซีนเอ็นเคฟฟาลิน (Leucine enkephalin)

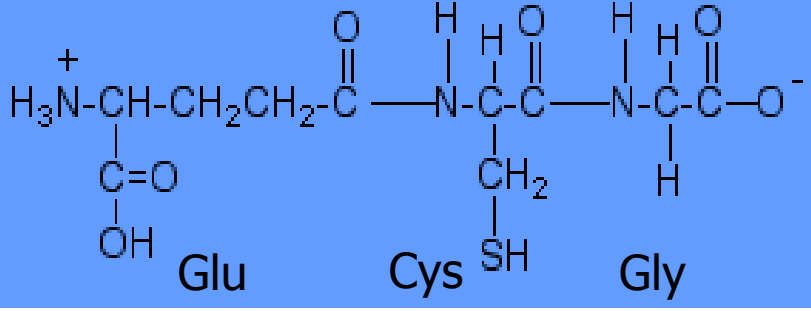


- เพนตะเปปไทด์
- ไทโรซิลไกลซิลไกลซิลฟีนิลอะลานิลลิวซีน
- Tyr-Gly-Gly-Phe-Leu
- YGGFL
- สารยับยั้งความเจ็บปวด

เปปไทด์และโปรตีน

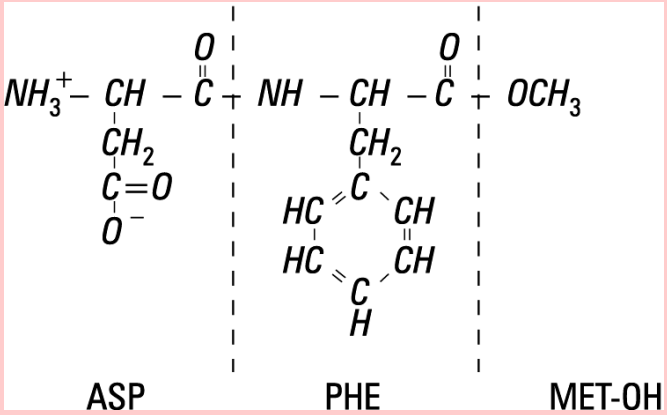
โครงสร้างปฐมภูมิของเปปไทด์และโปรตีน

กลูตาไทโอน (Glutathione)



- ไตรเปปไทด์
- กลูตามิลซิสเตอิลกลัยซีน
- Glu
  └Cys-Gly → ECG
- สารต้านออกซิเดชัน

แอสพาร์เทม (Aspartame)



- ไดเปปไทด์ (เมทิลเอสเทอร์)
- แอสพาร์ติลฟีนิลอะลานีนเมทิลเอสเทอร์
- Asp-Phe-OMe → DF-OMe
- สารให้ความหวาน

เปปไทด์และโปรตีน

โครงสร้างทุติยภูมิของเปปไทด์และโปรตีน

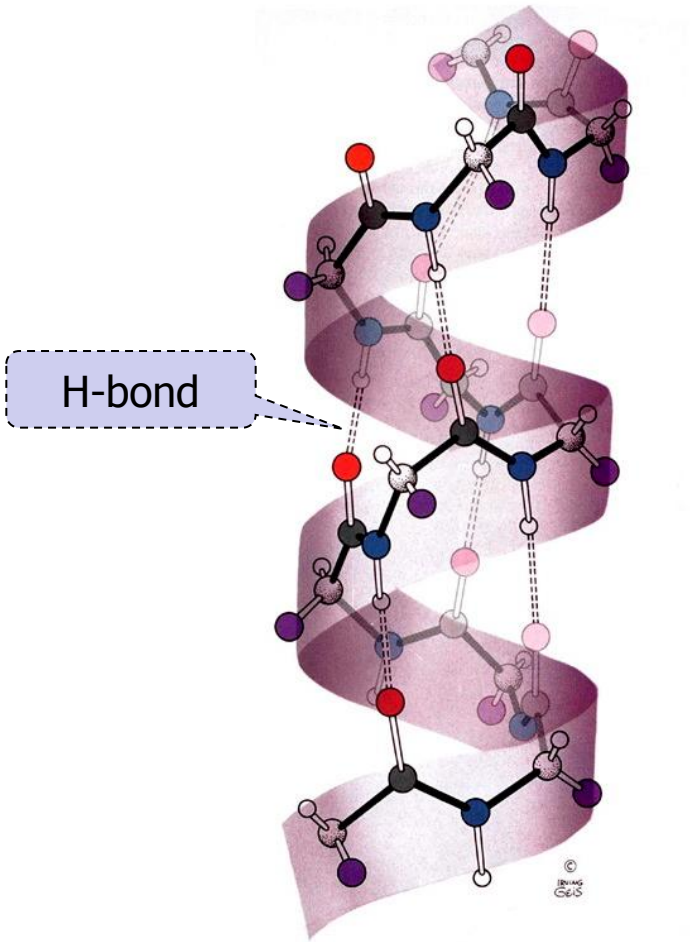
โครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary structure) เป็นโครงสร้างระดับที่พิจารณาว่าสาย polypeptide มีการจัดโครงรูปเป็นอย่างไร

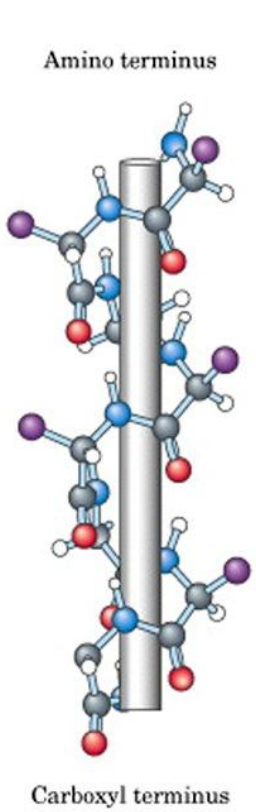
ปัจจัยที่มีส่วนทำให้เกิดโครงสร้างระดับนี้คือ H-bond ภายใน หรือระหว่างสาย polypeptide

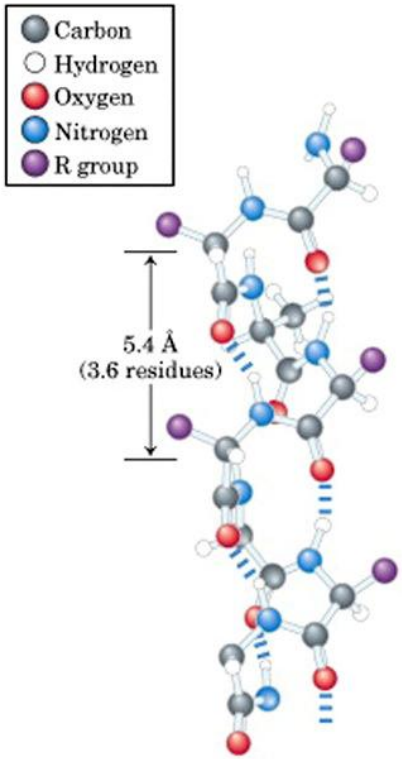
เกลียวแอลฟา (α-Helix) เกิดจาก H-bond ระหว่างหมู่ –COOH กับหมู่ $-NH_2$ ที่อยู่ไกลออกไปบน polypeptide สายเดียวกัน ทำให้เกิดลักษณะแท่งของโปรตีน

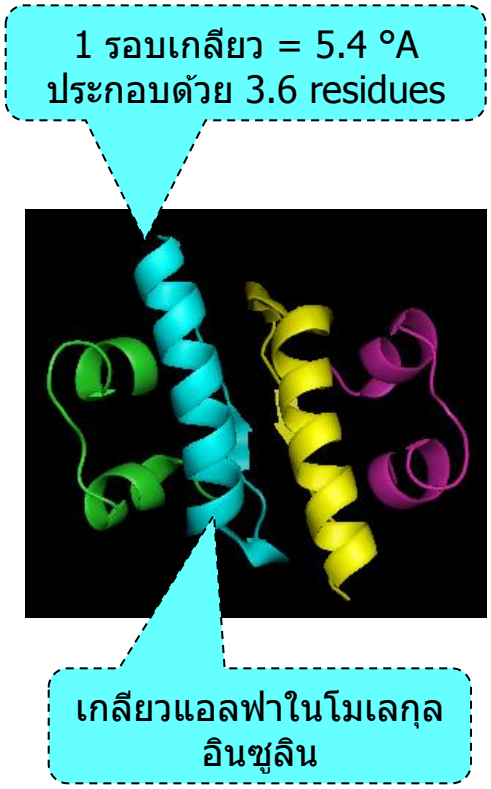
เปปไทด์และโปรตีน

โครงสร้างทุติยภูมิของเปปไทด์และโปรตีน









ที่มา :courses.cm.utexas.edu/.../ch339k/overheads-1.htm, www.che.wsu.edu/~ntracy/work.htm

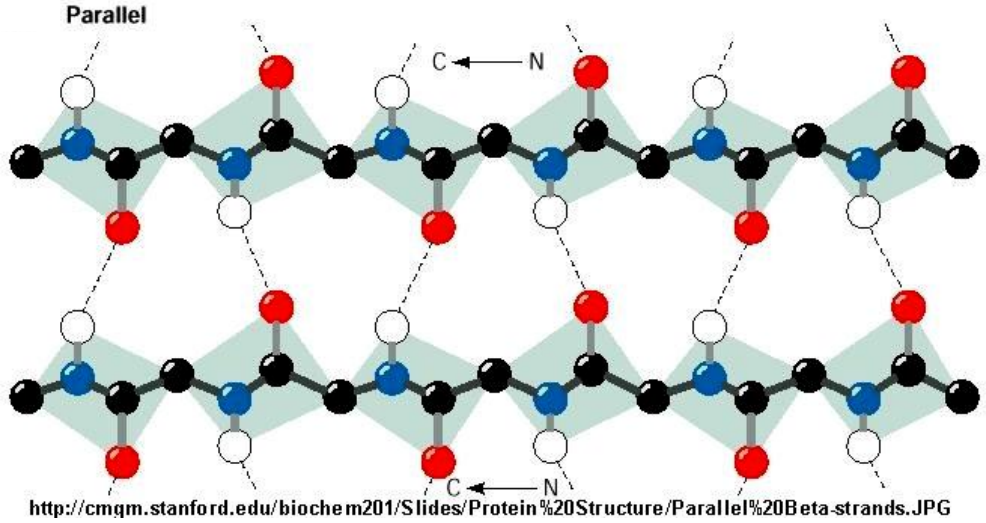
เปปไทด์และโปรตีน

โครงสร้างทุติยภูมิของเปปไทด์และโปรตีน

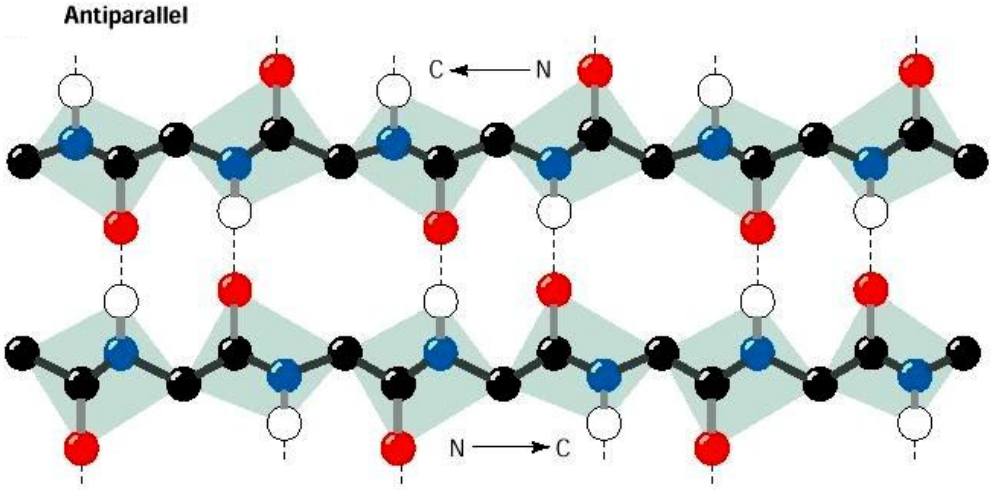
แผ่นพลีทเบต้า (β-Pleated sheet) เกิดจาก H-bond ระหว่างหมู่ –COOH กับหมู่ $–NH_2$ บน polypeptide ต่างสายกัน ทำให้ polypeptide หลายสายมาเรียงขนานกันเกิดแผ่นที่พับเป็นคลื่นของโปรตีน

- Parallel β-pleated sheet สาย polypeptide ทั้งหมดเรียงขนานโดยหัน N-terminal และ C-terminal ไปทางเดียวกัน

- Anti-parallel β-pleated sheet สาย polypeptide ทั้งหมดเรียงขนานโดยหัน N-terminal และ C-terminal สลับกัน



http://cmgm.stanford.edu/biochem201/Slides/Protein%20Structure/Parallel%20Beta-strands.JPG



http://cmgm.stanford.edu/biochem201/Slides/Protein%20Structure/Anti_parallel%20Beta-Strands.JPG

แผ่นพลีทเบต้าในโมเลกุลโปรตีน

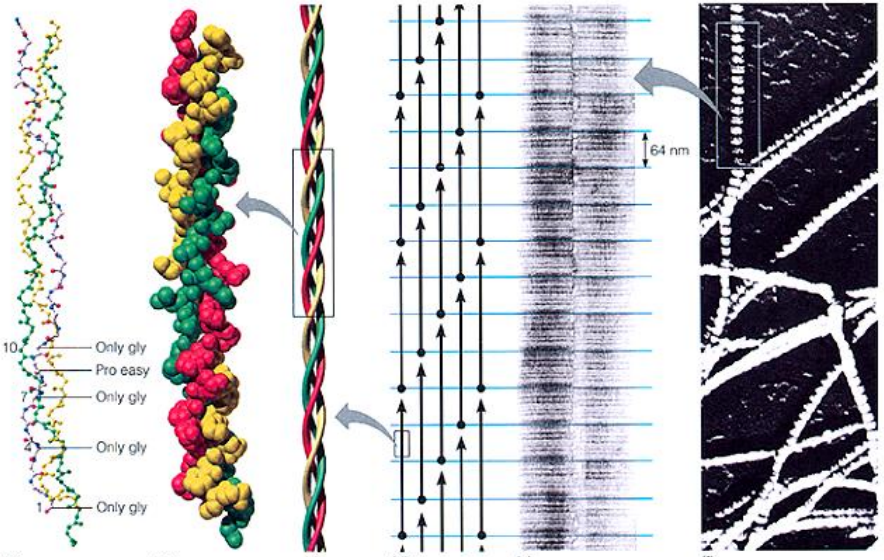
ในธรรมชาติ พบโครงสร้างแบบ anti parallel มากกว่า เพราะแข็งแรงกว่า (H-bond เป็นระเบียบกว่า)

เปปไทด์และโปรตีน

โครงสร้างทุติยภูมิของเปปไทด์และโปรตีน

เกลียวคอลลาเจน (Collagen helix) เกิดจากสาย polypeptide 3 สาย พันกันเป็นเกลียวเวียนขวาแน่นคล้ายเชือก โดยแต่ละสายเป็นเกลียวแอลฟาอยู่ก่อน

โครงสร้างแบบนี้ทำให้เกิดโปรตีนที่มีลักษณะเป็นเส้นยาว เหนียว ยืด-หด ได้



ที่มา :www.sp.uconn.edu/.../fa02/terry/proteins.html

เปปไทด์และโปรตีน

โครงสร้างตติยภูมิและโครงสร้างที่ใหญ่กว่า

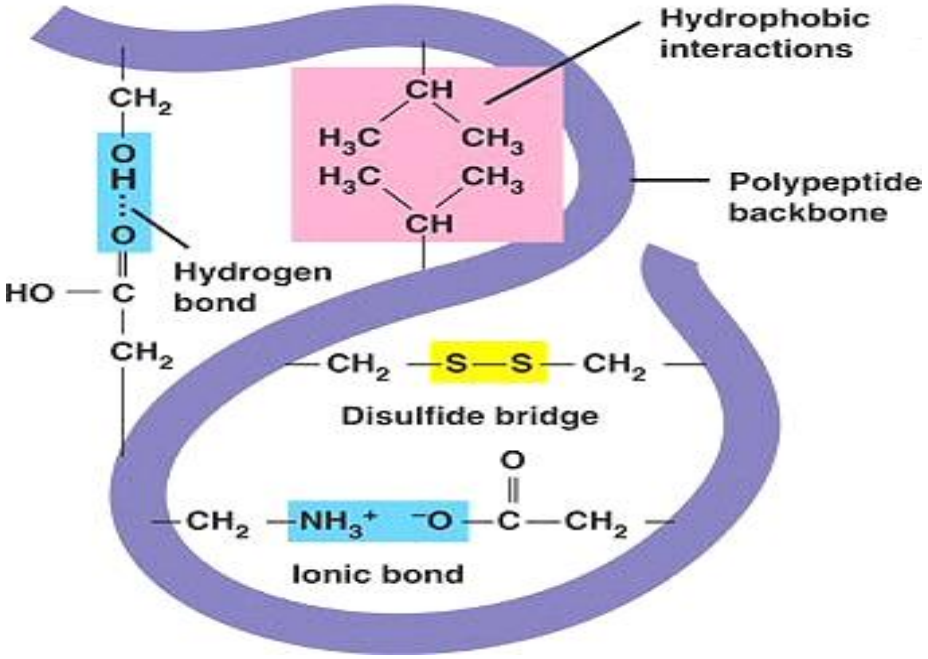
โครงสร้างตติยภูมิ (Tertiary structure) เป็นโครงสร้างระดับที่พิจารณาว่าสาย polypeptide มีการขดหรือม้วนตัวทำให้ได้โครงรูปกลม

ปัจจัยที่มีส่วนทำให้เกิดโครงสร้างระดับนี้คือ แรงระหว่าง side chain R โดยเฉพาะพันธะระหว่าง sulphydryl group ของกรดอะมิโน cysteine (disulphide bridge)

โครงสร้างระดับนี้ถูกทำลายได้โดยความร้อนซึ่งทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ (denature) และไม่สามารถทำหน้าที่ทางชีวภาพได้

เปปไทด์และโปรตีน

โครงสร้างตติยภูมิและโครงสร้างที่ใหญ่กว่า

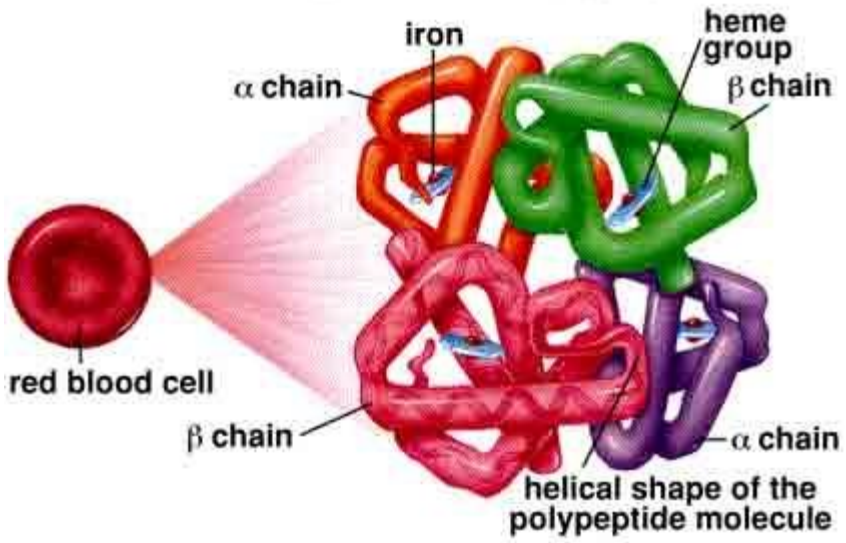


ที่มา :kvhs.nbed.nb.ca/gallant/biology/biology.html, www.chemguide.co.uk/.../proteinstruct.html

เปปไทด์และโปรตีน

โครงสร้างตติยภูมิและโครงสร้างที่ใหญ่กว่า

โครงสร้างจตุรภูมิ (Quaternary structure) เป็นโครงสร้างระดับที่พิจารณา polypeptide หลายๆ ก้อนมาเกิดพันธะกัน เพื่อทำหน้าที่ทางชีวภาพ เรียกแต่ละก้อนว่า หน่วยย่อย (subunit)

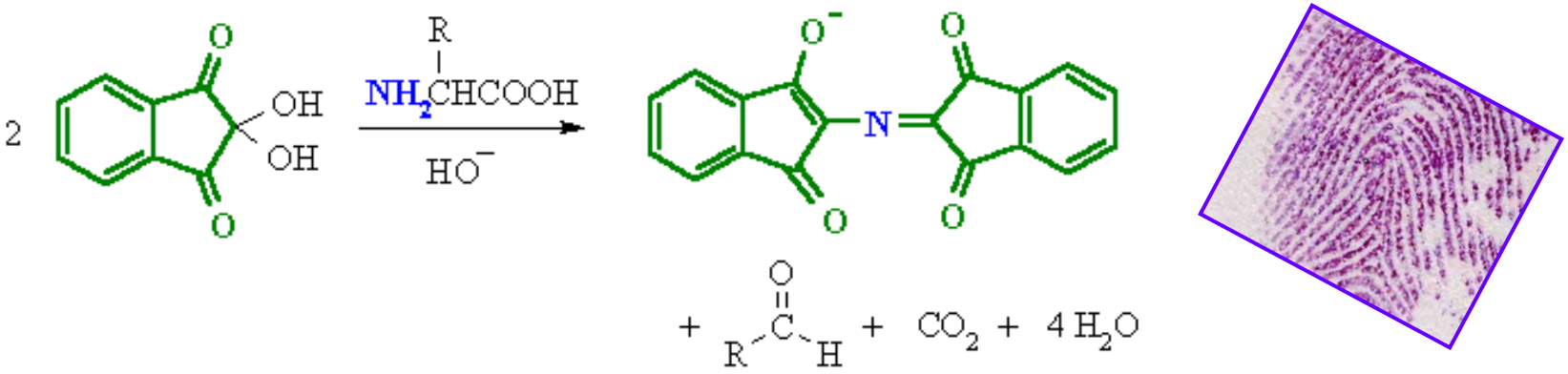


ที่มา :www.bloodless.it/

เปปไทด์และโปรตีน

ปฏิกิริยาเคมีของกรดอะมิโนและโปรตีน

ปฏิกิริยากับ ninhydrin หมู่ α-amino ของโปรตีนสามารถทำปฏิกิริยากับ ninhydrin ได้ CO_2, H_2O, aldehyde, และสารประกอบเชิงซ้อนสีม่วงน้ำเงิน



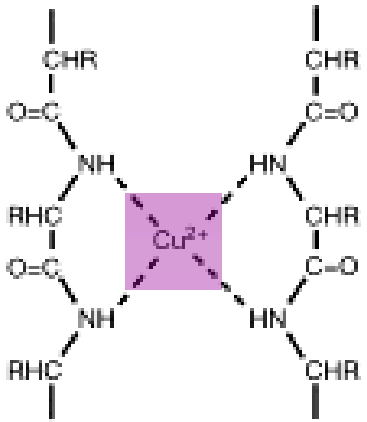
ยกเว้น proline ซึ่งเป็น secondary amine ให้สีส้มเหลืองแทน วิธีนี้ sensitive พอที่จะใช้ตรวจรอยนิ้วมือ

