การศึกษาเบื้องต้นการกระจายตัวของสปอร์และเรณูภายในห้องพักและผลกระทบต่อนิติเรณูวิทยา

The preliminary study on spore and pollen distribution in a room and its impact on forensic palynology

ภัทรนิธ วิริยะศิริวัฒนะ[1*], นภพร เจริญผล[2], และ วงศ์กฎ ภู่ภูมิรัตน์[3]

Pattaranit Wiriyasiriwattana[1*], Napaporn Jareonphon[2] and Wongkot Phuphumirat[3]

[1] นักศึกษาระดับปริญญาโท, สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพและวิทยาศาสตร์ประยุกต์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[1] Graduate student, Division of Health and Applied Sciences, Faculty of Science, Prince of Songkla University

[2] นักศึกษาระดับปริญญาตรี, สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพและวิทยาศาสตร์ประยุกต์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[2] Bachelor student, Division of Health and Applied Sciences, Faculty of Science, Prince of Songkla University

[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพและวิทยาศาสตร์ประยุกต์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[3] Assistant professor, Division of Health and Applied Sciences, Faculty of Science, Prince of Songkla University

*Corresponding author, E-mail: 6310220012@psu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแพร่กระจายเรณูของไม้ดอกไม้ประดับและสปอร์ที่ถูกขนถ่ายภายในห้องพักอาศัยและผลกระทบต่อนิติวิทยาศาสตร์ โดยวางแจกันดอกไม้จำนวน 2 แจกัน ที่มีดอกไม้จากพืช *Bellis* sp. *Gerbera* sp. *Lilium* sp. และ *Spathiphyllum* sp. ไว้บนโต๊ะทำงานภายในห้องพักอาศัย จำนวน 2 ห้อง เป็นเวลา 10 วัน และสปอร์ของ *Asplenium nidus* ถูกขนถ่ายทุติยภูมิเข้าสู่ห้องพักในวันที่ 1 5 และ 9 ของการทดลอง ทำการแบ่งพื้นผิวของพื้นห้องและโต๊ะทำงานออกเป็นตารางย่อยขนาด 50x50 ตารางเซนติเมตร จำนวน 34 ตารางย่อย และเก็บตัวอย่างสปอร์และเรณูจากแต่ละตารางย่อยดังกล่าวในวันที่ 2 4 6 8 และ 10 ของการทดลอง และอีกครั้งเมื่อผ่านไปเป็นเวลา 2 วันหลังจากนำดอกไม้ออกจากห้อง จากนั้นทำการจำแนกชนิดและนับปริมาณสปอร์และเรณูของพืชแต่ละชนิดภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ทำการคำนวณค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ของสปอร์และเรณูและทดสอบภาวะสารูปสนิทดี ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสามารถพบเรณูได้เป็นจำนวนมากในช่วงวันที่ 4–10 ของการทดลอง (341.50±54.23–977.50±175.28 เม็ด) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่อยู่ใกล้เคียงกับแจกันดอกไม้และจะสามารถพบสปอร์ของ *Asplenium nidus* กระจายไปทั่วห้องได้เป็นจำนวนมาก ในวันที่ 1 5 และ 9 ของการทดลอง (332.00±57.98–445.50±123.74 สปอร์) นอกจากนี้ พบว่าค่าความชุกชุม

สัมพัทธ์ของสปอร์และเรณูในแต่ละวันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าร้อยละของเรณูมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงแบบไม่มีแบบแผน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเรณูของไม้ดอกไม้ประดับและสปอร์ที่ถูกขนถ่ายเข้ามาในที่พักอาศัยสามารถเป็นพยานหลักฐานที่มีศักยภาพในการสืบสวนสอบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์ได้
คำสำคัญ: สปอร์, เรณู, นิติเรณูวิทยา, ไม้ดอกไม้ประดับ, ห้องพัก

Abstract

This study aimed to examine the distribution of pollen from ornamental plants and transferred spores in a room and its impact on forensic palynology. A total of two vases of flowers from *Bellis* sp., *Gerbera* sp., *Lilium* sp., and *Spathiphyllum* sp. were placed into two rooms for 10 days. Spores from *Asplenium nidus* were secondarily transferred into the rooms on day 1, 5, and 9 of the experiments. Floor and table surfaces were divided into 34 50x50 cm^2-grids and spore and pollen samples were then collected from those square grids on day 2, 4, 6, 8, and 10 of the experiments. Other samples were collected again on the second day after the flowers were removed from the rooms. The recovered spore and pollen samples were identified and counted using a light microscope. Relative abundances of spores and pollen were calculated. The goodness of fit test was then performed. The results showed that pollen from ornamental plants was dominant during day 4–10 of the experiment (341.50±54.23–977.50±175.28 grains), particularly at the areas where were close to the flowers. A number of spores from *Asplenium nidus* were found scattered on day 1, 5, and 9 of the experiments (332.00±57.98–445.50±123.74 spores). Moreover, relative abundances of pollen among sampling days were significantly different. Percentages of pollen did not increase or decrease uniformly overtime. This study demonstrated that pollen from ornamental plants as well as transferred spores from external sources found in the rooms appears to be potential evidence in a forensic investigation.
Keyword: spore, pollen, forensic palynology, ornamental plants, room

บทนำ

นิติเรณูวิทยา คือ การประยุกต์ใช้สปอร์และเรณูของพืชในการสืบสวนสอบสวนคดีความทางกฎหมาย (Mildenhall et al., 2006) สปอร์และเรณูสามารถใช้เป็นพยานหลักฐานได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติสำคัญหลายประการ ได้แก่ มีขนาดเล็ก มีลักษณะที่แตกต่างกันในระดับสกุลหรือชนิด มีสภาพที่คงทน และมีความชุกชุมสัมพัทธ์ที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ซึ่งในปัจจุบันนิติเรณูวิทยาเป็นที่ยอมรับ

ในหลายประเทศ เช่น สาธารณรัฐออสเตรีย ราชอาณาจักรสวีเดน เครือรัฐออสเตรเลีย ราชอาณาจักรนิวซีแลนด์ สหรัฐอเมริกา และสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี โดยที่ผ่านมาได้มีการนำเรณูมาเป็นพยานหลักฐานในคดีต่าง ๆ เช่น การตรวจพบเรณูของพืชสกุล *Hypericum* บนเสื้อเชิ้ตและเสื้อแจ็กเก็ต ของนักย่องเบาในราชอาณานิวซีแลนด์ (Mildenhall, 2006a) การตรวจพบเรณูของพืชสกุล *Coprosma* บนเสื้อแจ็กเก็ตและกางเกงของหญิงสาวที่ถูกลักพาตัวจากริมถนน (Mildenhall, 2006b) และการตรวจพบเรณูภายในโพรงจมูกของศพ ในคดีฆาตกรรมที่นำศพของผู้เสียชีวิตไปฝังดิน (Wiltshire & Black, 2006) ซึ่งในทุกคดีเรณูที่ตรวจพบในคนร้าย ผู้เสียหาย และผู้เสียชีวิต ตามลำดับ สามารถเชื่อมโยงไปสู่สถานที่เกิดเหตุได้ ทั้งนี้ เป็นที่น่าสังเกตว่าคดีข้างต้นนั้นล้วนเป็นคดีที่เกิดขึ้นในพื้นที่ภายนอกอาคาร (outdoor case) ทั้งสิ้น Morgan et al. (2014) และ Nguyen & Weber (2015a) รายงานว่าเรณูของไม้ดอกไม้ประดับที่กระจายอยู่ภายในที่พักอาศัยมีโอกาสติดบนรองเท้าของผู้มาเยือน จะเห็นได้ว่าเรณูของไม้ดอกไม้ประดับสามารถใช้เป็นพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์สำหรับคดีที่เกิดเหตุขึ้นภายในที่พักอาศัย (indoor case) ได้เป็นอย่างดี

