แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 2

หัวข้อเนื้อหาประจำบท

1. สมบัติทางเคมีของคาร์โบไฮเดรต
2. ความสำคัญของคาร์โบไฮเดรต
3. การจำแนกชนิดของคาร์โบไฮเดรต
4. หน้าที่ของคาร์โบไอเดรต

บทสรุป

คำถามท้ายบท

เอกสารอ้างอิง

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เพื่อให้นักศึกษาสามารถ

1. บอกสมบัติทางเคมีของคาร์โบไฮเดรต
2. บอกความสำคัญของคาร์โบไฮเดรต
3. อธิบายการจำแนกชนิดของคาร์โบไฮเดรต
4. อธิบายหน้าที่ของคาร์โบไอเดรต

วิธีการสอนและการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนประจำบท

1. ศึกษาเอกสารประกอบการสอน เรื่อง คาร์โบไฮเดรต
2. ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมเรื่องคาร์โบไฮเดรตสัตว์
3. การตอบคำถามท้ายบท

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอน
2. สไลด์ Microsoft Power Point เรื่อง คาร์โบไฮเดรต
3. เว็บไซต์ที่เกี่ยวกับพฤติกรรมของสัตว์เลี้ยง คือ

   https://www.youtube.com/watch?v=LeOUIXbFyqk&t=153s

   https://www.youtube.com/watch?v=JxK5rZxbyQY&t=151s

   https://www.youtube.com/watch?v=D5RdWVBAN1c

การวัดผลและการประเมินผล

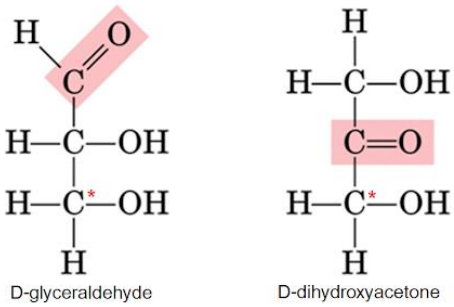
1. สังเกตจากความสนใจ ความตั้งใจเรียน
2. ตรวจคำตอบจากการค้นคว้าเพิ่มเติมเรื่องคาร์โบไฮเดรต
3. ตรวจคำตอบจากการตอบคำถามท้ายบท

บทที่ 2
คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตจัดเป็นสารชีวโมเลกุลที่มีความสำคัญของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด เป็นชีวโมเลกุลที่มีปริมาณมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพืช โดยในต้นมีมากถึงร้อยละ 70 ของวัตถุแห้ง เมล็ดธัญพืชอาจมีถึงร้อยละ 85 เนื่องจากพืชสามารถสังเคราะห์สารอาหารขึ้นได้เองจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) เพื่อให้ได้สารอาหารพวกคาร์โบไฮเดรต ในสิ่งมีชีวิตจะใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ และถ้าหากเหลือใช้แล้ว ร่างกายก็จะเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตไปเป็นสารเคมีอย่างอื่น เช่น ไขมัน โดยวิถี (pathway) ต่าง ๆ ในร่างกาย

สมบัติทางเคมีของคาร์โบไฮเดรต

คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของคาร์โบไฮเดรต เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตเป็นคำที่มาจากภาษาฝรั่งเศสว่า *“hydrate de carbone”* เนื่องจากประกอบด้วยธาตุ carbon (C) ไฮโดรเจน (H) และ ออกซิเจน (O) โดยอัตราส่วน 2 ต่อ 1 เช่นเดียวกับ น้ำ (McDonald *et al.*, 1998) ดังนั้นมีสูตรทั่วไปว่า $(CH_2O)_n$ โดย $n \geq 3$ (Voet and Voet, 1990) ต่อมาพบว่า สัดส่วนของธาตุไฮโดรเจนและออกซิเจนที่ประกอบกันเป็นคาร์โบไฮเดรตนั้นไม่ได้เป็น เป็น 2:1 เสมอไป ดังนั้นจึงเขียนสูตรทั่วไปของคาร์โบไฮเดรต ได้ว่า $C_X(H_2O)_Y$ (ปุณฑริกา, 2528) ซึ่งเป็นผลให้สามารถครอบคลุมได้กว้างกว่าเพราะคาร์บอน (C) จะเป็นเท่าไหร่ก็ได้โดยมีค่าเท่ากับ X ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีอิสระ (variable value) ขณะที่สัดส่วนของ H: O จะเป็นเท่าไหร่ก็ขึ้นอยู่กับ Y และเนื่องจากคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายส่วนใหญ่คือแป้งและน้ำตาล คาร์โบไฮเดรตที่เป็นน้ำตาลนั้นมีส่วนของโครงสร้างโมเกุลที่ทำหน้าที่เป็น functional group ที่ต่างกันได้ 2 แบบ คือ aldehyde และ ketone (ภาพที่ 2.1) ดังนั้นจึงมักจะเรียกน้ำตาลที่เป็นอนุพันธ์ของ aldehyde ว่า aldose และเรียก น้ำตาลที่เป็นอนุพันธ์ของ ketone ว่า ketose ถ้าคาร์โบไฮเดรตจัดเป็นอนุพันธ์ของ aldehyde; หรือ ketone; มีหมู่ –OH (Hydroxyl group) มากกว่า 1 หมู่ เรียกว่า polyhydroxyaldehyde หรือ polyhydroxyketone ดังนั้นในปัจจุบันคาร์โบไฮเดรตจึงพิจารณาไปที่ว่าคาร์โบไฮเดรตเป็น polyhydroxy aldehyde, polyhydroxy ketone, polyhydroxy acids และ polyhydroxy alcohols รวมทั้งอนุพันธ์ (derivatives)



ภาพที่ 2.1: น้ำตาลที่มี 3 คาร์บอน (triose) ซึ่งเป็นอนุภัณฑ์ของ aldehyde และ ketone
ที่มา: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0833/

ความสำคัญของคาร์โบไฮเดรต

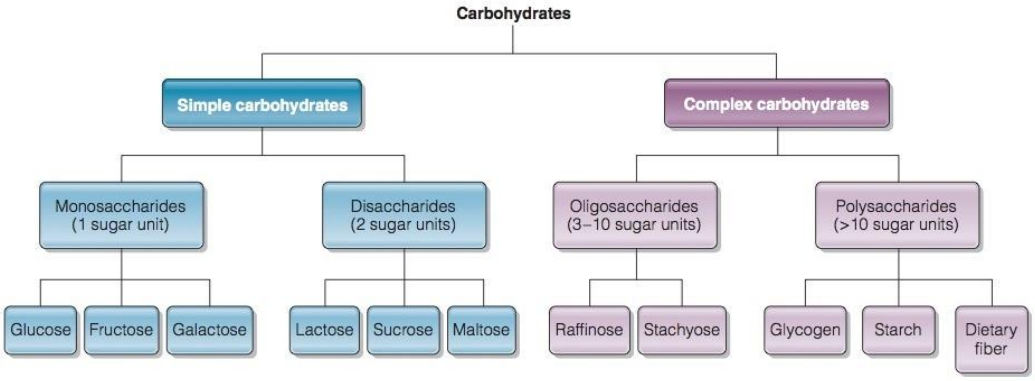
คาร์โบไฮเดรตมีความสำคัญโดยเป็นโภชนะขั้นต้นที่ได้จากการสังเคราะห์ของพืชในกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) โดยพืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) เป็นวัตถุดิบโดยมีแสงและคลอโรฟิล (chlorophyll) ร่วมในปฏิกิริยา (light reactions) ได้เป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวที่เป็น glucose และ oxygen รวมทั้งได้พลังงาน ในเซลล์ของพืชที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง คือ chloroplast ใน chloroplast มีสารเคมีสีเขียวที่เรียกว่า chlorophyll ทำหน้าที่ดูดพลังงานแสง จึงสามารถสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตได้เองจากคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) ซึ่งมีปฏิกิริยาโดยสรุป คือ

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O \xrightarrow[\text{พลังงานจากแสงอาทิตย์ (673 cal)}]{\text{คลอโรฟิลล์}} \underset{\text{(glucose)}}{C_6H_{12}O_6} + 6\ O_2$$

จากปฏิกิริยาดังกล่าวออกซิเจนที่เกิดขึ้น 6 โมเลกุลได้จากออกซิเจนที่อยู่ในน้ำ และมีการสร้างน้ำจากออกซิเจนของคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์โบไฮเดรตที่สร้างขึ้นนี้ก็คือกลูโคส ซึ่งเป็นหน่วยย่อยของคาร์โบไฮเดรต และออกซิเจนที่จำเป็นต่อการหายใจของสิ่งมีชีวิต เมื่อสัตว์กินพืชจะได้รับคาร์โบไฮเดรตเข้าไปเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานในร่างกาย (gibb free energy: ΔG เท่ากับ 2,872 kj หรือ เท่ากับ 686 kcal) (Linder, 1959) และกลูโคสที่เกิดขึ้นพืชนำไปสร้างเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภท โครงสร้างที่โมเลกุลซับซ้อน เช่นเซลลูโลสหรือนำไปสร้างเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทแป้งเก็บไว้เป็นพลังงานสำรอง

การจำแนกชนิดของคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตสามารถแบ่งตามธรรมชาติของสารเคมีที่ประกอบออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ภาพที่ 2.2