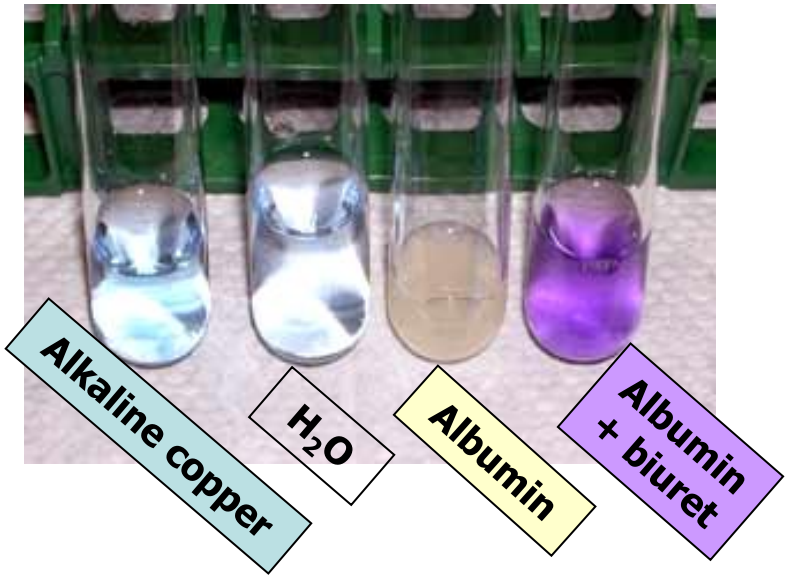
ที่มา :www.chem.ucalgary.ca/.../Ch27/ch27-3-3.html, www.ok.gov/.../index.html

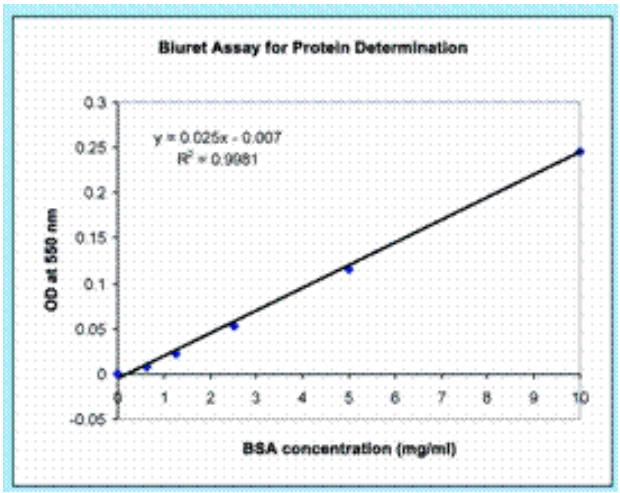
เปปไทด์และโปรตีน

ปฏิกิริยาเคมีของกรดอะมิโนและโปรตีน

Biuret โปรตีนสามารถทำปฏิกิริยากับ alkaline copper (Cu^{2+}) แล้วเกิดสารละลาย**สีม่วง** วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 550 nm







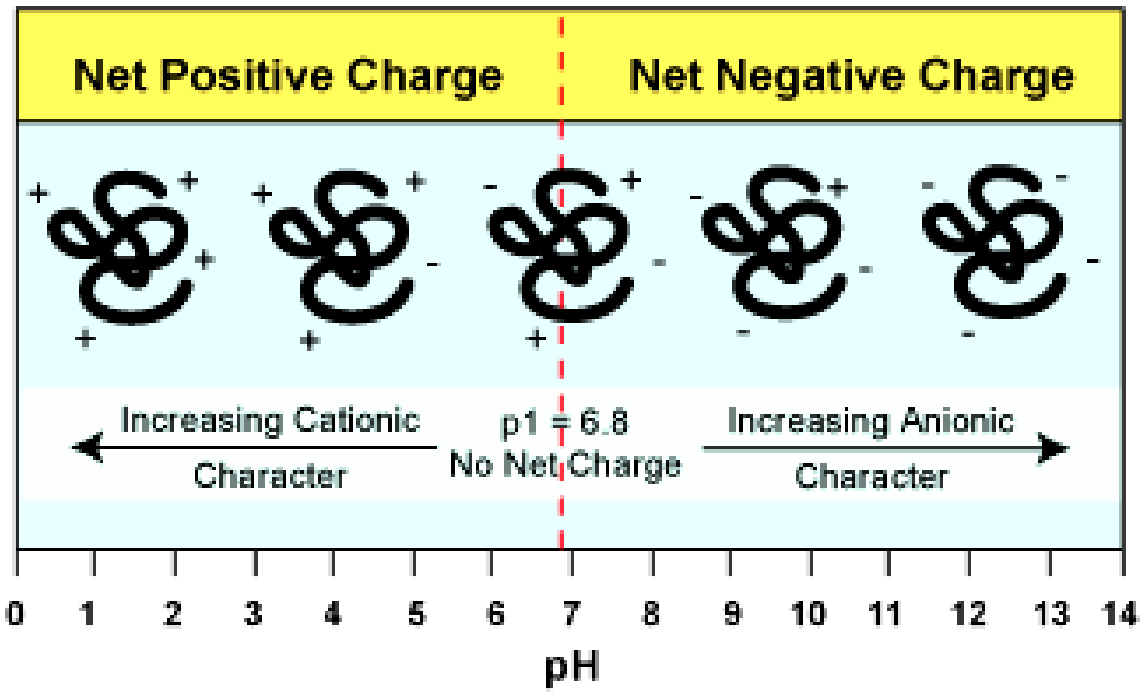
เปปไทด์และโปรตีน

ปฏิกิริยาเคมีของกรดอะมิโนและโปรตีน

pH ของสารละลาย ที่สูงหรือต่ำเกินไปทำให้โปรตีนเสีย

สภาพธรรมชาติ

ที่ pH < pI
โปรตีนมีประจุรวมเป็น +
ที่ pH = pI
โปรตีนมีประจุรวมเป็น 0
ที่ pH > pI
โปรตีนมีประจุรวมเป็น -



ที่มา :matcmadison.edu/.../labManual/chapter_2.htm

เปปไทด์และโปรตีน

ปฏิกิริยาเคมีของกรดอะมิโนและโปรตีน

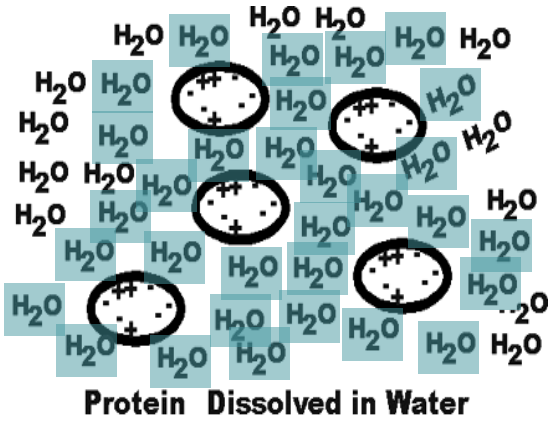
แคทอิออนของโลหะหนัก เช่น Pb^{2+}, Hg^{2+}, Cu^{2+} สามารถทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ และตกตะกอนโปรตีนที่มีประจุเด่นลบได้

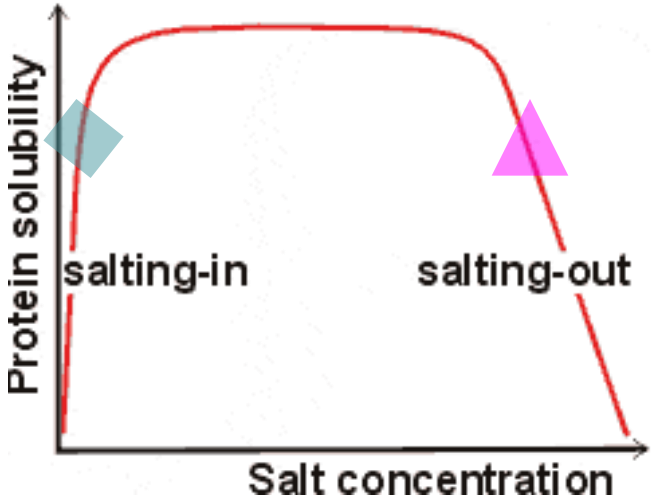
ตัวทำละลายอินทรีย์ ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น ethanol acetone มีขั้วน้อยกว่าน้ำ ไม่สามารถจับกับหมู่ที่มีประจุได้ดีเท่าน้ำ จึงสามารถตกตะกอนโปรตีนได้

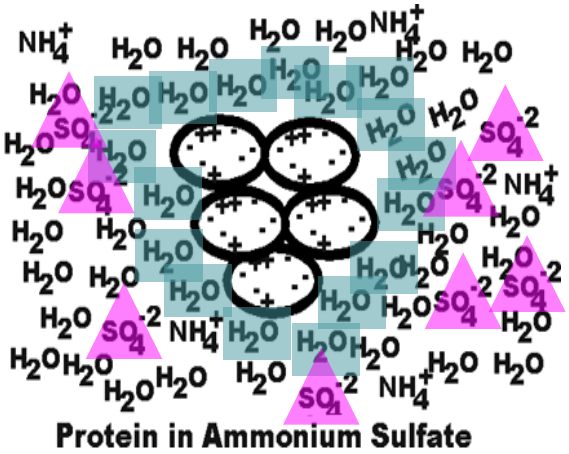
เปปไทด์และโปรตีน

ปฏิกิริยาเคมีของกรดอะมิโนและโปรตีน

เกลือ $(NH_4)_2SO_4$ divalent ion ที่เติมลงในสารละลายแล้วมีผลต่อการละลายของโปรตีน ดังกราฟ







ที่มา :www.lsbu.ac.uk/water/hofmeist.html, www.bio.mtu.edu/.../lectures/lec5/482w51.htm

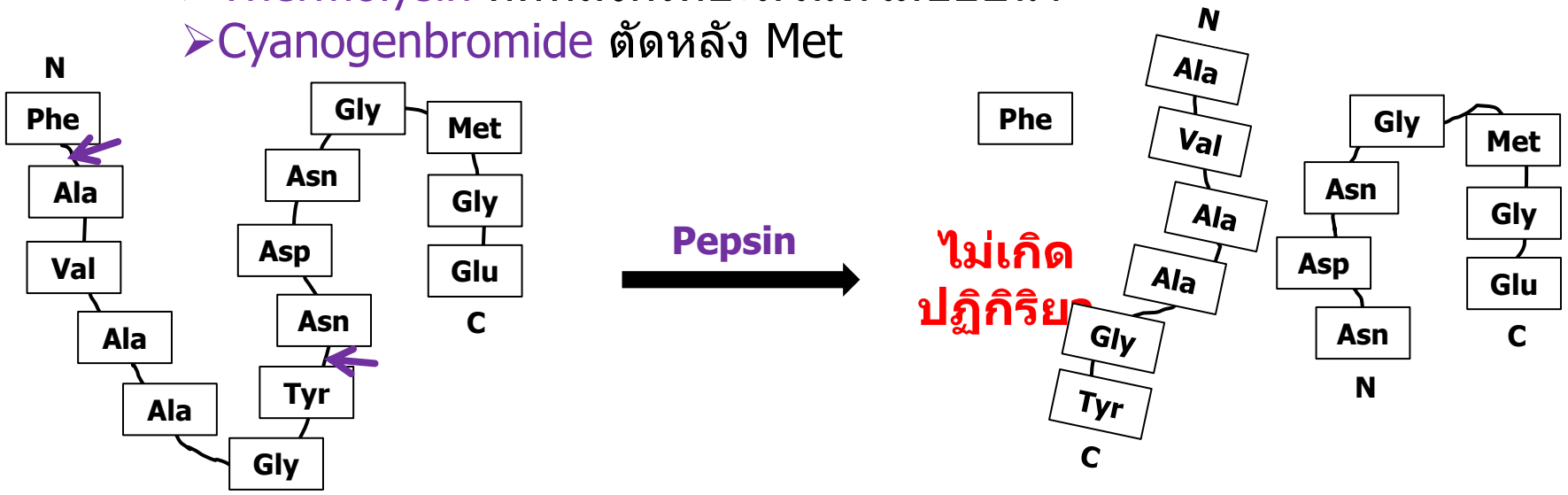
เปปไทด์และโปรตีน

ปฏิกิริยาเคมีของกรดอะมิโนและโปรตีน

ปฏิกิริยากับเอนไซม์/สารเคมีเฉพาะ

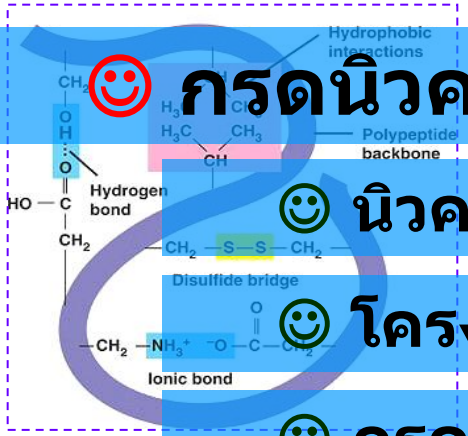
ซึ่งจะตัดสายโซ่ polypeptide ที่ตำแหน่งจำเพาะ

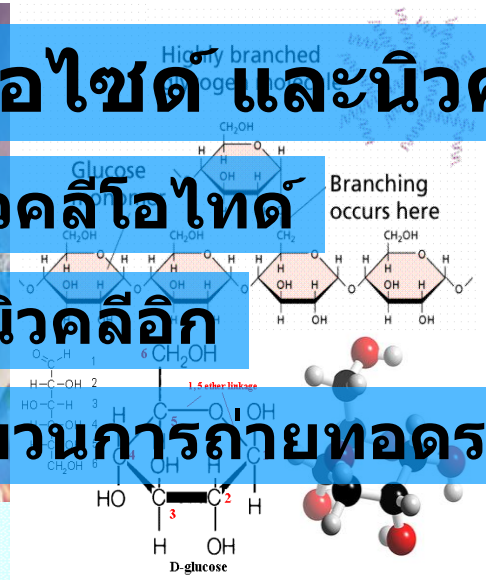
- Trypsin ตัดหลัง Lys, Arg
- Chymotrypsin ตัดหลัง Phe, Trp, Tyr
- Pepsin ตัดหลัง Phe, Trp, Tyr
- Thermolysin ตัดหลังกรดอะมิโนที่ไม่ชอบน้ำ
- Cyanogenbromide ตัดหลัง Met

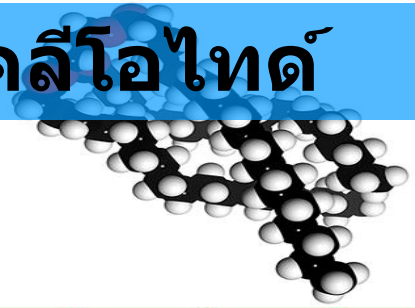


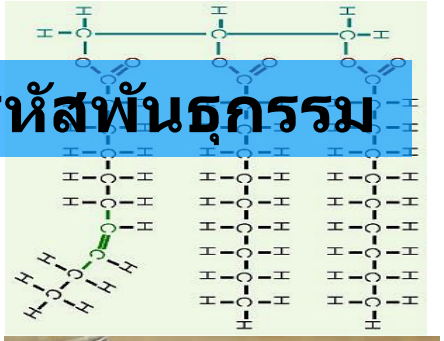
สารชีวโมเลกุล (Biomolecules)

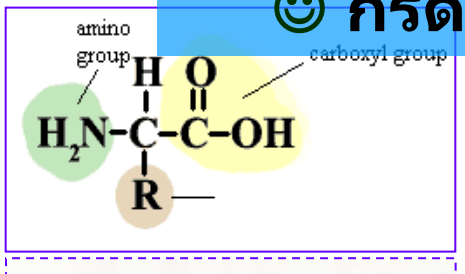
- กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์
- นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์
- โครงสร้างของกรดนิวคลีอิก
- กรดนิวคลีอิกและขบวนการถ่ายทอดรหัสพันธุกรรม

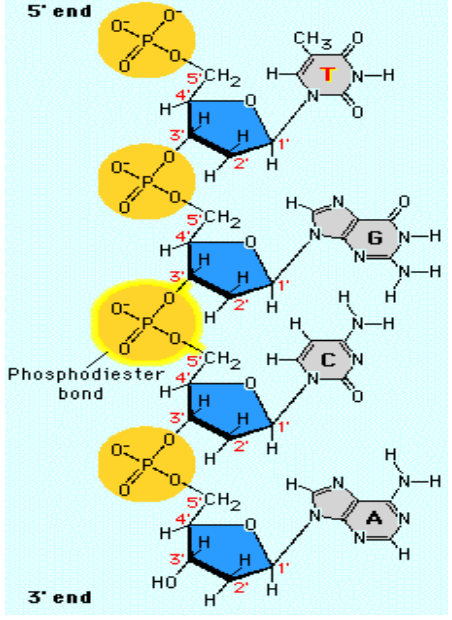












กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

หน่วยย่อยที่เล็กที่สุดของกรดนิวคลีอิก คือ นิวคลีโอไทด์ (nucleotide) ซึ่งประกอบด้วย

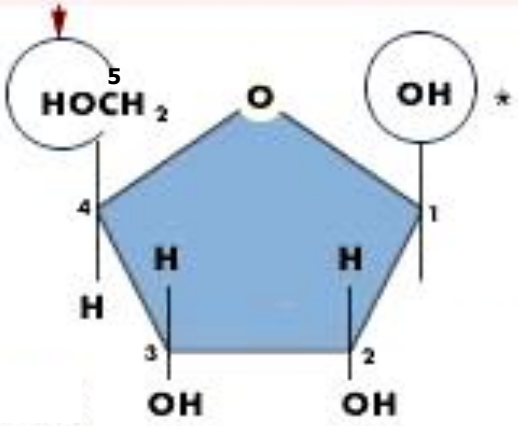
- นิวคลีโอไซด์ (nucleoside) ซึ่งเป็นสารประกอบไกลโคไซด์ที่เกิดจาก น้ำตาล จับกับ เบส
- หมู่ฟอสเฟต (phosphate group)

โดยทั้งสองส่วนนี้มาจับกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic linkage)

กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

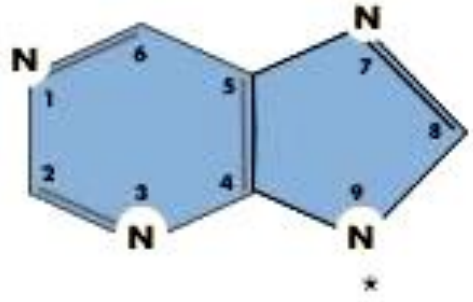
ที่มา: www.mun.ca

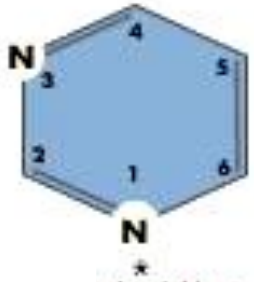


จับกับหมู่ฟอสเฟต

* จับกับเบส

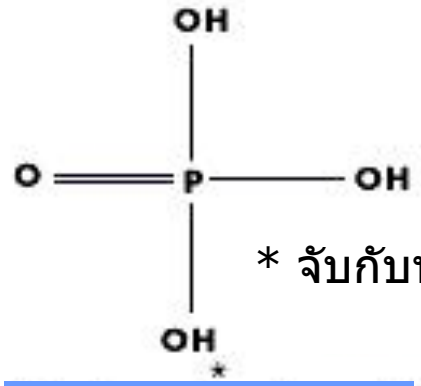
(1) น้ำตาลซี 5 : ไรโบส, ดีออกซีไรโบส





* จับกับน้ำตาล

(2) เบส : เพียวรีน, ไพริมิดีน

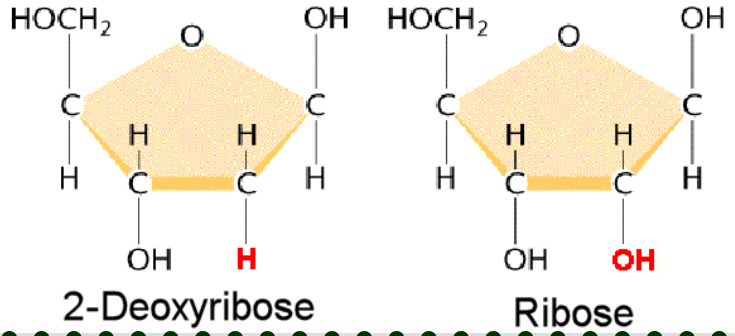


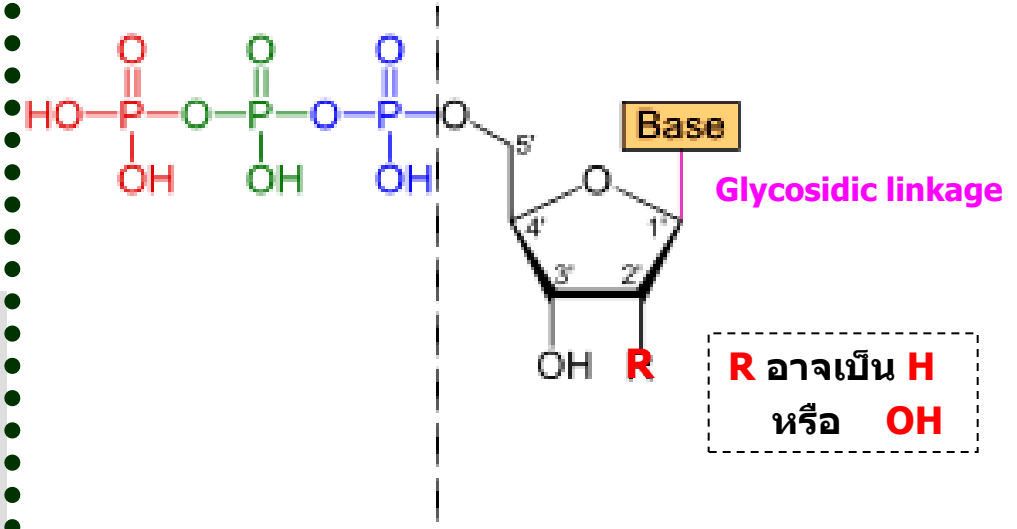
* จับกับน้ำตาล

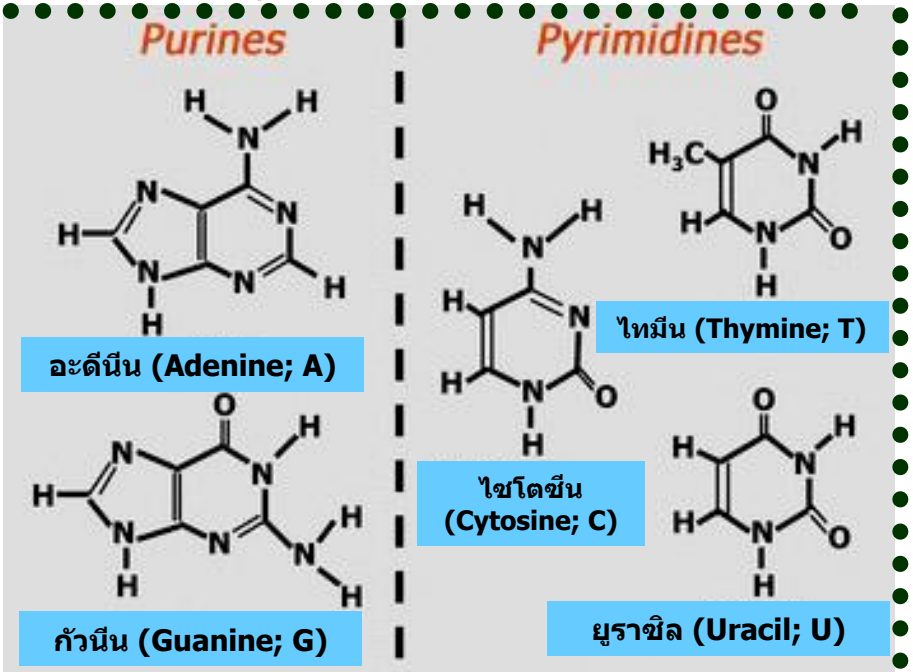
(3) กรดฟอสฟอริก

กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์





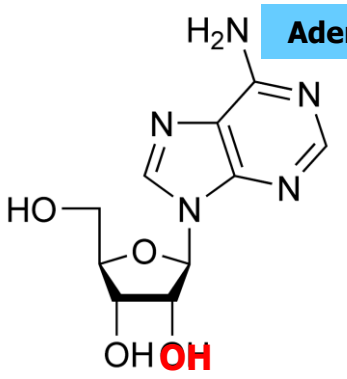


กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

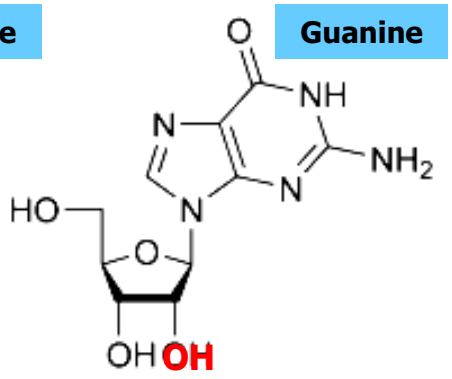
นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

