

## 2. คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) เป็นสารชีวโมเลกุลที่ทำหน้าที่สะสมพลังงาน ที่พบในชีวิตประจำวันทั่วไปได้แก่ น้ำตาล แป้ง เซลลูโลส และไกลโคเจน โดยที่ส่วนใหญ่พบแป้งและเซลลูโลสในพืช ส่วนไกลโคเจนพบในเซลล์เนื้อเยื่อ น้ำไขข้อและผนังเซลล์ของสัตว์

คาร์โบไฮเดรต คือสารประกอบพอลิไฮดรอกซีแอลดีไฮด์ (poly hydroxy aldehyde) หรือพอลิไฮดรอกซีคีโตน (polyhydroxy ketone) มีสูตรเอมพิริคัลเป็น  $C_n(H_2O)_m$  เช่น กลูโคส  $m = n = 6$  จึงมีสูตรโมเลกุลเป็น  $C_6H_{12}O_6$  คำว่าคาร์โบไฮเดรตยังครอบคลุมไปถึงอนุพันธ์ที่เกิดจากไฮโดรลิซิสและอนุพันธ์อื่นของสารทั้งสองจำพวกอีกด้วย คาร์โบไฮเดรตพบมากในพืชโดยเกิดผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis)



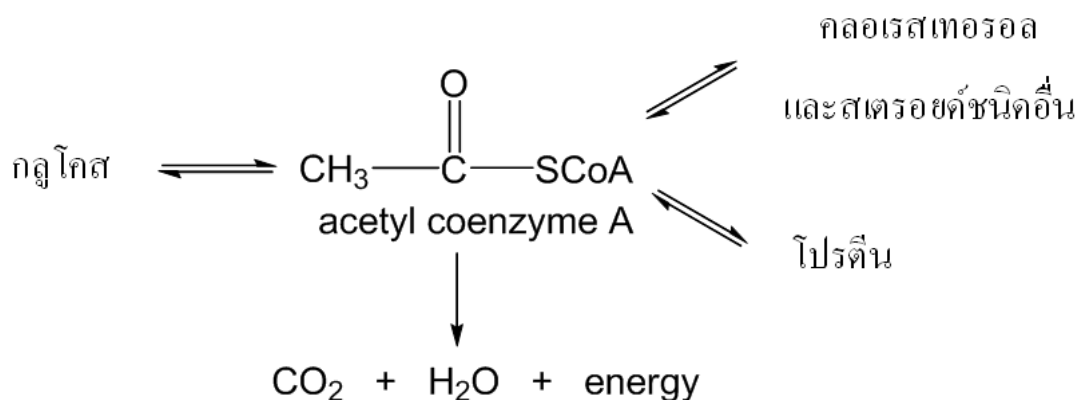
### 2.1 ประเภทของคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรต จำแนกได้ 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ มอนอแซ็กคาไรด์ (monosaccharide) ไดแซ็กคาไรด์ (disaccharide) และพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide)

1. มอนอแซ็กคาไรด์
2. ไดแซ็กคาไรด์
3. พอลิแซ็กคาไรด์

## 1. มอนอแซ็กคาไรด์

มอนอแซ็กคาไรด์ที่สำคัญที่สุดคือ **กลูโคส** (glucose) ซึ่งพบในเลือด สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมสามารถเปลี่ยนน้ำตาลซูโครส (sucrose) แล็กโทส (lactose) และมอลโทส (maltose) และแบ่งให้เป็นกลูโคสที่ถูกใช้เป็นพลังงานหรือถูกเก็บสะสมไว้ในรูปไกลโคเจนซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ เมื่อต้องการใช้พลังงาน ไกลโคเจนก็จะถูกเปลี่ยนกลับเป็นกลูโคสได้อีก กลูโคสที่มีอยู่มากเกินพอจะสามารถเปลี่ยนเป็นไขมัน (fat) หรือคอเลสเตอรอล (cholesterol) และสเตอรอยด์ (steroid) ชนิดอื่น หรือเป็นโปรตีนได้เมื่อมีแหล่งที่ให้ไนโตรเจน ในทางตรงข้าม สิ่งมีชีวิตสามารถเปลี่ยนโปรตีนและไขมันกลับเป็นกลูโคสได้ กลูโคสยังพบในผลไม้หลายชนิด เช่น องุ่น เงาะ เป็นต้น



**ฟรุคโทส** (fructose) พบในผลไม้และในน้ำผึ้ง อาจจับกับกลูโคสได้น้ำตาลซูโครส ซึ่งเป็นไดแซ็กคาไรด์ (disaccharide) **กาแลคโทส** จับกับกลูโคสได้น้ำตาลแล็กโทส (lactose) ส่วนไรโบสและดีออกซีไรโบสนั้นเป็นส่วนประกอบของกรดนิวคลีอิก

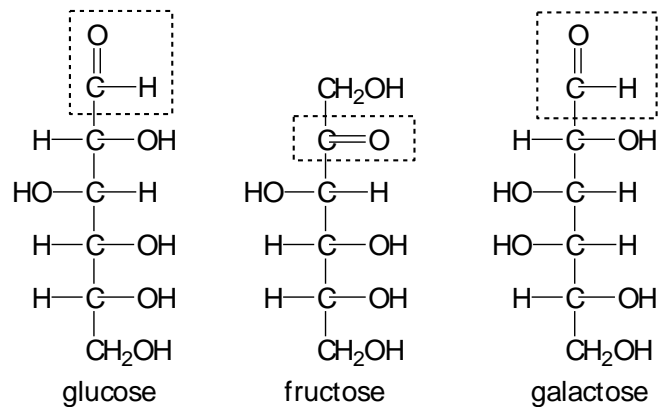
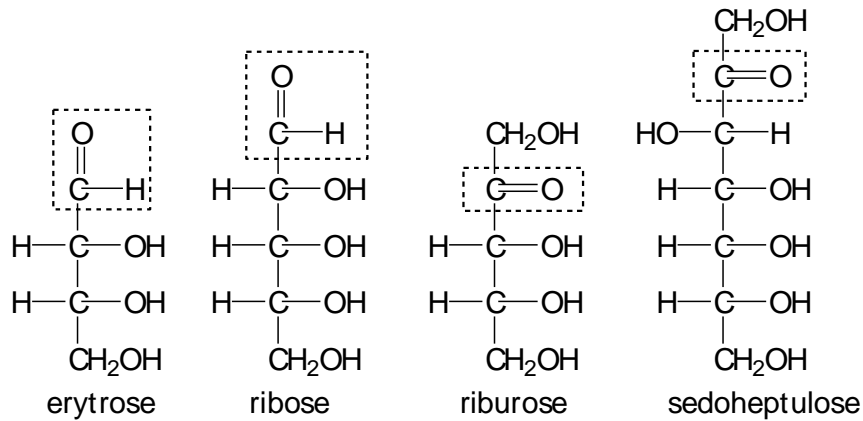
มอนอแซ็กคาไรด์ สามารถจำแนกตามหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างกันในโมเลกุลได้เป็นแอลโดส (aldose) ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันเป็นแอลดีไฮด์ และคีโทส (ketose) ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันเป็นคีโตน เช่น กลูโคสจัดเป็นน้ำตาลแอลโดส และฟรุคโทสจัดเป็นน้ำตาลคีโทส เป็นต้น

มอนอแซ็กคาไรด์ เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีขนาดโมเลกุลเล็กมาก ประกอบด้วยคาร์บอน 3–8 อะตอม ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสให้เป็นคาร์โบไฮเดรตที่เล็กลงไปอีก จึงสามารถจำแนกมอนอแซ็กคาไรด์ได้ตามจำนวนอะตอมคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบได้ดังนี้

- **ไตรโอส (triose)** เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีคาร์บอน 3 อะตอม
- **เตโทรส (tetrose)** เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีคาร์บอน 4 อะตอม เช่น เอริโทรส (erythrose)
- **เพนโทส (pentose)** เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีคาร์บอน 5 อะตอม เช่น ไรโบส (ribose) ดีออกซีไรโบส (deoxyribose)
- **เฮกโซส (hexose)** เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีคาร์บอน 6 อะตอม ได้แก่ กลูโคส ฟรุคโทส และกาแลคโทส เป็นเฮกโซสที่พบมากที่สุด

