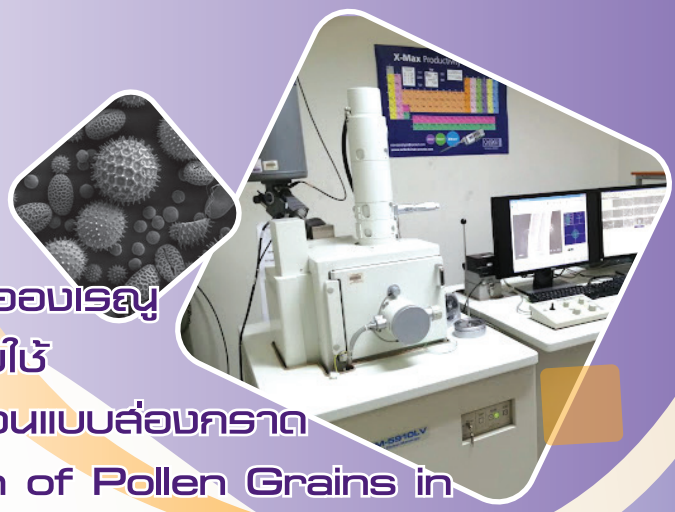


การจำแนกลักษณะของละอองเรณูในทางนิติวิทยาศาสตร์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
The Characterization of Pollen Grains in Forensic Science Using a Scanning Electron Microscope

*กฤติยา คำด้วง**
Kritiya Khumduang
*ธิติ มหาเจริญ***
Thiti Mahacharoen

บทคัดย่อ

คดีสำคัญหลาย ๆ คดี ไม่ว่าจะเป็นคดีที่เกิดขึ้นทั้งในประเทศหรือต่างประเทศ นอกจากวัตถุพยาน เช่น มีด ปืน ค้อน และอุปกรณ์อื่นที่พบได้ในสถานที่เกิดเหตุ หรือวัตถุพยานทางชีวภาพ ยกตัวอย่าง เช่น เลือด เส้นผม เส้นขน น้ำอสุจิ หรือน้ำลายที่สามารถนำไปตรวจ DNA ได้แล้วนั้น ปัจจุบันได้มีการนำความรู้ทางด้านพฤกษศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับทางนิติวิทยาศาสตร์เพื่อการติดตามและคลี่คลายคดีที่เกิดขึ้น รวมทั้งสามารถใช้ในการติดตามผู้ที่กระทำความผิดมาลงโทษได้ ไม่ว่าจะเป็นคดีฆาตกรรมที่สามารถตรวจสอบวัตถุพยานได้จากละอองเรณูหรือเศษพืชที่ติดมากับตัวของผู้เสียหายหรือจากศพที่เป็นเหยื่อจากเหตุการณ์ดังกล่าว ดังนั้น ความรู้ทางด้านพฤกษศาสตร์จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันกับการตรวจหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์และเป็นอีกวิธีที่มีความน่าเชื่อถือในทางคดี โดยการศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา

* *นักศึกษาระดับมหาบัณฑิตคณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ*
Faculty of Forensic Science, Royal Police Cadet Academy
** *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พันตำรวจเอก, อาจารย์คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ*
Faculty of Forensic Science, Royal Police Cadet Academy
Received: *May 24, 2021* ***Revised:*** *July 2, 2021* ***Accepted:*** *July 2, 2021*

_21-0954(057-078)P4.indd 57 27/12/2564 BE 11:43

ลักษณะสัณฐานวิทยาละอองเรณูของพืชโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และใช้ข้อมูลจากการศึกษามาอธิบายตำแหน่งของสถานที่เกิดเหตุและการติดตามคดี รวมทั้งศึกษาการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาละอองเรณูของพืชด้วยเทคนิคการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยการทดลองได้ทำการศึกษาในพื้นที่อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี โดยการเก็บตัวอย่างพืชดอกจำนวน 30 ชนิด อัดในแผงไม้อัดแห้งเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ และนำไปวิเคราะห์ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของละอองเรณูของพืชชนิดต่าง ๆ ประกอบไปด้วย ขนาด รูปร่าง และลวดลายของผนังชั้นเอกซีน ซึ่งจากการทดลองพืชแต่ละชนิดมีขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กมาก (<10μm), ขนาดเล็ก (10-25 μm), ขนาดกลาง (25-50 μm) และขนาดใหญ่ (25-50 μm) รูปร่างมีทั้งหมด 4 แบบ คือแบบ Sub-Elliptic, Elliptic, Elliptic-circular และ Circular และลวดลายของผนังชั้นเอกซีน ซึ่งมีลักษณะที่สังเกตได้ทั้งหมด 8 แบบ โดยพืชสายพันธุ์เดียวกันแต่ต่าง Species กัน ก็จะมีลักษณะทางสัญฐานวิทยาของละอองเรณูที่ต่างกัน ยกตัวอย่างพืชที่ทำการศึกษาครั้งนี้คือ ต้นหางนกยูงไทยและต้นหางนกยูงฝรั่ง ซึ่งทั้งสองชนิดมีขนาด รูปร่าง และลวดลายบนผิวของเรณูที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง

คำสำคัญ: ละอองเรณู, กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM), สัณฐานวิทยา

Abstract

In many important criminal cases occurred Thailand or abroad, physical evidences such as gun, knife, other equipment, or biological evidence that can be used to detect DNA including blood, saliva, and semen may be typically found at crime scene. The knowledge of botany is also applied in forensic science to solve crimes and link to the criminal. For example, evidence could be determined from pollen or plant debris attached to the body of a victim. Hence, the botany applied to forensic science could lead to a reliable technique for case solving. The objectives of this research are to study pollen grain morphology and use the data retrieved from crime scene locations and to study the morphology of the pollen grains using a scanning electron microscope (SEM). The flowering plant samples of 30 species were collected, prepared and then analyzed by SEM. The morphology of the pollen was recorded and analyzed for size, shape and exine. The results showed that the pollen varied in size from very small (<10 μm) to small (10-25 μm), medium (25-50 μm) and large (25-50 μm). For the shape of pollen grains, there were four types; sub-elliptic, elliptic, elliptic-circular and circular. A total of eight exine types were also observed. The plants of the same species but different

_21-0954(057-078)P4.indd 58 27/12/2564 BE 11:43

sub-species will have different pollen grain morphology. For example, the pollen grains of Caesalpinia pulcherrima (L.). (Pride of Barbados) and Delonix regia (Hook.) Raf. (Royal Poinciana) totally differ in size, shape, and exine.

Keywords: Pollen grains, Scanning Electron Microscope, Morphology

บทนำ

การก่อเหตุอาชญากรรมในปัจจุบันทั้งในและต่างประเทศทั่วโลก นับวันยิ่งมีความซับซ้อนและทวีความรุนแรงมากขึ้น ทั้งนี้ เกิดจากเหตุปัจจัยหลายประการที่ทำให้เกิดเหตุอาชญากรรมต่าง ๆ ขึ้น อาทิเช่น ปัญหาครอบครัว ปัญหาทางด้านการเงิน เศรษฐกิจ การพนัน การติดสิ่งเสพติด เป็นต้น นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงทางสังคมและค่านิยม ตลอดจนความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีก็ส่งผลให้การก่อเหตุอาชญากรรมในปัจจุบันมีการพัฒนาตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยี ดังนั้น การสืบสวนและสอบสวนคดีจึงต้องมีการปรับเปลี่ยนให้ทันต่อเหตุการณ์เช่นเดียวกัน (พัทธมน กัณชัย, 2551) จึงสามารถกล่าวได้ว่า บทบาทของงานด้านนิติวิทยาศาสตร์มีความสำคัญต่อการสืบสวนและสอบสวนในคดีที่มีความรุนแรงและความซับซ้อนเพิ่มมากขึ้น (สฤษดิ์ สืบพงษ์ศิริ, 2558)

ในคดีสำคัญหลายคดี นอกจากวัตถุพยานทางกายภาพ เช่น มีด ปืน ค้อน และอุปกรณ์อื่นที่พบได้ในสถานที่เกิดเหตุหรือวัตถุพยานทางชีวภาพ เช่น เลือด เส้นผม เส้นขน น้ำอสุจิหรือน้ำลาย ที่สามารถนำไปตรวจ DNA แล้วนั้น ปัจจุบันได้นำความรู้หลากหลายด้านเข้ามาประยุกต์ร่วมกับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์เพื่อการติดตามและคลี่คลายคดีที่เกิดขึ้นและสามารถใช้ในการติดตามผู้ที่กระทำความผิดมาลงโทษได้ เช่น ความรู้ทางพฤกษศาสตร์หรือทางนิติวิทยาศาสตร์เรียกว่า นิติเรณูวิทยา (Forensic Palnology) เป็นวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับพยานหลักฐานที่มีขนาดเล็กที่ได้มาจากสปอร์และเรณูที่มีวัตถุประสงค์ในการสืบสวนสอบสวนทางกฎหมาย (Bryant, Jones, & Mildenhall, 1990; Horrocks & Walsh, 1998) คดีฆาตกรรมที่สามารถตรวจสอบได้จากละอองเรณูหรือเศษพืชที่ติดมากับตัวของผู้เสียหายหรือตามศพที่เป็นเหยื่อจากเหตุการณ์ดังกล่าว ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากวัตถุพยานชิ้นสำคัญและหลักฐานอื่นที่พบในสถานที่เกิดเหตุร่วมกัน ดังนั้น ความรู้ทางด้านพฤกษศาสตร์สามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันกับการตรวจหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ได้และมีความน่าเชื่อถือ ซึ่งต่างประเทศได้เกิดเหตุการณ์เป็นคดีข่มขืนทางตอนใต้ของประเทศอังกฤษและได้นำการศึกษาเกี่ยวกับละอองเรณูของพืชมาใช้ร่วมกับการตรวจวัตถุพยานที่พบในสถานที่เกิดเหตุ (Mildenhall, 2006a) โดยการศึกษาดังกล่าวใช้วิธีการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาละอองเรณูที่พบในสถานที่เกิดเหตุและนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลลักษณะสัณฐานวิทยาละอองเรณูที่มีอยู่เพื่อวิเคราะห์และสรุปผล ซึ่งผลการตรวจพิสูจน์ปรากฏว่าผู้ต้องสงสัย คือ ผู้ก่อเหตุจริงและนำตัวไปดำเนินคดีตามกฎหมายต่อไป ดังนั้นความรู้ทางด้านพฤกษศาสตร์เป็นความรู้แขนงหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์