นิวคลีโอไซด์ (น้ำตาล-เบส) จึงมี 8 ชนิด ขึ้นกับชนิดน้ำตาลและเบสที่มาจับกัน และมีชื่อเรียกเฉพาะที่ต่างกัน

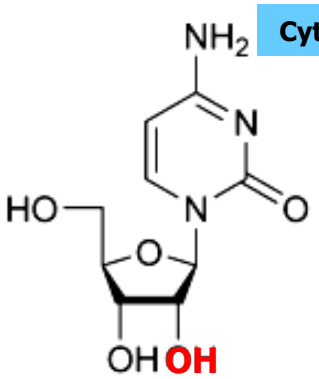
นิวคลีโอไซด์ที่เกิดจากน้ำตาลไรโบส; Ribonucleosides



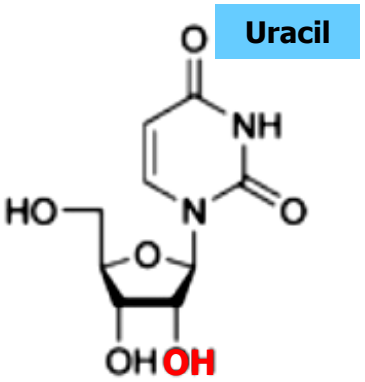
อะดีโนซีน (Adenosine)



กัวโนซีน (Guanosine)



ไซติดีน (Cytidine)

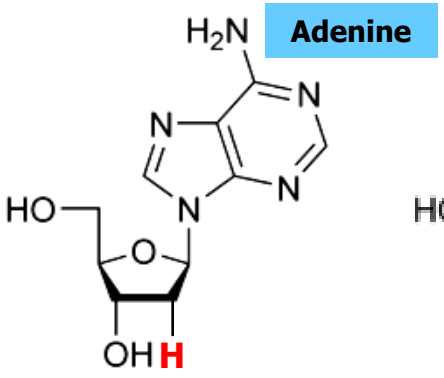


ยูริดีน (Uridine)

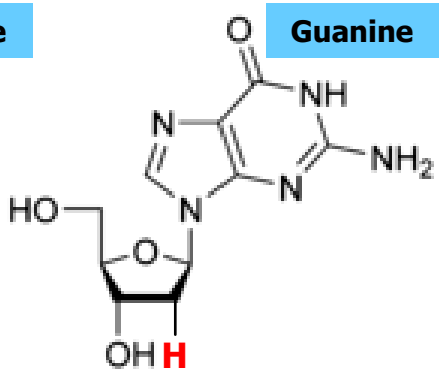
กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

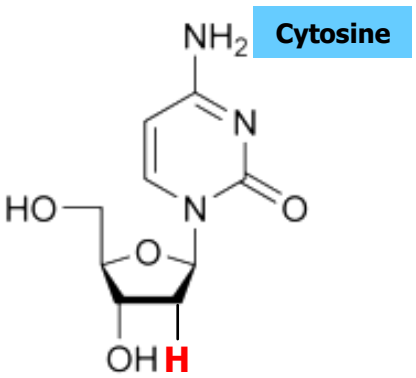
นิวคลีโอไซด์ที่เกิดจากน้ำตาลดีออกซีไรโบส; Deoxyribonucleosides



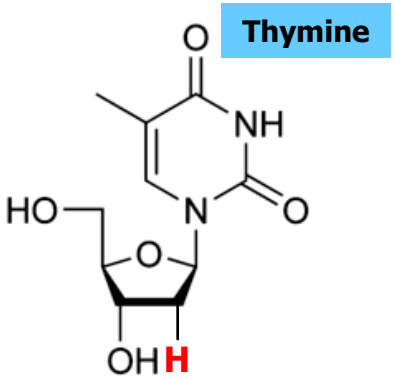
ดีออกซีอะดีโนซีน
(Deoxyadenosine)



ดีออกซีกัวโนซีน
(Deoxyguanosine)



ดีออกซีไซติดีน
(Deoxycytidine)

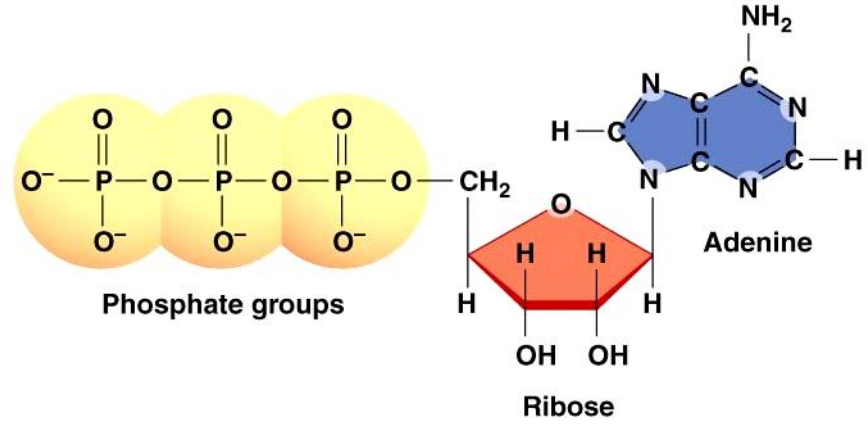


ดีออกซีไทมิดีน
(Deoxythymidine)

กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

นิวคลีโอไทด์ (น้ำตาล-เบส-ฟอสเฟต) ที่พบในธรรมชาติมักมีหมู่ฟอสเฟตอยู่ที่ตำแหน่ง 5′ ($-CH_2OH$) และอาจมีหมู่ฟอสเฟตมากกว่า 1 หมู่ต่อกันได้



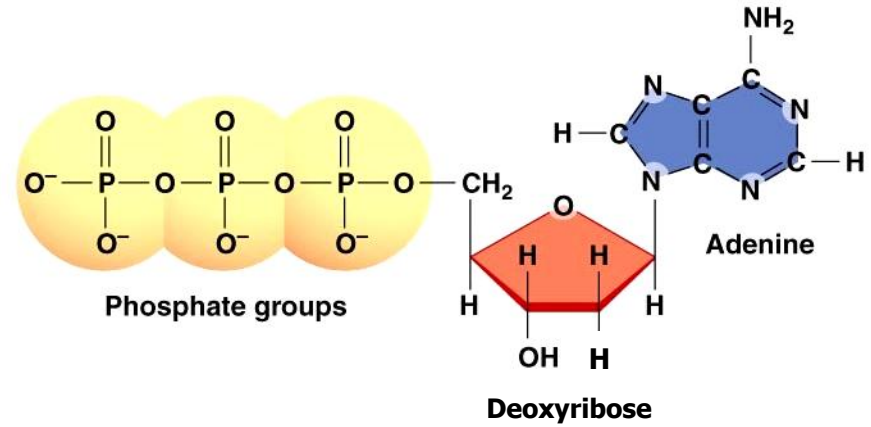
Copyright © 2008 Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.

อะดีโนซีน-5′-ไทรฟอสเฟต
(Adenosine-5′-triphosphate; ATP)

- **กัวโนซีน-5′-ไทรฟอสเฟต**
  (Guanosine-5′-triphosphate; GTP)
- **ไซติดีน-5′-ไทรฟอสเฟต**
  (Cytidine-5′-triphosphate; CTP)
- **ยูริดีน-5′-ไทรฟอสเฟต**
  (Uridine-5′-triphosphate; UTP)

กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์



Copyright © 2008 Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.

ดีออกซีอะดีโนซีน-5′-ไทรฟอสเฟต
(Deoxyadenosine-5′-triphosphate; dATP)

- **ดีออกซีกัวโนซีน-5′-ไทรฟอสเฟต**
  (Deoxyguanosine-5′-triphosphate; dGTP)
- **ดีออกซีไซติดีน-5′-ไทรฟอสเฟต**
  (Deoxycytidine-5′-triphosphate; dCTP)
- **ดีออกซีไทมิดีน-5′-ไทรฟอสเฟต**
  (Deoxythymidine-5′-triphosphate; dTTP)

กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

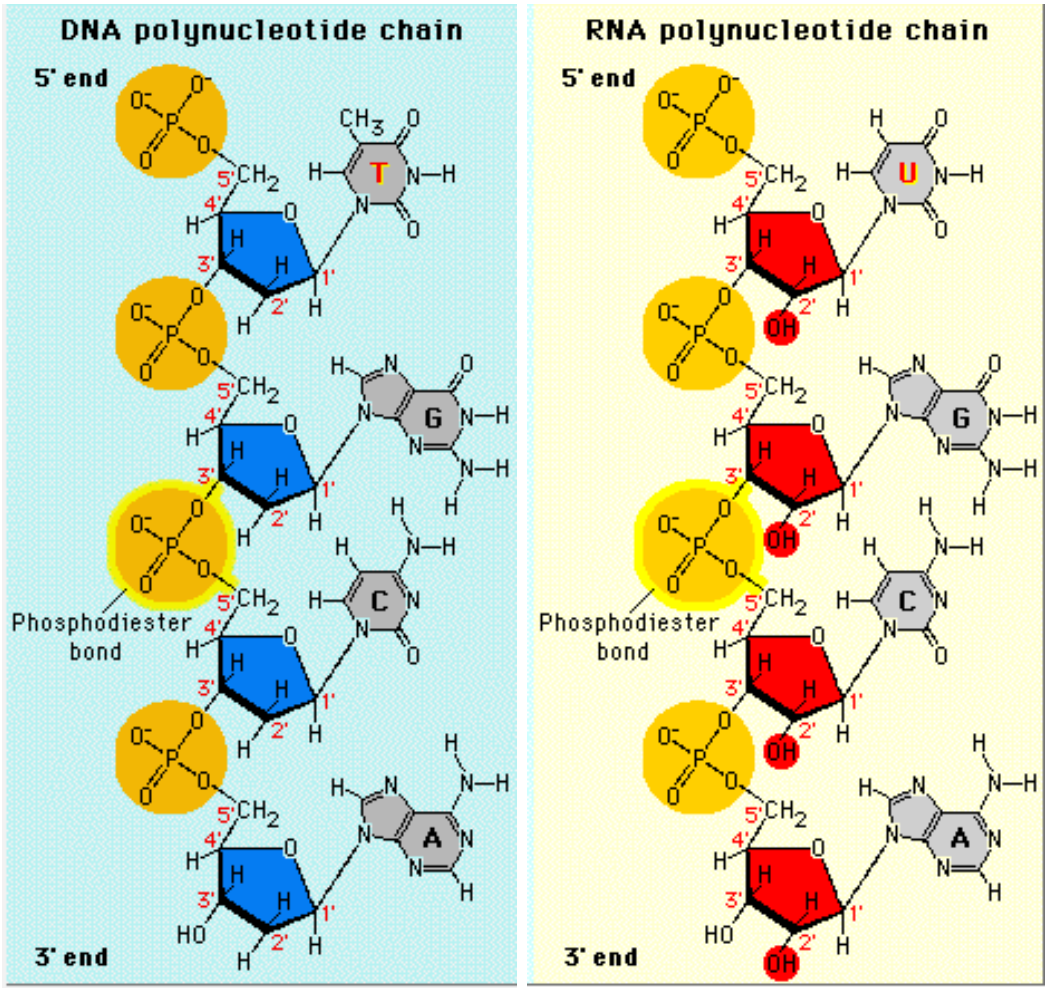
โครงสร้างของกรดนิวคลีอิก

กรดนิวคลีอิก (Nucleic acid) ได้ชื่อนี้จากการที่ถูกพบในนิวเคลียสของเซลล์ มี 2 ชนิดคือ กรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (deoxyribonucleic acid; DNA) และกรดไรโบนิวคลีอิก (ribonucleic acid; RNA) ซึ่งทั้งสองชนิดนี้มีโครงสร้าง และหน้าที่ทางชีวภาพที่แตกต่างกัน

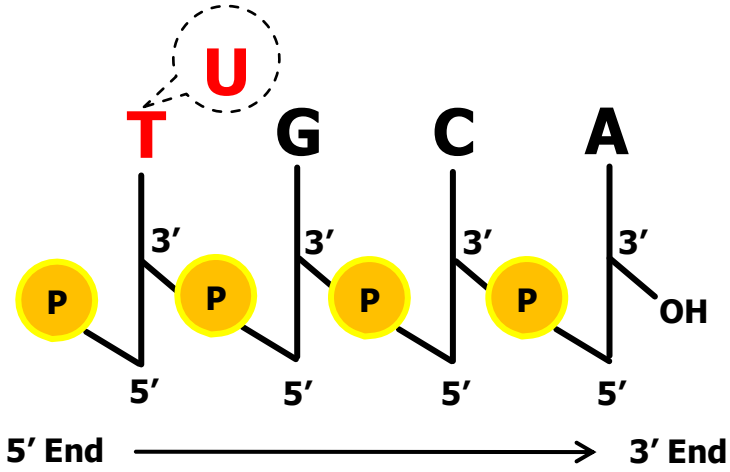
โครงสร้างปฐมภูมิของกรดนิวคลีอิก คือ นิวคลีโอไทด์หลายๆ ตัวมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ 3’,5’-phosphodiester bond ซึ่งทำให้ได้พอลิเมอร์สายโซ่ตรงที่เรียกว่า พอลินิวคลีโอไทด์ (polynucleotide)

กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

โครงสร้างของกรดนิวคลีอิก



อาจเขียนโครงสร้างโดยย่อของพอลินิวคลีโอไทด์นี้ได้เป็น



หรือ d(pTpGpCpA)
(pUpGpCpA)

ที่มา: www.phschool.com/science/biology_place/biocoach/transcription/chains.html

กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

โครงสร้างของกรดนิวคลีอิก

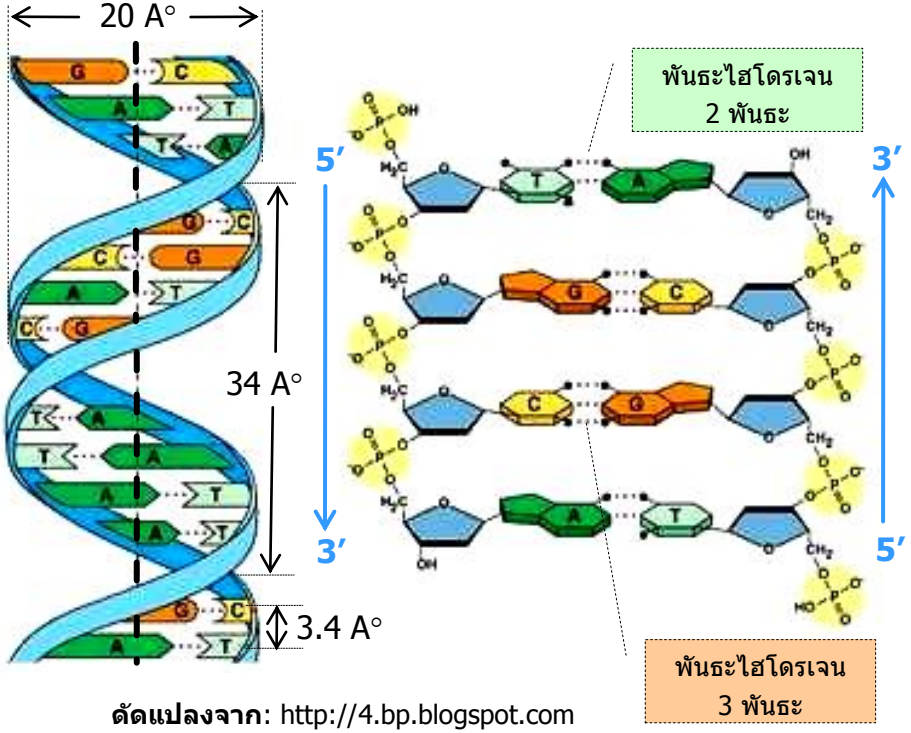
โครงสร้างของดีเอ็นเอ

➢**ค.ศ. 1950** Charguff พบว่าสัดส่วนของ A = T และ G = C เสมอ

➢**ค.ศ. 1954** Watson and Crick พบว่าดีเอ็นเอประกอบด้วย 2 สายวิ่งสวนกัน และหมุนรอบแกนร่วมอันหนึ่ง เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวเป็น 20 A°

☺แต่ละคู่เบสซ้อนกันเป็นชั้นๆ โดยระนาบของคู่เบสตั้งฉากกับแกนของเกลียว มีระยะห่างระหว่างคู่ 3.4 A° หนึ่งรอบเกลียวมี 10.2 คู่เบส

☺A ของสายหนึ่งจับกับ T ของอีกสายด้วยพันธะไฮโดรเจน 2 พันธะ และ C จับกับ G ด้วยพันธะไฮโดรเจน 3 พันธะ

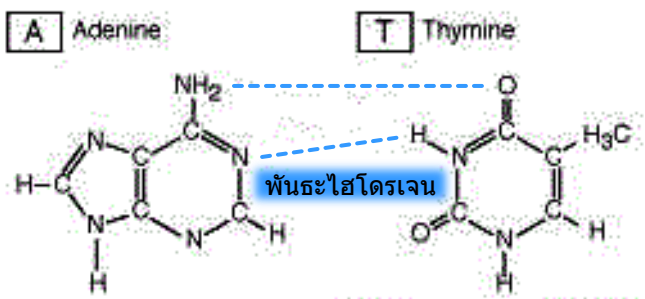


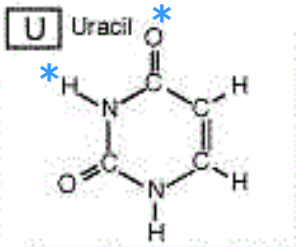
ดัดแปลงจาก: http://4.bp.blogspot.com

กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

โครงสร้างของกรดนิวคลีอิก

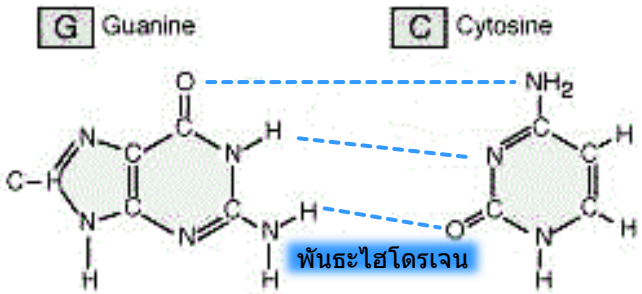
☺พันธะไฮโดรเจนระหว่าง A กับ T (หรือ U)





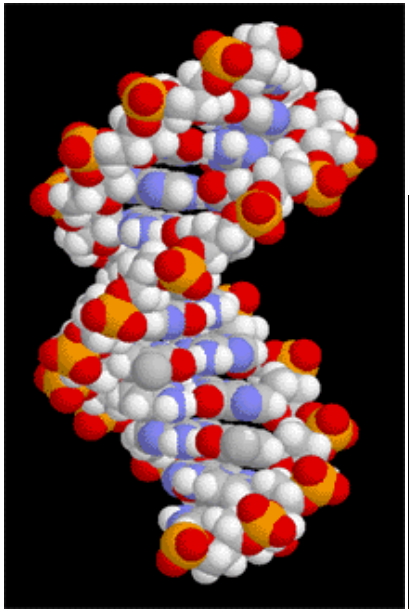
ในอาร์เอ็นเอมียูราซิลแทนไทมีน

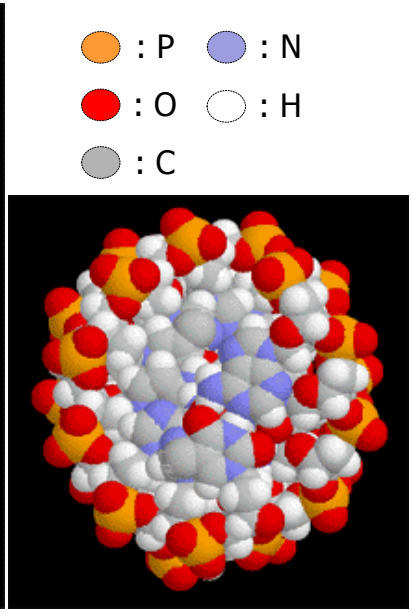
☺พันธะไฮโดรเจนระหว่าง G กับ C



ดัดแปลงจาก: www.accessexcellence.org/RC/VL/GG/images/base_pair.gif

☺แบบจำลองโมเลกุลดีเอ็นเอ





ด้านข้าง ด้านบน

ดัดแปลงจาก: http://www.scienceisart.com/A_DNA/DNA_1.html

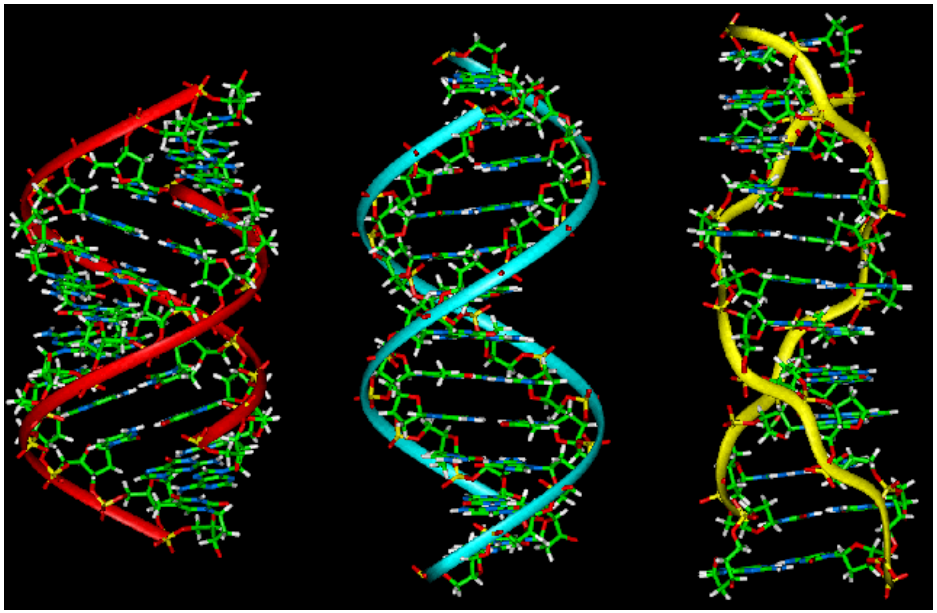
☺แบบจำลองโมเลกุลดีเอ็นเอ (Animation)

http://www.johnkyrk.com/DNAanatomy.html

กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

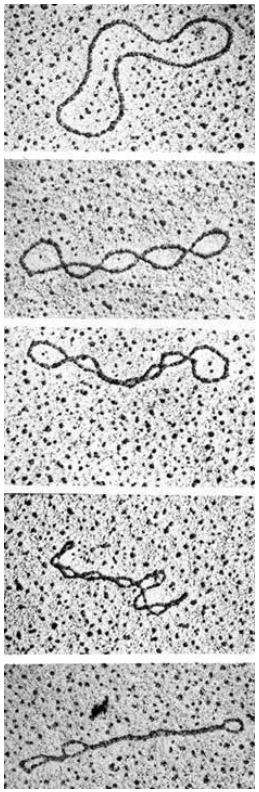
โครงสร้างของกรดนิวคลีอิก

➢นอกจากดีเอ็นเอเกลียวคู่แบบ Watson & Crick แล้วยังพบรูปแบบอื่นๆ อีก ได้แก่ A, B, และ Z-DNA โดยรูปแบบที่พบบ่อยที่สุดคือ B-DNA



A-DNA **B-DNA** **Z-DNA**

➢เกลียวคู่ของดีเอ็นเอยังสามารถพันกันเองเกิดเป็นเกลียวซ้อนเกลียว (supercoiled DNA) ได้ การเกิดเกลียวซ้อนนี้มีความสำคัญในการอัดตัวของดีเอ็นเอในนิวเคลียส