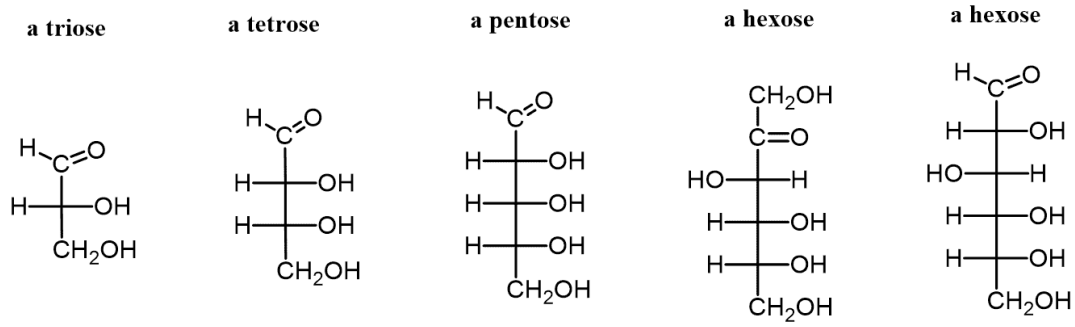


ภาพที่ 2.2 การจำแนกชนิดของคาร์โบไฮเดรต
ที่มา: https://www.mindfulwellness.us/carbohydrates.html

การจัดประเภทคาร์โบไฮเดรตพอสรุปได้ดังนี้

1. คาร์โบไฮเดรตเชิงเดี่ยว (simple carbohydrate) คือ คาร์โบไฮเดรตที่ไม่มีสารชนิดอื่นประกอบอยู่ในโมเลกุล ได้แก่ น้ำตาล แป้ง ไกลโคเจน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส เป็นต้น แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide), น้ำตาล 2 โมเลกุล (disaccharide) และน้ำตาลหลายโมเลกุล (oligo & polysaccharide)

1.1 น้ำตาลโมเลกุลเชิงเดี่ยว (monosaccharides) เป็นน้ำตาลที่เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของคาร์โบไฮเดรต ปกติมักไม่ค่อยพบเป็นอิสระในธรรมชาติ แต่มักเป็นองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตอื่น แบ่งตามจำนวนอะตอมของคาร์บอนที่ประกอบในโมเกุลที่มีตั้งแต่ 3-7 อะตอม คือ triose ($C_3H_6O_3$), tetrose ($C_4H_8O_4$), pentose ($C_5H_{10}O_5$), hexose ($C_6H_{12}O_6$) และ heptose ($C_7H_{14}O_7$) (ภาพที่ 2.3) ตามลำดับ น้ำตาลเชิงเดี่ยวที่ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอน 3 4 และ 7 อะตอมมักพบในสภาพที่เป็นสารตัวกลางของปฏิกิริยา metabolism ของคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆ ในขณะที่น้ำตาลเชิงเดี่ยวที่มี 5 และ 6 คาร์บอน พบได้ในรูปอิสระในอาหาร ซึ่งน้ำตาลเชิงเดี่ยวเหล่านี้มักจะเป็นโมเลกุลพื้นฐานของน้ำตาลอื่น ๆ และเป็นน้ำตาลที่เป็นผลผลิตขั้นสุดท้ายของการย่อยคาร์โบไฮเดรต



ภาพที่ 2.3 จำนวนอะตอมของคาร์บอนที่ประกอบในโมเกุลที่มีตั้งแต่ 3-6 อะตอม
ที่มา: https://www.chemistrysteps.com/carbohydrates-structure-and-classification

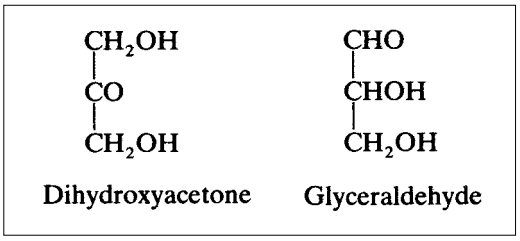
นอกจากนี้ยังแยกชนิดตามหมู่คาร์บอนิล (carbonyl) หรือหมู่ที่มีหน้าที่ทำปฏิกิริยา (function group) ของน้ำตาลด้วย กล่าวคือ ถ้าเป็นอัลดีไฮด์ (aldehyde, $-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H$) เช่น ในกรณีกลูโคสเรียกว่า น้ำตาลอัลโดส (aldose sugar) แต่ถ้าเป็นคีโตน (ketone, $C-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-C$) เช่น ในกรณีของฟรักโทส (fructose) เรียกว่า น้ำตาลคีโตส (ketose sugar) ตัวอย่างของน้ำตาลอัลโดสและคีโตสที่มีจำนวนคาร์บอนต่างๆ กัน แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 จากตารางนี้จะเห็นได้ว่า กลูโคสจัดเป็นอัลโดเฮกโซส (aldohexose) และไรบูโลส (ribulose) จัดเป็นคีโตเพนโทส (ketopentose)

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างน้ำตาลอัลโดสและคีโตสที่มีจำนวนคาร์บอนต่างๆ กัน

จำนวนคาร์บอน	ประเภทน้ำตาล	น้ำตาลอัลโดส	น้ำตาลคีโตส
3	Triose ($C_3H_6O_3$)	Glyceraldehyde	Dihydroxyacetone
4	Tetrose ($C_4H_8O_4$)	Erythrose	Erythulose
5	Pentose ($C_5H_{10}O_5$)	Ribose	Ribulose
6	Hexose ($C_6H_{12}O_6$)	Glucose	Fructose
7	Heptose ($C_7H_{14}O_7$)		Sedoheptulose

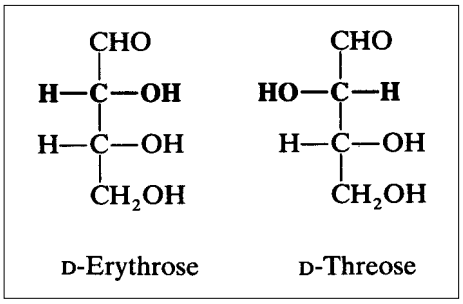
ที่มา: บุญล้อม

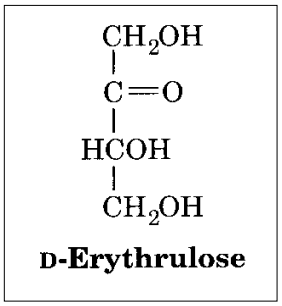
1.1.1 น้ำตาลที่มีโมเลกุลจำนวน 3 คาร์บอน (triose: $C_3H_6O_3$) เป็นน้ำตาลที่พบว่าเป็นตัวกลางในวิถีการเปลี่ยนแปลง (metabolism) ของคาร์โบไฮเดรตอื่น เช่น ในวิถี glycolysis ได้แก่ glyceraldehyde และ dihydroxy acetone (ภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของ dihydroxy acetone และ glyceraldehyde
ที่มา: Kuchel and Ralston (1988)

1.1.2 น้ำตาลที่มีโมเลกุลจำนวน 4 คาร์บอน (Tetrose ($C_4H_8O_4$) เป็นน้ำตาลที่ไม่พบในธรรมชาติเช่นกันแต่พบในสถานะที่เป็นสารตัวกลางของ metabolism ของน้ำตาลชนิดอื่นๆ ได้แก่ น้ำตาล threose และ erythrose ซึ่งจัดเป็น aldotetrose และ erythrulose ที่จัดเป็น ketotetrose (ภาพที่ 2.5)





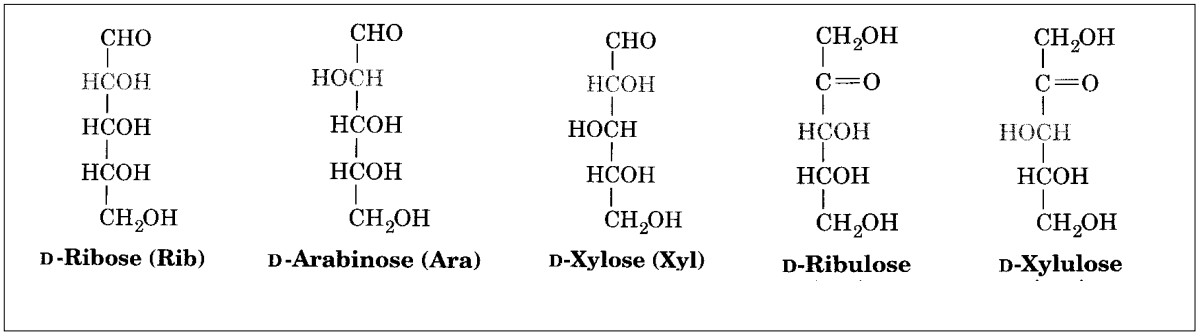
ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของน้ำตาล erythrose และ threose ซึ่งเป็นน้ำตาลชนิด aldotetrose และน้ำตาล erythrulose ที่เป็น ketotetrose
ที่มา: Kuchel and Ralston (1988) และ Voet and Voet (1990)

1.1.3 น้ำตาลเชิงเดี่ยวที่โมเลกุลมีจำนวน 5 คาร์บอน (pentose: $C_5H_{10}O_5$) เป็นน้ำตาลที่ไม่ได้พบในรูปอิสระ (free form) ในธรรมชาติ แต่พบในรูปที่อยู่รวมกับน้ำตาลชนิดอื่น ได้แก่ น้ำตาล ribose, arabinose, xylose และ xylulose (ภาพที่ 2.5)

