

การไอบีและชีววิทยาระดับโมเลกุลของมะขามหวาน (พืชสกุลมะขาม) ในจังหวัดเพชรบูรณ์
KARYOTYPES AND MOLECULAR BIOLOGY OF SWEET TAMARIND (*TAMARINDUS*) IN
PETCHABOON PROVINCE

ปริญญานิพนธ์
ของ
สุนิดา อัญจิรเวโรจน์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา
ตุลาคม 2550
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การไอบีและชีววิทยาระดับโมเลกุลของมะขามหวาน (พืชสกุลมะขาม) ในจังหวัดเพชรบูรณ์
KARYOTYPES AND MOLECULAR BIOLOGY OF SWEET TAMARIND (*TAMARINDUS*) IN
PETCHABOON PROVINCE

บทคัดย่อ
ของ
สุนิดา อัญจิระโรจน์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา
ตุลาคม 2550

สุนิดา อัญจิระโรจน์. (2550). คาริโอไทป์และชีววิทยาระดับโมเลกุลของมะขามหวาน (พืชสกุลมะขาม) ในจังหวัดเพชรบูรณ์. ปรินูณานิพนธ์ กศม.(ชีววิทยา). กรุงเทพฯ :
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
คณะกรรมการควบคุม : รองศาสตราจารย์รัชต์ ดอนสกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจฉริยา รังษิรุจิ.

การศึกษาคาริโอไทป์ของมะขามหวานเพชรบูรณ์จำนวน 10 พันธุ์ โดยเตรียมตัวอย่างจากปลายรากที่เพาะด้วยเมล็ด พบว่ามะขามหวานทั้งหมดมีจำนวนโครโมโซม $2n = 24$ โครโมโซมมีความยาวเฉลี่ยตั้งแต่ 1.955 – 2.970 ไมโครเมตร และมีความแตกต่างของคาริโอไทป์ดังนี้ มะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู พันธุ์ประกายทอง พันธุ์สีทองเบา และพันธุ์อินทผาลัม มีคาริโอไทป์ประกอบด้วย $5m + 6sm + 1st$ คู่ และมีจำนวนแขนโครโมโซม (NF) = 46 โดยพบแซทเทลไลต์ที่โครโมโซมแบบซัพเทโลเซนตริก ส่วนมะขามหวานพันธุ์ขันตี พันธุ์ฝักดาบ พันธุ์พระโรจน์ พันธุ์หมื่นจง และพันธุ์สีทองมีคาริโอไทป์ประกอบด้วย $5m + 5sm + 2st$ คู่ NF = 44 โดยพันธุ์ขันตี พันธุ์ฝักดาบ พันธุ์พระโรจน์ และพันธุ์สีทอง พบแซทเทลไลต์ที่โครโมโซมแบบซัพเทโลเซนตริก คู่ที่ 1 ส่วนพันธุ์หมื่นจงพบแซทเทลไลต์ที่โครโมโซมแบบซัพเทโลเซนตริกคู่ที่ 2 มะขามหวานพันธุ์แสงอาทิตย์มีคาริโอไทป์ต่างจากทั้ง 2 กลุ่มโดยมีคาริโอไทป์ประกอบด้วย $11m + 1sm$ คู่ NF = 48 และพบแซทเทลไลต์ที่โครโมโซมแบบเมทาเซนตริกคู่ที่ 8 ในการศึกษาครั้งนี้การพบแซทเทลไลต์ในคาริโอไทป์ของมะขามหวานทุกพันธุ์ถือเป็นลักษณะเฉพาะ และเป็นโครโมโซมเครื่องหมาย (chromosome marker) ของมะขามหวาน ผลของ phylogenetic tree ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี parsimony ของบริเวณ ITS พบว่ามะขามหวานเพชรบูรณ์ที่ศึกษา มีความใกล้ชิดทางพันธุกรรมสูง อย่างไรก็ตามผลของการศึกษาทางชีววิทยาระดับโมเลกุล ได้ยืนยันการจำแนกมะขามหวานพันธุ์แสงอาทิตย์ออกจากพันธุ์อื่นอย่างชัดเจน สอดคล้องกับทั้งลักษณะทางสัณฐานวิทยาและคาริโอไทป์

KARYOTYPES AND MOLECULAR BIOLOGY OF SWEET TAMARIND
(*TAMARINDUS*) IN PETCHABOON PROVINCE

AN ABSTRACT
BY
SUWANIDA ANJIRAWAROJ

Present in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Education Degree in Biology
at Srinakharinwirot University
October 2007

Suwanida Anjirawaroj. (2007). Karyotypes and molecular biology of sweet tamarind (*Tamarindus*) in Phetchaboon province. Master thesis, M.Ed. (Biology). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University.

Advisor Committee : Assoc. Prof. Thawat Donsakul,

Asst. Prof. Dr. Achariya Rangsiruji.

Karyological study of 10 varieties of sweet tamarind (*Tamarindus indica*) in Phetchaboon province based on chromosome preparation from root tips showed that all varieties possessed the same diploid chromosome number of $2n = 24$. The length of metaphase chromosomes ranged from 1.955 to 2.970 μm . The karyotypes of all 10 varieties were as follows. Srichomphoo, Prakaithong, Srithongbao and Intapalum had $5m + 6sm + 1st$ pairs, $NF = 46$ and a pair of satellites on subtelocentric chromosomes. Khunti, Fagdab, Praroj, Muenjong and Srithong possessed $5m + 5sm + 2st$ pairs, $NF = 44$. For Khunti, Fagdab, Praroj and Srithong, there was a pair of satellites on the first subtelocentric chromosomes. Muenjong, on the other hand, consisted of a pair of satellites on the second subtelocentric chromosomes. The karyotype of Sangartit was distinct. It comprised $11m + 1sm$ pairs, $NF = 48$ with a pair of satellites on the eighth metacentric chromosomes. In this study, the satellites were found in the karyotypes of all sweet tamarind varieties and therefore, were regarded as their chromosome markers. Phylogenetic tree based on parsimony analysis of the ITS region revealed very close genetic relationships among all 10 varieties of the sweet tamarind. Nonetheless, the results of the molecular study confirmed the distinct position of Sangartit which was well corresponded to both the morphology and karyotypes.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
การโอท็อปและชีววิทยาระดับโมเลกุลของมะขามหวาน (พืชสกุลมะขาม) ในจังหวัดเพชรบูรณ์
ของ
สุนิดา อัญจิระโรจน์

ได้รับการอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญศิริ จีระเดชากุล)
วันที่.....เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2550

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์รัชช ดอนสกุล)

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กรองแก้ว พุทธิยาสถาพร)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจฉริยา รังษิรุจิ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์รัชช ดอนสกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจฉริยา รังษิรุจิ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ จุฬาลักษณ์านุกุล)

ประกาศคุณูปการ

ขอกราบขอบพระคุณท่านรองศาสตราจารย์ ธวัช ดอนสกุล เป็นอย่างสูงที่ให้ความเมตตาอบรมสั่งสอนและให้ความรู้ทุก ๆ ด้านเกี่ยวกับงานวิจัยนี้ ทำให้ข้าพเจ้าได้มีโอกาสทำในสิ่งที่ตั้งใจได้สำเร็จและหากมิได้ความกรุณาจากท่านแล้วงานวิจัยนี้จะมีอาจสำเร็จไปได้เลย

ขอกราบขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจฉริยา รังษิรุจิ ที่ให้ความกรุณาแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด ขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการอบรมสั่งสอน และให้คำปรึกษาทำให้ข้าพเจ้าแก้ปัญหาและผ่านอุปสรรคต่าง ๆ มาได้ และทำงานวิจัยนี้ได้สำเร็จ

ขอขอบพระคุณมูลนิธิจีอี (GE Foundation) สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์ (สสวท.) และ Institute of International Education (IIE) ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาในโครงการพัฒนาครูแกนนำในสาขาคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (Development of Master Teachers in Mathematics, Science & Technology and Environment)

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ งบประมาณประจำปีการศึกษา 1/2550

ขอขอบพระคุณ คุณพัชรินทร์ บุตรหินทอง ครอบครัวคุณสุนันท์ กำมะถันและครอบครัว และคุณนกนพร กันทา ที่ช่วยให้ความรู้เกี่ยวกับมะขามหวาน ตลอดจนให้ความอนุเคราะห์ในการติดต่อประสานงานการจัดหามะขามหวานพันธุ์ต่าง ๆ ทั้งนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณไปถึงชาวสวนมะขามหวานในจังหวัดเพชรบูรณ์ท่านอื่น ๆ ที่มีส่วนช่วยเหลือข้าพเจ้า รวมไปถึงเจ้าหน้าที่ตำรวจจราจรประจำอำเภอลำทะเมนชัยที่ให้ความกรุณาแนะนำเส้นทางทุก ๆ ท่านที่กล่าวมานี้มีส่วนช่วยให้การเดินทางไปจังหวัดเพชรบูรณ์ครั้งแรกในชีวิตข้าพเจ้าสำเร็จและกลับมาโดยสวัสดิภาพ

ขอขอบคุณ คุณพินภา ไกรชุมพล คุณสุธีวรรณ บินชัย คุณภัทรพร กลิ่นภิรมย์ คุณฐปวิตรา ผ่องแผ้ว คุณวิลาวัณย์ คำศรี และคุณสินัย สมิตธิคุณานนท์ สำหรับความช่วยเหลือทุก ความมีน้ำใจดีและให้กำลังใจ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณซิสเตอร์เพ็ญศรี ห่อเร และซิสเตอร์ประไพ สำหรับคำภาวนาที่ช่วยให้ข้าพเจ้าผ่านพ้นอุปสรรคนานัปการและความเมตตาต่อข้าพเจ้าตลอดมา ข้าพเจ้าขอระลึกถึงคุณปู่ผู้ล่วงลับร.ต.อ.มิ่ง สิมมาเทศ ท่านเป็นแบบอย่างและสอนให้ข้าพเจ้ากล้าเผชิญกับปัญหาทุกสิ่งและสุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอน้อมรำลึกในพระคุณของพ่อ แม่และครอบครัวอัญจวิโรจน์ ทุกคนคือกำลังใจที่ดีที่สุดของข้าพเจ้า

สุนิดา อัญจวิโรจน์

สารบัญ

บทที่

หน้า

1 บทนำ

ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	2
ความสำคัญของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
คำนิยามศัพท์เฉพาะ	3
สมมติฐานการวิจัย.....	3

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของมะขามหวาน.....	4
ประเภทของมะขามหวานเพชฌรินทร์ที่นำมาศึกษา.....	6
รายละเอียดของพันธุ์มะขามหวาน.....	6
ประเภทฝักตรง.....	6
ประเภทฝักโค้ง.....	9
การเจริญของมะขามหวานในรอบปี.....	12
การขยายพันธุ์มะขามหวาน.....	14
ผลผลิตมะขามหวานและการตลาด.....	15
เซลล์พันธุศาสตร์และชีววิทยาระดับโมเลกุล.....	16

3 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

พืชที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	24
การศึกษาด้านเซลล์พันธุศาสตร์.....	25
การศึกษาการโอไทป์.....	25
การบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์โครโมโซม.....	26
การบันทึกข้อมูล.....	26
การวิเคราะห์โครโมโซม.....	26
การหาจำนวนโครโมโซม.....	27

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
การจัดการไอโทปี.....	26
การหาจำนวนแขนโครโมโซม.....	26
การหาความยาวสัมพัทธ์.....	26
การหาขนาดของโครโมโซม.....	27
การสร้างอิดีโอแกรม.....	27
การศึกษาด้านชีววิทยาระดับโมเลกุล.....	28
การสกัด DNA.....	29
การเพิ่มปริมาณ DNA ด้วยเทคนิค PCR	30
การทำ PCR product ให้บริสุทธิ์.....	31
การวิเคราะห์ลำดับเบส.....	31
การทำเปรียบเทียบลำดับเบส (sequence alignment).....	31
การสร้าง phylogenetic tree และการวิเคราะห์ pairwise distance.....	31
4 ผลการทดลอง	
ลักษณะของผล เนื้อ และเมล็ด.....	32
การศึกษาด้านเซลล์พันธุศาสตร์.....	34
การศึกษาด้านชีววิทยาระดับโมเลกุล.....	69
5 สรุป อภิปรายผล	
สรุปและอภิปรายผล.....	78
บรรณานุกรม.....	81
ภาคผนวก.....	88
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	119

บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

1	การแยกชนิดของโครโมโซมโดยอาศัยอัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้นตามวิธีของลีแวนและคนอื่น ๆ	27
2	ส่วนประกอบที่ใช้ในการเตรียม CTAB buffer	29
3	ส่วนผสมของ PCR reaction	30
4	ความถี่ในการกระจายของโครโมโซมแบบดิพลอยด์ (2n) ในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของมะขามหวาน.....	37
5	จำนวนโครโมโซมแบบดิพลอยด์ (2n) คาริโอไทป์และจำนวนแขนโครโมโซมของมะขามหวาน.....	37
6	ค่าความยาวทั้งแขน (T) ความยาวสัมพัทธ์ (RL) และขนาดโครโมโซมของมะขามหวาน.....	38
7	ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) ความยาวสัมพัทธ์ (RL) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดของคู่โครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูจำนวน 5 เซลล์.....	39
8	ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) ความยาวสัมพัทธ์ (RL) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดของคู่โครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์ขันตีจำนวน 5 เซลล์.....	42
9	ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) ความยาวสัมพัทธ์ (RL) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดของคู่โครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์ประกายทองจำนวน 5 เซลล์.....	45
10	ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) ความยาวสัมพัทธ์ (RL) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดของคู่โครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์ฝักดาบจำนวน 5 เซลล์.....	48

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง

หน้า

11	ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) ความยาวสัมพัทธ์ (RL) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดของคู่โครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์พระโรจน์จำนวน 5 เซลล์.....	51
12	ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) ความยาวสัมพัทธ์ (RL) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดของคู่โครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์หมื่นจงจำนวน 5 เซลล์.....	54
13	ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) ความยาวสัมพัทธ์ (RL) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดของคู่โครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์สีทองจำนวน 5 เซลล์.....	57
14	ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) ความยาวสัมพัทธ์ (RL) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดของคู่โครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์สีทองเบาจำนวน 5 เซลล์.....	60
15	ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) ความยาวสัมพัทธ์ (RL) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดของคู่โครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์อินทผลัมจำนวน 5 เซลล์.....	63
16	ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) ความยาวสัมพัทธ์ (RL) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดของคู่โครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์แสงอาทิตย์จำนวน 5 เซลล์.....	66
17	แสดงลำดับเบสบริเวณ ITS ของพืชสกุลมะขาม (747 bp) และoutgroup.....	71

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

1	แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของมะขามหวาน.....	5
2	มะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู.....	6
3	มะขามหวานพันธุ์ขันตี.....	7
4	มะขามหวานพันธุ์ประกายทอง.....	8
5	มะขามหวานพันธุ์ฝักดาบ.....	8
6	มะขามหวานพันธุ์พระโรจน์.....	9
7	มะขามหวานพันธุ์หมีนง.....	10
8	มะขามหวานพันธุ์สีทอง.....	10
9	มะขามหวานพันธุ์สีทองเปา.....	11
10	มะขามหวานพันธุ์อินทผลัม.....	11
11	มะขามหวานพันธุ์แสงอาทิตย์.....	12
12	การเจริญของมะขามหวานในรอบปี.....	13
13	การขยายพันธุ์มะขามหวานโดยวิธีการเปลี่ยนยอด.....	14
14	รูปร่างโครโมโซมจำแนกตามตำแหน่งของเซนโทรเมียร์.....	16
15	Phylogenetic tree ที่ได้จากการวิเคราะห์ลำดับเบส.....	16
	บริเวณยีน <i>rbcL</i> โดยใช้วิธี neighbour joining ของพืชวงศ์ Fabaceae	20
16	การจัดเรียงตัวของ nuclear ribosomal DNA ที่พบในยูแคริโอต.....	21
17	แสดงลักษณะผล เนื้อและเมล็ดของมะขามหวานประเภทฝักตรง.....	32
18	แสดงลักษณะผล เนื้อและเมล็ดของมะขามหวานประเภทฝักโค้ง.....	33
19	ภาพถ่ายโครโมโซมในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์	
	แบบไมโทซิสของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูและคาริโอไทป์	40
20	อิดิโอแกรมของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู.....	41
21	ภาพถ่ายโครโมโซมในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์	
	แบบไมโทซิสของมะขามหวานพันธุ์ขันตีและคาริโอไทป์	43
22	อิดิโอแกรมมะขามหวานพันธุ์ขันตี.....	44
23	ภาพถ่ายโครโมโซมในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์	
	แบบไมโทซิสของมะขามหวานพันธุ์ประกายทองและคาริโอไทป์	46
24	อิดิโอแกรมมะขามหวานพันธุ์ประกายทอง.....	47

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

25	ภาพถ่ายโครโมโซมในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์ แบบไมโทซิสของมะขามหวานพันธุ์ฝักดาบและคาริโอไทป์	49
26	อิดิโอแกรมมะขามหวานพันธุ์ฝักดาบ.....	50
27	ภาพถ่ายโครโมโซมในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์ แบบไมโทซิสของมะขามหวานพันธุ์พระโรจน์และคาริโอไทป์	52
28	อิดิโอแกรมมะขามหวานพันธุ์พระโรจน์.....	53
29	ภาพถ่ายโครโมโซมในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์ แบบไมโทซิสของมะขามหวานพันธุ์หมื่นจงและคาริโอไทป์	55
30	อิดิโอแกรมมะขามหวานพันธุ์หมื่นจง.....	56
31	ภาพถ่ายโครโมโซมในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์ แบบไมโทซิสของมะขามหวานพันธุ์สีทองและคาริโอไทป์	58
32	อิดิโอแกรมมะขามหวานพันธุ์สีทอง.....	59
33	ภาพถ่ายโครโมโซมในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์ แบบไมโทซิสของมะขามหวานพันธุ์สีทองเบาและคาริโอไทป์	61
34	อิดิโอแกรมมะขามหวานพันธุ์สีทองเบา.....	62
35	ภาพถ่ายโครโมโซมในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์ แบบไมโทซิสของมะขามหวานพันธุ์อินทผาลัมและคาริโอไทป์	64
36	อิดิโอแกรมมะขามหวานพันธุ์อินทผาลัม.....	65
37	ภาพถ่ายโครโมโซมในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์ แบบไมโทซิสของมะขามหวานพันธุ์แสงอาทิตย์และคาริโอไทป์	67
38	อิดิโอแกรมมะขามหวานพันธุ์แสงอาทิตย์.....	68
39	DNA ของมะขามหวาน 10 พันธุ์ ที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีการ CTAB.....	69
40	PCR product ของมะขามหวาน 10 พันธุ์	70
41	phylogenetic tree ของมะขามหวาน 10 พันธุ์ และ outgroup ที่ได้จากการวิเคราะห์ลำดับเบสบริเวณ ITS โดยวิธีการ parsimony	76
42	Pairwise distance แสดงระยะห่างทางพันธุกรรม ของมะขามหวาน 10 พันธุ์ และ outgroup	77

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ประเทศไทยมีรายได้จากการส่งออกพืชเศรษฐกิจหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้ไทย แม้ว่าภาวะความต้องการผลไม้ไทยจะมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่เกษตรกรส่วนใหญ่ยังคงต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนเพาะปลูกโดยไม่มีความรู้อย่างแท้จริง การปลูกมะขามหวานของเกษตรกรเท่าที่ผ่านมาได้ประสบปัญหามากมาย ปัญหาหนึ่งที่ต้องแก้ไขคือ การขาดแคลนเจ้าหน้าที่ให้คำแนะนำเรื่องมะขามหวานและการขาดแคลนเอกสารแหล่งวิชาการสำหรับการศึกษาค้นคว้าหาความรู้

การปลูกมะขามหวานของเกษตรกรแต่ละสวนมักจะแตกต่างกัน โดยทั่วไปการปฏิบัติงานในสวนของเกษตรกรผู้ปลูกมะขามหวานในจังหวัดเพชรบูรณ์ ได้ดำเนินการตามรอยบรรพบุรุษที่ถ่ายทอดสืบต่อกันมา มิได้มีการพัฒนาโดยใช้ความรู้ทางด้านวิชาการเกษตรสมัยใหม่อย่างแท้จริง และมีเกษตรกรผู้ปลูกมะขามหวานจำนวนไม่น้อย ที่เก็บข้อมูลจากประสบการณ์การปฏิบัติงานในสวนมะขามหวานไว้เป็นความลับ (ชวนพิศ แดงสวัสดิ์; จินตนา สนามชัย; และคันสนีย์ อุทุมม่าง. 2541: 3-4) เกษตรกรส่วนมากยังคงมั่นใจว่าการลงทุนซื้อกิ่งพันธุ์มาปลูก จะทำให้ได้ผลผลิตมะขามหวานตรงตามพันธุ์ที่ต้องการ โดยต้องเสียเงินลงทุนสูงเพื่อหากิ่งพันธุ์ดี ซึ่งต้องซื้อโดยตรงจากสวนชื่อดังที่สะสมพันธุ์ดี ทั้งนี้ราคาขึ้นอยู่กับชื่อเสียงของเจ้าของสวนและความไว้วางใจกันระหว่างเกษตรกรกับเจ้าของสวน โดยที่เกษตรกรไม่อาจทราบได้เลยว่าการลงทุนนั้นจะคุ้มค่าและถูกต้องหรือไม่ เพราะลักษณะทางสัณฐานวิทยาทั่วไปของแต่ละกิ่งพันธุ์นั้นยากที่จะจำแนกได้ จนกว่าจะออกผลและเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งต้องใช้เวลานาน 5 - 8 ปีหากไม่ได้ผลผลิตตรงตามที่ต้องการ เกษตรกรก็มักจะโค่นทำลายทิ้งหรือนำไปเผาถ่าน อย่างไรก็ตามอาจจะพอมีดันมะขามหวานพันธุ์ดั้งเดิมหลงเหลืออยู่ตามชุมชนหมู่บ้าน ที่เป็นแหล่งปลูกมะขามหวานที่มีชื่อเสียง จึงอาจเรียกได้ว่าสวนมะขามหวานนั้นเป็นมรดกของบรรพบุรุษ

สำหรับมะขามหวานที่ปรากฏอยู่ปัจจุบันนี้มีมากกว่า 20 พันธุ์ บางพันธุ์อาจมีลักษณะคล้ายคลึงกัน เจ้าของสวนมะขามหวานจะตั้งชื่อขึ้นเองโดยอิงจากแหล่งปลูกหรือชื่อของเจ้าของสวน ดังจะเห็นได้จากการประกวดมะขามหวานในจังหวัดต่าง ๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งพบว่า มีพันธุ์ใหม่เกิดขึ้นอยู่เสมอ แต่เมื่อรวบรวมและศึกษาลักษณะประจำพันธุ์ พบว่ามีพันธุ์มะขามหวานเพียงไม่กี่พันธุ์ ทำให้เกิดความสับสนต่อทั้งเกษตรกรและผู้บริโภค มะขามหวานแต่ละพันธุ์ให้ผลผลิตไม่เท่ากันและไม่แน่นอน ในพันธุ์เดียวกันถ้าปลูกต่างสถานที่ ซึ่งมีสภาพอากาศและการดูแลรักษาที่แตกต่างกันย่อมให้ผลผลิตที่ต่างกัน การที่ขนาดของฝักเล็กหรือใหญ่นั้นมีผลทำให้ราคาไม่เท่ากัน ราคาของมะขามหวานอาจมีตั้งแต่ 50 ถึง 200 บาท ต่อกิโลกรัม (กรมส่งเสริมการเกษตร. 2548: ออนไลน์) แต่มะขามหวานที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภค และทำรายได้ดีมีเพียงบางพันธุ์

เช่น พันธุ์สีทอง พันธุ์ศรีชมภู และพันธุ์ประกายทอง เป็นต้น ซึ่งล้วนเป็นมะขามหวานที่ปลูกอย่างแพร่หลายในจังหวัดเพชรบูรณ์

เนื่องจากมะขามหวานเพชรบูรณ์มีคุณภาพดี มีฝักใหญ่ เนื้อหนาและรสชาติหวานทำให้มีราคาค่อนข้างสูงสามารถทำรายได้ถึงต้นละหนึ่งหมื่นบาท (พิจิตร โชคพัฒนา. 2546: 9) ลักษณะพันธุ์ดีที่เป็นที่ต้องการของตลาดและผู้บริโภคนั้น ถูกกำหนดด้วยพันธุกรรมของมะขามหวานอันเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละพันธุ์ อย่างไรก็ตามมะขามหวานบางต้นมีอายุยืนยาวถึงร้อยกว่าปีโดยมิได้ถูกทำลายด้วยโรคพืชหรือแมลงรบกวน ย่อมแสดงให้เห็นถึงลักษณะทางพันธุกรรมที่อาจบ่งบอกถึงความต้านทานต่อโรค แม้จะได้ลักษณะดีแต่หากไม่เป็นที่ต้องการของตลาดก็ต้องถูกทำลายเสียเนื่องจากในปัจจุบันไม่มีแหล่งข้อมูลทางพันธุกรรมของมะขามหวานพันธุ์ต่าง ๆ จึงไม่อาจจะจำแนกได้ว่ามะขามหวานพันธุ์ใดมีลักษณะทางพันธุกรรมที่ดี

ปัญหาเหล่านี้เนื่องมาจากยังไม่ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับเซลล์พันธุศาสตร์ (cytogenetics) ของมะขามหวานเพื่อจำแนกความแตกต่างทางพันธุกรรม โดยวิธีการเซลล์อนุกรมวิธาน (cytotaxonomy) ซึ่งการทราบฐานข้อมูลทางพันธุกรรมนี้จะช่วยให้นักวิชาการสามารถจำแนกพันธุ์มะขามหวานและจะนำไปสู่การปรับปรุงพันธุ์ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการคัดเลือกกิ่งพันธุ์ของเกษตรกรก่อนการลงทุนทำสวนมะขามหวาน

การศึกษาวิเคราะห์ด้วยวิธีการด้านเซลล์พันธุศาสตร์ สามารถทำให้เข้าใจเกี่ยวกับการจำแนกชนิด (species) และวิวัฒนาการได้ดียิ่งขึ้น (Rees. 1961: 288-318) นอกจากนี้การศึกษาทางชีววิทยาระดับโมเลกุล (molecular biology) ควบคู่กับเซลล์พันธุศาสตร์อาจช่วยบ่งบอกถึงความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการและความหลากหลายทางพันธุกรรมของมะขามหวานได้อีกด้วย

ความมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อศึกษาคาร์ิโอไทป์และความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการของมะขามหวานเพชรบูรณ์โดยใช้เทคนิคทางเซลล์พันธุศาสตร์และชีววิทยาระดับโมเลกุล

ความสำคัญของการวิจัย

มะขามหวานเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความหลากหลายของพันธุ์ปลูกเป็นจำนวนมาก และยากต่อการจำแนกลักษณะทางสัณฐานวิทยาก่อนการออกผล ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการศึกษาคาร์ิโอไทป์และชีววิทยาระดับโมเลกุลของมะขามหวาน อาจช่วยในการจำแนกพันธุ์ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงพันธุ์ นอกจากนี้ความรู้ที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพืชสกุลอื่นได้ต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาคาร์ิโอไทป์และชีววิทยาระดับโมเลกุลของมะขามหวานที่ได้จากจังหวัดเพชรบูรณ์ จำนวน 10 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ศรีชมภู พันธุ์ขันตี พันธุ์ประกายทอง พันธุ์ฝักดาบ พันธุ์พระโรจน์ พันธุ์หมื่นจง พันธุ์สีทอง พันธุ์สีทองเบา พันธุ์อินทผลัม และพันธุ์แสงอาทิตย์ คศึกษาคาร์ิโอไทป์ จาการากที่เพาะด้วยเมล็ด สกัด DNA จากใบที่เพาะด้วยเมล็ด และเพิ่มปริมาณ DNA บริเวณ internal transcribed spacer (ITS) โดยเทคนิค Polymerase Chain Reaction (PCR) นำ PCR product ไปหาลำดับเบส (DNA sequencing) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการของ มะขามหวาน

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. บริเวณ internal transcribed spacer (ITS region)

บริเวณ ITS ประกอบด้วย ITS1 และ ITS2 ซึ่งพบในนิวเคลียสระหว่างยีน 18S – 5.8S ribosomal RNA rRNA และ 5.8S – 25S rRNA ตามลำดับ ยีน 18S, 5.8S และ 25S rRNA มีความสำคัญในการสร้าง ribosome subunit

2. คาร์ิโอไทป์ (Karyotype)

การจัดเรียงโครโมโซมโดยดูจากจำนวน ขนาด และชนิดของโครโมโซม เป็นการนำโครโมโซมคู่เหมือน (homologous chromosome) มาจัดเรียงจากโครโมโซมที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ไปหาเล็กที่สุดโดยให้แขนสั้นอยู่ด้านบนและแขนยาวอยู่ด้านล่าง

3. Polymerase Chain Reaction (PCR)

เทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มปริมาณ DNA โดยใช้ oligonucleotide primer ไปจับที่ตำแหน่งใกล้เคียงกับบริเวณ DNA ที่สนใจ เทคนิคนี้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ denaturation, annealing และ extension

สมมติฐานการวิจัย

มะขามหวานในสกุล *Tamarindus* อาจจะมีจำนวนโครโมโซมเท่ากัน แต่อาจมีความแตกต่างของคาร์ิโอไทป์ในแต่ละพันธุ์ และการศึกษาบริเวณ ITS อาจสามารถบ่งบอกถึงความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการและยืนยันการจัดจำแนกพันธุ์มะขามหวานได้ดียิ่งขึ้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พืชสกุลมะขาม (*Tamarindus*) จัดอยู่ในวงศ์ Fabaceae Lindley (or Leguminosae Juss.) มีถิ่นกำเนิดจากทางเอเชียใต้และแอฟริกาตะวันออก (Polhill; & Raven. 1981: 135-136) มีเพียง 1 ชนิด (species) คือ *Tamarindus indica* L. ในประเทศไทยมะขามแบ่งออกเป็นมะขามหวานและมะขามเปรี้ยว สามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศทำให้มีพันธุ์ต่าง ๆ กระจายอยู่ทั่วไป จังหวัดเพชรบูรณ์เป็นถิ่นปลูกมะขามหวานพันธุ์ดี และมีประวัติความเป็นมาที่ยาวนานด้านมะขามหวาน ได้มีการขึ้นทะเบียนกับกรมทรัพย์สินทางปัญญากระทรวงพาณิชย์ ทะเบียนเลขที่ สช.48100003 ประกาศตั้งแต่วันที่ 30 กันยายน 2548 ประกาศ โดยการขึ้นทะเบียนมะขามหวานเพชรบูรณ์ได้ประกาศไว้เป็นสินค้าที่มีสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ดังนี้

มะขามหวานเพชรบูรณ์ หมายถึง มะขามหวานฝักตรงจากพันธุ์ศรีชมภู พันธุ์ขันตี พันธุ์ประกายทอง พันธุ์ฝักดาบ พันธุ์หวานล่อน และมะขามหวานฝักโค้งจากพันธุ์สีทอง พันธุ์สีทองเบา พันธุ์น้ำผึ้ง พันธุ์อินทผลาลัม พันธุ์หมีนาง และพันธุ์แสงอาทิตย์ ซึ่งปลูกในพื้นที่ จังหวัดเพชรบูรณ์ (กรมทรัพย์สินทางปัญญา. 2548: ออนไลน์)

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของมะขามหวาน (ภาพประกอบ 1)

ราก ต้นอ่อนที่เพาะจากเมล็ดจะมีรากแก้ว ระบบรากมีการแผ่กระจายดีจึงมีความสามารถในการหาอาหารได้ดี และมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้ง (กนก ขวณานนท์. 2534: 12)

ลำต้น เป็นไม้ยืนต้นไม่ผลัดใบ อาจมีความสูงได้ถึง 20 เมตร เปลือกแตกเป็นร่องและสะเก็ดเล็ก ๆ ตามแนวยาว เนื้อไม้เหนียว ละเอียดและแข็ง ลักษณะของต้นมะขามหวานเป็นทรงพุ่มแยกเป็น 2 แบบ คือทรงโปร่ง และทรงทึบ (พิจิตร โชคพัฒนา. 2546: 13)

ใบ เป็นใบประกอบแบบขนนก (pinnately compound leaves) มีใบย่อยติดอยู่ทั้ง 2 ข้างของแกนกลางใบ (rachis) โดยใบย่อยจะเรียงเป็นแถวตามแกนกลาง (Raven. 1992: 498-499) ใบย่อยมีประมาณ 10 - 20 คู่ เรียงสลับกันอย่างเป็นระเบียบ ใบย่อยแต่ละใบจะมีความกว้างประมาณ 0.5 - 1.0 เซนติเมตร (กองบรรณาธิการกลุ่มบัณฑิตเกษตรก้าวหน้า. 2530: 6)

ดอก เป็นดอกช่อ (inflorescence) แบบราซิม (racemes) มีสมมาตรแบบ bilateral 1 ช่อ ดอกจะมีดอกย่อย (floret) ประมาณ 3 - 10 ดอก แต่ละดอกมีความยาวประมาณ 1.5 เซนติเมตร ประกอบด้วยใบประดับที่มีสีแดง 2 อัน ความยาวประมาณ 8 มิลลิเมตร และจะร่วงไปเมื่อดอกบาน (Tucker. 2000: 1385-1407) มีกลีบดอก (petal) 5 กลีบ มีสีครีมปนแดง กลีบดอก 2 กลีบถูกลดรูปไปเป็นขน (bristles) (Lawrenceville. 2007: Online) กลีบเลี้ยง (sepal) 4 กลีบ มีสีเหลืองอ่อน

ดอกมะขามหวานเป็นดอกสมบูรณ์เพศ เกสรตัวผู้ (stamen) ที่สามารถทำหน้าที่ได้มี 3 อัน ก้านเกสรตัวผู้ (filament) ยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ก้านเกสรจะเชื่อมติดกันครึ่งหนึ่งของความยาวทั้งหมด อับเรณู (anther) มีสีแดงปนน้ำตาล เกสรตัวเมีย (pistil) ประกอบด้วยรังไข่ (ovary) เหนือวงกลีบ (corolla) (Singh. 2004: 444) ภายในมีโอวูล (ovule) อยู่ตั้งแต่ 8 -10 หรือมากกว่า ยอดเกสรตัวเมียมองไม่เห็นช่องชัดเจนลักษณะเป็นหัวกลมเล็ก (subcapitate) สีเขียว (Tucker. 2000: 1385-1407)

ผล เป็นผลเดี่ยวแบบฝัก (legume) มีหลายเมล็ดตั้งแต่ 1 - 8 เมล็ด เมื่อฝักยังอ่อนจะมีสีเขียวสดหรือสีเขียวปนน้ำตาลและมีนวลหรือละอองสีน้ำตาลจับอยู่ จึงดูเป็นสีเขียวปนน้ำตาล เนื้อในสีขาวนวล รสเปรี้ยวจัด ต่อมาเมื่ออายุฝักมากขึ้นเนื้อจะมีสีเหลืองนวลแล้วเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม ยุบแห้งล่อนออกจากเปลือก ส่วนเนื้อหุ้มเมล็ดจะติดกันยาวและมีเส้นใยยึดอยู่ภายใน 3 เส้นตามความยาวของฝัก ซึ่งเรียกว่า สาแหรก (กนก ชวนานนท์. 2534: 24)



ภาพประกอบ 1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของมะขามหวาน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Schnabel. H.G. (2006). *Tamarindus indica* L. (Online).

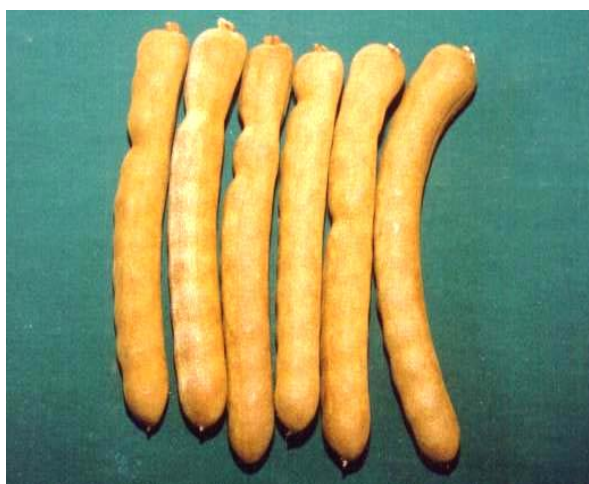
ประเภทของมะขามหวานเพชรบูรณ์ที่นำมาศึกษา

1. ประเภทฝักตรง ได้แก่ พันธุ์ศรีชมภู พันธุ์ขันตี พันธุ์ประกายทอง พันธุ์ฝักดาบ และ พันธุ์พระโรจน์
2. ประเภทฝักโค้ง ได้แก่ พันธุ์หมื่นจง พันธุ์สีทอง พันธุ์สีทองเบา พันธุ์อินทผาลัม และ พันธุ์แสงอาทิตย์

รายละเอียดของพันธุ์มะขามหวาน

1. ประเภทฝักตรง

1.1 พันธุ์ศรีชมภู (ภาพประกอบ 2) นายอุดม ศรีชมภู ตั้งชื่อพันธุ์ขึ้นตามนามสกุลของตนและส่งมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูเข้าประกวด ในงานกาชาดมะขามหวานจังหวัดเพชรบูรณ์ ได้รับรางวัลชนะเลิศ พ.ศ. 2521 และ 2522 ทำให้มะขามหวานพันธุ์นี้เป็นที่นิยม และมีความต้องการกิ่งพันธุ์เพื่อนำไปปลูกเป็นการค้าจำนวนมาก มะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูมีลักษณะฝักตรง กลม มีข้อปล้องน้อย น้ำหนักเบา เปลือกบาง สีน้ำตาลปนเทา เนื้อสีน้ำตาลอ่อนอมเหลือง ค่อนข้างแห้ง และเหนียว เมล็ดเล็ก รสชาติหวาน (มะขามหวานพันธุ์ต่าง ๆ. 2550: ออนไลน์) มีช่วงเวลาเก็บเกี่ยวในเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ มีข้อเสียคือเปลือกบาง ฝักแตกง่าย การเก็บเกี่ยวหรือบรรจุหีบห่อจึงต้องทำอย่างระมัดระวัง (กองบรรณาธิการเฉพาะกิจ. 2542: 12)



ภาพประกอบ 2 มะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู

ที่มา: มะขามหวานพันธุ์ต่าง ๆ. (2550). (ออนไลน์).

