

การลำเลียงสารอาหารของพืช (Translocation of Solute)

ในพืชทั่วไปพบว่ามีส่วนของพืชที่เป็นจำนวนมากที่ไม่มีคลอโรฟิลล์ จึงจำเป็นต้องอาศัยอาหารที่สังเคราะห์ขึ้นจากส่วนอื่นที่ไม่ใช่คลอโรฟิลล์ ดังนั้นสารหรือตัวถูกละลายต่างๆที่เกิดขึ้นมีการเคลื่อนย้ายอยู่เสมอการเคลื่อนย้ายสารจากส่วนหนึ่งไปอีกส่วนหนึ่งของพืชเรียกว่า translocation of solute พืชที่งอกใหม่ๆกำลัง active ที่สุด จึงต้องมีการลำเลียงตัวถูกละลายหรืออาหารที่ละลายได้จากแหล่งเก็บ (ใบเลี้ยง หรือendosperm)ไปส่วน เช่น ที่ปลายราก ปลายยอด การสังเคราะห์ด้วยแสง จะได้คาร์โบไฮเดรต พวกแป้ง และน้ำตาล ซึ่งสามารถทดสอบสารอาหารเหล่านั้นได้ อาหารเหล่านี้ส่งไปเก็บตามส่วนต่างๆของพืชได้ โดยพืชบางชนิดเก็บอาหารไว้ที่ราก พืชบางชนิดเก็บอาหารไว้ตามลำต้น แสดงว่าพืชสามารถลำเลียงอาหารจากด้านบนลงล่าง และล่างขึ้นบนได้

