



วิทยานิพนธ์

การพัฒนาของเปลือกหุ้มเมล็ดและการเกิดการพักตัวแบบเมล็ดแข็งใน
เมล็ดผักบุ้งไทย (*Ipomoea aquatica* Forsk.)

SEED COAT DEVELOPMENT AND HARD SEED
FORMATION IN THAI WATER CONVULVULUS
(*Ipomoea aquatica* Forsk.)

นางสาวนิอร งามสุข

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปริญญา

พืชไร่นา

พืชไร่นา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาของเปลือกหุ้มเมล็ดและการเกิดการพักตัวแบบเมล็ดแข็งในเมล็ดผักบุ้งไทย
(*Ipomoea aquatica* Forsk.)

Seed Coat Development and Hard Seed Formation in Thai Water Convolvulus
(*Ipomoea aquatica* Forsk.)

นามผู้วิจัย นางสาวนิอร งามสุข

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนันทา จันทกุล, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์อิสรา สุขสถาน, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุเทวี สุขปรากร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์รังสฤษฎ์ กาวิต๊ะ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจจงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาของเปลือกหุ้มเมล็ดและการเกิดการพักตัวแบบเมล็ดแข็งในเมล็ดผักบุ้งไทย
(*Ipomoea aquatica* Forsk.)

Seed Coat Development and Hard Seed Formation in Thai Water Convolvulus
(*Ipomoea aquatica* Forsk.)

โดย

นางสาวนิอร งามสุข

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
พ.ศ. 2550

นิอร งามสุข 2550: การพัฒนาของเปลือกหุ้มเมล็ดและการเกิดการพักตัวแบบเมล็ดแข็ง
ในเมล็ดผักบุ้งไทย (*Ipomoea aquatica* Forsk.) ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
(เกษตรศาสตร์) สาขาพืชไร่นา ภาควิชาพืชไร่นา ปรธานกรรมการที่ปรึกษา:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนันทา จันทกุล, Ph.D. 63 หน้า

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพัฒนาของเมล็ด เปลือกหุ้มเมล็ดและการเกิด
เมล็ดแข็งในผักบุ้งไทย 2 accession ที่ปลูกในแปลงทดลองของศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน
(TVRC) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยเก็บเมล็ดทุก 3 วัน เริ่มต้นจาก 0 ถึง
60 วันหลังดอกบานมาศึกษาพบว่า เมล็ดผักบุ้งไทยเขียว (WC089) และแดง (WC077) แก่ทาง
สรีรวิทยาที่อายุ 33 วันหลังดอกบาน เริ่มมีการพักตัวแบบเมล็ดแข็งที่อายุ 39 และ 36 วันหลังดอก
บาน ตามลำดับ เมื่อเมล็ดอายุมากขึ้นเปอร์เซ็นต์ความงอกและความชื้นของเมล็ดลดลง ในขณะที่
จำนวนเมล็ดแข็งเพิ่มขึ้นและสูงสุดที่อายุ 60 วันหลังดอกบาน เมื่อเปลือกหุ้มเมล็ดพัฒนาสมบูรณ์
แล้ว palisade layer ของเปลือกหุ้มเมล็ดแบ่งเป็น 2 ชั้น โดยชั้นบนเป็นเซลล์รูปแท่งยาวเรียงตัวกัน
อย่างหนาแน่น 1 ชั้น ถัดมาเป็นเซลล์รูปร่างคล้ายทรงกระบอกสั้นๆ เรียงซ้อนกัน 4-5 ชั้น เปลือก
หุ้มเมล็ดที่พักตัวแบบเมล็ดแข็งมีสีเข้มกว่าเมล็ดปกติเล็กน้อย เนื่องจากมีการสะสมของ lignin ใน
inner palisade layer มากกว่า

Ni-on Ngamhui 2007: Seed Coat Development and Hard Seed Formation in Thai Water Convolvulus (*Ipomoea aquatica* Forsk.). Master of Science (Agriculture), Major Field: Agronomy, Department of Agronomy. Thesis Advisor: Assistant Professor Sunanta Juntakool, Ph.D. 63 pages.

Seed development and hard seed formation of two Thai Water Convolvulus accessions (WC089 and WC077) were investigated at the Tropical Vegetable Research Center, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus during September, 2004 to June, 2005. Seeds of both accessions reached their physiological maturity at 33 days after anthesis (DAA) with 98 and 100 germination percentages. Hard seed was developed at 36 and 39 DAA in WC089 and WC077, respectively. Hard seed increased when seed moisture content decreased resulting in low germination percentages. At the end of seed coat development, the palisade layer had developed into two layers, one layer of outer palisade and four to five layers of inner palisade. Phenolic compounds (cutin and suberin) increased in the outer layer while lignin increased only in the inner layer of palisade cells.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนันtha จันทกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความกรุณาอย่างดียิ่งทั้งในด้านการเรียน การให้คำปรึกษาแนะนำและวางแนวทางการดำเนินการทดลอง ตลอดจนแก้ไขและเรียบเรียงวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อิสรา สุขสถาน กรรมการสาขาวิชาเอก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเทวี สุขปรากร กรรมการสาขาวิชารอง ที่ได้ให้ความกรุณาในการให้คำปรึกษาแนะนำและวางแนวทางการดำเนินการทดลอง แก้ไขและเรียบเรียงวิทยานิพนธ์จนสำเร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมศิริ แสงโชติ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการเรียบเรียงและแก้ไขวิทยานิพนธ์เพื่อให้เนื้อหามีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ คุณเฟื่องฟ้า จันทนิยม ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง ห้องปฏิบัติการไมโครเทคนิคทางพืช สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และรองศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ จันทวงศ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ประศาสตร์ เกื้อมณี ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษาพิเศษ และกรุณาช่วยเหลือในการดำเนินการทดลองและให้คำปรึกษาตลอดการดำเนินงาน

ขอขอบพระคุณ บุคลากรและเจ้าหน้าที่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน (TVRC) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้แปลงทดลองและห้องปฏิบัติการทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์

ขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้เสมอมา สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสุขไทย งามสุข คุณแม่นารี งามสุข พี่สาว และญาติพี่น้องที่สนับสนุนทุนการศึกษาและเป็นแรงบันดาลใจในความสำเร็จครั้งนี้

นীর งามสุข
พฤษภาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	14
อุปกรณ์	14
วิธีการ	14
ผลและวิจารณ์	17
สรุป	43
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	44
ภาคผนวก	52
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	63

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	สารประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ดผักนึ่งไทยแดง (WC089) ช่วงอายุ 0 - 24 วันหลังดอกบาน 31
2	สารประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ดผักนึ่งไทยเขียว (WC077) ช่วงอายุ 0 - 24 วันหลังดอกบาน 36
ตารางผนวกที่	
1	สีของผักและเมล็ดของผักนึ่งไทยแดง (WC089) และผักนึ่งไทยเขียว (WC077) 56
2	ความกว้างและยาวของเมล็ดผักนึ่งไทยแดง (WC089) และผักนึ่งไทยเขียว (WC077) (เซนติเมตร) 57
3	น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความชื้น ความงอก และเมล็ดแข็งของเมล็ดผักนึ่งไทยแดง (WC089) ที่กำลังพัฒนา 58
4	น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความชื้น ความงอก และเมล็ดแข็งของเมล็ดผักนึ่งไทยเขียว (WC077) ที่กำลังพัฒนา 59
5	ต้นกล้าปกติ ต้นกล้าผิดปกติ เมล็ดแข็ง เมล็ดตาย และเมล็ดสดไม่งอกจากการทดสอบความงอกมาตรฐานของเมล็ดผักนึ่งไทยแดง (WC089) (เปอร์เซ็นต์) 60
6	ต้นกล้าปกติ ต้นกล้าผิดปกติ เมล็ดแข็ง เมล็ดตาย และเมล็ดสดไม่งอกจากการทดสอบความงอกมาตรฐานของเมล็ดผักนึ่งไทยเขียว (WC077) (เปอร์เซ็นต์) 61
7	ข้อมูลภูมิอากาศบริเวณแปลงทดลอง ระหว่างเดือนมิถุนายน 2547 - มิถุนายน 2548 62

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ภาพตัดตามยาวของเปลือกหุ้มเมล็ดของเมล็ด sweet clover	8
2 ก) ดอกผักบุ้งที่กำลังบาน และ ข) ลักษณะเมื่อผสมติดกลีบดอกจะเหี่ยวและร่วงไป ส่วนของฐานรองดอกหรือกลีบเลี้ยงจะหุบเข้า ก้านดอกจะโค้งงอลง	18
3 การพัฒนาของเมล็ดผักบุ้งไทยแดง (WC089) อายุ 0 – 60 วัน หลังดอกบาน	19
4 การพัฒนาของเมล็ดผักบุ้งไทยเขียว (WC077) อายุ 0 – 60 วัน หลังดอกบาน	20
5 ความกว้างและยาว (เซนติเมตร) ของเมล็ด ก) ผักบุ้งไทยแดง และ ข) ผักบุ้งไทยเขียว ระหว่างอายุ 6 – 60 วันหลังดอกบาน	21
6 ความชื้น ความงอก เมล็ดแข็ง (เปอร์เซ็นต์) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (กรัม/100 เมล็ด) ของเมล็ด ก) ผักบุ้งไทยแดง และ ข) ผักบุ้งไทยเขียว	25
7 ก) ภาพตัดขวาง และ ข) ภาพตัดตามยาว ส่วนรังไข่ของผักบุ้งไทยที่ระยะดอกบาน	27
8 โครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดผักบุ้งไทยแดง (WC089) อายุ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 วันหลังดอกบาน (200X) แสดง outer epidermis (oe.), integument (int.), papillae (pap), palisade layer (pa.l.), parenchymatous layer (par.l.) และ nucellus (nu.)	29
9 โครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดปกติของผักบุ้งไทยแดง (WC089) อายุ 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 42, 45, 48, 51, 54, 57 และ 60 วันหลังดอกบาน (200X) แสดง outer epidermis (oe.), palisade layer (pa.l.), parenchymatous layer (par.l.) และ light line (l.l.)	30
10 โครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดผักบุ้งไทยเขียว (WC077) อายุ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 วันหลังดอกบาน (200X) แสดง outer epidermis (oe.), integument (int.), papillae (pap), palisade layer (pa.l.), parenchymatous layer (par.l.) และ nucellus (nu.)	34
11 โครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดปกติของผักบุ้งไทยเขียว (WC077) อายุ 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 42, 45, 48, 51, 54, 57 และ 60 วันหลังดอกบาน (200X) แสดง outer epidermis (oe.), palisade layer (pa.l.) และ parenchymatous layer (par.l.)	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
12	โครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดแข็งของฝักนึ่งไทยแดง (WC089) อายุ 36, 39, 42, 45, 48, 51, 54, 57 และ 60 วันหลังดอกบาน (200X) แสดง outer epidermis (oe.), palisade layer (pa.l.), parenchymatous layer (par.l.) และ light line (l.l.)	39
13	โครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดแข็งของฝักนึ่งไทยเขียว (WC077) อายุ 39, 42, 45, 48, 51, 54, 57 และ 60 วันหลังดอกบาน (200X) แสดง outer epidermis (oe.), palisade layer (pa.l.), parenchymatous layer (par.l.) และ light line (l.l.)	40
14	โครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดฝักนึ่งไทยแดงอายุ 36, 39, 42, 45, 48, 51, 54, 57 และ 60 วันหลังดอกบาน ก) เมล็ดปกติ เปรียบเทียบกับ ข) เมล็ดแข็ง (200X) แสดง outer epidermis (oe.), outer palisade layer (o.pa.l.), inner palisade layer (i.pa.l.), parenchymatous layer (par.l.) และ light line (l.l.)	41
15	โครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดฝักนึ่งไทยเขียวอายุ 39, 42, 45, 48, 51, 54, 57 และ 60 วันหลังดอกบาน ก) เมล็ดปกติ เปรียบเทียบกับ ข) เมล็ดแข็ง (200X) แสดง outer epidermis (oe.), outer palisade layer (o.pa.l.), inner palisade layer (i.pa.l.), parenchymatous layer (par.l.) และ light line (l.l.)	42

การพัฒนาของเปลือกหุ้มเมล็ดและการเกิดการพักตัวแบบเมล็ดแข็งในเมล็ดผักบุ้งไทย
(*Ipomoea aquatica* Forsk.)

