

## บทที่ 13

### ชีวโมเลกุล

#### สาระสำคัญ

ชีวโมเลกุลเป็นสารจำเป็นสำหรับชีวิตทุกรูปแบบ ได้แก่โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่มาก เช่น โปรตีน พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharides) และกรดนิวคลีอิก ผิวหนังและเส้นผมของมนุษย์ เป็นกลุ่มโปรตีนซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากกรดอะมิโน กรดนิวคลีอิกเป็นพอลิเมอร์ของนิวคลีโอไทด์ และนิวคลีโอไทด์แต่ละโมเลกุลประกอบด้วยส่วนสำคัญสามส่วนคือ เบสไนโตรเจน น้ำตาล และหมู่ฟอสเฟต นอกจากนี้ชีวโมเลกุลที่เป็นพอลิเมอร์เหล่านี้ยังมีโมเลกุลสารอินทรีย์ขนาดเล็กที่ถูกดูดซึมหรือถูกสังเคราะห์ขึ้นในระบบของสิ่งมีชีวิตด้วยเช่นกัน

ชีวโมเลกุลอาจแบ่งตามขนาดหรือน้ำหนักโมเลกุล เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 100 ดาลตัน<sup>1</sup> ขนาดกลาง (ระหว่าง 100-1000 ดาลตัน) และชีวโมเลกุลขนาดใหญ่ หรือ แมโครโมเลกุล (macromolecules) เกินกว่า 1000 ดาลตัน โมเลกุลเหล่านี้คือโปรตีน หรือพอลิเพปไทด์ (polypeptides) กรดนิวคลีอิก หรือพอลินิวคลีโอไทด์ (polynucleotides) และคาร์โบไฮเดรต หรือพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharides) สำหรับลิพิดเป็นโมเลกุลขนาดกลางบางชนิดประกอบด้วยหน่วยย่อยคล้ายชีวโมเลกุลขนาดใหญ่

---

<sup>1</sup> ดาลตัน (Dalton) เป็นหน่วยของน้ำหนักโมเลกุล

## จุดประสงค์การเรียนรู้

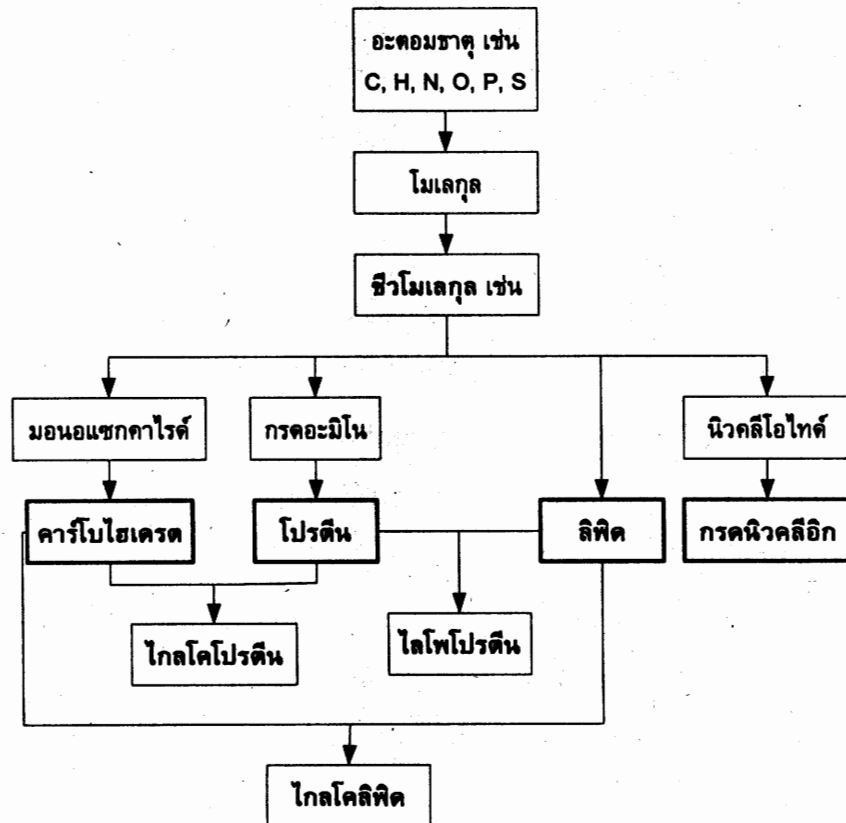
เมื่อได้ศึกษาบทเรียนบทนี้แล้วนักศึกษาสามารถ

1. จำแนกประเภทคาร์โบไฮเดรตตามลักษณะโครงสร้าง หมู่ฟังก์ชัน ส่วนประกอบ และ ยกตัวอย่างได้
2. บอกความแตกต่างของโครงสร้างแบบ D และ L
3. เขียนโครงสร้างแบบวงปิดของน้ำตาลเชิงเดี่ยว เปลี่ยนโครงสร้างวงปิดเป็นโครงสร้างแบบ ไซ้เปิด และบอกความแตกต่างของโครงสร้างแบบ  $\alpha$  และ  $\beta$ -anomer ได้
4. อธิบายสมบัติทางเคมีของน้ำตาลเชิงเดี่ยว บอกรูปแบบการเชื่อมพันธะไกลโคไซด์ได้
5. อธิบายความหมายต่างๆที่เกี่ยวข้องได้
6. จำแนกประเภท และอธิบายความแตกต่างของโครงสร้างทางเคมีของลิพิดแต่ละชนิด และ ยกตัวอย่างได้
7. จากโครงสร้างทางเคมี สามารถบอกได้ว่าลิพิดนั้นๆ จัดอยู่ในกลุ่มใด
8. อธิบายสมบัติทางเคมีของไขมันและน้ำมันได้
9. ระบุชนิดของเทอร์พีนว่าเป็น มอนอเทอร์พีน เซสกีเทอร์พีน ไดเทอร์พีน หรือไตรเทอร์พีน
10. จำแนกประเภทกรดอะมิโน อธิบายสมบัติเฉพาะ ลักษณะโครงสร้างที่สำคัญ และยกตัวอย่างได้
11. อธิบายความหมายต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น zwitterions และ isoelectric point ได้
12. จำแนกประเภทโปรตีนตามองค์ประกอบ รูปร่าง และอธิบายระดับโครงสร้างของโปรตีนทั้ง 4 ระดับ และยกตัวอย่างได้
13. บอกส่วนประกอบพื้นฐานของกรดนิวคลีอิก และความแตกต่างส่วนประกอบของ DNA และ RNA ได้
14. อธิบายความแตกต่างของนิวคลีโอไซด์ นิวคลีโอไทด์ และกรดนิวคลีอิกได้
15. อธิบายระดับโครงสร้างของกรดนิวคลีอิกได้

## บทนำ

ชีวโมเลกุล (Biomolecules) หมายถึงสารเคมีที่พบตามธรรมชาติ มีในสิ่งมีชีวิต เป็นโมเลกุลสารอินทรีย์ ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นส่วนใหญ่ มีไนโตรเจน ออกซิเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ อาจมีธาตุอื่นด้วยเล็กน้อย

ส่วนใหญ่ชีวโมเลกุลเหล่านี้เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ที่สร้างจากโมเลกุลขนาดเล็ก หรือมอนอเมอร์ (monomer) มาต่อกันเป็นโซ่ยาวจนกลายเป็นพอลิเมอร์ หรือแมโครโมเลกุล (macromolecules) กระบวนการเชื่อมต่อกันอาจมีการเสียน้ำออกไปจากปฏิกิริยา ในทางตรงข้ามเมื่อโมเลกุลขนาดใหญ่หรือพอลิเมอร์เหล่านี้ถูกไฮโดรไลส์ก็จะได้สารโมเลกุลขนาดเล็กกลับคืน ถึงแม้โมเลกุลของอินทรีย์สารในเซลล์จะมีมากมายมหาศาล แต่ที่เป็นพื้นฐานสำคัญ มี 4 ชนิด ทำหน้าที่เป็นหน่วยสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ซับซ้อน ซึ่งมีลักษณะและสมบัติเฉพาะตัวทั้งในขณะที่เป็นมอนอเมอร์และเมื่อกลายเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ ชีวโมเลกุลพื้นฐานเหล่านี้ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ลิพิด โปรตีน และกรดนิวคลีอิก



รูปที่ 13.1 แผนภาพแสดงความเกี่ยวข้องของชีวโมเลกุลพื้นฐาน และที่มาของชีวโมเลกุลขนาดใหญ่บางชนิด

## 13.1 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรต เป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ที่มาของคำนี้มาจากอัตราส่วนของธาตุองค์ประกอบซึ่งเขียนเป็นสูตรเอมไพริกัล (empirical formula) เป็น  $C_x(H_2O)_y$  ซึ่งตรงกับ "carbon hydrate" เช่น น้ำตาลกลูโคสซึ่งเป็นน้ำตาลในเลือดและแหล่งพลังงานสำคัญของเซลล์ มีสูตรโมเลกุล  $C_6H_{12}O_6$  ซึ่งเขียนได้เป็น  $C_6(H_2O)_6$  เป็นต้น

นอกจากนี้คาร์โบไฮเดรตยังเรียกได้อีกอย่างหนึ่ง คือ แซ็กคาไรด์ (saccharide) มาจากภาษาละติน *saccharum* ซึ่งหมายถึงน้ำตาล คาร์โบไฮเดรตหน่วยเล็กที่สุดจึงเรียกกน้ำตาลเชิงเดี่ยว (simple sugar) หรือมอนอแซ็กคาไรด์ (monosaccharide) เมื่อน้ำตาลเชิงเดี่ยว 2 โมเลกุลเชื่อมต่อกันเรียก ไดแซ็กคาไรด์ (disaccharide) ถ้าเชื่อมต่อกัน 3 โมเลกุลเรียก ไตรแซ็กคาไรด์ (trisaccharide) น้ำตาลเชิงเดี่ยว 2-10 โมเลกุลต่อกันเป็นสายยาวเรียก โอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharide) และถ้าโมเลกุลขนาดใหญ่หลายๆ เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide)

### 13.1.1 น้ำตาลเชิงเดี่ยว หรือมอนอแซ็กคาไรด์

คาร์โบไฮเดรตเป็นพอลิไฮดรอกซีแอลดีไฮด์ (polyhydroxyaldehyde) หรือ พอลิไฮดรอกซีคีโตน (polyhydroxyketone) หรือสารประกอบที่ถูกแยกสลายด้วยน้ำแล้วได้สารเหล่านี้ มีหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ 2 หมู่ คือ หมู่ไฮดรอกซี (OH) และหมู่คาร์บอนิลของแอลดีไฮด์ หรือคีโตน

#### 13.1.1.1 ประเภทของน้ำตาลเชิงเดี่ยว

ชื่อของน้ำตาลส่วนใหญ่เป็นชื่อเฉพาะ และมักลงท้ายด้วย -ose ในกรณีของน้ำตาลเชิงเดี่ยวอาศัยเกณฑ์จำแนกประเภทได้ 3 แบบ ดังนี้

(1) จำแนกตามหมู่ฟังก์ชัน มี 2 ชนิดคือ

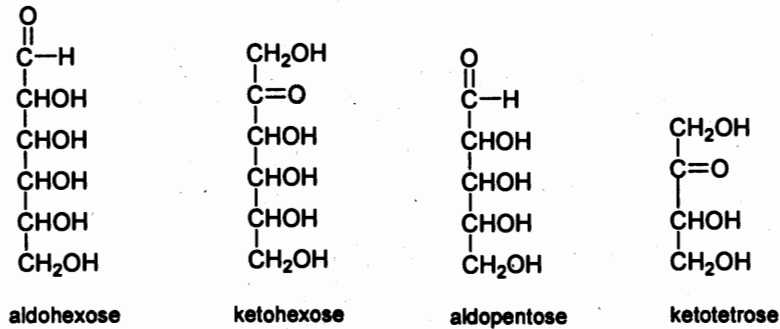
- แอลโดส (aldose) เป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวที่มีหมู่แอลดีไฮด์เป็นหมู่ฟังก์ชัน
- คีโตน (ketose) เป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวที่มีหมู่คีโตนเป็นหมู่ฟังก์ชัน

(2) จำแนกตามจำนวนคาร์บอนในโซ่ เช่น

- ไตรโอส (triose) เป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวที่มีคาร์บอน 3 อะตอม
- เทตรโอส (tetrose) เป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวที่มีคาร์บอน 4 อะตอม
- เพนโทส (pentose) เป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวที่มีคาร์บอน 5 อะตอม
- เฮกโซส (hexose) เป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวที่มีคาร์บอน 6 อะตอม
- เฮปโทส (heptose) เป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวที่มีคาร์บอน 7 อะตอม

(3) จำแนกตามสเตอริโอเคมี ตามการจัดตัวในสามมิติที่ไครัลคาร์บอนอะตอมซึ่งอยู่ห่างจากหมู่คาร์บอนิลมากที่สุด

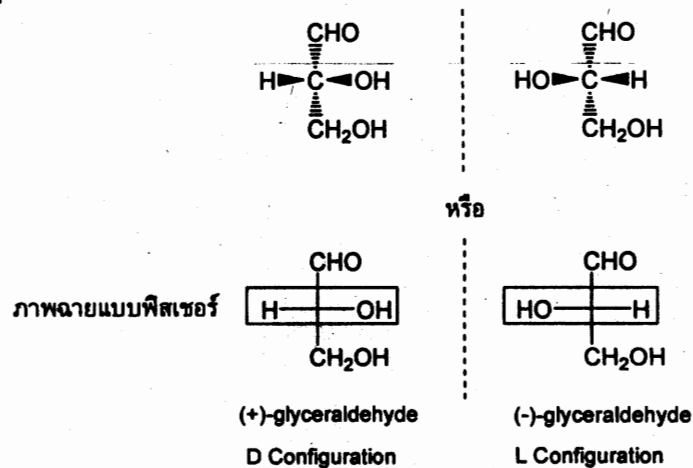
ประเภทของน้ำตาลมักสะท้อนลักษณะสองข้อแรก เช่น กลูโคส (glucose) เป็นแอลโดเฮกโซส เนื่องจากมีหมู่แอลดีไฮด์ และมีคาร์บอนทั้งหมด 6 อะตอม และฟรุคโทส (fructose) เป็นคีโตเฮกโซส เพราะมีหมู่คีโตนและมีคาร์บอน 6 อะตอม น้ำตาลคีโทสส่วนใหญ่มีหมู่คีโตนที่ C2 น้ำตาลในธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นแอลโดเฮกโซส และแอลโดเพนโทส



รูปที่ 13.2 ตัวอย่างแอลโดสและคีโทสบางชนิด

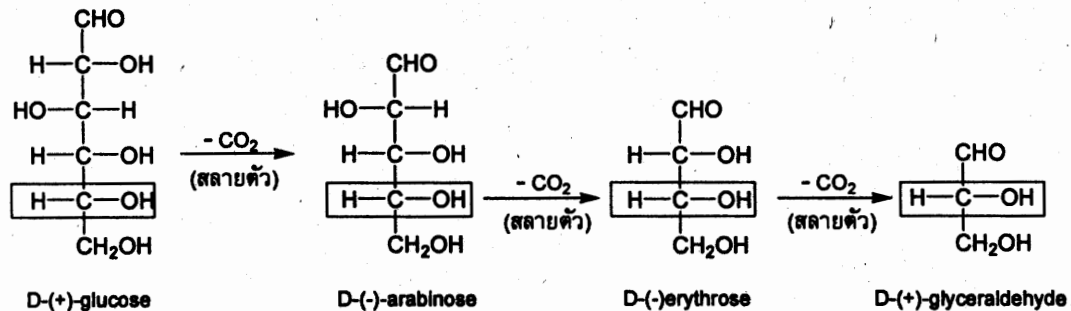
### 13.1.1.2 โครงสร้างแบบ D และ L ของโมเลกุลน้ำตาล (D/L-Configuration)

น้ำตาลเชิงเดี่ยวที่ง่ายที่สุด คือ กลีเซอรอลดีไฮด์ (glyceraldehydes) เป็นแอลโดไตรออส ซึ่งมีชนิดเดียว กลีเซอรอลดีไฮด์มีหมู่แอลดีไฮด์ มีคาร์บอนสามอะตอม และมีไครัลคาร์บอน 1 แห่ง จึงมีการจัดอะตอมที่แท้จริงในที่ว่า 3 มิติ (absolute configuration) สองแบบซึ่งเป็นภาพเงาในกระจกซึ่งกันและกัน โครงสร้างทั้งสองแบบนี้ใช้เป็นมาตรฐานการจัดอะตอมสำหรับน้ำตาลเชิงเดี่ยวทุกชนิด



รูปที่ 13.3 โครงสร้างแบบ 3 มิติ และภาพถ่ายแบบฟิชเชอร์ของกลีเซอรอลดีไฮด์

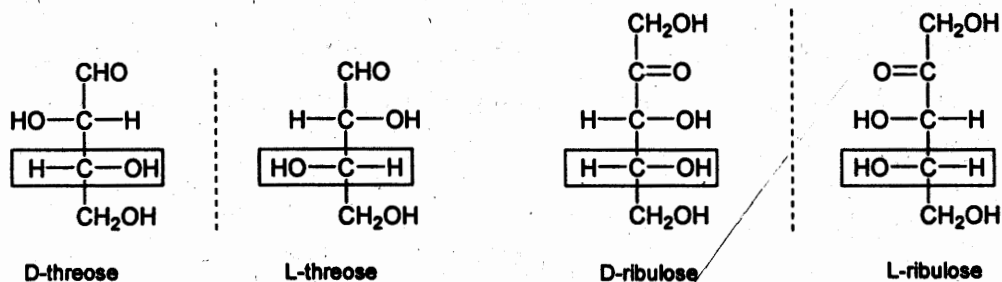
ตามโครงสร้างแบบฟิชเชอร์ (Fischer projection formula) นั้น เส้นแนวนอนหมายถึงพันธะที่ชี้เข้าหาผู้มอง และแนวตั้งเป็นพันธะที่ชี้ออกไปจากผู้มอง และจุดตัดคือไครัลคาร์บอน โมเลกุลน้ำตาลธรรมชาติทุกชนิดสลายให้ (+)-glyceraldehyde ซึ่งการจัดตัวที่ไครัลคาร์บอนมีหมู่ OH อยู่ทางขวา



รูปที่ 13.4 ตัวอย่างการสลายตัวของน้ำตาลซucker D ซึ่งได้ (+)-glyceraldehyde

### โครงสร้างแบบ D และ L

โมเลกุลน้ำตาลทั่วไปมีไครัลคาร์บอนหลายแห่ง ที่ไครัลคาร์บอนอะตอมล่างสุด (ไกลจากหมู่คาร์บอนิลมากที่สุด) ตามโครงสร้างแบบฟิชเชอร์ ถ้าหมู่ OH อยู่ทางขวาจะมีการจัดตัวแบบ D และเมื่อหมู่ OH อยู่ทางซ้ายจะเป็นการจัดตัวแบบ L เช่น



หมายเหตุ: โครงแบบในระบบ D, L ไม่มีความสัมพันธ์กับการหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ *d, l* หรือ (+), (-) แต่อย่างไร

#### 13.1.1.3 โครงสร้างวงปิดของน้ำตาลเชิงเดี่ยว (Cyclic Structures of Monosaccharides)

จากตัวอย่างโครงสร้างของน้ำตาลเชิงเดี่ยวข้างต้นที่เป็นไซเปิดนั้น น้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 หรือ 6 อะตอม ในธรรมชาติจะอยู่ในรูปวงปิดมากกว่า โดยเกิดปฏิกิริยาภายในโมเลกุลระหว่างหมู่คาร์บอนิล กับหมู่ไฮดรอกซิล ให้งวงแหวนที่มีออกซิเจนในวง เป็นวงขนาด 5 อะตอม (furanose ring) หรือ 6 อะตอม (pyranose ring)

### เฮมิอะซีทัลชนิดเป็นวงของกลูโคส (Glucose cyclic hemiacetal)

ปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิล (C=O) กับหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ภายในโมเลกุลเดียวกัน เกิดเฮมิอะซีทัลชนิดวง ซึ่งเสถียรมากกว่าแบบไซเปิด ถ้าเป็นวงขนาด 5 หรือ 6 อะตอม

แอลโดเฮกโซส เช่น กลูโคส เกิดเฮมิอะซีทัลชนิดวงได้ทั้ง แบบวง 5 และ 6 อะตอม แบบแรกเป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่แอลดีไฮด์กับหมู่ OH ที่ C4 และแบบหลัง (รูป 13.5) เป็นปฏิกิริยากับหมู่ OH ที่ C5 ปฏิกิริยาชนิดแรกเกิดง่ายกว่า แต่ชนิดหลังมีเสถียรภาพมากกว่า

ปฏิกิริยาระหว่างหมู่แอลดีไฮด์กับหมู่ OH ที่ C5 ในกลูโคส จะให้วง 6 อะตอม 2 แบบ ซึ่งต่างกันที่ทิศทางการจัดตัวของหมู่ OH ที่ C1 ในวง (ตามรูป 13.5) ถ้าหมู่ OH ชีงลงจะเป็นแบบแอลฟา ( $\alpha$ ) และถ้าชี้ขึ้นจะเป็นแบบบีตา ( $\beta$ )

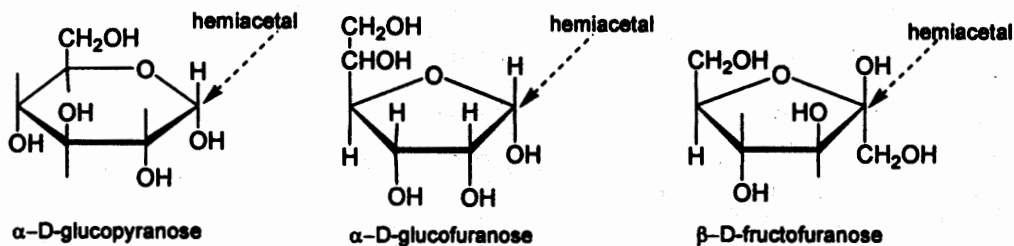
#### 13.1.1.4 การเรียกน้ำตาลเชิงเดี่ยวเมื่อโครงสร้างเป็นวง

เรียกตามชื่อไซเปิด โดยตัดอักษร -se ท้ายชื่อ และแทนด้วย furanose หรือ pyranose ตามขนาดของวง เช่น D-glucopyranose, D-glucofuranose และ D-fructofuranose เป็นต้น

#### 13.1.1.5 การเขียนสูตรโครงสร้างวงปิดของน้ำตาลเชิงเดี่ยว

##### (1) ภาพฉายแบบฮาเวิร์ท (Haworth<sup>2</sup> projection)

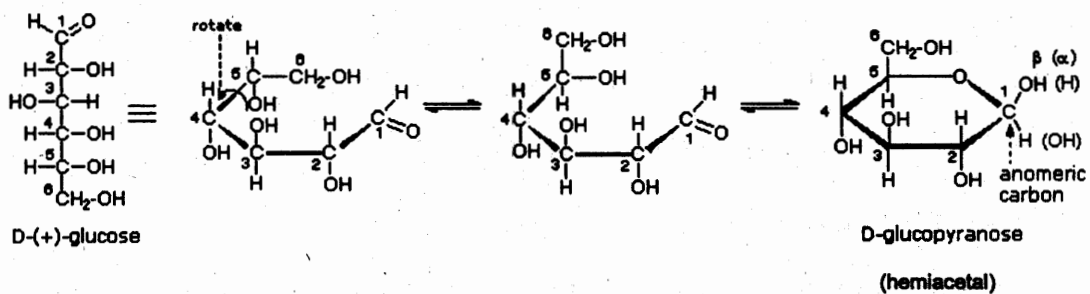
วง pyranose ของน้ำตาลเชิงเดี่ยวชนิดต่างๆ มักเขียนเป็นแบบวงแบนที่เรียก ภาพฉายแบบฮาเวิร์ท เช่น



