บทความวิจัย

ความหลากหลายของพฤติกรรมของโครโมโซม ในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสของโหระพา (*Ocimum basilicum* L.) ในประเทศไทย

ปวีณ์นุช เลขะพันธุ์[1] เกษรา อนามธวัช-จอนสัน[2] และ เพลินพิศ โชคชัยชำนาญกิจ[1*]

บทคัดย่อ

พืชสกุลโหระพาจัดอยู่ในวงศ์ Lamiaceae ประกอบด้วยพืช 65-160 ชนิด ซึ่งมีการกระจายตัวไปทั่วโลก พืชในสกุลนี้โหระพามีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากที่สุด เนื่องจากการปรับปรุงพันธุ์และการเกิดลูกผสมโดยธรรมชาติ ทำให้โหระพามีความหลากหลายทั้งในด้านสัณฐานวิทยาและจำนวนโครโมโซม รวมถึงโหระพาในประเทศไทย ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความหลากหลายของโครโมโซมของโหระพาในประเทศไทย และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหลากหลายด้านสัณฐานวิทยาและโครโมโซมของโหระพา โดยเก็บตัวอย่างโหระพาจากจังหวัดเชียงใหม่ นครราชสีมา พระนครศรีอยุธยา ประจวบคีรีขันธ์ และตรัง นำมาศึกษาโครโมโซมจากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส พบว่าโหระพาจากทั้ง 5 จังหวัด มีจำนวนโครโมโซมเท่ากัน คือ 2n = 52 หรือ 26 ไบวาเลนต์ แต่ค่าเฉลี่ยจำนวนไคแอสมาต่อเซลล์ของโหระพาจากทั้ง 5 จังหวัด แตกต่างกัน ซึ่งผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าโหระพาที่พบในประเทศไทยอยู่ในสภาวะที่เป็น polyploid และมีการลดการเกิดรีคอมบิเนชันในระดับที่แตกต่างกันของโหระพาจากต่างพื้นที่กัน อย่างไรก็ตามไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความหลากหลายด้านสัณฐานวิทยาและพฤติกรรมของโครโมโซมของโหระพา

คำสำคัญ: ไคแอสมา, โครโมโซม, รีคอมบิเนชัน, สัณฐานวิทยา

[1]ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2]Faculty of Life and Environmental Sciences, School of Engineering and Natural Science, University of Iceland

[*]ผู้นิพนธ์ประสานงาน, e-mail: ploenpit.c@chula.ac.th

Variation in Meiotic Behavior of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) in Thailand

Paweenuch Lekhapan[1], Kesara Anamthawat-Jónsson[2], and Ploenpit Chokchaichamnankit[1*]

ABSTRACT

The genus *Ocimum* L. is in family Lamiaceae, comprises 65-160 species distributed worldwide. Among the *Ocimum* species, *O. basilicum* L. is the most important economically. Due to breeding and natural hybridization, the morphology and chromosome numbers of *O. basilicum,* including that in Thailand, are very variable. Therefore, the objectives of this study are to investigate the variation of chromosomes of *O. basilicum* in Thailand and to study the relationship between the variation in plant morphology and chromosome of *O. basilicum.* Plant materials of *O. basilicum* were collected from Chiang Mai, Nakhon Ratchasima, Prachuap Khiri Khan, Phra Nakhon Si Ayutthaya and Trang. Meiotic chromosomes were examined on all accessions. The results show the same chromosome number of *O. basilicum* from all five provinces which is 2n = 52 or 26 bivalents. But the mean values of chiasmata per cell of *O. basilicum* from five provinces are different. These results suggested that *O. basilicum* in Thailand is polyploidy and there are the different levels of recombination reduction in *O. basilicum* from different areas. However, the relationship between variation of plant morphology and chromosome behavior in *O. basilicum* cannot be established.

Keywords: Chiasma, Chromosome, Recombination, Morphology

[1]Department of Biology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

[2]Faculty of Life and Environmental Sciences, School of Engineering and Natural Science, University of Iceland

[*]Corresponding author, email: ploenpit.c@chula.ac.th

บทนำ

พืชสกุลโหระพา *Ocimum* L. จัดอยู่วงศ์ Lamiaceae ประกอบด้วยพืชประมาณ 65-160 ชนิด [1] หลายชนิดเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ โดยนำมาสกัดน้ำมันหอมระเหย ใช้เป็นยาสมุนไพรพื้นบ้าน ใช้ประกอบอาหาร และเป็นไม้ประดับ รวมถึงเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำหอมและเครื่องสำอาง ด้วยความสำคัญเหล่านี้ทำให้พืชหลายชนิดในสกุลนี้ถูกนำไปปลูกอย่างกว้างขวางทั่วโลก [1-5] โดยเฉพาะโหระพา (*Ocimum bacilicum* L.) ซึ่งถูกนำมาใช้ในการผลิตน้ำมันหอมระเหยเป็นปริมาณถึง 42.5 ตันต่อปี หรือประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำมันหอมระเหยที่ผลิตจากพืชสกุลโหระพาทั้งหมด [4] เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากโหระพาประกอบด้วยสารประกอบฟีนอล (phenolic compound) เช่น ยูจีนอล (eugenol) ชาวิคอล (chavicol) เอสตราโกล (estragole) เมทิลซินนาเมท (methyl cinnamate) และลินาโลออล (linalool) ซึ่งมีกลิ่นหอมและมีคุณสมบัติในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ ไล่แมลง นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดสมอง โรคมะเร็ง และวัณโรค [6-8] สำหรับประเทศไทยมีการปลูกโหระพาในทุกภูมิภาค เพื่อนำมาใช้ในการประกอบอาหาร ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันหอมระเหย และใช้เป็นยาสมุนไพรพื้นบ้าน กล่าวคือ ลำต้นสดของโหระพา นำมาต้มน้ำกินเป็นยาแก้ปวด แก้หวัด แก้ปวดท้อง ทำให้เจริญอาหาร ขับเหงื่อ ขับเสมหะ ขับลม หรือใช้ตำให้ละเอียด คั้นเอาน้ำทา หรือใช้พอกแผลฟกช้ำ แผลเป็นหนองเรื้อรัง แก้แมลงสัตว์กัดต่อย กลากเกลื้อน เมล็ดแห้งสามารถนำมาต้มหรือแช่น้ำกินเป็นยาระบาย นอกจากนี้ยังมีการนำรากสดหรือรากแห้งมาเผาไฟแล้วบดให้ละเอียด ใช้พอกบริเวณที่เป็นแผลเรื้อรัง แผลมีหนอง [9] เนื่องจากมีการใช้ประโยชน์จากโหระพามากมาย จึงมีการปรับปรุงพันธุ์เพื่อประโยชน์ทางเศรษฐกิจซึ่งก่อให้เกิดพันธุ์ใหม่ๆ ขึ้น นอกจากนี้ยังมีการเกิดลูกผสมโดยธรรมชาติ ทำให้โหระพามีความหลากหลายทั้งในด้านสัณฐานวิทยาและจำนวนโครโมโซม [10-12]