- **เฮปโทส (heptose)** เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีคาร์บอน 7 อะตอม เช่น ซีโดเฮปทูโลส (sedoheptulose)

- **ออกโทส (octose)** เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีคาร์บอน 8 อะตอม

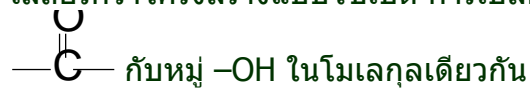


เมื่อพิจารณาโครงสร้างของมอนอแซ็กคาไรด์จะพบว่า ไรโบส กลูโคส กาแลกโทส มีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่คาร์บอกซาลดีไฮด์ ส่วนไรบูโลส และฟรักโทสมีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่คาร์บอนิล

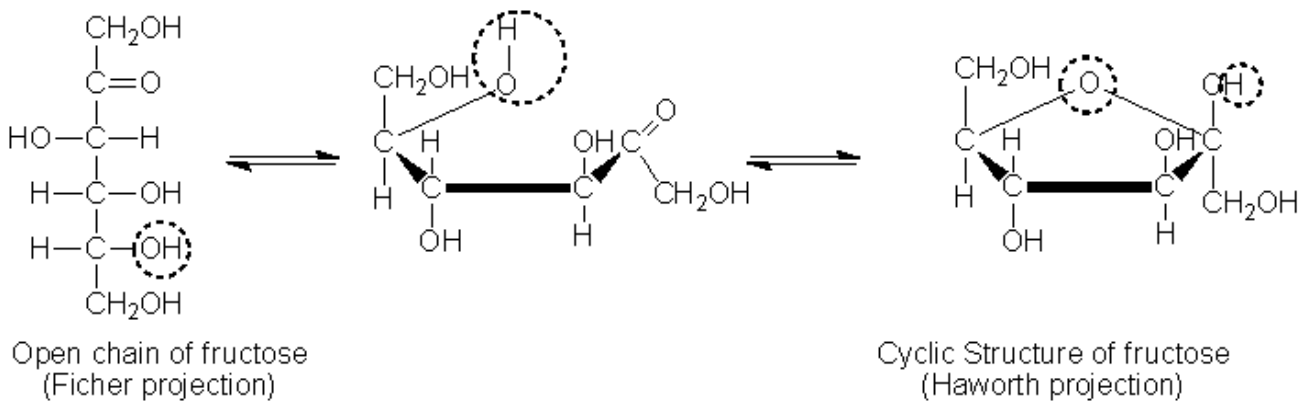
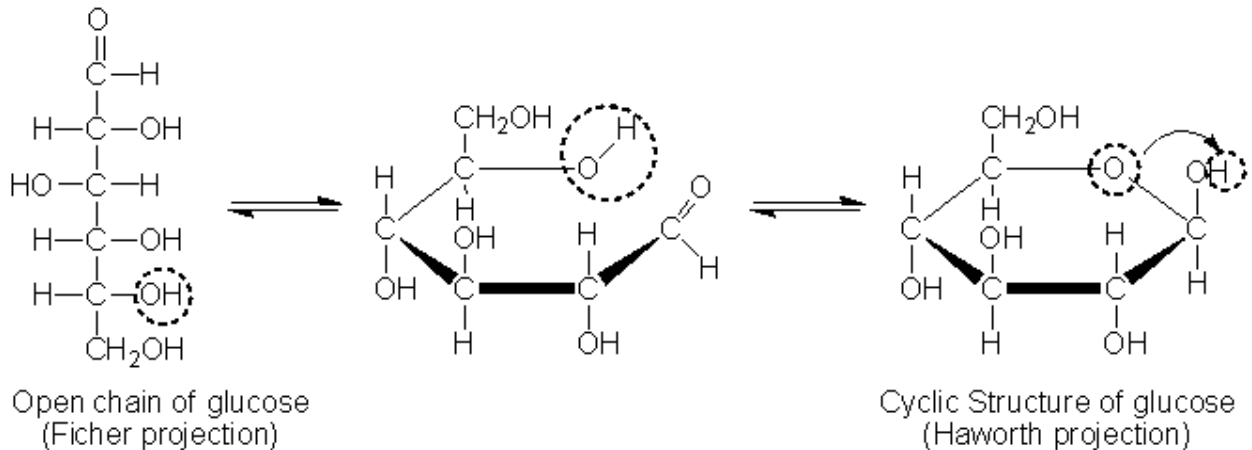
**สารที่เป็นแอลดีไฮด์ และแอลฟาไฮดรอกซีคีโตน** สามารถเกิดปฏิกิริยากับสารละลายเบเนดิกต์ได้ โดยมีสมบัติเป็นตัวรีดิวซ์และสามารถรีดิวซ์คอปเปอร์ (II) ไอออน ( $\text{Cu}^{2+}$ ) ในสารละลายเบเนดิกต์ให้เป็นคอปเปอร์ (I) ออกไซด์ ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) ดังนั้น ไรโบส กลูโคส กาแลกโทส ไรบูโลส และฟรักโทส จึงเกิดปฏิกิริยากับสารละลายเบเนดิกต์ ได้ตะกอนสีแดงอิฐของ  $\text{Cu}_2\text{O}$

## โครงสร้างของมอนอแซ็กคาไรด์

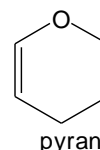
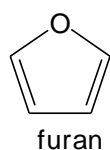
ในธรรมชาติพบว่ามอนอแซ็กคาไรด์ส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นวง เนื่องจากเป็นโครงสร้างที่เสถียรมากกว่าโครงสร้างแบบโซ่เปิด การเปลี่ยนโครงสร้างแบบโซ่เปิดเป็นวงเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างหมู่



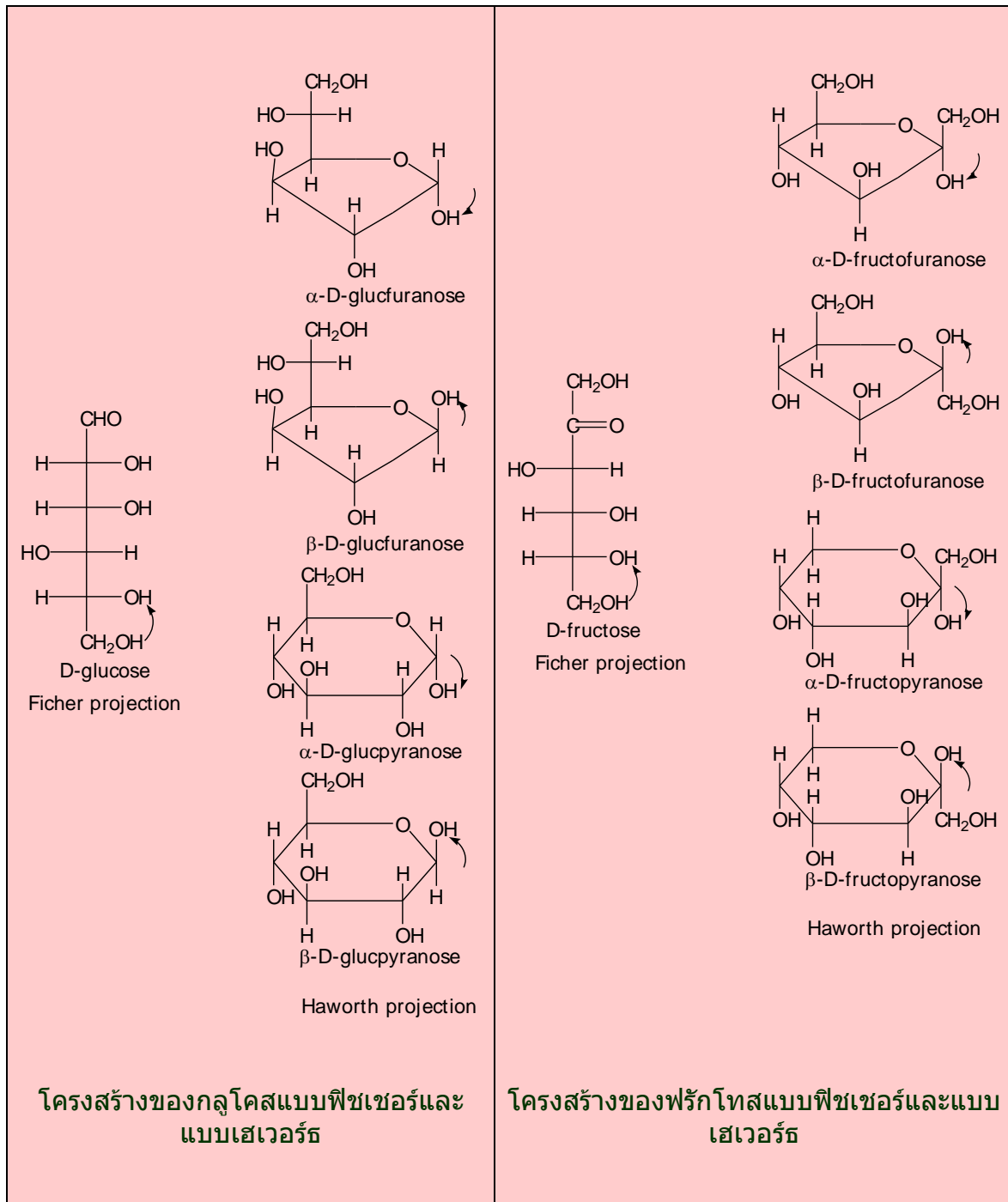
ตัวอย่างการเกิดโครงสร้างแบบวงของกลูโคสและฟรุกโทสเป็นดังนี้



