

Polysaccharides Are Storage and Transport Forms of Carbohydrates Produced by Photosynthesis

บทนี้อธิบายว่า คาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงถูกพืชนำไปใช้ 3 ทางหลัก คือ ใช้เป็นพลังงาน ใช้สร้างโครงสร้างของเซลล์ และเก็บสะสมหรือขนส่งไปยังอวัยวะอื่น ใบที่สร้างน้ำตาลได้มากเรียกว่า **source** ส่วนราก ใบอ่อน ดอก เมล็ด หัว หรืออวัยวะสะสมอาหารเรียกว่า **sink** โดยคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ถูกขนส่งผ่าน phloem ในรูป **sucrose** และบางส่วนถูกเก็บเป็น **starch** หรือ **fructan** เพื่อใช้ตอนกลางคืนหรือช่วงสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม

1. การสังเคราะห์ซูโครสเกิดในไซโทซอล

ผลิตภัณฑ์จาก Calvin–Benson–Bassham cycle คือ **triose phosphate** อาจถูกใช้สร้างแป้งในคลอโรพลาสต์ หรือส่งออกสู่ไซโทซอลเพื่อสร้างซูโครส ซูโครสสร้างจาก **UDP-glucose** และ **fructose 6-phosphate** โดยเอนไซม์สำคัญคือ **sucrose phosphate synthase** หรือ **SPS** จากนั้น **sucrose phosphate phosphatase** เปลี่ยน sucrose-6-phosphate เป็น sucrose ทำให้กระบวนการโดยรวมเป็นไปในทิศทางที่สังเคราะห์

จุดควบคุมสำคัญคือ **cytosolic fructose 1,6-bisphosphatase** ซึ่งทำหน้าที่เหมือน “วาล์วทางเข้า” ของการสร้างซูโครส ถูกยับยั้งโดย **fructose 2,6-bisphosphate** เมื่อการสังเคราะห์ด้วยแสงสูง triose phosphate และ 3-phosphoglycerate เพิ่มขึ้น ทำให้ระดับ fructose 2,6-bisphosphate ลดลง ส่งผลให้การสร้างซูโครสเพิ่มขึ้นได้โดยไม่ต้อง triose phosphate ออกจาก CBB cycle มากเกินไป

2. แป้งเป็นรูปสะสมคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ

พืชไม่สะสมกลูโคสอิสระมาก ๆ เพราะมีผลต่อแรงดันออสโมติก จึงเปลี่ยนเป็น **starch** ซึ่งไม่ละลายน้ำและเก็บได้มากใน plastid แป้งมีพันธะหลักแบบ **α -1,4 glycosidic bond** และมีจุดแตกแขนงแบบ **α -1,6 glycosidic bond** ประกอบด้วย **amylose** ซึ่งค่อนข้างเป็นสายตรง และ **amylopectin** ซึ่งแตกแขนงมากกว่า

การสังเคราะห์แป้งเริ่มจาก fructose 6-phosphate เปลี่ยนเป็น glucose 6-phosphate แล้วเป็น glucose 1-phosphate จากนั้นเอนไซม์ **ADP-glucose pyrophosphorylase** หรือ **AGPase** สร้าง **ADP-glucose** ซึ่งเป็นสารตั้งต้นให้ **starch synthase** ต่อกูลูโคสเข้าไปในสายแป้ง AGPase เป็นจุดควบคุมสำคัญ ถูกกระตุ้นโดย **3-phosphoglycerate** และถูกยับยั้งโดย phosphate ทำให้การสร้างแป้งสัมพันธ์กับสถานะเมแทบอลิซึมของคลอโรพลาสต์

3. การสลายแป้งเกิดได้สองแนวทาง

แป้งสลายได้โดย **hydrolysis** ผ่าน amylase และ debranching enzyme หรือโดย **phosphorolysis** ผ่าน phosphorylase ในใบช่วงกลางวัน แป้งแบบ transitory starch ถูกสลายอย่างซับซ้อน เริ่มจากการ phosphorylation และ dephosphorylation เพื่อคลายโครงสร้างกิ่งผลึกของเม็ดแป้ง จากนั้น **β -amylase** สร้าง maltose แล้ว maltose และ glucose ถูกส่งออกจากคลอโรพลาสต์ไปไซโทซอลเพื่อเปลี่ยนกลับเป็นซูโครสสำหรับขนส่งไปยังอวัยวะอื่น

