P-ISSN 0858-4435
E-ISSN 2651-1231
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี Homepage : http://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj
ปีที่ 30 ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม 2565) หน้า [16-25]

แคริโอไทป์และพฤติกรรมการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสของมวนผักกาด (*Strachia crucigera*)

Karyotype and Meiotic Chromosome Behavior of Leaf Sucking Bug (*Strachia crucigera*)

วิจิตร์ วิโสรัมย์[1,*], มิ่งขวัญ นิพิฐวัธนะผล[2]

[1]สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี 20110

[2]ภาควิชาพันธุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

Wijit Wisoram[1,*], Mingkwan Nipitwattanaphon[2]

[1]Department of Scienc and Mathematics, Faculty of Science and Tecnology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chon Buri 20110

[2]Department of Genetics, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok 10900

Received 13 July 2022; Received in revised 28 August 2022; Accepted 20 September 2022

บทคัดย่อ

มวนผักกาด (*Strachia crucigera*) เป็นแมลงศัตรูพืชชนิดหนึ่งที่พบมากในแปลงผักตระกูลกะหล่ำ แมลงกลุ่มมวนจะมีโครโมโซมลักษณะพิเศษที่เรียกว่า โครโมโซมโฮโลเซนตริก (holocentric chromosome) เมื่อมีการแตกหักก็ยังสามารถถูกดึงไปยังขั้วเซลล์ได้ในระยะแอนาเฟส โดยไม่มีการสูญเสียโครโมโซม ทำให้สามารถแบ่งเซลล์ได้ตามปกติ ในการศึกษาครั้งนี้เก็บตัวอย่างแมลงในจังหวัดชลบุรี เพื่อศึกษาพฤติกรรมการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสและแคริโอไทป์ของมวนผักกาด โดยการย้อมเนื้อเยื่ออัณฑะของมวนผักกาดตัวผู้ด้วยสีอะซิโตออร์ซีน พบว่า มีจำนวนโครโมโซม 2n= 14 (12A+XY) พฤติกรรมของโครโมโซมร่างกายและโครโมโซมเพศยังแตกต่างกัน ซึ่งโครโมโซมร่างกายมีการแบ่งแบบ pre-reductional โครโมโซมเพศมีการแบ่งแบบ post-reductional และระยะเมทาเฟส 1 โครโมโซมร่างกายมีการจัดเรียงตัวเป็นรูปวงแหวน โครโมโซมเพศมีการเข้าคู่กันแบบเทียม (pseudobivalent) ระยะแอนาเฟส 1 โครโมโซมเพศทั้งโครโมโซม X และโครโมโซม Y จะถูกดึงไปยังขั้วเซลล์ แต่ในระยะแอนาเฟส 2 โครโมโซมเพศจะแยกไปคนละขั้วเซลล์ นอกจากนี้พฤติกรรมการแสดงออกของโครโมโซมมวนตัวนี้มีการแสดงออกคล้ายคลึงกับสปีชีส์อื่น ๆ ของแมลงอันดับเฮมิพเทอรา

คำสำคัญ: มวนผักกาด; โครโมโซมโฮโลเซนตริก; การเข้าคู่แบบเทียม

***ผู้รับผิดชอบบทความ:** wijit_wi@rmutto.ac.th

doi: 10.14456/tstj.2022.48

Abstract

Leaf sucking bug or black cabbage bug, *Strachia crucigera* is an insect that lives in vegetable plots, including cabbage and cauliflower. It has a particular type of chromosome called holocentric chromosomes that allow fragmented chromosomes to move to a pole at anaphase, thus preventing chromosome loss. In this study, the black cabbage bugs collected from Chon Buri province were studied for meiotic chromosome behavior and karyotype using aceto-orcein staining. The result revealed that the chromosome complement of *Strachia crucigera* was 2n = 14 (12A+XY). Meiotic chromosome behaviors showed that autosomes divided pre-reductionally while sex chromosomes divided post-reductionally (divide equationally at anaphase I but divide reductionally at anaphase II). At metaphase I, the sex chromosomes, X and Y, often formed a pseudo-bivalent at the center of the ring, while the autosomal bivalents were arranged in a circle. Meiosis cell division of this insect is similar to that of other Heteropteran species (insect, Hemiptera).

Keywords: *Strachia crucigera;* Holocentric chromosome; Pseudo-bivalent

1. บทนำ

มวนผักกาด (leaf sucking bug, black cabbage bug; *Strachia crucigera*) จัดอยู่ในวงศ์ Pentatomidae ของอันดับ Hemiptera เป็นแมลงขนาดเล็ก ตัวเต็มวัยมีความยาว 8-9 มิลลิเมตร ลักษณะลำตัวกว้างแบนและสั้น มีสีดำหรือน้ำตาลเข้ม มีสีดำและจุดเหลืองและขาวบนปีก ซึ่งมองดูคล้ายเป็นรูปแบบหน้ากาก (Figure 1) มวนผักกาดเป็นมวนศัตรูพืชผักที่พบทั่วไปได้ในทุกภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะตามแปลงผัก เช่น กวางตุ้ง คะน้า และผักกาด พืชที่ถูกทำลายจะมีร่องรอยทำให้เหี่ยวเฉาที่ใบและยอดอ่อน ซึ่งเกิดจากการดูดกินของตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของแมลง [1]

Figure 1 Adults of the leaf sucking bug (*Strachia crucigera*), male (left) and female (right) were mating.

