ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤกษศาสตร์)

ปริญญา

พฤกษศาสตร์ | พฤกษศาสตร์

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง ผลของจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) ต่อการพัฒนาดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche) พันธุ์เชียงใหม่ 700

Effects of Gibberellic Acid (GA_3) on Flower, Fruit and Seed Development in *Macadamia integrifolia* Maiden & Betche cv. Chiang Mai 700

นามผู้วิจัย นางสาวอังคนางค์ เชื้อเจ็ดตน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์ประศาสตร์ เกื้อมณี, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์ลิลลี่ กาวีต๊ะ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์สุรศักดิ์ นิลนนท์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์สรัญญา วัชโรทัย, Dr.rer.nat.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) ต่อการพัฒนาดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche) พันธุ์เชียงใหม่ 700

Effects of Gibberellic Acid (GA_3) on Flower, Fruit and Seed Development in *Macadamia integrifolia* Maiden & Betche cv. Chiang Mai 700

โดย

นางสาวอังคนางค์ เชื้อเจ็ดตน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤกษศาสตร์)
พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อังคนางค์ เชื้อเจ็ดตน 2556: ผลของจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) ต่อการพัฒนาดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche) พันธุ์เชียงใหม่ 700 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤกษศาสตร์) สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ประศาสตร์ เกื้อมณี, Ph.D. 95 หน้า

การศึกษาผลของสารจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) กับการพัฒนาดอก ผลและเมล็ดของมะคาเดเมียใน 3 ระยะ คือ ระยะดอกตูม (ขนาดดอกย่อยยาว 10 มม.) ระยะดอกบานเต็มที่ และระยะหลังดอกบาน 1 สัปดาห์ โดยให้สารจิบเบอเรลลิค แอซิด ความเข้มข้น 0 25 50 75 100 ppm ที่ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) พบว่า ระยะดอกและอัตราความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดไม่มีผลทำให้น้ำหนักผล ความกว้างและความยาวผล จำนวนช่อต่อต้น ความกว้างและความยาวของเนื้อในเมล็ดแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อเปอร์เซ็นต์การติดผล เมื่อฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดความเข้มข้น 25 ppm แก่ดอกมะคาเดเมียระยะดอกตูม ให้เปอร์เซ็นต์การติดผลสูงสุด (0.83 เปอร์เซ็นต์) และดอกมะคาเดเมียในระยะหลังดอกบาน 1 สัปดาห์ให้จำนวนผลต่อช่อหลังการเก็บเกี่ยวเฉลี่ยสูงสุด (2.06 ผล)

การศึกษาการพัฒนาทางด้านสัณฐานวิทยาและกายวิภาคของดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมียพบว่า ตาช่อดอกเกิดขึ้นบริเวณซอกใบหรือเหนือรอยแผลที่ใบร่วง และเกิดกับกิ่งแขนงที่มีอายุมากกว่า 1 ปีขึ้นไป ตาดอกระยะแรกมีใบเกล็ดหุ้ม การเกิดส่วนต่างๆ ของดอก ใช้เวลาประมาณ 2 สัปดาห์ ช่อดอกแบบกระจะ ดอกมีกลีบรวมเชื่อมติดกันเป็นหลอด ด้านบนมีเกสรเพศผู้ 4 อันติดอยู่ ภายในมีเรณู รูปร่างกลมแป้น รังไข่อยู่เหนือวงกลีบเลี้ยง มี 1 คาร์เพล และ 1 ช่อง ภายในช่องมีออวุล 2 อัน ออวุลตั้งตรง การติดของออวุลเป็นแบบพลาเซนตาที่ยอด อับเรณูจะแตกก่อนดอกบาน 1 – 2 วัน ผลแบบ nut มีผนังผล 3 ชั้น ผลที่มีอายุระหว่าง 2 – 8 สัปดาห์หลังการผสมเกสร จะมีการพัฒนาเนื้อเยื่อกลุ่มท่อลำเลียงในผนังผลชั้นกลางและมีการสร้างเนื้อเยื่อสเกลอเรงคิมาในผนังผลชั้นใน เมื่อผลสุกผนังผลจะแตกออกเองตามรอยตะเข็บด้านเดียว เปลือกหุ้มเมล็ดแข็งมากประกอบด้วยสเกลอรีดยาว เนื้อในเมล็ด เริ่มมีพัฒนาการตั้งแต่ระยะ 2 – 3 สัปดาห์หลังการผสมเกสร เอ็มบริโอรูปร่างค่อนข้างกลม ประกอบด้วยใบเลี้ยงขนาดใหญ่ 2 อัน

การศึกษาความมีชีวิตและการงอกหลอดเรณู โดยนำละอองเรณู มาเลี้ยงในอาหารสูตร Brewbaker และ Kwack (1963) ที่มีน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นต่างๆ กัน คือ 0 5 10 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ เพื่อหาความเข้มข้นน้ำตาลที่เหมาะสม และในอาหารสูตรเดียวกัน ที่มีน้ำตาลซูโครส 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับจิบเบอเรลลิค แอซิดความเข้มข้นต่างๆ กัน 5 ระดับ คือ 0 25 50 75 และ 100 ppm เพื่อศึกษาการงอกของเรณู พบว่า ละอองเรณูที่เลี้ยงในอาหารที่เติมน้ำตาลซูโครส 15 - 25 เปอร์เซ็นต์ ส่งเสริมการงอกของเรณู (57.05 - 60.91 เปอร์เซ็นต์) และละอองเรณูที่เลี้ยงในอาหารที่เติมน้ำตาลซูโครส 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับจิบเบอเรลลิค แอซิดทุกความเข้มข้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเรณูลดลง ส่วนความมีชีวิตของละอองเรณูในอาหารที่เติมจิบเบอเรลลิค แอซิดทุกความเข้มข้น ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

_____ _____ ____/____/___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Angkanang Chuajedton 2013: Effects of Gibberellic Acid (GA_3) on Flower, Fruit and Seed Development in *Macadamia integrifolia* Maiden & Betche cv. Chiang Mai 700. Master of Science (Botany), Major Field: Botany, Department of Botany. Thesis Advisor: Associate Professor Prasart Kermanee, Ph.D. 95 pages.

The study of the effects of gibberellic acid on floral, fruit and seed development in *Macadamia integrifolia* Maidan & Betche cv. Chiang mai 700 at 3 stages of flower; pre-bloom (10 mm floret length), full bloom and 1 week after bloom were investigated at The Chiang mai Royal Agricultural Research Center (Khun Wang). The flowers were sprayed with gibberellic acid at the concentrations of 0, 25, 50, 75 and 100 ppm. It was found that the stage of flower and gibberellic acid concentrations were not significantly effect on fruit weight, fruit width, fruit length, number of fruits per plant, kernel width and kernel length. There was an interaction between stage of flower and gibberellic acid concentrations on percentage of fruit set. The treatment of 25 ppm gibberellic acid at pre-bloom flowers gave the highest percentage of fruit set (0.83%) and at 1 week after bloom gave the highest number of fruits per cluster (2.06 fruits).

The study on developmental anatomy of flower, fruit and seed in macadamia showed that the floral bud developed from axillary bud located upper leaf scar of the shoot older than one years. The floral bud was covered with bud scales. The floral parts development took 2 weeks. The inflorescence is a raceme consisting of perianth tube. There are four anthers attached on perianth tube. Pollen is oblate type. Pistil is superior consisting of 1 carpel and 1 locule. There are 2 ovules in a locule. Ovule is an orthotropous type and apical placentation. The anthesis occurs 1-2 days before blooming. Fruit is a nut with 3 layers of pericarp. The number of vascular tissue in mesocarp and sclerenchymatous tissue in endocarp were observed during 2-8 weeks after pollination of fruit development. In ripened fruit, the pericarp dehisces at only one size of fruit (follicle). Shell is very hard with macrosclereid tissue. Kernel is observed at 2-3 weeks after pollination. Embryo is rounded shape consisting 2 cotyledons.

The study on pollen viability and pollen tube germination were investigated by culturing on Brewbaker & Kwack (1963) medium supplemented with 0, 5, 10, 15, 20 and 25 percents of sucrose for sugar optimization and on the same medium supplemented with 0, 25, 50, 75 and 100 ppm gibberellic acid for pollen tube germination. It was found that the pollens cultured on the medium with 15 – 25% sucrose promoted the percentage of germination (57.05 - 60.91%). While the percentage of pollen germination on the medium with 20% sucrose and every concentration of gibberellic acid was decrease. The medium supplemented with every concentration of gibberellic acid has no effect on pollen viability.

_____ _____ ___/____/___

Student's signature Thesis Adivisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ประศาสตร์ เกื้อมณี ประธานกรรมการที่ปรึกษา ซึ่งช่วยให้คำปรึกษา แนะนำการทดลอง และช่วยเหลือในด้านต่างๆ รวมทั้งตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ลิลลี่ กาวีต๊ะ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ นิลนนท์ กรรมการที่ปรึกษา ที่ช่วยแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ดร.ณัฏฐา เสนีวาส ประธานการสอบ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่สละเวลาในการอ่านวิทยานิพนธ์และการสอบสัมภาษณ์ครั้งสุดท้าย รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาพฤกษศาสตร์ทุกท่านที่กรุณาสั่งสอน อบรม ให้ความรู้และคำชี้แนะด้วยความกรุณาตลอดมา

ขอขอบคุณ คุณจำลอง ดาวเรือง ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ คุณมานพ หาญเทวี หัวหน้ากลุ่มวิจัยและพัฒนา คุณธนกฤต วินใจ เจ้าพนักงานการเกษตร และเจ้าหน้าที่ทุกคนในศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) จังหวัดเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และช่วยเหลือด้านต่างๆ ระหว่างการทดลอง

ขอขอบคุณภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถานที่ศึกษาและปฏิบัติงานวิจัย และขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ นิสิตภาควิชาพฤกษศาสตร์ ที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่สาว และญาติพี่น้องทุกคน รวมถึงบุคลากรโรงเรียนสามัคคีวิทยาคมที่ให้โอกาส ให้กำลังใจ รวมทั้งส่งเสริมและสนับสนุนในการศึกษาตลอดเวลา

อังคนางค์ เชื้อเจ็ดตน

เมษายน 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	13
อุปกรณ์	13
วิธีการ	13
ผลและวิจารณ์	20
ผล	20
วิจารณ์	66
สรุป	73
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	75
ภาคผนวก	82
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	95

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ลักษณะทางการเกษตรของมะคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์	8
2	เปอร์เซ็นต์การติดผลของดอกมะคาเดเมีย 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ ที่ระยะเวลา 14 วัน	25
3	น้ำหนักผลมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)	29
4	ความกว้างและความยาวของผลมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)	31
5	จำนวนช่อต่อต้นและจำนวนผลต่อช่อของมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้น 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)	33
6	เปอร์เซ็นต์การติดผลของดอกมะคาเดเมีย 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)	34
7	ความกว้างและความยาวของเนื้อในเมล็ดมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)	36
8	เปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเรณูมะคาเดเมีย เมื่อเลี้ยงบนอาหารสูตร Brewbaker & Kwack (1963) ที่เติมน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 0 5 10 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง	62
9	เปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเรณูมะคาเดเมีย เมื่อเลี้ยงบนอาหารสูตร Brewbaker & Kwack (1963) ที่เติมน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง	63

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
10	เปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเรณูมะคาเดเมีย เมื่อเลี้ยงบนอาหารสูตร Brewbaker & Kwack (1963) ที่มีน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง	64

ตารางผนวกที่

1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์การติดผลของดอกมะคาเดเมีย 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ ที่ระยะเวลา 14 วัน	83
2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนน้ำหนักผลมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)	83
3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความกว้างของผลมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)	84
4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความยาวของผลมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)	84
5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนจำนวนช่อต่อต้นของมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)	85
6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนจำนวนผลต่อช่อของมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)	85
7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์การติดผลของดอกมะคาเดเมีย 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)	86

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความกว้างของเนื้อในเมล็ดมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)	86
9	การวิเคราะห์ความแปรปรวนความยาวของเนื้อในเมล็ดมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)	87
10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเรณูมะคาเดเมีย เมื่อเลี้ยงบนอาหารสูตร Brewbaker & Kwack (1963) ที่เติมน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง	87
11	การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเรณูมะคาเดเมีย เมื่อเลี้ยงบนอาหารสูตร Brewbaker & Kwack (1963) ที่เติมน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง	88
12	การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเรณูมะคาเดเมีย เมื่อเลี้ยงบนอาหารสูตร Brewbaker & Kwack (1963) ที่มีน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง	88

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ค่าปริมาณน้ำฝน ระหว่างการศึกษาระยะเวลาการพัฒนาของดอก ผล และเมล็ดมะคาเดเมีย ณ ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่	21
2	ค่าอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ย ระหว่างการศึกษาระยะเวลาการพัฒนาของดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย ณ ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่	21
3	ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ระหว่างการศึกษาระยะเวลาการพัฒนาของดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย ณ ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่	22
4	เปอร์เซ็นต์การติดผลของมะคาเดเมีย 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ ตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของผล (14 – 160 วัน)	24
5	ความกว้างและความยาวของผลมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ ตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของผล (40 – 160 วัน)	27
6	ลักษณะทางกายวิภาคของปลายยอดมะคาเดเมีย	39
7	ตำแหน่งของตาช่อดอกและลักษณะช่อดอกมะคาเดเมีย	40
8	การพัฒนาของตาช่อดอกมะคาเดเมีย อายุ 2 สัปดาห์หลังสร้างปุ่มกำเนิดดอก	41
9	การพัฒนาของดอกมะคาเดเมีย	44
10	โครงสร้างภายในของดอกมะคาเดเมีย	46
11	โครงสร้างภายในของดอกมะคาเดเมีย (ต่อ)	47
12	การพัฒนาของละอองเรณูเพศผู้	49
13	ลักษณะกายวิภาคของเกสรเพศเมียมะคาเดเมีย	51
14	ลักษณะกายวิภาคของผลมะคาเดเมีย	54
15	ลักษณะกายวิภาคของเมล็ดมะคาเดเมีย	58
16	ลักษณะกายวิภาคของเมล็ดมะคาเดเมีย (ต่อ)	60

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	ลักษณะของละอองเรณูและหลอดเรณูมะคาเดเมียภายใต้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนส์	65

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลของจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) ต่อการพัฒนาดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche) พันธุ์เชียงใหม่ 700

Effects of Gibberellic Acid (GA_3) on Flower, Fruit and Seed Development in *Macadamia integrifolia* Maiden & Betche cv. Chiang Mai 700

คำนำ

มะคาเดเมีย (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche) จัดอยู่ในวงศ์ Proteaceae เป็นไม้ผลยืนต้นขนาดใหญ่ ไม่ผลัดใบ (evergreen tree) ผลมีเปลือกแข็งและหนา (nut) มีอายุการให้ผลผลิตยาวนานถึง 50 ปี สามารถปลูกเป็นป่าทดแทนได้ มะคาเดเมียเป็นพืชอุตสาหกรรมที่มีราคาสูง โดยสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิดนอกเหนือจากการนำเนื้อในเมล็ด (kernel) มะคาเดเมียมาบริโภค เช่น ครีมบำรุงผิว สบู่ เป็นต้น ส่วนอื่นๆ ของผลยังสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ เช่น เปลือกนอก นำมาทำปุ๋ยหมัก เปลือกหุ้มเมล็ดหรือกะลา นำมาทำถ่านที่ให้พลังงานความร้อนสูง (จำลอง, 2544) ประเทศที่ผลิตมะคาเดเมียได้มากที่สุด ได้แก่ ออสเตรเลียและสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีผลิตผลในแต่ละปีสูงถึง 40% ของผลผลิตทั่วโลก และมีการนำเมล็ดพันธุ์ไปปลูกในประเทศต่างๆ เช่น กัวเตมาลา ซิลบับเว เคนยา แอฟริกาใต้ มาลาวี คอสตาริกา รวมถึงประเทศไทย (เหรียญทอง และ จำลอง, 2548) แต่แหล่งปลูกมะคาเดเมียเป็นการค้ายังมีจำกัด เนื่องจากส่วนใหญ่มีปัญหาด้านสภาพแวดล้อมในการปลูกมะคาเดเมีย เช่น อุณหภูมิสูงเกินไป พื้นที่ปลูกแห้งแล้ง ปัญหาในการออกดอก การติดผล พัฒนาการของผล การร่วงของผลอ่อน และการผสมเกสรที่ไม่เหมาะสม รวมถึงปัญหาเรื่องแมลงศัตรูเข้าทำลาย ปัจจุบันความต้องการบริโภคมะคาเดเมียมีมากกว่าผลผลิตที่ผลิตได้ ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดโลก (จำลอง, 2544)

การออกดอกและการพัฒนาดอกของมะคาเดเมีย มีส่วนสำคัญมากในการให้ผลผลิตของมะคาเดเมีย ถึงแม้ว่ามะคาเดเมียจะมีช่อดอกแบบกระจะ (raceme) ที่มีดอกย่อยมากถึง 100 – 300 ดอกต่อช่อ แต่มีเปอร์เซ็นต์การติดผลต่อช่อต่ำ (1 - 4%) และผลที่ติดแล้วยังมีการหลุดร่วงสูงในระหว่างการเจริญเติบโต ทำให้ผลไม่สามารถพัฒนาไปจนแก่ได้ นอกจากนี้ผลที่พัฒนาได้ตามปกติก็ยังมีขนาดของผลเล็กเกินไป (ดำเกิง, 2538) Trueman and Turnbull (1994) รายงานว่า ในฮาวายดอกจะมีการร่วงหลังจากดอกบานแล้ว 2 สัปดาห์ ผลมีการร่วงในช่วง 3 - 8 สัปดาห์หลังจากดอกบานและมีมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ที่ผลจะร่วงหลังจากติดผลแล้ว ซึ่งการร่วงของผลอ่อนเป็น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลักษณะเฉพาะของมะคาเดเมีย และเป็นปัญหาสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตมะคาเดเมีย ทั้งในฮาวาย ออสเตรเลียรวมถึงประเทศไทยด้วย

ได้มีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับการใช้จิบเบอเรลลิค แอซิด (gibberellic acid; GA_3) กับพืชชนิดต่างๆ ซึ่งพบว่าประสบผลสำเร็จในการส่งเสริมการออกดอก เพิ่มการติดผลและผลมีการพัฒนา เช่น แอปเปิ้ล สาลี่ (Weaver, 1972) องุ่น (Khan and Singh, 1991) ลิ้นจี่ (Chang and Lin, 2006) เป็นต้น ดังนั้นการใช้จิบเบอเรลลิค แอซิดกับมะคาเดเมีย น่าจะช่วยให้การติดผลและการพัฒนาของเมล็ดดีขึ้น ตลอดจนการติดตามการพัฒนาของดอก ผลและเมล็ดในระดับเซลล์และเนื้อเยื่อ จะทำให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาผลผลิตและคุณภาพของมะคาเดเมียต่อไปในอนาคต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทราบถึงบทบาทของจิบเบอเรลลิค แอซิดต่อการพัฒนาดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย

2. เพื่อทราบการเจริญและพัฒนาการทางด้านสัณฐานวิทยา กายวิภาคของดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย

3. เพื่อทราบถึงลักษณะสัณฐานวิทยาของละอองเรณู ความมีชีวิตและการงอกของหลอดเรณูมะคาเดเมีย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

มะคาเดเมีย (macadamia nut) เป็นพืชพื้นเมืองของประเทศออสเตรเลีย พบตามแถบชายฝั่งทะเลบริเวณป่าฝนเขตร้อนในรัฐ Queensland และรัฐ New South Wales (Woodroof, 1982) ซึ่งถูกค้นพบในปี 1843 โดย Friedrich Wilhelm Ludwig Leichardt บริเวณอ่าว Moreton ใกล้กับเมือง Brisbane รัฐ Queensland ต่อมาในปี 1857 Baron Sir Ferdinand Jacob Heinrich von Mueller ชาวเยอรมัน กับ Mr. Walter Hill ชาวสกอตแลนด์ ได้สำรวจและเก็บตัวอย่างพืชนี้ที่บริเวณแม่น้ำไพน์ (Pine River) บริเวณอ่าว Moreton จึงทำการขอจดทะเบียนพืชที่พบเป็นพืชสกุลใหม่ที่มีชื่อว่า *Macadamia* เพื่อเป็นเกียรติแก่เพื่อนสนิท คือ Dr. John Macadam (Stephenson, 2005) โดยทราบภายหลังว่าเป็นมะคาเดเมียแบบผลเล็ก (ดำเกิง, 2538)

มะคาเดเมียจัดอยู่ในสกุล *Macadamia* วงศ์ Proteaceae ซึ่งทั่วโลกมีทั้งหมดประมาณ 10 ชนิด แต่มีเพียง 2 ชนิดเท่านั้นที่ปลูกเป็นการค้าคือ มะคาเดเมียชนิดผิวเรียบ (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche) และชนิดผิวขรุขระ (*M. tetraphylla* L. Johnson) ชื่อสามัญอื่นๆ เรียก Macadamia nut, Queensland nut, Australian nut, Bopple nut, bush nut และ Buaple ถึงแม้จะมีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศออสเตรเลีย แต่ก็ยังไม่มีการขยายพันธุ์หรือปลูกเป็นการค้า จนกระทั่งปี 1881 William Herbert Purvis ได้นำมะคาเดเมียจากออสเตรเลียไปทดลองปลูกที่ฮาวาย พบว่า มะคาเดเมียสามารถขยายพันธุ์ปลูกได้ดี เนื่องจากได้รับสารอาหารจำพวกฟอสฟอรัส ซึ่งมีมากในดินภูเขาไฟ ต่อมามะคาเดเมียทั้งสองชนิดถูกพัฒนาคุณภาพและสายพันธุ์ในรัฐฮาวาย ประเทศสหรัฐอเมริกา (Stephenson, 2005) ในปี 1946 จึงเริ่มมีการปลูกเชิงการค้าและกลายเป็นพันธุ์ปลูกที่สำคัญในปัจจุบันของรัฐฮาวาย อีกทั้งยังมีการขยายแหล่งการผลิตไปสู่แอฟริกาใต้ ซิมบับเว มาลาวี เคนยา บราซิล กัวเตมาลา คอสตาริกา และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Woodroof, 1982; Trochoulias, 1984; Ito, 1987) ในประเทศไทยเริ่มนำเข้ามาปลูกในปี พ.ศ. 2496 โดยองค์การยูซอม (USOM) ประเทศสหรัฐอเมริกา ส่งเมล็ดพันธุ์มะคาเดเมียชนิดเปลือกผิวเรียบมาให้กรมกสิกรรมของไทยนำมาทดลองปลูกที่สถานีกสิกรรมบางกอกน้อย จังหวัดจันทบุรีและจังหวัดเชียงใหม่ ต่อมาในปี พ.ศ. 2511 เจ้าของไร่ชาระมิงค์ อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ และปลัดกระทรวงเกษตรของไทย ได้ขอพันธุ์มะคาเดเมียจากฮาวาย นำมาปลูกที่ไร่ชาระมิงค์และสถานีกสิกรรมฝาง อีกทั้งยังมีการนำเข้าเมล็ดพันธุ์มะคาเดเมียต่อมาเป็นระยะๆ แต่ยังขาดการบำรุงเอาใจใส่ (ดำเกิง, 2538; ศิริบุญ, 2552) จนกระทั่งถึงปี พ.ศ. 2527 จึงเริ่มให้ความสนใจที่จะปลูกเป็นพืชอุตสาหกรรม สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร จึงได้เริ่มวางแผนวิจัยและพัฒนามะคาเดเมีย แต่งานวิจัยยังมีน้อยมากเนื่องจากเป็นพืชใหม่ที่ยังไม่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย ต่อมาจึงถูกจัดให้เป็นพืชตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 (พ.ศ. 2535 – 2539) และได้จัดทำแผนวิจัยและพัฒนามะคาเดเมียแบบ Ziel Orientierte ProJekt Planung หรือแปลเป็นภาษาอังกฤษว่า Objective Oriented Project Planning (ZOPP) ในปี พ.ศ. 2538 เพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตจนสามารถลดการนำเข้าจากต่างประเทศ และสามารถส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศได้ (สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร, 2541)

ความสำคัญทางเศรษฐกิจของมะคาเดเมีย

Stephenson (2005) กล่าวว่า มะคาเดเมียเป็นถั่วเปลือกแข็งที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทั่วโลกซึ่งอุดมไปด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ในมะคาเดเมียอบแห้ง ประกอบไปด้วย น้ำมัน 95 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 9.4 เปอร์เซ็นต์ เส้นใยอาหาร 7.7 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 4.7 เปอร์เซ็นต์ แร่ธาตุต่างๆ เช่น โพแทสซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม แคลเซียม ซีลีเนียม สังกะสี ทองแดง และเหล็ก อีกทั้งยังมีวิตามินต่างๆ เช่น วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 5 วิตามินบี 6 วิตามินอี รวมถึงไนอะซินและโฟเลต สารต้านอนุมูลอิสระที่พบ ได้แก่ โพลีฟีนอล กรดอะมิโน ซีลีเนียม และฟลาโวนอยด์ โดยมะคาเดเมีย 100 กรัม จะให้พลังงาน 3,000 กิโลจูลหรือ 727 แคลอรี สำหรับผู้ที่บริโภคมะคาเดเมียเป็นประจำ จะได้รับกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งสามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลและลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคเส้นเลือดหัวใจตีบ (Coronary artery disease) (Garg *et al*., 2007)

มะคาเดเมียเป็นพืชที่ตลาดโลกมีความต้องการสูง ไม่มีการล้นตลาด มีราคาเป็นมาตรฐานสากลและเป็นพืชชนิดเดียวที่ไม่ถูกกีดกันทางการค้าจากองค์การค้าโลก (WTO) (ดวงจันทร์, 2543) โดยประเทศผู้ผลิตมะคาเดเมียรายใหญ่ของโลก ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ ตามลำดับ (Kaijser *et al.*, 2000; Stephenson, 2005) สำหรับตลาดที่รับซื้อมะคาเดเมียมีอยู่ทั่วโลก ตลาดที่ใกล้ประเทศไทยมากที่สุดและเป็นตลาดใหญ่ที่สุดในเอเชีย คือ ญี่ปุ่น และจีน โดยประเทศจีนมีข้อจำกัดในเรื่องของสภาพภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศ จึงไม่สามารถปลูกมะคาเดเมียได้ แต่ความต้องการของจีนมาก ดังนั้นมะคาเดเมียในจีนจึงเป็นการนำเข้าทั้งหมด (ดวงจันทร์, 2543)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะคาเดเมีย