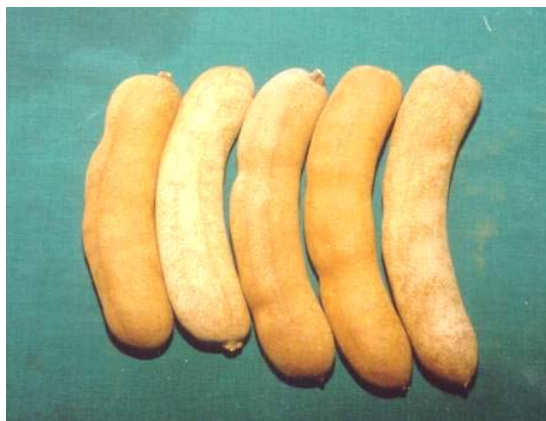
1.2 พันธุ์ขันตี (ภาพประกอบ 3) โดยนายขันตี แก้ววงษ์ เป็นเจ้าของพันธุ์ ได้รับรางวัลจากการประกวดมะขามหวานประเภทฝักตรง ในปี พ.ศ. 2524 มะขามหวานพันธุ์ขันตีมีลักษณะฝักตรงหรืออาจโค้งเล็กน้อย ฝักจะสั้นกว่าพันธุ์ศรีชมภูแต่สามารถมองเห็นข้อปล้องชัดเจนกว่า น้ำหนักเบา เปลือกสีน้ำตาลเข้ม เนื้อหนานุ่มน้ำ รสชาติหวาน เมล็ดเล็ก (กองบรรณาธิการเฉพาะกิจ. 2542: 13) มีช่วงเวลาเก็บเกี่ยวในเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม มีข้อเสียคือฝักเล็กสั้นและมักมีหนอนปลอกระบาดมาก (พิจิตร โชคพัฒนา. 2546: 28)



ภาพประกอบ 3 มะขามหวานพันธุ์ขันตี

ที่มา: ฐานข้อมูลทรัพยากรพืชพรรณของฝ่ายปฏิบัติการวิจัย. (2549). (ออนไลน์).

1.3 พันธุ์ประกายทอง (ภาพประกอบ 4) ชนะการประกวดในงานส่งเสริมการเกษตร ณ ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ เมื่อวันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2537 มะขามหวานพันธุ์ประกายทอง มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าพันธุ์ตาแป๊ะ โดยนายเจียง แซ่เฮง เป็นเจ้าของพันธุ์ มะขามหวานพันธุ์นี้ กำลังได้รับความนิยมจากผู้บริโภค เพราะมีรสชาติหวานอร่อย ทางกรมส่งเสริมการเกษตรได้ประกาศรับรองให้เป็นมะขามพันธุ์ส่งเสริม (เพชรบูรณ์. 2548: ออนไลน์) มีลักษณะฝักตรงกลม อาจโค้งเล็กน้อย เปลือกบาง ผิวเรียบเนียนสีน้ำตาลแดง เนื้อละเอียดหนานุ่ม สีน้ำตาลเข้ม เมล็ดล่อนออกจากเปลือกง่าย รสชาติหวาน มีช่วงเวลาเก็บเกี่ยวประมาณปลายเดือนธันวาคมเป็นต้นไป (มะขามหวานพันธุ์ต่าง ๆ. 2550: ออนไลน์)



ภาพประกอบ 4 มะขามหวานพันธุ์ประกายทอง

ที่มา: มะขามหวานพันธุ์ต่าง ๆ. (2550). (ออนไลน์).

1.4 พันธุ์ฝักดาบ (ภาพประกอบ 5) โดยนายเพชร ชาบน ส่งเข้าประกวดเมื่อ พ.ศ.2520 ได้รับรางวัลที่ 2 มีลักษณะฝักกลม โค้งยาวเป็นรูปดาบ เปลือกสีน้ำตาลเทา เนื้อหนาฉ่ำ สีน้ำตาลค่อนข้างเหนียว เมล็ดกลมและค่อนข้างใหญ่แต่ล่อนออกจากเนื้อได้ดี รสชาติหวานอมเปรี้ยว มีช่วงเวลาเก็บเกี่ยวตั้งแต่เดือนธันวาคมเป็นต้นไป ข้อเสียคือมักให้ผลไม่สม่ำเสมอ (มะขามหวานพันธุ์ต่าง ๆ. 2550: ออนไลน์)



ภาพประกอบ 5 มะขามหวานพันธุ์ฝักดาบ

ที่มา: มะขามหวานพันธุ์ต่าง ๆ. (2550). (ออนไลน์).

1.5 พันธุ์พระโรจน์ (ภาพประกอบ 6) เป็นพันธุ์ดั้งเดิมจากบ้านพระโรจน์ ตำบลหนองช้างใหญ่ อำเภอม่วงสามสิบ จังหวัดอุบลราชธานี (กองบรรณาธิการกลุ่มบัณฑิตเกษตรก้าวหน้า. 2539: 19) ในงานกาชาดมะขามหวานนครบาลเพชรบูรณ์ เมื่อวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2549 กรมวิชาการเกษตรร่วมกับสถาบันราชภัฏเพชรบูรณ์ ได้จัดแสดงตัวอย่างมะขามหวานพันธุ์พระโรจน์และให้ความรู้ส่งเสริมการปลูกแก่เกษตรกร มีลักษณะฝักตรงใหญ่ เปลือกหนา สีน้ำตาลเทา เนื้อหนาละเอียด เมล็ดใหญ่ รสชาติหวานอมเปรี้ยว



ภาพประกอบ 6 มะขามหวานพันธุ์พระโรจน์

ที่มา: งานกาชาดมะขามหวานนครบาลเพชรบูรณ์ วันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2549.

2. ประเภทฝักโค้ง

2.1 พันธุ์หมื่นจง (ภาพประกอบ 7) ชะนาการประกวดที่จังหวัดเพชรบูรณ์ พ.ศ. 2513 เป็นพันธุ์ที่มีประวัติยาวนานจนถือได้ว่าเป็นตำนานแห่งมะขามหวานเพชรบูรณ์ โดยนายสิม พุทธสีมา (กนก ชวนานนท์. 2534: 18) ในตำแหน่งผู้ใหญ่บ้านหรือที่ชาวบ้านเรียกว่า หมื่นจง ประชากิจ ได้ค้นพันธุ์จากที่ใดไม่มีหลักฐานยืนยันได้อย่างชัดเจน หมื่นจง ประชากิจ เป็นเจ้าของมะขามที่มีรสชาติหวานดีชาวบ้านจึงเรียกว่า มะขามหวานพันธุ์หมื่นจง มีลักษณะฝักใหญ่ โค้งจนเกือบจรดกันเป็นรูปอ้อมวง เปลือกหนา สีน้ำตาลเข้ม เนื้อหนา สีน้ำตาลเข้มเกือบดำ เมล็ดเล็ก รสชาติหวานมาก มีน้ำตาลถึง 42% มีช่วงเวลาเก็บเกี่ยวตั้งแต่เดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ มีข้อเสียคือมักมีปัญหาการแตกของฝักแก่จนเป็นลักษณะประจำพันธุ์ และด้วยสาเหตุนี้เกษตรกรจึงไม่นิยมปลูก (ตำนานมะขามหวานเมืองเพชรบูรณ์. 2549: ออนไลน์)



ภาพประกอบ 7 มะขามหวานพันธุ์หมื่นจง

ที่มา: *ฐานข้อมูลทรัพยากรพืชพรรณของฝ่ายปฏิบัติการวิจัย*. (2549). (ออนไลน์).

2.2 พันธุ์สีทอง (ภาพประกอบ 8) เดิมมีชื่อพันธุ์ว่าพันธุ์นายหยัด โดยนายหยัด กองมูล เป็นผู้นำมาปลูก ต่อมานายจรูญ สวัสดิพงษ์ นำไปขยายพันธุ์และตั้งชื่อว่าพันธุ์สีทอง เนื่องจากลักษณะของเนื้อมะขาม เมื่อสุกจะมีสีเหลืองเหมือนสีของทองคำ (กองบรรณาธิการกลุ่มบัณฑิตเกษตรก้าวหน้า. 2539: 14) มะขามหวานพันธุ์สีทองชนะการประกวดที่จังหวัดเพชรบูรณ์ พ.ศ. 2517, 2532 และ พ.ศ. 2534 (เพชรบูรณ์. 2548: ออนไลน์) มีลักษณะฝักใหญ่โค้งงอคล้าย พันธุ์หมื่นจง เปลือกหนา สีน้ำตาลนวล เนื้อหนาสีน้ำตาลอมเหลือง เมล็ดใหญ่ รสชาติหวาน มีช่วงเวลาเก็บเกี่ยวตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม มะขามหวานพันธุ์สีทองเป็นมะขามหวานที่ได้รับการยอมรับว่าดีที่สุด ราคาของสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ แต่มีข้อเสียคือให้ผลผลิตที่ไม่สม่ำเสมอโดยจะให้ผลปีเว้นปี (กองบรรณาธิการกลุ่มบัณฑิตเกษตรก้าวหน้า. 2539: 15)



ภาพประกอบ 8 มะขามหวานพันธุ์สีทอง

ที่มา: *ฐานข้อมูลทรัพยากรพืชพรรณของฝ่ายปฏิบัติการวิจัย*. (2549). (ออนไลน์).

2.3 พันธุ์สีทองเบา (ภาพประกอบ 9) นายอาจ เป้าทอง ปลุกด้วยการเพาะเมล็ด ต่อมาในปี พ.ศ. 2531 คณะกรรมการชมรมผู้ปลูกมะขามหวานเพชรบูรณ์ตั้งชื่อว่าพันธุ์สีทองเบา เนื่องจากฝักมีลักษณะใหญ่ โค้งงอคล้ายพันธุ์สีทอง แต่มีน้ำหนักเบากว่าเมื่อเทียบกับฝักพันธุ์สีทอง ที่มีขนาดเท่ากันเปลือกสีน้ำตาลเทา เปลือกจะบางกว่าพันธุ์สีทอง เนื้อหนาแห้งและเหนียวกว่า เนื้อสีน้ำตาลอมเหลือง เมล็ดใหญ่ รสชาติหวาน มีช่วงเวลาเก็บเกี่ยวตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงต้นเดือนมกราคม (มะขามหวานพันธุ์ต่าง ๆ. 2550: ออนไลน์)



ภาพประกอบ 9 มะขามหวานพันธุ์สีทองเบา

2.4 พันธุ์อินทผาลัม (ภาพประกอบ 10) มีถิ่นกำเนิดอยู่ที่บ้านหนองเล ตำบลหินขาว อำเภอหล่มเก่า เดิมมีชื่อเรียกว่าพันธุ์หนองเล ฝักมีลักษณะกลมโตโค้งเล็กน้อย เปลือกบางสีน้ำตาลเข้ม เนื้อมีสีน้ำตาลเข้ม หนาไม่เหนียว เมล็ดใหญ่ปานกลาง รสชาติหวานคล้ายผลอินทผาลัม มีช่วงเวลาเก็บเกี่ยวตั้งแต่เดือนมกราคมถึงต้นเดือนกุมภาพันธ์ มีข้อเสียคือเมล็ดค่อนข้างใหญ่ (มะขามหวานพันธุ์ต่าง ๆ. 2550: ออนไลน์)



ภาพประกอบ 10 มะขามหวานพันธุ์อินทผาลัม

2.5 พันธุ์แสงอาทิตย์ (ภาพประกอบ 11) พ.ศ. 2517 นายมัทที จันทรืทน เป็นผู้ตั้งชื่อ พันธุ์แสงอาทิตย์ (มะขามหวานพันธุ์ต่าง ๆ. 2550: ออนไลน์) ลักษณะฝักใหญ่ และมีความยาวตั้งแต่ 20 เซนติเมตรขึ้นไป ฝักแบนโค้งเปลือกหนาสีน้ำตาลเข้ม เนื้อสีน้ำตาลเข้ม หนาและหยาบ เมล็ดใหญ่มาก รสชาติหวานอมเปรี้ยว มีข้อเสียคือ เมล็ดใหญ่ และฝักขนาดใหญ่ทำให้เกิดความเสียหายง่ายเมื่อมีการแตกหรือหัก และเกิดเป็นเชื้อราได้ง่าย (พัชรินทร์ บุตรหินทอง. 2549: สัมภาษณ์)

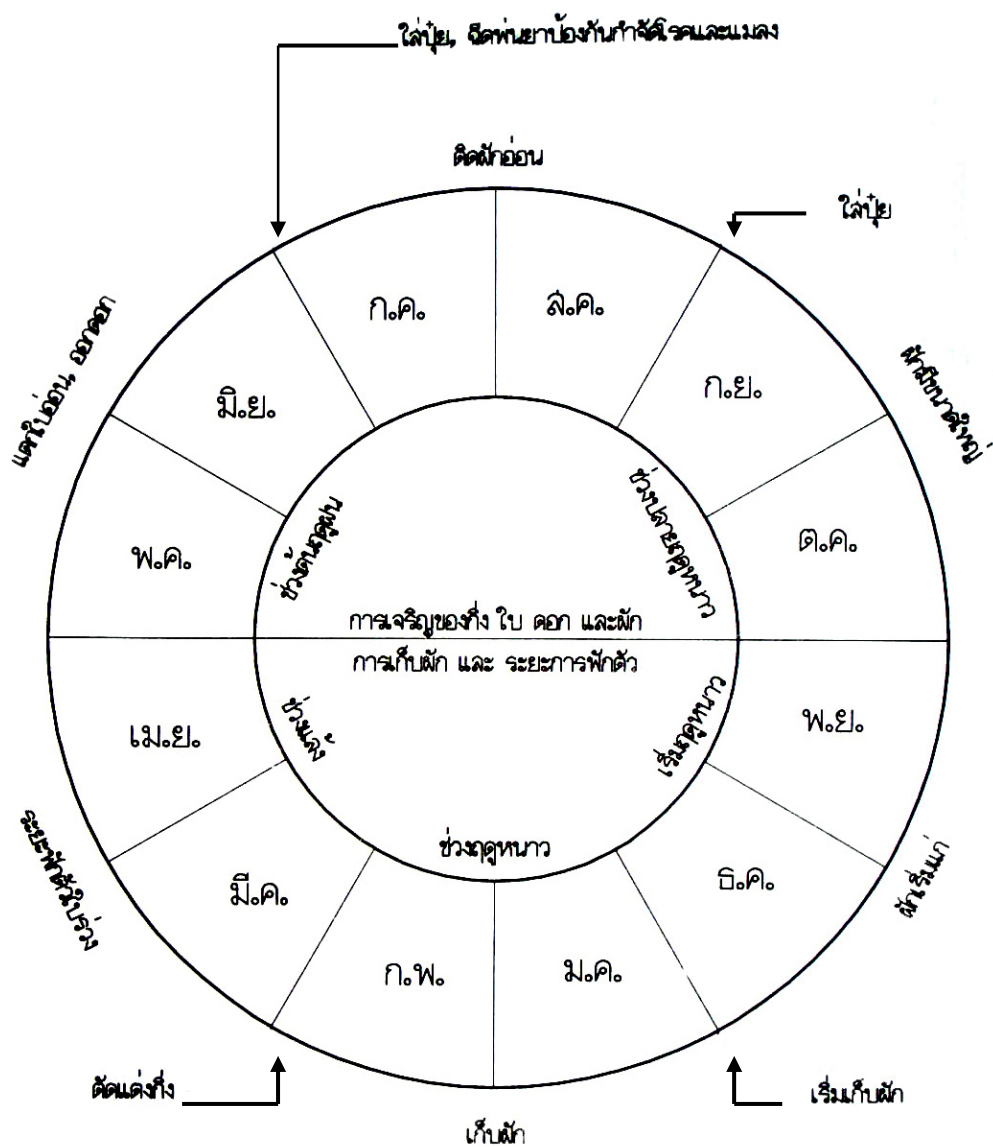


ภาพประกอบ 11 มะขามหวานพันธุ์แสงอาทิตย์

ที่มา: มะขามหวานพันธุ์ต่าง ๆ. (2550). (ออนไลน์).

การเจริญของมะขามหวานในรอบปี (ภาพประกอบ 12)

มะขามหวานเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ดีในพื้นที่แห้งแล้ง โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากมะขามหวานต้องการน้ำไม่มากนักในการเจริญ เมื่อเข้าสู่ฤดูฝนประมาณเดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคม จะแตกใบอ่อน ออกดอก และติดฝัก ฝักมะขามหวานจะเริ่มแก่และเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ในช่วงนี้หากมีปริมาณน้ำฝนมาก อาจเกิดความเสียหายต่อสวนมะขามหวานโดยเฉพาะในช่วงการสุกของฝักมะขามหวาน (กองบรรณาธิการกลุ่มบัณฑิตเกษตรก้าวหน้า. 2530: 9 -10) ภายหลังการเก็บเกี่ยวประมาณเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายนใบจะร่วงเรียกว่าระยะพักตัว



ภาพประกอบ 12 การเจริญของมะขามหวานในรอบปี

ที่มา: กองบรรณาธิการกลุ่มบัณฑิตเกษตรก้าวหน้า. (2530). ไม้ผลไทยมะขามหวาน. หน้า 4.

การขยายพันธุ์มะขามหวาน

การทำสวนมะขามหวานในประเทศไทยปัจจุบันนิยมขยายพันธุ์ด้วยวิธีการเปลี่ยนยอด (ภาพประกอบ 13) เนื่องจากวิธีนี้มีข้อดีหลายประการ คือ ได้ต้นพันธุ์ที่มีระบบรากแข็งแรง มีการเจริญเติบโตเร็วไม่ชะงัก สามารถบังคับทรงพุ่มได้ตามความต้องการ การเปลี่ยนยอดมะขามหวานสามารถทำได้ โดยการเปลี่ยนยอดต้นตอที่ปลูกในแปลง ซึ่งต้นตอนั้นได้จากการเพาะเมล็ดและควรมีอายุ 8 เดือนถึง 2 ปี เมื่อทำการเปลี่ยนยอดแล้วจะใช้เวลาปลูกและบำรุง 4 - 5 ปี รวมระยะเวลาโดยประมาณ 5 - 8 ปี จึงจะได้มะขามหวานที่ออกจำหน่ายได้ (กรมส่งเสริมการเกษตร. 2548: ออนไลน์) ต้นมะขามสามารถมีชีวิตรยืนยาวและให้ผลผลิตได้ถึง 80 - 200 ปี (International Center for Underutilized Crops. 1999: Online)



ก. ต้นตอที่เพาะจากเมล็ด



ข. ฉีกเปิดเปลือกต้นตอ



ค. เปลี่ยนยอดพันธุ์เข้ากับต้นตอ



ง. ใช้พลาสติกใส่พันต้นตอ
และยอดพันธุ์



จ. หลังเปลี่ยนยอด 1 สัปดาห์



ฉ. ต้นตอที่ทำการเปลี่ยนยอดแล้ว

ภาพประกอบ 13 การขยายพันธุ์มะขามหวานโดยวิธีการเปลี่ยนยอด

ที่มา: กรมส่งเสริมการเกษตร. (2548). (ออนไลน์).

ผลผลิตมะขามหวานและการตลาด

มะขามหวานเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีรูปแบบการส่งออกผลผลิตที่หลากหลาย ได้แก่ มะขามหวานทั้งฝัก มะขามเปียกทั้งเมล็ดหรือแกะเมล็ดออกแล้ว มะขามหวานแปรรูป เช่น มะขามแก้ว มะขามกวน ทอฟฟี่มะขาม น้ำมะขาม ตลาดส่งออกหลัก ได้แก่ สหรัฐอเมริกา สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ และปากีสถาน ตลาดส่งออกสำคัญอันดับหนึ่ง คือ สหรัฐอเมริกา ซึ่งนำเข้ามะขามจากต่างประเทศ ปีละประมาณ 1 ล้านเหรียญสหรัฐ จาก 8 ประเทศ ได้แก่ เม็กซิโก ซึ่งมีส่วนแบ่งตลาดในสหรัฐฯ สูงสุด 77% รองลงมาคือ อินเดียมีส่วนแบ่งตลาดในสหรัฐฯ 14% อาเจนตินามีส่วนแบ่งตลาดในสหรัฐฯ 5% ชิลีมีส่วนแบ่งตลาดในสหรัฐฯ 5% นอกจากนี้สหรัฐอเมริกายังมีการนำเข้ามะขามจาก สาธารณรัฐโดมินิกัน อิหร่าน ไทย และมาเลเซีย มะขามหวานจากไทยยังมีส่วนแบ่งตลาดในสหรัฐฯ ไม่ถึง 1% เนื่องจากปัญหาด้านคุณภาพ แม้จะมีการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่องทางด้านการปรับปรุงพันธุ์ แต่ปัจจุบันเกษตรกรยังคงพบปัญหาและอุปสรรคหลายด้านเกี่ยวกับผลผลิตและการตลาด เช่น การพบแมลงในฝักมะขามสดหรือมีมอดในเมล็ดมะขาม ปริมาณผลผลิตไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากปัจจัยทางธรรมชาติ ผลผลิตมีคุณภาพต่ำไม่เป็นที่ยอมรับในตลาดต่างประเทศ (การส่งออกมะขามหวาน. 2549: ออนไลน์)

นายบุญเลิศ พุทธเจริญ (2549: รายการโทรทัศน์) เจ้าของสวนมะขามหวานชนิกา ในจังหวัดเพชรบูรณ์ ให้สัมภาษณ์ในรายการข่าวโม่งข่าวท้องถิ่น สถานีโทรทัศน์เนชั่นทีวี ออกอากาศเมื่อวันที่ 23 สิงหาคม พ.ศ. 2549 เมื่อเวลา 18.30 น. ว่าสถานการณ์มะขามหวานเพชรบูรณ์น่าเป็นห่วงว่าอีกไม่นานอาจถึงขั้นสูญพันธุ์ เนื่องจากเกษตรกรไม่พึงพอใจในการปลูกมะขามหวานที่ให้ผลผลิตไม่ดีและไม่ได้พันธุ์ดีตามที่ต้องการ จึงมีการตัดโค่นทำลายต้นพันธุ์มะขามหวานและปลูกพืชอื่นทดแทน นายบุญเลิศยังได้เชิญชวนให้เกษตรกรในจังหวัดเพชรบูรณ์มีกำลังใจในการปลูกมะขามหวาน ซึ่งหากผลผลิตไม่ดีควรปรับปรุงดินและตัดแต่งกิ่งอาจช่วยให้ต้นมะขามหวานให้ผลผลิตดีขึ้น เพราะเชื่อว่าราคามะขามหวานจะดีขึ้นอย่างแน่นอน และนายบุญเลิศได้ยืนยันว่าจะเก็บรักษามะขามหวานพันธุ์ดีไว้ เพื่ออยู่คู่จังหวัดเพชรบูรณ์ต่อไป

นางพัชรินทร์ บุตรหินทอง (2549: สัมภาษณ์) เกษตรกรและแม่ค้ามะขามหวานอำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ให้สัมภาษณ์เมื่อวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2549 ว่าได้ปลูกมะขามหวานพันธุ์ที่เป็นที่นิยมและราคาดีไว้หลายพันธุ์ ซึ่งส่วนใหญ่จะได้กิ่งพันธุ์มาจากสวนชื่อดัง แต่เมื่อปลูกจนออกผลแล้ว บางครั้งอาจได้มะขามหวานที่ไม่ตรงกับพันธุ์ที่ต้องการหรือมีฝักเล็กทำให้ขายไม่ได้ราคาและเมื่อย้อนกลับไปถามเจ้าของกิ่งพันธุ์ ก็จะได้คำตอบว่าเป็นเพราะดินที่ปลูก ซึ่งไม่น่าจะเป็นเหตุผลที่ถูกต้อง เพราะเกษตรกรส่วนใหญ่ปลูกในพื้นที่ไม่ห่างกัน เกษตรกรจึงจำเป็นต้องตัดทำลายต้นมะขามหวานที่ไม่ตรงตามพันธุ์ซึ่งปลูกมานานเกือบ 5 ปี และนำไปเผาเป็นถ่าน เหตุการณ์เช่นนี้ได้เกิดขึ้นกับเกษตรกรในจังหวัดเพชรบูรณ์หลายคน

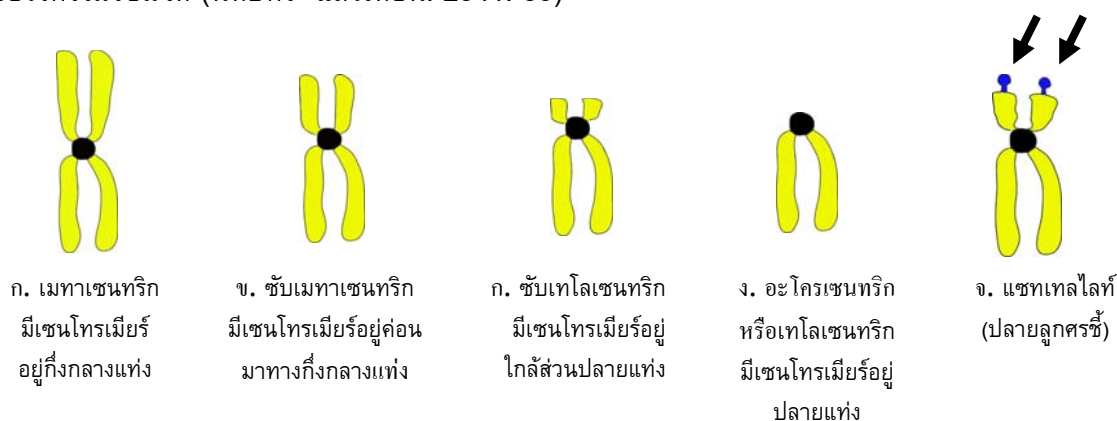
นายสุนันท์ กำมะถัน (2549: สัมภาษณ์) เกษตรกรสวนมะขามหวานในอำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดเพชรบูรณ์ได้ให้สัมภาษณ์ไว้เมื่อวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2549 ว่าไม่ได้ผลผลิตจากสวนมะขามหวานมานาน 2 ปี เนื่องจากฝนทิ้งช่วงนานขณะที่มะขามหวานออกดอก แต่มีปริมาณฝนมากในช่วงมะขามสุกทำให้เกิดความเสียหาย อีกทั้งฝักมะขามหวานที่ได้ส่วนใหญ่จะเน่าและเกิดโรคหนอนเจาะฝัก นายสุนันท์จึงคิดที่จะตัดทำลายต้นมะขามหวานบางส่วนทิ้งเพื่อใช้พื้นที่ในการทำการเกษตรอย่างอื่น

สภาพปัญหาและสถานการณ์เกี่ยวกับมะขามหวานล้วนมาจากการขาดความรู้และเอกสารหรือตำราที่จะช่วยให้ความรู้เกี่ยวกับเกษตรกรในการทำสวนมะขามหวาน รวมถึงการปรับปรุงพันธุ์อันเป็นความลับภายในสวนมะขามที่มีเพียงเจ้าของสวนเท่านั้นที่ทราบ ดังนั้นการลงทุนทำสวนมะขามหวานจึงถือเป็นความเสี่ยง

เซลล์พันธุศาสตร์และชีววิทยาระดับโมเลกุล

เซลล์พันธุศาสตร์ของพืชศึกษาได้จากโครโมโซมในการแบ่งเซลล์ระยะเมทาเฟส ซึ่งนอกจากจะทำให้ทราบจำนวนโครโมโซมที่ชัดเจนแล้ว การจัดเรียงโครโมโซมตามขนาดและรูปร่างเป็นแผนภาพคาริโอไทป์ยังช่วยในการจำแนกความแตกต่างของชนิดและพันธุ์ต่าง ๆ ของพืชอีกด้วย (ชัยฤกษ์ มณีพงษ์. 2525: 7) การจำแนกรูปร่างโครโมโซมตามตำแหน่งของเซนโทรเมียร์ (centromere) สามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิด ได้แก่ โครโมโซมแบบเมทาเซนทริก (metacentric chromosome) ซับเมทาเซนทริก (submetacentric chromosome) ซับเทโลเซนทริก (subtelocentric chromosome) อะโครเซนทริกหรือเทโลเซนทริก (acrocentric or telocentric chromosome)

นอกจากนี้โครโมโซมอาจมีรอยคอดอันดับที่ 2 (secondary constriction) ซึ่งโดยปกติพบบนแขนข้างสั้นเรียกว่าแซทเทลไลท์ (satellite) และมักใช้เป็นเครื่องหมาย (marker) ในการจับคู่ของโครโมโซมได้ (นิตยศรี แสงเดือน. 2541: 50)



ภาพประกอบ 14 รูปร่างโครโมโซมจำแนกตามตำแหน่งของเซนโทรเมียร์

ที่มา: ดัดแปลงจาก. *The Free Dictionary*. (2006). (Online).

การศึกษาด้านเซลล์พันธุศาสตร์ของพืชวงศ์ Fabaceae มีรายงานที่น่าสนใจ ดังนี้

เกศินี ระมิงวงศ์ (2546: ออนไลน์) รายงานว่าพืชในกลุ่มมะขาม (Caesalpiniaceae) มีจำนวนโครโมโซมพื้นฐาน (X) เท่ากับ 8, 9, 11, 12, 13, 14, 21, 24, 26 และ 28

ในปี ค.ศ. 2002 ซัลคาร์เนน ทาจิ และปราคาสซ์ (Zulkarnain; Taji; & Prakash. 2002: 331-333) ศึกษาจำนวนโครโมโซมของ *Swainsona formosa* โดยวิธีการ squash เนื้อเยื่อบริเวณปลายรากพบว่าจำนวนโครโมโซม $2n = 16$ *Swainsona formosa* เป็นพืชตัดดอกที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจโดยมีการส่งออกไปยังประเทศญี่ปุ่นเป็นจำนวนมาก ผลที่ได้จากการศึกษานี้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อการวิจัยเกี่ยวกับการกลายพันธุ์ของพืชชนิดนี้ต่อไป

นี กู และซัน (Nie; Gu; & Sun. 2002: 17-22) ได้ศึกษาพืชสกุล *Tibetia* พบว่ามีจำนวนโครโมโซม $2n = 16$ พืชสกุลนี้เป็นพืชที่พบได้ในเขตตะวันออกของเทือกเขาหิมาลัยจัดเป็นไม้ยืนต้นซึ่งประกอบด้วย 4 ชนิด ที่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามแหล่งที่พบคือ *Tibetia* 3 ชนิดจะพบได้ในเขตภูเขาสูงตอน (Hengduan) ส่วนอีก 1 ชนิดคือ *Tibetia himalaica* พบเฉพาะในภูฏาน และเนปาล ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำมาเปรียบเทียบและอภิปรายผลทางชีวภูมิศาสตร์ ของพืชสกุลนี้อีกทั้งยังช่วยในการวิเคราะห์เกี่ยวกับการวิวัฒนาการของโครโมโซม

ในปี ค.ศ. 2003 ลอรา แกเบรียล และ เกรกอรี (Laura; Gabriel; & Gregory. 2003: 731-735) ศึกษาการโอโทปีของพืชสกุล *Sophora tetraptera* ซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติถึง 50 ชนิด ผลการวิจัยพบว่าจำนวนโครโมโซม $2n = 18$ และพบแซทเทลไลท์ในโครโมโซมแบบซับเมทาเซนทริก 1 คู่ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษามีประโยชน์ด้านการอนุกรมวิธาน และใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาเกี่ยวกับการวิวัฒนาการของพืชสกุลนี้ต่อไป

สำหรับพืชชนิดเดียวกันแต่ต่างพันธุ์ การจำแนกพืชโดยอาศัยลักษณะทางสัณฐานวิทยาเบื้องต้นหรือก่อนออกผลอาจทำได้ยาก เนื่องจากมีลักษณะโดยทั่วไปที่คล้ายคลึงกัน ผลจากการศึกษาด้านเซลล์พันธุศาสตร์ของพืช พบว่าสามารถใช้จำแนกพันธุ์ของพืชเศรษฐกิจได้หลายพันธุ์ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

การศึกษาด้านเซลล์พันธุศาสตร์ของกีวีฟรุต (*Actinidia chinensis*) จำนวน 6 พันธุ์ พบว่ากีวีฟรุตมีจำนวนโครโมโซมเท่ากันคือ $2n = 166$ แต่มีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถนำมาศึกษาความแตกต่างของขนาดและรูปร่างโครโมโซมได้ (อุษณิษฐ์ ปักษาศร. 2531: 34)

ดวงทิพย์ วิทยศักดิ์ (2539: 95-96) ศึกษาว่านสีทศ (*Hippeastrum* spp.) พันธุ์พื้นบ้านดอกสีแดงและว่านสีทศจากต่างประเทศ 4 พันธุ์ คือ Apple Blossom, Orange Sovereign, Red Lion และ Telstar พบว่าพันธุ์พื้นบ้านดอกสีแดงมีจำนวนโครโมโซม $2n = 22$ ส่วนพันธุ์จากต่างประเทศมีจำนวนโครโมโซม $2n = 44$

ชินวัฒน์ ยัศวณพันธ์ (2541: 87) ทำการศึกษาจำแนกพันธุ์ลิ้นจี่ (*Litchi chinensis*) โดยเทคนิคทางเซลล์พันธุศาสตร์จำนวน 19 พันธุ์ พบว่าลิ้นจี่ทุกพันธุ์มีจำนวนโครโมโซมเท่ากันคือ $2n = 30$ แต่สามารถจำแนกพันธุ์ลิ้นจี่ได้จากความแตกต่างของขนาดและรูปร่างโครโมโซม

ปนัดดา กาญจนะ (2541: 11) ทำการจำแนกพันธุ์ลำไย (*Euphoria longana*) จำนวน 16 พันธุ์ พบว่าทุกพันธุ์มีจำนวนโครโมโซมเท่ากันคือ $2n = 30$ แต่มีความแตกต่างของขนาดและรูปร่างของโครโมโซม

อรพินท์ เทพเสน (2543: 82) ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเรณูและโครโมโซมจากปลายรากของพืชสกุลขมิ้น (*Curcuma*) พบว่าสามารถแบ่งพืชสกุลนี้ออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีจำนวนโครโมโซมพื้นฐาน (x) = 21 โดยมีจำนวนโครโมโซม $2n = 63$, $2n = 42$ และกลุ่มที่มีจำนวนโครโมโซมพื้นฐาน (x) ตั้งแต่ 10 - 22 โดยมีจำนวนโครโมโซม $2n = 20$, $2n = 32$, $2n = 36$, $2n = 40$ และ $2n = 44$ ตามลำดับ

อัญชลี ศรีสุวรรณ (2546: 22) ศึกษาจำนวนโครโมโซมจากปลายรากของฝรั่งจำนวน 37 พันธุ์ พบว่าพันธุ์ Indonesian seedless และพันธุ์บางกอกแอปเปิ้ลซึ่งเป็นฝรั่งพันธุ์ไม่มีเมล็ด มีจำนวนโครโมโซม $2n = 33$ เป็น triploid ส่วนฝรั่งพันธุ์ลูกผสมและพันธุ์อื่น ๆ มีจำนวนโครโมโซม $2n = 22$ งานวิจัยนี้ยังพบว่าช่วงเวลาที่มีการแบ่งเซลล์แบบเมทาเฟสมากที่สุดคือ 8.00 - 10.00 น.