<sup>2</sup> Sir Walter Norman Haworth (คศ.1883-1950): ท่านมีผลงานทางเคมีของคาร์โบไฮเดรต เป็นผู้เสนอโครงสร้างเป็นวงที่ถูกต้องของกลูโคส ในปี คศ. 1925 และโครงสร้างของน้ำตาลเชิงเดี่ยวอื่นๆ (เช่น แมนโนส แกลกโทส ฟรักโทส) ต่อมาทีมงานโครงสร้างของโคแซกคาไรต์ (เช่น มอลโทส เซลโลไบโอส แลกโทส) พอลิแซกคาไรต์ (เช่น แป้ง เซลลูโลส อินูลิน ไกลโคเจน และไซแลน) รูปแบบการระบุงูตรกลูโคสและคาร์โบไฮเดรตอื่น ในปัจจุบันรู้จักในชื่อ Haworth formula หรือ Haworth projection นอกจากนี้ท่านได้สังเคราะห์และเสนอโครงสร้างที่ถูกต้องของวิตามิน-ซี ซึ่งท่านให้ชื่อ ascorbic acid ท่านได้รับรางวัลโนเบลสาขาเคมี ปี คศ.1937 (ร่วมกับ Paul Karrer) ในงานวิจัยเกี่ยวกับคาร์โบไฮเดรตและวิตามิน-ซี ท่านเป็นนักเคมีอินทรีย์อังกฤษคนแรกที่ได้รับรางวัลนี้

## การเปลี่ยนภาพฉายแบบฟิชเชอร์ เป็นภาพฉายแบบฮาเวิร์ท

1. วาดวงแหวนตามขนาดที่ถูกต้องเหมาะสม:  
 pyranose = วง 6-อะตอม  
 furanose = วง 5-อะตอม
2. C-1 ของวงน้ำตาล เป็นแอนโนเมอริกคาร์บอน (anomeric carbon: คาร์บอนที่มี O เกาะสองอะตอม) อยู่มุมด้านขวาของวง การกำหนดเลขตำแหน่งให้เวียนตามเข็มนาฬิกา
3. น้ำตาลซุด D หมู่ CH<sub>2</sub>OH ชี้นขึ้น และน้ำตาลซุด L หมู่ CH<sub>2</sub>OH ชี้นลง
4. การจัดตัวที่ C1 แบบแอลฟา (α) หมู่ OH อยู่ตรงข้ามกับ CH<sub>2</sub>OH และแบบบีตา (β) หมู่ OH อยู่ด้านเดียวกับ CH<sub>2</sub>OH
5. ไครัลคาร์บอนที่ตำแหน่งอื่น: หมู่ OH ที่อยู่ทางขวาจะชี้ลง และที่อยู่ด้านซ้ายชี้ขึ้น



### รูปที่ 13.5<sup>3</sup> การเปลี่ยนสูตรโครงสร้างภาพฉายแบบฟิชเชอร์เป็นภาพฉายแบบฮาเวิร์ทของกลูโคส

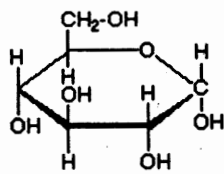
จากรูป 13.5 เมื่อบังปิดจะทำให้เกิดไครัลเซ็นเตอร์เพิ่มขึ้น 1 แห่ง คือที่ C1 ได้โครงสร้างสองแบบที่ตำแหน่งอื่นๆเหมือนกัน ยกเว้นการจัดอะตอมในสามมิติที่ C1 โครงสร้างทั้งสองเป็นแอนโนเมอร์ (α และ β anomer) และ C1 เป็นแอนโนเมอริกคาร์บอน เมื่ออยู่ในรูปสารละลายโครงสร้างแต่ละแบบเปลี่ยนเป็นอีกแบบหนึ่งได้โดยผ่านโครงสร้างแบบไซเปิด ความแตกต่างของแอนโนเมอร์ทั้งสองคู่ได้จากภาพฉายแบบฮาเวิร์ท

#### (2) โครงสร้างแบบเก้าอี้

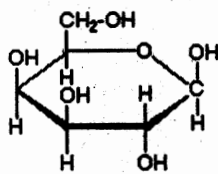
เนื่องจากโมเลกุลเหล่านี้เป็นวงแหวนจึงบิดพับให้อยู่ในโครงรูปที่เสถียร ซึ่งเป็นโครงรูปแบบเก้าอี้เช่นเดียวกับไซโคลเฮกเซน โดยหมู่แทนที่ตำแหน่งต่างๆส่วนใหญ่อยู่ในแนวอน (equatorial)

<sup>3</sup> จาก <http://www.cem.msu.edu/~reusch/VirtualText/carbhyd.htm>

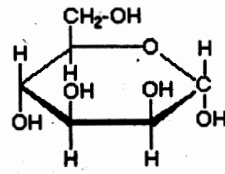




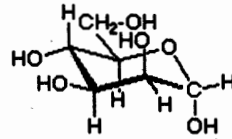
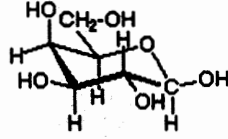
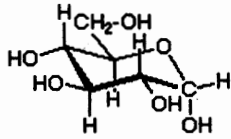
$\alpha$ -D-glucopyranose



$\beta$ -D-galactopyranose

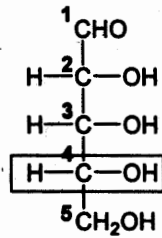


$\alpha$ -D-mannopyranose

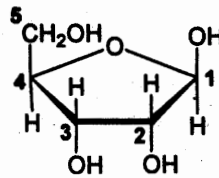


รูปที่ 13.6 เปรียบเทียบโครงสร้างของน้ำตาลเชิงเดี่ยวบางชนิด แบบฮาเวิร์ท (แถวบน) กับโครงรูปแบบเก้าอี้ (แถวล่าง)

สำหรับน้ำตาลที่เป็นส่วนหนึ่งในโครงสร้างของโมเลกุลสารพันธุกรรมจะมีคาร์บอน 5 อะตอม และเป็นแอลโดเพนโทส (aldopentose) มี 2 ชนิดคือ D-ribose และ D-2-deoxyribose ซึ่งเป็นส่วนของโครงสร้าง RNA (ribonucleic acid) และ DNA (deoxyribonucleic acid) ตามลำดับ



D-ribose



$\beta$ -D-ribofuranose

### 13.1.1.6 สมบัติทางเคมีของน้ำตาลเชิงเดี่ยว

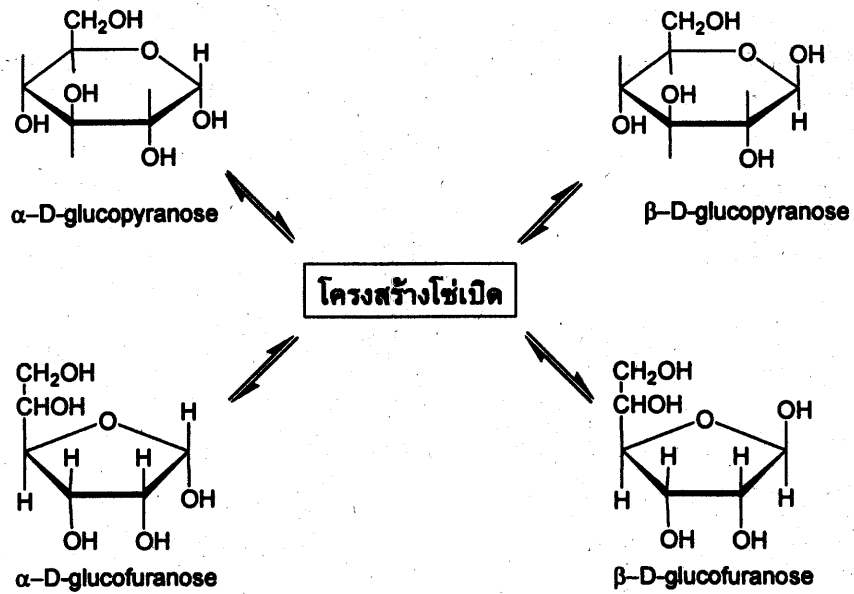
น้ำตาลเชิงเดี่ยวที่อยู่ในสารละลายจะอยู่ในสมดุลระหว่างโครงสร้างแบบวง และแบบไซเปิด ซึ่งเกิดปฏิกิริยาแบบต่างๆ ได้ เช่น ปฏิกิริยาของเฮมิอะซีทัล ปฏิกิริยาของหมู่ไฮดรอกซี และปฏิกิริยาของหมู่คาร์บอนิล

(1) *Isomerization* เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่สารประกอบถูกเปลี่ยนให้โครงสร้างที่เป็นไอโซเมอร์แบบต่างๆ ได้แก่

— *Anomerization* หรือ *mutarotation*

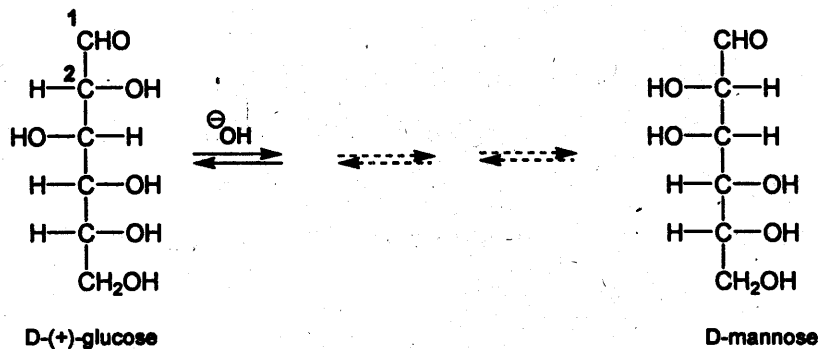
เนื่องจากน้ำตาลเป็นสารประกอบที่มีสมบัติเชิงแสง สามารถเปลี่ยนระนาบแสงโพลาไรซ์ได้ เมื่อน้ำตาลเชิงเดี่ยว เช่น กลูโคส ละลายน้ำ โครงสร้างสามารถเปลี่ยนเป็นวงปิดได้ทั้งแบบ furanose และ pyranose โดยผ่านโครงสร้างไซเปิด และเกิดแอนโนเมอร์ได้ทั้งแบบแอลฟาและบีตา

โครงสร้างทุกแบบมีสมบัติเชิงแสงต่างกัน ดังนั้นค่าการหมุนจำเพาะที่ภาวะสมดุลจึงเป็นค่าที่เป็นผลลัพธ์ที่มาจากโครงสร้างทุกแบบ

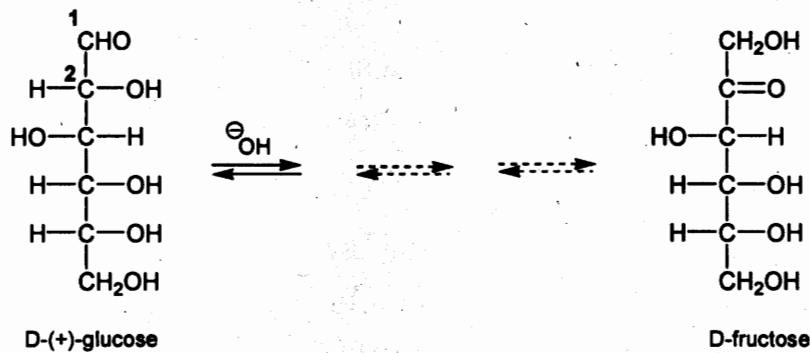


— Epimerization

Epimer เป็นไอโซเมอร์เชิงแสงที่มีการจัดตัวตรงข้ามกันที่คาร์บอนเพียงแห่งเดียว (คาร์บอนตำแหน่งอื่นเหมือนกันหมด) น้ำตาลเชิงเดี่ยวที่มีโครงสร้างแบบไซโคลเปลี่ยนให้ epimer ได้เมื่ออยู่ในสารละลายเบส ปฏิกิริยาเกิดผ่านคาร์แบนไอออนและอินไดออล (enediol) ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนกลูโคสให้แมนโนส

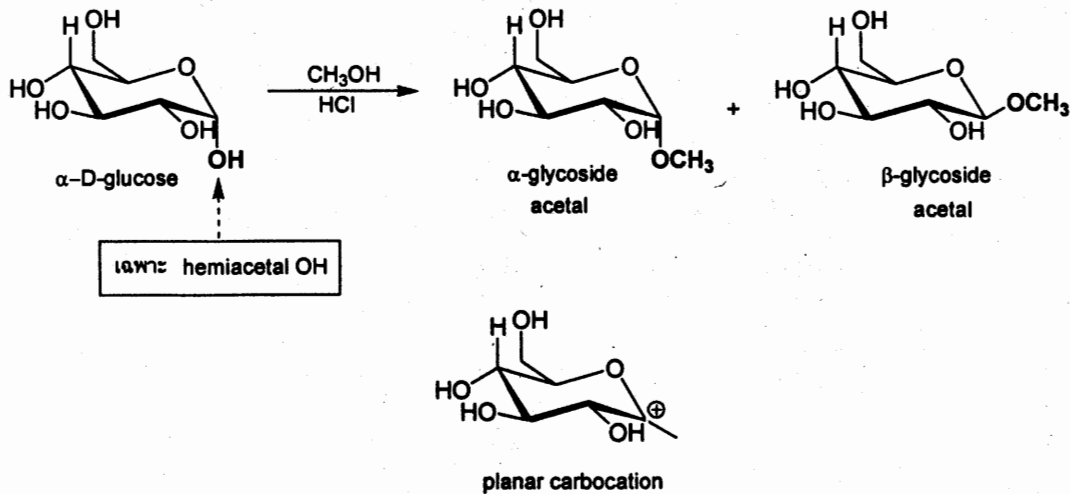


นอกจากนี้ในสารละลายเบส กลูโคสยังจัดตัวใหม่ให้ฟรักโทส มีการเปลี่ยนตำแหน่งหมู่คาร์บอนิลไปมาระหว่าง C1 (แอลโดส) และ C2 (คีโทส) เกิดผ่านคาร์แบนไอออนที่ C2 และอินไดออลเช่นกัน ดังนั้นในสารละลายเบสแก่จึงเกิดทั้งการจัดตัวใหม่และ epimerization และได้เป็นสารผสม



(2) ปฏิกิริยาการเกิดไกลโคไซด์ (Glycoside formation)

น้ำตาลเชิงเต็ยวามีหมู่ไฮดรอกซี 2 ชนิด คือหมู่ OH แบบแอลกอฮอล์ทั่วไป และหมู่ OH ที่แอนโนเมอริกคาร์บอน (anomeric OH) ซึ่งเป็นเฮมิอะซีทัล และไวต่อปฏิกิริยามากกว่า สามารถทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยมีกรด เช่น HCl ที่แห้งเป็นตัวเร่ง เปลี่ยนเฮมิอะซีทัลเป็นอะซีทัล เรียก ไกลโคไซด์ ซึ่งมีหมู่แอลกอฮอล์ -OR เกาะที่แอนโนเมอริกคาร์บอน



รูปที่ 13.7 ปฏิกิริยาการเกิดอะซีทัลจาก  $\alpha$ -D-glucose กับ  $\text{CH}_3\text{OH}$  และ HCl ให้ไกลโคไซด์สองชนิด และอินเตอร์มีเดียตในปฏิกิริยา

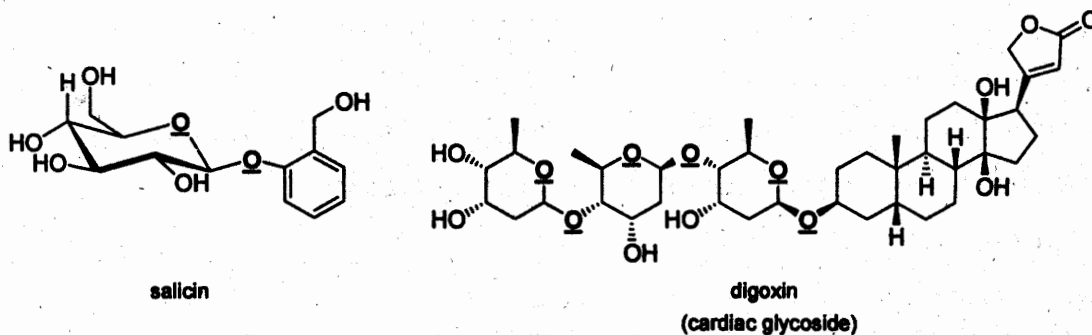
ปฏิกิริยาเกิดผ่านคาร์โบแคตไอออน ซึ่งมีโครงสร้างแบนราบ แอลกอฮอล์เข้าทำปฏิกิริยาได้ทั้งสองด้าน จึงได้ทั้ง  $\alpha$ - และ  $\beta$ -glycoside ไม่ผ่าน mutarotation เนื่องจากไกลโคไซด์เป็นอะซีทัล วงเปิดยากกว่า เมื่อละลายน้ำจะไม่อยู่ในภาวะสมดุลและของ  $\alpha$ - และ  $\beta$ -glycoside ต่างจากน้ำตาลเชิงเต็ยวซึ่งเป็นเฮมิอะซีทัลที่ผ่านโครงสร้างแบบวงเปิด

## การไฮโดรไลสไกลโคไซด์

เนื่องจากไกลโคไซด์เป็นอะซิทาล จึงถูกแยกสลายด้วยน้ำในสภาวะกรด ให้เอมิอะซิทาล และแอลกอฮอล์กลับคืนได้ ปฏิกิริยาไม่เกิดในสารละลายที่เป็นกลางหรือเป็นเบส

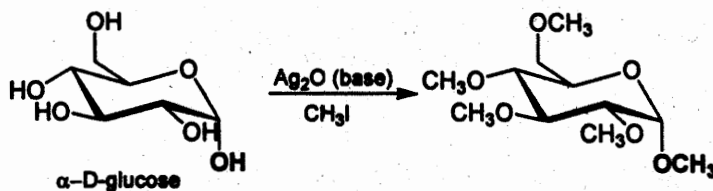
### ไกลโคไซด์ในธรรมชาติ

ไกลโคไซด์พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ เช่น ไคแซคคาไรด์และพอลิแซคคาไรด์ เกิดจากการเชื่อมกันของน้ำตาลเชิงเดี่ยวด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond หรือ glycosidic linkage) เช่น salicin และ digoxin เป็นสารธรรมชาติที่มีสมบัติทางยา สกัดได้จากเปลือกต้นวิลโลว์ (willow) และใบต้น foxglove ตามลำดับ อะตอม O ในโครงสร้างเป็นของพันธะไกลโคไซด์

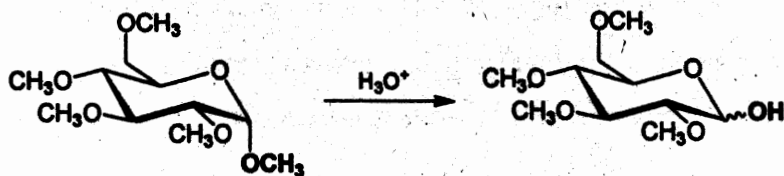


### (3) ปฏิกิริยาการเกิดอีเทอร์

หมู่ OH ในน้ำตาลเชิงเดี่ยวแบบวงปิด เปลี่ยนเป็นหมู่อีเทอร์ได้ทุกหมู่เมื่อให้ทำปฏิกิริยากับเบสและแอลคิลแฮไลด์ ผลิตภัณฑ์ได้มีพันธะอีเทอร์สองแบบ คือ อีเทอร์ทั่วไป และอีเทอร์ที่เป็นไกลโคไซด์

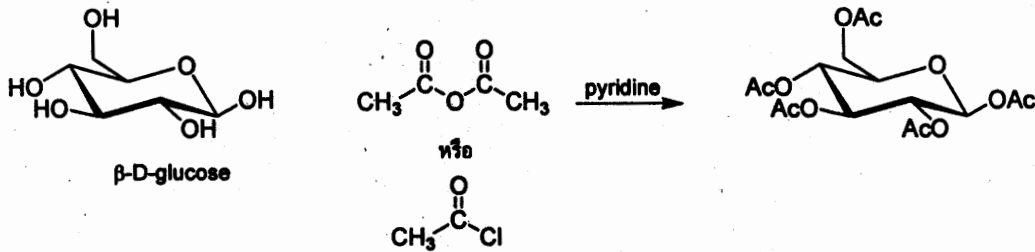


เฉพาะพันธะอีเทอร์ที่เป็นไกลโคไซด์เท่านั้นที่ถูกแยกสลายด้วยน้ำเมื่อมีกรดเป็นตัวเร่ง อีเทอร์ที่เหลือไม่เกิดปฏิกิริยานี้



(4) ปฏิกิริยาการเกิดเอสเทอร์

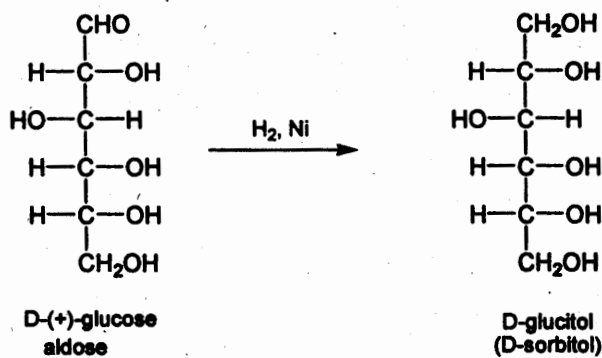
เอสเทอร์ได้จากปฏิกิริยาระหว่างหมู่ OH ของแอลกอฮอล์กับกรดคาร์บอกซิลิกหรืออนุพันธ์ของกรดคาร์บอกซิลิก เช่น acetic anhydride หรือ acetyl chloride โดยมีตัวเร่ง หรือเบส เช่น ไพริดีนอยู่ด้วย ได้สารที่เรียก sugar ester

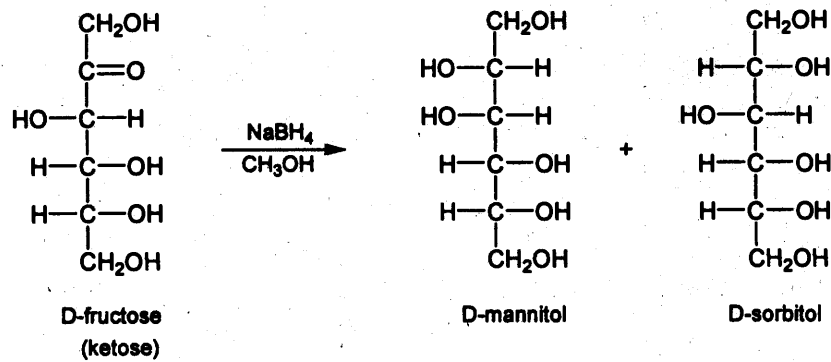


เอสเทอร์ของน้ำตาลกับกรดไขมัน มีสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่ย่อยสลายได้โดยวิธีทางชีวภาพ ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง ยา และสารชักฟอก เตรียมจากน้ำตาลหรือแอลกอฮอล์น้ำตาล (sugar alcohols) กับกรดไขมัน โดยมีตัวเร่งชีวภาพซึ่งมีสมรรถนะการเลือกเข้าทำปฏิกิริยาที่หมู่ OH บางตำแหน่งได้

