

## แผนการบริหารการสอนประจำบทที่ 3

### 1) หัวข้อเนื้อหาประจำบท

1. อาหารและสารอาหาร
2. บทบาทของคาร์โบไฮเดรต
3. การจำแนกประเภทของคาร์โบไฮเดรต
4. น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide)
5. ความสำคัญของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทางชีวเคมี
6. สเตอริโอเคมีและคอนฟิกูเรชันของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว
7. โอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharide)
8. น้ำตาลโมเลกุลใหญ่ (Polysaccharide)
9. สรุป
10. แบบฝึกหัดท้ายบท
11. เอกสารอ้างอิง

### 2) วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. อธิบายบทบาทของคาร์โบไฮเดรตต่อร่างกายได้
2. จำแนกประเภทของคาร์โบไฮเดรตได้
3. อธิบายหน้าที่และความสำคัญของคาร์โบไฮเดรตแต่ละประเภทได้
4. เขียนโครงสร้างแบบเปิดและแบบวงปิดของคาร์โบไฮเดรตได้

### 3) วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนรู้การสอนประจำบท

1. บรรยายโดยใช้สไลด์ประกอบการสอน
2. อธิบายแลกเปลี่ยนความคิดเห็น
3. ยกกรณีศึกษาที่เกี่ยวข้องมาอภิปรายร่วมกัน
4. ทำแบบฝึกหัด

### 4) สื่อการเรียนการสอน

1. สไลด์ประกอบการสอน
2. เอกสารประกอบการบรรยาย
3. แบบฝึกหัด

### 5) การวัดและการประเมินผล

1. สังเกตจากความสนใจและการตอบคำถาม
2. ตรวจสอบจากแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

## บทที่ 3

### คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

**อาหาร (Foods)** หมายถึง สิ่งที่ร่างกายได้รับเข้าไปแล้วก่อให้เกิดประโยชน์ และไม่เป็นที่พิษต่อร่างกาย

**สารอาหาร (Nutrients)** หมายถึง องค์ประกอบย่อยเล็ก ๆ ทางเคมีที่มีอยู่ในอาหารต่าง ๆ แบ่งสารอาหารได้เป็น 6 ประเภท คือ

1. คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)
2. โปรตีน (Proteins)
3. ไขมัน (Lipid)
4. วิตามิน (Vitamin)
5. เกลือแร่ (Mineral)
6. น้ำ (Water)

สารอาหารทั้ง 6 ประเภทนี้ สามารถแบ่งออกได้เป็นกลุ่มใหญ่ ๆ 2 กลุ่ม คือ

1. **กลุ่มสารประกอบอินทรีย์ (Organic compound)** ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน
2. **กลุ่มสารประกอบอนินทรีย์ (Inorganic compound)** ได้แก่ วิตามิน เกลือแร่ และ น้ำ

คาร์โบไฮเดรตมาจากคำว่า “คาร์บอน + ไฮเดรต” แปลว่า คาร์บอนที่อิมตัวไปด้วยน้ำ ทั้งนี้จากสูตรโครงสร้างทั่วไปของคาร์โบไฮเดรตคือ  $(CH_2O)_n$  คาร์โบไฮเดรตสามารถแบ่งตามหมู่ฟังก์ชันได้ 2 กลุ่ม คือ สารประกอบแอลดีไฮด์ (aldehyde) และ สารประกอบคีโตน (ketone) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) เกาะอยู่จำนวนมาก จึงเรียกลักษณะสารประกอบกลุ่มนี้ว่า **พอลิไฮดรอกซีแอลดีไฮด์ (polyhydroxy aldehyde)** หรือ **พอลิไฮดรอกซีคีโตน (polyhydroxy ketone)** เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ทำให้โมเลกุลเกิดการวางตัวได้หลายแบบ และยังเกิดปฏิกิริยาและสร้างพันธะกับสารอื่น ๆ ได้ ดังนั้น คาร์โบไฮเดรตจึงมีความหลากหลายทางด้านโครงสร้าง ทำให้มีบทบาทต่อร่างกายได้หลายอย่างด้วย

#### 3.1 บทบาทของคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตมีธาตุหลัก 3 ธาตุ คือ CHO และ  $H : O = 2 : 1$  เหมือนน้ำ เป็นสารอาหารที่พบมากใน ข้าว แป้ง น้ำตาล เผือก มัน และพืชผักผลไม้ที่มีรสหวานให้ประโยชน์ต่อร่างกาย คือ

1. ให้พลังงานความอบอุ่นแก่ร่างกาย
2. ช่วยให้ร่างกายสามารถนำสารอาหารโปรตีนไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่
3. เป็นพลังงานสำรอง โดยเก็บสะสมไว้ตามเนื้อเยื่อต่างๆ
4. เป็นองค์ประกอบสำคัญของตับ ซึ่งเป็นอวัยวะสำคัญในการขจัดสารพิษในเลือด

คาร์โบไฮเดรตหนัก 1 กรัม สลายให้พลังงาน 4 แคลอรี (cal) (1 Kcal = ประมาณความร้อนที่ทำให้ให้น้ำบริสุทธิ์หนัก 1,000 กรัมมีอุณหภูมิเปลี่ยนไป  $1^{\circ}C$ ) 1 cal = ประมาณความร้อนที่ทำให้ให้น้ำบริสุทธิ์หนัก 1 กรัม มีอุณหภูมิเปลี่ยนไป  $1^{\circ}C$

$$1 \text{ Kcal} = 1,000 \text{ cal}$$

$$1 \text{ cal} = 4.19 \text{ จูล}$$

### 3.2 การจำแนกประเภทของคาร์โบไฮเดรต

สามารถแบ่งตามขนาดของโมเลกุลได้ 3 ประเภท คือ

**3.2.1 โมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide)** เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีขนาดโมเลกุลเล็กที่สุด สามารถผ่านเข้าสู่เซลล์ได้เลยโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการย่อยสลาย มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบตั้งแต่ 3 – 6 อะตอม เช่น น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุกโทส เป็นต้น

**3.2.2 โอลิโกแซคคาไรด์ (Disaccharide or Oligosaccharide)** เป็นน้ำตาลที่เกิดจากการรวมตัวของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 โมเลกุลเข้าด้วยกัน แล้วมีการปล่อยโมเลกุลของน้ำออกมาด้วย มีจำนวนคาร์บอนอะตอมอยู่ระหว่าง 2-10 อะตอม เช่น น้ำตาลซูโครส น้ำตาลมอลโทสและน้ำตาลแลคโทส เป็นต้น โดยน้ำตาลกลุ่มนี้มีรสหวาน ละลายน้ำได้

**3.2.3 พอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide)** เป็นคาร์โบไฮเดรตที่เกิดจากน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ตั้งแต่ 10 โมเลกุลขึ้นไปจนถึงหลาย ๆ ร้อยโมเลกุลมีสูตรทั่วไป  $(C_6H_{10}O_5)_n$  มีจำนวนคาร์บอนเป็นองค์ประกอบตั้งแต่ 100 – 30,000 อะตอม เช่น แป้ง (Starch) ไกลโคเจน (Glycogen) ไคติน (Chitin) เซลลูโลส (Cellulose) เป็นต้น

### 3.3 โมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide)

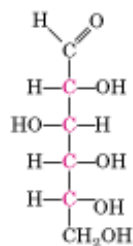
โมโนแซคคาไรด์ในธรรมชาติมีหลายชนิด จากแหล่งที่มาต่างชนิดกัน จึงจำเป็นต้องมีการจำแนกประเภทของโมโนแซคคาไรด์ โดยสามารถจำแนกชนิดของโมโนแซคคาไรด์ ตามหมู่ฟังก์ชันได้ ดังนี้

3.3.1 โมโนแซคคาไรด์ ที่ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซาลดีไฮด์ 1 หมู่ และหมู่ไฮดรอกซิลหลายหมู่ เรียกโมโนแซคคาไรด์ กลุ่มนี้ว่า “น้ำตาลอัลโดส” เช่น กลีเซอรอลดีไฮด์ (glyceraldehyde) และ กลูโคส (glucose)