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของโหระพา คือ เป็นไม้ล้มลุก สูงได้ถึง 1 เมตร ลำต้นเป็นเหลี่ยม กลม หรือเป็นเหลี่ยมกึ่งกลม มีขนต่อม ขนยาว หรือขนสั้นนุ่มตามลำต้น แผ่นใบ ช่อดอก ใบประดับ ก้านดอก และกลีบเลี้ยง ใบเรียงตรงข้าม มีสีเขียวเข้ม รูปไข่หรือรูปไข่กึ่งขอบขนาน ยาว 1.5-5 เซนติเมตร ก้านใบยาวได้ถึง 2.0 เซนติเมตร ช่อดอกแบบช่อฉัตร ยาวได้ถึง 12 เซนติเมตร ใบประดับรูปไข่ รูปรี รูปไข่กึ่งรี หรือรูปใบหอกกึ่งรี ยาว 6-10 มิลลิเมตร ก้านดอกยาว 1-2 มิลลิเมตร กลีบเลี้ยงและกลีบดอกรูปปากเปิด หลอดกลีบเลี้ยงยาว 4-5 มิลลิเมตร ขยายในผล ยาว 6-8 มิลลิเมตร กลีบบนกลม กลีบล่างรูปใบหอก ดอกสีขาว ม่วง หรือขาวขอบม่วง หลอดกลีบดอกยาว 7-8 มิลลิเมตร กลีบบน 4 กลีบ กลีบล่าง 1 กลีบ ขนาดใหญ่กว่ากลีบบน เกสรเพศผู้สั้น 2 อัน ยาว 2 อัน ยื่นพ้นปากหลอดกลีบดอก โคนมีขนเป็นกระจุก รังไข่มี 4 พู ผลกลม เมล็ดรูปไข่ [13] ทั้งนี้เนื่องจากสภาพแวดล้อมและระยะการเจริญของต้นพืชสามารถส่งผลกระทบต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของโหระพาแต่ละต้นได้ [14] ทำให้ในปัจจุบันยังไม่มีเกณฑ์มาตรฐานที่สามารถจำแนกโหระพาพันธุ์ต่างๆ ได้อย่างชัดเจน [1]

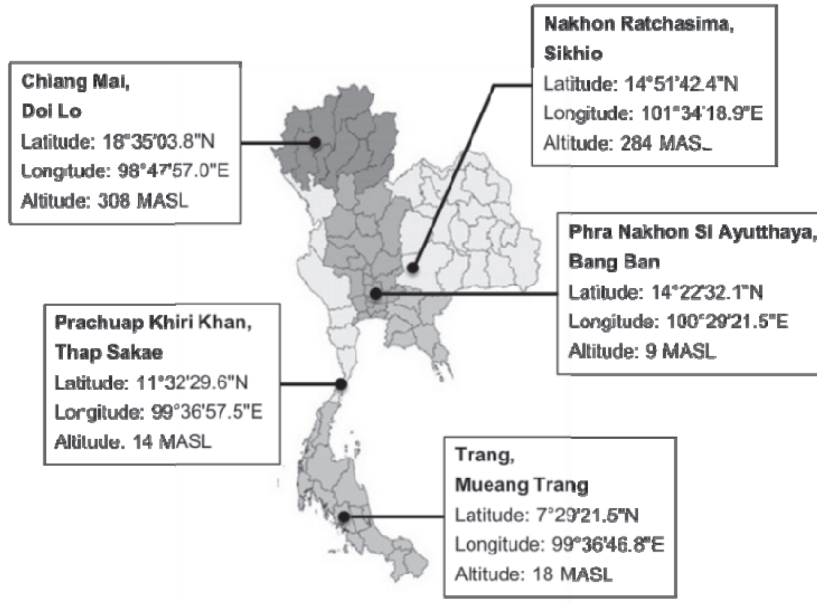
สำหรับการศึกษาจำนวนโครโมโซมของโหระพา Carovic'-Stanko และคณะ [2] รายงานว่า 2n = 48 และ 72 Edet และ Aikpokpodion [15] รายงานว่า 2n = 48 และ 60 ส่วน Mukherjee และคณะ [16] รายงานว่า 2n = 52 และ 72 ในขณะเดียวกัน Paton และ Putievsky [11] รายงานว่า 2n = 52, 53, 56, 72 และ 74 อย่างไรก็ตามในประเทศไทยได้มีการเก็บรวบรวมโหระพาพันธุ์ต่างๆ และจำแนกตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาออกเป็น 6 กลุ่ม ซึ่งจากการศึกษาจำนวนโครโมโซมของโหระพาจากการแบ่งเซลล์

แบบไมโอซิสพบว่า โหระพาจากทั้ง 6 กลุ่ม มีจำนวนโครโมโซมเท่ากัน คือ 2n = 48 [17] นอกจากนี้ยังมีการรายงานจำนวนโครโมโซมของโหระพาจากการศึกษาการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส พบว่าโหระพาจากประเทศไทยมีจำนวนโครโมโซม 2n = 52 [11] แสดงให้เห็นความหลากหลายของจำนวนโครโมโซมของโหระพาที่พบในประเทศไทย ดังนั้นการศึกษาความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของโหระพาจากภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลทางด้านเซลล์พันธุศาสตร์ในเรื่องจำนวนและพฤติกรรมของโครโมโซมในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจเพื่อนำมาใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมที่นำไปสู่การเกิดความหลากหลายของจำนวนโครโมโซม รวมถึงใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสัณฐานวิทยาและความหลากหลายของโครโมโซม นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการคัดเลือกหรือปรับปรุงพันธุ์ของโหระพาในอนาคตได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีทดลอง

การเก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูลลักษณะสัณฐานวิทยาของโหระพา

เก็บตัวอย่างโหระพาจากครัวเรือนที่ปลูกเพื่อการบริโภคจากอำเภอดอยหล่อ จังหวัดเชียงใหม่ อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา อำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา อำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และอำเภอเมืองตรัง จังหวัดตรัง ซึ่งมีพิกัดและความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางแสดงในรูปที่ 1 โดยเก็บตัวอย่างโหระพาจังหวัดละ 3 ต้น รวมเป็นจำนวน 15 ต้น และบันทึกข้อมูลลักษณะสัณฐานวิทยาของโหระพาแต่ละต้น ได้แก่ ความสูงลำต้น สิ่งปกคลุมลำต้น รูปแบบแผ่นใบ ขนาดใบที่ใหญ่ที่สุด รูปแบบช่อดอก ความยาวช่อดอกที่ยาวที่สุด สีช่อดอก ความยาวกลีบเลี้ยง ความยาวกลีบดอก และสีกลีบดอก ทั้งนี้ทำการเก็บตัวอย่างโหระพาในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2559