มอนอแซ็กคาไรด์สามารถเกิดปฏิกิริยาการเพิ่มหมู่  $-\text{OH}$  ในโมเลกุลเดียวกันได้สารเป็นวงที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นเฮมิอะเซทัล (hemiacetal) หรือสารเฮมิกีทัล (hemiketal) ซึ่งจะเกิดได้ดีเมื่อมีวงขนาด 5 อะตอม หรือ 6 อะตอม ซึ่งจัดเป็นโครงสร้างแบบฟิวรานอส (furanose structure) และไพรานอส (pyranose structure) ชื่อของโครงสร้างทั้งสองแบบนี้มาจากชื่อของสารพวกเฮเทอโรไซคลิก คือ ฟิวแรน (furan) และไพแรน (pyran) รวมกับคำว่า  $-\text{ose}$



การเขียนโครงสร้างที่เป็นวงเรียกว่าเฮเวอร์ธโปรเจคชัน (Haworth projection) ซึ่งเขียนได้เป็น 2 แบบ คือแบบไพราโนส และแบบไฟราโนส เช่น ของกลูโคสสามารถเขียนโครงสร้างได้ดังนี้



## การทดสอบมอโนแซ็กคาไรด์



เติมสารละลายเบเนดิกต์ลงในสารละลายน้ำตาล แล้วอุ่นให้ร้อน



ปฏิกิริยาเบเนดิกต์กับมอโนแซ็กคาไรด์ ได้ตะกอนสีน้ำตาลหรือน้ำตาลแดง

## 2. โอลิโกแซ็กคาไรด์

โอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharide) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่เกิดจากมอนอแซ็กคาไรด์ 2-10 หน่วย มาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ C-O-C ซึ่งเรียกว่าพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ถ้าประกอบด้วย 2 หน่วยเรียกว่าไดแซ็กคาไรด์ (disaccharide) ถ้า 3 หน่วย เรียกว่าไตรแซ็กคาไรด์ (trisaccharide) ที่พบมากเป็นไดแซ็กคาไรด์ที่ชื่อ มอลโทส แล็กโทส และซูโครส ซึ่งแบ่งไดแซ็กคาไรด์เป็น 2 ประเภท ดังนี้

### 1. รีดิวซิงซูการ์ (reducing sugar)

เป็นไดแซ็กคาไรด์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับสารละลายเบนเนดิกต์ได้เมื่อให้ความร้อน จะได้ตะกอนสีแดงอิฐของคอปเปอร์ (I) ออกไซด์  $\text{Cu}_2\text{O}$  ได้แก่

[น้ำตาลมอลโทส \(maltose\)](#)

[น้ำตาลแล็กโทส \(lactose\)](#)

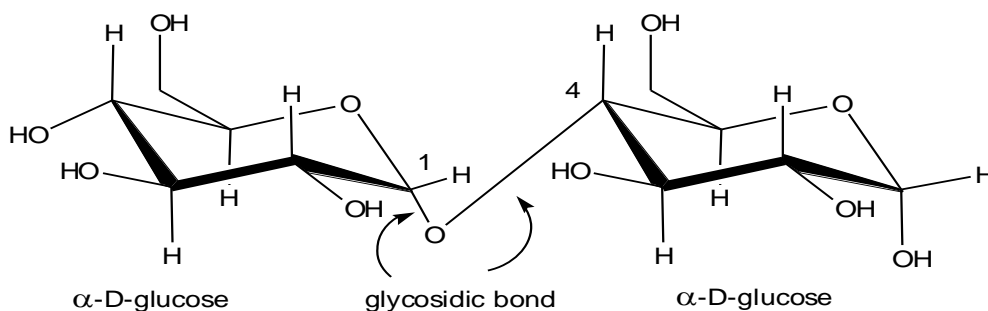
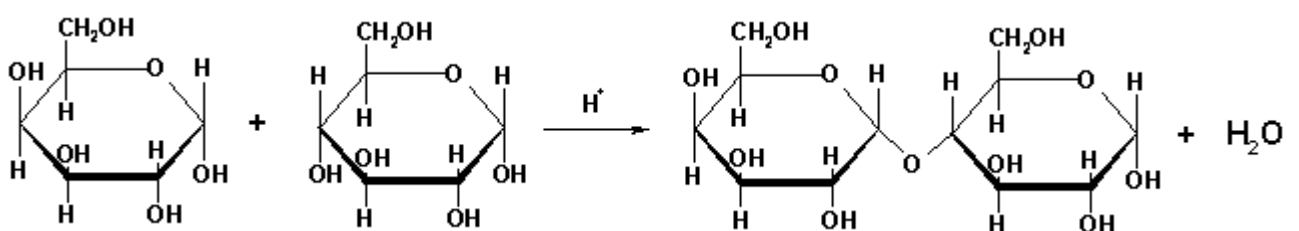
### 2. นอนรีดิวซิงซูการ์ (non-reducing sugar)

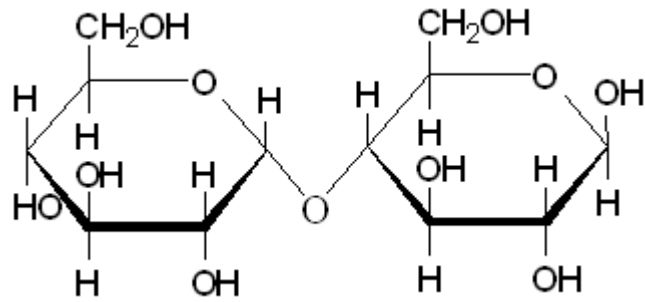
เป็นไดแซ็กคาไรด์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยากับสารละลายเบนเนดิกต์ ได้แก่

[น้ำตาลซูโครส \(sucrose\)](#)

## มอลโทส (maltose)

เป็นไดแซ็กคาไรด์ที่เกิดจากการสร้างพันธะไกลโคซิดิกระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของ  $\alpha$ -D-กลูโคสโมเลกุลหนึ่ง กับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของ  $\alpha$ - หรือ  $\beta$ -D-กลูโคส อีกโมเลกุลหนึ่ง ดังนี้

