ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ปัจจัยบางอย่างที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง

การสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นการสร้างอาหารของพืช รวมทั้งให้ออกซิเจนแก่ระบบนิเวศ หากพืชสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดีพืชก็จะเจริญเติบโตดีด้วย ปัจจัยบางอย่างมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ ความเข้มของแสง ระยะเวลาที่ได้รับ แสง อุณหภูมิ เป็นต้น

ก. แสงและความเข้มของแสง

ความเข้มของแสง (Light intensity) ต่างกัน อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชที่เกิดขึ้นย่อมแตกต่างกันไปด้วย สามารถทดลองได้โดยทำกิจกรรมที่ 13.1

จากการทดลองทำกิจกรรม จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าความเข้มของแสงมีความสัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ดังนั้นในระบบนิเวศต่าง ๆ จะเห็นได้ว่ามีพืชบางชนิดเจริญเติบโตได้ดีในที่แจ้ง ในขณะที่พืชอีกหลายชนิดเจริญเติบโตในที่ร่ม จากความรู้เรื่องนี้นำไปใช้ในการจัดต้นไม้ตามบริเวณต่าง ๆ ของอาคาร ถ้านำพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในที่ร่มไปปลูกไว้กลางแจ้ง อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มขึ้นไปถึงจุด ๆ หนึ่ง แล้วอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะไม่เพิ่มขึ้นไปอีก แต่อุณหภูมิภายในเซลล์จะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะมีผลกับเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของพืช ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชลดลง จนกระทั่งพืชเหล่านั้นถึงตายได้ ถ้าไม่ย้ายกลับไปไว้ในที่ร่มดังเดิม

การทดลองนี้ถ้าได้เพิ่มอุปกรณ์เครื่องวัดแสงเข้าไปอีก 1 อย่าง ทำให้สามารถวัดความเข้มของแสงและนำไปหาความสัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ โดยการนำมาเขียนกราฟให้แกนนอนเป็นความเข้มของแสง และแกนตั้งเป็นอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ควรจะได้กราฟดังรูป

ความเข้มของแสงมีความสัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและชนิดของพืช ในขณะที่ปัจจัยอื่น ๆ อยู่ในสภาพที่เหมาะสม เมื่อเพิ่มความเข้มของแสงมากขึ้นเรื่อย ๆ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มตามไปด้วย จนกระทั่งถึงจุด ๆ หนึ่ง ถึงแม้จะเพิ่มความเข้มของแสงมากเกินไปอีกก็ไม่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้ยกเว้นพืช C_4 เช่น พวกข้าวโพด อ้อย ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงได้เสมอตราบเท่าที่ความเข้มของแสงยังไม่ถึงความเข้มของแสงกลางแจ้ง

ความเข้มของแสง มีผลต่อการเจริญและการสร้างอาหารของพืช พืช C_4 มีประสิทธิภาพในการใช้แสงได้ดีกว่าพืช C_3

อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชจะสูงสุดในเวลาใกล้เที่ยง ซึ่งมีแสงแดดจ้าที่สุด ซึ่งพืชมักจะตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากกว่าที่ปล่อยออกมาจากการหายในถึง 8 เท่า โดยเฉลี่ยตลอดวันพืชตรึงคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิได้ประมาณ 6 เท่า

ในที่มีความเข้มของแสงต่ำ พืชมีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อย ขณะเดียวกันพืชมีการหายใจซึ่งสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย ในสภาพของความเข้มข้นของแสงที่มีอัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่ากับอัตราการคายคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการหายใจที่จุดของความเข้มแสงนี้เรียกว่า **ไลท์คอมเพนเซชันพอยท์ (Light compensation point)** ถ้าพืชได้รับแสงต่ำกว่าไลท์คอมเพนเซชันพอยท์ พืชจะไม่เจริญและตายในที่สุด ไลท์คอมเพนเซชันพอยท์แตกต่างไปตามพืชแต่ละชนิด พืชที่ชอบแสงแดด เช่น ข้าวโพด อ้อย เจริญได้ดีในที่มีแสงแดดจัด มีไลท์คอมเพนเซชันพอยด์สูง และต้องการความเข้มแสงปริมาณมาก แต่พืชที่เจริญในที่ร่มมีไลท์คอมเพนเซชันพอยท์ต่ำ และต้องการความเข้มแสงต่ำ เหตุที่มีไลท์