รูปที่ 1 พิกัดและความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางของพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างโหระพา

การเตรียมโครโมโซมจากดอก ดัดแปลงจากวิธีการของ Sharma และ Sharma [18]

เก็บตัวอย่างดอกอ่อนของโหระพามาใส่ในสารละลาย fixative (ประกอบด้วย 95% ethanol และ glacial acetic acid ในอัตราส่วน 3:1) ที่เตรียมใหม่ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วล้างด้วย 70% ethanol 2 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที เก็บรักษาดอกใน 70% ethanol ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะทำการทดลองขั้นต่อไป

เมื่อต้องการเตรียมโครโมโซม เลือกดอกโหระพาที่มีขนาดเหมาะสม วางดอกบนสไลด์ เขี่ยอับเรณูออกมา แล้วเขี่ยส่วนอื่นๆ ของดอกทิ้ง หยดสีย้อม 1% aceto-orcein ลงไป 1-2 หยด แล้วใช้เข็มเขี่ยฉีกอับเรณูเพื่อให้ pollen mother cells แยกออกมาจากอับเรณู เขี่ยเศษอับเรณูออก ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที แล้วปิดด้วยแผ่นแก้วปิดสไลด์ จากนั้นกดเบาๆ เพื่อให้เซลล์แบน นำสไลด์ไปตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง Olympus รุ่น BX 51 แล้วถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพ Olympus รุ่น DP 71 โดยถ่ายภาพเซลล์ที่อยู่ระหว่างการแบ่งตัวแบบไมโอซิส ในระยะ metaphase I ที่โครโมโซมมีการกระจายดี จำนวน 10 เซลล์ ต่อโหระพา 1 ต้น

การศึกษาโครโมโซมและการวิเคราะห์ข้อมูล

เปรียบเทียบจำนวนโครโมโซมของโหระพาจากทั้ง 5 จังหวัด และศึกษาพฤติกรรมของโครโมโซมระหว่างการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ในระยะ metaphase I โดยนับจำนวนไคแอสมาต่อเซลล์จากการเข้าคู่กันของฮอมอโลกัสโครโมโซม โดยที่ rod bivalent จะมี 1 ไคแอสมา และ ring bivalent จะมี 2 ไคแอสมา แล้วทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจำนวนไคแอสมาต่อเซลล์ในโหระพาจากทั้ง 5 จังหวัด ด้วยวิธี Tukey's test นอกจากนี้บันทึกข้อมูลความผิดปกติของการเข้าคู่กันระหว่างฮอมอโลกัสโครโมโซม เช่น การเกิด multivalent หรือ univalent จากนั้นศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน และพฤติกรรมของโครโมโซมระหว่างการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ในระยะ metaphase I กับลักษณะสัณฐานวิทยาของโหระพา

ผลการทดลอง

ลักษณะสัณฐานวิทยา

จากการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของโหระพาจากทั้ง 5 จังหวัด (ตารางที่ 1) พบว่ามีความสูง 42-105 เซนติเมตร ลำต้นปกคลุมด้วยขนสั้นและโค้งลง แผ่นใบมีลักษณะแบนราบ ขนาดใบที่ใหญ่ที่สุดมีขนาดตั้งแต่ 2.3 × 4.7 เซนติเมตร ไปจนถึง 3.5 × 7.0 เซนติเมตร โดยขนาดใบที่ใหญ่ที่สุดของโหระพาจากจังหวัดเชียงใหม่ นครราชสีมา พระนครศรีอยุธยา และตรัง มีขนาดใหญ่ใกล้เคียงกัน ส่วนขนาดใบที่ใหญ่ที่สุดของโหระพาจากจังหวัดประจวบคีรีขันธ์มีขนาดเล็กที่สุด สำหรับรูปแบบของช่อดอกพบว่าช่อดอกของโหระพาจากจังหวัดตรังเป็นแบบช่อแยกแขนง ในขณะที่ ช่อดอกของโหระพาจากจังหวัดเชียงใหม่ นครราชสีมา พระนครศรีอยุธยา และประจวบคีรีขันธ์ เป็นแบบช่อฉัตร (รูปที่ 2) โดยมีความยาวช่อดอกที่ยาวที่สุด 17-25 เซนติเมตร ทั้งนี้ช่อดอกของโหระพาจากจังหวัดพระนครศรีอยุธยามีความยาวมากที่สุด รองลงมาคือ โหระพาจากจังหวัดตรัง เชียงใหม่ นครราชสีมา และประจวบคีรีขันธ์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าสีของช่อดอกของโหระพาจากจังหวัดตรังมีสีม่วง ในขณะที่สีของช่อดอกของโหระพาจากจังหวัดเชียงใหม่ นครราชสีมา พระนครศรีอยุธยา และประจวบคีรีขันธ์ มีสีม่วงอมเขียว (รูปที่ 2) สำหรับความยาวของกลีบเลี้ยงและกลีบดอกของโหระพาจากทั้ง 5 จังหวัด มีความยาวใกล้เคียงกัน โดยมีความยาวกลีบเลี้ยงประมาณ

รูปที่ 2 ลักษณะสัณฐานวิทยาของดอก (ก-จ) และช่อดอก (ฉ-ญ) ของโหระพาจากจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (ก และ ฉ) จังหวัดเชียงใหม่ (ข และ ช) จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (ค และ ซ) จังหวัดนครราชสีมา (ง และ ฌ) และจังหวัดตรัง (จ และ ญ) โดยที่ขนาดของดอกโหระพาเทียบจากแถบสีขาวด้านบนซึ่งยาวเท่ากับ 1 เซนติเมตร และขนาดของช่อดอกโหระพาเทียบจากแถบสีขาวด้านล่างซึ่งยาวเท่ากับ 2 เซนติเมตร

7 มิลลิเมตร และความยาวกลีบดอกประมาณ 8-9 มิลลิเมตร นอกจากนี้ยังพบว่ากลีบดอกของโหระพาจากจังหวัดตรังมีสีขาว ในขณะที่กลีบดอกของโหระพาจากจังหวัดนครราชสีมา พระนครศรีอยุธยา เชียงใหม่ และประจวบคีรีขันธ์ มีสีม่วงอ่อนจนถึงม่วงเข้ม ตามลำดับ (รูปที่ 2)