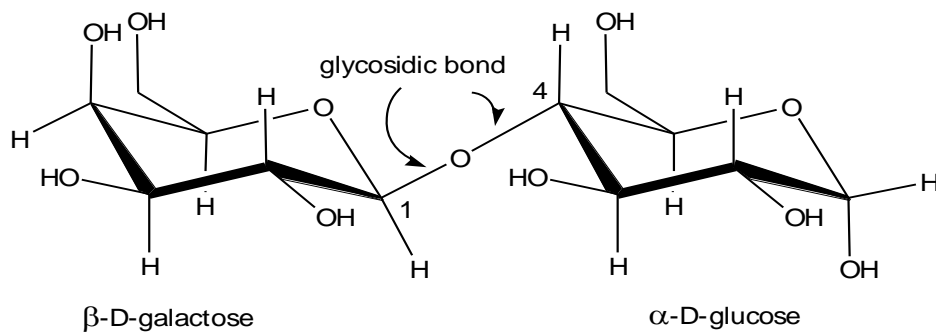




น้ำตาลมอลโทส

## แลคโทส (lactose)

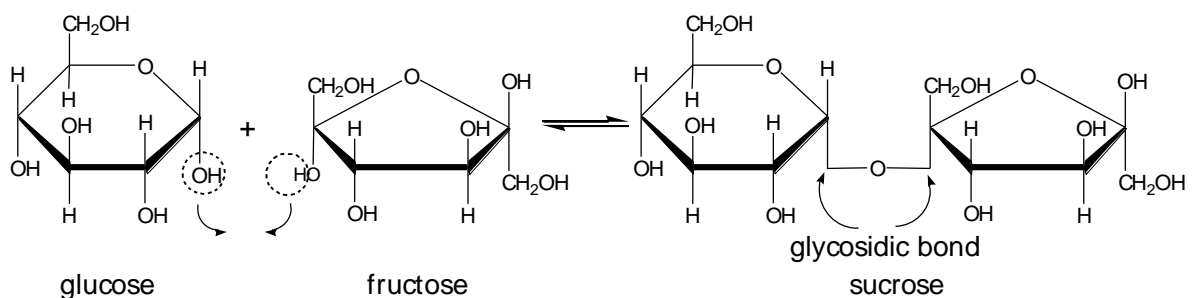
เป็นไดแซ็กคาไรด์ที่เกิดจากการสร้างพันธะไกลโคซิดิกระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของ  $\beta$ -D-กาแลคโทสโมเลกุลหนึ่ง กับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของ  $\alpha$ - หรือ  $\beta$ -D-กลูโคส อีก ดังนี้

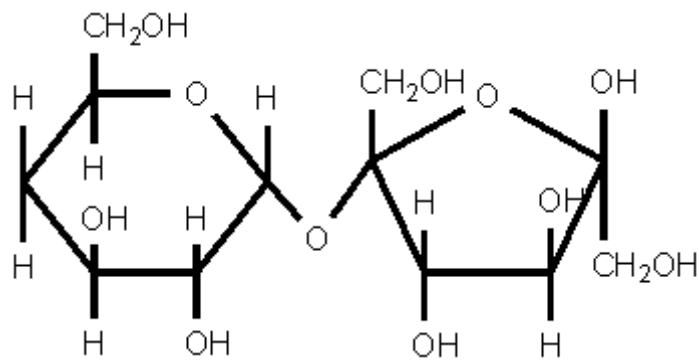
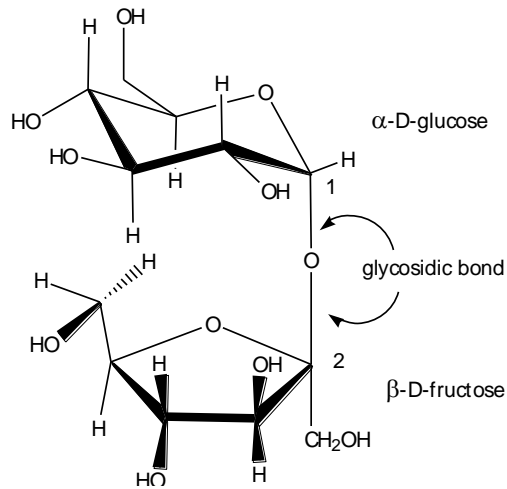


นอกจากมอลโมส แลคโทส และซูโครส แล้ว ยังมีไดแซ็กคาไรด์อีกหลายชนิด เช่น เซลโลไบโอส (cellobiose) เกิดจาก  $\beta$ -D-กลูโคส กับ  $\beta$ -D-กลูโคส ส่วนไตรแซ็กคาไรด์ เช่น ราฟฟิโนส (raffinose) เกิดจาก  $\alpha$ -D-กาแลคโทส  $\alpha$ -D-กลูโคส และ  $\beta$ -D-ฟรักโทส

## ซูโครส (sucrose)

เป็นไดแซ็กคาไรด์ที่เกิดจากการสร้างพันธะไกลโคซิดิกระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของ  $\alpha$ -D-กลูโคสโมเลกุลหนึ่ง กับคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของ  $\beta$ -D-ฟรักโทส ดังนี้





Sucrose

### 3. พอลิแซ็กคาไรด์

พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่เกิดจากมอนอแซ็กคาไรด์หลาย ๆ หน่วยมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond : - C - O - C -) พอลิแซ็กคาไรด์จะมีขนาดใหญ่กว่าโอลิโกแซ็กคาไรด์ ส่วนใหญ่จะมีมอนอแซ็กคาไรด์เป็นร้อยถึงพันหน่วยมาจับต่อกัน ตัวอย่างพอลิแซ็กคาไรด์อย่างง่าย ได้แก่

[แป้ง \(starch\)](#)

[เซลลูโลส \(cellulose\)](#)

[ไกลโคเจน \(glycogen\)](#)

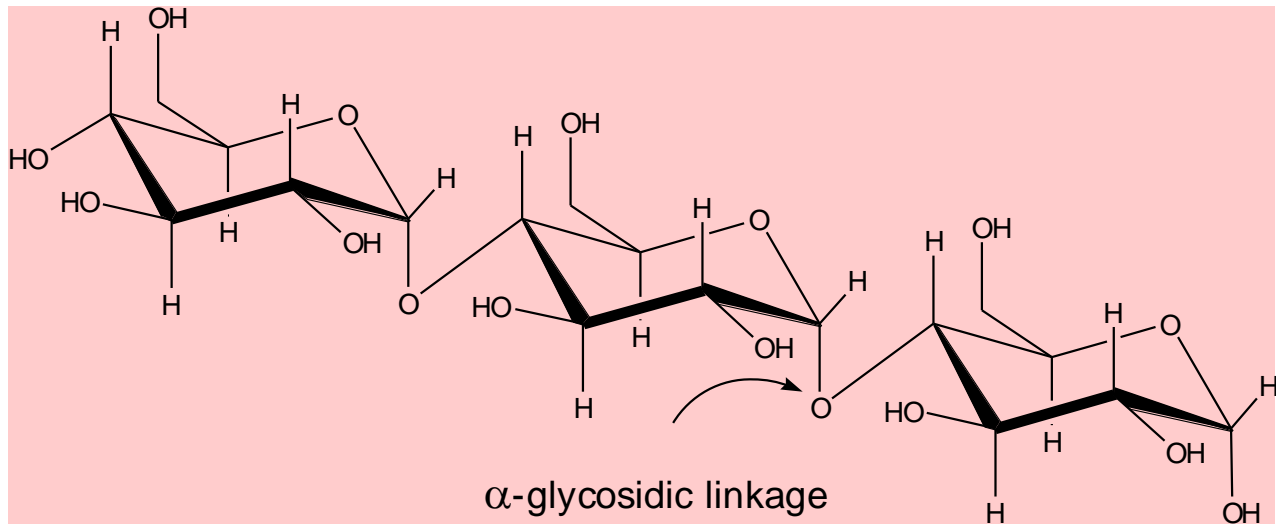
[ไคติน \(chitin\)](#)

#### แป้ง

แป้ง (starch) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เกิดจาก D-กลูโคส หลาย ๆ หน่วยมาจับต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 4' ไกลโคซิดิก ( $\alpha$ -1, 4' glycosidic bond) แป้งประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนหนึ่งประมาณ 20% ละลายได้ในน้ำร้อน เรียกว่า อะไมโลส (amylose) อีกส่วนหนึ่งประมาณ 80% ไม่ละลายในน้ำร้อน เรียกว่า อะไมโลเพกทิน (amylopectin)

