

การศึกษาลักษณะและปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในพืช C3 และ C4 ที่เป็นอาหารสัตว์

ปิยะพร ชะบุรณ์*, สิงหา ดวงเกตุ, สรรเสริญ วีระพจนานันท์, และ วรณวิภา ห้อยกอน

โรงเรียนนวมินทราชูทิศ มัชฌิม ตำบลนครสวรรค์ตก อำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ ประเทศไทย

*Corresponding author: sansern@nmm.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะและปริมาณผลึกแคลเซียมออกซาเลตในพืชอาหารสัตว์ชนิด C3 และ C4 จำนวน 11 ชนิด โดยพืช C3 ได้แก่ กระจดิน ผักปลาบ ผักเป็ดไทย ถั่วเขียว ตำลึง ผักตบชวา และชะพลู ส่วนพืช C4 ได้แก่ บานไม่รู้โรยป่า ผักโขม หญ้าขน และหงอนไก่ป่า การศึกษาประกอบด้วย 2 ตอน ได้แก่ การศึกษาลักษณะผลึกแคลเซียมออกซาเลตด้วยเทคนิค Free Hand Cross Section ภายใต้กล้องจุลทรรศน์จากลำต้น ก้านใบ และใบ และการศึกษาปริมาณแคลเซียมออกซาเลตด้วยเทคนิค Permanganate Titration โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) ทำปฏิกิริยากับออกซาเลตที่สกัดจากตัวอย่างพืชและคำนวณปริมาณแคลเซียมออกซาเลต จากสมการ $CaOxalate (g) = \frac{VKMnO_4 \times 5}{2} \times 128.1$

ผลการศึกษาพบผลึกแคลเซียมออกซาเลต 3 ลักษณะ ได้แก่ รูปเข็ม (raphides) พบมากในก้านใบและใบของผักปลาบ และผักตบชวา รูปดาว (druses) พบมากในก้านใบและลำต้นของผักเป็ดไทยและผักปลาบ และรูปปริซึม (prismatic) พบในลำต้นและก้านใบของผักโขม สำหรับปริมาณแคลเซียมออกซาเลตโดยรวม พบมากที่สุดในกระจดิน (0.199 g) รองลงมาคือ ชะพลู (0.100 g) หงอนไก่ป่า (0.087 g) และผักโขม (0.084 g) ขณะที่ถั่วเขียวพบปริมาณต่ำที่สุด (0.041 g) เมื่อพิจารณาตามส่วนของพืช พบว่าใบเป็นส่วนที่มีปริมาณแคลเซียมออกซาเลตสูงที่สุด โดยกระจดินมีปริมาณสูงสุดในใบ (0.320 g) และก้านใบ (0.186 g) ส่วนลำต้นพบมากที่สุดในบานไม่รู้โรยป่า (0.068 g) สรุปได้ว่าพืชอาหารสัตว์ทั้งพืช C3 และ C4 มีลักษณะผลึกแคลเซียมออกซาเลต 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปเข็ม รูปดาว และรูปปริซึม และมีปริมาณแคลเซียมออกซาเลตไม่แตกต่างกัน ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนานวัตกรรมการใช้พืชเพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศต่อไป

คำสำคัญ: ลักษณะและปริมาณแคลเซียมออกซาเลต / Permanganate titration

Comparative analysis of calcium oxalate characteristics and quantity in C3 and C4 forage species

Piyaporn Khabun*, Singha Duangket, Sansern Veerapotjananan, and Wanwipa Hoikon

Nawaminthrachuthit Matchim School, Nakhon Sawan Tok, Mueang Nakhon Sawan District, Nakhon Sawan, Thailand

*Corresponding author: sanaern@gmail.com

Abstract

This study aimed to investigate the characteristics and quantity of calcium oxalate crystals in 11 species of C3 and C4 forage plants. The C3 plants included *Leucaena leucocephala*, *Commelina diffusa*, *Alternanthera sessilis*, mung bean, ivy gourd, water hyacinth, and wild betel leaf, while the C4 plants included wild globe amaranth, amaranth, *Pennisetum pedicellatum*, and wild cockscomb. The study consisted of two parts: (1) the investigation of calcium oxalate crystal characteristics using the Free Hand Cross Section technique under a microscope from stems, petioles, and leaves, and (2) the determination of calcium oxalate content using the Permanganate Titration technique, in which potassium permanganate ($KMnO_4$) solution reacted with oxalate extracted from plant samples and the calcium oxalate content was calculated according to the equation $CaOxalate (g) = KMnO_4 \times VKMnO_4 \times 5/2 \times 128.1$