_21-0954(057-078)P4.indd 59 27/12/2564 BE 11:43

ใช้สำหรับการติดตามหรือคลี่คลายคดีได้ ซึ่งต่างประเทศได้ศึกษามาเป็นระยะเวลานานมากกว่า 50 ปี และปัจจุบันหลายประเทศแถบเอเชียหันมาสนใจศึกษาด้านนี้มากขึ้น ซึ่งในประเทศไทยมีหลายองค์กรที่ให้ความสนใจและเริ่มต้นศึกษาเรื่อง นิติเรณูวิทยา ยกตัวอย่างเช่น มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่มีการเริ่มต้นศึกษาด้านนิติเรณูวิทยา

ละอองเรณู (Pollen) ของพืชนับว่าเป็นโครงสร้างที่มีหน้าที่ในการขนส่งเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้เพื่อทำหน้าที่ในการถ่ายทอดเมื่อทำการศึกษาลักษณะของละอองเรณูอย่างละเอียดแล้วจะพบว่าพืชต่างชนิดและต่างสกุล (Genus) จะมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกัน (ปราณี อินสุทน และเบญวรรณ ชิวปรีชา, 2561) ละอองเรณูนับว่ามีประโยชน์อย่างมากทั้งทางด้านการทำนายการอพยพของแมลงเป็นแหล่งอาหารของแมลง และสามารถบ่งบอกลำดับอนุกรมวิธานของพืชชนิดนั้น ๆ ได้ ซึ่งหากพูดถึงในทางด้านนิติวิทยาศาสตร์มีการใช้ประโยชน์จากละอองเรณูด้วยเช่นกัน ในการติดตามคดีโดยใช้ละอองเรณูของพืชที่พบตามผู้เสียหายหรือตามสถานที่เกิดเหตุและผู้ต้องหา เนื่องจากละอองเรณูมีลักษณะเด่นที่สามารถจดจำได้ง่ายและสามารถตรวจสอบได้ถึงชนิดของพืชและลำดับวงศ์สกุลแล้ว ละอองเรณูมีลักษณะที่จำเพาะและสามารถนำมาใช้ตรวจสอบได้ ทั้งยังสามารถทำนายถึงแหล่งกำเนิดทางธรณีวิทยาของละอองเรณูได้โดยการตรวจเอกลักษณ์ของละอองเรณูของพืชแต่ละชนิดที่เจริญเติบโตในแต่ละภูมิภาคนั้น ๆ ได้ โดยละอองเรณูของพืชชนิดต่าง ๆ สร้างขึ้นมาจากสปอโรพอลเลนิน (Sporopollenin) ที่มีความทนทานและไม่สามารถทำลายได้ง่ายถึงแม้ว่าจะใช้สารเคมีสำหรับการซักฟอกเสื้อผ้าหรือเครื่องนุ่งห่มอื่น ๆ แล้วละอองเรณูก็ยังคงติดอยู่กับเสื้อผ้าหรือพื้นผิวของวัตถุชนิดนั้นอยู่ ดังนั้น การติดตามคดีจึงต้องดำเนินไปพร้อมกับการประยุกต์ความรู้ต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องเข้ากับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์เพื่อการติดตามและคลี่คลายคดีที่เกิดขึ้น

ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญเกี่ยวกับการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาละอองเรณูของพืชดอกที่มีความสำคัญและการใช้ละอองเรณูในการติดตามคดี ดังนั้น ได้ทำการศึกษาลักษณะละอองเรณูของดอกไม้ชนิดต่าง ๆ จำนวน 30 ชนิด ในพื้นที่อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในการตรวจลักษณะสัณฐานวิทยาของละอองเรณูพืชและข้อมูลที่ได้จะเก็บไว้ในฐานข้อมูลของลักษณะละอองเรณูสำหรับใช้ในการติดตามและคลี่คลายคดีที่มีความเกี่ยวข้องกับละอองเรณู

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์สัณฐานวิทยาละอองเรณูของพืชด้วยเทคนิคการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) จำแนกตามขนาด รูปร่าง และลวดลายของผนังชั้นเอกซีนของละอองเรณู

2. เพื่อนำข้อมูลจากการศึกษาสัณฐานวิทยาละอองเรณูของพืชมาจัดทำเป็นฐานข้อมูลในการอ้างอิงสำหรับใช้ประโยชน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ในการติดตามและดำเนินคดี

_21-0954(057-078)P4.indd 60 27/12/2564 BE 11:43

การทบทวนวรรณกรรม

นิติเรณูวิทยา (Forensic Palymology) เป็นวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับพยานหลักฐานที่มีขนาดเล็กที่ได้มาจากสปอร์และเรณูที่มีวัตถุประสงค์ในการสืบสวนสอบสวนทางกฎหมาย (Vaughn, John, & Dallas, 1990; Horrocks & Walsh, 1998) พยานหลักฐานทางเรณูวิทยาสามารถใช้เชื่อมโยงผู้ต้องสงสัยหรือวัตถุที่เกี่ยวข้องเข้ากับสถานที่เกิดเหตุ หรือเข้ากับบุคคลได้ (Horrocks & Walsh, 1998) คดีแรกที่ประสบความสำเร็จสำหรับการใช้สปอร์และเรณูเป็นพยานหลักฐานเกิดในปี ค.ศ. 1959 (Erdtman, 1969) ชายคนหนึ่งหายตัวไประหว่างท่องเที่ยวบริเวณใกล้กับแม่น้ำดานูบ สาธารณรัฐออสเตรีย ตรวจพิสูจน์โดย Prof. Dr. Klaus แห่งมหาวิทยาลัยเวียนนา กรุงเวียนนา สาธารณรัฐออสเตรีย การสืบสวนเริ่มขึ้นโดยเก็บโคลนจากรองเท้าของผู้ต้องสงสัยมาทำการวิเคราะห์ทางเรณูวิทยา ผลจากการวิเคราะห์พบฟอสซิลของพืชเมื่อ 20 ล้านปีก่อน ซึ่งสถานที่ที่จะพบเรณูเหล่านี้มีเพียงพื้นที่เดียว คือ ทางทิศเหนือของแม่น้ำดานูบตำรวจจึงเข้าตรวจค้นและพบศพชายคนนี้ ในบริเวณดังกล่าว (Mildenhall, 2008) จากการศึกษามีความเป็นไปได้ว่าเทคนิคและความรู้ทางเรณูวิทยาได้ถูกนำมาใช้ก่อนปี ค.ศ. 1950 คุณสมบัติสำคัญของสปอร์และเรณูที่สามาถนำมาใช้เป็นพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ได้ เนื่องจากพืชสร้างสปอร์และเรณูเป็นจำนวนมากจึงทำให้มีโอกาสเป็นพยานหลักฐานได้สูง เพราะละอองเรณูมีขนาดเล็กทำให้ติดไปกับตัวคนร้ายได้ง่าย และมีลักษณะสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันในแต่ละสกุลและสปีชีส์ ทำให้สามารถใช้สปอร์และเรณูคาดการณ์ถึงพืชที่มีโอกาสพบในสถานที่เกิดเหตุได้ อีกทั้งยังสามารถทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี เมื่อเวลาผ่านไปยังคงตรวจพบเรณูได้ นอกจากนั้นมีข้อมูลพบว่า เรณูของพืชแต่ละชนิดมีอัตราการเสื่อมสภาพที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเรณูมีแนวโน้มที่จะเสื่อมสภาพในดินทรายช้ากว่าในดินร่วนและดินเลน ปัจจัยภายนอกบางประการที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของเรณู พบว่า รีดอกซ์โพเทนเชียลของดิน ความเป็นกรด-ด่างของดิน และการติดเชื้อราของเรณูไม่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของเรณูเนื่องจาก พบว่า มีปัจจัยอื่นที่มีผลมากกว่าปัจจัยดังกล่าว นอกจากนี้พบว่าการติดเชื้อราของเรณูจะพบมากในดินที่มีค่า pH และปริมาณสารอินทรีย์ที่สูง เนื่องจากพบว่าเรณูมีการติดเชื้อรามากที่สุดในดินร่วนแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างในการคงสภาพและเสื่อมสภาพของเรณูแต่ละชนิดเป็นเหตุสำคัญอีกประการหนึ่งที่ทำให้ดินแต่ละบริเวณมีกลุ่มของเรณูที่แตกต่างกัน ซึ่งจะเป็นเอกลักษณ์ของดินในแต่ละบริเวณนั้น รวมไปจนถึงอัตราส่วนระหว่างเรณูที่มีสภาพสมบูรณ์ที่จำแนกชนิดได้ และเรณูที่มีสภาพไม่สมบูรณ์ไม่สามารถจำแนกชนิดได้จะมีค่าเฉพาะในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะใช้เป็นหลักฐานในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของดินเพื่อเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างที่เกิดเหตุและผู้ต้องสงสัยได้ด้วย (วงศ์กฎ ภู่ภูมิรัตน์, 2551)