ปิยะพร แสนสุข; สุรพล แสนสุข; และสุภัคศร รินทสมบัติ (2548: 16-21) ศึกษาจำนวนโครโมโซมพืชวงศ์ขิงจำนวน 10 ชนิด พบว่ามีจำนวนโครโมโซมที่แตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่มีจำนวนโครโมโซม $2n = 22$ มีเพียง *Globba winitii* มีจำนวนโครโมโซม $2n = 32$ และ *Kaempferia angustifolia* กับ *K. rotunda* มีจำนวนโครโมโซม $2n = 33$

พิชัย ใจกล้า และสุทธิรัตน์ ปาลาศ (2549: 61-64) ศึกษาสัณฐานวิทยาและจำนวนโครโมโซมยางสดพื้นเมืองลับแล พบว่ายางสดพื้นเมือง 3 ตำบลได้แก่ ตำบลฝายหลวง ตำบลนากกก และตำบลแม่พลู ในอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์มีสัณฐานวิทยาใกล้เคียงกัน และมีจำนวนโครโมโซม $2n = 24$

เชน สดับ และเจียง (Chen; Staub; & Jiang. 1998: 301-305) ศึกษาพืชสกุลแตงกวา (*Cucumis sativas* L.) พบว่ามีจำนวนโครโมโซม $2n = 14$ โดยคาริโอไทป์ประกอบด้วยโครโมโซมแบบเมทาเซนทริก และซับเมทาเซนทริก ที่มีความยาวเฉลี่ยตั้งแต่ 1.48 - 2.31 ไมโครเมตร

คอนทิม และคนอื่น ๆ (Contim; et al. 2005: 754-757) ศึกษาพืชสกุล Rosewood (*Aniba rosaeodora*) เป็นพืชพื้นเมืองในแถบอะเมซอนมีความสำคัญทางเศรษฐกิจโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ในงานวิจัยนี้พบว่า Rosewood มีจำนวนโครโมโซม $2n = 24$ ประกอบด้วยโครโมโซมแบบซับเมทาเซนทริก 12 คู่ และพบแซทเทลไลต์ที่แขนข้างสั้นของโครโมโซมคู่ที่ 7

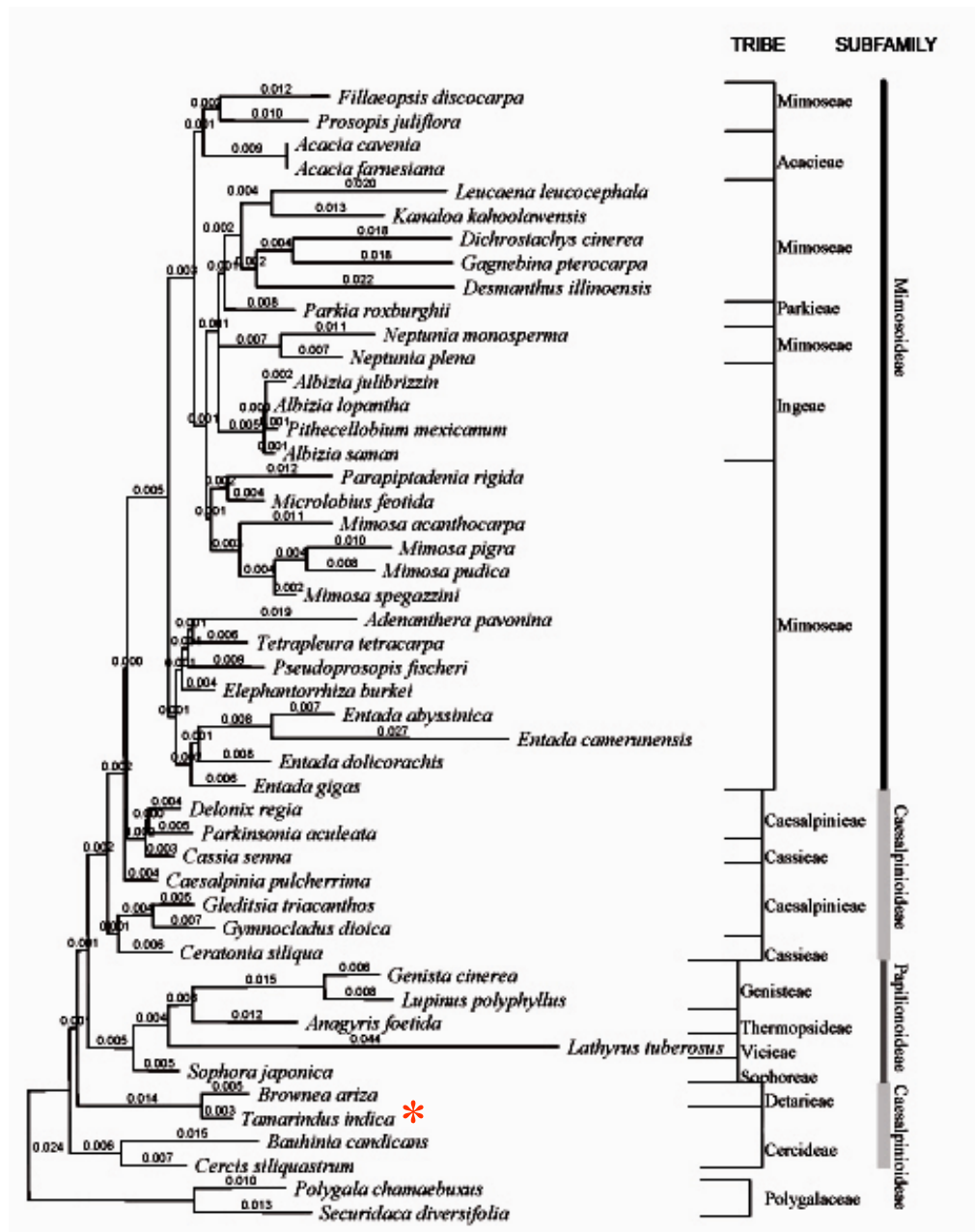
เฟอร์โกเนซิ และคนอื่น ๆ (Fregonezi; et al. 2006: 97-104) ศึกษาพืชสกุล *Cestrum* (Solanaceae) พบว่ามีจำนวนโครโมโซม $2n = 16$ โดยคาริโอไทป์ประกอบด้วยโครโมโซมแบบอะโครเซนทริก 8 คู่

อิลียู และ อโวเปตู (Aliyu; & Awopetu. 2007: 131-136) ศึกษาพืชสกุลมะม่วงหิมพานต์ หรือ Cashew nut (*Anacardium occidentale* L.) จาก sub-Sahara Africa เอเชีย และอเมริกาใต้ โดยเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างในประเทศไนจีเรีย พบว่าพืชสกุลนี้มีจำนวนโครโมโซม $2n = 24$

มีความใกล้เคียงทางพันธุกรรมอย่างมาก ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะนำไปใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป

ในการจำแนกพันธุ์พืชกลุ่มมะขามโดยเทคนิคอื่น เช่น ไอโซไซม์ (isozyme) เสาวณี สุริยาภานนท์ (2538: 119-122) ได้ทำการตรวจสอบสายพันธุ์มะขามหวานและมะขามเปรี้ยว โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีที่สกัดได้จากพืชที่ใช้ลักษณะไอโซไซม์ 3 ชนิดคือ peroxidase, esterase และ acid phosphatase พบว่าสามารถจำแนกพันธุ์มะขามหวานและมะขามเปรี้ยวได้เป็น 5 กลุ่ม ตามลักษณะแถบที่ปรากฏ แต่ยังคงพบความสับสนของผลที่ได้จากการศึกษาว่ามะขามหวานพันธุ์เดียวกัน ที่เก็บจากต่างสถานที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มต่างกัน ความสับสนนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดในการเก็บตัวอย่างและการระบุพันธุ์ อย่างไรก็ตามการศึกษาโดยลักษณะไอโซไซม์ก็มีข้อจำกัดหลายประการ เช่น การใช้ส่วนของอวัยวะต่าง ๆ ที่ยีนจะมีการแสดงออกหรือไม่แสดงออก ระยะของการเจริญและอิทธิพลจากสภาพแวดล้อม ซึ่งข้อจำกัดเหล่านี้อาจมีผลกระทบต่อผลการทดลองได้

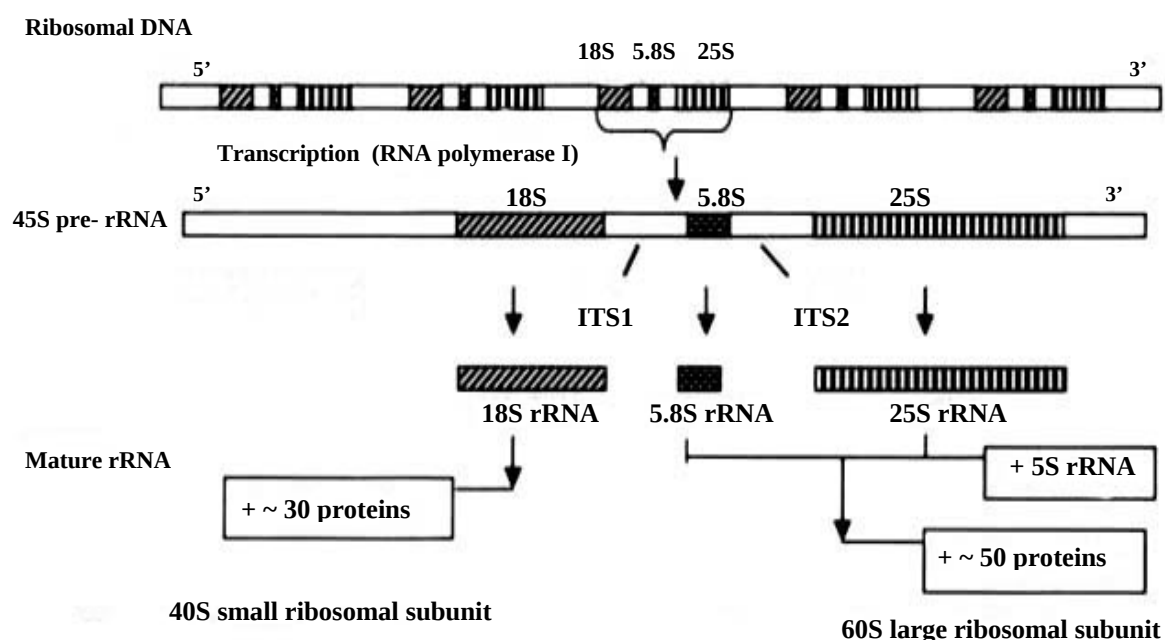
ในการศึกษาด้านความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการในระดับโมเลกุลของพืชวงศ์ Fabaceae ซึ่งประกอบด้วย 3 subfamily ได้แก่ Papilionoideae, Caesalpinioideae และ Mimosoideae ในปี ค.ศ. 1996 คาสส์ และวังก์ (Kass; & Wink. 1996: 365-378) ได้ริเริ่มการศึกษาบริเวณยีน *rbcL* ของคลอโรพลาสต์ ซึ่งต่อมาในปี ค.ศ. 1997 ดอยล์และคนอื่น ๆ (Doyle; et al. 1997: 541-554) ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติม และรายงานความสัมพันธ์ภายใน subfamily Caesalpinioideae tribe Detarieae ที่มีพืชสกุลมะขามรวมอยู่ด้วย โดยผลที่ได้แสดงความใกล้เคียงกันของพืชสกุล *Cercis* กับพืชสกุล *Bauhinia* และพืชสกุล *Macrolobium* กับสกุล *Brownea* ต่อมาในปี ค.ศ. 2003 สุไลมาน คูลแฮม และฮาร์บอร์น (Sulaiman; Culham; & Harborne. 2003: 9-35) ได้ศึกษาที่บริเวณยีน *rbcL* โดยเน้นความสำคัญไปที่ tribe Mimoseae อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ยังแสดงให้เห็นว่า *Tamarindus indica* มีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับ *Brownea ariza* (ภาพประกอบ 15)



ภาพประกอบ 15 Phylogenetic tree ที่ได้จากการวิเคราะห์ลำดับเบสบริเวณยีน *rbcL* โดยใช้วิธี neighbour joining ของพืชวงศ์ Fabaceae ซึ่งประกอบด้วย 3 subfamily คือ Mimosoideae, Caesalpinioideae และ Papilionoideae พืชสกุลมะขาม (*Tamarindus indica* แสดงโดย *) มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับ *Brownea ariza* ตัวเลขบนกิ่ง (branch) แสดงระยะห่างทางพันธุกรรม

ที่มา: ดัดแปลงจาก Sulaiman; Culham; & Harborne. (2003, December). Molecular phylogeny of Fabaceae based on *rbcL* sequence data with special emphasis on the tribe Mimoseae (Mimosoideae). *Asia Pacific Journal of Biology and Biotechnology*. 11(1): p. 32.

นอกจากการใช้ยีน *rbcL* ของคลอโรพลาสต์แล้ว ในปี ค.ศ.1992 บาลด์วิน (Baldwin. 1992: 3-16) ได้ริเริ่มใช้บริเวณ internal transcribed spacer (ITS) ของ nuclear ribosomal DNA (nrDNA) ในพืชวงศ์ Compositae และพบความแตกต่างของลำดับเบสในวงศ์นี้มากถึง 20% ของตำแหน่งนิวคลีโอไทด์ทั้งหมดในยูแคริโอต การจัดเรียงตัวของ nuclear ribosomal DNA (ภาพประกอบ 16) ประกอบด้วยยีนที่มีหน่วยซ้ำกัน ได้แก่ 18S, 5.8S และ 25S rRNA บริเวณ ITS ประกอบด้วย ITS1, 5.8S และ ITS2 โดยจะพบ ITS1 อยู่ระหว่าง 18S และ 5.8S ส่วน ITS2 อยู่ระหว่าง 5.8S และ 25S เอนไซม์ RNA polymerase I ทำหน้าที่ถอดรหัสกลุ่มยีนข้างต้นให้ได้ pre - rRNA ต่อจากนั้นในขั้นตอน rRNA processing จะมีการตัดบริเวณ ITS1 และ ITS2 ออก ทำให้ได้ mature rRNA 3 ขนาด คือ 18S, 5.8S และ 25S โดยที่ 18S rRNA เมื่อรวมกับโปรตีนประมาณ 30 ชนิดจะได้ 40S small ribosomal subunit ส่วน 5.8S, 25S และ 5S rRNA เมื่อรวมกับโปรตีนประมาณ 50 ชนิดจะได้ 60S large ribosomal subunit ซึ่ง 40S และ 60S ribosomal subunit จะประกอบเป็น 80S ribosome (Brown; & Shaw. 1998: 649-657) ในพืชดอกส่วนใหญ่ บริเวณ ITS มีความยาวประมาณ 565 - 700 คู่เบส และมียีน 18S, 5.8S และ 25S เปลี่ยนแปลงน้อย (conserved) ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมในการออกแบบ primer สำหรับ PCR และ DNA sequencing นอกจากนี้บริเวณ ITS เป็น spacer ที่มีความผันแปรทางพันธุกรรมค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงให้ผลดีในการศึกษาด้านความหลากหลายทางพันธุกรรมและความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการในระดับสกุล (genus) ชนิด (species) และพันธุ์ (variety) ได้



ภาพประกอบ 16 การจัดเรียงตัวของ nuclear ribosomal DNA ที่พบในยูแคริโอต

ที่มา: ดัดแปลงจาก อัจฉริยาและคนอื่น ๆ . (2547). วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์. 3(3): 199.

ในปี ค.ศ.1999 ไอโนเช่ และเบเยอร์ (Ainouche; & Bayer. 1999: 541-554) ได้ศึกษาความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการของพืชสกุล *Lupinus* โดยอาศัยลำดับเบสบริเวณ ITS ผลการวิจัยพบว่าพืชสกุลนี้แบ่งได้เป็น 5 กลุ่มใหญ่ ซึ่งสอดคล้องกับการจำแนกตามแหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์

ในปี ค.ศ. 2003 ชนาเบลและคนอื่น ๆ (Schnabel; et al. 2003: 310-320) ได้ศึกษาความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการของพืชสกุล *Gleditsia* จำนวน 13 ชนิด โดยใช้ลำดับเบสบริเวณ ITS เพื่อทดสอบสมมติฐานเรื่องการกระจายทางชีวภูมิศาสตร์ของพืชสกุลนี้ ซึ่งผลการวิจัยสามารถแสดงความสัมพันธ์ใกล้ชิดของพืชสกุล *Gleditsia* และ *Gymnocladus* ที่มีบรรพบุรุษร่วมกันจากทวีปเอเชีย

ในปี ค.ศ. 2003 เฮาและคนอื่น ๆ (Hao; et al. 2003: 223-228) ได้ศึกษาพืชสกุล *Bauhinia* ซึ่งจัดอยู่ใน subgenus *Phanera* และในธรรมชาติสามารถพบได้ 150 ชนิด การใช้ลำดับเบสบริเวณ ITS และการวิเคราะห์ด้วย phylogenetic tree พบว่า *Bauhinia* กลุ่ม African, American และ Australasian มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกัน ในขณะที่ *Bauhinia* จาก Asia จะถูกจัดแยกไปเป็นกลุ่มใหญ่และพบว่ามีบรรพบุรุษร่วมกันกับกลุ่ม African, American

ต่อมา คริสป์ และคูก (Crisp; & Cook. 2003: 705-713) ศึกษาพืชสกุล *Oxylobium* โดยพืชสกุลนี้มีใบ ดอก และผล ที่มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาใกล้เคียงกันมาก จึงเป็นปัญหาในการอนุกรมวิธานมาตลอดเวลาเกือบ 200 ปี ผลจากการวิเคราะห์ลำดับเบสบริเวณ ITS พบว่าสามารถจำแนกพืชในกลุ่มนี้ที่มีมากถึง 450 ชนิดได้

ในปี ค.ศ. 2004 วาเรลา และคนอื่น ๆ (Varela; et al. 2004: 59-69) ได้ศึกษาพืชใน subtribe Diocleinae พบว่าเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลลำดับเบสบริเวณ ITS โดยการนำ phylogenetic tree แสดงให้เห็นว่า *Calopogonium* และ *Pachyrhizus* ไม่ควรถูกจัดอยู่ใน subtribe Diocleinae ผลจากการศึกษานี้สนับสนุนข้อมูลด้านสัณฐานวิทยาและสารเคมีในพืช

ในปี ค.ศ. 2006 เอลลิสัน และคนอื่น ๆ (Ellison; et al. 2006: In press) ศึกษาพืชสกุล *Trifolium* จำนวน 255 ชนิด พบว่าการใช้ลำดับเบสบริเวณ ITS สามารถจัดจำแนกพันธุ์ปลูกที่มีอยู่จำนวนมากได้สำเร็จ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับข้อมูลทางเซลล์พันธุศาสตร์ของพืชสกุลนี้

นอกจากพืชวงศ์ Fabaceae แล้วยังมีรายงานการศึกษาความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการระดับโมเลกุลของพืชวงศ์อื่น ๆ ที่น่าสนใจดังนี้

ในปี ค.ศ. 2000 รังสิริจิ นิวแมน และครองค์ (Rangsiruji; Newman; & Cronk. 2000: 9-37) ศึกษาความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการของพืชสกุล Zingiberaceae พบว่า *Alpinia galanga* ซึ่งถูกจัดอยู่ใน section *Alpinia* subsection *Alpinia* มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่เด่นชัด คือใบประดับที่ไม่เป็นรูปกรวย (non-tubular bracteole) ดังนั้นในการจัดจำแนกทางอนุกรมวิธาน *Alpinia galanga* จึงถูกแยกออกจาก *A. nigra* ที่อยู่ใน section *Allughas* ซึ่งมีใบประดับเป็นรูปกรวย (tubular หรือ funnel-shaped bracteole) และเป็นลักษณะที่โบราณกว่า แต่จากการวิเคราะห์ข้อมูลลำดับเบสบริเวณ ITS1 และ ITS2 พบว่า *A. galanga* มีความใกล้ชิดทางพันธุกรรมกับ *A. nigra* ซึ่งผลจากการศึกษานี้ทำให้ทราบว่า พืชทั้ง 2 ชนิดอาจมีบรรพบุรุษร่วมกันและควรจัดจำแนกอยู่ใน

กลุ่มเดียวกัน ดังนั้นลักษณะทางสัณฐานวิทยาของใบประดับเพียงอย่างเดียวอาจส่งผลให้การจำแนกทางอนุกรมวิธานผิดพลาดได้

ในปี ค.ศ. 2001 บลาทท์เนอร์ และคนอื่น ๆ (Blattner; et al. 2001: 331-344) ศึกษาความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการของพืชสกุล *Macaranga* (Euphorbiaceae) จำนวน 47 ชนิด ซึ่งมีความสำคัญต่อระบบนิเวศวิทยา เนื่องจากมีมดหลายชนิดอาศัยอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพากับพืชสกุลนี้ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลลำดับเบสบริเวณ ITS พบว่าการจัดกลุ่มมีความสอดคล้องกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพืชสกุลนี้

ในปี ค.ศ. 2003 โซนแนนเต กาลาสโซ และพิกโนเน (Sonnante; Galasso & Pignone. 2003: 49-54) ศึกษาพืชสกุลฝ้าย (*Leucaena*) พบว่าการวิเคราะห์ข้อมูลลำดับเบสบริเวณ ITS สามารถจำแนกพันธุ์ปลูกของฝ้ายที่มีมากได้สำเร็จ นอกจากนี้ยังพบว่า *L. nigricans* และ *L. lomottei* มีความใกล้เคียงกันมากที่สุดและเสนอให้ควรจัด *L. lomottei* และ *L. tomoentosus* แยกเป็น subspecies. *Orientalis*

จากรายงานการวิจัยดังกล่าวแสดงว่าบริเวณ ITS อาจนำมาใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการระดับโมเลกุลของพืชสกุลมะขามได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

การศึกษาคาร์โบไฮโปและความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการในระดับโมเลกุลที่ห้องปฏิบัติการ
ด้านพันธุศาสตร์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

พืชที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

มะขามหวานเพชรบูรณ์ 10 พันธุ์ ได้แก่

1. พันธุ์ศรีชมภู
2. พันธุ์ขันตี
3. พันธุ์ประกายทอง
4. พันธุ์ฝักดาบ
5. พันธุ์พระโรจน์
6. พันธุ์หมื่นจง
7. พันธุ์สีทอง
8. พันธุ์สีทองเบา
9. พันธุ์อินทผลัม
10. พันธุ์แสงอาทิตย์

ส่วนของพืชที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

นำผล และเมล็ดมาถ่ายรูป เก็บรักษาผลใน Copenhagen mixture ซึ่งประกอบด้วย
เมทิลแอลกอฮอล์ กลีเซอรอล และน้ำกลั่นในอัตราส่วน 10: 1: 8

เมล็ดใช้เพาะรากเพื่อศึกษาคาร์โบไฮโป

ใบที่เพาะด้วยเมล็ดใช้สกัด DNA เพื่อศึกษาพันธุศาสตร์ระดับโมเลกุล

การศึกษาด้านเซลล์พันธุศาสตร์

สารเคมี

1. สารละลาย paradichlorobenzene (PDB)
2. เอทานอลสัมบูรณ์ (absolute ethanol)
3. กรดน้ำส้มกลั่น (glacial acetic acid)
4. เอทานอล 70% (70% ethanol)
5. กรดเกลือ (HCl) 1 N
6. สีย้อมกิมซา (Giemsa's stain)
7. Sorrensen's phosphate buffer ($\text{KH}_2\text{PO}_4 : \text{Na}_2\text{HPO}_4 = 1:1$)
8. น้ำกลั่น

อุปกรณ์

1. เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge)
2. ภาชนะวางสไลด์ย้อมสี (coplin jar or staining dish)
3. มีดผ่าตัด
4. หลอดหยด
5. กล้องจุลทรรศน์
6. กล้องถ่ายรูป Olympus รุ่น PM-20
7. फिल्मขาวดำโกดัก BW400CN
8. เวอร์เนียร์

การศึกษาคาร์ิโอไทป์

1. การเตรียมโครโมโซมเพื่อศึกษาคาร์ิโอไทป์

เตรียมรากโดยเพาะเมล็ดในดิน จากนั้นเก็บตัวอย่างรากโดยตัดปลายรากความยาวประมาณ 0.5 – 1.0 เซนติเมตร ในช่วงเวลา 9.30-10.00 นาฬิกา แช่ตัวอย่างรากในสารละลาย paradichlorobenzene เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อให้การแบ่งเซลล์หยุดอยู่ในระยะเมทาเฟส จากนั้นรักษาสภาพเซลล์ในน้ำยา Carnoy's fluid ซึ่งเตรียมได้จากเอทานอลสัมบูรณ์ 3 ส่วน กับกรดน้ำส้มกลั่น 1 ส่วน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C จึงจะได้ตัวอย่างรากที่เหมาะสมต่อการศึกษาคาร์ิโอไทป์ นำตัวอย่างรากที่ได้แช่ในสารละลาย 1 N HCl เป็นเวลา 45 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่น นำตัวอย่างรากแช่ในน้ำยา Carnoy's fluid จากนั้นนำมาสับด้วยมีดผ่าตัดให้ละเอียด แล้วนำไปใส่ลงในหลอดทดลองเติมน้ำยา Carnoy's fluid นำหลอดทดลองเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ความเร็วประมาณ 800 – 1,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นใช้หลอดหยดดูดตะกอนและของเหลวหยดลงบนแผ่นสไลด์สะอาด จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งสนิทจึงย้อมด้วยสีย้อมกิมซาเป็นเวลา 20 นาที ล้างสีส่วนเกินออกด้วยน้ำกลั่นเมื่อแห้งแล้วนำมาตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์

2. การบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์โครโมโซม

2.1 การบันทึกข้อมูล เลือกเซลล์ในระยะเมทาเฟส ที่มีโครโมโซมกระจายดี บันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายรูป Olympus รุ่น PM-20 โดยใช้ฟิล์มขาวดำโกดัก BW400CN

2.2 การวิเคราะห์โครโมโซม

2.2.1 การหาจำนวนโครโมโซม

นำฟิล์มที่บันทึกภาพโครโมโซมในระยะเมทาเฟส ล้างอัดขยายขนาด 4×6 นิ้ว และนับจำนวนจาก 50 เซลล์ หรือมากกว่า

2.2.2 การจัดการโอไทป์

เลือกเซลล์ที่มีจำนวนโครโมโซมเท่ากันลักษณะการจัดเรียงตัวแผ่กระจายดีและภาพมีความคมชัดที่สุดจำนวน 5 เซลล์ ขยายภาพเป็น 5×7 นิ้ว ทำการวัดขนาดโครโมโซมจากภาพด้วยเวอร์เนียร์ โดยวัดความยาวแขนโครโมโซมจากตำแหน่งเซนโทรเมียร์ ไปยังปลายแขนทั้งสองข้างของโครโมโซม จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างแขนยาว (L) ต่อแขนสั้น (S) โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการคำนวณเพื่อกำหนดชนิดของโครโมโซมตามวิธีของลีแวน และคนอื่นๆ (Levan; et al. 1964: 201-220) (ตาราง 1) จับคู่โครโมโซมโดยอาศัยอัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ประกอบกับลักษณะที่คล้ายคลึงกันมากที่สุด โดยตัดรูปโครโมโซมจากภาพอัดขยายขนาด 5×7 นิ้ว จัดเรียงคาริโอไทป์จากโครโมโซมคู่ที่ยาวที่สุดไปคู่ที่สั้นที่สุดโดยให้แขนข้างสั้นอยู่ด้านบน

2.2.3 การหาจำนวนแขนโครโมโซม

แขนโครโมโซมแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ โครโมโซมที่มีสองแขน ได้แก่ โครโมโซมแบบเมทาเซนทริก (metacentric, m) และแบบซับเมทาเซนทริก (submetacentric, sm) และโครโมโซมที่มีแขนเดียว ได้แก่ โครโมโซมแบบซับเทโลเซนทริก (subtelocentric, st) และแบบอะโครเซนทริกหรือเทโลเซนทริก (acrocentric or telocentric, t) (Arai. 1982: 131-181) หรือสรุปได้ดังนี้

$$m, sm = \text{จำนวนโครโมโซมแต่ละคู่} \times 4$$

$$st, t = \text{จำนวนโครโมโซมแต่ละคู่} \times 2$$

2.2.4 การหาความยาวสัมพัทธ์ หรือ Relative length (RL) จากความยาวสัมบูรณ์ตามวิธีวิเคราะห์ของธวัช ดอนสกุล (2548: 24) หาได้จากความยาวทั้งแขนหรือความยาวสัมบูรณ์ของโครโมโซมแต่ละคู่หรือโครโมโซมคู่เหมือนแต่ละคู่ คูณด้วย 100 หารด้วยผลบวกโครโมโซมคู่เหมือนแต่ละคู่ที่เป็นแฮพลอยด์ หรือเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$RL = \frac{\text{ความยาวสัมบูรณ์ของโครโมโซมคู่เหมือน} \times 100}{\text{ผลบวกของคู่โครโมโซมหรือโครโมโซมคู่เหมือนแบบแฮพลอยด์}}$$

2.2.5 การหาขนาดของโครโมโซม

ตามวิธีของอุลเลริช (Ullerich, 1966: 361-342) โครโมโซมแบ่งเป็น 2 ขนาดคือโครโมโซมที่มีขนาดใหญ่ ได้แก่ โครโมโซมที่มีขนาดความยาวเกินครึ่งหนึ่งของค่าเฉลี่ยความยาวโครโมโซมทุกคู่รวมกันและโครโมโซมที่มีขนาดเล็ก คือ โครโมโซมที่มีความยาวน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของค่าเฉลี่ยความยาวโครโมโซมทุกคู่รวมกัน

2.2.6 การสร้างอิดิโอแกรม

คำนวณหาค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น ความยาวแขนยาว ความยาวรวมทั้งแขน (T) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้นของคู่โครโมโซมที่เป็นคู่เหมือน เมื่อคำนวณครบ 5 เซลล์จึงนำมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อใช้ในการสร้างอิดิโอแกรมโดยเรียงลำดับจากคู่โครโมโซมที่ยาวที่สุดไปหาคู่โครโมโซมที่สั้นที่สุด โดยให้แขนสั้นอยู่ด้านบนแขนยาวอยู่ด้านล่างจากโครโมโซมแบบเมทาเซนทริกไปยังซับเมทาเซนทริก ซับเทโลเซนทริก และอะโครเซนทริกหรือเทโลเซนทริกตามลำดับตามวิธีการของเซสตารีและกาเลตติ (Cestari; & Galletti, 1992: 108 -112) โดยใช้อัตราส่วนความยาว 1 เซนติเมตรต่อความยาวโครโมโซม 1 ไมโครเมตร (μm) โดยให้แกนนอนหรือแกน X เป็นคู่โครโมโซม แกนตั้งหรือแกน Y เป็นความยาวโครโมโซม โดยใช้โปรแกรม Adobe Illustrator version 10 และ Adobe photoshop CS

ตาราง 1 การแยกชนิดของโครโมโซมโดยอาศัยอัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้นตามวิธีของลีแวนและคนอื่น ๆ (Levan; et al. 1964: 201-220)

อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น	ชนิดของโครโมโซม	สัญลักษณ์
1.0 -1.7	เมทาเซนทริก	m
1.7 - 3.0	ซับเมทาเซนทริก	sm
3.0 - 7.0	ซับเทโลเซนทริก	st
7.0 - ∞	อะโครเซนทริกหรือเทโลเซนทริก	t

การศึกษาด้านชีววิทยาระดับโมเลกุล

สารเคมี

1. CTAB reagents
2. ไนโตรเจนเหลว (liquid nitrogen)
3. RNase A
4. nuclease - free water
5. wet chloroform (chloroform และ isoamyl alcohol อัตราส่วน 24:1)
6. isopropanol
7. wash buffer (เอทานอล 70%, 10 mM ammonium acetate)
8. β - mercaptoethanol
9. DNA มาตรฐาน (hyper ladder DNA marker)
10. agarose
11. 1X TBE buffer
12. ethidium bromide
13. $MgCl_2$
14. PCR buffer
15. *Taq* DNA polymerase (QIAGEN)
16. deoxynucleotide triphosphates (dNTPs)
17. PCR purification kit (QIAGEN)

อุปกรณ์

1. เครื่องเพิ่มปริมาณ DNA (เครื่อง PCR)
2. ชุดอิเล็กโทรโพลีซิส
3. UV transilluminator
4. กล้องถ่ายรูป Vilber Lourmat
5. ตู้เย็น 4°C และ - 20°C
6. เต้าไมโครเวฟ
7. micropipette
8. microcentrifuge tubes
9. microcentrifuge
10. water bath

การสกัด DNA

สกัด DNA จากใบมะขามหวาน 10 พันธุ์โดยใช้วิธีการ CTAB (Doyle; & Doyle. 1987: 11-15)

ตาราง 2 ส่วนประกอบที่ใช้ในการเตรียม CTAB buffer

ส่วนประกอบ	ปริมาณที่ใช้
CTAB	2 g
1M Tris HCl (pH 8.0)	10 ml
0.5 M EDTA	4 ml
NaCl	8.2 g
dH ₂ O	เติมให้ได้ปริมาตร 100 ml

นำส่วนประกอบทั้งหมด (ตาราง 2) ผสมกันแล้วนำเข้า autoclave ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 20 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เติม β -mercaptoethanol 200 μ l

การสกัด DNA เริ่มจากการทำความสะอาดตัวอย่างพืชด้วยเอทานอล 70% ตัดตัวอย่างพืชให้มีขนาดเล็กประมาณ 1 ตารางเซนติเมตร ใส่ใน microcentrifuge tube แล้วเติมไนโตรเจนเหลวบดให้ละเอียดโดยเร็ว จากนั้นเติม CTAB buffer 200 μ l บดต่อให้ละเอียด เติม CTAB buffer อีก 800 μ l แล้วนำไปบ่มใน water bath ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเติม RNase A 2 μ l บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 นาที เติม wet chloroform 200 μ l นำไปปั่นโดยใช้ความเร็ว 13,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที ดูดของเหลวใสด้านบนใส่ microcentrifuge tube อันใหม่ ทิ้งส่วนที่เป็นตะกอนและของเหลวด้านล่าง ทำซ้ำในขั้นตอนเดิมอีกครั้ง ดูดของเหลวใสด้านบนใส่ microcentrifuge tube อันใหม่ เติม isopropanol ที่แช่เย็น 600 μ l ผสมให้เข้ากันเบา ๆ วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที นำไปปั่นโดยใช้ความเร็ว 13,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที ดูดส่วนที่เป็นของเหลวด้านบนทิ้ง เติม wash buffer 1 ml วางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที นำไปปั่นโดยใช้ความเร็ว 13,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที ดูดส่วนที่เป็นของเหลวด้านบนทิ้ง เปิดฝา microcentrifuge tube แล้วนำไปไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 45°C เป็นเวลา 5-10 นาที เพื่อให้ DNA pellet แห้ง ละลาย pellet ที่ได้ใน nuclease-free water 50 μ l นำ DNA บางส่วนมาตรวจดูโดยเทคนิค agarose gel electrophoresis เก็บ DNA ที่สกัดได้ไว้ในตู้เย็น -20°C เพื่อนำไปเพิ่มปริมาณ DNA ด้วยเทคนิค PCR ต่อไป

การเพิ่มปริมาณ DNA ด้วยเทคนิค PCR

เทคนิค PCR สามารถใช้เพิ่มปริมาณ DNA ที่ต้องการอย่างจำเพาะที่บริเวณ internal transcribed spacer (ITS) โดยใช้ forward primer : ITS5 (5'-GGA AGG AGA AGT CGT AAC AAG G-3') และ reverse primer : ITS8 (5'-CAC GCT TCT CCA GAC TAC A-3')

ตาราง 3 ส่วนผสมของ PCR reaction

ส่วนผสมของ PCR reaction	ปริมาตร (μl)
nuclease - free water	8.75
5X Q-solution	5.0
25 mM MgCl ₂	2.0
10X buffer + 15 mM MgCl ₂	2.5
10 mM dNTPs	0.5
10 μM primer ITS5	2.5
10 μM primer ITS8	2.5
5 units/ μl <i>Taq</i> DNA polymerase	0.25
DNA template	1.0
รวม	25.0

นำส่วนผสมทั้งหมด (ตาราง 3) ใส่ใน microcentrifuge tube นำไปปั่นที่ 13,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ใส่ในเครื่อง PCR โดยกำหนดอุณหภูมิและเวลา ดังนี้

Denaturing step	94 °C	1	นาที
Annealing step	53 °C	2	นาที
Extension step	72 °C	1.5	นาที
Final extension step	72 °C	1	นาที

ทำซ้ำตั้งแต่ denaturing step ถึง extension step จำนวน 30 รอบ จากนั้นนำ PCR product บางส่วนมาตรวจดูโดยเทคนิค agarose gel electrophoresis โดยเทียบขนาดกับ DNA มาตรฐาน ดูแถบ DNA ภายใต้เครื่อง UV transilluminator และบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายรูป Vilber Lourmat

การทำ PCR product ให้บริสุทธิ์

นำ PCR product ของมะขามหวานแต่ละพันธุ์ที่ได้ 50 µl ทำให้บริสุทธิ์ด้วย PCR purification kit (QIAGEN) โดยการเติม PB buffer 150 µl ผสมให้เข้ากันเบา ๆ และวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 นาที นำส่วนผสมที่ได้ใส่ใน spin column ซึ่งวางอยู่ใน collection tube ปั่นโดยใช้ความเร็ว 13,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที เติม PE buffer 750 µl วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 - 5 นาที จากนั้นปั่นโดยใช้ความเร็ว 13,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที นำ spin column ใส่ใน microcentrifuge tube เติม nuclease - free water 35 µl วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 - 2 นาที จากนั้นนำไปปั่นโดยใช้ความเร็ว 13,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที นำบางส่วนมาตรวจดูโดยเทคนิค agarose gel electrophoresis โดยเทียบขนาดแถบ DNA ที่ได้จาก DNA มาตรฐาน

การวิเคราะห์ลำดับเบส

นำ PCR product ที่บริสุทธิ์ ส่งไปวิเคราะห์ลำดับเบสที่บริษัท MacroGen ประเทศเกาหลีใต้

การเปรียบเทียบลำดับเบส (sequence alignment)

เปรียบเทียบลำดับเบสบริเวณ ITS ของพืชสกุลมะขามซึ่งประกอบด้วย มะขามหวาน 10 พันธุ์ที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ คือ พันธุ์ศรีชมภู พันธุ์ขันตี พันธุ์ประกายทอง พันธุ์ฝักดาบ พันธุ์พระโรจน์ พันธุ์หมื่นจง พันธุ์สีทอง พันธุ์สีทองเบา พันธุ์อินทผาลัม และพันธุ์แสงอาทิตย์ พืชที่ใช้อ้างอิงหรือ outgroup species คือ *Gymnocladus chinensis* (GenBank accession number AF510034) และ *Bauhinia corymbosa* (GenBank accession number AF286357) ทำการเปรียบเทียบลำดับเบสโดยใช้โปรแกรม Clustal X (Jeanmougin; et al. 1998: 403-405)

การสร้าง phylogenetic tree และการวิเคราะห์ pairwise distance

หลังจากได้รูปแบบการเปรียบเทียบลำดับเบสบริเวณ ITS ของมะขามหวานทั้ง 10 พันธุ์ และ out group แล้ว สร้าง phylogenetic tree โดยใช้โปรแกรม PAUP* version 4.0b (Swofford. 1998) โดยวิธีการ parsimony เพื่อแสดงความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการของพืชที่ศึกษา วิเคราะห์ค่าทางสถิติ (bootstrap value) เพื่อแสดงความมั่นคงของการจัดจำแนกกลุ่มตัวอย่างในแต่ละกิ่ง (branch) ของ phylogenetic tree และวิเคราะห์ pairwise distance เพื่อแสดงระยะห่างทางพันธุกรรมของมะขามหวานทั้ง 10 พันธุ์และ outgroup

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ลักษณะของผล เนื้อและเมล็ดของมะขามหวาน 10 พันธุ์ที่นำมาศึกษาการโอไทป์และชีววิทยาระดับโมเลกุลปรากฏตามภาพประกอบ 17 และ 18

มะขามหวาน	ลักษณะผล เนื้อ เมล็ด		
พันธุ์ศรีชมภู	5 cm 		 1 cm
พันธุ์ขันตี	5 cm 		 1 cm
พันธุ์ประกายทอง	5 cm 		 1 cm
พันธุ์ฝักดาบ	5 cm 		 1 cm
พันธุ์พระโรจน์	5 cm 		 1 cm

ภาพประกอบ 17 แสดงลักษณะผล เนื้อและเมล็ดของมะขามหวานประเภทฝักตรง

มะขามหวาน	ลักษณะผล เนื้อ เมล็ด
พันธุ์หมีนาง	 5 cm 1 cm
พันธุ์สีทอง	 5 cm 1 cm
พันธุ์สีทองเบา	 5 cm 1 cm
พันธุ์อินทผลัม	 5 cm 1 cm
พันธุ์แสงอาทิตย์	 5 cm 1 cm

ภาพประกอบ 18 แสดงลักษณะผล เนื้อและเมล็ดของมะขามหวานประเภทฝักโค้ง

การศึกษาด้านเซลล์พันธุศาสตร์

การศึกษาด้านเซลล์พันธุศาสตร์ของมะขามหวานเพชรบูรณ์พันธุ์ศรีชมภู พันธุ์ขันตี พันธุ์ประกายทอง พันธุ์ฝักดาบ พันธุ์พระโรจน์ พันธุ์หมื่นจง พันธุ์สีทอง พันธุ์สีทองเบา พันธุ์อินทผลัม และพันธุ์แสงอาทิตย์ โดยศึกษาการโอโทปีจากรากที่เพาะด้วยเมล็ดได้ผลดังนี้

มะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู มีความถี่ในการกระจายของโครโมโซมแบบดิพลอยด์ ($2n$) สูงสุดคือ $2n = 24$ จำนวน 73 เซลล์ จากจำนวนเซลล์ที่นับทั้งหมด 80 เซลล์ คิดเป็น 91.25 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูจึงมีจำนวนโครโมโซมแบบดิพลอยด์ $2n = 24$ (ตาราง 4) การโอโทปี (ตาราง 5 ภาพประกอบ 19 และภาพประกอบ 20) ประกอบด้วยโครโมโซมแบบเมทาเซนทริก 5 คู่ ซับเมทาเซนทริก 6 คู่ และซับเทโลเซนทริก 1 คู่ จำนวนแขนโครโมโซม (NF) เท่ากับ 46 ลักษณะที่สำคัญคือมีแซทเทลไลท์ (satellite) ที่แขนข้างสั้นของโครโมโซมแบบซับเทโลเซนทริก โครโมโซมมีความยาวทั้งแขน (total length หรือ T) ตั้งแต่ 1.545 – 2.815 ไมโครเมตร เฉลี่ย 1.955 ± 0.213 ไมโครเมตร โครโมโซมมีความยาวสัมพัทธ์ (relative length หรือ RL) ตั้งแต่ 6.584 - 11.997 เปอร์เซ็นต์ โครโมโซมขนาดใหญ่มี 4 คู่ ได้แก่คู่ที่ 1, 2, 6 และ 7 โครโมโซมขนาดเล็กมี 8 คู่ ได้แก่คู่ที่ 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11 และ 12 (ตาราง 6)