Seed Coat Development and Hard Seed Formation in Thai Water Convolvulus
(*Ipomoea aquatica* Forsk.)

คำนำ

ผักบุ้ง (water convolvulus, morning-glory) เป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นผักที่ได้รับความนิยม และแพร่หลายมากของชาวเอเชีย โดยนิยมรับประทานผักบุ้งเป็นผักสดและนำไปปรุงอาหารหลายชนิด ผักบุ้งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ผักบุ้งจีนและผักบุ้งไทยหรือผักบุ้งพื้นบ้าน สำหรับผักบุ้งไทยที่บริโภคในปัจจุบันมีทั้งชนิดที่มีลำต้นสีแดงและลำต้นสีเขียว อุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารและมีสรรพคุณทางยาหลายประการ เช่น แก้กตาอักเสบ บำรุงสายตา แก้กโรคปวดศีรษะ ถอนพิษสัตว์กัดต่อย เป็นต้น (นิรนาม, 2538) โดยในปี พ.ศ. 2545 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกผักบุ้งไทย จำนวน 246.75 ไร่ และในปีเพาะปลูก 2545/2546 มีพื้นที่ปลูกผักบุ้งน้ำหรือผักบุ้งจีนจำนวน 53,237 ไร่ และมีพื้นที่ปลูกผักบุ้งเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งจีนจำนวน 13,669 ไร่ (นิรนาม, 2548)

ปัจจุบันมีการผลิตผักบุ้งไทยเป็นการค้าเพื่อตอบสนองความต้องการของประชาชนที่หันมาให้ความสนใจกับการบริโภคผักพื้นบ้านมากขึ้น เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูง รวมถึงผักพื้นบ้านจะทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม และโรคและแมลงได้ดี ในกระบวนการผลิตจึงใช้สารเคมีน้อย ซึ่งการผลิตผักบุ้งไทยเชิงการค้าเพื่อการบริโภคนี้ แหล่งผลิตจะกระจายอยู่ตามพื้นที่ที่มีแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น แม่น้ำ ลำคลอง หนองน้ำ รวมถึงไม่มีการผลิตเมล็ดพันธุ์จำหน่ายเนื่องจากการผลิตทั้งหมดใช้ท่อนพันธุ์ในการขยายพันธุ์ ลักษณะทางพฤกษศาสตร์และการเจริญเติบโตของผักบุ้งไทยที่พบในแต่ละพื้นที่มีความแปรผันกันมาก (ดุษณี, 2530) ดังนั้นการเก็บรวบรวมพันธุ์ผักบุ้งไทยจึงเป็นการรวบรวมและอนุรักษ์เชื้อพันธุกรรมไว้เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน รวมถึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญยิ่งต่อการสร้างความแปรปรวนทางพันธุกรรม ซึ่งผักบุ้งพื้นบ้านมีลักษณะที่ดีหลายประการดังที่กล่าวมาแล้วเพื่อการปรับปรุงพันธุ์ในอนาคต แต่ในการเก็บรวบรวมและอนุรักษ์พันธุกรรมนั้น จำเป็นต้องใช้เมล็ดพันธุ์ในการเก็บรักษา ซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตเมล็ดผักบุ้งไทยนี้ยังมีไม่มากนัก

เมล็ดพืชในสกุล *Ipomoea* ส่วนใหญ่จะพักตัวเนื่องจากเป็นเมล็ดแข็ง (hard seed) เมล็ดจึงงอกไม่พร้อมกัน (อนุชา, 2544ข) ลักษณะการพักตัวแบบนี้มีผลดีในแง่ที่เมล็ดสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้นานกว่าเมล็ดปกติที่ไม่พักตัว แต่ลักษณะดังกล่าวเป็นปัญหาที่ทำให้เมล็ดมีเปอร์เซ็นต์ความงอกต่ำและยังไม่สามารถคาดเดาได้ว่าเมื่อใดที่เมล็ดนั้นจะงอก ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่เหมาะสมในแง่ของการเก็บรักษาเพื่อการอนุรักษ์พันธุ์พืช ซึ่งเมล็ดพืชที่จะนำไปเก็บรักษานั้นจะต้องงอกได้ทันทีที่ต้องการเพิ่มปริมาณเมล็ด จากการศึกษาที่ผ่านมาในเมล็ดผักนึ่งจีนมีเมล็ดแข็งเกิดขึ้นที่อายุประมาณ 40 วันหลังดอกบาน (อรพรรณ, 2534 และ อุดมลักษณ์, 2524) แต่สำหรับเมล็ดผักนึ่งไทยนี้ถ้าต้องการปลูกเพื่อนำเมล็ดมาเก็บรักษาจะเกิดปัญหาหรือไม่ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องศึกษาพัฒนาการ คุณภาพของเมล็ด และการพัฒนาโครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดของผักนึ่งไทย ซึ่งถือเป็นข้อมูลเบื้องต้น เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตเมล็ดผักนึ่งไทยเพื่อการเก็บรักษาและอนุรักษ์พันธุ์ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการพัฒนาและคุณภาพของเมล็ดผักนึ่งไทย
2. ศึกษาการพัฒนาโครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดปกติที่ไม่มีการพักตัวและเมล็ดที่มีการพักตัวแบบเมล็ดแข็ง (hard seed)

การตรวจเอกสาร

ลักษณะทั่วไปของผักบุ้งไทย

ผักบุ้งไทย (water convolvulus, water spinach, kangkong หรือ morning-glory) เป็นพืชในวงศ์ Convolvulaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomoea aquatica* Forsk. เจริญเติบโตได้ดีในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นไม้น้ำและไม้ล้มลุกหลายปี ลำต้นเลื้อยทอดไปตามที่ลุ่มหรือที่มีความชื้นหรือดินแฉะ ลำต้นกลมกลวง ยอดอ่อนสีม่วงแดง สีขาว หรือสีเขียวอ่อน มีข้อปล้องและมีรากตามข้อ ใบเดี่ยวออกแบบสลับ ขอบใบเรียบ หรือมีคลื่นเล็กน้อยปลายใบแหลมมีฐานมน ฐานใบเว้าเป็นรูปหัวใจ ใบยาว 2.5 - 15 เซนติเมตร กว้าง 0.5 - 10 เซนติเมตร ดอกรูปกรวยออกดอกที่ซอกใบ แต่ละข้อมีดอกย่อย 2 - 7 ดอก กลีบเลี้ยงสีเขียว กลีบดอกมีทั้งสีขาวหรือสีชมพูอยู่ที่ฐาน เกสรตัวผู้มี 5 อัน ความยาวไม่เท่ากัน ผลเป็นแบบแคปซูล เมล็ดรูปรางคล้ายสามเหลี่ยมฐานมนสีดำ มี 2 - 4 เมล็ดต่อฝัก (Van Ooststroom, 1953; Westphal, 1994) สำหรับคุณค่าทางอาหารนั้นมีรายงานว่า ผักบุ้งไทย 100 กรัม จะให้พลังงานต่อร่างกาย 22 กิโลแคลอรี และประกอบด้วยเส้นใย 10 กรัม แคลเซียม 3 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 22 มิลลิกรัม เหล็ก 3 มิลลิกรัม วิตามินเอ 11,447 IU วิตามินบีหนึ่ง 0.06 มิลลิกรัม วิตามินบีสอง 0.17 มิลลิกรัม ไนอาซิน 1.3 มิลลิกรัม วิตามินซี 14 มิลลิกรัม (นิรนาม, 2538)

ผักบุ้งที่ปลูกกันในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ชนิดแรกจัดอยู่ในประเภท lowland type ขยายพันธุ์โดยวิธีตัดต้นปักชำ ปลูกกันทั่วไปในที่ลุ่มชื้นแฉะหรือมีน้ำขัง นิยมเรียกกันทั่วไปว่า ผักบุ้งไทย อีกชนิดหนึ่งจัดอยู่ในประเภท upland type นิยมขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด ปลูกบนที่ดอนหรือที่เรียกว่า ผักบุ้งจีน ซึ่งต้องการน้ำเพื่อการเจริญเติบโตน้อยกว่าชนิดแรก ส่วนการผลิตเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งเพื่อการค้ามีเฉพาะในผักบุ้งจีนเท่านั้น (กองวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2532)

การผลิตเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งจีนมีวิธีการปลูก 2 แบบ คือ การปลูกแบบไร่ในพื้นที่ดอนโดยการหยอดเมล็ดลงดินโดยตรง จะเก็บเกี่ยวเมื่อมีอายุ 5 เดือน หรือการปลูกแบบนาในพื้นที่ลุ่มโดยการปักดำต้นกล้า เก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 4 เดือนหลังย้ายกล้า หรือเมื่อใบเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทั้งเถา โดยใช้เมล็ดพันธุ์ผักบุ้งเป็นช่วงๆ ประมาณ 2 x 2 ตารางเมตร ถกเถาผักบุ้งแล้วม้วนเป็นก้อนกลมคล้ายเสื่อตากไว้ในแปลงเพื่อลดความชื้น แล้วทำการนวดแยกเมล็ดออก ช่วงที่เหมาะสมแก่การผลิตเมล็ดพันธุ์

ผักบุ้งจีนในประเทศไทยคือ เดือนสิงหาคม ซึ่งจะเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ได้ประมาณเดือนธันวาคม (สุเทวีและพวงทอง, 2536)

การพัฒนาของเมล็ด

การพัฒนาของเมล็ดเกิดขึ้นเมื่อดอกได้รับการผสมแล้ว โดย Thomson (1979) แบ่งการพัฒนาของเมล็ดหลังจากปฏิสนธิเป็น 3 ระยะ คือ