Preusche & Weber (2014) ได้ศึกษาการกระจายของเรณูในที่พักอาศัย พบว่ามีเรณูของพืชที่ถ่ายเรณูโดยใช้ลม (wind-pollinated plants) เป็นจำนวนมากที่สุด ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับการออกดอกของพืชประเภทดังกล่าวในช่วงเวลานั้น ๆ แต่เมื่อนำพืชไม้ดอกไม้ประดับต่างถิ่นเข้าสู่ที่พักอาศัย จะสามารถพบเรณูของพืชที่นำมาประดับตกแต่งนี้ได้เป็นจำนวนมากกว่าเรณูของพืชที่ถ่ายเรณูโดยใช้ลมซึ่งมีที่มาจากภายนอกที่พักอาศัย (Nguyen & Weber, 2015b) Morgan et al. (2014) พบว่าตำแหน่งที่วางดอกไม้ภายในห้องพักจะส่งผลกับจำนวนเรณูที่พบในแต่ละบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่าง นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถตรวจพบเรณูในห้องพักได้เป็นระยะเวลานาน แม้ว่าจะเคลื่อนย้ายดอกไม้ออกจากห้องพักไปแล้วก็ตาม ซึ่งเป็นการเพิ่มโอกาสในการถ่ายโอนเรณูไปยังตัวบุคคลที่มาเยือนห้องพักได้ จึงเป็นประโยชน์อย่างมากในการสืบสวนหาตัวผู้กระทำความผิด (Morgan et al., 2014) Wiriyasiriwattana et al. (in prep) พบว่าค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ของเรณูไม้ดอกไม้ประดับของแต่พื้นที่ย่อยภายในห้องมีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาผลของสปอร์หรือเรณูที่ติดบนเสื้อผ้าของผู้พักอาศัยกลับไปยังห้องพักต่อค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ของเรณูไม้ดอกไม้ประดับที่พบในห้องพักอาศัย

เนื่องจากเรณูของดอกไม้ที่ใช้ประดับตกแต่งที่พักอาศัยและสปอร์หรือเรณูที่ติดตัวผู้พักอาศัยกลับไปยังห้องพักนั้นอาจมีการกระจายตัวที่แตกต่างกันทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ซึ่งอาจส่งผลต่อการถ่ายโอนสปอร์และเรณูไปยังบุคคลหรือวัตถุที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ รวมถึงการเก็บตัวอย่างเปรียบเทียบจากบริเวณต่าง ๆ ภายในห้องพักในช่วงเวลาที่แตกต่างกันได้ การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการกระจายของเรณูของไม้ดอกไม้ประดับจำนวนหลายชนิดพร้อมกันภายในห้องพักอาศัยตั้งแต่วันที่เริ่มนำดอกไม้เข้าสู่ห้องพักจนถึงช่วงเวลาภายหลังการนำดอกไม้ออกจากห้องพักและการกระจายของสปอร์พืชที่ถูกขนถ่ายโดยผู้พักอาศัยกลับไปยังห้องพัก เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สปอร์และเรณูที่พบภายในที่พักอาศัยในการเป็นพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ รวมถึงเพื่อเป็นแนวทางในการเก็บ วิเคราะห์และตีความ

พยานหลักฐานทางเรณูวิทยา ให้เกิดความถูกต้องแม่นยำ ส่งผลให้สามารถใช้พยานหลักฐานประเภทนี้เพื่ออำนวยความยุติธรรมให้กับสังคมต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการกระจายเชิงพื้นที่และเวลาของเรณูไม้ดอกไม้ประดับที่ใช้ประดับตกแต่งห้องพักและสปอร์ที่ติดตัวผู้พักอาศัยกลับไปยังห้องพักและผลของการกระจายต่อการเป็นข้อมูลอ้างอิงในการสืบหาพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์

แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิด

เรณูของไม้ดอกไม้ประดับที่ใช้ประดับตกแต่งห้องพักและสปอร์ที่ถูกขนถ่ายเข้ามาสู่ห้องพักโดยการติดตัวผู้พักอาศัยกลับไปยังห้องพักแต่ละชนิดนั้น มีการกระจายตัวที่แตกต่างกันทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ซึ่งส่งผลต่อโอกาสในการถ่ายโอนไปยังบุคคลที่เข้ามาภายในห้องพักได้

วิธีดำเนินการวิจัย

การจำลองการกระจายตัวสปอร์และเรณู – ทำการทดลองเพื่อศึกษาการกระจายเรณูภายในห้องพักอาศัยเป็นเวลา 12 วัน ตั้งแต่วันที่ 6–17 กุมภาพันธ์ 2566 (พื้นห้องผ่านการทำความสะอาดด้วยการเช็ดถูก่อนทำการการทดลอง) โดยวางแจกันที่มีดอกไม้จากไม้ดอกไม้ประดับ ซึ่งเป็นชนิดที่นิยมใช้ในการประดับตกแต่งที่พักอาศัย จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ *Lilium* sp. จำนวน 3 ดอก *Gerbera* sp. และ *Spathiphyllum* sp. จำนวน 3 ช่อดอก และ *Bellis* sp. จำนวน 3 ก้าน ไว้บนโต๊ะทำงานภายในห้องพักที่พักอาศัยโดยบุคคลคนเดียว จำนวน 2 ห้อง (2 ซ้ำ) ห้องพักจะมีประตูด้านหน้าห้องซึ่งจะปิดอยู่ตลอดเวลา ในขณะที่ประตูด้านหลังห้องและหน้าต่างจะมีมุ้งลวดปิดกั้นอยู่อีกชั้นหนึ่งซึ่งจะเปิดใช้เมื่อมีการเข้าพักเท่านั้น โดยให้ผู้พักอาศัยใช้ชีวิตประจำวันตามปกติ (ไม่มีการทำความสะอาดห้องพัก) เป็นเวลา 10 วัน ตั้งแต่วันที่ 6–15 กุมภาพันธ์ 2566 จากนั้นทำการแบ่งพื้นที่ของห้องเป็นตารางย่อยขนาด 50x50 ตารางเซนติเมตร รวมทั้งสิ้น 34 ตารางย่อย โดยแบ่งเป็นพื้นที่บนโต๊ะจำนวน 3 ตารางย่อย (วางแจกันดอกไม้ไว้ในตำแหน่งตารางย่อยที่ 2) และพื้นที่บนพื้นห้องจำนวน 31 ตารางย่อย (ภาพที่ 1) นอกจากนี้ทำการศึกษาการกระจายตัวของสปอร์ที่ติดตัวผู้พักอาศัยกลับไปยังห้องพักโดยการนำสปอร์จากเฟินชนิด *Asplenium nidus* เข้าสู่ห้องพักในวันที่ 1 (6 กุมภาพันธ์ 2566) 5 (10 กุมภาพันธ์ 2566) และ 9 (14 กุมภาพันธ์ 2566) ของการทดลอง ซึ่งเป็นการจำลองการสัมผัสโดยตรงของผู้พักอาศัยกับส่วนที่สร้างสปอร์ของพืช โดยการนำใบของเฟินชนิดดังกล่าวที่มีสปอร์ปรากฏอยู่ทางด้านหลังของใบวางไว้บนพื้นและให้ผู้เข้าพักอาศัยในห้องพักนั้นนั่งคุกเข่าลงบนใบของเฟินจำนวน 3 ครั้ง และกลับไปยังห้องพัก โดยไม่เปลี่ยนเครื่องแต่งกายเป็นเวลา 3 ชั่วโมง สัณฐานวิทยาของสปอร์และเรณูของพืชชนิดดังกล่าวแสดงในภาพที่ 2 และตารางที่ 1