มะขามหวานพันธุ์ขันตี มีความถี่ในการกระจายของโครโมโซมแบบดิพลอยด์ ($2n$) สูงสุดคือ $2n = 24$ จำนวน 79 เซลล์ จากจำนวนเซลล์ที่นับทั้งหมด 93 เซลล์ คิดเป็น 84.95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นมะขามหวานพันธุ์ขันตีจึงมีจำนวนโครโมโซมแบบดิพลอยด์ $2n = 24$ (ตาราง 4) การโอโทปี (ตาราง 5 ภาพประกอบ 21 ภาพประกอบ 22) ประกอบด้วยโครโมโซมแบบเมทาเซนทริก 5 คู่ ซับเมทาเซนทริก 5 คู่ และซับเทโลเซนทริก 2 คู่ จำนวนแขนโครโมโซมเท่ากับ 44 ลักษณะที่สำคัญคือมีแซทเทลไลท์ที่แขนข้างสั้นของโครโมโซมแบบซับเทโลเซนทริกคู่ที่ 1 โครโมโซมมีความยาวทั้งแขนตั้งแต่ 2.032 - 3.343 ไมโครเมตร เฉลี่ย 2.510 ± 0.301 ไมโครเมตร โครโมโซมมีความยาวสัมพัทธ์ตั้งแต่ 6.745 - 11.096 เปอร์เซ็นต์ โครโมโซมขนาดใหญ่มี 6 คู่ ได้แก่คู่ที่ 1, 2, 6, 7, 8 และ 11 โครโมโซมขนาดเล็กมี 6 คู่ ได้แก่คู่ที่ 3, 4, 5, 9, 10 และ 12 (ตาราง 6)

มะขามหวานพันธุ์ประกายทอง มีความถี่ในการกระจายของโครโมโซมแบบดิพลอยด์ ($2n$) สูงสุดคือ $2n = 24$ จำนวน 68 เซลล์ จากจำนวนเซลล์ที่นับทั้งหมด 90 เซลล์ คิดเป็น 75.55 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นมะขามหวานพันธุ์ประกายทองจึงมีจำนวนโครโมโซมแบบดิพลอยด์ $2n = 24$ (ตาราง 4) การโอโทปี (ตาราง 5 ภาพประกอบ 23 และภาพประกอบ 24) ประกอบด้วยโครโมโซมแบบเมทาเซนทริก 5 คู่ ซับเมทาเซนทริก 6 คู่ และซับเทโลเซนทริก 1 คู่ จำนวนแขนโครโมโซมเท่ากับ 46 ลักษณะที่สำคัญคือมีแซทเทลไลท์ที่แขนข้างสั้นของโครโมโซมแบบซับเทโลเซนทริก โครโมโซมมีความยาวทั้งแขนตั้งแต่ 2.317 - 4.208 ไมโครเมตร เฉลี่ย 2.972 ± 0.546 ไมโครเมตร โครโมโซมมีความยาวสัมพัทธ์ (relative length หรือ RL) ตั้งแต่ 6.499 - 11.799 เปอร์เซ็นต์ โครโมโซมขนาดใหญ่มี 6 คู่ ได้แก่คู่ที่ 1, 2, 3, 6, 7 และ 12 โครโมโซมขนาดเล็กมี 6 คู่ ได้แก่คู่ที่ 4, 5, 8, 9, 10 และ 11 (ตาราง 6)

มะขามหวานพันธุ์ฝักดาบ มีความถี่ในการกระจายของโครโมโซมแบบดิพลอยด์ ($2n$) สูงสุดคือ $2n = 24$ จำนวน 84 เซลล์ จากจำนวนเซลล์ที่นับทั้งหมด 91 เซลล์ คิดเป็น 92.30 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นมะขามหวานพันธุ์ฝักดาบจึงมีจำนวนโครโมโซมแบบดิพลอยด์ $2n = 24$ (ตาราง 4) คาริโอไทป์ (ตาราง 5 ภาพประกอบ 25 และภาพประกอบ 26) ประกอบด้วยโครโมโซมแบบเมทาเซนทริก 5 คู่ ซับเมทาเซนทริก 5 คู่ และซับเทโลเซนทริก 2 คู่ จำนวนแขนโครโมโซมเท่ากับ 44 ลักษณะที่สำคัญคือมีแซทเทลไลท์ที่แขนข้างสั้นของโครโมโซมแบบซับเทโลเซนทริกคู่ที่ 1 โครโมโซมมีความยาวทั้งแขนตั้งแต่ 1.766 - 3.256 ไมโครเมตร เฉลี่ย 2.356 ± 0.338 ไมโครเมตร โครโมโซมมีความยาวสัมพันธ์ตั้งแต่ 6.246 - 11.513 เปอร์เซ็นต์ โครโมโซมขนาดใหญ่มี 5 คู่ ได้แก่ คู่ที่ 1, 2, 3, 6 และ 11 โครโมโซมขนาดเล็กมี 7 คู่ ได้แก่ คู่ที่ 4, 5, 7, 8, 9, 10 และ 12 (ตาราง 6)

มะขามหวานพันธุ์พระโรจน์ มีความถี่ในการกระจายของโครโมโซมแบบดิพลอยด์ ($2n$) สูงสุดคือ $2n = 24$ จำนวน 66 เซลล์ จากจำนวนเซลล์ที่นับทั้งหมด 94 เซลล์ คิดเป็น 70.21 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นมะขามหวานพันธุ์พระโรจน์จึงมีจำนวนโครโมโซมแบบดิพลอยด์ $2n = 24$ (ตาราง 4) คาริโอไทป์ (ตาราง 5 ภาพประกอบ 27 และภาพประกอบ 28) ประกอบด้วยโครโมโซมแบบเมทาเซนทริก 5 คู่ ซับเมทาเซนทริก 5 คู่ และซับเทโลเซนทริก 2 คู่ จำนวนแขนโครโมโซมเท่ากับ 44 ลักษณะที่สำคัญคือมีแซทเทลไลท์ที่แขนข้างสั้นของโครโมโซมแบบซับเทโลเซนทริกคู่ที่ 1 โครโมโซมมีความยาวทั้งแขนตั้งแต่ 1.651 - 3.265 ไมโครเมตร เฉลี่ย 2.294 ± 0.251 ไมโครเมตร โครโมโซมมีความยาวสัมพันธ์ตั้งแต่ 5.998 - 11.860 เปอร์เซ็นต์ โครโมโซมขนาดใหญ่มี 5 คู่ ได้แก่ คู่ที่ 1, 2, 3, 6 และ 7 โครโมโซมขนาดเล็กมี 7 คู่ ได้แก่ คู่ที่ 4, 5, 8, 9, 10, 11 และ 12 (ตาราง 6)

มะขามหวานพันธุ์หมื่นจง มีความถี่ในการกระจายของโครโมโซมแบบดิพลอยด์ ($2n$) สูงสุดคือ $2n = 24$ จำนวน 77 เซลล์ จากจำนวนเซลล์ที่นับทั้งหมด 90 เซลล์ คิดเป็น 85.55 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นมะขามหวานพันธุ์หมื่นจงจึงมีจำนวนโครโมโซมแบบดิพลอยด์ $2n = 24$ (ตาราง 4) คาริโอไทป์ (ตาราง 5 ภาพประกอบ 29 และภาพประกอบ 30) ประกอบด้วยโครโมโซมแบบเมทาเซนทริก 5 คู่ ซับเมทาเซนทริก 5 คู่ และซับเทโลเซนทริก 2 คู่ จำนวนแขนโครโมโซมเท่ากับ 44 ลักษณะที่สำคัญคือมีแซทเทลไลท์ที่แขนข้างสั้นของโครโมโซมแบบซับเทโลเซนทริกคู่ที่ 2 โครโมโซมมีความยาวทั้งแขนตั้งแต่ 2.018 - 3.620 ไมโครเมตร เฉลี่ย 2.585 ± 0.412 ไมโครเมตร โครโมโซมมีความยาวสัมพันธ์ตั้งแต่ 6.504 - 11.667 เปอร์เซ็นต์ โครโมโซมขนาดใหญ่มี 5 คู่ ได้แก่ คู่ที่ 1, 2, 6, 7 และ 11 โครโมโซมขนาดเล็กมี 7 คู่ ได้แก่ คู่ที่ 3, 4, 5, 8, 9, 10 และ 12 (ตาราง 6)

มะขามหวานพันธุ์สีทอง มีความถี่ในการกระจายของโครโมโซมแบบดิพลอยด์ ($2n$) สูงสุดคือ $2n = 24$ จำนวน 87 เซลล์ จากจำนวนเซลล์ที่นับทั้งหมด 97 เซลล์ คิดเป็น 89.69 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นมะขามหวานพันธุ์สีทองจึงมีจำนวนโครโมโซมแบบดิพลอยด์ $2n = 24$ (ตาราง 4) คาริโอไทป์ (ตาราง 5 ภาพประกอบ 31 และภาพประกอบ 32) ประกอบด้วยโครโมโซมแบบเมทาเซนทริก 5 คู่ ซับเมทาเซนทริก 5 คู่ และซับเทโลเซนทริก 2 คู่ จำนวนแขนโครโมโซมเท่ากับ 44 ลักษณะที่สำคัญคือมีแซทเทลไลท์ที่แขนข้างสั้นของโครโมโซมแบบซับเทโลเซนทริกคู่ที่ 1

โครโมโซมมีความยาวทั้งแขนตั้งแต่ 1.721- 2.969 ไมโครเมตร เฉลี่ย 2.264 ± 0.257 ไมโครเมตร โครโมโซมมีความยาวสัมพันธ์ ตั้งแต่ 6.33 -10.928 เปอร์เซนต์ โครโมโซมขนาดใหญ่มี 5 คู่ ได้แก่ คู่ที่ 1, 2, 6, 11 และ 12 โครโมโซมขนาดเล็กมี 7 คู่ ได้แก่คู่ที่ 3, 4, 5, 7, 8, 9 และ 10 (ตาราง 6)

มะขามหวานพันธุ์สีทองเบา มีความถี่ในการกระจายของโครโมโซมแบบดิพลอยด์ ($2n$) สูงสุดคือ $2n = 24$ จำนวน 87 เซลล์ จากจำนวนเซลล์ที่นับทั้งหมด 94 เซลล์ คิดเป็น 92.55 เปอร์เซนต์ ดังนั้นมะขามหวานพันธุ์สีทองเบาจึงมีจำนวนโครโมโซมแบบดิพลอยด์ $2n = 24$ (ตาราง 4) คาริโอไทป์ (ตาราง 5 ภาพประกอบ 33 และภาพประกอบ 34) ประกอบด้วยโครโมโซมแบบเมทาเซนทริก 5 คู่ ซับเมทาเซนทริก 6 คู่ และซับเทโลเซนทริก 1 คู่ จำนวนแขนโครโมโซมเท่ากับ 46 ลักษณะที่สำคัญคือมีแซทเทลไลท์ที่แขนข้างสั้นของโครโมโซมแบบซับเทโลเซนทริก โครโมโซมมีความยาวทั้งแขนตั้งแต่ 1.932 - 3.678 ไมโครเมตร เฉลี่ย 2.647 ± 0.447 ไมโครเมตร โครโมโซมมีความยาวสัมพันธ์ตั้งแต่ 6.083 -11.577 เปอร์เซนต์ โครโมโซมขนาดใหญ่มี 5 คู่ ได้แก่ คู่ที่ 1, 2, 3, 6 และ 7 โครโมโซมขนาดเล็กมี 7 คู่ ได้แก่คู่ที่ 4, 5, 8, 9, 10, 11 และ 12 (ตาราง 6)

มะขามหวานพันธุ์อินทผลาลัม มีความถี่ในการกระจายของโครโมโซมแบบดิพลอยด์ ($2n$) สูงสุดคือ $2n = 24$ จำนวน 69 เซลล์ จากจำนวนเซลล์ที่นับทั้งหมด 88 เซลล์ คิดเป็น 78.41 เปอร์เซนต์ ดังนั้นมะขามหวานพันธุ์อินทผลาลัมจึงมีจำนวนโครโมโซมแบบดิพลอยด์ $2n = 24$ (ตาราง 4) คาริโอไทป์ (ตาราง 5 ภาพประกอบ 35 และภาพประกอบ 36) ประกอบด้วยโครโมโซมแบบเมทาเซนทริก 5 คู่ ซับเมทาเซนทริก 6 คู่ และซับเทโลเซนทริก 1 คู่ จำนวนแขนโครโมโซมเท่ากับ 46 ลักษณะที่สำคัญคือมีแซทเทลไลท์ที่แขนข้างสั้นของโครโมโซมแบบซับเทโลเซนทริก โครโมโซมมีความยาวทั้งแขนตั้งแต่ 1.845 - 3.106 ไมโครเมตร เฉลี่ย 2.348 ± 0.375 ไมโครเมตร โครโมโซมมีความยาวสัมพันธ์ตั้งแต่ 6.546 - 11.021 เปอร์เซนต์ โครโมโซมขนาดใหญ่มี 6 คู่ ได้แก่คู่ที่ 1, 2, 3, 6, 7 และ 11 โครโมโซมขนาดเล็กมี 6 คู่ ได้แก่คู่ที่ 4, 5, 8, 9, 10 และ 12 (ตาราง 6)

มะขามหวานพันธุ์แสงอาทิตย์ มีความถี่ในการกระจายของโครโมโซมแบบดิพลอยด์ ($2n$) สูงสุดคือ $2n = 24$ จำนวนเซลล์ 86 จากจำนวนเซลล์ที่นับทั้งหมด 99 เซลล์ คิดเป็น 86.87 เปอร์เซนต์ ดังนั้นมะขามหวานพันธุ์แสงอาทิตย์จึงมีจำนวนโครโมโซมแบบดิพลอยด์ $2n = 24$ (ตาราง 4) คาริโอไทป์ (ตาราง 5 ภาพประกอบ 37 และภาพประกอบ 38) ประกอบด้วยโครโมโซมแบบเมทาเซนทริก 11 คู่ ซับเมทาเซนทริก 1 คู่ จำนวนแขนโครโมโซมเท่ากับ 48 ลักษณะที่สำคัญคือมีแซทเทลไลท์ที่แขนข้างสั้นของโครโมโซมแบบเมทาเซนทริกคู่ที่ 8 โครโมโซมมีความยาวทั้งแขนตั้งแต่ 1.538 - 2.861 ไมโครเมตร เฉลี่ย 2.154 ± 0.274 ไมโครเมตร โครโมโซมมีความยาวสัมพันธ์ตั้งแต่ 5.949 - 11.066 เปอร์เซนต์ โครโมโซมขนาดใหญ่มี 6 คู่ ได้แก่คู่ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 โครโมโซมขนาดเล็กมี 6 คู่ ได้แก่คู่ที่ 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 (ตาราง 6)

ตาราง 4 ความถี่ในการกระจายของโครโมโซมแบบดิพลอยด์ (2n) ในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของมะขามหวาน

มะขามหวาน	จำนวนโครโมโซม										รวมเซลล์	ความถี่
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	ที่นับ (เซลล์)	สูงสุดของ เซลล์ (%)	
พันธุ์ศรีชมภู	-	-	-	-	3	4	73	-	-	80	91.25	
พันธุ์ขันตี	-	-	-	4	-	10	79	-	-	93	84.95	
พันธุ์ประกายทอง	5	-	-	1	-	16	68	-	-	90	75.55	
พันธุ์ฝักดาบ	-	-	-	2	3	2	84	-	-	91	92.30	
พันธุ์พระโรจน์	-	-	-	5	11	12	66	-	-	94	70.21	
พันธุ์หมื่นจง	2	-	-	7	-	4	77	-	-	90	85.55	
พันธุ์สีทอง	-	-	-	1	-	9	87	-	-	97	89.69	
พันธุ์สีทองเบา	-	-	-	1	-	6	87	-	-	94	92.55	
พันธุ์อินทผลัม	1	-	-	-	6	12	69	-	-	88	78.41	
พันธุ์แสงอาทิตย์	-	-	-	-	5	8	86	-	-	99	86.87	

ตาราง 5 จำนวนโครโมโซมแบบดิพลอยด์ (2n) คาริโอไทป์และจำนวนแขนโครโมโซมของมะขามหวาน

มะขามหวาน	2n	ชนิดโครโมโซม				จำนวนแขน โครโมโซม (NF)
		m	sm	st	t	
พันธุ์ศรีชมภู	24	5	6	1	-	46
พันธุ์ขันตี	24	5	5	2	-	44
พันธุ์ประกายทอง	24	5	6	1	-	46
พันธุ์ฝักดาบ	24	5	5	2	-	44
พันธุ์พระโรจน์	24	5	5	2	-	44
พันธุ์หมื่นจง	24	5	5	2	-	44
พันธุ์สีทอง	24	5	5	2	-	44
พันธุ์สีทองเบา	24	5	6	1	-	46
พันธุ์อินทผลัม	24	5	6	1	-	46
พันธุ์แสงอาทิตย์	24	11	1	-	-	48

ตาราง 6 ค่าความยาวทั้งแขน (T) ความยาวสัมผัส (RL) และขนาดโครโมโซมของมะขามหวาน

มะขามหวาน	ความยาวทั้งแขน (T) μm		ความยาวสัมผัส (RL) %	โครโมโซมขนาดใหญ่		โครโมโซมขนาดเล็ก	
	พิสัย (range)	เฉลี่ย $\pm$ SD	พิสัย (range)	จำนวน (คู่)	คู่ที่	จำนวน (คู่)	คู่ที่
พันธุ์ศรีชมภู	1.545 - 2.815	1.955 $\pm$ 0.213	6.584 -11.997	4	1,2,6,7	8	3,4,5,8,9,10,11,12
พันธุ์ขันตี	2.032 - 3.343	2.510 $\pm$ 0.301	6.745 -11.096	6	1,2,6,7,8,11	6	3,4,5,9,10,12
พันธุ์ประกายทอง	2.317 - 4.208	2.972 $\pm$ 0.546	6.499 -11.799	6	1,2,3,6,7,12	6	4,5,8,9,10,11
พันธุ์ฝักดาบ	1.766 - 3.256	2.356 $\pm$ 0.338	6.246 -11.513	5	1,2,3,6,11	7	4,5,7,8,9,10,12
พันธุ์พระโรจน์	1.651 - 3.265	2.294 $\pm$ 0.251	5.998 -11.860	5	1,2,3,6,7	7	4,5,8,9,10,11,12
พันธุ์หมื่นจง	2.018 - 3.620	2.585 $\pm$ 0.412	6.504 -11.677	5	1,2,6,7,11	7	3,4,5,8,9,10,12
พันธุ์สีทอง	1.721 - 2.969	2.264 $\pm$ 0.257	6.333 -10.928	5	1,2,6,11,12	7	3,4,5,7,8,9,10
พันธุ์สีทองเบา	1.932 - 3.678	2.647 $\pm$ 0.447	6.083 -11.577	5	1,2,3,6,7	7	4,5,8,9,10,11,12
พันธุ์อินทผาลัม	1.845 - 3.106	2.348 $\pm$ 0.375	6.546 -11.021	6	1,2,3,6,7,11	6	4,5,8,9,10,12
พันธุ์แสงอาทิตย์	1.538 - 2.861	2.154 $\pm$ 0.274	5.949 -11.066	6	1,2,3,4,5,6	6	7,8,9,10,11,12

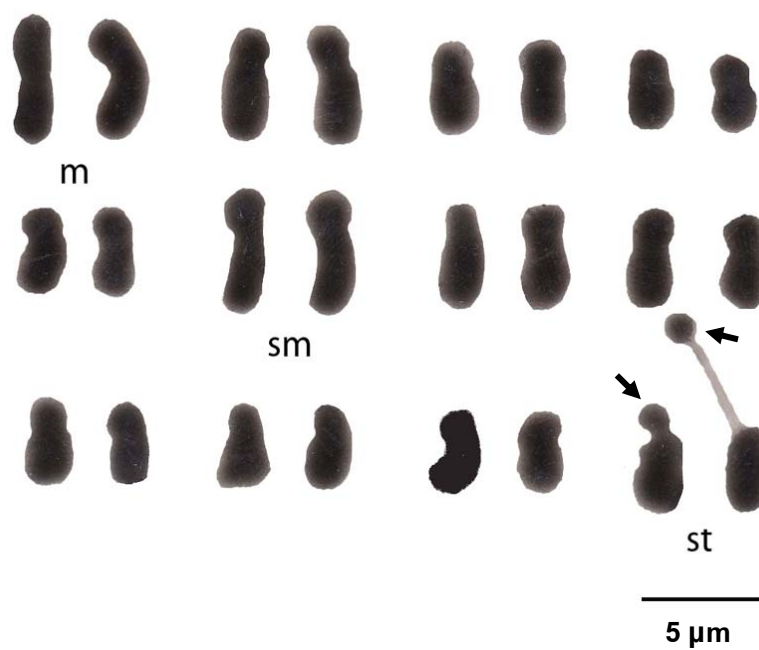
ตาราง 7 ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) ความยาว
สัมผัส (RL) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดของคูโครโมโซมของ
มะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู จำนวน 5 เซลล์

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)		L (μm)		T (μm)		RL %	L/S (μm)		ชนิด โครโมโซม
	เฉลี่ย	±SD	เฉลี่ย	±SD	เฉลี่ย	±SD		เฉลี่ย	±SD	
1	1.198±0.151		1.616±0.249		2.815±0.394		11.997	1.349±0.073		m
2	0.823±0.066		1.206±0.115		2.029±0.179		8.648	1.467±0.042		m
3	0.794±0.164		1.113±0.097		1.906±0.258		8.126	1.402±0.171		m
4	0.713±0.081		1.031±0.105		1.744±0.177		7.432	1.445±0.105		m
5	0.674±0.116		0.974±0.090		1.649±0.196		7.027	1.445±0.159		m
6	0.800±0.166		1.612±0.190		2.412±0.351		10.281	2.014±0.214		sm
7	0.731±0.133		1.454±0.141		2.185±0.256		9.313	1.991±0.285		sm
8	0.659±0.070		1.281±0.115		1.941±0.175		8.271	1.944±0.134		sm
9	0.566±0.082		1.188±0.092		1.754±0.147		7.478	2.099±0.270		sm
10	0.514±0.090		1.099±0.017		1.613±0.096		6.876	2.138±0.370		sm
11	0.486±0.061		1.058±0.048		1.545±0.099		6.584	2.176±0.210		sm
12	0.413±0.042		1.456±0.196		1.869±0.228		7.967	3.524±0.353		st

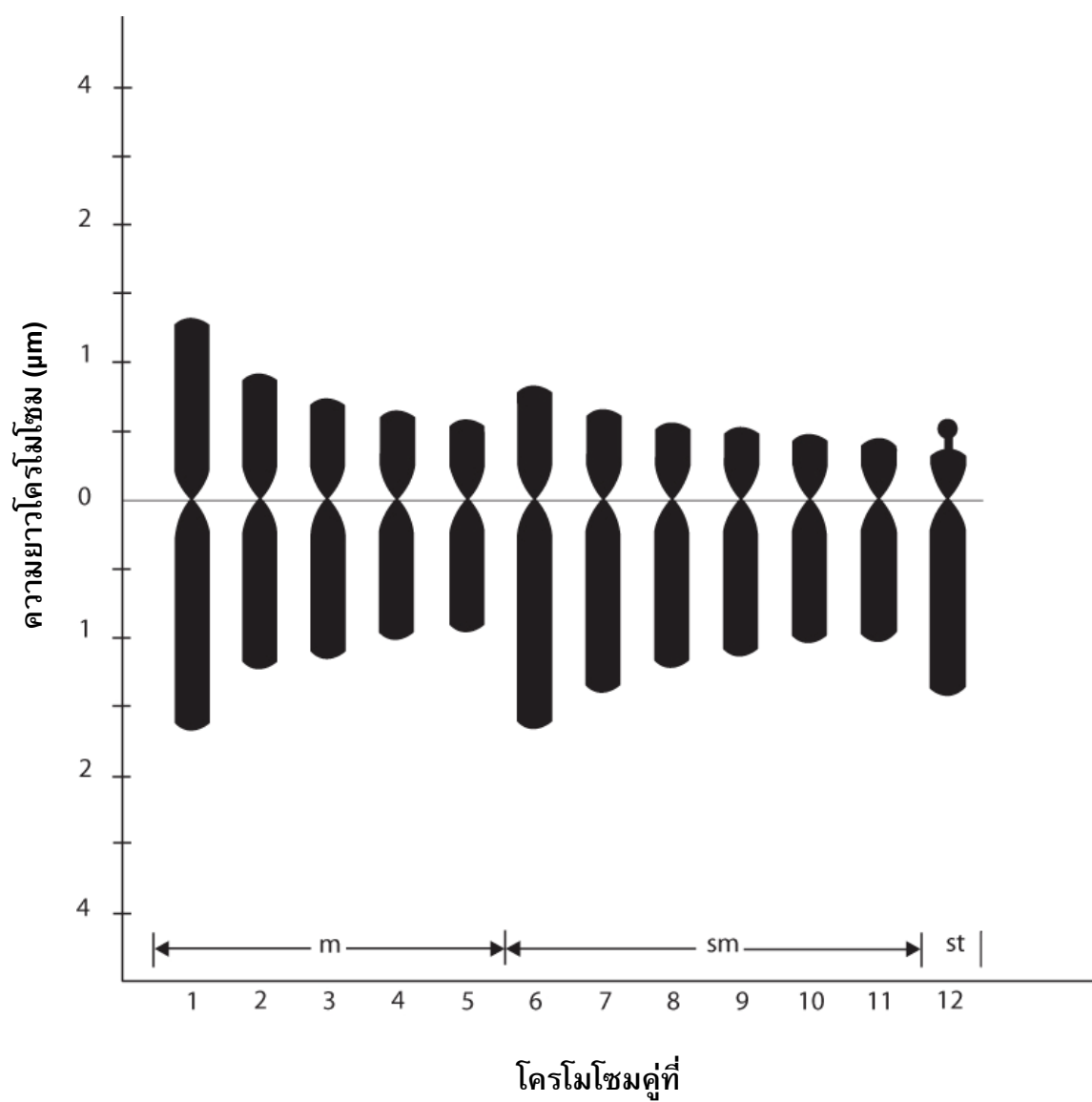
(A)



(B)



ภาพประกอบ 19 ภาพถ่ายโครโมโซมในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ($2n=24$) ของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู (A) และคาริโอไทป์ (B) ที่กำลังขยายประมาณ 6,826 เท่า ลูกศรชี้คือแซทเทลไลต์



ภาพประกอบ 20 อิติโอแกรมของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูเรียงลำดับตามค่าเฉลี่ยความยาวทั้งแขนอัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้นของคู่โครโมโซมจำนวน 5 เซลล์ จุดกลมสีดำคือแซทเทิลไลท์ m = เมทาเซนทริก sm = ซับเมทาเซนทริก st = ซับเทโลเซนทริก

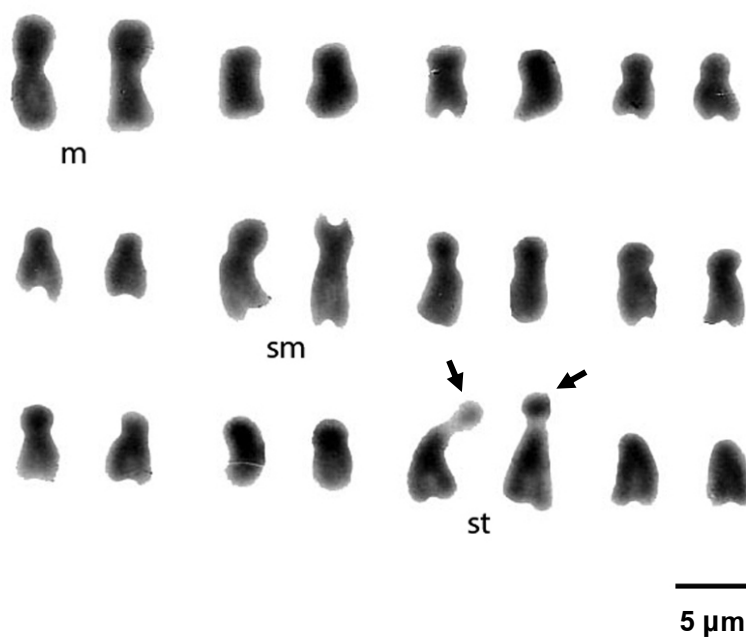
ตาราง 8 ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) ความยาว
 สัมพัทธ์ (RL) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดของคูโครโมโซมของ
 มะเขามหวานพันธุ์ชั้นดีจำนวน 5 เซลล์

โครโมโซม	S (μm)		L (μm)		T (μm)		RL %	L/S (μm)		ชนิดโครโมโซม
คู่ที่	เฉลี่ย	±SD	เฉลี่ย	±SD	เฉลี่ย	±SD		เฉลี่ย	±SD	
1	1.461±0.270		1.882±0.364		3.343±0.586		11.096	1.288±0.173		m
2	1.229±0.252		1.525±0.276		2.753±0.473		9.139	1.241±0.233		m
3	0.928±0.184		1.393±0.157		2.321±0.322		7.703	1.501±0.165		m
4	0.829±0.080		1.308±0.133		2.137±0.208		7.094	1.578±0.071		m
5	0.795±0.139		1.237±0.128		2.032±0.176		6.745	1.555±0.335		m
6	0.933±0.149		2.097±0.193		3.029±0.262		10.056	2.248±0.425		sm
7	0.832±0.186		1.877±0.066		2.709±0.247		8.991	2.256±0.393		sm
8	0.803±0.133		1.733±0.121		2.536±0.217		8.416	2.158±0.360		sm
9	0.806±0.142		1.609±0.097		2.415±0.221		8.015	1.997±0.309		sm
10	0.687±0.123		1.477±0.184		2.164±0.273		7.184	2.148±0.330		sm
11	0.579±0.108		2.054±0.294		2.633±0.378		8.739	3.546±0.533		st
12	0.424±0.036		1.631±0.228		2.055±0.245		6.822	3.847±0.630		st

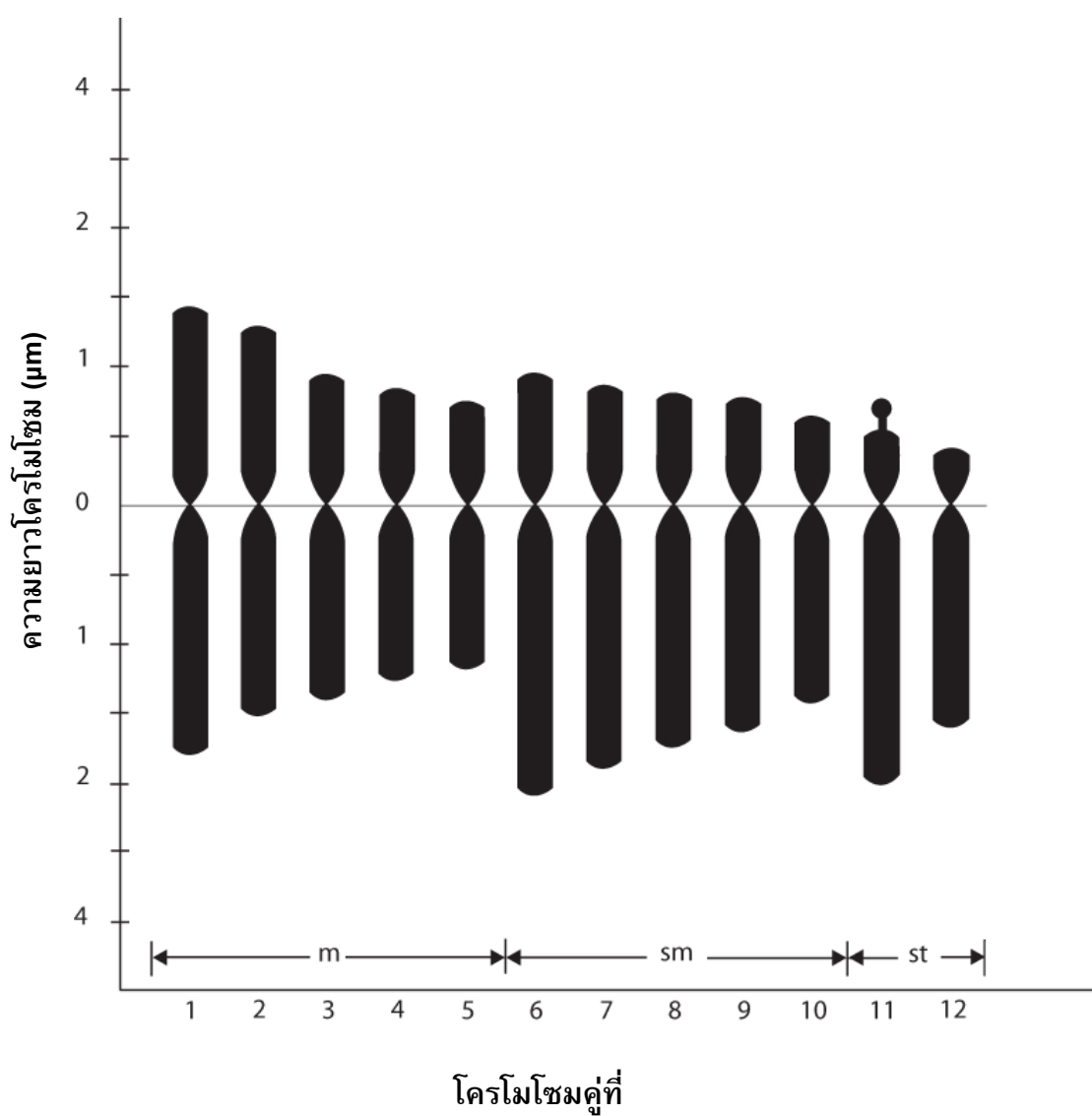
(A)



(B)



ภาพประกอบ 21 ภาพถ่ายโครโมโซมในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ($2n=24$) ของมะขามหวานพันธุ์ขันตี (A) และคาริโอไทป์ (B) ที่กำลังขยายประมาณ 3,713 เท่า ลูกศรชี้คือแซทเทลไลต์



ภาพประกอบ 22 อิติโอแกรมของมะขามหวานพันธุ์ชั้นดีเรียงลำดับตามค่าเฉลี่ยความยาวทั้งแขน
อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้นของคู่โครโมโซมจำนวน 5 เซลล์ จุดกลมสีดำคือ
แซทเทิลไลท์ m = เมทาเซนทริก sm = ซับเมทาเซนทริก st = ซับเทโลเซนทริก

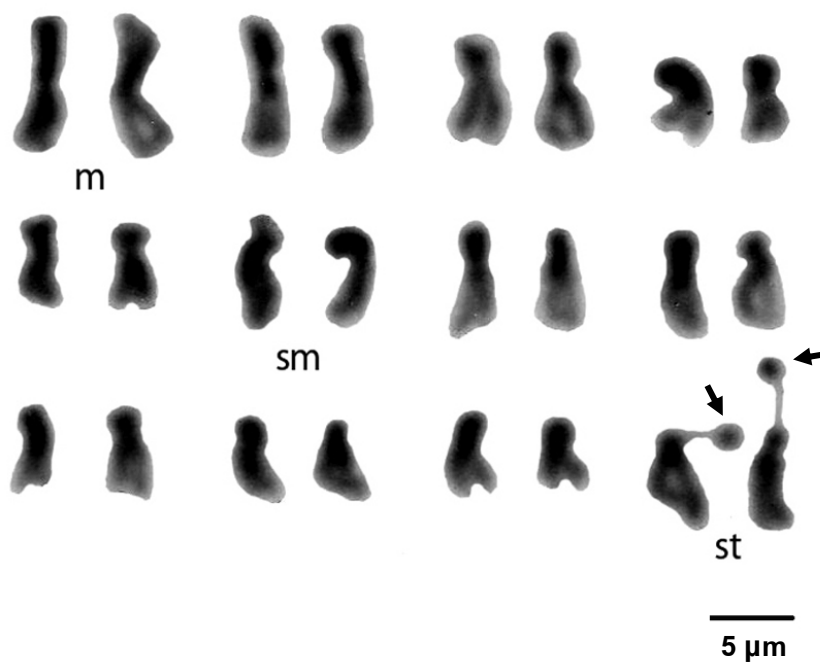
ตาราง 9 ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) ความยาวสัมผัส (RL) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดของคูโครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์ประกายทอง จำนวน 5 เซลล์

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)		L (μm)		T (μm)		RL %	L/S (μm)		ชนิด โครโมโซม
	เฉลี่ย	±SD	เฉลี่ย	±SD	เฉลี่ย	±SD		เฉลี่ย	±SD	
1	1.892±0.368	2.316±0.484	4.208±0.774	11.799	1.223±0.200	m				
2	1.610±0.409	2.113±0.467	3.723±0.820	10.440	1.313±0.195	m				
3	1.276±0.298	1.800±0.447	3.076±0.646	8.626	1.408±0.306	m				
4	1.082±0.165	1.607±0.544	2.689±0.586	7.542	1.493±0.550	m				
5	0.934±0.192	1.446±0.502	2.380±0.519	6.676	1.548±0.644	m				
6	1.077±0.314	2.342±0.564	3.419±0.581	9.588	2.186±0.768	sm				
7	0.893±0.136	2.042±0.468	2.935±0.415	8.230	2.289±0.290	sm				
8	0.817±0.180	1.840±0.444	2.658±0.426	7.453	2.252±0.448	sm				
9	0.707±0.222	1.861±0.496	2.568±0.399	7.203	2.632±0.946	sm				
10	0.752±0.190	1.682±0.430	2.434±0.416	6.826	2.241±0.576	sm				
11	0.649±0.176	1.668±0.427	2.317±0.416	6.499	2.570±0.449	sm				
12	0.670±0.170	2.582±0.502	3.252±0.549	9.119	3.852±0.834	st				

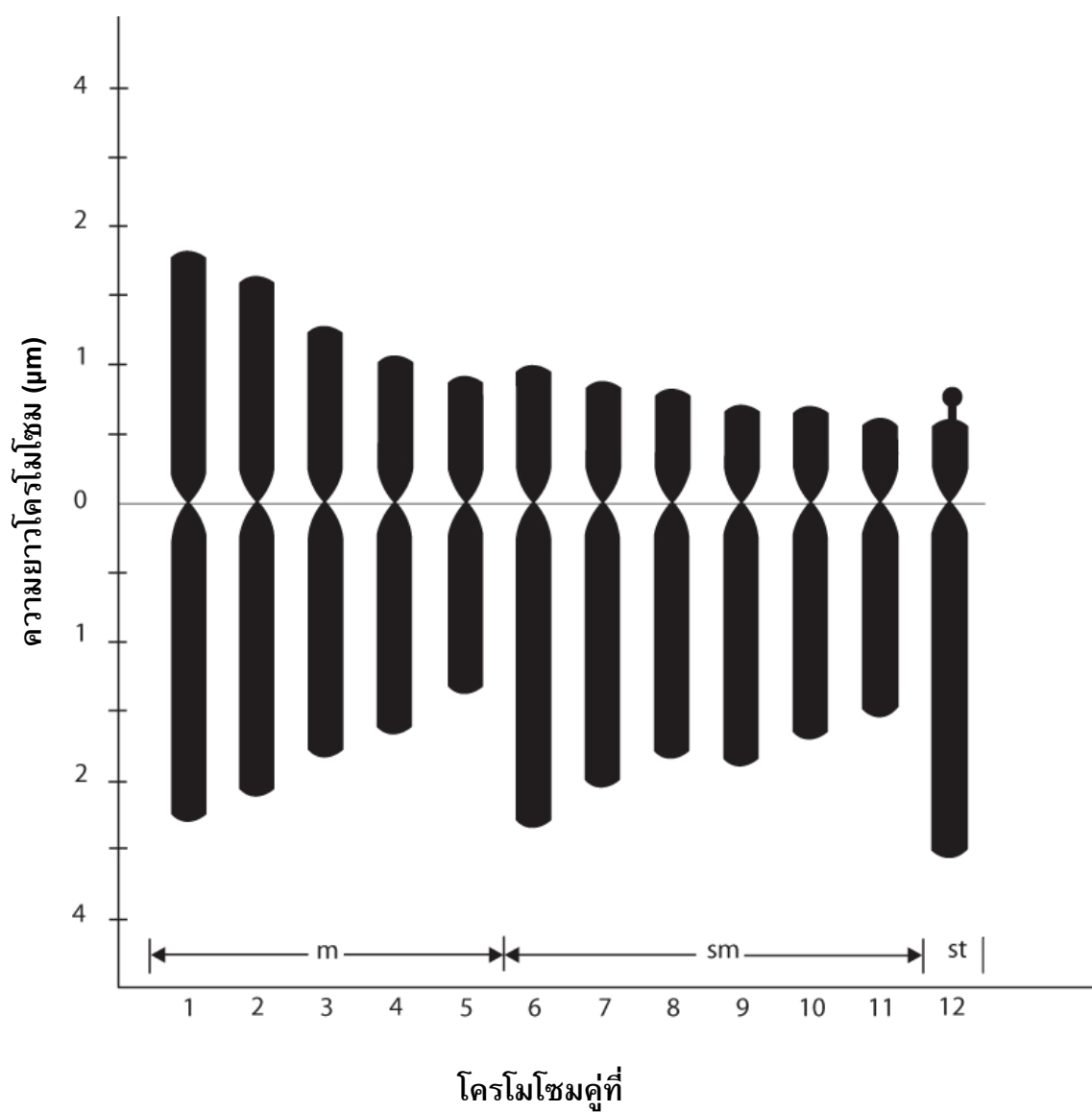
(A)