1. ระยะการเจริญและการแบ่งเซลล์ของคัพภะ (development of embryo) หลังการรวมตัวของ gamete ในขบวนการปฏิสนธิแล้ว คัพภะจะแบ่งตัวอย่างรวดเร็วได้คัพภะที่เกือบสมบูรณ์ เมื่อสิ้นสุดระยะนี้เมล็ดมีความชื้นประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์
2. ระยะการสะสมอาหารสำรอง (food reserve accumulation) เป็นระยะที่มีการสะสมอาหารในเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่เก็บสะสมอาหาร ได้แก่ cotyledons หรือ endosperm ในระยะนี้น้ำหนักแห้งของเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดสูงสุด ซึ่งเรียกว่า เมล็ดถึงระยะแก่ทางสรีรวิทยา (physiological maturity, PM) ซึ่งเมล็ดมีความชื้นประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์
3. ระยะสุกแก่ (ripening stage) เป็นระยะที่เมล็ดสิ้นสุดการสะสมอาหาร น้ำหนักอาจคงที่หรือลดลงเล็กน้อย และเมล็ดมีความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว ในระยะนี้ความชื้นลดลงเหลือประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์

การเปลี่ยนแปลงลักษณะต่างๆ ทางสรีรวิทยาของเมล็ดระหว่างที่เมล็ดกำลังพัฒนานั้น จวงจันท์ (2521) อธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังนี้

1. ความชื้นของเมล็ด ขณะเริ่มมีการปฏิสนธิ รังไข่มีความชื้นประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ หลังจากปฏิสนธิแล้ว ความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระยะเวลา 2 - 3 วันแรก ซึ่งต่อมาความชื้นค่อยๆ ลดลงอย่างสม่ำเสมอ จนถึงระยะที่เมล็ดแก่ทางสรีรวิทยา หรือจุดที่เมล็ดมีน้ำหนักแห้งสูงสุด ความชื้นของเมล็ดจะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ยังคงมีความชื้นสูงอยู่ (ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์) หลังจากนั้นเมล็ดจะมีความชื้นลดลงอีก จนเหลือความชื้นประมาณ 14 - 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นช่วงที่พร้อมเก็บเกี่ยว

2. ขนาดของเมล็ด หลังจากปฏิสนธิขนาดของเมล็ดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากการแบ่งเซลล์ และการสะสมอาหารที่เพิ่มขึ้นและที่ระยะแก่ทางสรีรวิทยา เมล็ดมีขนาดใหญ่ที่สุด หลังจากนั้นขนาดเมล็ดเล็กลงเล็กน้อย เนื่องจากสูญเสียความชื้นในเมล็ด
3. น้ำหนักแห้งของเมล็ด เมื่อเมล็ดถึงระยะแก่ทางสรีรวิทยา เมล็ดมีน้ำหนักแห้งสูงสุด เป็นจุดที่แสดงว่าการขนย้ายอาหารจากส่วนต่างๆ ของลำต้นไปยังเมล็ด ได้หยุดชะงักลง หรือต้นพืชมีอัตราการสร้างอาหารเท่ากับการใช้ไป
4. ความงอกของเมล็ด โดยปกติเมล็ดพืชทุกชนิดสามารถงอกได้ก่อนที่เมล็ดจะเจริญเติบโตเต็มที่ ยกเว้นเมล็ดที่มีการพักตัว และมีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงสุดก่อนถึงระยะที่เมล็ดแก่ทางสรีรวิทยาเล็กน้อย โดยความงอกที่สูงสุดนี้จะคงอยู่ชั่วระยะหนึ่งแล้วจะค่อยๆ ลดลงเมื่อเมล็ดเกิดการเสื่อมสภาพ
5. ความแข็งแรงของเมล็ด เป็นตัวบ่งบอกถึงลักษณะประการหนึ่งของคุณภาพของเมล็ด (McDonald, 1998) ถึงแม้ว่าเมล็ดจะสามารถงอกได้สูงสุดก่อนที่จะถึงระยะที่เมล็ดแก่ทางสรีรวิทยา แต่ความแข็งแรงของเมล็ดเพิ่มขึ้นช้ากว่าความงอกของเมล็ด ซึ่งความแข็งแรงของเมล็ดจะค่อยๆ ลดลงในอัตราที่เร็วกว่าการลดลงของความงอก การใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงสูงปลูกในแปลง จะได้ต้นกล้าที่แข็งแรงสามารถแข่งขันกับวัชพืช และแมลงศัตรูพืชได้ดีกว่าเมล็ดที่มีความแข็งแรงต่ำ ซึ่งทำให้ได้ผลผลิตที่ดี (Hampton, 2002)
6. การเปลี่ยนแปลงอื่นๆ นอกเหนือจากการเปลี่ยนแปลงของลักษณะต่างๆ ดังกล่าวมาแล้ว ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงและการพัฒนาของคัพภะ เอนโดสเปิร์ม และเยื่อหุ้มเมล็ด การเปลี่ยนแปลงชนิดของอาหารที่เก็บสะสมไว้ในเมล็ด เช่น โปรตีน การเปลี่ยนแปลง รูป ชนิด และปริมาณของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช การเปลี่ยนแปลงรูปร่างตลอดจนถึงสีของเมล็ด เป็นต้น
7. การเสื่อมคุณภาพของเมล็ด ระยะที่เมล็ดแก่ทางสรีรวิทยาเป็นระยะที่เมล็ดมีลักษณะคุณภาพดีที่สุด ดังนั้นจะเป็นระยะที่เมล็ดมีการเสื่อมสภาพน้อยที่สุด แต่เมื่อพ้นระยะนี้ไปแล้วเมล็ดเริ่มเสื่อมคุณภาพ เนื่องจากไม่มีอาหารมาสะสมเพิ่มขึ้น ในขณะที่เมล็ดยังมีการหายใจ มีการเผาผลาญอาหารที่สะสมไว้ อัตราการเสื่อมคุณภาพจะเกิดขึ้นช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม อุณหภูมิและความชื้น รวมถึงโรคและแมลงด้วย

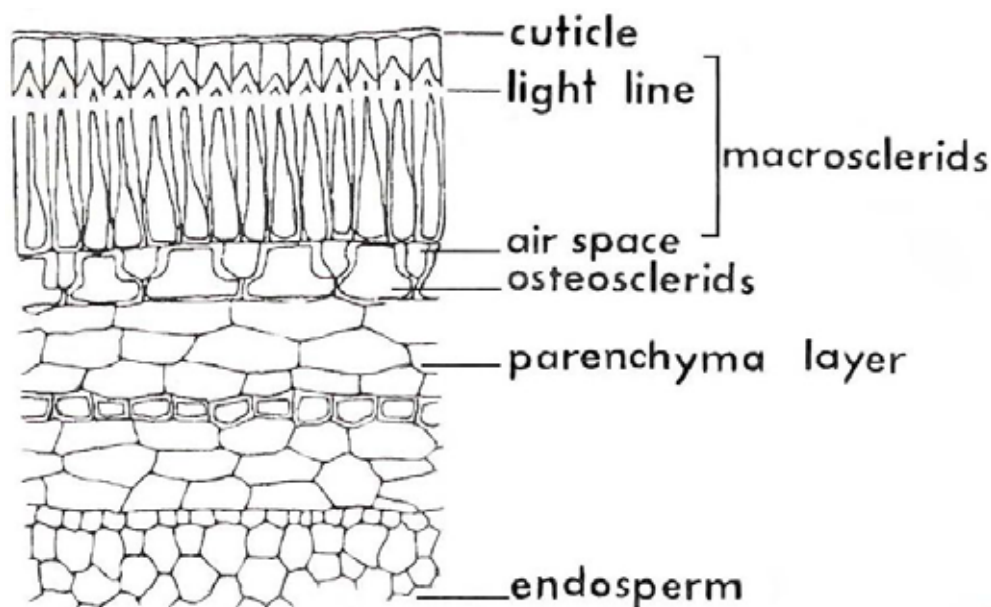
อุดมลักษณ์ (2524) ศึกษาเมล็ดผักนึ่งจีนที่กำลังพัฒนาพบว่า น้ำหนักสดของเมล็ดสูงสุดเมื่อ 25 วันหลังดอกบาน และมีน้ำหนักแห้งสูงสุดเมื่ออายุ 35 วันหลังดอกบาน ที่ระยะแก่ทางสรีรวิทยา เมล็ดมีความชื้น 51.37 เปอร์เซ็นต์ มีเมล็ดแข็งเกิดขึ้นเมื่ออายุ 40 วันหลังดอกบาน และเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นของเมล็ดลดลง ต่อมาอรพรรณ (2534) ได้ศึกษาเมล็ดผักนึ่งจีนที่กำลังพัฒนาพบว่า เมล็ดเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีขาวปนน้ำตาลเมื่ออายุ 17 วัน และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่ออายุ 29 วัน เมล็ดมีน้ำหนักสดสูงสุดเมื่ออายุ 21 วัน และมีน้ำหนักแห้งสูงสุดเมื่ออายุ 33 วัน ที่ระยะแก่ทางสรีรวิทยา เมล็ดมีความชื้น 34.33 เปอร์เซ็นต์ มีเมล็ดแข็งเกิดขึ้นเมื่ออายุ 41 วัน และเพิ่มขึ้นเมื่ออายุมากขึ้น ส่วน Julakasewee *et al.* (1999) ได้ทำการศึกษาในลักษณะเดียวกันนี้ในเมล็ดสะอึกดอกขาวเล็ก (*Ipomoea obscura* (L.) Ker-Gawl) พบว่า เมล็ดสะอึกดอกขาวเล็กแก่ทางสรีรวิทยาที่อายุ 21 - 22 วันหลังดอกบาน และที่ระยะเก็บเกี่ยวอายุ 27 - 28 วันหลังดอกบาน มีเมล็ดแข็งเกิดขึ้นสูงสุดประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ โดยเมล็ดมีความชื้นประมาณ 12 - 14 เปอร์เซ็นต์

โครงสร้างและการพัฒนาของเปลือกหุ้มเมล็ด

เปลือกหุ้มเมล็ดมีบทบาทสำคัญต่อวงจรชีวิตของพืช โดยมีส่วนในการควบคุมการพัฒนาของคัพภะ การงอกของเมล็ดและการพักตัวของเมล็ด ภายในเปลือกหุ้มเมล็ดประกอบด้วยกลุ่มเนื้อเยื่อจำนวนหนึ่งที่จะมีการพัฒนาเพื่อทำหน้าที่เฉพาะเจาะจงในเมล็ด (Moise *et al.*, 2005)

สำหรับในพืชตระกูลถั่ว นั้น ส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดพัฒนามาจาก inner integument โดยชั้นนอกสุดเป็นชั้นของ cuticle ถัดเข้าไปเป็น epidermal cell ที่พัฒนาไปเป็นเซลล์ที่มีรูปร่างเป็นแท่งยาว เรียกว่า palisade cell ชนิด macrosclereid หรือ malpighian cell ถัดเข้าไปเป็นชั้น subepidermal layer เปลี่ยนแปลงไปเป็น sclereid cell หรือ columnar cell ชนิด hourglass cell ชั้นในสุดเป็น parenchyma cell เรียงซ้อนกัน 4 - 5 ชั้น (Johansson and Walles, 1994 ; Van Dongen *et al.* , 2003; Wang and Grusak, 2005) ในถั่วเหลืองพันธุ์ป่าจะปรากฏเนื้อเยื่อที่เรียกว่า light line ในชั้นของ palisade cell ทำหน้าที่ สะสมสารจำพวกไขมันที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ (ภาพที่ 1) นอกจากนี้ สุวิมล (2538) พบว่า ในเมล็ดถั่วเขียวมีเซลล์ชั้นในสุดถัดจากชั้น parenchyma cell เรียงตัวเป็นแนวยาว 2 - 3 ชั้น เรียกว่า fibrous tissue แต่ในถั่วเหลืองเซลล์ชั้นนี้คือ aleurone layer และ parenchyma ของ endosperm ที่ยังคงเหลืออยู่ (Miller *et al.*, 1999)