(5) ปฏิกิริยารีดักชัน

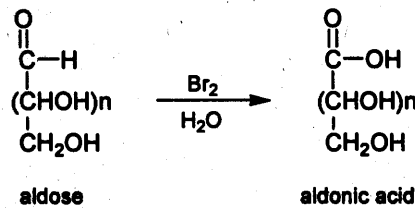
หมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลเชิงเดี่ยวถูกรีดิวส์โดยสารรีดิวส์ เช่น  $\text{NaBH}_4$  หรือไฮโดรเจนกับโลหะตัวเร่งซึ่งใช้ในอุตสาหกรรม ให้พอลิแอลกอฮอล์ หรือ แอลกอฮอล์น้ำตาล ซึ่งเรียก แอลดีทอล (alditol) น้ำตาลแอลโดสจะได้แอลกอฮอล์น้ำตาลชนิดเดียว แต่ถ้ามาจากน้ำตาลคีโทสจะให้แอลดีทอล 2 ชนิด เนื่องจากคาร์บอน C2 ของหมู่คาร์บอนิลจะเปลี่ยนเป็นไครัลคาร์บอนจึงได้เป็นสเตอริโอไอโซเมอร์ เช่น ปฏิกิริยาของกลูโคส และฟรักโทส





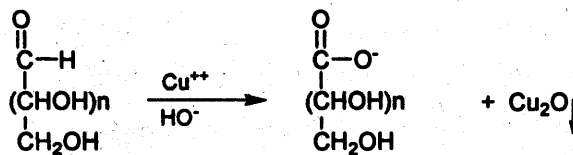
(6) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และน้ำตาลรีดิวซ์

หมู่แอลดีไฮด์ในน้ำตาลแอลโดสถูกออกซิไดส์เป็นหมู่คาร์บอกซิล ด้วยตัวออกซิไดส์ชนิดต่างๆ ได้กรดน้ำตาล (sugar acid) เรียก กรดแอลโดนิค (aldonic acid) เช่น การออกซิไดส์ด้วยน้ำโบรมีน



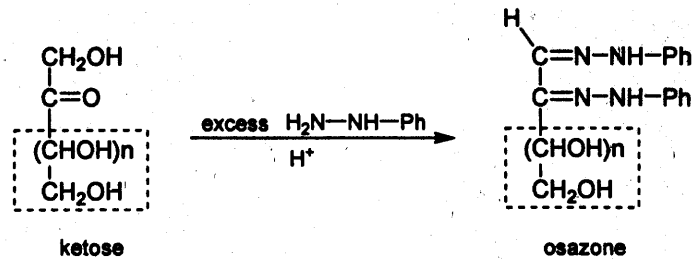
น้ำตาลเชิงเดี่ยวทุกชนิดที่อยู่ในรูปไซโคลิซเปิดถูกออกซิไดส์ได้เพราะมีหมู่แอลดีไฮด์ และถ้ามีหมู่คีโตนจะมีหมู่ OH อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งติดกัน ( $\alpha$ -hydroxyketone) จึงมีสมบัติเป็นตัวรีดิวซ์ ดังนั้นจึงเรียกน้ำตาลเหล่านี้ว่าน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugars) ปฏิกิริยาที่ใช้ทดสอบน้ำตาลรีดิวซ์ได้แก่

- ปฏิกิริยากับสารละลายเบนเนดิกต์ (Benedict solution) หรือสารละลายเฟห์ลิง (Fehling solution) ซึ่งเป็นสารละลายในสภาวะเบส มี  $\text{CuSO}_4$  ปฏิกิริยานี้  $\text{Cu}^{2+}$  เป็นตัวออกซิไดส์ ซึ่งจะถูกรีดิวส์ให้ตะกอนสีแดงของ  $\text{Cu}_2\text{O}$



- ปฏิกิริยากับทอลเลนส์รีเอเจนต์ (Tollens reagent) ซึ่งเป็นสารละลายของไอออนเชิงซ้อนของ  $\text{AgNO}_3$  และแอมโมเนียในเบส  $\text{NaOH}$  ปฏิกิริยานี้ น้ำตาลถูกออกซิไดส์





### 13.1.2 ไคแซคคาไรด์

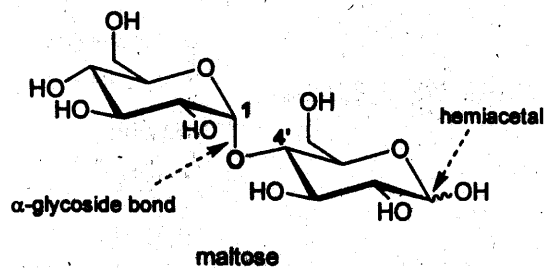
ไคแซคคาไรด์ เป็นคาร์โบไฮเดรตที่เกิดจากน้ำตาลเชิงเดี่ยวสองโมเลกุล อาจเป็นวงขนาด 5 หรือ 6 อะตอม เชื่อมด้วยพันธะไกลโคไซด์ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเฮมิอะซีทัลของน้ำตาลเชิงเดี่ยวโมเลกุลหนึ่ง โดยหมู่ OH ที่แอนโนเมอริกคาร์บอนเชื่อมกับหมู่ OH ของน้ำตาลเชิงเดี่ยวอีกโมเลกุลหนึ่งและเสียน้ำ เกิดเป็นอะซีทัล ซึ่งอาจเป็นแบบ  $\alpha$  หรือ  $\beta$  ได้

การเชื่อมพันธะไกลโคไซด์ โดยทั่วไปมี 3 แบบ คือ

- แบบ 1,4' เป็นการเชื่อมระหว่างหมู่ OH ตำแหน่งที่ 1 (ที่แอนโนเมอริกคาร์บอนในวงหนึ่ง) กับ OH ตำแหน่ง 4' ของอีกวงหนึ่ง เช่น มอลโทส (maltose) และแลคโทส (lactose)
- แบบ 1,6' แอนโนเมอริกคาร์บอนของวงแรกเชื่อมกับ OH ของ C6 ของวงที่สอง เช่น gentiobiose
- แบบ 1,1' แอนโนเมอริกคาร์บอนของวงแรกเชื่อมกับ OH ของแอนโนเมอริกคาร์บอนจากวงที่สอง

#### 13.1.2.1 มอลโทส ( $\alpha$ -1,4'-glycosidic linkage)

มอลโทส หรือน้ำตาลมอลต์ (malt sugar) เป็นไคแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยสลายแป้งในเมล็ดข้าวบาร์เลย์ที่กำลังงอกหรือข้าวมอลต์ด้วยน้ำ มอลโทสประกอบด้วยกลูโคสสองหน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์แบบ  $\alpha$ -1,4'-glycoside เมื่อแยกสลายมอลโทสด้วยน้ำจะได้กลูโคสสองโมเลกุล

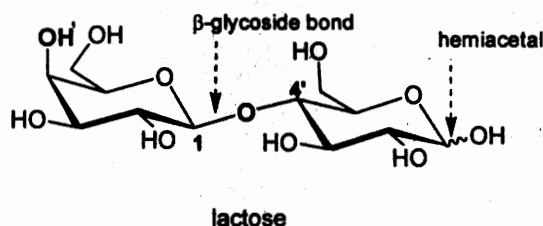




จากโครงสร้างของมอลโทสจะเห็นว่ายังมีโครงสร้างที่เป็นเฮมิอะซีทัลอยู่ใต้วงทางขวาด้วย ดังนั้นจึงเกิด mutarotation ได้ และแสดงสมบัติของน้ำตาลรีดิวซ์ด้วย

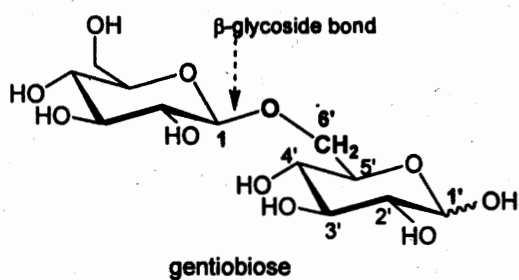
### 13.1.2.2 แลกโทส ( $\beta$ -1,4'-glycosidic linkage)

แลกโทสเป็นไดแซ็กคาไรด์หลักที่พบในนมทั้งของคนและวัว จึงเรียกกน้ำตาลนม (milk sugar) แลกโทสประกอบด้วยแกแลกโทส (galactose) และกลูโคสอย่างละหนึ่งหน่วยเชื่อมกันโดยพันธะไกลโคไซด์แบบ  $\beta$ -1,4' จากแอนโนเมอริคาร์บอนของแกแลกโทส ไปยัง C4' ของกลูโคส ในทำนองเดียวกันแลกโทสมีส่วนที่เป็นเฮมิอะซีทัลอยู่ด้วย จึงเกิด mutarotation และแสดงสมบัติของน้ำตาลรีดิวซ์ด้วย



### 13.1.2.3 เจนทิโอไบโอส ( $\beta$ -1,6'-glycosidic linkage)

เจนทิโอไบโอส (gentiobiose) เป็นไดแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยกลูโคสสองหน่วยเชื่อมกันโดยพันธะไกลโคไซด์แบบ  $\beta$ -1,6' แอนโนเมอริคาร์บอนของวงแรกเชื่อมกับ OH ของ C6 จากวงที่สอง ซึ่งไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของวงแหวน การเชื่อมแบบนี้ไม่ค่อยพบในไดแซ็กคาไรด์ แต่พบทั่วไปตรงกิ่งแยกในพอลิแซ็กคาไรด์

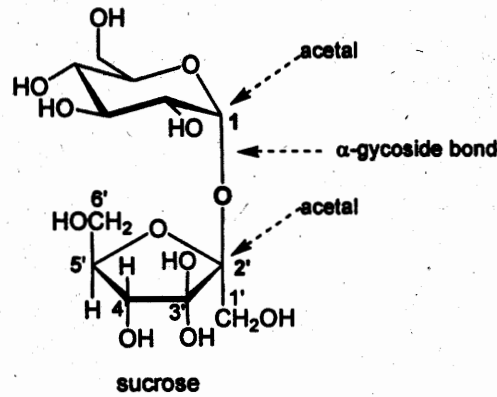


### 13.1.2.4 ซูโครส (การเชื่อมระหว่างแอนโนเมอริคาร์บอนสองอะตอม)

ซูโครสเป็นไดแซ็กคาไรด์ที่พบในพืชหลายชนิด เช่น อ้อย หัวบีท และต้นเมเปิล ประกอบด้วยกลูโคสและฟรักโทสอย่างละหนึ่งหน่วย ต่างจากมอลโทสและแลกโทส ดังนี้

- ประกอบด้วยวงขนาด 6 อะตอม และ 5 อะตอมของกลูโคสและฟรักโทสตามลำดับ

- เชื่อมกันโดยพันธะไกลโคไซด์แบบ  $\alpha$ -1,2'
- การกำหนดตำแหน่งในวง furanose ต่างจาก pyranose คือแอนโนเมอริกคาร์บอนของฟรักโทสเป็น C2' ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เกิดพันธะไกลโคไซด์ ในซูโครสจึงมีอะซีทัลสองแห่ง ไม่มีเฮมิอะซีทัล ดังนั้นจึงไม่เป็นน้ำตาลรีดิวิสและไม่เกิด mutarotation

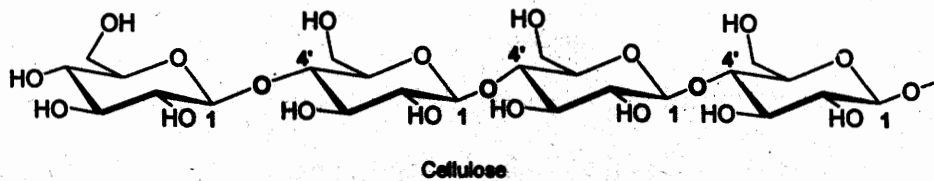


### 13.1.3 พอลิแซ็กคาไรด์

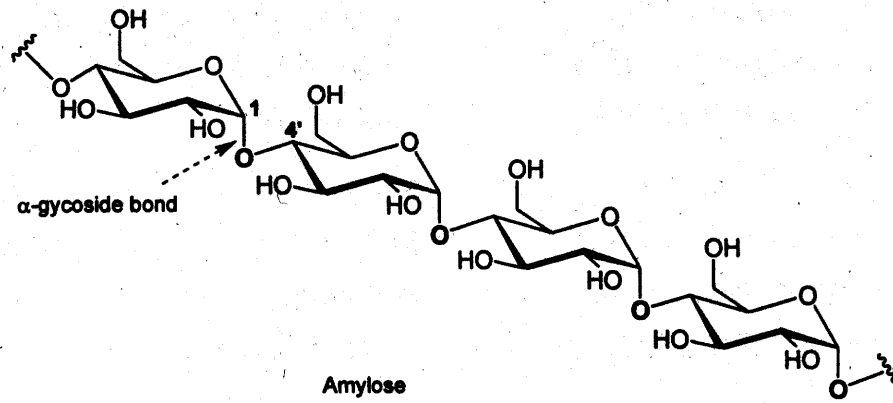
พอลิแซ็กคาไรด์ เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่เกิดจากมอนอแซ็กคาไรด์หลายร้อยหน่วยหรือพันหน่วยมาเชื่อมกันเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ ส่วนใหญ่ด้วยพันธะไกลโคไซด์แบบ 1 $\rightarrow$ 4 และ 1 $\rightarrow$ 6 แอนโนเมอริกคาร์บอนทุกแห่งเชื่อมเป็นพันธะไกลโคไซด์ของอะซีทัล ยกเว้นหน่วยย่อยสุดท้าย เนื่องจากขนาดโมเลกุลใหญ่มากจึงไม่เห็นปฏิกิริยาของน้ำตาลรีดิวิส และไม่เกิด mutarotation พอลิแซ็กคาไรด์ที่พบมากในธรรมชาติ ได้แก่ เซลลูโลส แป้ง และไกลโคเจน

#### 13.1.3.1 เซลลูโลส (Cellulose)

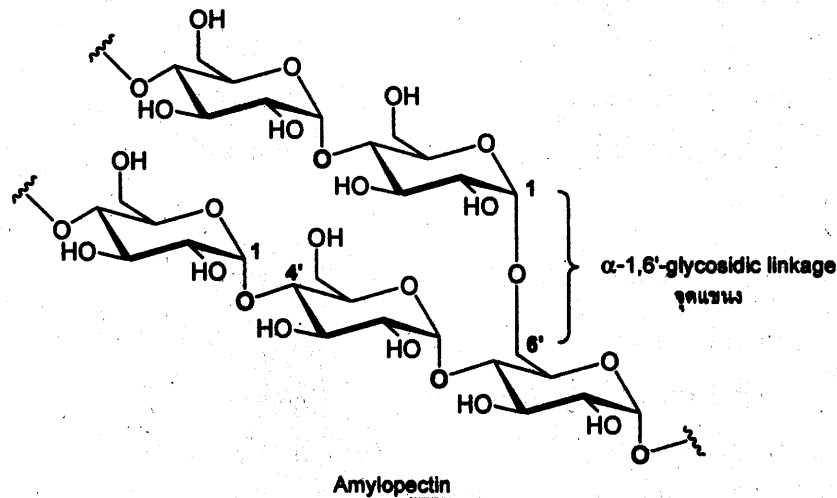
เซลลูโลส พบในผนังเซลล์ของพืชเกือบทุกชนิด สร้างความแข็งแรงให้กับโครงสร้างพืช เป็นพอลิเมอร์โซ่ตรงของ D-glucose ที่เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคไซด์แบบ  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 4' ให้โซ่ยาวของเซลลูโลส ซึ่งจัดเป็นแถวและซ้อนกันเป็นแผ่น โดยมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างกัน







โครงสร้างที่ม้วนเป็นเกลียวของแอมิโลสนี้เอง ทำให้เกลียวด้านในมีขนาดและสภาพ  
 ขั้วพอเหมาะกับโมเลกุลไอโอดีน (I<sub>2</sub>) ซึ่งเมื่อไอโอดีนเข้าไปอยู่ภายในนั้นจะให้สารเชิงซ้อนที่มีสี  
 น้ำเงินเข้มเกิดขึ้น จึงเป็นปฏิกิริยาสำคัญที่ใช้ทดสอบแป้ง



แอมิโลเพกติน เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสแบบไซแซนง มีขนาดใหญ่กว่าแอมิโลส  
 เป็นส่วนของแป้งที่ไม่ละลายน้ำ ในส่วนไซตรงเชื่อมต่อด้วยพันธะไกลโคไซด์แบบ  $\alpha$ -1 $\rightarrow$ 4 แต่  
 ต่างกันที่แอมิโลเพกตินมีไซกิ่งแยกออกไปทุกๆ 20-30 หน่วยกลูโคส ที่จุดแขนงเป็นการเชื่อมต่อ  
 ด้วยพันธะแบบ  $\alpha$ -1 $\rightarrow$ 6 การย่อยสลายจึงต่างจากแอมิโลส พันธะแบบ  $\alpha$ -1 $\rightarrow$ 6 ไม่ถูกย่อยสลาย  
 และได้เป็น limit dextrin แทนที่จะเป็นกลูโคสทั้งหมด อย่างไรก็ตามก็ยังมีเอนไซม์ตัดแขนง  
 (debranching enzyme) สามารถย่อยพันธะไกลโคไซด์ชนิดนี้ เมื่อแอมิโลเพกตินถูกย่อยสลาย  
 อย่างสมบูรณ์จะได้มอลโทสและกลูโคส

ไกลโคเจน (Glycogen) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่สะสมในคนและสัตว์ เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่มีพันธะไกลโคไซด์แบบแอลฟา ไกลโคเจนส่วนใหญ่สะสมที่กล้ามเนื้อพร้อมที่จะถูกแยกสลายด้วยน้ำได้ในทันทีที่ต้องการพลังงาน โดยถูกแยกสลายจากด้านปลาย นอกเหนือจากนี้ จะอยู่ที่ตับซึ่งพร้อมที่จะถูกย่อยและปล่อยกลูโคสสู่กระแสเลือด โครงสร้างไกลโคเจนคล้ายแอมโลเพกติน แต่ไซแขนงมากกว่า ทำให้มีปลายไซจำนวนมากพร้อมจะถูกแยกสลายและให้พลังงานได้อย่างพอเพียง

### 13.2 ลิพิด (Lipids)

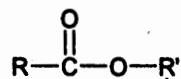
ลิพิด เป็นสารอินทรีย์ในธรรมชาติที่ต่างจากสารอินทรีย์อื่น คือถูกจำแนกโดยสมบัติทางกายภาพ ไม่ได้แบ่งตามลักษณะทางโครงสร้าง ลิพิดจึงมีลักษณะทางเคมีหลากหลาย มีหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ที่ทำหน้าที่ในเซลล์ต่างกันไป ลิพิดมีสมบัติเหมือนกันอย่างหนึ่งคือไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) จึงละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดี เพื่อให้ง่ายขึ้นได้แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ลิพิดที่ถูกแยกสลายด้วยน้ำได้ และลิพิดที่ไม่ถูกแยกสลายด้วยน้ำ

#### 13.2.1 ลิพิดที่แยกสลายได้ด้วยน้ำ (Hydrolyzable Lipids)

ส่วนใหญ่ลิพิดที่ถูกแยกสลายด้วยน้ำได้จะมีหมู่เอสเทอร์ ซึ่งได้แก่ ไขหรือขี้ผึ้ง (waxes) ไขมันและน้ำมัน (fats and oils) และฟอสโฟลิพิด (phospholipids)

##### 13.2.1.1 ไข

ไข เป็นสารที่มีลักษณะคล้ายไขมันแต่แข็งกว่า จุดหลอมเหลวสูงกว่า พบทั้งในสัตว์และพืช ไขธรรมชาติประกอบด้วยสารหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันโซยาว กับแอลกอฮอล์โซยาว มักพบเป็นสารเคลือบผิวหนัง ขนสัตว์ ขนนก ผิวใบไม้และผลไม้ ใช้ทำเครื่องสำอาง กาว น้ำมันขัดเงา สารกันน้ำและกันสนิม เป็นต้น สูตรโมเลกุลทั่วไปเป็น

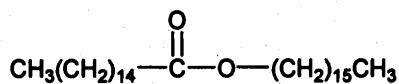


ทั้ง R และ R' เป็นไฮโดรคาร์บอนโซยาว ส่วนที่เป็นกรดและแอลกอฮอล์มีคาร์บอนเป็นเลขคู่ ไขไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ ละลายในแอลกอฮอล์และตัวทำละลายอินทรีย์ ตัวอย่างเช่น

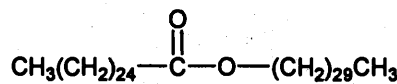
ไขวาฬ (spermaceti) ส่วนใหญ่เป็น cetyl palmitate ซึ่งเป็นเอสเทอร์ของ cetyl alcohol และกรดพาล์มิติก (palmitic acid)

**ขี้ผึ้ง (beeswax)** เป็นไขจากรังผึ้ง เป็นสารผสมของเอสเทอร์จากกรดไขมัน เช่น กรดพาล์มิติก, กรดพาล์มิโทเลอิก (palmitoleic acid), กรดโอเลอิก (oleic acid) กับแอลิฟติกแอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอน 30-32 อะตอม

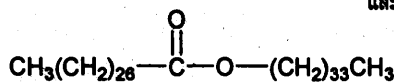
**ไขคารโนบา (carnauba wax)** เป็นไขจากพืช เคลือบใบปาล์มที่ขึ้นในประเทศบราซิล ส่วนใหญ่เป็นเอสเทอร์ เช่น แอลิฟติกเอสเทอร์ของกรดที่มีคาร์บอน 24 ถึง 28 อะตอม และ แอลกอฮอล์ไซตรง (C30 ถึง 34 อะตอม)



cetyl palmitate  
(spermaceti)



myricyl cerotate  
ส่วนประกอบใน beeswax  
และ carnauba wax

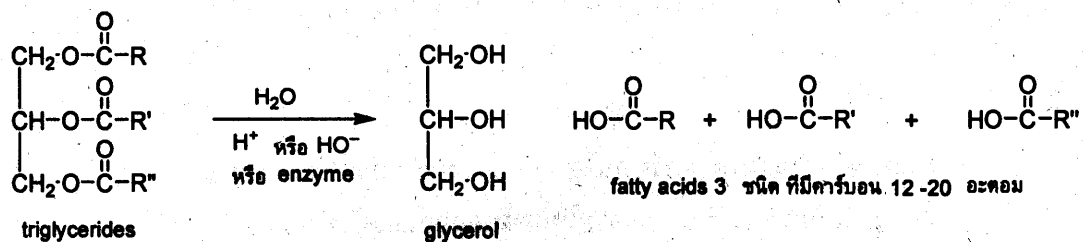


ส่วนประกอบใน carnauba wax

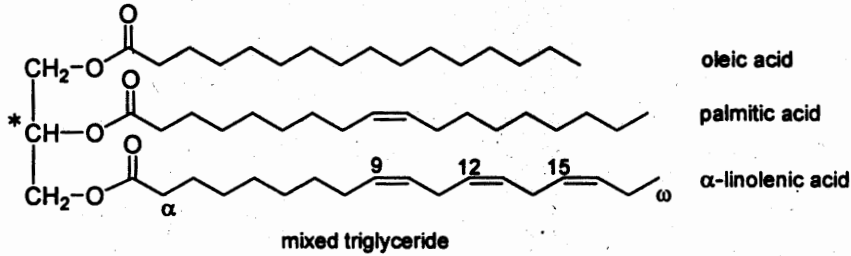
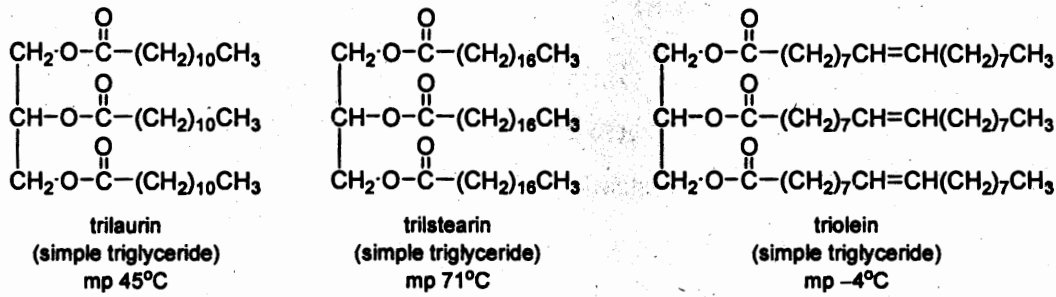
### 13.2.1.2 ไขมันและน้ำมัน