_21-0954(057-078)P4.indd 61 27/12/2564 BE 11:43

รูปภาพที่ 1 นิติเรณูวิทยา

ที่มา: Forensic Palynology, 2010

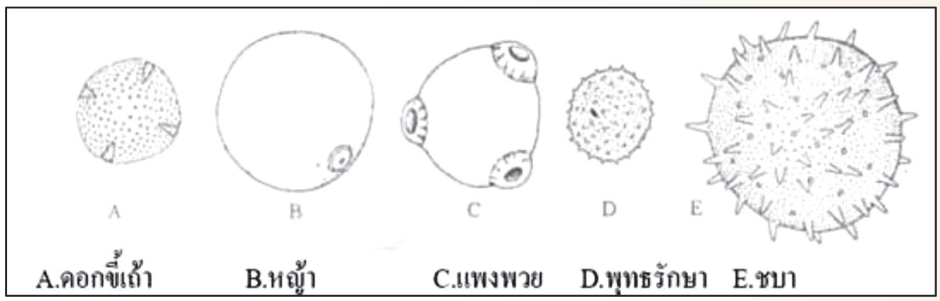
ละอองเรณูเริ่มเป็นที่รู้จักของนักพฤกษศาสตร์ โดย Carolus Linnaeus นักพฤกษศาสตร์ชาวสวีเดน ได้นำคำว่า Pollen มาใช้ในการเรียกกลุ่มฝุ่นผง หรือละอองที่มีสีเหลืองของพืชที่อยู่ในดอกไม้ทุกชนิดซึ่งบรรจุอยู่ในอับละอองเรณู (Anther) เมื่อแก่อับละอองเรณูจะแตกออก ละอองเรณูของดอกไม้จะแพร่กระจายไปตามลม น้ำ ค้างคาว นก มนุษย์ และแมลง ละอองเรณูของพืชมีเมล็ดเปลือย (Division Spermatophyta) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ละอองเรณูของพืชเมล็ด (Gymnosperm) และละอองเรณูของพืชดอก (Angiosperm) ละอองเรณูของพืชดอกจึงมีพัฒนาการเกิดมาจาก Microspore ที่อยู่ในช่องละอองเรณู (Pollen Sacs) โดยเริ่มตั้งแต่ Microspore mother 7 cells ภายในเซลล์ละอองเรณูจะเกิดการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสให้ 4 Microspores (Pollen Tetrad) ต่อมานิวเคลียสของแต่ละ Microspore จะแบ่งตัวแบบไมโทซิสอีกครั้งหนึ่งให้ Generative Cell และ Tube Cell หรือ Vegetative Cell ซึ่งอยู่ภายในผนังของ Microspore ระยะนี้ผนังจะหนาขึ้นเรียกว่าละอองเรณู ซึ่งรูปร่างของละอองเรณูจะแตกต่างกันทั้งสีสัน รูปร่างและองค์ประกอบทางเคมีตำแหน่งที่พบอับละอองเรณูติดอยู่ในพืชดอกหลาย ๆ ชนิดก็มีความแตกต่างกัน ซึ่งมีผลทำให้การพัฒนาของละอองเรณูการหุบบานของกลีบดอกตลอดจนการเกิดพาหะที่ช่วยในการถ่ายละอองเรณูแบบเจาะจงขึ้น นอกจากนี้ตำแหน่งการติดของก้านชูอับเรณู (Filament) กับอับเรณูของดอกไม้ในรูปแบบต่างกันยังมีผลต่อสภาพทางด้านชีววิทยา พันธุศาสตร์ นิเวศวิทยา การกระจายพันธุ์และการถ่ายละอองเรณู (ลาวัลย์ รักสัตย์, 2534)

ละอองเรณูมีความหลากหลายมากทั้งทางด้านรูปร่าง (Shape) ลักษณะรูและช่องเปิดและลวดลายของผนังละอองเรณู (Ornamentation) โดยละอองเรณูอาจมีรูปร่างตั้งแต่ Spherical ถึง Elliptic จนถึง Triangular ส่วนขนาดของละอองเรณูพบว่า อยู่ในช่วง 4-250 ไมโครเมตร ละอองเรณูมักจะมีรูเปิดหรือช่อง

_21-0954(057-078)P4.indd 62 27/12/2564 BE 11:43

โดยมีช่องเปิด 1 ช่อง เรียกว่า Monocolpate เป็นลักษณะเด่นของพืชวงศ์หญ้า (Poaceae) ส่วนละอองเรณูที่มีรูเปิด 3 รู เรียกว่า Triporate และถ้าพบทั้งรูเปิด 3 รู และช่องเปิด 3 ช่อง เรียกว่า Tricol-porate ชั้นที่อยู่ด้านนอกของละอองเรณู อาจจะมีผิวเรียบ (Psilate) ผิวมีลวดลายคล้ายตาข่าย (Reticulate) หรือมีลายแนวขวาง (Striate) หรือละอองเรณูบางชนิดมีหนามที่ผิว (Echinate) (ทิพย์สุดา ตั้งตระกูล, 2554)

รูปภาพที่ 2 ลักษณะละอองเรณูชนิดต่าง ๆ



ที่มา: ณัฐนรี เอียดประพาล, 2561

การศึกษาเกี่ยวกับเรณูวิทยา

การศึกษาทางเรณูวิทยาได้ทำการศึกษามาช้านานกว่า 50 ปีแล้วโดยเฉพาะกลุ่มประเทศสแกนดิเนเวีย มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้แสดงผลงานไว้ดังนี้คือ เลียวนาร์ด วอนโพสต์ (Lennart von post) เป็นบุคคลท่านแรกที่ปรับปรุงและพัฒนาเทคนิคการศึกษาเรณูต่าง ๆ แล้วนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และศึกษาเรณู สำหรับการศึกษาเรณูได้ถูกนำมาใช้ทำการศึกษาเพื่อสำรวจน้ำมันโดยนักธรณีวิทยาธรณีวิทยาทางโบราณคดี ความสัมพันธ์ของพืชกับสัตว์ นิเวศวิทยา อนุกรมวิธานของพืช ป่าไม้และเกษตรกรรม รวมทั้งการศึกษาสารก่อภูมิแพ้ในอากาศ เป็นต้น ปัจจุบันการศึกษาเรณูได้แพร่หลายขึ้นโดยเฉพาะงานที่ใช้ด้านอนุกรมวิธานของพืช แต่ยังครอบคลุมถึงหลายสาขาทั้งชีววิทยา นิเวศวิทยา พันธุศาสตร์ สรีรวิทยา ชีวเคมี รวมทั้งการเพาะเลี้ยงเรณู (ลาวัลย์ รักสัตย์, 2534)

นักวิทยาศาสตร์ล่วงรู้โลกในอดีตได้จากละอองเรณูดอกไม้ที่เล็กจนมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า เรณูเหล่านี้ช่วยบอกเราว่ามนุษย์ทำให้สภาพแวดล้อมเปลี่ยนไปอย่างไร และช่วยให้รู้ถึงความเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศเมื่อหลายพันปีที่ผ่านมา ในแต่ละปีต้นโอ๊กแต่ละต้นปล่อยละอองเรณูสู่อากาศนับร้อยล้านเรณู พืชชนิดอื่น ๆ อาจปล่อยละอองเรณูมากกว่านั้นอีก เช่น ต้นซอเรล (ลักษณะคล้ายกะเพรา) ที่ขึ้นทั่วไปตามริมทางหรือแนวป่าปล่อยละอองเรณูถึง 400 ล้านเรณู ในแต่ละปีละอองเรณูที่ปลิวไปตามลมมักจะร่วงสู่พื้นดินและเน่าเปื่อยเพราะออกซิเจนในดิน แต่บางส่วนก็ตกลงในทะเลสาบหรือปลักหนองและไม่เน่าเปื่อย เพราะซากพืช

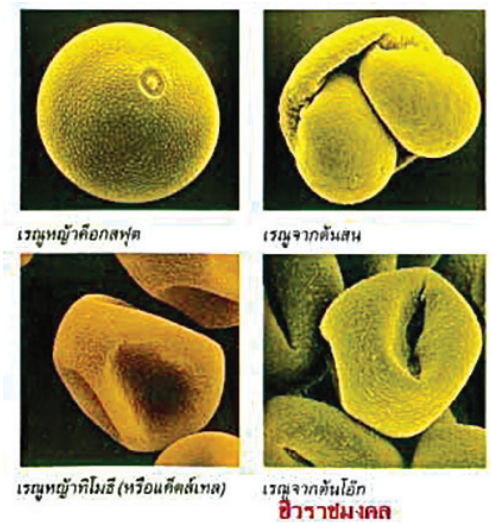
_21-0954(057-078)P4.indd 63 27/12/2564 BE 11:43

ที่เน่าเปื่อยทับถมกันและตะกอนก้นทะเลสาบไม่มีออกซิเจนจึงทำให้เรณูเหล่านั้นคงอยู่ได้หลายพันปีและกลายเป็นฟอสซิล ด้วยกระบวนการนี้ละอองเรณูของพืชแต่ละยุคจึงถูกเก็บรักษาอยู่ในตะกอนที่ทับถมกันชั้นแล้วชั้นเล่า ฟอสซิลของเรณูเหล่านี้เปรียบเสมือน “หนังสือ” ที่ช่วยนักพฤกษศาสตร์ ผู้ศึกษาชีวิตพืชยุคโบราณนำมาประติดประต่อจนเห็นภาพของพืชชนิดต่าง ๆ ตลอดจนภูมิอากาศของโลกในอดีตนานนับพันปีได้ (ฟิสิกส์ราชมงคล, 2555)

ละอองเรณูมีขนาดต่าง ๆ กัน มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 15/1,000 ถึง 50/1,000 ของ 1 มม. โดยมีโครงสร้างเฉพาะตัวต่างกันไปตามชนิดพันธุ์ซึ่งบอกได้จากกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งผนังภายนอกของเรณูคงทนเพราะประกอบด้วยโปรตีนซึ่งทนทานต่อการเน่าเปื่อย การนับจำนวนเรณู ในฟอสซิลนั้นจะอาศัยสว่านกลวงรูปทรงกระบอกเจาะเข้าไปและสูบเอาตัวอย่างจากแหล่งที่มีตะกอนสารอินทรีย์ เช่น ที่ลุ่มสนุ่นพีต (Peat bog) ซึ่งเป็นหนองที่มีซากพืชเน่าเปื่อยทับถมกัน แล้วนำตัวอย่างตะกอนที่ได้จากความลึกระดับต่าง ๆ มาวัดอายุด้วยวิธีเรดิโอคาร์บอน การหาตัวอย่างด้วยวิธีนี้ทำให้ได้เรณูจำนวน 20,000 เรณู/ลบ. ซม. จากตะกอนอายุ 11,000 ปี จนถึง 650,000 เรณู/ลบ.ซม. จากตะกอนที่เกิดขึ้นในเวลา 2-3 พันปีต่อมา เมื่อสุ่มเอาเพียง 1,000 เรณูมาวิเคราะห์ก็จะได้สัดส่วนของพืชยุคต่าง ๆ