ตารางที่ 1 ลักษณะสัณฐานวิทยาของโหระพา

ลักษณะสัณฐานวิทยา	พื้นที่เก็บตัวอย่าง				
	เชียงใหม่	นครราชสีมา	พระนครศรีอยุธยา	ประจวบคีรีขันธ์	ตรัง
ความสูงลำต้น (ซม.)	42-65	47-90	75-85	70-80	70-105
สิ่งปกคลุมลำต้น	ขนสั้นและโค้งลง	ขนสั้นและโค้งลง	ขนสั้นและโค้งลง	ขนสั้นและโค้งลง	ขนสั้นและโค้งลง
รูปแบบแผ่นใบ	แบนราบ	แบนราบ	แบนราบ	แบนราบ	แบนราบ
ขนาดใบที่ใหญ่ที่สุด (กว้าง × ยาว; ซม.)	2.6 × 5.5	3.3 × 6.0	3.4 × 5.6	2.3 × 4.7	3.5 × 7.0
รูปแบบช่อดอก	ช่อฉัตร	ช่อฉัตร	ช่อฉัตร	ช่อฉัตร	ช่อแยกแขนง
ความยาวช่อดอกที่ยาวที่สุด (ซม.)	21	20	25	17	22
สีช่อดอก	ม่วงอมเขียว	ม่วงอมเขียว	ม่วงอมเขียว	ม่วงอมเขียว	ม่วง
ความยาวกลีบเลี้ยง (มม.)	7	7	7	7	7
ความยาวกลีบดอก (มม.)	8	8	8	9	9
สีกลีบดอก (ความเข้ม)	ม่วง (+++)	ม่วง (+)	ม่วง (++)	ม่วง (++++)	ขาว

หมายเหตุ เครื่องหมาย + แสดงระดับความเข้มของสีกลีบดอกที่มองเห็นจากตาเปล่า

จำนวนและพฤติกรรมของโครโมโซมในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสของโหระพา

จากการศึกษาโครโมโซมในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสของโหระพาจากเซลล์ที่โครโมโซมกระจายตัวดี พบว่าโหระพาจากทั้ง 5 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ (รูปที่ 3 ก) นครราชสีมา (รูปที่ 3 ข) พระนครศรีอยุธยา (รูปที่ 3 ค) ประจวบคีรีขันธ์ (รูปที่ 3 ง) และตรัง (รูปที่ 3 จ) มีจำนวนโครโมโซมเท่ากัน คือ 2n = 52 (ตารางที่ 2) และพบการเข้าคู่กันเป็น bivalent ทั้งแบบ rod bivalent และ ring bivalent อย่างไรก็ตามพบความผิดปกติของโครโมโซมในระยะ metaphase I ในโหระพาจากจังหวัดเชียงใหม่และนครราชสีมา ได้แก่ quadivalent ในโหระพาจากจังหวัดนครราชสีมา (รูปที่ 4 ก และ ค และ ตารางที่ 2) และ trivalent และ univalent ในโหระพาจากจังหวัดเชียงใหม่ (รูปที่ 4 ข และ ง และ ตารางที่ 2)

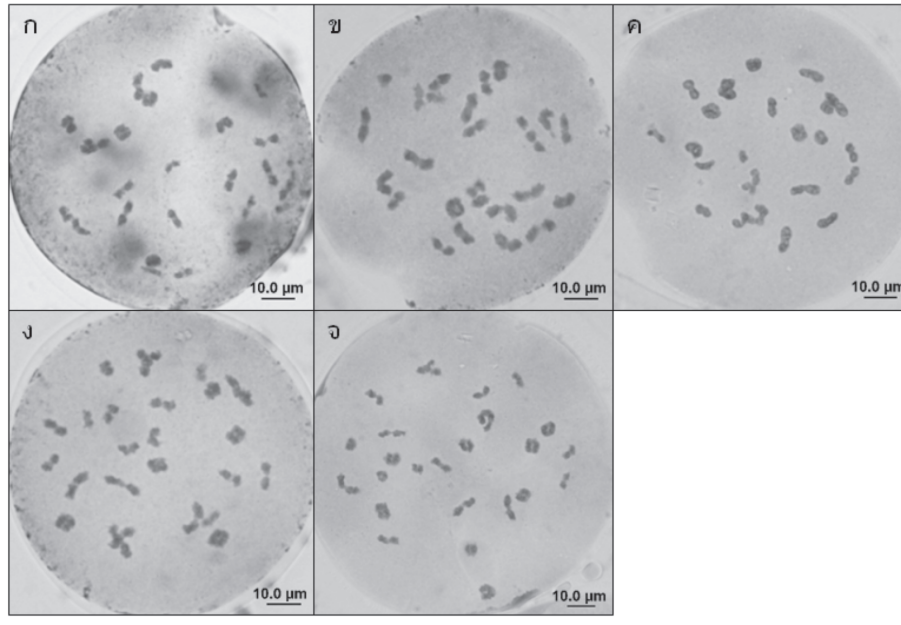
จากการศึกษาจำนวนไคแอสมาต่อเซลล์ของโหระพาที่เก็บมาจากทั้ง 5 จังหวัด (ตารางที่ 2) พบว่าจำนวน ไคแอสมาต่อเซลล์ของโหระพาจากแต่ละจังหวัดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถแบ่งกลุ่มโหระพาได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มของโหระพาที่มีค่าเฉลี่ยจำนวน

ไคแอสมาต่อเซลล์ต่ำ ได้แก่ โหระพาจากจังหวัดเชียงใหม่และนครราชสีมา ซึ่งมีค่าเฉลี่ยจำนวนไคแอสมาต่อเซลล์เท่ากับ 32.73 และ 32.37 ตามลำดับ กลุ่มของโหระพาที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนไคแอสมาต่อเซลล์สูง ได้แก่ โหระพาจากจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และตรัง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยจำนวนไคแอสมาต่อเซลล์เท่ากับ 36.47 และ 36.43 ตามลำดับ และกลุ่มของโหระพาที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนไคแอสมาต่อเซลล์ระหว่างกลาง คือ โหระพาจากจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งมีค่าเฉลี่ยจำนวนไคแอสมาต่อเซลล์เท่ากับ 35.60

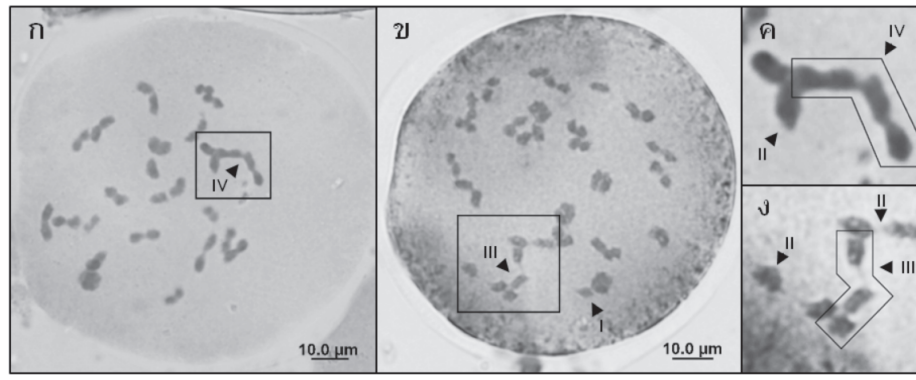
ตารางที่ 2 จำนวนและพฤติกรรมของโครโมโซมของโหระพาจากจังหวัดต่างๆ