3.3.2 โมโนแซคคาไรด์ ที่ประกอบด้วยหมู่คาร์บอนิล 1 หมู่ และหมู่ไฮดรอกซิลหลายหมู่ เรียกโมโนแซคคาไรด์ กลุ่มนี้ว่า “น้ำตาลคีโตส” เช่น ไรบูโลส (ribulose) และฟรุกโทส (fructose) ดังตัวอย่างในตารางที่ 3.1

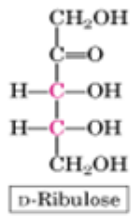
ในส่วนของ การเรียกชื่อโมโนแซคคาไรด์ นั้นมีหลักการดังนี้

- 1) สังเกตหมู่ฟังก์ชันว่าเป็นน้ำตาลกลุ่มอัลโดสหรือคีโตส หากเป็นอัลโดสให้ใช้คำว่า “อัลโด” นำหน้า ถ้าเป็นคีโตสให้ใช้คำว่า “คีโต” นำหน้า
- 2) นับจำนวนอะตอมของคาร์บอน โดยใช้คำอุปสรรคภาษากรีก (ตารางที่ 3.1)
- 3) แล้วลงท้ายชื่อด้วย “-ose” อ่านว่า “โอส” ตัวอย่างเช่น



D-Glucose

เป็นโมโนแซคคาไรด์ ที่มีหมู่ฟังก์ชัน “คาร์บอกซาลดีไฮด์” มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนเท่ากับ 6 อะตอม อ่านว่า “อัลโดเฮกโซส” (aldohexose)



เป็นโมโนแซคคาไรด์ ที่มีหมู่ฟังก์ชัน “คาร์บอนิล” มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนเท่ากับ 5 อะตอม อ่านว่า “คีโตเพนโทส” (ketopentose)

ตารางที่ 3.1 ชื่อและตัวอย่างโมโนแซคคาไรด์ตามจำนวนคาร์บอนอะตอมและหมู่ฟังก์ชัน

จำนวนคาร์บอน	น้ำตาล	ตัวอย่างน้ำตาลอัลโดส	ตัวอย่างน้ำตาลคีโตส
3	ไตรโอส (triose)	กลีเซอรอลดีไฮด์ (glyceraldehyde)	ไดไฮดรอกซีอะซิโตน (dihydroxyacetone)
4	เตโตรส (tetrose)	อีรีโทรส (erythrose)	อีรีทรูโลส (erythrulose)
5	เพนโทส (pentose)	ไรโบส (ribose)	ไรบูลูโลส (ribulose)
6	เฮกโซส (hexose)	กลูโคส (glucose)	ฟรุคโทส (fructose)
7	เฮปโทส (heptose)	-	-

### 3.4 ความสำคัญของโมโนแซคคาไรด์ทางชีวเคมี

โมโนแซคคาไรด์ทั้งเพนโทสหรือเฮกโซสมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และ

3.3

ตารางที่ 3.2 แหล่งที่พบและความสำคัญของน้ำตาลเพนโทส

น้ำตาล	แหล่งที่พบ	ความสำคัญทางชีวเคมี
ไรโบส (ribose)	กรดนิวคลีอิก (nucleic acid) และเป็นสารตัวกลางในกระบวนการเมแทบอลิซึม	เป็นองค์ประกอบในสายพอลินิวคลีโอไทด์ (polynucleotide) และโคเอนไซม์ เช่น ATP, NADP, NAD <sup>+</sup> และ ฟลาโวโปรตีน (flavoprotein)
ไรบูลูโลส (ribulose)	สารตัวกลางในกระบวนการเมแทบอลิซึม	สารตัวกลางวิถีเพนโทสฟอสเฟต (pentose phosphate pathway)
อะราบินอส์ (arabinose)	ยางของต้นไม้	ส่วนประกอบของไกลโคโปรตีน (glycoprotein)
ไซโลส (xylose)	ยางของต้นไม้โปรทีโอไกลแคน (proteoglycan) และไกลโคสะมิโนไกลแคน (glycosaminoglycan)	ส่วนประกอบของไกลโคโปรตีน (glycoprotein)
ไซลูลูโลส (xylulose)	สารตัวกลางในกระบวนการเมแทบอลิซึม	พบในปัสสาวะของคนที่เป็นโรค essential pentosuria ซึ่งเป็นโรคพันธุกรรมที่ขาดเอนไซม์ในการรีดิวซ์น้ำตาลไซลูลูโลสให้เป็นไซลิตอล (xylitol)

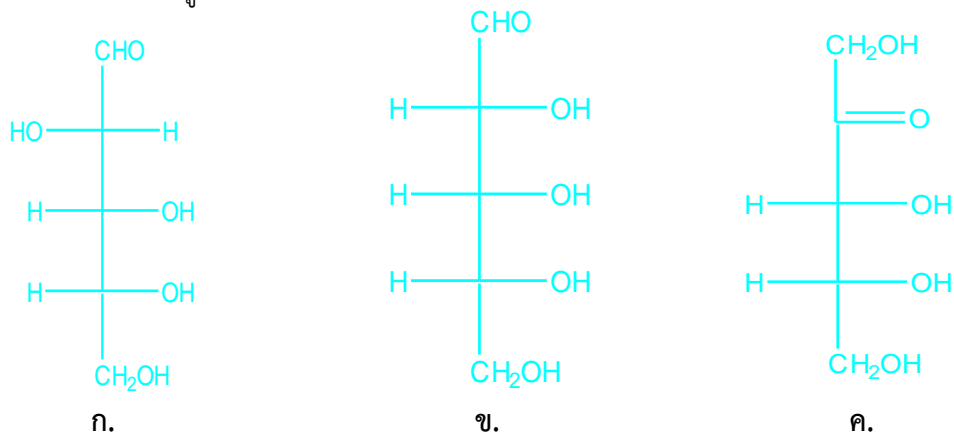
ตารางที่ 3.3 แหล่งที่พบและความสำคัญของน้ำตาลเฮกโซส

น้ำตาล	แหล่งที่พบ	ความสำคัญทางชีวเคมี
กลูโคส (glucose)	น้ำผลไม้ การย่อยสลายแป้ง น้ำตาลอ้อย น้ำตาลมอลโทส	เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญให้กับเนื้อเยื่อต่าง ๆ โดยถูกส่งไปตามกระแสเลือด (blood sugar)
ฟรุกโตส (fructose)	น้ำผลไม้ น้ำผึ้ง การย่อยสลายน้ำตาลอ้อย และอินูลิน (inulin)	ถูกเปลี่ยนเป็นกลูโคสหรือใช้เป็นพลังงานโดยตรง
กาแลคโตส (galactose)	การสลายน้ำตาลแลคโตส (lactose) จากน้ำนม	ถูกเปลี่ยนเป็นกลูโคสระดับ สร้างได้ที่ต่อมน้ำนมเพื่อเปลี่ยนเป็นแลคโตส และเป็นส่วนประกอบของไกลโคลิพิดและไกลโคโปรตีน
แมนโนส (mannose)	ได้จากการสลายสารแมนแนน (mannan) และยงไม้จากพืช	เป็นส่วนประกอบของไกลโคโปรตีน

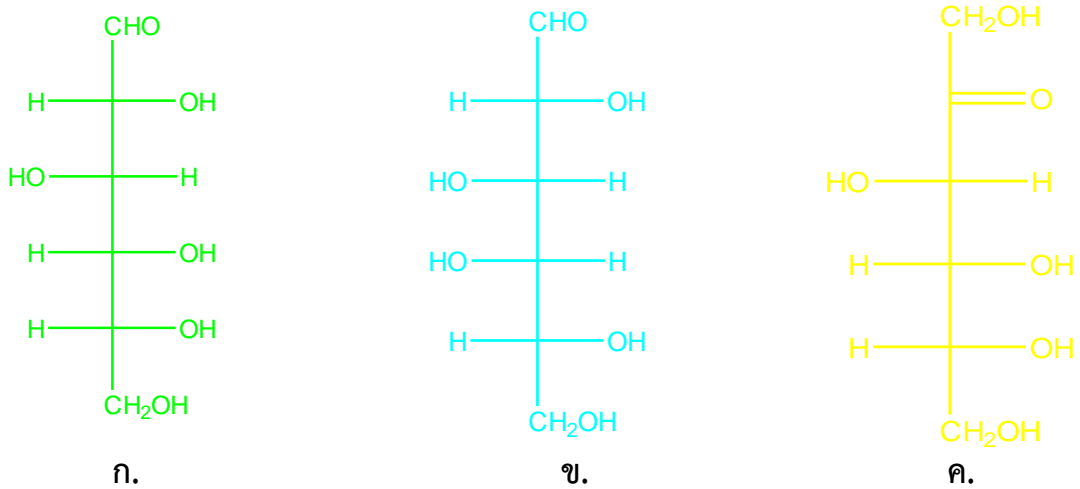
### 3.5 สเตอริโอเคมีและคอนฟิกูเรชันของโมโนแซคคาไรด์