สิ่งมีชีวิตในธรรมชาติจะมีลักษณะทางพันธุกรรมที่แตกต่างกันจากสภาพภูมิศาสตร์ที่อาศัยอยู่แตกต่างกัน แม้ว่าในบางกรณี เช่น sibling species จะไม่สามารถตรวจสอบความแตกต่างได้จากรูปร่างลักษณะภายนอกก็ตาม การศึกษาระดับพันธุศาสตร์เซลล์ของสิ่งมีชีวิต เช่น การศึกษาวิเคราะห์แคริโอไทป์ ซึ่งศึกษารายละเอียดแต่ละแท่งของโครโมโซมทั้งในรูปร่าง จำนวน และชนิดของโครโมโซม ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการจัดจำแนกชนิดและศึกษาวิวัฒนาการได้ เนื่องจากแคริโอไทป์จะคงที่ในสปีชีส์เดียวกัน แต่อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ระหว่างที่มีการวิวัฒนาการ โดยสิ่งมีชีวิตที่มีความเกี่ยวข้องกันจะมีความสัมพันธ์กันทางแคริโอไทป์ร่วมกัน และสามารถใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ การปรับปรุงพันธุ์ หรือเชิงอนุรักษ์

พันธุศาสตร์เซลล์ของแมลงในกลุ่มเฮมิพเทอรา มีความน่าสนใจเพราะโครโมโซมของแมลงพวกนี้มีลักษณะเฉพาะแตกต่างจากที่เคยรู้จักทั่วไป คือ มีลักษณะเป็นแบบโครโมโซมโฮโลเซนตริก (holocentric chromosome) ซึ่งเป็นโครโมโซมที่ไม่มีตำแหน่งของเซนโตรเมียร์ (centromere) บนแท่งโครโมโซมชัดเจน

แต่เซนโตรเมียร์จะกระจายอยู่ทั่วไปตลอดความยาวของแท่งโครโมโซม [2] ถ้ามีการหักของแท่งโครโมโซมเกิดขึ้นระหว่างการแบ่งเซลล์ไมโอซิส ชิ้นส่วนของโครโมโซมเหล่านั้นจะกลายเป็นโครโมโซมขนาดเล็กเรียกว่า m-โครโมโซม (m-chromosome) ซึ่งจะยังคงดำเนินการตามขั้นตอนในกระบวนการแบ่งเซลล์โดยมีการเคลื่อนที่ไปยังขั้วเซลล์ในระยะแอนาเฟสได้ตามปกติ [3,4] อย่างไรก็ตามพฤติกรรมของการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสของโครโมโซมร่างกายและโครโมโซมเพศยังคงมีความแตกต่างกัน โดยในไมโอซิส 1 โครโมโซมร่างกายจะมีการแบ่งลดจำนวนโครโมโซม (reductional division) ในขณะที่โครโมโซมเพศจะเป็นการแบ่งแบบไม่ลดจำนวนโครโมโซม (equational division) ซึ่งเป็นการแยกของซิสเตอร์โครมาทิด

โครโมโซมโฮโลเซนตริก (Holocentric chromosome) คือ โครโมโซมที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่างปลายของโครโมโซมที่เป็นคู่เหมือนกัน (homologous chromosome) ยกเว้นโครโมโซมเพศ มักพบว่ามีการเข้าคู่แบบเทียม (pseudobivalent) ตามปกติแล้วโครโมโซมเพศมักจะปรากฏอยู่เดี่ยวๆ (univalent) ซึ่งสามารถระบุและยืนยัน holocentricity ได้จะต้องใช้หลักเกณฑ์หลายประการ เช่น วิธีการทางพันธุศาสตร์เซลล์ สามารถพบโครโมโซมโฮโลเซนตริกได้ใน mitotic หรือ meiotic chromosome ได้เช่นกัน โดยสังเกตได้จากโครโมโซมในระยะเมทาเฟสจะมีการกระจายตัวและในแท่งโครโมโซมทั้งหมดจะไม่พบ primary constriction (ไม่พบรูปร่างโครโมโซม (sub-) metacentric chromosome) (Figure 2a) ระยะระหว่างแอนาเฟส จะพบไคนีโทคอร์ตลอดความยาวของแท่งโครโมโซมและในระยะแอนาเฟส คู่ของ sister chromatids จะถูกดึงให้ขนานกับขั้วสปินเดิล (Figure 2b) และพบว่าความพิเศษอีกอย่างหนึ่งของโครโมโซมโฮโลเซนตริก คือ กรณีที่มีการแตกหักของแท่งโครโมโซมเกิดขึ้นระหว่างการแบ่งเซลล์ไมโอซิส ชิ้นส่วนของโครโมโซมทั้งหมดจะยังคงมีการแบ่งเซลล์โดยสามารถเคลื่อนไปยังขั้วเซลล์ในระยะแอนาเฟสได้ตามปกติ [3,4] (Figure 2c)