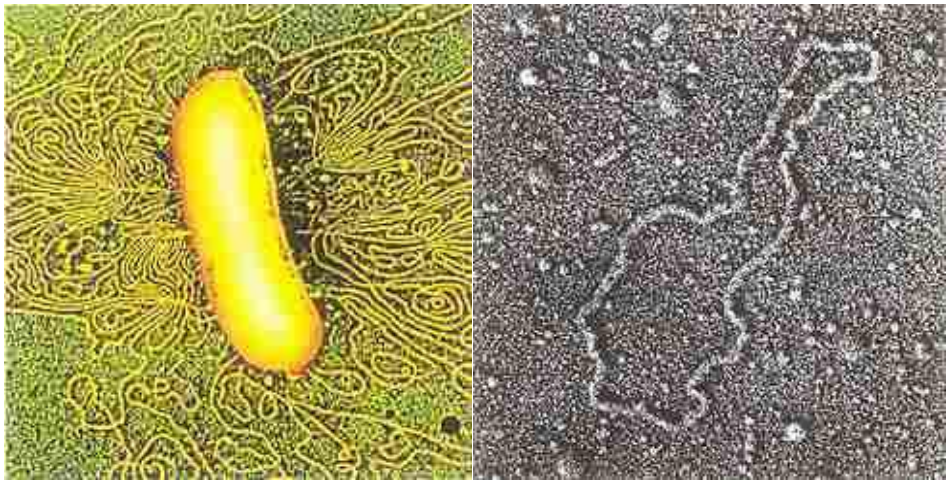
ที่มา: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b9/A-B-Z-DNA_Side_View.png

ที่มา: http://cmgm.stanford.edu/biochem/biochem201/Slides/

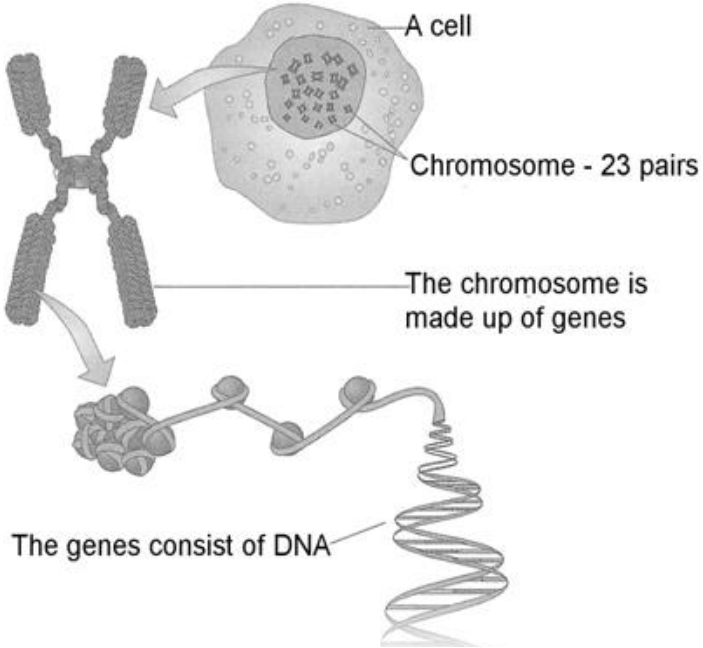
กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

โครงสร้างของกรดนิวคลีอิก

➢DNA ของสิ่งมีชีวิตอย่างง่าย เช่น แบคทีเรีย *E. coli* จะมีลักษณะเป็นวง (closed circular DNA) เนื่องจากปลายทั้งสองของโมเลกุลเชื่อมกัน และอาจเกิดการพันเกลียวซ้อนเกลียวอีกชั้นหนึ่งได้



ที่มา:: Novo-Nordisk promotional brochure, pg 16., และ Watson, J.D., Gilman, M., Witkovski, J., Zoller, M. - Recombinant DNA, pg 73.



ที่มา: http://www.eurogentest.org/blocks/leaflets/images/english/dna_chromosomes_genes.png

➢DNA ของมนุษย์ มีขนาดรวมถึง 7.8×10^8 คู่เบส จึงต้องขดตัวอยู่ในรูปแบบโครโมโซม 46 คู่ ที่มีความยาวรวมเพียง 200 ไมครอนภายในนิวเคลียสของเซลล์

กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

โครงสร้างของกรดนิวคลีอิก

โครงสร้างและหน้าที่ของอาร์เอ็นเอ

➢**กรดไรโบนิวคลีอิก (Ribonucleic acid; RNA)** มักอยู่เป็นสายเดี่ยว (single-stranded form) โดยอาจมีบางส่วนที่พับกลับไปมาเนื่องจากเบสเข้าคู่กันได้ เกิดลักษณะ hairpin loop

➢**อาร์เอ็นเอ** แบ่งเป็น 3 ชนิด

☺เมสเซนเจอร์อาร์เอ็นเอ (messenger RNA; mRNA) เป็นอาร์เอ็นเอสายเดี่ยวที่โครงสร้างไม่ซับซ้อน หน้าที่คือเป็นแบบพิมพ์ในการสังเคราะห์โปรตีน โดยตัวมันถอดแบบมาจากดีเอ็นเอ ขนาดของ mRNA จะแตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับขนาดของโปรตีนที่ร่างกายจะสังเคราะห์

☺ไรโบโซมอลอาร์เอ็นเอ (ribosomal RNA; rRNA) เป็นอาร์เอ็นเอที่มีโครงสร้างซับซ้อนที่สุด โดยจะจับกับโปรตีนบางชนิด แล้วเกิดเป็นไรโบโซม (ribosome) เป็นออร์แกเนลที่ทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีน

กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

โครงสร้างของกรดนิวคลีอิก

โครงสร้างและหน้าที่ของอาร์เอ็นเอ

☺ทรานสเฟอร์อาร์เอ็นเอ (transfer RNA; tRNA) มีหลายชนิด แต่ละชนิดจะจำเพาะต่อกรดอะมิโนชนิดใดชนิดหนึ่ง ทำหน้าที่เป็นตัวพากรดอะมิโนมาใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน tRNA เป็นอาร์เอ็นเอที่ถูกศึกษาโครงสร้างมากที่สุดพบว่าประกอบด้วย

73-93 นิวคลีโอไทด์ และมวลโมเลกุลประมาณ 25 kd
เบสพิเศษที่นอกเหนือจาก A, U, G, และ C
ปลาย 5′ จะเป็นเบส G เสมอ ส่วนปลาย 3′ จะเป็น CCA เสมอ

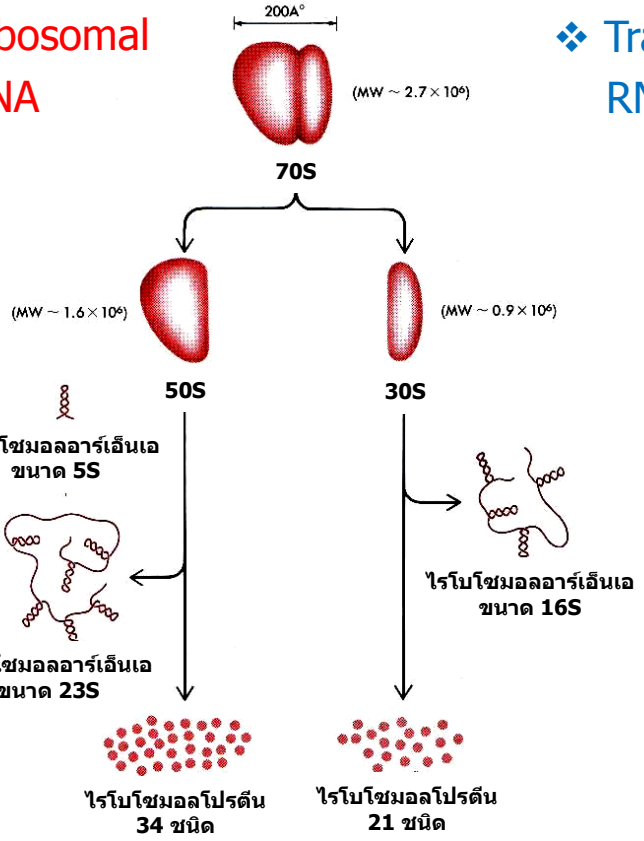
ชนิดอาร์เอ็นเอ	ปริมาณสัมพัทธ์ (%)	มวลโมเลกุล (kd)	จำนวนนิวคลีโอไทด์
mRNA	5	หลากหลาย	หลากหลาย
rRNA	80	1.2×10^3	3700 (23S)
		0.55×10^3	1700 (16S)
		36	120 (5S)
tRNA	15	25	75

กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

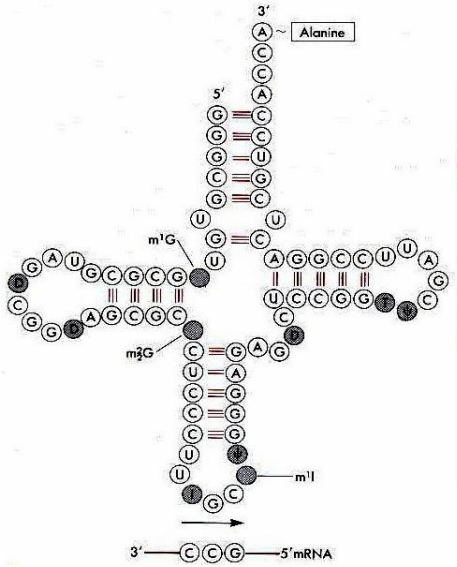
โครงสร้างของกรดนิวคลีอิก

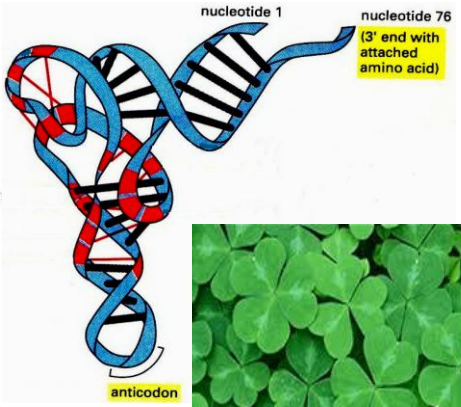
โครงสร้างและหน้าที่ของอาร์เอ็นเอ

❖ Ribosomal RNA



❖ Transfer RNA





tRNA คล้ายใบผักเบี้ย (clover leaf)

ขนาด 73-93 นิวคลีโอไทด์

เบสพิเศษ **m¹G** : methylG, **m²G** : dimethylG, **I** : Inosine, **m¹I** : methyl inosine, **D** : dihydroU, **ψ** : pseudouridine, **T** : thymidine

ปลาย 5′ จะเป็นเบส G เสมอ

ปลาย 3′ จะเป็น CCA เสมอ (ปลายที่กรดอะมิโนเข้าจับ)

กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

กรดนิวคลีอิกและกระบวนการถ่ายทอดรหัสพันธุกรรม

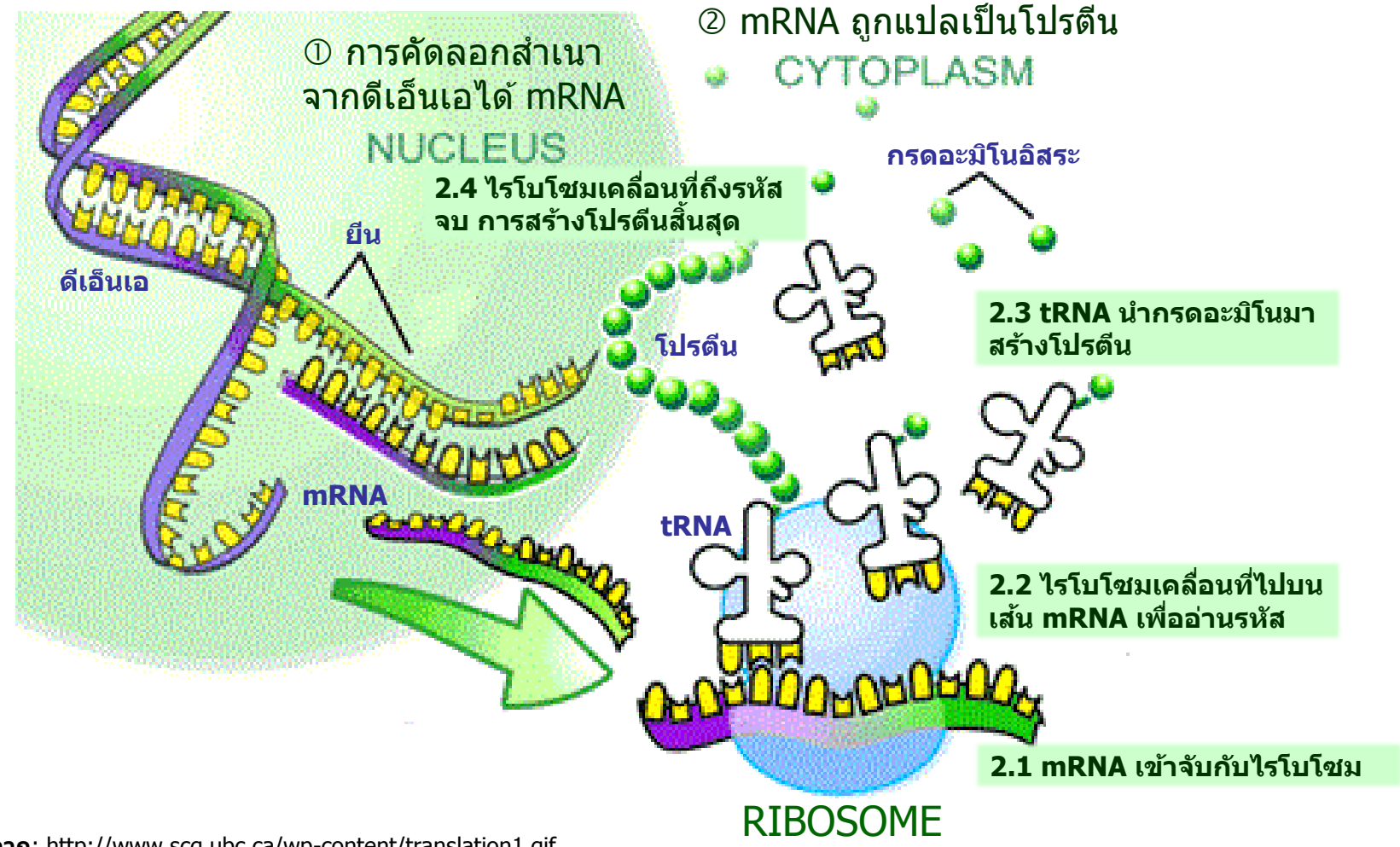
- DNA ทำหน้าที่เก็บรหัสพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตในรูปของลำดับเบส "ATGC..." ลำดับเบสดังกล่าว (รหัส; codon) จะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นกับความซับซ้อนของสิ่งมีชีวิต

- DNA เก็บรหัสไว้จำนวนมาก ซึ่งไม่แสดงออกพร้อมกันตลอดเวลา จึงต้องมีขบวนการถอดรหัสพันธุกรรมที่สามารถคัดลอกสำเนาเพียงบางส่วน แล้วแปลเป็นโปรตีนบางชนิดที่ร่างกายต้องการในขณะนั้นเท่านั้น

- การคัดลอกสำเนา (ทรานสคริปชัน; transcription) เกิดในนิวเคลียสของเซลล์ และทำให้ได้ tRNA ซึ่งจะเดินทางออกสู่ไซโตซอล แล้วเกิดการแปลเป็นโปรตีน (ทรานสเลชัน; translation) ที่บริเวณไรโบโซมโดยการทำงานร่วมกันของอาร์เอ็นเอทั้ง 3 ชนิด

กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

กรดนิวคลีอิกและกระบวนการถ่ายทอดรหัสพันธุกรรม

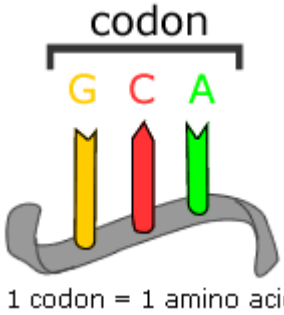


ดัดแปลงจาก: http://www.scq.ubc.ca/wp-content/translation1.gif

กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์

กรดนิวคลีอิกและกระบวนการถ่ายทอดรหัสพันธุกรรม

- รหัสพันธุกรรม (Genetic code) คือลำดับเบสบน mRNA นั่นเอง โดยเบส 3 ตัวเรียงกันเป็นรหัสสำหรับกรดอะมิโนหนึ่งชนิด นอกจากนี้ยังมีรหัสสำหรับเริ่ม และจบการแปลรหัสด้วย
- การอ่านรหัสผิดพลาดจะทำให้เกิดการสังเคราะห์โปรตีนที่มีโครงสร้างผิดเพี้ยนไปที่เรียกว่าเกิดมิวเทชั่น (mutation) ทำให้เกิดความผันแปรทางพันธุกรรม



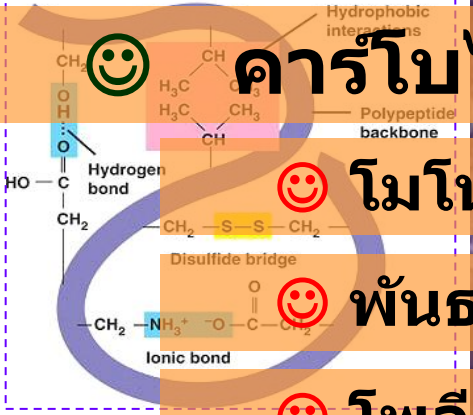
First Position	Seconed Position U code	U Amino Acid	C code	C Amino Acid	A code	A Amino Acid	G code	G Amino Acid	Third Position
U	UUU	phe	UCU	ser	UAU	tyr	UGU	cys	U
	UUC		UCC		UAC		UGC		C
	UUA	leu	UCA		UAA	STOP	UGA	STOP	A
	UUG		UCG		UAG	STOP	UGG	trp	G
C	CUU	leu	CCU	pro	CAU	his	CGU	arg	U
	CUC		CCC		CAC		CGC		C
	CUA		CCA		CAA	gln	CGA		A
	CUG		CCG		CAG		CGG		G
A	AUU	ile	ACU	thr	AAU	asn	AGU	ser	U
	AUC		ACC		AAC		AGC		C
	AUA		ACA		AAA	lys	AGA	arg	A
	AUG	met	ACG		AAG		AGG		G
G	GUU	val	GCU	ala	GAU	asp	GGU	gly	U
	GUC		GCC		GAC		GGC		C
	GUA		GCA		GAA	glu	GGA		A
	GUG		GCG		GAG		GGG		G

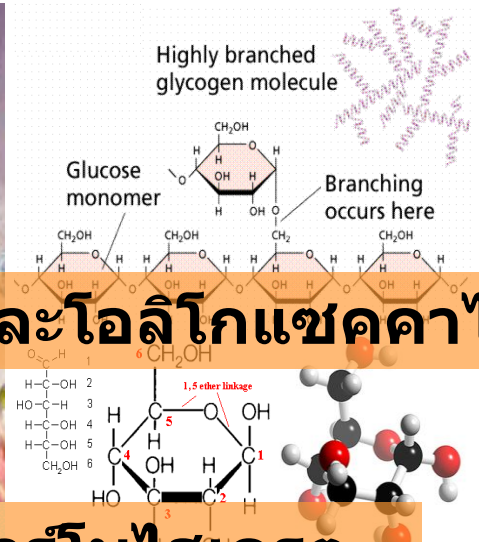
AUG : START met

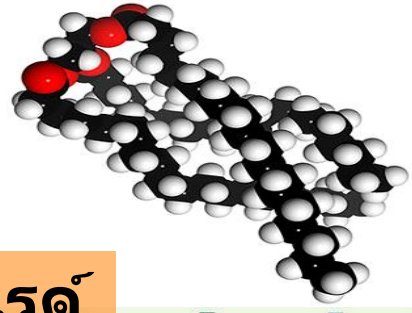
ที่มา: http://psyweb.vghtpe.gov.tw/fig-Hong/amino%2520acid%2520codon-2.gif

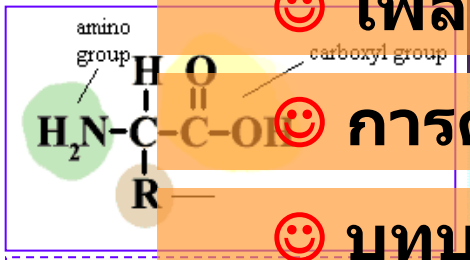
สารชีวโมเลกุล (Biomolecules)

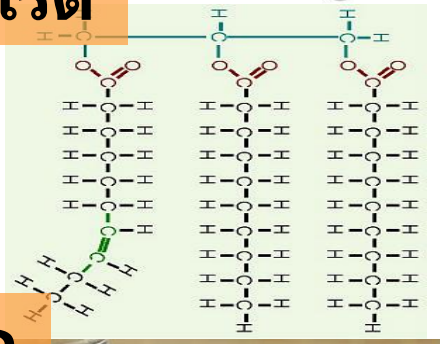
- คาร์โบไฮเดรต
- โมโนแซคคาไรด์
- พันธะไกลโคซิดิก และโอลิโกแซคคาไรด์
- โพลีแซคคาไรด์
- การตรวจวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรต
- บทบาทของคาร์โบไฮเดรตในสิ่งมีชีวิต

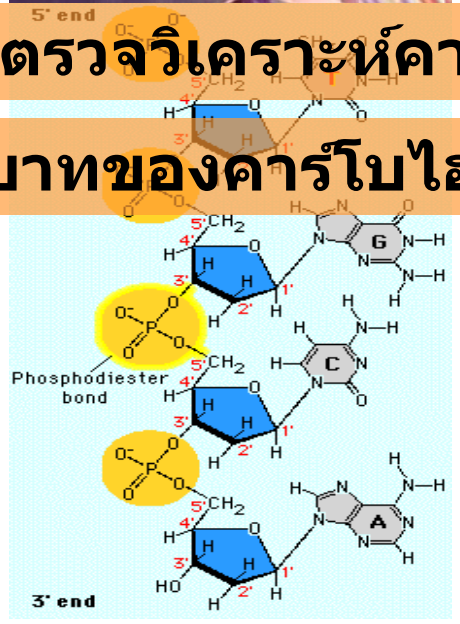












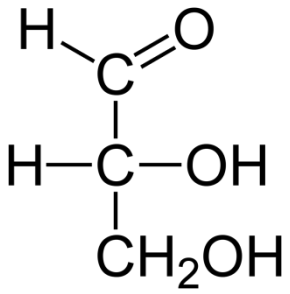
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

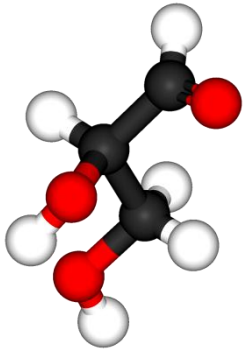
โมโนแซคคาไรด์

คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ได้ชื่อจากการที่เป็นสารประกอบของคาร์บอนที่มีสูตรอย่างง่ายเป็น $(CH_2O)_n$ ซึ่งคล้ายกับประกอบด้วยน้ำ 1 โมเลกุลต่อคาร์บอน 1 อะตอม

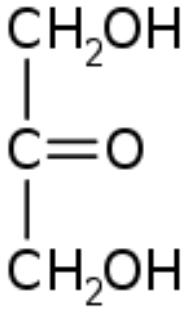
หน่วยย่อยที่เล็กที่สุดของคาร์โบไฮเดรต คือ โมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) ซึ่งละลายน้ำได้ดี ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ มีจุดหลอมเหลวค่อนข้างสูง เป็นสารประกอบมีขั้ว และมักมีรสหวาน ซึ่งโครงสร้างพื้นฐานคือ