จำลอง (2544), กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2546) และ Harden (2002) รายงานลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะคาเดเมียไว้ ดังนี้

มะคาเดเมียเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ ไม่ผลัดใบ (evergreen tree) ทรงพุ่มแผ่กว้างถึงตั้งตรง ลำต้นสูง 10-20 เมตร และกว้างประมาณ 8-12 เมตร ซึ่งแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ มีทั้งรูปทรงพุ่มตั้งแต่พุ่มปิรามิดถึงทรงกลม ลักษณะทรงพุ่มโปร่งถึงแน่นทึบ

ลำต้น เปลือกผิวขรุขระ ไม่ย่นหรือเป็นร่อง สีน้ำตาล ทุกส่วนของต้นไม่มีขน ยกเว้นที่ตา กิ่งอ่อน และส่วนของช่อดอก กิ่งย่อยมีลักษณะกลมและมีจุดเล็กๆ กระจายทั่วทั้งกิ่ง ใน 1 ปี มีการผลิใบมากกว่า 3 - 4 ครั้ง แตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่ กิ่งใหม่ที่แตกยาว 20 - 50 เซนติเมตร มีข้อ 5 - 10 ข้อ กิ่งแขนงส่วนใหญ่จะไม่เกิดเมื่อยอดกำลังเจริญเติบโต การผลิใบและแตกกิ่งแขนงจะเกิดขึ้นบริเวณเหนือข้อ

ราก มะคาเดเมียมีระบบรากแก้ว (tap root system) ซึ่งเป็นรากแรก (primary root) ที่เจริญเติบโตมาจาก radicle ที่งอกออกจากเมล็ดแล้วหยั่งลงดิน ต่อจากนั้นจะมีการพัฒนาของรากแขนง (lateral root) ที่เกิดบนรากแก้วตามมา โดยผิวรอบนอกของรากขนาดใหญ่เป็นชั้นของ epidermis ซึ่งจะมีรากขนอ่อน (root hair) แตกออกมาโดยรอบเพื่อทำหน้าที่ดูดน้ำและเกลือแร่จากดิน โดยที่รากขนอ่อนมีอายุสั้นเพียงประมาณ 3 เดือนก็จะหลุดออกไป

ใบ เป็นใบเดี่ยวเกิดที่ข้อบนกิ่งย่อย เรียงตัวแบบวงรอบ (whorl) ทุกข้อมีใบ 3 ใบ และทุกซอกใบทุกใบมีตา 1 ตา ใบรูปไข่หัวกลับ (obovate) ถึงรูปหอกหัวกลับ (oblanceolate) หรือรูปโล่แคบ (narrowly elliptic) ขอบใบมีหนามเล็กน้อยถึงไม่มี ปลายใบมน (obtuse) แหลมสั้น (mucronate) ถึงแหลม (acute) ฐานใบเรียวยาว (cuneate) ถึงป้าน (obtuse) แผ่นใบเป็นคลื่นเล็กน้อยถึงเป็นคลื่นมาก แผ่นมักม้วนห่อลง เนื้อใบหนาคล้ายหนัง ผิวใบเป็นมัน ไม่มีขน ใต้ท้องใบเป็นมัน ใบแก่สีเขียวถึงเขียวเข้ม ใบอ่อนที่ผลิใหม่สีเขียวอ่อนถึงสีเขียว

ช่อดอก ช่อดอกเกิดบริเวณซอกใบหรือเหนือรอยแผลที่ใบร่วง และเกิดกับกิ่งแขนงที่มีอายุมากกว่า 1 ปี เป็นช่อดอกแบบกระจะ (raceme) คือ ดอกย่อยออกจากแกนช่อดอกโดยตรง ช่อดอก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ยาวห้อย คล้ายหางกระรอก ยาวเฉลี่ย 17.9 เซนติเมตร (7.0 - 30.0 เซนติเมตร) แต่ละช่อมีจำนวนดอกย่อยเฉลี่ย 50-290 ดอก ขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม

ดอก เป็นดอกสมบูรณ์เพศ มีกลีบดอกและกลีบเลี้ยงรวมกัน ติดกันเป็นหลอดสีขาวหรือขาวครีมเรียก กลีบรวม (perianth) เกสรเพศผู้มี 4 อัน แต่ละอันมีอับละอองเกสร 2 พู ก้านเกสรเพศผู้สั้น ติดบนกลีบรวม เกสรเพศเมียมียอดเกสรเล็กมาก ผิวหน้าด้านบนเป็นเส้นขนนุ่ม ปลายก้านเกสรเพศเมียเป็นแบบไม่สมมาตร รังไข่เป็นแบบรังไข่เหนือวงกลีบ (superior ovary) มี 1 คาร์เพล (carpel) และมีออวุล 2 อัน

ผล เป็นผลเปลือกแข็งเมล็ดเดียว (nut) รูปร่างกลม ปลายผลมนถึงแหลม มีผนังผล (pericarp หรือ husk) สีเขียวถึงเขียวเข้ม เมื่อแก่เต็มที่จะแห้ง ผนังผลจะแตกออกเองตามรอยตะเข็บด้านเดียว (follicle)

เมล็ด รูปทรงกลมหรือค่อนข้างกลม เมล็ดประกอบด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดหรือกะลา (shell) ลักษณะแข็ง ผิวเรียบถึงขรุขระ สีน้ำตาลอ่อนถึงเข้ม มีรอยแผลเป็น (hilum) และรู micropyle ภายในเปลือกหุ้มเมล็ดมี เนื้อในเมล็ด (kernel) สีขาวรูปทรงแบนถึงกลม ฐานทรงกลม ประกอบด้วยใบเลี้ยงขนาดใหญ่ 2 อันประกบกัน และมียอดแรกเกิด (plumule) ลักษณะค่อนข้างกลมสอดอยู่ระหว่างใบเลี้ยงทั้งสอง

พันธุ์และลักษณะทางการเกษตร

พันธุ์ของมะคาเดเมียที่ปลูกเป็นการค้าในปัจจุบันมีหลากหลายสายพันธุ์ โดยพันธุ์ที่คัดเลือกและแนะนำ ส่วนใหญ่มาจากมหาวิทยาลัยฮาวาย จำลอง (2544) กล่าวว่า การคัดเลือกพันธุ์ของมะคาเดเมียในประเทศไทยนั้น ทางศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ สถาบันวิจัยพืชสวน ได้ดำเนินการทดลองเปรียบเทียบพันธุ์การค้า จำนวน 10 พันธุ์ในสภาพพื้นที่ระดับความสูงตั้งแต่ 100 – 1,300 เมตร จากระดับน้ำทะเล จนสามารถสรุปข้อมูลพันธุ์ ด้านการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพ ที่เหมาะสมกับสภาพอากาศของประเทศไทย นำเสนอชื่อพันธุ์เพื่อรับรอง จนได้รับการอนุมัติให้เป็นพันธุ์แนะนำของกรมวิชาการเกษตร ในปี พ.ศ. 2539 จำนวน 3 พันธุ์ โดยมีลักษณะทางการเกษตรตามตารางที่ 1 และใช้ชื่อ ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.) พันธุ์เชียงใหม่ 400 หรือ HAES 660

2.) พันธุ์เชียงใหม่ 700 หรือ HAES 741

3.) พันธุ์เชียงใหม่ 1000 หรือ HAES 508

ตารางที่ 1 ลักษณะทางการเกษตรของมะคาเดเมียทั้ง 3 สายพันธุ์

ลักษณะ	พันธุ์		
	เชียงใหม่ 400 (HAES 660)	เชียงใหม่ 700 (HAES 741)	เชียงใหม่ 1000 (HAES 508)
1. ความสูงต้น	15 – 20 เมตร	15 – 20 เมตร	15 – 20 เมตร
2. ทรงพุ่มกว้าง	10 - 15 เมตร	10 - 15 เมตร	12 - 15 เมตร
3. น้ำหนักเมล็ด			
- น้ำหนักทั้งกะลา (กรัม)	6.4 – 7.9	4.6 – 7.6	5.2 – 7.4
- น้ำหนักเนื้อใน (กรัม)	1.5 – 2.7	2.0 – 2.9	1.7 – 2.5
4. ความหนากะลา (มม.)	1.93	2.28	2.30
5. จำนวนผลต่อ กก.	175 - 190	135 - 150	148 – 170
6. จำนวนผลอ่อนต่อช่อ	10 - 20	10 - 20	10 - 25
7. จำนวนผลแก่ต่อช่อ	5 - 12	3 - 8	5 - 12
8. คุณภาพผลผลิต			
- เปอร์เซ็นต์เนื้อในหลังกระเทาะ	34 - 42	32 - 39	32 – 39
- เปอร์เซ็นต์เนื้อในเกรด 1 (%ลอยน้ำ)	93 - 100	88 - 99	84 -100
- เปอร์เซ็นต์เกรด 1 เนื้อใน (%recovery)	35 - 41	31 - 37	30 – 38
9. อายุเก็บเกี่ยว (วัน)	180 - 210	180 - 240	180 - 240

ที่มา: จำลอง (2544)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การออกดอก ติดผล และการพัฒนาผลของมะคาเดเมีย

โดยปกติมะคาเดเมียที่ปลูกในรัฐฮาวายจะเริ่มพัฒนาติดดอกในระยะที่วันสั้นในช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนธันวาคม ซึ่งต้องมีอุณหภูมิในช่วงกลางคืนต่ำกว่า 18 องศาเซลเซียส จึงจะเป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุด (Stephenson and Gallagher, 1986; Ito, 1987) จากการประมาณจำนวนช่อดอกต่อต้นในฮาวาย อายุต้นประมาณ 15 ปี มีช่อดอกถึง 10,000 ช่อต่อช่วงฤดูการออกดอก ขณะเดียวกันในประเทศออสเตรเลีย ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วงระหว่าง 11 - 15 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าฮาวาย 4-5 องศาเซลเซียส (Moncur *et al*., 1985) สำหรับในประเทศไทย โดยเฉพาะมะคาเดเมียที่ปลูกในพื้นที่สูง (ระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 700 - 1,300 เมตร) ปรากฏว่ามะคาเดเมียออกดอกตลอดปี โดยไม่คำนึงถึงวันสั้นหรือวันยาว (short or long day) จะมีช่วงที่ออกดอกมากที่สุด 2 ช่วง คือ ช่วงระหว่างเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม และเดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์ จำลอง (2538) พบว่า ตาดอกจะพักตัวก่อนจะขยายเป็นช่อดอกประมาณ 50 - 96 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม ช่อดอกจะเกิดบริเวณซอกใบ หรือเหนือรอยแผลที่ใบร่วง และเกิดกับกิ่งแขนงที่อายุมากกว่า 1 ปี ตำแหน่งที่ดอกย่อยเริ่มบานบนช่อเกิดช่วงประมาณ 2 ใน 3 ของช่อดอก นับจากโคนช่อ จำนวนวันตั้งแต่ดอกเริ่มบานจนถึงบานหมดช่อ แล้วแต่พันธุ์และสภาพแวดล้อม และพบว่า เวลาการบานของดอกในพื้นที่สูงบนดอยแม่จอนหลวง (700 - 1,300 เมตรจากระดับน้ำทะเล) ใช้เวลา 6 - 8 วัน ซึ่งมากกว่าในสภาพที่ต่ำในห้วยฮ่องไคร้ (300 - 500 เมตรจากระดับน้ำทะเล) ที่ใช้เวลาบาน 3 - 6 วัน

ลักษณะการบานของดอก เริ่มที่ส่วนกลางของก้านเกสรเพศเมียที่จะยืดตัวโค้งดันกลีบรวม (perianth) ออกด้านข้าง ขณะเดียวกันปลายกลีบรวมจะค่อยๆ แตกม้วนงอไปด้านหลัง (จำลอง, 2544) ดอกของมะคาเดเมียเป็นแบบ protandrous คือ เกสรเพศผู้แก่และแตกออกก่อนที่เกสรเพศเมียพร้อมที่จะรับการผสม โดยอับเรณูแตกออกและปล่อยละอองเกสรลงบนยอดเกสรเพศเมียภายใน 1- 2 วันก่อนดอกบาน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ต้องมีการผสมข้าม (cross pollination) เพื่อช่วยให้มีการติดผลเพิ่มขึ้น (Meyers and Mc Conchie, 1996) และมีมะคาเดเมียบางพันธุ์ที่มีคุณสมบัติการผสมตัวเองไม่ติด (self incompatible) (Sedgley, 1983) เมื่อดอกบานและได้รับการผสมพันธุ์เรียบร้อยแล้วรังไข่จะเริ่มมีการพัฒนา การติดผลในช่อดอกหนึ่งๆ จะติดผลประมาณ 1-4 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น และร่วงเป็นจำนวนมากหลังจากผสมแล้ว 5-6 สัปดาห์ จำลอง (2544) พบว่า การติดผลและการพัฒนาของผลจะแตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่ และช่วงเวลาในการออกดอกในสภาพพื้นที่สูงอากาศหนาวเย็น เช่น ที่สถานีทดลองเกษตรที่สูงแม่จอนหลวง พบจำนวนผลอ่อนต่อช่อประมาณ 9 - 12 ผล จากจำนวนดอกย่อยประมาณ 126 - 134 ดอก และสามารถพัฒนาถึงแก่เก็บเกี่ยวได้ประมาณ 4 - 5 ผลต่อช่อ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การติดผลประมาณ 3 - 4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในพื้นที่ที่ต่ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กว่า 700 เมตรลงมา เช่น ศูนย์พัฒนาห้วยฮ่องไคร้ (350 - 400 เมตร) อ. ดอยสะเก็ด จ. เชียงใหม่ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศค่อนข้างร้อน จำนวนผลอ่อนต่อช่อน้อย ประมาณ 4 - 6 ผล จากจำนวนดอกย่อย 134 - 139 ดอก และแก่เก็บเกี่ยวได้เพียง 1 - 2 ผล คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การติดผลประมาณ 0.83 เปอร์เซ็นต์ ช่วงที่ผลร่วงมากที่สุดคือ ระยะผลอ่อนหลังจากดอกบาน 3 - 4 สัปดาห์ และ 10 - 12 สัปดาห์ ในการเจริญเติบโตของผล Sakai and Nagao (1985) รายงานว่า ผลจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วทั้งเส้นรอบวงและน้ำหนักสดในระยะ 8 - 12 สัปดาห์แรก หลังจากนั้นเป็นระยะที่เริ่มสะสมน้ำมัน

โดยสรุปแล้วในช่วงเริ่มพัฒนาตาดอกไปจนถึงผลแก่จนเก็บเกี่ยว อาจแบ่งเป็น 3 ระยะ ดังนี้ (จำลอง, 2544; Trochoulias, 1984)

ระยะที่ 1 ระยะก่อนออกดอกหรือพัฒนาตาดอก (ประมาณ 8 สัปดาห์ก่อนออกดอก)

ระยะที่ 2 เป็นระยะการพัฒนาอาหารสะสม ช่วงระยะนี้เริ่มตั้งแต่หลังดอกบาน และใช้เวลานาน 12 - 14 สัปดาห์

ระยะที่ 3 เป็นระยะการสร้างน้ำมัน และเป็นช่วงระหว่างที่น้ำหนักแห้งของคัพภะเพิ่มขึ้น ช่วงนี้เริ่มจากสิ้นสุดระยะที่ 1 และใช้เวลานาน 13 - 17 สัปดาห์

จิบเบอเรลลิน

จิบเบอเรลลิน เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดหนึ่ง พบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1920 โดยนักวิจัยชาวญี่ปุ่นชื่อ Kurosawa ซึ่งพบจากเชื้อรา *Gibberellic fujikuroi* มีผลทำให้ต้นข้าวมีลักษณะสูงผิดปกติ ภายหลังจึงสามารถแยกและสกัดออกมาเป็นผลึกได้ เรียกว่า จิบเบอเรลลิค แอซิด (gibberellic acid; GA_3) และพบจิบเบอเรลลินได้ทั้งพืชมีดอก เฟิร์น สาหร่าย รา และแบคทีเรีย จิบเบอเรลลินเป็นสารพวก diterpenoid acids ซึ่งมีโครงสร้างหลักเป็น 5-ring gibberellane skeleton ความแตกต่างของจิบเบอเรลลินแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับชนิด จำนวน และตำแหน่งของสารที่มาเกาะแทนที่ไฮดรอกซิล (OH) ใน ring system และ A ring (ลิลลี่และคณะ, 2549; Öpik and Rolfe, 2005) ซึ่งจิบเบอเรลลินที่ค้นพบในปัจจุบันมี 136 ชนิด (Hedden and Thomas, 2012) จิบเบอเรลลิค แอซิด (gibberellic acid; GA_3) เป็นสารที่รู้จักมากที่สุดในกลุ่มของจิบเบอเรลลิน และนำมาใช้ประโยชน์มากทางการเกษตร จิบเบอเรลลิค แอซิดที่เป็นสารบริสุทธิ์จะอยู่ในรูปผลึกสีขาว ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ แต่ไม่ละลายน้ำ การผลิตจิบเบอเรลลิค แอซิดมาใช้เพื่อการเกษตรนั้น จะมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ รูปสารบริสุทธิ์ รูปผงละลายน้ำ และสารละลายเข้มข้น ซึ่งในรูปสารละลายเข้มข้นนั้นจะนิยมนำมาใช้มากที่สุด (พีรเดช, 2529)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อิทธิพลของจิบเบอเรลลิค แอซิดต่อการออกดอก ติดผล และการพัฒนาผล

1. อิทธิพลต่อการออกดอก

จิบเบอเรลลิค แอซิดเกี่ยวข้องกับการออกดอกของพืชหลายชนิด เช่น พืชพวก rosette จะมีการสร้างส่วนของใบโดยไม่มีการยืดของปล้องและเมื่อเข้าสู่ระยะการสืบพันธุ์จึงจะมีการยืดปล้อง ในช่วงที่พืชมีการออกดอกพบว่า ปริมาณจิบเบอเรลลิค แอซิดจะลดระดับลง และมีการสร้างเอทิลีนมากขึ้น เนื่องจากจิบเบอเรลลิค แอซิดเป็นฮอร์โมนที่ช่วยกระตุ้นให้เกิดการเติบโตทางกิ่งใบ ดังนั้นหากปริมาณจิบเบอเรลลิค แอซิดลดลง จะกระตุ้นให้พืชออกดอกมากขึ้น (พีรเดช, 2529; ลิลลี่ และคณะ, 2549) ดังรายงานของ Nagao and Sakai (1990) ซึ่งทำการฉีดพ่น GA_3 ความเข้มข้น 200 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงบนต้นมะคาเดเมียในช่วงที่มะคาเดเมียสร้างตาดอก จากการทดลองพบว่า GA_3 ความเข้มข้นดังกล่าวสามารถยับยั้งไม่ให้ตาดอกของมะคาเดเมียเกิดการพัฒนาต่อไปได้ ซึ่งสอดคล้องกับการฉีดพ่น GA_3 ในกาแฟ (Schuch *et al.*, 1990) และเชอรี่พันธุ์ Bing ที่มีการใช้ GA_3 เพื่อลดการสร้างตาดอก คงความสมดุลของจำนวนผลไว้ จากนั้นจึงทำการพัฒนาคุณภาพผลเชอรี่ที่ได้ต่อไป (Lenahan and Whiting, 2006)

2. อิทธิพลต่อการติดผล

จิบเบอเรลลิค แอซิดช่วยส่งเสริมให้มีการติดผลเพิ่มขึ้น (สมบุญ, 2544) ในพืชบางชนิด เช่น Weaver (1972) มีการใช้สารจิบเบอเรลลิค แอซิดกับแอปเปิ้ลและสาลี่เพื่อให้มีการติดผลเพิ่มขึ้น รวมถึงการเพิ่มขนาดของผลให้ใหญ่ขึ้น อีกทั้งมีการทดลองใช้ GA_3 ความเข้มข้น 2.5 5 10 และ 20 ppm ฉีดพ่นให้กับดอกส้มเขียวหวานในระยะดอกบานและหลังดอกบาน หลังจากให้สารแล้ว 21 วันพบว่า ช่วยเพิ่มการติดผล โดย GA_3 ความเข้มข้น 2.5 ppm ให้เปอร์เซ็นต์การติดผลสูงสุด (อรพิน, 2532) เช่นเดียวกับ ธีรวุฒิ (2540) ได้ศึกษาการติดผลของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และฟ้าลั่นโดยการใช้ GA_3 กับช่อดอกระยะต่างๆ ของมะม่วงทั้งสองพันธุ์ ซึ่งพบว่าการใช้ GA_3 ความเข้มข้น 25 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พ่นในระยะหลังดอกแรกบาน และใช้ GA_3 ในระยะหลังดอกแรกบาน 15 วัน ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชะลอการร่วงของผลมะม่วงได้ 7 สัปดาห์ และ NeSmith and Krewer (1992) แก้ปัญหาบลูเบอรี่ติดผลยากด้วยการฉีด GA_3 ในระยะที่ตาดอกมีการพัฒนา เพื่อเพิ่มการติดผลให้มากขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. อิทธิพลต่อการเจริญของผล

การขยายขนาดของผลเกิดขึ้นต่อเนื่องมาจากการติดผล ในช่วงก่อนดอกบานจะมีการแบ่งเซลล์เป็นจำนวนมาก และมักจะหยุดเมื่อดอกบานแล้วหรือเริ่มติดผล ต่อมาจึงเป็นการขยายขนาดของเซลล์ซึ่งทำให้ผลมีขนาดใหญ่ขึ้น (พีรเดช, 2529) มีรายงานการศึกษาของ Goldschmidt (1983) พบว่า ในส้มหากมีการฉีดพ่น GA_3 ในระยะหลังดอกบาน 2 - 3 สัปดาห์ จะส่งผลให้ขนาดของผลส้มเพิ่มขึ้น และมีการใช้ GA_3 กับฝรั่งพันธุ์กลมสาลี่ โดยให้ความเข้มข้น 20 และ 40 ppm ในระยะหลังดอกบาน 7 วัน มีแนวโน้มทำให้ผลฝรั่งมีขนาดใหญ่ขึ้น (จิรดา, 2539) การพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระยะดอกบานและพ่นซ้ำอีกครั้งห่างจากครั้งแรก 1 เดือนสามารถเพิ่มขนาดและน้ำหนักขององุ่นพันธุ์ Charni ได้ (Khan and Singh, 1991) และในลิ้นจี่ซึ่ง Chang and Lin (2006) ได้ทดลองฉีด GA_3 ความเข้มข้น 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังดอกบาน 14 วัน พบว่าสามารถเพิ่มขนาดและน้ำหนักของลิ้นจี่ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ต้นมะคาเดเมีย พันธุ์เชียงใหม่ 700 อายุประมาณ 10 ปี ปลูกที่ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่
2. สารเคมี ได้แก่ สารจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) หรือชื่อทางการค้า คือ Pro-Gibb
3. เทอร์โมมิเตอร์ ชนิดวัดอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด
4. โฮโกรมิเตอร์ ชนิดกระเปาะแห้ง กระเปาะเปียก
5. เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ และไม้บรรทัด
6. เครื่องชั่งน้ำหนัก
7. อุปกรณ์และสารเคมี สำหรับการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเรณู ประกอบด้วย สารละลายที่ใช้เป็นอาหารเลี้ยงละอองเรณูสูตร Brewbaker & Kwack (1963) เติม sucrose 10% สไลด์หลุม กระจกปิดสไลด์ ปากคีบ (forcep) หลอดฉีดยา ขวดแก้ว
8. Fluorescein diacetate (FDA) ความเข้มข้น 0.01% ใช้ทดสอบความมีชีวิตของละอองเรณู
9. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการศึกษาทาง paraffin method อาทิเช่น Rotary microtome, TBA, Xylene, Ethyl alcohol, Safranin, Fast green และ Permount เป็นต้น
10. กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง กล้องจุลทรรศน์สามมิติ (Olympus CH30) กล้องฟลูออเรสเซนส์ (Zeiss Axioskop MC80) และอุปกรณ์บันทึกภาพ

วิธีการ

1. ศึกษาระยะเวลาการพัฒนาของดอกที่เหมาะสมในการให้สารจิบเบอเรลลิค แอซิด และอัตราความเข้มข้นของสารต่อการพัฒนาดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย

ศึกษาระยะเวลาการพัฒนาของดอกที่เหมาะสมในการให้สารจิบเบอเรลลิค แอซิด และอัตราความเข้มข้นของสารต่อการพัฒนาดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย ใช้ต้นมะคาเดเมีย อายุประมาณ 10 ปี โดยวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จัดการทดลองแบบ factorial จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปัจจัย A : ระยะของดอกที่ทำการฉีดพ่นสาร มี 3 ระยะ คือ 1) ระยะดอกตูม ขนาดดอกย่อย ยาว 10 มม. (pre bloom) 2) ระยะดอกบานเต็มที่ (full bloom) และ 3) ระยะหลังดอกบาน 1 สัปดาห์ (post bloom)

ปัจจัย B : ความเข้มข้นของสาร มี 5 ระดับ คือ 0 (control) 25 50 75 และ 100 ppm

วิธีการทดลอง

ทำการทดลองระหว่างเดือนตุลาคม 2550 ถึงเดือนมีนาคม 2551 โดยฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดตามระดับความเข้มข้นที่กำหนด ให้แก่ดอกมะคาเดเมียในแต่ละระยะให้ทั่วทั้งช่อดอก จนกระทั่งสารละลายหยดลงจากช่อดอก จำนวน 1 ครั้ง ศึกษาผลของจิบเบอเรลลิค แอซิด โดยใช้จำนวน 10 ช่อดอกต่อหน่วยการทดลอง นำมาศึกษาสิ่งต่างๆ ดังนี้

1. เปอร์เซ็นต์การติดผล

นับจำนวนผลทุกๆ 2 สัปดาห์ของการเจริญเติบโตของผลมะคาเดเมีย เพื่อศึกษาการหลุดร่วงของผล นำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การติดผลต่อช่อดอก และเปอร์เซ็นต์ผลร่วง

2. การเจริญเติบโตของผล

วัดขนาดผลด้านกว้างตามเส้นผ่านศูนย์กลางผลในส่วนที่กว้างที่สุด และด้านยาวจากโคนถึงปลายผล (เซนติเมตร) ทุกๆ 2 สัปดาห์ จนถึงการเก็บเกี่ยวครั้งสุดท้าย โดยวัดครั้งแรกหลังจากฉีดพ่นสารเป็นเวลา 2 สัปดาห์

3. ลักษณะทางกายภาพของผลหลังการเก็บเกี่ยว

3.1 น้ำหนักผล ชั่งน้ำหนักของแต่ละผล แล้วหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักผล

3.2 ขนาดผล วัดทั้งด้านกว้างและด้านยาวของผล และหาค่าเฉลี่ยของแต่ละด้าน แล้วนำมาคิดเป็นอัตราส่วนด้านยาวต่อด้านกว้าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3 จำนวนผลต่อช่อ นับจำนวนผลในการเก็บเกี่ยวครั้งสุดท้าย นำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การติดผลต่อช่อ

3.4 ขนาดของเนื้อในเมล็ด (kernel) วัดทั้งด้านกว้างและด้านยาวของเนื้อใน และหาค่าเฉลี่ยของแต่ละด้าน แล้วนำมาคิดเป็นอัตราส่วนด้านยาวต่อด้านกว้าง

นำผลการทดลองที่ได้จากเปอร์เซ็นต์การติดผล การเจริญเติบโตของผล และลักษณะทางกายภาพของผลหลังการเก็บเกี่ยว ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อตรวจสอบว่าอัตราความเข้มข้นของสารในระดับต่างๆ ส่งผลต่อการพัฒนาดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย

2. ศึกษาลำดับการพัฒนาทางด้านสัณฐานวิทยา กายวิภาคของดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย

ศึกษาลำดับการพัฒนาทางด้านสัณฐานวิทยา กายวิภาคของดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย โดยใช้ต้นมะคาเดเมีย อายุประมาณ 10 ปี

วิธีการทดลอง

การพัฒนาของตาดอกมะคาเดเมีย

1. เก็บตาดอกระยะต่างๆ ตั้งแต่ระยะพักตัว จนถึงระยะดอกตูมที่มีส่วนประกอบของดอก (floral part) ครบ ทุกๆ 1 สัปดาห์ นำมาศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์สามมิติ

2. ศึกษาโครงสร้างภายในของตาดอก โดยนำมาดองในสารละลาย Formalin acetic alcohol (FAA) ความเข้มข้น 50 % ดำเนินการตามวิธี Paraffin technique ของ Johansen (1940) และประศาสตร์ (2551) นำชิ้นตัวอย่างไปตัดตามยาวหนาประมาณ 10 - 15 ไมโครเมตร ย้อมด้วยสี safranin และ fast green

3. ศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของตาดอกภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สัณฐานวิทยาและกายวิภาคของดอกย่อยมะคาเดเมีย

1. สุ่มเก็บตัวอย่างดอกย่อยมะคาเดเมีย ทุกๆ 1 สัปดาห์ โดยเริ่มเก็บดอกอ่อนที่ยังตูมอยู่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 เซนติเมตร จนถึงระยะดอกบาน วัดความยาวดอกและนำมาศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์สามมิติ

2. ศึกษาโครงสร้างภายในดอกย่อยมะคาเดเมียในระยะต่างๆ โดยนำมาดองในสารละลาย Formalin acetic alcohol (FAA) ความเข้มข้น 50 % ดำเนินการตามวิธี Paraffin technique ของ Johansen (1940) และประศาสตร์ (2551) นำชิ้นตัวอย่างไปตัดตามยาวหนาประมาณ 10-15 ไมโครเมตร ย้อมด้วยสี safranin และ fast green

3. ศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของดอกย่อยภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

สัณฐานวิทยาและกายวิภาคของผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย

สุ่มเก็บตัวอย่างผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย ทุกๆ 1 สัปดาห์ โดยเริ่มเก็บผลแรกหลังดอกบาน จนถึงการเก็บเกี่ยวครั้งสุดท้าย ใช้ระยะเวลาประมาณ 10 เดือน จากนั้นดำเนินการตามวิธีการ Paraffin technique เช่นเดียวกับการศึกษาสัณฐานวิทยาและกายวิภาคของดอกมะคาเดเมีย นำมาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์สามมิติ และกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

3. ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำตาลซูโครสต่อการงอกหลอดเรณูมะคาเดเมีย

ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำตาลซูโครสต่อการงอกหลอดเรณูมะคาเดเมียโดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 6 treatment ดังนี้

Treatment 1 ไม่เติมน้ำตาลซูโครส (Control)
Treatment 2 เติมน้ำตาลซูโครส 5 เปอร์เซ็นต์
Treatment 3 เติมน้ำตาลซูโครส 10 เปอร์เซ็นต์
Treatment 4 เติมน้ำตาลซูโครส 15 เปอร์เซ็นต์
Treatment 5 เติมน้ำตาลซูโครส 20 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Treatment 6 เติมน้ำตาลซูโครส 25 เปอร์เซ็นต์

วิธีการทดลอง

เก็บอับเรณูจากดอกมะคาเดเมียที่สมบูรณ์ เลือกอับเรณูที่กำลังเริ่มแตก เคาะละอองเรณูให้ตกลงบนกระจกปิดสไลด์ (ใช้ดอกมะคาเดเมีย 4 ดอกต่อแผ่น) หยดอาหารเหลวสูตร Brewbaker & Kwack (1963) ที่เติมน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 0 5 10 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ลงไป คนให้เข้ากันแล้วคว่ำลงบนสไลด์หลุม ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาตรวจนับความมีชีวิตของละอองเรณูทุกๆ 2 ชั่วโมง โดยพิจารณาจากหลอดเรณูที่ยาวมากกว่าครึ่งหนึ่งของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางละอองเรณู หาเปอร์เซ็นต์การงอกของหลอดเรณูภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง คิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์จำนวนละอองเกสรทั้งหมด นำมาคำนวณ ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเรณู} = \frac{\text{จำนวนละอองเรณูที่งอก}}{\text{จำนวนละอองเรณูทั้งหมดที่สุ่มนับ}} \times 100$$

นำผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์การงอกหลอดเรณู ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อตรวจสอบว่าอัตราความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสในระดับต่างๆ ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การงอกหลอดเรณู

4. ศึกษาผลของสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ต่อความมีชีวิตและการงอกหลอดเรณูมะคาเดเมีย

ศึกษาผลของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดต่อความมีชีวิตและการงอกหลอดเรณูมะคาเดเมียโดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 5 treatment ดังนี้

Treatment 1 ไม่เติมสาร (Control)

Treatment 2 เติมสารจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) 25 ppm

Treatment 3 เติมสารจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) 50 ppm

Treatment 4 เติมสารจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) 75 ppm

Treatment 5 เติมสารจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) 100 ppm

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการทดลอง

การศึกษาความมีชีวิตของละอองเรณู

เก็บอับเรณูจากดอกมะคาเดเมียที่สมบูรณ์ เลือกอับเรณูที่กำลังเริ่มแตก (ใช้ดอกมะคาเดเมีย 4 ดอกต่อกระจกสไลด์ 1 แผ่น) เติมจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) ความเข้มข้น 0 25 50 75 และ 100 ppm ลงไป คนให้เข้ากัน ย้อมสีละอองเรณูด้วยสารละลาย FDA ความเข้มข้น 0.01% ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที จากนั้นดูดสารละลาย FDA ทิ้ง เติมน้ำเข้าไปแทนที่ นำละอองเรณูมานับหาการเรืองแสงภายใต้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนส์

การศึกษาเปอร์เซ็นต์การงอกหลอดเรณู

เก็บอับเรณูจากดอกมะคาเดเมียที่สมบูรณ์ เลือกอับเรณูที่กำลังเริ่มแตก เคาะละอองเรณูให้ตกลงบนกระจกปิดสไลด์ (ใช้ดอกมะคาเดเมีย 4 ดอกต่อแผ่น) หยดอาหารเหลวสูตร Brewbaker & Kwack (1963) ที่มีน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ เติมจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) ความเข้มข้น 0 25 50 75 และ 100 ppm ลงไป คนให้เข้ากันแล้วคว่ำลงบนสไลด์หลุม ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาตรวจนับความมีชีวิตของละอองเรณูทุกๆ 2 ชั่วโมง โดยพิจารณาจากหลอดเรณูที่ยาวมากกว่าครึ่งหนึ่งของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางละอองเรณู หาเปอร์เซ็นต์การงอกของหลอดเรณูภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

นำผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาความมีชีวิตของละอองเรณู และเปอร์เซ็นต์การงอกหลอดเรณู ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อตรวจสอบว่าอัตราความเข้มข้นของสารในระดับต่างๆ ส่งผลต่อความมีชีวิตของละอองเรณู และเปอร์เซ็นต์การงอกหลอดเรณู

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถานที่ทำการศึกษา

1. ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่

2. ห้องปฏิบัติการไมโครเทคนิคทางพืช ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

3. ห้องวิจัยโครงสร้างพืชและเซลล์วิทยา ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

4. ห้องกล้องจุลทรรศน์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

ระยะเวลาทำการศึกษา

เริ่มทำการศึกษาเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2549 สิ้นสุดเดือนตุลาคม พ.ศ. 2552

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผล

1. ระยะเวลาการพัฒนาของดอกที่เหมาะสมในการให้สารจิบเบอเรลลิค แอซิด และอัตราความเข้มข้นของสารต่อการพัฒนาดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย

การทดลองโดยการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ คือ 0 (ชุดควบคุม) 25 50 75 และ 100 ppm ให้แก่ดอกมะคาเดเมีย 3 ระยะ คือ ระยะดอกตูม ขนาดดอกย่อยยาว 10 มม. (pre bloom) ระยะดอกบานเต็มที่ (full bloom) และระยะหลังดอกบาน 1 สัปดาห์ (post bloom) ทำการทดลองระหว่างเดือนตุลาคม 2550 ถึงเดือนมีนาคม 2551 สภาพภูมิอากาศตลอดระยะการทดลองมีดังนี้

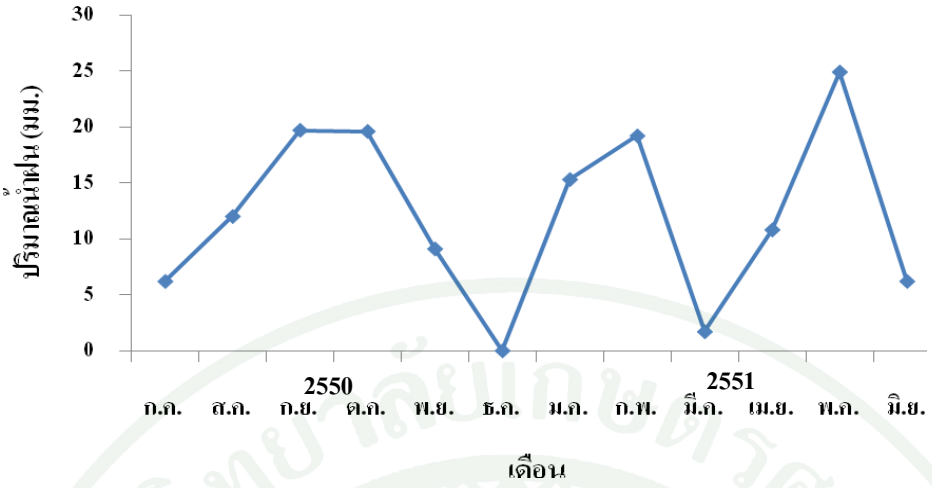
อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละเดือนตลอดระยะการทดลอง (ภาพที่ 1 และ 2) พบว่า ช่วงที่มีการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดแต่ละระดับความเข้มข้นให้แก่ดอกมะคาเดเมีย 3 ระยะมีอุณหภูมิเฉลี่ยค่อนข้างต่ำที่ 19.7 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 95.9 เปอร์เซ็นต์ และตลอดระยะการเจริญเติบโตของมะคาเดเมีย อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 17.1 – 22.4 องศาเซลเซียส และ 86.1 – 93.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ปริมาณน้ำฝน

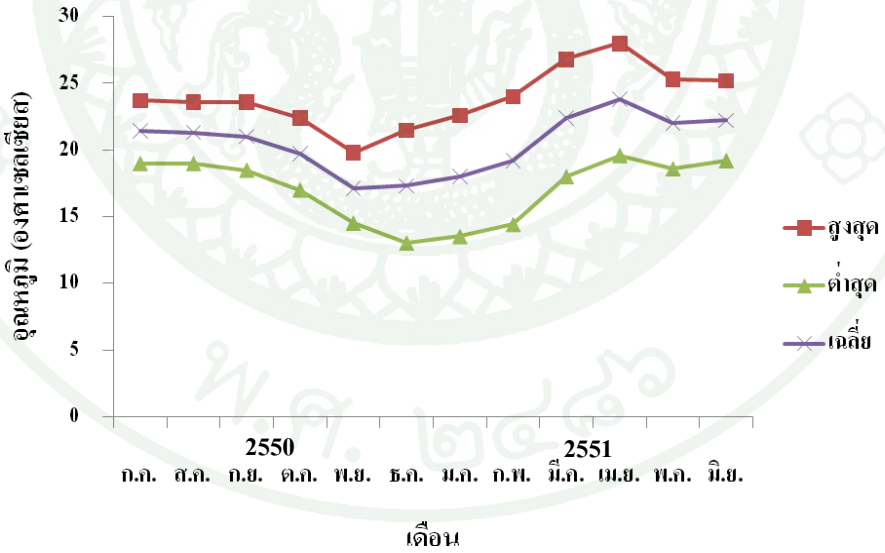
ปริมาณน้ำฝนในแต่ละเดือนตลอดระยะการทดลอง (ภาพที่ 3) พบว่า มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในแต่ละเดือนค่อนข้างต่ำอยู่ในช่วง 0 – 19.6 มิลลิเมตร โดยช่วงที่มีการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 19.6 มิลลิเมตร แล้วลดลงในเดือนต่อมา และไม่พบปริมาณน้ำฝนในเดือนธันวาคม 2550

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 ค่าปริมาณน้ำฝน ระหว่างการศึกษาระยะเวลาการพัฒนาของดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย ณ ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่

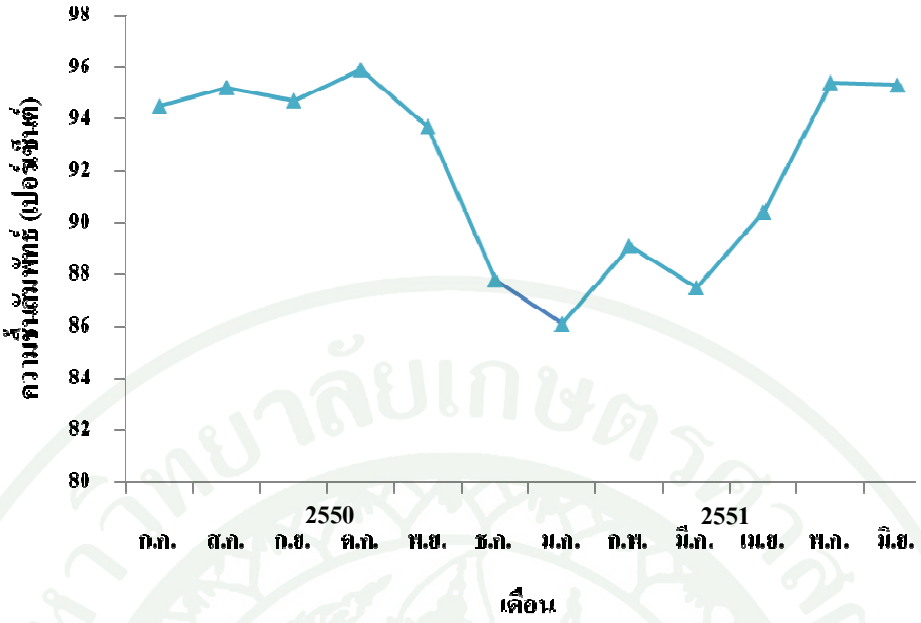
ที่มา: สถานีวิจัยอุตุนิยมวิทยา ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) พ.ศ. 2550 – 2551



ภาพที่ 2 ค่าอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ย ระหว่างการศึกษาระยะเวลาการพัฒนาของดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย ณ ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่

ที่มา: สถานีวิจัยอุตุนิยมวิทยา ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) พ.ศ. 2550 – 2551

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ระหว่างการศึกษาระยะเวลาการพัฒนาของดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย ณ ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่

ที่มา: สถานีวิจัยอุตุนิยมวิทยา ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ (ขุนวาง) พ.ศ. 2550 – 2551

หลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับให้แก่ดอกมะคาเดเมีย 3 ระยะ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

1.1 เปอร์เซ็นต์การติดผล

ระยะดอกตูม ขนาดดอกย่อยยาว 10 มม. หลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่าเปอร์เซ็นต์การติดผลสูงที่สุดที่ระดับความเข้มข้น 25 ppm ตลอดระยะเวลาการเติบโตของผล (14 – 160 วัน) ที่ระยะเวลา 14 วัน พบเปอร์เซ็นต์การติดผลสูงที่สุดคือ 4.07 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มการติดผลลดลงจนถึงระยะเวลา 160 วัน รองลงมาคือที่ระดับความเข้มข้น 75 ppm พบเปอร์เซ็นต์การติดผลคือ 1.75 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มการติดผลลดลงเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 4)

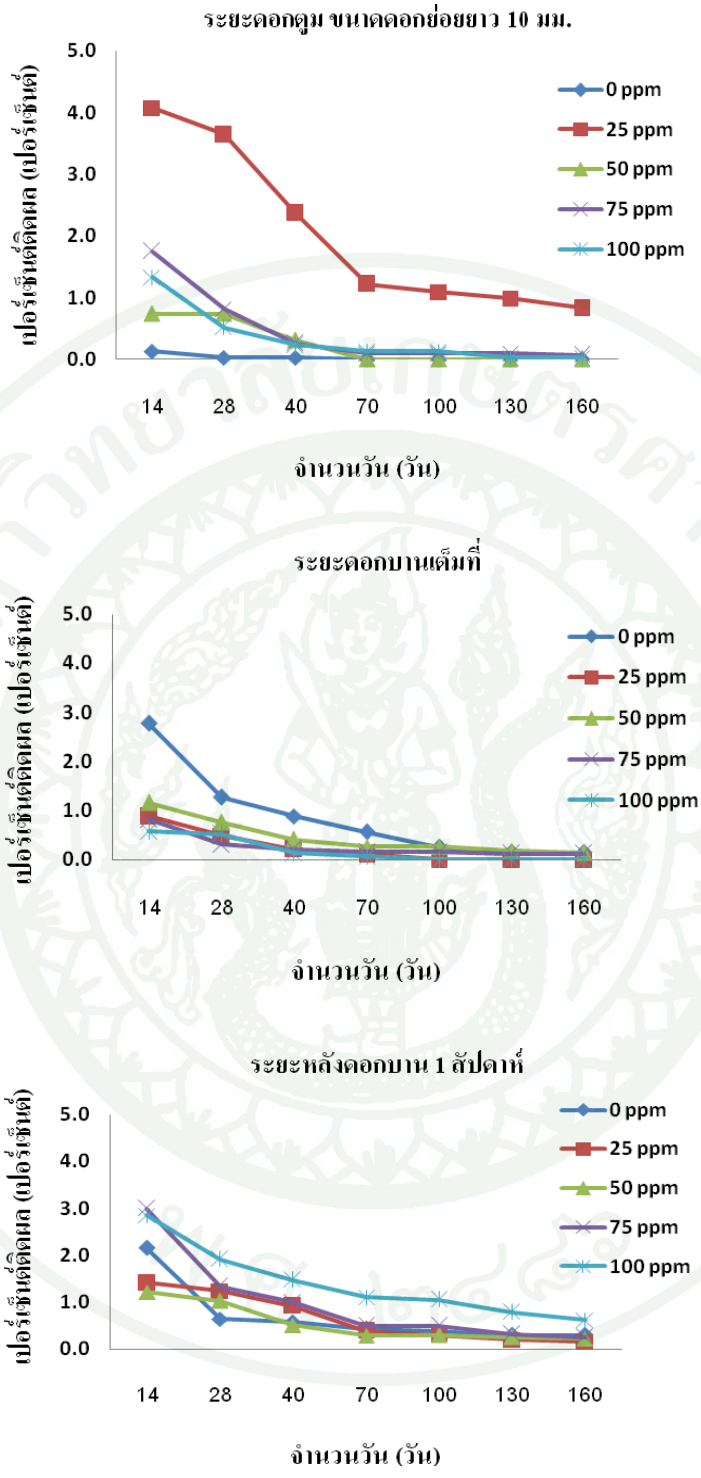
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะดอกบานเต็มที่ หลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่าเปอร์เซ็นต์การติดผลสูงที่สุดที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm ตลอดระยะเวลาการเติบโตของผล (14 – 160 วัน) ที่ระยะเวลา 14 วัน พบเปอร์เซ็นต์การติดผลสูงที่สุดคือ 2.77 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มลดลงจนถึงระยะเวลา 160 วัน รองลงมาคือที่ระดับความเข้มข้น 50 25 75 และ100 ppm พบเปอร์เซ็นต์การติดผลคือ 1.16 0.88 0.82 และ 0.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีแนวโน้มการติดผลลดลงเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 4)

ระยะหลังดอกบาน 1 สัปดาห์ หลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่าเปอร์เซ็นต์การติดผลมากที่สุดที่ระดับความเข้มข้น 75 ppm ตลอดระยะเวลาการเติบโตของผล (14 - 160 วัน) ที่ระยะเวลา 14 วัน พบเปอร์เซ็นต์การติดผลสูงที่สุดคือ 2.99 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มลดลงจนถึงระยะเวลา 160 วัน รองลงมาคือที่ระดับความเข้มข้น 100 0 25 และ 50 ppm พบเปอร์เซ็นต์การติดผลคือ 2.85 2.15 1.41 และ 1.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีแนวโน้มการติดผลลดลงเช่นเดียวกัน แต่ยังคงมีเปอร์เซ็นต์การติดผลที่สูงอยู่ (มากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์) ตลอดระยะเวลาการเติบโตของผล (14 - 160 วัน) (ภาพที่ 4)

เมื่อพิจารณาระยะดอกและระดับความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดหลังการฉีดพ่นสาร ที่ระยะเวลา 14 วัน พบว่า ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การติดผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อีกทั้งระยะดอกและระดับความเข้มข้นของสารไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อเปอร์เซ็นต์การติดผล โดยระยะดอกทั้ง 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิคที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ มีเปอร์เซ็นต์การติดผลใกล้เคียงกัน คือ 0.20 – 4.07 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีแนวโน้มให้เปอร์เซ็นต์การติดผลสูงสุด 4.07 เปอร์เซ็นต์ เมื่อฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ความเข้มข้น 25 ppm ให้กับดอกมะคาเดเมียระยะดอกตูม ขนาดดอกย่อยยาว 10 มม. (ตารางที่ 2)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 เปอร์เซ็นต์การติดผลของดอกมะคาเดเมีย 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ ตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของผล (14 - 160 วัน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์การติดผลของดอกมะคาเดเมีย 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ ที่ระยะเวลา 14 วัน

ความเข้มข้นของ GA_3 (ppm)	เปอร์เซ็นต์การติดผล			เฉลี่ย
	ระยะดอกตูม ขนาดดอกย่อยยาว 10 มม.	ระยะดอกบานเต็มที่	ระยะหลังดอกบาน 1 สัปดาห์	
0	0.20	2.77	2.15	1.89
25	4.07	0.88	1.41	2.12
50	0.74	1.16	1.22	1.04
75	1.75	0.82	2.67	1.75
100	1.33	0.57	2.85	1.58
เฉลี่ย	1.72	1.24	2.06	
F-test ความเข้มข้นของ GA_3 (G)		ns		
F-test ระยะดอก (S)		ns		
F-test G x S		ns		
CV (%)		87.25		

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.2 การเจริญเติบโตของผล

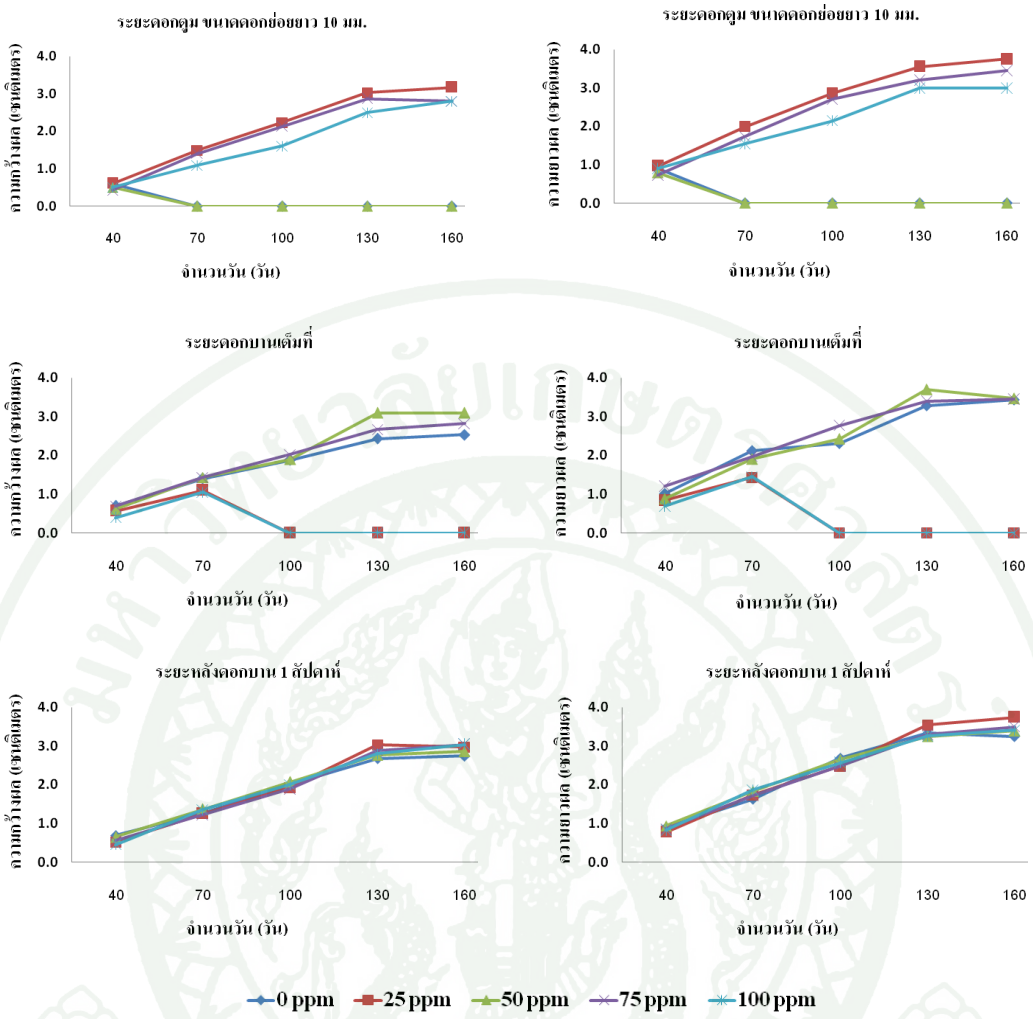
ระยะดอกตูม ขนาดดอกย่อยยาว 10 มม. หลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ โดยวัดครั้งแรกที่ระยะ 40 วันหลังการฉีดพ่นสารจนถึงระยะเก็บเกี่ยว (160 วัน)ทั้งความกว้างและความยาวของผล พบว่ามีการเจริญเติบโตของผล โดยผลที่ได้รับการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดที่ระดับความเข้มข้น 25 ppm มีแนวโน้มการเจริญเติบโตทั้งความกว้างและความยาวของผลใหญ่ที่สุด รองลงมาคือที่ระดับความเข้มข้น 75 และ 100 ppm ตามลำดับ แต่ที่ระดับความเข้มข้น 0 และ 50 ppm พบการร่วงของผลในช่วงระยะเวลา 70 วันของการเจริญเติบโต (ภาพที่ 5)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะดอกบานเต็มที่ หลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่ามีการเจริญเติบโตของผลตลอดระยะเวลา 160 วัน โดยผลที่ได้รับการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้น 50 ppm มีแนวโน้มการเจริญเติบโตทั้งความกว้างและความยาวของผลใหญ่ที่สุด รองลงมาพบว่ามีการเจริญเติบโตของผลใกล้เคียงกันคือที่ระดับความเข้มข้น 75 และ 0 ppm แต่ที่ระดับความเข้มข้น 25 และ 100 ppm พบการร่วงของผลในช่วงระยะเวลา 100 วันของการเจริญเติบโต (ภาพที่ 5)