The results revealed three types of calcium oxalate crystals: raphides, druses, and prismatic crystals. Raphide crystals were abundantly found in the petioles and leaves of *Commelina diffusa* and water hyacinth. Druse crystals were commonly observed in the petioles and stems of *Alternanthera sessilis* and *Commelina diffusa*. Prismatic crystals were found in the stems and petioles of amaranth. Regarding the overall calcium oxalate content, the highest amount was found in *Leucaena leucocephala* (0.199 g), followed by wild betel leaf (0.100 g), wild cockscomb (0.087 g), and amaranth (0.084 g), whereas mung bean contained the lowest amount (0.041 g).

When considering different plant parts, leaves contained the highest calcium oxalate content. *Leucaena leucocephala* showed the highest content in leaves (0.320 g) and petioles (0.186 g), while the highest amount in stems was found in wild globe amaranth (0.068 g). In conclusion, both C3 and C4 forage plants contained three forms of calcium oxalate crystals: raphides, druses, and prismatic crystals, with no significant difference in calcium oxalate content between the two groups. The obtained data can serve as a foundation for developing innovative applications of plants to reduce carbon dioxide levels in the atmosphere in the future.

Keywords: Characteristics and content of calcium oxalate / Permanganate titration

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลและการตัดไม้ทำลายป่า ส่งผลให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ อย่างไรก็ตาม CO₂ ไม่ได้มีเพียงผลกระทบต่อด้านลบเท่านั้น แต่ยังเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้พืชสามารถสร้างอาหารและเป็นแหล่งพลังงานเริ่มต้นของห่วงโซ่อาหาร พืชมีวิธีการตรึงคาร์บอนจาก CO₂ แตกต่างกันไป โดยสามารถแบ่งออกเป็นพืชกลุ่ม C3 และ C4 ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งในด้าน กระบวนการทางชีวเคมีและโครงสร้างของใบ พืชกลุ่ม C3 เป็นพืชที่พบได้ทั่วไป ส่วนพืชกลุ่ม C4 มักพบในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงและ แสงแดดจัด ความแตกต่างของระบบการตรึงคาร์บอนนี้อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพในการใช้ CO₂ และการสร้างสารประกอบอินทรีย์ภายในเซลล์พืช

คาร์บอนที่พืชได้รับจาก CO₂ ไม่ได้ถูกนำไปสร้างเพียงน้ำตาลหรือแป้งเท่านั้น แต่ยังเกี่ยวข้องกับการสร้างสารอินทรีย์ชนิดอื่น เช่น กรดออกซาลิก ซึ่งสามารถรวมตัวกับแคลเซียมภายในเซลล์เกิดเป็นผลึกแคลเซียมออกซาลेट ผลึกชนิดนี้พบได้ในพืชหลายชนิด และมีหลายรูปแบบ [1] โดยมักสะสมอยู่ในใบ ลำต้น หรือก้านใบ การสะสมของผลึกแคลเซียมออกซาลेटจึงอาจเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์บอน ซึ่งมีจุดเริ่มต้นจากการตรึง CO₂ พืชอาหารสัตว์ที่พบทั่วไปในธรรมชาติมีทั้งกลุ่ม C3 และ C4 [2] อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีข้อมูลเปรียบเทียบอย่างชัดเจนเกี่ยวกับความแตกต่างของลักษณะและปริมาณผลึกแคลเซียมออกซาลेटระหว่างพืชทั้งสองกลุ่ม คณะผู้จัดทำจึงสนใจศึกษาลักษณะของผลึก แคลเซียมออกซาลेटภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมออกซาลेटด้วยวิธีการไทเทรต เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างพืชอาหารสัตว์กลุ่ม C3 และ C4 ซึ่งผลการศึกษานี้อาจช่วยเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างระบบการ ตรึงคาร์บอนกับการสะสมสารภายในเซลล์พืช