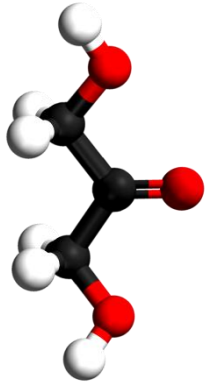
Polyhydroxy aldehyde





Polyhydroxy ketone



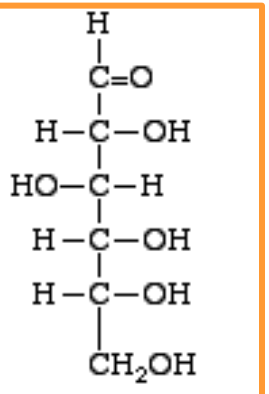


คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

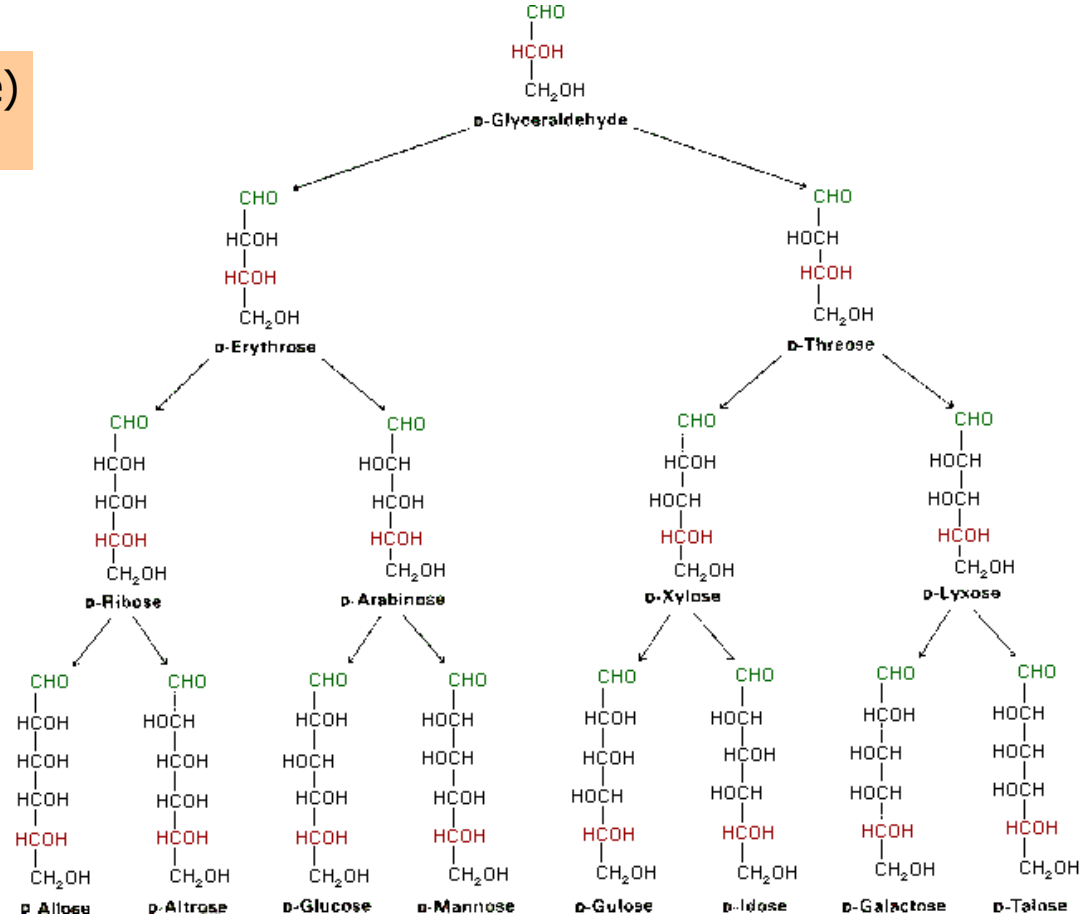
โมโนแซคคาไรด์

โมโนแซคคาไรด์ ยังประกอบด้วยคาร์บอนตั้งแต่ 3-6 อะตอม ดังนี้

น้ำตาลแอลโดส (Aldose) ที่พบในธรรมชาติ



โครสร้างแบบฟิชเชอร์ (Fischer Projection) ของน้ำตาลแอลโดส



(C_3) แอลโดไทรโอส

(C_4) แอลโดเทโทรส

(C_5) แอลโดเพนโทส

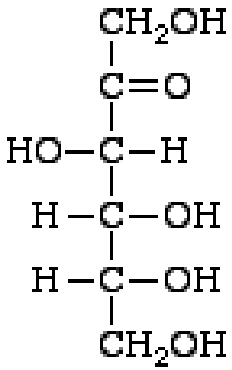
(C_6) แอลโดเฮกโซส

ดัดแปลงจาก: http://www.natuurlijkerwijs.com/english/sugars.htm

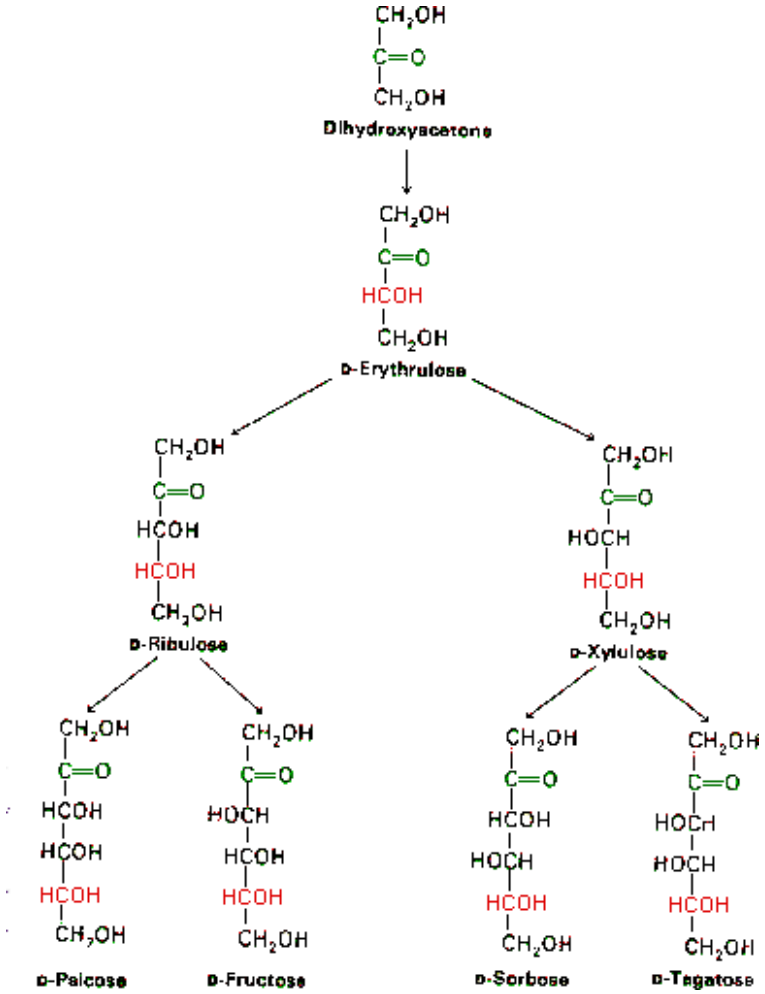
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

โมโนแซคคาไรด์

น้ำตาลคีโตส (Ketose) ที่พบในธรรมชาติ



โครสร้างแบบฟิชเชอร์ (Fischer Projection) ของน้ำตาลคีโตส



(C_3) คีโตไทรโอส

(C_4) คีโตเทโทรส

(C_5) คีโตเพนโทส

(C_6) คีโตเฮกโซส

ดัดแปลงจาก: http://www.natuurlijkerwijs.com/english/sugars.htm

คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

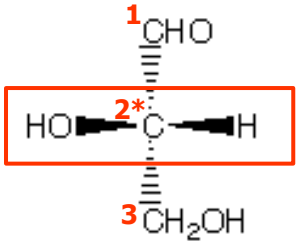
โมโนแซคคาไรด์

สเทอริโอเคมีของโมโนแซคคาไรด์

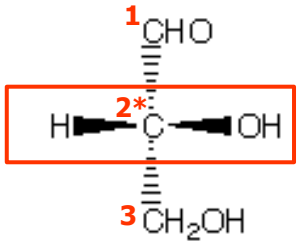
- โมโนแซคคาไรด์สามารถเกิดไอโซเมอร์ได้เนื่องจากมีไครัลคาร์บอนในโมเลกุล จำนวนไอโซเมอร์ที่อาจเกิดขึ้นได้ = 2^n เมื่อ n คือจำนวนไครัลคาร์บอนในโมเลกุล

- โมโนแซคคาไรด์ที่มีขนาดเล็กที่สุดประกอบด้วยคาร์บอน 3 อะตอม คาร์บอนที่ 2 คือไครัลคาร์บอนที่ทำให้เกิดไอโซเมอร์แบบอิแนนทิโอเมอร์ (เงา) เช่น แอล-กลีเซอรัลดีไฮด์ และ ดี-กลีเซอรัลดีไฮด์

หมู่ –OH ชี้ซ้าย เรียก L-isomer



L-(-)-Glyceraldehyde



D-(+)-Glyceraldehyde

* ไครัลคาร์บอน

หมู่ –OH ชี้ขวา เรียก D-isomer

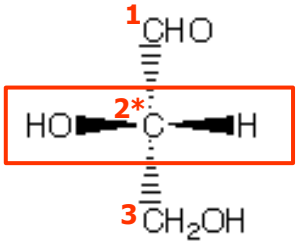
- L-Glyceraldehyde มีหมู่ –OH ชี้ซ้ายจะหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ไปทางซ้าย (levorotatory; (-)) ส่วน D-Glyceraldehyde ซึ่งหมู่ –OH ชี้ขวาจะหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ไปทางขวา (dextrorotatory; (+))

คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

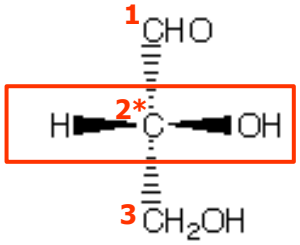
โมโนแซคคาไรด์

➢ โมโนแซคคาไรด์อื่นๆ เมื่อเขียนโครงสร้างแบบฟิชเชอร์ และพิจารณาหมู่ –OH ที่เกาะกับไครัลคาร์บอนอะตอมสุดท้าย ถ้าหมู่ –OH ชี้ซ้ายจะเรียก L-isomer และถ้าชี้ขวาจะเรียก D-isomer

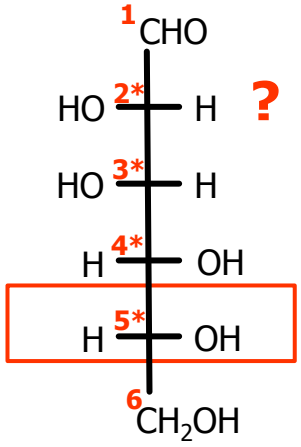
* ไครัลคาร์บอน



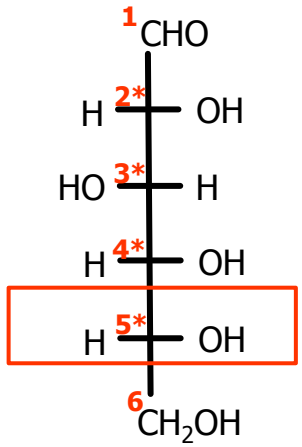
L-(-)-Glyceraldehyde



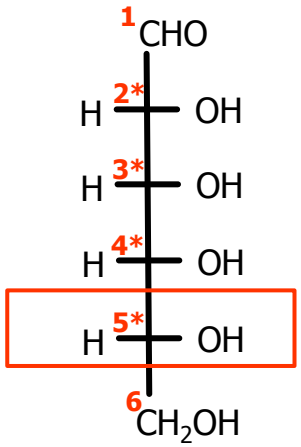
D-(+)-Glyceraldehyde



D-(+)-Mannose



D-(+)-Glucose



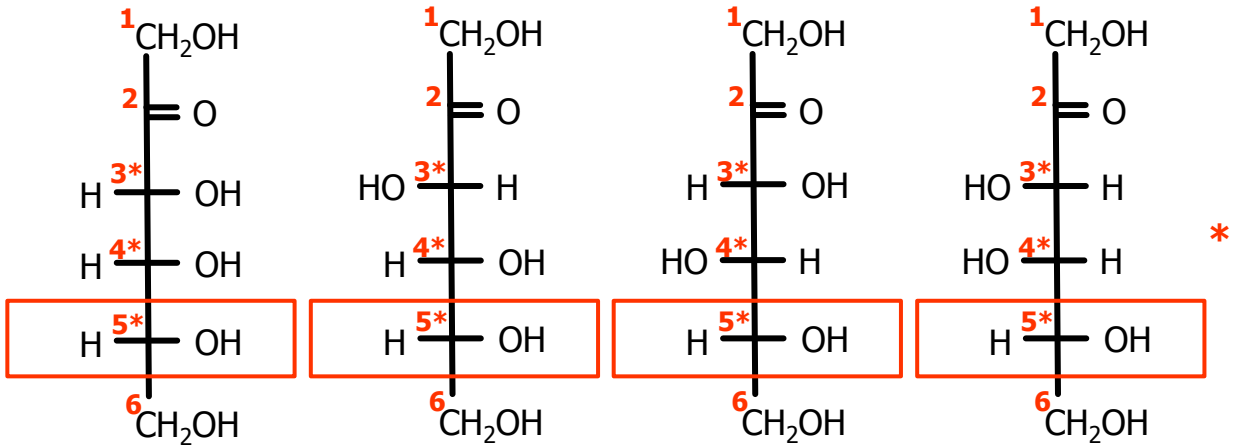
D-(+)-Allose

➢ โมโนแซคคาไรด์ที่พบในธรรมชาติจะมีคอนฟิกกิวเรชันเป็นแบบ D-isomer เสมอ และจะพบโมโนแซคคาไรด์แบบ L-isomer ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี

คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

โมโนแซคคาไรด์

➢ โมโนแซคคาไรด์พวกคีโตสก็สามารถระบุ D, L-isomer ได้เมื่อพิจารณาหมู่ –OH ที่เกาะกับไครัลคาร์บอนอะตอมสุดท้ายเช่นเดียวกัน



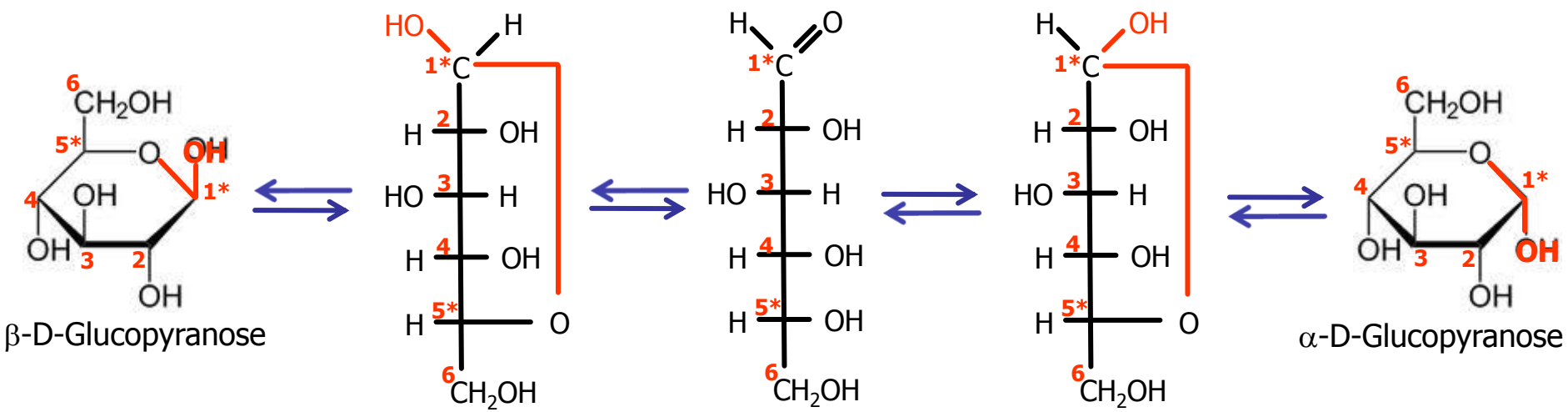
* ไครัลคาร์บอน

คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

โมโนแซคคาไรด์

สูตรโครงสร้างแบบวงแหวน

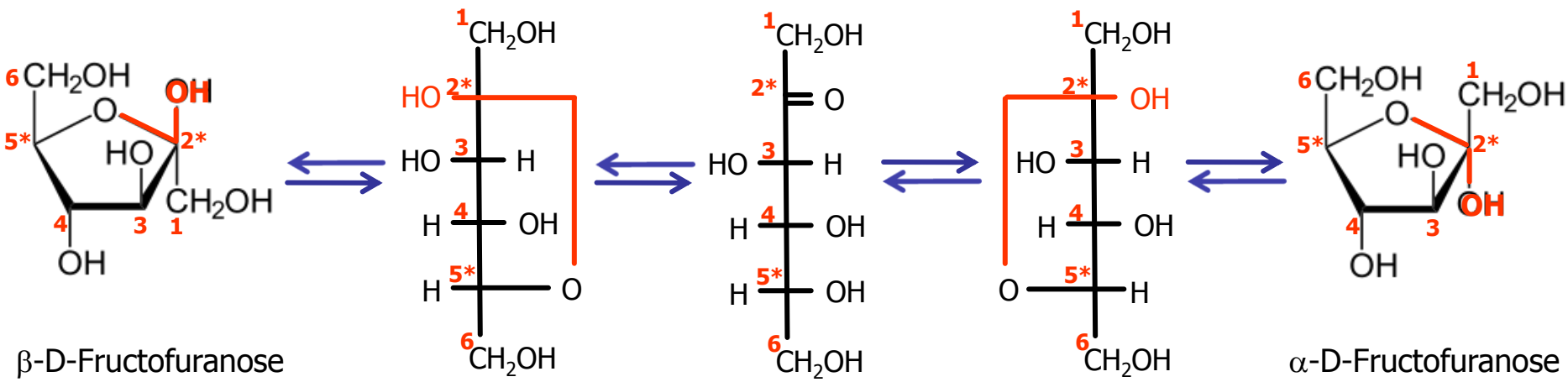
- โมโนแซคคาไรด์ที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 5 อะตอมขึ้นไป สามารถเกิดโครงสร้างแบบวงแหวน (โครงสร้างแบบฮาเวิร์ธ; Haworth Projection) ได้ เนื่องจากปฏิกิริยา "เฮมิอะซีทาล" (hemiacetal) ระหว่างหมู่ –OH และหมู่ $\begin{matrix} & \\ -C- & \\ & \end{matrix}\!\!=O$ ของน้ำตาล และการเกิดวงแหวนนี้สามารถผันกลับได้



คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

โมโนแซคคาไรด์

➢ สำหรับโมโนแซคคาไรด์พวกคีโตส สามารถเกิดวงแหวนได้เนื่องจากปฏิกิริยา “เฮมิคีทาล” (hemiketal) ระหว่างหมู่ –OH และหมู่ $\overset{|}{C}=O$ ของน้ำตาล เช่น การเกิดวงแหวนฟิวรานของน้ำตาลฟรุกโตส

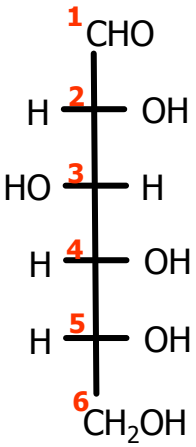


➢ β-D-Glucopyranose กับ α-D-Glucopyranose และ β-D-Fructofuranose กับ α -D-Fructofuranose เป็นไอโซเมอร์ชนิด “ทอโทเมอร์” (tautomer) กัน สำหรับโมโนแซคคาไรด์จะเรียกไอโซเมอร์แบบนี้ว่า “อะโนเมอร์” (anomer)

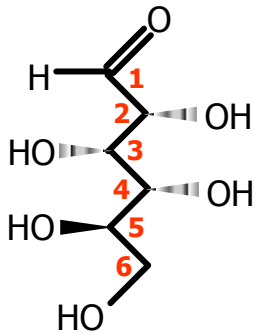
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

โมโนแซคคาไรด์

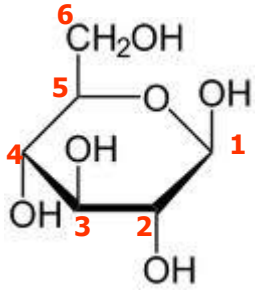
- ในธรรมชาติสารละลายโมโนแซคคาไรด์จะอยู่ในรูปวงแหวน เช่น กลูโคสจะผสมระหว่าง α-D-Glucopyranose และ β-D-Glucopyranose ในอัตราส่วน 38: 62 จึงนิยมเขียนโครงสร้างของน้ำตาลเป็นแบบฮาร์เวิร์ธมากกว่าแบบฟิชเชอร์ แต่ปัจจุบันนิยมเขียนแบบมิลลส์ หรือแบบ “chair conformation” มากกว่า



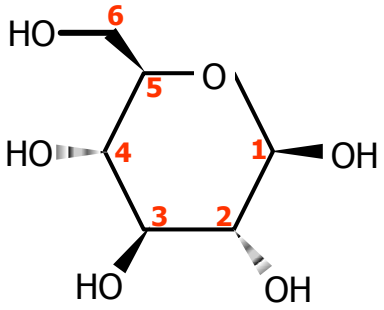
Glucose แบบ Fischer



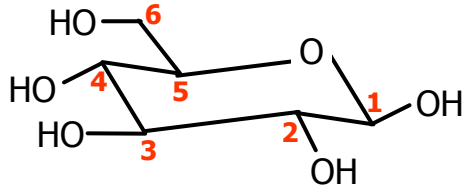
Glucose แบบ Zigzag



Glucose แบบ Harworth



Glucose แบบ Mills



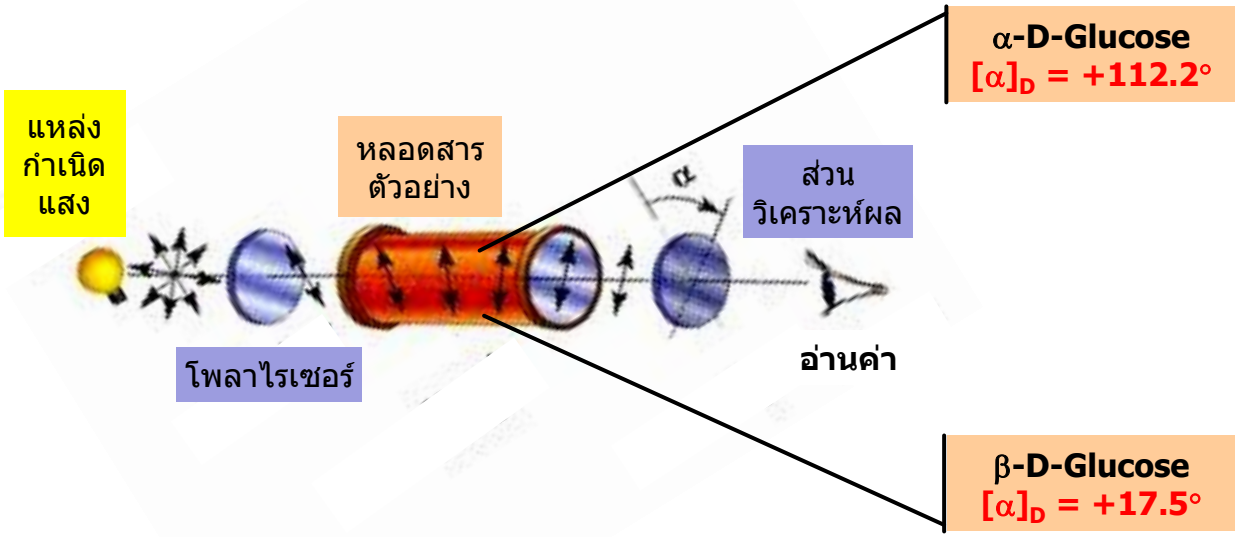
Glucose แบบ Chair Conformation

คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

โมโนแซคคาไรด์

มิวตาโรเทชัน

- โมโนแซคคาไรด์เมื่อละลายน้ำจะหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ (optical rotation; $[\alpha]_D$) ได้ คือเริ่มต้นสารละลายหมุนระนาบแสงได้ค่าค่าหนึ่ง เมื่อเวลาผ่านไปค่าจะค่อยๆ เปลี่ยนจนเข้าสู่สมดุล เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า มิวตาโรเทชัน (mutarotation)