ส่วนอรพรรณ (2534) รายงานว่า เปลือกหุ้มเมล็ดผักนึ่งจีนเจริญมาจาก integument ของโอวุลที่อายุ 5 วันหลังดอกบาน เซลล์ของ outer epidermis มีขน (papillae) เจริญขึ้นมาอย่างเห็นได้



ภาพที่ 1 ภาพตัดตามยาวของเปลือกหุ้มเมล็ดของเมล็ด sweet clover
ที่มา: Coolbear (1987)

ชัดเจน เมื่ออายุ 17 วันหลังดอกบาน outer epidermis จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และมีสีเข้มขึ้นเมื่อเมล็ดมีอายุมากขึ้น palisade layer ที่เจริญมาจาก integument แบ่งออกเป็น 2 ชั้น โดยชั้นนอกอยู่ติดกับ outer epidermis เป็นเซลล์รูปแท่งพอมยาวอัดเรียงกันแน่นจำนวน 1 ชั้นเซลล์ มีสาร cutin และ suberin เข้ามาสะสม ส่วนชั้นในประกอบด้วยเซลล์รูปร่างคล้ายกระบองสั้นๆ ความยาวไม่เท่ากัน เรียงซ้อนกันอยู่ 4 - 5 ชั้นเซลล์ ถัดเข้ามาเป็น parenchymatous layer ชั้นในสุดคือ nucellus เมื่อเมล็ดมีอายุมากขึ้น เซลล์ในชั้นต่างๆ ของเปลือกหุ้มเมล็ดถูกบีบคั้นให้มีขนาดเล็กลง มีสารต่างๆ มาสะสมมากขึ้น ทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีเข้มขึ้น nucellus บางส่วนสลายตัวไปเหลือเพียง 1 - 2 ชั้นเซลล์ นอกจากนี้ Serrato-Valenti *et al.* (1992) ได้ศึกษาการพัฒนาของเปลือกหุ้มเมล็ดกระเจี๊ยบมอญ (*Abelmoschus esculentus*) ซึ่งเป็นพืชในตระกูล Malvaceae พบว่า ชั้นนอกสุดเป็น outer integument ประกอบด้วย ชั้นบางๆ ของ exotesta และ endotesta ถัดเข้าไปเป็น inner integument ที่พัฒนาเป็น palisade cell ที่มีรูปร่างเป็นแท่งยาวเรียงติดต่อกัน โดยใน 1 แท่งของ palisade cell แต่ละเซลล์แบ่งออกได้เป็นส่วนที่แตกต่างกัน 3 ส่วนได้แก่ ‘prismatic part’ เป็นส่วนบนสุดมีลักษณะเป็นแท่งตรงและมี light line ปรากฏอยู่ ส่วนกลางมีชื่อว่า ‘transition part’ เป็นส่วนที่แท่งเซลล์มีคอคอดและเริ่มบิดเป็นเกลียว ส่วนล่างมีชื่อว่า ‘twisted part’ ส่วนนี้เซลล์จะบิดตัวเป็นเกลียวหนามากขึ้น ถัดจาก palisade cell เข้าไปเป็นชั้น mesophyll ประกอบด้วยเซลล์รูปร่างอ้วนมีสีน้ำตาลขนาดไม่สม่ำเสมอซ้อนกัน 5 - 6 ชั้น ในสุดเป็นชั้นบางๆ ของ inner epidermis และ nucellus

การพักตัวของเมล็ดแข็ง

เป็นการพักตัวของเมล็ดที่เกิดขึ้นเนื่องจากส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดไม่ยอมให้น้ำซึมผ่าน (impermeability of seed coat to water) ส่วนใหญ่พบในพืชตระกูลถั่ว (Leguminosae) โดยเฉพาะพวกพืชตระกูลถั่วที่มีขนาดเล็ก เช่น อัลฟัลฟา เป็นต้น พืชตระกูลฝ้าย (Malvaceae) เช่น กระเจี๊ยบ ปอ ฝ้าย และพืชในตระกูล Convolvulaceae เช่น ผักบุ้ง เป็นต้น (จวงจันทร, 2521) ลักษณะการพักตัวของเมล็ดนี้ถูกควบคุมโดยพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม จึงสามารถถ่ายทอดจากชั่วหนึ่งไปยังอีกชั่วหนึ่งได้โดยมีปฏิกิริยาของสภาพแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งเมล็ดพันธุ์เดียวกันแต่ปลูกต่างฤดู และต่างท้องที่ก็จะมีเปอร์เซ็นต์ของการพักตัว และระดับการพักตัวในแต่ละเมล็ด แต่ละ seed lot และแต่ละสายพันธุ์ แตกต่างกันไป (จวงจันทร, 2523)

เมล็ดพืชในสกุล *Ipomoea* ส่วนใหญ่จะพักตัวเนื่องจากเมล็ดแข็ง (hard seed) เมล็ดจึงงอกไม่พร้อมกัน (อนุชา, 2544) นอกจากนี้ Chandler *et al.* (1977) ได้ศึกษาการพัฒนามีของเมล็ด purple moonflower morning glory พบว่า ภายหลังจากผสมเกสร เปลือกหุ้มเมล็ดจะเริ่มปรากฏลักษณะ หนาจนไม่ยอมให้น้ำและอากาศซึมผ่านได้ (impermeable seed coat) ทำให้กลายเป็นเมล็ดแข็งในเวลาต่อมา

Chinnasamy and Bal (2003) ศึกษารูปแบบการพัฒนามีของเมล็ด beach pea (*Lathyrus maritimus*) ที่ระยะการเจริญเติบโต 6 ระยะ (S1 - S6) พบว่า เมล็ดที่เก็บเกี่ยวที่ระยะ S1 - S3 ไม่สามารถงอกได้ เนื่องจากเมล็ดยังอ่อนมากและการสะสมอาหารภายในเมล็ดยังไม่เพียงพอ ซึ่งระยะนี้ฝักมีสีม่วงเขียว เมล็ดเริ่มงอกที่ระยะ S4 ซึ่งเป็นระยะที่ฝักเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเขียว ที่ระยะ S5 และ S6 ฝักเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและมีเมล็ดแข็งเกิดขึ้นทำให้เมล็ดบางส่วนไม่สามารถงอกได้ และเมื่อตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์ชนิด light microscope ที่ระยะ S5 - S6 นี้พบว่า palisade cell อัดตัวกันเป็นแนวอย่างหนาแน่น

สาเหตุที่ทำให้เกิดการพักตัวของเมล็ดแข็ง

Rolston (1978) สรุปว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดการพักตัวของเมล็ดแข็งประกอบด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่

1. ลักษณะทางพันธุกรรม ลักษณะเมล็ดแข็งที่พบในพืชบางชนิดมีสาเหตุมาจากลักษณะทางพันธุกรรม ซึ่งถูกควบคุมโดยยีน (gene) และสามารถถ่ายทอดไปยังลูกหลานได้ (อนุชา, 2544ค) เช่นเดียวกับรายงานของรังสฤษดิ์ (2525) ซึ่งพบว่าลักษณะการพักตัวแบบเมล็ดแข็งของเมล็ดถั่วเหลืองเป็นลักษณะที่สามารถถ่ายทอดทางพันธุกรรมได้ และการผสมสลับพ่อและแม่ทำให้การแสดงออกของลักษณะเมล็ดแข็งแตกต่างกัน เช่น การใช้สายพันธุ์ที่ไม่มีการพักตัวเป็นต้นแม่ สายพันธุ์ที่มีการพักตัวเป็นต้นพ่อ ทำให้การพักตัวมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้จากการศึกษาของวันชัย (2525) พบว่าขนาดของเมล็ดมีความสัมพันธ์กับการเกิดเมล็ดแข็ง โดยกลุ่มเมล็ดถั่วเหลืองขนาดเล็กในพันธุ์ สจ.1, สจ.2 และ สจ.4 มีปริมาณเมล็ดแข็งมากกว่ากลุ่มเมล็ดขนาดกลางและขนาดใหญ่

2. สภาพแวดล้อม จากการศึกษาลักษณะเมล็ดแข็งของพืชตระกูลถั่วเมล็ดเล็ก (*Lupinus digitatus*, *Trifolium subterraneum*) Quinlivan (1961, 1964) พบว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณเมล็ดแข็ง และสภาพแวดล้อมในฤดูใบไม้ผลิที่ยาวนานส่งผลให้ขณะเก็บเกี่ยวมีปริมาณเมล็ดแข็งเพิ่มขึ้น

Kowithayakorn and Hill (1982) ศึกษาการพัฒนาของเมล็ด Lucerne และลักษณะบางประการที่มีผลต่อการเกิดเมล็ดแข็ง โดยการเก็บเกี่ยวฝักที่มีอายุตั้งแต่ 10 - 75 วันหลังดอกบานมาศึกษาพบว่า เมล็ดที่เก็บเกี่ยวจากฝักอายุ 75 วันหลังดอกบาน มีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนเมล็ดแข็งเพียงเล็กน้อย และไม่พบเมล็ดแข็งจากฝักที่เก็บเกี่ยวที่อายุ 10 - 55 วันหลังดอกบาน แต่เมื่อนำเมล็ดไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 - 24 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 42 - 70 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 3 เดือน พบว่า เมล็ดที่เก็บเกี่ยวจากฝักที่อายุ 34 วันหลังดอกบานมีเมล็ดแข็ง 45 เปอร์เซ็นต์ และเมล็ดที่เก็บเกี่ยวจากฝักที่มีอายุ 55 - 75 วัน มีเมล็ดแข็งเพิ่มขึ้นเป็น 79 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขณะนั้นเมล็ดมีความชื้นประมาณ 9 - 10 เปอร์เซ็นต์ และทั้งสองได้สรุปว่า ปริมาณเมล็ดแข็งที่เกิดขึ้นมีสาเหตุจากหลายปัจจัยได้แก่ อายุ และความชื้นของเมล็ด ส่วน Argel and Humpherys (1983b) ศึกษาวิธีการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว และสภาพแวดล้อมขณะเมล็ดสุกแก่พบว่า ปริมาณเมล็ดแข็งของถั่วฮามาต้า (*Stylosanthes hamata* cv. Verano.) ที่ปลูกในสภาพแปลงแปรผันตรงกับอุณหภูมิระหว่างการพัฒนาของเมล็ด โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณเมล็ดแข็งก็สูงขึ้นด้วย อธิบายได้ถึงความแปรปรวนของจำนวนเมล็ดแข็งในแต่ละ seed lots ที่พืชมีการปรับตัวในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นระหว่างการพัฒนาของเมล็ดนี้ยังส่งผลทำให้ปริมาณ lignin