วิธีนี้ทำให้นักวิทยาศาสตร์ได้รู้อะไรหลายอย่าง เช่น รู้ว่าหลังยุคน้ำแข็งระยะสุดท้ายเมื่อประมาณ 12,000 ปีมาแล้ว ดินแดนทางเหนือของโลกปกคลุมด้วยพืชพันธุ์อะไรบ้าง พันธุ์ไม้ชนิดแรก ๆ ที่พบคือ ต้นจูนิเพอร์ (ไม้ประเภทสน) ซึ่งงอกงามในอากาศหนาว ต่อมาเมื่อภูมิอากาศอุ่นขึ้นก็มีต้นเบิร์ช ต้นโอ๊กและเอล์ม ขึ้นแทนที่ตามลำดับเมื่อภูมิอากาศเปลี่ยนเป็นชุ่มชื้น ก็เกิดต้นอัลเดอร์ขึ้น นอกจากนี้ ก็ได้รู้ว่าการโค่นป่าและการทำกสิกรรมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพืชพันธุ์อย่างไร เช่น การวิเคราะห์ละอองเรณูจากตะกอนก้นทะเลแห่งกาลิลี ทางตอนเหนือของอิสราเอล เมื่อ ค.ศ. 1987 พบว่าเมื่อ 5,000 ปีที่แล้ว ชาวยิวหักร้างถางป่าไม้โอ๊กเพื่อทำไร่มะกอก ต่อมาในคริสต์ศตวรรษที่ 3 เมื่อชาวยิวอพยพออกจากดินแดนปาเลสไตน์ จำนวนต้นมะกอกก็ลดลง (ฟิสิกส์ราชมงคล, 2555)

รูปภาพที่ 3 รูปร่างของละอองเรณู



ที่มา: ฟิสิกส์ราชมงคล, 2555

ละอองเรณูที่มีชีวิตและเป็นฟอสซิลแต่ละชนิดผลิตละอองเรณูที่มีรูปร่างและขนาดต่างกัน สำหรับละอองเรณูที่กลายเป็นฟอสซิล คือ ร่องรอยที่ทำให้สืบทราบถึงพืชพันธุ์และภูมิอากาศของแต่ละท้องถิ่นในสมัยโบราณ ละอองเรณูฟอสซิลของต้นโอ๊กช่วยในการศึกษาชีวิตในแถบตะวันออกกลางฟอสซิลของละอองเรณูนี้ มีอายุมากกว่า

_21-0954(057-078)P4.indd 64 27/12/2564 BE 11:43

3,000 ปีก่อนคริสต์ศักราช เมื่อมีการโค่นถางป่าโอ๊กเพื่อปลูกมะกอกทดแทนในพื้นที่นั้น

รูปภาพที่ 4 ละอองเรณูที่กลายเป็นฟอสซิล

ที่มา: ฟิสิกส์ราชมงคล, 2555

จากการศึกษาที่ผ่านมายังไม่มีนักวิจัยท่านไหนที่ศึกษาอย่างจริงจัง เกี่ยวกับการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของละอองเรณูของพืชชนิดต่าง ๆ เพื่อประกอบการใช้พิสูจน์หลักฐาน แต่ที่ผ่านมามีการศึกษาเกี่ยวกับละอองเรณูในด้านอื่น ๆ ดังตัวอย่างงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศ ดังนี้

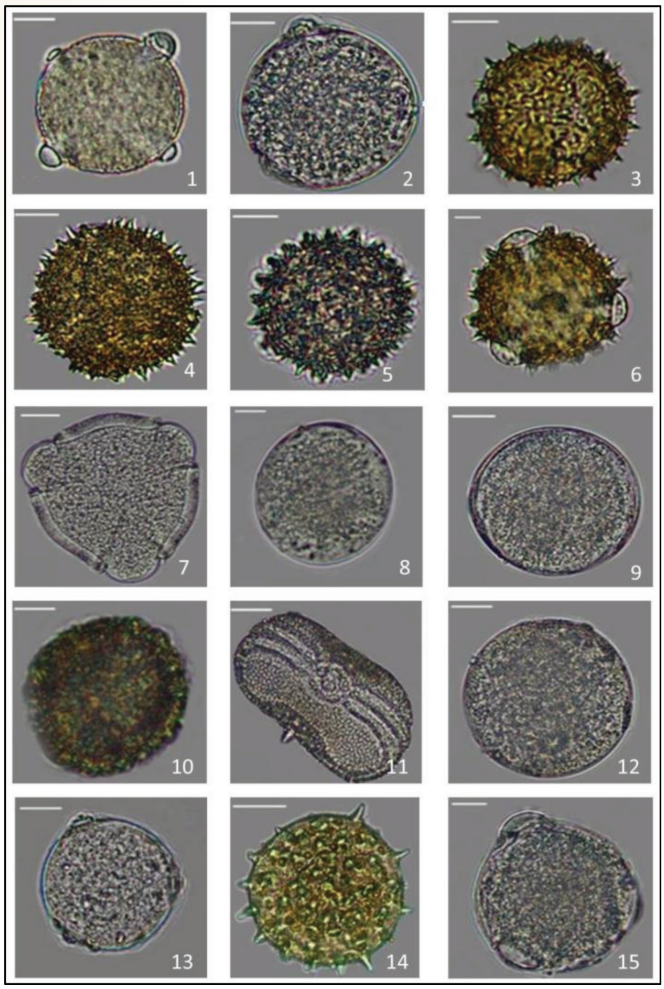
นิติญา แจ้งกระจ่าง, เสาวณี สาธรวิริยะพงศ์ และวิทยา สาธรวิริยะพงศ์ (2549) ได้ทำการศึกษาเรื่อง สัณฐานวิทยาของละอองเรณู การงอกของละอองเรณูและการเจริญของหลอดเรณูเข้าไปในเกสรเพศเมียด้วยวิธีผสมด้วยมือระหว่างคู่ผสมแบบ Diallel Cross ของส้มเปลือกล่อน (Citrus reticulate - Blanco) พันธุ์ Minneola, Honey และ Nules พบว่า ละอองเรณูมีรูปร่างแบบ Spheroidal-Prolatspheroidal มี 4-5 ช่องเปิด (Stephanocolpate) ลวดลายบนผนังเรณูแบบร่างแหละเอียด เมื่อนำมาเลี้ยงในสูตรอาหารดัดแปลงของ Brewbaker and Kwack (1963) โดยเติมน้ำตาลซูโครสที่มีความเข้มข้น 0, 10, 15, 20 และ 25% ปรากฏว่าในทุกความเข้มข้นละอองเรณูของส้มทุกพันธุ์สามารถงอกได้ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง น้ำตาลซูโครสเข้มข้น 20% ช่วยให้การงอกหลอดเรณูของพันธุ์ Minneola, Honey และ Nules มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงสุด คือ 27% (ในเวลา 8 ชม.) 19.94% (ในเวลา 6 ชม.) และ 29.90% (ในเวลา 8 ชม) ตามลำดับ ในสภาพธรรมชาติหลังการถ่ายละอองเรณูนาน 3 ชั่วโมง หลอดเรณูเจริญแทรกระหว่างเซลล์ Papillae ที่อยู่บนยอดเกสรเพศเมีย ที่เวลา 24 ชั่วโมง หลอดเรณูเจริญเข้าไปใน Style และถึง Ovary ในช่วงเวลา 54-96 ชั่วโมง เกสรเพศผู้ของส้มทั้งสามพันธุ์สามารถเจริญเข้าไปในเกสรเพศเมียของแต่ละคู่ผสมได้

กรณ์ กรภัทรชัยกุล, ไซหนับ ยู่โซะ, ทิพวรรณ คงอินทร์ และรูซีลา สะลูโว๊ะ (2558) ได้ทำการศึกษาเรื่อง สัณฐานวิทยา ความมีชีวิต และการงอกของเรณูพืชดอก 15 ชนิด ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัณฐานวิทยา ความมีชีวิต และการงอกของเรณูพืชดอก 15 ชนิด คือ แพงพวย [Catharanthus roseus (L.) G.Don] บานบุรี (Allamanda cathartica L.) พุดพิชญา (Wringhtia antidysenterica R.Br.) หิรัญญิการ์ (Beaumontia grandiflora Wall.) พุดเศรษฐีสยาม (Tabernaemontana sananho L.) ดาวกระจาย (Cosmos sulphureus Cav.) ตีนตุ๊กแก (Tridax procumbens L.) ดาวเรือง (Tagetes erecta L.) บานชื่น (Zinnia violacea Cav.) ชบา (Hibiscus rosa-sinensis L.) แก้ว [Murraya paniculata (L.) Jack.] เข็มแดง (Ixora coccinea L.) พุดตะแคง (Brunfelsia americana L.) เฟื่องฟ้า (Bougainvillea glabra Choisy.) และย่าหยา [Asystasia gangetica

_21-0954(057-078)P4.indd 65 27/12/2564 BE 11:43

(L.) T. Anders.] ผลการทดลองพบว่า เรณูมี 2 สี คือ เหลืองและเทา ผิวเรียบและขรุขระ รูปร่างกลม กลมรี ทรงสามเหลี่ยม แท่งปลายมนและมีขนาดตั้งแต่ 20.0-87.5 μm แสดงดังรูปภาพที่ทดสอบความมีชีวิตของเรณูด้วยการย้อมสีอะซีโตคาร์มีน (5%) พบว่าพืชที่เรณูมีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตสูงสุด คือ เฟื่องฟ้า (98.3%) และต่ำที่สุด คือ ดาวกระจาย (16.5%) มีพืชเพียง 5 ชนิด เท่านั้น ที่เรณูงอกในสารละลายน้ำตาลซูโครส โดยที่พุดเศรษฐีสยามมีอัตรางอกสูงสุด (83.4%) ในขณะที่เข็มแดงมีอัตราการงอกต่ำสุด (23.0%) ทั้งนี้ เรณูของพืชทั้ง 5 ชนิด มีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตไม่สัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์การงอก