ระยะหลังดอกบาน 1 สัปดาห์ หลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่ามีการเจริญเติบโตของผลตลอดระยะเวลา 160 วัน โดยผลที่ได้รับการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ทุกระดับความเข้มข้นมีการเจริญเติบโตทั้งความกว้างและความยาวของผลใกล้เคียงกัน และในการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ให้แก่ดอกมะคาเดเมียระยะนี้ไม่พบการร่วงของผล (ภาพที่ 5)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 5 ความกว้างและความยาวของผลมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ ตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของผล (40 - 160 วัน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3 ลักษณะทางกายภาพของผลหลังการเก็บเกี่ยว

เมื่อเก็บเกี่ยวผลมะคาเดเมีย ที่อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ คือ 0 (ชุดควบคุม) 25 50 75 และ 100 ppm ในระยะต่างๆ พบลักษณะทางกายภาพดังนี้

1.3.1 น้ำหนักผล

จากผลการทดลอง พบว่า ระยะดอกและระดับความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดไม่มีผลทำให้น้ำหนักผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ระยะดอกและระดับความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อน้ำหนักผล โดยระยะดอกทั้ง 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ให้น้ำหนักผลใกล้เคียงกัน คือ 10.53 – 18.85 กรัม ซึ่งมีแนวโน้มให้น้ำหนักผลสูงสุด 18.85 กรัม เมื่อฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดความเข้มข้น 25 ppm ให้กับดอกมะคาเดเมียระยะดอกตูม ขนาดดอกย่อยยาว 10 มม. อีกทั้งยังพบการหลุดร่วงของผลในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตของมะคาเดเมียระยะดอกตูม ขนาดดอกย่อยยาว 10 มม. ที่ระดับความเข้มข้น 0 และ 50 ppm และระยะดอกบานเต็มที่ ที่ระดับความเข้มข้น 25 และ 100 ppm (ตารางที่ 3)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 น้ำหนักผลมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิคแอซิดที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)

ความเข้มข้นของ GA_3 (ppm)	น้ำหนักผล (กรัม)			เฉลี่ย
	ระยะดอกตูมขนาดดอกย่อยยาว 10 มม.	ระยะดอกบานเต็มที่	ระยะหลังดอกบาน 1 สัปดาห์	
0	nd [1/]	10.53	12.76	11.09
25	18.85	nd	16.14	17.77
50	nd	17.21	14.41	15.81
75	13.13	14.14	17.69	15.37
100	12.56	nd	17.20	16.04
เฉลี่ย	15.90	13.47	16.23	
F-test ความเข้มข้นของ GA_3 (G)		ns		
F-test ระยะดอก (S)		ns		
F-test G x S		ns		
CV (%)		17.17		

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1/ nd = no data เนื่องจากผลร่วงในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตของผล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3.2 ความกว้างและความยาวผล

จากผลการทดลอง พบว่า ระยะดอกและระดับความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดไม่มีผลทำให้ความกว้างและความยาวผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ระยะดอกและระดับความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อความกว้างและความยาวผล โดยระยะดอกทั้ง 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ให้ความกว้างและความยาวผลใกล้เคียงกัน คือ ความกว้างตั้งแต่ 2.53 – 3.17 เซนติเมตร และความยาวตั้งแต่ 3.00 – 3.76 เซนติเมตร ซึ่งมีแนวโน้มให้ความกว้างและความยาวผลใหญ่ที่สุด คือ ความกว้าง 3.17 เซนติเมตร และความยาว 3.76 เซนติเมตร เมื่อฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดความเข้มข้น 25 ppm ให้กับดอกมะคาเดเมียระยะดอกตูม ขนาดดอกย่อยยาว 10 มม. อีกทั้งยังพบการหลุดร่วงของผลในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตของมะคาเดเมียระยะดอกตูม ขนาดดอกย่อยยาว 10 มม. ที่ระดับความเข้มข้น 0 และ 50 ppm และระยะดอกบานเต็มที่ ที่ระดับความเข้มข้น 25 และ 100 ppm (ตารางที่ 4)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 ความกว้างและความยาวของผลมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)

ความเข้มข้นของ GA_3 (ppm)	ความกว้าง (ซม.)				ความยาว (ซม.)			
	ระยะดอกตูม ขนาดดอกย่อย ยาว 10 มม.	ระยะดอกบานเต็มที่	ระยะหลังดอกบาน 1 สัปดาห์	เฉลี่ย	ระยะดอกตูม ขนาดดอกย่อย ยาว 10 มม.	ระยะดอกบานเต็มที่	ระยะหลังดอกบาน 1 สัปดาห์	เฉลี่ย
0	nd [1/]	2.53	2.74	2.59	nd	3.43	3.25	3.39
25	3.17	nd	2.97	3.09	3.76	nd	3.74	3.75
50	nd	3.09	2.86	2.98	nd	3.47	3.39	3.43
75	2.80	2.82	3.04	2.91	3.45	3.45	3.49	3.47
100	2.80	nd	3.04	2.98	3.00	nd	3.41	3.37
เฉลี่ย	2.99	2.77	2.97		3.53	3.45	3.49	
F-test ความเข้มข้นของ GA_3 (G)		ns				ns		
F-test ระยะดอก (S)		ns				ns		
F-test G x S		ns				ns		
CV (%)		5.88				7.06		

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1/ nd = no data เนื่องจากผลร่วงในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตของผล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3.3 จำนวนช่อต่อต้นและจำนวนผลต่อช่อ

จากผลการทดลอง พบว่า ระยะดอกและระดับความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดไม่มีผลทำให้จำนวนช่อต่อต้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ระยะดอกและระดับความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อจำนวนช่อต่อต้น โดยระยะดอกทั้ง 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ให้จำนวนช่อต่อต้นใกล้เคียงกัน คือ 1.00 – 4.67 ช่อ ซึ่งมีแนวโน้มให้จำนวนช่อต่อต้นสูงสุด 4.67 ช่อ เมื่อฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดความเข้มข้น 25 ppm ให้กับดอกมะคาเดเมียระยะดอกตูม ขนาดดอกย่อยยาว 10 มม. (ตารางที่ 5)

ในส่วนของจำนวนผลต่อช่อ พบว่าระยะดอกและระดับความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดมีผลทำให้จำนวนผลต่อช่อแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ระยะดอกและระดับความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อจำนวนผลต่อช่อ โดยดอกมะคาเดเมียในระยะหลังดอกบาน 1 สัปดาห์ ให้จำนวนผลต่อช่อสูงสุดเฉลี่ย 2.06 ผล และเมื่อฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดความเข้มข้น 50 ppm ให้จำนวนผลต่อช่อสูงสุดเฉลี่ย 1.92 ผล เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นอื่นๆ โดยที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม อีกทั้งยังพบการหลุดร่วงของผลในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตของมะคาเดเมียระยะดอกตูม ขนาดดอกย่อยยาว 10 มม. ที่ระดับความเข้มข้น 0 และ 50 ppm และระยะดอกบานเต็มที่ ที่ระดับความเข้มข้น 25 และ 100 ppm (ตารางที่ 5)

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การติดผล หลังการเก็บเกี่ยว พบว่า ระยะดอกและระดับความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดไม่มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การติดผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ระยะดอกและระดับความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อเปอร์เซ็นต์การติดผล โดยหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ความเข้มข้น 25 ppm ทำให้เปอร์เซ็นต์การติดผลหลังการเก็บเกี่ยวสูงสุด 0.83 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 6)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 จำนวนช่อต่อต้นและจำนวนผลต่อช่อของมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)

ความเข้มข้นของ GA_3 (ppm)	จำนวนช่อต่อต้น (ช่อ)				จำนวนผลต่อช่อ (ผล)			
	ระยะดอกตูม ขนาดดอกย่อย ยาว 10 มม.	ระยะดอกบานเต็มที่	ระยะหลังดอกบาน 1 สัปดาห์	เฉลี่ย	ระยะดอกตูม ขนาดดอกย่อย ยาว 10 มม.	ระยะดอกบานเต็มที่	ระยะหลังดอกบาน 1 สัปดาห์	เฉลี่ย
0	nd [1/]	1.00	1.00	1.00	nd	1.33	8.00	3.00 b [2/]
25	4.67	nd	2.00	3.60	1.81	nd	1.25	1.59 a
50	nd	1.00	2.00	1.50	nd	2.50	1.34	1.92 ab
75	1.00	1.00	1.67	1.29	1.00	2.00	1.33	1.43 a
100	1.00	nd	2.67	2.25	1.00	nd	1.83	1.63 a
เฉลี่ย	2.83	1.00	2.00		1.41	1.86	2.06	
F-test ความเข้มข้นของ GA_3 (G)		ns				*		
F-test ระยะดอก (S)		ns				*		
F-test G x S		ns				*		
CV (%)		55.59				39.52		

ns และ * ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

1/ nd = no data เนื่องจากผลร่วงในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตของผล

2/ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันตามสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 เปอร์เซ็นต์การติดผลของดอกมะคาเดเมีย 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)

ความเข้มข้นของ GA_3 (ppm)	เปอร์เซ็นต์การติดผล			เฉลี่ย
	ระยะดอกตูมขนาดดอกย่อยยาว 10 มม.	ระยะดอกบานเต็มที่	ระยะหลังดอกบาน 1 สัปดาห์	
0	nd [1/]	0.14	0.91	0.34
25	0.83	nd	0.24	0.59
50	nd	0.21	0.33	0.27
75	0.10	0.19	0.25	0.19
100	0.09	nd	0.62	0.49
เฉลี่ย	0.46	0.18	0.42	
F-test ความเข้มข้นของ GA_3 (G)		ns		
F-test ระยะดอก (S)		ns		
F-test G x S		*		
CV (%)		68.91		

ns และ * ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

1/ nd = no data เนื่องจากผลร่วงในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตของผล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3.4 ความกว้างและความยาวของเนื้อในเมล็ด (kernel)

จากผลการทดลอง พบว่า ระยะดอกและระดับความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดไม่มีผลทำให้ความกว้างและความยาวของเนื้อในเมล็ดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ระยะดอกและระดับความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อความกว้างและความยาวของเนื้อในเมล็ด โดยระยะดอกทั้ง 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ให้ความกว้างและความยาวผลใกล้เคียงกัน คือ ความกว้างตั้งแต่ 0.78 – 1.68 เซนติเมตร และความยาวตั้งแต่ 1.10 – 1.99 เซนติเมตร อีกทั้งยังพบการหลุดร่วงของผลในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตของมะคาเดเมียระยะดอกตูม ขนาดดอกย่อยยาว 10 มม. ที่ระดับความเข้มข้น 0 และ 50 ppm และระยะดอกบานเต็มที่ ที่ระดับความเข้มข้น 25 และ 100 ppm (ตารางที่ 7)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 ความกว้างและความยาวของเนื้อในเมล็ดมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)

ความเข้มข้นของ GA_3 (ppm)	ความกว้าง (ซม.)				ความยาว (ซม.)			
	ระยะดอกตูม ขนาดดอกย่อย ยาว 10 มม.	ระยะดอกบาน เต็มที่	ระยะหลังดอก บาน 1 สัปดาห์	เฉลี่ย	ระยะดอกตูม ขนาดดอกย่อย ยาว 10 มม.	ระยะดอกบาน เต็มที่	ระยะหลังดอก บาน 1 สัปดาห์	เฉลี่ย
0	nd [1/]	0.78	1.24	0.90	nd	1.10	1.59	1.22
25	1.54	nd	1.47	1.51	1.88	nd	1.84	1.86
50	nd	1.68	1.49	1.58	nd	1.98	1.77	1.87
75	1.35	1.37	1.54	1.44	1.75	1.75	1.99	1.85
100	1.60	nd	1.53	1.55	1.80	nd	1.93	1.90
เฉลี่ย	1.49	1.20	1.49		1.82	1.54	1.87	
F-test ความเข้มข้นของ GA_3 (G)		ns				ns		
F-test ระยะดอก (S)		ns				ns		
F-test G x S		ns				ns		
CV (%)		68.77				15.54		

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1/ nd = no data เนื่องจากผลร่วงในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตของผล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การพัฒนาทางด้านสัณฐานวิทยา กายวิภาคของดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย

2.1 การพัฒนาของปลายยอด (shoot apex)

จากการศึกษาบริเวณปลายยอดมะคาเดเมีย โดยการตัดตามยาวและศึกษาลักษณะสัณฐานปลายยอดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าเนื้อเยื่อเจริญปลายยอด (apical meristem) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อสองชนิด คือ ทูนิกา (tunica) และคอร์ปัส (corpus) (ภาพที่ 6 ข) โดยทูนิกาอยู่ด้านนอกสุด มี 2 ชั้น เซลล์รูปร่างสี่เหลี่ยม เห็นนิวเคลียสชัดเจน แบ่งตัวในแนวตั้งฉาก (anticlinal) เซลล์เรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ ถัดลงไปเป็นคอร์ปัสมีประมาณ 3 – 4 ชั้น แบ่งตัวในแนวตั้งฉากและขนาน (periclinal) เซลล์รูปร่างสี่เหลี่ยม บางเซลล์ค่อนข้างกลม ขนาดใหญ่ เรียงตัวต่อกันอย่างไม่เป็นระเบียบ เซลล์ที่ได้จากการแบ่งตัวของทูนิกาจะเปลี่ยนไปเป็นเนื้อเยื่อรอบนอก ซึ่งจะพัฒนาไปเป็นชั้นเอพิเดอร์มิส (epidermis) และจากการแบ่งตัวของคอร์ปัสจะได้ flank meristem และ rib meristem โดย flank meristem แบ่งตัวและพัฒนาเป็นเนื้อเยื่อโพรแคมเบียม (procambium) ปุ่มกำเนิดใบ (leaf primordium) และบางส่วนของไส้ไม้ (pith) ส่วน rib meristem แบ่งตัวและพัฒนาไปเป็นไส้ไม้ (ภาพที่ 6 ก)

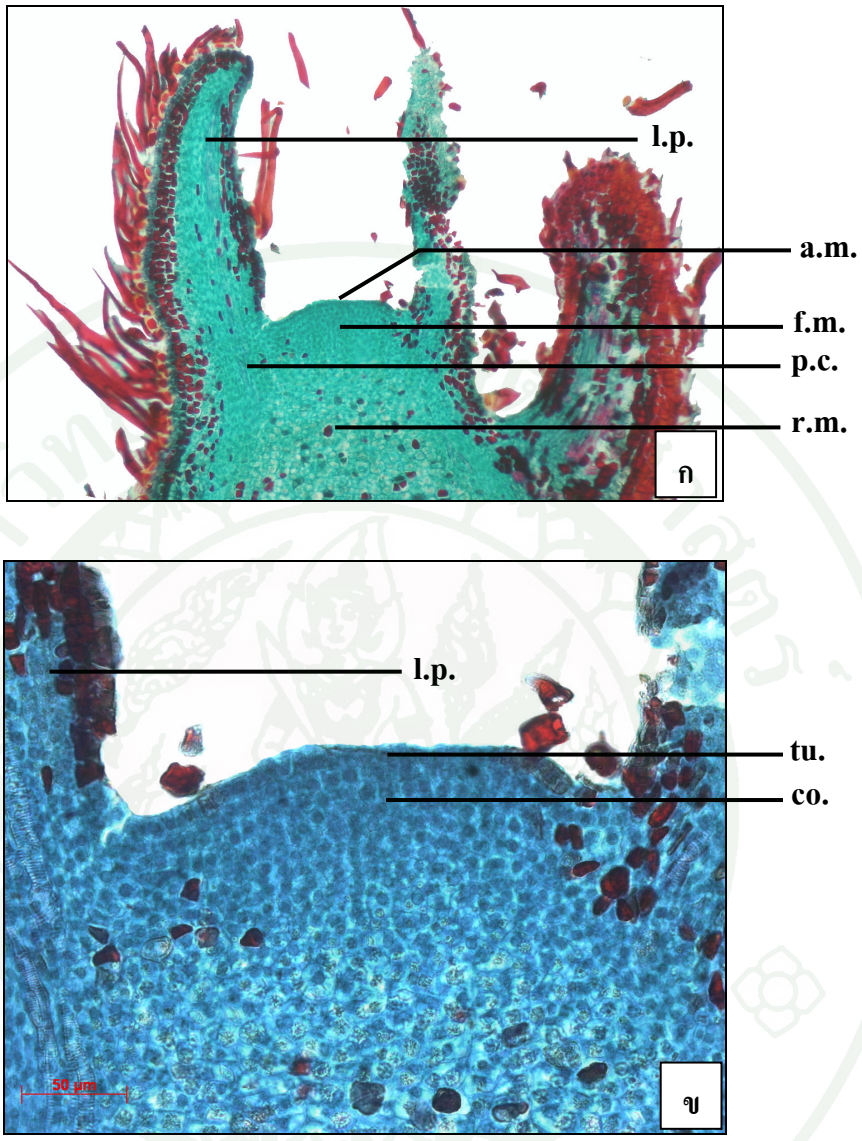
2.2 การพัฒนาของตาช่อดอกมะคาเดเมีย

ตาช่อดอกมะคาเดเมียเกิดขึ้นบริเวณซอกใบหรือเหนือรอยแผลที่ใบร่วง และเกิดกับกิ่งแขนงที่มีอายุมากกว่า 1 ปีขึ้นไป เริ่มมองเห็นด้วยตาเปล่า มีลักษณะเป็นตุ่มเล็กๆ เป็นตาช่อดอก (floral bud) ระยะแรกมีความกว้าง ประมาณ 1.0 มิลลิเมตร ยาว 2.5 มิลลิเมตร (ภาพที่ 7 ก) ประกอบด้วยใบเกล็ดหุ้มตา (bud scale) ขนาดใหญ่ จำนวน 1 ใบ ห่อหุ้มตาช่อดอกอยู่ ผิวนอกของใบเกล็ดหุ้มตามีขนอ่อนปกคลุม (ภาพที่ 8 ก) ปลายสุดเป็นเนื้อเยื่อเจริญปลายยอดลักษณะโค้งนูน มีทูนิกา 1 ชั้น และคอร์ปัส 2 - 3 ชั้น บริเวณด้านข้างของเนื้อเยื่อเจริญปลายยอดจะก่อตัวเป็นปุ่มกำเนิดของใบประดับ (bract) (ภาพที่ 8 ข) และบริเวณซอกของใบประดับแต่ละอันเป็นที่เกิดของปุ่มกำเนิดดอกย่อย (floral primordium) (ภาพที่ 8 ค) เมื่อปุ่มกำเนิดของใบประดับชั้นที่ 1 กำลังก่อตัว บริเวณซอกใบประดับชั้นถัดลงมาเกิดการก่อตัวของปุ่มกำเนิดดอกย่อย ภายในตาช่อดอกประกอบด้วยดอกย่อยเรียงเป็นเกลียว (spiral) เยื้องกันขึ้นไปเล็กน้อย ตาช่อดอกที่เจริญเต็มที่มีใบประดับประมาณ 13 ชั้น ในแนวตั้ง ใช้เวลาในการพัฒนาประมาณ 2 สัปดาห์หลังสร้างปุ่มกำเนิดดอก ในขณะที่มีการพัฒนาของตาดอกย่อย ส่วนของก้านช่อดอก (rachis) มีการเจริญยืดยาวออกอย่างรวดเร็ว ตาดอกย่อยบริเวณโคนช่อดอกจะพัฒนาเร็วกว่าตาดอกบริเวณส่วนปลาย (ภาพที่ 8 ก)ในส่วนของตาช่อดอกเมื่อมีการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เจริญและพัฒนาอย่างเต็มที่จะเจริญเป็นช่อดอก ซึ่งเป็นแบบกระจะ (raceme) คือดอกย่อยออกจากแกนช่อดอก แต่ละดอกย่อยมีก้านดอก (pedicel) ช่อดอกยาวห้อยคล้ายหางกระรอก ยาวเฉลี่ย 17.9 เซนติเมตร (7.0 – 30.0 เซนติเมตร) แต่ละช่อมีจำนวนดอกย่อยเฉลี่ย 50 – 160 ดอก (ภาพที่ 7 ข)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 6 ลักษณะทางกายวิภาคของปลายยอดมะคาเดเมีย

ก. ปลายยอดมะคาเดเมีย แสดง flank meristem rib meristem และ โพรแคมเบียม

ข. ภาพขยาย ปลายยอดมะคาเดเมีย แสดง ทูนิกา คอร์ปัส และปุ่มกำเนิดใบ

f.m. - flank meristem, r.m. - rib meristem, p.c. - procambium, a.m. - apical meristem, tu. - tunica, co. - corpus, l.p. - leaf primordium

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



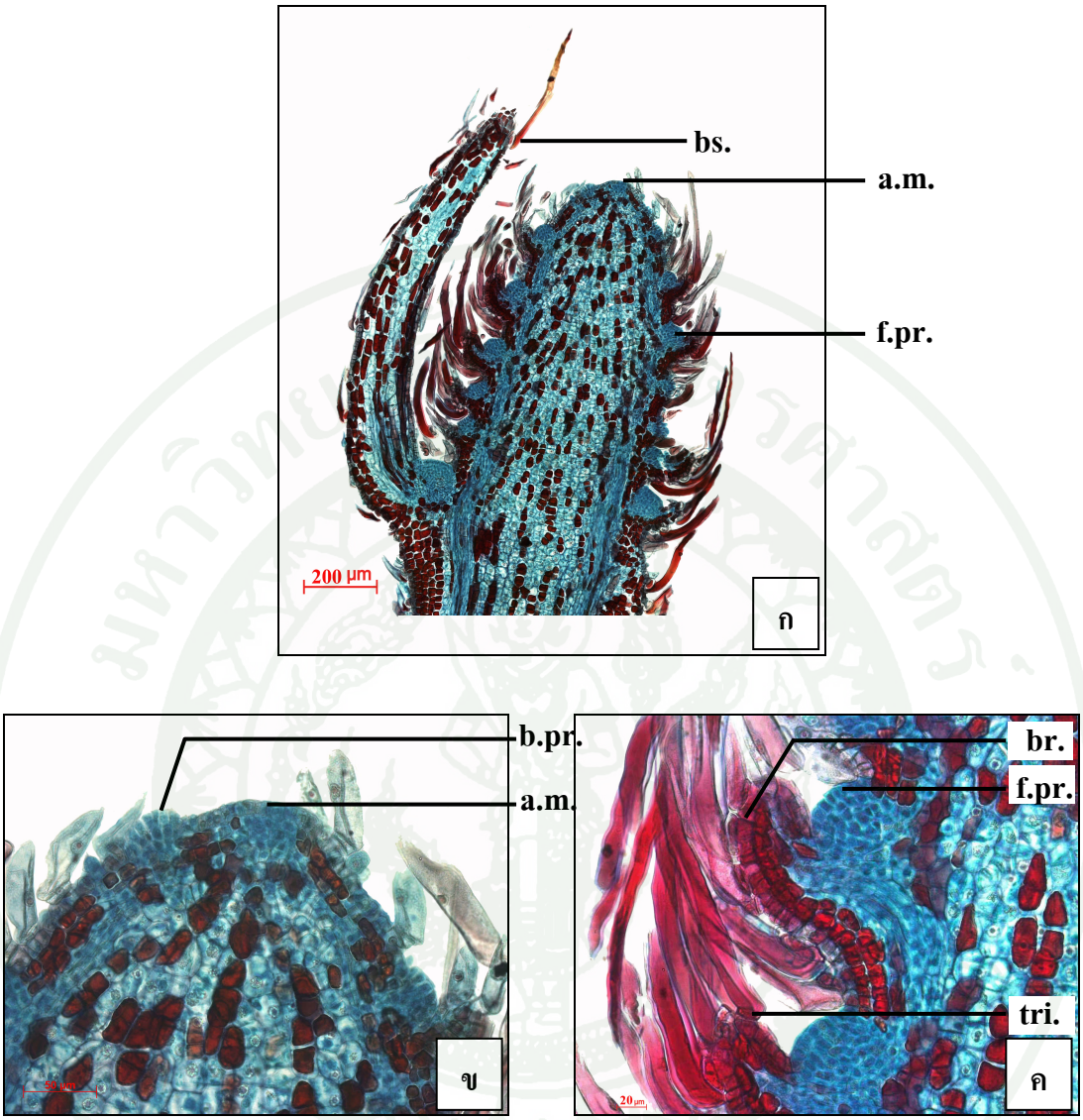
ภาพที่ 7 ตำแหน่งของตาช่อดอกและลักษณะช่อดอกมะคาเดเมีย

ก. แสดงลักษณะและตำแหน่งของตาช่อดอก

ข. ช่อดอกแบบกระจะ

fb. - floral bud

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 8 การพัฒนาของตาช่อดอกมะคาเดเมีย อายุ 2 สัปดาห์หลังสร้างปุ่มกำเนิดดอก