#### 3.5.1 สูตรโครงสร้างแบบฟิชเชอร์

Emil Fisher นักเคมีอินทรีย์ผู้เชี่ยวชาญทางวิชาเคมีของคาร์โบไฮเดรต ได้คิดค้นการเขียนสูตรโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรตขึ้น จึงเรียกว่าสูตรฟิชเชอร์โปรเจกชันหรือสูตรภาพฉายแบบฟิชเชอร์ (Fischer projection formula) โดยใช้เส้นตัด (cross formulation) แสดงทิศทางรอบ ๆ ไครัลคาร์บอน ตามสูตรนี้อะตอมหรือหมู่อะตอมที่อยู่บนเส้นในแนวนอนทั้งทางซ้ายและขวาของไครัลคาร์บอนมีทิศทางชี้เข้าหาผู้อ่าน ส่วนอะตอมหรือหมู่อะตอมที่อยู่บนเส้นในแนวตั้งทั้งบนและล่างของไครัลคาร์บอนมีทิศทางชี้เข้าหากระดาษ (รูปที่ 3.1 และ 3.2)



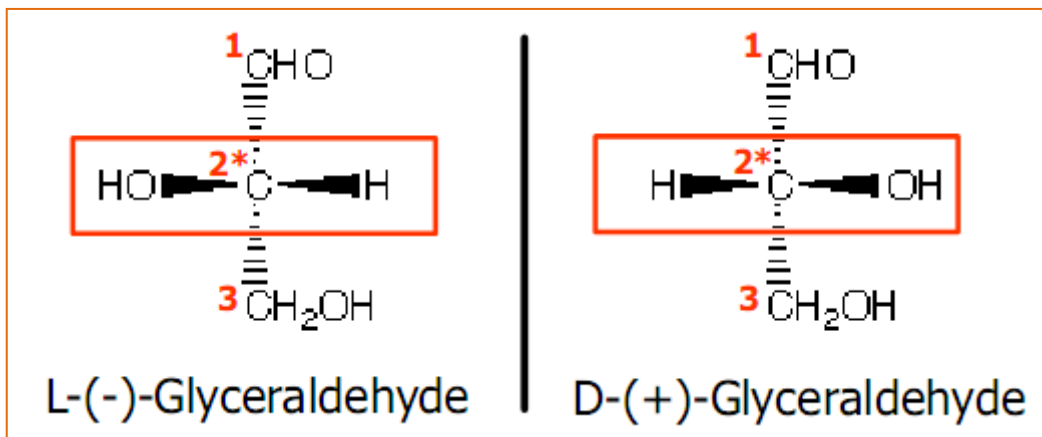
รูปที่ 3.1 สูตรโครงสร้างแบบฟิชเชอร์ของ (ก) น้ำตาลไรโบส  
(ข) น้ำตาลอะราบินโนส และ  
(ค) น้ำตาลไรบูโลส



รูปที่ 3.2 สูตรโครงสร้างแบบฟิชเฟอร์ของ (ก) น้ำตาลกลูโคส  
 (ข) น้ำตาลกาแลคโตส และ  
 (ค) น้ำตาลฟรักโตส

### 3.5.2 โครงสร้างแบบ D / L

คอนฟิกูเรชันแบบ D/L (D/L configurations) นั้น เริ่มต้นจากการศึกษาโมโนแซ็กคาไรด์ที่เล็กที่สุดคือกลีเซอรอลดีไฮด์ ซึ่งมีสูตรเป็น  $\text{HOCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CHO}$  จะเห็นว่าในโมเลกุลมีคาร์บอน 3 อะตอม โดยมีหมู่แอลดีไฮด์ 1 หมู่ หมู่ไฮดรอกซิล 2 หมู่ ดังนั้นคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 จึงเป็นไครัลคาร์บอน ทำให้มีสเตอริโอไอโซเมอร์ 2 แบบ ซึ่งทั้งสองแบบเป็นอแนนทิโอเมอร์กัน แสดงด้วยฟิชเซอร์โปรเจกชันได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 โครงสร้าง D/L ของกลีเซอรอลดีไฮด์

โดย \* คือ ไครัลคาร์บอน

ที่มา:

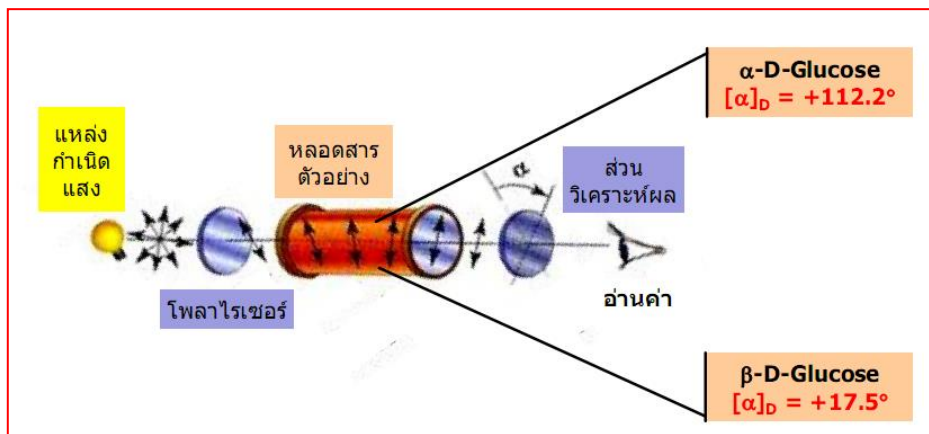
[http://www.si.mahidol.ac.th/department/biochemistry/home/md/lecture/carbohydrate\\_chemistry\\_&%20\\_structure.pdf](http://www.si.mahidol.ac.th/department/biochemistry/home/md/lecture/carbohydrate_chemistry_&%20_structure.pdf)

โดยสารประกอบทั้งสองถูกนำมาใช้เป็นมาตรฐานทางโครงสร้าง (configurational Standard) ซึ่งนำมาใช้กับโมโนแซ็กคาไรด์ทุกชนิดดังนี้

โมโนแซ็กคาไรด์ที่มีโครงแบบ D หมายถึง โมโนแซ็กคาไรด์ ที่มีสเตอริโอเคมีที่ไครัลคาร์บอนซึ่งอยู่ไกลที่สุดจากหมู่ฟอร์มิล หรือ หมู่คาร์บอนิลเหมือนกับ D - (+) - Glyceraldehydes นั่นคือ มีหมู่ -OH อยู่ทางขวาของไครัลคาร์บอนตัวสุดท้าย และมีการหมุนแสงโพลาไรซ์ไปทางขวามือ (D ย่อมาจาก Dextro คือ ขวามือ, (+) คือ หมุนแสงโพลาไรซ์ไปทางขวามือ)