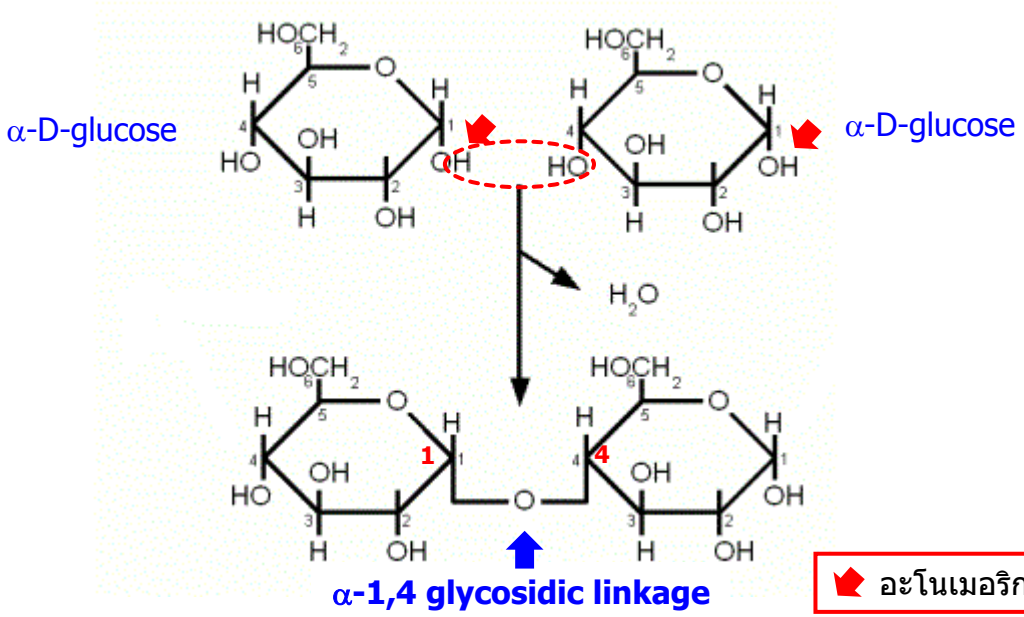


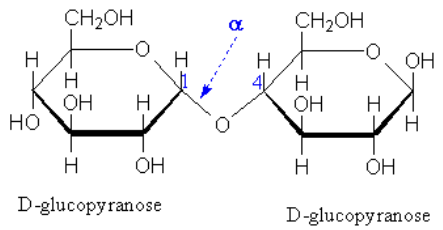
ดัดแปลงจาก: http://andromeda.rutgers.edu/~huskey/images/polarimeter.jpg

คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

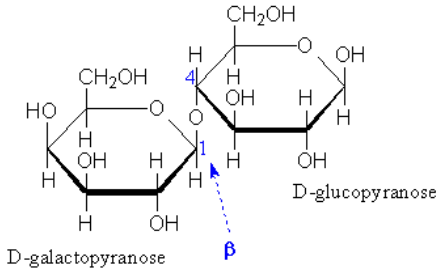
พันธะไกลโคสิดิกและโอลิโกแซคคาไรด์

➢ หมู่ –OH 2 หมู่สามารถเกิดพันธะเคมีแล้วให้ **อีเทอร์** กรณีของโมโนแซคคาไรด์ 2 โมเลกุล จะมีหมู่ –OH อยู่หลายคู่ พันธะไกลโคซิดิก (glycosidic linkage) เกิดจากหมู่ –OH ที่ตำแหน่งอะโนเมอริก กับหมู่ –OH ที่ตำแหน่งอื่นๆ หรือตำแหน่งอะโนเมอริก ด้วยกันเองก็ได้ สารประกอบอีเทอร์ที่เกิดขึ้นมีชื่อว่า **"ไกลโคไซด์"** (glycoside)

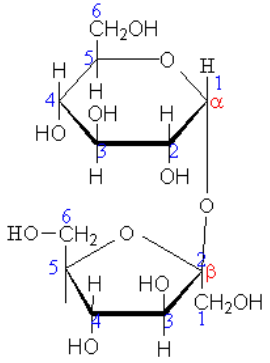




มอลโตส (Maltose)
Glc (α-1,4) Glc



แลคโตส (Lactose)
Gal (β-1,4) Glc



ซูโครส (Sucrose)
Glc (α1-β2) Fru

D-glucopyranose (top)

D-fructofuranose (bottom)

คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

พันธะไกลโคสิดิกและโอลิโกแซคคาไรด์

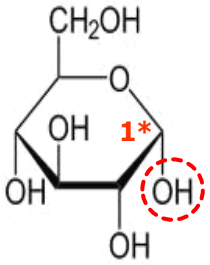
- ไกลโคไซด์ที่เกิดจากโมโนแซคคาไรด์

  2 โมเลกุล เรียกว่า “ไดแซคคาไรด์” (disaccharide)

  3 โมเลกุล เรียกว่า “ไตรแซคคาไรด์” (trisaccharide)

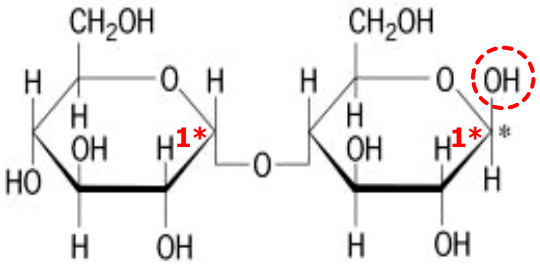
  หลายๆ โมเลกุล เรียกว่า “โอลิโกแซคคาไรด์” (oligosaccharide)

  และ “โพลีแซคคาไรด์” (polysaccharide)



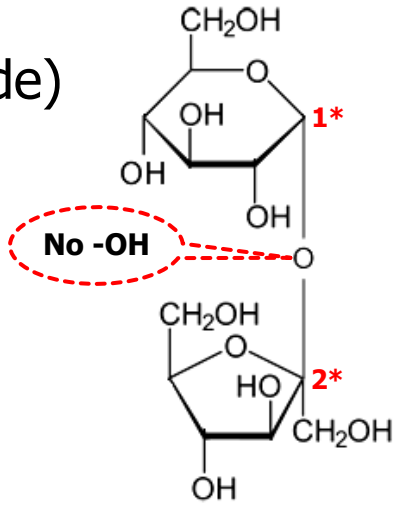
กลูโคส : โมโนแซคคาไรด์
มีอะโนเมอริก –OH อิสระ
∴ มีความสามารถในการรีดิวซ์

“น้ำตาลรีดิวซ์” (reducing sugar)



มอลโตส : ไดแซคคาไรด์
มีอะโนเมอริก –OH อิสระ
∴ มีความสามารถในการรีดิวซ์

“น้ำตาลรีดิวซ์” (reducing sugar)

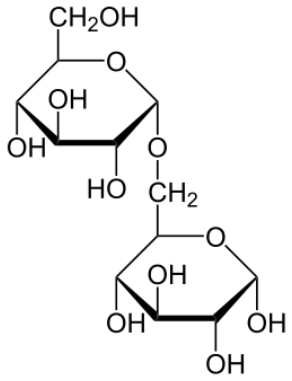


ซูโครส : ไดแซคคาไรด์
ไม่มีอะโนเมอริก –OH อิสระ
∴ ไม่มีความสามารถในการรีดิวซ์

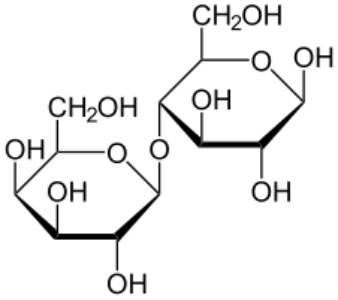
“น้ำตาลนอน-รีดิวซ์” (non-reducing sugar)

คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

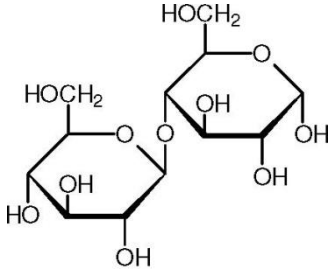
พันธะไกลโคสิดิกและโอลิโกแซคคาไรด์



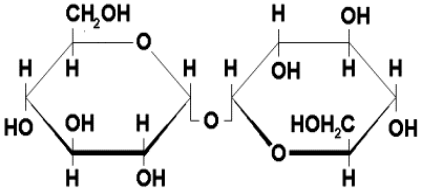
Isomaltose
Glc (α1-6) Glc



Maltose
Gal (β1-4) Glc



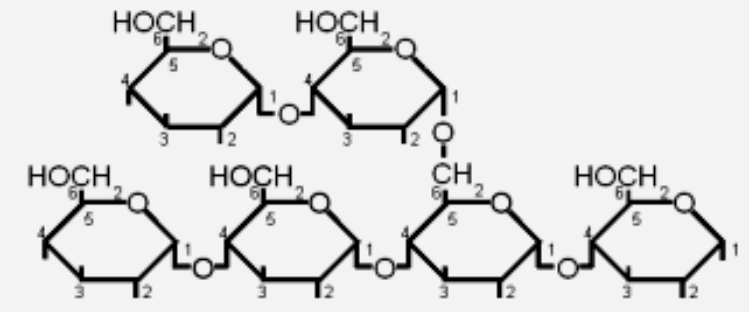
Cellobiose
Glc (β1-4) Glc



Trehalose
Glc (α1-α1) Glc

ระบุตำแหน่งอะโนเมอริก -OH

ไดแซคคาไรด์ชนิดใดเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ ☑ และชนิดใดเป็นน้ำตาลนอน-รีดิวซ์ ☒



กรณี oligosaccharide อะโนเมอริก -OH

แต่โอลิโกแซคคาไรด์มักเป็นพวกนอน-รีดิวซ์ ☒

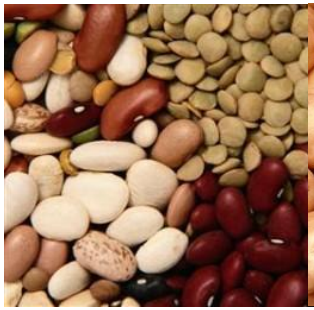
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

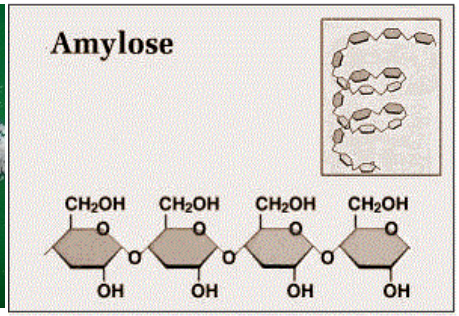
โพลีแซคคาไรด์

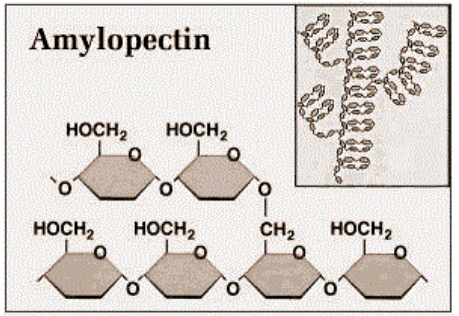
- โพลีแซคคาไรด์ เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากโมโนแซคคาไรด์มาเรียงต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ส่วนใหญ่จะไม่ละลายน้ำ รสไม่หวาน และมีมวลโมเลกุลสูง
- โพลีแซคคาไรด์ที่ควรรู้จัก ได้แก่ แป้ง ไกลโคเจน เซลลูโลส ไคตินและไคโตซาน ไซโคเดกซ์ตริน

แป้ง เป็นคาร์โบไฮเดรตมวลโมเลกุลสูงที่ได้จากพืช เป็นแหล่งสะสมอาหารของพืช เช่น เมล็ดหรือหัว

โครงสร้าง: ประกอบด้วย 2 ส่วน
- อะไมโลส (amylose): $[Glc\ (\alpha 1\text{-}4)\ Glc]_{\geq 1,000}$
- อะไมโลเพกติน (amylopectin): $[Glc\ (\alpha 1\text{-}4)\ Glc]_{20\text{-}25}$ $[Glc\ (\alpha 1\text{-}6)\ Glc]$







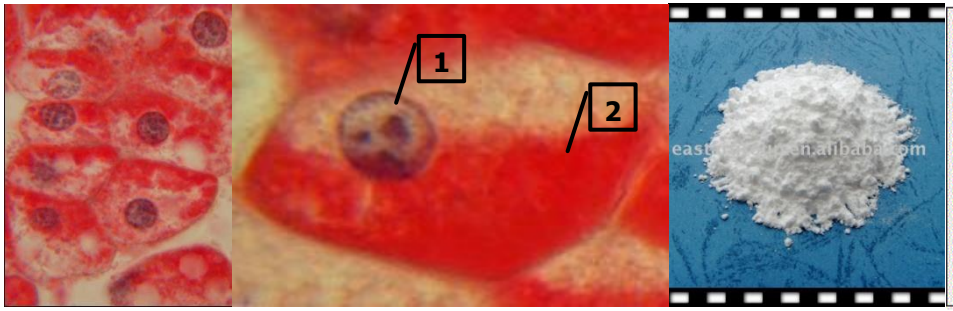
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

โพลีแซคคาไรด์

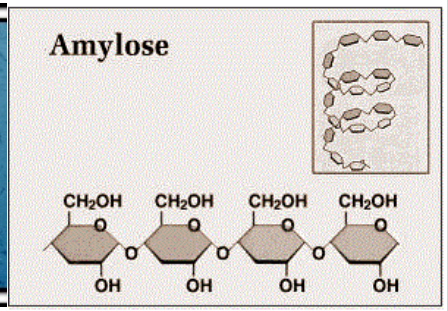
สัตว์เก็บสะสมอาหารในรูปสารที่คล้ายแป้ง เรียกว่า ไกลโคเจน ไว้ในตับ

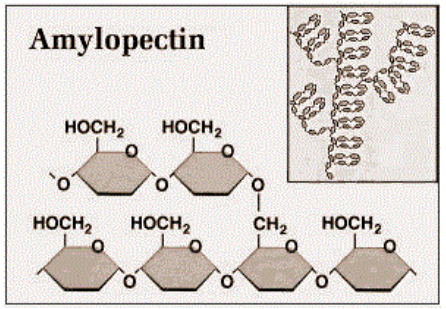
โครงสร้าง: คล้ายแป้ง โดยประกอบด้วย 2 ส่วน

- อะไมโลส (amylose): [Glc (α1-4) Glc]$_{\geq 1,000}$
- อะไมโลเพกติน (amylopectin): [Glc (α1-4) Glc]$_{12\text{-}18}$ [Glc (α1-6) Glc]



เซลล์ตับ (1) ส่วนนิวเคลียสของเซลล์ (2) ไกลโคเจนที่สะสมในเซลล์



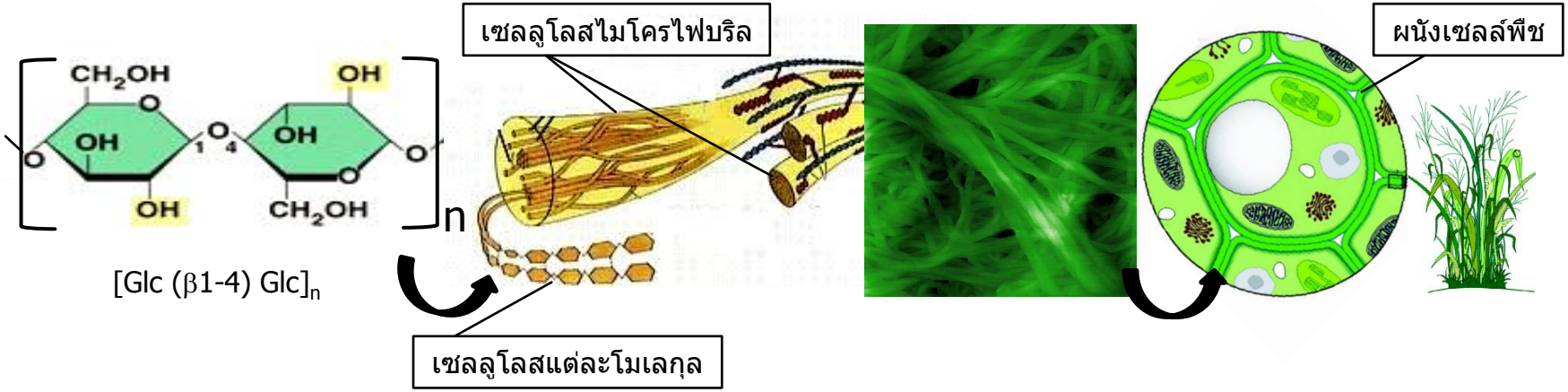


คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

โพลีแซคคาไรด์

เซลลูโลส เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยกลูโคสเพียงอย่างเดียวเหมือนแป้งและไกลโคเจน เซลลูโลสทำหน้าที่เป็นวัสดุโครงสร้างที่สำคัญของพืช และสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำหลายชนิด เช่น เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์

โครงสร้าง: $[Glc\ (\beta 1\text{-}4)\ Glc]_n$



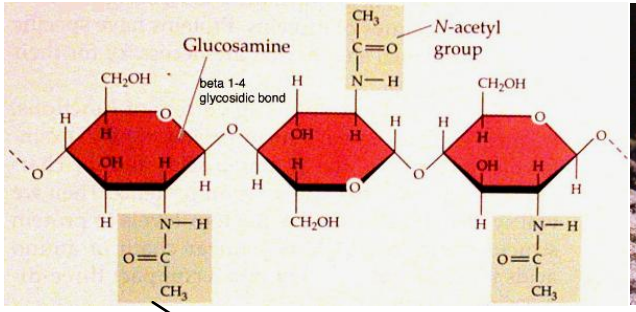
ร่างกายของสัตว์ชั้นสูงส่วนใหญ่ไม่สามารถย่อยเซลลูโลสได้ แต่แบคทีเรียบางชนิดในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้องหรือปลวกมีเอนไซม์ที่ย่อยเซลลูโลสเป็นกลูโคสได้

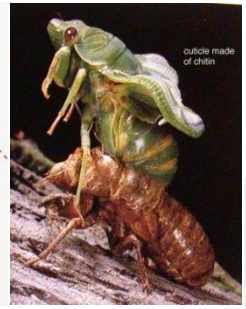
เซลลูโลสถูกใช้เป็นหลักในอุตสาหกรรมกระดาษ และยังเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเส้นใย rayon, แผ่นโปร่งใส (cellulose acetate), และไนโตรเซลลูโลสหรือดินสำลี (gun cotton)

คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

โพลีแซคคาไรด์

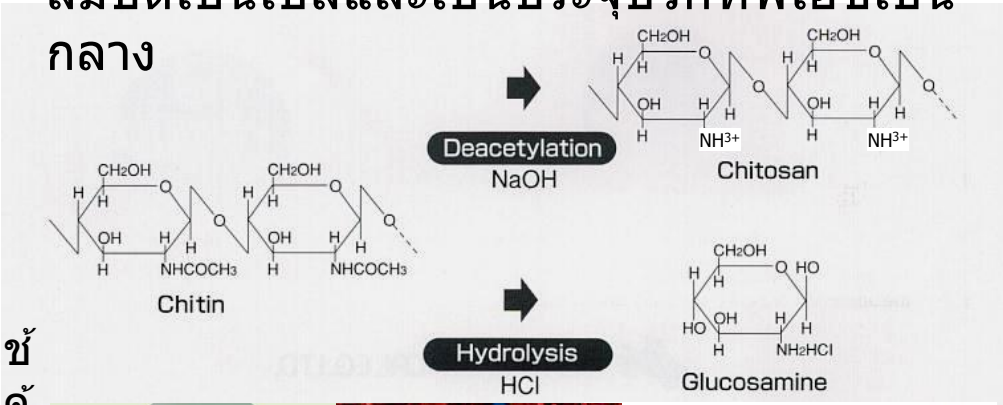
ไคติน เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลพิเศษดี-กลูโคซามีน (D-glucosamine) ยึดกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบ β-1,4 คล้ายเซลลูโลส ไคตินเป็นองค์ประกอบของเปลือกสัตว์พวกกุ้ง-ปู และแมลง รวมทั้งพวกเห็ดราหลายชนิด



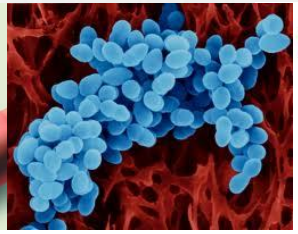


ตำแหน่ง C_2 ของกลูโคสมีหมู่อะมิโน (-NH-) แทนหมู่ไฮดรอกซิล (–OH) และมีหมู่อะเซติล ($-CO-CH_3$) เข้า

เมื่อไฮโดรไลซ์ด้วย NaOH จะเกิดการกำจัดหมู่อะเซติล (deacetylation) ได้ผลิตภัณฑ์คือ ไคโตซาน ซึ่งมีหมู่อะมิโนอิสระ จึงแสดงสมบัติเป็นเบสและเป็นประจุบวกที่พีเอชเป็นกลาง



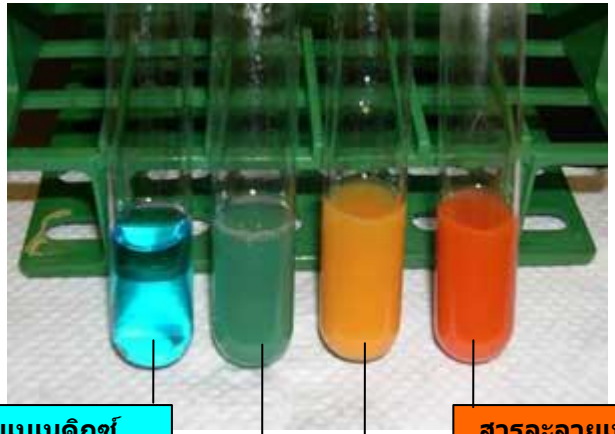
ปัจจุบันมีการนำไคติน-ไคโตซานไปประยุกต์ใช้งานมากมายจากคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เข้ากันได้กับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต มีประจุบวก ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และจับกับไอออนของโลหะได้



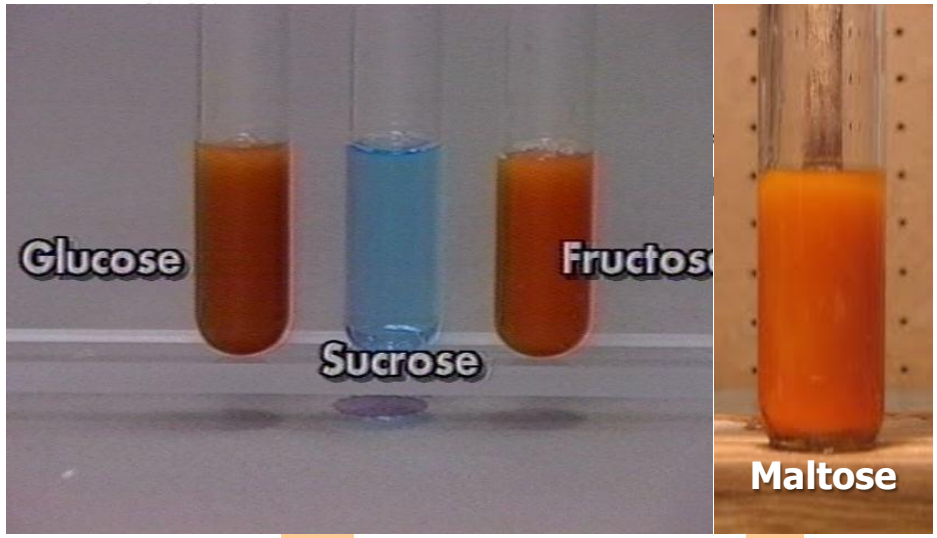
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

การตรวจวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรต

➢ โมโนแซคคาไรด์ส่วนใหญ่ และไดแซคคาไรด์บางชนิดแสดงคุณสมบัติการรีดิวซ์ ซึ่งจะตรวจสอบได้โดยใช้สารละลายเบเนดิกต์ (Benedict's reagent) ซึ่งประกอบด้วย Cu^{2+} ในสารละลายด่าง น้ำตาลที่มีคุณสมบัติการรีดิวซ์จะทำให้เกิดตะกอนสีแดงอิฐของคอปเปอร์ (I) ออกไซด์



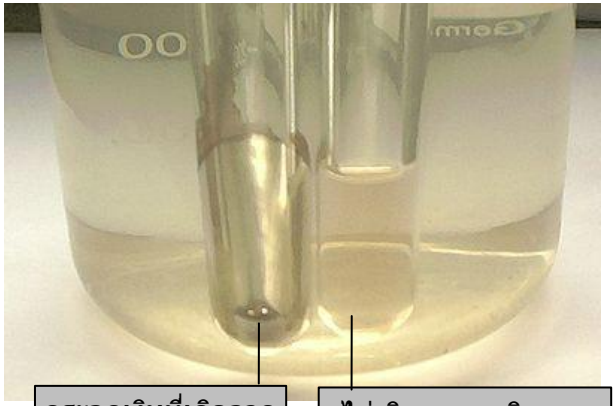
➢ พิจารณาโมโนแซคคาไรด์ และไดแซคคาไรด์ต่อไปนี้ โมเลกุลใดเป็นน้ำตาลรีดิวซ์



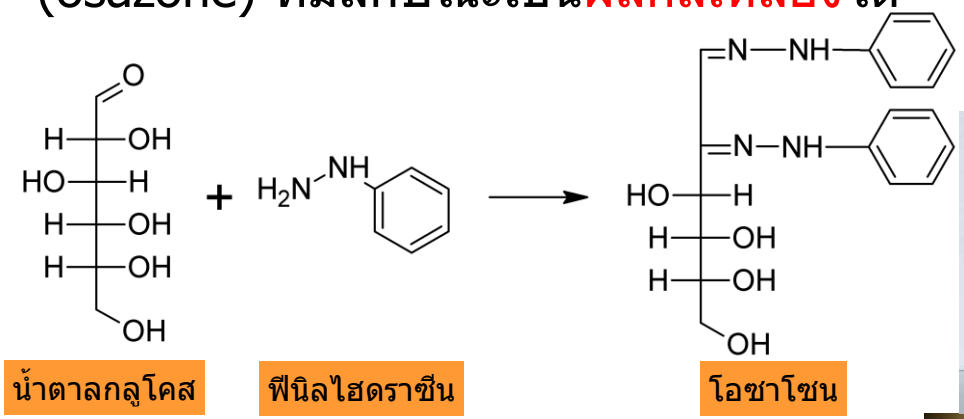
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

การตรวจวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรต

➢ นอกจากนี้ยังทดสอบได้ด้วย สารละลายทอลเลนส์ (Tollen's reagent) ซึ่งประกอบด้วย ซิลเวอร์ (I) ไดเอมีนไอออน ในสารละลายที่เป็นเบส น้ำตาลที่มีคุณสมบัติการรีดิวซ์จะทำให้เกิดโลหะเงินเคลือบผิวหลอดทดลอง การทดสอบนี้อาจเรียก "ซิลเวอร์มิร์เรอเทสต์"



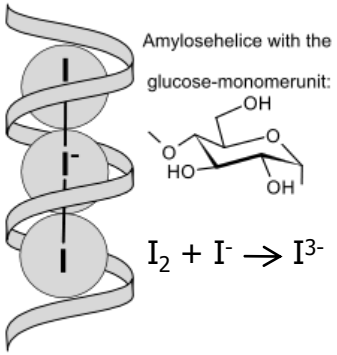
➢ น้ำตาลส่วนใหญ่ทำปฏิกิริยากับสารละลายฟีนิลไฮดราซีน (phenylhydrazine) เกิดเป็นสารประกอบ โอซาโซน (osazone) ที่มีลักษณะเป็นผลึกสีเหลืองได้



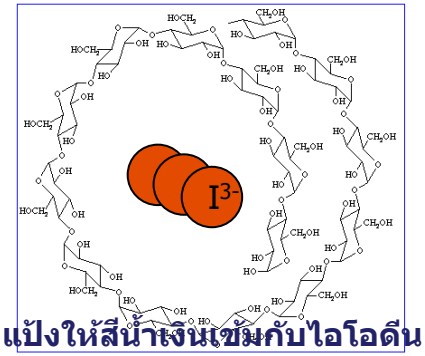
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

การตรวจวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรต

➢ แป้งสามารถเกิดสารเชิงซ้อนสีน้ำเงินเข้ม กับสารละลายไอโอดีนได้ จึงใช้น้ำแป้งในการตรวจสอบไอโอดีน หรือในทางกลับกันใช้สารละลายไอโอดีนในการตรวจสอบแป้งได้

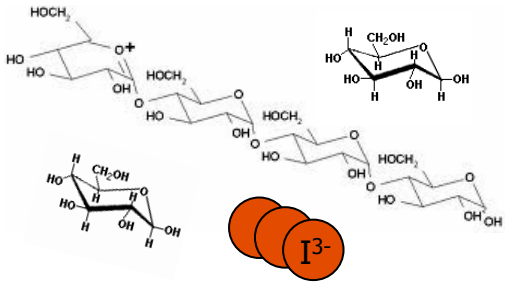


➢ เมื่อนำแป้งไปไฮโดรไลซ์ด้วยกรดเจือจางจะได้แซคคาไรด์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงซึ่งไม่ให้สีน้ำเงินเข้มกับไอโอดีน



แป้งให้สีน้ำเงินเข้มกับไอโอดีน

+ HCl ต้ม →



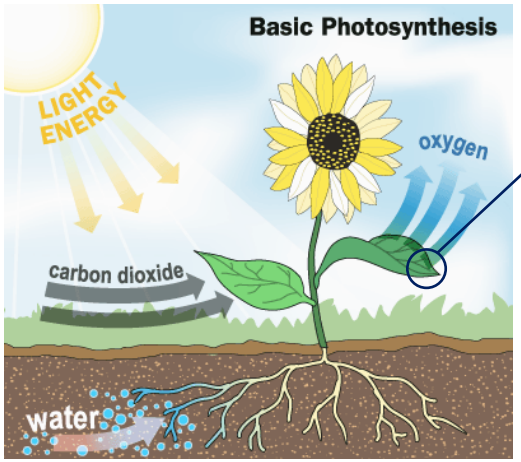
แซคคาไรด์โมเลกุลเล็ก ไม่ให้สีน้ำเงินกับไอโอดีน

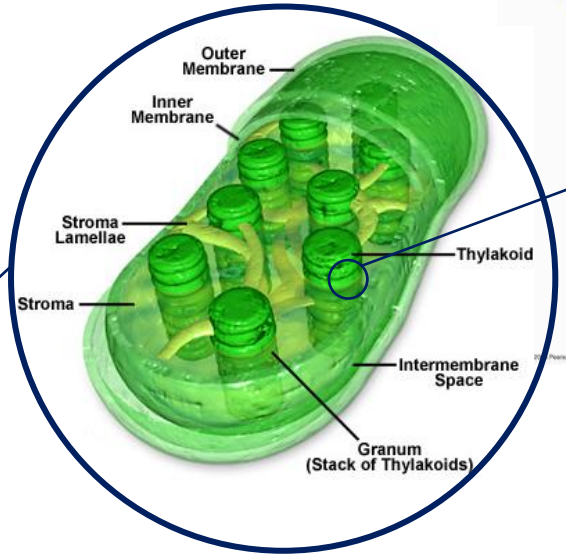
น้ำแป้งต้มกับกรด 1, 3, และ 5 นาที

คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

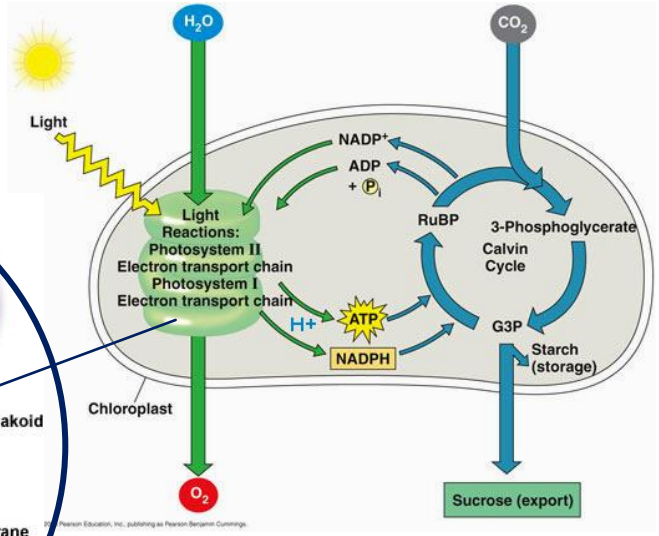
บทบาทของคาร์โบไฮเดรตในสิ่งมีชีวิต

- คาร์โบไฮเดรตมีความสำคัญยิ่งต่อสิ่งมีชีวิต พืชทุกชนิดเก็บสะสมพลังงานจากแสงอาทิตย์อยู่ในรูปของน้ำตาลกลูโคส โดยอาศัย CO_2 กับ H_2O เป็นวัตถุดิบโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง พืชบางชนิดชนิดสามารถเก็บน้ำตาลไว้ในรูปแป้ง ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลเมื่อต้องการ





คลอโรพลาสต์ในเซลล์พืช

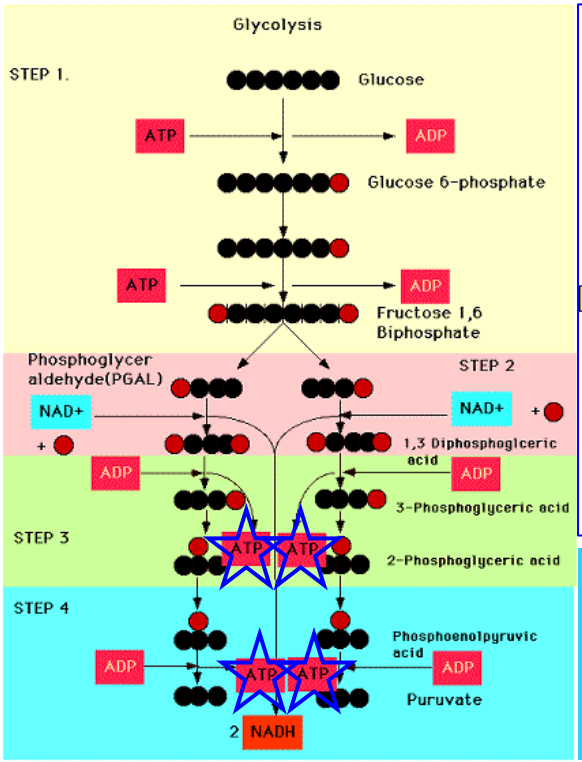


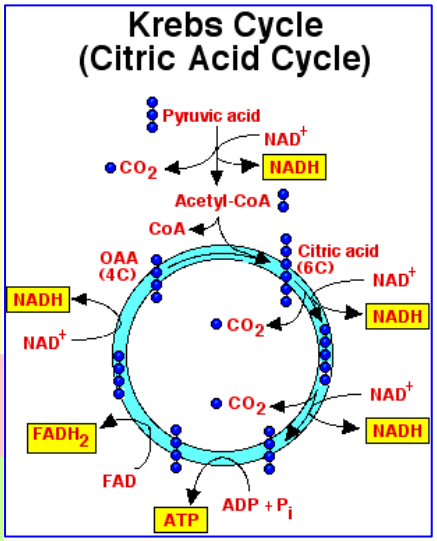
ถุงทัยลาคอยด์ในคลอโรพลาสต์

คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

บทบาทของคาร์โบไฮเดรตในสิ่งมีชีวิต

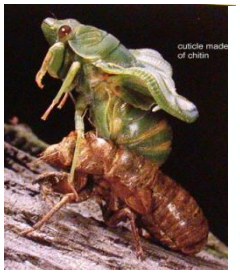
➢ สัตว์และสิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถสังเคราะห์แสงจะได้กลูโคสจากอาหารที่เป็นคาร์โบไฮเดรต โดยกระบวนการย่อยอาหาร ในเซลล์จะมีการเผาผลาญกลูโคสให้เป็นพลังงานโดยกระบวนการไกลโคลิซิส (glycolysis) และวัฏจักรเครบส์ (Kreb's cycle) ดังนั้นคาร์โบไฮเดรตจึงเป็นแหล่งพลังงานสำคัญของสิ่งมีชีวิต





พลังงานจากการเผาผลาญกลูโคสอยู่ในรูปโมเลกุล **ATP**

➢ คาร์โบไฮเดรตเป็นวัสดุโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตด้วย เช่น เซลลูโลสที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชและแบคทีเรีย ไคตินที่เป็นส่วนประกอบของเปลือกของสัตว์พวกแมลง เป็นต้น

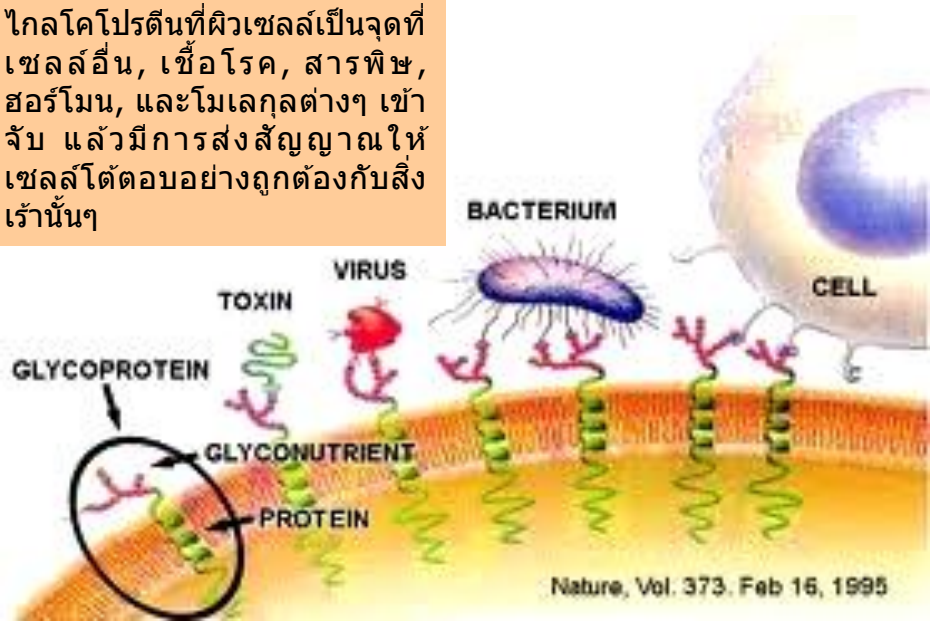


คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

บทบาทของคาร์โบไฮเดรตในสิ่งมีชีวิต

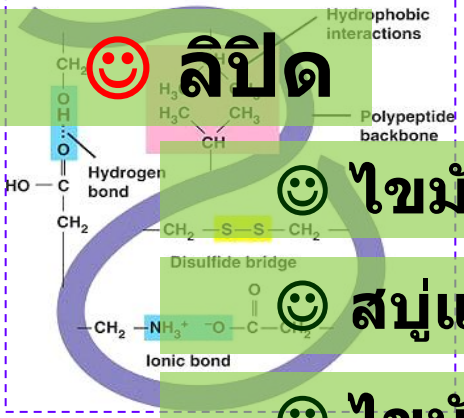
- คาร์โบไฮเดรตยังมีบทบาทในกระบวนการจดจำและอันตรกิริยาระหว่างเซลล์ โดยอาศัยคาร์โบไฮเดรตที่พื้นผิวของเซลล์

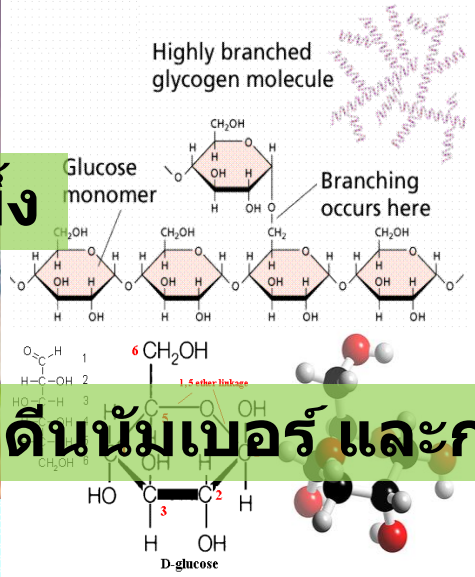
ไกลโคโปรตีนที่ผิวเซลล์เป็นจุดที่เซลล์อื่น, เชื้อโรค, สารพิษ, ฮอร์โมน, และโมเลกุลต่างๆ เข้าจับ แล้วมีการส่งสัญญาณให้เซลล์โต้ตอบอย่างถูกต้องกับสิ่งเร้านั้นๆ

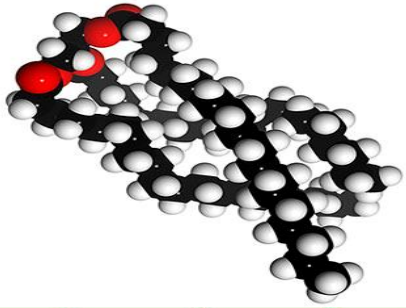


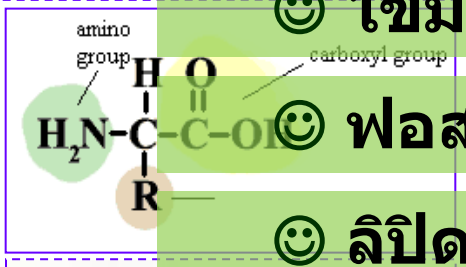
สารชีวโมเลกุล (Biomolecules)

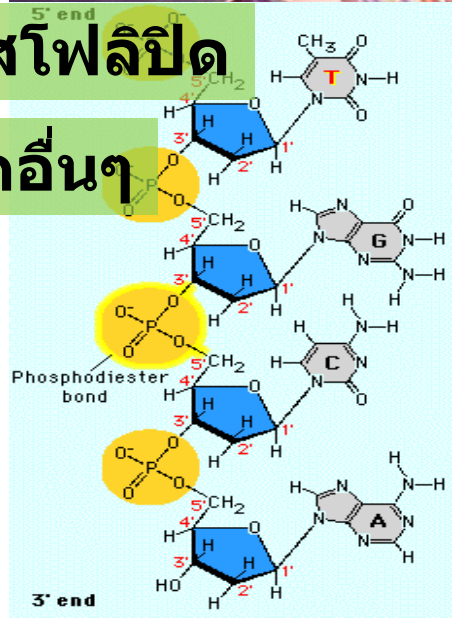
- ☺ ลิปิด
- ☺ ไขมัน น้ำมัน และขี้ผึ้ง
- ☺ สบู่และผงซักฟอก
- ☺ ไขมันไม่อิ่มตัว ไอโอดีนนัมเบอร์ และการเหม็นหืน
- ☺ ฟอสโฟลิปิด
- ☺ ลิปิดอื่นๆ







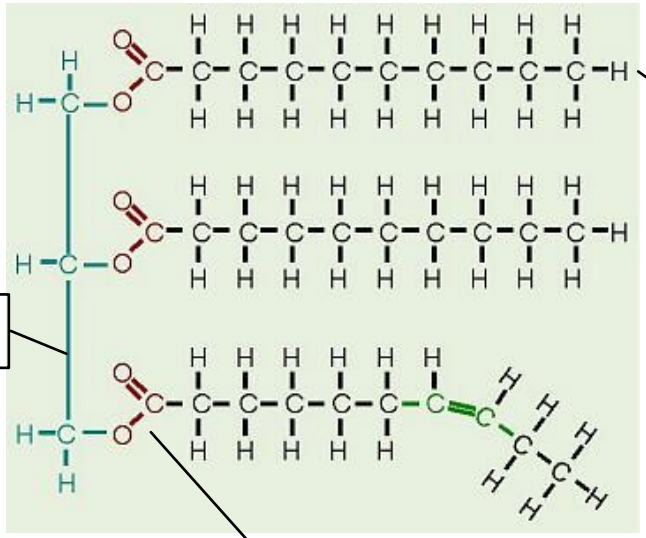


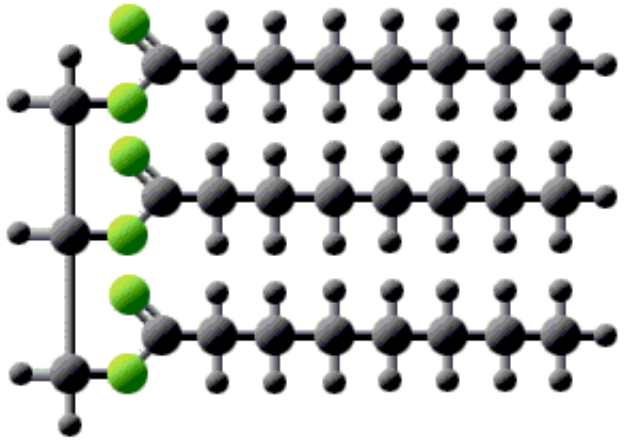


ลิปิด (Lipid)

ไขมัน น้ำมัน และขี้ผึ้ง

- ลิปิดเป็นชื่อเรียกรวมของสารที่ค่อนข้างไม่มีขั้วที่พบในสิ่งมีชีวิต ลิปิดไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำ เช่น อีเทอร์ หรือ เฮกเซน ลิปิดประกอบด้วยสารหลายกลุ่ม แต่กลุ่มสามัญและมีความสำคัญที่สุดคือ ไขมันและน้ำมัน
- ไขมันและน้ำมันเป็นสารประกอบเอสเทอร์ (ester) ระหว่างกรดอินทรีย์โซ่ตรง (C > 10) กับกลีเซอรอล (แอลกอฮอล์ที่มี OH 3 หมู่) เรียกว่า กลีเซอไรด์ (glyceride)





ไทรกลีเซอไรด์ :
กลีเซอรอล + 3 กรดไขมัน

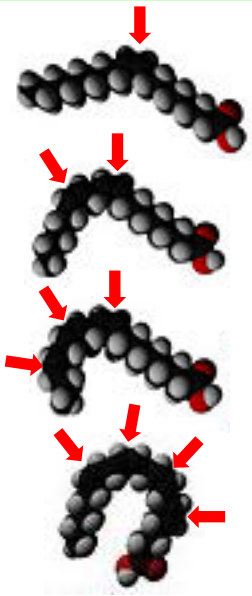
ลิปิด (Lipid)

ไขมัน น้ำมัน และขี้ผึ้ง

- กรดไขมัน (fatty acid) ที่พบในธรรมชาติจะมีจำนวน C อะตอม เป็นเลขคู่เสมอ และอาจมีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล 1 พันธะ หรือมากกว่า

กรดไขมัน	โครงสร้าง	จุดหลอมเหลว mp
กรดไขมันอิ่มตัว		
Palmitic acid (C16: 0)	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	+63
Stearic acid (C18: 0)	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	+70
Arachidic acid (C20: 0)	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$	+ 75.5
กรดไขมันไม่อิ่มตัว		
Oleic acid (C18:1)	$CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$	+16
Linoleic acid (C18: 2)	$CH_3(CH_2)_4(CH=CHCH_2)_2(CH_2)_6COOH$	-5
Linolenic acid (C18: 3)	$CH_3CH_2(CH=CHCH_2)_3(CH_2)_6COOH$	-11
Arachidonic acid (C20: 4)	$CH_3(CH_2)_4(CH=CHCH_2)_4(CH_2)_2COOH$	-50

พันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นแบบซิส ทำให้เกิดความโค้งงอของโมเลกุล



ลิปิด (Lipid)