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาลักษณะของผลึกแคลเซียมออกซาลेटที่พบในพืชอาหารสัตว์
2. ศึกษาปริมาณแคลเซียมออกซาลेटในพืชอาหารสัตว์

3. ขอบเขตของการศึกษา

สถานที่ทำการทดลอง: โรงเรียนนวมินทราชูทิศ มัชฌิมและบ้านเลขที่ 37/4 หมู่ 11 ตำบลวัดไทรย์ อำเภอมะนัง นครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์

พืชที่ใช้ในการทดลอง

1. กระจงิน (*Leucaena leucocephala*) (C3 Plants)
2. ขะพลู่ (*Piper sarmentosum* Roxb.) (C3 Plants)
3. ผักปลาบใบแคบ (*Commelin diffusa* Burm.f) (C3 Plants)
4. ผักเบ็ด (*Alternanthera sessilis* (L.) R.Br. ex DC.) (C3 Plants)
5. ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes* (C.Mart) Solms) (C3 Plants)
6. ถั่วเขียว (*Clitoria ternatea* L.) (C3 Plants)
7. บานไม่รู้โรย (*Gomphrena globosa* L.) (C4 Plants)
8. หญ้าขน (*Brachiaria mutica*) (C4 Plants)
9. ตำลึง (*Coccinia grandis* (L.) Voigt.) (C4 Plants)
10. หงอนไก่ (*Celosia argentea* L.) (C4 Plants)
11. ผักโขมบ้าน (*Amaranthus viridis*) (C4 Plants)

ระยะเวลาที่ศึกษา ตั้งแต่วันที่ 10 ธันวาคม 2568 - วันที่ 15 มกราคม 2569

4. วิธีการศึกษา

ตอนที่ 1. การศึกษาลักษณะของผลึกแคลเซียมออกซาเลตที่พบในพืชอาหารสัตว์ ด้วยการศึกษากายใต้กล้องจุลทรรศน์ เทคนิค Free Hand Cross Section [3]

การศึกษาลักษณะของผลึกแคลเซียมออกซาเลตที่พบในพืชอาหารสัตว์ ด้วยการศึกษากายใต้กล้องจุลทรรศน์ เทคนิค Free Hand Cross Section โดยใช้ลำต้น ก้านใบ และใบ ของพืช 11 ชนิด คือ ผักโขม กระถิน หงอนไก่ป่า ผักปลาบ ผักเป็ดไทย ถั่วเขียว ผักตบชวา ตำลึง ชะพลู หนุ่ยขุ่น และบานไม่รู้โรยป้า นำพืชตัวอย่างไปล้างทำความสะอาดจากนั้นนำไปตัดตัวอย่างตามขวางด้วยมือ เตรียมสไลด์ถาวรแล้วนำไปศึกษากายใต้กล้องจุลทรรศน์ ด้วยกำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุ 10X และ 40X บันทึกข้อมูลรูปร่างผลึกที่พบและบันทึกภาพ

ตอนที่ 2 การศึกษาปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในพืชอาหารสัตว์ [5],[6]

2.1 การเตรียม standardize กับ Sodium Oxalate

ชั่งสาร Sodium Oxalate ผสมกับสารละลาย HCl ความเข้มข้น 1 M ปริมาตร 100 mL เพื่อหาความเข้มข้นของ KMnO_4 ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย

2.2 การเตรียมตัวอย่างแบบผง

นำพืชตัวอย่างทั้ง 11 ชนิด ที่ทำความสะอาดแล้วจากนั้นตัดแยกส่วนแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C จนแห้งสนิท นำมาบดให้ละเอียดเป็นผงด้วยโกร่งบดสาร

2.3 การสกัดตัวอย่าง

ชั่งผงพืชในปริมาณ 1 กรัม ผสมกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 100 mL ให้ความร้อนที่ อุณหภูมิ $70-80^\circ\text{C}$ ระยะ 15-30 นาที เพื่อสกัดสารแคลเซียมออกซาเลต ทำตัวอย่างละ 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณด้วยการไทเทรต