คอมเพนเซชันพอยท์ต่ำเพราะพืชที่อยู่ในที่ร่มมีอัตราการหายใจต่ำมาก เมื่อให้ความเข้มของแสงเพิ่มขึ้นต่อไป อัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิจะเพิ่มขึ้น จนถึงจุดหนึ่งที่เมื่อเพิ่มความเข้มของแสงต่อไป แต่อัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ สุทธิก็ไม่เพิ่มขึ้น ค่าความเข้มของแสงที่จุดนี้เรียกว่า **จุดอิ่มตัวของแสง (Light saturation point)** ใบพืชส่วนใหญ่มีจุดอิ่มตัวของแสงระหว่าง 500 – 1,000 μmol m^{-2} s^{-1} พืชที่อยู่ในร่มมีจุดอิ่มตัวของแสงต่ำกว่าพืชที่อยู่กลางแจ้ง

ข. อุณหภูมิ

อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลกับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงคือ อุณหภูมิ เราสามารถทดสอบถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชได้ โดยใช้เครื่องมือชุดเดียวกันกับการทดลองวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยให้ระยะห่างระหว่างโคมไฟกับสาหร่ายคงที่ และเวลาที่ใช้ในการปรับปรุงความดันออกซิเจนในหลอดรูปตัว U ยังเท่าเดิม คือ 5 นาทีแต่ที่แตกต่างกันคือ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในกล่องพลาสติก โดยค่อย ๆ เติมน้ำร้อนลงในกล่องพลาสติก เพื่อให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น แล้วทำให้อุณหภูมิคงที่หรืออาจลดอุณหภูมิของน้ำในกล่องพลาสติก โดยการค่อยเติมน้ำแข็งหรือน้ำเย็นจนอุณหภูมิคงที่เช่นกัน จากนั้นจึงหาอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำสีในหลอดรูปตัว U ซึ่งคงนำไปบันทึกผลลงในตารางได้

มีการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยการวัดปริมาณออกซิเจนที่เกิดขึ้น พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มขึ้นด้วยจนถึงอุณหภูมิระดับหนึ่ง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิต่อไป อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงกลับลดลง

อุณหภูมิมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง เนื่องจากปฏิกิริยาต่าง ๆ ของการสังเคราะห์ด้วยแสงอาศัยเอนไซม์ต่าง ๆ เป็นคะตะลิสต์ ดังนั้นถ้าอุณหภูมิไม่เหมาสมต่อการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ จะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นสูงสุด

โดยทั่วไปพืชแต่ละชนิดมีช่วงอุณหภูมิในการสังเคราะห์ด้วยแสงต่างกันตั้งแต่ 5 - 40 องศาเซลเซียส พืชเขตร้อนมีอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วงค่อนข้างสูง ส่วนพืชเขตอบอุ่นหรือเขตหนาวจะทำการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดีในอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ ถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปจะมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ในปฏิกิริยา อุณหภูมิสูงยังทำให้อัตราการหายใจและอัตราโฟโตเรสไพเรชันเพิ่มขึ้นด้วย การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จึงลดลง

ในสภาพแวดล้อมที่มีแสงสว่างเพียงพอและมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 5 -10 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิสูงมากจะทำให้ปากใบปิด อัตราการหายใจสูง และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะลดลง ดังนั้นในสภาพที่อุณหภูมิสูง พืช C_4 จะมีการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดีกว่าพืช C_3

ค. แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง หากปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มาก อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มขึ้น ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ยิ่งมากขึ้นอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มขึ้นอีก แต่เมื่อปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ตั้งแต่ 0.1 % ขึ้นไป อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะคงที่ ดังกราฟ

หากความเข้มของแสงคงที่ ความเข้มของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง คือ ในระยะแรกที่ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ยังน้อย อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อถึงระดับหนึ่งคือ ประมาณ 0.10 % หรือ 1,000 ppm อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะคงที่

จากการศึกษาของภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่า อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงหรืออัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิของพืช 3 ชนิด คือ ข้าวซึ่งเป็นพืช C_3 ได้ผลดังนี้

จะเห็นว่า เมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำมาก อัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิจะลดต่ำลง แต่เมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเพิ่ม อัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิก็มากขึ้นด้วย

เมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำมาก การสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นน้อยมาก ขณะเดียวกันพืชมีการหายใจตลอดเวลา จึงมีการคายคาร์บอนไดออกไซด์ออกมามากกว่าการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้อัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นลบ เมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นต่อไปจนถึงระดับหนึ่งที่ทำให้อัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่ากับอัตราการคายคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหายใจ ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดนี้เรียกว่าคาร์บอนไดออกไซด์คอมเพนเซชันพอยท์ (CO_2 compensation point) ที่จุดนี้พืชมีอัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ (ดังรูป 66) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไปอีก อัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าอัตราการคายคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไปอีก อัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าอัตราการคายคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจ อัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ จึงเป็นบวก