ในส่วนของ counter palisade cell ของเมล็ดแข็งสูงกว่าในเมล็ดปกติ (Argel and Humpherys, 1983a)

Hill *et al.* (1986) ศึกษาอิทธิพลของความชื้นในดินที่มีผลต่อการเกิดเมล็ดแข็งในถั่วเหลือง พบว่า ถั่วดินมีความชื้นสูงในระหว่างการพัฒนาของเมล็ด บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดจะเกิดรอยปริแตกทำให้ปริมาณเมล็ดแข็งลดลง และในกรณีที่ขาดน้ำปริมาณเมล็ดแข็งจะเพิ่มขึ้น

3. โครงสร้างทางสรีรวิทยาของเปลือกหุ้มเมล็ด ในชั้นของเยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat)

ประกอบด้วยเซลล์พวก scleroid malpighian cell อัดตัวกันอย่างหนาแน่นและมีสารพวกฟีนอลิก หรือสารประกอบที่ป้องกันน้ำ เช่น suberin, lignin และ cutin สะสมอยู่ มีช่องเปิดธรรมชาติ ได้แก่ micropyle, hilum และ pleurogram ทำหน้าที่ควบคุมการเข้าออกของน้ำและความชื้น (วันชัย, 2537)

เยื่อหุ้มเมล็ดของถั่วเหลืองสายพันธุ์เมล็ดแข็ง (impermeable lines) มีการสะสมสาร suberin รวมตัวกันเป็นแท่งภายในชั้น palisade cell ใต้บริเวณ hilum ทำให้เมล็ดไม่สามารถดูดน้ำได้ ขณะที่เมล็ดปกติ suberin ที่สะสมจะอยู่ในรูปหยดน้ำ (droplets) ทำให้เกิดช่องว่างที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ (Duangpatra, 1976) ในถั่วเหลืองพันธุ์ป้าจะปรากฏเนื้อเยื่อที่เรียกว่า light line ในชั้นของ palisade cell ทำหน้าที่ สะสมสารจำพวกจี้ฟี่งที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ กลุ่มเซลล์ในชั้น palisade นี้ ประกอบด้วยเซลล์พวก scleried ที่มีรูปร่างยาวเรียกว่า macroscleried มีผนังหนา ถัดเข้าไปเป็นเซลล์ที่มีผนังหนาไม่เท่ากันเรียกว่า hourglass cell เป็นชั้นที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับเยื่อหุ้มเมล็ด อาจมีชื่อต่างกันตามรูปร่างและความหนาเช่น columnar cell, pillar, lagenosclereid และ osteoscleried สำหรับชั้นในสุดหรือ inner parenchyma นั้น มีลักษณะเป็นเซลล์ที่มีผนังบาง รูปร่างแบน และมีช่องว่างมาก โดยปกติชั้นต่างๆ เหล่านี้ จะอยู่อย่างสม่ำเสมอรอบๆ เมล็ด ยกเว้นบริเวณ hilum ซึ่งจะแยกตัวเป็นชั้นอย่างชัดเจน ทำหน้าที่ในการถ่ายเทแลกเปลี่ยนก๊าซกับคัพภะ (ลิลลี่, 2546)

ในพืชตระกูลถั่วหลายชนิดมีการพักตัวแบบเมล็ดแข็งเนื่องจากเยื่อหุ้มเมล็ดไม่ยอมให้น้ำซึมผ่าน ประกอบกับการทำงานของเนื้อเยื่อบริเวณ hilum ซึ่งทำหน้าที่คล้ายวาล์วที่เปิดให้น้ำภายในเมล็ดระเหยออกสู่ภายนอกได้ เมื่ออากาศภายนอกแห้ง แต่จะปิดเมื่ออากาศภายนอกชื้น โดยไม่ยอมให้น้ำเข้าสู่เมล็ด เมื่อความชื้นเมล็ดลดลงจนถึงระดับหนึ่งจะกระตุ้นให้เกิดการพักตัวแบบเมล็ดแข็งขึ้นได้ (Hyde, 1954)

Serrato-Valenti *et al.* (1989) ได้เปรียบเทียบโครงสร้างของเยื่อหุ้มเมล็ดแข็งและเมล็ดปกติในถั่ว *Lupinus angustifolius* L. โดยการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิด fluorescence พบว่าเมล็ดแข็งไม่มีการแตกหักของ light line และ ไม่พบช่องว่าง (groove) บนผนังของ palisade cell ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านเยื่อหุ้มเมล็ดเข้าไปได้

Ma *et al.* (2004) ศึกษาการเกิดรอยแตกบริเวณ palisade cuticle ของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองกับการยอมให้น้ำซึมผ่าน พบว่า cuticle ของชั้น palisade เป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดคุณสมบัติในการยอมให้น้ำซึมผ่านของเปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลือง โดย cuticle ของเปลือกหุ้มเมล็ดที่ยอมให้น้ำซึมผ่าน จะเปราะบางและมีรอยแตก ส่วน cuticle ของเปลือกหุ้มเมล็ดที่ไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านจะแข็งแรงและไม่เกิดรอยแตก เมื่ออยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมปกติ

สุวิมล (2538) ศึกษาโครงสร้างของเยื่อหุ้มเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ TC 1966 และ มอ.1 พบว่าพันธุ์ TC 1966 มีเยื่อหุ้มเมล็ดหนากว่าพันธุ์ มอ.1 และยังมีความหนาจำเพาะของ palisade layer ต่อน้ำหนักเมล็ดมากกว่าพันธุ์ มอ.1 และพันธุ์ TC 1966 ยังมีการเรียงตัวของ macrosclerid cell ในชั้น palisade แน่นกว่าพันธุ์ มอ.1 รวมทั้งมีการสะสมสารประกอบ เช่น suberin, lignin และ cutin ที่ palisade cell ปัจจัยเหล่านี้จะมีส่วนทำให้เยื่อหุ้มของเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ TC 1966 ดูดซึมน้ำได้ยากกว่าพันธุ์ มอ.1 นอกจากนี้ Serrato-Valenti *et al.* (1990) พบว่าโครงสร้างของ palisade cell ที่พบตามส่วนต่างๆของเยื่อหุ้มเมล็ด *Prosopis juliflora* จะแตกต่างกันออกไปทำให้การซึมผ่านของน้ำในแต่ละส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดไม่เท่ากัน โดยเฉพาะส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดที่มี hydrophobic strip อยู่บริเวณผิวของ palisade cell จะทำให้การซึมผ่านของน้ำเข้าไปในเมล็ดได้ยากกว่าส่วนที่มี hydrophobic strip อยู่ลึกลงไปภายใน palisade cell

Beresniewicz *et al.* (1995) ศึกษาเยื่อหุ้มเมล็ดกระเทียม หัวหอม มะเขือเทศ และ พริก ที่ไม่สามารถงอกได้ พบว่ามี cutin เป็นองค์ประกอบใน semipermeable layer ของ กระเทียม และหัวหอม ขณะที่ semipermeable layer ของมะเขือเทศและพริก ประกอบด้วย suberin ซึ่งทั้ง cutin และ suberin ต่างเป็นสารที่ประกอบด้วยพวก fatty acid โดย semipermeable layer จำกัดการให้สารละลายแพร่ผ่านเข้า หรือออกจากเมล็ด และระดับของการไม่ยอมให้ผ่านของ semipermeable membrane อาจสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมี ของ semipermeable membrane เอง ในเยื่อหุ้มเมล็ดของ กระเทียม และหัวหอมจะดูดซึมสารละลาย tetrazolium chloride ได้มากกว่าเยื่อหุ้มเมล็ด

ของมะเขือและพริก ซึ่งสรุปได้ว่า suberin จะป้องกันการแพร่ผ่านของสารละลายได้มากกว่า cutin และ wax อาจมีส่วนช่วยในการป้องกันการแพร่ผ่านทั้งใน cutin และ suberin

ดังนั้นการเกิดเมล็ดแข็งโดยทั่วไปนั้นเกิดจากโครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดในส่วนของ palisade layer ที่อัดตัวกันอย่างหนาแน่น และมีสารประกอบกันน้ำจำพวกสาร phenolic ได้แก่ cutin suberin และ lignin สะสมอยู่ เป็นตัวกั้นไม่ให้น้ำซึมผ่านเปลือกหุ้มเมล็ดได้ ร่วมกับปัจจัยของสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้นและอุณหภูมิที่มีผลให้ความชื้นในเมล็ดลดลงอย่างรวดเร็ว รวมถึงปัจจัยทางพันธุกรรมของพืชชนิดนั้นๆ ด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เมล็ดพันธุ์ผักบุ้งไทยแดง (WC089) และผักบุ้งไทยเขียว (WC077)
2. ไหมพรมสีต่างๆ
3. เวอร์เนีย สำหรับวัดขนาดเมล็ด
4. อุปกรณ์ทดสอบความงอก
5. สารกำจัดเชื้อรา Captan
6. เครื่องชั่งชนิดละเอียด
7. ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
8. ถ้วยอะลูมิเนียมอบเมล็ด (moisture can)
9. โหลดูดความชื้น
10. อุปกรณ์ศึกษาโครงสร้างและสารประกอบของเชื้อหุ้มเมล็ด (Johansen, 1940)

วิธีการ

การเตรียมแปลงและการจัดการแปลง

เลือกเมล็ดผักบุ้งไทย 2 accession ที่รวบรวมโดยศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน (TVRC) ได้แก่ ผักบุ้งไทยแดง (WC089) และผักบุ้งไทยเขียว (WC077) นำเมล็ดไปเพาะในกระบะเมื่อต้นกล้าอายุ 21 วัน ขยายกล้าลงแปลงปลูกขนาด 3 x 6 เมตร โดยใช้ระยะปลูก 25 x 50 เซนติเมตรให้น้ำแบบไหลตามร่องวันละครั้ง และในช่วงเตรียมแปลงใส่ปุ๋ยรองพื้นด้วยปุ๋ยคอก 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ปุ๋ยแต่งหน้าครั้งที่ 1 เมื่อต้นพืชอายุประมาณ 30 วัน หลังย้ายปลูก โดยใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งที่ 2 เมื่อต้นพืชอายุประมาณ 45 - 60 วัน หลังย้ายปลูก และเมื่อผักบุ้งเริ่มจะออกดอก ให้ปุ๋ยเคมี สูตร 12-24-12 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งที่ 3 เมื่อผักบุ้งเริ่มติดเมล็ด 90 - 105 วันหลังย้ายปลูก ให้ปุ๋ยเคมี สูตร 13-13-21 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ ป้อนกันและ

กำจัดศัตรูพืช ตามความเหมาะสม หรือตามการระบาดของโรคและแมลง แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด คือ การศึกษาการพัฒนาของเมล็ด และการศึกษาโครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ด

การเก็บข้อมูล

การทดลองที่ 1 ศึกษาการพัฒนาของเมล็ด

ศึกษาการพัฒนาของเมล็ด เมื่อดอกผักบุ้งเริ่มบานผูกก้านดอกด้วยไหมพรมสีต่างๆ ทุก 3 วัน แล้วเริ่มเก็บเมล็ดพันธุ์ที่มีอายุตั้งแต่ 0, 3, 6, ..., 57 และ 60 วัน โดยนำเมล็ดแต่ละอายุมาศึกษา ลักษณะต่างๆ ดังนี้