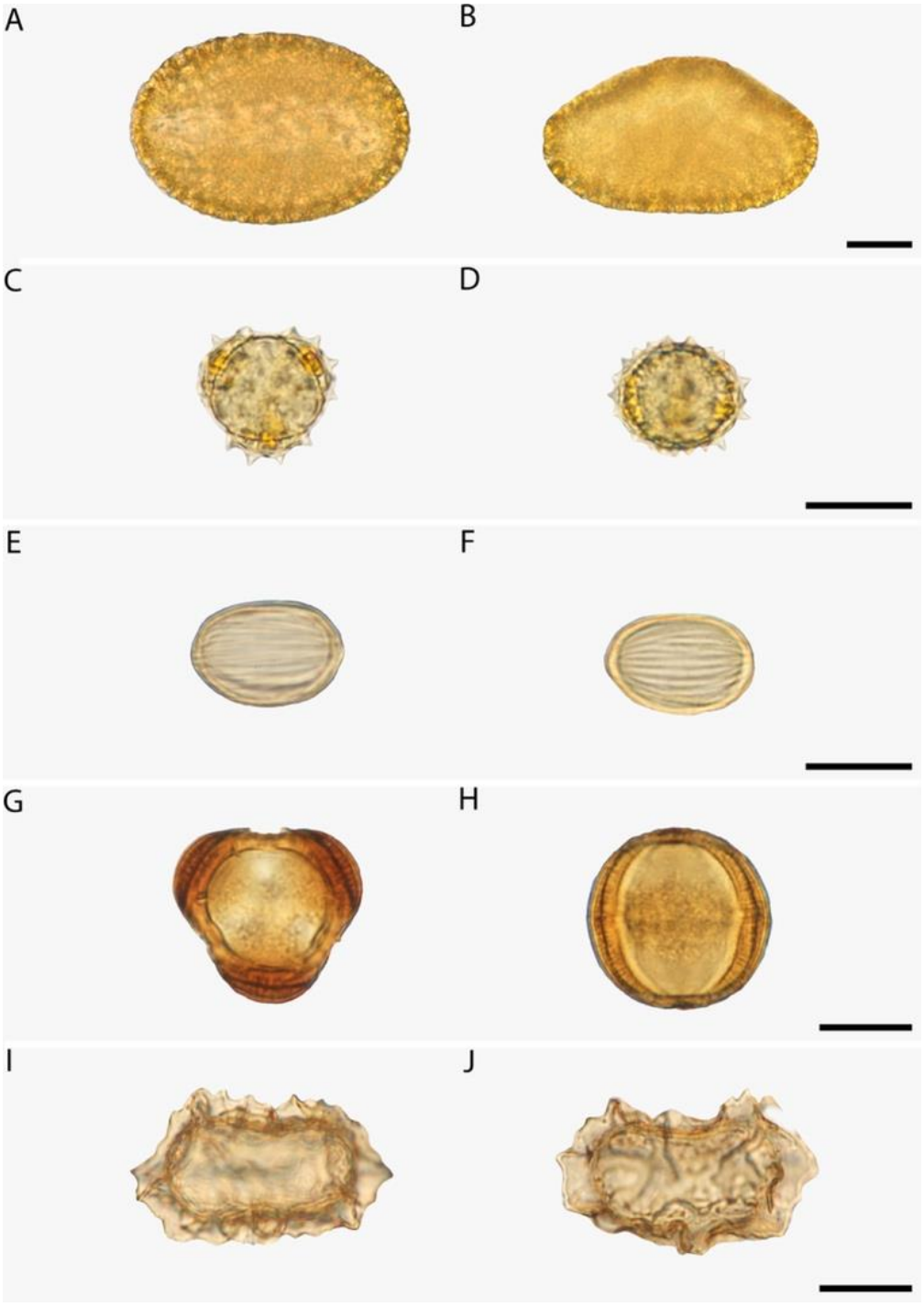
การเก็บตัวอย่างและเตรียมตัวอย่าง – ทำการเก็บตัวอย่างสปอร์และเรณูบนพื้นผิวของแต่ละตารางย่อยในวันที่ 2 (7 กุมภาพันธ์ 2566) 4 (9 กุมภาพันธ์ 2566) 6 (11 กุมภาพันธ์ 2566) 8 (13 กุมภาพันธ์ 2566) 10 (15 กุมภาพันธ์ 2566; ทำการย้ายแจกันดอกไม้ออกจากห้องพักภายหลังเสร็จสิ้นการเก็บตัวอย่างเรณูของวันนี้) และ 12 (17 กุมภาพันธ์ 2566; 2 วัน หลังจากนำดอกไม้ออกจากห้องพัก) ของการทดลอง โดยการใช้ไม้พันสำลีชุบน้ำ (Phuphumirat et al., 2020) ป้ายลงบนพื้นผิวทั่วทั้งตารางย่อยบนบริเวณพื้นห้องและโต๊ะทำงาน (ยกเว้นห้องน้ำ เตียงนอน ตู้หรือลิ้นชัก และอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ) และเก็บตัวอย่างไม้พันสำลีในหลอดทดลองพลาสติกปิดฝาให้แน่นรักษาไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส การสกัดเรณูจากไม้พันสำลีทำได้โดยนำไม้พันสำลีที่ใช้เก็บตัวอย่างมาซักล้างด้วยน้ำผสมผงซักฟอก 50 มิลลิลิตร (ผงซักฟอก 3 กรัม ต่อน้ำ 150 มิลลิลิตร) เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำน้ำผสมผงซักฟอกดังกล่าวไปหมุนเหวี่ยงและนำตะกอนที่ได้ไปผ่านวิธีอะซีโตไลซิสตามขั้นตอนที่ระบุใน Halbritter et al. (2018)