ในพืชพวก C_4 เช่น ข้าวโพดและอ้อย มีค่าคาร์บอนไดออกไซด์คอมเพนเซชันพอยท์ที่ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำมาก ซึ่งอาจมีค่าเป็น 0 หรือ ใกล้ 0 ส่วนพืช C_3 เช่น ข้าว มะม่วง มีค่าคาร์บอนไดออกไซด์คอมเพนเซชันพอยท์ที่ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าของพืช C_4 เช่น ข้าว ข้าวสาลี ซึ่งเป็นพืช C_3 มีค่าเท่ากับ 50 ppm ข้าวบาเลย์มีค่าประมาณ 55 - 65 ppm เนื่องจากพืช C_4 มีกลไกเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในเซลล์บันเดิลชีท ทำให้มีโฟโตเรสไพเรชันต่ำมาก จึงสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์น้อยมาก

เมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเพิ่มขึ้นต่อไป อัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ก็สูงตามไปด้วย จนเมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่งที่ทำให้อัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิไม่เพิ่มขึ้น ค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดนี้เรียกว่า **จุดอิ่มตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 saturation point)** แม้จะเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไป แต่อัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ก็แทบไม่เพิ่มขึ้น คาร์บอนไดออกไซด์จึงไม่ใช่ปัจจัยจำกัด (Limiting factor) อีกต่อไป

จะเห็นว่า ข้าวโพดและอ้อยซึ่งเป็นระยะพืช C_4 เริ่มมีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิช้าลง หรือเริ่มเข้าสู่ระยะอิ่มตัว เมื่อระดับความเข้มของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศปกติประมาณ 300 - 400 ppm (0.03 - 0.04 %) หรือจะกล่าวว่าพืช C_4 จะอิ่มตัวคาร์บอนไดออกไซด์ได้เร็วกว่าเมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ปกติ ผลก็คือแม้จะเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไป แต่พืช C_4 ก็ไม่ได้ประโยชน์เพิ่มขึ้น เนื่องจากระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ปกติ พืช C_4 มีกลไกการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในเซลล์บันเดิลชีทได้ดี จนเอนไซม์รูบิสโกทำงานได้ดี ทำให้อัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิถึงระยะอิ่มตัว กราฟจึงเริ่มคงที่ แต่พืช C_3 คือต้นข้าวต้องการความเข้มข้นของ

คาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศสูงถึง 650 ppm เอนไซม์รูบิสโกจึงจะทำงานได้ดี จนทำให้อัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเข้าสู่ระยะอิ่มตัว อย่างไรก็ตามที่อัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากันระหว่างพืช C_3 และพืช C_4 พืช C_4 จะใช้พลังงานมากกว่าพืช C_3 ในการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในเซลล์บันเดิลชีทและถ้าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเพิ่มขึ้นถึง 1,500 ppm (5 %) ปากใบของพืชจะปิด และจะไม่เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อไป

ง. ธาตุอาหาร

การขาดธาตุอาหารมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง **แมกนีเซียมและไนโตรเจน**เป็นธาตุอาหารที่สำคัญในองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ การขาดสารเหล่านี้ทำให้ใบขาดคลอโรฟิลล์ จึงเกิดอาการใบเหลืองซีดที่เรียกว่า **คลอโรซิส (Chorosis)**

ธาตุเหล็กก็มีความจำเป็นต่อการสร้างคลอโรฟิลล์ และยังเป็นองค์ประกอบของไซโทโครม (Cytochrome) ซึ่งเป็นตัวถ่ายทอดอิเล็กตรอน ธาตุแมงกานีสและคลอรีน จำเป็นต่อกระบวนการแตกตัวของน้ำในปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสง การขาดธาตุอาหารเหล่านี้มีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง

จ. ปริมาณน้ำที่พืชได้รับ

ปริมาณแหล่งของอิเล็กตรอนที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเมื่อพืชขาดน้ำ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะลดลง นอกจากนี้น้ำมีผลต่อการเปิดปิดของปากใบ มีผลกระทบต่อการแพร่ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในใบ ถ้าพืชขาดน้ำ ปากใบพืชจะปิดเพื่อลดการคายน้ำ และป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับเอนไซม์ การแลกเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนที่ปากใบเกิดได้ยาก ทำให้ขาดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะลดลง

ในสภาวะน้ำท่วมขัง ดินชุ่มน้ำ รากพืชจมน้ำจึงขาดแก๊สออกซิเจนที่ใช้ในการหายใจ มีกระทบต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงด้วย

ฉ. อายุของใบพืช

ใบพืชที่มีอายุอ่อนหรือแก่เกินไป จะทำการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ไม่ดีเท่าใบพืชที่เจริญเติบโตเต็มที่ เพราะใบที่อายุอ่อนเกินไป คลอโรพลาสต์ยังเจริญไม่เต็มที่ ส่วนใบที่มีอายุแก่เกินไป กรานาและคลอโรฟิลล์มีการสลายตัวจึงทำให้พืชนั้นมีการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อยลง