การลำเลียงสารต่างๆ และไปในทิศทางต่างๆในพืชนั้น จำแนกได้ดังนี้ คือ

1. Upward translocation of mineral salts ไม่ว่าจะเป็น Xylem หรือ Phloem มีพวกเกลือแร่อยู่ด้วยทั้งนั้น การลำเลียงเกลือแร่นี้เป็นการลำเลียงขึ้นข้างบนโดยไปทาง Xylem เมื่อตัดเอา Xylem ออก การลำเลียงเกลือแร่จะหยุดชะงักลง P.R.Stout และ D.R.Hoagland เมื่อ ค.ศ.1939 โดยทำการทดลองแสดงไว้ โดยปลูกต้นไม้ในกระถางที่มี radioactive k⁺ อยู่แล้วแยก Xylem กับ Phloem ในกิ่งหนึ่งออกจากกัน ใช้กระดาษชุบพาราฟิน สอดเข้าไปในรอยแตกจากข้างหนึ่ง ส่วนอีกกิ่งก็แยก Xylem กับ Phloem ออกจากกัน ภายในเนื้อเยื่อทุกชนิดทั้ง Xylem มี radioactive K⁺ ที่อยู่ใน Xylem น้อยมากทีเดียว แสดงว่าเกลือแร่ส่วนใหญ่ลำเลียงไปทาง Xylem มากกว่า Phloem หลายสิบเท่า เมื่อ Phloem กับ Xylem มาเชื่อมกัน radioactive k⁺ ที่อยู่ใน Xylem มาก มีการเคลื่อนย้ายจาก Xylem ไปยัง Phloem โดยวิธี Lateral translocation
2. Upward translocation of organic solutes organic solute ส่วนใหญ่เป็นพวกคาร์โบไฮเดรต (จากการสังเคราะห์แสง) พวกกรดอินทรีย์ โปรตีน กรดอะมิโน ฮอริโมน และวิตามิน ต่างๆ มีการลำเลียงขึ้นข้างบนโดยทาง Phloem เพื่อไปเลี้ยงส่วนที่ยังอ่อนอยู่ เช่น ที่ยอดมีการทดลองว่าลำเลียงไปทาง Phloem ดังนี้คือ เอายอดไม้มา 2 ยอดเท่าๆกัน ยอดหนึ่งขั้วลำต้นเอาเปลือกไม้ซึ่งมี Phloem อยู่ ออกโดยรอบ ส่วนอีกยอดหนึ่งก็กรีดเปลือกไม้ของลำต้น แล้วตัดเอาแก่นไม้ซึ่งเป็น Xylem ทั้งหมดทิ้งไป จากนั้นก็กรอกน้ำลงไปในหลอดแก้วเพื่อหล่อเลี้ยงไม่ให้เนื้อเยื่อแห้งและตายไปดังกล่าวแล้ว ทั้งใช้ประมาณ 2-3 สัปดาห์ จะพบว่ายอดที่ตัดเอา Phloem ทิ้งไปจะไม่เจริญเติบโตส่วนยอดที่เอา Xylem ออกไปยังคงเจริญเติบโตงอกงามได้ดี จึงแสดงว่าการลำเลียงอินทรียสารไปเลี้ยงยังส่วนยอดนั้นไปทาง Phloem
3. Downward translocation of organic solutes เป็นการลำเลียงพวกอินทรียสารลงข้างล่าง ทาง Phloem มีน้อยมากที่ลำเลียงไปทาง Xylem โดยมีการทดลอง ขั้วลำต้นเอาเปลือกไม้ซึ่งมี Phloem อยู่ด้วยออกไปทั้งไว้นานๆ ตรงบริเวณที่อยู่เหนือรอยขั้ว เมื่อตรวจดูก็จะปรากฏว่ามีอาหารพวกอินทรียสารสะสมอยู่
4. Outward translocation of salts from leaves เป็นการลำเลียงพวกเกลืออื่นๆ เนื้อเยื่อใดทำหน้าที่ลำเลียง แสดงถึงความสามารถในการเคลื่อนย้าย (Mobility) ของธาตุอีกด้วย การลำเลียงนี้เป็นไปได้เมื่อกำหนดใบสมบูรณ์ดี แต่ถ้าเอาใบน้ำร้อนๆ มาพ่นที่ก้านใบก็จะไปยับยั้งการลำเลียงธาตุออกจากใบ จึงแสดงให้เห็นว่าการลำเลียงนั้นไปทาง Phloem หรืออาจทำการทดลองโดยการแยกเนื้อเยื่อ Phloem กับ Xylem ออกจากกัน จะพบว่ามีการลำเลียงออกมาทาง Phloem จึงเป็นการยืนยันว่า การลำเลียงธาตุหรือเกลือต่างๆ ออกจากใบไปทาง Phloem เท่านั้น
5. Lateral translocation of solutes เป็นการลำเลียงอินทรียสารและอนินทรียสารไปทางด้านข้างของลำต้น การลำเลียงประเภทนี้จะผ่านไป ทาง Vascular ray cell ในพืชบางชนิดมี Lateral translocation ไม่สู้ดีนัก ซึ่งถ้าตัดด้านหนึ่งด้านใดของลำต้นหรือกิ่งออก จะทำให้การเจริญเติบโตของด้านนั้นไม่ดีเท่าอีกด้านหนึ่ง หรือถ้าตัดรอบต้นก็จะคอด

กลไกของการลำเลียงไปทาง Phloem

ต้องมีลักษณะพิเศษ คือ

1. เซลล์ต้องมีชีวิต เพราะถ้าเซลล์ของ Phloem ตายไปการลำเลียงก็หยุดชะงักลงทันที
2. การลำเลียงเป็นไปได้ทั้งสองทาง มีทั้งขึ้นและลง อาจจะมีขึ้นคนละเวลาก็ได้
3. สามารถลำเลียงได้เป็นปริมาณมากๆ
4. อัตราความเร็วของการลำเลียงสูง การลำเลียงประเภทนี้เกิดขึ้นด้วยความเร็วสูง
5. การลำเลียงเกิดขึ้นเป็นครั้งคราว บางเวลาเกิดขึ้นเร็ว บางเวลาก็เกิดขึ้นได้ช้า ก็ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของวัน (กลางวันหรือกลางคืน)