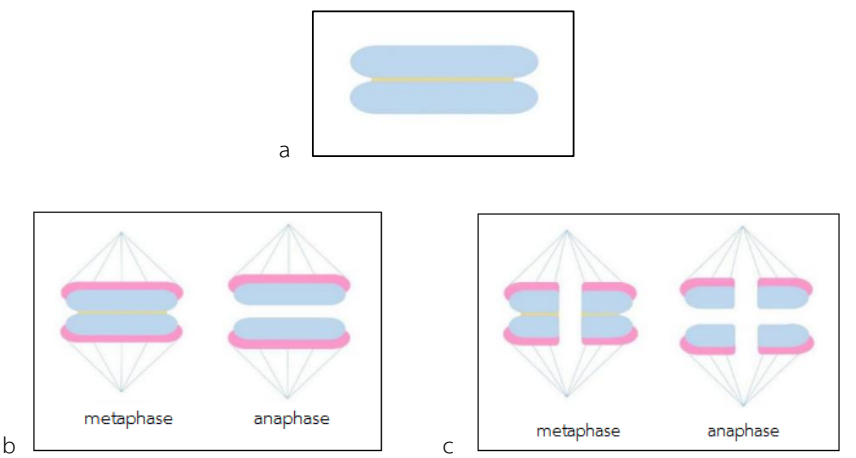

Figure 2 Characteristics of holocentric chromosome: **(a)** no primary constriction in metaphase chromosome, **(b)** the whole chromosome retains spindle fiber kinetic activity **(c)** broken chromosome can still retain kinetic activity of spindle fiber.

การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสของโครโมโซมร่างกายและโครโมโซมเพศมีพฤติกรรมแตกต่างกัน โครโมโซมร่างกายจะมีการแบ่งแบบ pre-reductional ซึ่งหมายถึงมีการลดจำนวนโครโมโซมลงครึ่งหนึ่งในการแบ่งไมโอซิส 1 และไม่ลดจำนวนโครโมโซมลงในการแบ่งไมโอซิส 2 คู่โครโมโซมโฮโมเซนตริก จะถูกดึงไปยังขั้วเซลล์ในระยะไมโอซิส 1 (Figure 3) และมีการเข้าคู่กัน (bivalent) โดยพบจุดไคแอสมา 1-2 จุดต่อ คู่โครโมโซม (one chiasma or two chiasmata per bivalent) และเริ่มแบ่งจำนวนโครโมโซมเพื่อเริ่มกระบวนการลดจำนวน นอกจากนี้ในระยะเมทาเฟส 1 โครโมโซมร่างกายมีการจัดเรียงตัวที่บริเวณกึ่งกลางเซลล์เป็นรูปวงแหวน ในขณะที่โครโมโซมเพศจะเรียงตัวที่กึ่งกลางเซลล์ ไม่ปรากฏการเข้าคู่กันของโครโมโซม (univalent) และไม่พบจุดไคแอสมา (achiasma) ในระยะการแบ่งเซลล์ในไมโอซิส 1 โครโมโซมเพศมีการแบ่งแบบ post-reductional ซึ่งหมายถึงในการแบ่งไมโอซิส 1 จะไม่มีการลดจำนวนโครโมโซม เป็นการแยกกันของซิสเตอร์โครมาทิด และจะมีการลดจำนวนโครโมโซมในไมโอซิส 2 ซึ่งเป็นการแยกกันของโฮโมโลกัสโครโมโซม (Figure 4) [2,5] สำหรับแมลงในบางวงศ์มีรายงานว่ามีโครโมโซมขนาดเล็กหรือ m-โครโมโซม เช่น Belostomatidae (*Lethocerus indicus*) [6] Coreidae (*Dallacoris pictus* and *Anasa bellator*) [7] m-โครโมโซม เหล่านี้จะไม่มีการเข้าคู่กันหรือเข้าคู่กันแบบเทียม (pseudobivalent) คล้ายโครโมโซมเพศ แต่มีการแบ่งโดยลดจำนวนโครโมโซมในไมโอซิส 1 แบบเดียวกับออโตโซม [8] โครโมโซมเพศของแมลงกลุ่มนี้มี 4 ระบบคือ โครโมโซมเพศแบบ XX/XY เป็นแบบทั่วไปที่พบมากที่สุดในแมลง โครโมโซมเพศแบบ XX/XO โครโมโซมเพศแบบที่มีโครโมโซม X มากกว่า 1 แท่ง เช่น X_nX_n/X_nY, X_nX_n/Xn_O และโครโมโซม Y มีมากกว่า 1 แท่ง เช่น XX/XY_n เรียกว่า multiple sex chromosome system [9,10]

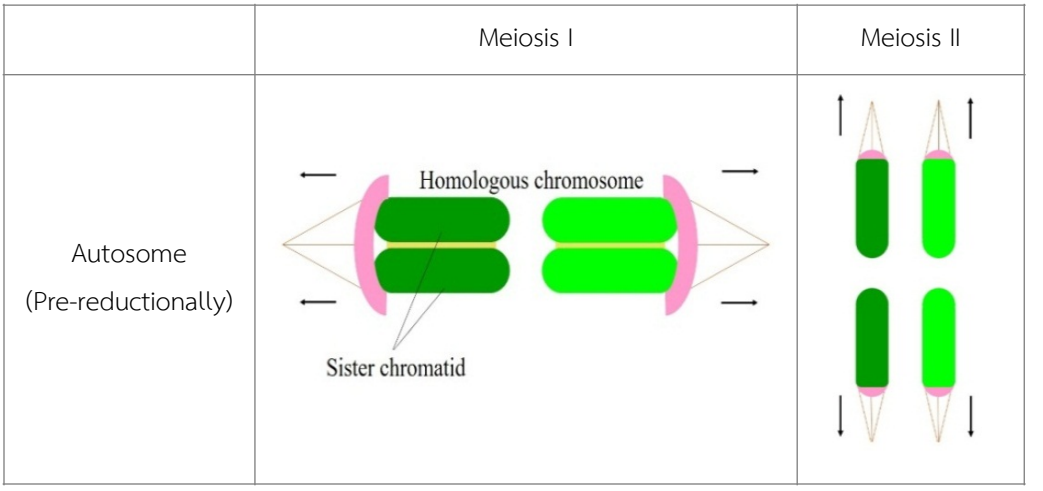

Figure 3 Diagram shows autosomes divide pre-reductionally and the telokinetic activity of chromosomes.