ไขมัน น้ำมัน และขี้ผึ้ง

- กรดไขมันยิ่งมีจำนวน C มาก mp ยิ่งสูงขึ้น
- กรดไขมันอิ่มตัวมี mp สูงกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวน C เท่ากัน
- กรดไขมันไม่อิ่มตัวยิ่งมีพันธะคู่จำนวนมาก mp ยิ่งต่ำลง

Palmitic acid
(C16: 0)
Mp +63 °C

Stearic acid
(C18: 0)
Mp +70 °C

Oleic acid
(C18:1)
Mp +16 °C

Linoleic acid
(C18: 2)
Mp -5 °C

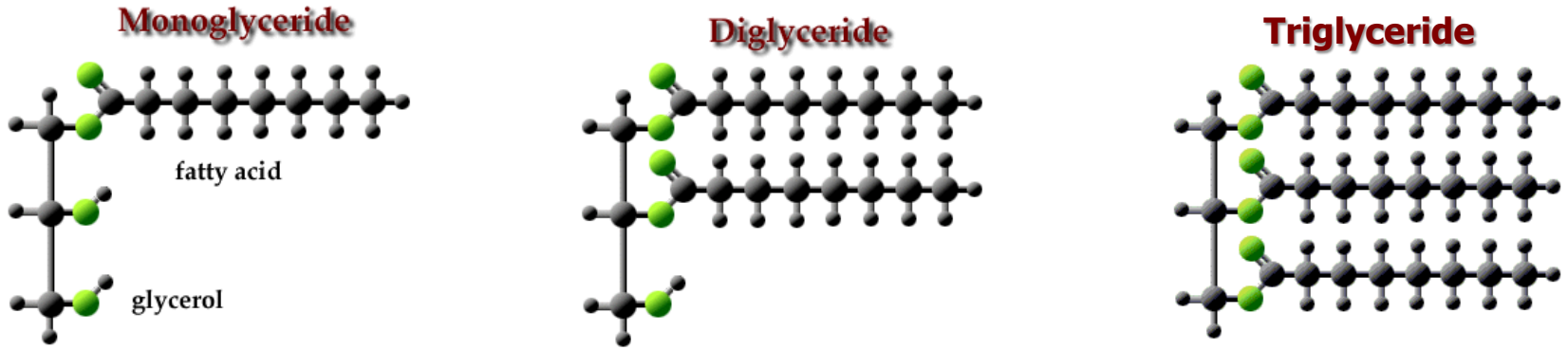
Linolenic acid
(C18: 3)
Mp -11 °C

Arachidonic acid
(C20: 4)
Mp -50 °C

ลิปิด (Lipid)

ไขมัน น้ำมัน และขี้ผึ้ง

- กลีเซอรอล เป็น แอลกอฮอล์ที่มีหมู่ - OH 3 หมู่ ซึ่งสามารถเกิด เอสเทอร์กับกรดไขมัน ได้สารประกอบกลีเซอไรด์ (glyceride) ซึ่งอาจเป็น โมโน, ได, หรือ ไตรกลีเซอไรด์ ขึ้นกับจำนวนกรดไขมันที่มาเกิดเป็นสารประกอบ



- ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) อาจประกอบด้วยกรดไขมันชนิดเดียวกัน หรือต่างชนิดก็ได้ โดยไตรกลีเซอไรด์นี้จะมีชื่อเรียกตามชื่อกรดไขมัน เช่น

  ไตรสเตียริน (tristearin) : ไตรกลีเซอไรด์ของกรดสเตียริก

  ไตรปาล์มิติน (tripalmitin) : ไตรกลีเซอไรด์ของกรดปาล์มิติก

ลิปิด (Lipid)

ไขมัน น้ำมัน และขี้ผึ้ง

- กลีเซอรอล เป็นของเหลวหนืดใส ไม่มีสี ละลายน้ำได้ดี แต่เมื่อเกิดเป็นกลีเซอไรด์ แล้วความสามารถในการละลายน้ำจะลดลงอย่างมาก
- ไตรกลีเซอไรด์ เป็นรูปแบบที่พบบ่อยสุดของไขมัน หรือน้ำมัน ซึ่งเป็นแหล่งสะสมพลังงานที่สำคัญของพืชและสัตว์

ไขมัน (fat)

เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง
แหล่งสะสมพลังงานของสัตว์
มีกรดไขมันอิ่มตัวจำนวนมาก

น้ำมัน (oil)

เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง
แหล่งสะสมพลังงานของพืช
มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวจำนวนมาก

- น้ำมันพืชหลายชนิด เช่น น้ำมันดอกคำฝอย น้ำมันเมล็ดทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลือง ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 2-3 หน่วย (polyunsaturated fatty acid, PUFA) อยู่มาก เป็นที่นิยมบริโภคถึงแม้มีราคาแพงเพราะดีต่อสุขภาพ

ไบโอดีเซล (Biodiesel)

❶เก็บเกี่ยวเมล็ดพืชน้ำมันและส่งต่อไปยังเครื่องบด

❷เมล็ดพืชถูกบดที่อุณหภูมิสูง ซึ่ง90-95% ของน้ำมัน จะไหลแยกออกมา

❸น้ำมันจากการบีบอัดไหลลงสู่ภาชนะเก็บ

❹กากที่เหลืออุดมด้วยโปรตีนใช้เลี้ยงสัตว์

❺pump น้ำมันเข้าสู่ถังผลิต

❻เติม CH_3OH และ KOH (lye) หรือ KCl (potash) ลงในถังและกวน

❼ปล่อยให้สารแยกชั้น จึงกรองสิ่งเจือปน (กลีเซอรีน) ออก

❽ขั้นสุดท้าย, ล้างด้วยน้ำ จะได้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ 100% สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์

❺

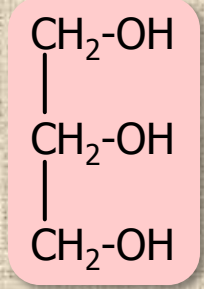
$$CH_2\text{-}O\text{-}C(=O)\text{-}C_{13}H_{35}$$
$$CH\text{-}O\text{-}C(=O)\text{-}C_{13}H_{35}$$
$$CH_2\text{-}O\text{-}C(=O)\text{-}C_{13}H_{35}$$

+

CH_3OH

❻

KOH



$$CH_2\text{-}OH$$
$$CH_2\text{-}OH$$
$$CH_2\text{-}OH$$

+

BIODIESEL

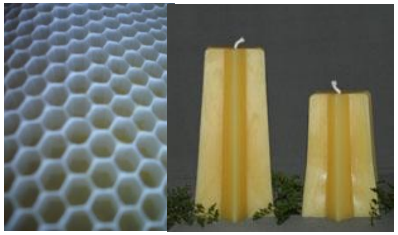
$$H_3C\text{-}O\text{-}C(=O)\text{-}C_{13}H_{35}$$

ลิปิด (Lipid)

ไขมัน น้ำมัน และขี้ผึ้ง

➢ ไข (wax) เป็นเอสเทอร์อย่างง่ายของกรดไขมัน และแอลกอฮอล์โซ่ตรงที่มีคาร์บอนจำนวนมาก พบในสารเคลือบผิวใบไม้หรือผิวหนัง หรือขนสัตว์ รังผึ้ง และไขปลาวาฬ ตัวอย่างเช่น

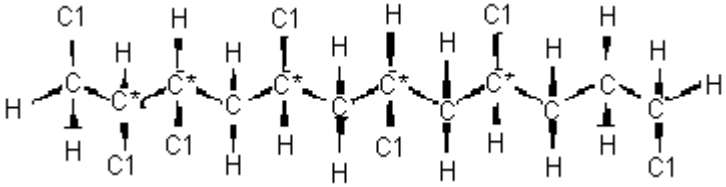
$CH_3(CH_2)_{14}COO(CH_2)_{15}CH_3$ ไขปลาวาฬ

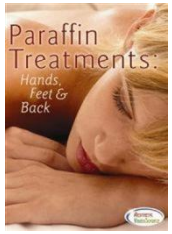


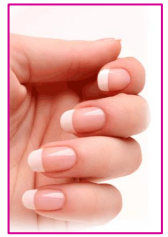
$CH_3(CH_2)_{24}COO(CH_2)_{29}CH_3$ ขี้ผึ้ง

$CH_3(CH_2)_{26}COO(CH_2)_{33}CH_3$ คาร์นูบาแวกซ์

➢ ไขพาราฟิน (parafin wax) ไม่จัดอยู่ในกลุ่มของแวกซ์อย่างแท้จริง เนื่องจากเป็นสารผสมของไฮโดรคาร์บอนที่ได้มาจากน้ำมันปิโตรเลียม





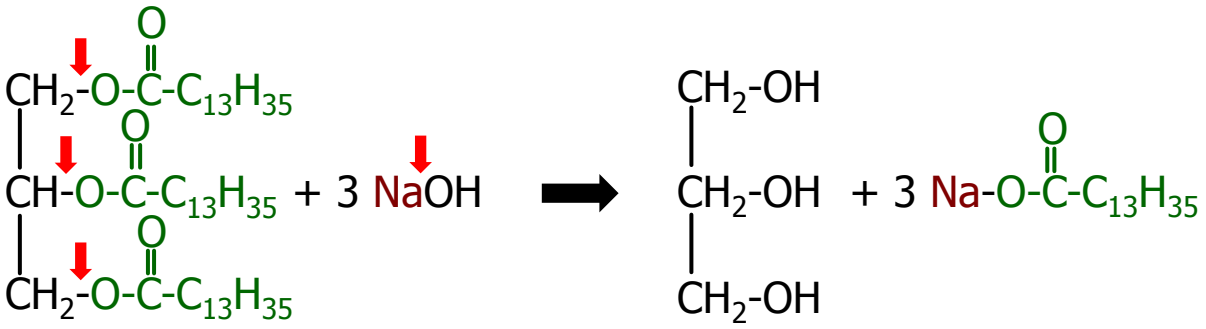


ลิปิด (Lipid)

สบู่ และผงซักฟอก

- เมื่อนำไขมัน มาทำปฏิกิริยากับด่าง เช่น NaOH หรือ KOH จะได้ของแข็งละลายน้ำได้ เป็นด่างอ่อน และให้ฟองเมื่อเขย่ากับน้ำ สารนี้คือ เกลือโซเดียมหรือโพแทสเซียมของกรดไขมัน ที่เรียกว่า "สบู่"

ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (saponification)



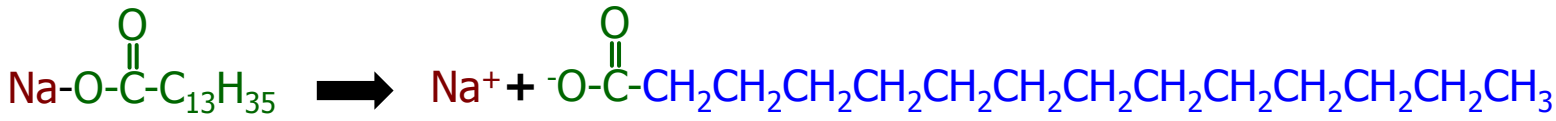
ไตรกลีเซอไรด์ | ด่าง | กลีเซอรอล | เกลือโซเดียมของกรดไขมัน: สบู่

- สะปอนิฟิเคชัน นัมเบอร์ (saponification number) ปริมาณ (มิลลิกรัม) ของด่างมาตรฐาน (KOH) ที่ใช้ทำปฏิกิริยาพอดีกับไขมัน 1 กรัม

ลิปิด (Lipid)

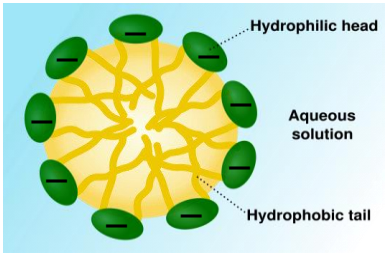
สบู่ และผงซักฟอก

- สบู่แสดงคุณสมบัติแอมพิฟิลิก (amphipilic) คือ มีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) ได้แก่ หมู่คาร์บอกซิลิก และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ได้แก่ ส่วนของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน อยู่ในโมเลกุลเดียวกัน

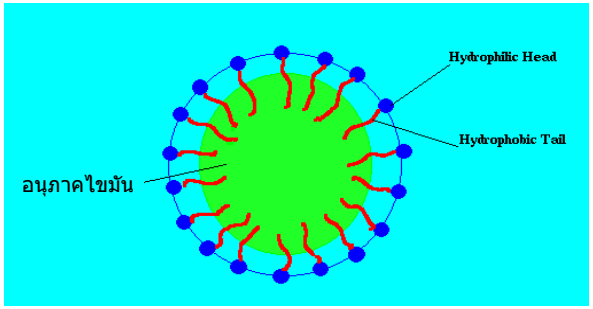


เกลือโซเดียมของกรดไขมัน: **สบู่** หมู่คาร์บอกซิลิกที่ชอบน้ำ สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ชอบน้ำ

- เมื่อละลายน้ำไฮโดรคาร์บอนจะมาเกาะตัวกัน หันด้านคาร์บอกซิลิกออก เกิดกลุ่มอนุภาคทรงกลมเล็กๆ ที่มีประจุลบละลายน้ำได้สารละลายขุ่นเล็กน้อยเรียก "ไมเซลล์" (micelle)



- สมบัติชะล้างไขมันของสบู่เกิดจากส่วนไฮโดรคาร์บอนที่จับได้ดีกับคราบสกปรกที่เป็นไขมัน (ปกติจะไม่ละลายน้ำและรวมตัวกันเป็นหยดหรือชั้นแยกจากน้ำ) เมื่อมีสบู่อยู่ด้วยไขมันจะแตกย่อยเป็นอนุภาคเล็กๆ ที่มีประจุลบ ผลักกันเอง ทำให้ไขมันแขวนลอยได้ในน้ำเกิดเป็น "อิมัลชัน" (emulsion)



ลิปิด (Lipid)

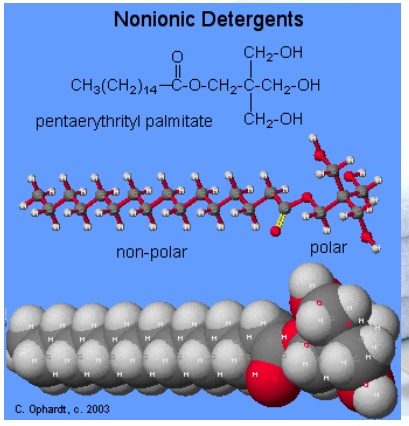
สบู่ และผงซักฟอก

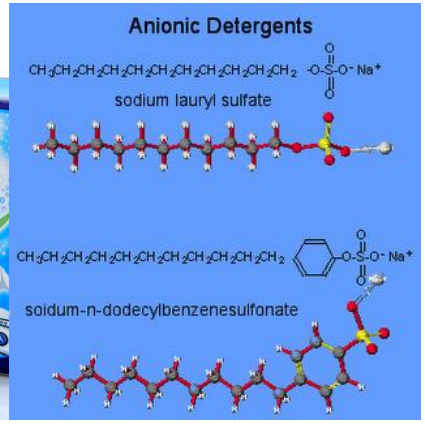
➢ ในน้ำกระด้างซึ่งประกอบด้วยเกลือ Ca^{2+} หรือ Mg^{2+} สบู่จะตกตะกอนเกิดเป็นไคลสบู่ ซึ่งคือเกลือ Ca^{2+} หรือ Mg^{2+} คาร์บอกซิเลตที่ไม่ละลายน้ำนั่นเอง อำนาจชะล้างไขมันของสบู่จึงลดลง

$$2\ Na^{+}\ ,\ 2\ {}^{-}O\text{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}\text{-}C_{13}H_{35} \quad + \quad Ca^{2+} \quad \rightarrow \quad Ca(O\text{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}\text{-}C_{13}H_{35})_2 \quad + \quad 2\ Na^{+}$$

สบู่: ละลายน้ำได้ | เกลือแคลเซียมในน้ำกระด้าง | ไคลสบู่: ไม่ละลายน้ำ

➢ ผงซักฟอกลดการเกิดตะกอนไคลสบู่ได้ โดยมีโครงสร้างคือ สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนจากการสังเคราะห์ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และส่วนชอบน้ำเป็นกรดเบนซีนซัลโฟนิก ซึ่งไม่ตกตะกอนเกิดเป็นไคลเมื่อจับกับ Ca^{2+} หรือ Mg^{2+} ในน้ำกระด้าง





➢ ผงซักฟอกก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมมากกว่าสบู่ เนื่องจากย่อยสลายได้ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกที่มีสาย HC โซ่ตรง นอกจากนี้ฟอสเฟตที่เป็นองค์ประกอบในผงซักฟอกทำให้เกิดปัญหาน้ำเสีย

ลิปิด (Lipid)

ไขมันไม่อิ่มตัว ไอโอดีนนัมเบอร์ และการเหม็นหืน

➢ ไขมันไม่อิ่มตัวประกอบด้วยพันธะคู่ จึงว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี เช่น ปฏิกิริยาการเติมไอโอดีน (iodination) ไขมันไม่อิ่มตัวจึงฟอกจางสีไอโอดีนได้ และใช้วิธีนี้ในการทดสอบความไม่อิ่มตัวของไขมันได้

$-CH_2-CH=CH-CH_2-$

น้ำมัน/ไขมัน

+

I_2

ไอโอดีน

$-CH_2-\underset{\displaystyle I}{CH}-\underset{\displaystyle I}{CH}-CH_2-$

เติมไอโอดีนเข้าที่พันธะคู่: สีของไอโอดีนจางหาย

ไอโอดีนนัมเบอร์แสดงถึงระดับความไม่อิ่มตัวของไขมันได้

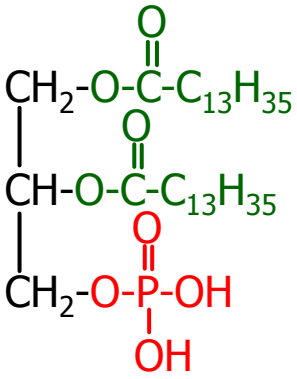
น้ำมันมะพร้าว	8-10
น้ำมันปาล์ม	37-54
น้ำมันมะกอก	75-95
ถั่วเหลือง	130-145

➢ ไอโอดีนนัมเบอร์ (iodine number) คือ กรัมของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับไขมันหรือน้ำมัน 100 กรัม

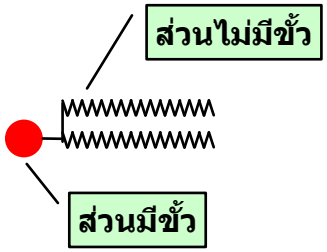
ลิปิด (Lipid)

ฟอสโฟลิปิด

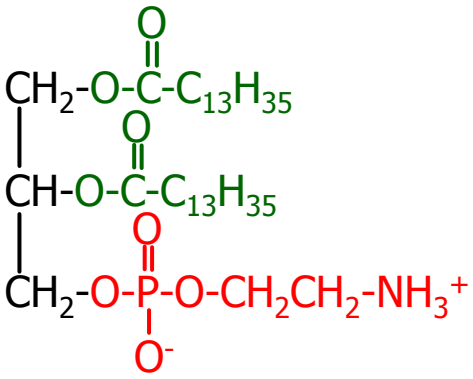
➢ ฟอสโฟลิปิด (phospholipid) เป็นเอสเทอร์ของกรดฟอสฟอริก มีสูตรโครงสร้างคล้ายไตรกลีเซอไรด์ แต่หมู่คาร์บอกซิลหมู่หนึ่งถูกแทนที่ด้วยหมู่ฟอสฟอริล



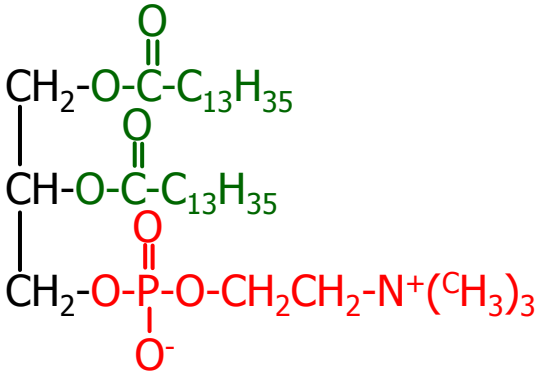
ฟอสฟาติดิกแอซิด



สัญลักษณ์แทนฟอสฟอลิปิด

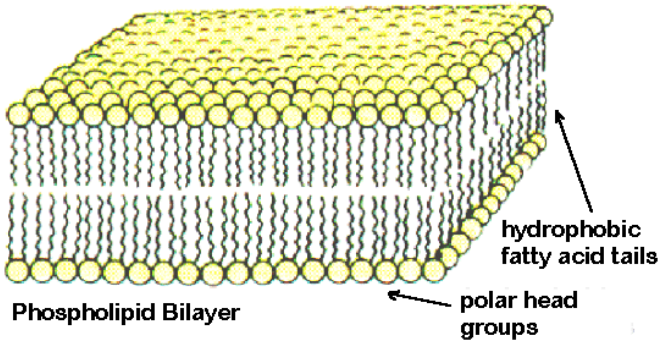


เซฟาลิน



เลซิทิน

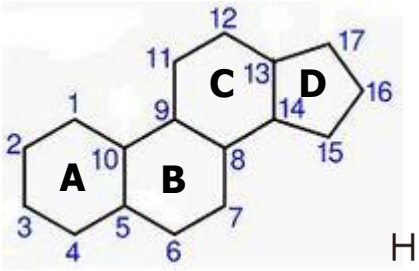
➢ ฟอสโฟลิปิด มักเกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า “ลิปิดไบเลเยอร์” (lipid bilayer) ซึ่งเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของเยื่อหุ้มเซลล์ของสิ่งมีชีวิต



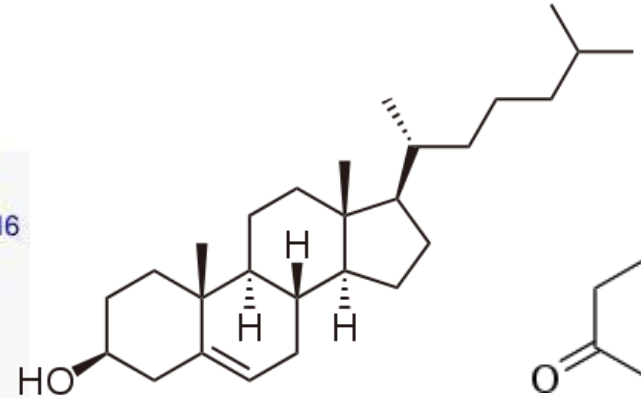
ลิปิด (Lipid)

ลิปิดอื่นๆ

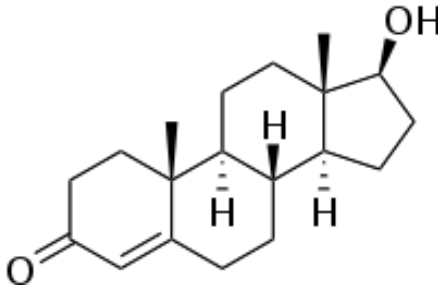
➢ นอกจากลิปิดในกลุ่มกลีเซอไรด์แล้วยังมีลิปิดในกลุ่มอื่นๆ อีก ที่สำคัญ ได้แก่ สเตียรอยด์ (steroid) และสารในกลุ่ม bile acid มีโครงสร้างหลักประกอบด้วยระบบวงแหวนเปอร์ไฮโดรไซโคลเพนทาโนฟีแนนทรีน (perhydrocycropentanophenanthrene) สเตียรอยด์หลายชนิดเป็นฮอร์โมนเพศ ทั้งชายและหญิง



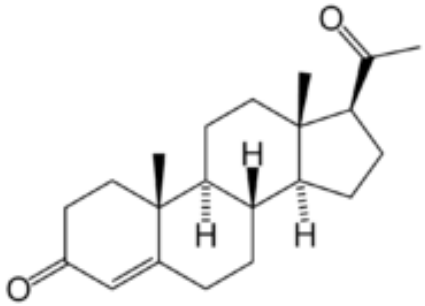
โครงสร้างหลัก: ฟีแนนทรีน



คอเลสเตอรอล



เทสโทสเตอโรน



โปรเจสเตอโรน