**ไขมันและน้ำมัน** เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน กับกลีเซอรอล (glycerol) เรียก ไทรกลีเซอไรด์ (triglycerides) หรือไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerols) เมื่อถูกแยกสลายด้วยน้ำจะได้กลีเซอรอล (glycerol) และกรดไขมันโซ่ยาวสามโมเลกุล

ไขมันและน้ำมันเป็นลิพิดที่พบมากที่สุด ไขมันมีสถานะเป็นของแข็งหรือกึ่งแข็งที่อุณหภูมิห้อง ส่วนใหญ่พบในสัตว์ ถ้าเป็นของเหลวเรียกน้ำมันส่วนใหญ่ได้จากพืช ยกเว้นน้ำมันปลา ร่างกายไม่สามารถสร้างไขมันชนิดไม่อิ่มตัว จึงต้องได้จากอาหารที่รับประทานเข้าไป ในปริมาณที่พอเหมาะ ส่วนไขมันชนิดอิ่มตัวสร้างได้จากสารอาหารอื่น เช่น คาร์โบไฮเดรต



**ไตรกลีเซอไรด์แบบธรรมดา (simple triglycerides)** เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันชนิดเดียวกัน ส่วนแบบผสม (mixed triglycerides) เป็นเอสเทอร์ที่มาจากรดไขมันต่างชนิดกัน



กรดไขมันธรรมชาติในไตรกลีเซอไรด์มีลักษณะทั่วไปดังนี้

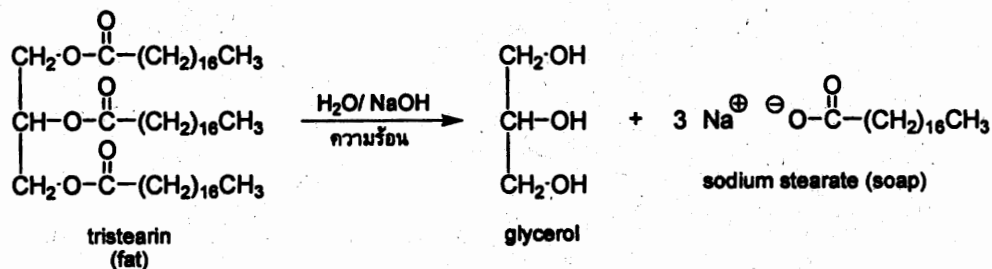
- จำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่
- เป็นโซ่ตรง อาจเป็นกรดชนิดอิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัว ชนิดอิ่มตัวได้แก่ กรดพาล์มิติก และกรดสเตียริก (stearic acid) และชนิดไม่อิ่มตัวส่วนใหญ่เป็นกรดโอเลอิก
- พันธะคู่ของกรดชนิดไม่อิ่มตัวเป็นแบบ Z หรือซิส
- จุดหลอมเหลวของกรดไขมันขึ้นกับจำนวนพันธะคู่

ตารางที่ 13.1 ส่วนประกอบของกรดไขมันจากการแยกสลายไขมันและน้ำมันบางชนิดด้วยน้ำ

แหล่ง	กรดไขมันอิ่มตัว (%)					กรดไขมันไม่อิ่มตัว (%)			
	C10 (≥)	C12 lauric	C14 myristic	C16 palmitic	C18 stearic	C16 palmitoleic	C18 oleic	C18 linoleic	C18 linolenic
<b>ไขมันสัตว์</b>									
เนย	1-4	2-5	8-15	25-29	9-12	4-6	18-33	2-4	
มันหมู			1-2	25-30	12-18	4-6	48-60	6-12	0-1
ไขมันวัว			2-5	24-34	15-30		35-45	1-3	0-1
ดื่บปลาคอด			5-7	8-10	0-1	18-22	27-33	27-32	
<b>น้ำมันพืช</b>									
มะพร้าว	1-9	40-50	15-20	9-12	2-4	0-1	6-9	0-1	
ข้าวโพด			1-2	7-11	3-4	1-2	25-35	50-60	
มะกอก			0-1	5-15	1-4		67-84	8-12	
ถั่วเหลือง			1-2	6-10	2-4		20-30	50-58	5-10
ถั่วลิสง				7-12	2-6		30-60	20-38	
ดอกคำฝอย				3	3		19	76	-

## ปฏิกิริยาของไขมันและน้ำมัน

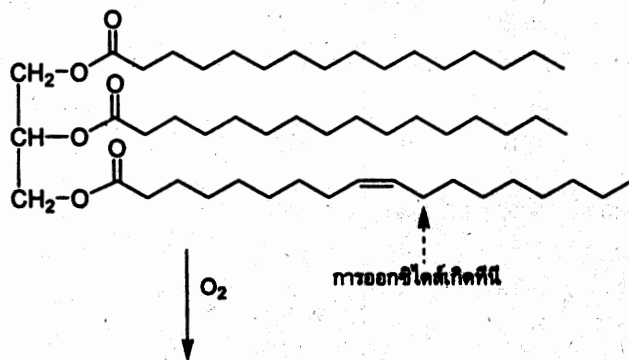
(1) ปฏิกิริยา saponification หรือปฏิกิริยาการทำสบู่ เป็นการแยกสลายหมู่เอสเทอร์ในไขมันหรือน้ำมันด้วยน้ำ โดยมีเบสเป็นตัวเร่ง ได้กลีเซอรอลและเกลือของกรดไขมัน หรือสบู่สามโมเลกุล เช่นปฏิกิริยาการทำสบู่จาก tristearin



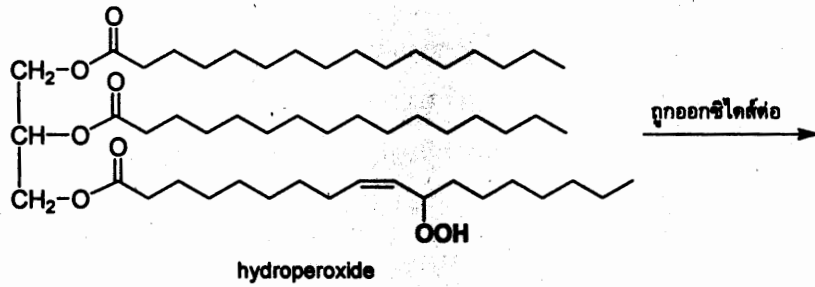
(2) ปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนในน้ำมัน (Hydrogenation of Oils) เป็นการเติมไฮโดรเจนเข้าที่พันธะคู่ของไฮโดรคาร์บอนโซยาวในส่วนกรดไขมันของน้ำมันพืช เกิดพันธะเดี่ยวทำให้พันธะคู่น้อยลง จุดหลอมเหลวสูงขึ้น สถานะเปลี่ยนเป็นของแข็งหรือกึ่งแข็ง ช่วยยืดอายุไขมันหรือน้ำมัน เนื่องจากไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อยลง

การเติมไฮโดรเจนบางส่วน จะเกิดปฏิกิริยาที่พันธะบางแห่ง ไม่เกิดทุกแห่ง ตัวเร่งที่ใช้ทำให้พันธะคู่บางแห่งเปลี่ยนเป็นแบบทรานส์ได้ *trans fat* ซึ่งไม่มีในไขมันธรรมชาติที่เป็นอาหาร พันธะคู่เช่นนี้มีส่วนทำให้เกิดผลเสียต่อร่างกาย เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด เชื่อว่าทำให้คอเลสเตอรอลชนิดไม่ดี (LDL) เพิ่มขึ้น และคอเลสเตอรอลดี (HDL) ลดลง

(3) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไทรกลีเซอไรด์ที่มีพันธะคู่ที่โซ่ไฮโดรคาร์บอนจะถูกออกซิไดส์ง่ายด้วยออกซิเจนในอากาศ ปฏิกิริยาเกิดที่คาร์บอนซึ่งติดกับพันธะคู่ ได้สารไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (hydroperoxides) ซึ่งเป็นสาเหตุในการสลายตัวของน้ำมันและทำให้เหม็นหืน



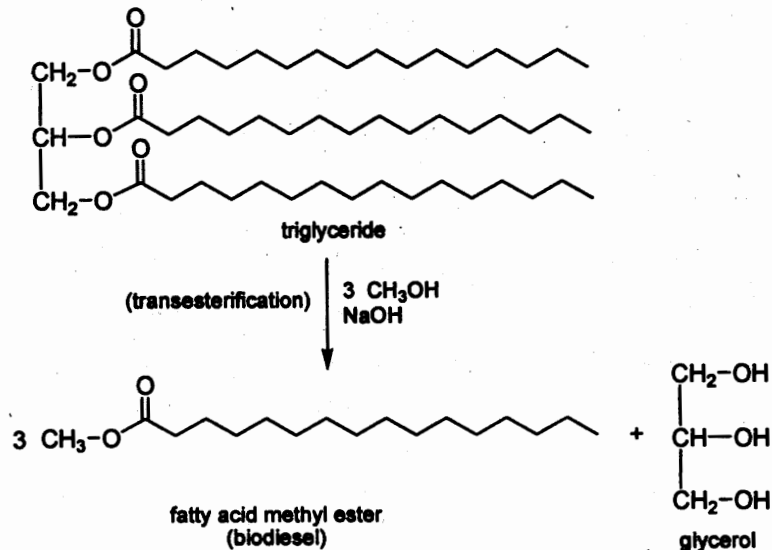




การเหม็นหืน (rancidity) เกิดจากปฏิกิริยาเชิงชีวเคมีของไขมันและน้ำมัน อาจเกิดโดยปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำ หรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือทั้งสองแบบ โดยส่วนของกรดไขมันโซยาวที่มีพันธะคู่ถูกย่อยสลายเป็นสารประกอบโซสั้น ผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พันธะคู่ และมีการแตกหักพันธะให้กรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น กรดบิวไทริก (butyric acid) และกรดคาไพริก (caproic acid) ซึ่งมีกลิ่นเหม็นหืน

(4) ปฏิกิริยาการเปลี่ยนหมู่แอลกอฮอล์ (Transesterification of Fats and Oils) ปฏิกิริยานี้เป็นการเปลี่ยนส่วนของแอลกอฮอล์จากกลีเซอรอลในไขมันสัตว์หรือน้ำมันพืชเป็นหมู่แอลกอฮอล์อื่น (เช่น  $-\text{CH}_3$ ,  $-\text{CH}_2\text{CH}_3$  หรือ  $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ ) ได้ไบโอดีเซล (biodiesel) ซึ่งเป็นแอลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันโซยาวจากไขมันหรือน้ำมันจากสัตว์หรือพืช ไบโอดีเซลใช้เป็นเชื้อเพลิงดีเซลโดยตรง หรือผสมกับเชื้อเพลิงดีเซลที่มีไฮโดรคาร์บอนก็ได้

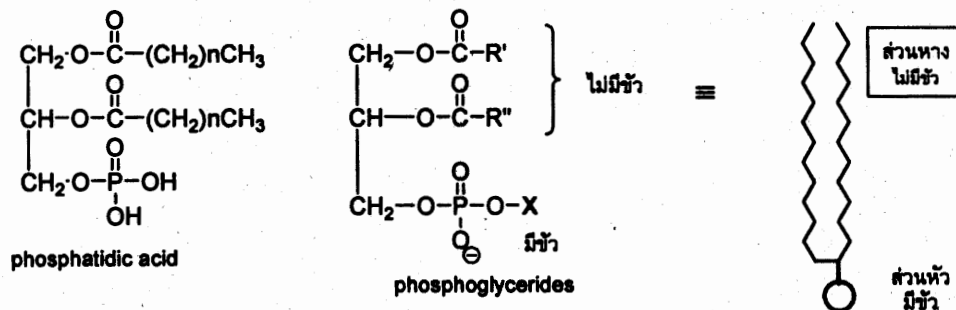
เช่น ปฏิกิริยาของไขมันหรือน้ำมันกับแอลกอฮอล์  $\text{CH}_3\text{OH}$  โดยมี  $\text{NaOH}$  เป็นตัวเร่ง



### 13.2.1.3 ฟอสโฟลิพิด (Phospholipids)

ฟอสโฟลิพิด หรือ ฟอสโฟกลีเซอไรด์ (phosphoglycerides) มีโครงสร้างคล้ายไขมันและน้ำมัน โดยมีหมู่กรดฟอสฟอริก 1 หมู่ แทนที่หมู่กรดไขมัน โครงสร้างแกนหลักของลิพิดกลุ่มนี้เป็น phosphatidate ซึ่งเป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรอลกับกรดไขมัน และกรดฟอสฟอริก เช่น กรดฟอสฟาติก (phosphatidic acid) เป็นฟอสโฟกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรอลกับกรดไขมันสองโมเลกุลและหมู่กรดฟอสฟอริกหนึ่งหมู่

ฟอสโฟลิพิดมีส่วนที่ไม่มีขั้วและส่วนที่มีขั้วอยู่ด้วยกันคือ ส่วนของกรดฟอสฟอริกซึ่งแตกตัวมีขั้ว และโซ่ไฮโดรคาร์บอนสองสาย เป็นหัวและหางตามลำดับ ซึ่งแทนด้วยแบบจำลองดังนี้



ฟอสโฟกลีเซอไรด์ หลายชนิดเป็นอนุพันธ์ของกรดฟอสฟาติก มีโครงสร้างต่างกันที่ X โดยหมู่ OH มาเกิดเอสเทอร์กับหมู่กรดฟอสฟอริกได้ เช่น

phosphatidyl choline หรือ lecithin (X = choline)

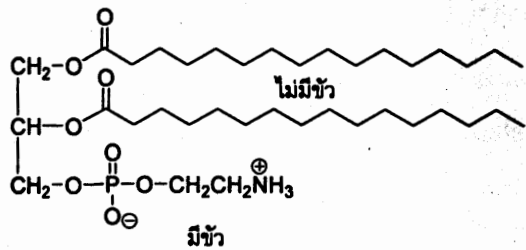
phosphatidyl ethanolamine หรือ cephalin (X = ethanolamine)

phosphatidyl serine (X = serine)

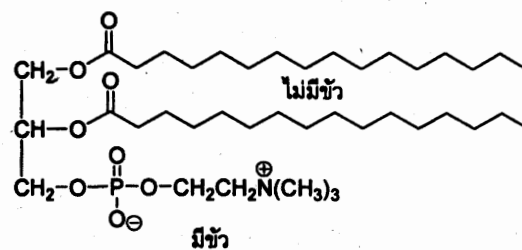
phosphatidyl glycerol (X = glycerol)

phosphatidyl inositol (X = inositol)

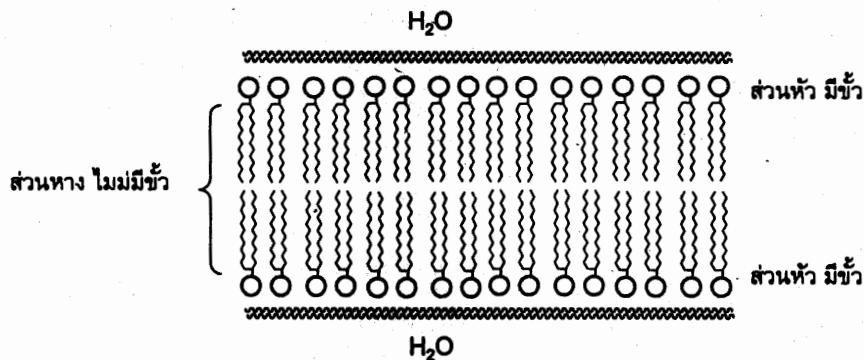
เลซิทีน (lecithin) และเซฟาลิน (cephalin) เป็นส่วนประกอบของเยื่อชีวภาพ เลซิทีนเป็นเอสเทอร์ของกรดฟอสฟาติกกับโคลีน (choline) และเซฟาลินเป็นเอสเทอร์ของกรดฟอสฟาติกกับเอทานอลอะมีน (ethanolamine) มีการจัดตัวเป็นแผ่นลิพิดประกบสองชั้น (lipid bilayer) โดยหันส่วนหัวที่มีขั้วของแต่ละแผ่นออกสู่ด้านที่มีน้ำ และส่วนหางที่ไม่มีขั้วเข้าหากัน



cephalin  
หรือ  
phosphatidyl ethanolamine



lecithin  
หรือ  
phosphatidyl choline

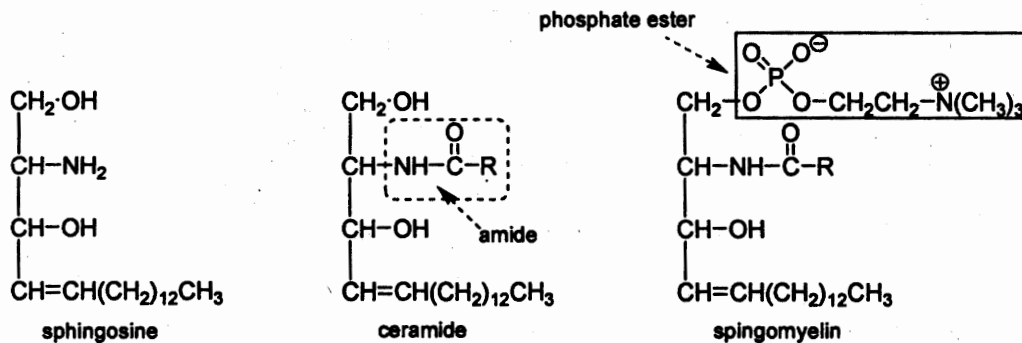


รูปที่ 13.8 แบบจำลองการจัดตัวของฟอสโฟลิพิด แบบ lipid bilayer ในเยื่อชีวภาพ

#### 13.2.1.4 สฟิงโกลิพิด (Sphingolipids)

ลิพิดกลุ่มนี้มีแอลกอฮอล์สฟิงโกซีน (sphingosine) ในโครงสร้าง สฟิงโกซีนเป็นอะมิโนแอลกอฮอล์ที่มีไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวโซยาว หมู่อะมิโน (-NH<sub>2</sub>) ในสฟิงโกซีน สร้างพันธะอะไมด์กับกรดไขมัน เรียกซีราไมด์ (ceramide) ซึ่งเป็นอนุพันธ์อะไมด์ของสฟิงโกซีน

สฟิงโกลิพิดบางชนิดมีส่วนเชื่อมกับหมู่ฟอสเฟต เช่น สฟิงโกไมอีลิน (sphingomyelin) ซึ่งมีหมู่อะมิโน (-NH<sub>2</sub>) เชื่อมกับกรดไขมันโดยพันธะอะไมด์ และหมู่ OH เป็นเอสเทอร์ของกรดฟอสฟอริก สฟิงโกลิพิดอื่นๆไม่มีหมู่ฟอสเฟต แต่เชื่อมกับคาร์โบไฮเดรต เป็น glycosphingolipids

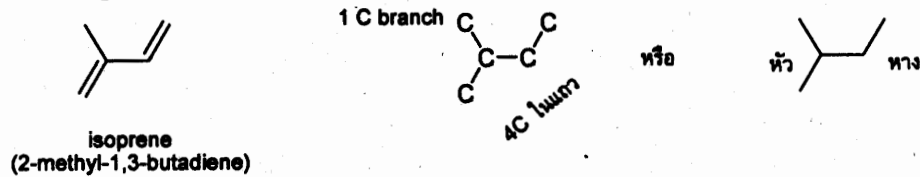


### 13.2.2 ลิพิดที่ไม่ถูกแยกสลายด้วยน้ำ (Nonhydrolyzable Lipids)

ลิพิดกลุ่มนี้ไม่ถูกแยกสลายด้วยน้ำให้โมเลกุลที่ขนาดเล็กกว่า เป็นลิพิดที่มีโครงสร้างหลากหลาย เช่น เทอร์พีน (terpenes) สเตียรอยด์ (steroids) วิตามินที่ละลายในไขมัน และไอโคซานอยด์ (eicosanoids)

#### 13.2.2.1 *Isoprenoid lipids*

ลิพิดชนิดนี้เกิดจากหน่วยไอโซพรีน (isoprene) หรือ 2-methyl-1,3-butadiene ซึ่งมีคาร์บอน 5 อะตอม โครงสร้างเป็นไอโซเพนเทน (isopentane) โดยสี่อะตอมอยู่ในแถวและอีกหนึ่งอะตอมเป็นกิ่งอยู่ในโซ่



รูปที่ 13.9 โครงสร้างของไอโซพรีน และโครงสร้างคาร์บอน

บางชนิดจะเห็นหน่วยไอโซพรีนชัดเจนในโครงสร้าง เช่น เทอร์พีน แต่ชนิดอื่นๆ หน่วยไอโซพรีนอาจเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการชีวสังเคราะห์ เช่น สเตียรอยด์ ซึ่งเป็น Isoprenoid lipids ที่สำคัญอีกประเภทหนึ่ง

#### (1) เทอร์พีน (Terpenes)

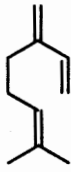
เป็นสารธรรมชาติ ส่วนใหญ่พบในพืช ประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีน ที่เชื่อมต่อกันเป็นพอลิเมอร์ แบบหัวต่อหาง (head to tail) หรือหางต่อหาง (tail to tail) เทอร์พีน แบ่งตามจำนวนหน่วยเทอร์พีนในโมเลกุล (เป็นชุดของ C<sub>10</sub>) เทอร์พีน 1 หน่วยมาจากไอโซพรีน 2 หน่วย คำนานำหน้าในประเภทแสดงถึงจำนวนหน่วยเทอร์พีนที่ต่อกันในโมเลกุล

ตารางที่ 13.2 เทอร์พีนและตัวอย่าง

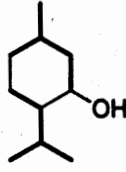
ประเภท	Isoprene unit	จำนวนคาร์บอน	ตัวอย่าง
hemiterpene	1	5	prenol, valeric acid
monoterpene	2	10	myrcene, menthol, citral
sesquiterpene	3	15	farnesene, $\alpha$ -selinene
diterpene	4	20	retinol
triterpene	6	30	squalene
tetraterpene	8	40	lycopene, carotene
polyterpene	มาก	มาก	ยางพารา, ยาง gutta percha

เทอร์พีน มีโครงสร้างหลายลักษณะอาจเป็นโซ่เปิด เป็นวง มี 1 วง หรือกว่านั้น อาจมีเฉพาะคาร์บอนและไฮโดรเจน หรือมีเฮเทอโรอะตอมด้วยก็ได้ซึ่งส่วนใหญ่เป็นออกซิเจน ดังนี้