การจำแนกชนิดและนับจำนวนสปอร์และเรณู และการวิเคราะห์ผล – ทำการจำแนกชนิดและนับปริมาณสปอร์และเรณูของพืชแต่ละชนิดที่พบในแต่ละตารางย่อย ในแต่ละวันที่ทำการเก็บตัวอย่างภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (รุ่น BX43 Olympus) จำนวนครั้งละ 300 สปอร์/เม็ด และคำนวณค่าดังต่อไปนี้ 1) ค่าจำนวนรวมของสปอร์และเรณูทั้งหมดที่พบในแต่ละวันที่ทำการเก็บตัวอย่าง 2) ค่าร้อยละของสปอร์และเรณูแต่ละชนิดที่พบในตารางย่อยในแต่ละวันที่ทำการเก็บตัวอย่าง เมื่อเทียบต่อสปอร์และเรณูที่พบทั้งหมดตลอดการทดลอง 3) ค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ของสปอร์และเรณูแต่ละชนิดที่พบในแต่ละวันที่ทำการเก็บตัวอย่าง และ 4) ค่า *P* (*P*–values) ที่ได้จากการทดสอบไค-สแควร์ (Chi-square) ภาวะสารูปสนิทดี (Goodness of fit test) ของค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ของสปอร์และเรณูในแต่ละวันที่ทำการเก็บตัวอย่าง (McDonald, 2014; Phuphumirat et al., 2020) โดยเปรียบเทียบค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ของสปอร์และเรณูจากวันที่ทำการเก็บตัวอย่าง (ค่าที่ได้จากการสังเกต; observed value) กับค่าดังกล่าวของวันที่ทำการเก็บตัวอย่างครั้งสุดท้ายก่อนหน้านี้ (ค่าคาดหวัง; expected value) (Preusche & Weber, 2014) ทั้งนี้ จะใช้ค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ของสปอร์และเรณูจากการเก็บตัวอย่างครั้งแรก (วันที่ 2 ของการทดลอง) เป็นเพียงแค่ค่าคาดหวังเท่านั้น

ภาพที่ 1 แผนผังห้องพักที่ใช้ในการทดลอง (วงกลมสีดำ คือ ตำแหน่งที่วางแจกันดอกไม้; หมายเลข คือ พื้นที่ของห้องที่แบ่งเป็นตารางย่อยขนาด 50x50 ตารางเซนติเมตร เพื่อเก็บตัวอย่างสปอร์และเรณู) โดยที่ หมายเลข 1–3 คือ โต๊ะทำงาน และ 4–34 คือ พื้นห้อง

ตารางที่ 1 สัณฐานวิทยาสปอร์และเรณูของพืชที่ใช้ในการทดลอง

ชนิด	หน่วยการแพร่กระจาย	ขนาด		รูปร่าง	เส้นรอบรูป		ช่องเปิด	ลวดลาย
		P-axis (μ)	E-axis (μ)		มุมมองด้านขั้ว	มุมมองด้านข้าง		
Lilium sp	monad	41.2-44.3	81.5-83.4	oblate	elliptic	elliptic	sulcate	reticulate
Bellis sp.	monad	18.6-19.1	19.9-20.2	spheroidal	lobate	elliptic	tricolporate	echinate
Spathiphyllum sp.	monad	17.1-18.6	21.4-25.5	oblate	Elliptic (oblique view)		inaperturate	plicate
Gerbera sp.	monad	43.3-45.5	39.1-41.9	prolate	lobate	elliptic-circular	tricolporate	scabrate
Asplenium nidus	monad	28.3-29.1	41.6-39.1	oblate	elliptic	elliptic	monolete	lophate



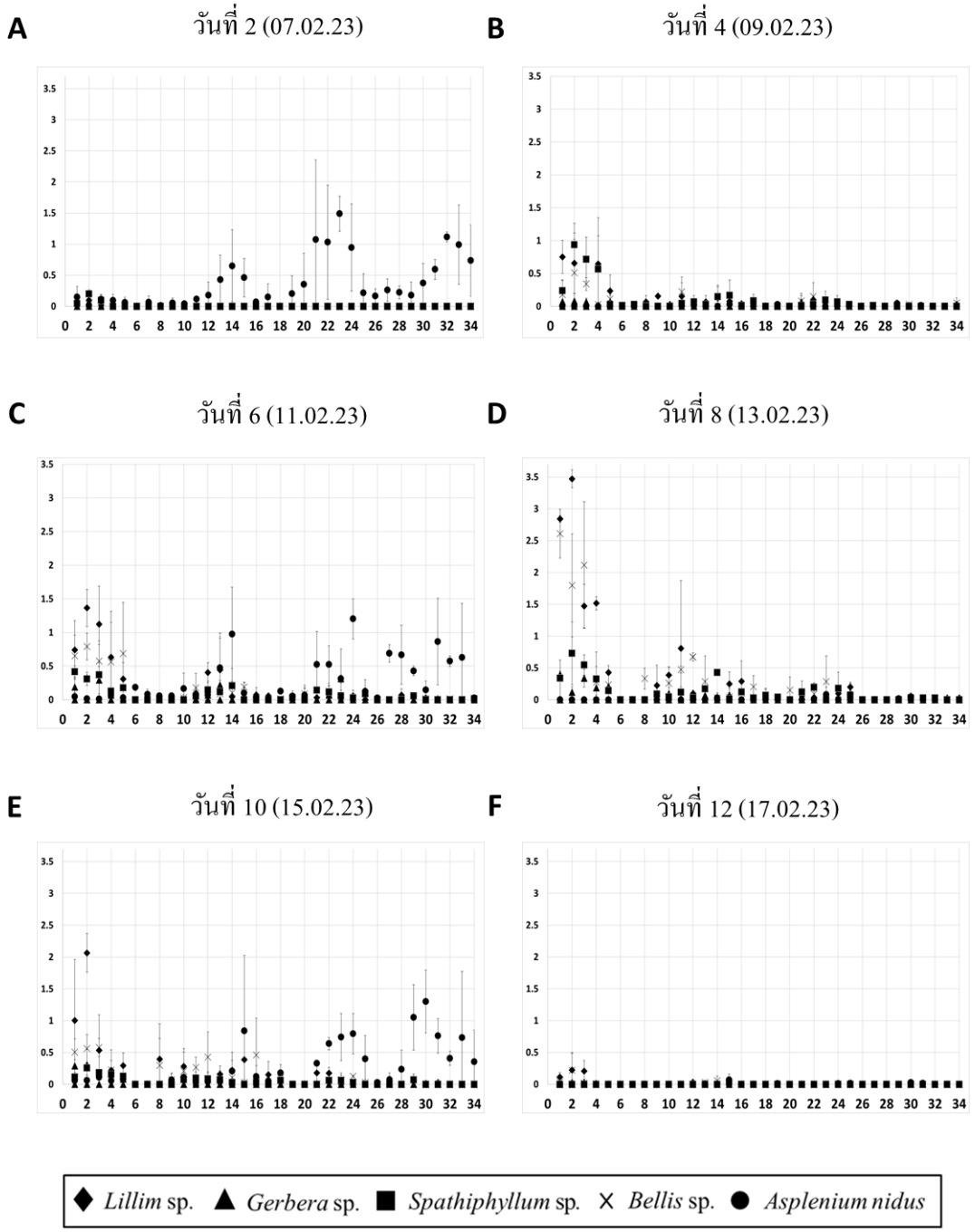
ภาพที่ 2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงแสดงสัณฐานวิทยาสปอร์และเรณูของพืชที่ใช้ในการทดลอง (A–J) A และ B เรณูของ *Lilium* sp.; C และ D เรณูของ *Bellis* sp.; E และ F เรณูของ *Spathiphyllum* sp.; G และ H เรณูของ *Gerbera* sp.; I และ J สปอร์ของ *Asplenium nidus* มาตราส่วนเส้นบรรทัด (scale bars) มีค่าเท่ากับ 20 ไมโครเมตร (A C G และ I เป็นภาพจากมุมมองด้านขั้ว; B D H และ J เป็นภาพจากมุมมองด้านข้าง; E และ F เป็นภาพจากมุมมองทาง oblique view)