น้ำตาล ribose ซึ่งจะเป็นองค์ประกอบของ ribonucleic acids: RNA รวมทั้งเป็นส่วนประกอบของ AMP (adenosine monophosphate) ADP (adenosine diphosphate) และ ATP (adenosine triphosphate) และใน vitamin B_2 (riboflavin) (ภาพที่ 2.6)

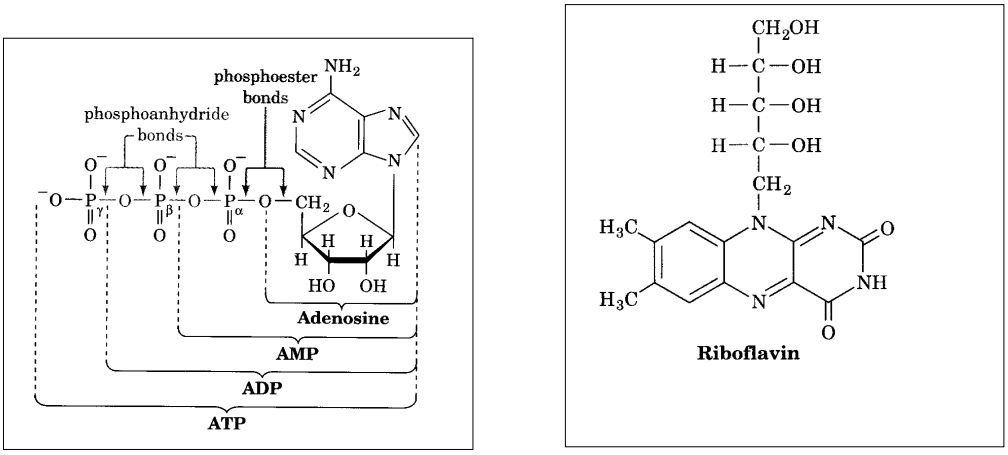
น้ำตาล Arabinose เป็นส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนอื่นที่เป็น pentosans ของ arabinans (arabans) และเป็นส่วนประกอบของ hemicellulose และยังพบในยางไม้บางชนิด เช่น gum arabic และยางไม้อื่น ๆ ถ้าย่อย (hydrolysis) ยางไม้เหล่านั้นก็จะได้ arabinose

น้ำตาล xylose เป็นส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนพวก pentosans เป็นส่วนประกอบสำคัญของ hemicellulose ของหญ้า ดังนั้นพบ xylose ได้มากในหญ้าแห้งและแกนฝักข้าวโพด



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของน้ำตาลเชิงเดี่ยวที่โมเลกุลมีคาร์บอน 5 อะตอมทั้งที่เป็น aldopentose ซึ่งได้แก่ ribose, arabinose และ xylose และที่เป็น ketopentose ซึ่งได้แก่ ribulose และ xylulose

ที่มา: ดัดแปลงจาก Voet and Voet (1990)



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของ AMP (adenosine monophosphate), ADP (adenosine diphosphate) ATP (adenosine triphosphate) และวิตามิน B_2 (riboflavin) ซึ่งมีน้ำตาล Ribose เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ

ที่มา: Voet and Voet (1990)

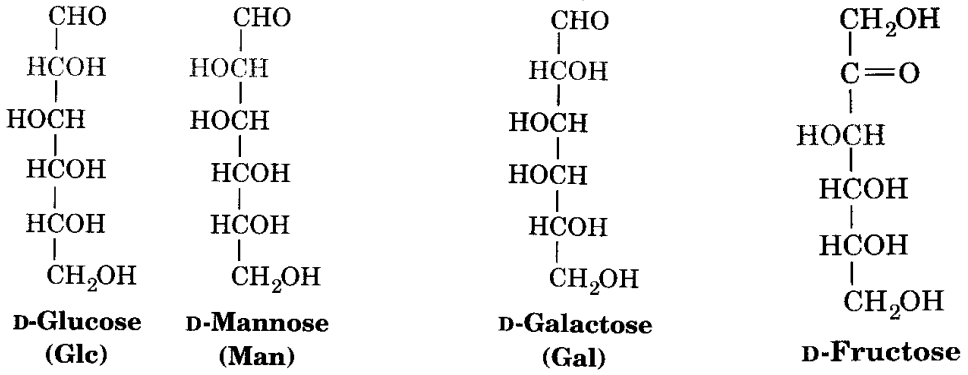
1.1.4 น้ำตาลที่มีโมเลกุลจำนวน 6 คาร์บอน (Hexoses: $C_6H_{12}O_6$) จัดเป็นน้ำตาลที่มีความสำคัญที่สุดในทางอาหารสัตว์ได้แก่ glucose, mannose, galactose และ fructose (ภาพที่ 2.7)

glucose (dextrose) เป็นน้ำตาลที่มีลักษณะเป็นผลึกขาว แข็งคล้ายน้ำตาล และสามารถละลายได้ในน้ำ พบได้ทั้งในรูปอิสระตามธรรมชาติ เช่น ในน้ำหวานของผลองุ่น น้ำผลไม้ น้ำผึ้ง น้ำเลี้ยงต้นไม้ และน้ำตาลในเลือด (blood glucose) ในคนปกติมีความเข้มข้นของกลูโคสประมาณ 70-100 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตรเลือด ถ้ามีมากกว่านี้อาจเป็นโรคเบาหวาน (diabetes mellitus) ได้ และในการย่อยอาหาร carbohydrate ขั้นสุดท้ายในร่างกายของสัตว์จะได้เป็น glucose

galactose ในธรรมชาติจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของน้ำตาล lactose ในนม และ galactose ที่เป็นส่วนประกอบของ galactolipid ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสมองและเนื้อเยื่อประสาท หรือในยางไม้ (gums) หรือในเมือกไม้ (mucilage)

mannose พบได้ในพืชอยู่ในรูปของ polymer ของ mannose ในรูป mannan ที่พบได้มากใน เซลล์ของจุลินทรีย์พวกยีสต์ รา และ แบคทีเรีย รวมทั้ง mannose ที่เป็นส่วนประกอบของ glycoprotein บางชนิด

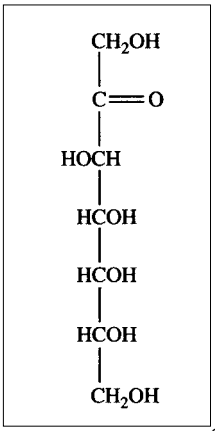
fructose หรือน้ำตาลผลไม้ (fruit sugar) มักอยู่รวมกับกลูโคสได้เป็นน้ำตาลไดแซ็กคาไรด์ที่มีชื่อว่า Sucrose เป็นน้ำตาลที่มีมากในผลไม้ ในน้ำผึ้ง จัดเป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวที่มีความหวานมากที่สุด และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของอินูลิน (insulin)



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของน้ำตาล glucose, mannose galactose ซึ่งจัดเป็น aldohexose และน้ำตาล fructose ซึ่งจัดเป็น ketohexose ในโครงสร้างที่เป็น D-form ทั้งหมด

ที่มา: Voet and Voet (1990)

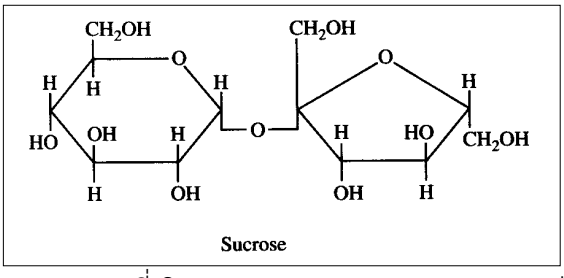
1.1.5 น้ำตาลที่มีโมเลกุลจำนวน 7 คาร์บอน (heptoses: $C_7H_{14}O_7$) ได้แก่ D-sedoheptulose (ภาพที่ 2.8) เป็นน้ำตาลที่ต่พบเป็นสารตัวกลางใน pentose phosphate pathway



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของน้ำตาล D- sedoheptulose ซึ่งจัดเป็น ketoheptose
ที่มา: McDonald *et al.*, 1998

1.2 น้ำตาลโมเลกุลเชิงเดี่ยว (Disaccharides) เป็นน้ำตาลที่ประกอบด้วย **monosaccharides** 2 โมเลกุลต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic linkage) สามารถจำแนกได้ดังนี้

1.2.1 Sucrose ประกอบด้วย glucose จับกับ fructose ด้วยพันธะแบบ α-(1, 2) อย่างละ 1 โมเลกุล (ภาพที่ 2.9) พบมากในอ้อย (sugar cane) และหัวบีท (sugar beet) เป็นน้ำตาลทรายที่ใช้รับประทานอยู่ทั่วไป ในพืช sucrose ทำหน้าที่เป็นน้ำตาลขนส่งเพื่อการขนส่งสารอย่างอื่นในระบบลำเลียงอาหารเพื่อไปหล่อเลี้ยงส่วนต่างๆ ของพืช



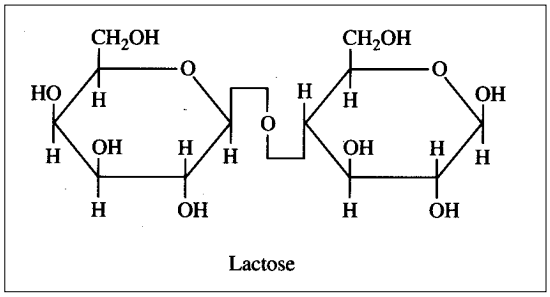
ภาพที่ 2.9 โครงสร้างของน้ำตาล sucrose ที่เกิดจาก glucose และ fructose อย่างละโมเลกุลมาต่อกัน
ที่มา: McDonald *et al.*, 1998