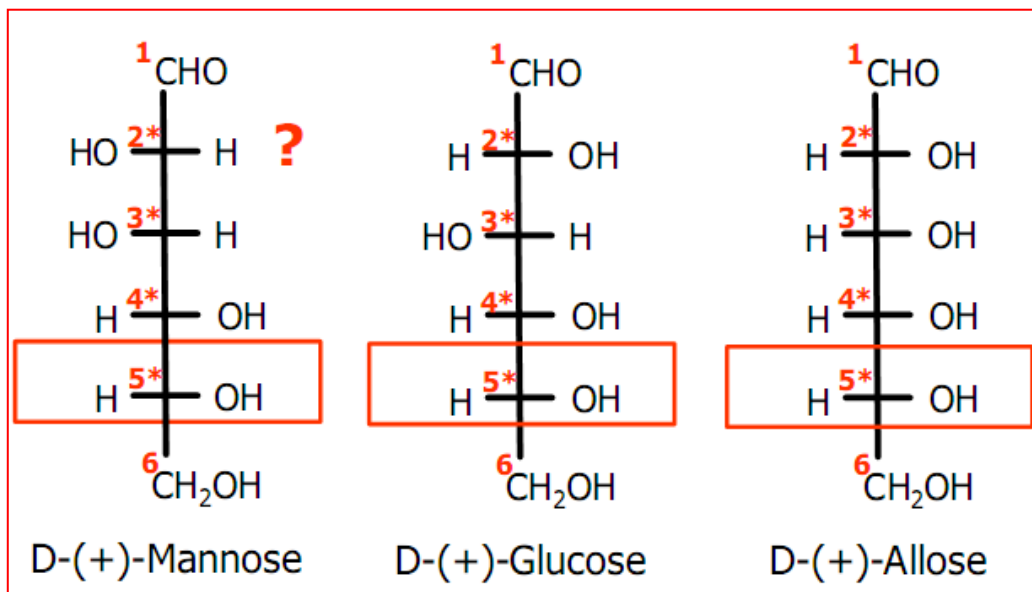
โมโนแซ็กคาไรด์ที่มีโครงแบบ L หมายถึง โมโนแซ็กคาไรด์ที่มีสเตอริโอเคมีที่ไครัลคาร์บอนซึ่งอยู่ไกลที่สุดจากหมู่ฟอร์มิล หรือ หมู่คาร์บอนิลเหมือนกับ L - (+) - Glyceraldehydes นั่นคือ มีหมู่ -OH อยู่ทางซ้ายของไครัลคาร์บอนตัวสุดท้าย (L ย่อมาจาก Levo คือ ซ้ายมือ)

โมโนแซ็กคาไรด์ธรรมชาติส่วนใหญ่มีโครงแบบเป็นแบบ D ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และ 3.6



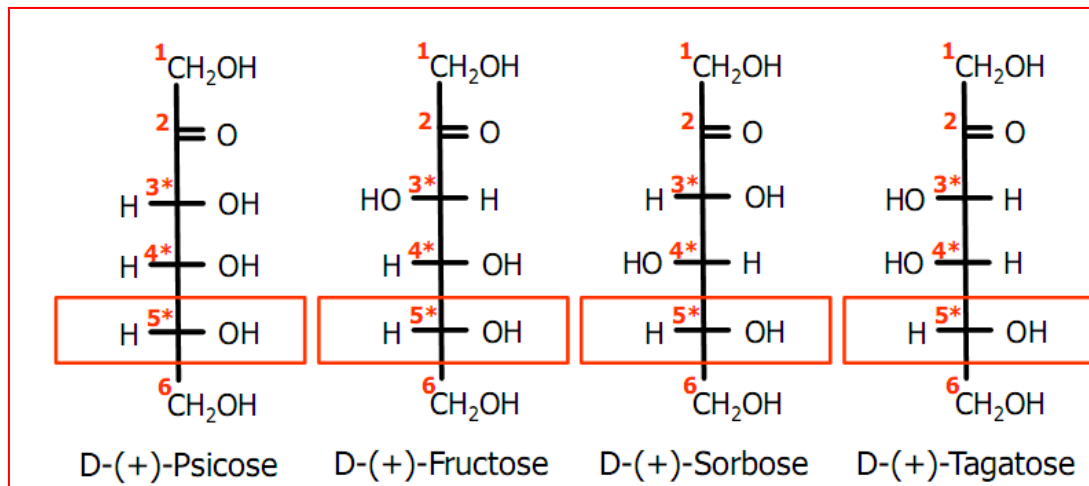
รูปที่ 3.4 องค์ประกอบของเครื่องโพลาไรมิเตอร์

ที่มา: <http://www.The polarimeter. htm>



รูปที่ 3.5 โครงสร้าง D/L ของน้ำตาลอัลโดเฮกโซส

ที่มา: <https://www.masterorganicchemistry.com/2017/05/24/d-and-l-sugars/>

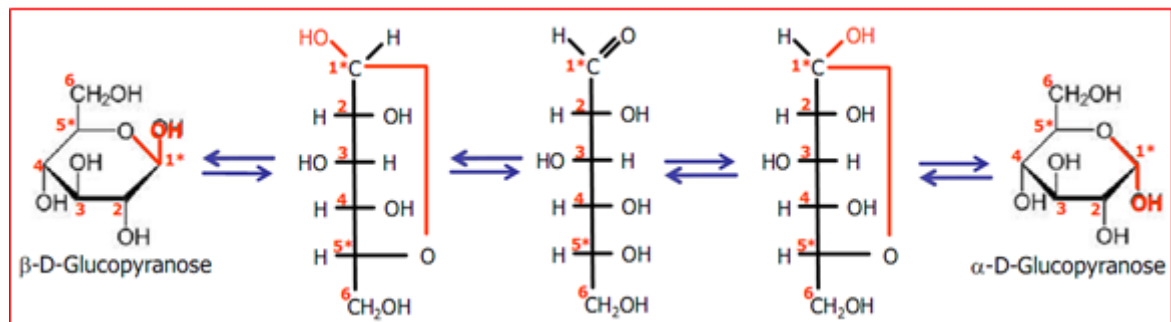


รูปที่ 3.6 โครงสร้าง D/L ของน้ำตาลคีโตเฮกโซส

ที่มา: <https://www.masterorganicchemistry.com/2017/05/24/d-and-l-sugars/>

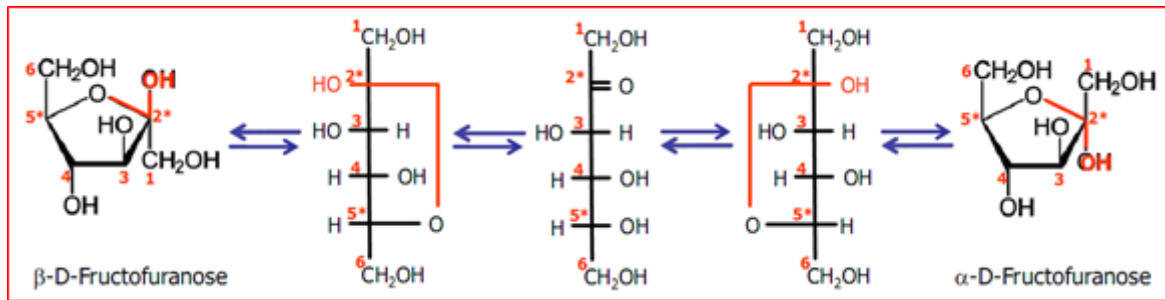
### 3.5.3 โครงสร้างแบบวงแหวน

โมโนแซคคาไรด์ที่มีจำนวนคาร์บอน 5 อะตอมขึ้นไปสามารถเกิดโครงสร้างแบบวงแหวนได้ (โครงสร้างฮาเวิร์ธ; Haworth Projection) โดยสารกลุ่มน้ำตาลอัลโดสจะเกิดปฏิกิริยา “เฮมิอะซิทาล” ส่วนสารกลุ่มน้ำตาลคีโตส จะเกิดปฏิกิริยา “เฮมิจีทาล” ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) และหมู่คาร์บอนิล (-CO) ของน้ำตาล และการเกิดวงแหวนนี้สามารถเกิดแบบผันกลับได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.7ก. และ 3.7ข.



ก.



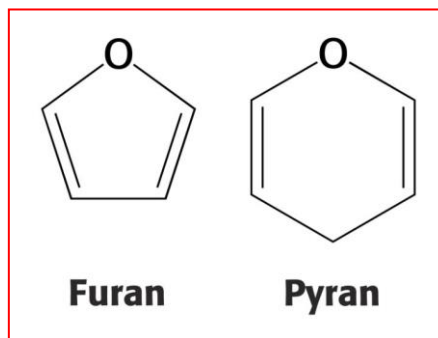


ข.