ผลการวิจัย

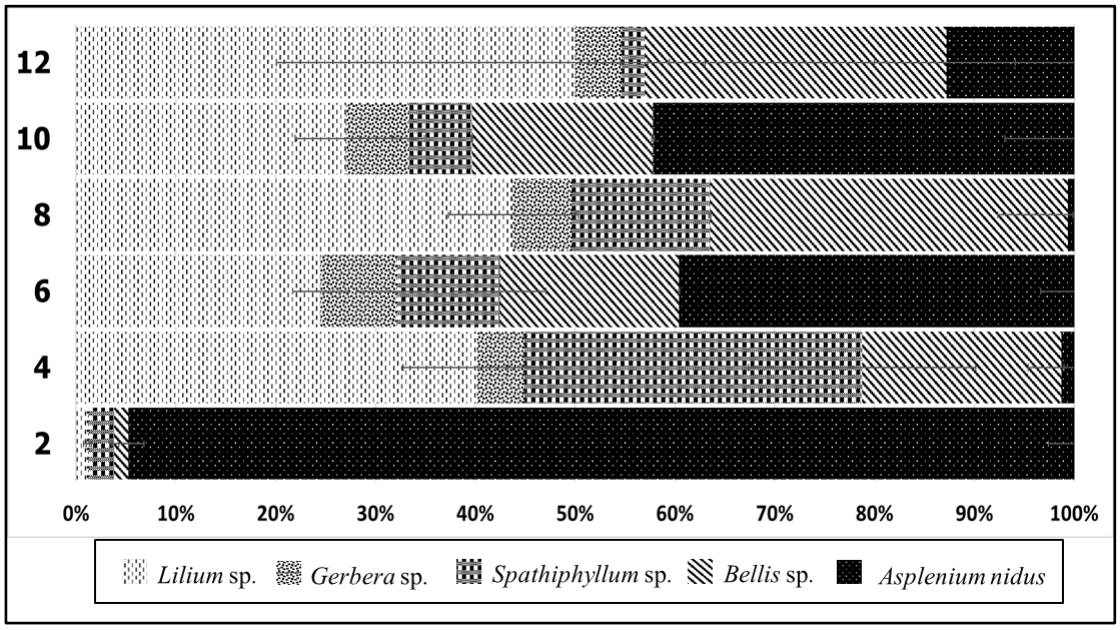
จากผลศึกษาที่ได้จากการทดลองภายในห้องจำนวน 2 ห้อง พบว่ามีค่าเฉลี่ยจำนวนรวมสปอร์และเรณูเป็น 3,505.00±401.44 สปอร์/เม็ด โดยจะมีจำนวนเกิน 300 สปอร์/เม็ด ตั้งแต่วันที่ 2 ของการทดลอง (ตารางที่ 2) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเฉพาะเรณูของไม้ดอกไม้ประดับพบว่ามีจำนวนเกิน 300 เม็ด เพียงเล็กน้อยในวันที่ 4 ของการทดลอง เมื่อพิจารณาค่าร้อยละของเรณูที่พบในแต่ละวันในแต่ละตารางย่อยพบว่าเรณูของ *Gerbera* sp. มีค่าตั้งแต่ร้อยละ 0.00–0.40±0.05 โดยพบเป็นจำนวนสูงสุดในวันที่ 8 ของการทดลอง ในตารางย่อยที่ 1 เรณูของ *Lilium* sp. มีค่าตั้งแต่ร้อยละ 0.00–3.48±0.14 โดยพบเป็นจำนวนสูงสุดในวันที่ 8 ของการทดลอง ในตารางย่อยที่ 2 เรณูของ *Spathiphyllum* sp. มีค่าตั้งแต่ร้อยละ 0.00–0.93±0.32 โดยพบเป็นจำนวนสูงสุดในวันที่ 4 ของการทดลอง ในตารางย่อยที่ 2 เรณูของ *Bellis* sp. มีค่าตั้งแต่ร้อยละ 0.00–2.60±0.38 โดยพบเป็นจำนวนสูงสุดในวันที่ 8 ของการทดลอง ในตารางย่อยที่ 1 และ สปอร์ของ *Asplenium nidus* มีค่าตั้งแต่ร้อยละ 0.00–1.48±0.28 โดยพบเป็นจำนวนสูงสุดในวันที่ 2 ของการทดลอง ในตารางย่อยที่ 23 เมื่อพิจารณาในภาพรวมพบว่า เรณูของไม้ดอกไม้ประดับมีจำนวนน้อยในวันที่ 2 ของการทดลองและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในวันที่ 4–10 ของการทดลองและลดลงในวันที่ 12 ของการทดลองภายหลังการเคลื่อนย้ายแจกันดอกไม้ออกจากห้อง และในทุกครั้งที่มีสปอร์ของ *Asplenium nidus* ติดบนเสื้อผ้าผู้พักอาศัยเข้ามาในห้องจะสามารถพบสปอร์ของพืชชนิดดังกล่าวเป็นกระจายตัวอยู่ในหลายตารางย่อย โดยจะพบได้เป็นจำนวนมากในพื้นที่ระหว่างโต๊ะทำงานและเตียงนอน (ภาพที่ 3)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยจำนวนรวมของสปอร์และเรณูทั้งหมดที่พบในแต่ละวันที่ทำการทดลอง (จากการทดลอง 2 ซ้ำ)

ลำดับวันที่ทำการทดลอง (วัน/เดือน/ปี ที่ทำการเก็บตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ยจำนวนเรณูไม้ดอกไม้ประดับ (เม็ด)	ค่าเฉลี่ยจำนวนสปอร์ของ *Asplenium nidus* (สปอร์)	ค่าเฉลี่ยจำนวนรวม (สปอร์/เม็ด)
2 (07.02.23)	24.50±4.55	445.50±123.74	470.00±196.53
4 (09.02.23)	341.50±54.23	4.50±0.70	346.00±59.21
6 (11.02.23)	506.00±64.19	332.00±57.98	838.00±107.41
8 (13.02.23)	977.50±175.28	6.00±2.13	983.50±185.49
10 (15.02.23)	476.50±83.11	348.00±38.18	824.50±125.13
12 (17.02.23)	37.50±9.74	5.50±4.94	43.00±8.60