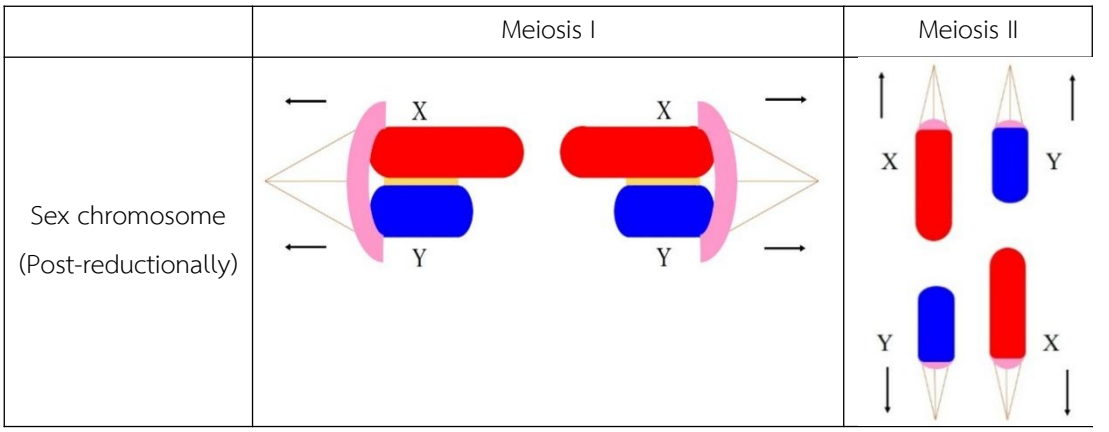

Figure 4 Diagram shows sex chromosomes divide post-reductionally and the telokinetic activity of sex chromosomes.

2. วิธีดำเนินการวิจัย

เก็บตัวอย่างมวนผักกาดตัวผู้ระยะตัวเต็มวัย แปลงผักพืชศาสตร์บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ทำให้แมลงสลบโดยการแช่ช่องแข็งในตู้เย็นประมาณ 3-5 นาที นำแมลงที่สลบตัดชิ้นส่วนอัณฑะแช่ในสารละลายคงสภาพสารละลายคาร์นอยด์ (Carnoy's solution; เมทานอล: กรดอะซิติกเข้มข้น ในอัตราส่วน 3:1) เก็บไว้ในตู้เย็นข้ามคืน (ประมาณ 6°C) แล้วเปลี่ยนเป็นเมทานอล 70% ซึ่งทำให้เนื้อเยื่อสามารถเก็บได้นานหลายปี จากนั้นนำเนื้อเยื่ออัณฑะที่อยู่ในเมทานอล 70% ล้างด้วยน้ำกลั่นและตัดเนื้อเยื่อเป็นชิ้นเล็กๆ หยดสีย้อมอะซิโตออร์ซีน 0.1% ประมาณ 1-2 หยดๆ บนเนื้อเยื่อบนสไลด์ แล้วนำมาบดขยี้ (squash technique) เพื่อให้เซลล์กระจายตัว แล้วนำสไลด์ไปค้นหาระยะต่างๆ ใต้กล้องจุลทรรศน์โดยใช้กำลังขยาย 1000 เท่า บันทึกภาพด้วยกล้อง Olympus รุ่น DP72 digital camera นำภาพระยะเมทาเฟส 1 ที่มีการกระจายของโครมโซมดีไม่มีการซ้อนทับกัน นับจำนวนโครโมโซมจำนวน 200 เซลล์แมลงเพศผู้ทั้งหมด 10 ตัว จากนั้นจัดเรียงโครโมโซมตามขนาดของโครโมโซมโดยเรียงจากขนาดใหญ่ที่สุดในตำแหน่งคู่ที่ 1 และคู่เล็กตามลำดับและบันทึกภาพเซลล์ที่มีการแบ่งเซลล์ระยะต่างๆ ของไมโอซิส

3. ผลการวิจัย

ผลการศึกษาวิเคราะห์โครโมโซมในระยะเมทาเฟส 1 ของการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสของมวนผักกาดจากการย้อมสีอะซิโตออร์ซีน พบว่ามีจำนวนโครโมโซม 14 แท่ง คือ 2n = 14 (12A + XY) และได้จัดเรียงแคริโอไทป์ตามขนาดและรูปร่างของโครโมโซม (Figure 5a-b) ซึ่งเป็นแคริโอแกรมของมวนผักกาดเพศผู้ ประกอบด้วยโครโมโซมร่างกาย (autosome) 12 แท่ง และ โครโมโซมเพศ (sex chromosome) 2 แท่ง ได้แก่ โครโมโซม X และ โครโมโซม Y โดยโครโมโซม X มีขนาดเล็กกว่าโครโมโซมร่างกายทั้ง 6 คู่และโครโซม Y เป็นโครโมโซมที่มีขนาดเล็กที่สุด