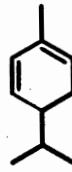
มอนอเทอร์พีน (monoterpene) เช่น



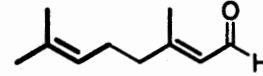
myrcene  
จาก bayberry oil



menthol  
จาก peppermint

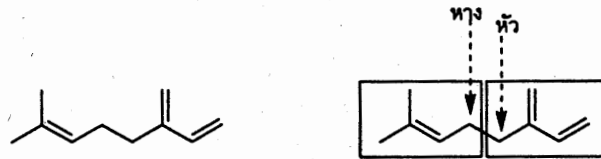


$\alpha$ -phellandrene  
จาก eucalyptus



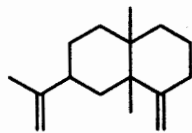
citral  
จากตะไคร้

การเชื่อมหน่วยไอโซพรีนใน myrcene เป็นแบบหัวต่อหาง



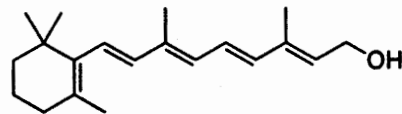
myrcene

เซสกีเทอร์พีน (sesquiterpene) เช่น  $\alpha$ -selinene



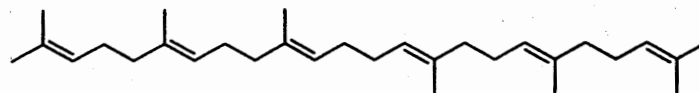
$\alpha$ -selinene  
จาก celery

ไดเทอร์พีน (diterpene) เช่น วิตามิน-เอ (retinol)



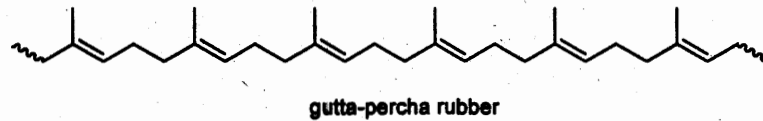
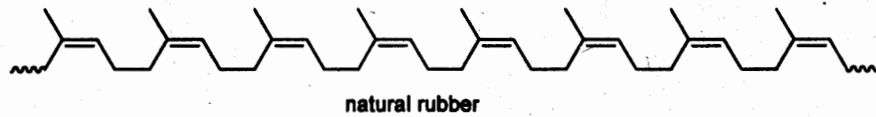
retinol

ไตรเทอร์พีน (triterpene) เช่น squalene



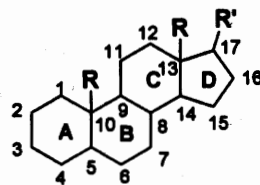
squalene  
จาก shark liver oil

**พอลิเทอร์พีน (polyterpene) เช่น ยางพารา, ยาง gutta-percha**



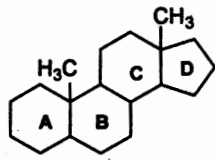
**(2) สเตียรอยด์**

สเตียรอยด์ เป็นสารที่พบในพืชและสัตว์ ทำหน้าที่หลายอย่าง ทั้งฮอร์โมน ตัวกระจายเนื้อเดียวกัน (emulsifier) และองค์ประกอบของเยื่อ โครงสร้างมีวงแหวนสี่วง คือ A, B, C และ D เชื่อมติดกัน บางชนิดมีวง A เป็นแอโรแมติก เช่น ในฮอร์โมนเพศหญิง สเตียรอยด์หลายชนิดมีหมู่เมทิล (R) สองหมู่ เรียก angular methyl group อยู่ที่จุดเชื่อมระหว่างวงแหวน ดังโครงสร้างพื้นฐานต่อไปนี้

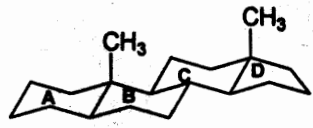


จากโครงสร้างทั่วไปจะเห็นไครลเซ็นเตอร์ 7 แห่ง (C5, C8, C9, C10, C13, C14 และ C17) นั้นหมายความว่าอาจมีสเตอริโอไอโซเมอร์ที่เป็นไปได้ถึง  $2^7$  หรือ 128 แบบ

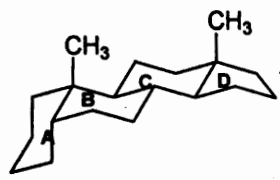
วงแหวนทั้งสี่ที่เชื่อมกันของสเตียรอยด์มีส่วนเชื่อมสามแห่ง (A-B, B-C และ C-D) โครงรูปที่ส่วนเชื่อม A-B เป็นได้ทั้งทรานส์และซิส สำหรับส่วนเชื่อมวง B-C และ C-D ในสเตียรอยด์ธรรมชาติเป็นแบบทรานส์ โดยทั่วไปโครงรูปของสเตียรอยด์ส่วนใหญ่เป็นแบบทรานส์ทั้งหมด ทำให้โครงสร้างตายตัว วงเกือบแบนราบโดยมีหมู่เมทิลทั้งสองอยู่ในแนวตั้งฉากกับระนาบวง แด่บางชนิดส่วนเชื่อมของ A กับ B ก็เป็นแบบซิส ทำให้วง A ม้วนลงด้านล่างของระนาบส่วนใหญ่ของวง



A-B ring fusion  
อาจเป็น cis / trans



trans A-B steroid



cis A-B steroid

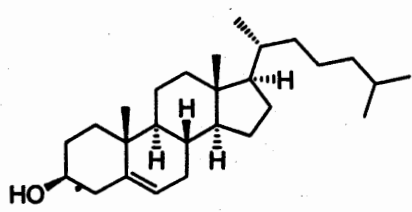
สเตียรอยด์ส่วนใหญ่มีหมู่ฟังก์ชันของออกซิเจน (=O หรือ -OH) ที่ C3 หมู่แทนที่ที่ C17 มีหลากหลาย ถ้าเป็นไฮโดรคาร์บอนจะขนาดใหญ่กว่าหมู่เมทิล และหลายชนิดมีพันธะคู่ที่ C5 กับ C4 หรือ C6

### คอเลสเตอรอล (Cholesterol)

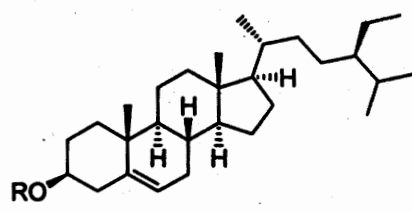
คอเลสเตอรอล เป็นสเตียรอยด์ที่พบมากชนิดหนึ่ง สกัดแยกได้จากเนื้อเยื่อสัตว์แทบทุกชนิด นีว้านัตินในคนเป็นแหล่งหนึ่งที่พบมาก คอเลสเตอรอลมีทั่วไปในร่างกาย เป็นอินเตอร์มีเดียดในการสังเคราะห์สเตียรอยด์ทุกชนิด ตามโครงสร้างของคอเลสเตอรอลมีคาร์บอนถึง 8 แห่ง นั้นหมายความว่า มีสเตอริโอไอโซเมอร์ที่เป็นไปได้ถึง  $2^8$  หรือ 256 แบบ แต่มีเพียงแบบเดียวเท่านั้นที่เป็นคอเลสเตอรอล

ข้อให้สังเกตว่าในความหมายทั่วไปของคอเลสเตอรอล ไม่จำเป็นต้องหมายถึงสารบริสุทธิ์ ตามแง่ทางเคมี แต่หมายรวมถึงสารผสมที่มีคอเลสเตอรอล ลิพิดอื่น และโปรตีน ซึ่งอยู่รวมกันเป็น high-density lipoproteins (HDL) หรือคอเลสเตอรอลดี และ low-density lipoproteins (LDL) หรือคอเลสเตอรอลไม่ดี

สารประกอบสเตียรอยด์บางชนิดที่ได้จากพืช เรียก phytosterols และ phytosterols สามารถลดคอเลสเตอรอลในเลือด โดยยับยั้งการดูดซึมคอเลสเตอรอลในอาหารจากลำไส้เล็ก ได้รับการยอมรับและใช้ในอาหารรูปแบบต่างๆ



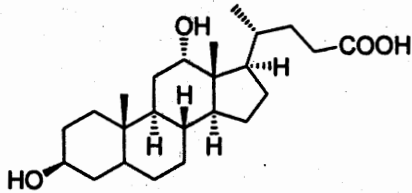
cholesterol



phytosterol ester  
( $\beta$ -sitosterol, R = fatty acid)

## กรดโคเลลิค (Cholic acid)

กรดน้ำดี (bile acid) ในร่างกายมนุษย์สร้างขึ้นที่ตับจากคอเลสเตอรอล กรดน้ำดีมีหน้าที่ช่วยย่อยไขมัน ชนิดที่สำคัญ คือ กรดโคเลลิค ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายคอเลสเตอรอล แต่ไม่มีพันธะคู่ที่วง B มีหมู่ OH เพิ่มขึ้น 2 หมู่ และจำนวนคาร์บอนที่โซ่ข้างลดลงและมีหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ด้วย



cholic acid  
(bile acid)

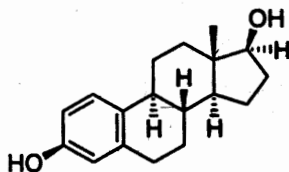
กรดน้ำดี มีสมบัติเป็น amphipathic ซึ่งหมายความว่ามีส่วนที่ละลายน้ำ และไม่ละลายน้ำ (หรือละลายในไขมันได้) จึงเป็นตัวเชื่อมหรือ emulsifying agent ให้ไขมันกับน้ำกระจายตัวในกันและกัน เพื่อให้ระบบของเอนไซม์ที่ย่อยสลายไขมันซึ่งละลายอยู่ในน้ำสามารถทำงานได้

## สเตียรอยด์อื่น ๆ (Other Steroids)

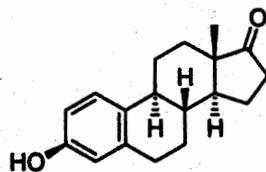
สเตียรอยด์สำคัญอื่นๆ เป็นฮอร์โมนจากต่อมไร้ท่อ ที่สำคัญได้แก่ฮอร์โมนเพศ และสเตียรอยด์ฮอร์โมนจากเปลือกต่อมหมวกไต (adrenal cortical steroids)

ฮอร์โมนเพศหญิง มีสองชนิด คือ เอสโตรเจน (estrogen) และโปรเจสเทอโรน (progestins)

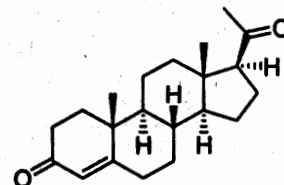
- Estradiol และ estrone เป็นเอสโตรเจน สังเคราะห์ที่รังไข่ หน้าที่ควบคุมรอบประจำเดือน
- Progesterone หรือ ฮอร์โมนการตั้งครรภ์ (pregnancy hormone) เป็นฮอร์โมนในการเตรียมการมีครรภ์ ทำหน้าที่เตรียมมดลูกสำหรับการฝังตัวของไข่ที่ผสมแล้ว เป็นฮอร์โมนที่มีความสำคัญตลอดระยะการตั้งครรภ์



estradiol



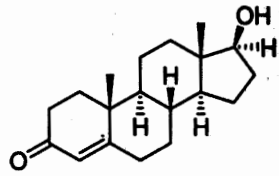
estrone



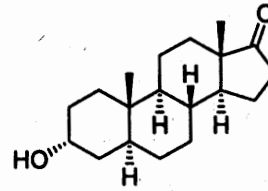
progesterone



ฮอร์โมนเพศชาย ได้แก่ testosterone และ androsterone เป็นฮอร์โมนซึ่งสร้างที่อวัยวะควบคุมการแสดงลักษณะเพศชาย

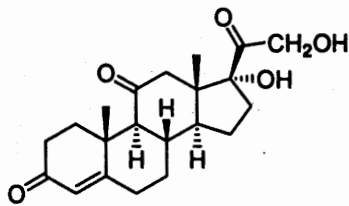


testosterone

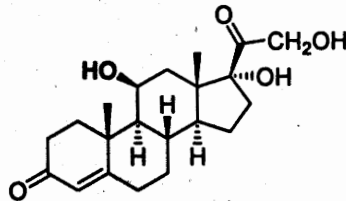


androsterone

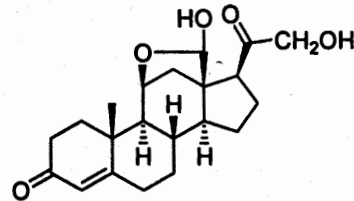
ฮอร์โมนจากเปลือกต่อมหมวกไต ได้แก่ cortisone, cortisol และ aldosterone ฮอร์โมนทั้งสามชนิดสังเคราะห์ที่เปลือกชั้นนอกของต่อมหมวกไต cortisone และ cortisol ทำหน้าที่ด้านอักเสบ และควบคุมกระบวนการสร้างและสลายคาร์โบไฮเดรต ส่วน aldosterone ควบคุมความดันโลหิต และความเข้มข้นของ  $\text{Na}^+$  และ  $\text{K}^+$  ของของเหลวในร่างกาย



cortisone



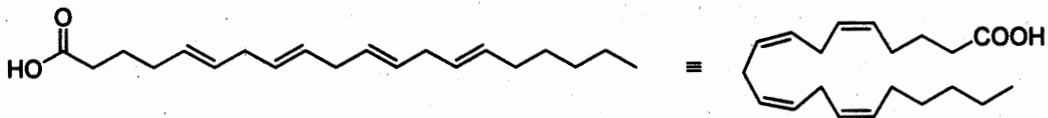
cortisol



aldosterone

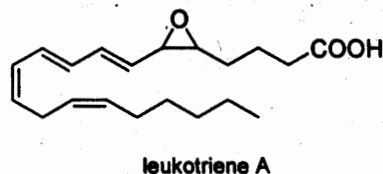
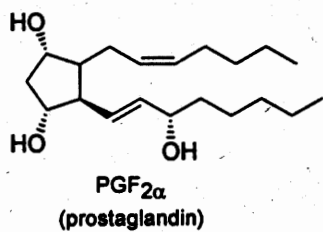
### 13.2.2.2 ไอโคซานอยด์ (Eicosanoid lipids)

ลิพิดชนิดนี้เป็นอนุพันธ์ของกรดไขมันจำเป็น arachidonic acid หรือ 5,8,11,14-eicosatetraenoic acid สารเหล่านี้จึงถูกจัดอยู่ในกลุ่มไอโคซานอยด์ (eicosanoids<sup>4</sup>) ซึ่งเป็นกลุ่มสารชีวภาพที่ว่องไวปฏิกิริยา มีคาร์บอน 20 อะตอม ได้แก่ prostaglandins, thromboxanes และ leukotrienes เป็นกลุ่มสารที่มีผลเชิงชีวภาพหลากหลาย เช่น ลดการหลั่งน้ำย่อย กระตุ้นการบีบตัวของมดลูก ลดความดันโลหิต และเกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือด เป็นต้น



5,8,11,14-eicosatetraenoic acid  
(arachidonic acid)

<sup>4</sup> eico เป็นคำนำหน้าจากภาษากรีก หมายถึง 20



### 13.2.2.3 วิตามินที่ละลายในไขมัน

วิตามินเป็นสารอินทรีย์ที่ร่างกายต้องการในปริมาณเล็กน้อยเพื่อช่วยระบบเมแทบอลิซึมในร่างกาย เนื่องจากร่างกายไม่สามารถสร้างสารเหล่านี้ได้จึงต้องได้รับจากอาหาร วิตามินแบ่งเป็นวิตามินที่ละลายน้ำ และที่ละลายในไขมัน

วิตามินที่ละลายในไขมันมี 4 ชนิด คือ A, D, E และ K วิตามินเหล่านี้ถูกกำจัดออกจากร่างกายไม่ถาวร จึงไม่จำเป็นต้องได้รับทุกวัน ปริมาณที่เกินต้องการสะสมอยู่ในเซลล์ และถูกนำมาใช้เมื่อร่างกายต้องการได้ ถ้าได้รับในปริมาณมากเกินไปอาจสะสมจนถึงระดับเป็นพิษ

จากโครงสร้างข้างต้นจะเห็นว่าสารเหล่านี้มีความเกี่ยวข้องกับลิพิดมากกว่าเรื่องของการละลายในไขมัน กล่าวคือ วิตามิน A เป็นเทอร์พีน และวิตามิน E และ K มีเทอร์พีนโซ่ยาวต่อกับส่วนที่เป็นแอลกอฮอล์ และโครงสร้างของวิตามิน D ก็อาจอธิบายได้ว่าคล้ายสเตียรอยด์ที่มีวง B เปิดออก อีกสามวงที่เหลือไม่เปลี่ยนแปลง สำหรับสารเริ่มต้นของวิตามิน A เป็น *บีตา-แคโรทีน* ซึ่งเป็น tetraterpene และของวิตามิน D เป็นสเตียรอยด์ ergosterol

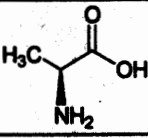
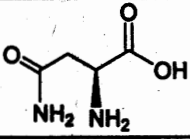
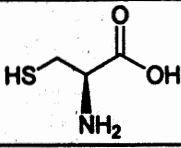
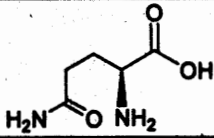
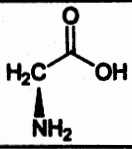
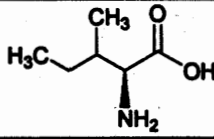
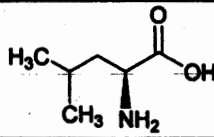
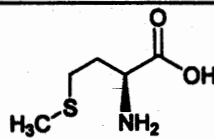
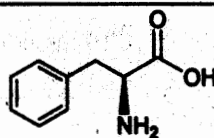
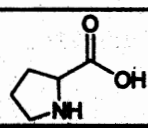
### 13.3 กรดอะมิโน เพปไทด์ และโปรตีน (Amino Acids, Peptides and Proteins)

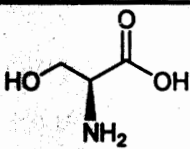
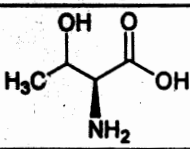
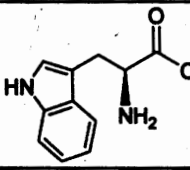
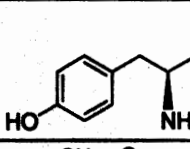
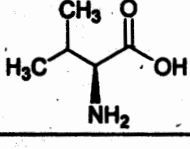
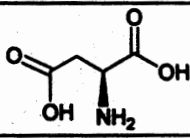
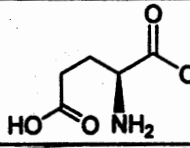
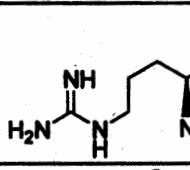
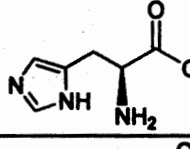
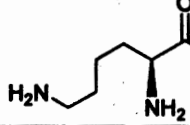
*โปรตีน* มาจากภาษากรีก *proteios* หมายถึง *of first importance* หรือสำคัญที่สุด โปรตีนเป็นสารอินทรีย์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เป็นสารที่จำเป็นกับเซลล์ที่มีชีวิตทุกชนิด โปรตีนอาจอยู่ในรูปผิวหนัง เส้นผม ขนนก กระดูกอ่อน เส้นไหม กล้ามเนื้อ เอ็น ยึดเข้าด้วยกัน ป้องกัน และทำหน้าที่ต่างๆในสิ่งมีชีวิต

อาจกล่าวได้ว่าโครงสร้างทางเคมีของโปรตีนมีแบบเดียว เป็นพอลิอะไมด์โซ่ตรง (linear polyamides) เมื่อถูกแยกสลายด้วยน้ำจะได้สารประเภทเดียว คือ กรดอะมิโน เมื่อเทียบกับคาร์โบไฮเดรตและลิพิดจะเห็นว่าโปรตีนมีส่วนประกอบพื้นฐานต่างออกไป ลิพิดส่วนใหญ่มีส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอน มีคาร์บอน 75-85% คาร์โบไฮเดรตมีออกซิเจนประมาณ 50% และทั้งคู่มีไนโตรเจนไม่เกิน 5% ในทางกลับกันโปรตีนมีไนโตรเจน 15-25% และมีออกซิเจนพอๆกัน



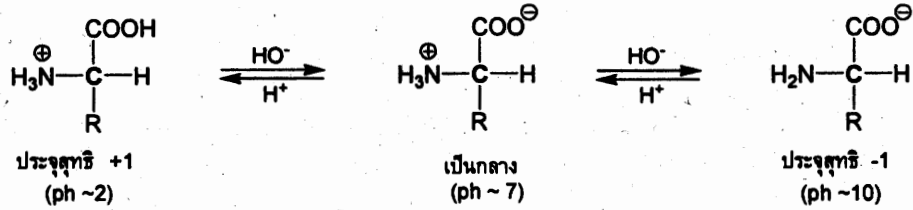
ตารางที่ 13.3 โครงสร้างกรดแอมโฟ-อะมิโนธรรมชาติทั้ง 20 ชนิด และรหัสอักษรย่อ

ชื่อ	โครงสร้าง	รหัสอักษรย่อ
<u>กรดอะมิโนที่เป็นกลาง</u>		
Alanine		Ala หรือ A
Asparagine		Asn หรือ N
Cysteine		Cys หรือ C
Glutamine		Gln หรือ Q
Glycine		Gly หรือ G
Isoleucine		Ile หรือ I
Leucine		Leu หรือ L
Methionine		Met หรือ M
Phenylalanine		Phe หรือ F
Proline		Pro หรือ P

Serine		Ser หรือ S
Threonine		Thr หรือ T
Tryptophan		Trp หรือ W
Tyrosine		Tyr หรือ Y
valine		Val หรือ V
<u>กรดอะมิโนที่เป็นกรด</u>		
Aspartic acid		Asp หรือ D
Glutamic acid		Glu หรือ E
<u>กรดอะมิโนที่เป็นเบส</u>		
Arginine		Arg หรือ R
Histidine		His หรือ H
Lysine		Lys หรือ K

5. Isoelectric point

กรดอะมิโนมีสภาพเป็นไอออนแบบต่างๆ หลายแบบ สำหรับกรดอะมิโนที่เป็นกลาง อาจมีประจุสุทธิเป็น +1, 0 หรือ -1 ขึ้นกับ pH ของสารละลายที่ละลายอยู่



Isoelectric point หรือ pI เป็น pH ของสารละลายกรดอะมิโนในน้ำ ซึ่งโมเลกุลส่วนใหญ่มีประจุสุทธิเป็นศูนย์ ประจุบวกดุลพอดีกับประจุลบ ที่จุดนี้การละลายของกรดอะมิโนจะต่ำสุด ถ้า pH ต่ำกว่านี้หรือสูงกว่านี้กรดอะมิโนจะละลายดีขึ้น เพราะอยู่ในรูปแตกตัวเป็นไอออน (ที่ pH ต่ำ หมู่คาร์บอกซิลและหมู่อะมิโนรับโปรตอน ทำให้โมเลกุลมีประจุสุทธิเป็น +1 และที่ pH สูงๆ หมู่อะมิโนอยู่ในรูปเบสและหมู่กรดแตกตัว ประจุสุทธิเป็น -1)

โดยทั่วไป pI ของกรดอะมิโนที่เป็นกลาง เป็นค่าเฉลี่ยค่าแตกตัวของหมู่  $-\text{COOH}$  และ  $-\text{NH}_3^+$

$$\text{Isoelectric point} = \frac{\text{p}K_a(\text{COOH}) + \text{p}K_a(\text{NH}_3^+)}{2}$$