เมื่อถูกย่อยด้วย sucrase ได้เป็น glucose และ fructose อย่างละ 1 โมเลกุลดังนี้

$$\text{Sucrose} + \text{Water} \xrightarrow{\text{sucrase}} 1\,\text{Glucose} + 1\,\text{Fructose}$$

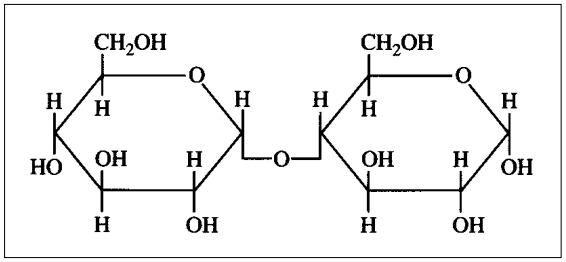
หรือสรุปได้เป็นดังนี้ $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow 2C_6H_{12}O_6$

1.2.2 Lactose หรือน้ำตาลนม (milk sugar) เนื่องจากเป็นน้ำตาลที่พบได้ในน้ำนม ประกอบด้วย glucose กับ galactose อย่างละ 1 โมเลกุล ต่อกันด้วยพันธะแบบ β α-(1, 4) (ภาพที่ 2.10) พบได้มากในน้ำนมของสัตว์ เช่น ในนมโคมี lactose ประมาณร้อยละ 4.3-4.8 แต่ในนมคนมีถึงร้อยละ 7 (บุญล้อม) เป็นน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ยากและรสก็ไม่ค่อยหวาน



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างของน้ำตาล lactose ที่เกิดจาก galactose และ glucose
ที่มา: McDonald *et al.*, 1998

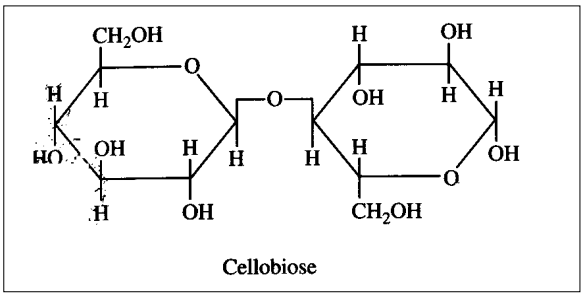
1.2.3 maltose (malt sugar) ประกอบด้วย glucose 2 โมเลกุล จับกันด้วยพันธะแบบ α-(1, 4) (ภาพที่ 2.11) เป็นน้ำตาลที่ได้จากการย่อยแป้ง (starch) หรือ glycogen โดย amylase ในร่างกายสัตว์ จึงมีรสหวานนิดๆ



ภาพที่ 2.11 โครงสร้างของน้ำตาล maltose ที่เกิดจาก glucose 2 โมเลกุล
ที่มา: McDonald *et al.*, 1998

1.2.4 Cellobiose เป็นน้ำตาลที่ประกอบด้วย glucose 2 โมเลกุลต่อกัน ด้วยพันธะ β-1, 4 glycosidic linkage (ภาพที่ 2.12) มีคุณสมบัติคล้าย maltoseคือมี reducing group เพียง 1 กลุ่ม แต่มีความหวานน้อยกว่าและไม่พบอิสระในธรรมชาติ แต่พบเป็นหน่วยย่อยของ Cellulose ร่างกายของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยทุกชนิดไม่มี enzyme สำหรับย่อย cellobiose แต่จุลินทรีย์ มี enzyme

สำหรับย่อย cellobios ได้ ดังนั้นสัตว์เคี้ยวเอื้องที่มีจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนทำให้สามารถหมัก (ferment) น้ำตาลชนิดนี้ได้



ภาพที่ 2.12 โครงสร้างของน้ำตาล cellobiose ที่เกิดจาก glucose 2 โมเลกุล
ที่มา: McDonald *et al.*, 1998

1.3 น้ำตาลโมเลกุลน้ำตาลเชิงซ้อน (Oligosaccharides) เป็นน้ำตาลที่เกิดจาก monosaccharides 3 molecules เชื่อมต่อกันด้วย glycosidic linkage ได้แก่น้ำตาลดังต่อไปนี้

1.3.1 raffinose เป็นน้ำตาลที่เกิดจาก glucose fructose และ galactose อย่างละ 1 molecule มาต่อกัน พบน้ำตาลชนิดนี้มากในพืชรูปของ sucrose (glucose+fructose) พบปริมาณเล็กน้อยในหัวบีทและในกากน้ำตาล ในเมล็ดฝ้าย มี raffinose ประกอบอยู่ประมาณ 80 กรัม/กิโลกรัม

1.3.2 kestose และ isokestose เป็นน้ำตาลที่เกิดจาก fructose เกาะอยู่กับน้ำตาล sucrose (glucose+fructose) พบได้มากในส่วนของเมล็ด ต้นและใบของหญ้าหลายชนิด

1.4 น้ำตาลโมเลกุลใหญ่ (Polysaccharides) เป็นคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ที่ประกอบด้วยน้ำตาลจำนวนมากนับร้อยถึงพันหน่วย เป็นส่วนประกอบสำคัญของเนื้อเยื่อหลายชนิดทั้งของพืชและสัตว์ อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1.4.1 homoglycans (homopolysaccharides) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยน้ำตาลเชิงเดี่ยว ที่เป็นชนิดเดียวกันมากกว่า 10 molecules ขึ้นไปมาต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ ไม่ละลายในน้ำเย็น รสชาติไม่หวาน มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และสูงกว่าน้ำตาล เพราะเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกว่า พบคาร์โบไฮเดรตชนิดนี้ได้มากในพืช ซึ่ง homoglycans ที่สำคัญในอาหารสัตว์มีดังนี้

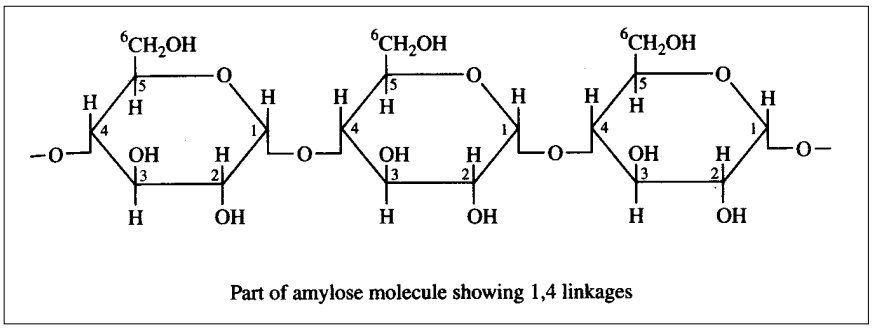
pentosans $(C_5H_8O_4)_n$ เป็น polysaccharide พบมากในหญ้าแห้ง ฟ่างข้าว, ซังข้าวโพด เปลือกถั่ว, เปลือกเมล็ดพืชตระกูลถั่วชนิดต่าง

hexsans หรือ hexosans $(C_6H_{10}O_5)_n$ เป็น polysaccharide ที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยของน้ำตาล hexose ทั้งหมด ซึ่งมีทั้งที่เป็น glucosans และ galactans โดย **glucosans หรือ glucans** เป็น hexans ที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยของ glucose ทั้งหมดได้แก่

- dextrins เป็นสารตัวกลางที่เกิดจากการย่อยแป้ง (starch) หรือการย่อย glycogen

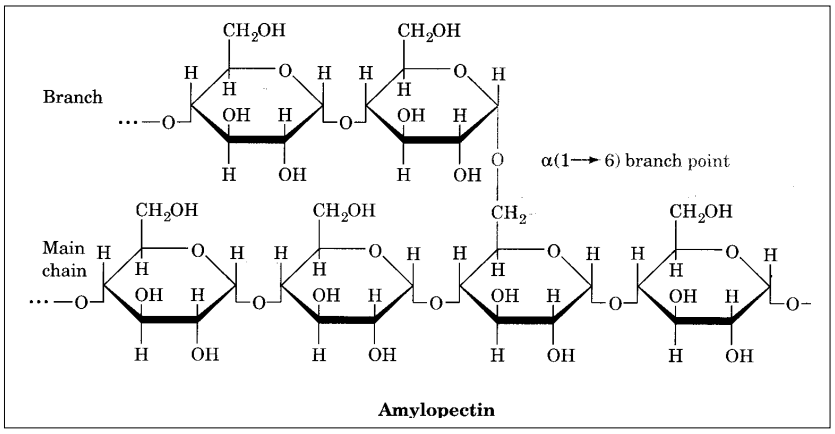
- starch หรือ แป้ง เป็น glucans ที่สำคัญที่สุดเพราะเป็นแหล่งอาหารสำรองของพืช โดยที่พืชเก็บแป้งไว้ในส่วนต่างๆ เช่น เมล็ด ผล หัว และราก แป้งในพืชทั่ว ๆ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด amylose (ภาพที่ 2.13) และ amylopectin (ภาพที่ 2.14) โดยมีสัดส่วนของแป้งทั้ง 2 ชนิด แตกต่างกันในพืชแต่ละชนิด

amylose ประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เป็น glucose ที่ต่อกันด้วยพันธะ α-1, 4–glycosidic linkage ที่เป็นสายตรง (straight chain) เกือบทั้งหมด แต่อาจจะมี พันธะชนิด α-1, 6–glycosidic linkage ตรงตำแหน่งที่แตกกิ่งก้านสาขา (branch point) อยู่บ้างเพียงเล็กน้อย ขณะที่ amylopectin เป็นแป้งที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เป็น glucose ที่ต่อกันด้วยพันธะ α-1, 4–glycosidic linkage ในสายตรง (straight chain) เช่นกัน และมีพันธะชนิด α-1, 6 –glycosidic linkage ตรงตำแหน่งที่แตกกิ่งก้านสาขา (branch point) ทุกๆ 24-30 หน่วยของกลูโคส



