หน่วยที่ 8

การลำเลียงสารสังเคราะห์ในพืช

กระบวนการสังเคราะห์แสงเป็นกระบวนการสังเคราะห์สารอาหารที่เป็นพวกแป้งและน้ำตาล (เรียกว่าสารสังเคราะห์) หลังจากที่สารเหล่านั้นถูกสังเคราะห์ขึ้นจะถูกลำเลียงถ่ายเทและแบ่งสันปันส่วนไปยังส่วนต่างๆ ของต้นทันที เพื่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของส่วนต่างๆเหล่านั้น ถ้าสารสังเคราะห์ไม่ถูกลำเลียงออกไปหรือลำเลียงออกไปได้ช้าก็จะมีผลทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงลดลงอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ที่เรียกว่า feed back อัตราการลำเลียงและถ่ายเทสารสังเคราะห์จึงเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพต่อการสังเคราะห์แสง พืชที่มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงสูงจะต้องมีระบบลำเลียงสารสังเคราะห์ที่ดีด้วย พืชเองก็มีกลไกในการลำเลียงและกำหนดให้สารสังเคราะห์นั้นกระจายถ่ายเทไปยังส่วนต่างๆ เช่น ราก ลำต้น ใบ และจุดเจริญอื่นๆ ให้อยู่ในปริมาณที่ได้สัดส่วนสมดุลกัน การกระจายและการถ่ายเทสารสังเคราะห์ไปยังส่วนต่างๆ ของพืชเรียกว่า partitioning ดังนั้นกระบวนการกระจายและแบ่งสันปันส่วนสารสังเคราะห์นี้จึงมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของส่วนต่างๆ และต่อการสร้างผลผลิตของพืช

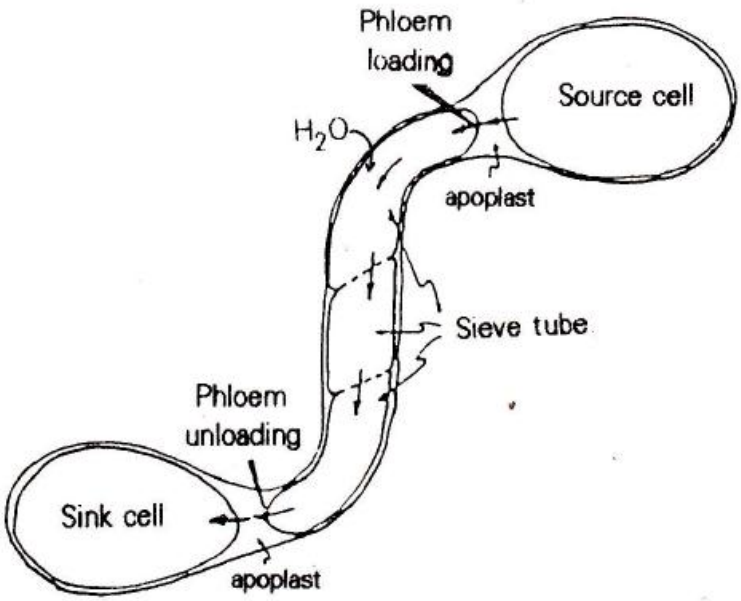
การลำเลียงสารสังเคราะห์

ภายในต้นพืชจะมีท่อสำหรับการลำเลียงน้ำเรียกว่า xylem ท่อลำเลียงสารสังเคราะห์เรียกว่า phloem การลำเลียงน้ำใน xylem เป็นระบบทางเดียวและเป็นการเคลื่อนย้ายจากล่างขึ้นบนเป็นการลำเลียงน้ำจากรากไปสู่ยอด สาวน phloem ที่ลำเลียงสารสังเคราะห์นั้นเป็นการลำเลียงแบบสองทางทั้งทางขึ้นและทางลง น้ำตาลที่ได้จากการสังเคราะห์แสงจะถูกลำเลียงไปยังแหล่งที่มีการใช้ซึ่งมีอยู่ตามส่วนต่างๆ ของต้นพืช