6. กรดอะมิโนที่เป็นกรดและกรดอะมิโนที่เป็นเบส

กรดอะมิโนบางชนิดมีหมู่คาร์บอกซิลหมู่ที่สอง เมื่อละลายน้ำหมู่คาร์บอกซิลหมู่ที่สองแตกตัวให้โปรตอนได้ จึงมีสมบัติเป็นกรด (acidic  $\alpha$ -amino acids)

ส่วนกรดอะมิโนที่เป็นเบสจะมีหมู่อะมิโนเพิ่มจากเดิมอีกหนึ่งหมู่ เมื่อละลายน้ำจะมีสมบัติเป็นเบส รับโปรตอนจากน้ำและกลายเป็นประจุบวกได้

ค่า pI ของกรดอะมิโนเหล่านี้ได้จากค่าเฉลี่ยของค่าแตกตัวของหมู่กรดที่แตกตัวได้ ซึ่งเป็นหมู่ที่ลักษณะคล้ายกัน เช่น aspartic acid

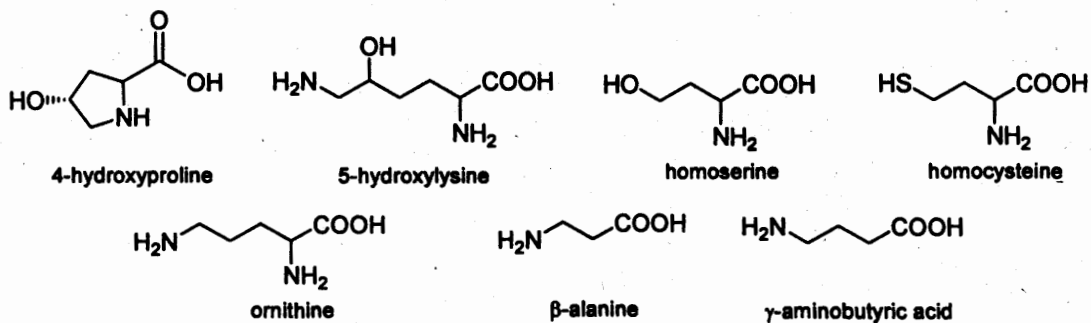
$$\text{pI} = (\text{p}K_a^1 + \text{p}K_a^3)/2 = (2.1 + 3.86)/2 = 2.98$$

ตารางที่ 13.4 ค่าคงที่ของหมู่ฟังก์ชันที่แตกตัวได้และค่า pI ของกรดแอลฟา-อะมิโน ทั้ง 20 ชนิด

กรดอะมิโน	$\alpha$ -COOH $pK_a^1$	$\alpha$ -NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> $pK_a^2$	Side chain functional group $pK_a^3$	pI
Alanine	2.35	9.87	—	6.11
Arginine	2.01	9.04	12.48	10.76
Asparagines	2.02	8.80	—	5.41
Aspartic acid	2.10	9.82	3.86	2.98
Cysteine	2.05	10.25	8.00	5.02
Glutamic acid	2.10	9.47	4.07	3.08
Glutamine	2.17	9.13	—	5.65
Glycine	2.35	9.78	—	6.06
Histidine	1.77	9.18	6.10	7.64
Isoleucine	2.32	9.76	—	6.04
Leucine	2.33	9.74	—	6.04
Lysine	2.18	8.95	10.53	9.74
Methionine	2.28	9.21	—	5.74
Phenylalanine	2.58	9.24	—	5.91
Proline	2.00	10.00	—	6.30
Serine	2.21	9.15	—	5.68
Threonine	2.09	9.10	—	5.60
Trptophan	2.38	9.39	—	5.88
Tyrosine	2.20	9.11	10.07	5.63
Valine	2.29	9.72	—	6.00

### 13.3.2 กรดอะมิโนธรรมชาติอื่น ๆ (Other Natural Amino Acids)

กรดแอลฟาอะมิโน 20 ชนิดข้างต้นเป็นองค์ประกอบหลักของโปรตีน การรวมตัวเข้าด้วยกันเป็นโปรตีนควบคุมโดยรหัสพันธุกรรม กรดอะมิโนนอกเหนือจากนี้มีหลายชนิด ได้แก่



กรดเหล่านี้บางชนิดเป็นอนุพันธ์ของกรดแอลฟาอะมิโน เช่น 5-hydroxylysine และ 4-hydroxyproline ซึ่งพบได้เฉพาะที่โปรตีนคอลลาเจน (collagen protein); homoserine และ homocysteine อยู่ในกลุ่มชุดโครงสร้างกรดที่ชื่อเหมือนกัน;  $\beta$ -alanine ซึ่งมีหมู่อะมิโนที่ปลายโซ่เป็นส่วนหนึ่งในโครงสร้างของกรด pantothenic หรือวิตามิน บี 5 ซึ่งจำเป็นในการสร้าง acetyl coenzyme A และ  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA) เป็นสารส่งกระแสประสาทชนิดยับยั้งในระบบประสาทส่วนกลาง

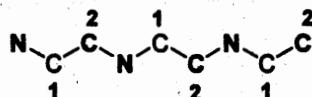
### 13.3.3 เพปไทด์ และโปรตีน (Peptides and Proteins)

เมื่อกรดอะมิโนหลายโมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นโซ่ยาว ด้วยส่วนเชื่อมที่เป็นพันธะอะไมด์ ซึ่งเกิดระหว่างหมู่คาร์บอกซิลของกรดตัวหนึ่ง กับหมู่อะมิโนของอีกตัวหนึ่ง เกิดโมเลกุลขนาดใหญ่เรียก เพปไทด์ ส่วนเชื่อมพันธะอะไมด์นี้จึงเรียก พันธะเพปไทด์ (peptide bonds) และกรดอะมิโนแต่ละตัวในโมเลกุลเหล่านี้เรียก หน่วย (unit) หรือเรสิดูว (residue)

เพปไทด์ที่เกิดจากกรดอะมิโน 2, 3 หน่วย, มากกว่านี้เล็กน้อย (4-10 หน่วย) หรือจำนวนมากๆ เรียก ไดเพปไทด์ (dipeptide) ไตรเพปไทด์ (tripeptide) โอลิโกเพปไทด์ (oligopeptide) และพอลิเพปไทด์ (polypeptide) ตามลำดับ ส่วนโปรตีนเป็นคำที่ใช้กับพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนเกิน 40 หน่วย มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ 6,000-40,000,000 อาจเป็นโซ่พอลิเพปไทด์หนึ่งสายหรือมากกว่านั้น

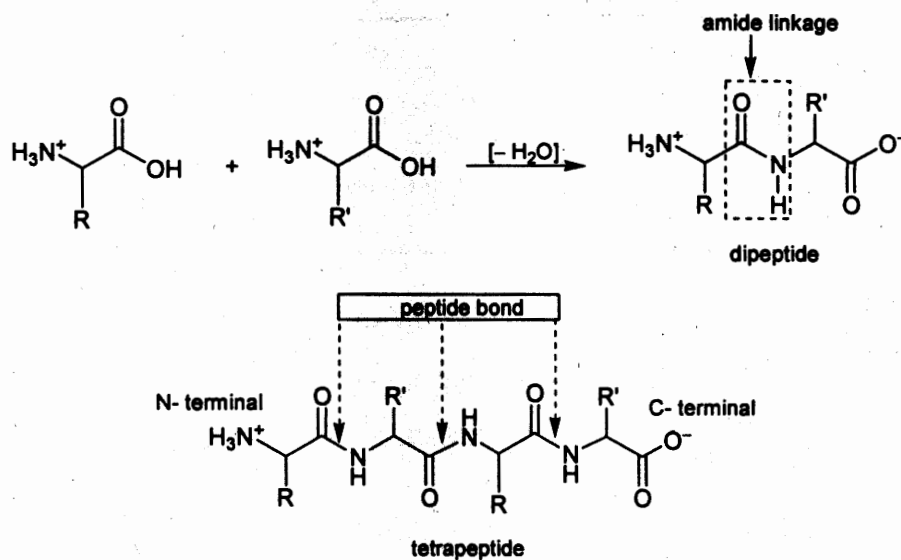
พอลิเพปไทด์ เป็นพอลิเมอร์โซ่ตรง ปลายด้านหนึ่งเป็นมีหมู  $-NH_3^+$  อิสระ เรียกปลายด้าน N (N-terminal) ซึ่งจะเขียนไว้ทางซ้าย และอีกปลายหนึ่งของโซ่เรียกปลายด้าน C (C-terminal) มีหมู  $-CO_2^-$  ซึ่งเขียนไว้ทางขวา

การเขียนสายเพปไทด์อาจเขียนแทนหลักของโซ่เป็นโครงสร้างที่มีหน่วยย่อยซ้ำกัน ดังนี้



- เมื่อ N คือ หมู่อะมิโน  
 C1 คือ  $\alpha$ -C ซึ่งจะสร้างพันธะกับ H และหมู R  
 C2 คือ หมู่คาร์บอกซิล





รูปที่ 13.10 โครงสร้างของไดเพปไทด์, เทตระเพปไทด์ และพันธะเพปไทด์ในโครงสร้างเหล่านี้

การเรียกกรดอะมิโนในโซ่เพปไทด์ใช้รหัสย่อ-อักษรสามตัวหรือหนึ่งตัว เรียงจากปลายด้าน N ไปยังปลายด้าน C ตัวอย่างเช่น กลูตาไทโอน (glutathione) และแบริคไคนิน (bradykinin)

กลูตาไทโอน พบในเซลล์สิ่งมีชีวิต ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ชีวภาพ เป็นไตรเพปไทด์ ประกอบด้วยกรดอะมิโน 3 หน่วย  $\gamma$ -Glu-Cys-Gly หรือ  $\gamma$ -ECG (ใช้หมู่คาร์บอกซิลที่ตำแหน่งแกมมาของกรดกลูตามิกสร้างพันธะเพปไทด์) ส่วนแบริคไคนิน เป็นเพปไทด์ฮอร์โมน ประกอบด้วยกรดอะมิโน 9 หน่วย (nonapeptide) Arg-Pro-Pro-Gly-Phe-Ser-Pro-Phe-Arg หรือ RPPGFSPFR

### 13.3.4 ประเภทของโปรตีน (Classification of Proteins)

โปรตีนอาจแบ่งออกได้ตามองค์ประกอบทางเคมี รูปร่าง หรือหน้าที่ เช่น แบ่งเป็น โปรตีนเชิงเดี่ยว (simple proteins) และโปรตีนควบคู่ (conjugated proteins) ตามองค์ประกอบทางเคมีที่มีร่วมด้วย โปรตีนเชิงเดี่ยวเป็นโปรตีนที่เมื่อแยกสลายด้วยน้ำแล้วจะได้เฉพาะกรดอะมิโน เช่น แอลบูมิน อินซูลิน oxytocin และ bradykinin ส่วนโปรตีนควบคู่จะสร้างพันธะร่วมกับสารอื่นที่ไม่ใช่โปรตีน (prosthetic group) เช่น น้ำตาล กรดนิวคลีอิก และลิพิด (ตารางที่ 13.5)

ตารางที่ 13.5 โปรตีนควบคู่บางชนิดและตัวอย่าง

โปรตีนควบคู่	Prosthetic group	ตัวอย่าง
Glycoproteins	คาร์โบไฮเดรต	$\gamma$ -globulin, interferon
Nucleoproteins	กรดนิวคลีอิก	ribosomes
Lipoproteins	ไขมัน, คอเลสเตอรอล	High-density lipoproteins
Metalloproteins	โลหะเชิงซ้อน	Hemoglobin, cytochrome

นอกจากนี้อาจแบ่งโปรตีนตามลักษณะและคุณสมบัติ ดังนี้

โปรตีนเส้นใย (fibrous proteins) โซโปรตีนจะเรียงขนานกันเป็นเส้นยาวเป็นสายยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน เหนียว มักไม่ละลายน้ำ ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิ หรือ pH เปลี่ยนเป็นโปรตีนโครงสร้าง ได้แก่

- $\alpha$ -keratin เป็นโปรตีนในเส้นผม ขนนก เขาสัตว์ เล็บ กีบเท้า
- คอลลาเจนและ elastins เป็นโปรตีนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน; เอ็น
- fibrin เป็นโปรตีนที่เกิดเมื่อเลือดแข็งตัว

โปรตีนก้อนกลม (globular proteins) โซโปรตีนจะม้วนตัวเป็นก้อน โดยหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าด้านในและส่วนที่มีขั้วหันออกสู่ด้านนอก จึงมักละลายน้ำหรือแขวนลอยในน้ำได้ วงโคจรต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและ pH มากกว่าโปรตีนเส้นใย ทำหน้าที่ควบคุม สัมผัสรุนแรงปฏิกิริยา เช่น เอนไซม์ เพปไทด์ฮอริโมน แอนติบอดี และโปรตีนขนส่ง

### 13.3.5 โครงสร้างของโปรตีน (Protein Structures)

โครงสร้างโปรตีนแบ่งเป็น 4 ระดับ ดังนี้

#### 13.3.5.1 โครงสร้างปฐมภูมิ (Primary Structure of Proteins)

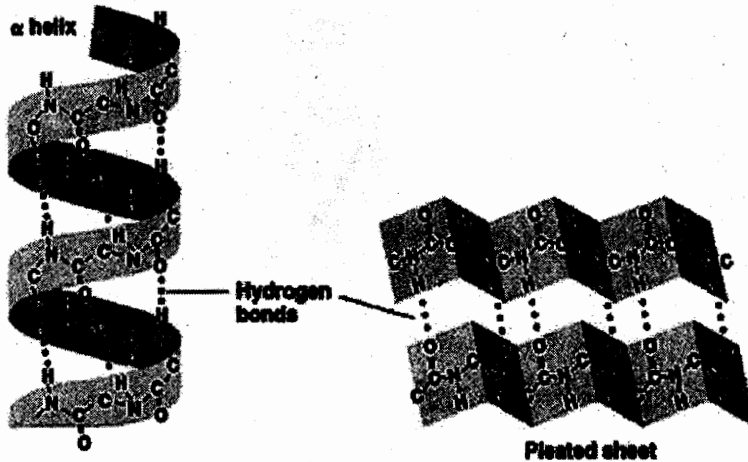
เป็นโครงสร้างพื้นฐานบอกเฉพาะลำดับของกรดอะมิโนที่เชื่อมกันโดยพันธะเพปไทด์ อาจเขียนโดยใช้รหัสย่อ หรือตามรูป 13.10 ซึ่งการหมุนพันธะ C-N เกิดยาก และพันธะ N-H และ C=O ในเพปไทด์แต่ละพันธะจะอยู่ตรงข้ามทำมุมห่างกัน  $180^\circ$

#### 13.3.5.2 โครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary Structure of Proteins)

เป็นโครงรูปที่เกิดจากการม้วนพับเฉพาะบริเวณของโปรตีน เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างกันของหมู่ฟังก์ชันในโปรตีน โดยเฉพาะพันธะไฮโดรเจนระหว่างโปรตอนจาก N-H ของ อะไมด์ หมู่หนึ่ง กับออกซิเจนของ C=O จากอีกที่หนึ่ง โดยเกิดภายในโซ่เดียวกัน หรือกับโซ่อื่นทำให้เกิดโครงรูป 2 แบบ คือ แบบเกลียวแอลฟา ( $\alpha$ -helix) และแผ่นหยักแบบบีตา ( $\beta$ -pleated sheet)



รูปที่ 13.11 โครงสร้างปฐมภูมิ แสดงลำดับของกรดอะมิโน ปลายด้าน N และด้าน C ในสายพอลิเพปไทด์<sup>5</sup>



รูปที่ 13.12 โครงสร้างทุติยภูมิแบบเกลียวแอลฟา (ซ้าย) และแผ่นหยักแบบบีตา (ขวา)<sup>6</sup>

### 13.3.5.3 โครงสร้างตติยภูมิ (Tertiary Structure of Proteins)

โปรตีนอาจจะมีโครงสร้างตติยภูมิเหมือนกันตลอดทั้งสายหรือไม่ก็ได้ กล่าวคือบางส่วนอาจเป็นแบบเกลียวแอลฟา ขณะที่ส่วนอื่นเป็นแผ่นหยักแบบบีตา หรือม้วนตัวอย่างไม่มีการเรียง (random coil) โครงสร้างตติยภูมิ เป็นโครงรูปสามมิติเฉพาะตัวของโมเลกุลโปรตีนทั้งโมเลกุล ทำให้โมเลกุลโปรตีนคงรูป เกี่ยวข้องกับแรงหรือพันธะในโปรตีน ซึ่งได้แก่ พันธะไฮโดรเจน แรงดึงดูดแบบไฟฟ้าสถิตย์ แรงระหว่างส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic force) และพันธะไดซัลไฟด์ (S-S; disulfide bond)

<sup>5</sup> รูปจาก <http://wiz2.pharm.wayne.edu/biochem/prot.html>

<sup>6</sup> รูปจาก <http://webschoolsolutions.com/biotech/macro.htm>

### 13.3.5.4 โครงสร้างจตุตถภูมิ (Quaternary Structure of Proteins)

หมายถึงโครงสร้างที่เกิดจากการรวมตัวกันของโครงสร้างตติยภูมิของโซ่เพปไทด์ตั้งแต่สองสายขึ้นไปให้โปรตีนที่ทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์ (โปรตีนทุกชนิดไม่จำเป็นต้องมีโครงสร้างเช่นนี้) เช่น ฮีโมโกลบิน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวพาออกซิเจน ประกอบด้วยโครงสร้างตติยภูมิของโซ่เพปไทด์ 4 สาย ที่ประกอบเข้าด้วยกันเป็นก้อนโปรตีน

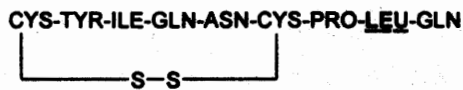


รูปที่ 13.13 แบบจำลองโครงสร้างตติยภูมิ (ซ้าย) และจตุตถภูมิ (ขวา)<sup>7</sup>  
(แถบลูกศรหมายถึงโครงสร้างแผ่นหยักแบบบีตา)

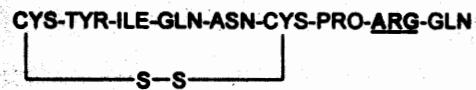
### 13.3.6 โครงสร้างและหน้าที่ของเพปไทด์บางชนิด

#### 1. Oxytocin และ vasopressin

เป็นเพปไทด์ฮอร์โมนที่มีสมบัติเชิงชีวภาพต่างกัน โดยที่โครงสร้างคล้ายกันมาก ต่างกันที่กรดอะมิโนลำดับที่ 8 เพียงหน่วยเดียว คือใน oxytocin เป็น LEU ขณะที่ vasopressin เป็น ARG oxytocin เป็นตัวกระตุ้นการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบมดลูก และกระตุ้นการหลั่งน้ำนม ส่วน vasopressin หรือ antidiuretic hormone ไม่มีผลกับกล้ามเนื้อเรียบของมดลูก แต่ควบคุมการดูดซึมน้ำกลับที่ท่อไตตอนปลาย และมีผลกับความดันโลหิต



oxytocin



vasopressin

#### 2. อินซูลิน และกลูคากอน (glucagons)

อินซูลิน เป็นเพปไทด์ฮอร์โมนที่สร้างโดยบีตาเซลล์ของ Islet of Langerhans ในตับอ่อน เป็นโซ่เพปไทด์ 2 สาย มีกรดอะมิโน 51 หน่วย มีพันธะไดซัลไฟด์ (S-S) เชื่อมระหว่างสาย 3

<sup>7</sup> รูปจาก <http://wiz2.pharm.wayne.edu/biochem/prot.html>

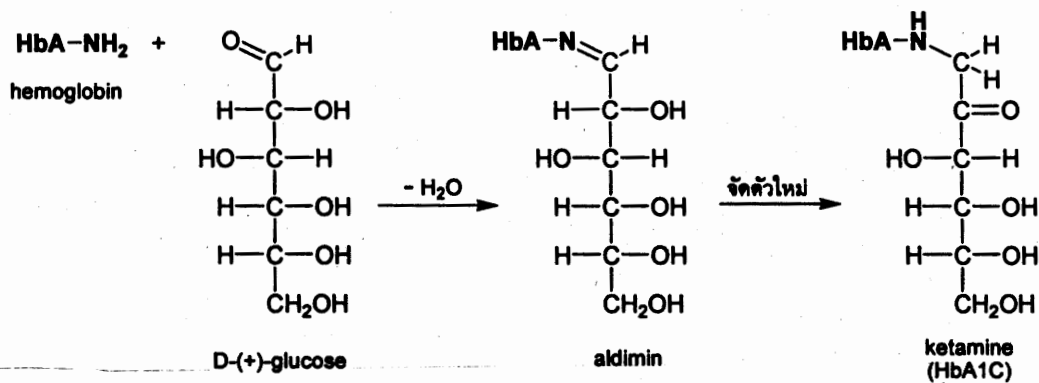
พันธะ ที่สำคัญของอินซูลิน ได้แก่ กระบวนการสลายกลูโคส กระบวนการสร้างไกลโคเจน แรงยึดราการสังเคราะห์กรดไขมัน และลดระดับกลูโคสในเลือด เป็นต้น

กลูคาگون เป็นเปปไทด์ฮอร์โมนที่สร้างโดยแอลฟาเซลล์ของ Islet of Langerhans เป็นเปปไทด์สายเดี่ยว มีกรดอะมิโน 29 หน่วย และผลเชิงชีวภาพตรงข้ามกับอินซูลิน

### 3. ฮีโมโกลบิน

Hemoglobin A (HbA) ประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เป็นโซ่พอลิเปปไทด์ 4 สาย เป็นชนิดแอลฟา 2 สาย และบีตา 2 สาย หน่วยย่อยแต่ละหน่วยมีฮีม (heme) เป็น prosthetic group และมีบริเวณรวมตัวเฉพาะของออกซิเจน HbA แต่ละโมเลกุลจึงเป็นตัวยานออกซิเจนได้ถึง 4 โมเลกุล

ฮีโมโกลบินอาจอยู่ในรูปที่รวมกับกลูโคสได้ ในรูป HbA1C ซึ่งเกิดจากปลายด้าน N ของ HbA ทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลของกลูโคส ค่าของ HbA1C บอกระดับน้ำตาลเฉลี่ยในเลือดตลอด 24 ชั่วโมงย้อนหลังไปได้ 3 เดือน ปกติเป็น 3-5% ในผู้ที่ เป็นเบาหวานและควบคุม น้ำตาลในเลือดได้ไม่ดีตัวเลขอาจขึ้นสูง 6-15% จึงใช้ค่าของ HbA1C ติดตามปริมาณน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในคนที่ เป็นเบาหวานได้



### 13.3.7 การเปลี่ยนแปลงสภาพธรรมชาติของโปรตีน (Protein Denaturation)

โครงรูปธรรมชาติของโปรตีนอาจเปลี่ยนได้ สมบัติเชิงชีวภาพอาจเปลี่ยนแปลงหรือถูกทำลายด้วยวิธีต่างๆ โดยที่โครงสร้างแบบปฐมภูมิไม่ถูกทำลาย การเปลี่ยนแปลงทำได้ทั้งทางกายภาพและทางเคมี อาจทำการแยกและทำให้โปรตีนบริสุทธิ์ เช่น โปรตีนชนิดก้อนกลมหลายชนิดตกตะกอนถ้า pH ของสารละลาย ตรงกับ pI ของโปรตีน หรือใช้ กรด trichloroacetic เพื่อตกตะกอน หรือใช้สารรีดิวซ์เพื่อทำลายพันธะไดซัลไฟด์ หลังจากการเสียสภาพโปรตีนบางชนิดอาจกลับคืนสู่โครงสร้างธรรมชาติได้ถ้าใช้สภาวะเหมาะสม แต่ในสภาวะรุนแรง เช่นการใช้ความร้อน การเสียสภาพธรรมชาติจะเกิดอย่างถาวร