ภาพที่ 2.13 แสดงส่วนหนึ่งของโครงสร้างของ แป้ง (amylose) ที่เกิดจาก glucose หลายๆ หน่วยต่อกันด้วยพันธะ α-1, 4 –glycosidic linkage ที่เป็นสายตรง (straight chain)

ที่มา: McDonald *et al.*, 1998

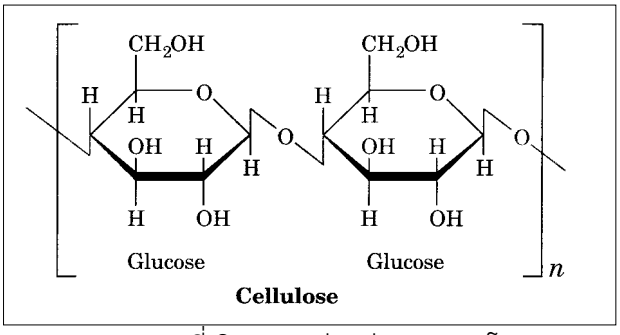


ภาพที่ 2.14 แสดงส่วนหนึ่งของโครงสร้างของ แป้ง (amylopectin) ที่เกิดจาก glucose ต่อกันด้วยพันธะ α-1, 4 –glycosidic linkage ในสายตรง และ α-1, 6 –glycosidic linkage ตรงตำแหน่งที่แตกกิ่งก้านสาขา (branch point)

ที่มา: Voet and Voet, 1990

- glycogen เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายเก็บสะสมไว้ในตับและกล้ามเนื้อ เรียกว่า animal starch ในสัตว์แต่ละชนิดมี glycogen ที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่างกัน glycogen มีบทบาทสำคัญในการ metabolism ของพลังงานในร่างกาย

- cellulose เป็นสารเคมีที่พบได้มากที่สุดในพืช เป็นโครงสร้างพื้นฐานของผนังเซลล์ของพืช ทำให้ต้นพืชมีความแข็งแรง ในทางโภชนศาสตร์สัตว์ cellulose จัดเป็นเยื่อใย (fiber) ซึ่งสัตว์ทุกชนิดไม่สามารถย่อยได้ นอกจากจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ภายในกระเพาะ rumen ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง และในไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่ของสัตว์กินพืช (herbivorous) หลาย ๆ ชนิด ในทาง เคมี cellulose เป็น glucans (glucosans) ที่ประกอบด้วยกลูโคส ตั้งแต่ 15,000 หน่วยขึ้นไป มาต่อกันด้วย β-1,4-glycosidic linkage (ภาพที่ 2.15)



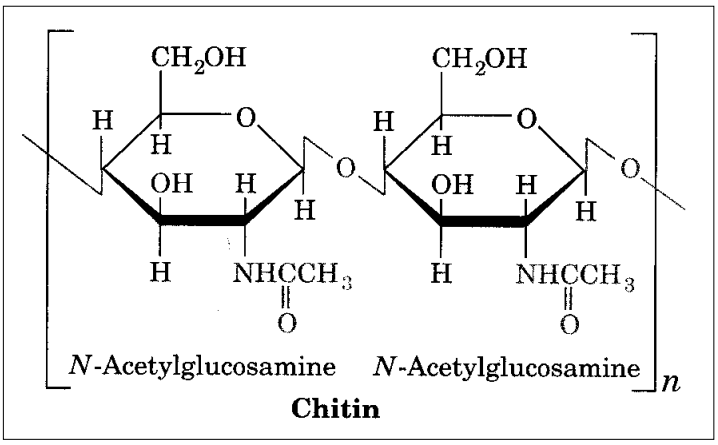
ภาพที่ 2.15 โครงสร้างของ cellulose ที่เกิดจากหน่วยย่อยของกลูโคส ประมาณ 15,000 หน่วย ต่อกันด้วย β -1,4 Glycosidic bond

ที่มา: Voet and Voet, 1990

Fructans (Fructosans) เป็น hexans ที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เป็นน้ำตาล fructose และมี glucose บ้างเล็กน้อย พบได้ในส่วนต้น และราก ใบ และเมล็ดของพืชเขตหนาวหลาย ๆ ชนิด

galactans และ mannans เป็น hexans ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของ galactose และ mannose พบ galactans ได้มากในผนังเซลล์ของพืช ในเมล็ดของพืชตระกูลถั่วหลายๆชนิด เช่นถั่ว clover และถั่ว lucerne ขณะที่ mannans พบได้มากในผนังเซลล์ของเปลือกและในส่วนของ endosperm ของเมล็ดปาล์มบางชนิด

chitin จัดเป็น homopolysaccharide ชนิดหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในธรรมชาติ เนื่องจากเป็นส่วนประกอบหลักของโครงสร้างของสัตว์ เช่น กุ้ง กั้ง ปู และ แมลง และยังพบได้มากใน รา และสาหร่ายหลายชนิด chitin จัดเป็น polysaccharides ที่มีมากที่สุดในธรรมชาติรองจาก cellulose ในทางเคมี chitin (ภาพที่ 2.16) จัดเป็น glucosaminans ที่เป็น homopolymer ของ N-acetyl-D-glucosamine ที่ต่อกันด้วยพันธะชนิด β (1, 4) linkage ที่มีโครงสร้างคล้ายกับ cellulose เป็นอย่างมาก chitin มีความสำคัญทางด้านการเป็นโครงสร้างของสัตว์พวก กุ้ง ปู และแมลง เมื่อนำสัตว์พวกนี้ไปต้มเปลือกจะเปลี่ยนสี (แดง-ส้ม) ในทางอาหารสัตว์การผสมเอาเปลือกกุ้ง ปู ในอาหารไก่ไข่เพื่อหวังให้ไข่มีสีแดงขึ้นซึ่งได้ผลในระดับหนึ่ง



ภาพที่ 2.16 โครงสร้างของ chitin ที่มีหน่วยย่อยเป็น N-acetylglucosamine
ที่มา:

1.4.1 Heteroglycans (heteropolysaccharides) เป็น polysaccharides ที่เมื่อถูก hydrolyzed แล้วได้เป็น monosaccharides หลายๆชนิด และสารเคมีอย่างอื่น heteroglycans ที่สำคัญได้แก่

Hemicellulose เป็นส่วนประกอบในผนังเซลล์ของพืช สามารถถูกละลายได้ด้วยสารละลายที่เป็นด่าง เมื่อถูกย่อยแล้วจะให้ xylose, arabinose, mannose galactose และ

glucose และสารพวก uronic acid สามารถพบ hemicellulose ได้ทั่วๆ ไปในพืชอาหารสัตว์ทุกชนิดทั้งในหญ้าและถั่ว สามารถถูกย่อยได้ง่ายกว่า cellulose

โครงสร้างทางเคมีของ hemicellulose ในพืชอาหารสัตว์พวกหญ้าประกอบด้วยโครงสร้างหลักที่เป็น polymer ของ xylose ที่เรียกว่า xylans ที่เกิดจากหน่วยย่อยของน้ำตาล D-Xylose เชื่อมต่อกันด้วยพันธะชนิด β-1, 4 linkage และมี side chain ที่เป็น methylglucuronic acids ที่มักจะเป็น glucose galactose และ arabinose

gum (ยางไม้) เป็นสารที่พืชขับออกมาตามปกติจากต้น หรือใบ หรือเมื่อต้นไม้เกิดบาดแผล และเมื่อยางนั้นถูกกับอากาศมักจะแข็งตัวและมีสีใส gum ที่พบในธรรมชาติอยู่ในรูปของเกลือของ calcium และ magnesium ในทางเคมีพบว่า gum เป็นสารที่ซับซ้อนและเมื่อถูก hydrolized จะได้เป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวหลายชนิดเช่น arabinose galactose rhamnose และ glucuronic acid

mucilages (กาว หรือเมือกไม้) เป็นเมือกของส่วนต้น ใบ ราก และเมล็ดของไม้บางอย่าง เช่น แมงลัก เมล็ด linseed และ สาหร่ายทะเล ถ้านำไป hydrolyzed จะได้ น้ำตาลพวก arabinose, galactose rhamnose และ monosaccharides derivatives พวก galactouronic acid

pectic substance พบได้มากในผนังเซลล์ทั้งในชั้น primary wall และ intercellular ของพืชจำพวก ส้ม และ ผลไม้ สามารถแบ่งได้เป็น