คุณสมบัติทั้ง 5 ข้อ ดังกล่าวมีทฤษฎีอธิบายไว้มาก แต่ทว่าไม่มีทฤษฎีใดเป็นที่ยอมรับกันแน่นอน

การลำเลียงโดยทาง Phloem นี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และปริมาณของ ออกซิเจนด้วยกล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิต่ำ ออกซิเจนน้อย การลำเลียงจะเกิดขึ้นช้าหรืออาจไม่เกิดเลย แต่ถ้าอุณหภูมิสูงและมีออกซิเจนเพียงพอ การลำเลียงดังกล่าวก็จะเกิดขึ้นเร็ว

สำหรับกลไกของการลำเลียงอาหารทางโฟลเอ็มนั้น มีอยู่ 2 สมมติฐาน

1. สมมติฐานการไหลของมวลสาร

อธิบายการลำเลียงอาหารในโฟลเอ็มว่าเกิดจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติกของความเข้มข้นน้ำตาลระหว่างใบกับราก โดยเซลล์ของใบซึ่งทำการสังเคราะห์ด้วยแสงได้น้ำตาลทำให้มีความเข้มข้นของน้ำตาลสูง น้ำตาลจึงถูกลำเลียงไปเซลล์ข้างเดียว ทำให้มีความเข้มข้นของน้ำตาลสูงตามไปด้วยอย่างรวดเร็ว และจะมีการลำเลียงน้ำตาลไปยังเซลล์ต่อไป จนถึงโฟลเอ็ม แล้วเกิดแรงดันให้โมเลกุลน้ำตาลเคลื่อนไปตามโฟลเอ็ม ไปยังเนื้อเยื่อที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลน้อยกว่า เช่น เซลล์ที่ราก น้ำตาลยังคงเคลื่อนที่ต่อไปได้ ตราบใดที่ความเข้มข้นของน้ำตาลยังแตกต่างกันอยู่

2. สมมติฐานการไหลเวียนของไซโทพลาสซึม (Cytoplasmic streaming)

จากสมมติฐานของมินซีไม่สามารถอธิบายข้อเท็จจริงบางอย่างได้ เช่น การเคลื่อนที่ของซูโครสที่เกิดขึ้นได้เร็วมากเกินกว่าจะเกิดโดยวิธีแพร่ นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษจึงได้ตั้งสมมติฐานนี้โดยอธิบายว่า การเคลื่อนที่ของไซโทพลาสซึมภายในซีฟทิวบ์เมมเบอร์ ทำให้อาหารเคลื่อนที่ไปรอบๆเซลล์จากส่วนหนึ่งไปยังอีกส่วนหนึ่ง แล้วผ่านต่อไปยังซีฟทิวบ์เมมเบอร์ที่อยู่ใกล้เคียงทางซีฟเพลต ทิศทางการเคลื่อนที่ในซีฟทิวบ์เมมเบอร์มีทั้งขึ้นและลง

การไหลของสารอาหารเนื่องจากแรงดัน (pressure flow)

การไหลของสารอาหารโดยวิธีนี้ศึกษา และเสนอทฤษฎีโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันชื่อ อีมันจ์ (E. Munch) เมื่อปี พ.ศ. 2473 คือ ทฤษฎีแรงดันเต่ง (pressure flow theory) มีกลไกที่สำคัญคือ

เซลล์ในชั้นเมโซฟิลล์ (mesophyll) ของใบสังเคราะห์ด้วยแสงได้น้ำตาลกลูโคสมากขึ้น น้ำตาลกลูโคสเคลื่อนจากเซลล์เมโซฟิลล์เข้าสู่เซลล์ห่อหุ้มกลุ่มท่อลำเลียง (bundle sheath cell)