ก. ตาช่อดอก แสดงใบเกล็ดหุ้มตา เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด และปุ่มกำเนิดดอกย่อย

ข. เนื้อเยื่อเจริญปลายช่อดอก

ค. ปุ่มกำเนิดดอกย่อย

bs. - bud scale, a.m. - apical meristem, f.pr. - floral primordium, tri. - trichome

b.pr. - bract primordium, f.pr. - floral primordium, br. - bract

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 การพัฒนาของดอก

ปุ่มกำเนิดของดอก (floral primordium) เกิดขึ้นที่ซอกของใบประดับ (bract) แต่ละอันมีลักษณะโค้งนูน (ภาพที่ 8 ค) เกิด initial cell ตรงด้านข้างของ central primordium ทั้งสองข้าง (ภาพที่ 9 ก) ก่อตัวเป็นปุ่มกำเนิดของกลีบเลี้ยง (sepal primordium) ซึ่งขยายขนาดและยืดตัวสูงขึ้นเป็นกลีบเลี้ยง (ภาพที่ 9 ข) ขณะเดียวกันมีปุ่มกำเนิดของกลีบดอกก่อตัวบริเวณด้านข้างของ central primordium เจริญเป็นกลีบดอก หลังจากนั้นจะมีการก่อตัวเป็นปุ่มกำเนิดของเกสรเพศผู้ (stamen primordium) (ภาพที่ 9 ค) และเป็นปุ่มกำเนิดของเกสรเพศเมีย (pistil primordium) ขึ้นรอบๆ เนื้อเยื่อส่วนกลางตามลำดับ จนเจริญเป็นส่วนประกอบต่างๆ ของดอกจนครบ (ภาพที่ 9 ง) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 3 สัปดาห์หลังสร้างปุ่มกำเนิดดอก ดอกมีความกว้างเฉลี่ย 0.7 มิลลิเมตร ยาว 1.0 มิลลิเมตร

ดอก มีกลีบเลี้ยงและกลีบดอกเชื่อมติดกันเป็นหลอดสีขาวหรือขาวครีม เรียกกลีบรวม (perianth) ปลายแยกเป็นแฉกหลังดอกบาน ผิวด้านในเกลี้ยง ผิวด้านนอกมีขน เมื่อกลีบดอกเปิดมองเห็นอับเรณู (anther) สีเหลืองอ่อน เรียงตัวเชื่อมติดอยู่บนกลีบรวม ภายในมีละอองเรณู (pollen grain) จำนวนมาก ซึ่งดอกระยะนี้มีอายุประมาณ 9 สัปดาห์หลังสร้างปุ่มกำเนิดดอก (ภาพที่ 9 จ) หลังระยะดอกบานเต็มที่ (anthesis) ประมาณ 1 สัปดาห์ กลีบรวมจะเหี่ยวและหลุดออกจากฐานรองดอก

กายวิภาคของกลีบรวม ประกอบด้วยชั้นเอพิเดอร์มิส (epidermis) ทั้งด้านบนและด้านล่าง ประกอบด้วยเซลล์เพียงชั้นเดียว เซลล์ผิวทางด้านบนมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าตามแนวนอน บางเซลล์เปลี่ยนรูปร่างเป็นขน (ภาพที่ 10 ข) ผิวด้านนอกพบคิวติเคิล (cuticle) เคลือบหนากว่าทางด้านล่าง เซลล์ผิวทางด้านล่าง มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ชั้นเอพิเดอร์มิสบริเวณส่วนปลายของกลีบรวมมีลักษณะเป็นปุ่มเล็ก (papillae) (ภาพที่ 10 ค) เซลล์ใต้ชั้นเอพิเดอร์มิสทั้งทางด้านบนและด้านล่างเกือบทุกเซลล์มีสารติดสีเข้มสะสมอยู่ภายใน (ภาพที่ 10 ก และ ค) ชั้นมีโซฟิลล์ (mesophyll) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อพาเรงคิมา (parenchyma) ขนาดใหญ่ ผนังบาง เห็นนิวเคลียสชัดเจน เซลล์เรียงตัวกันอย่างหลวมๆ มีกลุ่มท่อลำเลียงแทรกตัวอยู่บริเวณตรงกลาง 5 กลุ่มต่อกลีบ เรียงเป็นแถวตลอดความกว้างของกลีบรวม

กายวิภาคของเกสรเพศผู้ เกสรเพศผู้ (stamen) มี 4 อันและมีก้าน (filament) สั้น เชื่อมติดอยู่บนกลีบรวม ภายในมีกลุ่มท่อลำเลียงแทรกตัวอยู่ (ภาพที่ 11 ค) ส่วนปลายเป็นอับเรณู (anther)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4 อัน แต่ละอันมีอับเรณู 2 พูๆ ละ 2 ช่อง (ภาพที่ 11 ก) อับเรณูของเกสรเพศผู้แต่ละช่องประกอบด้วยเนื้อเยื่อชั้นนอกสุด คือเอพิเดอร์มิส 1 ชั้น มีรูปร่างสี่เหลี่ยมยาว เห็นนิวเคลียสชัดเจน ถัดเข้าไปเป็นชั้นเอนโดทีเซียม (endothecium) 1 ชั้น เซลล์มีรูปร่างสี่เหลี่ยม และเห็นนิวเคลียสชัดเจน ชั้นในสุดคือ ชั้นของทาพีตัม (tapetum) เป็นชั้นที่ทำหน้าที่เก็บอาหารให้แก่ละอองเรณู โดยจะสลายไปเมื่อละอองเรณูเจริญเต็มที่ (ภาพที่ 11 ข)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 9 การพัฒนาของดอกมะคาเดเมีย

ก. ปุ่มกำเนิดของดอก

ข. ปุ่มกำเนิดของกลีบเลี้ยง

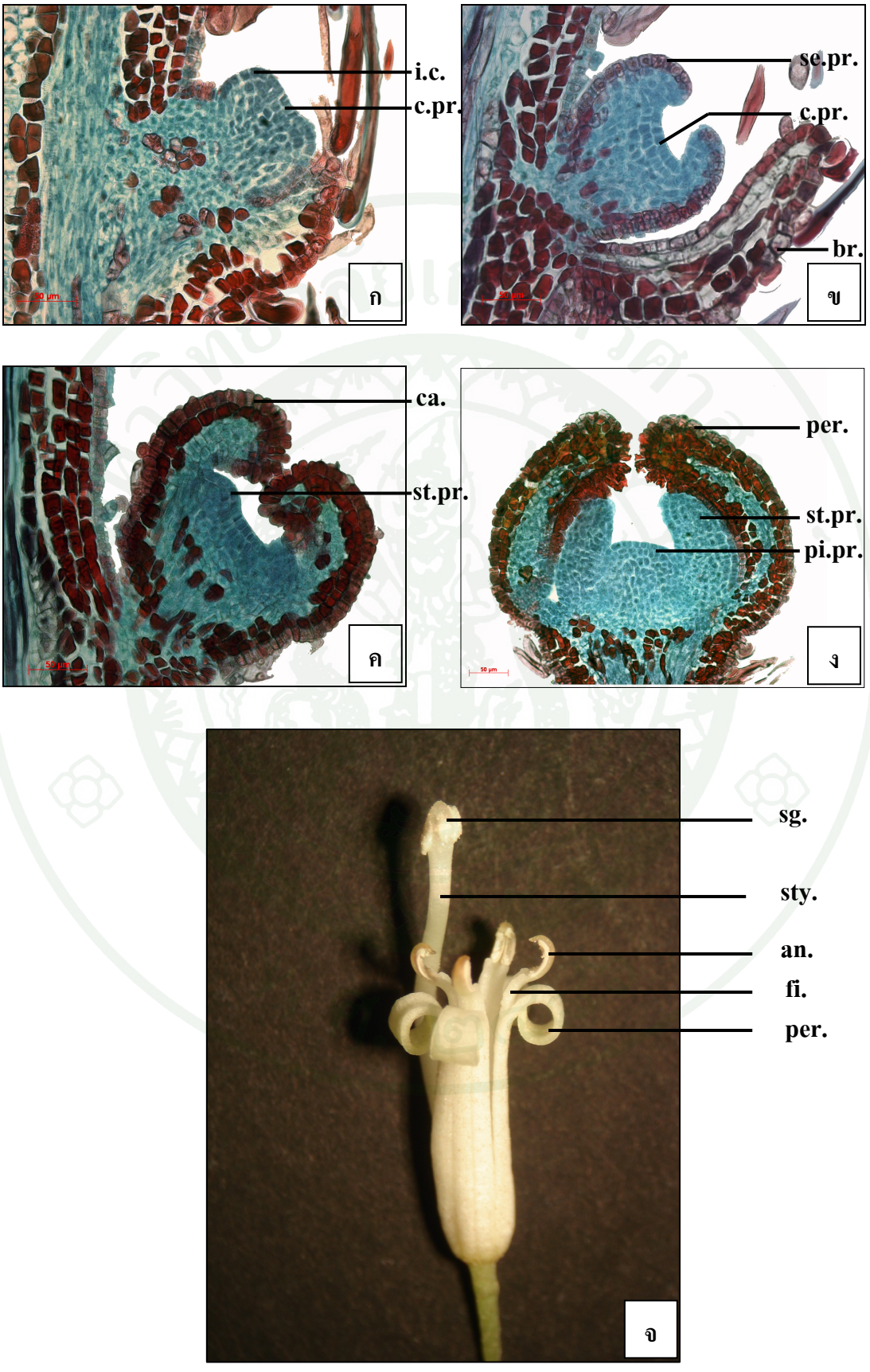
ค. ปุ่มกำเนิดของเกสรเพศผู้

ง. ดอกที่เริ่มมีการพัฒนาของกลีบรวม เกสรเพศผู้ และเกสรเพศเมีย

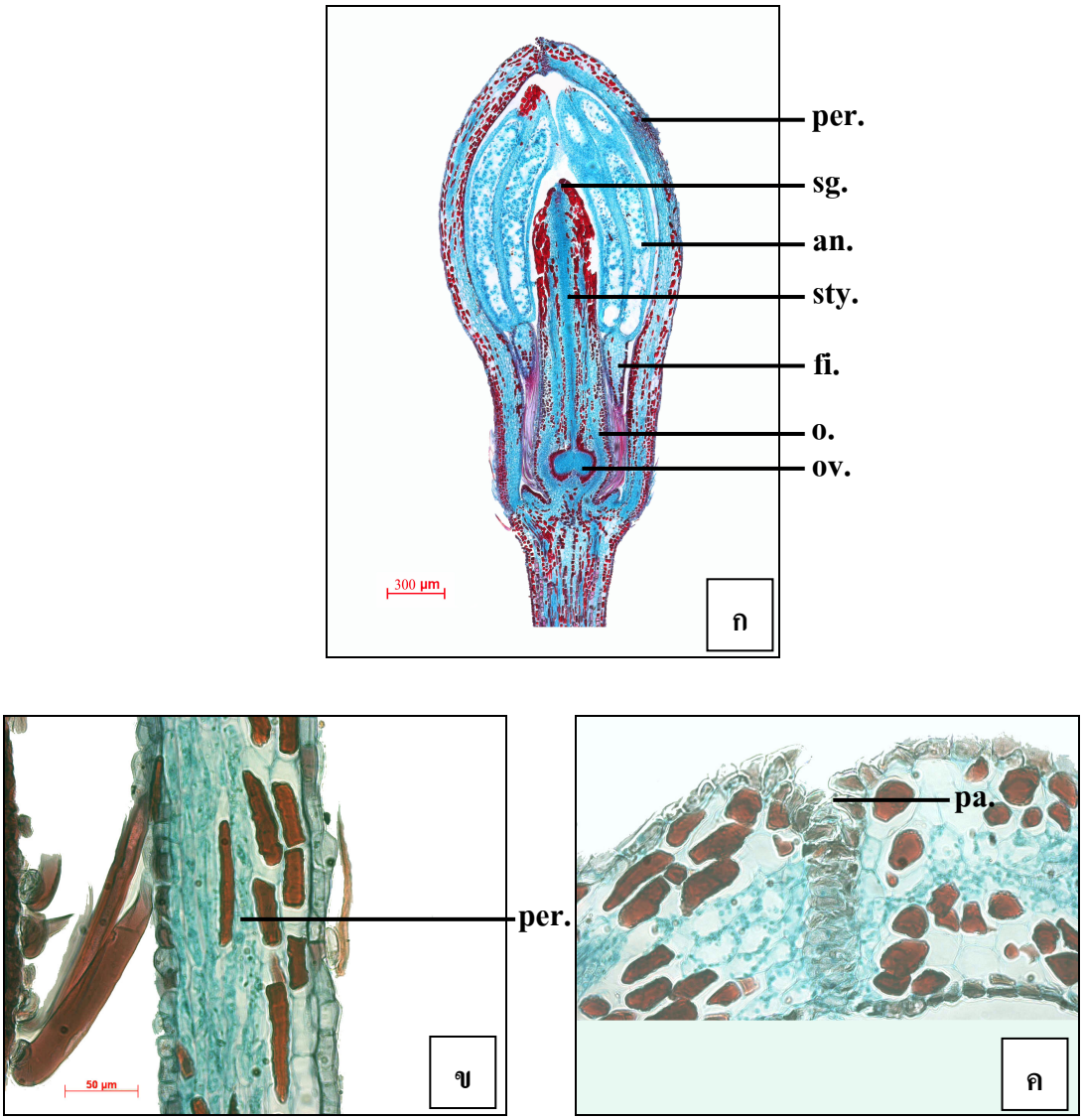
จ. ดอกบานเต็มที่อายุประมาณ 9 สัปดาห์หลังสร้างปุ่มกำเนิดดอก

c.pr.	- central primordium
i.c.	- initial cell
se.pr.	- sepal primordium
br.	- bract
st.pr.	- stamen primordium
ca.	- calyx
per.	- perianth
pi.pr.	- pistil primordium
an.	- anther
sg.	- stigma
sty.	- style
fi.	- filament

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 10 โครงสร้างภายในของดอกมะคาเดเมีย

ก. ดอกอายุประมาณ 5 สัปดาห์หลังสร้างปุ่มกำเนิดดอก ตัดตามยาว

ข. กลีบรวม

ค. ปลายกลีบรวม แสดง เซลล์ที่มีลักษณะเป็นปุ่มเล็ก (papillae)

per. - perianth, sg. - stigma, an. - anther, sty. - style, fi. - filament, o. - ovary, ov. - ovule, pa. - papillae

2.7 การพัฒนาของผล

รังไข่ เมื่อได้รับการปฏิสนธิแล้วจะพัฒนาต่อไปเป็นผล ผลของมะคาเดเมียเป็นผลแบบ nut รูปร่างกลม ปลายผลมนถึงแหลม มีผนังผล (pericarp หรือ husk) สีเขียวถึงเขียวเข้ม เมื่อแก่เต็มที่จะแห้ง ผนังผลจะแตกออกเองตามรอยตะเข็บด้านเดียว (follicle) เมื่อแตกออกจะเห็นส่วนของกะลาหรือเปลือกหุ้มเมล็ดอยู่ภายใน (shell หรือ seed coat) (ภาพที่ 14 ก)

ลักษณะทางกายวิภาคของผนังผล (pericarp) แบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือ ผนังผลชั้นนอก (exocarp) ผนังผลชั้นกลาง (mesocarp) และผนังผลชั้นใน (endocarp) (ภาพที่ 14 ก และ ข) โดยผนังผลชั้นนอก มีสีเขียวถึงเขียวเข้ม ประกอบด้วย เนื้อเยื่อชั้นเอพิเดอร์มิส รูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส เรียงตัวชั้นเดียวอย่างเป็นระเบียบ ใต้ชั้นเอพิเดอร์มิส เป็นเซลล์พาเรงคิมาที่มีผนังบาง รูปร่างของเซลล์มีหลายเหลี่ยม บางเซลล์ค่อนข้างกลม มีการเรียงตัวกันอย่างหลวมๆ พบช่องว่างระหว่างเซลล์ ภายในมีสารสะสมติดสีเข้ม (ภาพที่ 14 ค) ถัดเข้าไปเป็นผนังผลชั้นกลาง มีความหนามากกว่าชั้นอื่นๆ ส่วนใหญ่เป็นเซลล์พาเรงคิมาขนาดใหญ่ บางเซลล์มีการสะสมของสาร และบางเซลล์พบผลึกรูปกุหลาบ (rosette) แทรกอยู่ภายใน มีกลุ่มท่อลำเลียงกระจายอยู่ทั่วไป (ภาพที่ 14 ข และ ง) ส่วนผนังผลชั้นใน มีสีขาว พบเซลล์พาเรงคิมาที่มีสารสะสมติดสีเข้มเห็นได้อย่างชัดเจน มีการเรียงตัวอย่างหนาแน่น มีจำนวนหลายชั้น ไม่พบกลุ่มของท่อลำเลียง (ภาพที่ 14 ข)

ผลที่มีอายุระหว่าง 2 – 8 สัปดาห์หลังการผสมเกสร ส่วนของผนังผลชั้นกลางจะมีความหนาและเหนียวเพิ่มมากขึ้น โดยภายในชั้นนี้พบการเจริญและการเพิ่มจำนวนของกลุ่มมัดท่อลำเลียง และยังพบเซลล์ผนังบาง รูปร่างหลายเหลี่ยมที่มีสารสะสมติดสีเข้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ส่วนผนังผลชั้นใน พบเซลล์สเกลอเรงคิมาที่มีผนังเซลล์หนาเรียงตัวหลายชั้น กระจายอยู่ทั่วไป (ภาพที่ 14 จ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 14 ลักษณะกายวิภาคของผลมะคาเดเมีย

ก. ผล อายุ 23 สัปดาห์หลังการผสมเกสร ผ่าซีกตามยาว

ข. ผนังผล อายุ 2 สัปดาห์หลังการผสมเกสร ตัดตามขวาง

ค. ผนังผลชั้นนอก อายุ 2 สัปดาห์หลังการผสมเกสร ตัดตามขวาง

ง. ผนังผลชั้นกลาง แสดงกลุ่มมัดท่อลำเลียงและผลึกรูปกุหลาบ (rosette)

จ. ผลอายุ 3 สัปดาห์หลังการผสมเกสร ตัดตามขวาง

pe. - peduncle

sd. - seed

exo. - exocarp

mes. - mesocarp

end. - endocarp

r.c. - rosette crystal

s.c. - seed coat

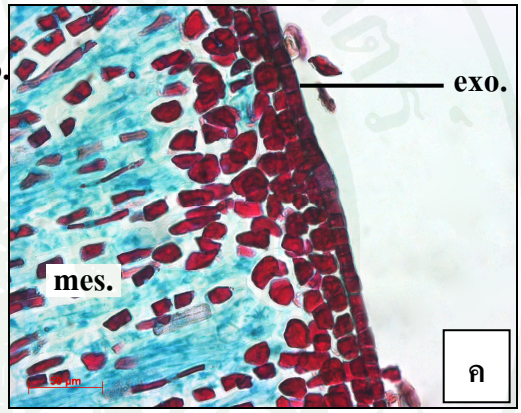
nu. - nucellus

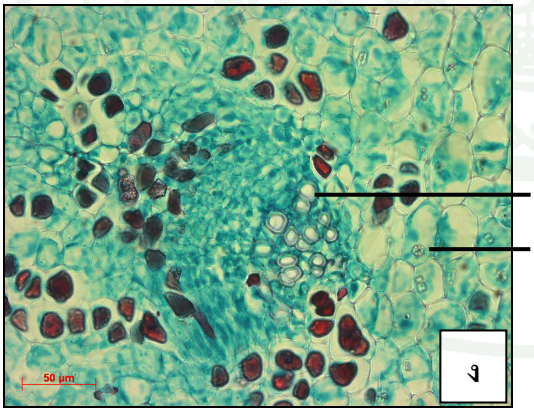
vb. - vascular bundle

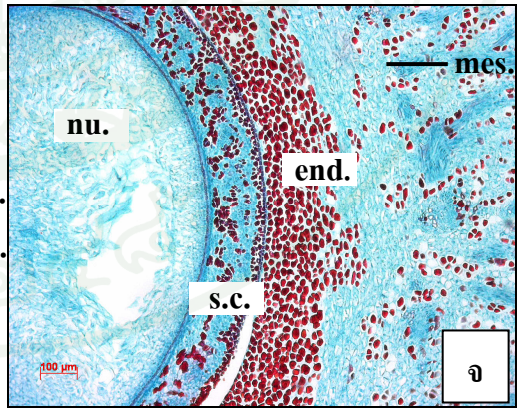
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์











ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.8 การพัฒนาของเมล็ด

หลังการผสมเกสร 1 สัปดาห์ ออวุลทั้ง 2 อัน มีการขยายขนาดเพิ่มมากขึ้น โดยผนังออวุลด้านนอกมีความหนาของชั้นเซลล์เพิ่มขึ้น ประกอบด้วย สเกลอเรงคิมา 2 – 3 ชั้น รูปร่างหลายเหลี่ยม ผนังเซลล์หนาเรียงตัวติดกันแน่น ส่วนผนังออวุลด้านใน ประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมา รูปร่างหลายเหลี่ยม ขนาดใหญ่ เรียงตัวหลายชั้น (ภาพที่ 15 ก) หลังจากเข้าสู่ระยะผลอ่อนอายุ 2 สัปดาห์หลังการผสมเกสร พบว่า ออวุลมีการเจริญขยายขนาดไม่เท่ากัน ออวุล 1 อัน จะมีขนาดเล็กกว่าและเริ่มฝ่อ (abortion) หลังจากนั้นเซลล์จะเหี่ยวและเสื่อมสภาพ ซึ่งจะมีออวุลเพียง 1 อันเท่านั้นที่จะมีการพัฒนาเป็นเมล็ดที่สมบูรณ์ (ภาพที่ 15 ข) ในระยะผลอ่อน ผนังออวุลทั้งด้านนอกและด้านในจะเจริญเป็นเปลือกหุ้มเมล็ดหรือกะลา ผลอ่อนระยะ 2 – 6 สัปดาห์หลังการผสมเกสร เปลือกหุ้มเมล็ดจะนิ่ม และมีสีเขียวอ่อน ภายในจะมีเซลล์สเกลอเรงคิมาที่มีผนังเซลล์หนาแทรกอยู่กับเซลล์พาเรงคิมา และพบการแทรกตัวของกลุ่มท่อลำเลียง (ภาพที่ 15 ค) ผลอ่อนในระยะ 8 สัปดาห์หลังการผสมเกสร จนถึงผลแก่ พบว่า เปลือกหุ้มเมล็ดจะมีการพัฒนาเต็มที่ โดยมีสีน้ำตาลอ่อนถึงเข้ม และแข็งแรงมาก ประกอบด้วยสเกลอรีดยาว (macrosclereid) รูปร่างยาว ผนังหนา เห็นช่องว่างในเซลล์ (lumen) ชัดเจน (ภาพที่ 15 ซ)

ลักษณะกายวิภาคของเนื้อใน หลังการผสมเกสร 1 สัปดาห์ ส่วนของเนื้อเยื่อนิวเซลลัสจะมีชั้นเซลล์พาเรงคิมาเพิ่มมากขึ้น เซลล์มีขนาดใหญ่ รูปร่างหลายเหลี่ยม ผนังเซลล์บาง ภายในเซลล์เห็นนิวเคลียสชัดเจน (ภาพที่ 15 ก) ผลอ่อนในระยะ 2 สัปดาห์หลังการผสมเกสร พบชั้นของเนื้อเยื่อนิวเซลลัสบริเวณปลายด้านฐานออวุล (charazal end) พบการพัฒนาของ hypostase ซึ่งเป็นกลุ่มเซลล์พาเรงคิมาที่เรียงตัวอัดกันแน่น เห็นได้ชัดเจน โดยเซลล์กลุ่มนี้จะกั้นระหว่างช่องว่างของเนื้อเยื่อนิวเซลลัสภายในถุงเอ็มบริโอกับเนื้อเยื่อของผนังออวุล (ภาพที่ 15 ง)

ผลอ่อนระยะ 2 สัปดาห์หลังการผสมเกสร พบการแบ่งตัวของไซโกต ล้อมรอบด้วยเนื้อเยื่อนิวเซลลัสจำนวนมาก (ภาพที่ 15 จ)

ภายในออวุลจะมีการเจริญเปลี่ยนแปลงเป็นเนื้อในเมล็ด (kernel) ซึ่งอยู่ถัดจากเปลือกหุ้มเมล็ด ในระยะ 2 – 3 สัปดาห์หลังการผสมเกสร ส่วนของเนื้อในมะคาเดเมียจะมีลักษณะเป็นน้ำใส จากนั้นจะเริ่มมีการพัฒนาตัวเอง โดยเนื้อในจะมีขนาดใหญ่ขึ้น อ่อนนุ่ม และมีสีขาวใส ผลอ่อนอายุ 4 สัปดาห์หลังการผสมเกสร ถึงผลแก่ เนื้อในจะมีสีขาวและแข็ง อีกทั้งยังมีการขยายขนาดจนเต็มพื้นที่ภายในกะลา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลอ่อนระยะ 4 สัปดาห์หลังการผสมเกสร พบเอ็มบริโอเริ่มเข้าสู่ระยะกลอบูลาร์ (globular stage) ส่วนของ ซัสเปนเซอร์ (suspensor) สั้น อยู่ด้านเดียวกับไมโครไพล์ (micropyle) และมีเนื้อเยื่อนิวเซลลัสกระจายตัวล้อมรอบเอ็มบริโอ และพบการพัฒนาของเนื้อเยื่อเอนโดสเปิร์ม (endosperm) อยู่ตามขอบของถุงเอ็มบริโอ (ภาพที่ 15 ฉ และ ช)

ในระยะผลแก่ อายุ 23 สัปดาห์หลังการผสมเกสร พบว่า เอ็มบริโอเป็นแบบตรง (straight embryo) โครงสร้างของเอ็มบริโอ ประกอบด้วย ปลายยอด (shoot apex) และรากแรกเกิด (radicle) (ภาพที่ 16 ก และ ค) ภายในเอ็มบริโอประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมาที่บรรจุน้ำมัน (oil body) อยู่ภายใน และพบกลุ่มท่อลำเลียงแทรกอยู่ทั่วไป (ภาพที่ 16 ก และ ข) เนื้อในของมะคาเดเมียไม่มีเอนโดสเปิร์ม พบเพียงส่วนของใบเลี้ยงที่สะสมอาหาร (cotyledon) 2 อันขนาดใหญ่ประกบกัน