จังหวัด	จำนวนโครโมโซม	รูปแบบการเข้าคู่กันของโครโมโซม	ค่าเฉลี่ยจำนวนไคแอสมาต่อเซลล์
เชียงใหม่	52	26 II (96.67%) 24 II + 1 III + 1 I (3.33%)	32.73[a]
นครราชสีมา	52	26 II (96.67%) 24 II + 1 IV (3.33%)	32.37[a]
พระนครศรีอยุธยา	52	26 II (100.00%)	35.60[b]
ประจวบคีรีขันธ์	52	26 II (100.00%)	36.47[c]
ตรัง	52	26 II (100.00%)	36.43[c]

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p<0.05$)



รูปที่ 3 โครโมโซมจากดอกของโหระพาจากจังหวัดเชียงใหม่ (ก) จังหวัดนครราชสีมา (ข) จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (ค) จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (ง) และจังหวัดตรัง (จ)



รูปที่ 4 เซลล์ที่พบความผิดปกติของโครโมโซมในระยะ metaphase I ในโหระพาจากจังหวัดนครราชสีมาพบโครโมโซมที่เข้าคู่กัน 24 bivalent (II) และ 1 quadivalent (IV) (ก และ ค) และในโหระพาจากจังหวัดเชียงใหม่พบโครโมโซมที่เข้าคู่กัน 24 bivalent (II) 1 trivalent (III) และ 1 univalent (I) (ข และ ง)

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

ลักษณะสัณฐานวิทยาของโหระพาในการศึกษานี้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ลักษณะเชิงคุณภาพ (qualitative trait) ได้แก่ สิ่งปกคลุมลำต้น รูปแบบแผ่นใบ รูปแบบช่อดอก สีช่อดอก สีกลีบดอก และลักษณะเชิงปริมาณ (quantitative trait) ได้แก่ ความสูงลำต้น ขนาดใบที่ใหญ่ที่สุด ความยาวช่อดอกที่ยาวที่สุด ความยาวกลีบเลี้ยง และความยาวกลีบดอก ซึ่งจากการศึกษาพบว่าโหระพาจากทั้ง 5 จังหวัด มีลักษณะสัณฐานวิทยาบางลักษณะคล้ายคลึงกัน ได้แก่ ลำต้นปกคลุมด้วยขนสั้นและโค้งลง แผ่นใบมีลักษณะแบนราบ กลีบเลี้ยงมีความยาวประมาณ 7 มิลลิเมตร และกลีบดอกมีความยาวประมาณ 8-9 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่ายีนที่ควบคุมลักษณะพันธุกรรมเหล่านี้ของโหระพาจากทั้ง 5 จังหวัด มีความคล้ายคลึงกันมาก รวมถึงการแสดงลักษณะพันธุกรรมเหล่านี้ไม่ได้รับผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมมากนัก เนื่องจากพื้นที่ 5 จังหวัดนี้มีระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิแตกต่างกัน (ตารางที่ 3) อย่างไรก็ตามพบว่าโหระพาจากทั้ง 5 จังหวัด มีลักษณะสัณฐานวิทยาบางลักษณะแตกต่างกัน ได้แก่ ความสูงของลำต้น ขนาดใบที่ใหญ่ที่สุด ความยาวช่อดอกที่ยาวที่สุด รูปแบบช่อดอก สีช่อดอก และสีกลีบดอก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ว่ายีนที่ควบคุมลักษณะพันธุกรรมเหล่านี้ของโหระพาจากทั้ง 5 จังหวัด มีความแตกต่างกัน รวมถึงสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันส่งผลให้เกิดความแปรผันของลักษณะสัณฐานวิทยาเหล่านี้แตกต่างกัน โดยลักษณะรูปแบบช่อดอก สีช่อดอก และสีกลีบดอก แบ่งโหระพาออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มแรกประกอบด้วยโหระพาจากจังหวัดเชียงใหม่ นครราชสีมา พระนครศรีอยุธยา และประจวบคีรีขันธ์ มีช่อดอกแบบช่อฉัตร ช่อดอกสีม่วงอมเขียว และ กลีบดอกสีม่วง และกลุ่มที่สองประกอบด้วยโหระพาจากจังหวัดตรัง มีช่อดอกแบบช่อแยกแขนง ช่อดอกสีม่วง และ กลีบดอกสีขาว แสดงให้เห็นว่าโหระพาจากจังหวัดตรังมีพันธุกรรมที่แตกต่างจากจังหวัดอื่น เนื่องจากลักษณะรูปแบบช่อดอก สีช่อดอก และสีกลีบดอก เป็นลักษณะเชิงคุณภาพ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความเข้มของสีกลีบดอกของโหระพาจาก

จังหวัดเชียงใหม่ นครราชสีมา พระนครศรีอยุธยา และประจวบคีรีขันธ์ พบว่ามีความเข้มแตกต่างกัน ซึ่งแสดงว่าลักษณะความเข้มของสีกลีบดอกได้รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อมมากเนื่องจากเป็นลักษณะเชิงปริมาณ สำหรับความยาวช่อดอกที่ยาวที่สุดนั้น พบว่ามีความแปรผันมากและไม่สามารถจัดกลุ่มได้ แสดงว่าความยาวช่อดอกที่ยาวที่สุดซึ่งเป็นลักษณะเชิงปริมาณเป็นผลมาจากทั้งพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม ส่วนความสูงของลำต้น และขนาดใบที่ใหญ่ที่สุด พบว่าโหระพาจากจังหวัดตรังมีความสูงมากกว่าโหระพาจากจังหวัดอื่นที่มีความสูงใกล้เคียงกัน และขนาดใบที่ใหญ่ที่สุดใหญ่กว่าโหระพาจากจังหวัดอื่นที่มีขนาดใบที่ใหญ่ที่สุดใกล้เคียงกัน อาจเป็นผลมาจากสภาพแวดล้อมของจังหวัดตรังแตกต่างจากจังหวัดอื่น เช่น ปริมาณน้ำฝนซึ่งสูงกว่าจังหวัดอื่น (ตารางที่ 3) หรืออาจเป็นผลมาจากพันธุกรรมของโหระพาจากจังหวัดตรังแตกต่างจากจังหวัดอื่น