จากการศึกษาพฤติกรรมของโครโมโซมในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ในระยะเลพโททีน (Figure 6a) โครโมโซมเริ่มขดสั้น ในระยะไซโกทีน (Figure 6b) ซึ่งเริ่มมีการเข้าคู่กันของโฮโมโลกัสโครโมโซมจะเห็นโครโมโซมหนาขึ้นกว่าในระยะเลพโททีน และขดสั้นขึ้น และมีการขดสั้นมากขึ้นและหนาขึ้นอีกในระยะ แพคไคทีน (Figure 6c-d) ในระยะ ดิโพลทีน โครโมโซมจะขดหนาขึ้นมากจนเริ่มเห็นเป็นแท่งและพบว่ามีการไขว้กันซึ่งเกิดจากการแยกตัวของโครโมโซมออกจากกันหลังการเกิดครอสซิงโอเวอร์ในระยะแพคไคทีน ทำให้เห็นส่วนที่ยังเกี่ยวพัน

กันอยู่ เรียกว่า ไคแอสมา (chiasma หรือ chiasmata) ซึ่งเป็นลักษณะที่พบได้ชัดเจนในระยะนี้ ในมวนผักกาด โครโมโซมคู่ที่ 1 ซึ่งมีขนาดใหญ่ที่สุดจะเห็นไคแอสมา 2 ตำแหน่ง และโครโมโซมคู่อื่นๆ จะเห็นเพียง 1 ตำแหน่ง ในขณะที่โครโมโซมเพศจะไม่มีไคแอสมา (achiasma) เนื่องจากเป็นการเข้าคู่กันแบบเทียมเท่านั้น ไม่มีการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของโครโมโซม

นอกจากนี้ ในระยะต้นของโพรเฟส 1 (leptotene, zygotene, pachytene, diplotene) (Figure 6a-e) จะมองเห็นจุดกลมที่ติดสีเข้มที่เรียกว่า heteropyknotic ซึ่งเกิดจากการขดตัวแน่นของโครโมโซมเพศทั้ง X และ Y และจุดกลมนี้จะหายไปในระยะไดอะไคเนซีส (Figure 6f-g) ซึ่งจะเห็นโครโมโซมเพศทั้งสองติดสีเข้มเท่ากับโครโมโซมร่างกายคู่อื่นๆ (isopyknotic) ในระยะเมทาเฟส 1 เป็นระยะที่ออโตโซมทุกคู่จะมาเรียงที่กึ่งกลางเซลล์ เมื่อมองจากทางขั้วเซลล์จะเห็นโครโมโซมร่างกายมีการจับคู่กัน (bivalent) เรียงล้อมรอบเป็นวงกลม และที่กึ่งกลางจะเป็นโครโมโซม X และ Y ที่มีการเข้าคู่กันแบบเทียม (pseudobivalent) การเรียงตัวของโครโมโซมโฮโมโลกัส ในระยะนี้จะมีลักษณะต่อกันในแนวตั้ง เนื่องจากบริเวณจุดที่ spindle fiber ดึง (kinetic activity) จะย้ายตำแหน่งมาอยู่ที่บริเวณส่วนปลายของโครโมโซมบริเวณเทโลเมียร์ ซึ่งเรียกว่า telokinetic (Figure 6h) ตามด้วยระยะแอนาเฟส 1 (Figure 6i) จะเห็นการแยกกันของโครโมโซมอย่างสมดุลในทั้งสองขั้วเซลล์ เนื่องจากออโตโซมมีการแยกแบบ pre-reductional โดยเป็นการแยกกันของโครโมโซมโฮโมโลกัส ในขณะที่โครโมโซมเพศ จะมีการแยกแบบ pre-equational คือเป็นการแบ่งแยกของ sister chromatid ไปยังขั้วเซลล์ทั้งสอง ในขณะที่ในระยะแอนาเฟส 2 (Figure 6l) จะเห็นการแยกกันของโครโมโซมเพศไปยังขั้วเซลล์เป็นแบบ post-reductional คือ โครโมโซม X และ Y ที่เหลือเพียง 1 โครมาติดจะแยกออกจากกันไปคนละขั้วเซลล์

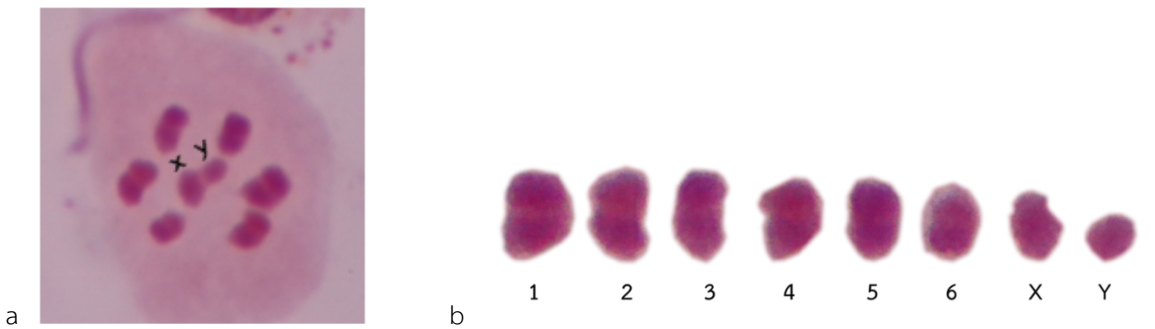

Figure 5 Male meiosis in *Strachia crucigera* (2n= 6A+XY) (a) a metaphase I cell stained with aceto-orcein. (b) karyogram with 12 autosomal bivalents and XY bivalent.