ภาพที่ 3 ค่าร้อยละของสปอร์และเรณูแต่ละชนิดที่พบในตารางย่อยในแต่ละวันที่ทำการเก็บตัวอย่างเมื่อเทียบต่อสปอร์และเรณูที่พบทั้งหมดตลอดการทดลอง (A–F) A ข้อมูลจากวันที่ 2 ของการทดลอง; B ข้อมูลจากวันที่ 4 ของการทดลอง; C ข้อมูลจากวันที่ 6 ของการทดลอง; D ข้อมูลจากวันที่ 8 ของการทดลอง; E ข้อมูลจากวันที่ 10 ของการทดลอง; F ข้อมูลจากวันที่ 12 ของการทดลอง (แกน X คือ ตารางย่อยที่เกิดจากการแบ่งพื้นที่ของห้องเป็นตารางขนาด 50x50 ตารางเซนติเมตร; แกน Y คือ ค่าร้อยละของสปอร์และเรณูแต่ละชนิดที่พบในตารางย่อยในแต่ละวันที่ทำการเก็บตัวอย่าง เมื่อเทียบต่อสปอร์และเรณูที่พบทั้งหมดตลอดการทดลอง)



ภาพที่ 4 ค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ของสปอร์และเรณูแต่ละชนิดที่พบในแต่ละวันที่ทำการทดลอง (แกน X คือ ค่าร้อยละของสปอร์และเรณูแต่ละชนิดที่พบ; แกน Y คือ ลำดับวันที่ทำการทดลอง)

ตารางที่ 3 ค่า *P* จากการทดสอบไค-สแควร์ ภาวะสารูปสนิทดี เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกันของค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ของสปอร์และเรณูจากวันที่ทำการเก็บตัวอย่างกับค่าดังกล่าวของวันที่ทำการเก็บตัวอย่างก่อนหน้า *ค่า $P < 0.05$ (ค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ของสปอร์และเรณูมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ)

ลำดับวันที่ทำการทดลอง (วัน/เดือน/ปี ที่ทำการเก็บตัวอย่าง) (ค่าที่ได้จากการสังเกต)	**ลำดับวันที่ทำการทดลอง (วัน/เดือน/ปี ที่ทำการเก็บตัวอย่าง) (ค่าคาดหวัง)**	***P*-value**
4 (09.02.23)	2 (07.02.23)	1.06981E-96*
6 (11.02.23)	4 (09.02.23)	0.000665292*
8 (13.02.23)	6 (11.02.23)	0*
10 (15.02.23)	8 (13.02.23)	4.6151E-127*
12 (17.02.23)	10 (15.02.23)	0*

เมื่อพิจารณาค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ของสปอร์และเรณูที่พบในพื้นที่ห้องทั้งหมดในแต่ละวันพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยค่าดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวันแบบไม่มีแบบแผน กล่าวคือมีค่าร้อยละของเรณูในแต่ละชนิดเพิ่มหรือลดอย่างไม่ต่อเนื่อง ทั้งนี้เรณูของ *Gerbera* sp. พบได้น้อยที่สุดในวันที่ 2 ของการทดลอง มีค่าร้อยละ 0.21±0.24 และพบได้มากที่สุดในวันที่ 6 ของการทดลอง มีค่าร้อยละ 7.63±4.05 เรณูของ *Lilium* sp. พบได้น้อยที่สุดในวันที่ 2 ของการทดลอง มีค่าร้อยละ 1.06±0.29 และพบได้มากที่สุดในวันที่ 12 ของการทดลอง มีค่าร้อยละ 50.00±29.95 เรณูของ *Spathiphyllum* sp. พบได้น้อยที่สุดในวันที่ 12 ของการทดลอง มีค่าร้อยละ 2.32±2.43 และพบได้มากที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง มีค่าร้อยละ 33.81±11.40 เรณูของ *Bellis* sp. พบได้น้อยที่สุดในวันที่ 2 ของการทดลอง มีค่าร้อยละ 1.38±1.60 และพบได้มากที่สุดในวันที่ 8 ของการทดลอง มีค่าร้อยละ 35.89±7.03 และสปอร์ของ *Asplenium nidus* พบได้น้อยที่สุดในวันที่ 8 ของการทดลอง มีค่าร้อยละ 0.61±0.08 และพบได้มากที่สุดในวันที่ 2 ของการทดลอง มีค่าร้อยละ 94.78±2.59 (ภาพที่ 4) ซึ่งสอดคล้องกับค่า *P* (*P*–values) จากการทดสอบไค-สแควร์ ภาวะสารูปสนิทดี ที่พบว่าค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ของเรณูในแต่ละวันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 3)

สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาก่อนหน้านี้ พบว่าเรณูที่แพร่กระจายในที่พักอาศัยจะเป็นเรณูจากพืชที่ถ่ายเรณูโดยใช้ลมเป็นหลัก (Yankova, 1991; Tormo-Molina et al., 2009) อย่างไรก็ตามการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่ามีเรณูจากดอกไม้ของพืชไม้ดอกไม้ประดับและสปอร์ที่ติดตัวผู้พักอาศัยเข้าสู่ห้องเท่านั้นที่แพร่กระจายอยู่ภายในห้องพัก ไม่พบเรณูจากพืชชนิดที่ถ่ายเรณูโดยใช้ลม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Preusche & Weber (2014) และ Nguyen & Weber (2015b) ที่ระบุว่าเมื่อนำพืชไม้ดอกไม้ประดับเข้าสู่ที่พักอาศัยจะสามารถพบเรณูของพืชที่นำมาประดับตกแต่งนี้เป็นจำนวนมากกว่าเรณูของพืชที่ถ่ายเรณูโดยใช้ลมซึ่งมีที่มาจากภายนอกที่พักอาศัย การที่ไม่พบเรณูของพืชที่ถ่ายเรณูโดยใช้ลมในการศึกษาครั้งนี้ อาจ 0 เป็นเพราะห้องที่ใช้ทำการทดลองนั้นมีช่องทางที่ลมจะพัดพาเรณูเข้ามาได้เป็นเพียงแค่ประตู และหน้าต่างเท่านั้น ซึ่งประตูด้านหน้าจะปิดตลอดเวลาและประตูด้านหลังห้องและหน้าต่างจะมีมุ้งลวดปิดกั้นอยู่อีกชั้นหนึ่งซึ่งจะเปิดใช้เมื่อมีการเข้าพักเท่านั้น นอกจากนี้ ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าการสัมผัสโดยตรงกับส่วนที่สร้างสปอร์สามารถทำให้เกิดการขนถ่ายสปอร์กลับไปยังห้องพักอาศัยได้เป็นจำนวนมาก Nguyen & Weber (2015b) แสดงให้เห็นว่าเรณูจากพืชชนิด *Alstroemeria* ติดบนเสื้อผ้าของผู้ทำการทดลองจากห้องปฏิบัติการไปยังที่พักอาศัยได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wu et al. (2006) ที่แสดงให้เห็นว่าเรณูในสิ่งแวดล้อมสามารถติดตามเสื้อผ้าได้ Nguyen & Weber (2015a) พบว่าเรณูที่แพร่กระจายอยู่ภายในที่พักอาศัยจะมีโอกาสติดบนรองเท้าของผู้มาเยือนได้ ดังนั้นเรณูจากพืชไม้ดอกไม้ประดับและสปอร์และเรณูที่ถูกขนถ่ายเข้าสู่ห้องพักมีโอกาสเป็นพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ได้เป็นอย่างดีในคดีที่เกิดเหตุขึ้นภายในที่พักอาศัย