เมล็ดมีรูปร่างทรงกลมหรือค่อนข้างกลม เมล็ดประกอบด้วยเปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) หรือกะลา (shell) ลักษณะแข็ง ผิวเรียบ สีน้ำตาล ภายในเปลือกหุ้มเมล็ดมีเนื้อในเมล็ด (kernel) สีขาว รูปทรงแบนถึงกลม ฐานทรงกลม (ภาพที่ 16 จ) ส่วนของเนื้อในประกอบด้วย ใบเลี้ยงขนาดใหญ่ 2 อันประกบกัน ตรงกลางมีเอ็มบริโอ ลักษณะค่อนข้างกลมแทรกอยู่ระหว่างใบเลี้ยง (ภาพที่ 16 ง)

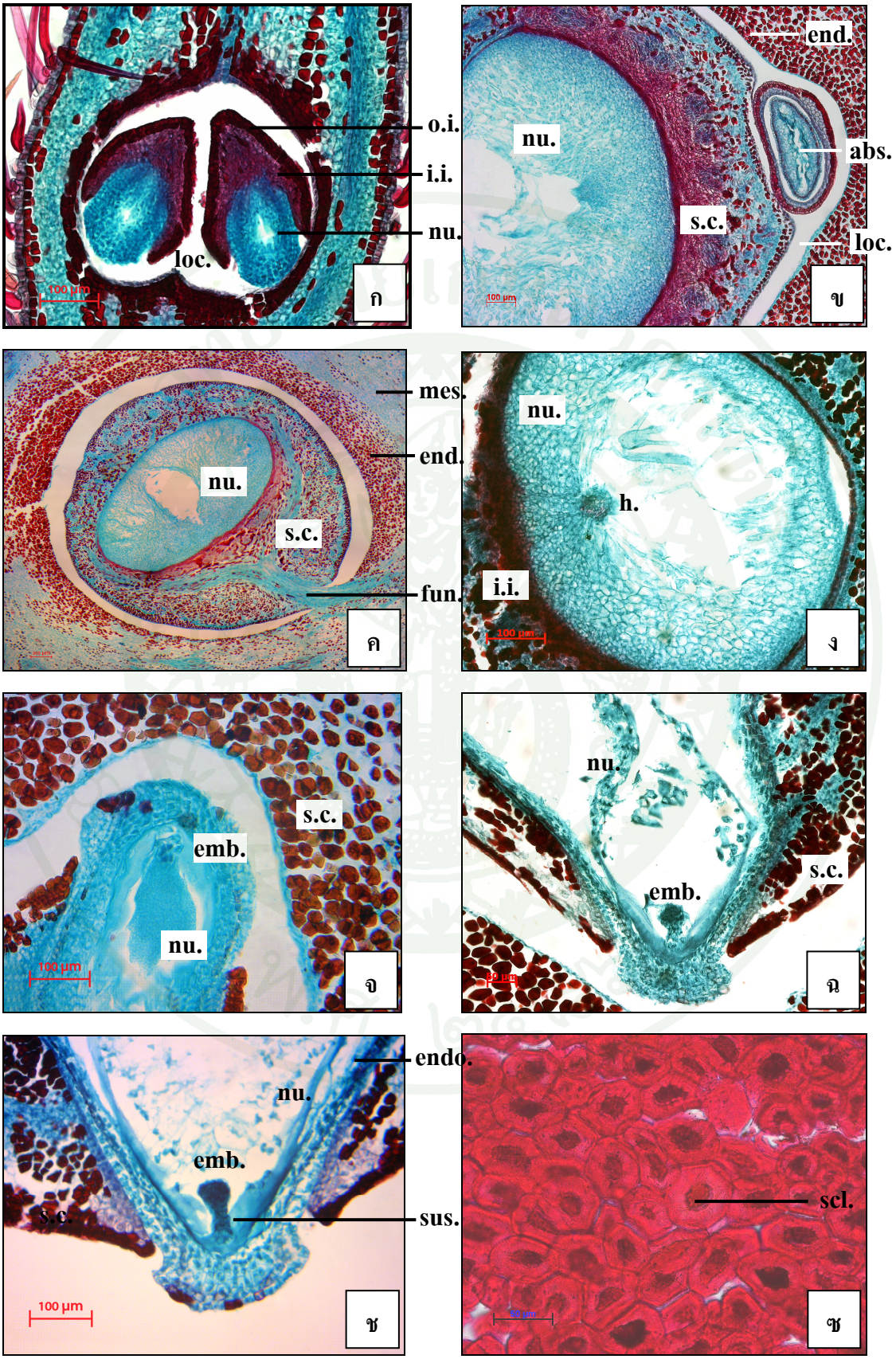
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 15 ลักษณะกายวิภาคของเมล็ดมะคาเดเมีย

ก. รังไข่ของดอก หลังการผสมเกสร 1 สัปดาห์
ข. ผลอ่อน อายุ 2 สัปดาห์หลังการผสมเกสร ตัดตามขวาง
ค. ผลอ่อน อายุ 2 สัปดาห์หลังการผสมเกสร ตัดตามยาว
ง. ผลอ่อน อายุ 2 สัปดาห์หลังการผสมเกสร ตัดตามยาว
จ. เอ็มบริโอของผลอ่อน อายุ 2 สัปดาห์หลังการผสมเกสร
ฉ. เอ็มบริโอระยะกลอบูลาร์ (globular stage) ของผลอ่อน อายุ 4 สัปดาห์หลังการผสมเกสร
ช. เอ็มบริโอและเอนโดสเปิร์ม ของผลอ่อน อายุ 4 สัปดาห์หลังการผสมเกสร
ซ. เปลือกหุ้มเมล็ดหรือกะลา อายุ 23 สัปดาห์หลังการผสมเกสร ตัดตามขวาง

abs.	- aborted seed
emb.	- embryo
end.	- endocarp
mes.	- mesocarp
s.c.	- seed coat
nu.	- nucellus
o.i.	- outer integument
i.i.	- inner integument
fun.	- funiculus
loc.	- locule
scl.	- sclereid
h.	- hypostase
endo.	- endosperm
sus.	- suspensor

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 16 ลักษณะกายวิภาคของเมล็ดมะคาเดเมีย (ต่อ)

ก. เอ็มบริโอของผล อายุ 23 สัปดาห์หลังการผสมเกสร ตัดตามยาว

ข. น้ำมัน (oil body) ของเนื้อใน

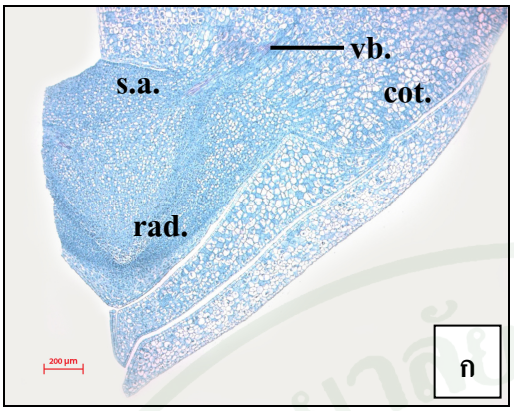
ค. เอ็มบริโอของผลแก่ อายุ 23 สัปดาห์หลังการผสมเกสร

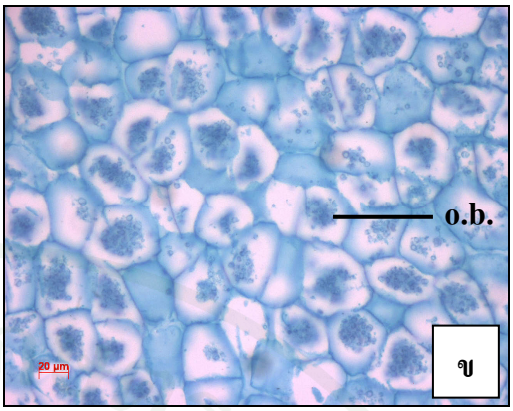
ง. เนื้อในมะคาเดเมีย

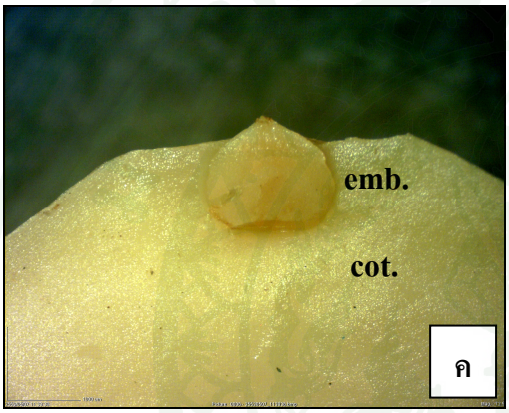
จ. ผลและเมล็ดมะคาเดเมีย อายุ 23 สัปดาห์หลังการผสมเกสร ผ่าซีกตามยาว

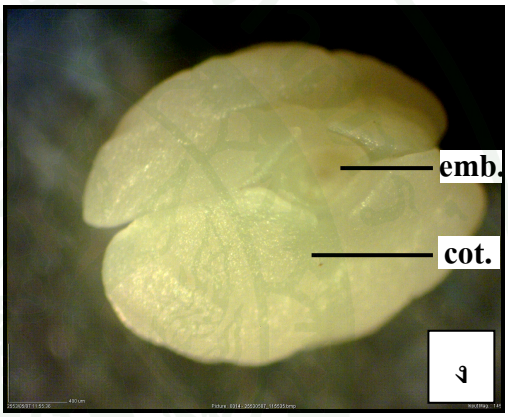
emb.	- embryo
s.c.	- seed coat
cot.	- cotyledon
rad.	- radicle
s.a.	- shoot apex
o.b.	- oil body
vb.	- vascular bundle
peri.	- pericarp
ke.	- kernel

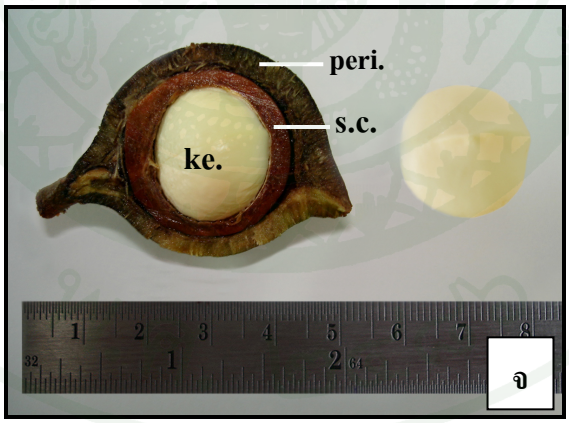
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์











ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำตาลซูโครสต่อการงอกหลอดเรณูมะคาเดเมีย

การทดลองหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำตาลซูโครสต่อการงอกหลอดเรณูมะคาเดเมีย หลังจากเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร Brewbaker & Kwack (1963) ที่เติมน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 0 5 10 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการงอกหลอดเรณูมะคาเดเมีย คือ อาหารเหลวที่มีน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 15 - 25 เปอร์เซ็นต์ โดยให้เปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเรณูมะคาเดเมียมีค่าเป็น 57.05 - 60.91 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง (ตารางที่ 8) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับละอองเรณูที่เลี้ยงในอาหารเหลวที่ไม่เติมน้ำตาลซูโครส อีกทั้งยังพบว่าละอองเรณูที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของซูโครสระดับอื่นๆ มีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำกว่า และหลอดเรณูแสดงอาการแตก (bursting) ในเวลาต่อมา (ภาพที่ 17 ก)

ตารางที่ 8 เปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเรณูมะคาเดเมีย เมื่อเลี้ยงบนอาหารสูตร Brewbaker & Kwack (1963) ที่เติมน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 0 5 10 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส (%)	การงอกของละอองเรณู (%)
0	9.16 a[1/]
5	36.56 b
10	36.24 b
15	60.20 c
20	60.91 c
25	57.05 c
Mean	43.35
F-test	*
CV (%)	17.31

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

1/ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. การศึกษาผลของ GA_3 ต่อความมีชีวิตและการงอกหลอดเรณูมะคาเดเมีย

4.1 การศึกษาความมีชีวิตของละอองเรณู

การทดลองผลของจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) ต่อความมีชีวิตของละอองเรณูมะคาเดเมีย เมื่อเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร Brewbaker & Kwack (1963) ที่เติมน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับ GA_3 ความเข้มข้น 0 25 50 75 และ 100 ppm แล้วทดสอบความมีชีวิตด้วยสารละลาย FDA 0.01% พบว่า ละอองเรณูที่มีชีวิต จะเรืองแสงออกมาเป็นสีเขียวหรือเหลืองอมเขียวภายใต้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนส์ (ภาพที่ 17 ข) ส่วนละอองเรณูที่ไม่มีชีวิต จะไม่เรืองแสงหรือเรืองแสงไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งละอองเรณู (ภาพที่ 17 ค) และพบว่า ความมีชีวิตของละอองเรณูที่เลี้ยงในอาหารเหลวที่เติมน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับ GA_3 ความเข้มข้น 0 25 50 75 และ 100 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 9) โดยพบว่าความมีชีวิตของละอองเรณูมีค่าเป็น 85.29 – 92.41 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 9 เปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเรณูมะคาเดเมีย เมื่อเลี้ยงบนอาหารสูตร Brewbaker & Kwack (1963) ที่เติมน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของจิบเบอเรลลิค แอซิด (ppm)	ความมีชีวิตของละอองเรณู (%)
0	89.25
25	87.79
50	85.29
75	92.41
100	90.27
Mean	89.00
F-test	ns
CV (%)	4.15

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.2 การศึกษาเปอร์เซ็นต์การงอกหลอดเรณู

สำหรับการงอกของหลอดเรณู พบว่า เปอร์เซ็นต์การงอกของหลอดเรณูลดต่ำลง เมื่อเลี้ยงในอาหารเหลวที่เติมน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับ GA_3 ความเข้มข้นมากขึ้น (ตารางที่ 10) โดยละอองเรณูที่เลี้ยงในอาหารเหลวที่เติม GA_3 ความเข้มข้น 100 ppm มีเปอร์เซ็นต์การงอกหลอดเรณูต่ำที่สุด คือ 2.33 เปอร์เซ็นต์และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับละอองเรณูที่เลี้ยงในอาหารที่ไม่มีการเติม GA_3

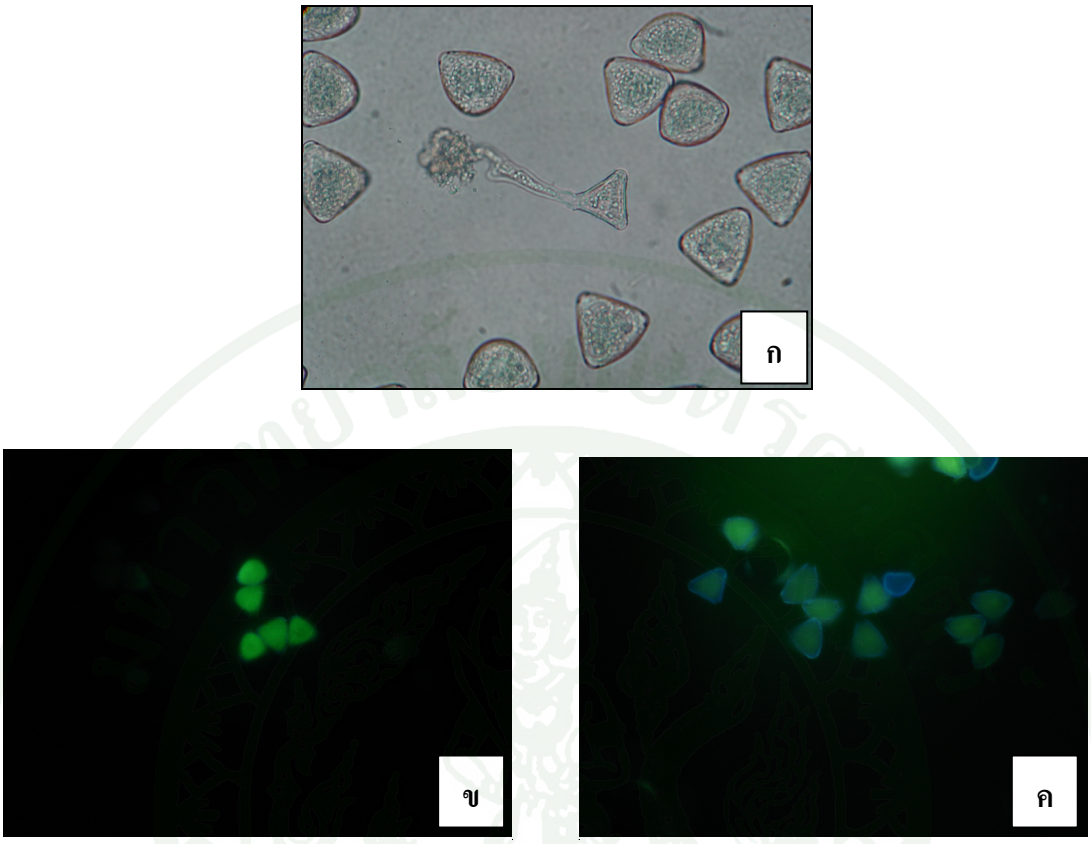
ตารางที่ 10 เปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเรณูมะคาเดเมีย เมื่อเลี้ยงบนอาหารสูตร Brewbaker & Kwack (1963) ที่มีน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

ความเข้มข้นของจิบเบอเรลลิค แอซิด (ppm)	การงอกของละอองเรณู (%)
0	61.43 c[1/]
25	26.32 b
50	4.35 a
75	3.05 a
100	2.33 a
Mean	19.50
F-test	*
CV (%)	31.18

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

1/ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 17 ลักษณะของละอองเรณูและหลอดเรณูมะคาเดเมียภายใต้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนส์

ก. ลักษณะของละอองเรณูและหลอดเรณูมะคาเดเมียที่แสดงอาการแตก (bursting)

ข. ความมีชีวิตของละอองเรณู (เรืองแสงสีเขียว)

ค. ละอองเรณูที่ไม่มีชีวิต (ไม่เรืองแสงสีเขียว)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิจารณ์

1. ระยะเวลาการพัฒนาของดอกที่เหมาะสมในการให้สารจิบเบอเรลลิค แอซิด และอัตราความเข้มข้นของสารต่อการพัฒนาดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย

จากการศึกษาในครั้งนี้ ระยะดอกและระดับความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดหลังการฉีดพ่นสาร ที่ระยะเวลา 14 วัน ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การติดผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อีกทั้งระยะดอกและระดับความเข้มข้นของสารไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อเปอร์เซ็นต์การติดผล โดยระยะดอกทั้ง 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิคที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ มีเปอร์เซ็นต์การติดผลใกล้เคียงกัน คือ 0.20 – 4.07 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มการติดผลลดลงตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโต และมีจำนวนผลต่อช่อหลังการเก็บเกี่ยวต่ำ (1.00 – 4.67 ช่อ) อาจเนื่องมาจากปัจจัยทางสภาพแวดล้อม ซึ่งปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตและผลผลิตมะคาเดเมียส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ระดับความสูง ปริมาณน้ำฝน การกระจายของฝน และความชื้นในอากาศ (กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2538) ในช่วงที่ทำการทดลอง พบว่า มีปริมาณน้ำฝนต่ำส่งผลทำให้เกิดการร่วงของผลมะคาเดเมียเป็นจำนวนมาก ทำนองเดียวกับรายงานการศึกษาของกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2538) พบว่าโดยปกติมะคาเดเมียต้องการปริมาณน้ำฝนในระดับอย่างน้อย 1,500 มิลลิเมตรและมีการกระจายอย่างดีตลอดปี สำหรับในประเทศไทยช่วงฤดูหนาวเป็นช่วงที่มีปริมาณน้ำฝนน้อย หากมะคาเดเมียได้รับน้ำไม่เพียงพอจะทำให้ผลเล็กและร่วง ดังนั้นการปลูกมะคาเดเมียในประเทศไทยควรจะมีการให้น้ำในช่วงฤดูแล้งด้วย เพื่อเพิ่มความชื้นในอากาศ ที่ส่งผลให้การติดผลดีขึ้น ช่วยให้ผลมีขนาดใหญ่ และป้องกันผลร่วง สอดคล้องกับรายงานของ Stephenson (1987) ที่รายงานว่า ในช่อดอกมะคาเดเมียจะติดผลประมาณ 1 – 4 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น และร่วงเป็นจำนวนมากหลังจากผสมเกสรแล้ว 5 – 6 สัปดาห์ ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเจริญเติบโตของผลอาจจะเกิดจากการที่มีอุณหภูมิสูงหรือขาดน้ำ ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดของการเจริญของผลอยู่ในช่วง 10 – 30 องศาเซลเซียส ร่วมกับความชื้นที่เกินกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ จะช่วยให้ติดผลมากขึ้น (กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2538)

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การติดผล หลังการเก็บเกี่ยว พบว่า ระยะดอกและระดับความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดไม่มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การติดผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ระยะดอกและระดับความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อเปอร์เซ็นต์การติดผล โดยหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ความเข้มข้น 0 ppm ให้กับดอกมะคาเดเมียระยะหลังดอกบาน 1 สัปดาห์ ทำให้เปอร์เซ็นต์การติดผลหลังการเก็บเกี่ยว เท่ากับ 0.91

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับการรายงานของจำลอง (2538) ที่รายงานว่า เปอร์เซ็นต์การติดผลเฉลี่ยที่สถานีทดลองเกษตรที่สูงแม่จอนหลวง และศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้ จังหวัดเชียงใหม่ มีค่าเท่ากับ 2.93 และ 0.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ระยะดอกและอัตราความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดไม่มีผลทำให้น้ำหนักผลความกว้างและความยาวผล ความกว้างและความยาวของเนื้อในเมล็ดมะคาเดเมียหลังการเก็บเกี่ยวแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสอง แต่มีแนวโน้มว่าเมื่อฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดความเข้มข้น 25 ppm ให้กับดอกมะคาเดเมียระยะดอกตูม ขนาดดอกย่อยยาว 10 มม. เพิ่มความกว้างและความยาวผลให้ใหญ่ขึ้น เช่นเดียวกับรายงานของพรชัย (2541) ที่รายงานว่า การฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ให้กับชมพู่พันธุ์เพชรทูลเกล้า หลังดอกบาน 3 5 และ 7 วัน ที่ระดับความเข้มข้น 0 5 10 20 ppm พบว่า สารจิบเบอเรลลิค แอซิด สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโต และทำให้ผลชมพู่มีการเพิ่มความกว้าง ความยาว และน้ำหนักผลมากขึ้น และสอดคล้องกับรายงานการทดลองที่พบในพืชอื่นอีกหลายชนิด เช่น ส้ม (Goldschmidt, 1983) ฝรั่ง (จิรดา, 2539) องุ่น (Khan and Singh, 1991) และลิ้นจี่ (Chang and Lin, 2006) Trueman (2011) ศึกษาหาปริมาณของฮอร์โมนจิบเบอเรลลิค แอซิด ในระยะการพัฒนาของมะคาเดเมียส่วนต่างๆ พบว่า ในระยะการพัฒนาของดอก ผล เอนโดสเปิร์ม และเอ็มบริโอ มีปริมาณของจิบเบอเรลลิค แอซิดจำนวนน้อยมาก การฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด เพิ่มเข้าไปน่าจะเป็นการเพิ่มปริมาณสารกระตุ้นการเจริญเติบโตภายในผล ทำให้ผลมีการพัฒนามากขึ้น และเพิ่ม auxin – gibberellins activity ให้แก่ผล (จิรดา, 2539) ซึ่งเป็นการชักนำให้เกิดการแบ่งเซลล์และการยืดยาวของเซลล์เพิ่มมากขึ้น มีการพัฒนาของผลเกิดขึ้นได้ดี ทำให้ผลขยายขนาดใหญ่ขึ้น (ทิพย์วรรณ, 2542) ทั้งนี้ความต้องการและการตอบสนองต่อจิบเบอเรลลิค แอซิดชนิดต่างๆ เพื่อพัฒนาผลให้สมบูรณ์ ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชนั้นๆด้วย (Barendse *et al*., 1991)

2. การพัฒนาทางด้านสัณฐานวิทยา กายวิภาคของดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย

จากการศึกษาบริเวณปลายยอดมะคาเดเมีย พบว่าเนื้อเยื่อเจริญปลายยอด ประกอบด้วยเนื้อเยื่อสองชนิด คือ ทูนิกา 2 ชั้นและคอร์ปัส 3 – 4 ชั้น เช่นเดียวกับพืชใบเลี้ยงคู่ทั่วไปที่มีทูนิกา 2 - 3 ชั้น และมีคอร์ปัส 5 - 6 ชั้น (เทียมใจ, 2549)

ตาช่อดอกมะคาเดเมียเกิดขึ้นบริเวณซอกใบหรือเหนือรอยแผลที่ใบร่วง และเกิดกับกิ่งแขนงที่มีอายุมากกว่า 1 ปีขึ้นไป เช่นเดียวกับการรายงานของ จำลอง (2544) แต่ในมะคาเดเมีย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บางสายพันธุ์ พบว่าตาช่อดอกสามารถเกิดกับกิ่งแขนงที่มีอายุน้อยกว่า 1 ปีได้ อย่างไรก็ตามการติดผลจะเกิดขึ้นกับต้นที่ปลูกในพื้นที่ที่ได้รับแสงน้อยและในกิ่งแขนงที่มีอายุอย่างน้อย 2 ปีขึ้นไป (Trueman, 2013) ตาช่อดอกเริ่มมองเห็นด้วยตาเปล่า มีลักษณะเป็นตุ่มเล็กๆ สอดคล้องกับรายงานของ Moncur *et al.* (1985) ตาช่อดอกมีขนาดเล็กและรูปร่างโค้งมน (dome - shaped) บริเวณด้านข้างของเนื้อเยื่อเจริญปลายยอดจะก่อตัวเป็นจุดกำเนิดของใบประดับ และบริเวณซอกของใบประดับแต่ละอันเป็นจุดกำเนิดดอกย่อย ดอกย่อยแต่ละอันจะยืดยาวขึ้น เรียงเป็นเกลียว เยื้องกันเล็กน้อยบนก้านช่อดอก

ดอกมีกลีบเลี้ยงและกลีบดอกเชื่อมติดกันเป็นหลอดสีขาวหรือขาวครีม เรียกกลีบรวม ปลายแยกเป็นแฉกหลังดอกบาน ตรงกับรายงานของจำลอง (2544), Scholefield (1982), Moncur *et al.* (1985) และ Trueman (2013) ดอกบานยาว 15 มิลลิเมตร ก้านดอกย่อยยาว 3 มิลลิเมตร เมื่อกลีบดอกเปิด มองเห็นอับเรณูแต่ละอันเชื่อมติดอยู่บนกลีบรวม 4 กลีบ ภายในมีละอองเรณูจำนวนมาก หลังระยะดอกบานเต็มที่ ประมาณ 1 สัปดาห์ กลีบรวมจะเหี่ยวและหลุดออกจากฐานรองดอก