(B)



ภาพประกอบ 23 ภาพถ่ายโครโมโซมในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ($2n=24$) ของมะขามหวานพันธุ์ประกายทอง (A) และคาริโอไทป์ (B) ที่กำลังขยายประมาณ 3,163 เท่า ลูกศรชี้คือแซทเทลไลต์



ภาพประกอบ 24 อิติโอแกรมของมะขามหวานพันธุ์ประกายทองเรียงลำดับตามค่าเฉลี่ยความยาว ทั้งแขนอัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้นของคู่โครโมโซมจำนวน 5 เซลล์ จุดกลมสีดำคือ เซนเทอไรต์ m = เมทาเซนตริก sm = ซับเมทาเซนตริก st = ซับเทโลเซนตริก

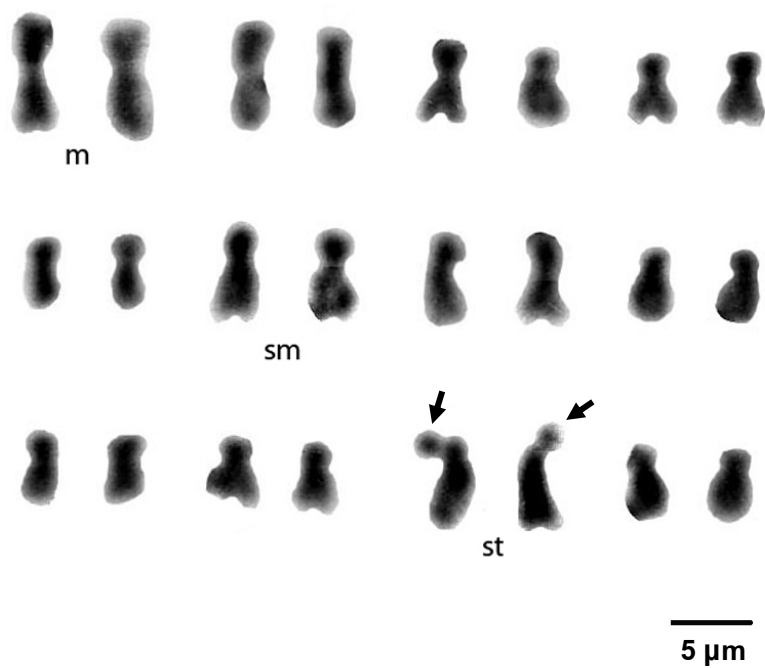
ตาราง 10 ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) ความยาวสัมพัทธ์ (RL) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดของคูโครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์ฝักดาบ จำนวน 5 เซลล์

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)		L (μm)		T (μm)		RL %	L/S (μm)		ชนิด โครโมโซม
	เฉลี่ย	±SD	เฉลี่ย	±SD	เฉลี่ย	±SD		เฉลี่ย	±SD	
1	1.353±0.301		1.902±0.224		3.256±0.512		11.513	1.406±0.178		m
2	1.195±0.352		1.657±0.296		2.852±0.599		10.086	1.387±0.265		m
3	0.926±0.133		1.476±0.193		2.402±0.325		8.494	1.593±0.025		m
4	0.879±0.126		1.377±0.204		2.256±0.323		7.977	1.567±0.092		m
5	0.808±0.138		1.252±0.176		2.060±0.303		7.286	1.550±0.126		m
6	0.774±0.171		1.633±0.279		2.407±0.444		8.512	2.109±0.203		sm
7	0.732±0.167		1.543±0.152		2.275±0.315		8.046	2.106±0.346		sm
8	0.634±0.167		1.463±0.117		2.097±0.265		7.416	2.308±0.460		sm
9	0.614±0.111		1.340±0.113		1.955±0.217		6.912	2.182±0.247		sm
10	0.545±0.119		1.221±0.122		1.766±0.244		6.246	2.240±0.390		sm
11	0.554±0.086		2.225±0.180		2.779±0.132		9.827	4.013±0.997		st
12	0.480±0.147		1.693±0.265		2.173±0.399		7.684	3.528±1.079		st

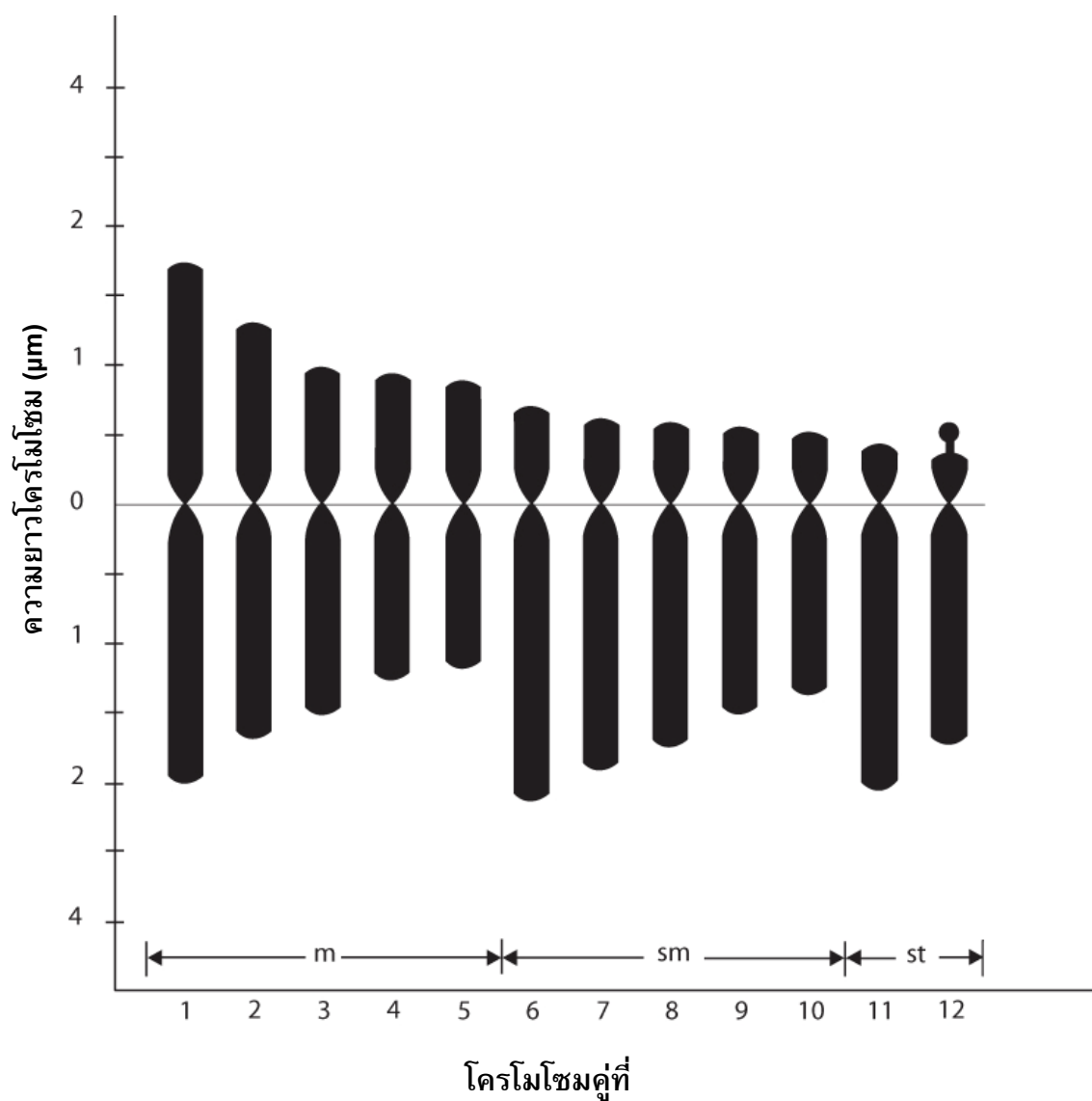
(A)



(B)



ภาพประกอบ 25 ภาพถ่ายโครโมโซมในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ($2n=24$) ของมะขามหวานพันธุ์ฝักดาบ (A) และคาริโอไทป์ (B) ที่กำลังขยายประมาณ 3,578 เท่า ลูกศรชี้คือแซทเทลไลต์



ภาพประกอบ 26 อิติโอแกรมของมะขามหวานพันธุ์ฝักดาบเรียงลำดับตามค่าเฉลี่ยความยาวทั้งแขน อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้นของคู่โครโมโซมจำนวน 5 เซลล์ จุดกลมสีดำคือ แชนเทิลไลท์ m = เมทาเซนทริก sm = ซับเมทาเซนทริก st = ซับเทโลเซนทริก

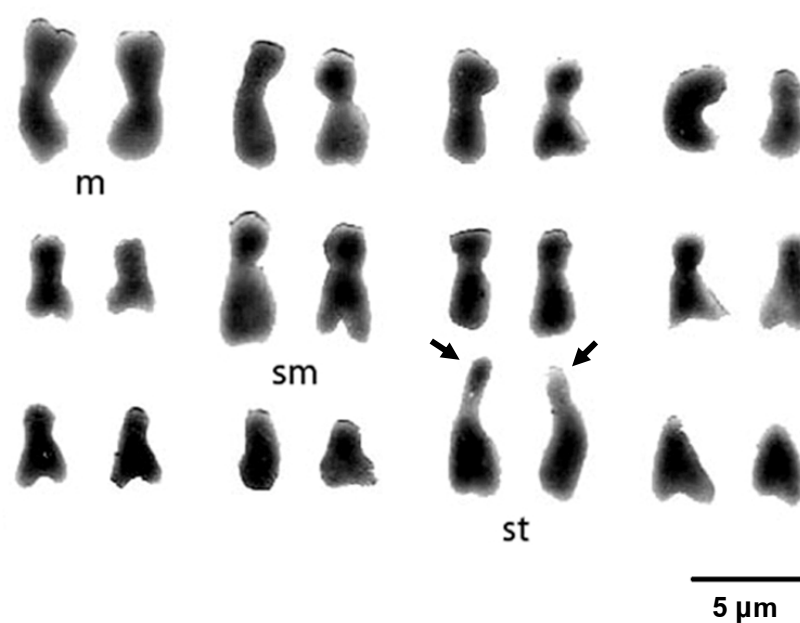
ตาราง 11 ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) ความยาวสัมผัส (RL) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดของคูโครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์พระโรจน์ จำนวน 5 เซลล์

โครโมโซม	S (μm)		L (μm)		T (μm)		RL %	L/S (μm)		ชนิดโครโมโซม
คู่ที่	เฉลี่ย	±SD	เฉลี่ย	±SD	เฉลี่ย	±SD		เฉลี่ย	±SD	
1	1.447±0.051		1.818±0.048		3.265±0.131		11.860	1.256±0.186		m
2	1.133±0.085		1.599±0.171		2.732±0.239		9.923	1.412±0.215		m
3	1.032±0.107		1.385±0.079		2.417±0.137		8.781	1.342±0.153		m
4	0.918±0.171		1.218±0.123		2.135±0.139		7.757	1.327±0.220		m
5	0.841±0.084		1.135±0.176		1.976±0.310		7.179	1.348±0.198		m
6	0.905±0.157		1.947±0.223		2.853±0.352		10.362	2.151±0.281		sm
7	0.798±0.151		1.633±0.187		2.431±0.287		8.831	2.046±0.383		sm
8	0.718±0.158		1.477±0.181		2.196±0.269		7.976	2.057±0.171		sm
9	0.666±0.139		1.337±0.162		2.003±0.265		7.275	2.007±0.350		sm
10	0.589±0.111		1.222±0.147		1.812±0.247		6.581	2.074±0.258		sm
11	0.448±0.057		1.610±0.167		2.058±0.247		7.477	3.593±0.274		st
12	0.349±0.067		1.302±0.151		1.651±0.195		5.998	3.726±0.664		st

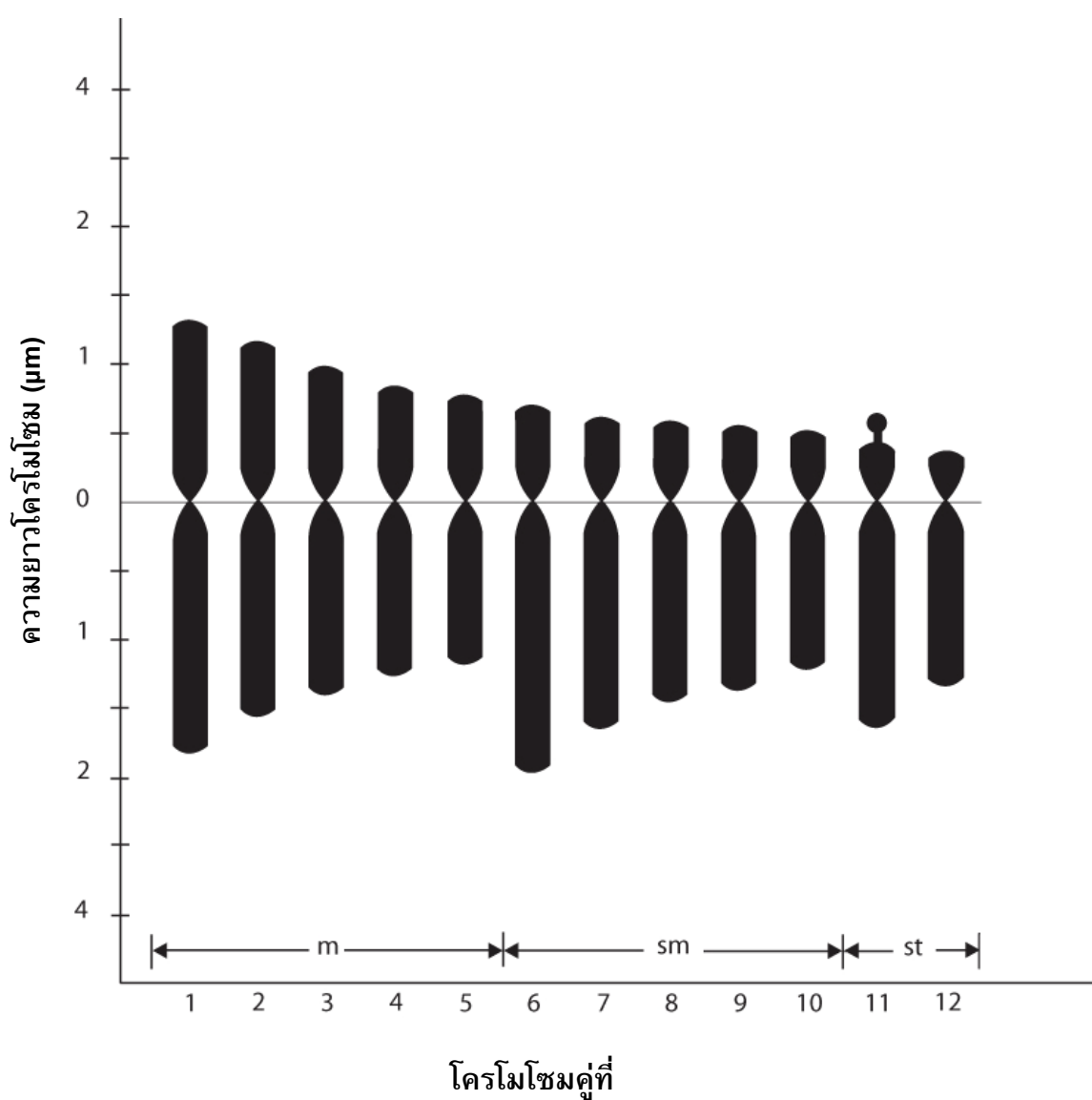
(A)



(B)



ภาพประกอบ 27 ภาพถ่ายโครโมโซมในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ($2n=24$) ของมะขามหวานพันธุ์พระโรจน์ (A) และคาริโอไทป์ (B) ที่กำลังขยายประมาณ 4,603 เท่า ลูกศรชี้คือแซทเทลไลต์

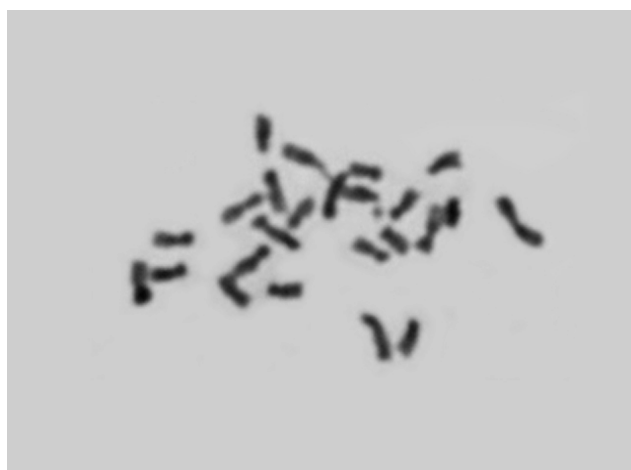


ภาพประกอบ 28 อิติโอแกรมของมะขามหวานพันธุ์พระโรจน์เรียงลำดับตามค่าเฉลี่ยความยาวทั้งแขน อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้นของคู่โครโมโซมจำนวน 5 เซลล์ จุดกลมสีดำคือแซทเทิลไลท์ m = เมทาเซนตริก sm = ซับเมทาเซนตริก st = ซับเทโลเซนตริก

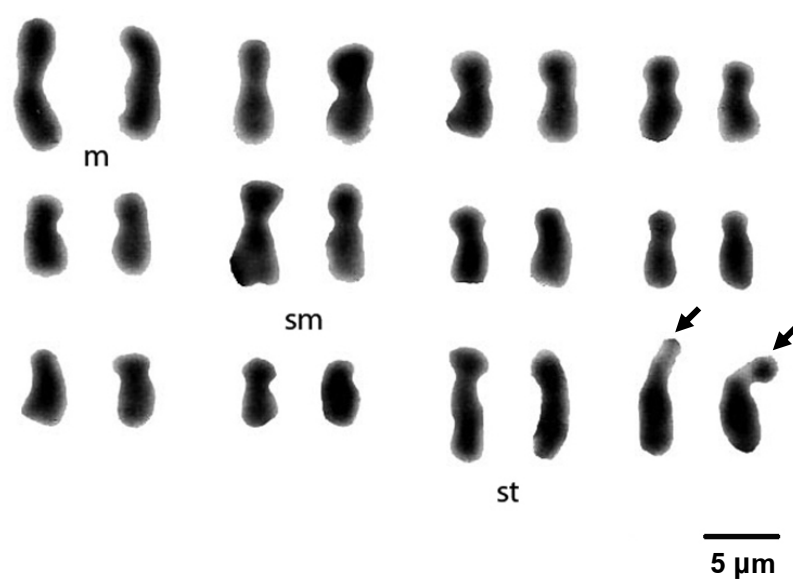
ตาราง 12 ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T)
ความยาวสัมผัส (RL) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดของคูโครโมโซม
ของมะขามหวานพันธุ์หมีนาง จำนวน 5 เซลล์

โครโมโซม	S (μm)		L (μm)		T (μm)		RL %	L/S (μm)		ชนิด
คู่ที่	เฉลี่ย	±SD	เฉลี่ย	±SD	เฉลี่ย	±SD		เฉลี่ย	±SD	โครโมโซม
1	1.619±0.323		2.001±0.304		3.620±0.602		11.667	1.236±0.148		m
2	1.311±0.283		1.674±0.163		2.985±0.443		9.623	1.277±0.181		m
3	1.006±0.194		1.502±0.134		2.507±0.297		8.081	1.493±0.202		m
4	0.963±0.199		1.391±0.118		2.354±0.274		7.588	1.445±0.217		m
5	0.914±0.186		1.297±0.128		2.211±0.290		7.125	1.420±0.179		m
6	0.918±0.276		2.114±0.323		3.032±0.593		9.773	2.302±0.362		sm
7	0.857±0.207		1.841±0.221		2.699±0.425		8.698	2.147±0.308		sm
8	0.740±0.180		1.701±0.231		2.441±0.383		7.868	2.298±0.404		sm
9	0.643±0.097		1.530±0.171		2.172±0.267		7.001	2.381±0.118		sm
10	0.611±0.145		1.407±0.151		2.018±0.276		6.504	2.304±0.359		sm
11	0.561±0.171		2.164±0.540		2.724±0.688		8.780	3.860±0.782		st
12	0.479±0.073		1.784±0.346		2.263±0.404		7.293	3.728±0.592		st

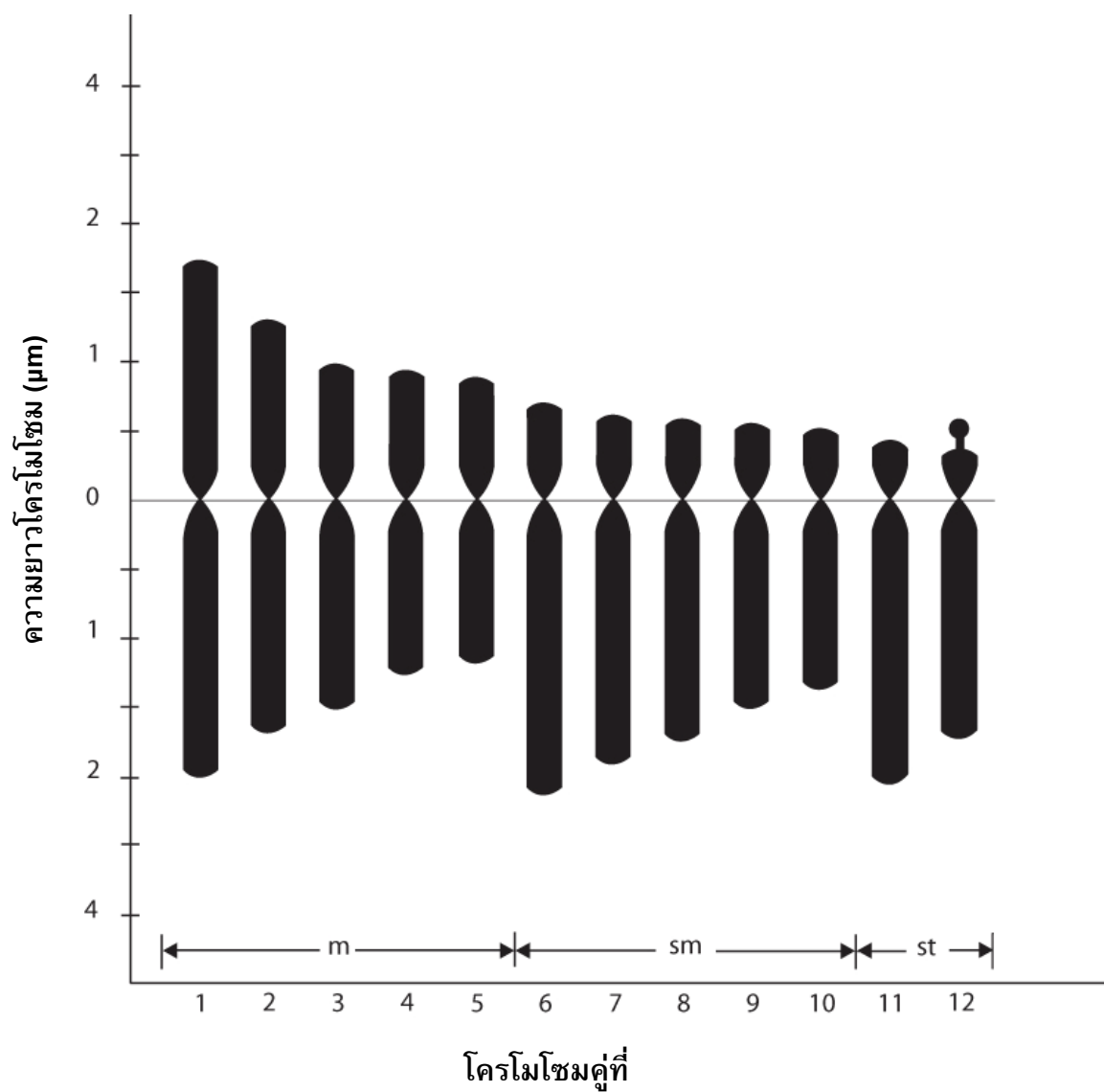
(A)



(B)



ภาพประกอบ 29 ภาพถ่ายโครโมโซมในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ($2n=24$) ของมะขามหวานพันธุ์หมื่นจง (A) และคาริโอไทป์ (B) ที่กำลังขยายประมาณ 3,339 เท่า ลูกศรชี้คือแซทเทลไลต์



ภาพประกอบ 30 อิติโอแกรมของมะขามหวานพันธุ์หมีนงรีเรียงลำดับตามค่าเฉลี่ยความยาวทั้งแขน
อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้นของคู่โครโมโซมจำนวน 5 เซลล์ จุดกลมสีดำคือ
แซทเทิลไลท์ m = เมทาเซนตริก sm = ซับเมทาเซนตริก st = ซับเทโลเซนตริก

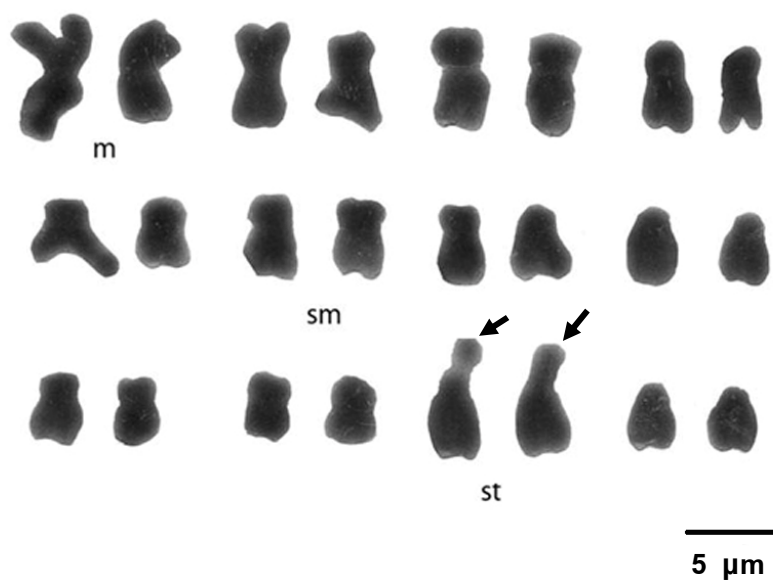
ตาราง 13 ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) ความยาวสัมผัส (RL) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดของคูโครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์สีทอง จำนวน 5 เซลล์

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)		L (μm)		RL %	L/S (μm)		ชนิด โครโมโซม
	เฉลี่ย	±SD	เฉลี่ย	±SD		เฉลี่ย	±SD	
1	1.328±0.072		1.641±0.103		10.928	1.235±0.139		m
2	1.093±0.176		1.546±0.227		9.714	1.415±0.439		m
3	0.898±0.077		1.346±0.151		8.258	1.498±0.178		m
4	0.805±0.079		1.213±0.183		7.427	1.509±0.291		m
5	0.721±0.072		1.092±0.152		6.672	1.514±0.180		m
6	0.839±0.106		1.684±0.312		9.287	2.024±0.467		sm
7	0.784±0.160		1.422±0.230		8.118	1.813±0.165		sm
8	0.655±0.086		1.423±0.324		7.651	2.172±0.372		sm
9	0.596±0.070		1.352±0.232		7.169	2.280±0.303		sm
10	0.513±0.142		1.207±0.254		6.333	2.363±0.212		sm
11	0.563±0.076		1.983±0.210		9.372	3.520±0.337		st
12	0.599±0.086		1.865±0.214		9.071	3.113±0.125		st

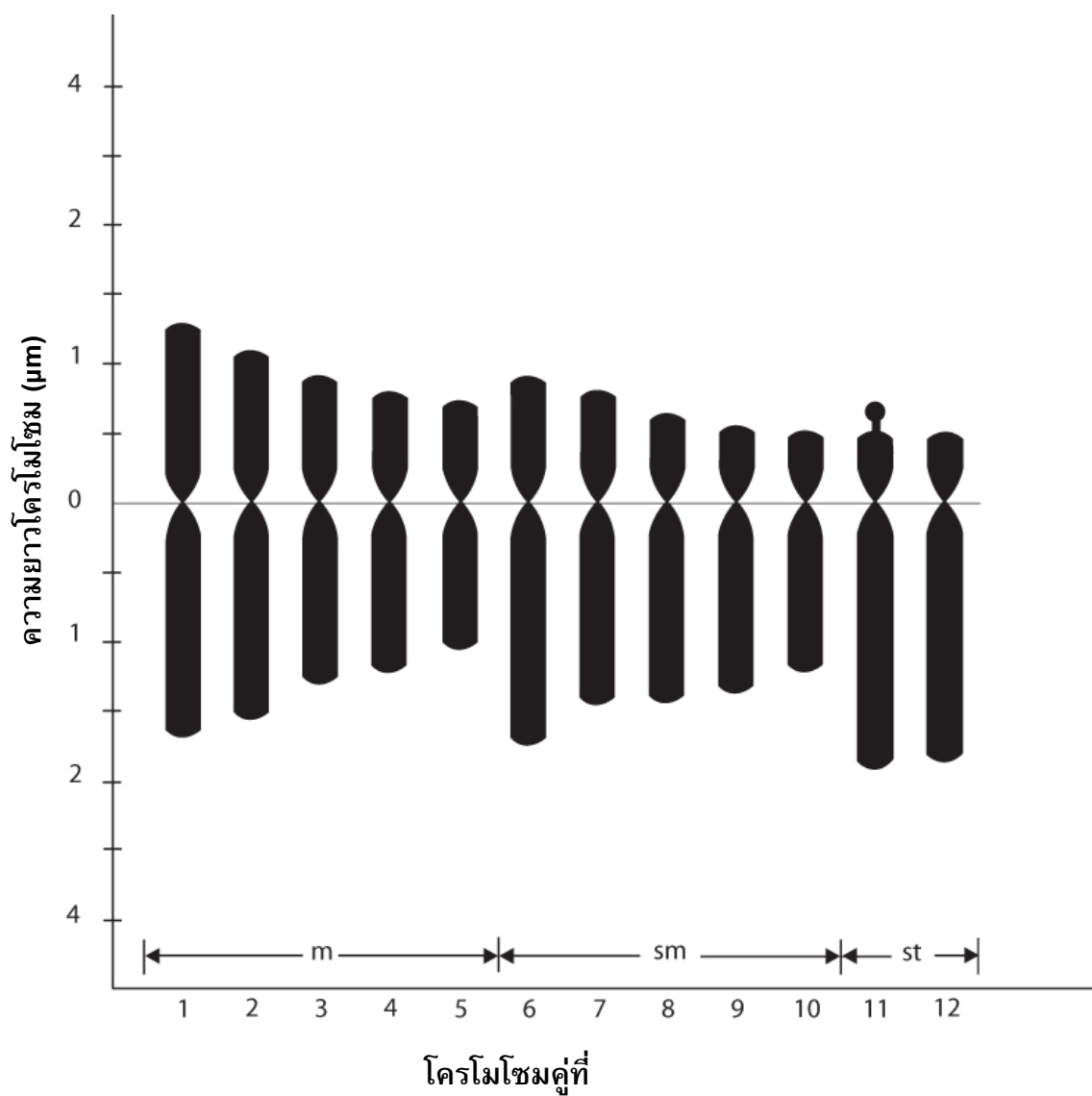
(A)



(B)



ภาพประกอบ 31 ภาพถ่ายโครโมโซมในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ($2n=24$) ของมะขามหวานพันธุ์สีทอง (A) และคาริโอไทป์ (B) ที่กำลังขยายประมาณ 5,433 เท่า ลูกศรชี้คือแซทเทลไลต์



ภาพประกอบ 32 อิติโอแกรมของมะขามหวานพันธุ์สีทองเรียงลำดับตามค่าเฉลี่ยความยาวทั้งแขน
อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้นของคู่โครโมโซมจำนวน 5 เซลล์ จุดกลมสีดำคือ
แซทเทิลไลท์ m = เมทาเซนตริก sm = ซับเมทาเซนตริก st = ซับเทโลเซนตริก

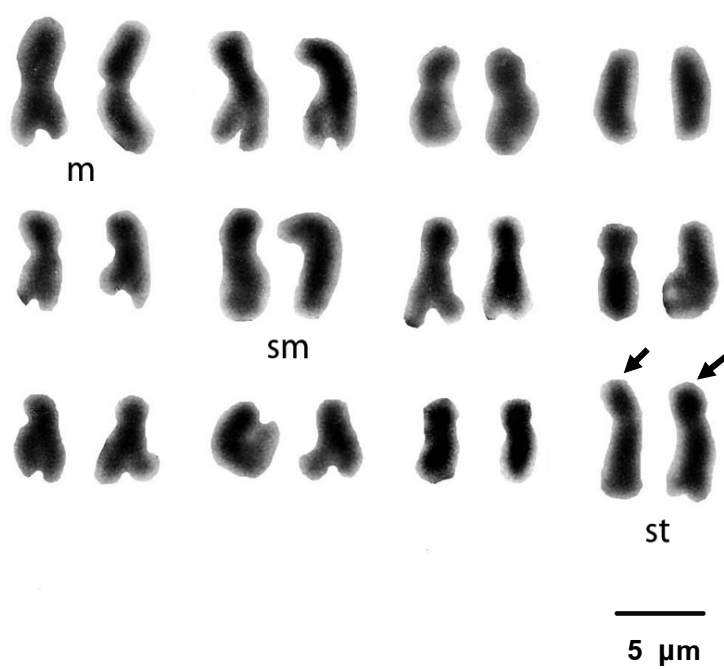
ตาราง 14 ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) ความยาวสัมผัส (RL) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดของคูโครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์สีทองเบา จำนวน 5 เซลล์

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)		L (μm)		T (μm)		RL %	L/S (μm)		ชนิด โครโมโซม
	เฉลี่ย	±SD	เฉลี่ย	±SD	เฉลี่ย	±SD		เฉลี่ย	±SD	
1	1.574±0.298		2.104±0.282		3.678±0.512		11.577	1.336±0.188		m
2	1.257±0.266		1.888±0.229		3.145±0.486		9.898	1.503±0.127		m
3	1.143±0.277		1.677±0.203		2.820±0.466		8.877	1.468±0.169		m
4	0.982±0.119		1.526±0.193		2.508±0.311		7.893	1.554±0.049		m
5	0.901±0.157		1.380±0.227		2.281±0.379		7.181	1.531±0.100		m
6	0.939±0.151		2.174±0.450		3.113±0.579		9.798	2.316±0.315		sm
7	0.923±0.272		2.005±0.261		2.928±0.524		9.216	2.172±0.388		sm
8	0.806±0.250		1.791±0.280		2.597±0.515		8.173	2.223±0.416		sm
9	0.719±0.162		1.654±0.301		2.373±0.441		7.469	2.301±0.346		sm
10	0.667±0.162		1.593±0.255		2.259±0.405		7.111	2.389±0.333		sm
11	0.636±0.179		1.501±0.217		2.136±0.368		6.725	2.361±0.399		sm
12	0.423±0.098		1.509±0.276		1.932±0.374		6.083	3.564±0.189		st

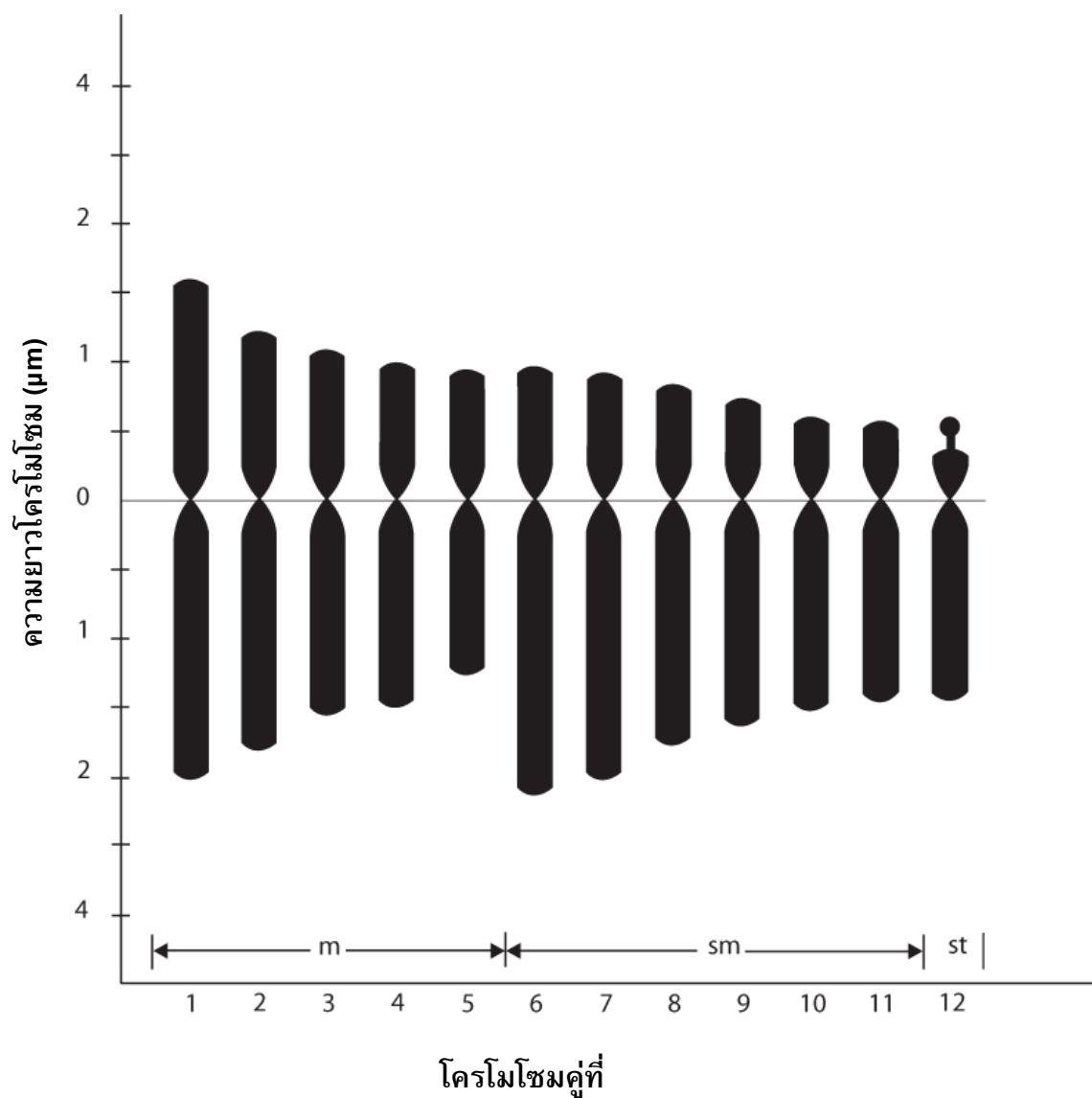
(A)