ตารางที่ 13.6 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงสภาพธรรมชาติของโปรตีน

วิธีเปลี่ยนสภาพ	กลไกการเปลี่ยนแปลง	ตัวอย่าง
ความร้อน	ทำลายพันธะไฮโดรเจน	ไข่ขาวแข็งตัวเมื่อได้รับความร้อน
รังสีอัลตราไวโอเล็ต	คล้ายความร้อน	อาการไหม้แดด
กรดแก่ หรือเบสแก่	เกิดเกลือ, ทำลายพันธะไฮโดรเจน	ผิวหนังพองไหม้, โปรตีนตกตะกอน
สารละลายยูเรีย	พันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย	โปรตีนที่ละลายน้ำตกตะกอนได้
ตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิด (เช่น เอทานอล, อะซิโตน)	การเปลี่ยนค่า dielectric constant ทำให้การละลายลดลง	การทำลายเชื้อ, โปรตีนตกตะกอน
การตี-ป่น	ทำลายพันธะไฮโดรเจน	ตีไข่ขาวให้ขึ้นแข็ง

### 13.4 กรดนิวคลีอิก (Nucleic Acids)

กรดนิวคลีอิก เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ (biopolymer) ประกอบด้วยหน่วยย่อยนิวคลีโอไทด์ (nucleotide) เชื่อมต่อกัน นิวคลีโอไทด์เป็นโมเลกุลที่มี C, H, N, O และ P เป็นองค์ประกอบ แต่ละหน่วยมี 3 ส่วน คือ เบสไนโตรเจน (nitrogen containing base) น้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม หรือเพนโทส และหมู่ฟอสเฟตซึ่งมีประจุลบ

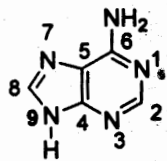
กรดนิวคลีอิกมีสองชนิด คือ DNA หรือกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (deoxyribonucleic acid) และ RNA หรือกรดไรโบนิวคลีอิก (ribonucleic acid) DNA เป็นกรดนิวคลีอิกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ส่วนใหญ่พบในนิวเคลียสของเซลล์ ในทางตรงข้าม RNA มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า แต่เป็นกรดนิวคลีอิกที่มีมากมาย กระจายทั่วไปในเซลล์ ส่วนมากอยู่ในไรโบโซม มี 3 ชนิด คือ rRNA (ribosomal RNA) ซึ่งมีมากที่สุด อีกสองชนิดซึ่งมีน้อยกว่าคือ mRNA (messenger RNA) และ tRNA (transfer RNA)

#### 13.4.1 องค์ประกอบในกรดนิวคลีอิก (Nucleic acid Components)

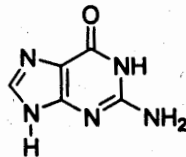
##### 13.4.1.1 เบสไนโตรเจน (Nitrogenous Bases)

เบสไนโตรเจนในนิวคลีโอไทด์มีสองประเภท คือ

1. เบสเพียวรีน (purines) มีวงแหวนสองวงเชื่อมกัน โครงสร้างของวงแบนราบ เบสที่เป็นส่วนประกอบในกรดนิวคลีอิก คือ อะดีนีน (adenine) และกัวนีน (guanine)

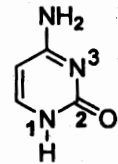


Adenine (A)

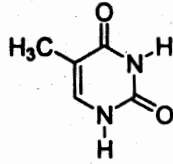


Guanine (G)

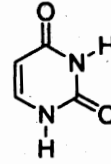
2. **เบสไพริมิดีน (pyrimidines)** เป็นวงเดี่ยว ที่เป็นส่วนประกอบในกรดนิวคลีอิก มี 3 ชนิด คือ **ไซโทซีน (cytosine)** **ไทมีน (thymine)** และ **ยูราซิล (uracil)**



Cytosine (C)



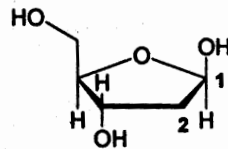
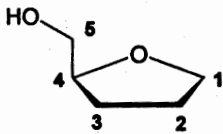
Thymine (T)



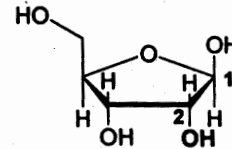
Uracil (U)

#### 13.4.1.2 น้ำตาล (Sugars)

น้ำตาลในกรดนิวคลีอิก RNA คือไรโบส และใน DNA คือดีออกซีไรโบส ทั้งคู่เป็นน้ำตาล 5 อะตอมและเป็นน้ำตาลแอลโดส มีโครงสร้างวงปิดแบบวงแหวน 5 อะตอม (furanose) น้ำตาลทั้งสองชนิดมีโครงสร้างต่างกัน คือดีออกซีไรโบส ไม่มีหมู่ OH ที่ตำแหน่งที่ 2 ของวง



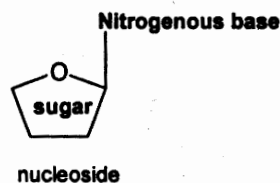
deoxyribose



ribose

#### 13.4.2 นิวคลีโอไซด์ (Nucleosides)

นิวคลีโอไซด์ (Nucleosides) ได้จากปฏิกิริยาระหว่างเบสเพียวรีน หรือไพริมิดีนกับน้ำตาลไรโบส หรือน้ำตาลดีออกซีไรโบส ซึ่งเป็นสารประเภท N-ไกลโคไซด์ การเชื่อมกันเกิดระหว่างเบสไนโตรเจน กับแอนโนเมอริกคาร์บอนของน้ำตาล



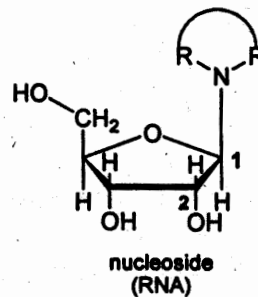
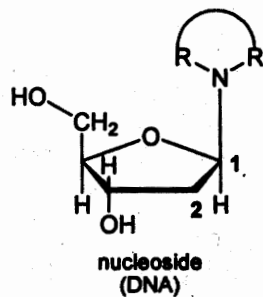
ทั้ง DNA และ RNA ประกอบด้วยนิวคลีโอไซด์ซึ่งส่วนประกอบคล้ายกัน น้ำตาลใน RNA เป็นน้ำตาลไรโบส ส่วน DNA เป็นน้ำตาลดีออกซีไรโบส จึงเป็นที่มาของชื่อ Ribonucleic acid และ Deoxyribonucleic acid ตามลำดับ

- เบสไนโตรเจนที่พบทั้งใน DNA และ RNA มี 3 ชนิดคือ อะดีนีน กัวนีน และไซโทซีน
- เบสไนโตรเจนที่มีเฉพาะใน DNA คือ ไทมิน
- และเบสไนโตรเจนที่มีเฉพาะใน RNA คือ ยูราซิล

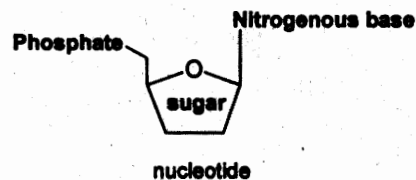
ตารางที่ 13.7 ความเกี่ยวข้องระหว่างเบสไนโตรเจน น้ำตาล นิวคลีโอไซด์ และกรดนิวคลีอิก

เบส	อักษรย่อ	น้ำตาล	นิวคลีโอไซด์	กรดนิวคลีอิก
Adenine	A	deoxyribose	deoxyadenosine	DNA
		ribose	adenosine	RNA
Guanine	G	deoxyribose	deoxyguanosine	DNA
		ribose	guanosine	RNA
Cytosine	C	deoxyribose	deoxycytidine	DNA
		ribose	cytidine	RNA
Thymine	T	deoxyribose	Deoxythymidine (thymidine)	DNA
Uracil	U	ribose	uridine	RNA

- ในโครงสร้างของนิวคลีโอไซด์ แอนิเมอริกคาร์บอน (C1) จากวงน้ำตาลเชื่อมกับ N1 ของเบสไพริมิดีน หรือ N9 ของเบสเพียวรีน
- เบสไนโตรเจนและ หมู่  $-CH_2OH$  อยู่ด้านเดียวกันของวง furanose



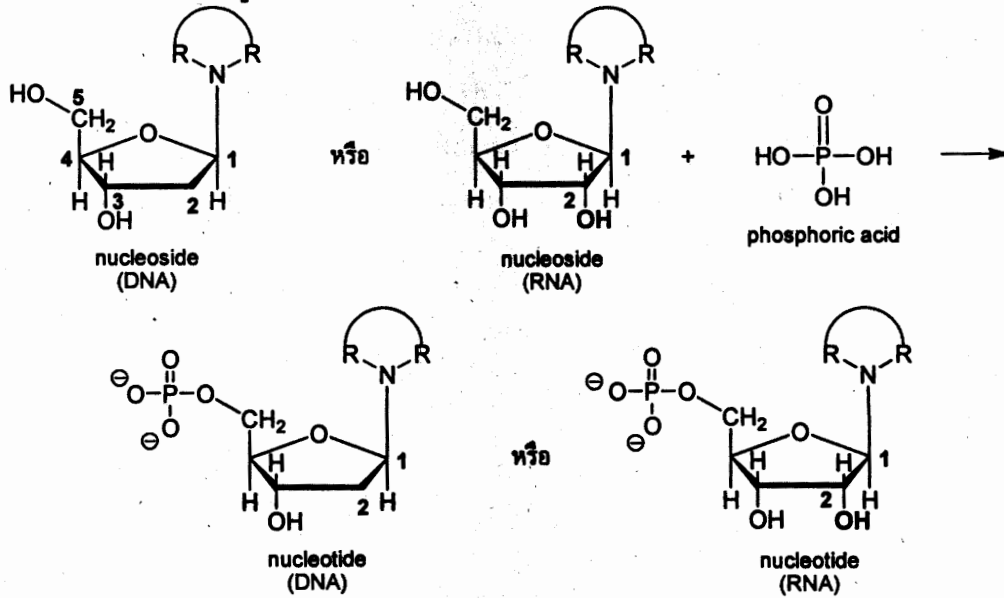
### 13.4.3 นิวคลีโอไทด์ (Nucleotides)



นิวคลีโอไทด์ เป็นหน่วยย่อยพื้นฐานของกรดนิวคลีอิก เป็นเอสเทอร์ของกรดฟอสฟอริก กับนิวคลีโอไซด์ ได้หมู่ฟอสเฟตเอสเทอร์ที่ C5 ของน้ำตาล ซึ่งอาจมี 1 หรือ 2 หรือ 3 หมู่ ต่อกัน



ด้วยพันธะฟอสโฟแอนไฮไดรด์ (phosphoanhydride bond) หรือพันธะไพโรฟอสเฟต (pyrophosphate bond) ระหว่างหมู่ฟอสเฟตกันเอง



### การเรียกนิวคลีโอไทด์

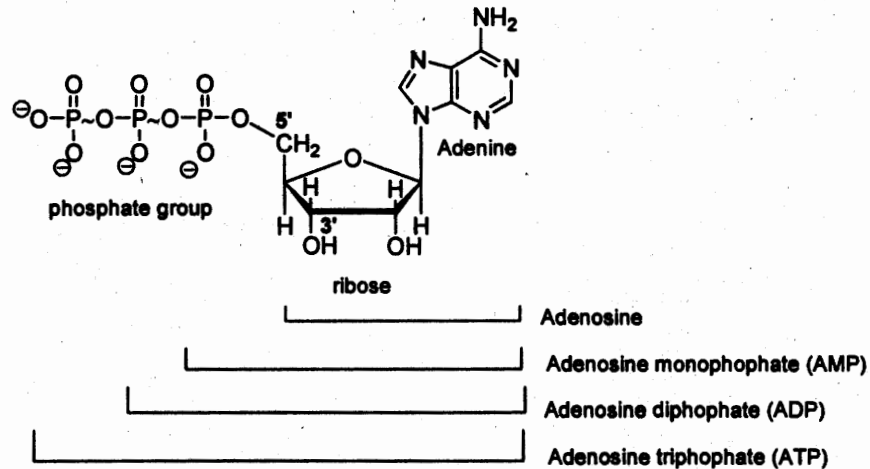
การเรียกนิวคลีโอไทด์จะเรียกตามนิวคลีโอไซด์ ซึ่งเป็นนิวคลีโอไทด์ที่ไม่มีหมู่ฟอสเฟต (มีเฉพาะเบสไนโตรเจนและน้ำตาลเพนโทส) เช่น นิวคลีโอไซด์ที่มีฟอสเฟต 1 หมู่ เรียก มอนอนิวคลีโอไทด์ (mononucleotide) หรือ นิวคลีโอไซด์มอนอฟอสเฟต (nucleoside monophosphate) เป็นต้น ดังตัวอย่างในตาราง 13.8

ตารางที่ 13.8 ชื่อนิวคลีโอไซด์และนิวคลีโอไซด์ฟอสเฟตบางชนิดที่พบในเซลล์

เบส	นิวคลีโอไซด์	Nucleoside monophosphate	Nucleoside diphosphate	Nucleoside triphosphate	Cyclic nucleoside
Adenine	Adenosine	AMP	ADP	ATP	cAMP
Guanine	Guanosine	GMP	GDP	GTP	cGMP
Cytosine	Cytidine	CMP	CDP	CTP	
Uracil	Uridine	UMP	UDP	UTP	
Thymine	Thymidine	TMP	TDP	TTP	

## นิวคลีโอไซด์ฟอสเฟต (Nucleoside Phosphates)

นิวคลีโอไซด์ฟอสเฟต ที่สำคัญที่สุดคือ adenosine triphosphate หรือ ATP ซึ่งมีพันธะฟอสโฟแอนไฮไดรด์ เชื่อมฟอสเฟตหมู่ที่สองและสามกับหมู่แรกของ adenosine monophosphate หรือ AMP เมื่อพันธะฟอสเฟตเอสเทอร์หมู่ที่สามของ ATP สลายจะให้พลังงานภายในเซลล์สูง และ ADP ปกติใช้สัญลักษณ์ ~ ในโครงสร้าง ซึ่งหมายถึงพันธะพลังงานสูง



รูปที่ 13.14 โครงสร้างของนิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไซด์ฟอสเฟต (AMP, ADP และ ATP)

### 13.4.4 ลักษณะของกรดนิวคลีอิก

กรดนิวคลีอิก เป็นพอลิเมอร์ของนิวคลีโอไทด์ หน่วยย่อยนิวคลีโอไทด์ใน DNA และ RNA แต่ละหน่วยเชื่อมต่อกันโดยพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์ (phosphodiester bond) ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของฟอสเฟตในนิวคลีโอไทด์โมเลกุลหนึ่ง (ตำแหน่ง 5') คอนเด็นซ์กับหมู่ไฮดรอกซิลที่วงน้ำตาลของอีกโมเลกุลหนึ่ง (ตำแหน่ง 3') กระบวนการเกิดต่อไปจนได้สายกรดนิวคลีอิก พอลิเมอร์นี้คือพอลินิวคลีโอไทด์ (polynucleotides)

### 13.4.5 ระดับโครงสร้างของกรดนิวคลีอิก (Nucleic Acids)

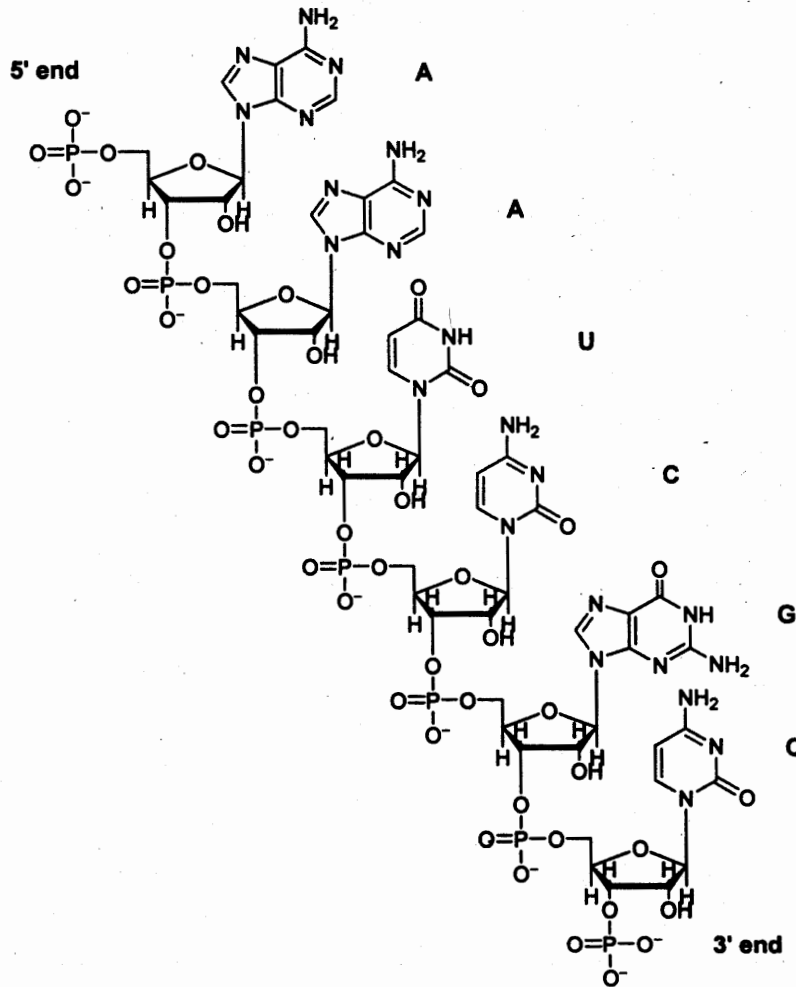
#### 13.4.5.1 โครงสร้างปฐมภูมิ

โครงสร้างปฐมภูมิ เป็นโครงสร้างพื้นฐานที่บอกการจัดเรียงเบสในแกนหลัก (backbone) ของสายโซ่กรดนิวคลีอิก แกนหลักเป็นสายน้ำตาลสลับกับฟอสเฟต เชื่อมกันด้วยพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์ และมีเบสไนโตรเจนชนิดต่างๆ ยื่นออกจากด้านข้างเป็นระยะห่างเท่าๆกัน ปลายด้านหนึ่งของแกนหลัก (ปลาย 5') เป็นหมู่ฟอสเฟต และอีกด้านหนึ่ง (ปลาย 3') มาจากหมู่ OH

ที่วงน้ำตาล (รูป 13.15) ความแตกต่างในสายกรดนิวคลีอิกจึงเป็นลำดับของเบสในโครเจน ปกติจะเขียนตามทิศทางหรือสภาพขั้วจาก 5' → 3' และจากซ้ายไปขวา เช่น



การเขียนโครงสร้างปฐมภูมิแบบย่อใช้จึงอักษรย่อของเบส แสดงลำดับนิวคลีโอไทด์ได้ เช่น เขียนเป็น ACGTT ซึ่งหมายถึง 5'-ACGTT-3' ในทางตรงข้ามลำดับนิวคลีโอไทด์สายนี้อาจเขียนเป็น 3'-TTGCA-5' ก็ได้เช่นกัน



รูปที่ 13.15 โครงสร้างปฐมภูมิ ส่วนหนึ่งในสายไซโครดนิวคลีอิก (RNA: น้ำตาลไรโบส และมีเบสยูราซิล)

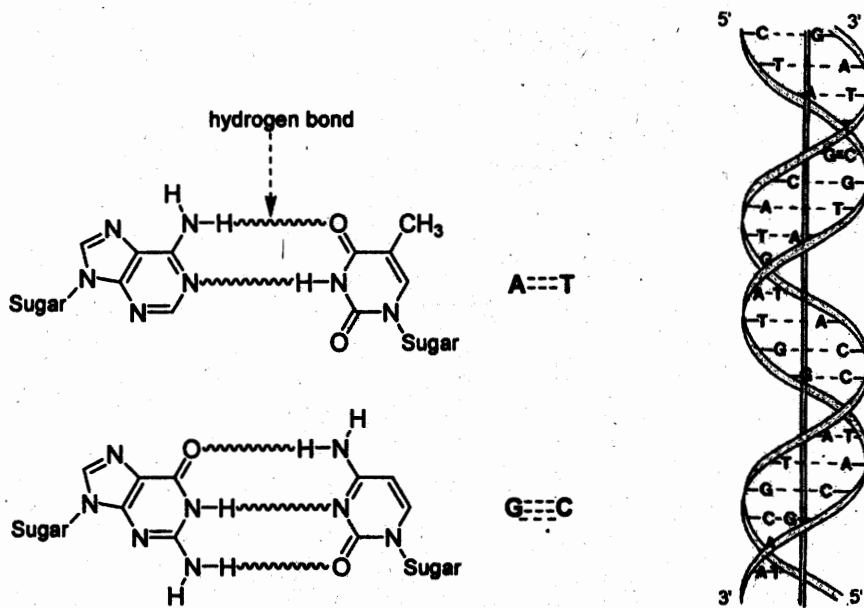
### 13.4.5.2 โครงสร้างทุติยภูมิ

โครงสร้างนี้มีรายละเอียดมากขึ้น เป็นโครงสร้างที่สายพอลินิวคลีโอไทด์มีการยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างคู่เบสที่มีความเฉพาะเจาะจงและสอดคล้องกัน (complementary base pairing) ซึ่งเกิดภายในสายเดียวกัน หรือระหว่างสาย ทำให้โครงสร้างมีเสถียรภาพ และมีมันตัวหรือเป็นเกลียวเพราะพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น

#### โครงสร้างทุติยภูมิของ DNA

DNA ส่วนใหญ่เป็นพอลินิวคลีโอไทด์สายเดี่ยวสองสายที่สวนทางกัน (antiparallel) มายึดเหนี่ยวกัน แกนหลักซึ่งเป็นสายของน้ำตาลสลับฟอสเฟตอยู่ด้านนอก ระบายวงของเบสในโครเจนอยู่ด้านในและตั้งฉากกับแกนหลัก คู่เบสเฉพาะจากแต่ละสายยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน คือ ระหว่าง A กับ T ซึ่งมีพันธะไฮโดรเจน 2 แห่ง และ G กับ C มีพันธะไฮโดรเจน 3 แห่ง ทำให้โครงสร้างพันกันเป็นเกลียวคู่ (double helix) คล้ายบันไดเวียน (รูป 13.16)

ดังนั้นถ้าทราบลำดับนิวคลีโอไทด์ในกรดนิวคลีอิกสายหนึ่ง ก็สามารถหาของอีกสายหนึ่งได้ เช่น ถ้าลำดับในสายหนึ่งเป็น 5'-ATGGCT-3' สายที่คู่กันต้องเป็น 3'-TACCGA-5'