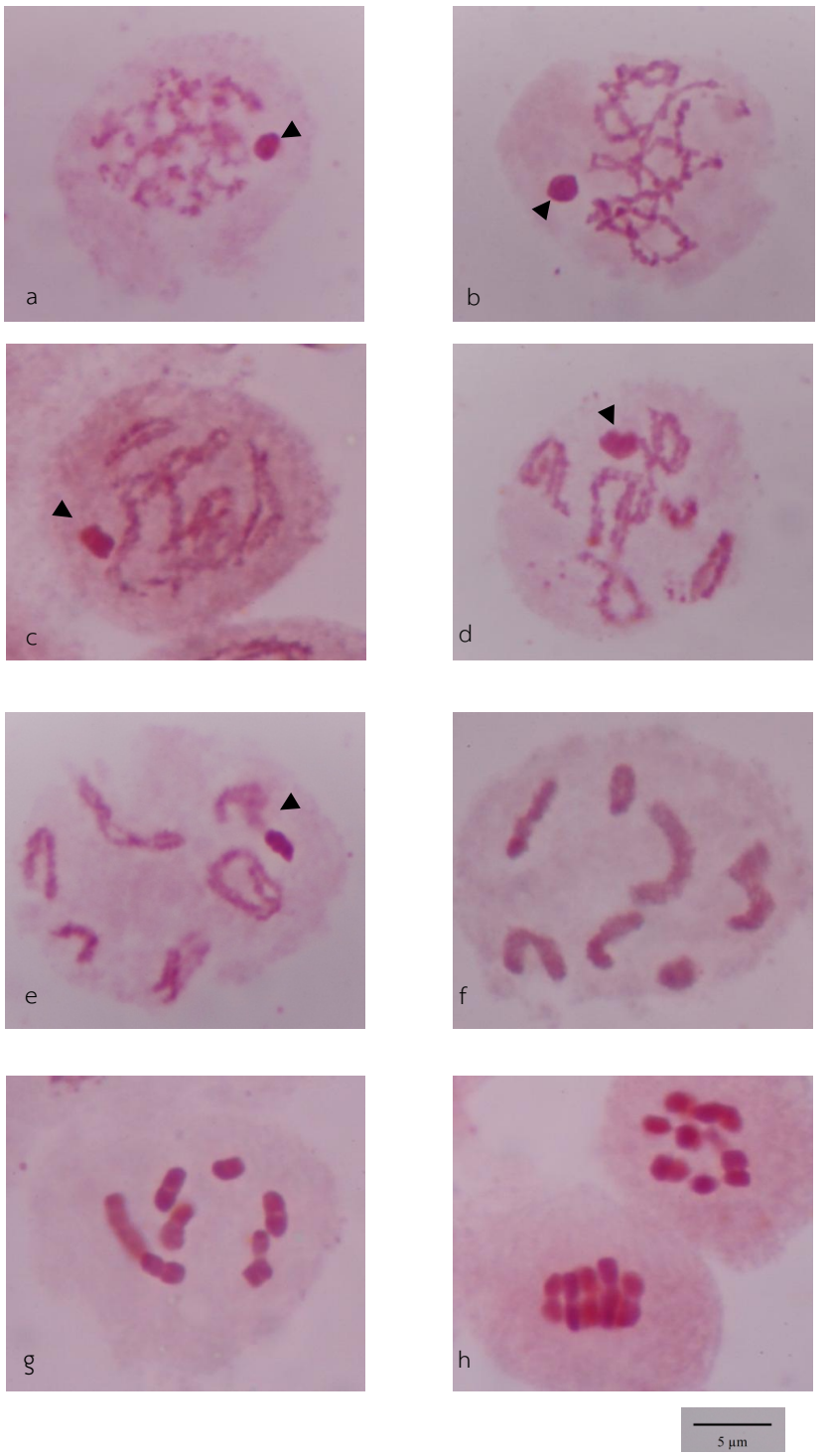

Figure 6 Meiotic chromosome behavior during spermatogenesis of *Strachia crucigera* stained with aceto-orcein. (a) leptotene, (b) zygotene, (c-d) pachytene, (e) diplotene, (f-g) diakinesis, (h) metaphase I, Black triangle indicate heteropyknotic.