รูปภาพที่ 5 ลักษณะรูปร่างและสีของเรณูพืช 15 ชนิด (1) เข็มแดง (2) แก้ว (3) ดาวกระจาย (4) ดาวเรือง (5) ตีนตุ๊กแก (6) บานชื่น (7) บานบุรี (8) พุดตะแคง (9) แพงพวย (10) เฟื่องฟ้า (11) ย่าหยา (12) หิรัญญิการ์ (13) พุดพิชญา (14) ชบา และ (15) พุดเศรษฐีสยาม



ที่มา: กรณ์ กรภัทรชัยกุล, ไซหนับ ยูโซะ, ทิพวรรณ คงอินทร์ และรูซีลา สะลูโว๊ะ, 2558

_21-0954(057-078)P4.indd 66 27/12/2564 BE 11:43

Mildenhall (2006b) ได้ทำการศึกษา เรื่อง การใช้ละอองเรณูของ Hypericum เพื่อค้นหาผู้ก่อเหตุในสถานที่เกิดเหตุ จากตัวอย่างของเรณูวิทยาทางนิติวิทยาศาสตร์ ซึ่งคดีที่เกิดขึ้นมีผู้บุกรุกเป็นชายสองคนได้เข้าไปในบ้านที่มีผู้พักอาศัยเป็นหญิงที่กำลังหลับอยู่ในบ้านเพียงลำพัง ประตูหลังบ้านไม่ได้ล็อคเพื่อให้แฟนของเขาเข้าบ้านได้เวลากลับมาจากที่ทำงาน ขณะที่ผู้หญิงคนนั้นตื่นขึ้นมาและพบเห็นชายแปลกหน้าในห้องนอนของเขา ชายสองคนดังกล่าววิ่งหนีและไม่ได้เอาเสื้อคลุมของเขาไปด้วย ซึ่งวางอยู่ในครัวของบ้านผู้หญิง ขณะรีบวิ่งออกจากบ้านของหญิงสาวตัวของชายสองคนดังกล่าวได้ไปสัมผัสกับพุ่มไม้ของดอก Hypericum ที่เจริญเติบโตอยู่ข้างประตูข้างนอกบ้าน ในเวลาต่อมาผู้ต้องสงสัยถูกจับกุมและโดนข้อกล่าวหาประทุษร้ายร่างกายของผู้หญิงและบุกรุกเข้ามาขโมยของในบ้านช่วงเวลากลางคืน แต่ผู้ต้องสงสัยปฏิเสธทุกข้อกล่าวหา พร้อมทั้งปฏิเสธว่าตนเองไม่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น การติดตามคดีดังกล่าว เจ้าหน้าที่ได้นำเสื้อคลุมของผู้ต้องสงสัยไปตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ โดยนำการวิเคราะห์เกี่ยวกับละอองเรณูของพืชมาใช้สำหรับการตรวจวัตถุพยาน และผลการวิเคราะห์ได้แสดงให้เห็นว่า กางเกงของผู้ต้องสงสัยมีเปอร์เซ็นต์ (%) ของละอองเรณูของดอก Hypericum 14%, เสื้อคลุม (Jacket) 24% และเสื้อเชิ้ตโปโล 27.5% นอกจากพบละอองเรณูของดอก Hypericum แล้วก็ยังพบวัตถุพยานชิ้นอื่น ๆ แต่หลักฐานที่สำคัญที่สุดคือละอองเรณูของพืชชนิดนี้ ที่ยังคงอยู่และจับกันเป็นกลุ่มก้อน ไม่ฟุ้งกระจายไปในอากาศ จากผลการตรวจพิสูจน์ละอองเรณูของดอก Hypericum มีลักษณะเหมือนกันทั้งรูปร่าง ขนาด สี และลักษณะภายนอกของละอองเรณูที่ติดอยู่กับวัตถุพยานที่นำมาตรวจสอบ หลักฐานของละอองเรณูเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่พิสูจน์รายละเอียดได้ แต่ไม่สามารถใช้หรือบอกได้ว่าผู้ต้องสงสัยมีความผิด ซึ่งแท้จริงแล้วข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อเท็จจริงที่ได้จากการตรวจสอบจากวัตถุพยาน และคดีนี้เป็นคดีตัวอย่างที่นำเอาความรู้ด้านเรณูวิทยาประยุกต์ร่วมกับการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ และช่วยให้มีการบังคับใช้กฎหมายเกี่ยวกับการกระทำความผิดทางอาญาพร้อมกระตุ้นให้หลักฐานทางเรณูวิทยาทางนิติวิทยาศาสตร์ควรนำมาประกอบการพิจารณาอย่างสมบูรณ์ในการสืบสวนของหน่วยสืบสวนอาชญากรรม

▣ วิธีการดำเนินการ

การวิจัยเรื่อง การจำแนกลักษณะของละอองเรณูในทางนิติวิทยาศาสตร์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาละอองเรณูของพืชด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) จำแนกขนาด รูปร่าง และลวดลายของผนังชั้นเอกซีนของละอองเรณู และใช้เป็นข้อมูลในการอ้างอิงเพื่อการติดตามและดำเนินคดี ซึ่งตัวอย่างในงานวิจัยมาจากการสำรวจพืชดอกในพื้นที่ของอำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี จำนวน 30 ตัวอย่าง

_21-0954(057-078)P4.indd 67 27/12/2564 BE 11:43

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้การเลือกเก็บตัวอย่างแบบการสุ่มตัวอย่าง (Sampling) ในพื้นที่ที่ทำการศึกษา ซึ่งการคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีวิธีการในการคำนวณเพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างจากประชากรด้วยวิธีการ ดังนี้

คำนวณได้จากสูตร Cochran (1953)

$$n = \frac{p(1-p)z^2}{d^2}$$

n แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ

P แทน สัดส่วนของประชากรที่ผู้วิจัยต้องการจะสุ่ม ซึ่งสามารถนำค่าสถิติในอดีตมาใช้ แทนได้

Z แทน สัดส่วนของประชากรที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ เช่น

Z ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 มีค่าเท่ากับ 1.96 (มั่นใจ 95%)

Z ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 มีค่าเท่ากับ 2.58 (มั่นใจ 99%)

d แทน สัดส่วนของความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้น

วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1. การเก็บตัวอย่างพืชที่ใช้ทำการศึกษา

โดยสำรวจพื้นที่ที่ต้องการเก็บตัวอย่างและแบ่งพื้นที่การเก็บตัวอย่างออกเป็น 2 รอบ โดยแต่ละรอบทำการเก็บตัวอย่างรอบละ 15 ตัวอย่าง จากนั้นเก็บตัวอย่างพืชดอกอัดใส่แผงอัดพรรณไม้แล้วนำไปตากแดดประมาณ 2-3 วัน พร้อมถ่ายรูป และจดบันทึก ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2. การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างก่อนนำไปวิเคราะห์

2.1.1 นำตัวอย่างที่เตรียมไว้มาทำสัญลักษณ์หมายเลขเพื่อป้องกันการสลับ และคัดแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นอับละอองเรณูของพืชออกมาเท่านั้น

2.1.2 เตรียมสตัฟและใช้เทปคาร์บอนติดลงบนสตัฟไว้ สำหรับใส่ตัวอย่างก่อนนำไปวิเคราะห์ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2.1.3 ใช้ Forceps ลอกกระดาษบนหน้าเทปคาร์บอนออก นำส่วนของอับละอองเรณูของตัวอย่างที่เตรียมไว้ ใช้ไม้จิ้มฟันเขี่ยละอองเรณูให้วางบนเทปคาร์บอนและเกลี่ยให้ทั่วแผ่นของเทปคาร์บอน ขั้นตอนนี้ระมัดระวังไม่ให้จำนวนละอองเรณูติดบนเทปคาร์บอนมากหรือน้อยเกินไป จากนั้นใช้ลูกยางเป่าลมเพื่อเป่าทำความสะอาดเศษของละอองเรณูที่เป็นส่วนเกินออกไปเป็นการป้องกันไม่ให้ไปปนเปื้อนกับตัวอย่างละอองเรณูของพืชชนิดอื่น ๆ ที่อยู่ในสตัฟเดียวกัน

2.1.4 หลังจากเตรียมตัวอย่างของพืชเรียบร้อยแล้ว ใส่ในบริเวณสำหรับวางตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ พร้อมรีเซตและตั้งค่าความดัน ความละเอียดและกำลังขยายที่เหมาะสมกับตัวอย่างละอองเรณูแต่ละชนิด

2.1.5 วิเคราะห์ตัวอย่างแต่ละชนิดโดยวัดขนาด (ทำการวัดจำนวน 3 ครั้ง และ

_21-0954(057-078)P4.indd 68 27/12/2564 BE 11:43

หาค่าเฉลี่ย) สังเกตรูปร่าง ความสมมาตร และลักษณะพื้นผิวของละอองเรณูที่ได้ และจดบันทึกผล

2.2 การบันทึกผล

การบันทึกผลหลังวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะทำการวัดขนาดความกว้าง (Sa) และความยาว (La) ของละอองเรณูจำนวน 3 ครั้ง เพื่อมาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำค่าเฉลี่ยคำนวณหาค่า La/Sa ของละอองเรณูพืชแต่ละชนิด เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการจำแนกละอองเรณูของตัวอย่างพืชแต่ละชนิด พร้อมบันทึกภาพและจดบันทึก

การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) โดยบรรยายลักษณะที่สังเกตได้ จากการวัดขนาด รูปร่าง ความสมมาตร และลวดลายบนผิวของละอองเรณู เพื่อนำเสนอข้อค้นพบจากผลการทดลอง คือ