(B)



ภาพประกอบ 33 ภาพถ่ายโครโมโซมในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ($2n=24$) ของมะขามหวานพันธุ์สีทองเบา (A) และคาริโอไทป์ (B) ที่กำลังขยายประมาณ 3,549 เท่า ลูกศรชี้คือแซทเทลไลต์

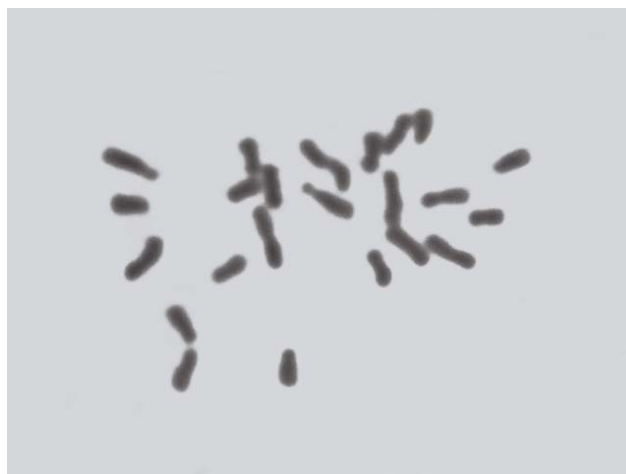


ภาพประกอบ 34 อีดิโอแกรมของมะขามหวานพันธุ์สีทองเบาเรียงลำดับตามค่าเฉลี่ยความยาว ทั้งแขนอัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้นของคู่โครโมโซมจำนวน 5 เซลล์ จุดกลมสีดำคือ แชนเทอโลไลท์ m = เมทาเซนทริก sm = ซับเมทาเซนทริก st = ซับเทโลเซนทริก

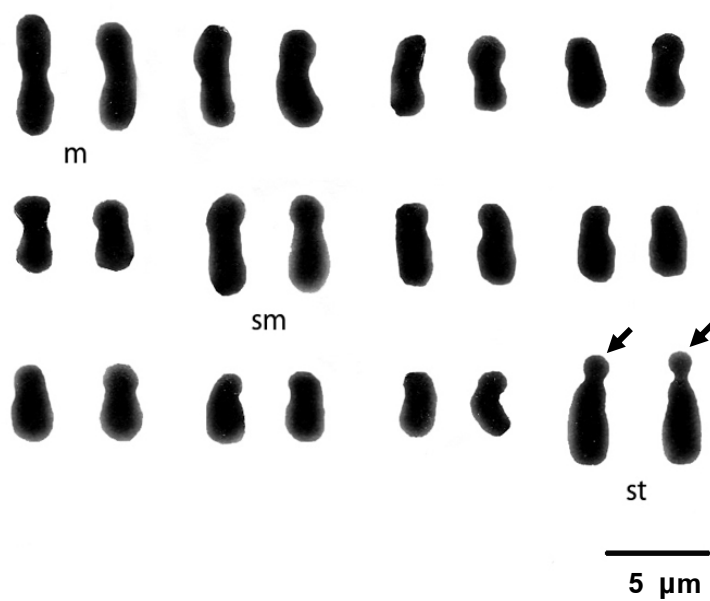
ตาราง 15 ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) ความยาว
สัมผัส (RL) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดของคูโครโมโซมของมะขามหวาน
พันธุ์อินทผลัมจำนวน 5 เซลล์

โครโมโซม	S (μm)		L (μm)		T (μm)		RL%	L/S (μm)		ชนิดโครโมโซม
คู่ที่	เฉลี่ย	$\pm\text{SD}$	เฉลี่ย	$\pm\text{SD}$	เฉลี่ย	$\pm\text{SD}$		เฉลี่ย	$\pm\text{SD}$	
1	1.333	± 0.300	1.773	± 0.208	3.106	± 0.448	11.021	1.336	± 0.233	m
2	1.120	± 0.293	1.537	± 0.221	2.657	± 0.462	9.430	1.372	± 0.264	m
3	1.038	± 0.277	1.331	± 0.245	2.370	± 0.507	8.409	1.283	± 0.190	m
4	0.974	± 0.254	1.179	± 0.187	2.153	± 0.398	7.641	1.214	± 0.294	m
5	0.792	± 0.152	1.083	± 0.137	1.875	± 0.267	6.654	1.367	± 0.183	m
6	0.973	± 0.258	2.001	± 0.332	2.974	± 0.549	10.554	2.056	± 0.414	sm
7	0.808	± 0.171	1.684	± 0.232	2.492	± 0.369	8.844	2.086	± 0.373	sm
8	0.718	± 0.149	1.526	± 0.165	2.244	± 0.284	7.962	2.125	± 0.359	sm
9	0.652	± 0.147	1.452	± 0.147	2.104	± 0.258	7.467	2.228	± 0.427	sm
10	0.624	± 0.159	1.372	± 0.135	1.996	± 0.272	7.083	2.204	± 0.443	sm
11	0.607	± 0.152	1.237	± 0.138	1.845	± 0.280	6.546	2.040	± 0.389	sm
12	0.433	± 0.168	1.930	± 0.300	2.363	± 0.447	8.387	4.454	± 0.323	st

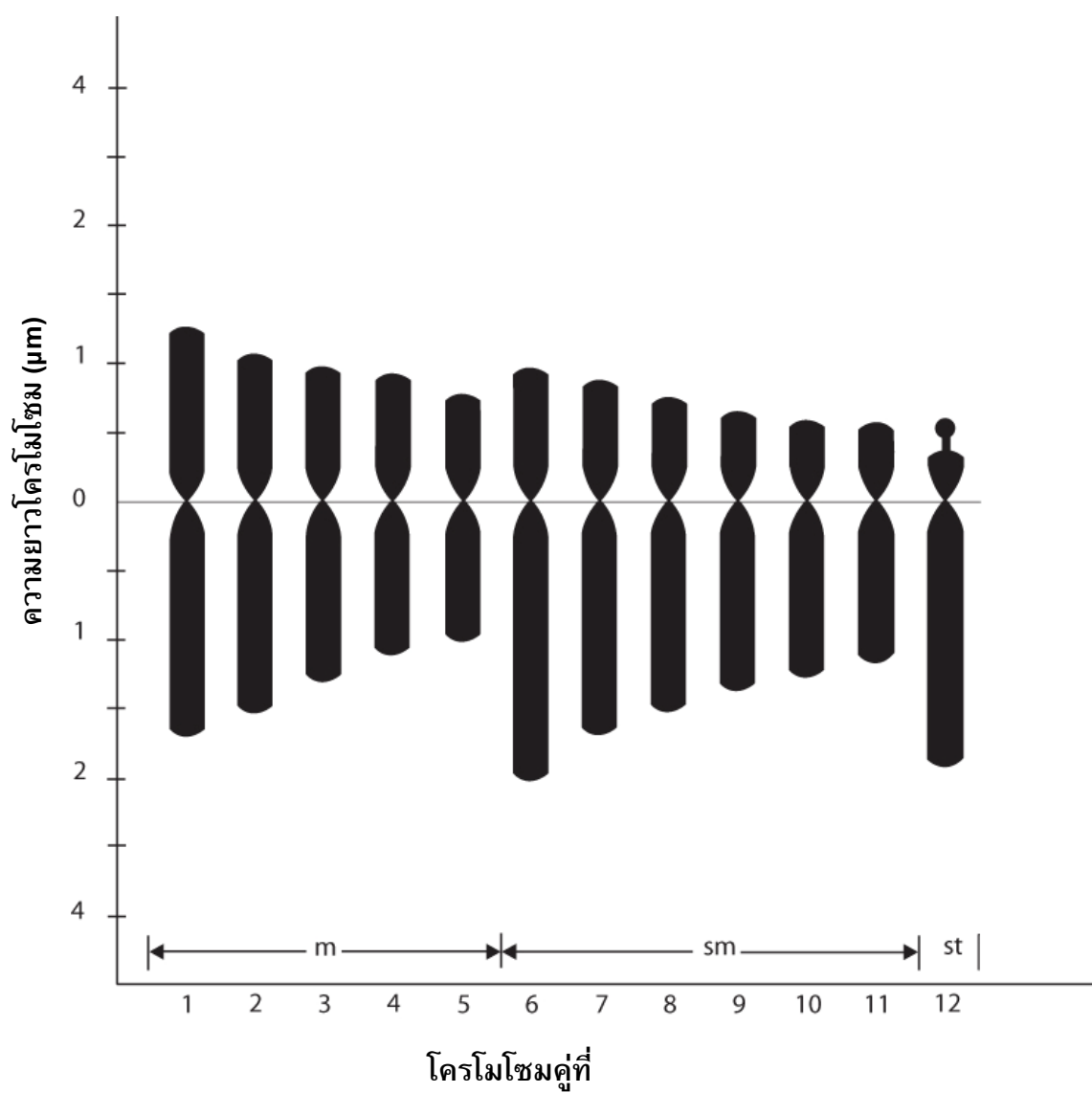
(A)



(B)



ภาพประกอบ 35 ภาพถ่ายโครโมโซมในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ($2n=24$) ของมะขามหวานพันธุ์อินทผาลัม (A) และคาริโอไทป์ (B) ที่กำลังขยายประมาณ 4,865 เท่า ลูกศรชี้คือแซทเทลไลต์

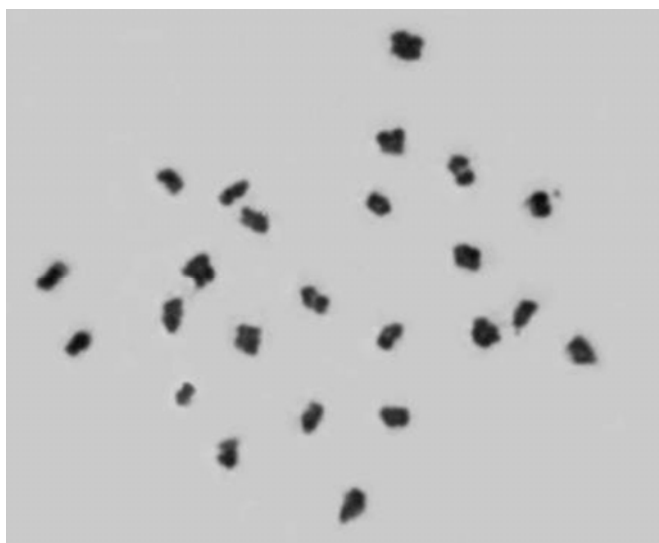


ภาพประกอบ 36 อิดิโอแกรมของมะขามหวานพันธุ์อินทผาลัมเรียงลำดับตามค่าเฉลี่ยความยาว ทั้งแขนอัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้นของคู่โครโมโซมจำนวน 5 เซลล์ จุดกลมสีดำคือ แชนเทโลไลต์ m = เมทาเซนทริก sm = ซับเมทาเซนทริก st = ซับเทโลเซนทริก

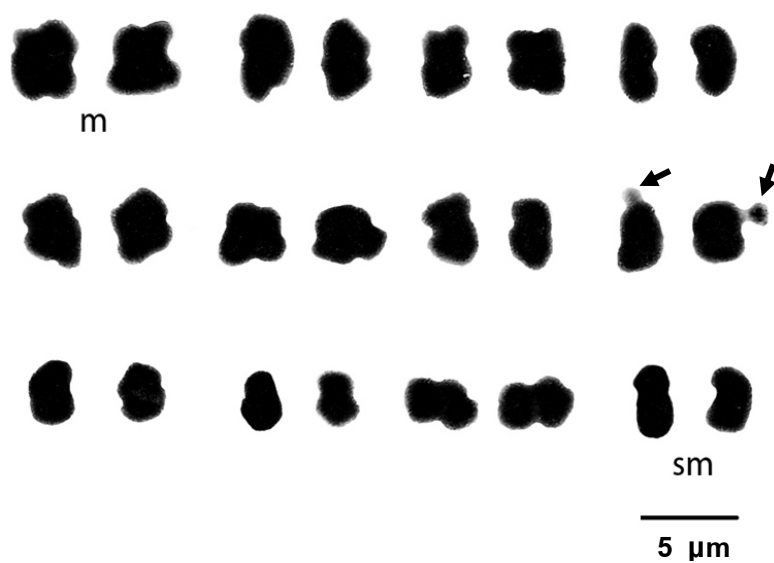
ตาราง 16 ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) ความยาวสัมพัทธ์ (RL) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดของคูโครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์แสงอาทิตย์ จำนวน 5 เซลล์

โครโมโซม	S (μm)		L (μm)		T (μm)		RL %	L/S (μm)		ชนิดโครโมโซม
คู่ที่	เฉลี่ย	±SD	เฉลี่ย	±SD	เฉลี่ย	±SD		เฉลี่ย	±SD	
1	1.211±0.215		1.650±0.242		2.861±0.424		11.066	1.363±0.176		m
2	1.042±0.038		1.533±0.271		2.575±0.301		9.959	1.471±0.218		m
3	1.018±0.181		1.474±0.275		2.492±0.445		9.639	1.448±0.125		m
4	0.948±0.117		1.379±0.243		2.328±0.345		9.004	1.455±0.144		m
5	0.958±0.175		1.282±0.149		2.240±0.314		8.665	1.338±0.139		m
6	0.921±0.174		1.236±0.169		2.157±0.291		8.342	1.341±0.261		m
7	0.853±0.158		1.227±0.136		2.080±0.271		8.046	1.438±0.171		m
8	0.872±0.201		1.136±0.113		2.008±0.270		7.767	1.302±0.277		m
9	0.822±0.112		1.115±0.180		1.937±0.252		7.493	1.356±0.202		m
10	0.801±0.137		0.976±0.086		1.777±0.180		6.872	1.219±0.244		m
11	0.641±0.061		0.897±0.082		1.538±0.068		5.949	1.400±0.229		m
12	0.575±0.078		1.286±0.092		1.861±0.124		7.198	2.235±0.336		sm

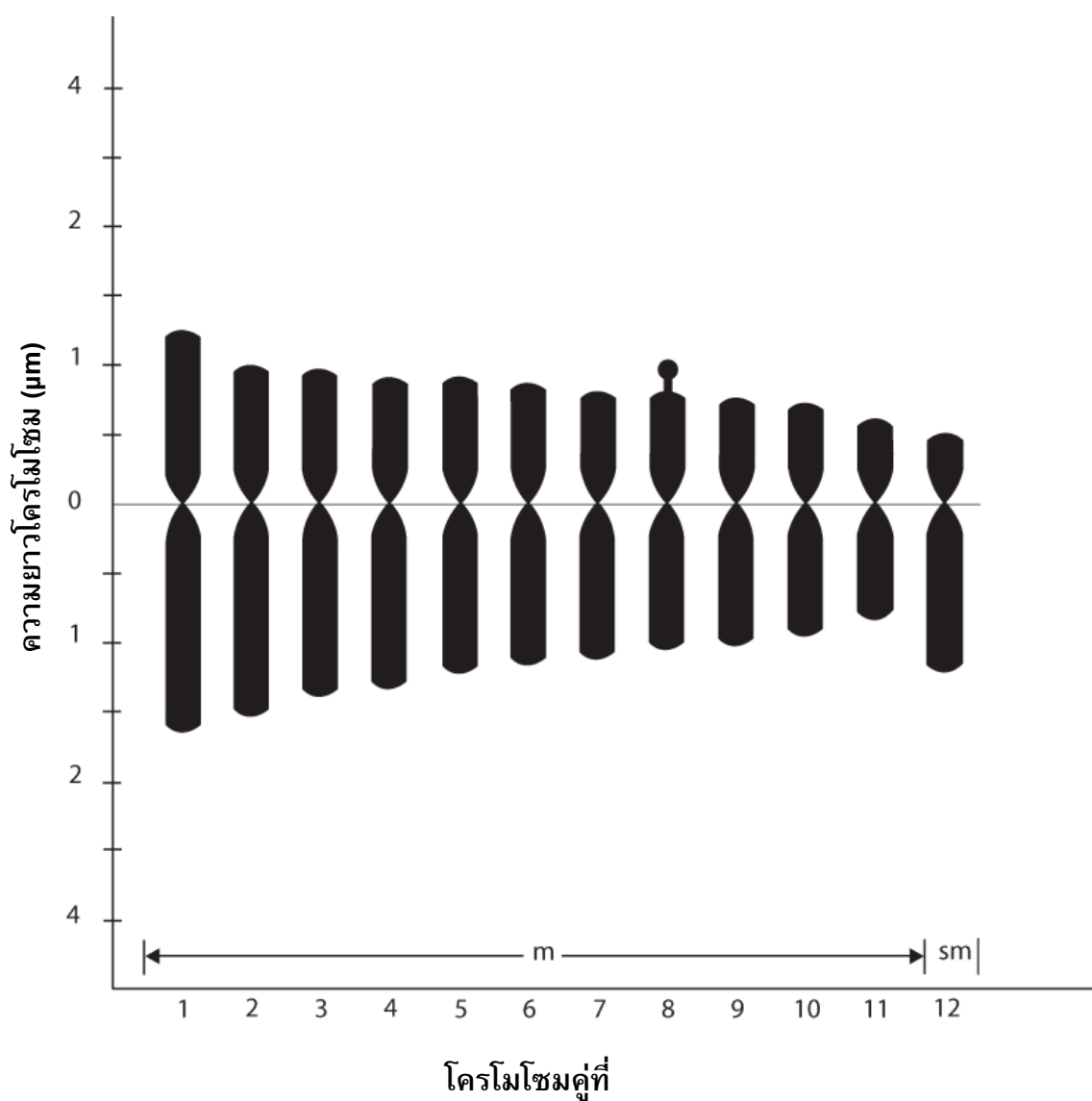
(A)



(B)



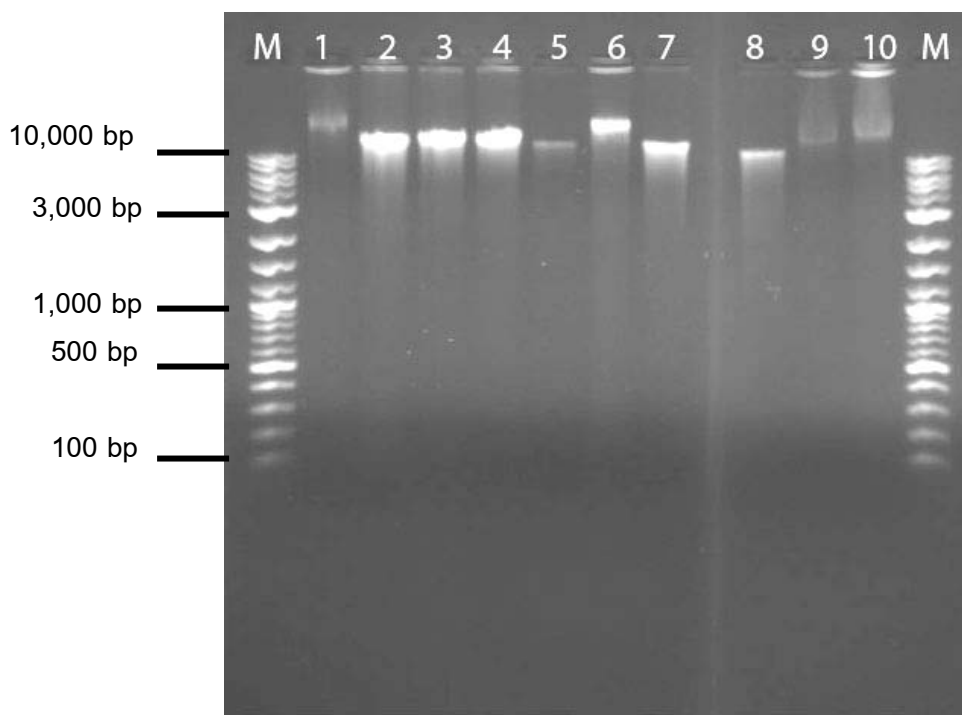
ภาพประกอบ 37 ภาพถ่ายโครโมโซมในระยะเมทาเฟสของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ($2n=24$) ของมะขามหวานพันธุ์แสงอาทิตย์ (A) และคาริโอไทป์ (B) ที่กำลังขยายประมาณ 3,873 เท่า ลูกศรชี้คือแซทเทลไลต์



ภาพประกอบ 38 อิติโอแกรมของมะขามหวานพันธุ์แสงอาทิตย์เรียงลำดับตามค่าเฉลี่ยความยาว ทั้งแขนอัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้นของคู่โครโมโซมจำนวน 5 เซลล์ จุดกลมสีดำคือ แซทเทิลไลท์ m = เมทาเซนทริก sm = ซับเมทาเซนทริก st = ซับเทโลเซนทริก

การศึกษาด้านชีววิทยาระดับโมเลกุล

การสกัด DNA จากใบมะขามหวาน 10 พันธุ์ วิธีการ CTAB ได้ผลดัง ภาพประกอบ 39



ภาพประกอบ 39 DNA ของมะขามหวาน 10 พันธุ์ ที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีการ CTAB

Lane M: 2 Log DNA Marker;

Lane1: พันธุ์ศรีชมภู

Lane 2: พันธุ์ขันตี

Lane 3: พันธุ์ประกายทอง

Lane 4: พันธุ์ฝักดาบ

Lane 5: พันธุ์พระโรจน์

Lane 6: พันธุ์หมื่นจง

Lane 7: พันธุ์สีทอง

Lane 8: พันธุ์สีทองเบา

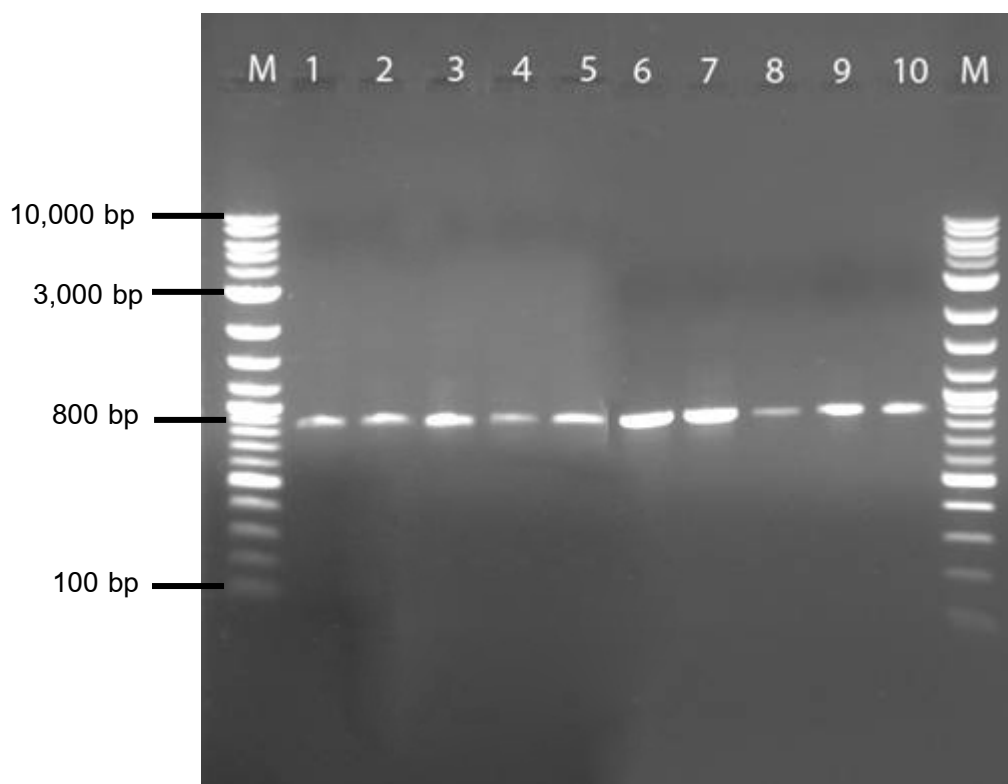
Lane 9: พันธุ์อินทผลัม

Lane 10: พันธุ์แสงอาทิตย์

Lane M: 2 Log Marker

การเพิ่มปริมาณ DNA บริเวณ ITS ด้วยวิธีการ PCR

การเพิ่มปริมาณ DNA อย่างจำเพาะที่บริเวณ ITS ของมะขามหวาน 10 พันธุ์ ได้ผลดังภาพประกอบ 40 โดย PCR product ของมะขามหวานที่ศึกษาทั้งหมดมีขนาดเท่ากัน คือประมาณ 800 bp



ภาพประกอบ 40 PCR product ของมะขามหวาน 10 พันธุ์

Lane M: 2 Log DNA Marker;

Lane1: พันธุ์ศรีชมภู

Lane 2: พันธุ์ขันตี

Lane 3: พันธุ์ประกายทอง

Lane 4: พันธุ์ฝักดาบ

Lane 5: พันธุ์พระโรจน์

Lane 6: พันธุ์หมื่นจง

Lane 7: พันธุ์สีทอง

Lane 8: พันธุ์สีทองเบา

Lane 9: พันธุ์อินทผาลัม

Lane 10: พันธุ์แสงอาทิตย์

Lane M: 2 Log DNA Marker

มะขามหวานทั้ง 10 พันธุ์ที่ทำการศึกษามีความยาวของบริเวณ ITS ตั้งแต่ 726 - 727 คู่เบส เมื่อนำมาทำ alignment (ภาพประกอบ 41) พบว่ามีความยาวเท่ากับ 747 คู่เบส บริเวณ ITS ของพืชสกุลมะขามทั้ง 10 พันธุ์นี้มี GC content ตั้งแต่ 57.36 – 57.91%

	10	20	30	40	50	60	70	80
Praroj	AACAGCACGACCGGTGA	ACTTGTTC	TTTTGTCAA	ACTAGACGG	-AGGCACACGGCGTTCGTCGCCATGGGCCTCCCCG	-TG		
Muenjong	AACAGCACGACCGGTGA	ACTTGTTC	TTTTGTCAA	ACTAGACGG	-AGGCACACGGCGTTCGTCGCCATGGGCCTCCCCG	-TG		
Prakaithong	AACAGCACGACCGGTGA	ACTTGTTC	TTTTGTCAA	ACTAGACGG	-AGGCACACGGCGTTCGTCGCCATGGGCCTCCCCG	-TG		
Intapalum	AACAGCACGACCGGTGA	ACTTGTTC	TTTTGTCAA	ACTAGACGG	-AGGCACACGGCGTTCGTCGCCATGGGCCTCCCCG	-TG		
Khunti	AACAGCACGACCGGTGA	ACTTGTTC	TTTTGTCAA	ACTAGACGG	-AGGCACACGGCGTTCGTCGCCATGGGCCTCCCCG	-TG		
Srichomphoo	AACAGCACGACCGGTGA	ACTTGTTC	TTTTGTCAA	ACTAGACGG	-AGGCACACGGCGTTCGTCGCCATGGGCCTCCCCG	-TG		
Srithongbao	AACAGCACGACCGGTGA	ACTTGTTC	TTTTGTCAA	ACTAGACGG	-AGGCACACGGCGTTCGTCGCCATGGGCCTCCCCG	-TG		
Srithong	AACAGCACGACCGGTGA	ACTTGTTC	TTTTGTCAA	ACTAGACGG	-AGGCACACGGCGTTCGTCGCCATGGGCCTCCCCG	-TG		
Fagdab	AACAGCACGACCGGTGA	ACTTGTTC	TTTTGTCAA	ACTAGACGG	-AGGCACACGGCGTTCGTCGCCATGGGCCTCCCCG	-TG		
Sangartit	AACAGCACGACCGGTGA	ACTTGTTC	TTTTGTCAA	ACTAGACGG	-AGGCACACGGCGTTCGTCGCCATGGGCCTCCCCG	-TG		
<i>Gymnocladus chinensis</i>	AACAGGATGACCCGCGAA	- - - -	TCGGTTAAGAGACCATCGGGGAGGCAGAGGGTGAGCGTCGCCCCGAGTCTCCC	- - TG				
<i>Bauhinia corymbosa</i>	AACAGCCTGACCTGTGAA	- - - -	TTTG - - TATGTGA - TATTGGG - TGGCGTAGGGTTCTCATTGCACCCACCCACCCATA					

	90	100	110	120	130	140	150	160
Praroj	CT - - - -	GGGATACAACGCGGG	-GCTAGCCAGTCCC	GTTGTTTCTCCC	GGCATAAAAACGAACCCCCGGCGTTGAACGCG			
Muenjong	CT - - - -	GGGATACAACGCGGG	-GCTAGCCAGTCCC	GTTGTTTCTCCC	GGCATAAAAACGAACCCCCGGCGTTGAACGCG			
Prakaithong	CT - - - -	GGGATACAACGCGGG	-GCTAGCCAGTCCC	GTTGTTTCTCCC	GGCATAAAAACGAACCCCCGGCGTTGAACGCG			
Intapalum	CT - - - -	GGGATACAACGCGGG	-GCTAGCCAGTCCC	GTTGTTTCTCCC	GGCATAAAAACGAACCCCCGGCGTTGAACGCG			
Khunti	CT - - - -	GGGATACAACGCGGG	-GCTAGCCAGTCCC	GTTGTTTCTCCC	GGCATAAAAACGAACCCCCGGCGTTGAACGCG			
Srichomphoo	CT - - - -	GGGATACAACGCGGG	-GCTAGCCAGTCCC	GTTGTTTCTCCC	GGCATAAAAACGAACCCCCGGCGTTGAACGCG			
Srithongbao	CT - - - -	GGGATACAACGCGGG	-GCTAGCCAGTCCC	GTTGTTTCTCCC	GGCATAAAAACGAACCCCCGGCGTTGAACGCG			
Srithong	CT - - - -	GGGATACAACGCGGG	-GCTAGCCAGTCCC	GTTGTTTCTCCC	GGCATAAAAACGAACCCCCGGCGTTGAACGCG			
Fagdab	CT - - - -	GGGATACAACGCGGG	-GCTAGCCAGTCCC	GTTGTTTCTCCC	GGCATAAAAACGAACCCCCGGCGTTGAACGCG			
Sangartit	CT - - - -	GGGATACAACGCGGG	-GCTAGCCAGTCCC	GTTGTTTCTCCC	GGCATAAAAACGAACCCCCGGCGTTGAACGCG			
<i>Gymnocladus chinensis</i>	CC - - - -	CGGCGATGCCTTCAG	-CCTCGTGC - TGC - -	TTGTGT	CAGGCCGAAAAATAACTAAACCTCGGCGTCGGACGCG			
<i>Bauhinia corymbosa</i>	CCTATATGGGACACATGAGATCTTTCTTTGTGTGTGCTCATTT	-AGGTAAGAACAAAACCCCGGCGCTAGTT	- - - -	GCG				

	170	180	190	200	210	220	230	240
Praroj	CCAAGGAACACAACACTACATGA-CGTTCTCTTGTCGTCCCGGAGACGGTGCATCGGCAATGAGCAACGCAAAATTTGTATC							
Muenjong	CCAAGGAACACAACACTACATGA-CGTTCTCTTGTCGTCCCGGAGACGGTGCATCGGCAATGAGCAACGCAAAATTTGTATC							
Prakaithong	CCAAGGAACACAACACTACATGA-CGTTCTCTTGTCGTCCCGGAGACGGTGCATCGGCAATGAGCAACGCAAAATTTGTATC							
Intapalum	CCAAGGAACACAACACTACATGA-CGTTCTCTTGTCGTCCCGGAGACGGTGCATCGGCAATGAGCAACGCAAAATTTGTATC							
Khunti	CCAAGGAACACAACACTACATGA-CGTTCTCTTGTCGTCCCGGAGACGGTGCATCGGCAATGAGCAACGCAAAATTTGTATC							
Srichomphoo	CCAAGGAACACAACACTACATGA-CGTTCTCTTGTCGTCCCGGAGACGGTGCATCGGCAATGAGCAACGCAAAATTTGTATC							
Srithongbao	CCAAGGAACACAACACTACATGA-CGTTCTCTTGTCGTCCCGGAGACGGTGCATCGGCAATGAGCAACGCAAAATTTGTATC							
Srithong	CCAAGGAACACAACACTACATGA-CGTTCTCTTGTCGTCCCGGAGACGGTGCATCGGCAATGAGCAACGCAAAATTTGTATC							
Fagdab	CCAAGGAACACAACACTACATGA-CGTTCTCTTGCCGTCCCGGAGACGGTGCATCGGCAATGAGCAACGCAAAATTTGTATC							
Sangartit	CCAAGGAACACAACACTACATGA-CGTTCTCTTGCCGTCCCGGAGACGGTGCATCGGCAATGAGCAACGCAAAATTTGTATC							
<i>Gymnocladus chinensis</i>	CCAAGGAACACTCGAACAAATGAGCGTGCTCTCGACGTCCCGGAGACGGTGC-TCGCTCGAGAGTGTGCGGACGACTGTATC							
<i>Bauhinia corymbosa</i>	CCAAGGAACACTCTGACAATTGACATCCTTGTGG-GGCTCGGCAACGATGCTCGTGCAGGGTTTGTGCGACATATTTATC							
	250	260	270	280	290	300	310	320
Praroj	CATAAC--GACTCTCGGCAACGGATATCTCGGCTCTCGCATCGATGAAGAACGTAGCGAAATGCGATACTTGGTGTGAAT							
Muenjong	CATAAC--GACTCTCGGCAACGGATATCTCGGCTCTCGCATCGATGAAGAACGTAGCGAAATGCGATACTTGGTGTGAAT							
Prakaithong	CATAAC--GACTCTCGGCAACGGATATCTCGGCTCTCGCATCGATGAAGAACGTAGCGAAATGCGATACTTGGTGTGAAT							
Intapalum	CATAAC--GACTCTCGGCAACGGATATCTCGGCTCTCGCATCGATGAAGAACGTAGCGAAATGCGATACTTGGTGTGAAT							
Khunti	CATAAC--GACTCTCGGCAACGGATATCTCGGCTCTCGCATCGATGAAGAACGTAGCGAAATGCGATACTTGGTGTGAAT							
Srichomphoo	CATAAC--GACTCTCGGCAACGGATATCTCGGCTCTCGCATCGATGAAGAACGTAGCGAAATGCGATACTTGGTGTGAAT							
Srithongbao	CATAAC--GACTCTCGGCAACGGATATCTCGGCTCTCGCATCGATGAAGAACGTAGCGAAATGCGATACTTGGTGTGAAT							
Srithong	CATAAC--GACTCTCGGCAACGGATATCTCGGCTCTCGCATCGATGAAGAACGTAGCGAAATGCGATACTTGGTGTGAAT							
Fagdab	CATAAC--GACTCTCGGCAACGGATATCTCGGCTCTCGCATCGATGAAGAACGTAGCGAAATGCGATACTTGGTGTGAAT							
Sangartit	CATAAC--GACTCTCGGCAACGGATATCTCGGCTCTCGCATCGATGAAGAACGTAGCGAAATGCGATACTTGGTGTGAAT							
<i>Gymnocladus chinensis</i>	CAAAAAATGACTCTCGGCAACGGATATCTCGGCTCTCGCATCGATGAAGAACGTAGCGAAATGCGATACTTGGTGTGAAT							
<i>Bauhinia corymbosa</i>	CAAAAT--GACTCTCGGCAACGGATATCTCGGCTCTCGCATCGATGAAGAACGTAGCGAAATGCGATACTTGGTGTGAAT							
	330	340	350	360	370	380	390	400
Praroj	TGCAGAATCCCGTGAACCATCGAGTCTTTGAACGCAAGTTGCGCCCCGAGGTCATTAGGCCAAGGGGCACGTCTGGCTGGGT							
Muenjong	TGCAGAATCCCGTGAACCATCGAGTCTTTGAACGCAAGTTGCGCCCCGAGGTCATTAGGCCAAGGGGCACGTCTGGCTGGGT							
Prakaithong	TGCAGAATCCCGTGAACCATCGAGTCTTTGAACGCAAGTTGCGCCCCGAGGTCATTAGGCCAAGGGGCACGTCTGGCTGGGT							
Intapalum	TGCAGAATCCCGTGAACCATCGAGTCTTTGAACGCAAGTTGCGCCCCGAGGTCATTAGGCCAAGGGGCACGTCTGGCTGGGT							
Khunti	TGCAGAATCCCGTGAACCATCGAGTCTTTGAACGCAAGTTGCGCCCCGAGGTCATTAGGCCAAGGGGCACGTCTGGCTGGGT							

Srichomphoo	TGCAGAATCCCGTGAACCATCGAGTCTTTGAACGCAAGTTGCGCCCGAGGTCATTAGGCCAAGGGGCACGTCTGGCTGGGT
Srithongbao	TGCAGAATCCCGTGAACCATCGAGTCTTTGAACGCAAGTTGCGCCCGAGGTCATTAGGCCAAGGGGCACGTCTGGCTGGGT
Srithong	TGCAGAATCCCGTGAACCATCGAGTCTTTGAACGCAAGTTGCGCCCGAGGTCATTAGGCCAAGGGGCACGTCTGGCTGGGT
Fagdab	TGCAGAATCCCGTGAACCATCGAGTCTTTGAACGCAAGTTGCGCCCGAGGTCATTAGGCCAAGGGGCACGTCTGGCTGGGT
Sangartit	TGCAGAATCCCGTGAACCATCGAGTCTTTGAACGCAAGTTGCGCCCGAGGTCATTAGGCCAAGGGGCACGTCTGGCTGGGT
<i>Gymnocladus chinensis</i>	TGCAGAATCCCGTGAACCATCGAGTCTTTGAACGCAAGTTGCGCCCGAGGTCATTAGGCCAAGGGGCACGTCTGGCTGGGT
<i>Bauhinia corymbosa</i>	TGCAGAATCCCGTGAACCATCGAGTCTTTGAACGCAAGTTGCGCCCGAGGTCATTAGGTTGAGGGGCACGTCTGCCTGGGT