ผลจากการศึกษาสัณฐานวิทยาของโหระพาหลายลักษณะแสดงให้เห็นว่าโหระพาจากจังหวัดตรังมีพันธุกรรมแตกต่างจากพื้นที่อื่น ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าประชากรโหระพาจากจังหวัดตรังถูกแยกออกมาจากประชากรโหระพาจากพื้นที่อื่นๆ เนื่องด้วยสภาพแวดล้อมและสภาพภูมิประเทศ ดังนั้นการเกิด gene flow ระหว่างโหระพาจากจังหวัดตรังกับพื้นที่อื่นๆ จึงถูกจำกัด ส่งผลให้เกิดความแตกต่างทางพันธุกรรมระหว่างโหระพาจากจังหวัดตรังกับโหระพาจากพื้นที่อื่นๆ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Rau และคณะ [19] ซึ่งศึกษาโครงสร้างประชากรของ *Cynara cardunculus* var. *sylvestris* ซึ่งเป็นพืชบรรพบุรุษของอาร์ติโชค (artichoke) ในประเทศอิตาลี โดยใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอในนิวเคลียสและคลอโรพลาสต์ และสามารถแบ่งประชากร *C. cardunculus* var. *sylvestris* ได้เป็น 2 กลุ่ม ที่มีความแตกต่างกันทางพันธุกรรมเนื่องมาจากการเกิด gene flow ระหว่างแต่ละประชากรถูกจำกัด และส่งผลให้แต่ละประชากรของ *C. cardunculus* var. *sylvestris* มีระยะเวลาที่ดอกบาน ขนาดช่อดอก ความมันวาวของใบและลำต้น และการสังเคราะห์แอนโทไซยานินแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเพื่อให้สามารถหาข้อสรุปที่ชัดเจนถึงสาเหตุที่ทำให้โหระพาจากจังหวัดตรังมีลักษณะสัณฐานวิทยาแตกต่างจากจังหวัดอื่น ยังจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลอื่นเพิ่มเติม

ตารางที่ 3 สภาพแวดล้อมของพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างโหระพา [20]

สภาพแวดล้อม	ปี พ.ศ.	เชียงใหม่	นครราชสีมา	พระนครศรีอยุธยา	ประจวบคีรีขันธ์	ตรัง
อุณหภูมิเฉลี่ย	2553	27.3	28.2	28.7	28.4	27.8
(องศาเซลเซียส)	2554	26.0	26.9	27.6	27.4	27.2
	2555	27.0	28.1	28.6	28.0	27.2
	2556	27.0	27.6	28.2	27.7	27.6
	2557	26.7	27.9	28.4	27.8	27.4
อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย	2553	19.0	21.0	20.7	22.3	21.0
(องศาเซลเซียส)	2554	18.9	20.2	21.0	21.6	21.0
	2555	19.5	21.3	21.7	22.4	22.1
	2556	19.3	20.9	20.6	22.2	22.3
	2557	18.7	20.8	20.2	21.2	21.6
อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย	2553	36.4	36.8	36.6	36.2	35.8
(องศาเซลเซียส)	2554	34.6	35.2	35.3	35.5	35.1
	2555	35.8	36.1	35.9	36.3	35.5
	2556	35.6	36.2	36.7	36.3	35.2
	2557	35.6	37.0	36.9	36.2	35.7
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย	2553	1156.0	1386.2	1154.3	722.8	2342.7
(มิลลิเมตร)	2554	1449.5	1208.6	1529.6	901.5	2335.4
	2555	958.4	1054.0	892.8	1175.8	2579.1
	2556	1288.0	1306.0	779.2	1418.5	2242.2
	2557	1064.4	976.7	1154.3	998.5	2076.9

สำหรับการศึกษาจำนวนโครโมโซมของโหระพา พบว่าโหระพาจากจังหวัดเชียงใหม่ นครราชสีมา ประจวบคีรีขันธ์ พระนครศรีอยุธยา และตรัง มีจำนวนโครโมโซมเท่ากัน คือ 2n = 52 สอดคล้องกับการรายงานจำนวนโครโมโซมของโหระพาที่พบในประเทศไทยโดย Paton และ Putievsky [11] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโหระพาที่พบในประเทศไทยมีจำนวนโครโมโซมหลายชุดหรือเป็น polyploid ดังเช่นโหระพาที่พบทั่วโลก [21] นอกจากนี้ยังพบความผิดปกติของโครโมโซมในระยะ metaphase I ได้แก่ quadivalent trivalent และ univalent ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าโหระพาเป็น polyploid [22] อย่างไรก็ตามผลการศึกษาจำนวนโครโมโซมในครั้งนี้แตกต่างจากจำนวนโครโมโซมของโหระพาที่รายงานโดย Congchuensin [17] นั่นคือ 2n = 48 อาจเนื่องมาจากการเก็บตัวอย่างโหระพาในการศึกษานี้ยังไม่ครอบคลุมทุกประชากรของโหระพาที่มีอยู่ในประเทศไทย

จากการศึกษาพฤติกรรมของโครโมโซมในระยะ metaphase I พบว่าโหระพาจากทั้ง 5 จังหวัด มีค่าเฉลี่ยจำนวนไคแอสมาต่อเซลล์แตกต่างกันซึ่งทำให้สามารถแบ่งกลุ่มโหระพาออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มของโหระพาที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนไคแอสมาต่อเซลล์ต่ำ ประกอบด้วยโหระพาจากจังหวัดเชียงใหม่และนครราชสีมา กลุ่มของโหระพาที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนไคแอสมาต่อเซลล์สูง ประกอบด้วยโหระพาจากจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และตรัง และกลุ่มของโหระพาที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนไคแอสมาต่อเซลล์ระหว่างกลาง ประกอบด้วยโหระพาจากจังหวัดพระนครศรีอยุธยา แสดงให้เห็นว่าโหระพาที่มาจากพื้นที่ต่างกันมีการเกิดรีคอมบิเนชันของโครโมโซมในระดับที่แตกต่างกัน 3 ระดับ เนื่องจากจำนวนไคแอสมาแสดงถึงจำนวนการเกิดครอสซิงโอเวอร์ซึ่งส่งผลต่อจำนวนการเกิดรีคอมบิเนชันของโครโมโซม [23] โดยการเกิดรีคอมบิเนชันของโครโมโซมในระดับที่แตกต่างกันของโหระพาที่มาจากพื้นที่ต่างกันอาจเกี่ยวข้องกับการลดการเกิดรีคอมบิเนชันของโครโมโซมในกรณีที่พืชเป็น polyploid เพื่อลดการเกิดความผิดปกติของโครโมโซมระหว่างการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสที่อาจส่งผลต่อความมีชีวิตของเรณู [24] ดังเช่นผลการศึกษาของ Lopez และคณะ [23] ซึ่งพบว่าในพืชสกุล Senecio วงศ์ทานตะวัน (Asteraceae) ที่เป็น polyploid มีการลดการเกิดรีคอมบิเนชันเพื่อลดการเกิดความผิดปกติของโครโมโซมระหว่างการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส นอกจากนี้ยังพบความผิดปกติของโครโมโซมในระยะ metaphase I ได้แก่ quadivalent trivalent และ univalent ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการลดการเกิดรีคอมบิเนชันของโครโมโซมของโหระพาอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโครโมโซมที่เกิดจากการเกิดทรานสโลเคชัน อย่างไรก็ตามการลดการเกิดรีคอมบิเนชันของโครโมโซมของโหระพาอาจเป็นผลมาจากกลไกควบคุมการเกิดรีคอมบิเนชันในระดับยีน ดังนั้นจึงเป็นเรื่องน่าสนใจที่จะศึกษาเปรียบเทียบจำนวน ขนาด และรูปร่างของโครโมโซมของโหระพาจาก 5 จังหวัด จากการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและจัดทำแคริโอไทป์เพื่อใช้ในการอธิบายสาเหตุของการลดการเกิดรีคอมบิเนชันของโครโมโซม