รูปที่ 3.7 การเกิดปฏิกิริยาเฮมิอะซิตาลและเฮมิตีตาล ก. น้ำตาลกลูโคส  
ข. น้ำตาลฟรักโทส

ที่มา: [https://il.mahidol.ac.th/e-media/biomolecule/chapter2\\_2.html](https://il.mahidol.ac.th/e-media/biomolecule/chapter2_2.html)

จะเห็นว่าโครงสร้างแบบฮาร์เวิร์ทโปรเจ็คชั่นจะมีออกซิเจนในวง ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับสารฟิวแรน (Furan) และไพแรน (Pyran) ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 โครงสร้าง Furan และ Pyran

ที่มา: <http://www.namrata.co/chemistry-of-carbohydrates-lecture-3-ring-structures-and-mutarotation/>

ดังนั้นเมื่อโมโนแซคคาไรด์เกิดเป็นวงขนาด 5 อะตอมจึงเรียกว่า โครงสร้างแบบฟิวราโนส (furanose) และวงขนาด 6 อะตอมจึงเรียกว่า โครงสร้างแบบไพราโนส (pyranose)

การเรียกชื่อโมโนแซคคาไรด์ที่มีโครงสร้างที่เป็นวง ให้ตัด -se ท้ายชื่อของโมโนแซคคาไรด์ แล้วเติมคำว่า ฟิวราโนส สำหรับวงขนาด 5 อะตอม และ ไพราโนส สำหรับ วงขนาด 6 อะตอม

อาหารในธรรมชาติส่วนใหญ่จะพบสารกลุ่มที่มีคาร์บอน 6 อะตอม มีสูตรโมเลกุล คือ  $C_6H_{12}O_6$  เช่น น้ำตาลกลูโคส ฟรักโทส และกาแลคโตส

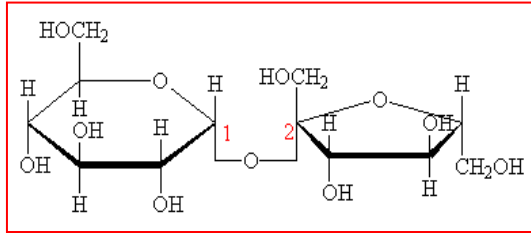
### 3.6 โอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharide)

โอลิโกแซคคาไรด์ เกิดจากโมโนแซคคาไรด์ตั้งแต่ 2 โมเลกุลขึ้นไปมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ซึ่งโดยทั่วไปมีจำนวนโมโนแซคคาไรด์ไม่เกิน 10 โมเลกุล

#### 3.6.1 ไดแซคคาไรด์ (Disaccharide)

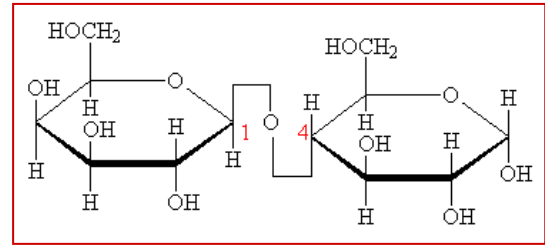
เป็นกลุ่มน้ำตาลที่พบมากที่สุดในชีวิตประจำวัน ที่สำคัญได้แก่ ซูโครส (sucrose) แลคโตส (lactose) และ มอลโตส (maltose) มีโครงสร้างดังรูปที่ 3.9 ไดแซคคาไรด์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

น้ำตาลไมรีติวซ์ (non-reducing sugar) และน้ำตาลรีติวซ์ (reducing sugar) ความแตกต่างของน้ำตาล 2 ประเภทนี้สังเกตได้จากหมู่ไฮดรอกซิลอิสระที่คาร์บอนอะโนเมอร์ (reducing end) จึงถูกออกซิไดซ์หรือเกิดปฏิกิริยา



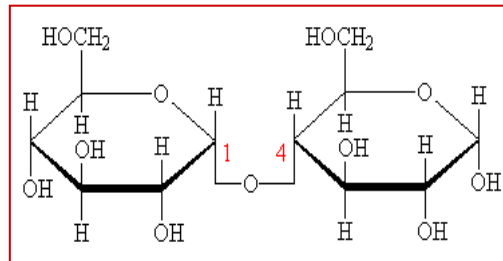
Sucrose

$\alpha$ -D-Glucopyranosyl-  
(1 $\rightarrow$ 2)- $\beta$ -D-fructofuranoside



Lactose

$\beta$ -D-Galactopyranosyl-  
(1 $\rightarrow$ 4)-D-glucopyranose



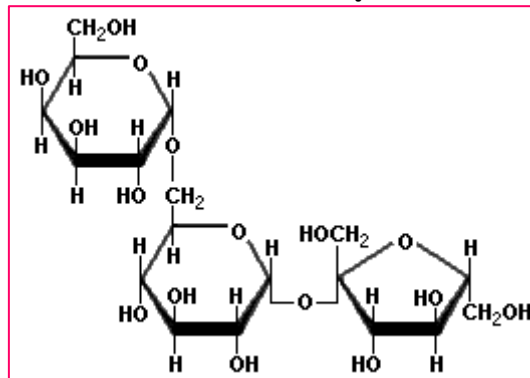
Maltose

$\alpha$ -D-Glucopyranosyl-  
(1 $\rightarrow$ 4)-D-glucopyranose

### รูปที่ 3.9 โครงสร้างของไดแซคคาไรด์

#### 3.6.2 ไตรแซคคาไรด์ (Trisaccharide)

เป็นน้ำตาลที่เกิดจากโมโนแซคคาไรด์ 3 โมเลกุล มาต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ที่พบในธรรมชาติ เช่น ราฟฟิโนส ซึ่งประกอบด้วยกาแลกโตส กลูโคสและฟรักโตส (รูปที่ 3.10) อย่างละ 1 โมเลกุล น้ำตาลชนิดนี้พบในหัวบีท อ้อย และพืชชั้นสูง ไตรแซคคาไรด์อีกชนิดหนึ่งคือ เมเลซิโทส พบในพืชกลุ่มคอนิเฟอรัส (coniferous) เป็นน้ำตาลที่เกิดจากกลูโคส ฟรักโตสและกลูโคส มาต่อกัน



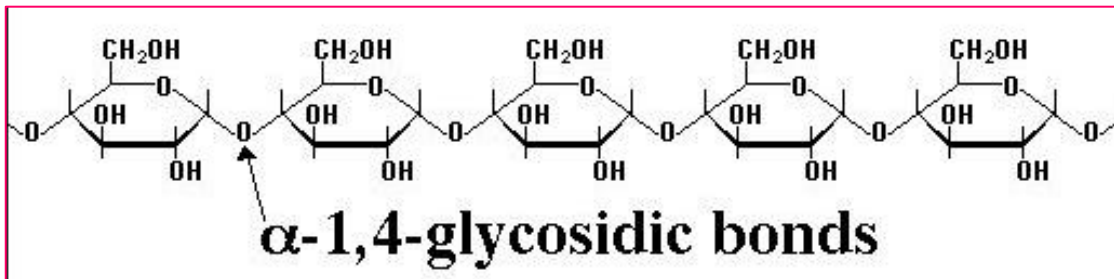
รูปที่ 3.10 โครงสร้างน้ำตาลราฟฟิโนส ที่มา: ดาวัลย์. (2558)

### 3.7 พอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide)

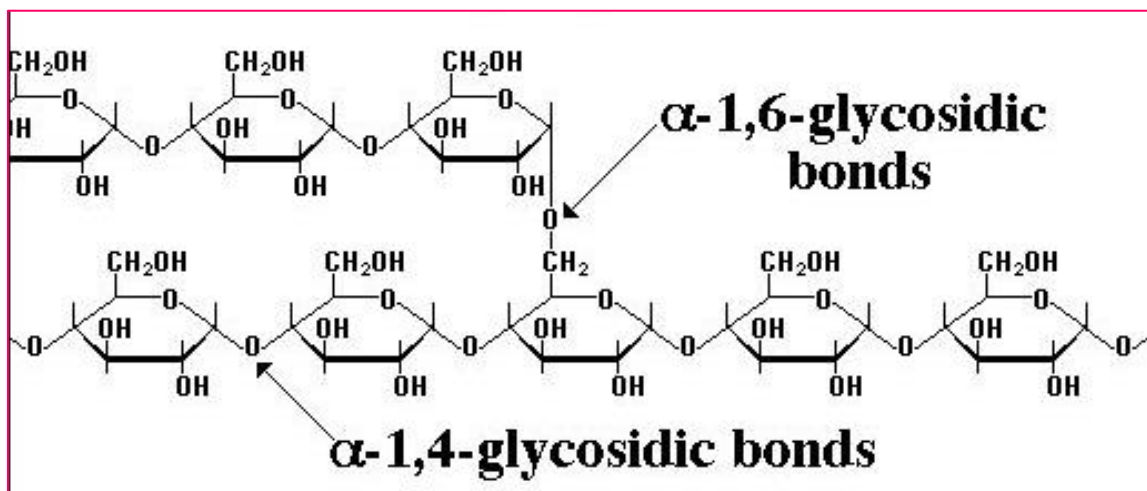
พอลิแซคคาไรด์สามารถเรียกอีกชื่อได้ว่า “ไกลแคน (glycan)” ประกอบด้วยโมโนแซคคาไรด์จำนวนมากมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ เราสามารถแบ่งพอลิแซคคาไรด์ตามหน้าที่ได้ 2 พวกใหญ่ ๆ คือ พวกที่ให้พลังงาน และพวกที่เป็นโครงสร้างของสิ่งมีชีวิต หากแบ่งตามโครงสร้างของสารสามารถแบ่งออกได้อีก 2 ประเภทคือ โฮโมพอลิแซคคาไรด์ และ เฮเทอโรพอลิแซคคาไรด์