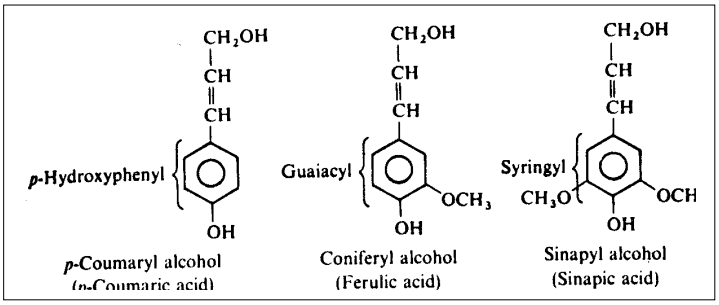
1). protopectic พบในผลไม้ที่ยังไม่สุก (ดิบ)

2). pectin เป็นวุ้น ในน้ำผลไม้บางอย่าง ใช้ทำ jelly เป็นอาหารคน

3). pectic acid พบในผิวผลไม้ที่สุกแล้ว

ลิกนิน (Lignin)

lignin เป็นสารเคมีที่มีในอาหารทั่วๆไป และมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับ คาร์โบไฮเดรต ทั้งนี้เนื่องจากว่าเมื่อไหร่ก็ตามที่พบคาร์โบไฮเดรตมักจะพบ lignin ควบคู่ไปด้วยเสมอ lignin เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (polymer) ของ alcohol 3 ชนิด ได้แก่ coniferyl alcohol, p-coumaryl alcohol และ sinapyl alcohol (ภาพที่ 2.17)



ภาพที่ 2.17 โครงสร้างของแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ที่ประกอบกันเป็น lignin

ที่มา: Chesson and Forsberg (1988)

ถึงแม้ว่าในโครงสร้างหลักของ lignin จะมี alcohol ทั้ง 3 ชนิดเป็นโครงสร้างหลัก แต่ในโมเลกุลของ lignin จริงๆ ยังประกอบด้วย alcohol อื่นๆ อีกหลายชนิด (ภาพที่ 2.17) และมีหน่วยย่อยของ phenylpropanoid ที่มาเชื่อมเกาะกันเป็นโครงสร้างเชิงซ้อน (complex cross-link structure) อีกด้วย จึงจัดว่า lignin เป็น phenolic compound ที่สำคัญที่สุดของผนังเซลล์ของพืช (Chesson and Forsberg, 1988)

lignification เป็นสภาวะที่ lignin ไปเกาะอยู่กับสารเคมีอย่างอื่น เช่น hemicellulose หรือ cellulose ในส่วนของผนังเซลล์ของพืช ทำให้ส่วนนั้นๆของพืชมีความแข็งมากขึ้น สามารถทนทานต่อสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงและแมลงศัตรูได้ดี นอกจากนี้ lignin ยังสามารถไปเกาะกับสารเคมีอย่างอื่นเช่นโปรตีนได้เรียกโปรตีนในรูปนี้ว่า lignified protein ซึ่งมีผลให้การย่อยได้ลดลงเพราะการเข้าถึงของเอนไซม์ เป็นไปได้อย่างมีข้อจำกัดมาก ปริมาณของ lignin ในส่วนของพืช และในวัตถุดิบอาหารวัตถุดิบอาหารสัตว์จะผันแปรตามปัจจัยจากชนิด สัดส่วนของส่วนต่างๆของพืช และอายุของพืชที่นำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ ซึ่งในหญ้าอาหารสัตว์ทั่วไป มี lignin ประกอบอยู่ตั้งแต่ 3 – 7 เปอร์เซ็นต์ (Holmes, 1989)

แนวทางในการเพิ่มความย่อยได้ของอาหารที่มี lignin ประกอบอยู่โดยการ treat ด้วยสารเคมีบางอย่าง เช่น สารละลายยูเรีย (6%) หรือ formaldehyde gas ก็เป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มโอกาสการย่อยได้ของอาหารนั้นๆ ให้สูงขึ้นได้

2. คาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน (complex carbohydrate) คือ คาร์โบไฮเดรตที่มีสารชนิดอื่น เช่น ไขมัน หรือ โปรตีนประกอบอยู่ในโมเลกุลด้วย เช่น

2.1 nucleoside และ nucleotide เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสารพันธุกรรม (DNA และ RNA) nucleoside ประกอบด้วยน้ำตาลไรโบสหรือดีออกซีไรโบสกับเบสชนิดพิวรีน (purine) หรือไพริมิดีน (pyrimidine) ถ้าเป็นนิวคลีโอไทด์จะมีหมู่ฟอสเฟตเข้ามาจับด้วย สารดังกล่าวจะเชื่อมโยงกันเป็นเส้นยาว มีบทบาทในการสังเคราะห์โปรตีน

2.2 glycoprotein เป็นสารประกอบระหว่างพอลิแซ็กคาไรด์และโปรตีน เช่น สารหมู่เลือด (blood group substance) บนผนังเซลล์เม็ดเลือดแดง ซึ่งอาจเรียกว่า ไกลโคโฟริน (glycophorin)

2.3 glycolipid เป็นสารประกอบระหว่างพอลิแซ็กคาไรด์และลิพิด

การจัดจำพวกคาร์โบไฮเดรตทางโภชนศาสตร์สัตว์

ในทางเดินอาหารสัตว์ แบ่งคาร์โบไฮเดรตออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ประเภทที่โครงสร้าง ได้แก่ เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส เป็นต้น พวกนี้อยู่ในผนังเซลล์ของพืช ช่วยสร้างความแข็งแรงให้แก่พืช แต่ย่อยได้ยาก เอนไซม์จากตัวสัตว์ไม่สามารถย่อยได้ ต้องอาศัยการย่อยโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในทางเดินอาหารของสัตว์ที่กินพืชเป็นอาหาร เช่น โค กระบือ แพะ แกะ ม้า และกระต่าย เป็นต้น

2. ประเภทที่ไม่ใช่โครงสร้าง ได้แก่ แป้งและน้ำตาล เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย เอนไซม์จากตัวสัตว์สามารถย่อยได้ จึงใช้ประโยชน์ได้ดีทั้งในสัตว์กระเพาะเดี่ยวและสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรตในอาหารสัตว์โดยวิธีพรอกซิเมทไม่ได้ทำการวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดโดยตรง แต่วิเคราะห์เป็นกลุ่มตามลักษณะความทนต่อการย่อยด้วยกรดและด่าง ทำให้แยกคาร์โบไฮเดรตได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. **เยื่อใย** (crude fiber, CF) หมายถึง คาร์โบไฮเดรตประเภทโครงสร้าง รวมทั้งลิกนิน ซึ่งไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต แต่มักอยู่รวมกับคาร์โบไฮเดรตประเภทนี้ในผนังเซลล์พืช ช่วยสร้างความแข็งแรงให้แก่พืช

2. ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรก (nitrogen free extract, NFE) หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย คือ แป้งและน้ำตาล

แต่ในการวิเคราะห์เยื่อใยแบบดีเทอร์เจนท์ (Detergent method) ได้ข้อมูลที่ละเอียดและถูกต้องกว่าการวิเคราะห์แบบพรอกซิเมท เพราะเยื่อใยแต่ละส่วนมีการย่อยได้ (โดยจุลินทรีย์) ต่างกัน ซึ่งแบ่งออกเป็นค่าต่างๆ ดังนี้

1. NDF (Neutral detergent fiber) หมายถึง ส่วนของผนังเซลล์ทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ถ้าหักส่วนนี้ออกจากวัตถุแห้ง ส่วนที่เหลือจะเป็นคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ภายในเซลล์ ซึ่งส่วนใหญ่ คือ แป้งและน้ำตาล

2. ADF (Acid detergent fiber) หมายถึง ส่วนที่มีลิกนินและเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก ถ้าหักส่วนนี้ออกจาก NDF จะเป็นค่าของเฮมิเซลลูโลส ซึ่งจุลินทรีย์สามารถย่อยได้

$$\text{Hemicellulose} = \text{NDF} - \text{ADF}$$

3. ADL (Acid detergent lignin) หมายถึง ส่วนที่มีลิกนินเป็นหลัก ซึ่งเอนไซม์จากสัตว์และจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยได้ ถ้าหักส่วนนี้ออกจาก ADF จะเป็นค่าของเซลลูโลส ซึ่งจุลินทรีย์ในไส้ติ่ง ลำไส้ใหญ่ และกระเพาะส่วนหน้าของสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถย่อยได้

$$\text{Cellulose} = \text{ADF} - \text{ADL}$$

รายละเอียดของการวิเคราะห์เยื่อใยทั้ง 2 วิธี กล่าวไว้ในหนังสือโภชนศาสตร์สัตว์ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตประเภทต่างๆ ในอาหารสัตว์ แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณเยื่อใย (ร้อยละของวัตถุแห้ง) ในอาหารสัตว์บางชนิด (Holm, 1979 และ NRC, 1988)

	CF	NFE	NDF	ADF	ADL
มันเส้น	3.6	88.84	-	-	-
ข้าวโพด	2.6	81.5	9.5	3.4	0.9
ข้าวฟ่าง	2.0	82.8	10.9	5.9	1.1
รำข้าวจ้าว	12.8	45.2	33.0	18.0	-
กากถั่วเหลือง	7.0	37.3	14.9	10.0	0.7
กากถั่วลิสง	10.8	29.2	21.4	13.5	4.6
กากทานตะวัน	35.1	31.5	40.3	30.0	9.5
กากงา	6.1	25.2	17.0	17.0	2.0
กากนุ่น	24.8	43.5	-	-	-
กากฝ้าย	12.8	31.3	30.8	19.9	7.6
ปลาป่น	1.0	1.0	-	-	-
นมผง	0.2	39.8	-	-	-
หญ้าธิโมธี (Thimothy)					
ก่อนออกดอก	27.0	46.1	55.0	29.0	3.0
เริ่มออกดอก	28.0	48.4	61.0	32.0	4.0
ดอกบาน	32.0	51.6	68.0	38.0	6.0