1. ขนาด กำหนด (La = Long axis, Sa = Short axis) แล้วนำมาหาสัดส่วน La/Sa

2. รูปร่างของละอองเรณู ใช้ขนาดของสัดส่วน La/Sa เป็นเกณฑ์ในการแบ่งรูปร่าง ใช้สูตร La/ Sa = La/Sa

ถ้าค่า La/Sa > 2 มีรูปร่างเป็น Perprolate

= 1.33 - 2 มีรูปร่างเป็น Prolate

= 0.75 - 1.33 มีรูปร่างเป็น Spheroidal

= 0.5 - 0.75 มีรูปร่างเป็น Oblate

< 0.5 มีรูปร่างเป็น Suboblate

3. ความสมมาตร ถ้าตัดแล้วมีส่วนที่เหมือนกันเพียงสองแนว

4. ลวดลายบนผิวของละอองเรณู พิจารณาจากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จำแนกและอธิบายลักษณะลวดลายของผนังชั้นเอกซีนของพืชแต่ละชนิด

Granulate	ผิวเรียบมีขนาดเล็กมาก กระจายอยู่สม่ำเสมอ
Echinate	ผิวมีหนามยาว
Fenestrate	ผนังเป็นช่องขนาดใหญ่ มีสันระหว่างช่อง
Perforate	ผิวเรียบแต่มีจุดขนาดเล็ก กระจายอยู่
Psilate	ผิวเกลี้ยงเรียบ
Tectate	ผิวเกลี้ยงเรียบมีรอยเว้านูน
Scabrate	ผิวเรียบมีตุ่มขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน กระจายอยู่อย่างมีระเบียบ
Reticulate	มีลวดลายเป็นร่างแห
Verrucate	ผิวมีตุ่มที่มีขนาดฐานยาวกว่าความสูง

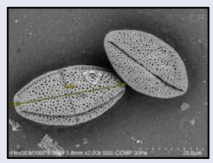
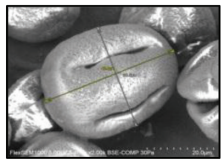
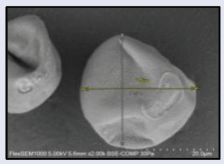
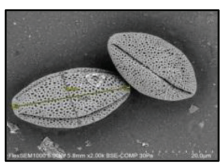
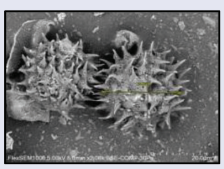
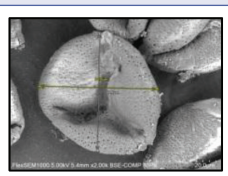
ผลการวิจัย

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของละอองเรณูที่ได้จากการสำรวจพืชดอกในพื้นที่ของอำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี จำนวน 30 ตัวอย่าง มาจำแนกขนาด รูปร่าง และลวดลายของผนังชั้นเอกซีน (Exine) ของละอองเรณูโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ได้ผลการศึกษา ดังนี้

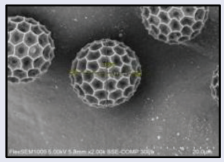
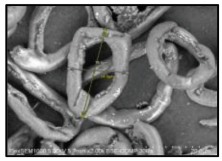
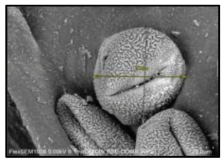
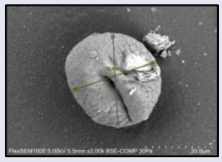
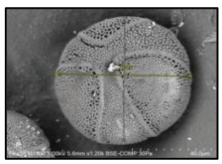
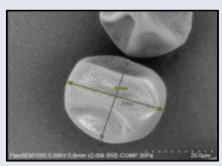
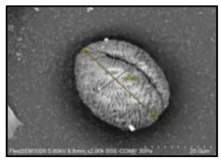
1. ผลการศึกษาลักษณะและขนาดของละอองเรณูของพืชในพื้นที่ของอำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี จำนวน 30 ตัวอย่าง

_21-0954(057-078)P4.indd 69 27/12/2564 BE 11:43

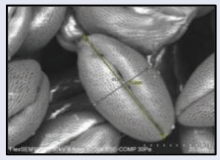
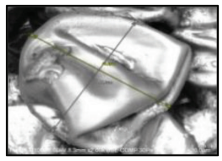
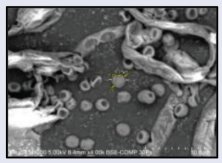
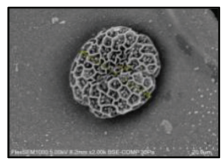
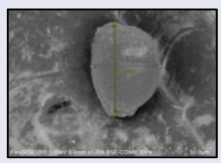
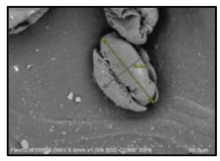
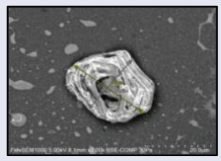
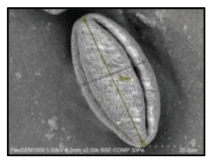
ตารางที่ 1 ลักษณะและขนาดละอองเรณูของพืชแต่ละชนิด

Species	ค่าเฉลี่ย La (µm)	ค่าเฉลี่ย Sa (µm)	ค่าเฉลี่ย La/Sa	รูปร่าง (Shape)	ลักษณะของละอองเรณู
1. *Typha angustifolia* L. (ธูปฤาษี)	22.6	17.8	1.27	Sub elliptic	
2. *Tecoma stans* L. *Kunth.* (ทองอุไร)	39.6	16.5	2.4	Elliptic	
3. *Cyanthillium cinereum (L.) H.Rob.* (หญ้าดอกขาว)	24.4	23.1	1.06	Elliptic circular	
4. *Gardenia jasminoides.* (พุดศุภโชค)	42.0	33.5	1.25	Sub elliptic	
5. *Brachiaria ramosa (L.)* Stapf (หญ้าปล้องข้าวนก)	36.2	34.6	1.05	Elliptic circular	
6. Ixora lobbii Loudon. (เข็ม)	36.0	18.3	1.97	Elliptic	
7. *Tridax procumbens (L.) L.* (หญ้าตีนตุ๊กแก)	23.8	23.6	1.01	Elliptic circular	
8. *Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit.* (ดอกกระถิน)	37.8	36.1	1.05	Elliptic circular	

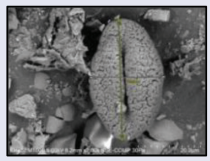
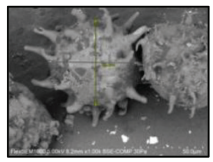
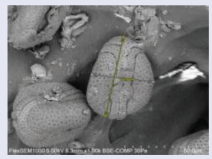
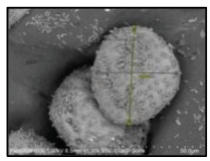
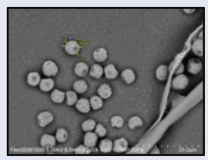
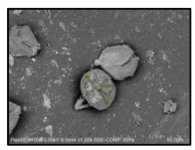
_21-0954(057-078)P4.indd 70 27/12/2564 BE 11:43

Species	ค่าเฉลี่ย La (µm)	ค่าเฉลี่ย Sa (µm)	ค่าเฉลี่ย La/Sa	รูปร่าง (Shape)	ลักษณะของละอองเรณู
9. *Gomphrena celosioides Mart.* (ดอกบานไม่รู้โรยป่า)	21.5	21.2	1.01	Elliptic circular	
10. *Delonix regia (Hook.) Raf.* (ดอกหางนกยูงฝรั่ง)	28.9	18.5	1.56	Elliptic	
11. *Barringtonia acutangula (L.) Gaertn.* (ดอกจิกน้ำ)	35.1	20.4	1.72	Elliptic	
12. *Cassia fistula L.* (ดอกราชพฤกษ์)	30.1	27.8	1.08	Elliptic circular	
13. *Lantana camara* L. (ดอกผกากรอง)	30.5	27.4	1.11	Elliptic circular	
14. *Caesalpinia pulcherrima (L.) Sw.* (ดอกหางนกยูงไทย)	69.0	68.1	1.01	Elliptic circular	
15. *Imperata cylindrica (L.) Raeusch.* (หญ้าคา)	31.0	27.3	1.14	Sub elliptic	
16. *Tamarindus indica L.* (ดอกมะขาม)	32.0	25.0	1.28	Sub elliptic	

_21-0954(057-078)P4.indd 71 27/12/2564 BE 11:43

Species	ค่าเฉลี่ย La (µm)	ค่าเฉลี่ย Sa (µm)	ค่าเฉลี่ย La/Sa	รูปร่าง (Shape)	ลักษณะของละอองเรณู
17. *Calibrachoa hybrid.* (ดอกคาลิบราโคว์ คาบลูม)	41.3	21.5	1.92	Elliptic	
18. *Adenium obesum (Fosk.) Roem. & Schult.* (ดอกชวนชม)	48.2	44.0	1.10	Elliptic circular	
19. *Antigonon leptopus Hook. & Arn.* (ดอกพวงชมพู)	2.21	2.21	1.00	Circular	
20. *Bougainvillea glabra Choisy.* (ดอกเฟื่องฟ้า)	29.1	25.7	1.13	Elliptic circular	
21. *Clitoria ternatea L.* (ดอกอัญชัญ)	61.1	43.3	1.41	Elliptic	
22. *Barringtonia racemosa (L.) Spreng.* (ดอกจิกสวน)	52.4	36.1	1.45	Elliptic	
23. *Jasminum sambac (L.) Aiton.* (ดอกมะลิ)	26.4	21.4	1.23	Sub elliptic	
24. *Murraya paniculata (L.) Jack.* (ดอกแก้ว)	46.6	23.5	1.98	Elliptic	