#### 3.7.1 โฮโมพอลิแซคคาไรด์ (homopolysaccharide)

เกิดจากหน่วยย่อยของน้ำตาลเพียงชนิดเดียวต่อกันเป็นสายยาว อาจเป็นเส้นตรงหรือแตกแขนงก็ได้ เช่น แป้ง (starch) ไกลโคเจน (glycogen) อินูลิน (inulin) เดกซ์ทรีน (dextrin) เซลลูโลส และ ไซโตทิน เป็นต้น 1) แป้ง (starch) คือผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช เป็นแหล่งสะสมพลังงานของพืช พบมากในพืชประเภทหัว เช่น เผือกและมัน ในธัญพืช เช่น ข้าว ถั่ว เป็นต้น แป้งมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า กลูโคแซน (glucosan) หรือ กลูแคน (glucan) เนื่องจากเกิดจากโมโนแซคคาไรด์ชนิด กลูโคสเป็นอย่างเดียวยกเว้นโมเลกุล ทั้งนี้แป้งที่ได้มานั้นเกิดจากการตัวของสาร 2 ส่วน คือ ส่วนที่เรียกว่า อะไมโลส (amylose) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบสายยาวไม่แตกแขนง (รูปที่ 3.11) พบประมาณร้อยละ 15 – 20 อีกส่วนเรียกว่า อะไมโลเพกติน (amylopectin) ซึ่งเป็นโครงสร้างมีแขนง พบประมาณร้อยละ 80 – 85 (รูปที่ 3.12)

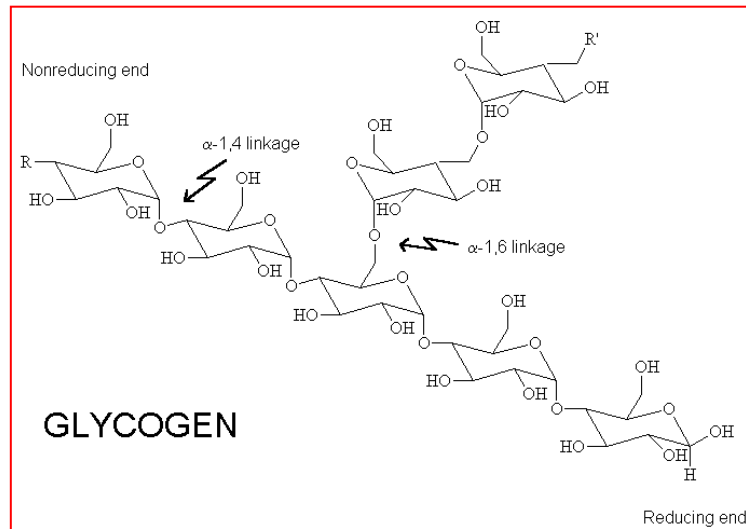


รูปที่ 3.11 โครงสร้างของอะไมโลส ที่มา: ดาวัลย์. (2558)



รูปที่ 3.12 โครงสร้างของอะไมโลเพกติน ที่มา: ดาวัลย์. (2558)

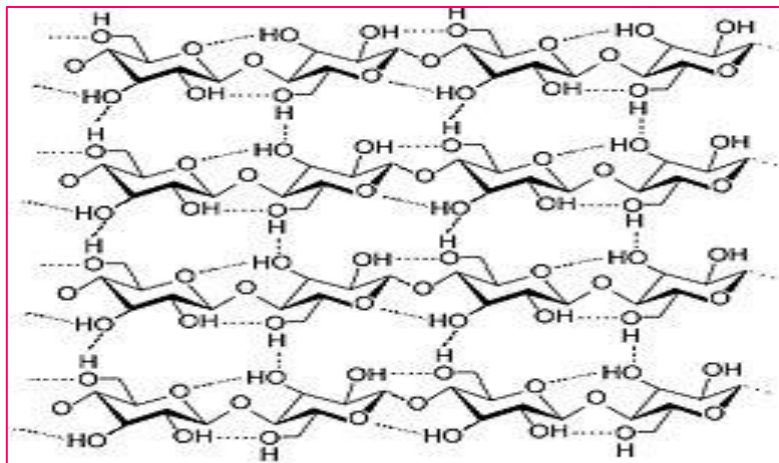
2) ไกลโคเจน (glycogen) เป็นคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ที่พบสะสมในตับ และกล้ามเนื้อของสัตว์ ไม่พบในพืชและผลไม้ เป็นอาหารสะสมสำคัญในสัตว์เมื่อร่างกายต้องการกลูโคส ไกลโคเจนจะถูกลายตัวให้กลูโคสออกมาสู่กระแสเลือด เพื่อส่งไปหล่อเลี้ยงสมองและเซลล์ต่าง ๆ ของร่างกาย ไกลโคเจนมีขนาดโมเลกุลใหญ่มากมีลักษณะคล้ายกิ่งไม้ ซึ่งเกิดจากกลูโคสหลาย ๆ ร้อยโมเลกุลมารวมตัวกัน (รูปที่ 3.13)



รูปที่ 3.13 โครงสร้างของไกลโคเจน ที่มา: ดาวัลย์. (2558)

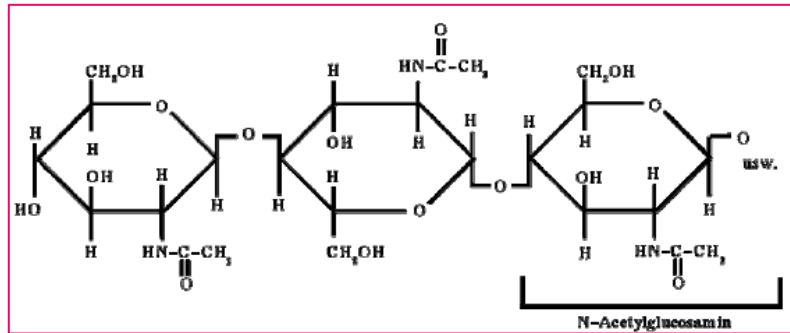
3) เดกซ์ทริน เป็นสายน้ำตาลโมเลกุลใหญ่ที่พบในพวกยีสต์และแบคทีเรีย ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสที่มีพันธะแบบ  $\alpha(1 \rightarrow 6)$  เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นยังพบแบบ  $\alpha(1 \rightarrow 2)$ ,  $\alpha(1 \rightarrow 3)$  หรือ  $\alpha(1 \rightarrow 4)$  บ้างขึ้นกับชนิดของแบคทีเรียและยีสต์

4) เซลลูโลส เป็นโครงสร้างหลักที่พบในผนังเซลล์ของพืช ผลิตภัณฑ์จากเซลลูโลสที่พบ เช่น กระดาษ และสำลี เป็นต้น โครงสร้างเกิดจากน้ำตาลกลูโคสประเภท  $\beta$ -กลูโคส ต่อกันเป็นสายยาวไม่แตกแขนง เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\beta(1 \rightarrow 4)$  (รูปที่ 3.14) ทำให้เซลลูโลสมีความแข็งแรงมากเกิดเป็นโครงสร้างทุติยภูมิ (secondary structure) นอกจากนั้นยังพบพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายของเซลลูโลสอีกด้วย



รูปที่ 3.14 โครงสร้างของเซลลูโลส ที่มา: ดาวัลย์. (2558)

5) ไคติน เป็นส่วนประกอบหลักของโครงสร้างแข็งภายนอกของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น กุ้ง ปู แคนหมึก และแมลง เป็นต้น มีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลสแต่เกิดจากหน่วยย่อยของ N-acetyl-D-glucosamine (ดังรูปที่ 3.15) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะชนิด  $\beta(1\rightarrow4)$

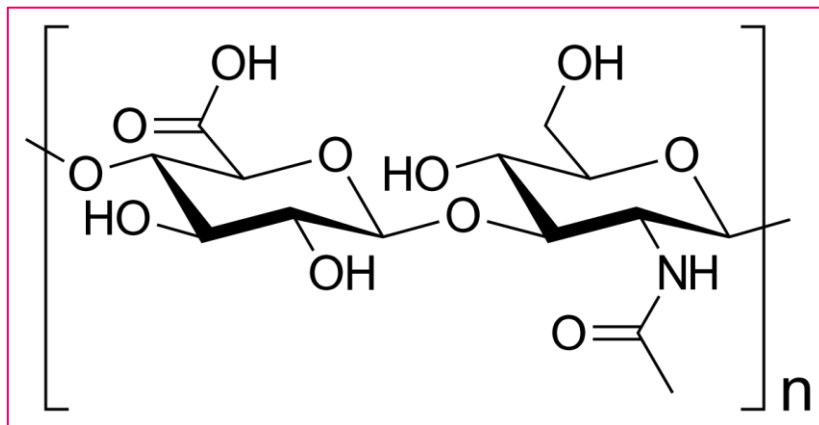


รูปที่ 3.15 โครงสร้างของไคติน ที่มา: ดาวัลย์. (2558)

### 3.7.2 เฮเทอโรพอลิแซคคาไรด์ (heteropolysaccharide)

เฮเทอโรพอลิแซคคาไรด์ เกิดจากน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดต่างกันตั้งแต่ 2 โมเลกุลขึ้นไปต่อกันเป็นสายยาว เช่น ไกลโคสะมิโนไกลแคน และ ไกลโคโปรตีน เป็นต้น

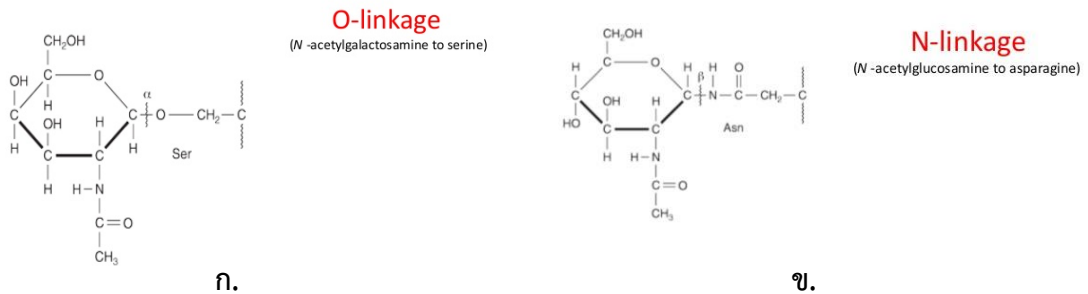
1) ไกลโคสะมิโนไกลแคน เป็นน้ำตาลโมเลกุลใหญ่ที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำ (repeating unit) คือน้ำตาลโมเลกุลคู่สลับกันไปมาระหว่างน้ำตาลอะมิโนและกรดยูริกของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ น้ำตาลอะมิโนส่วนใหญ่เป็น N-acetylglucosamine (GlcNAc) หรือ N-acetylgalactosamine (GalNAc) ส่วนกรดยูริกที่พบมากที่สุดได้แก่ D-glucuronic acid (GlcA) หรือ L-iduronic acid (IdoA) (รูปที่ 3.16) นอกจากนี้ไกลโคสะมิโนไกลแคนยังทำหน้าที่เป็นผนังเซลล์ของแบคทีเรียพวก *Staphylococcus aureus* ซึ่งมีความสำคัญในการกำหนดสมบัติของตัวแบคทีเรียเอง และในการออกฤทธิ์ยับยั้งชีวิตของบางชนิด



รูปที่ 3.16 หน่วยย่อยในโครงสร้างไกลโคสะมิโนไกลแคน ที่มา: ดาวัลย์. (2558)

2) ไกลโคโปรตีน

ไกลโคโปรตีน หรือเรียกอีกอย่างว่า มิวโคโปรตีน (mucoprotein) เป็นโปรตีนที่เชื่อมต่ออยู่กับโอลิโกแซคคาไรด์ที่ส่วนใหญ่มีโครงสร้างแตกแขนง พบโดยทั่วไปบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ด้านนอก คาร์โบไฮเดรตเหล่านี้อาจเกาะอยู่กับอะตอมของออกซิเจนของกรดอะมิโนเซอรีน (ser, Ser) หรือ ทรีโอนีน (threonine, Thr) ผ่านพันธะ O-glycosidic bond หรืออาจเกาะกับอะตอมไนโตรเจนของกรดอะมิโนแอสพาราจีน (asparagine, Asn) ผ่าน N-glycosidic linkage (รูปที่ 3.17)

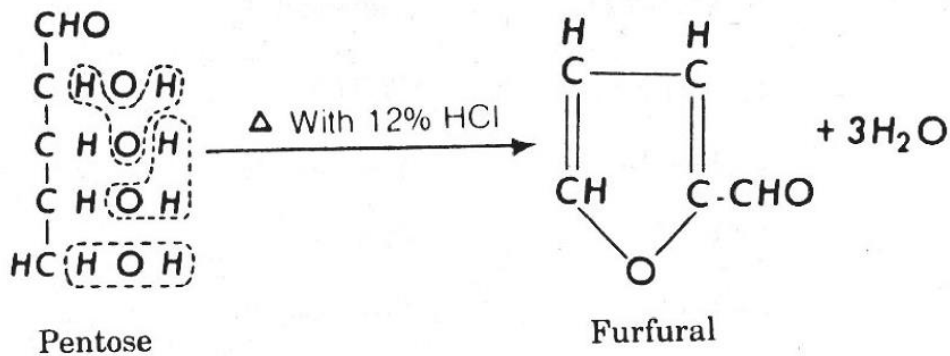


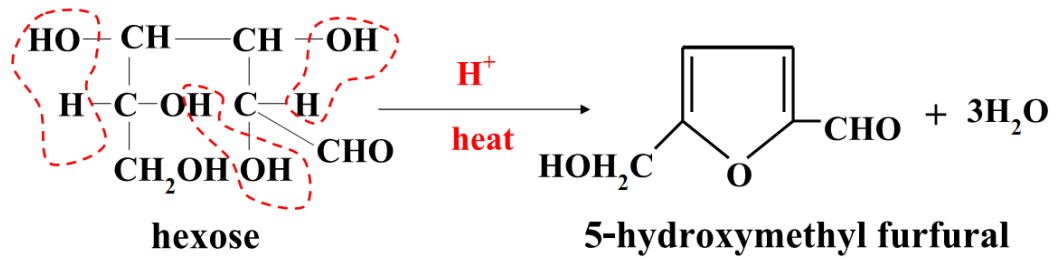
รูปที่ 3.17 พันธะไกลโคซิดิกที่เชื่อมโอลิโกแซคคาไรด์กับโปรตีน  
 ก. O-linkage  
 ข. N-linkage

3.8 บทปฏิบัติการการทดสอบคาร์โบไฮเดรต

3.8.1 การทดสอบโมลิสซ์ (Molisch's test)

**หลักการ** การทดสอบโมลิสซ์ เป็นวิธีการทดสอบน้ำตาลทั่ว ๆ ไป โดยใช้กรดเข้มข้นตั้งน้ำออกจากน้ำตาลเพนโตสและเฮกโซส กลายเป็นเฟอูฟิวรัลและไฮดรอกซีเมทิลเฟอูฟิวรัล ตามลำดับ ดังสมการ