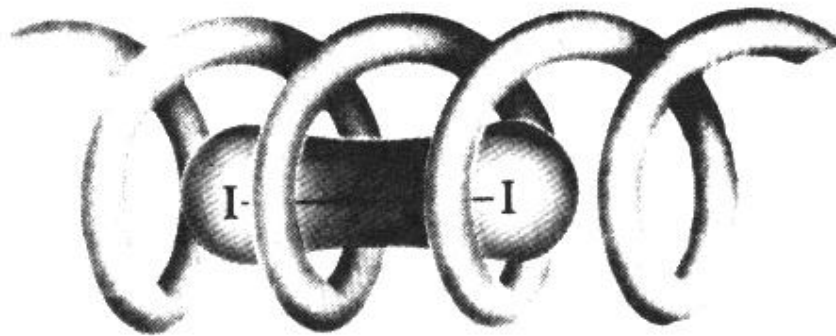
## อะไมโลส (amylose)

ประกอบด้วย  $\alpha$ -D-กลูโคส หลาย ๆ หน่วยมาจับต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 4' ไกลโคซิดิกทั้งหมด ดังนั้นโครงสร้างจึงเป็นเส้นตรง



### โครงสร้างของอะไมโลส

เมื่อโซ่ยาวขึ้นจะมีลักษณะเป็นเป็นขดเกลียวซึ่งจะเกิดสารเชิงซ้อน (complex compound) กับไอโอดีน ได้สารสีน้ำเงินดังภาพ



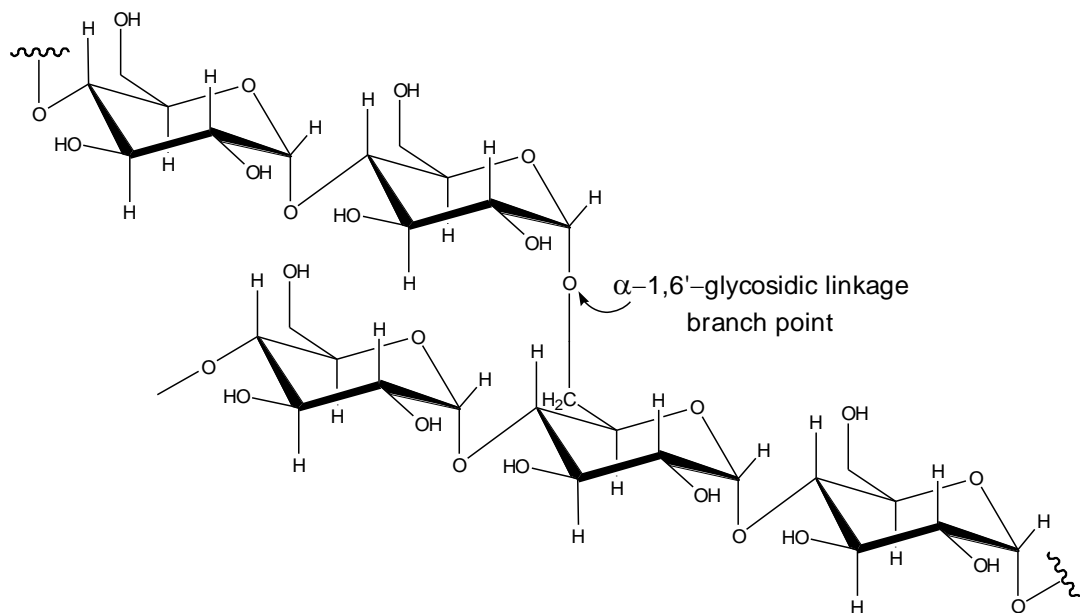
การเกิดสารเชิงซ้อนของอะไมโลสกับไอโอดีน



เมื่อทดสอบแป้งด้วยสารละลายไอโอดีนจะได้สารสีน้ำเงินม่วง

## อะไมโลเพกติน (amylopectin)

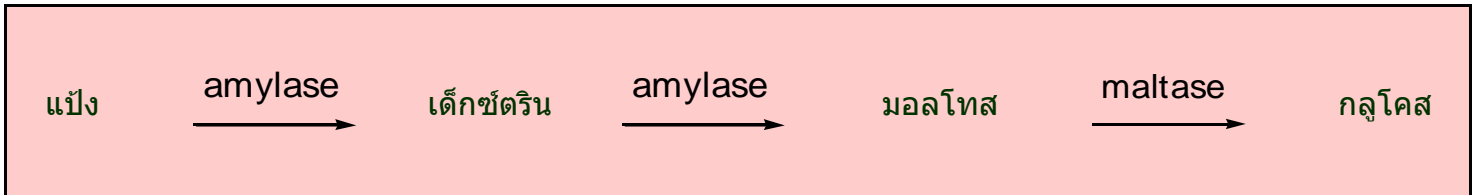
ประกอบด้วย  $\alpha$ -D-กลูโคส หลาย ๆ หน่วยมาจับต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 4' ไกลโคซิดิก บางส่วน แต่มีบางส่วนจับต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 6' ไกลโคซิดิก โดยมีตราส่วนระหว่างพันธะทั้งสองชนิดเป็น 15 : 1 ตามลำดับ ดังนั้นโครงสร้างของอะไมโลเพกตินจึงเป็นกิ่งก้านสาขา ซึ่งเขียนแสดงได้ดังนี้



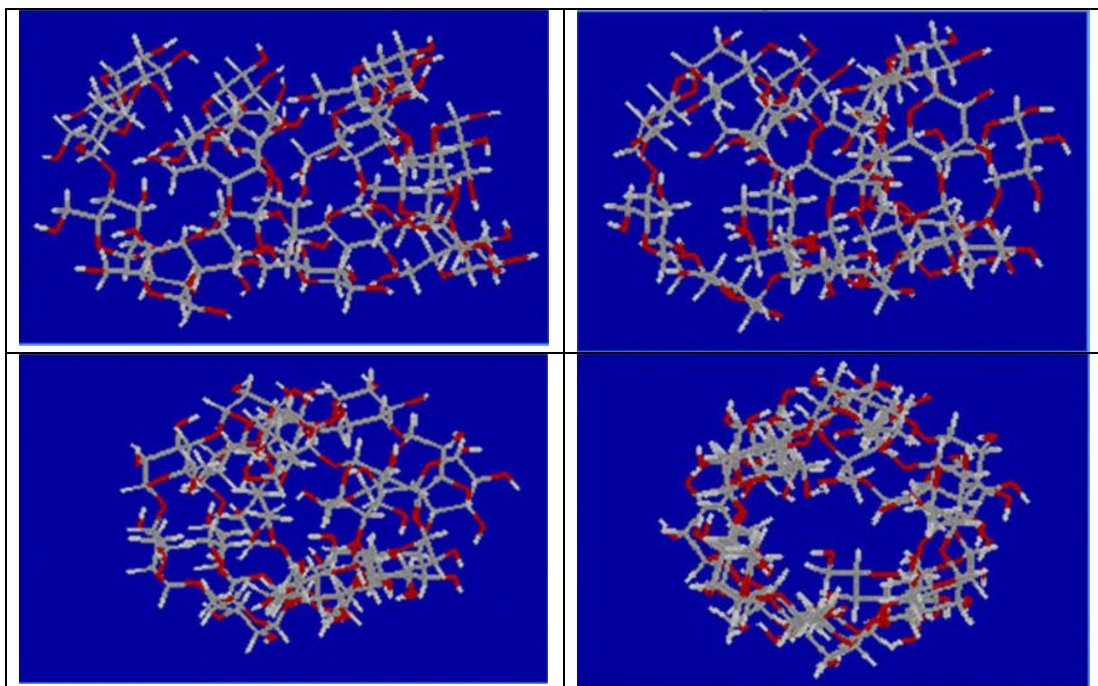
โครงสร้างของอะไมโลเพกติน

แป้งไม่เกิดปฏิกิริยากับสารละลายเบนเนดิกต์ แต่ถ้าไฮโดรไลซ์แป้งด้วยการต้มกับสารละลายกรด แป้งจะถูกไฮโดรไลซ์ได้กลูโคส ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากับสารละลายเบนเนดิกต์ ได้ตะกอนสีแดงอิฐของ  $Cu_2O$