ถึงแม้ว่าจำนวนรวมของสปอร์และเรณูจะมีค่ามากกว่า 300 สปอร์/เม็ด ตั้งแต่วันที่ 2–10 ของการทดลอง อย่างไรก็ตาม เป็นที่น่าสังเกตว่าหากพิจารณาเฉพาะเรณูของไม้ดอกไม้ประดับในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าในวันที่ 2 ของการทดลอง (ครั้งที่ 1 ของการเก็บตัวอย่าง) ยังมีจำนวนเรณูน้อยกว่า 300 เม็ด ซึ่งตามทฤษฎีแล้วจะไม่เพียงพอต่อการตรวจพิสูจน์ เนื่องจากในการวิเคราะห์พยานหลักฐานทางเรณูวิทยานั้น ค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ที่มีความน่าเชื่อถือต้องเป็นค่าที่คำนวณจากเรณูจำนวน 300 เม็ดขึ้นไป (Wiltshire, 2015) ทั้งนี้ จำนวนเรณูของพืชแต่ละชนิดที่พบอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น ชนิดดอกไม้ จำนวนดอกไม้ หรือจำนวนเรณูในแต่ละดอก เป็นต้น Nguyen & Weber (2015a) แสดงให้เห็นว่าจะพบเรณูจากพืชไม้ดอกไม้ประดับในที่พักอาศัยได้จำนวนชนิดละไม่เกิน 100 เม็ด และถึงแม้ว่าเรณูที่พบนั้นจะติดบนรองเท้าที่สวมใส่ภายในห้องพัก แต่หากมีการสวมใส่รองเท้าดังกล่าวออกไปภายนอกห้องพักอาศัย จะทำให้เรณูที่ติดมานั้นลดจำนวนลงไปเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีหากเรณูมีลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์หรือเป็นเรณูที่พบได้ในพื้นที่ที่จำกัดเท่านั้น ถึงแม้ว่าจะพบเรณูดังกล่าวเป็นจำนวนน้อย ซึ่งจะไม่เพียงพอต่อการคำนวณค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ ก็สามารถใช้เป็นพยานหลักฐานที่มีความน่าเชื่อถือได้เช่นกัน อาทิ คดีลักพาตัวและข่มขืนที่ใช้เรณูจากพืชสกุล *Coprosma* ที่มีเส้นใยเชื้อราอยู่ภายในเรณู ซึ่งพบได้เพียงจำนวนน้อยเป็นพยานหลักฐานที่สำคัญในคดีได้ (Mildenhall, 2006b)

ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าจะสามารถพบเรณูไม้ดอกไม้ประดับได้เป็นจำนวนมากในบริเวณที่อยู่ใกล้กับแจกันดอกไม้ Morgan et al. (2014) ได้ข้อสรุปไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เรณูจากดอกไม้ที่นำเข้าสู่ที่พักอาศัยนั้นจะแพร่กระจายตัวเป็นจำนวนมากอยู่ภายในระยะ 0.8 เมตร จากตำแหน่งที่วางแจกันดอกไม้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Wiriyasiriwattana et al. (in prep) ที่ระบุว่าสามารถพบเรณูของพืชไม้ดอกไม้ประดับในที่พักอาศัยได้ในบริเวณรอบๆ ตำแหน่งที่มีพืชดังกล่าว Morgan et al. (2014) ยังพบอีกว่าเมื่อนำดอกไม้ของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ได้แก่ ลิลลี่ (Lily) และฟรีเซีย (Freesia) วางไว้ในห้อง เรณูจากดอกไม้ของพืชทั้งสองชนิดดังกล่าวจะมีรูปแบบการกระจายตัวที่คล้ายกัน อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าเรณูของ *Lilium* sp. และ *Bellis* sp. ซึ่งเป็นพืชไม้ดอกไม้ประดับชนิดที่มีการผลิตเรณู (pollen production; จำนวนเรณูที่ผลิตขึ้นในแต่ละอับเรณูหรือดอก) เป็นจำนวนมาก (ประมาณ 450,000 และ 300,000 เม็ดต่อดอก ตามลำดับ) สามารถกระจายตัวได้เป็นระยะทางห่างจากจุดที่วางแจกันในจำนวนที่มากกว่าเรณูจากพืชชนิดอื่น ๆ ทั้งนี้ ยังไม่พบการศึกษาที่ระบุว่าสัณฐานวิทยาเรณูมีผลต่อการแพร่กระจายเรณูในที่พักอาศัย Nguyen & Weber (2015b) รายงานว่าการผลิตเรณูส่งผลต่อการพบเรณูในที่พักอาศัย กล่าวคือ ชนิดที่มีการผลิตเรณูน้อยจะพบว่ามีการแพร่กระจายของเรณูน้อยเช่นกัน นอกจากนี้ ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าสามารถตรวจพบเรณูได้เป็นจำนวนน้อยในวันที่ 2 ของการทดลองและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในวันที่ 4–10 ของการทดลอง และลดลงในวันที่ 12 ของการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Morgan et al. (2014) ที่ระบุว่าจำนวนเรณูที่พบในห้องพักอาศัยจะเพิ่มขึ้นภายในวันที่ 1–9 ของการทดลองโดยพบเรณูจากดอกลิลลี่และฟรีเซียได้เป็นจำนวนมากที่สุดในวันที่ 9 และ 6 ตามลำดับ จากผลการศึกษาดังกล่าวทำให้ได้ข้อสรุปว่าภายหลังการนำดอกไม้เข้าสู่ที่พักอาศัยเป็นระยะเวลาเพียง

ไม่นานนั้น บริเวณที่อยู่รอบๆตำแหน่งดอกไม้ จะเป็นพื้นที่ที่มีเรณูไม้ดอกไม้ประดับมากที่สุด หากคนร้ายเข้าไปสัมผัสในบริเวณดังกล่าว จะมีโอกาสสูงที่เรณูไม้ดอกไม้ประดับจะติดตามเสื้อผ้าหรือรองเท้าของคนร้าย ส่งผลให้สามารถเชื่อมโยงบุคคลเข้ากับสถานที่ที่เพิ่งไปเยือนมาได้อย่างแม่นยำ ในทางกลับกัน ในวันที่ผู้อยู่อาศัยเกิดการสัมผัสโดยตรงกับส่วนที่สร้างสปอร์ของ *Asplenium nidus* จะพบสปอร์ของพืชดังกล่าวเป็นจำนวนมากกระจายอยู่เป็นบริเวณกว้างในห้องพัก ไม่จำเพาะกับพื้นที่รอบ ๆ บริเวณแจกันดอกไม้เท่านั้น ด้วยเหตุที่ผู้อยู่อาศัยมีการเคลื่อนที่ไปยังพื้นที่ต่างๆ ภายในห้องเพื่อทำกิจกรรมตามปกติ ส่งผลให้ระหว่างการทำกิจกรรมนั้น สปอร์เกิดการหลุดออกจากกางเกงที่กำลังสวมใส่และตกลงบนพื้นที่ต่าง ๆ ภายในห้อง ซึ่งถือเป็นการเพิ่มโอกาสให้สปอร์ติดตามเครื่องแต่งกายและรองเท้าของคนร้ายที่เข้ามาภายในห้องพักได้