การสลายแป้งถูกควบคุมโดย **circadian clock** เพื่อให้แป้งถูกใช้เกือบหมดพอดีตอนรุ่งเช้า ช่วยป้องกันการขาดคาร์บอนตอนกลางวัน นอกจากนี้ **trehalose 6-phosphate** ทำหน้าที่เป็นสัญญาณบอกสถานะซูโครสของเนื้อเยื่อ ถ้าซูโครสสะสมมาก เช่น sink ใช้น้ำตาลไม่ทัน trehalose 6-phosphate จะเพิ่มขึ้นและช่วยยับยั้งการสลายแป้ง

4. พืชบางชนิดขนส่งคาร์บอนในรูปแบบอื่น

แม้ซูโครสเป็นรูปขนส่งหลัก แต่พืชบางชนิดใช้ **sugar alcohols หรือ polyols** เช่น sorbitol และ mannitol ส่วนบางชนิดใช้กลุ่ม **raffinose family oligosaccharides** ได้แก่ raffinose, stachyose และ verbascose สารเหล่านี้ไม่มีหมู่ aldehyde อิสระ จึงค่อนข้างเสถียร เหมาะต่อการขนส่ง นอกจากนี้ raffinose ยังช่วยป้องกันความเครียดจากความเย็น เกลือ และความแห้งแล้ง รวมทั้งช่วยลดความเสียหายจาก ROS

5. Fructan เป็นสารสะสมในแวคิวโอล

พืชเขตอบอุ่นหลายชนิด เช่น ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ หอมหัวใหญ่ และดาเลีย สะสมคาร์โบไฮเดรตเป็น **fructan** ซึ่งเป็น polyfructose ที่ละลายน้ำ สร้างและสะสมใน **vacuole** ต่างจากแป้งที่เป็น polyglucose ไม่ละลายน้ำและสร้างใน plastid fructan มีหลายแบบ เช่น levan-type, inulin-type และ neokestose-type ใช้เป็นแหล่งสำรองคาร์บอน ช่วยทนแล้ง ทนหนาว ปกป้องเยื่อหุ้ม และลดความเสียหายจาก ROS

6. Cellulose และ callose เป็น polysaccharide เชิงโครงสร้าง

Cellulose เป็น β -1,4-glucan สังเคราะห์โดย **cellulose synthase** ที่เยื่อหุ้มพลาสมา ใช้ UDP-glucose จากไซโทซอล แล้วส่งสาย cellulose ออกไปนอกเซลล์เพื่อรวมเป็น microfibril ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์ ส่วน hemicellulose และ pectin ส่วนใหญ่สร้างใน Golgi apparatus แล้วส่งออกไปผนังเซลล์ด้วย vesicle

Callose เป็น β -1,3-glucan สังเคราะห์ได้รวดเร็วเมื่อเกิดบาดแผล การเพิ่มขึ้นของ Ca^{2+} ในไซโทซอลกระตุ้นการสร้าง callose เพื่อปิดกั้น plasmodesmata ของเซลล์ที่บาดเจ็บ และช่วยอุด sieve tube ที่เสียหายใน phloem

ใจความสำคัญที่สุด

บทนี้ชี้ให้เห็นว่า คาร์โบไฮเดรตจากการสังเคราะห์ด้วยแสงไม่ได้เป็นเพียง “น้ำตาล” แต่ถูกจัดการอย่างเป็นระบบ พืชต้องตัดสินใจตลอดเวลาว่าจะส่งออกเป็นซูโครส เก็บชั่วคราวเป็นแป้ง เก็บในแวคิวโอลเป็น fructan ใช้เป็นสารป้องกันความเครียด หรือเปลี่ยนเป็น polysaccharide ของผนังเซลล์ เช่น cellulose และ callose โดยกระบวนการทั้งหมดถูกควบคุมอย่างละเอียดด้วย metabolite, phosphorylation, redox regulation, circadian clock และสัญญาณอย่าง trehalose 6-phosphate.