แป้งในสภาวะที่เป็นกรดจะถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่าย ได้สารที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง เรียกว่า เด็กซ์ตริน (Dextrin) เมื่อถูกไฮโดรไลซ์ต่อไปได้มอลโทสและกลูโคสตามลำดับ แป้งที่อยู่ในร่างกายจะถูกย่อยโดยเอนไซม์อะไมเลสและมอลเทส ซึ่งมีลำดับการไฮโดรไลซ์ดังนี้

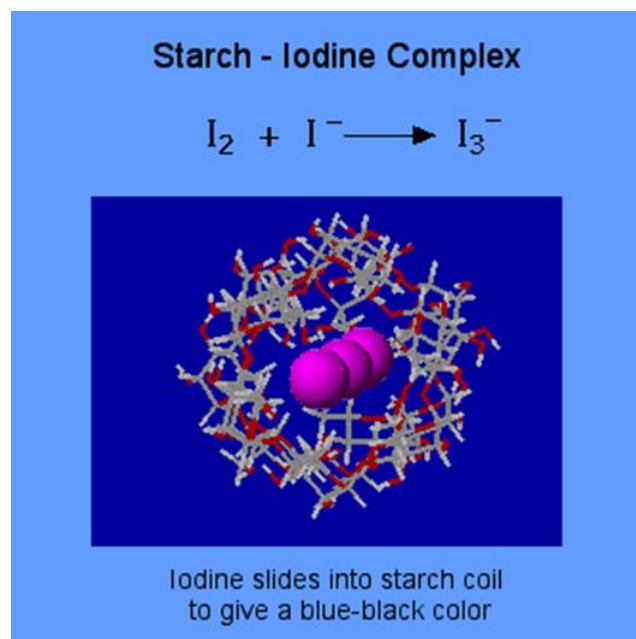
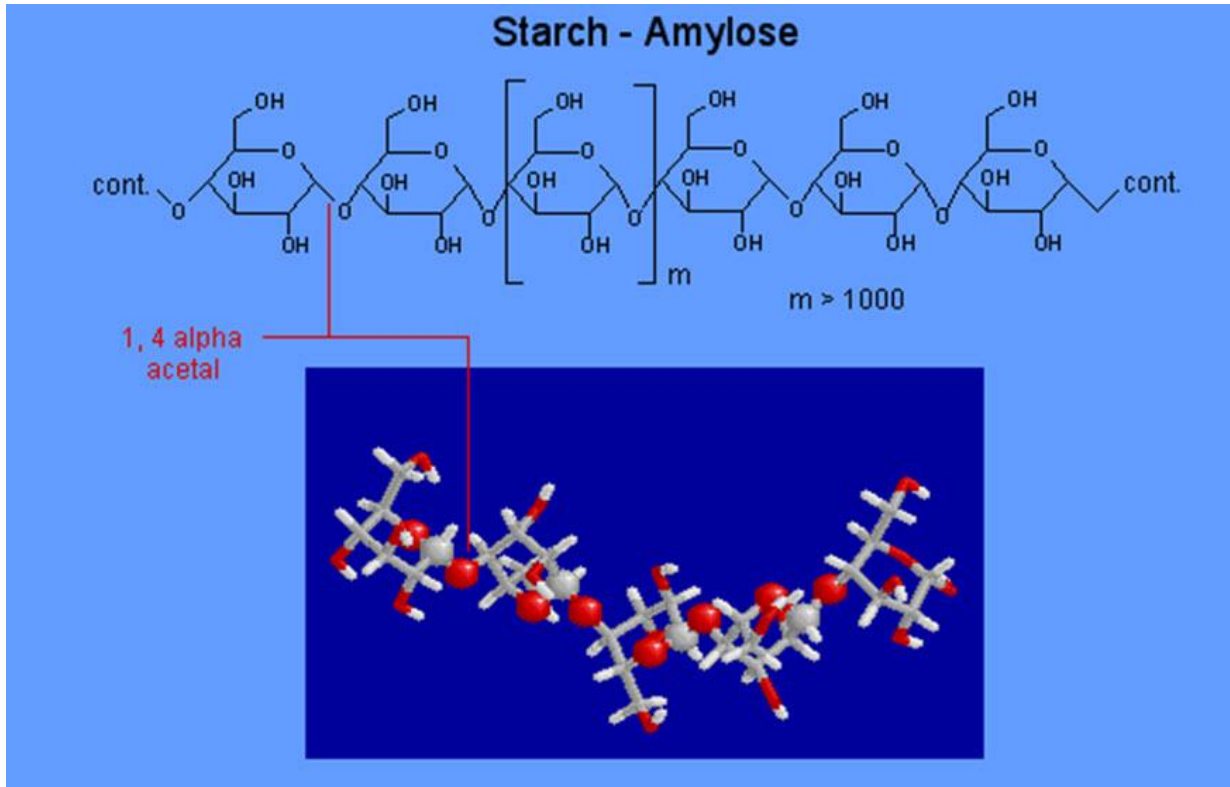


พืชเก็บกลูโคสในรูปแป้งซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ อยู่ในธัญพืชต่าง ๆ เช่น ข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ รวมทั้งในหัว เช่น มันฝรั่ง มันเทศ สามารถแยกแป้งได้เป็น 2 ส่วน คืออะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกติน (amylopectin) แป้งธรรมชาติมีส่วนผสมของอะไมโลส 10-20% และอะไมโลเพกติน 80-90% อะไมโลสละลายและกระจายตัวในรูปคอลลอยด์ในน้ำร้อน ในขณะที่อะไมโลเพกตินไม่ละลายน้ำ โครงสร้างของอะไมโลสประกอบด้วยกลูโคสเป็นโซ่พอลิเมอร์ยาวเชื่อมต่อกันด้วยพันธะอะเซทาล (alpha acetal linkage)  
 แป้ง : แสดงโครงสร้างการเกิด alpha acetal linkage



## การทดสอบทางเคมีสำหรับแป้งและไอโอดีน :

อะไมโลสในแป้งจะมีโครงสร้างยาวและม้วนขดตัวเมื่อมีโมเลกุลของไอโอดีน ทำให้เกิดสารเชิงซ้อน โดยโมเลกุลของไอโอดีนอยู่ภายใน และมีขดของอะไมโลสม้วนขดอยู่รอบ ๆ ได้สารเชิงซ้อนที่มีน้ำเงิน



## สารละลายไอโอดีนใน KI

เตรียมได้โดยละลายเกล็ดไอโอดีนเล็กน้อยลงในสารละลาย KI ในน้ำ ซึ่งจะได้ไตรไอโอดด์ไอออน และสามารถหลุดเข้าไปในช่องของแป้งที่ทำให้เกิดสารเชิงซ้อนสีน้ำเงินเข้ม

### การทดสอบแป้ง

หยดสารละลายไอโอดีนใน KI โดยตรงลงบนหัวมันหรือสารอื่น ๆ เช่น ขนมันปิ้ง แป้งข้าวเจ้า ถ้ามีอะไมโลสจะได้สีน้ำเงินเข้ม สำหรับอะไมโลเพกตินจะไม่เกิดสีน้ำเงินเข้ม แต่จะได้สีส้มหรือสีเหลือง และไม่เกิดปฏิกิริยากับ disaccharide เช่น sucrose