กายวิภาคของเกสรเพศผู้ เกสรเพศผู้มี 4 อันและมีก้านสั้น เชื่อมติดอยู่บนกลีบรวม ส่วนปลายเป็นอับเรณู 4 อัน แต่ละอันมีอับเรณู 2 พูๆ ละ 2 ช่อง เช่นเดียวกับรายงานของจำลอง (2544) มะคาเดเมียหลายพันธุ์อับเรณูจะแตกออกก่อนดอกบาน 1 – 2 วัน เรียกว่า protandrous คือ เกสรเพศผู้แก่และแตกออกก่อนที่เกสรเพศเมียพร้อมที่จะได้รับการผสม (receptive) และบางพันธุ์มีคุณสมบัติ self incompatibility ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ต้องมีการผสมข้าม (cross pollination) เพื่อช่วยให้มีการติดผลเพิ่มขึ้น (Sedgley, 1983; Meyers and Mc Conchie, 1996; Trueman, 2013)

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเรณูมะคาเดเมีย เป็นเรณูเดี่ยว ขั้วแบบขั้วเหมือน รูปร่างแบบกลมแป้น สมมาตรแบบสองซีกเหมือนกัน ช่องเปิดเป็นรู มี 3 รู เรียงตามแนว equatorial (zoni - aperturate) เช่นเดียวกับ *Hakea bucculenta* และ *Isopogon cuneatus* ซึ่งเป็นพืชในวงศ์ Proteaceae (Matthews *et al.*, 1999) เรณูมีขนาด 28 – 50 ไมครอน ใกล้เคียงกับรายงานของ Matthews *et al.* (1999) ที่รายงานว่า เรณูมีขนาด 21 – 27 ไมครอน

เกสรเพศเมีย ประกอบด้วยยอดเกสรเพศเมีย มีการขยายขนาดคล้ายรูปไข่ ผิวหน้าด้านบนมีลักษณะเป็นเส้นขนนุ่ม ก้านเกสรเพศเมียมีขนาดเล็ก รังไข่อยู่เหนือวงกลีบเลี้ยง มี 1 คาร์เพล และ 1 ช่อง ภายในช่องมีออวุล 2 อัน ออวุลตั้งตรง มีก้านออวุลสั้น การติดของออวุลเป็นแบบพลาเซนตาที่ยอด (จำลอง, 2544; Matthews *et al.*, 1999; Trueman, 2013) การบานของดอกเริ่มที่ก้านเกสรเพศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมียยืดยาวขึ้น หลังจากนั้น 2 – 5 วันก่อนดอกบานก้านเกสรเพศเมียจะงอตัวดันกลีบรวมออกมาทางด้านข้างและปลายกลีบรวมจะค่อยๆ แยกตัวออกจากกัน เมื่อกลีบรวมหลุดออกไปหลังระยะดอกบาน ส่วนของก้านเกสรเพศเมียจะยืดตัวยาวตรง (Moncur *et al.*, 1985; Trueman, 2013)

รังไข่ ประกอบด้วย ผนังรังไข่ ซึ่งภายในมีเนื้อเยื่อชั้นเอพิเดอร์มิส คอร์เทกซ์ และกลุ่มท่อลำเลียง สอดคล้องกับรายงานของ Moncur *et al.* (1985) เซลล์เอพิเดอร์มิส มีรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส เรียงตัว 1 ชั้นอย่างเป็นระเบียบ บางเซลล์เปลี่ยนรูปร่างเป็นขน บริเวณฐานของรังไข่พบต่อมน้ำต้อย (nactary gland) ส่วนสารสะสมติดสีเข้มที่พบตามผนังรังไข่และผนังผล พบว่า เป็นสารแทนนิน (Sedgley, 1981) หลังการผสมเกสร 1 สัปดาห์ ออวุลภายในรังไข่ทั้ง 2 อัน มีการขยายขนาดเพิ่มมากขึ้น หลังจากเข้าสู่ระยะผลอ่อนอายุ 2 สัปดาห์หลังการผสมเกสร ออวุลมีการเจริญขยายขนาดไม่เท่ากัน ออวุล 1 อัน จะมีขนาดเล็กกว่าและเริ่มฝ่อ หลังจากนั้นเซลล์จะเหี่ยวและเสื่อมสภาพ ซึ่งจะมีออวุลเพียง 1 อันเท่านั้นที่จะมีการพัฒนาเป็นเมล็ดที่สมบูรณ์ สอดคล้องกับรายงานของ Sedgley (1981) ที่กล่าวว่า ช่วงระยะเวลาหลังดอกบาน ออวุลทั้ง 2 อันมีขนาดใกล้เคียงกัน หลังจากนั้นออวุลที่ได้รับการปฏิสนธิจะมีขนาดใหญ่กว่าออวุลอีกอันที่ไม่ได้รับการปฏิสนธิ โดยภายในออวุลที่มีขนาดใหญ่กว่าจะพบไซโกตและ endosperm nuclei

ผลของมะคาเดเมียเป็นผลแบบ nut รูปร่างกลม ปลายผลมนถึงแหลม ลักษณะทางกายวิภาคของผนังผล แบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือ ผนังผลชั้นนอก ผนังผลชั้นกลาง และผนังผลชั้นใน โดยผนังผลชั้นนอก มีสีเขียวถึงเขียวเข้ม ตรงกับรายงานของ จำลอง (2544) ที่รายงานว่า ผนังผลชั้นนอกประกอบด้วย เนื้อเยื่อชั้นเอพิเดอร์มิสที่มีคลอโรฟิลล์ รูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส เรียงตัวชั้นเดียวอย่างเป็นระเบียบ ถัดเข้าไปเป็นผนังผลชั้นกลาง ส่วนใหญ่เป็นเซลล์พาเรงคิมาขนาดใหญ่ มีกลุ่มท่อลำเลียงน้ำและท่อลำเลียงอาหารกระจายอยู่ทั่วไป ส่วนผนังผลชั้นใน ผนังบาง มีสีน้ำตาลเข้ม

เมล็ดมีรูปร่างทรงกลมหรือค่อนข้างกลม เมล็ดประกอบด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดหรือกะลา ลักษณะแข็ง ผิวเรียบสีน้ำตาล ภายในเปลือกหุ้มเมล็ดมีเนื้อในเมล็ด สีขาวรูปทรงแบนถึงกลม ฐานทรงกลม ส่วนของเนื้อในประกอบด้วย ใบเลี้ยงขนาดใหญ่ 2 อันประกบกัน ตรงกลางมีเอ็มบริโอลักษณะค่อนข้างกลมแทรกอยู่ระหว่างใบเลี้ยง เช่นเดียวกับรายงานของ จำลอง (2544) และ Stephenson (2005)

ลักษณะกายวิภาคของเนื้อใน หลังการผสมเกสร 1 สัปดาห์ ส่วนของเนื้อเยื่อนิวเซลลัสจะมีชั้นเซลล์พาเรงคิมาเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Sedgley (1981) ผลอ่อนในระยะ 2 สัปดาห์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หลังการผสมเกสร ชั้นของเนื้อเยื่อนิวเซลลัสบริเวณปลายด้านฐานออวุล (charazal end) พบการพัฒนาของ hypostase ซึ่งเป็นกลุ่มเซลล์พาเรงคิมาที่เรียงตัวอัดกันแน่น เห็นได้ชัดเจน โดยเซลล์กลุ่มนี้จะกั้นระหว่างช่องว่างของเนื้อเยื่อนิวเซลลัสภายในถุงเอ็มบริโอกับเนื้อเยื่อของผนังออวุล

ผลอ่อนระยะ 2 สัปดาห์หลังการผสมเกสร พบการแบ่งตัวของไซโกต ล้อมรอบด้วยเนื้อเยื่อนิวเซลลัสจำนวนมาก ผลอ่อนระยะ 4 สัปดาห์หลังการผสมเกสร พบเอ็มบริโอเริ่มเข้าสู่ระยะกลอบูลาร์ ส่วนของซัสเปนเซอร์สั้น อยู่ด้านเดียวกับไมโครไพล์ และมีเนื้อเยื่อนิวเซลลัสกระจายตัวล้อมรอบเอ็มบริโอ เช่นเดียวกับรายงานของ Sedgley (1981) และพบการพัฒนาของเนื้อเยื่อเอนโดสเปิร์ม อยู่ตามขอบของถุงเอ็มบริโอ จากรายงานของ Trueman (2013) พบว่า พัฒนาการของเอ็มบริโอเจริญเร็วกว่าพัฒนาการของเอนโดเสปิร์ม หลังดอกบาน 20 สัปดาห์ อาหารสะสมจากเอนโดสเปิร์มจะย้ายเข้าไปสะสมในส่วนของใบเลี้ยงแทน

ในระยะผลแก่ อายุ 23 สัปดาห์หลังการผสมเกสร พบว่า เอ็มบริโอเป็นแบบตรง โครงสร้างของเอ็มบริโอ ประกอบด้วย ปลายยอด รากแรกเกิด และใบเลี้ยง ภายในเอ็มบริโอประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมาที่บรรจุน้ำมันอยู่ภายใน และพบกลุ่มท่อลำเลียงแทรกอยู่ทั่วไป สอดคล้องกับรายงานของ Walton and Wallace (2005) ที่รายงานว่า ใบเลี้ยงของมะคาเดเมียมีขนาดใหญ่ ประกอบด้วยชั้นเอพิเดอร์มิสเรียงตัวชั้นเดียว แต่บริเวณผิวด้านใกล้แกนระหว่างใบเลี้ยง พบเนื้อเยื่อเอพิเดอร์มิสเรียงตัวสองชั้น รูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า และยังพบชั้นคิวติเคิล ใต้ชั้นเอพิเดอร์มิส พบเซลล์พาเรงคิมารูปร่างค่อนข้างกลม บรรจุน้ำมันไว้ภายใน

3. การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำตาลซูโครสต่อการงอกหลอดเรณูมะคาเดเมีย

การทดลองหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำตาลซูโครสต่อการงอกหลอดเรณูมะคาเดเมีย หลังจากเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร Brewbaker & Kwack (1963) ที่เติมน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 0 5 10 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการงอกหลอดเรณูมะคาเดเมีย คือ อาหารเหลวที่มีน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 15 - 25 เปอร์เซ็นต์ โดยให้เปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเรณูมะคาเดเมียมีค่าเป็น 57.05 - 60.91 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับละอองเรณูที่เลี้ยงในอาหารเหลวที่ไม่เติมน้ำตาลซูโครส โดยที่อาหารเหลวที่มีน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ให้เปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเรณูสูงถึง 60.91 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งยังพบว่าละอองเรณูที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของซูโครสระดับอื่นๆ มีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำกว่าและหลอดเรณูแสดงอาการแตก (bursting) ในเวลาต่อมา สอดคล้องกับการทดสอบเปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การงอกของละอองเรณูมะคาเดเมียพันธุ์ 508 (Sedgley *et al*., 1990) และถั่วพิสตาชิโอ (Acar and Ak, 1998) ที่เลี้ยงในอาหารที่เติมน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นระดับต่างๆ พบว่าอาหารที่เติมน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ให้เปอร์เซ็นต์การงอกสูงสุด เช่นเดียวกับการทดลองของนิติญาและคณะ (2549) พบว่าน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์มีผลให้หลอดเรณูของส้มเปลือกร่อนงอกได้ดีที่สุด ภายในระยะเวลา 8 ชั่วโมง และยังพบว่าความเข้มข้นของน้ำตาลที่ต่ำหรือสูงเกินไป ทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกต่ำลง เนื่องจากน้ำตาลมีบทบาทควบคุมการเจริญของหลอดเรณู เมื่อถึงระยะหนึ่งที่หลอดเรณูมีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงสุด จะเกิดความหนาแน่นของหลอดเรณู ทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกหลอดเรณูลดลง และอาจมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการงอกของหลอดเรณูอื่นๆ อีก เช่น ความแก่ อ่อนของละอองเรณู องค์ประกอบของสารอาหาร ความเข้มข้นของน้ำตาลที่เลี้ยง และอุณหภูมิ เป็นต้น ดังรายงานการทดลองของสุจิตราและสุดารัตน์ (2552) ซึ่งรายงานว่าละอองเรณูของดอกเม่าหลวงตัวผู้ ถึงแม้จะทดสอบความมีชีวิตแล้ว แต่เมื่อนำละอองเรณูมาเลี้ยงในอาหารเหลวที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ กลับพบว่าเปอร์เซ็นต์การงอกลดลง

การที่หลอดเรณูแสดงอาการแตก (bursting) เมื่อเลี้ยงในอาหารที่เติมน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นต่ำ อาจเนื่องจากการแพร่ ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าชลศักย์ (water potential) ที่เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำ ซึ่งน้ำภายในละอองเรณูมีค่าต่ำกว่าค่าชลศักย์ของอาหารเลี้ยง ส่งผลให้น้ำเคลื่อนที่เข้าสู่ละอองเรณูมาก (Campbell and Reece, 2002) และแสดงอาการแตกให้เห็นในส่วนของหลอดเรณูที่มีผนังเรณูบางกว่าส่วนอื่นในละอองเรณู (Knox, 1979)

4. การศึกษาผลของ GA_3 ต่อความมีชีวิตและการงอกหลอดเรณูมะคาเดเมีย

4.1 การศึกษาความมีชีวิตของละอองเรณู

การทดลองผลของจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) ต่อความมีชีวิตของละอองเรณูมะคาเดเมียเมื่อเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร Brewbaker & Kwack (1963) ที่เติมน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับ GA_3 ความเข้มข้น 0 25 50 75 และ 100 ppm แล้วทดสอบความมีชีวิตด้วยสารละลาย FDA 0.01% พบว่า ละอองเรณูที่มีชีวิต (viable pollen) จะเรืองแสงออกมาเป็นสีเขียวหรือเหลืองอมเขียวภายใต้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนส์ ส่วนละอองเรณูที่ไม่มีชีวิต (nonviable pollen) จะไม่เรืองแสงหรือเรืองแสงไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งละอองเรณู โดยใช้หลักการว่า ละอองเรณูที่มีชีวิตจะเกิดการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) โดยการทำงานของเอนไซม์ esterase สีย้อมจะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เปลี่ยนแปลงเมื่อละอองเรณูเกิดการดูดซับ (absorbed) เข้าไป การตรวจสอบด้วยวิธีนี้ยังสามารถระบุความผิดปกติของเยื่อหุ้มเซลล์ได้ (Abdul-Baki, 1992) และพบว่า ความมีชีวิตของละอองเรณูที่เลี้ยงในอาหารเหลวที่เติมน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับ GA_3 ความเข้มข้น 0 25 50 75 และ 100 ppm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับรายงานการทดลองที่พบในพืชหลายชนิด เช่น ฝ้าย (Pline *et al*., 2003) มะระ (Thomas, 2008) เป็นต้น อาจเนื่องจากในสภาวะปกติละอองเรณูมีปริมาณ GA_3 มากอยู่แล้ว โดยจะพบ GA_3 ในส่วนของ pollen cement ของละอองเรณู (Knox, 1979) จึงทำให้ GA_3 ที่เติมลงไป ไม่มีผลต่อความมีชีวิตของละอองเรณู และจากการรายงานของเรืองศักดิ์และฉลองชัย (2534) กล่าวว่า การศึกษาเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเรณูมะขาม มีความสัมพันธ์ต่อการติดผล โดยละอองเรณูในมะขามพันธุ์ที่มีความมีชีวิตสูง ย่อมมีโอกาสติดผลได้มากกว่าพันธุ์ที่มีความมีชีวิตต่ำ แต่อาจมีปัจจัยอื่นๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เช่น ความชื้นและอุณหภูมิ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปจะทำให้ละอองเรณูไม่มีชีวิต

4.2 การศึกษาเปอร์เซ็นต์การงอกหลอดเรณู

การทดลองผลของจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) ต่อเปอร์เซ็นต์การงอกหลอดเรณูมะคาเดเมีย เมื่อเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร Brewbaker & Kwack (1963) ที่เติมน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับ GA_3 ความเข้มข้น 0 25 50 75 และ 100 ppm พบว่า เปอร์เซ็นต์การงอกของหลอดเรณูลดต่ำลง เมื่อเลี้ยงในอาหารเหลวที่เติมน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับ GA_3 ความเข้มข้นมากขึ้น โดยละอองเรณูที่เลี้ยงในอาหารเหลวที่เติม GA_3 ความเข้มข้น 100 ppm มีเปอร์เซ็นต์การงอกหลอดเรณูต่ำที่สุด คือ 2.33 เปอร์เซ็นต์และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับละอองเรณูที่เลี้ยงในอาหารที่ไม่มีการเติม GA_3 อาจเนื่องจากในสภาวะปกติละอองเรณูมีปริมาณ GA_3 มากอยู่แล้ว เมื่อได้รับ GA_3 จากภายนอกทำให้ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นส่งผลยับยั้งการงอกของหลอดเรณู โดย GA_3 ส่งผลต่อการสังเคราะห์ nucleic acid, α amylase และ invertase (Dhingra and Varghese, 1985) แต่มีรายงานการทดลองของเกษม (2537) กล่าวว่า หากใช้ GA_3 ร่วมกับการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต เช่น NAA BA และ GA_3 ผสมในสูตรอาหาร Brewbaker's solution สามารถเพิ่มความเร็วในการงอกและเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเรณูของมะม่วงพันธุ์ดอกไม้ทะวายให้สูงขึ้นได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุป

1. ระยะดอกและอัตราความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การติดผล ที่ระยะเวลา 14 วันหลังการฉีดพ่นสาร และมีแนวโน้มให้เปอร์เซ็นต์การติดผลลดลงตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของผล

2. ระยะดอกและอัตราความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดไม่มีผลทำให้น้ำหนักผล ความกว้างและความยาวผล จำนวนช่อต่อต้น ความกว้างและความยาวของเนื้อในเมล็ดมะคาเดเมียหลังการเก็บเกี่ยวแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสอง

3. ระยะดอกและอัตราความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อเปอร์เซ็นต์การติดผลหลังการเก็บเกี่ยว เมื่อฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดความเข้มข้น 25 ppm แก่ดอกมะคาเดเมียระยะดอกตูม ขนาดดอกย่อยยาว 10 มม. ให้เปอร์เซ็นต์การติดผลสูงสุด

4. ระยะดอกและอัตราความเข้มข้นของสารจิบเบอเรลลิค แอซิดมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อจำนวนผลต่อช่อหลังการเก็บเกี่ยว โดยดอกมะคาเดเมียในระยะหลังดอกบาน 1 สัปดาห์และการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดความเข้มข้น 50 ppm ให้จำนวนผลต่อช่อเฉลี่ยสูงสุด

5. การพัฒนาทางด้านสัณฐานวิทยา กายวิภาคของดอก ผล และเมล็ดของมะคาเดเมีย สรุปได้ดังนี้

5.1 การพัฒนาของตาช่อดอก ตาช่อดอกมะคาเดเมียเกิดขึ้นบริเวณซอกใบหรือเหนือรอยแผลที่ใบร่วง และเกิดกับกิ่งแขนงที่มีอายุมากกว่า 1 ปีขึ้นไป

5.2 การพัฒนาของดอก จุดกำเนิดของดอกเกิดขึ้นที่ซอกของใบประดับ ลักษณะโค้งนูน การเกิดส่วนต่างๆ ของดอกมีกลีบเลี้ยงเกิดขึ้นมาก่อน จากนั้นจึงมีกลีบดอก เกสรเพศผู้ เกสรเพศเมียตามลำดับ ใช้เวลาประมาณ 2 สัปดาห์ เกสรเพศผู้เริ่มพัฒนาเมื่อดอกมีอายุประมาณ 3 สัปดาห์หลังสร้างปุ่มกำเนิดดอกและพัฒนาจนสมบูรณ์ในดอกอายุประมาณ 6 สัปดาห์หลังสร้างปุ่มกำเนิดดอก ส่วนเกสรเพศเมีย เริ่มพัฒนาเมื่อดอกมีอายุประมาณ 3 สัปดาห์หลังสร้างปุ่มกำเนิดดอกและพัฒนาจนสมบูรณ์ในดอกอายุประมาณ 9 สัปดาห์หลังสร้างปุ่มกำเนิดดอก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.3 ลักษณะของเรณู เป็นเรณูเดี่ยว ขั้วแบบขั้วเหมือน รูปร่างแบบกลมแป้น สมมาตรแบบสองซีกเหมือนกัน ช่องเปิดเป็นรู มี 3 รู (tricolpate) เรียงตามแนว equatorial (zoni - aperturate) เรณูมีขนาด 28 – 50 ไมครอน

5.4 ผลแบบ nut เมื่อแก่เต็มที่จะแห้ง ผนังผลจะแตกออกเองตามรอยตะเข็บด้านเดียว ผนังผล แบ่งออกเป็น 3 ชั้น ผลที่มีอายุระหว่าง 2 – 8 สัปดาห์หลังการผสมเกสร ผนังผลชั้นในพบเซลล์สเกลอเรงคิมาที่มีผนังเซลล์หนาทำให้เปลือกผลแข็ง

5.5 เมล็ด มีการพัฒนาเต็มที่ ในระยะ 8 สัปดาห์หลังการผสมเกสร ภายในมีเนื้อสีขาว ซึ่งเริ่มพัฒนาตั้งแต่ระยะ 2 – 3 สัปดาห์หลังดอกบาน เนื้อในเมล็ดประกอบด้วย ใบเลี้ยงขนาดใหญ่ 2 อัน ตรงกลางมีเอ็มบริโอเป็นแบบตรง

6. น้ำตาลซูโครส ความเข้มข้น 15 - 25 เปอร์เซ็นต์ ส่งเสริมการงอกของเรณู

7. จิบเบอเรลลิค แอซิด ความเข้มข้น 0-100 ppm ไม่มีผลต่อความมีชีวิตของเรณู

8. เรณูที่เลี้ยงในอาหารสูตร Brewbaker และ Kwach (1963) ที่มีน้ำตาลซูโครส 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับจิบเบอเรลลิค แอซิด ความเข้มข้น 0-100 ppm มีผลทำให้การงอกของหลอดเรณูลดลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2538. **มะคาเดเมีย**. พิมพ์ครั้งที่ 1 สถาบันวิจัยพืชสวน, กรุงเทพฯ.

_____. 2546. **พืชสวนพันธุ์ดีในรอบ 30 ปี**. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.

เกษม พวงจิก. 2537. **อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงช่วงฤดูกาลที่มีต่อการถ่ายละอองเกสรและผลของสารเคมีต่อการติดผลของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ทะวาย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จำลอง ดาวเรือง. 2538. **ลักษณะสัณฐานวิทยา และสรีรวิทยาของมะคาเดเมียในจังหวัดเชียงใหม่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

_____. 2544. **มะคาเดเมีย**. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 เชียงใหม่ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

จิรดา เลิศปริสัญญ. 2539. **ผลของ GA_3 ที่มีต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผลฝรั่งพันธุ์กลมสาลี่**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดวงจันทร์ เกรียงสุวรรณ. 2543. มะคาเดเมีย. **บทความรายการสาระความรู้ทางการเกษตร**. สถานีวิทยุมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ประจำเดือน กรกฎาคม 2543.

ดำเกิง ชาลีจันทร์. 2538. **มะคาเดเมีย**. พิมพ์ครั้งที่ 1 สถาบันวิจัยพืชสวน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ทิพย์วรรณ ตันประเสริฐ. 2542. **อิทธิพลของ GA_3 GA_{4+7} และ GA_{4+7}+BA ต่อการติดผลและลักษณะผลของฝรั่ง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เทียมใจ คมกฤส. 2549. **กายวิภาคของพฤกษ์**. พิมพ์ครั้งที่ 6 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธีรวุฒิ มาประชา. 2540. **อิทธิพลของ GA_3 GA_{4+7} และ GA_{4+7}+BA ต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และฟ้าลั่น**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิติญา แจ้งกระจ่าง, เสาวณี สาธรวิริยะพงศ์ และ วิทยา สาธรวิริยะพงศ์. 2549. สัณฐานวิทยาและการงอกละอองเรณูของส้มเปลือกร่อนในสภาพทดลองและสภาพธรรมชาติ, น. 57-65. *ใน* **รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 (สาขาพืช)**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ประศาสตร์ เกื้อมณี. 2551. **เทคนิคเนื้อเยื่อพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พรชัย ประเวศทองโสภณ. 2541. **ผลของ GA_3 GA_{4+7} และ GA_{4+7}+BA ต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผลชมพู่พันธุ์เพชรทูลเกล้า**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พีรเดช ทองอำไพ. 2529. **ฮอร์โมนพืชและสารสังเคราะห์ แนวทางการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย**. ห้างหุ้นส่วนจำกัดไดนามิคการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

เรืองศักดิ์ คมขุนทด และ ฉลองชัย แบบประเสริฐ. 2534. การศึกษาความมีชีวิตของเรณูและจำนวนเรณูต่ออับเรณูของมะขามบางพันธุ์, น. 603-610. *ใน* **รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 29 (สาขาพืช)**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลิลลี่ กาวีต๊ะ, มาลี ณ นคร, ศรีสม สุวรรณวงศ์ และสุรียา ตันติวิวัฒน์. 2549. **สรีรวิทยาของพืช**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศิริบุญ พูลสวัสดิ์. 2552. มะคาเดเมีย พืชเศรษฐกิจสารพัดประโยชน์. **บทความวิทยุกระจายเสียงรายการวันนี้กับวิทยาศาสตร์ ครั้งที่ 15**. สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย ประจำเดือน พฤษภาคม 2552.

สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. 2541. **แนวทางการวิจัยและพัฒนาการผลิตมะคาเดเมีย**. 33 หน้า.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2544. **สรีรวิทยาของพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 3 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุจิตรา เจาะจง และ สุดารัตน์ สกุลคู. 2552. การศึกษาความมีชีวิตของละอองเรณูในดอกม่าหลวงตัวผู้, น. 304-311. *ใน* **รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47 (สาขาพืช)**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และ จำลอง ดาวเรือง. 2548. **รายงานโครงการทุนสนับสนุนทุนวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อชนบท**. 74 หน้า.

อรพิน เกิดชูชื่น. 2532. **ผลของ GA_3 ที่มีต่อการติดผล การเจริญเติบโตของผลและคุณภาพของส้มเขียวหวาน**. ปัญหาพิเศษปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Abdul-Baki, A.A. 1992. Determination of Pollen Viability in Tomatoes. **J. Amer. Soc. Hort. Sci**. 117 (3): 473-476.