บรรจุสารละลายต่างที่บัพทิม KMnO_4 ความเข้มข้น 0.02 M ลงในบิวเรตต์นำสารสกัดจากพืชที่เตรียมไว้มาทำการไทเทรตจน สารละลายเปลี่ยนเป็น สีชมพูอ่อนคงตัว (End point)

2.5 การคำนวณและบันทึกผล

บันทึกปริมาตรของ KMnO_4 ที่ใช้ และนำไปคำนวณหาปริมาณแคลเซียมออกซาเลตจาก

$$\text{สมการ Calcium Oxalate(g)} = \text{MKMnO}_4 \times \text{VKMnO}_4 \times \frac{5}{2} \times 128.1$$

โดย MKMnO_4 = ความเข้มข้นของ KMnO_4 (mol/L)

VKMnO_4 = ปริมาตรของ KMnO_4 ที่ใช้ไทเทรต

128.1 = มวลโมเลกุลของ CaC_2O_4

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ตอนที่ 1 การหารูปร่างลักษณะของผลึกแคลเซียมออกซาเลตในพืชอาหารสัตว์ ด้วยเทคนิค Crosssection

การศึกษานี้ใช้เทคนิคการตัดเนื้อเยื่อพืชตามขวาง ในส่วนของ ใบ ก้านใบ และลำต้น โดยศึกษาลักษณะผลึกแคลเซียมออกซาเลตภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุที่ 10X และ 40X ผลการศึกษารูปร่างของผลึกในพืชอาหารสัตว์แต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 1 [7]

ตารางที่ 1 ลักษณะผลึกแคลเซียมออกซาเลตที่พบในพืชอาหารสัตว์

ลำดับ	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์	ชื่อพื้นเมือง	ชนิดของผลึก		
				ใบ	ก้านใบ	ลำต้น
1	<i>Leucaena leucocephala</i>	Leguminosae	กระถิน	ปรีซึม	รูปดาว	รูปดาว,ปรีซึม
2	<i>Piper sarmentosum</i>	Piperaceae	ชะพลู	รูปดาว,ปรีซึม	รูปดาว,ปรีซึม	ปรีซึม
3	<i>Commelina diffusa</i>	Commelinaceae	ผักปลาใบแคบ	รูปเข็ม	รูปเข็ม	รูปเข็ม
4	<i>Alternanthera sessilis</i>	Amaranthaceae	ผักเบ็ด	รูปดาว,ปรีซึม	รูปดาว	รูปดาว
5	<i>Eichhornia crassipes</i>	Pontederiaceae	ผักตบชวา	รูปดาว	รูปดาว	รูปดาว
6	<i>Vigna radiata</i>	Fabaceae	ถั่วเขียว	ปรีซึม	รูปดาว	รูปดาว
7	<i>Gomphrena globosa</i>	Amaranthaceae	บานไม่รู้โรย	รูปดาว	รูปดาว	รูปดาว
8	<i>Brachiaria mutica</i>	Poaceae	หญ้าขน	ปรีซึม	ปรีซึม	ปรีซึม
9	<i>Coccinia grandis</i>	Cucurbitaceae	ตำลึง	รูปดาว	รูปดาว	รูปดาว
10	<i>Celosia argentea</i>	Amaranthaceae	หงอนไก่	รูปดาว	รูปดาว	รูปดาว
11	<i>Amaranthus viridis</i>	Amaranthaceae	ผักโขมบ้าน	รูปดาว,ปรีซึม	รูปดาว	รูปดาว

ตอนที่ 2 การศึกษาปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในพืชอาหารสัตว์ ด้วยเทคนิค Permanganate Titration

การหาปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในตัวอย่างพืชอาหารสัตว์ ดำเนินการโดยใช้เทคนิคการไทเทรตแบบรีดอกซ์ (Redox Titration) ด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) ซึ่งอาศัยหลักการออกซิไดซ์ สารสกัดออกซาเลตภายใต้สภาวะที่เป็นกรดและอุณหภูมิที่เหมาะสม ($60-80^{\circ}C$) โดยปริมาณแคลเซียมออกซาเลตที่วิเคราะห์ จากสมการ

$$\text{Calcium Oxalate (g)} = \frac{M_{KMnO_4}}{V_{KMnO_4}} \times \frac{5}{2} \times 128.1 \text{ มีค่าที่ได้ดังตารางที่ 2}$$