### Iodine Test

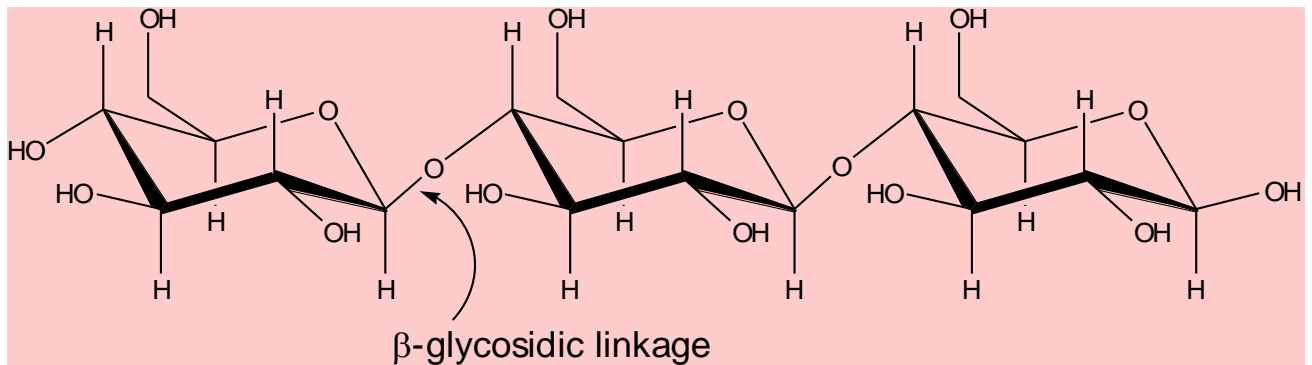
เมื่อต้องการติดตามการเปลี่ยนแปลงในปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (redox) ของสารอินทรีย์ ไอโอดีนอาจถูกใช้เป็นอินดิเคเตอร์เพื่อติดตามโดยดูการเปลี่ยนแปลงระหว่างไอโอดด์ไอออน (I<sub>2</sub>) และไอโอดีนโมเลกุล (I<sup>-</sup>) เฉพาะไอโอดีนโมเลกุลที่มีไอโอดด์ไอออนจะให้ลักษณะที่มีสีน้ำเงินเข้ม แต่ถ้ามีไอโอดีนโมเลกุลอย่างเดียวหรือไอโอดด์ไอออนอย่างเดียวจะให้ผลเป็นสี



## เซลลูโลส

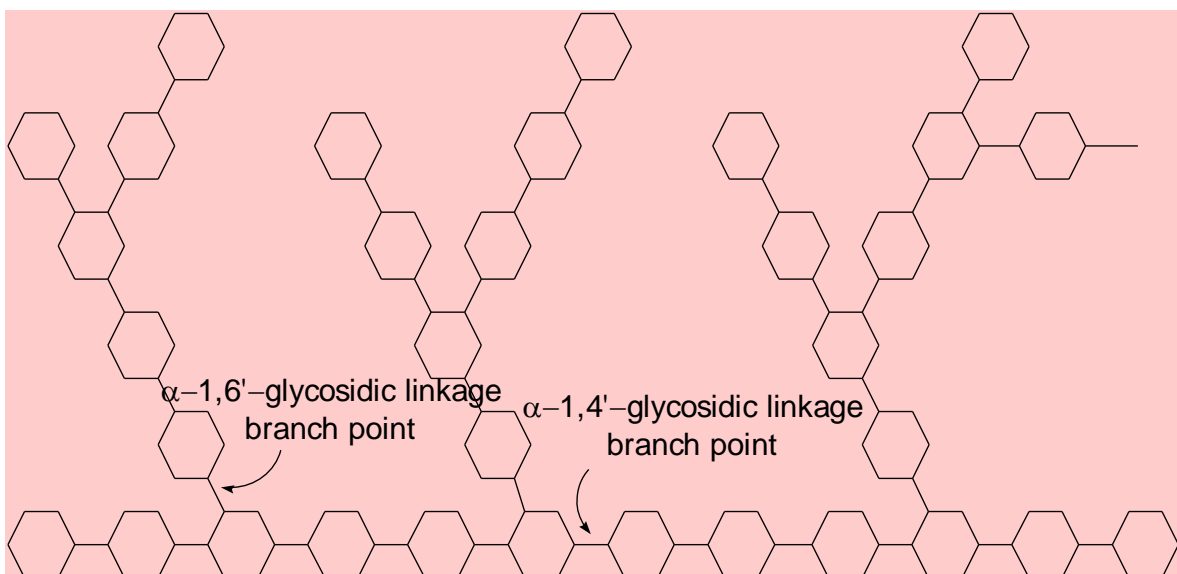
**เซลลูโลส (cellulose) เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ (cell wall) ในพืช เกิดจากหน่วยของ D-กลูโคส มาจับต่อกันด้วยพันธะ  $\beta$ -1, 4' ไกลโคซิดิก ( $\beta$ -1, 4' glycosidic bond) เซลลูโลสมีลักษณะเป็นโซ่ยาว เมื่อมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโซ่ของเซลลูโลสนี้ จึงทำให้เกิดเป็นเส้นใยที่เรียกว่า ไมโครไฟบริล (microfibril)**

**เซลลูโลสไม่เกิดปฏิกิริยากับสารละลายเบนเนดิกต์ แต่ถ้าไฮโดรไลซ์เซลลูโลสด้วยการต้มกับสารละลายกรด เซลลูโลสจะถูกไฮโดรไลซ์ได้กลูโคส ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากับสารละลายเบนเนดิกต์**



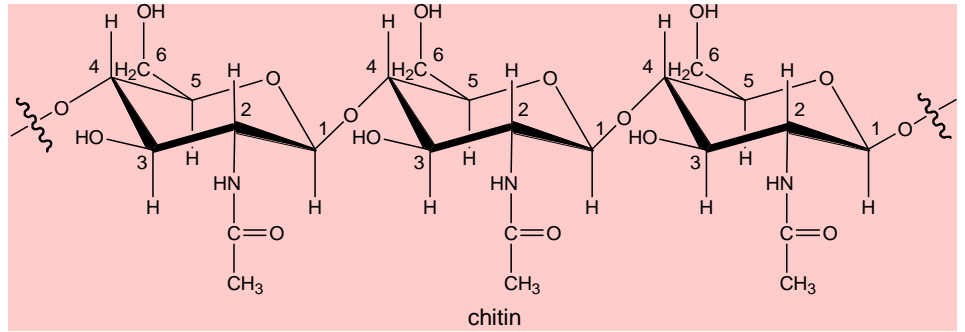
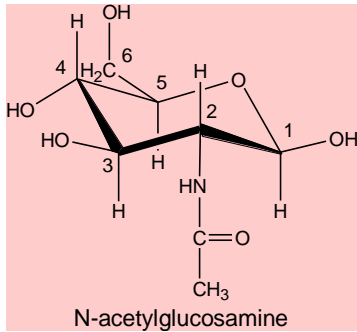
## ไกลโคเจน

**ไกลโคเจน (glycogen) เป็นคาร์โบไฮเดรตในสัตว์ มีโครงสร้างคล้ายอะไมโลเพกติน ซึ่งประกอบด้วย  $\alpha$ -D-กลูโคสหลาย ๆ หน่วยมาจับต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 4' ไกลโคซิดิก บางส่วน แต่มีบางส่วนจับต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 6' ไกลโคซิดิก โดยมีตราส่วนระหว่างพันธะทั้งสองชนิดเป็น 8 : 1 ตามลำดับ ดังนั้นไกลโคเจนจะมีกิ่งสาขามากกว่าอะไมโลเพกติน ดังภาพแสดงการจับกันของกลูโคสในไกลโคเจนต่อไปนี้**



## ไคติน

ไคติน (chitin) เป็นพอลิเมอร์ของ N-อะเซทิลกลูโคซามีน (N-acetylglucosamine) พบในส่วนแข็งที่หุ้มเปลือกตัวแมลงและสัตว์น้ำที่มีเปลือกแข็ง เช่น ปู กุ้ง หอย เป็นต้น ไคตินจะจับต่อกันเหมือนเซลลูโลส แต่แทนที่จะมีหน่วยย่อยเป็นกลูโคส กลับ N-อะเซทิลกลูโคซามีน โดยจะสร้างพันธะ  $\beta$ -1, 4' ไกลโคซิดิก เช่นเดียวกับในเซลลูโลส



## 4.2 ปฏิกริยาของคาร์โบไฮเดรต

ปฏิกริยาที่เกี่ยวข้องกับคาร์โบไฮเดรตมีหลายปฏิกริยา ซึ่งสามารถใช้ทดสอบสมบัติของคาร์โบไฮเดรตได้ เช่น ปฏิกริยาต่อไปนี้