Acar, I. and B.E. Ak. 1998. An investigation on pollen germination rates of some selected male trees at Ceylanpinar State Farm. **Cah. Options Méditerr. Ser**. 33: 63-66.

Barendse, G.W.M., C.M. Karssen and M. Koornneef. 1991. Role of endogenous gibberellins during fruit and seed development, pp. 179-187. *In* N. Takahashi, B.O. Phinney and J. MacMillan, eds. **Gibberellins**. Springer-Verlag, New York.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Brewbaker, J.L. and B.H. Kwack. 1963. The essential role of calcium ion in pollen germination and pollen tube growth. **Amer. J. Bot**. 50: 747-858.

Campbell, N.A. and J.B. Reece. 2002. **Biology**. Pearson Education, Inc., San Francisco, CA.

Chang, J.C. and T.S. Lin. 2006. GA_3 increases fruit weight in 'Yu Her pau' litchi. **Sci. Hort.** 108: 442-443.

Dhingra, H.R. and T.M. Varghese. 1985. Effect of growth regulators on the *in vitro* germination and tube growth of maize (*Zea mays* L.) pollen from plants raised under sodium chloride salinity. **New Phytol**. 100: 563-569.

Garg M.L., R.J. Blake, R.B.H. Wills and E.H. Clayton. 2007. Macadamia nut consumption modulates favourably risk factors for coronary artery disease in hypercholesterolemic subjects. **Lipids**. 42: 583-587.

Goldschmidt, E.E. 1983. Asymmetric growth of citrus fruit peel induced by localized application of gibberellins in lanolin pastes. **Sci. Hort**. 21: 29-35.

Harden, G.J. 2002. **Flora of New South Wales**. Vol. 2. Brown Prior Anderson, Melbourne, Australia.

Hedden, P. and S.G. Thomas. 2012. Gibberellin biosynthesis and its regulation. **Biochem. J.** 444: 11-25.

Ito, P.J. 1987. **Report of USAID in cooperation with Thailand department of agriculture highland agriculture research office.** Bangkok, Thailand. 38 pp.

Johansen, D.A. 1940. **Plant Microtechnique**. McGraw Hill, New York.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Kaijser, A., P. Dutta and G. Savage. 2000. Oxidative stability and lipid composition of macadamia nuts grown in New Zealand. **Food Chemistry**. 71: 67-70.

Khan, F.U. and C.N. Singh. 1991. Effect of gibberellic acid (GA_3) on the bunch and berry size of 'Kishmish Charni' grapes. **Plant Growth Reg**. 17: 108.

Knox, R.B. 1979. **Pollen and Allergy**. Edward Arnold (Publishers) Limited, London, UK.

Lenahan, O.M. and M.A. Whiting. 2006. Gibberellic acid inhibits floral bud induction and improves 'Bing' sweet cherry fruit quality. **Hort. Sci.** 41: 654-659.

Matthews M.L., J. Gardner and M. sedgley. 1999. The proteaceous pistil: morphological and anatomical aspects of the pollen presenter and style of eight apecies across five genera. **Ann. Bot**. 83: 385-399.

Meyers, N.M. and C.A. Mc Conchie. 1996. Cross pollination of macadamia. pp 228-233. *In* **Proceedings of the 3rd Australian Society of Horticultural Science and the 1st Australian Macadamia Society Research Conference**. 18-22 August 1996, Pan Pacific Hotel, Gold Coast, Australia.

Moncur, M.W., R.A. Stephenson and T. Trochoulias. 1985. Floral development of *Macadamia integrifolia* Maiden & Betche under Australian conditions. **Sci. Hort.** 27: 87-96.

Nagao, M.A. and W.S. Sakai. 1990. Effects of gibberellic acid, ethephon or gridling on the peoduction of racemes in *Macadamia integrifolia*. **Sci. Hort**. 42: 47-54.

NeSmith, D.S. and G. Krewer. 1992. Flower bud stage and chill hours influence the activity of GA_3 applied to rabbiteye blueberry. **Hort. Sci**. 27: 316-318.

Öpik, H. and S.A. Rolfe. 2005. **The Physiology of Flowering Plants**. The United Kingdom at the University Press, Cambridge, UK.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Pline, W.A., K.L. Edmisten, J.W. Wilcut, R. Wells and J. Thomas. 2003. Glyphosate-induced reductions in pollen viability and seed set in glyphosate-resistant cotton and attempted remediation by gibberellic acid (GA_3). **Weed Science**. 51: 19-27.

Sakai, W.S. and M.A. Nagao. 1985. Fruit growth and abscission in *Macadamia integrifolia*. **Physiologia Plantarum**. 64: 455-460.

Scholefield, P.B. 1982. A scanning electron microscope study of flowers of avocado, litchi, macadamia and mango. **Sci. Hort**. 16: 263-272.

Schuch, U.K., L.H. Fuchigami and M.A. Nagao. 1990. Gibberellic acid causes earlier flowering and synchronizes fruit ripening of coffee. **Plant Growth Reg**. 9: 59-64.

Sedgley, M. 1981. Early development of the macadamia ovary. **Aust. J. Bot**. 29: 185-193.

_____. 1983. Pollen tube growth in macadamia. **Sci. Hort**. 18: 333-341.

_____, F.D.H. Bell, C.W. Winks, S.J. Pattisan and T.W. Hancock. 1990. Self and cross-compatibility of macadamia cultivars. **J. Hort. Sci.** 65: 205-213.

Stephenson, R. 2005. Macadamia: domestication and commercialisation. **Chronica Horticulturae**. 45: 11-15.

Stephenson, R.A. and E.C. Gallagher. 1986. Effects of night temperature on flower initiation and raceme development in macadamia. **Sci. Hort**. 30: 213-218.

_____. 1987. Effects of temperature, tree water status and relative humidity on premature nut drop from macadamia. **Sci. Hort**. 33: 113-121.

Thomas, T.D. 2008. The effect of *in vivo* and *in vitro* application of ethrel and GA_3 on sex expression in bitter melon (*Momordica charantia* L.). **Euphytica**. 164: 317-323.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Trochoulias, T. 1984. **Report of Australian co-operation with the national agricultural research project Thailand**. Bangkok, Thailand. 31 pp.

Trueman, S.J. and C.G.N. Turnbull. 1994. Fruit set, abscission and dry matter accumulation on girdled branches of macadamia. **Ann. Bot**. 74: 667-674.

_____. 2011. Endogenous gibberellins levels during early fruit development of macadamia. **Afr. J. Agric. Res**. 6(20): 4785-4788.

_____. 2013. The reproductive biology of macadamia. **Sci. Hort**. 150: 354-359.

Walton, D.A. and H.M. Wallace. 2005. Ultrastructure of macadamia (Proteaceae) embryos: implications for their breakage properties. **Ann. Bot**. 96: 981-988.

Weaver, R.J. 1972. **Plant Growth Substance in Agriculture**. W.F. Freeman & Company, San Francisco.

Woodroof, J.G. 1982. **Tree nuts Production Processing Products**. 2nd ed. AVI Publ. Co. Inc., Westport, Connecticut.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์การติดผลของดอกมะคาเดเมีย 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ ที่ระยะเวลา 14 วัน

SV	DF	SS	MS	F
GA_3 conc. (G)	4	5.498	1.374	0.672 ^{ns}
Stage of flower (S)	2	5.029	2.514	1.229 ^{ns}
G x S	8	34.270	4.284	2.093 ^{ns}
Error	29	59.344	2.046	
Total	44	227.647		

CV = 87.25%

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนน้ำหนักผลมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิดที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)

SV	DF	SS	MS	F
GA_3 conc. (G)	4	57.319	14.330	2.171 ^{ns}
Stage of flower (S)	2	10.858	5.429	0.823 ^{ns}
G x S	4	57.819	14.455	2.190 ^{ns}
Error	13	85.791	6.599	
Total	24	5904.414		

CV = 17.17%

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความกว้างของผลมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)

SV	DF	SS	MS	F
GA_3 conc. (G)	4	0.297	0.074	2.589 ^{ns}
Stage of flower (S)	2	0.020	0.010	0.347 ^{ns}
G x S	4	0.260	0.065	2.271 ^{ns}
Error	13	0.372	0.029	
Total	24	205.136		

CV = 5.88%

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความยาวของผลมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)

SV	DF	SS	MS	F
GA_3 conc. (G)	4	0.580	0.145	2.440 ^{ns}
Stage of flower (S)	2	0.074	0.037	0.624 ^{ns}
G x S	4	0.170	0.043	0.716 ^{ns}
Error	13	0.773	0.059	
Total	24	293.775		

CV = 7.06%

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจำนวนช่อต่อต้นของมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)

SV	DF	SS	MS	F
GA_3 conc. (G)	4	10.441	2.610	2.828 ^{ns}
Stage of flower (S)	2	0.601	0.301	0.326 ^{ns}
G x S	4	11.235	2.809	3.043 ^{ns}
Error	13	12.000	0.923	
Total	24	134.000		

CV = 55.59%

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจำนวนผลต่อช่อของมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)

SV	DF	SS	MS	F
GA_3 conc. (G)	4	23.161	5.790	8.205 *
Stage of flower (S)	2	6.667	3.334	4.724 *
G x S	4	33.852	8.463	11.993 *
Error	13	9.174	0.706	
Total	24	133.978		

CV = 39.52%

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์การติดผลของดอกมะคาเดเมีย 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)

SV	DF	SS	MS	F
GA_3 conc. (G)	4	0.396	0.099	3.961 ^{ns}
Stage of flower (S)	2	0.232	0.116	1.936 ^{ns}
G x S	4	0.951	0.238	3.961*
Error	13	0.780	0.060	
Total	24	5.559		

CV = 68.91%

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความกว้างของเนื้อในเมล็ดมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)

SV	DF	SS	MS	F
GA_3 conc. (G)	4	0.592	0.148	1.553 ^{ns}
Stage of flower (S)	2	0.042	0.021	0.219 ^{ns}
G x S	4	0.230	0.058	0.604 ^{ns}
Error	13	1.239	0.095	
Total	24	50.145		

CV = 68.77%

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความยาวของเนื้อในเมล็ดมะคาเดเมียที่พัฒนามาจากดอก 3 ระยะหลังการฉีดพ่นสารจิบเบอเรลลิค แอซิด ที่ระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ หลังการเก็บเกี่ยว (อายุ 160 วันหลังการฉีดพ่นสาร)

SV	DF	SS	MS	F
GA_3 conc. (G)	4	0.581	0.145	1.944 ^{ns}
Stage of flower (S)	2	0.089	0.045	0.595 ^{ns}
G x S	4	0.260	0.065	0.868 ^{ns}
Error	13	0.972	0.075	
Total	24	77.038		

CV = 15.54%

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเรณูมะคาเดเมีย เมื่อเลี้ยงบนอาหารสูตร Brewbaker & Kwack (1963) ที่เติมน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	5	6137.677	1227.535	21.801 *
Error	12	675.687	56.307	
Total	17	6813.364		

CV = 17.31%

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเรณูมะคาเดเมีย เมื่อเลี้ยงบนอาหารสูตร Brewbaker & Kwack (1963) ที่เติมน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	4	85.605	21.401	1.571 ^{ns}
Error	10	136.266	13.627	
Total	14	221.871		

CV = 4.15%

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์การงอกของละอองเรณูมะคาเดเมีย เมื่อเลี้ยงบนอาหารสูตร Brewbaker & Kwack (1963) ที่มีน้ำตาลซูโครสเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับจิบเบอเรลลิค แอซิด (GA_3) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	4	7798.654	1949.663	52.775 *
Error	10	369.431	36.943	
Total	14	8168.085		

CV = 31.18%

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวกที่ 1 การศึกษาทางไมโครเทคนิคของพืชด้วยวิธี Paraffin technique (ดัดแปลงจาก ประศาสตร์, 2551; Johansen, 1940)

การเตรียมตัวอย่างพืช

1. การเก็บและตัดตัวอย่าง

นำส่วนที่จะศึกษา คือ ตาดอกตั้งแต่ระยะพักตัว จนถึงระยะดอกตูมที่มีส่วนประกอบของดอก (floral part) ครบทุกๆ 1 สัปดาห์ ดอกย่อยระยะดอกตูมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 เซนติเมตร จนถึงระยะดอกบานทุกๆ 1 สัปดาห์ ผลและเมล็ดหลังดอกบานทุกๆ 1 สัปดาห์ จนถึงการเก็บเกี่ยวครั้งสุดท้าย โดยตัดตัวอย่างให้มีขนาดประมาณ 0.5 x 0.5 เซนติเมตร

2. การฆ่าและคงสภาพเนื้อเยื่อ (Killing and Fixing)

นำชิ้นส่วนในข้อ 1 ที่ตัดหรือแยกแล้ว แช่ในน้ำยาฆ่าและคงสภาพเนื้อเยื่อ FAA (Formalin acetic alcohol) ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ อย่างน้อย 12 ชั่วโมง

3. การดูดอากาศออกจากเนื้อเยื่อ

นำชิ้นส่วนที่แช่อยู่ใน FAA ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ เข้าเครื่องดูดอากาศ (Suction Pump) เพื่อดูดอากาศออกจากเนื้อเยื่อ และช่วยให้น้ำยาซึมเข้าไปได้ทั่วถึง โดยใช้ความดันประมาณ 15 – 25 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 3 – 3 ½ ชั่วโมง แล้วแต่ชนิดของเนื้อเยื่อ หรือจนกว่าฟองอากาศจะหมด โดยสังเกตได้จากการที่เนื้อเยื่อจมลงสู่ก้นขวด และไม่มีฟองอากาศลอยขึ้นมา จากนั้นทิ้งไว้อย่างน้อย 72 ชั่วโมง

4. การล้างน้ำยาออกจากเนื้อเยื่อ

นำชิ้นส่วนพืชแช่ใน Ethyl alcohol ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ โดยแช่นานครั้งละ 3 ชั่วโมง ทำเช่นนี้จนครบ 3 ครั้ง เพื่อล้างน้ำยาฆ่าและคงสภาพเนื้อเยื่อ ออกจากเนื้อเยื่อให้หมด

5. การดึงน้ำออกจากเนื้อเยื่อ

นำชิ้นส่วนพืชไปแช่ใน TBA (Tertiary butyl alcohol) ความเข้มข้น 50 70 85 95 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ละความเข้มข้นใช้เวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ ให้ผสมสี erythrosin ลงไปเล็กน้อย เพื่อให้ชิ้นส่วนติดสีชมพู – แดง สามารถมองเห็นได้ง่าย จากนั้นนำชิ้นส่วนแช่ใน pure TBA จำนวน 3 ครั้งโดยแช่อย่างน้อยครั้งละ 12 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. การนำพาราฟฟินแทรกซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อ (Infiltration)

นำชิ้นส่วนพืชไปแช่ในส่วนผสมของ pure TBA กับ paraffin oil อัตราส่วน 1:1 นาน 12 ชั่วโมง โดยในขั้นตอนนี้จะนำขวดตัวอย่างชิ้นส่วนพืชใส่ในตู้อบที่อุณหภูมิ 56 – 60 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง จากนั้นเปลี่ยนใช้ pure paraffin ที่ผ่านการหลอมละลายในตู้อบที่อุณหภูมิ 56 – 60 องศาเซลเซียส นานอย่างน้อย 6 ชั่วโมง โดยทำการเปลี่ยนทั้งหมด 3 ครั้ง แช่ในตู้อบที่อุณหภูมิ 56 – 60 องศาเซลเซียส อย่างน้อยครั้งละ 12 ชั่วโมง

7. การฝังชิ้นส่วนพืชในพาราฟฟิน (embedding)

ใช้กระดาษแข็งผิวมันพับเป็นเบ้าสำหรับฝังตัวอย่าง ขนาดประมาณ 3 x 4 เซนติเมตร เทพาราฟฟินที่หลอมละลายไว้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมงลงในเบ้าที่เตรียมไว้ปริมาณ 2/3 ของเบ้า นำเบ้าพาราฟินไปลอยในอ่างน้ำเย็น ประมาณ 30 วินาที เพื่อให้พาราฟฟินส่วนล่างมีความหนืด นำชิ้นส่วนพืชที่แช่อยู่ในพาราฟฟินเหลวลงไป ใช้เข็มเขี่ยปลายแบนที่เผาไฟจนร้อน จัดเรียงตัวอย่างให้เป็นระเบียบและมีทิศทางตามต้องการ พร้อมทั้งไล่ฟองอากาศออกจากพาราฟฟิน จากนั้นนำเบ้าไปลอยในอ่างน้ำเย็นอีกครั้ง จนพาราฟฟินเริ่มแข็งตัวให้คว่ำเบ้าลงในน้ำเพื่อป้องกันอากาศจากภายนอกแทรกเข้าไปในเนื้อพาราฟฟิน

8. การตัดตัวอย่าง (sectioning) ด้วยเครื่องตัดแบบหมุน (Rotary microtome)

นำชิ้นส่วนพืชที่ฝังในพาราฟฟิน ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมเล็กๆ โดยตัวอย่างที่ฝังอยู่ในพาราฟฟินต้องทำการตัดแยกเป็นชิ้นเดี่ยวๆ และตัดแต่งให้ส่วนฐานกว้างกว่าส่วนบน จากนั้นนำชิ้นส่วนพืชติดบนแท่งไม้รูปลูกบาศก์ โดยใช้พาราฟฟินเป็นตัวเชื่อม แล้วตัดด้วยเครื่องตัดแบบหมุน ด้วยความหนา 5 – 20 ไมครอน เนื้อเยื่อพืชที่ผ่านการตัดจะติดกันเป็นเหมือนริบบิ้น (Ribbon) แทรกอยู่ในพาราฟฟิน

9. การติดชิ้นบางลงบนสไลด์ (Affixation)

ตัดแถบของชิ้นบางออกเป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งแต่ละชิ้นจะมีตัวอย่างพืช ประมาณ 1 – 3 ชิ้น ตามความเหมาะสม นำแถบตัวอย่างที่ตัดแบ่งไว้มาติดบนแผ่นสไลด์ที่ทาด้วย Haupt's adhesive ซึ่งทำหน้าที่เป็นกาว ร่วมกับ formalin ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งช่วยให้พาราฟฟินยืดตัว ในการติดนั้นให้วางบนเครื่องอุ่นสไลด์ (slide warmer) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้พู่กันจัดเรียงตัวอย่างให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ก่อนสารละลายแห้ง เก็บสไลด์ไว้ที่อุณหภูมิห้องที่มีอากาศถ่ายเทประมาณ 5 วัน เพื่อให้ตัวอย่างแห้งสนิท และยึดติดกับสไลด์อย่างสมบูรณ์ก่อนทำการย้อม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

10. ขั้นตอนการย้อมสี (Staining) ด้วยสี Safranin และ Fast green

10.1 นำสไลด์ที่มีแถบพาราฟฟินติดอยู่ แช่ใน xylene นานประมาณ 5 – 10 นาที เพื่อละลายเอาพาราฟฟินออก

10.2 แช่สไลด์ในส่วนผสมของ xylene กับ absolute ethanol อัตราส่วน 1:1 นานประมาณ 5 นาที

10.3 แช่สไลด์ในส่วนผสมของ ether กับ absolute ethanol อัตราส่วน 1:1 นานประมาณ 5 นาที

10.4 แช่สไลด์ใน ethanol ความเข้มข้น 95 70 50 และ 30 ตามลำดับ ขั้นละประมาณ 5 นาที

10.5 แช่สไลด์ในสี safranin ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ นาน 5 – 60 นาที แล้วแต่ชนิดของเนื้อเยื่อ

10.6 ล้างสีส่วนเกินออกโดยการจุ่มหรือการแกว่งสไลด์ไป – มาเบาๆ ในน้ำ

10.7 แช่สไลด์ใน ethanol ความเข้มข้น 30 50 70 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขั้นละประมาณ 5 นาที เพื่อดึงน้ำออกจากเนื้อเยื่อ

10.8 หยดสี fast green ลงบนเนื้อเยื่อ จำนวน 1 – 2 หยด เอียงสไลด์ไปมาเพื่อให้สีไหลผ่านตัวอย่างหลายๆ ครั้ง นาน 1 – 2 นาที ขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อ

10.9 เทสี fast green ออกแล้วหยด clove oil จำนวน 1 – 2 หยด เพื่อล้างสีส่วนเกินออก

10.10 ล้างด้วย Ethanol ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นแช่สไลด์ใน absolute ethanol นาน 1 -3 นาที เพื่อดึงน้ำที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อออก

10.11 แช่สไลด์ในส่วนผสมของ xylene กับ absolute ethanol อัตราส่วน 1:1 นานประมาณ 5 นาที

10.12 แช่สไลด์ใน pure xylene ประมาณ 6 ชั่วโมง

10.13 เมาท์ตัวอย่างโดยการหยด permount หรือ Canada balsam จำนวน 1 หยด ลงบนชิ้นตัวอย่างที่เปียกด้วย xylene ปิดด้วยกระจกปิดสไลด์

10.14 สไลด์ตัวอย่างหลังจากเมาท์แล้ว นำไปอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 40 – 50 องศาเซลเซียส หรืออบด้วยความร้อนจากหลอดไปจนแห้งสนิท

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวกที่ 2 ขั้นตอนการตัดกะลามะคาเดเมียด้วยเครื่อง sliding microtome (ดัดแปลงจาก ประศาสตร์, 2551)

การเตรียมตัวอย่างพืช

1. นำกะลาที่ผ่านการแช่ใน ethanol ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ มาล้างน้ำ แล้วนำไปตัดด้วยเครื่อง sliding microtome ทางด้านหน้าตัด และด้านสัมผัส ด้วยความหนาประมาณ 20 -30 ไมครอน

2. นำชิ้นเนื้อเยื่อที่ตัดได้ ย้อมด้วยสี safranin นาน 5 – 10 นาที

3. ล้างเนื้อเยื่อด้วยน้ำ 2 - 3 ครั้ง เพื่อล้างสีส่วนเกินออก

4. แช่เนื้อเยื่อลงใน ethanol ความเข้มข้น 30 50 70 95 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขั้นละประมาณ 10 นาที เพื่อดึงน้ำออกจากเนื้อเยื่อ

5. แช่เนื้อเยื่อในส่วนผสมของ absolute ethanol กับ xylene อัตราส่วน 1:1 นานประมาณ 10 นาที

6. แช่เนื้อเยื่อใน xylene อย่างน้อย 6 ชั่วโมง

7. เมาท์ตัวอย่างโดยการหยด permount หรือ Canada balsam จำนวน 1 หยด ลงบนชิ้นตัวอย่างที่เปียกด้วย xylene ปิดด้วยกระจกปิดสไลด์

8. สไลด์ตัวอย่างหลังจากเมาท์แล้ว นำไปอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 40 – 50 องศาเซลเซียส หรืออบด้วยความร้อนจากหลอดไปจนแห้งสนิท

ภาคผนวกที่ 3 การตรวจสอบความมีชีวิตของเรณูด้วย FDA (Fluorscein diacetate) ตามกรรมวิธีของ Heslop – Harrison และ Heslop – Harrison (1970) มีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมสารละลาย FDA ดังนี้

ผงสี FDA	2	มก.
Acetone	1	มล.
Sucrose	0.5	โมล

2. แช่เรณูในสารละลาย FDA นานประมาณ 45 นาที

3. ตรวจสอบใต้กล้องจุลทรรศน์แบบฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent microscope) เรณูที่มีชีวิตจะเรืองแสงสีน้ำเงินอมเขียว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวกที่ 4 สูตรน้ำยาต่างๆ

1. น้ำยาสูตร Formalin – Acetic Acid – Alcohol (FAA) ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ มีส่วนผสมดังนี้

Ethanol 95%	50	มล.
Acetic acid	5	มล.
Formaldehyde	10	มล.
น้ำกลั่น	35	มล.

2. น้ำยาสูตร Tertiary butyl alcohol (TBA) ความเข้มข้น 5 ระดับ มีส่วนผสมดังนี้

ลำดับขั้น	1	2	3	4	5
ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ (เปอร์เซ็นต์)	50	70	85	95	100
น้ำกลั่น	50	30	15	-	-
Ethanol 95%	40	50	50	45	-
Tertiary butyl alcohol	10	20	35	55	75
Absolute ethanol	-	-	-	-	25

3. Gelatin adhesive สูตร Haupt มีส่วนผสมดังนี้

Gelatin	1	กรัม
Phenol crystal	2	กรัม
Glycerine	15	มล.
น้ำกลั่น	100	มล.

วิธีเตรียม ละลาย Gelatin 1 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มล. ที่อุณหภูมิ 30 – 40 องศาเซลเซียส เมื่อ Gelatin ละลายหมดแล้ว เติม Phenol และ Glycerine ลงไป คนให้เข้ากัน กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง เก็บไว้ในภาชนะที่ทึบแสง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. สี Safranin O

Safranin O	2	กรัม
Ethanol 95%	18	มล.
น้ำกลั่น	200	มล.

วิธีเตรียม ละลายผงสี Safranin O ลงใน Ethanol 95% คนให้สารละลายเข้ากัน เติมน้ำกลั่นลงไป แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง

5. สี Fast green

Fast green	1	กรัม
Absolute ethanol	100	มล.
Clove oil	100	มล.

วิธีเตรียม ละลาย Fast green 1 กรัม ลงใน Absolute ethanol 100 มล. คนสารละลายให้เข้ากัน กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง เติม Clove oil คนสารละลายให้เข้ากัน

6. อาหารเหลวสูตร Brewbaker & Kwach (1963) มีส่วนผสมดังนี้

Sucrose 10%

Boric acid (H_3BO_3)	100	ppm
Calcium nitrate ($Ca(NO_3)_2.4H_2O$	300	ppm
Magnesium sulphate ($MgSO_4.7H_2O$)	200	ppm
Potassium nitrate (KNO_3)	100	ppm

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นางสาวอังคนางค์ เชื้อเจ็ดตน

เกิดวันที่ 13 พฤษภาคม 2525

สถานที่เกิด อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

ประวัติการศึกษา วท.บ. (ชีววิทยา) เกียรตินิยมอันดับสอง มหาวิทยาลัยนเรศวร

ประกาศนียบัตรบัณฑิตทางการสอน มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตำแหน่งปัจจุบัน ครูปฏิบัติงาน (ครู คศ.1)

สถานที่ทำงานปัจจุบัน โรงเรียนสามัคคีวิทยาคม จังหวัดเชียงราย

ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ -

ทุนการศึกษาที่ได้รับ -

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์