	410	420	430	440	450	460	470	480
Praroj	GTCACACAACGTTGCCCAACCCCAACGCCTGTCACACGGCGATGGGCACGGGGCGGACGATGGCTTCCCCTGAGCATG-							
Muenjong	GTCACACAACGTTGCCCAACCCCAACGCCTGTCACACGGCGATGGGCACGGGGCGGACGATGGCTTCCCCTGAGCATG-							
Prakaithong	GTCACACAACGTTGCCCAACCCCAACGCCTGTCACACGGCGATGGGCACGGGGCGGACGATGGCTTCCCCTGAGCATG-							
Intapalum	GTCACACAACGTTGCCCAACCCCAACGCCTGTCACACGGCGATGGGCACGGGGCGGACGATGGCTTCCCCTGAGCATG-							
Khunti	GTCACACAACGTTGCCCAACCCCAACGCCTGTCACACGGCGATGGGCACGGGGCGGACGATGGCTTCCCCTGAGCATG-							
Srichomphoo	GTCACACAACGTTGCCCAACCCCAACGCCTGTCACACGGCGATGGGCACGGGGCGGACGATGGCTTCCCCTGAGCATG-							
Srithongbao	GTCACACAACGTTGCCCAACCCCAACGCCTGTCACACGGCGATGGGCACGGGGCGGACGATGGCTTCCCCTGAGCATG-							
Srithong	GTCACACAACGTTGCCCAACCCCAACGCCTGTCACACGGCGATGGGCACGGGGCGGACGATGGCTTCCCCTGAGCATG-							
Fagdab	GTCACACAACGTTGCCCAACCCCAACGCCTGTCACACGGCGATGGGCACGGGGCGGACGATGGCTTCCCCTGAGCATG-							
Sangartit	GTCACACAACGTTGCCCAACCCCAACGCCTGTCACACGGCGATGGGCACGGGGCGGACGATGGCTTCCCCTGAGCATG-							
<i>Gymnocladus chinensis</i>	GTCACACAACGATGCCCCACTCCACAGCCTCTGAGGGGGCGTGTAGGGGGGGGTGGACGATGGCTTCCCCTGGGCGTCT							
<i>Bauhinia corymbosa</i>	GTCAAACGCTGTTGCCCAAAACACTTTGTCTTGCATTAGACTTGTGTGGTGGGTGGATGTTGGCTCCCCTGAGCATCA							

	490	500	510	520	530	540	550	560
Praroj	-GCCTCGCGGATGGCCGAAATAAGAGTTCGCGGTGTGGCGAGCACCACGGCGCACGGTAGTTGAGTAACACTCGAGCCCA							
Muenjong	-GCCTCGCGGATGGCCGAAATAAGAGTTCGCGGTGTGGCGAGCACCACGGCGCACGGTAGTTGAGTAACACTCGAGCCCA							
Prakaithong	-GCCTCGCGGATGGCCGAAATAAGAGTTCGCGGTGTGGCGAGCACCACGGCGCACGGTAGTTGAGTAACACTCGAGCCCA							
Intapalum	-GCCTCGCGGATGGCCGAAATAAGAGTTCGCGGTGTGGCGAGCACCACGGCGCACGGTAGTTGAGTAACACTCGAGCCCA							
Khunti	-GCCTCGCGGATGGCCGAAATAAGAGTTCGCGGTGTGGCGAGCACCACGGCGCACGGTAGTTGAGTAACACTCGAGCCCA							
Srichomphoo	-GCCTCGCGGATGGCCGAAATAAGAGTTCGCGGTGTGGCGAGCACCACGGCGCACGGTAGTTGAGTAACACTCGAGCCCA							
Srithongbao	-GCCTCGCGGATGGCCGAAATAAGAGTTCGCGGTGTGGCGAGCACCACGGCGCACGGTAGTTGAGTAACACTCGAGCCCA							
Srithong	-GCCTCGCGGATGGCCGAAATAAGAGTTCGCGGTGTGGCGAGCACCACGGCGCACGGTAGTTGAGTAACACTCGAGCCCA							
Fagdab	-GCCTCGCGGATGGCCGAAATAAGAGTTCGCGGTGTGGCGAGCACCACGGCGCACGGTAGTTGAGTAACACTCGAGCCCA							
Sangartit	-GCCTTGGCGGATGGCCGAAATAAGAGTTCGCGGTGTGGCGAGCACCACGGCGCACGGTAGTTGAGTAACACTCGAGCCCA							
<i>Gymnocladus chinensis</i>	TGCCTCTCGGATGGCTGAAATACGAGTCTGTGGTGT - -CGACCGCCGCGACGGACGGTGGAAGAGTGAATCTCGAGACCG							
<i>Bauhinia corymbosa</i>	TTGTTGGCGGTTGGCTAAATGCGAGCTTGTGGTGG - -TGAGCATCATGACGTATGGTGGTTGAGTCATGCTCGAAGCCT							

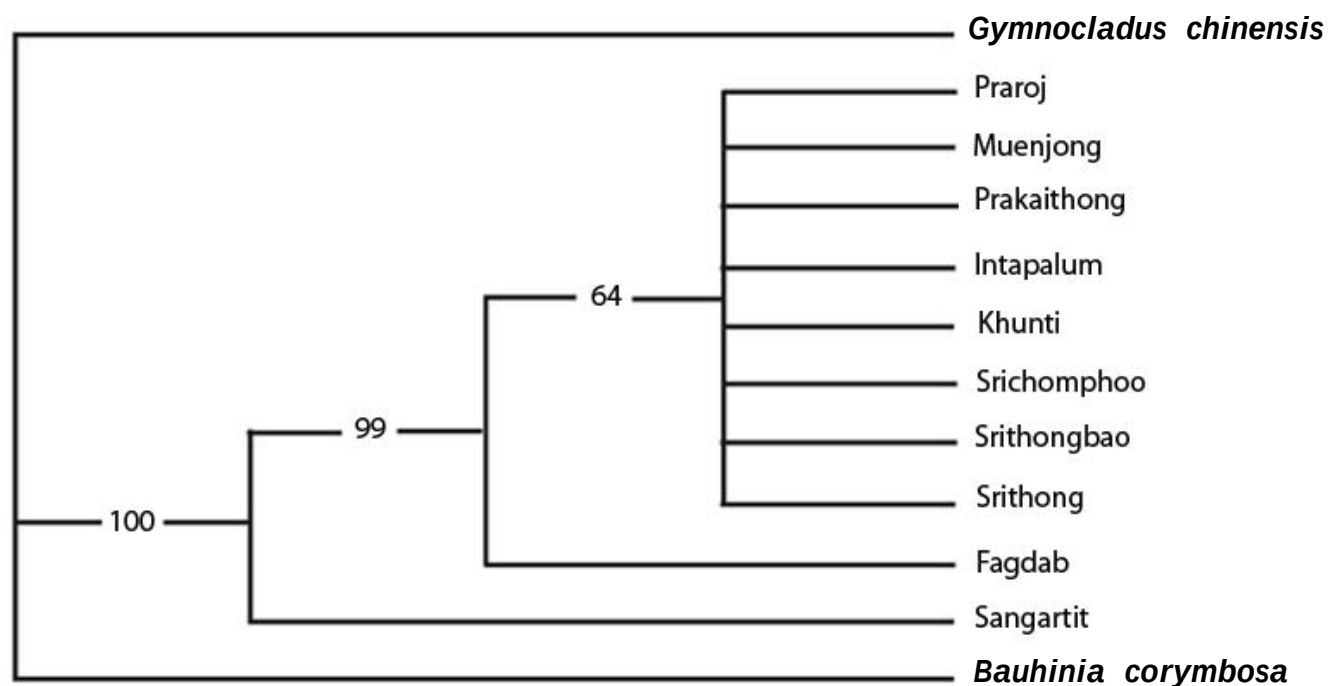
	570	580	590	600	610	620	630	640
Praroj	GTCGTGCGTGCTCCATCCCTCCGTGACGAACTCCGGGATCCTATCGCGTCCAGTGACGC-----TTCTAACGCGACCT							
Muenjong	GTCGTGCGTGCTCCATCCCTCCGTGACGAACTCCGGGATCCTATCGCGTCCAGTGACGC-----TTCTAACGCGACCT							
Prakaithong	GTCGTGCGTGCTCCATCCCTCCGTGACGAACTCCGGGATCCTATCGCGTCCAGTGACGC-----TTCTAACGCGACCT							
Intapalum	GTCGTGCGTGCTCCATCCCTCCGTGACGAACTCCGGGATCCTATCGCGTCCAGTGACGC-----TTCTAACGCGACCT							
Khunti	GTCGTGCGTGCTCCATCCCTCCGTGACGAACTCCGGGATCCTATCGCGTCCAGTGACGC-----TTCTAACGCGACCT							
Srichomphoo	GTCGTGCGTGCTCCATCCCTCCGTGACGAACTCCGGGATCCTATCGCGTCCAGTGACGC-----TTCTAACGCGACCT							
Srithongbao	GTCGTGCGTGCTCCATCCCTCCGTGACGAACTCCGGGATCCTATCGCGTCCAGTGACGC-----TTCTAACGCGACCT							
Srithong	GTCGTGCGTGCTCCATCCCTCCGTGACGAACTCCGGGATCCTATCGCGTCCAGTGACGC-----TTCTAACGCGACCT							
Fagdab	GTCGTGCGTGCTCCATCCCTCCGTGACGAACTCCGGGATCCTATCGCGTCCAGTGACGC-----TTCTAACGCGACCT							
Sangartit	GTCGTGCGTGCTCCATCCCCCGTGGCGAACTCCGAGATCCTATCGCGTCCAGTGACGC-----TTCTAACGCGACCT							
<i>Gymnocladus chinensis</i>	GTCGAGCGTGTGTCTTCTCGTCGAGCAGG-CTGCGAGACCTTTACGCGTCGCTTGTTGCGAGTGCATTGCGAA-GCGATCC							
<i>Bauhinia corymbosa</i>	GTCTTGCGTGCCTCGCCTCAAATAATGGCTCTT-GTGACCCTCGTGCATATGTTGATGC-----TTTCAATGTGA---							

	650	660	670	680	690	700	710	720
Praroj	CAGCTCAGGCGGGGGCCACCCGCTGAGTTTAAGCATATCAATAAGCGGAGGAAAAGAACTAACAAGGATTCCCCTAGTAA							
Muenjong	CAGCTCAGGCGGGGGCCACCCGCTGAGTTTAAGCATATCAATAAGCGGAGGAAAAGAACTAACAAGGATTCCCCTAGTAA							
Prakaithong	CAGCTCAGGCGGGGGCCACCCGCTGAGTTTAAGCATATCAATAAGCGGAGGAAAAGAACTAACAAGGATTCCCCTAGTAA							
Intapalum	CAGCTCAGGCGGGGGCCACCCGCTGAGTTTAAGCATATCAATAAGCGGAGGAAAAGAACTAACAAGGATTCCCCTAGTAA							
Khunti	CAGCTCAGGCGGGGGCCACCCGCTGAGTTTAAGCATATCAATAAGCGGAGGAAAAGAACTAACAAGGATTCCCCTAGTAA							
Srichomphoo	CAGCTCAGGCGGGGGCCACCCGCTGAGTTTAAGCATATCAATAAGCGGAGGAAAAGAACTAACAAGGATTCCCCTAGTAA							
Srithongbao	CAGCTCAGGCGGGGGCCACCCGCTGAGTTTAAGCATATCAATAAGCGGAGGAAAAGAACTAACAAGGATTCCCCTAGTAA							
Srithong	CAGCTCAGGCGGGGGCCACCCGCTGAGTTTAAGCATATCAATAAGCGGAGGAAAAGAACTAACAAGGATTCCCCTAGTAA							
Fagdab	CAGCTCAGGCGGGGGCCACCCGCTGAGTTTAAGCATATCAATAAGCGGAGGAAAAGAACTAACAAGGATTCCCCTAGTAA							
Sangartit	CAGCTCAGGCGGGGGCCACCCGCTGAGTTTAAGCATATCAATAAGCGGAGGAAAAGAACTAACAAGGATTCCCCTAGTAA							
<i>Gymnocladus chinensis</i>	CAGGTCAGGCGGGGGCTACCCGCTGAGTTTAA-----							
<i>Bauhinia corymbosa</i>	-----							

	730	740
Praroj	CGGCGAGCGAACC	CGGGAAGAGCCCACC
Muenjong	CGGCGAGCGAACC	CGGGAAGAGCCCACC
Prakaithong	CGGCGAGCGAACC	CGGGAAGAGCCCACC
Intapalum	CGGCGAGCGAACC	CGGGAAGAGCCCACC
Khunti	CGGCGAGCGAACC	CGGGAAGAGCCCACC
Srichomphoo	CGGCGAGCGAACC	CGGGAAGAGCCCACC
Srithongbao	CGGCGAGCGAACC	CGGGAAGAGCCCACC
Srithong	CGGCGAGCGAACC	CGGGAAGAGCCCACC
Fagdab	CGGCGAGCGAACC	CGGGAAGAGCCCACC
Sangartit	CGGCGAGCGAACC	CGGGAACAGCCCACC
<i>Gymnocladus chinensis</i>	-----	
<i>Bauhinia corymbosa</i>	-----	

ภาพประกอบ 41 ลำดับเบสบริเวณ ITS ของมะขามหวาน 10 พันธุ์ (747 bp) และ outgroup taxa (*Gymnocladus chinensis* และ *Bauhinia corymbosa*)

Phylogenetic tree (ภาพประกอบ 42) ที่ได้แสดงให้เห็นว่ามะขามหวาน 7 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์พระโรจน์ พันธุ์หมื่นจง พันธุ์ประกายทอง พันธุ์อินทผาลัม พันธุ์ขันตี พันธุ์ศรีชมภู และพันธุ์สีทองเบาจัดอยู่ในกลุ่มที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกันมาก นอกจากนี้ยังรวมพันธุ์สีทองด้วย (bootstrap value (BS) = 64%) พันธุ์ฝักดาบจัดเป็น sister group ของมะขามหวานทั้ง 8 พันธุ์ที่กล่าวมา (BS = 99%) ส่วนพันธุ์แสงอาทิตย์มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับมะขามหวานที่ศึกษาทั้งหมดน้อยที่สุด ผลของ phylogenetic tree ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี parsimony ของบริเวณ ITS พบว่ามะขามหวานเพชรบูรณ์ที่ศึกษามีความใกล้ชิดทางพันธุกรรมสูง



ภาพประกอบ 42 Phylogenetic tree ของมะขามหวาน 10 พันธุ์ และ outgroup (*Gymnocladus chinensis* และ *Bauhinia corymbosa*) ที่ได้จากการวิเคราะห์ลำดับเบสบริเวณ ITS โดยวิธีการ parsimony ตัวเลขบนกิ่ง (branch) แสดง bootstrap value (%) จาก 1,000 ซ้ำ

ตาราง 17 Pairwise distance แสดงระยะห่างทางพันธุกรรมของมะขามหวาน 10 พันธุ์ และ outgroup (*G. chinensis* และ *B. corymbosa*)

Taxa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 Praroj	-											
2 Muenjong	0.00000	-										
3 Prakaithong	0.00000	0.00000	-									
4 Intapalum	0.00000	0.00000	0.00000	-								
5 Khunti	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-							
6 Srichomphoo	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-						
7 Srithongbao	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-					
8 Srithong	0.00138	0.00138	0.00138	0.00138	0.00138	0.00138	0.00138	-				
9 Fagdab	0.00138	0.00138	0.00138	0.00138	0.00138	0.00138	0.00138	0.00275	-			
10 Sangartit	0.01238	0.01238	0.01238	0.01238	0.01238	0.01238	0.01238	0.01376	0.01100	-		
11 <i>G. chinensis</i>	0.23547	0.23547	0.23547	0.23547	0.23547	0.23547	0.23547	0.23554	0.23550	0.23089	-	
12 <i>B. corymbosa</i>	0.34163	0.34163	0.34163	0.34163	0.34163	0.34163	0.34163	0.34142	0.34163	0.33691	0.31260	-

จากข้อมูลระยะห่างทางพันธุกรรม (ตาราง 17) มะขามหวานมีระยะห่างทางพันธุกรรม 0 – 1.376% ถ้าเปรียบเทียบระหว่างสิ่งมีชีวิตในกลุ่ม (ingroup) พบว่ามะขามหวานพันธุ์พระโรจน์ พันธุ์หมื่นจง พันธุ์ประกายทอง พันธุ์อินทผลัม พันธุ์ขันตี พันธุ์ศรีชมภู และพันธุ์สีทองเบา ไม่พบความแตกต่างทางพันธุกรรม พันธุ์สีทองและพันธุ์ฝักดาบมีระยะห่างทางพันธุกรรมจากมะขามหวานทั้ง 7 พันธุ์ที่กล่าวมาเท่ากันคือ 0.138% พันธุ์แสงอาทิตย์มีระยะห่างทางพันธุกรรมจากมะขามหวานทั้ง 7 พันธุ์สูงถึง 1.238% และห่างจากพันธุ์สีทองสูงสุดถึง 1.376%

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผล

สรุปและอภิปรายผล

จากผลการศึกษาการโอไทป์พบว่ามะขามหวานทุกพันธุ์มีโครโมโซมแบบดิพลอยด์ $2n = 24$ ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานจำนวนโครโมโซมของพืชสกุลมะขาม (*Tamarindus indica*) โดยพอลฮิลล์ และราเวน (Polhill; & Raven. 1981: 141) พบว่ามีจำนวนโครโมโซม $2n = 24$ แต่ยังไม่ได้มีการศึกษาการโอไทป์ และไม่ระบุว่าพืชสกุลมะขามที่ทำการศึกษานั้นได้ตัวอย่างมาจากที่ใด จึงถือได้ว่าการวิจัยนี้เป็นการรายงานเกี่ยวกับเซลล์พันธุศาสตร์ การศึกษาการโอไทป์และชีววิทยาระดับโมเลกุลของมะขามหวานในประเทศไทยเป็นครั้งแรก

การโอไทป์ของมะขามหวานมีจำนวนโครโมโซมแบบเมทาเซนทริก ซับเมทาเซนทริก และซับเทโลเซนทริกที่แตกต่างกัน ได้แก่ มะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู $5m + 6sm + 1st$ คู่ มะขามหวานพันธุ์ขันตี $5m + 5sm + 2st$ คู่ มะขามหวานพันธุ์ประกายทอง $5m + 6sm + 1st$ คู่ มะขามหวานพันธุ์ฝักดาบ $5m + 5sm + 2st$ คู่ มะขามหวานพันธุ์พระโรจน์ $5m + 5sm + 2st$ คู่ มะขามหวานพันธุ์หมีนง $5m + 5sm + 2st$ คู่ มะขามหวานพันธุ์สีทอง $5m + 5sm + 2st$ คู่ มะขามหวานพันธุ์สีทองเบา $5m + 6sm + 1st$ คู่ มะขามหวานพันธุ์อินทผาลัม $5m + 6sm + 1st$ คู่ และมะขามหวานพันธุ์แสงอาทิตย์ $11m + 1sm$ คู่ โดยไม่พบโครโมโซมแบบเทโลเซนทริกหรืออะโครเซนทริก

มะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู พันธุ์ประกายทอง พันธุ์สีทองเบา และพันธุ์อินทผาลัม มีการโอไทป์เหมือนกันคือ $5m + 6sm + 1st$ คู่ และมีจำนวนแขนโครโมโซมเท่ากับ 46 พบแซทเทลไลต์ที่ปลายแขนข้างสั้นของโครโมโซมแบบซับเทโลเซนทริกเหมือนกัน แต่หากพิจารณาร่วมกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่าไม่สอดคล้องกัน เนื่องจากว่าพันธุ์ศรีชมภูและพันธุ์ประกายทองจัดเป็นมะขามหวานประเภทฝักตรง ส่วนพันธุ์สีทองเบาและพันธุ์อินทผาลัมนั้นจัดเป็นมะขามหวานประเภทฝักโค้ง

มะขามหวานพันธุ์ขันตี พันธุ์ฝักดาบ พันธุ์พระโรจน์ พันธุ์หมีนง และพันธุ์สีทอง มีการโอไทป์เหมือนกันคือ $5m + 5sm + 2st$ คู่ และมีจำนวนแขนโครโมโซม 44 พบแซทเทลไลต์ที่ตำแหน่งโครโมโซมต่างกัน โดยมะขามหวานประเภทฝักตรง 3 พันธุ์ ได้แก่พันธุ์ขันตี พันธุ์ฝักดาบ พันธุ์พระโรจน์ และมะขามหวานประเภทฝักโค้ง 1 พันธุ์ คือพันธุ์สีทอง พบแซทเทลไลต์ที่โครโมโซมแบบซับเทโลเซนทริกคู่ที่ 1 แต่พันธุ์หมีนงพบแซทเทลไลต์ที่โครโมโซมแบบซับเทโลเซนทริกคู่ที่ 2 หากพิจารณาร่วมกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่าไม่สอดคล้องกันเนื่องจากพันธุ์หมีนงและพันธุ์สีทอง จัดเป็นมะขามหวานพันธุ์ประเภทฝักโค้ง ส่วนพันธุ์ขันตี พันธุ์ฝักดาบ และพันธุ์พระโรจน์ จัดเป็นมะขามหวานพันธุ์ประเภทฝักตรง

มะขามหวานพันธุ์แสงอาทิตย์มีการโอไทป์ $11m + 1sm$ คู่ มีจำนวนแขนโครโมโซมเท่ากับ 48 พบแซทเทลไลต์ที่โครโมโซมแบบเมทาเซนทริกคู่ที่ 8 ซึ่งแตกต่างจากพันธุ์อื่น ๆ และหาก

พิจารณาร่วมกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่า เป็นมะขามหวานที่มีฝักขนาดใหญ่และมีความยาวมากจึงแตกต่างจากมะขามหวานพันธุ์อื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด

การศึกษาคาร์ิโอไทป์พบลักษณะที่สำคัญของมะขามหวานทั้ง 10 พันธุ์ คือ มีแซทเทิลไลท์ที่แขนข้างสั้นของโครโมโซมแบบซัพเทโเลเซนทริกของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู พันธุ์ขันตี พันธุ์ประกายทอง พันธุ์ฝักดาบ พันธุ์พระโรจน์ พันธุ์หมื่นจง พันธุ์สีทอง พันธุ์สีทองเบา พันธุ์อินทผาลัม ส่วนพันธุ์แสงอาทิตย์จะพบแซทเทิลไลท์ที่แขนข้างสั้นของโครโมโซมแบบเมทาเซนทริก การพบแซทเทิลไลท์ในคาร์ิโอไทป์ของมะขามหวานทุกพันธุ์ถือเป็นลักษณะเฉพาะและเป็นโครโมโซมเครื่องหมาย (chromosome marker) ของมะขามหวาน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาพืชสกุล *Makania* (Asteraceae) ของรัสและคนอื่น ๆ (Ruas; et al. 2000: 979-984) ที่พบว่าพืชสกุล *Makania* ทุกชนิดมีโครโมโซมเครื่องหมาย คือสามารถพบรอยคอดอันดับที่สอง (secondary constrictions) บนแขนข้างยาวของโครโมโซมคู่ที่ 1 ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของพืชสกุลนี้ การศึกษาพืชสกุล *Vicia sativa* ของเว็บเบอร์และวิทท์แมน (Webber; & Wittmann. 1999: 207-211) สามารถจำแนกความแตกต่างระหว่าง *V. sativa* กับ *V. angustifolia* แม้ว่าจะมีจำนวนโครโมโซม $2n = 12$ เท่ากัน แต่คาร์ิโอไทป์มีความแตกต่างกันโดย *V. sativa* ประกอบด้วยโครโมโซมแบบเมทาเซนทริกทั้งหมด ส่วน *V. angustifolia* จะพบโครโมโซมแบบอะโครเซนทริกทั้งหมด และการศึกษาพืชสกุล *Hieracium* และ *Pilosella* ของแกสโตร มาเทโอ และรอสเซลโล (Castro; Mateo & Rossello. 2007: 311-320) พบว่าพืชสกุล *Hieracium* มีคาร์ิโอไทป์คล้ายกันมาก แต่สามารถจำแนกความแตกต่างได้จากรอยคอดอันดับที่สอง ของโครโมโซมแบบเมทาเซนทริก และซัพเมทาเซนทริก

เทคนิคการเตรียมโครโมโซมโดยวิธีการทำให้เซลล์แตกตามวิธีการของธวัช ดอนสกุล (2548: 20-21) โดยประยุกต์จากการเตรียมตัวอย่างคาร์ิโอไทป์ของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก การเตรียมโครโมโซมเพื่อศึกษาคาร์ิโอไทป์ของพืชสกุลหอม (*Allium*) (2004: 47) และพืชสกุลระกำ (*Salacca*) ของ อัจฉริยา รังษิรุจิ ฐปวิตรา ผ่องแผ้ว และธวัช ดอนสกุล (2549: 51) พบว่าการทำให้โครโมโซมกระจายตัวออกจากกันด้วยวิธีเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ใช้ได้ผลดีแต่เวลาที่ใช้ในการปั่นเหวี่ยงนั้นไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับลักษณะเซลล์ของมะขามหวานแต่ละพันธุ์ และเทคนิคนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพืชสกุลอื่นได้

การเก็บรักษาเมล็ดที่ใช้ในการศึกษาที่ 4°C เป็นอุณหภูมิที่ไม่มีผลต่อการยับยั้งการงอกของเมล็ดและยังช่วยให้แมลงบางชนิดที่วางไข่ในเมล็ดมะขาม เช่น หนอนปลอก ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ การเตรียมตัวอย่างรากที่ใช้ในการศึกษาพบข้อควรปฏิบัติดังนี้ แช่เมล็ดมะขามในน้ำเป็นเวลาประมาณ 2 วันก่อนการเพาะลงดิน ให้น้ำในปริมาณมากเพียงครั้งเดียวและให้ได้รับแสงแดดก่อนการตัดรากประมาณ 30 นาที คือช่วงเวลาเวลา 9.30 – 10.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่โครโมโซมมีการแบ่งตัวอยู่ในระยะเมทาเฟสมากที่สุด นอกจากนี้การแช่ตัวอย่างในสารละลาย *paradichlorobenzene* ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะทำให้การหยุดการแบ่งเซลล์ที่ระยะเมทาเฟสได้ผลดีและโครโมโซมมีรูปร่างที่สมบูรณ์ ส่วนการย้อมด้วยสีย้อมกิมซันนั้นความเข้มข้น

ของสีย้อมและเวลาในการย้อมไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับเซลล์ของมะขามแต่ละพันธุ์ โดยต้องตรวจสอบความเข้มของสีย้อมจากสไลด์ทุก ๆ 2 ชั่วโมง ซึ่งจากผลการศึกษพบว่ามะขามหวานพันธุ์แสงอาทิตย์ใช้เวลาในการย้อมน้อยที่สุด และมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูใช้เวลามากที่สุด

การศึกษาชีววิทยาระดับโมเลกุลพบว่าลำดับเบสบริเวณ ITS ของพืชสกุลมะขามหวานทั้ง 10 พันธุ์ที่ทำการศึกษามีความยาวตั้งแต่ 726 - 727 คู่เบส เมื่อนำมาทำ alignment พบว่ามีความยาวเท่ากับ 747 คู่เบส บริเวณ ITS ของพืชสกุลมะขามทั้ง 10 พันธุ์นี้มี GC content ตั้งแต่ 57.36 – 57.91% และมีระยะห่างทางพันธุกรรม 0 – 1.376% จากข้อมูลระยะห่างทางพันธุกรรมถ้าเปรียบเทียบระหว่างสิ่งมีชีวิตในกลุ่ม (ingroup) พบว่ามะขามหวานพันธุ์พระโรจน์ พันธุ์หมื่นจง พันธุ์ประกายทอง พันธุ์อินทผลัม พันธุ์ขันตี พันธุ์ศรีชมภู และพันธุ์สีทองเบา ไม่พบความแตกต่างทางพันธุกรรม พันธุ์แสงอาทิตย์และพันธุ์ฝักดาบมีระยะห่างทางพันธุกรรมจากมะขามหวานทั้ง 7 พันธุ์สูงถึง 1.238% และ 0.138% ตามลำดับ phylogenetic tree แสดงการจัดกลุ่มของมะขามหวานที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกันมาก ส่วนพันธุ์แสงอาทิตย์มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับมะขามหวานที่ศึกษาทั้งหมดน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามผลของการศึกษาทางชีววิทยาระดับโมเลกุลได้ยืนยันการจำแนกมะขามหวานพันธุ์แสงอาทิตย์ออกจากพันธุ์อื่นอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับทั้งลักษณะทางสัณฐานวิทยาและคาริโอไทป์ ในปี ค.ศ. 2007 นีเดียลโลและคนอื่น ๆ (Diallo; et al. 2007: 813-860) เก็บตัวอย่างพืชสกุลมะขาม (*Tamarindus indica*) จากหลายแหล่งในทวีปเอเชียและแอฟริการวมทั้งจากหมู่เกาะมาดากัสกา (Madagascar) รียูเนียน (Reunion) และกัวเดลูฟ (Guadeloupe) ผลการวิเคราะห์ phylogenetic tree พบว่ายังไม่สามารถระบุถิ่นกำเนิดที่แท้จริงของพืชสกุลมะขามได้

จากการศึกษาของ ทิมมาราจู บาสการ์ และอุสชา (Thimmaraju; Bhaskar & Usha. 1989: 56-59) รายงานว่าพืชสกุลมะขามมีอัตราการผสมข้ามมากกว่าการผสมตัวเองซึ่งมีอัตราการกลายพันธุ์น้อย ในปี พ.ศ. 2527 รังสรรค์ อิมเอิบและคนอื่น ๆ (รังสรรค์ อิมเอิบ; และคนอื่น ๆ. 2527: 442-488) ศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะขามหวานในดินเค็มชายทะเลโดยพบว่าการเจริญของมะขามหวานที่ปลูกในดินเค็มชายทะเล โดยมีการใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักบำรุงเปรียบเทียบกับปลูกตามธรรมชาติไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งข้อสันนิษฐานของเกษตรกรเรื่องคุณภาพดินว่ามีผลกระทบต่อการให้ผลผลิตของมะขามหวานที่แตกต่างกัน ย่อมไม่ใช่เหตุผลที่ถูกต้อง เพราะการทำสวนมะขามหวานจังหวัดเพชรบูรณ์นั้นอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน หากพิจารณาถึงการแบ่งประเภทมะขามหวานออกเป็นฝักตรงและฝักโค้ง ตลอดจนการระบุพันธุ์มะขามหวานที่พบในปัจจุบันย่อมแสดงให้เห็นว่าการที่มะขามหวานจะมีฝักประเภทใดนั้น ไม่ได้บ่งบอกว่ามีลักษณะทางพันธุกรรมแตกต่างกันและไม่ถือว่าเป็นการจำแนกพันธุ์ การระบุชื่อพันธุ์มะขามหวานก็ยังคงเป็นการตั้งชื่อขึ้นเองโดยอ้างอิงจากแหล่งที่ปลูกและชื่อของเจ้าของสวนมะขาม โดยชื่อพันธุ์ที่ระบุไม่เกี่ยวข้องกับความแตกต่างทางพันธุกรรมของมะขามหวาน

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- การส่งออกมะขามหวาน. (2549). มะขามหวาน. สืบค้นเมื่อ 12 กันยายน 2549, จาก <http://www.dephtai.go.th/go/contentdownload/attach>
- เกตุณี ระมิงวงศ์. (2546). การจัดจำแนกไม้ผล. สืบค้นเมื่อ 26 มกราคม 2549, จาก http://www.agri.cmu.ac.th/course/course_lecture
- กนก ชวนานนท์. (2534). คู่มือมะขามหวาน. กรุงเทพฯ: มิตรสยาม.
- กองบรรณาธิการกลุ่มบัณฑิตเกษตรก้าวหน้า. (2530). ไม้ผลไทยมะขามหวาน. กรุงเทพฯ: หจก รุ่งเรืองสาส์นการพิมพ์.
- กองบรรณาธิการกลุ่มบัณฑิตเกษตรก้าวหน้า. (2539). ไม้ผลไทยมะขามหวาน. นครปฐม: โรงพิมพ์ สถาบันพัฒนาสาธารณสุขอาเซียน มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา
- กองบรรณาธิการเฉพาะกิจ. (2542). มะขามหวาน. กรุงเทพฯ: ศูนย์ตำราเกษตรเพื่อชนบท.
- กรมทรัพย์สินทางปัญญา. (2548). ประกาศโฆษณาการรับขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์. สืบค้นเมื่อ 26 มกราคม 2549, จาก <http://www.ipthailand.org/upload/Geography>
- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2548). เอกสารเผยแพร่ อันดับที่ 34 เรื่อง "การปลูกมะขาม". สืบค้นเมื่อวันที่ 10 ธันวาคม 2548, จาก <http://www.doae.go.th/library/html/detail/tamarind>
- ชินวัฒน์ ยั้ววัฒนพันธ์. (2541). การจำแนกพันธุ์ลิ้นจี่โดยฐานวิทยาศาสตร์ อิเล็กโทรโฟรีซิส และเซลล์ พันธุศาสตร์. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (พืชสวน). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. สืบค้นเมื่อ 26 มกราคม 2549, จากฐานข้อมูลปริญญานิพนธ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ชวนพิศ แดงสวัสดิ์; จินตนา สนามชัย; และศันสนีย์ อุดมอ่าง. (2541). รายงานการวิจัยเรื่อง การศึกษาปริมาณสารอาหารบางชนิดในมะขามหวานพันธุ์สีทองและศรีชมภู. เพชรบูรณ์ สำนักวิจัยและบริการการศึกษาศาสนาบ้านราชภัฏเพชรบูรณ์.
- ชัยฤกษ์ มณีพงษ์. (2525). เซลล์พันธุศาสตร์. กรุงเทพฯ. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ฐานข้อมูลทรัพยากรพืชพรรณของฝ่ายปฏิบัติการวิจัย. (2549). "มะขามหวาน". สืบค้นเมื่อวันที่ 9 ธันวาคม 2549, จาก http://clgc.rdi.ku.ac.th/resource/fruit/sweet_tamarind
- ดวงทิพย์ วิทยศักดิ์. (2539). ลักษณะทางฐานวิทยาศาสตร์ ภายใต้ภาควิทยา และเซลล์วิทยาของว่านสีทศ. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (พืชสวน). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. สืบค้นเมื่อ 26 มกราคม 2549, จากฐานข้อมูลปริญญานิพนธ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ตำนานมะขามหวานเมืองเพชรบูรณ์. มะขามหวานพันธุ์หมีนาง. สืบค้นเมื่อ 5 ตุลาคม 2549, จาก <http://www.radiophetchabun.com/tamarind/view.php?No=3>

- ธวัช ดอนสกุล. (2548). *คาร์โบไฮโปและบริเวณนิเวศโอโลสออร์แกนไนเซอร์ของเซลล์ตับในกบนา* อีงยาง และคางคกที่พบในประเทศไทย. รายงานการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ ปี 2546. กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- นิตยศรี แสงเดือน. (2541). *พันธุศาสตร์พืช*. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บุญเลิศ พุทธเจริญ. (2549, 23 สิงหาคม). *ข้าวโม่งข้าวทองถิ่น*. สถานีโทรทัศน์เนชั่นทีวี. 18.30-18.35 น.
- ปนัดดา กาญจนะ. (2541). *การจำแนกพันธุ์ลำไยโดยวิธีอิเล็กโทรโฟรีซิสและเซลล์พันธุศาสตร์*. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (พืชสวน). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. สืบค้นเมื่อ 26 มกราคม 2549, จาก [ฐานข้อมูลปริญญาานิพนธ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่](#).
- ปิยะพร แสงสุข; สุรพล แสงสุข; และสุภัศร รินทสมบัติ. (2548). *จำนวนโครโมโซมพืชวงศ์ขิง* บางชนิด. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*. 24(1): 16-21.
- พิจิตร โชคพัฒนา. (2546). *โครงการหนังสือเกษตรชุมชน*. นนทบุรี: เกษตรสาส์น.
- พิชัย ใจกล้า; และสุทธิรัตน์ ปาลาศ. (2549). *สัณฐานวิทยาและจำนวนโครโมโซมกลางสาดพื้นเมือง* ลับแล. *วารสารเกษตร*. 22(1). 61-65.
- เพชรบูรณ์. (2548). *งานกาชาดมะขามหวานนครบาลเพชรบูรณ์*. สืบค้นเมื่อ 3 ตุลาคม 2549, จาก <http://www.phetchabun.police.go.th/tour/history06.htm>
- พัชรินทร์ บุตรหินทอง. (2549, 13 มกราคม). *สัมภาษณ์โดย สุวนิดา อัญจิระเวโรจน์ ที่บ้านเลขที่ 6 หมู่ 8 บ้านโป่งตาเป้า ตำบลชนแดน อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์*.
- มะขามหวานพันธุ์ต่าง ๆ (2550). *“มะขามหวานที่นิยมปลูกในจังหวัดเพชรบูรณ์”* สืบค้นเมื่อวันที่ 24 สิงหาคม 2550, จาก <http://www.phetchabun.doae.go.th/detailtam.html>
- รังสรรค์ อิมเอิบ; และคนอื่นๆ. (2527). *การศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะขามหวานในดินเค็มชายทะเล*. รายงานวิชาการประจำปี 2527: 442-488. สืบค้นเมื่อ 25 กันยายน 2550, จาก [ฐานข้อมูลงานวิจัยเผยแพร่ สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน](#). <http://www.idd.go.th>
- สุนันท์ กำมะถัน. (2549, 13 มกราคม). *สัมภาษณ์โดย สุวนิดา อัญจิระเวโรจน์ ที่บ้านเลขที่ 183/6 บ้านท่าผูก ตำบลหินฮาว อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์*.
- เสาวณี สุริยาภานนท์. (2538). *การตรวจสอบสายพันธุ์มะขามโดยใช้ไอโซไซม์*. *วารสารเคหะการเกษตร*. 19(1): 119-122.
- อุษณีย์ ปักษาศร. (2531). *การศึกษาลักษณะทางชีววิทยาของดอก และจำนวนโครโมโซมของกาวีฟรุต*. วิทยานิพนธ์ วท.ม.(เกษตรศาสตร์). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- อัจฉริยา รั้งรุจิ และคนอื่นๆ. (2547). *ความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการและการจำแนกพยางิไปไม้* ปอดที่พบในภาคกลางและภาคใต้ของประเทศไทยโดยเทคนิคอณูชีววิทยา. *วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ (section T)*. 3(3): 195-206.

- อัจฉริยา รั้งรุจิ; ฐปิตรา ผ่องแผ้ว; และรัชช ดอนสกุล. (2549). การไต่ป้อนของพืชสกุลระกำ (*Salacca*) บางชนิดในประเทศไทย และประเทศอินโดนีเซีย. *วารสารวิทยาศาสตร์ มศว.* 22(2): 48-61.
- อัญชลี ศรีสุวรรณ. (2546). จำนวนโครโมโซมของฝรั่งกลุ่มรับประทานผลสด กลุ่มแปรรูป และ ลูกผสม. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เกษตรศาสตร์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- อรพินท์ เทพเสน. (2543). การระบุและจัดหมวดหมู่พืชสกุลขมิ้นโดยใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยา เรณูวิทยาและเซลล์วิทยา. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เกษตรศาสตร์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- Ainouche, A.K.; & Bayer, R. (1999). Phylogenetic relationships in *Lupinus* (Fabaceae: Papilionoideae) based on internal transcribed spacer (ITS) sequences of nuclear ribosomal DNA. *American Journal of Botany*. 84(4): 541-554.
- Aliyu, O.M.; & Awopetu, J.A. (2007). Chromosome studies in Cashew (*Anacardium occidentale* L.). *African Journal of Biotechnology*. 6(2): 131-136.
- Arai, R. (1982). A chromosome study on two cyprinid fishes *Acrossocheilus labiatus* and *Pseudorasbora pumila pumila* with note on Eurasian cyprinid and their karyotypes. *Bull. Natn. Sci. Mus. Sex. A*. 8(3): 131-181.
- Baldwin, B.G. (1992). Phylogenetic utility of the internal transcribed spacers of nuclear ribosomal DNA in plants: an example from the Compositae. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 1(2): 3-16.
- Blattner, F.R.; et al. (2001). Molecular analysis of phylogenetic relationships among Myrmecophytic *Macaranga* species (Euphorbiaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 19(3): 331-344.
- Brown, J.W.S.; & Shaw, P.J. (1998). Small nucleolar RNAs and pre-rRNA processing in plants. *Plant cell*. 10: 649-657.
- Castro, M.; Mateo, G.; & Rossello, J.A. (2007). Chromosome numbers in *Hieracium* and *Pilosella* species (Asteraceae) from the Iberian Peninsula and the Balearic Islands. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 153(3): 311-320.
- Cestari, M.M.; & Galetti, P.M.Jx. (1992). Chromosome studies of *Sexxasalmus spiroleura* (Characidae, Sexxasalminae) from the Pasana – Paraguay rivers : Evolution and Cytotaxonomic consideration. *Copeia*. 1: 108-112.
- Chen, J.F.; Staub, J.; & Jiang, J. (1998). A reevaluation of karyotype in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*. 45: 301-305.