จะเห็นได้ว่า อาหารข้นซึ่งส่วนใหญ่ ได้แก่ ธัญพืช พืชหัว การพืชน้ำมัน ปลาป่น นมผง มีคาร์โบไฮเดรต โครงสร้าง (เยื่อใย, NDF, ADF และ ADL) ต่ำ แต่ถ้ามีส่วนของเปลือกเมล็ดอยู่ เช่น รำ กากเมล็ดฝ้าย กากเมล็ดนุ่น กากเมล็ดทานตะวันที่ไม่ได้กะเทาะเปลือก จะมีค่าเหล่านี้สูงขึ้น อาหารหยาบ เช่น หญ้าสด หญ้าแห้ง หญ้าหมัก ฟางข้าว ต้นและใบของพืชต่างๆ มีคาร์โบไฮเดรต โครงสร้างสูง และค่าเหล่านี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 3.3

สำหรับค่า NFE นั้น จะแปรผันไปแล้วแต่ว่ามีโภชนะอื่น เช่น โปรตีน ไขมัน และเถ้ามากน้อยเพียงใด เพราะค่า NFE ไม่ได้เกิดจากการวิเคราะห์ แต่เกิดจากการคำนวณ โดยนำค่าโภชนะต่างๆ ที่กล่าวแล้ว รวมทั้งเยื่อใยมาหักออกจากค่าวัตถุแห้ง ดังนั้นถ้ามีค่าโภชนะเหล่านี้สูงจะมีค่า NFE ต่ำ

ปัจจุบันในแวดวง**โภชนศาสตร์สัตว์ยุคใหม่** โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกี่ยวข้องกับสัตว์กระเพาะเดี่ยวมักแบ่ง**คาร์โบไฮเดรตที่มาจากพืช** เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

ก. ส่วนที่เป็นแป้ง

ข. ส่วนที่ไม่ใช่แป้ง (non-starch carbohydrate, NSC) ซึ่งหมายรวมถึง โอลิโกแซ็กคาไรด์และโพลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (non-starch polysaccharide, NSP) คาร์โบไฮเดรตประเภทนี้ ไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ของสัตว์กระเพาะเดี่ยว แต่จุลินทรีย์ในไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่ของสุกรสามารถย่อยให้เป็นกรดไขมันระเหยได้ (valatile fatty acids, VFA) และดูดซึมนำไปใช้เป็นพลังงานได้ถึง 50% ของพลังงานที่กินเข้าไป แต่ในไก่ การย่อยโดยจุลินทรีย์และการนำไปใช้ประโยชน์มีน้อยเพียง 2-3% เท่านั้น

เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตประเภท NSP มีคุณสมบัติต่างกัน จึงอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. เซลลูโลส (cellulose) ไม่ละลายในน้ำ ในด่างหรือในกรดอ่อน

2. พอลิเมอร์ที่ไม่ใช่เซลลูโลส (non-cellulosic polymers) ได้แก่ อะราบิโนไซแลน เบต้ากลูแคน (β-glucan) และฟรักแทน (fructan) เป็นต้น จับกันด้วยพันธะแบบต่างๆ ละลายในน้ำได้บ้าง

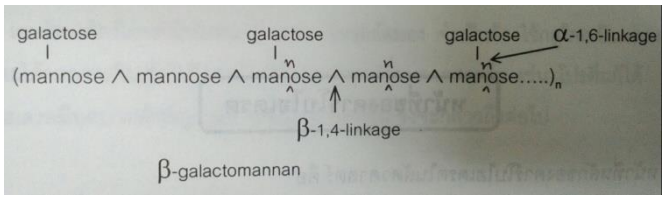
3. เพคติน ละลายน้ำได้บ้าง

จากการที่ NSP แต่ละประเภทมีสูตรโครงสร้างและการละลายได้ที่ต่างกัน จึงมีการย่อยได้ต่างกันด้วย โดยทั่วไป NSP ที่ละลายได้มีสูงมาก ในขณะที่พวกไม่ละลาย เช่น เซลลูโลส มีประมาณ 34-60% แต่ในไก่การย่อยได้จะต่ำกว่านี้

สูตรโครงสร้างของ NSP และชนิดของวัตถุดิบก็มีผลต่อกันย่อยได้เช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น arabinoxylan ซึ่งเป็น NSP หลักในข้าวสาลีมีทั้งส่วนที่ละลายน้ำได้และส่วนที่ไม่ละลายน้ำขึ้นอยู่กับตำแหน่งของสารนี้ที่อยู่ในเมล็ดข้าว ส่วนที่ละลายได้มักมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ พองตัวเป็นวุ้นทำให้เกิดความหนืด (viscosity) ในทางเดินอาหาร ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเข้าทำปฏิกิริยาของเอนไซม์จากตัวสัตว์ จึงทำให้การย่อยได้ลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในไก่เล็ก

ด้วยเหตุนี้ จึงมีการผลิตเอนไซม์เป็นการค้าเรียกรวมๆ ว่า **เอ็นเอสพีเอนไซม์** (NSP enzyme) เพื่อช่วยย่อย ทำให้สามารถใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น ซึ่งเอ็นเอสพีเอนไซม์นี้มีทั้งที่เฉพาะเจาะจงเป็นรายชนิด เช่น ไซลาเนส (xylanase) กลูคาเนส (glucanase) แมนนาเนส (mannanase) กาแล็กโทซิเดส (galactosidase) ซึ่งจะทำหน้าที่ย่อยพอลิแซ็กคาไรด์เฉพาะชนิดนั้นๆ หรือเป็นแบบรวมหลายชนิด (cocktail) ก็ได้ เอนไซม์เหล่านี้มักผลิตจากจุลินทรีย์ เพราะจุลินทรีย์สามารถย่อยผนังเซลล์พืชได้ดี ยกตัวอย่างเช่น เอนไซม์เบต้าแมนนาเนส (β-mannanase) ผลิตจากจุลินทรีย์ *Bacillus lentus* ทำหน้าที่ย่อย β-mannan ซึ่งมีมากในกากปาล์ม กากมะพร้าว กากงา และกากถั่วเหลือง β-mannan

ประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนสหลายโมเลกุลจับกันด้วยพันธะแบบเบต้า -1,4- และยังจับกับกาแล็กโทสด้วยพันธะแบบ α-1, 6- ด้วย ดังนั้น จึงอาจเรียกชื่อพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดนี้ว่า β-galactomannan ถ้าจับกับกลูโคสก็เรียกว่า เบต้ากลูโคแมนแนน ร่างกายของสัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่มีเอนไซม์ย่อยพันธะเหล่านี้ ดังนั้นการส่งเสริมเอนไซม์ β-mannanase ลงไปจะช่วยให้น้ำตาลดังกล่าวสามารถถูกย่อยและใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น นอกจากนี้เอนไซม์ที่ผลิตเป็นการค้ายังอาจมีเอนไซม์ชนิดอื่นรวมอยู่ด้วย จึงทำให้การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ดีขึ้น เป็นเหตุให้สัตว์มีสมรรถภาพการผลิตดีขึ้น มีสุขภาพดี และช่วยลดปัญหาด้านมลภาวะด้วย



สำหรับ**อาหารคน** ปัจจุบันให้ความสำคัญกับเรื่อง**เส้นใยอาหาร** (dietary fiber) มากขึ้น เพราะมีผลดีต่อสุขภาพ การวิเคราะห์ค่านี้จะได้ค่าสูงกว่าค่าเยื่อใย เพราะนอกจากจะมีส่วนของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน คิวติน และแวกซ์ ซึ่งไม่ละลายน้ำและมีคุณสมบัติเป็นกากอาหารแล้ว ยังมีส่วนของเพกติน กัม และมิวซิเลจ (mucilage) ซึ่งทำหน้าที่ช่วยอุ้มน้ำ พองตัวเป็นวุ้น จึงช่วยให้ขับถ่ายได้สะดวก ไม่เกิดการหมักหมมของของเสียในลำไส้ใหญ่ ลดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งในลำไส้ได้ นอกจากนี้ยังช่วยดูดซึมสารพิษ กำจัดแบคทีเรียที่มีโทษ ดูดซับไขมัน และน้ำดีทำให้ร่างกายต้องสร้างน้ำดีใหม่เสมอ ซึ่งการสร้างน้ำดีต้องใช้คอเลสเตอรอล จึงช่วยลดคอเลสเตอรอลได้ ดังนั้น จึงควรรับประทานอาหารที่มีเส้นใยให้เพียงพอ

นอกจากนี้ยังมีการนำเส้นใยอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเภทที่ละลายน้ำได้ บางส่วนมาใช้ประโยชน์ในรูปของพรีไบโอติกหรือสารส่งเสริมชีวนะ