_21-0954(057-078)P4.indd 72 27/12/2564 BE 11:43

Species	ค่าเฉลี่ย La (µm)	ค่าเฉลี่ย Sa (µm)	ค่าเฉลี่ย La/Sa	รูปร่าง (Shape)	ลักษณะของละอองเรณู
25. *Lagerstroemia calyculata Kurz.* (ดอกตะแบกนา)	39.5	24.1	1.64	Elliptic	
26. *Hibiscus rosa-sinensis L.* (ดอกชบา)	56.5	55.4	1.02	Elliptic circular	
27. *Asystasia gangetica (L.) T.Anderson.* (บุษบาริมทาง)	52.9	40.5	1.31	Sub elliptic	
28. *Alpinia galanga (L.) Willd.* (ดอกข่า)	64.9	57.3	1.13	Elliptic circular	
29. *Cerbera odollam Gaertn.* (ตีนเป็ดน้ำ)	4.78	4.77	1.00	Circular	
30. *Plumeria spp.* (ลั่นทม)	28.5	23.0	1.24	Sub elliptic	

จากการศึกษา สามารถจำแนกลักษณะของละอองเรณูทั้งขนาด รูปร่าง และลวดลายของผนังชั้นเอกซีน โดยสรุปได้ดังนี้

1. ขนาด (Size)

พืชที่นำมาศึกษาจะมีขนาดของละอองเรณูตั้งแต่ขนาดเล็กมาก (< 10 µm) จนถึงขนาดใหญ่ (50-60 µm) ซึ่งละอองเรณูของพืชที่มีขนาดเล็กมาก (< 10 µm) มีพืชสองชนิดคือ พวงชมพู และตีนเป็ดน้ำ ส่วนพืชที่มีละอองเรณูขนาดเล็ก (10-25 µm) มีพืช 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี หญ้าดอกขาว หญ้าตีนตุ๊กแก บานไม่รู้โรยป่า และมะลิ พืชที่มีละอองเรณูขนาดกลาง (25-50 µm) มีพืช 18 ชนิด คือ ดอกทองอุไร ดอกพุดศุภโชค หญ้าปล้องข้าวนก ดอกเข็ม กระถิน หางนกยูงฝรั่ง

_21-0954(057-078)P4.indd 73 27/12/2564 BE 11:43

ดอกจิกน้ำ ราชพฤกษ์ ผกากรอง หญ้าคา มะขาม คาลิบราโคว์ คาบลูม ชวนชม เฟื่องฟ้า ดอกแก้ว ตะแบกนา และลั่นทม และพืชที่มีละอองเรณูขนาดใหญ่ (50-100 µm) มีพืช 6 ชนิด คือ หางนกยูงไทย อัญชัญ จิกสวน ชบา บุษบาริมทาง และข่า

2. รูปร่าง (Shape)

รูปร่างของละอองเรณูที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีทั้งหมด 4 แบบ จำแนกโดยใช้สัดส่วนของรูปร่าง (Shape) ของเรณู (Erdman, 1952) โดยใช้สูตร Polar axis / Equatorial diameter (La/Sa) ได้ผลดังนี้

2.1 แบบที่ 1 รูปร่างเรณูแบบ Sub Elliptic โดยพืชที่มีรูปร่างแบบนี้มีจำนวน 7 ชนิด ได้แก่ ธูปฤาษี *(Typha angustifolia L.),* ดอกพุดศุภโชค *(Gardenia jasminoides.)*,หญ้าคา *(Imperata-cylindrica (L.) Raeusch.)*, มะขาม *(Tamarindus indica L.)*, มะลิ *(Jasminum sambac (L.) Aiton.)*, บุษบาริมทาง *(Asystasia gangetica (L.) T.Anderson.)* และดอกลั่นทม *(Plumeria spp.)*

2.2 แบบที่ 2 รูปร่างเรณูแบบ Elliptic พืชที่มีรูปร่างแบบนี้มีจำนวน 9 ชนิด ได้แก่ ทองอุไร *(Tecoma stans (L.) Kunth.),* ดอกเข็ม *(Ixora lobbii Loudon.)*, หางนกยูงฝรั่ง *(Delonix regia (Hook.) Raf.)*, ดอกจิกน้ำ *(Barringtonia acutangula (L.) Gaertn.)*, คาลิบราโคว์ คาบลูม *(Calibrachoa hybrid)*, อัญชัญ *(Clitoria ternatea L.)*, ดอกจิกสวน *(Barringtonia racemosa (L.)-Spreng.)*, ดอกแก้ว *(Murraya paniculata (L.) Jack.)* และตะแบกนา *(Lagerstroemia-calyculata Kurz.)*

2.3 แบบที่ 3 รูปร่างเรณูแบบ Elliptic-circular พืชที่มีรูปร่างแบบนี้มีจำนวน 12 ชนิด ได้แก่ หญ้าดอกขาว *(Cyanthillium cinereum (L.) H. Rob.)*, หญ้าปล้องข้าวนก (Brachiaria *ramosa (L.) Stapf.)*, หญ้าตีนตุ๊กแก *(Tridax procumbens (L.) L.)*, กระถิน *(Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit.),* ดอกบานไม่รู้โรยป่า *(Gomphrena celosioides Mart.),* ดอกราชพฤกษ์ *(Cassia fistula L.),* ดอกผกากรอง *(Lantana camara L.)*, หางนกยูงไทย *(Caesalpinia-pulcherrima (L.) Sw.)*, ชวนชม *(Adenium obesum (Fosk.) Roem. & Schult.),* เฟื่องฟ้า *(Bougainvillea glabra Choisy.)*, ชบา *(Hibiscus rosa-sinensis L.)*, และดอกข่า *(Alpinia-galanga (L.) Willd.)*

2.4 แบบที่ 4 รูปร่างเรณูแบบ Circular พืชที่มีรูปร่างแบบนี้มีจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ พวงชมพู *(Antigonon leptopus Hook. & Arn.)*, และตีนเป็ดน้ำ *(Cerbera odollam Gaertn.)*

3. ลวดลายของผนังชั้นเอกซีน (Exine Sculpturing)

ลวดลายของผนังชั้นเอกซีน (Exine Sculpturing) ของพืชที่ทำการศึกษาสามารถแยกประเภทลักษณะผิวของละอองเรณูได้ทั้งหมด 8 แบบ ดังนี้

3.1 ลวดลายเอกซีนแบบที่ 1 คือ punctate ลวดลายที่ผิวของเรณูรูปร่างกลมหรือเป็นเส้นยาวโดยมีความยาวหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องที่อยู่บนผนังเรณูมีขนาดน้อยกว่า 1 ไมโครเมตร พบได้ใน *Gardenia jasminoides.* (พุดศุภโชค), *Leucaena leucocephala (Lam.) de -Wit.* (กระถิน), *Lantana camara L.* (ผกากรอง), *Imperata cylindrica (L.) Raeusch.* (หญ้าคา), *Lagerstroemia calyculata Kurz.* (ตะแบกนา) และ *Asystasia gangetica (L.) T.Anderson.* (บุษบาริมทาง)

_21-0954(057-078)P4.indd 74 27/12/2564 BE 11:43

3.2 ลวดลายเอกซีนแบบที่ 2 คือ perforate มีลักษณะคือผิวเรณูมีรูที่ผิวเล็กน้อย ถึงเรียบพบใน Brachiaria ramosa (L.) Stapf. (หญ้าปล้องข้าวนก), *Adenium obesum (Fosk.) Roem & Schult.* (ชวนชม), *Clitoria ternatea L.* (ดอกอัญชัญ), *Barringtonia racemosa (L.) Spreng.* (จิกสวน), และ *Plumeria spp.* (ลีลาวดี)

3.3 ลวดลายเอกซีนแบบที่ 3 คือ reticulate มีลักษณะลวดลายเป็นแบบร่างแห พบใน *Typha angustifolia L.* (ธูปฤาษี), *Tecoma stans (L.) Kunth.* (ดอกทองอุไร), *Cyanthillium cinereum (L.) H.Rob.* (หญ้าดอกขาว), *Ixora lobbii Loudon.* (ดอกเข็ม), *Gomphrena-celosioides Mart.* (ดอกบานไม่รู้โรยป่า), *Barringtonia acutangula (L.) Gaertn.* (ดอกจิกสวน), *Caesalpinia pulcherrima (L.) Sw.* (หางนกยูงไทย) และ *Bougainvillea glabra Choisy.* (เฟื่องฟ้า)

หมายเหตุ: ลักษณะพิเศษเพิ่มเติม คือ *Typha angustifolia L.* (ธูปฤาษี) และ *Barringtonia acutangula (L.) Gaertn.* (ดอกจิกสวน) เป็นลักษณะ reticulate-granulate ลวดลายผิวเรณูเป็นร่างแหและนูนขึ้นมา และลักษณะพิเศษอีกอย่างคือ *Cyanthillium cinereum (L.) H.Rob.* (หญ้าดอกขาว) เป็นลักษณะ reticulate-echinate ลวดลายผิวเรณูเป็นร่างแหและมีตุ่มยื่นออกมาปลายแหลมสูง

3.4 ลวดลายเอกซีนแบบที่ 4 คือ rugulate มีลักษณะเป็นสันยาวเรียงสลับกันไม่เป็นระเบียบพบใน *Cassia fistula L.* (ดอกราชพฤกษ์), *Tamarindus indica L.* (ดอกมะขาม), *Calibrachoa-hybrid.* (ดอกคาลิบราโคว์ คาบลูม)

3.5 ลวดลายเอกซีนแบบที่ 5 คือ verrucate มีลักษณะเป็นตุ่มกลม ขนาดยาวมากกว่า 1 ไมโครเมตร โดยมีความกว้างมากกว่าความสูง พบเฉพาะใน Alpinia galanga *(L.) Willd.* (ดอกข่า)

3.6 ลวดลายเอกซีนแบบที่ 6 คือ echinate มีลักษณะเป็นตุ่มที่ยื่นออกไปจากผนังเรณูมีลักษณะปลายแหลมพบใน *Tridax procumbens (L.) L.* (หญ้าตีนตุ๊กแก) และ *Hibiscus rosa-sinensis L.* (ดอกชบา)

3.7 ลวดลายเอกซีนแบบที่ 7 คือ Striate มีลักษณะเป็นสันยาวขนานกันหรือไปทางเดียวกันอย่างเป็นระเบียบ พบใน *Murraya paniculata (L.) Jack.* (ดอกแก้ว) และ *Jasminum sambac (L.) Aiton.* (ดอกมะลิ)