- Crisp, M.D.; & Cook, L. (2003). Molecular evidence for definition of genera in the *Oxylobium* group (Fabaceae: Mirbelieae). *Systematic Botany*. 28(4): 705-713.
- Contim, L.A.S.; et al. (2005). Nuclear DNA content and karyotype of rosewood (*Aniba rosaeodora*). *Genetics and Molecular Biology*. 28(4): 754-757.
- Diallo, B.O.; et al. (2007). Genetic diversity of *Tamarindus indica* populations: any clues on the origin from its current distribution. *African Journal of Biotechnology*. 6(7): 853-860.
- Doyle, J.J.; & Doyle, J.L. (1987). A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*. 19: 11-15.
- Doyle, J.J.; et al. (1997). A phylogeny of the chloroplast gene *rbcl* in the Leguminosae: taxonomic correlations and insights into the evolution of nodulation. *American Journal of Botany*. 84(4): 541-554.
- Ellison, N.W.; et al. (2006). Molecular phylogenetics of the clover genus *Trifolium* Leguminosae. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. In press.
- Fregonezi, J.N.; et al. (2006). Karyotype differentiation of four *Centrum* species (Solanaceae) based on the physical mapping of repetitive DNA. *Genetic and Molecular Biology*. 29(1): 97-104.
- Hao, G.; et al. (2003). Phylogenetics of *Bauhinia* subgenus *Phanera* (Leguminosae: Caesalpinioideae) based on ITS sequences of nuclear ribosomal DNA. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. 44: 223-228.
- International Center for Underutilized Crops. (1999). *Tamarind fruits for the future*. Retrieved February 27, 2007, from <http://www.icuciwmi.org/files/News/Resources/Factsheets>
- Jeanmougin, F.; et al. (1998). Multiple sequence alignment with Clustal X. *Trends in Biochemical Sciences*. 23: 403-405.
- Kass, E.; & Wink, M. (1996). Molecular evolution of the Leguminosae: phylogeny of the three subfamilies based on *rbcl* sequences. *Biochemical Systematics and Ecology*. 24(5): 365-378.
- Laura, B.S.; Gabriel, B.; & Gregory, J.A. (2003). The karyotype of *Sophora tetraptera* (Fabaceae). *New Zealand Journal of Botany*. 41: 731-735.
- Lawrenceville, N.J.; (2007). *Tamarind Fruit*. Retrieved February 27, 2007, from <http://www.tamarindfruit.com>
- Levan, A.; Fredga, K.; & Sandberg, A.A. (1964). Nomenclature for centromeric position on chromosome. *Hereditas*. 52 : 201-220.

- Nie, Z.L.; Gu, Z.J; & Sun, H. (2002). Cytological study of *Tibetia* (Fabaceae) in the Hengduan Mountains region, China. *Journal of Plant Research*. 115: 17-22.
- Polhill, R.M.; & Raven, P.H. (1981). *Advances in Legume Systematics Part1*. U.K.: Royal Botanic Garden, Kew. p. 135-136.
- Rangsiruji, A; Newman, M.F.; & Cronk, Q.C.B. (2000). Origin and relationships of *Alpinia galangal* (Zingiberaceae) based on molecular data. *Edinb.J.Bot.* 57(1): 9-37.
- Rangsiruji, A; Tapawitta, P.; & Thawat, D. (2004). A study karyotypes and molecular phylogenetics of *Allium* (Liliaceae). 30 th. Congress on science and technology of thailand. 19-21 October: 19: 47.
- Raven, P.H. (1992). *Biology of Plants*. U.S.A.: Worth Publishers,Inc. p. 498-499.
- Rees, H. (1961). *Genotypic control of chromosome form and behaviour*. *Bot.Rev.* 27: 288-318.
- Ruas, P.M.; et al. (2000). Chromosome studies in the genus *Mikania* (Asteraceae). *Genetics and Molecular Biology*. 23(4): 979-984.
- Schnabel, A.; et al. (2003). Phylogenetic relationships in *Gleditsia* (Leguminosae) based on ITS sequences. *American Journal of Botany*. 90(2): 310-320.
- Schnabel, H.G. (2006). *Species Descriptions Part 2*. p. 742-744. Retrieved August 8, 2006, from <http://www.rngr.net/Publications/ttsm/Folder2003-07-11.4726/PDF>. 2004.
- Singh, G.; (2004). *Plant systematics an intergrated approach*. New Hampshire: Science Publishers, Inc. p. 444.
- Sonnante, G.; Galasso, I; & Pignone, D. (2003). ITS sequence analysis and phylogenetic inference genus *Lens*. Mill. *Annals of Botany*. 91: 49-54.
- Sulaiman; Sulaiman; Culham; & Harborne. (2003). Molecular phylogeny of Fabaceae based on *rbcl* sequence data with special emphasis on the tribe Mimoseae (Mimosoideae). *Asia Pacific Journal of Biology and Biotechnology*. 11(1): 9-35.
- Swofford, D.L. (1998). PAUP* : Phylogenetic analysis using parsimony (* and other methods). Version 4. Sunderland, Massachusettes: Sinauer Associates.
- The Free Dictionary. (2006). "Centromere". Retrieved July 27,2006, from <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/centromere>
- Thimmaraju, K.R.; Bhaskar, V; & Usha, K. (1989). Pollen-limited seed set in pods of tamarind (*Tamarindus indida* L.). *Annals of Forest Scince*. 46: 56-59.
- Tucker,S.C.; (2000). Floral development in tribe Detarieae (Leguminosae: Caesalpinioideae) *Amherstia*, *Brownea* and *Tamarindus*. *American Journal of Botany*. 87(10): 1385-1407.

- Ullerich, F.H. (1966). Karyotype und DNS-Gehalt von *Bufo bufo*, *B. viridis*, *B.bufo* x *B.viridis* und *B. calamita* (Amphibia, Anura). *Chromosoma* (Berl). 18: 316-342.
- Varela, E.S; et al. (2004). Relationships in subtribe Diocleinae (Leguminosae; Papilionoideae) inferred from internal transcribed spacer sequences from nuclear ribosomal DNA. *Phytochemistry*. 65: 59-69.
- Webber, L.H.; & Wittmann, M.T.S. (1999). The *Vicia sativa* L. aggregate (Fabaceae) in Southern Brazil. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 46(3): 207-211.
- Zulkarnain, Z.; Taji, A.; & Prakash. N. (2002). Chromosome number in *Swainsona Formosa* (Fabaceae). *New Zealand Journal of Botany*. 40: 331-333.

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวก 1 ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดโครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู เซลล์ 1

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	0.996	1.289	2.286	1.294	m
2	0.829	1.246	2.075	1.504	m
3	0.613	0.996	1.608	1.626	m
4	0.668	0.900	1.568	1.348	m
5	0.542	0.860	1.402	1.586	m
6	0.741	1.550	2.292	2.091	sm
7	0.611	1.327	1.938	2.174	sm
8	0.629	1.180	1.809	1.876	sm
9	0.583	1.141	1.724	1.956	sm
10	0.417	1.110	1.527	2.660	sm
11	0.443	0.982	1.425	2.218	sm
12	0.396	1.296	1.691	3.274	st

เซลล์ 2

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.117	1.584	2.701	1.418	m
2	0.763	1.109	1.872	1.454	m
3	0.697	1.051	1.748	1.507	m
4	0.707	1.000	1.707	1.414	m
5	0.695	0.918	1.613	1.320	m
6	0.714	1.456	2.169	2.040	sm
7	0.767	1.346	2.112	1.754	sm
8	0.683	1.240	1.923	1.817	sm
9	0.515	1.131	1.646	2.196	sm
10	0.447	1.096	1.542	2.453	sm
11	0.451	1.044	1.495	2.314	sm
12	0.371	1.507	1.878	4.064	st

เชลล์ 3

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.263	1.594	2.857	1.263	m
2	0.914	1.379	2.293	1.510	m
3	1.029	1.253	2.282	1.217	m
4	0.788	1.104	1.892	1.400	m
5	0.703	1.047	1.750	1.489	m
6	1.073	1.941	3.014	1.808	sm
7	0.891	1.673	2.564	1.877	sm
8	0.646	1.374	2.019	2.128	sm
9	0.674	1.190	1.864	1.766	sm
10	0.642	1.117	1.759	1.740	sm
11	0.524	1.101	1.625	2.100	sm
12	0.443	1.472	1.914	3.325	st

เชลล์ 4

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.219	1.625	2.843	1.333	m
2	0.755	1.097	1.852	1.454	m
3	0.750	1.133	1.883	1.510	m
4	0.606	0.983	1.589	1.622	m
5	0.590	0.968	1.558	1.641	m
6	0.646	1.531	2.177	2.371	sm
7	0.578	1.419	1.997	2.454	sm
8	0.575	1.182	1.757	2.057	sm
9	0.460	1.133	1.593	2.462	sm
10	0.505	1.072	1.577	2.122	sm
11	0.438	1.072	1.510	2.447	sm
12	0.385	1.257	1.643	3.262	st

เชลล์ 5

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.396	1.990	3.386	1.425	m
2	0.853	1.200	2.053	1.406	m
3	0.881	1.131	2.011	1.284	m
4	0.796	1.166	1.962	1.464	m
5	0.842	1.079	1.920	1.282	m
6	0.828	1.581	2.408	1.910	sm
7	0.806	1.507	2.313	1.870	sm
8	0.764	1.431	2.195	1.873	sm
9	0.598	1.346	1.945	2.250	sm
10	0.560	1.101	1.661	1.967	sm
11	0.576	1.092	1.668	1.897	sm
12	0.471	1.749	2.220	3.712	st

ตารางภาคผนวก 2 ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T)
อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดโครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์ชั้นดี

เซลล์ 1

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.465	2.220	3.685	1.517	m
2	1.057	1.770	2.827	1.675	m
3	0.973	1.542	2.515	1.588	m
4	0.895	1.432	2.327	1.601	m
5	0.938	1.332	2.270	1.420	m
6	0.691	2.341	3.232	2.637	sm
7	0.691	1.858	2.548	2.695	sm
8	0.636	1.773	2.408	2.789	sm
9	0.635	1.600	2.235	2.528	sm
10	0.583	1.552	2.135	2.673	sm
11	0.627	2.220	2.847	3.701	st
12	0.434	1.665	2.099	3.913	st

เซลล์ 2

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.399	1.680	3.079	1.201	m
2	1.293	1.467	2.760	1.150	m
3	0.835	1.403	2.238	1.680	m
4	0.845	1.279	2.124	1.515	m
5	0.939	1.085	2.024	1.164	m
6	0.951	1.890	2.841	2.004	sm
7	0.841	1.840	2.681	2.198	sm
8	0.814	1.640	2.454	2.037	sm
9	0.833	1.530	2.363	1.838	sm
10	0.818	1.445	2.263	1.766	sm
11	0.401	1.584	1.985	3.979	st
12	0.405	1.413	1.818	3.491	st

เซลล์ 3

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.837	1.995	3.832	1.086	m
2	1.640	1.833	3.473	1.123	m
3	1.228	1.530	2.758	1.246	m
4	0.914	1.435	2.349	1.570	m
5	0.776	1.310	2.086	1.688	m
6	1.096	2.264	3.359	2.103	sm
7	1.139	1.978	3.117	1.736	sm
8	0.982	1.927	2.909	1.973	sm
9	1.016	1.776	2.791	1.749	sm
10	0.805	1.741	2.546	2.162	sm
11	0.679	2.117	2.795	3.112	st
12	0.382	1.437	1.818	3.771	st

เซลล์ 4

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.521	2.165	3.686	1.425	m
2	1.130	1.383	2.513	1.232	m
3	0.841	1.325	2.166	1.576	m
4	0.758	1.280	2.038	1.689	m
5	0.652	1.347	1.999	2.066	m
6	0.704	2.030	2.734	2.885	sm
7	0.678	1.806	2.484	2.667	sm
8	0.720	1.657	2.377	2.337	sm
9	0.727	1.551	2.278	2.137	sm
10	0.550	1.248	1.798	2.273	sm
11	0.628	1.993	2.621	3.201	st
12	0.478	1.665	2.143	3.485	st

เชลล์ 5

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.083	1.350	2.433	1.264	m
2	1.023	1.170	2.193	1.145	m
3	0.763	1.164	1.927	1.526	m
4	0.734	1.115	1.849	1.519	m
5	0.672	1.110	1.782	1.652	m
6	1.023	1.959	2.982	1.924	sm
7	0.812	1.903	2.714	2.349	sm
8	0.864	1.666	2.530	1.928	sm
9	0.818	1.589	2.407	1.947	sm
10	0.682	1.399	2.081	2.071	sm
11	0.561	2.354	2.915	4.382	st
12	0.422	1.977	2.399	5.012	st

ตารางภาคผนวก 3 ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T)
อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดโครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์ประกายทอง
เซลล์ 1

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	2.056	3.006	5.062	1.462	m
2	2.015	2.691	4.706	1.364	m
3	1.485	2.428	3.913	1.635	m
4	1.413	2.156	3.569	1.526	m
5	1.226	1.986	3.212	1.623	m
6	1.084	3.123	4.207	2.877	sm
7	0.950	2.588	3.538	2.726	sm
8	0.934	2.353	3.287	2.532	sm
9	0.917	2.224	3.140	2.426	sm
10	0.825	2.166	2.991	2.628	sm
11	0.802	2.064	2.866	2.586	sm
12	0.506	3.205	3.711	6.483	st

เซลล์ 2

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.928	2.059	3.987	1.074	m
2	1.281	1.870	3.150	1.472	m
3	0.960	1.495	2.455	1.557	m
4	0.941	1.177	2.118	1.283	m
5	0.715	1.200	1.915	1.678	m
6	0.979	2.050	3.029	2.096	sm
7	0.806	1.867	2.674	2.324	sm
8	0.604	1.607	2.212	2.661	sm
9	0.540	1.583	2.123	2.933	sm
10	0.555	1.333	1.888	2.477	sm
11	0.485	1.324	1.809	2.728	sm
12	0.491	1.967	2.457	4.014	st

เซลล์ 3

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	2.108	2.295	4.404	1.091	m
2	1.726	2.146	3.872	1.249	m
3	1.336	1.709	3.045	1.286	m
4	1.105	1.502	2.608	1.358	m
5	1.020	1.189	2.209	1.175	m
6	1.299	2.450	3.749	1.897	sm
7	0.908	1.987	2.894	2.198	sm
8	0.879	1.733	2.612	1.971	sm
9	0.834	1.722	2.556	2.067	sm
10	0.818	1.669	2.487	2.050	sm
11	0.724	1.731	2.455	2.396	sm
12	0.704	2.214	2.918	3.170	st

เซลล์ 4

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.269	1.745	3.014	1.375	m
2	1.150	1.521	2.670	1.323	m
3	1.033	1.436	2.469	1.388	m
4	0.986	1.243	2.229	1.261	m
5	0.852	1.186	2.038	1.406	m
6	0.987	1.820	2.806	1.848	sm
7	0.918	1.577	2.495	1.719	sm
8	0.833	1.521	2.354	1.827	sm
9	0.780	1.498	2.278	1.925	sm
10	0.754	1.455	2.208	1.930	sm
11	0.661	1.349	2.010	2.041	sm
12	0.825	2.759	3.584	3.351	st

เชลล์ 5

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	2.099	2.473	4.572	1.185	m
2	1.878	2.339	4.217	1.263	m
3	1.681	1.817	3.497	1.077	m
4	1.332	1.590	2.922	1.198	m
5	1.209	1.319	2.528	1.093	m
6	1.166	2.138	3.304	1.835	sm
7	1.082	1.993	3.075	1.841	sm
8	1.007	1.833	2.839	1.820	sm
9	0.946	1.785	2.730	1.887	sm
10	0.907	1.690	2.597	1.864	sm
11	0.875	1.572	2.447	1.799	sm
12	0.825	2.764	3.589	3.349	st

ตารางภาคผนวก 4 ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T)
อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดโครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์ฝักดาบ

เซลล์ 1

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.545	2.110	3.656	1.369	m
2	1.608	1.625	3.232	1.010	m
3	0.856	1.390	2.246	1.624	m
4	0.900	1.300	2.200	1.445	m
5	0.903	1.225	2.128	1.356	m
6	0.897	1.751	2.648	1.971	sm
7	0.915	1.746	2.661	1.908	sm
8	0.749	1.518	2.267	2.042	sm
9	0.663	1.362	2.026	2.070	sm
10	0.635	1.224	1.858	1.942	sm
11	0.612	2.103	2.715	3.436	st
12	0.668	2.009	2.677	3.007	st

เซลล์ 2

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.750	2.080	3.831	1.195	m
2	1.491	2.130	3.621	1.429	m
3	1.147	1.800	2.947	1.570	m
4	1.031	1.700	2.731	1.649	m
5	0.980	1.546	2.526	1.578	m
6	0.981	2.045	3.026	2.085	sm
7	0.852	1.575	2.427	1.849	sm
8	0.859	1.543	2.402	1.796	sm
9	0.765	1.450	2.215	1.883	sm
10	0.692	1.393	2.085	2.023	sm
11	0.593	2.250	2.843	3.793	st
12	0.553	1.825	2.378	3.304	st

เซลล์ 3

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.087	1.780	2.867	1.674	m
2	0.829	1.385	2.214	1.670	m
3	0.842	1.360	2.202	1.616	m
4	0.816	1.280	2.096	1.569	m
5	0.652	1.094	1.746	1.678	m
6	0.732	1.451	2.183	1.971	sm
7	0.653	1.525	2.178	2.347	sm
8	0.521	1.403	1.924	2.691	sm
9	0.594	1.330	1.924	2.242	sm
10	0.429	1.243	1.672	2.915	sm
11	0.425	2.305	2.729	5.522	st
12	0.294	1.560	1.854	5.689	st

เซลล์ 4

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.340	1.965	3.305	1.469	m
2	1.173	1.707	2.880	1.465	m
3	0.955	1.500	2.455	1.570	m
4	0.945	1.435	2.380	1.519	m
5	0.810	1.251	2.061	1.545	m
6	0.720	1.586	2.306	2.201	sm
7	0.750	1.549	2.299	2.108	sm
8	0.585	1.565	2.150	2.700	sm
9	0.586	1.404	1.990	2.399	sm
10	0.539	1.196	1.735	2.333	sm
11	0.509	2.465	2.974	4.842	st
12	0.379	1.315	1.694	3.479	st

เชลล์ 5

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.044	1.576	2.620	1.523	m
2	0.873	1.438	2.311	1.646	m
3	0.831	1.328	2.159	1.599	m
4	0.702	1.170	1.872	1.667	m
5	0.695	1.145	1.840	1.647	m
6	0.542	1.330	1.872	2.457	sm
7	0.492	1.319	1.811	2.693	sm
8	0.455	1.286	1.741	2.821	sm
9	0.463	1.155	1.618	2.495	sm
10	0.431	1.050	1.481	2.478	sm
11	0.633	2.000	2.633	3.161	st
12	0.506	1.755	2.261	3.469	st

ตารางภาคผนวก 5 ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดโครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์พระโรจน์
เซลล์ 1

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.445	1.867	3.312	1.345	m
2	1.151	1.523	2.674	1.331	m
3	1.146	1.361	2.507	1.196	m
4	0.914	1.100	2.014	1.203	m
5	0.853	10.36	1.888	1.215	m
6	0.924	1.729	2.652	1.873	sm
7	0.814	1.497	2.311	1.855	sm
8	0.734	1.345	2.079	1.834	sm
9	0.640	1.309	1.949	2.092	sm
10	0.564	1.056	1.620	1.874	sm
11	0.411	1.428	1.839	3.471	st
12	0.418	1.335	1.753	3.199	st

เซลล์ 2

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.497	1.787	3.284	1.194	m
2	1.101	1.834	2.935	1.667	m
3	0.917	1.517	2.434	1.656	m
4	0.799	1.283	2.082	1.607	m
5	0.776	1.145	1.921	1.476	m
6	0.660	1.810	1.470	2.744	sm
7	0.615	1.406	2.021	2.301	sm
8	0.488	1.263	1.751	2.594	sm
9	0.498	1.159	1.658	2.346	sm
10	0.443	1.145	1.588	2.585	sm
11	0.379	1.461	1.840	3.861	st
12	0.310	1.049	1.359	3.381	st

เซลล์ 3

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.501	1.796	3.297	1.205	m
2	1.235	1.650	2.886	1.339	m
3	1.147	1.312	2.459	1.146	m
4	1.197	1.217	2.414	1.017	m
5	0.981	1.208	2.188	12.33	m
6	0.863	20.13	2.876	2.335	sm
7	0.731	1.762	2.493	2.478	sm
8	0.772	1.548	2.320	2.013	sm
9	0.716	1.454	2.170	2.053	sm
10	0.676	1.376	2.052	2.050	sm
11	0.527	1.807	2.335	3.424	st
12	0.427	1.456	1.883	3.409	st

เซลล์ 4

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.397	1.872	3.268	1.387	m
2	1.168	1.620	2.788	1.415	m
3	0.984	1.386	2.370	1.410	m
4	0.760	1.247	2.007	1.641	m
5	0.818	1.042	1.860	1.320	m
6	1.030	2.062	3.092	2.002	sm
7	0.805	1.555	2.360	1.936	sm
8	0.674	1.505	2.180	2.255	sm
9	0.603	1.215	1.819	2.039	sm
10	0.542	1.154	1.696	2.178	sm
11	0.450	1.741	2.191	3.907	st
12	0.299	1.319	1.618	4.413	st

เชลล์ 5

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.398	1.767	3.164	1.257	m
2	1.008	1.368	2.375	1.365	m
3	0.967	1.350	2.317	1.396	m
4	0.919	1.242	2.161	1.370	m
5	0.781	1.242	2.023	1.614	m
6	1.051	2.123	3.173	2.031	sm
7	1.027	1.944	2.970	1.892	sm
8	0.923	1.726	2.648	1.872	sm
9	0.871	1.546	2.417	1.775	sm
10	0.722	1.380	2.103	1.914	sm
11	0.472	1.614	2.086	3.424	st
12	0.292	1.351	1.643	4.635	st

ตารางภาคผนวก 6 ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดโครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์หมีนาง
เซลล์ 1

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.975	2.195	4.169	1.116	m
2	1.517	1.833	3.350	1.207	m
3	1.283	1.523	2.806	1.189	m
4	1.303	1.432	2.735	1.099	m
5	1.223	1.389	2.612	1.136	m
6	1.155	2.313	3.468	2.035	sm
7	1.036	2.037	3.073	1.984	sm
8	0.963	1.838	2.801	1.924	sm
9	0.764	1.743	2.507	2.287	sm
10	0.846	1.550	2.396	1.835	sm
11	0.801	2.866	3.667	3.577	st
12	0.591	2.176	2.767	3.688	st

เซลล์ 2

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.097	1.586	2.683	1.456	m
2	0.908	1.425	2.332	1.570	m
3	0.767	1.279	2.046	1.667	m
4	0.775	1.200	1.975	1.548	m
5	0.720	1.084	1.804	1.510	m
6	0.592	1.646	2.238	2.777	sm
7	0.576	1.527	2.103	2.658	sm
8	0.486	1.370	1.856	2.816	sm
9	0.497	1.268	1.764	2.554	sm
10	0.451	1.245	1.696	2.766	sm
11	0.361	1.560	1.921	4.321	st
12	0.395	1.347	1.741	3.409	st

เชลล์ 3

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.603	1.766	3.368	1.103	m
2	1.135	1.617	2.752	1.424	m
3	0.949	1.585	2.534	1.670	m
4	0.909	1.467	2.376	1.613	m
5	0.857	1.334	2.191	1.556	m
6	0.760	1.969	2.729	2.595	sm
7	0.759	1.815	2.574	2.393	sm
8	0.755	1.552	2.307	2.056	sm
9	0.684	1.567	2.251	2.292	sm
10	0.612	1.515	2.127	2.495	sm
11	0.508	1.686	2.194	3.318	st
12	0.476	1.503	1.979	3.155	st

เชลล์ 4

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.742	2.242	3.984	1.284	m
2	1.584	1.792	3.376	1.133	m
3	1.098	1.622	2.719	1.481	m
4	0.922	1.495	2.417	1.622	m
5	0.892	1.400	2.292	1.570	m
6	0.833	2.155	2.988	2.594	sm
7	0.836	1.761	2.596	2.112	sm
8	0.662	1.828	2.490	2.763	sm
9	0.629	1.556	2.185	2.486	sm
10	0.576	1.484	2.060	2.592	sm
11	0.658	2.293	2.951	3.484	st
12	0.440	1.970	2.410	4.698	st

เชลล์ 5

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.677	2.216	3.893	1.317	m
2	1.412	1.705	3.117	1.217	m
3	0.930	1.500	2.430	1.613	m
4	0.905	1.363	2.268	1.507	m
5	0.876	1.278	2.154	1.445	m
6	1.252	2.484	3.736	1.984	sm
7	1.080	2.066	3.147	1.918	sm
8	0.833	1.917	2.750	2.331	sm
9	0.639	1.516	2.154	2.431	sm
10	0.568	1.242	1.810	2.269	sm
11	0.474	2.414	2.888	5.198	st
12	0.491	1.926	2.417	3.933	st

ตารางภาคผนวก 7 ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดโครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์สีทอง เซลล์ 1

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.353	1.491	2.844	1.101	m
2	1.157	1.495	2.651	1.293	m
3	1.012	1.464	2.476	1.446	m
4	0.849	1.292	2.141	1.529	m
5	0.664	1.105	1.769	1.667	m
6	0.815	1.467	2.282	1.791	sm
7	0.672	1.175	1.847	1.755	sm
8	0.575	1.184	1.759	2.061	sm
9	0.535	1.186	1.721	2.222	sm
10	0.489	1.167	1.656	2.400	sm
11	0.450	1.750	2.200	3.889	st
12	0.514	1.615	2.129	3.141	st

เซลล์ 2

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.281	1.740	3.020	1.378	m
2	0.945	1.572	2.516	1.664	m
3	0.862	1.437	2.299	1.666	m
4	0.694	1.133	1.827	1.630	m
5	0.674	1.063	1.737	1.578	m
6	0.741	1.504	2.245	2.031	sm
7	0.694	1.374	2.068	1.988	sm
8	0.563	1.350	1.913	2.420	sm
9	0.542	1.263	1.805	2.367	sm
10	0.402	0.982	1.385	2.438	sm
11	0.624	1.882	2.506	3.013	st
12	0.543	1.800	2.343	3.315	st

เชลล์ 3

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.370	1.613	2.983	1.177	m
2	1.159	1.282	2.441	1.102	m
3	0.857	1.095	1.952	1.281	m
4	0.861	0.967	1.828	1.127	m
5	0.695	0.864	1.559	1.246	m
6	0.839	1.676	2.515	1.997	sm
7	0.657	1.270	1.927	1.934	sm
8	0.635	1.158	1.794	1.827	sm
9	0.553	1.178	1.731	2.143	sm
10	0.503	0.962	1.465	1.913	sm
11	0.580	2.000	2.580	3.448	st
12	0.629	1.900	2.529	3.021	st

เชลล์ 4

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.313	1.716	3.029	1.308	m
2	1.126	1.589	2.715	1.426	m
3	0.825	1.399	2.224	1.698	m
4	0.851	1.232	2.083	1.449	m
5	0.771	1.241	2.012	1.611	m
6	0.798	2.141	2.939	2.638	sm
7	1.014	1.750	2.764	1.727	sm
8	0.749	1.927	2.676	2.573	sm
9	0.629	1.718	2.347	2.738	sm
10	0.582	1.444	2.026	2.488	sm
11	0.528	1.967	2.495	3.724	st
12	0.576	1.812	2.388	3.143	st

เชลล์ 5

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.325	1.644	2.969	1.243	m
2	1.079	1.793	2.873	1.850	m
3	0.935	1.332	2.267	1.425	m
4	0.767	1.444	2.210	1.886	m
5	0.804	1.183	1.987	1.483	m
6	0.854	1.781	2.634	2.141	sm
7	0.885	1.539	2.423	1.739	sm
8	0.720	1.530	2.250	2.128	sm
9	0.704	1.434	2.137	2.038	sm
10	0.590	1.481	2.070	2.563	sm
11	0.634	2.316	2.950	3.655	st
12	0.733	2.200	2.933	3.001	st

ตารางภาคผนวก 8 ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T)
อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดโครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์สีทองเบา
เซลล์ 1

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	2.089	2.299	4.388	1.102	m
2	1.677	2.170	3.847	1.329	m
3	1.625	1.961	3.586	1.240	m
4	1.193	1.861	3.054	1.564	m
5	1.171	1.746	2.916	1.491	m
6	1.109	2.703	3.812	2.437	sm
7	1.336	2.451	3.788	1.834	sm
8	1.104	2.243	3.348	2.045	sm
9	0.953	2.170	3.124	2.276	sm
10	0.914	2.047	2.962	2.240	sm
11	0.952	1.767	2.719	1.863	sm
12	0.577	1.947	2.524	3.376	st

เซลล์ 2

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.462	1.905	3.367	1.326	m
2	1.133	1.733	2.866	1.533	m
3	0.991	1.504	2.495	1.517	m
4	0.914	1.360	2.274	1.487	m
5	0.794	1.118	1.912	1.403	m
6	0.758	1.454	2.212	1.921	sm
7	0.795	1.803	2.599	2.271	sm
8	0.633	1.530	2.163	2.417	sm
9	0.643	1.380	2.023	2.148	sm
10	0.509	1.487	1.996	2.923	sm
11	0.550	1.282	1.832	2.336	sm
12	0.350	1.344	1.694	3.839	st

เซลล์ 3

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.552	2.505	4.057	1.616	m
2	1.355	2.104	3.459	1.551	m
3	1.122	1.822	2.943	1.624	m
4	0.952	1.646	2.416	1.536	m
5	0.805	1.334	2.139	1.656	m
6	0.820	2.245	3.065	2.741	sm
7	0.714	1.887	2.601	2.641	sm
8	0.581	1.649	2.230	2.844	sm
9	0.564	1.600	2.164	2.841	sm
10	0.547	1.444	1.991	2.646	sm
11	0.560	1.314	1.874	2.361	sm
12	0.333	1.245	1.578	3.739	st

เซลล์ 4

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.428	1.885	3.313	1.330	m
2	1.024	1.714	2.738	1.676	m
3	0.943	1.578	2.521	1.675	m
4	0.910	1.465	2.375	1.620	m
5	0.828	1.332	2.160	1.610	m
6	1.064	2.229	3.292	2.119	sm
7	1.060	2.014	3.073	1.901	sm
8	1.048	1.866	2.914	1.780	sm
9	0.816	1.582	2.398	1.937	sm
10	0.725	1.507	2.232	2.103	sm
11	0.591	1.628	2.273	2.851	sm
12	0.456	1.592	2.048	3.495	st

เซลล์ 5

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.339	1.925	3.264	1.444	m
2	1.094	1.718	2.812	1.570	m
3	1.033	1.522	2.555	1.475	m
4	0.940	1.480	2.420	1.575	m
5	0.908	1.371	2.279	1.509	m
6	0.943	2.241	3.183	2.406	sm
7	0.709	1.869	2.578	2.643	sm
8	0.662	1.667	2.329	2.518	sm
9	0.617	1.538	2.155	2.499	sm
10	0.637	1.477	2.114	2.317	sm
11	0.525	1.460	1.985	2.781	sm
12	0.402	1.417	1.819	3.527	st

ตารางภาคผนวก 9 ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T)
อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดโครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์อินทผาลัม
เซลล์ 1

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.185	1.848	3.032	1.572	m
2	1.029	1.614	2.643	1.566	m
3	1.012	1.240	2.253	1.228	m
4	0.926	1.147	2.073	1.276	m
5	0.760	0.990	1.750	1.315	m
6	0.816	1.737	2.553	2.176	sm
7	0.726	1.376	2.102	1.901	sm
8	0.616	1.394	2.011	2.264	sm
9	0.564	1.366	1.931	2.457	sm
10	0.563	1.267	1.830	2.302	sm
11	0.559	1.221	1.779	2.186	sm
12	0.379	1.903	2.282	5.023	st

เซลล์ 2

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.250	1.512	2.762	1.211	m
2	1.030	1.221	2.251	1.188	m
3	0.897	1.091	1.988	1.219	m
4	0.935	0.953	1.888	1.020	m
5	0.790	0.985	1.775	1.247	m
6	1.203	2.117	3.320	1.759	sm
7	0.856	1.702	2.558	1.987	sm
8	0.827	1.456	2.283	1.760	sm
9	0.772	1.403	2.174	1.824	sm
10	0.703	1.340	2.043	1.908	sm
11	0.698	1.222	1.920	1.752	sm
12	0.623	2.237	2.860	3.591	st

เชลล์ 3

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.333	1.974	3.307	1.488	m
2	0.977	1.613	2.590	1.652	m
3	1.043	1.383	2.425	1.327	m
4	0.963	1.194	2.157	1.246	m
5	0.773	1.159	1.932	1.501	m
6	0.985	2.340	3.325	2.424	sm
7	0.872	1.907	2.779	2.228	sm
8	0.725	1.700	2.425	2.336	sm
9	0.564	1.536	2.101	2.724	sm
10	0.533	1.440	1.972	2.702	sm
11	0.587	1.271	1.857	2.193	sm
12	0.298	1.969	2.267	6.607	st

เชลล์ 4

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.840	1.927	3.766	1.049	m
2	1.638	1.791	3.428	1.098	m
3	1.488	1.723	3.211	1.162	m
4	1.371	1.453	2.824	1.060	m
5	1.022	1.275	2.297	1.248	m
6	1.207	2.228	3.435	1.848	sm
7	1.011	1.890	2.901	1.870	sm
8	0.890	1.688	2.578	1.895	sm
9	0.839	1.654	2.493	1.972	sm
10	0.856	1.568	2.424	1.835	sm
11	0.795	1.419	2.214	1.785	sm
12	0.600	2.094	2.694	3.489	st

เชลล์ 5

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.059	1.603	2.662	1.533	m
2	0.926	1.449	2.375	1.568	m
3	0.752	1.219	1.972	1.629	m
4	0.677	1.148	1.826	1.695	m
5	0.617	1.006	1.623	1.631	m
6	0.654	1.583	2.238	2.424	sm
7	0.577	1.545	2.122	2.679	sm
8	0.529	1.393	1.922	2.631	sm
9	0.521	1.303	1.824	2.505	sm
10	0.464	1.246	1.710	2.682	sm
11	0.399	1.055	1.453	2.674	sm
12	0.266	1.448	1.715	5.439	st

ตารางภาคผนวก 10 ค่าเฉลี่ยความยาวแขนสั้น (S) ความยาวแขนยาว (L) ความยาวทั้งแขน (T) อัตราส่วนระหว่างแขนยาวต่อแขนสั้น (L/S) ชนิดโครโมโซมของมะขามหวานพันธุ์แสงอาทิตย์ เซลล์ 1

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.074	1.287	2.362	1.198	m
2	1.000	1.264	2.264	1.263	m
3	0.955	1.205	2.160	1.262	m
4	0.889	1.269	2.158	1.427	m
5	0.970	1.185	2.155	1.222	m
6	1.018	1.120	2.138	1.100	m
7	0.928	1.196	2.124	1.289	m
8	1.032	1.043	2.075	1.010	m
9	0.883	1.155	2.038	1.308	m
10	0.869	0.899	1.768	1.034	m
11	0.593	0.891	1.484	1.501	m
12	0.634	1.154	1.788	1.819	sm

เซลล์ 2

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.105	1.774	2.879	1.605	m
2	10.51	1.630	2.681	1.551	m
3	0.962	1.512	2.473	1.572	m
4	0.942	1.473	2.415	1.563	m
5	0.896	1.281	2.177	1.430	m
6	0.788	1.278	2.065	1.621	m
7	0.882	1.124	2.006	1.275	m
8	0.717	1.208	1.925	1.684	m
9	0.793	1.092	1.884	1.377	m
10	0.757	1.021	1.777	1.349	m
11	0.646	1.010	1.656	1.562	m
12	0.546	1.307	1.853	2.392	sm

เซลล์ 3

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.069	1.609	2.678	1.505	m
2	1.065	1.378	2.443	1.294	m
3	0.835	1.299	2.134	1.555	m
4	0.802	1.182	1.984	1.473	m
5	0.761	1.184	1.945	1.555	m
6	0.698	1.156	1.853	1.657	m
7	0.669	1.129	1.798	1.689	m
8	0.672	1.037	1.709	1.542	m
9	0.639	0.980	1.618	1.534	m
10	0.584	0.949	1.533	1.625	m
11	0.566	0.945	1.511	1.668	m
12	0.532	1.249	1.781	2.345	sm

เซลล์ 4

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.579	1.942	3.522	1.230	m
2	1.088	1.955	3.043	1.798	m
3	1.318	1.917	3.234	1.454	m
4	1.117	1.764	2.881	1.579	m
5	1.239	1.538	2.777	1.242	m
6	1.125	1.514	2.639	1.347	m
7	1.062	1.456	2.518	1.371	m
8	1.133	1.279	2.431	1.144	m
9	0.899	1.399	2.299	1.556	m
10	0.938	1.104	2.041	1.177	m
11	0.706	0.821	1.527	1.164	m
12	0.676	1.401	2.078	2.073	sm

เชลล์ 5

โครโมโซม คู่ที่	S (μm)	L (μm)	T (μm)	L/S (μm)	ชนิด โครโมโซม
1	1.226	1.640	2.866	1.338	m
2	1.005	1.438	2.443	1.430	m
3	1.020	1.439	2.459	1.411	m
4	0.991	1.209	2.200	1.221	m
5	0.924	1.223	2.147	1.323	m
6	0.977	1.111	2.088	1.137	m
7	0.726	1.230	1.956	1.695	m
8	0.806	1.095	1.901	1.358	m
9	0.898	0.949	1.847	1.057	m
10	0.855	0.909	1.764	1.063	m
11	0.692	0.820	1.512	1.184	m
12	0.487	1.318	1.805	2.704	sm

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นางสาวสุนิดา อัญจิระเวโรจน์
วันเดือนปีเกิด	20 เมษายน 2522
สถานที่เกิด	อำเภอพรหมบุรี จังหวัดสิงห์บุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	145/362 หมู่ที่ 14 ต.คลองสอง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี โทร 029848895 E-mail: Bigpig2022@hotmail.com
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2536	มัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนอัครพิชัยรักษ์พิทยา
พ.ศ. 2539	มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนอัครพิทยานุกูล
พ.ศ. 2545	ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์ทั่วไป จากมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
พ.ศ. 2550	ปริญญาโทชีววิทยา จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