ในกรณีของเฮกโซส ถ้าเป็นอัลโดเฮกโซสจะได้อนุพันธ์เฟอพิวรัลประมาณ 1% ของที่ควรจะได้ตามทฤษฎีและถ้าเป็นคีโตเฮกโซสจะได้อนุพันธ์เฟอพิวรัล 20-25% ของที่ควรได้ตามทฤษฎี เมื่อให้เฟอพิวรัลหรืออนุพันธ์ไฮดรอกซีเมทิลเฟอพิวรัลรวมกับแอลฟาแนพทอล ( $\alpha$ -naphthol) (ในน้ำยาโมลิสซ์) จะให้สารสีชมพูจนถึงม่วง

### 3.8.2 การทดสอบเซลิวานอฟฟ์ (Seliwanoff's test)

**หลักการ** การทดสอบเซลิวานอฟฟ์เป็นการทดสอบน้ำตาลคีโตสแบบฟูราโนสเมื่อต้มน้ำตาลในกรดเกลือเข้มข้น 10-20% น้ำตาลคีโตสแบบฟูราโนสจะเปลี่ยนเป็นอนุพันธ์เฟอพิวรัลได้เร็วกว่าน้ำตาลอัลโดสแบบไพราโนส ซึ่งจะรวมกับบริซอร์ซินอล (Resocinol) (ในน้ำยาเซลิวานอฟฟ์) ได้สารสีส้มแดง กลูโคสหรือน้ำตาลอื่น ๆ ปริมาณมากอาจเกิดสารสีคล้ายกันนี้

### 3.8.3 การทดสอบไบอัล (Bial's test)

**หลักการ** การทดสอบไบอัลเป็นการทดสอบน้ำตาลเพนโตสหรือเพนโตซาน เมื่อต้มน้ำตาลเพนโตสกับกรดเข้มข้น จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้ออกจากน้ำตาล กลายเป็นเฟอพิวรัลซึ่งเมื่อรวมกับออร์ซินอลในสารละลายเฟอริริกคลอไรด์ (ในน้ำยาไบอัล) จะได้สารสีเขียวอมน้ำเงิน

### 3.8.4 การทดสอบเบนเนดิกต์ (Benedict's test)

**หลักการ** การทดสอบเบนเนดิกต์เป็นการทดสอบโมโนแซ็กคาไรด์ และรีดิวซิงไดแซ็กคาไรด์โดยอาศัยสมบัติที่ว่าหมู่อัลดีไฮด์หรือหมู่แอลฟาไฮดรอกซีคีโตนในน้ำตาล สามารถรีดิวซ์น้ำยาเบนเนดิกต์ให้กลายเป็นคิวปรัสออกไซด์

### 3.8.5 การทดสอบน้ำตาลรีดิวซ์จากการสลายโพลีแซ็กคาไรด์

**หลักการ** โพลีแซ็กคาไรด์ประกอบด้วยหมู่รีดิวซ์หนึ่งหมู่จากหน่วยย่อย 100 หน่วยหรือมากกว่านั้นจึงไม่แสดงสมบัติรีดิวซ์ แต่ถ้านำโพลีแซ็กคาไรด์ไปสลายด้วยกรดหรือเอนไซม์จะได้โมโนแซ็กคาไรด์ ซึ่งแสดงสมบัติรีดิวซ์

### 3.8.6 การทดสอบไอโอดีน

**หลักการ** การทดสอบไอโอดีนเป็นการทดสอบแป้งและไกลโคเจน เมื่อให้แป้งทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีน จะได้สารสีม่วง น้ำเงิน ส่วนไกลโคเจนและแป้งที่สลายโมเลกุลเล็กลง เมื่อทำปฏิกิริยากับไอโอดีน จะได้สารสีน้ำตาลแดง และสีม่วงแดงตามลำดับ



### 3.9 สรุป

คาร์โบไฮเดรตสร้างจากหน่วยย่อยที่เรียกว่าน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งมีความหลากหลายทั้งในด้านโครงสร้าง จำนวนคาร์บอนอะตอม ขนาดและโครงแบบ (configuration) น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวยังสามารถเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเคมีเกิดเป็นพอลิเมอร์ต่าง ๆ เช่น โอลิโกแซคคาไรด์ น้ำตาลโมเลกุลใหญ่ หรืออาจเชื่อมต่อกับสารชีวโมเลกุลอื่น ๆ เช่น โปรตีน ลิพิด ทำหน้าที่แตกต่างกันไปจากเดิมภายในเซลล์

น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว แบ่งเป็น 2 กลุ่มตามหมู่ฟังก์ชันคือ อัลโดสและคีโตส โดยทั้งสองกลุ่มอาจมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนในโมเลกุลได้ตั้งแต่ 3 อะตอมขึ้นไป น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่สำคัญ เช่น กลูโคส ฟรักโทส กาแลคโตส โรโบส เป็นต้น การเขียนโครงสร้างน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวนิยมเขียน 2 แบบคือแบบปลายเปิดแบบวงแหวน คาร์บอนอะตอมในวงแหวนไม่สามารถอยู่ในแนวระนาบได้หมด แต่จะอยู่ในโครงสร้างแบบ chair and boat structure

โอลิโกแซคคาไรด์ หมายถึง สารประกอบที่มีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมาเชื่อมต่อกันตั้งแต่ 2 – 10 โมเลกุลขึ้นไปโดยผ่านพันธะไกลโคซิดิก ไดแซคคาไรด์ เป็นน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ที่สำคัญและพบมากที่สุด ในธรรมชาติ ตัวอย่างเช่น ซูโครส แลกโทสและมอลโทส เป็นต้น

น้ำตาลโมเลกุลใหญ่ สามารถจำแนกชนิดได้ตามสูตรโครงสร้างโมเลกุล 2 ประเภท คือ โอลิโกพอลิแซคคาไรด์ เช่น แป้ง ไกลโคเจน เซลลูโลสและไคติน อีกประเภทคือเฮเทอโรพอลิแซคคาไรด์ ได้แก่ ไกลโคสะมิโนไกลแคน ไกลโคโปรตีน และไกลโคลิพิด

### แบบฝึกหัดท้ายบท

1. จงเขียนโครงสร้างแบบ fisher และ Harworth ของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และน้ำตาลโมเลกุลคู่มาอย่างละ 2 ชนิด
2. จงอธิบายความแตกต่างของโฮโมพอลิแซคคาไรด์และเฮเทอโรพอลิแซคคาไรด์
3. อธิบายความแตกต่างของการทดสอบคาร์โบไฮเดรตแบบต่าง ๆ (โมลิสซ์, เซลิวานอฟฟ์, ไบอรัล, เบนดิคซ์)

### เอกสารอ้างอิง

- พจน์ ศรีบุญถือ และคณะ. (2551). *ตำราชีวเคมี* ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ปรับปรุงครั้งที่ 6, โรงพิมพ์คลังน่านวิทยา ขอนแก่น, หน้า 53 – 77.
- N. Tirawanchai and A. Somkasetrin. (2016). *Carbohydrate Chemistry & Structure*. สืบค้นเมื่อ 25 กันยายน, 2561, จาก [www.mahidol.ac.th](http://www.mahidol.ac.th).
- มหาวิทยาลัยรามคำแหง. (2007). *การตรวจสอบออปติคอลโรเทชัน*. สืบค้นเมื่อ 25 กันยายน, 2561, จาก: [www.ru.ac.th](http://www.ru.ac.th).
- James. (2017). *D and L Sugars in Carbohydrate*. สืบค้นเมื่อ 25 กันยายน, 2561, จาก: <https://www.masterorganicchemistry.com/2017/05/24/d-and-l-sugars/> .
- สสวท. (2551). *หน่วยย่อยของคาร์โบไฮเดรต*. สืบค้นเมื่อ 25 กันยายน, 2561, จาก : [https://il.mahidol.ac.th/e-media/biomolecule/chapter2\\_2.html](https://il.mahidol.ac.th/e-media/biomolecule/chapter2_2.html).



Namrata Chabra. (2015). *Chemistry of carbohydrates-Lecture-3-Ring structures and Mutarotation*. สืบค้นเมื่อ 25 กันยายน, 2561, จาก:  
<http://www.namrata.co/chemistry-of-carbohydrates-lecture-3-ring-structures-and-mutarotation/>.

ดวัลย์ นิมกุ. (2558). *ชีวเคมี*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.