จากผลของค่าเฉลี่ยจำนวนไคแอสมาต่อเซลล์ที่ทำให้สามารถแบ่งกลุ่มโหระพาออกเป็น 3 กลุ่ม โดยโหระพาจากจังหวัดเชียงใหม่และนครราชสีมา ซึ่งเป็นกลุ่มของโหระพาที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนไคแอสมาต่อเซลล์ต่ำนั้นเจริญเติบโตบนพื้นที่ที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 284-308 เมตร ในขณะที่โหระพาจากจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และตรัง ซึ่งเป็นกลุ่มของโหระพาที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนไคแอสมาต่อเซลล์สูง และโหระพาจากจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งเป็นกลุ่มของโหระพาที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนไคแอสมาต่อเซลล์ระหว่างกลาง เจริญเติบโตบนพื้นที่ที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 9-18 เมตร นอกจากนี้อุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนในแต่ละจังหวัดยังมีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 3) สอดคล้องกับการศึกษาของ Noormohammadi และคณะ [25] ซึ่งพบว่า *Linum austriacum* ซึ่งเป็นพืชวงศ์ Linaceae ที่เจริญเติบโตในพื้นที่ที่มีระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลต่างกัน มีจำนวนไคแอสมาต่อเซลล์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จึงเป็นไปได้ว่าความแตกต่างของจำนวนไคเอสมาต่อเซลล์ระหว่างแต่ละประชากรเป็นผลมาจากการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันในแต่ละระดับความสูงของพื้นที่

จากการศึกษาจำนวนและพฤติกรรมของโครโมโซมในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส รวมถึงรายงานการศึกษาโครโมโซมของโหระพาที่พบในประเทศไทย พบว่ามีจำนวนโครโมโซม 2n = 52 และ 48 มีค่าเฉลี่ยจำนวนไคแอสมาต่อเซลล์แตกต่างกัน และพบความผิดปกติของโครโมโซมในระยะ metaphase I แสดงให้เห็นว่าโหระพาที่พบในประเทศไทยน่าจะเกิดจากการเพิ่มจำนวนชุดของโครโมโซมหรือการเกิด polyploidization [26] แล้วมีการลดการเกิดรีคอมบิเนชันผ่านกระบวนการทรานสโลเคชันเพื่อให้โหระพาที่อยู่ในสภาวะ

polyploid ปรับตัวให้อยู่ในสภาวะที่คล้ายกับ diploid หรือการเกิด diploidization ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดวิวัฒนาการของโครโมโซมในพืชชนิดอื่นๆ ที่มีการศึกษามาก่อน เช่น พืชในวงศ์ผักกาด (Brassicaceae) ซึ่งเกิด polyploidization จากการรวมกันของจีโนมพืชอย่างน้อย 2 ชนิด ทำให้เป็น polyploid จากนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ กับโครโมโซม (chromosome rearrangement) ผ่านกระบวนการหลักคือการเกิดทรานสโลเคชัน จึงส่งผลให้เกิด diploidization ซึ่งทำให้จำนวนโครโมโซมลดลงและพืชเปลี่ยนเป็น diploid [27]

ผลจากการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาสามารถจัดกลุ่มโหระพาได้ 2 กลุ่ม จากลักษณะรูปแบบช่อดอก สีช่อดอก และสีกลีบดอก ในขณะที่ผลจากการศึกษาพฤติกรรมของโครโมโซมในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสของโหระพาสามารถจัดกลุ่มโหระพาได้ 3 กลุ่ม จากค่าเฉลี่ยจำนวนไคแอสมาต่อเซลล์ที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมของโครโมโซมในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสและลักษณะสัณฐานวิทยาไม่มีความสัมพันธ์กัน ดังนั้นถ้าหากค่าเฉลี่ยจำนวน ไคแอสมาต่อเซลล์ที่แตกต่างเกิดจากการลดการเกิดรีคอมบิเนชันของโครโมโซมผ่านกระบวนการทรานสโลเคชัน แสดงว่าการทรานสโลเคชันเกิดในตำแหน่งที่ไม่ใช่ยีนจึงไม่ส่งผลต่อลักษณะสัณฐานวิทยาของโหระพา และมีความเป็นไปได้ว่าความแตกต่างของลักษณะสัณฐานวิทยาเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงในระดับยีนเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน [28-29]

สรุปได้ว่าโหระพาจากทั้ง 5 จังหวัด มีจำนวนโครโมโซมเท่ากัน คือ 2n = 52 หรือ 26 ไบวาเลนต์ ซึ่งอยู่ในสภาวะที่เป็น polyploid และมีการลดการเกิดรีคอมบิเนชันในระดับที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ซึ่งน่าจะเป็นผลจากสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าการลดการเกิดรีคอมบิเนชันของโหระพาอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโครโมโซมที่เกิดจากการเกิดทรานสโลเคชัน อย่างไรก็ตามยังไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมของโครโมโซมในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสกับความหลากหลายของลักษณะสัณฐานวิทยา ดังนั้นการศึกษาข้อมูลต่างๆ เพิ่มเติมเพื่ออธิบายสาเหตุของการลดการเกิดรีคอมบิเนชันของโครโมโซม รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมและลักษณะสัณฐานวิทยาจึงเป็นเรื่องน่าสนใจ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์ ทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย สำหรับการสนับสนุนค่าใช้จ่ายในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Paton, A., Harley, R. M., and Harley, M. M. 1999. *Ocimum:* An Overview of Relationships and Classification. In: Hiltunen, R., and Holm, Y., Editors. Basil: The genus *Ocimum.* Amsterdam. Harwood Academic. p. 1–38.
2. Carović-Stanko, K., Liber, Z., Besendorfer, V., Javomik, B., Bohanec, B., and Satovic, Z. 2010. Genetic Relations among Basil Taxa (*Ocimum* L.) Based on Molecular Markers, Nuclear DNA Content, and Chromosome Number. *Plant Systematics and Evolution.* 285: 13–22.