### ปฏิกริยากับสารทอลเลนส์

สารทอลเลนส์ (Tolle's reagent) ใช้ทดสอบแอลดีไฮด์ ให้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอกซิเลตไอออน (carboxylate ion) และโลหะเงินเกิดเป็นเงาเหมือนกระจกเงาเคลือบอยู่ด้านในของหลอดทดลอง

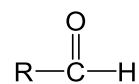
### ปฏิกริยากับสารละลายเฟห์ลิงและสารละลายเบเนดิกต์

น้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugar) นอกจากจะเกิดปฏิกริยากับสารทอลเลนส์แล้ว ยังทำปฏิกริยากับสารละลายเฟห์ลิง (Fehling solution) และสารละลายเบเนดิกต์ (Benedict's solution) ให้ผลิตภัณฑ์เป็นเกลือของกรดแอลโดนิคและตะกอนสีแดงอิฐของ  $\text{Cu}_2\text{O}$

### ปฏิกริยากับสารละลายเบเนดิกต์

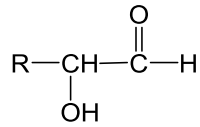
ปฏิกริยาของสารละลายเบเนดิกต์ ซึ่งสามารถใช้ทดสอบสารที่มีหมู่ฟังก์ชันต่อไปนี้

#### 1. แอลดีไฮด์ที่มีหมู่แอลคิล

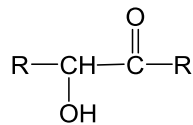


(R คือไฮโดรเจนหรือหมู่แอลคิลแบบโซ่เปิด)

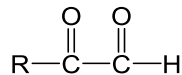
2. แอลดีไฮด์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ที่ตำแหน่งแอลฟา (แอลฟาไฮดรอกซีแอลดีไฮด์ :  $\alpha$ -hydroxy aldehyde)



3. คีโตนที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ที่ตำแหน่งแอลฟา (แอลฟาไฮดรอกซีคีโตน :  $\alpha$ -hydroxy ketone)



4. แอลฟาคีโตแอลดีไฮด์ ( $\alpha$ -keto aldehyde)



5. การอุ่นสารละลายน้ำตาลทรายกับสารละลายเบเนดิกต์ให้อุ่นตามเวลาที่กำหนด ถ้าอุ่นนานเกินไป น้ำตาลทรายบางส่วนอาจถูกไฮโดรไลส์ด้วยเบสในสารละลายเบเนดิกต์เกิดเป็นมอนอแซ็กคาไรด์ และเข้าทำปฏิกิริยากับสารละลายเบเนดิกต์ได้ตะกอนสีแดงอิฐ และสารละลายมีสีเขียวอมเหลืองเกิดขึ้นได้

6. การเปลี่ยนสีของสารละลายเบเนดิกต์ขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำตาลที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายเบเนดิกต์

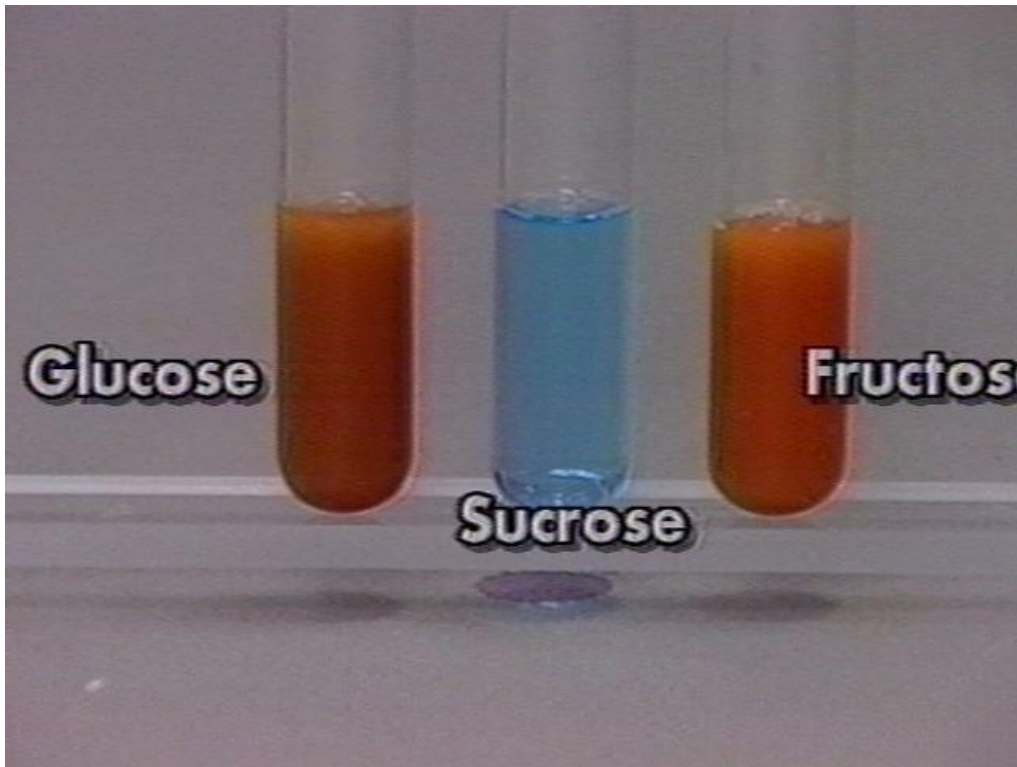
ปฏิกิริยาการทดสอบน้ำตาลด้วยสารละลายเบเนดิกต์



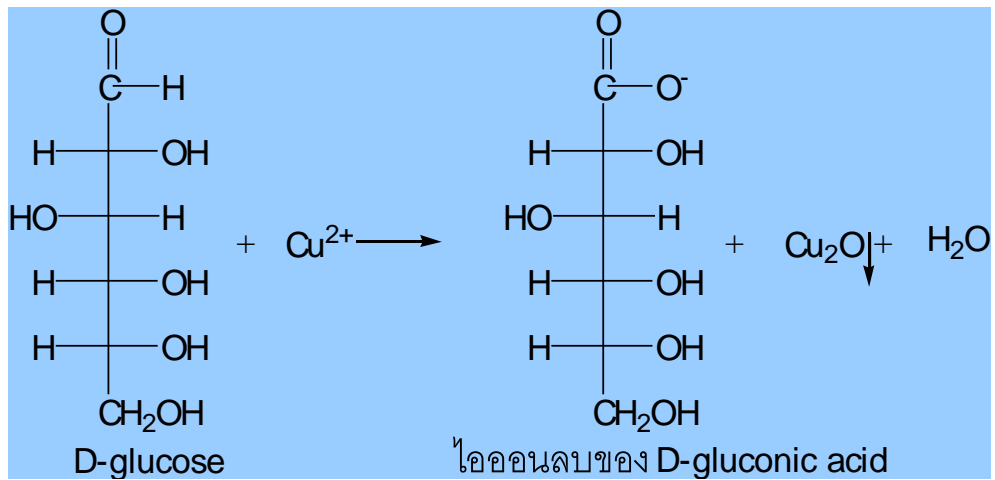
เติมสารละลายเบเนดิกต์ลงในสารละลายน้ำตาล แล้วอุ่นให้ร้อน



ปฏิกิริยาเบเนดิกต์กับมอนอแซคคาไรด์ ได้ตะกอนสีน้ำตาลหรือน้ำตาลแดง



จะได้ตะกอนสีแดงอิฐหรือน้ำตาลแดงกับมอนอแซคคาไรด์ ส่วน Sucrose ไม่เกิดปฏิกิริยา



### Reduction of Fehling's solution

#### ปฏิกิริยาการเกิดเอสเทอร์ (esterification)

เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก เมื่อทำปฏิกิริยากับแอซิดแอนไฮไดรต์ จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ (ester) เช่น ปฏิกิริยาของ  $\alpha$ -D-กลูโคไพราโนส ( $\alpha$ -D-กลูโคไพราโนสglucopyranose) กับแอซิดิกแอนไฮไดรต์ โดยมีพิริดีน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา  $\alpha$ -D-กลูโคไพราโนสเพนตะแอซีเตต ( $\alpha$ -D-glucopyranose pentaacetate)