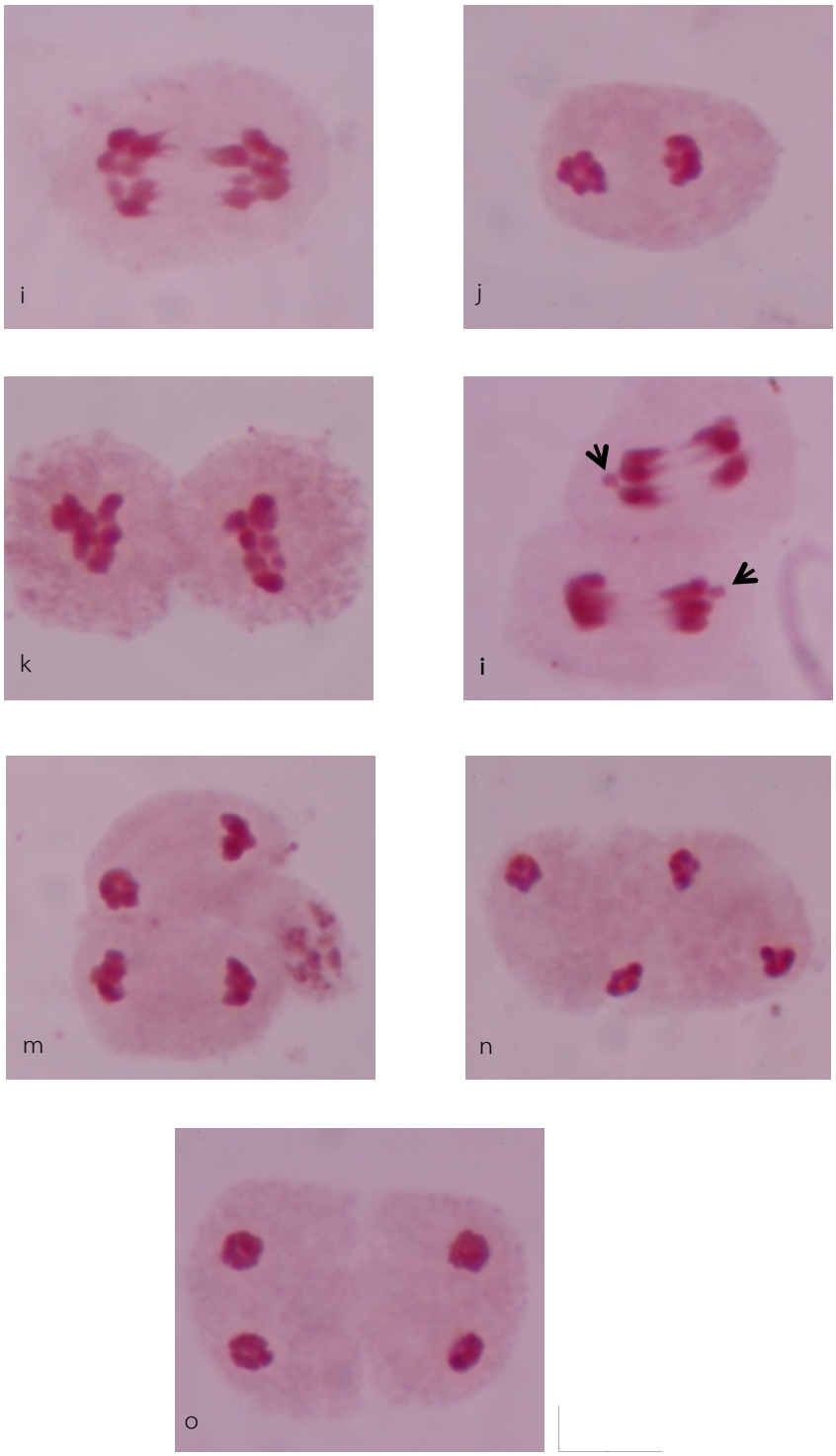

Figure 7 Meiotic chromosome behavior during spermatogenesis of *Strachia crucigera* stained with aceto-orcein. (i) anaphase I, (j) telophase I, (k) metaphase II, (l-m) anaphase II, (n-o) telophase II. Arrows indicate Y chromosome that separate from X chromosome during the metaphase II.

3. สรุปผลการวิจัย และวิจารณ์

การศึกษาเซลล์ไมโอซิสของมวนผักกาด โดยแสดงข้อมูลด้านพฤติกรรมโครโมโซมในระยะต่างๆ พร้อมทั้งรายละเอียดลักษณะโครโมโซมที่สนับสนุนว่าเป็นโครโมโซมชนิดโฮโลเซนทริก และมีระบบกำหนดเพศเป็นระบบ XY พบว่ามีจำนวนโครโมโซมเท่ากับ 2n = 14 = 12A+XY จำนวนโครโมโซมที่พบนี้สอดคล้องกับรายงานของ [9] ที่พบว่าแมลงในวงศ์ Pentatomidae มีโครโมโซม 2n=14 ทั้งหมด และมีโครโมโซมเพศในระบบ XX/XY แม้ว่าแมลงหลายชนิดในกลุ่ม Heteroptera จะมี m-โครโมโซม ด้วย แต่ในการศึกษานี้ไม่พบ m-โครโมโซมในมวนผักกาด ซึ่งก็จัดว่ามีความสอดคล้องกับรายงานของ [9] และ [11] ที่ไม่พบ m-โครโมโซม ในแมลงวงศ์นี้ อย่างไรก็ตามจากการศึกษานี้ทำในแมลงจากแหล่งเดียวเท่านั้น คือ จ.ชลบุรี อาจมีความเป็นไปได้ว่าหากมีการศึกษาโครโมโซมของมวนผักกาดในพื้นที่อื่นๆ เพิ่มเติมจะเห็นระบบโครโมโซมที่แตกต่าง เช่น อาจพบการแตกหักของโครโมโซมเพศ ทำให้เกิดเป็นระบบโครโมโซมเพศแบบ multiple sex chromosome system เช่น X_2Y หรือ X_3Y เป็นต้น ซึ่งการแตกหักของโครโมโซมในแมลงที่มีโครโมโซมแบบโฮโลเซนตริกนี้เกิดได้ง่าย ไม่ส่งผลเสียต่อการอยู่รอดของแมลงเนื่องจากไม่มีการสูญเสียเนื้อโครโมโซมจากกระบวนการ dicentric-acentric เหมือนในสิ่งมีชีวิตที่มีโครโซมแบบโมโนเซนตริก (monocentric) และการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมโดยกระบวนการแตกหัก (fission) หรือเชื่อมต่อกัน (fusion) ในแมลงกลุ่มนี้ ถือเป็นวิวัฒนาการที่สำคัญที่ทำให้เกิดความหลากหลายของแมลงและเกิดเป็นชนิดใหม่ๆ [2,12-14]