ตารางที่ 2 ปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในพืชอาหารสัตว์ในส่วนต่างๆของลำต้น

ชนิดพืช	ลำต้นพืช	ก้านใบพืช	ใบพืช	ค่าเฉลี่ยทั้งต้นของพืช
กระถิน	0.048	0.186	0.320	0.199
ชะพลู	0.038	0.123	0.137	0.100
ผักปลาใบแคบ	0.006	0.080	0.065	0.068
ผักเบ็ด	0.052	0.071	0.071	0.061
ผักตบชวา	0.043	0.060	0.024	0.043
ถั่วเขียว	0.028	0.031	0.065	0.041
บานไม่รู้โรย	0.068	0.068	0.068	0.068
หญ้าขน	0.0473	0.045	0.116	0.069
ตำลึง	0.026	0.089	0.089	0.057
หงอนไก่	0.036	0.138	0.138	0.087
ผักโขมบ้าน	0.048	0.048	0.134	0.084

ตอนที่ 3 การศึกษาหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์

จากการศึกษาปริมาณแคลเซียมออกซาเลต (CaC_2O_4) ที่ได้จากการวิเคราะห์ในตอนที่ 2 เพื่อประเมินศักยภาพในการตรึงคาร์บอน (Carbon Sequestration) ของพืชอาหารสัตว์ในรูปของผลึกชีวภาพ (Biogenic Crystals) โดยกระบวนการคำนวณ จะอ้างอิงจากสัดส่วนมวลอะตอมของคาร์บอนภายในโมเลกุลออกซาเลต จากนั้นจึงทำการประเมินค่าในระดับพื้นที่การศึกษานี้ได้นำข้อมูลในตอนที่ 2 มาหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์และประเมินปริมาณพืชในระดับพื้นที่เพาะปลูก (ต้นต่อไร่) โดยคำนึงถึงความหนาแน่นของจำนวนต้นพืชต่อไร่ของแต่ละชนิดเพื่อนำมาหาจำนวนคาร์บอนไดออกไซด์ [8] จากสมการ Carbon Storage (tC/rai) = Carbon Storage (g) × Total tree count มีค่าดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์แต่ละชนิด

ลำดับ	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์	ชื่อพื้นเมือง	จำนวนต้น/ไร่	การเก็บคาร์บอน/ต้นคาร์บอน
1	<i>Leucaena leucocephala</i>	Leguminosae	กระถิน	1,600	1.3388
2	<i>Piper sarmentosum</i>	Piperaceae	ชะพลู	6,400	0.0898
3	<i>Commelina diffusa</i>	Commelinaceae	ผักปลาใบแคบ	18,000	0.0587
4	<i>Alternanthera sessilis</i>	Amaranthaceae	ผักเป็ด	25,000	0.0592
5	<i>Eichhornia crassipes</i>	Pontederiaceae	ผักตบชวา	6,400	0.0081
6	<i>Vigna radiata</i>	Fabaceae	ถั่วเขียว	64,000	0.0155
7	<i>Gomphrena globosa</i>	Amaranthaceae	บานไม่รู้โรย	17,000	0.0494
8	<i>Brachiaria mutica</i>	Poaceae	หญ้าขน	6,400	0.0435
9	<i>Coccinia grandis</i>	Cucurbitaceae	ตำลึง	700	0.0014
10	<i>Celosia argentea</i>	Amaranthaceae	หงอนไก่	17,000	0.0809
11	<i>Amaranthus viridis</i>	Amaranthaceae	ผักโขมบ้าน	25,000	0.2471