3.8 ลวดลายเอกซีนแบบที่ 8 คือ baculate มีลักษณะเป็นตุ่มยาวคล้ายแท่งเสา โดยมีความสูงมากกว่าความกว้างและตุ่มมีขนาดยาวมากกว่า 1 ไมโครเมตร พบใน *Cerbera odollam Gaertn.* (ตีนเป็ดน้ำ)

หมายเหตุ: Antigonon leptopus Hook. & Arn. (ดอกพวงชมพู) ไม่สามารถแยกได้ว่าลวดลายของผนังชั้นเอกซีนของเรณูเป็นแบบไหน เนื่องจากมีขนาดเล็กมาก ไม่สามารถมองเห็นรายละเอียดได้ชัดเจน

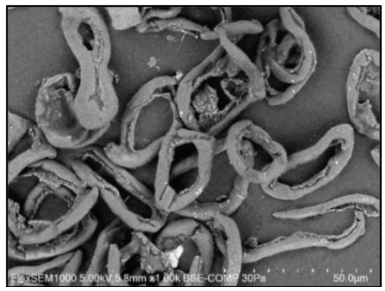
อภิปรายผล

จากผลการวิจัย พบว่า รูปร่างของพืชตัวอย่างที่นำมาศึกษาจะมีลักษณะ Elliptic-Circular มากที่สุด รองมาเป็นลักษณะแบบ Elliptic, Sub-Elliptic และ Circular ตามลำดับ ลวดลายของผนังชั้นเอกซีนของพืชแต่ละชนิดมีลักษณะ

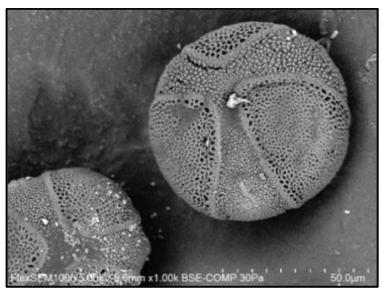
_21-0954(057-078)P4.indd 75 27/12/2564 BE 11:43

ที่แตกต่างกัน แม้จะเป็นพืชสายพันธุ์เดียวกัน วงศ์เดียวกัน จะมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาของละอองเรณูต่างกัน ซึ่งการศึกษาครั้งนี้สังเกตได้ว่าพืชที่อยู่ในวงศ์ Fabaceae ได้แก่ อัญชัญ *(Clitoria ternatea L.)*, มะขาม *(Tamarindus indica L.)*, หางนกยูงฝรั่ง *(Delonix regia (Hook.) Raf.)*, หางนกยูงไทย *(Caesalpinia pulcherrima (L.)-Sw.)* และกระถิน *(Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit)* แต่มีขนาด รูปร่าง และลวดลายของผนังชั้นเอกซีนของละอองเรณูแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ถ้าหากสังเกตพืชสองชนิด คือ หางนกยูงฝรั่ง *(Delonix regia (Hook.) Raf.)* และหางนกยูงไทย *(Caesalpinia pulcherrima- (L.) Sw.)* ซึ่งพืชทั้ง 2 ชนิด มีลักษณะภายนอกของดอกคล้ายกันมาก แต่เมื่อศึกษาลักษณะของละอองเรณูภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน สังเกตว่ามีขนาด รูปร่าง และลวดลายของผนังชั้นเอกซีนของละอองเรณูที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนแสดงดังรูปภาพที่ 6

รูปภาพที่ 6 ความแตกต่างของละอองเรณูระหว่างพืชสองชนิด



(ก) หางนกยูงฝรั่ง *(Delonix regia (Hook.) Raf.)* (กำลังขยาย 1K)



(ข) หางนกยูงไทย *(Caesalpinia pulcherrima (L.) Sw.)* (กำลังขยาย 1K)

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเรื่อง การจำแนกลักษณะของละอองเรณูในทางนิติวิทยาศาสตร์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนางานด้านนิติวิทยาศาสตร์และกระบวนการยุติธรรมได้ดังนี้

_21-0954(057-078)P4.indd 76 27/12/2564 BE 11:43

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยครั้งต่อไป

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของละอองเรณูของพืชจำนวน 30 ชนิด โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด สำหรับผู้ที่สนใจจะศึกษาต่อเพื่อนำผลที่ได้ไปใช้งานด้านนิติวิทยาศาสตร์ต่อไป มีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. การศึกษาพืชแต่ละชนิดเพื่อจำแนกตามขนาด รูปร่าง และลวดลายของผนังชั้นเอกซีนของละอองเรณูควรจัดเป็นกลุ่มตามชนิดของพืช เช่น พืชประจำถิ่น หรือพืชต่างท้องถิ่น เพื่อนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลต่อไป

2. ควรศึกษาลักษณะอื่น ๆ ของละอองเรณูเพิ่มเติม เช่น การเกาะติดของละอองเรณูบนพื้นผิวของผ้าชนิดต่าง ๆ หรือวัสดุอื่น สี ขั้วของละอองเรณูพืชแต่ละชนิด หรือเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเรณู เพื่อเป็นข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านเรณูวิทยาที่เกี่ยวข้อง

3. นำข้อมูลมาจัดทำเป็นคู่มือการจัดขนาด รูปร่าง และลวดลายของผนังชั้นเอกซีนของละอองเรณู เพื่อเป็นต้นแบบในการศึกษาพืชในท้องถิ่นของประเทศไทย

บรรณานุกรม

กรณ์ กรภัทรชัยกุล, ไชหนับ ยู่โซะ, ทิพวรรณ คงอินทร์ และรูซีลา สะลูโว๊ะ. (2558). สัณฐานวิทยาความมีชีวิตและการงอกของเรณูพืชดอก 15 ชนิด. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 23*(4), 622-632.

ณัฐนรี เอียดประพาล. (2561). *การแพร่กระจายและศักยภาพของพยานหลักฐานทางนิติเรณูวิทยาในชุมชนเมืองและการสอบเทียบวิธีการเก็บตัวอย่างเปรียบเทียบจากสถานที่เกิดเหตุ.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ทิพย์สุดา ตั้งตระกูล. (2554). *รายงานผลการวิจัยเรื่อง การศึกษาความหลากหลายของละอองเรณูพืชในพื้นที่โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยแม่โจ้.* เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

นิติญา แจ้งกระจ่าง, เสาวณี สาธรวิริยะพงศ์ และวิทยา สาธรวิริยะพงศ์. (2549). *สัณฐานวิทยาและการงอกละอองเรณูของส้มเปลือกล่อนในสภาพทดลองและสภาพธรรมชาติ.* กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

ปราณี อินสุทน และเบญจวรรณ ชิวปรีชา. (2561). เรณูวิทยาของพืชวงศ์ถั่วบางชนิดในจังหวัดภูเก็ต. *วารสารวนศาสตร์, 37*(1), 16-30.

พัทธมน กัณชัย. (2551). *การแสวงหาพยานหลักฐานคดีเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์กับการเปลี่ยนแปลงเป็นสังคมที่พึ่งพาเทคโนโลยี* เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ฟิสิกส์ราชมงคล. (2555). *อ่านอดีตด้วยละอองเรณู.* ค้นเมื่อ 27 สิงหาคม 2562, จาก http://www.rmutphysics.com/charud/naturemystery/sci1/flower/flower.htm

ลาวัลย์ รักสัตย์. (2534). *เอกสารประกอบการเรียนการสอนเรื่องละอองเรณู.* กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_21-0954(057-078)P4.indd 77 27/12/2564 BE 11:43

วงค์กฏ ภู่ภูมิรัตน์. (2551). *การเสื่อมสภาพของเรณูในผิวหน้าดินและผลของการเสื่อมสภาพต่อความเป็นไปได้ในการเป็นหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์.* วิทยานิพนธ์ปริญญานิติวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สฤษดิ์ สืบพงษ์ศิริ. (2558). บทบาทของงานนิติโบราณคดีและนิติมานุษยวิทยาในการสืบสวนอาชญากรรม. *วารสารวิชาการอาชญาวิทยาและนิติวิทยาศาสตร์, 3*(1), 20-36.

หนังสือต่างประเทศ

Bryant, J. R., Jones, J. G., & Mildenhall, D. C. (1990). Palynology. *Jounal of Forensic palynology in the United States of America, 14*(1), 193-208.

Brewbaker, J. L. &, Kwack, B.H. (1963.) The essential role of calcium ion in pollen germination and pollen tube growth. *American Journal of Botany, 50*(9),859-865.

Cochran, W. G. (1953). *Sampling techiques.* New York: John Wiley & Sons.

Erdtman, G. (1952). Pollen morphology and plant taxonomy : Angiosperms. *An Introduction to Palynology Science, 117*(3030), 86-87.

Erdtman, G. (1969). An introduction to the study of pollen grains and spores. *Journal of Botanical Taxonamy and Geobotany, 1971*(81), 656-657.

Forensic Palynology. (2010). *Forensic palynology.* Retrieved August 1, 2017, from https://www.slideshare.net/vlee86/forensic-palynology

Horrocks, M., & Walsh, A. J. K. (1998). Forensic palynology : Assessing the value of the evidence. *Review of Palaeobotany and Palynology, 103*(1-2), 69-74.

Mildenhall, D. C. (2006a). An unusual appearance of a common pollen type indicates the crime. *Journal of Forensic Science International, 163*(3), 236-240.

Mildenhall, D. C. (2006b). Hypericum pollen determines the presence of burglars at the scene of a crime: An example of forensic palynology. *Journal of Forensic Science International, 163*(3), 231-235.

Midenhall, D. C. (2008). Civil and criminal investigations. The use of spores and pollen. *SIAK-Journal*, 4, 35-52.

Vaughn, M. B., John, G. J., & Dallas, C. M. (1990). Forensic palynology in the United States of America. *Palynology, 14*(1), 193-208.

_21-0954(057-078)P4.indd 78 27/12/2564 BE 11:43