สารที่ลำเลียงใน phloem ส่วนใหญ่ประมาณ 95% เป็นสารที่ได้จากการสังเคราะห์แสง เป็นคาร์โบไฮเดรตประเภท nonreducing sugar เช่น sucrose และ raffinose ละลายอยู่ในน้ำเลียง (phloem sap) ที่มีความเข้มข้น 10-25% นอกจากนี้ใน phloem sap ยังมีสารอื่นๆ ปะปนอยู่ด้วย เช่น สารไนโตรเจน โดยเฉพาะพวกกรดอะมิโน เอไมด์ และ ยูริไอด์ ประมาณ 0.03 – 0.04% นอกจากนี้ยังมีสารอื่นๆ อีกแต่มีในปริมาณที่ต่ำเช่น ฮอร์โมนพืช และสารเคมีกำจัดศัตรูพืชประเภทดูดซึมก็จะถูกลำเลียงใน phloem

ได้มีความพยายามที่จะอธิบายว่าสารสังเคราะห์ถูลำเลียงไปใน phloem ได้อย่างไรมีทฤษฎีหนึ่งเป็นที่ยอมรับกันว่าสารสังเคราะห์จะถูกลำเลียงไปด้วยกระบวนการที่เรียกว่า mass flow หรือ pressure flow อันเนื่องมาจากการเกิดมีความแตกต่างกันของพลังงานศักย์ของน้ำ (water potential) ความแตกต่างของพลังงานศักย์ของน้ำเกิดขึ้นได้อย่างไรอธิบายสรุปได้ดังนี้ เริ่มต้นที่ใบเป็นแหล่งผลิตหรือแหล่งสังเคราะห์แสง (source) เมื่อมีการผลิตสารสังเคราะห์ขึ้นสารนี้ก็จะถูกส่งเข้าสู่ท่อ phloem ทำให้มีความเข้มข้นใน phloem สูงขึ้นและมีผลทำให้พลังงานศักย์ของน้ำใน phloem ลดลง ดังนั้นน้ำที่อยู่บริเวณโดยรอบภายนอกซึ่งมีพลังงานศักย์สูงกว่าจะไหลเข้าสู้ phloem ส่งผลให้เกิดแรงดันที่เรียกว่า hydrostatic pressure ที่จุดนั้นเพิ่มขึ้น แรงดันนี้จะขับเคลื่อนของเหลวใน phloem ไปยังจดที่มีพลังงานศักย์ของน้ำที่ต่ำกว่า ซึ่งกระบวนการ

นี้เกิดขึ้นต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ เมื่อของเหลวใน phloem ถูกลำเลียงมายังจุดที่มีการใช้สารสังเคราะห์ (sink) ปริมาณความเข้มข้นของสารสังเคราะห์ใน phloem จะลดลงทันทีเนื่องจากถูกนำไปใช้โดย sink เมื่อความเข้มข้นลดลงส่งผลให้พลังงานศักย์ของน้ำสูงขึ้น ทำให้เกิดการขับเคลื่อนเข้าสู่ sink ซึ่งมีพลังงานศักย์ของน้ำต่ำกว่า กระบวนการนี้เกิดต่อเนื่องทำให้เกิดการลำเลียงสารอาหารจาก source ไปสู่ sink ดังภาพที่ 10.1 จะเห็นว่าถ้าอัตราของ phloem unloading (การลำเลียงจาก phloem เข้าสู่ sink) ต่ำกว่าอัตราของ phloem loading (การลำเลียงจาก source เข้าสู่ phloem) จะมีผลทำให้อัตราการลำเลียงอาหารในท่อ phloem นั้นลดน้อยลงด้วย เมื่ออัตราการลำเลียงลดลงก็จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า feed back ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง



ภาพที่ 8.1 แผนภาพแสดงการลำเลียงสารสังเคราะห์จาก source ไปยัง sink

อัตราการลำเลียงและถ่ายเทสารสังเคราะห์

การวัดอัตราการเคลื่อนที่ของสารสังเคราะห์ด้วยการใช้สารกัมมันตรังสี C^{14} เพื่อติดตามการเคลื่อนย้ายทำได้ 2 ลักษณะคือ 1) โดยวัดเป็นความเร็ว (velocity) ของ C^{14} (C คาร์บอน เป็นส่วนประกอบของแป้งและน้ำตาล) ที่เคลื่อนที่จาก source ไปถึง sink เป็นตัวแรกและ 2) วัดเป็นอัตราการเคลื่อนที่ของปริมาณสารสังเคราะห์ทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัดของท่อ phloem ต่อหนึ่งหน่วยเวลาเรียกว่า Specific mass transfer (SMT) นักสรีรวิทยาการผลิตพืชให้ความสนใจเรื่อง SMT มาก เพราะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณสารสังเคราะห์ทั้งหมดที่ถูกลำเลียงผ่าน phloem ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับผลผลิตมากกว่าการวัดที่เป็นความเร็ว ค่า SMT ขึ้นอยู่กับขนาดท่อ phloem ด้วย จากการศึกษาในพืชหลายชนิดพบว่าค่า SMT อยู่ระหว่าง 3-5 กรัม/ตาราง

เซนติเมตร/ชั่วโมง แต่เมื่อวัดเป็นความเร็วมีอัตราการเคลื่อนที่ 500 เซนติเมตร/ชั่วโมง จากการศึกษากับพืชไร่หลายชนิดพบว่าพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงมักจะมีท่อ phloem ที่ใหญ่กว่า

พืชหลายชนิดที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์ขึ้นมาใหม่ที่ให้ผลผลิตสูง พบว่ามี phloem ใหญ่ขึ้นด้วย ส่วนพันธุ์ดั้งเดิมหรือพันธุ์พื้นเมืองที่ให้ผลผลิตน้อย มักจะมีขนาดของ phloem เล็กกว่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพืช C3 และพืช C4 พืช C4 จะมีอัตราการลำเลียงสูงกว่า ที่เป็นเช่นนี้เพราะพืช C4 มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าและมีพื้นที่หน้าตัดของ phloem ต่อพื้นที่ใบมากกว่า

กระบวนการ remobilization

Remobilization หมายถึง กระบวนการที่สารสังเคราะห์ถูกเคลื่อนย้ายอีกครั้งหนึ่งจากแหล่งที่ถูกเก็บสะสมไว้ไปยังแหล่งอื่น หรือ sink อื่น ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าใบเมื่อมีการสังเคราะห์แสงก็จะส่งสารสังเคราะห์ที่ได้ไปยังส่วนต่างๆ ของพืชเพื่อการเจริญเติบโตและสะสมไว้สารที่ถูกเก็บสะสมไว้นั้นส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน และสารเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนรูปและเคลื่อนย้ายอีกครั้งได้ จะเห็นว่าสารสังเคราะห์ที่เก็บอยู่ในรูปที่แตกต่างจากการสังเคราะห์ที่อยู่ในระหว่างเคลื่อนย้าย เมื่อพืชมีการสังเคราะห์แสงได้มากกว่าการใช้ สารสังเคราะห์ที่เหลือจะถูกเก็บสะสมไว้ และเมื่อพืชเจริญถึงช่วงระยะที่ต้องใช้อาหารมาก เช่น ในระหว่างสะสมน้ำหนักเมล็ดและถ้าในขณะนั้นพืชไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้เพียงพอ สารที่ถูกเก็บสะสมอยู่นั้นจะถูกเคลื่อนย้ายมาสนับสนุนเพิ่มเติมทันที กระบวนการ remobilization เกิดขึ้นได้ทั้งอินทรีย์และอนินทรีย์สาร ตัวอย่างเช่นในใบแก่ก่อนที่จะร่วงหล่นไปสารต่างๆในใบ เช่น คาร์โบไฮเดรต สารประกอบพวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ก็จะถูกส่งออกไปยัง sink อื่น

วิธีการสอนและกิจกรรม	**บรรยายโดยให้นักศึกษามีส่วนร่วมถามตอบ**	
สื่อการสอน	**หนังสืออ้างอิง**	**1, 2, 3, 4, 5, 6, 7**
	เอกสารประกอบ	**เอกสารประกอบการสอน รายวิชา ความสัมพันธ์ระหว่างดินน้ำและพืช**
	วัสดุโสตทัศน์	**Power point**
งานที่มอบหมาย	**การบ้าน ตอบคำถามต่อไปนี้** **1. บอกหน้าที่และความสำคัญของ Xylem และ Phloem** **2. Remobilization คืออะไร**	
การวัดผล	**ซัก ถาม-ตอบ** **ข้อสอบ**	
หมายเหตุ		