3. Keng, H. 1978. Labiatae. In: Steenis, C. G. G. J. V., Editors. Flora Malesiana vol. 8. The Netherlands. Sijthoff and Noordhoff International. p. 301–393.
4. Lawrence, B. M. 1992. Chemical Components of Labiatae Oils and Their Exploitation. In: Harley, R. M., and Reynolds, T., Editors. Advances in Labiate Science. UK. Royal Botanic Gardens, Kew. p. 399–436.
5. Makari, O., and Kintzios, S. 2008. *Ocimum* sp. (Basil): Botany, Cultivation, Pharmaceutical Properties, and Biotechnology. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants.* 13(3): 123–150.
6. Werker, E., Putievsky, E., Ravid, U., Dudai, N., and Katzir, I. 1993. Glandular Hairs and Essential Oil in Developing Leaves of *Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae). *Annals of Botany.* 71(1): 43–50.
7. Siddiqui, B. S., Bhatti, H. A., Begum, S., and Perwaiz, S. 2012. Evaluation of the Antimycobacterium Activity of the Constituents from *Ocimum basilicum* against *Mycobacterium tuberculosis. Journal of Ethnopharmacology.* 144(1): 220–222.
8. El–Beshbishy, H., and Bahashwan, S. 2012. Hypoglycemic Effect of Basil (*Ocimum basilicum*) Aqueous Extract Is Mediated through Inhibition of α–Glucosidase and α–Amylase Activities: An In Vitro Study. *Toxicology and Industrial Health.* 28(1): 42–50.
9. Yingsumon, G. 2012. Encyclopedia of Thai Herbs. 1st Edition. Bangkok. Todsaporn. p. 282. (in Thai)
10. Grayer, R. J., Kite, G. C., Goldstone, F. J., Bryan, S. E., Paton, A., and Putievsky, E. 1996. Infraspecific Taxonomy and Essential Oil Chemotypes in Sweet Basil, *Ocimum basilicum. Photochemistry.* 43(5): 1033–1039.
11. Paton, A., and Putievsky, E. 1996. Taxonomic Problems and Cytotaxonomic Relationships between and within Varieties of *O. basilicum* and Related Species (Labiatae). *Kew Bulletin.* 51(3): 509–524.
12. Srivastava, H. K. 2002. Basil (Ocimum Species) and Genetic Improvement for Essential Oils. In: Sahoo, S., Ramesh, D. B., Panda, P. K., and Misra, V. N., Editors. Plant Resources Utilization. New Delhi. Allied Publishers Pvt. p. 232–260.
13. Suddee, S., Paton, A. J., and Parnell, J. A. N. 2005. Taxonomic Revision of Tribe Ocimeae Dumort. (Lamiaceae) in Continental South East Asia III. Ociminae. *Kew Bulletin.* 60(1): 3–75.
14. Labra, M., Miele, M., Ledda, B., Grassi, F., Mazzei, M., and Sala, F. 2004. Morphological Characterization, Essential Oil Composition and DNA Genotyping of *Ocimum basilicum* L. Cultivars. *Plant Science.* 167: 725–731.

15. Edet, O. U., and Aikpokpodion, P. O. 2014. Karyotype Analysis of *Ocimum basilicum* in South–Eastern Nigeria. *American Journal of Plant Sciences.* 5: 126–131.
16. Mukherjee, M., Datta, A. K., and Maiti, G. G. 2005. Chromosome Number Variation in *Ocimum basilicum* L. Cytologia. 70(4): 455–458.
17. Congchuensin, S. 1972. A Genetical Study of the Genus Ocimum (Master's Thesis). Kasetsart University, Bangkok, Thailand.
18. Sharma, A. K., and Sharma, A. 1999. Plant Chromosome: Analysis, Manipulation and Engineering. Amsterdam. Harwood Academic. p. 99–102.
19. Rau, D., Rodrigueza, M., Rapposellic, E., Murgiaa, M. L., Papad, R., Browne, A. H. D., and Attene, G. 2016. Spatial Genetic Structure in Wild Cardoon, the Ancestor of Cultivated Globe Artichoke: Limited Gene Flow, Fragmentation and Population History. *Plant Science.* 253: 194–205.
20. Changeam, S. 2016. Climate Information Service (CIS). Available from Information Technology Center, Thai Meteorological Department. 7 September 2016. (in Thai)
21. Khosla, M. K. 1995. Study of Inter–Relationship, Phylogeny and Evolutionary Tendencies in Genus *Ocimum. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding.* 55(1): 71–83.
22. Tayalé, A., and Parisod, C. 2013. Natural Pathways to Polyploidy in Plants and Consequences for Genome Reorganization. *Cytogenetic and Genome Research.* 140: 79–96.
23. Lopez, M. G., Xifreda, C. C., Poggio, L., and Wulff, A. F. 2013. Deep Dytogenetics Analysis Reveals Meiotic Recombination Depletion in Species of Senecio (Asteraceae). *Botanical Studies.* 54(1): 1–11.
24. Mandáková, T., Gloss, A. D., Whiteman, N. K., and Lysak, M. A. 2016. How Diploidization Turned a Tetraploid into a Pseudotriploid. *American Journal of Botany.* 103(7): 1–10.
25. Noormohammadi, Z., Shafaf, T., Farahani, F., Sheidai, M., Talebi, S., and Hasheminejad-Ahangarani–Farahani, Y. 2015. Within and among–Genetic Variation in Asian Flax *Linum austriacum* (Linaceae) in Response to Latitude Changes: Cytogenetic and Molecular Analyses. *Biodiversitas.* 16(2): 145–150.
26. Soltis, P. S., Marchant, D. B., de Peer, Y. V., and Soltis, D. E. 2015. Polyploidy and Genome Evolution in Plants. *Current Opinion in Genetics and Development.* 35: 119–125.
27. Lysak, M. A., Berr, A., Pecinka, A., Schmidt, R., McBreen, K., and Schubert, I. 2006. Mechanisms of Chromosome Number Reduction in *Arabidopsis thaliana* and Related Brassicaceae Species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* 103(13): 5224–5229.

28. Quilot–Turion, B., Leppälä, J., Leinonen, P. H., Waldmann, P., Savolainen, O., and Kuittinen, H. 2013. Genetic Changes in Flowering and Morphology in Response to Adaptation to a High-Latitude Environment in *Arabidopsis lyrata. Annals of Botany.* 111(5): 957–968.
29. Sobral, M., Veiga, T., Domínguez, P., Guitián, J. A., Guitián, P., and Guitián, J. M. 2015. Selective Pressures Explain Differences in Flower Color among *Gentiana lutea* Populations. *PLoS ONE.* 10(7): e0132522. doi:10.1371/journal.pone.0132522.

ได้รับบทความวันที่ 21 ธันวาคม 2559
ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 15 มิถุนายน 2560