6. สรุปผลการศึกษา

ตอนที่ 1 [4] ผลึกแคลเซียมออกซาเลต (calcium oxalate) เป็นองค์ประกอบที่พบได้ทั่วไปในเซลล์พืช โดยมีความหลากหลายของรูปร่างซึ่งสะท้อนถึงความแตกต่างทางชนิดพืชและหน้าที่ทางสรีรวิทยา ผลึกเหล่านี้เกิดและสะสมอยู่ในเซลล์เฉพาะที่เรียกว่า idioblast และสามารถจำแนกตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาได้หลายรูปแบบรูปแบบที่พบได้บ่อย ได้แก่ ผลึกรูปเข็ม (raphides) ซึ่งมีลักษณะเรียวยาว ปลายแหลม และมักรวมกันเป็นมัดภายในเซลล์ ลักษณะดังกล่าวเอื้อต่อการทำหน้าที่ป้องกันศัตรูพืช เมื่อเนื้อเยื่อถูกทำลาย ผลึกสามารถแทงทะลุเนื้อเยื่อของผู้บริโภคได้ นอกจากนี้ยังพบ ผลึกรูปดาว (druses) ซึ่งเป็นกลุ่มผลึกหลายแฉกรวมตัวกันเป็นก้อน ลักษณะคล้ายทรงกลมที่มีผิวขรุขระ พบได้อย่างแพร่หลายในใบและลำต้นของพืชหลายชนิดอีกลักษณะหนึ่งคือ ผลึกแบบปริซึม (prismatic crystals) ซึ่งมีรูปทรงเป็นเหลี่ยมชัดเจน อาจปรากฏเป็นแท่งหรือรูปทรงเรขาคณิตที่มีระเบียนมากกว่าแบบอื่น ๆ รวมถึง ผลึกแบบเม็ดทราย (crystal sand) ซึ่งประกอบด้วยผลึกขนาดเล็กจำนวนมากกระจายอยู่ในเซลล์ ทำให้มองเห็นเป็นลักษณะคล้ายเม็ดทรายเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ นอกจากนี้ยังมีผลึกบางชนิดที่มีลักษณะยาวหรือแบน เช่น styloids ซึ่งพบในพืชบางกลุ่มรูปร่างของผลึกแคลเซียมออกซาเลตมีความหลากหลายตั้งแต่แบบเรียวยาวจนถึงแบบรวมตัวเป็นก้อน ทั้งนี้ความแตกต่างของลักษณะดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับบทบาทของผลึกในด้านการสะสมแคลเซียมออกซาเลต

ตอนที่ 2 พืชสามารถจำแนกตามกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้เป็นพืช C3 และ C4 ซึ่งมีความแตกต่างกันในขั้นตอนการจับ CO₂ และประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง โดยพืช C3 ซึ่งเป็นพืชส่วนใหญ่ของโลก มีผลิตภัณฑ์แรกของการตรึงคาร์บอนเป็นสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอม ผ่านวัฏจักรคัลวินโดยเอนไซม์ RuBisCO [9] อย่างไรก็ตาม เอนไซม์นี้สามารถจับออกซิเจนได้ ทำให้เกิดกระบวนการหายใจแสง (photorespiration) ส่งผลให้สูญเสียพลังงาน โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงในขณะที่พืช C4 มีกลไกเพิ่มความเข้มข้นของ CO₂ ภายในใบ โดยเริ่มตรึง CO₂ เป็นสารที่มีคาร์บอน 4 อะตอม และมีการแยกตำแหน่งของกระบวนการสังเคราะห์แสงระหว่างเซลล์ mesophyll และ bundle sheath ส่งผลให้ลดการเกิด photorespiration และเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดีกว่า [9] นอกจากนี้ ยังมีการค้นพบกลไก 'Alarm Photosynthesis' ซึ่งระบุว่าผลึกแคลเซียมออกซาลेटในเนื้อเยื่อพืชสามารถทำหน้าที่เป็นแหล่งสำรอง CO₂ ภายใน เพื่อสนับสนุนการสังเคราะห์แสงในสภาวะที่พืชขาดแคลนก๊าซจากภายนอก [10], [11] ด้วยเหตุนี้ พืช C4 จึงมีประสิทธิภาพในการใช้ CO₂ และการสังเคราะห์แสงสูงกว่าพืช C3 ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้มีศักยภาพในการเจริญเติบโตและการกักเก็บคาร์บอนที่ดีกว่า ซึ่งกลไกการสะสมแคลเซียมออกซาลेटนี้ถือเป็นส่วนสำคัญในการควบคุมสมดุลทางสรีรวิทยาและการจัดการคาร์บอนของพืชอย่างมีประสิทธิภาพ [12]