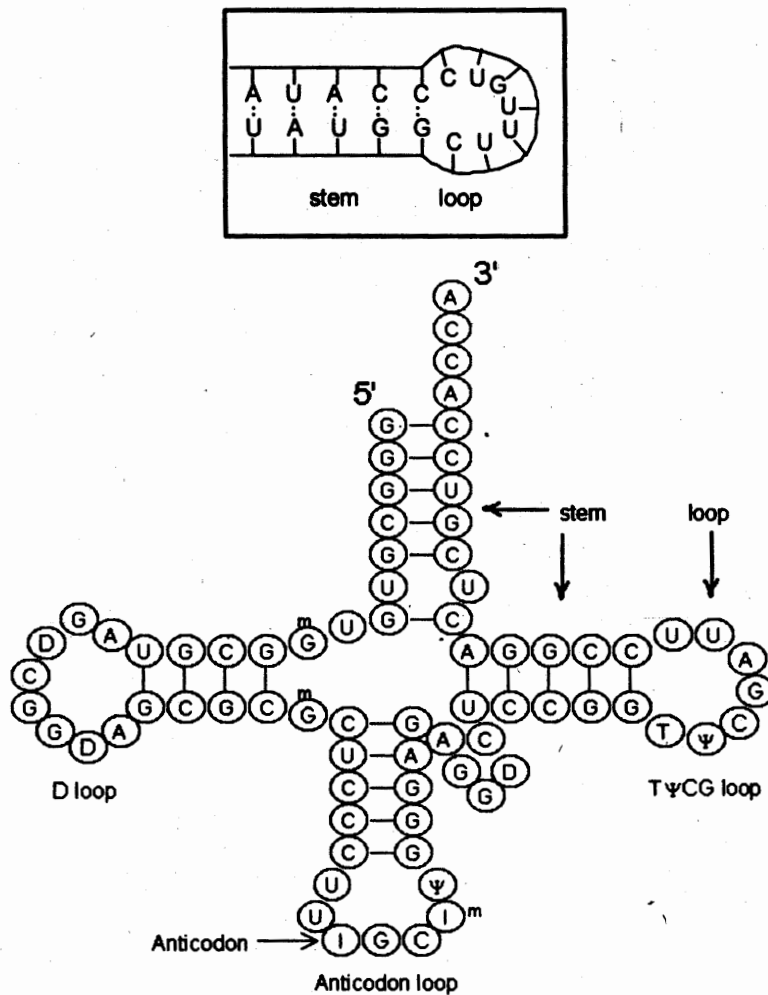


รูปที่ 13.16 พันธะไฮโดรเจนระหว่างคู่เบสที่สอดคล้องกัน (ซ้าย) และโครงสร้างเกลียวคู่ของ DNA (ขวา)

## โครงสร้างทุติยภูมิของ RNA

สาย RNA สองสายอาจเกิดโครงสร้างแบบเกลียวคู่ได้ แต่หมู่ OH ที่ C2' ทำให้เกาะกะ โครงรูปที่ได้จึงมีเสถียรภาพต่ำ โครงสร้างทุติยภูมิส่วนใหญ่จึงเป็นสายเดี่ยวที่มีการจัดตัวเพื่อให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างคู่เบสภายในโมเลกุล คู่เบสที่สอดคล้องกันใน RNA คล้าย DNA คือ A-U และ G-C อาจพบ G จับกับ U ด้วย แต่แข็งแรงน้อยกว่า G-C

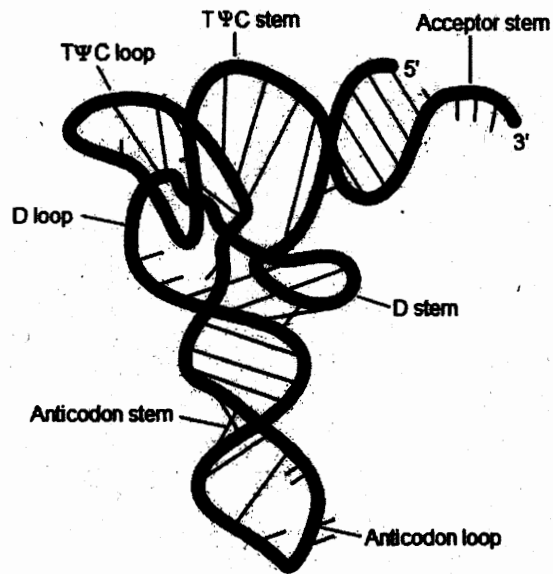
โครงสร้างทุติยภูมิของ RNA ประกอบด้วยบริเวณต่างๆ 2 แบบ เรียก stem ซึ่งเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างคู่เบสในสายเดียวกัน และ loop หรือ ห่วง ซึ่งไม่มีคู่เบสที่สอดคล้องกัน (รูป 13.17)



รูปที่ 13.17 โครงสร้างทุติยภูมิของ tRNA

### 13.4.5.3 โครงสร้างตติยภูมิ

เป็นรูปทรงโมเลกุลแบบ 3 มิติ ของกรดนิวคลีอิกทั้งโมเลกุลตามสภาพจริง ซึ่งเกี่ยวข้องกับ  
กับแรงระหว่างไดโพลแบบอื่นๆ ทำให้เกิดโครงสร้าง 3 มิติ ที่ถูกต้องแน่นอน สามารถทำ  
หน้าที่ต่างๆได้อย่างสมบูรณ์ (รูป 13.18)

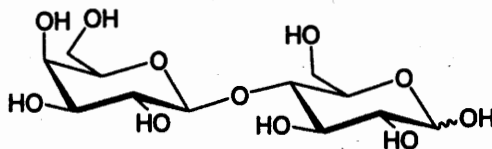


รูปที่ 13.18 แบบจำลองโครงสร้างตติยภูมิของ tRNA

## แบบฝึกหัด บทที่ 13

### เลือกคำตอบที่ถูกต้อง

1. ซีวโมเลกุลชนิดใดที่มีไนโตรเจนเป็นปริมาณร้อยละ มากที่สุด  
(1) คาร์โบไฮเดรต (2) ลิพิด  
(3) โปรตีน (4) กรดนิวคลีอิก
2. ตัวเลือกต่อไปนี้ เป็นคาร์โบไฮเดรต ยกเว้นข้อใด  
(1) starch (2) glycogen  
(3) amylopectin (4) glucagon
3. กลูโคสเป็นน้ำตาลประเภทใด  
(1) aldohexose (2) aldopentose  
(3) ketohexose (4) ketopentose
4. ข้อใดต่อไปนี้ที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มเดียวกันด้วย  
(1) starch (2) glycogen  
(3) disaccharide (4) cellulose
5. พันธะที่เชื่อมน้ำตาลเชิงเดี่ยว 2 โมเลกุลรวมกันให้ได้น้ำตาลเป็นพันธะชนิดใด  
(1) N-glycosidic bond (2) O-glycosidic bond  
(3) peptide bond (4) ester bond
6. น้ำตาล tetroketose มีคาร์บอนอะตอม  
(1) 1 (2) 2  
(3) 3 (4) 4
7. ไดแซ็กคาไรด์ต่อไปนี้มีการเชื่อมพันธะไกลโคไซด์แบบใด



- (1)  $\beta$ -1,4'-glycosidic linkage
- (2)  $\alpha$ -1,4'-glycosidic linkage
- (3)  $\beta$ -1,6'-glycosidic linkage
- (4)  $\alpha$ -1,2'-glycosidic linkage





13. prostaglandins เกิดจากรดไขมันชนิดใด

- (1) palmitoleic acid (2) oleic acid  
(3) linolenic acid (4) arachidonic acid

14. ฟอสโฟกลีเซอไรด์ประกอบด้วย

- (1) glycerol, 3 fatty acids และ phosphate  
(2) 2 fatty acids, glycerol และ phosphate  
(3) glycerol phosphate และ 3 fatty acids  
(4) sphingosine, phosphate, fatty acid และ choline

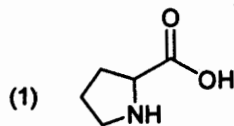
15. ข้อใดคือ sphingomyelin

- (1) glycerol, 3 fatty acids และ phosphate  
(2) 2 fatty acids, glycerol และ phosphate  
(3) glycerol phosphate และ 3 fatty acids  
(4) sphingosine, phosphate, fatty acid และ choline

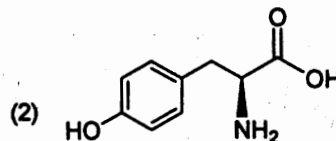
16. โครงสร้างสแตียรอยด์มี...

- (1) วงแหวน 5 อะตอม 3 วงและ วง 6 อะตอม 1 วง เชื่อมกัน  
(2) วงแหวน 5 อะตอม 1 วงและ วง 6 อะตอม 4 วง เชื่อมกัน  
(3) วงแหวน 5 อะตอม 2 วงและ วง 6 อะตอม 2 วง เชื่อมกัน  
(4) วงแหวน 5 อะตอม 1 วงและ วง 6 อะตอม 3 วง เชื่อมกัน

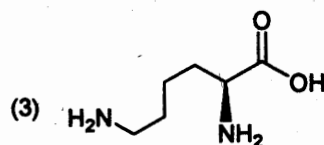
17. จากตัวเลือกต่อไปนี้ กรดอะมิโนใดที่ไม่เป็นอะมิโนชนิดปฐมภูมิ ( $1^\circ$  amine)



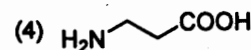
proline



tyrosine



arginine



$\beta$ -alanine

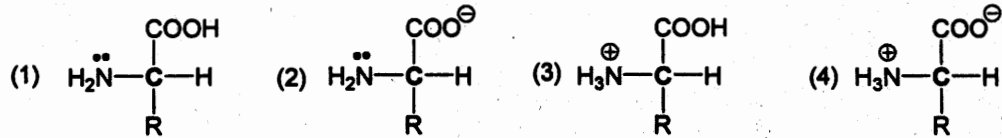
18. ตัวเลือกจากข้อ (17) ตัวใดไม่ใช่กรดแอลฟาอะมิโนธรรมชาติ

19. ตัวเลือกจากข้อ (17) ตัวใดเป็น cyclic amino acid

20. กรดอะมิโนธรรมชาติชนิดใดที่โคโรลคาร์บอนมีการจัดตัวในที่ว่างแบบ R

- (1) serine                      (2) arginine                      (3) cysteine                      (4) proline

21. ที่ pH ของร่างกาย กรดอะมิโนจะอยู่ในรูป zwitterions ตัวเลือกใดเป็น zwitterion



22. ในสารละลาย pH = 1 กรดอะมิโนไกลซีน (glycine) ส่วนใหญ่อยู่ในรูปใด



23. กรดอะมิโนซีรีน (serine) มีโครงสร้างอย่างไรที่ isoelectric point



24. พันธะเพปไทด์ คือ พันธะ \_\_\_\_\_

- (1) เอสเทอร์                      (2) อะไมด์  
 (3) อีเทอร์                      (4) ไพรฟอสเฟต

25. โมเลกุลหรือหมู่อะตอมทางเคมี ที่เป็นสารอินทรีย์ หรือโลหะที่อยู่ด้วยกันกับโปรตีน เรียกว่า

- (1) หน่วยย่อย (subunit)                      (2) prosthetic group  
 (3) residue                      (4)  $\alpha$ -chain

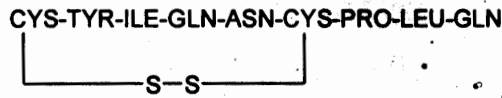
26. โครงสร้างปฐมภูมิมาจากสิ่งใด

- (1) รูปทรง                      (2) ลำดับกรดอะมิโน  
 (3) ขนาด                      (4) ประจุ

27.  $\beta$ -pleated sheets เป็นโครงสร้างชนิด

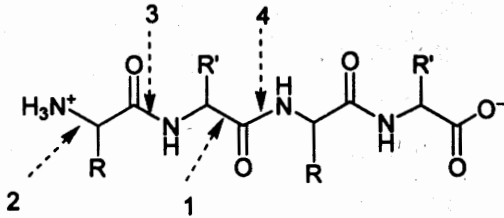
- (1) ปฐมภูมิ                      (2) ทติยภูมิ  
 (3) คติยภูมิ                      (4) จตุตถภูมิ

28. เพปไทด์ต่อไปนี้ไม่มีโครงสร้างระดับใด



- |              |               |
|--------------|---------------|
| (1) ปฐมภูมิ  | (2) ทติยภูมิ  |
| (3) ดติยภูมิ | (4) จตุตถภูมิ |

29. ลูกศรใดชี้ไปที่พันธะเพปไทด์



- |             |             |
|-------------|-------------|
| (1) 1 และ 2 | (2) 2 และ 3 |
| (3) 3 และ 4 | (4) 4 และ 1 |

30. เพปไทด์ A ประกอบด้วยกรดอะมิโน 5 ตัว ถูกย่อยสลายบางส่วนเป็นส่วนเล็กๆ 3 แบบ ซึ่งมีกรดอะมิโนเรียงกัน ดังนี้

his-gly-ser; ala-his และ ala-ala อยากทราบว่าเพปไทด์ A มีโครงสร้างปฐมภูมิอย่างไร

- |                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| (1) his-gly-ser-ala-ala | (2) ala-his-gly-ser-ala  |
| (3) ala-ala-his-gly-ser | (4) หาไม่ได้ ข้อมูลไม่พอ |

31. ข้อใดหมายถึงโครงสร้างแบบดติยภูมิของโปรตีน

- (1) โครงสร้างที่เป็นลำดับกรดอะมิโน
- (2) โครงสร้างที่เป็น  $\alpha$ -helix หรือ  $\beta$ -pleated sheet
- (3) โครงรูปสามมิติเฉพาะตัวของโมเลกุลโปรตีนทั้งโมเลกุล
- (4) โครงสร้างที่เกิดจากปฏิกิริยาต่อกันระหว่างโปรตีนกับ prosthetic group

32. น้ำตาลดีออกซีที่พบในกรดนิวคลีอิก คือข้อใด

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| (1) 1-deoxyribose | (2) 2-deoxyribose |
| (3) 3-deoxyribose | (4) 4-deoxyribose |

33. เมื่อเปรียบเทียบน้ำตาลไรโบส กับดีออกซีไรโบส น้ำตาลทั้งสองชนิดมีไครัลคาร์บอนเท่าใด

- |         |         |
|---------|---------|
| (1) 2:1 | (2) 3:2 |
| (3) 3:3 | (4) 4:3 |

34. ข้อใดเป็นเบสไพริมิดีน

- (1) CUG (2) GTU  
(3) CUA (4) CTU

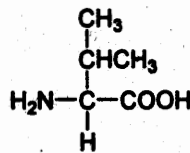
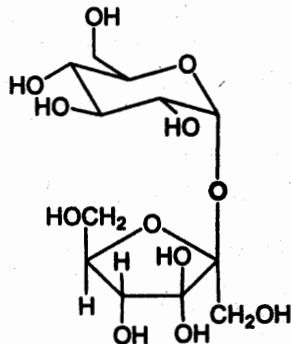
35. พันธะไฮโดรเจนระหว่างคู่เบส

- (1) ทั้งคู่เบส AT และคู่เบส CG เกิด 2 พันธะ  
(2) ทั้งคู่เบส AT และคู่เบส CG เกิด 3 พันธะ  
(3) คู่เบส AT เกิด 2 พันธะ และคู่เบส CG เกิด 3 พันธะ  
(4) คู่เบส AT เกิด 3 พันธะ และคู่เบส CG เกิด 2 พันธะ

36. อักษร t ใน tRNA แทนคำใด

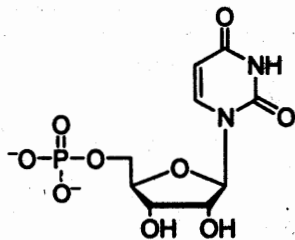
- (1) temporary (2) transfer  
(3) terminal (4) tripple

37. โครงสร้างทางซ้ายคือ \_\_\_\_\_ โครงสร้างทางขวา คือ \_\_\_\_\_



- (1) ลิพิด, พอลิเพปไทด์ (2) คาร์โบไฮเดรต, ลิพิด  
(3) คาร์โบไฮเดรต, กรดอะมิโน (4) นิวคลีโอไซด์, กรดอะมิโน

38. โครงสร้างต่อไปนี้เป็นหน่วยย่อยของ



- (1) RNA (2) โปรตีน  
(3) DNA (4) พอลิแซ็กคาไรด์

39. ลำดับของเบสที่สอดคล้องกับเบสในสาย DNA ต่อไปนี้เป็นแบบใด

T-A-T-G-C-A-G

- (1) T-A-T-G-C-A-G (2) A-T-A-C-G-T-C  
(3) A-T-A-C-G-T-C (4) A-T-A-C-G-T-C

40. ข้อใดจริง

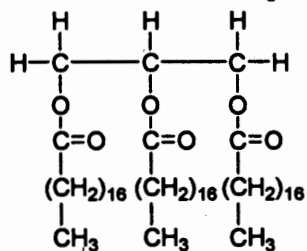
(1) DNA และ RNA เป็นสายเดี่ยว

(2) DNA เป็นสายเดี่ยว และ RNA เป็นสายคู่

(3) DNA และ RNA เป็นสายคู่

(4) DNA เป็นสายคู่ และ RNA เป็นสายเดี่ยว

41. โครงสร้างต่อไปนี้จัดอยู่ในกลุ่มใด



(1) กรดนิวคลีอิก

(2) โปรตีน

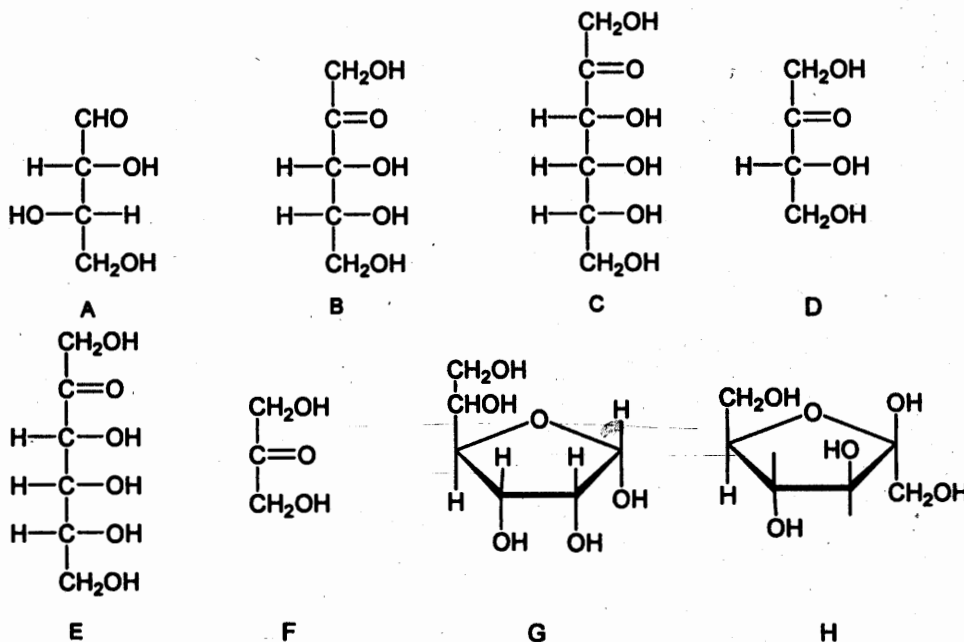
(3) พอลิแซ็กคาไรด์

(4) ลิพิด

เติมคำหรือข้อความลงในที่ว่างที่เว้นไว้ให้ถูกต้อง

1. น้ำตาลเกิดวง cyclic hemiacetal จากปฏิกิริยาระหว่างหมู่ \_\_\_\_\_ กับหมู่ \_\_\_\_\_

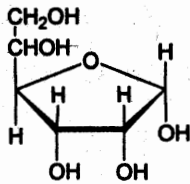
2. ถ้า A เป็น aldotetrose โครงสร้างของ B, C, D, E, F, G และ H จะเป็นแบบใด



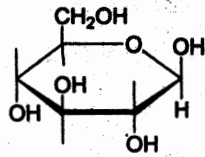
A aldotetrose  
 C \_\_\_\_\_  
 E \_\_\_\_\_  
 G \_\_\_\_\_

B \_\_\_\_\_  
 D \_\_\_\_\_  
 F \_\_\_\_\_  
 H \_\_\_\_\_

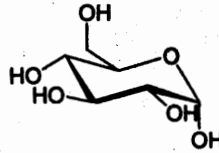
3. โครงสร้างต่อไปนี้เป็นแบบ  $\alpha$  หรือ  $\beta$



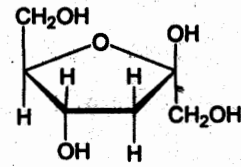
A



B



C



D

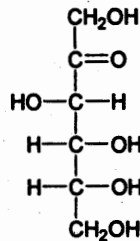
A เป็นแบบ \_\_\_\_\_

B เป็นแบบ \_\_\_\_\_

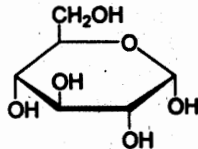
C เป็นแบบ \_\_\_\_\_

D เป็นแบบ \_\_\_\_\_

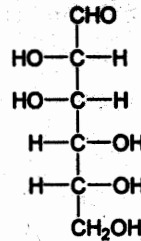
โครงสร้างต่อไปนี้สำหรับข้อ 4-8



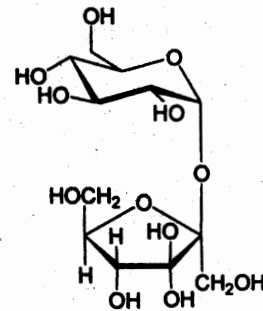
A



B



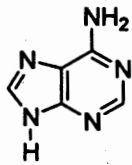
C



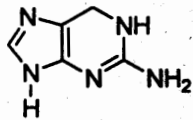
D

- ชื่อของคาร์โบไฮเดรต A คือ \_\_\_\_\_ เป็นน้ำตาลชนิด \_\_\_\_ (D หรือ L) และเป็น \_\_\_\_\_ (aldose หรือ ketose)
- ชื่อของคาร์โบไฮเดรต A คือ \_\_\_\_\_ มีโครงสร้างแบบ \_\_\_\_ ( $\alpha$  หรือ  $\beta$ ) อะตอมคาร์บอนที่มีเครื่องหมาย (\*) เป็น \_\_\_\_\_
- ชื่อของคาร์โบไฮเดรต C คือ \_\_\_\_\_ เป็นน้ำตาลชนิด \_\_\_\_ (D หรือ L) และเป็น \_\_\_\_\_ (aldose หรือ ketose)
- ชื่อของคาร์โบไฮเดรต D คือ \_\_\_\_\_
- น้ำตาลตัวใดบ้างที่เป็นน้ำตาลรีดิวิส \_\_\_\_\_
- กรดอะมิโนเชื่อมต่อกันเป็นโปรตีนด้วยพันธะ \_\_\_\_\_ ปฏิกริยาที่ให้พันธะนี้มีการเสียโมเลกุลของ \_\_\_\_\_ ออกไป
- การเชื่อมกรดอะมิโน 4-10 หน่วย ให้สารที่เรียก \_\_\_\_\_

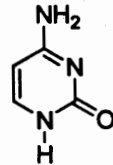
11. เลือกอักษรประจำโครงสร้างของเบสไนโตรเจน และเติมลงในหน้าชื่อเบสแต่ละตัวต่อไปนี้



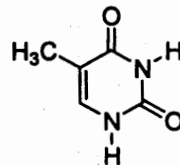
A



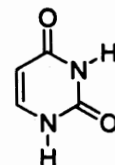
B



C



D



E

\_\_\_\_\_ Adenine

\_\_\_\_\_ Cytosine

\_\_\_\_\_ Guanine

\_\_\_\_\_ Thymine

\_\_\_\_\_ Uracil