น้ำตาลกลูโคสในเซลล์ห่อหุ้มกลุ่มท่อลำเลียง เปลี่ยนเป็นน้ำตาลซูโครส ทำให้มีการสะสมน้ำตาลซูโครสมากขึ้นเกิดการขนส่งซูโครสแบบแอกทิฟทรานสปอร์ตจากเซลล์ห่อหุ้มกลุ่มท่อลำเลียงเข้าสู่ไซโทพลาสซึมของซีฟทิวบ์ซึ่งต้องมีการใช้พลังงานจาก ATP จำนวนมาก

การสะสมของน้ำตาลซูโครสในซีฟทิวบ์ทำให้น้ำจากเซลล์ข้างเคียง เช่น เซลล์เมโซฟิลล์ เซลล์ห่อหุ้มกลุ่มท่อลำเลียงแพร่เข้าสู่ซีฟทิวบ์ ทำให้น้ำจากเซลล์ข้างเคียง เช่น เซลล์เมโซฟิลล์ เซลล์ห่อหุ้มกลุ่มท่อลำเลียงแพร่เข้าสู่ซีฟทิวบ์ ทำให้ซีฟทิวบ์มีแรงดันเพิ่มขึ้นทำให้ดัน

สารละลายในซีฟทิวบ์เคลื่อนผ่านซีฟทิวบ์ที่เรียงติดกันจากแผ่นใบเข้าสู่ก้านใบ กิ่ง และ ลำต้นของพืชตามลำดับ

สารอาหารที่ผลิตได้จะเคลื่อนตัวจากใบไปยังส่วนต่างๆ เพื่อใช้หรือสะสม เช่น สะสมที่รากดังนั้นที่ใบจึงมีความเข้มข้นของสารอาหารสูงกว่าบริเวณราก การลำเลียงจึงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจากใบสู่ราก ที่เซลล์รากมีการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแป้งซึ่งไม่ละลายน้ำ ดังนั้นปริมาณน้ำตาลในรากจึงต่ำอยู่เสมอ การลำเลียงสารอาหารจึงเกิดขึ้นได้เรื่อยๆ ส่วนน้ำที่ลำเลียงมาด้วยก็จะแพร่จากซีฟทิวบ์เข้าสู่

ไซเลมหรือเซลล์ข้างๆ ได้

ความเร็วของการลำเลียงขึ้นอยู่กับแรงดันภายในท่อต้นทาง คือ ที่ใบ และ ท่อปลายทาง คือ ที่ราก ถ้าที่ใบมีแรงดันภายในโฟลเอ็มมาก (สังเคราะห์ด้วยแสงมากสร้างน้ำตาลมาก) และที่รากมีแรงดันภายในโฟลเอ็มน้อย (มีการใช้น้ำตาล และสะสมแป้งมาก) การลำเลียงอาหารก็จะเกิดขึ้นได้เร็ว

นอกจากนี้ อุณหภูมิที่พอเหมาะแก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และแสงสว่างก็เป็นปัจจัยสำคัญในการลำเลียงสารอาหารของพืชด้วย การเกิดแคลโลส (callose) ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ของกลูโคสเกาะผนังของซีฟทิวบ์ทำให้ช่องลำเลียงแคบลง ก็ทำให้การลำเลียงอาหารช้าลงด้วย ภายในซีฟทิวบ์เองก็มีเส้นใยโปรตีนเรียงตัวตามแนวยาวจากปลายด้านหนึ่งไปยังปลายอีกด้านหนึ่งทำให้สารอาหารเคลื่อนย้ายสะดวกเพราะเส้นใยโปรตีนเรียงตัวอย่างมีระเบียบ การเกิดบาดแผลของพืช เช่น ถูกตัด ฟัน หรือกิ่งหักจะทำให้เส้นใยโปรตีนในซีฟทิวบ์ไม่เป็นระเบียบ และพันกัน ทำให้เกิดการอุดตันของท่อทางเดินอาหารทำให้ลดการสูญเสียสารอาหารของพืชทางบาดแผลได้

อ้างอิงจาก

1.http://www.ds.ac.th/~nongluck/homepage_nongluck/lesson3/menu_lesson3.html