การมีโครโมโซมแบบโฮโลเซนตริกนี้ยังเป็นเรื่องที่น่าสนใจในแมลงกลุ่มนี้ เพราะทำให้เกิดพฤติกรรมการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสที่แตกต่างจากกรณีทั่วไป เนื่องจากสปินเดิลไฟเบอร์สามารถยึดเกาะกับโครโมโซมได้ตลอดความยาวของแท่งโครโมโซม แต่ในระยะ metaphase แรงดึงจากขั้วเซลล์จะทำให้จุดศูนย์กลางของการยึดกับโครโมโซมย้ายไปอยู่ที่ส่วนปลายของแท่งโครโมโซม (telokinetic activity) ทำให้ไบวาเลนท์โครโมโซมที่เรียงตัวกึ่งกลางเซลล์มีการจัดเรียงตัวของโครโมโซมแบบต่อกันในแนวตั้ง [2,5] อย่างไรก็ตาม พฤติกรรมของโครโมโซมเพศในแมลงกลุ่มนี้มีความแตกต่างจากโครโมโซมร่างกายแม้ว่าจะเป็นโฮโลเซนทริกโครโมโซมเช่นกัน เนื่องจากในการจัดเรียงตัวของไบวาเลนท์จะไม่มีการเข้าคู่กันอย่างแท้จริง (pseudobivalent) และไม่เรียงต่อกันในแนวตั้งเหมือนโครโมโซมร่างกาย เนื่องจากในระยะแอนาเฟส 1 จะมีการแยกกันของ sister chromatid ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวเชื่อว่าเกิดจากสภาวะของโครโมโซมเพศที่มีการขดแน่น (heterochromatin) ซึ่งเห็นได้ชัดจากการติดสีเข้มและหดสั้น (heteropyknotic) ในระยะต้นๆ ของโพรเฟส 1 และมีการควบคุมการแสดงออกของยีนโดยกระบวนการ histone methylation (H3K9me3) ที่ทำให้โครโมโซมเพศมีความแตกต่างจากโครโมโซมร่างกายในการจัดเรียงตัวและการแยกตัวของโครโมโซม [15] การศึกษาพฤติกรรมของไมโอซิสในมวนผักกาดในรายงานนี้แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมโครโมโซมข้างต้นอย่างชัดเจนและน่าจะเป็นต้นแบบในการศึกษาแมลงในกลุ่มมวนอื่นๆ ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณ ทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัย และ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่สนับสนุนการทำวิจัยโดยให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวก

6. References

[1] Ek-Amnuay, P. 2019, Diseases and pets of economic importance. Siam insect museum. 6th Edition. 981p. (in Thai)

[2] Ushima, N. 1979, Animal Cytogenetics, Volume 3: Insecta 6, Hemiptera II: Heteroptera. Gebruder Borntraeger.

[3] Hughes-Schrader S. and Schrader F. 1961, The kinetochore of the Hemiptera. Chromosoma 12: 327-350.

[4] LaChance, L.E., M. Degrugillier, and Leverich A.P. 1970, Cytogenetics of inherited partial sterility in three generation of the large milkweed bug as related to homokinetic chromosomes. Chromosoma 29: 24-41.

[5] Rebagliati, P., L.M. Mola, A.G. Papeschi, and Grazia J. 2005, Cytogenetic studies in Pentatomidae (Heteroptera): A review. Journal of Zoological Systematic and Evolutionary. Research 43: 199-213.

[6] Wisoram, W. Saendthong, P. and Ngernsiri, L. 2013, Meiosis chromosome analysis of the giant water bug, *Lethocerus indicus.* J. Insect Sci. 13: 39.

[7] Souza-Firmino T.Sd., Alevi K.C.C. and Itoyama M.M. 2020, Chromosomal divergence and evolutionary inferences in Pentatomomorpha infraorder (Hemiptera, Heteroptera) based on the chromosomal location of ribosomal genes. PLoS ONE 15(2).

[8] Kaur, H., Chhabra, S. Suman, V. and Gupta, M. 2006, Chromosomes and their Meiotic Behavior in Two Families of the Sub-order Heteroptera. Cytologia 71(2): 111–118.

[9] Papeschi, A. G., and Bressa, M. J. 2006, Evolutionary cytogenetics in Heteroptera. J. Biol. Res. 5: 3–21.

[10] Alevi K.C.C., Moreira F.F.F, Jurberg J. and Azeredo-Oliveira M.T.V. 2016, Description of diploid chromosome set of (Hemiptera, Triatominae) *Triatoma pintodiasi.* Genet Mol Research. 15: 1–9.

[11] Wisoram, W., Nipitwattanaphon, M., and Ngernsiri, L. 2017, Meiotic chromosome behavior of the Longan stink bug *(Tessaratoma pappillosa).* Rajamongala University of Technology Tawan-ok research journal. 10 (1): 48-59 (in Thai).

[12] Mandrioli, M., and Manicardi, G. C. 2012, Unlocking holocentric chromosomes: new perspectives from comparative and functional genomics? Current Genomics 13(5): 343–349.

[13] Melters, D. P., Paliulis, L. V, Korf, I. F., and Chan, S. W. L. 2012, Holocentric chromosomes: convergent evolution, meiotic adaptations, and genomic analysis. Chromosome Res. 20(5): 579–593.

[14] Panzera, F., Pérez, R., Panzera, Y., Ferrandis, I., Ferreiro, M. J., and Calleros, L. 2010, Cytogenetics and genome evolution in the subfamily Triatominae (Hemiptera, Reduviidae). Cytogenet and Genome Res. 128(1–3): 77–87.

[15] Toscani, M. A., Pigozzi, M. I., Papeschi, A. G., and Bressa, M. J. 2022, Histone H3 methylation and autosomal vs. sex chromosome segregation during male meiosis in Heteroptera. Front. Ecol. Evol. 10 (March): 1–17.