พรีไบโอติก (prebiotic) หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยไม่ได้ในลำไส้เล็ก มีบทบาทในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ เช่น แลคโตแบซิลัส (*Lactobacillus* spp.) และไบฟิโดแบคทีเรียม (*Bifidobacterium* spp.) แต่ขัดขวางการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีโทษ เช่น อีโคไล (*E-coli*) คลอสตริเดียม (*Clostridium*) โคลิฟอร์ม (Coliforms) แบคเทอรอยเดส (*Bacteroides*) เป็นต้น ทำให้สมดุลของแบคทีเรียในทางเดินอาหารดีขึ้น สัตว์มีสุขภาพดีและมีสมรรถภาพในการผลิตดีขึ้น ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากโอลิโกแซ็กคาร์ไรด์และคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยไม่ได้นี้เดินทางผ่านลำไส้เล็กโดยไม่ถูกย่อย แต่ไปถูกหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ เกิดเป็นกรดไขมันระเหยได้หรือกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acids, SCFA) ซึ่งกรดเหล่านี้จำทำให้ pH ในลำไส้ลดลงไม่เหมาะแก่การเจริญของจุลินทรีย์ที่มีโทษ แต่ส่งเสริมจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ นอกจากนี้

การที่ pH ในทางเดินอาหารลดลงยังช่วยให้การดูดซึมแร่ธาตุโดยเฉพาะอย่างยิ่งแคลเซียม แมกนีเซียม และสังกะสีดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดอัตราการเสี่ยงจากการเป็นมะเร็งลำไส้ด้วย

ตัวอย่างของพรีไบโอติก ได้แก่ fructo-oligosaccharide (FOS), galacto-oligosaccharide (GOS), manno- oligosaccharide (MOS) และอินูลิน เป็นต้น พรีไบโอติกถูกนำมาใช้ในอาหารสัตว์ควบคู่กับโพรไบโอติก (probiotic) หรือสารเพื่อชีวนะ (ซึ่งหมายถึง จุลินทรีย์มีชีวิตที่มีประโยชน์ต่อสัตว์) ทดแทนปฏิชีวนะ (antibiotic) ซึ่งได้รับการต่อต้านและระงับการใช้ในหลายประเทศ ในปัจจุบันนี้อันเนื่องมาจากปัญหาของสารตกค้างที่ทำให้เกิดการดื้อยา

หน้าที่ของคาร์โบไอเดรต

คาร์โบไฮเดรตมีบทบาทที่สำคัญในร่างกายในด้านต่างๆดังนี้

1. เป็นแหล่งพลังงานเพื่อใช้ในกระบวนการต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต โดยแป้งที่สะสมไว้ในราก หัว และเมล็ดของพืช และไกลโคเจนที่สะสมไว้ในตับและกล้ามเนื้อของสัตว์จะถูกย่อยสลายเป็นกลูโคส ซึ่งเป็นสารเริ่มต้นในการสร้าง ATP คาร์โบไฮเดรตจะให้พลังงานได้ 4.15 kcal/g ถึงแม้ว่าไขมันจะให้พลังงานสูงกว่าคาร์โบไฮเดรต (ไขมันให้ 9.40 kcal/g) แต่พลังงานที่สัตว์ใช้ส่วนใหญ่มาจากคาร์โบไฮเดรต
2. เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช มีหน้าที่ช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับต้นพืช นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบของเปลือกกุ้ง ปู แกนปลาหมึก เป็นต้น
3. คาร์โบไฮเดรตจำพวกน้ำตาลไรโบส และ ดีออกซีไรโบสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของ DNA, RNA ซึ่งเป็นสารพันธุกรรม
4. คาร์โบไฮเดรต เป็นส่วนประกอบของเซลล์สมองและเซลล์ ประสาท เช่น คาร์โบไฮเดรต พวก calactolipid ซึ่งมีส่วนช่วยให้สมองมีการพัฒนาที่ดี
5. คาร์โบไฮเดรตที่เป็นเยื่อใยมีบทบาทสำคัญในการระบายท้องโดยเฉพาะในสัตว์ท้องแก่ใกล้คลอดและการที่สัตว์กินเยื่อใยมากๆ จะช่วยให้การใช้ประโยชน์จากอาหารได้มากขึ้น

บทสรุป

คาร์โบไฮเดรตจัดเป็นสารที่มีความสำคัญของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด สิ่งมีชีวิตจะใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ โดยเป็นโภชนะขั้นต้นที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของพืช คาร์โบไฮเดรตแบ่งได้เป็น คาร์โบไฮเดรตเชิงเดี่ยวไม่มีสารชนิดอื่นประกอบอยู่ในโมเลกุล ได้แก่ น้ำตาล แป้ง ไกลโคเจน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส เป็นต้น คาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน คาร์โบไฮเดรตที่มีสารชนิดอื่น เช่น ไขมันหรือโปรตีนประกอบอยู่ในโมเลกุลด้วย เรียกว่า ไกลโคลิพิด (glycolipid) และไกลโคโปรตีน (glycoprotein) คาร์โบไฮเดรตมีหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานเพื่อใช้ในกระบวนการต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของ DNA, RNA และเป็นส่วนประกอบของเซลล์สมองและเซลล์ ประสาท

คำถามท้ายบท

1. จงบอกสมบัติทางเคมีของคาร์โบไฮเดรตมาให้เข้าใจ
2. จงบอกความสำคัญของคาร์โบไฮเดรต
3. จงอธิบายประวัติการศึกษาพฤติกรรมของสัตว์มาพอเข้าใจ
4. คาร์โบไฮเดรตเชิงเดี่ยว (simple carbohydrate) มีกี่ประเภทอะไรบ้าง
5. น้ำตาลเชิงเดี่ยวที่โมเลกุลมีจำนวน 5 คาร์บอน ได้แก่น้ำตาลอะไรบ้าง
6. น้ำตาลที่มีโมเลกุลจำนวน 6 คาร์บอน ได้แก่น้ำตาลอะไรบ้าง
7. น้ำตาลโมเลกุลเชิงเดี่ยว (Disaccharides) มีน้ำตาลอะไรบ้าง
8. น้ำตาลโมเลกุลใหญ่ (Polysaccharides) แบ่งออกเป็นกี่ประเภทอะไรบ้าง
9. amylose และ amylopectin ต่างกันอย่างไร
10. จงอธิบายหน้าที่ของคาร์โบไอเดรตมาให้เข้าใจ

เอกสารอ้างอิง

ปุณทริกา หะริณสุต. 2528. คาร์โบไฮเดรต. หน้า 117-138. ในจิตตาพร วัฒนเสรี, ดวงพร วรสุนทโรสถ, ปุณทริกา หะริณสุต, ยงยุทธ เจียมไชยศรี, ลอลิต้า เมฆสองสี, วิไล สันติโสภาศรี, สุนันทา รัตนาโภ และอรุณี อิงคากุล (บรรณาธิการ). บทปฏิบัติการชีวเคมี. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 224 หน้า.

Church, D.C. 1986. Livestock feeds and feeding. A Reston Book, Prentice-Hall, Englewood Cffs, New Jersey.

Church, D.C. and W.G. Pond. 1982. Basic Animal Nutrition and Feeding. 2nd Ed. John Wiley & Sons., New York.

Ensminger, M. E., J. E. Oldfield and W. W. Heinemann. 1990. Feed & Nutrient. The EnsmingerPublishing Company. U.S.A. 1544 p.

Ensminger, M.E. and C.G. Olentine, Jr. 1980. Feeds & Nutrition – Complete. 1st Ed. The Ensminger Publishing Company, Clovis, California.

Gruppen, H. 1996. Triggering the breakdown of nutrients. Feed Mix. 3(1): 24 - 30.

hesson, A. and C. W. Forsberg. 1988. Polysaccharide degradation by rumen micro-organisms. pp 251-284. *In:* Hobson, P. N. (ed.). The rumen microbial ecosystem. Elsevier Applied Science, Essex, England.

Kirchgeβner, M. 1987. *Tierernährung. Institut für Ernährungsphysiologie der Technischen Universität München in Freising-Weihenstephan.* DLG-Verlag – Frankfurt (M), German. 533 p.

Linder, H. 1959. Linder Biologie. Metzlerschen verlag. 376 p.

McDonald, P., R. A. Edwards, J. F. D. Greenhalgh and C. A. Morgan. 1995. Animal Nutrition. 5th Ed. Longman Scientific and Technique, John Wiley & Sons, Inc., New York.

McDonald, P., R. A. Edwards, J. F. D. Greenhalgh and C. A. Morgan. 1998. Animal Nutrition. 5th Ed. Addison Wesley Longman Ltd., Edinburg Gate, Harlow Essex. UK. 607 p.

No author. 2002. What is chitin [online]. Available: http://wywy.essortment.com/ whatischitin-rkkh.htm

NRC. 1988. Nutrient requirements of Dairy Cattle. 6th Ed. National Research Council. National Academy Press, Washington, DC.

Ormrod, D. J., C. C. Holmes and T. E. Miller. 1998. Dietary chitosan inhibit hypercholesterolaemia and atherogenesis in the apolipoprotein E-deficient mouse model of atherosclerosis. Science Direct. 138(2): 329 - 334.

Pond, W. G., D. C. Church and K. R. Pond. 1995. Basic Animal Nutrition and Feeding. 4th Ed. John Wiley & Sons, New York.

Starr, C. 1994. Biology Concepts and Applications. 22nd Ed. Wadworth Publishing Company, California.

Van Soest, P. J. 1987. Nutrition ecology of the ruminant. Comstock publishing associates A division of Cornell University press. USA. 373 p.

Voet, D. and J. G. Voet. 1995. Biochemistry. 2nd Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Voet, D. and Voet, J. G. 1990. Biochemistry. John wiley & Sons. Canada. 1,223 p.