จากการทดสอบไค-สแควร์ ภาวะสารูปสนิทดี ของค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ของสปอร์และเรณูพบว่าค่าดังกล่าวในแต่ละวันที่ทำการเก็บตัวอย่างจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นในการเก็บตัวอย่างเปรียบเทียบจากสถานที่เกิดเหตุ (ห้องพัก) ต้องทำด้วยความระมัดระวัง โดยวันที่เก็บตัวอย่างเปรียบเทียบจะต้องเป็นวันเดียวกันกับวันที่เกิดเหตุ หรือห่างกับวันที่เกิดเหตุให้น้อยที่สุด เนื่องจากค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ของเรณูที่พบในแต่ละวันจะมีความแตกต่างกันอาจส่งผลต่อการตีความพยานหลักฐานได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Nguyen & Weber (2015b) ที่แสดงให้เห็นว่าค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ของเรณูที่พบในแต่ละช่วงเวลาในแต่ห้องของที่พักอาศัยนั้นมีความแตกต่างกัน (มีค่าร้อยละของเรณูในแต่ละชนิดแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาการศึกษา) นอกจากนี้ การพบสปอร์ของ *Asplenium nidus* เป็นจำนวนมากในวันที่ผู้อาศัยได้สัมผัสโดยตรงกับส่วนที่สร้างสปอร์ของพืชในครั้งนี้ มีนัยยะทางนิติวิทยาศาสตร์ 2 ประการ คือ 1) หากผู้ที่นำสปอร์เข้าสู่ห้องพักไม่ใช่ผู้ที่พักอาศัยในห้องพักห้องนั้น สปอร์ดังกล่าวจะเป็นพยานหลักฐานที่สามารถใช้เชื่อมโยงบุคคลดังกล่าวเข้ากับห้องพักห้องนั้นได้อย่างแม่นยำ 2) หากผู้ที่นำสปอร์เข้าสู่ห้องพักเป็นผู้ที่พักอาศัยในห้องพักห้องนั้น สปอร์ดังกล่าวจะทำให้ค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ของสปอร์และเรณูในห้องมีความแตกต่างกันในแต่ละวัน หากคนร้ายเข้าไปภายในห้องพักจะสามารถใช้พยานหลักฐานทางเรณูวิทยาที่ตรวจพบในคนร้ายเชื่อมโยงกลับสู่ห้องพักได้ นอกจากนี้ ยังเป็นที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งว่าในการศึกษาครั้งนี้ แม้จะทำการเคลื่อนย้ายแจกันออกจากห้องไปเป็นเวลา 2 วัน แล้วก็ตาม ยังสามารถตรวจพบสปอร์และเรณูได้เป็นจำนวน 43.00±8.60 สปอร์/เม็ด Morgan et al. (2014) แสดงให้เห็นว่ายังสามารถตรวจพบเรณูภายในห้องได้แม้ว่าจะทำการเคลื่อนย้ายดอกไม้ออกจากห้องเป็นเวลา 20 วัน อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้ว จะสามารถพบสปอร์และเรณูได้เป็นจำนวนน้อยลงภายหลังการเคลื่อนย้ายดอกไม้ออกจากห้องและ/หรือมีการทำความสะอาดที่พักเกิดขึ้น ดังนั้น ในสถานการณ์ดังกล่าวถึงแม้ว่าจะพบสปอร์และเรณูในที่พักได้เป็นจำนวนน้อยกว่า 300 สปอร์/เม็ด ก็ตาม แต่หากเป็นสปอร์และเรณูที่มีที่ลักษณะพิเศษดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น อาทิ เป็นเรณูของไม้ดอกไม้ประดับที่นำเข้าจากต่างประเทศซึ่งไม่สามารถพบได้ในธรรมชาติของประเทศไทย ก็จะสามารถใช้เป็นพยานหลักฐานได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีความจำเพาะสูงกับสถานที่ จึงถือได้ว่าเป็นการเพิ่มโอกาสในการใช้พยานหลักฐานทางนิติเรณูวิทยา

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้ ถึงแม้ว่าจะเป็นการศึกษาเบื้องต้น หากแต่ให้ข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางในการใช้การพยานหลักฐานทางเรณูวิทยาให้เกิดความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม หากเพิ่มจำนวนและชนิดของดอกไม้จากไม้ดอกไม้ประดับและสปอร์หรือเรณูที่ติดบนเครื่องแต่งกายผู้พักอาศัยในการทดลอง อาจจะนำมาสู่ข้อมูลที่มีความละเอียดและเป็นประโยชน์ในการศึกษามากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

Halbritter, H., Ulrich, S., Grímsson, F., Weber, M., Zetter, R., Hesse, M., Buchner, R., Svojtka, M., Frosch-Radivo, A. (2018). Illustrated pollen terminology. Springer.

McDonald, J.H. (2009). Handbook of biological statistics 3rd ed. Baltimore, MD : Sparky House Publishing.

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

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

Mildenhall, D.C., Wiltshire, P.E.J. & Bryant, V.M. (2006). Forensic palynology: Why do it and how it works. Forensic Science International, 163, 163-172.

Morgan, R.M., Allen, E., King, T. & Bull, P.A. (2014). The spatial and temporal distribution of pollen in a room: forensic implications. Science & Justice, 54(1), 49-56.

Nguyen, P. & Weber, M. (2015a). Can pollen match shoes to a previously visited indoor location? Grana, 55, 164-172.

Nguyen, P. & Weber, M. (2015b). Forensic value of pollen from ornamental indoor plants. Grana, 54(3), 236-246.

Preusche, P. & Weber, M. (2014). Monitoring indoor pollen over two years. Grana, 53(2), 133-146.

Phuphumirat, W., Iadprapan, N. & Mildenhall, D.C. (2020). Methods for collecting spore and pollen samples from city pavements and the palynomorph distribution in urban areas. Grana, 60(3), 173-188.

Tormo-Molina, R., Gonzalo-Garijo, Á., Silva-Palacios, I. & Fernández-Rodríguez, S. (2009). Seasonal and spatial variations of indoor pollen in a hospital. International Journal of Environmental Research and Public Health, 6(12), 3169-3178.

Wiltshire, P.E. & Black, S. (2006). The cribriform approach to the retrieval of palynological evidence from the turbinates of murder victims. Forensic Science International, 163(3), 224-230.

Wiltshire, P.E. (2015). Protocols for forensic palynology. Palynology, 40(1), 4-24.

Wiriyasiriwattana, P. and Phuphumirat, W. (manuscript in preparation). The distribution of pollen from cut flowers in a dwelling and its forensic significance.

Wu, C.L, Yang C.H, Huang, T., Chen, S. (2006) Forensic pollen evidence from clothes by the tape adhesive method. Taiwania, 51, 123-130.

Yankova, R. (1991). Outdoor and indoor pollen grains in Sofia. Grana, 30(1), 171-176.