ตอนที่ 3 จากการหาค่าคาร์บอนไดออกไซด์ในของพืชแต่ละชนิด ในพื้นที่ 1 ไร่พบว่ากระถินเป็นพืชที่มีการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดในพืช 11 ชนิด กระถิน (*Leucaena leucocephala*) (C3 Plants) จากข้อมูลพบว่า กระถิน (พืช C3) มีการสะสมแคลเซียมออกซาลेटสูงและคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุดและเป็นพืชยืนต้น มีการสะสมแคลเซียมออกซาลेटในไอดีโอบลาสต์ (idioblast) ที่มาก จึงมีความเหมาะสมในการปลูกเพื่อช่วยดูดซับและกักเก็บคาร์บอนมากที่สุดในกลุ่มตัวอย่างนี้ โดยมีศักยภาพสูงในการกักเก็บคาร์บอน โดยเฉลี่ยดูดซับ CO₂ 1,600 ตัน/ไร่ (ในสวนเหนือพื้นดินทั้งหมด) หรือดูดซับได้ประมาณ 1.3 ตันคาร์บอนต่อปี แต่อย่างไรก็ตามพืช C3 เป็นพืชที่มีการตรึงคาร์บอนเพียง 1 ครั้งซึ่งน้อยกว่าพืช C4 ที่ตรึงคาร์บอน 2 ครั้ง ละครึ่งปี พืชไม่ยืนต้นใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตมากกว่าพืช C4 ที่ส่วนใหญ่เป็นพืชล้มลุก ดังนั้น การสร้างนวัตกรรมเพื่อกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์จึงควรใช้พืช ร่วมกันทั้ง C3 และ C4 เพื่อให้ประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์มีมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] ญามิมพ์ เก่งกาจ, เพชรรัตน์ จงทองหลาง และมุสตี พรหมประสิทธิ์. (2565). การตรวจหาผลึกแคลเซียมออกซาลेटในผักพื้นบ้าน ตำบลบ้านใหม่ อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
- [2] สำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์. (2560). คุณค่าทางโภชนาการของพืชอาหารสัตว์และผลพลอยได้ทางการเกษตรไทย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://nutrition.dld.go.th/>. สืบค้นเมื่อ 2 มีนาคม พ.ศ. 2569.
- [3] ประศาสตร์ เกื้อภูมิ. (2551). เทคนิคเนื้อเยื่อพืช (Techniques in plant tissue). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [4] ประศาสตร์ เกื้อภูมิ. (2560). เซลล์และเนื้อเยื่อพืช (Plant Cell and Tissue). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [5] AOAC. (2016). Official Methods of Analysis of AOAC International (20th ed). Gaithersburg, MD: AOAC International.
- [6] Mendham, J., Denney, R. C., Barnes, J. D., & Thomas, M. J. K. (2000). Vogel's textbook of quantitative chemical analysis (6th ed). Prentice Hall.
- [7] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. [ออนไลน์]. ฐานข้อมูลพรรณไม้ (Plant Database). เข้าถึงได้จาก <https://sci.pcu.ac.th/plant-database/>. สืบค้น เมื่อ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2569.
- [8] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2568). การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ (Calculation for Carbon Sequestration in tree). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://ghgreduction.tgo.or.th/th/tver-method/tver-tool/for-agr/item/3451-calculation-for-carbon-sequestration.html> สืบค้น เมื่อ 10 มีนาคม 2569
- [9] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (ม.ป.ป.). การสังเคราะห์ด้วยแสงและการตรึงคาร์บอนในพืช C3 และ C4. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://il.mahidol.ac.th/e-media/ap-biology1/Chapter8/Part7.html>. สืบค้น เมื่อ 2 มีนาคม พ.ศ. 2569.

- [10] Nakata, P. A. (2003). Advances in our understanding of calcium oxalate crystal formation and function in plants. *Plant Physiology*, 132(3), pp. 1162-1167.
- [11] Tooulakou, G., et al. (2016). Alarm photosynthesis: Calcium oxalate crystals as an internal CO₂ source in plants. *Plant Physiology*, 171(4), 2577-2585
- [12] Franceschi, V. R., & Nakata, P. A. (2005). "Calcium oxalate in plants: formation and function." *Annual Review of Plant Biology*. Verrecchia, E. P., et al. (2006). "The oxalate-carbonate pathway in soil carbon storage." *Trends in Plant Science*.