1. สีและขนาดของเมล็ดโดยการแยกเมล็ดออกจากผลและสุ่มเมล็ดทุกๆ อายุๆ ละ 10 เมล็ด สังเกตสี วัดความกว้างและความยาวของเมล็ดโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์

2. น้ำหนักสด 100 เมล็ด (กรัม) โดยการสุ่มแต่ละอายุๆ ละ 2 ซ้ำมาชั่งน้ำหนักสด

3. น้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด (กรัม) อบเมล็ดในข้อ 2 ที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 17 ± 1 ชม. ทิ้งให้เย็นในโหลสุญญากาศแล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง (ISTA, 2003)

4. เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ด โดยคำนวณจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ด} = \frac{\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักสด}} \times 100$$

5. ความงอกของเมล็ด โดยการเพาะเมล็ดที่อายุต่างๆ อายุละ 50 เมล็ด จำนวน 4 ซ้ำ แบบ between paper (BP) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยนับความงอกที่ 4 และ 10 วัน หลังเพาะ นับจำนวนต้นอ่อนปกติ ต้นอ่อนผิดปกติ เมล็ดตาย เมล็ดสดไม่งอก และเมล็ดแข็ง จากนั้นคำนวณค่าที่นับได้เป็นเปอร์เซ็นต์ (ISTA, 2003)

การทดลองที่ 2 ศึกษาโครงสร้างของเยื่อหุ้มเมล็ด

ศึกษาโครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดผักนึ่งไทยโดย เมื่อดอกผักนึ่งเริ่มบานผูกก้านดอกด้วยไหมพรมสีต่างๆ ทุก 3 วัน แล้วเริ่มเก็บเมล็ดที่มีอายุตั้งแต่ 0, 3, 6,..., 57 และ 60 วัน มาศึกษาดังนี้

1. นำเมล็ดอายุต่างๆ อายุละ 20 เมล็ด มาทำสไลด์ถาวรเพื่อศึกษาโครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดโดยใช้ paraffin technique ตามวิธีการของ Johansen (1940) เพื่อศึกษาการพัฒนาของเปลือกหุ้มเมล็ด (ภาคผนวก)

2. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ด โดยนำเมล็ดที่อายุ 0, 3, 6, ..., 21 และ 24 วันหลังดอกบาน มาตัดขวางด้วยใบมีดโกน ให้ชิ้นส่วนมีความหนาไม่เกิน 50 ไมโครเมตร แช่ในน้ำกลั่น แล้วทดสอบด้วยสารละลายต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบสารประกอบ cutin, suberin, lignin, cellulose และ hemicellulose ทั้งนี้ตามวิธีการของ Johansen (1940) (ภาคผนวก)

สถานที่ทำการวิจัย

1. ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน (TVRC) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

2. ห้องปฏิบัติการไมโครเทคนิคทางพืช ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

3. ห้องปฏิบัติการไมโครเทคนิคทางพืช ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ระยะเวลาทำการวิจัย

เริ่มศึกษาดังนี้ตั้งแต่เดือนกันยายน 2547 ถึง เดือนมิถุนายน 2548

ผลและวิจารณ์

การพัฒนาของเมล็ด

จากการศึกษาการพัฒนาของเมล็ดผักบุ้งไทย พบว่า ผักบุ้งไทยแดงเริ่มออกดอกเล็กน้อยในเดือนตุลาคม (หลังย้ายกล้า 45 วัน) จากนั้นจำนวนดอกจะเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนพฤศจิกายน โดยดอกผักบุ้งไทยเป็นดอกสมบูรณ์เพศประกอบด้วยเกสรตัวผู้ 5 อัน และเกสรตัวเมีย 1 อัน ลักษณะเป็นดอกเดี่ยวมีกลีบดอก 5 กลีบ เชื่อมติดกันแบบ sympetalous (พวงผกา, 2548; Van Ooststroom, 1953) กลีบเลี้ยง 5 กลีบแยกหรือติดกันบางส่วน ดอกผักบุ้งไทยแดงมีสีม่วงที่โคนดอก กลีบดอกส่วนบนมีสีม่วงอ่อน ส่วนผักบุ้งไทยเขียวกลีบดอกมีสีขาวทั้งหมด (ภาพที่ 3 และ 4) การผสมเกสรจะเริ่มในตอนเช้า เมื่อผสมติดกลีบดอกจะเหี่ยวและร่วงไป ส่วนของฐานรองดอกหรือกลีบเลี้ยงจะหุบเข้า ก้านดอกจะโค้งงอ (ภาพที่ 2) จากนั้นส่วนของเมล็ดใน capsule จะพัฒนาและเปลี่ยนแปลงดังนี้

1. สีและขนาด

หลังจากการปฏิสนธิในระยะการเจริญและการแบ่งเซลล์ของคัพภะ เมล็ดผักบุ้งไทยแดงและเขียวมีสีขาว จากนั้นเมื่อเมล็ดอายุ 15 วันหลังดอกบาน เริ่มสังเกตเห็นส่วนของใบเลี้ยงสีเขียวอ่อนที่เจริญอยู่ภายในเมล็ดอย่างชัดเจน เปลือกหุ้มเมล็ดเริ่มเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีขาวปนน้ำตาลพร้อมกันทั้งสอง accession เมื่อเมล็ดอายุ 24 วันหลังดอกบาน จากนั้นเมล็ดผักบุ้งไทยแดงเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทั้งเมล็ดที่อายุ 39 วันหลังดอกบาน ในขณะที่เมล็ดผักบุ้งไทยเขียวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทั้งเมล็ดที่อายุ 33 วันหลังดอกบาน (ภาพที่ 3 และ 4) ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Chandler *et al.* (1977) ในเมล็ด purple moonflower ที่พบว่าเมล็ดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทั้งเมล็ดที่อายุ 34 วันหลังดอกบาน ในขณะที่เมล็ดผักบุ้งจีนเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทั้งเมล็ดที่อายุ 29 วันหลังดอกบาน (อรพรรณ, 2534) อย่างไรก็ตามอาจกล่าวได้ว่า ความแตกต่างของพันธุ์และสภาพแวดล้อมทำให้การพัฒนาของเมล็ดแตกต่างกันด้วย

เมล็ดผักบุ้งไทยแดงมีขนาดใหญ่ที่สุดในช่วง 15 - 24 วันหลังดอกบาน หลังจากนั้นเมล็ดจะเริ่มมีขนาดลดลงเนื่องจากความชื้นที่ลดลง และขนาดของเมล็ดจะเริ่มคงที่หลังจากอายุ 30 วันหลัง



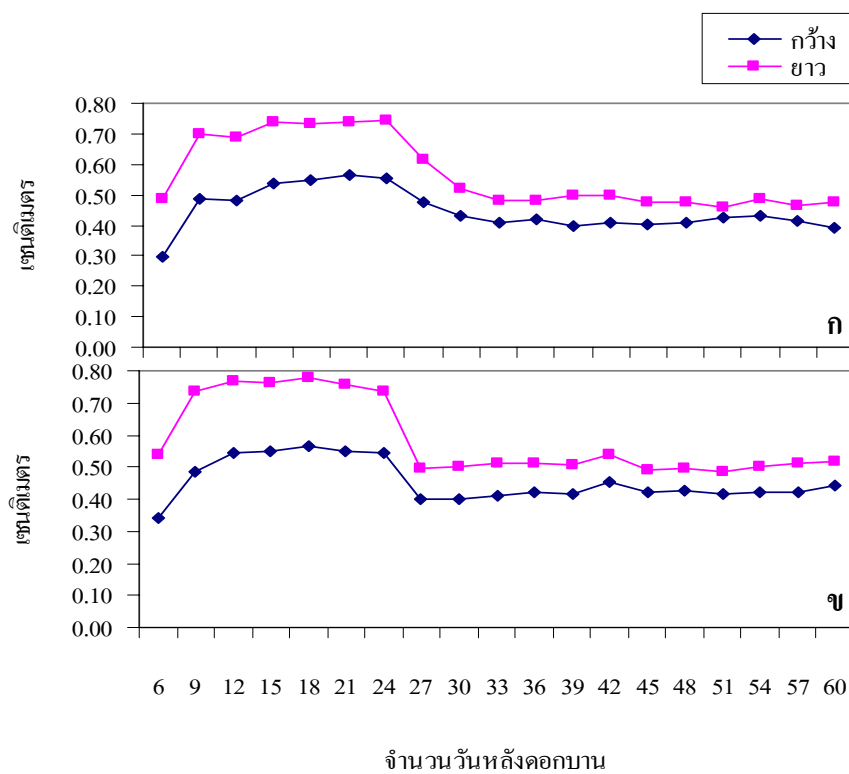
ภาพที่ 2 ก) ดอกผักนึ่งที่กำลังบาน และ ข) ลักษณะเมื่อผสมติดกลีบดอกจะเหี่ยวและร่วงไป
ส่วนของฐานรองดอกหรือกลีบเลี้ยงจะหุบเข้า ก้านดอกจะโค้งงอลง



ภาพที่ 3 การพัฒนาของเมล็ดผักนึ่งไทยแดง (WC089) อายุ 0 – 60 วัน หลังดอกบาน



ภาพที่ 4 การพัฒนาของเมล็ดผักนึ่งไทยเขียว (WC077) อายุ 0 – 60 วัน หลังดอกบาน



ภาพที่ 5 ความกว้างและยาว (เซนติเมตร) ของเมลิ็ด ก) ผักบุ้งไทยแดง และ ข) ผักบุ้งไทยเขียว
ระหว่างอายุ 6 – 60 วันหลังคลอดบาน

ดอกบานเป็นต้นไป ในขณะที่เมล็ดผักนึ่งไทยเขียวมีขนาดใหญ่ที่สุดในช่วง 12 - 21 วันหลังดอกบาน หลังจากนั้นเมล็ดจะเริ่มมีขนาดลดลงเนื่องจากเมล็ดสูญเสียความชื้นไป ขนาดของเมล็ดจะเริ่มคงที่หลังจากอายุ 27 วันเป็นต้นไป (ภาพที่ 5) สังเกตว่า เมล็ดผักนึ่งไทยเขียวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทั้งเมล็ดเร็วกว่าเมล็ดผักนึ่งไทยแดงถึง 6 วัน รวมถึงผักนึ่งไทยเขียวมีการเจริญเติบโตของเมล็ดถึงระยะที่เมล็ดมีขนาดใหญ่ที่สุดเร็วกว่าผักนึ่งไทยแดงอีกด้วย

2. คุณภาพของเมล็ด

2.1 น้ำหนักเมล็ด

น้ำหนักสดของเมล็ดผักนึ่งไทยแดงและเขียวในช่วงอายุ 3 - 15 วันหลังดอกบาน เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 0.47 เป็น 9.78 กรัมต่อ 100 เมล็ด และ 0.21 เป็น 9.80 กรัมต่อ 100 เมล็ด ตามลำดับ จากนั้นน้ำหนักสดของเมล็ดจะเริ่มลดลงเหลือ 3 - 4 กรัมต่อ 100 เมล็ด และค่อนข้างคงที่ตั้งแต่อายุ 42 วันหลังดอกบานเป็นต้นไป การเก็บข้อมูลน้ำหนักสดในการศึกษาพัฒนาการของเมล็ดนั้น มีข้อพึงระวังคือ ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลซึ่งจะเกิดขึ้นได้ง่าย โดยเฉพาะเมล็ดที่ยังอ่อนหากไม่นำไปชั่งน้ำหนักทันทีหลังจากแยกเมล็ดออกจากฝักจะทำให้น้ำหนักสดลดลงเนื่องจากความชื้นในเมล็ดลดลง

การสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดเริ่มขึ้นหลังจากการปฏิสนธิ โดยน้ำหนักแห้งของเมล็ดผักนึ่งไทยทั้งแดงและเขียว จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และสูงสุดที่อายุ 33 วันหลังดอกบาน (4.14 และ 3.76 กรัมต่อ 100 เมล็ด) ในผักนึ่งไทยทั้งสอง accession ตามลำดับ Harrington (1972) ระบุว่า ระยะที่เมล็ดมีการสะสมน้ำหนักแห้งถึงจุดสูงสุดนี้เรียกว่า ระยะแก่ทางสรีรวิทยา แสดงว่า เมล็ดผักนึ่งไทยทั้งแดงและเขียวแก่ทางสรีรวิทยาที่อายุ 33 วันหลังดอกบาน หลังจากผ่านระยะแก่ทางสรีรวิทยาแล้ว น้ำหนักแห้งของเมล็ดมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเป็นผลมาจากเมล็ดชุดนี้เป็นเมล็ดที่พัฒนาในช่วงแรกๆ ของการเจริญเติบโตของเถาผักนึ่ง ซึ่งเถาผักนึ่งยังคงมีความสมบูรณ์ ส่งผลให้เมล็ดมีการเจริญเติบโตและสะสมน้ำหนักแห้งได้มากกว่าเมล็ดในชุดหลัง (ภาพที่ 6) ในขณะที่ในเมล็ดผักนึ่งจีนซึ่งรายงานโดยอรพรรณ (2534) นั้นหลังจากผ่านระยะแก่ทางสรีรวิทยาไปแล้วการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักแห้งของเมล็ดจะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยทำให้น้ำหนักแห้งของเมล็ดจะค่อนข้างสม่ำเสมอจนไปถึงระยะเก็บเกี่ยว

2.2 ความชื้น

ความชื้นของเมล็ดผักบุ้งไทยแดงและเขียวมีค่าสูงสุดที่อายุ 3 วันหลังดอกบาน (ภาพที่ 6) และเริ่มลดลงอย่างช้าๆ ความชื้นของเมล็ดจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผ่านระยะแก่ทางสรีรวิทยาของเมล็ดแล้ว จากนั้นอัตราการลดลงของความชื้นของเมล็ดจะช้าลงอีกครั้งเมื่อเมล็ดอายุ 42 วันหลังดอกบาน ความชื้นของเมล็ดผักบุ้งไทยแดงและเขียวลดลงต่ำที่สุดในเมล็ดที่อายุ 60 วันหลังดอกบาน (8.85 และ 10.34 เปอร์เซ็นต์) โดยสังเกตเห็นว่าช่วง 3 - 15 วันหลังดอกบานนี้ความชื้นและน้ำหนักสดของเมล็ดจะมีการเปลี่ยนแปลงในทางตรงข้ามกัน แต่หลังจากระยะที่เมล็ดอายุมากกว่า 15 วันหลังดอกบานแล้ว ความชื้นและน้ำหนักสดของเมล็ดจะมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน คือ ความชื้นและน้ำหนักสดของเมล็ดผักบุ้งไทยแดงจะลดลงอย่างช้าๆ ในช่วง 15 - 33 วันหลังดอกบาน จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผ่านระยะแก่ทางสรีรวิทยาของเมล็ดแล้ว ส่วนในระยะสุดท้ายของการพัฒนาของเมล็ด คือ 45 ไปจนถึง 60 วันหลังดอกบานนั้น น้ำหนักสดของเมล็ดค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่ความชื้นของเมล็ดจะลดลงเล็กน้อยและต่ำที่สุดที่อายุ 60 วันหลังดอกบาน (ภาพที่ 6) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของความชื้นของเมล็ดที่เกิดขึ้นนี้สอดคล้องกับ Adams and Rinne (1980) ที่กล่าวว่า การพัฒนาและสุกแก่ของเมล็ดจะเกี่ยวข้องกับการสูญเสียความชื้นของเมล็ด และจวงจันทร (2521) ที่รายงานว่ ขณะเริ่มมีการปฏิสนธิ รังไข่มีความชื้นประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ หลังจากปฏิสนธิแล้ว ความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระยะเวลา 2 - 3 วันแรก ซึ่งต่อมาความชื้นค่อยๆ ลดลงอย่างสม่ำเสมอ จนถึงระยะที่เมล็ดแก่ทางสรีรวิทยา หรือจุดที่เมล็ดมีน้ำหนักแห้งสูงสุด ความชื้นของเมล็ดจะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ยังคงมีความชื้นสูงอยู่ หลังจากนั้นเมล็ดจะมีความชื้นลดลงอีก จนเหลือความชื้นประมาณ 14 - 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นช่วงที่พร้อมเก็บเกี่ยว

2.3 ความงอก

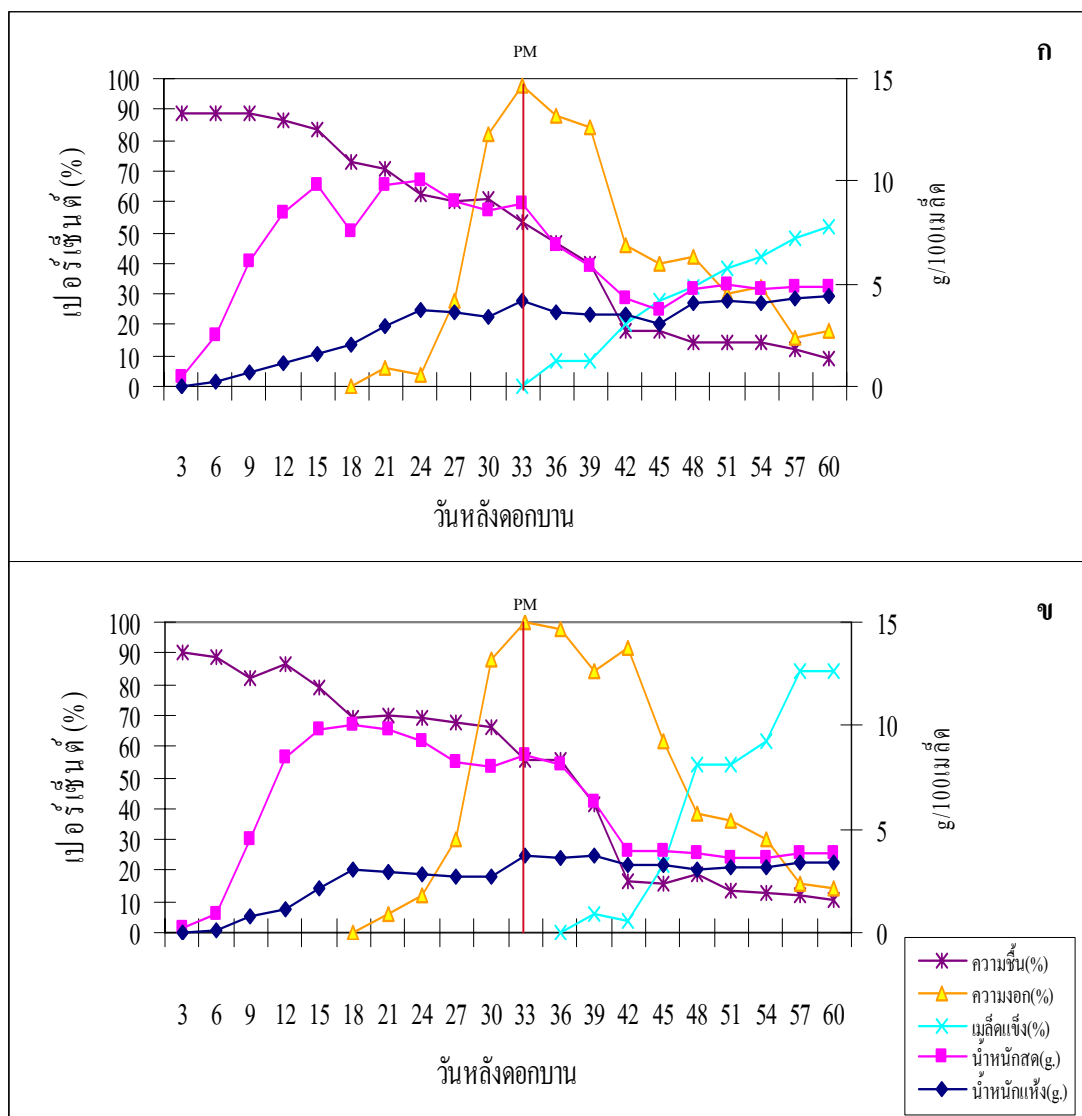
เมล็ดผักบุ้งไทยแดงเริ่มงอกได้เมื่ออายุ 21 วันหลังดอกบาน (ความงอก 6 เปอร์เซ็นต์) และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีความงอกสูงสุด คือ 98 เปอร์เซ็นต์ที่ 33 วันหลังดอกบาน (เมล็ดมีความชื้น 53.23 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเป็นระยะที่เมล็ดแก่ทางสรีรวิทยา จากนั้นในช่วง 42 ถึง 54 วันหลังดอกบาน เปอร์เซ็นต์ความงอกจะลดลงเหลือประมาณครึ่งหนึ่งของระดับสูงสุดและมีค่าต่ำที่สุดในระยะ 60 วันหลังดอกบาน โดยเมล็ดมีความงอกเพียง 18 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีจำนวนเมล็ดแข็งเพิ่มมากขึ้นถึง 52 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 3)

เช่นเดียวกันเมล็ดผักบุ้งไทยเขียวเริ่มงอกได้ 6 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุ 21 วันหลังดอกบาน (เมล็ดมีความชื้น 69.65 เปอร์เซ็นต์) จากนั้นความงอกของเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนถึงอายุ 25 วันหลังดอกบาน หลังจากนั้นความงอกของเมล็ดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและสูงที่สุด (100 เปอร์เซ็นต์) ที่อายุ 33 วันหลังดอกบาน (เมล็ดมีความชื้น 55.97 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเป็นระยะที่เมล็ดแก่ทางสรีรวิทยา เช่นเดียวกับผักบุ้งไทยแดง โดยในช่วงอายุ 30 ถึง 42 วันหลังดอกบาน เป็นช่วงที่ความงอกของเมล็ดอยู่ในระดับสูงมาก แต่เมื่อผ่านระยะนี้ไปความงอกของเมล็ดจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากเกิดเมล็ดแข็งและมีความงอกต่ำที่สุด (14 เปอร์เซ็นต์) ที่ระยะ 60 วันหลังดอกบาน (เมล็ดมีความชื้น 10.34 เปอร์เซ็นต์) (ตารางผนวกที่ 4) จากการศึกษาพบว่า เมล็ดผักบุ้งไทยแดงและเขียวมีความงอกสูงสุดที่ระยะแก่ทางสรีรวิทยา เช่นเดียวกับเมล็ดสะอึกดอกขาวเล็ก (อนุชา, 2544ก) และเมล็ดผักบุ้งจีน (อุดมลักษณ์, 2524) แต่อรพรรณ (2534) พบว่า เมล็ดผักบุ้งจีนมีความงอกสูงสุดที่อายุ 61 วันหลังดอกบาน (75 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเป็นจุดที่เมล็ดผ่านระยะแก่ทางสรีรวิทยาแล้ว ในขณะที่จวงจันท์ (2521) ระบุว่า โดยปกติเมล็ดพืชทุกชนิดสามารถงอกได้ก่อนที่เมล็ดจะเจริญเติบโตเต็มที่ยกเว้นเมล็ดที่มีการพักตัว และมีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงสุดก่อนถึงระยะที่เมล็ดแก่ทางสรีรวิทยาเล็กน้อย โดยความงอกที่สูงสุดนี้จะคงอยู่ชั่วระยะหนึ่งแล้วจะค่อยๆ ลดลงเมื่อเมล็ดเกิดการเสื่อมสภาพ

เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการงอกของเมล็ดผักบุ้งไทยทั้ง 2 accession พบว่า ความงอกในช่วงอายุ 21 ถึง 27 วันหลังดอกบานจะมีเปอร์เซ็นต์ต่ำ (6 – 30 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่เมล็ดที่อายุ 30 วันหลังดอกบานนั้นจะมีความงอกสูงถึง 82 – 100 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าทั้งสองระยะนี้เมล็ดจะมีน้ำหนักแห้งและความชื้นที่ใกล้เคียงกันก็ตาม อาจสันนิษฐานได้ว่า เมล็ดบางส่วนยังอ่อนหรือเมล็ดมีปริมาณ ABA ซึ่งเป็นสารควบคุมการพัฒนาและการพักตัวของเมล็ดที่สำคัญอยู่สูง (Koorneef *et al.*, 2002) และหากมีการลดความชื้นของเมล็ดลงความงอกจะเพิ่มขึ้นได้ เช่น เมล็ด common vetch ที่เก็บเกี่ยวในระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาเมื่อผ่านการลดความชื้นจะมีความงอกสูงกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการลดความชื้น (Samarah *et al.*, 2004) การลดความชื้นเมล็ดสดที่ยังไม่ถึงระยะเก็บเกี่ยว อาจทำให้เมล็ดหลุดพ้นจากอิทธิพลของ โครงสร้างภายนอก (เยื่อหุ้มเมล็ดและเนื้อเยื่อสะสมอาหาร) และ ABA ทำให้เมล็ดงอกได้สูงขึ้น (Bewley and Black, 1994)

2.4 เมล็ดแข็ง

เมล็ดผักบุ้งไทยแดงเริ่มมีเมล็ดแข็งเกิดขึ้น 8 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุ 36 วันหลังดอกบาน (เมล็ดมีความชื้น 46.67 เปอร์เซ็นต์) จากนั้นเมื่ออายุของเมล็ดมากขึ้น และความชื้นของเมล็ดลดลง



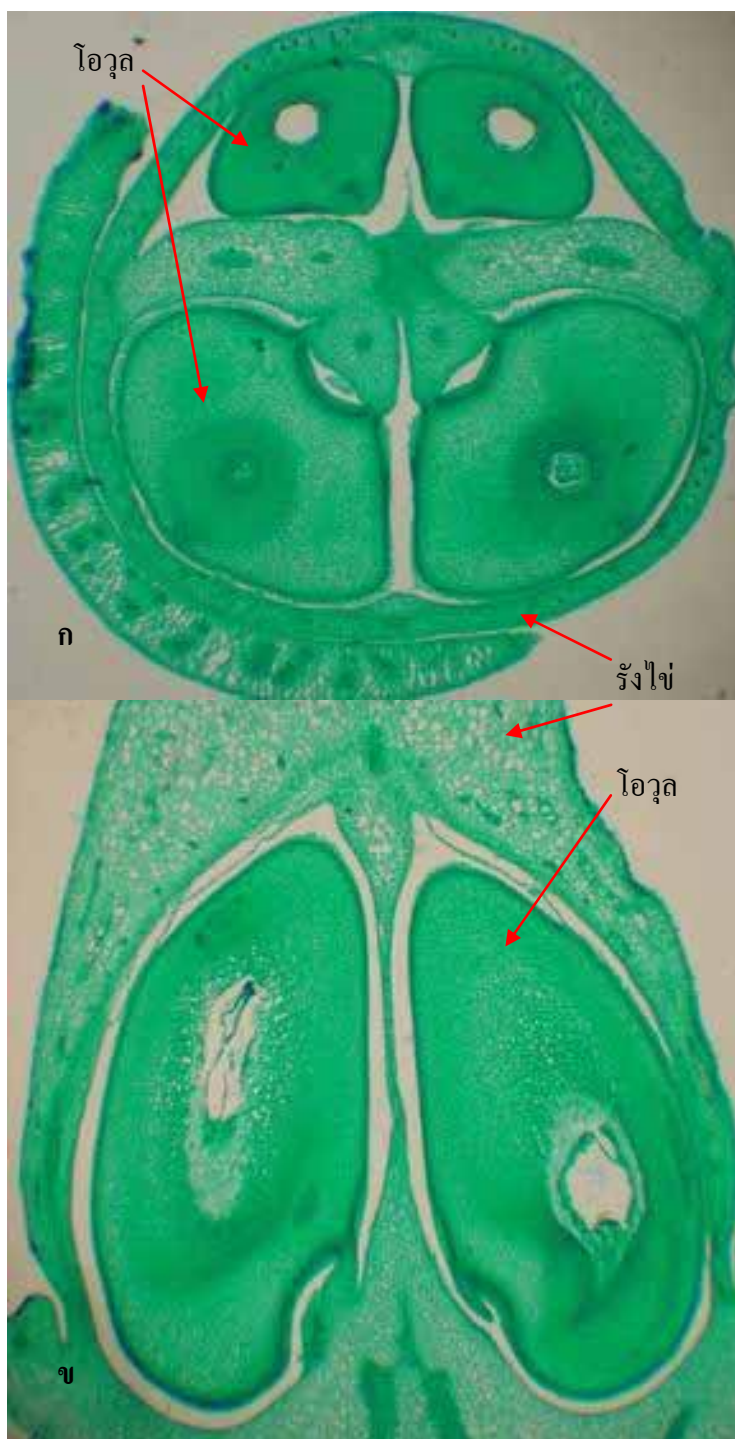
ภาพที่ 6 ความชื้น ความงอก เมล็ดแข็ง (เปอร์เซ็นต์) น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (กรัม/100เมล็ด) ของเมล็ด ก) ผักบุ้งไทยแดง และ ข) ผักบุ้งไทยเขียว

ปริมาณเมล็ดแข็งที่พบก็เพิ่มขึ้นด้วย โดยพบว่ามีเมล็ดแข็งสูงถึง 52 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะ 60 วันหลังดอกบาน (เมล็ดมีความชื้น 8.85 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่เมล็ดฝักbungไทยเขียวเริ่มมีเมล็ดแข็ง 6 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุ 39 วันหลังดอกบาน (เมล็ดมีความชื้น 41.37 เปอร์เซ็นต์) และสูงสุด (84 เปอร์เซ็นต์) ที่ระยะ 60 วันหลังดอกบาน (เมล็ดมีความชื้น 10.34 เปอร์เซ็นต์) (ภาพที่ 6) สังเกตว่าเมล็ดฝักbungไทยแดงและเขียวเริ่มมีเมล็ดที่พักรูปแบบเมล็ดแข็งเกิดขึ้นหลังจากผ่านระยะแก่ทางสรีรวิทยาของเมล็ดแล้ว และในขณะที่เมล็ดมีความชื้นสูง (ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์) ส่วนในเมล็ดฝักbungจีนเริ่มมีเมล็ดแข็งเกิดขึ้นหลังจากเมล็ดผ่านระยะแก่ทางสรีรวิทยาแล้วเช่นเดียวกัน แต่เมล็ดมีความชื้นเพียง 12 -14 เป็นเซ็นต์ (อุคมลักษณะ, 2524; อรพรรณ, 2534) ซึ่งแตกต่างจากรายงานของอนุชา (2544ก) ที่พบว่าเมล็ดสะอึกดอกขาวเล็กเริ่มมีเมล็ดแข็งเกิดขึ้นในระยะแก่ทางสรีรวิทยาของเมล็ด ซึ่งมีความชื้น (ประมาณ 37 เปอร์เซ็นต์) ใกล้เคียงกับระดับความชื้นในเมล็ดฝักbungไทยที่เริ่มมีเมล็ดแข็ง ในขณะที่การศึกษาของ Chandler *et al.* (1977) พบว่า เมล็ด purple moonflower เริ่มมีเมล็ดแข็งเกิดขึ้นที่ระยะแก่ทางสรีรวิทยาของเมล็ดเช่นเดียวกับเมล็ดสะอึกดอกขาวเล็ก แต่ในขณะที่นั้นเมล็ดมีความชื้นเพียง 8.5 เปอร์เซ็นต์

ความแตกต่างของปริมาณเมล็ดแข็งที่เกิดขึ้นในฝักbungไทยทั้งสอง accession นี้ อธิบายได้ว่าเกิดจากความแตกต่างทางพันธุกรรมและระดับการลดความชื้นของเมล็ด โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแตกต่างทางพันธุกรรม เช่นเดียวกับรายงานของ Smith (1988) ซึ่งศึกษาใน *T. subterranean*, Taylor and Ewing (1992) ใน *Medicago polymorpha* และ Tinus (1991) ในถั่วเหลือง อย่างไรก็ตาม Quinlivan (1971) ได้ให้ความสำคัญต่อปัจจัยความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความชื้นของเมล็ด และได้สรุปว่า การเกิดเมล็ดแข็งจะสัมพันธ์กับความชื้นของเมล็ด จากการศึกษาพบว่าช่วงเวลาเก็บเกี่ยวเมล็ดจะอยู่ในเดือนมกราคมที่มีสภาพอากาศแห้ง (ตารางผนวกที่ 7) มีผลทำให้ความชื้นของเมล็ดลดลงอย่างรวดเร็ว จำนวนเมล็ดแข็งจึงสูงขึ้นอย่างชัดเจน สอดคล้องกับรายงานของ Duangpatra (1976) ที่ศึกษาในถั่วเหลือง และ Juntakool (1983) ที่ศึกษาในถั่วอาหารสัตว์สิราโตร

โครงสร้างและการพัฒนาของเปลือกหุ้มเมล็ด

ดอกฝักbungแต่ละดอกมี 1 รังไข่ ประกอบด้วย 4 - 5 โอลู (ภาพที่ 7) แต่ละโอลูมีซองหุ้มโอลู (integument) เพียงชั้นเดียว จัดเป็น unitegmic ovule (Chan and Hillson, 1968; Baskin *et al.*, 2000) ซึ่งเป็นลักษณะในพืชที่มีกลีบดอกเชื่อมติดกัน (sympetalous) (พวงผกา, 2548)



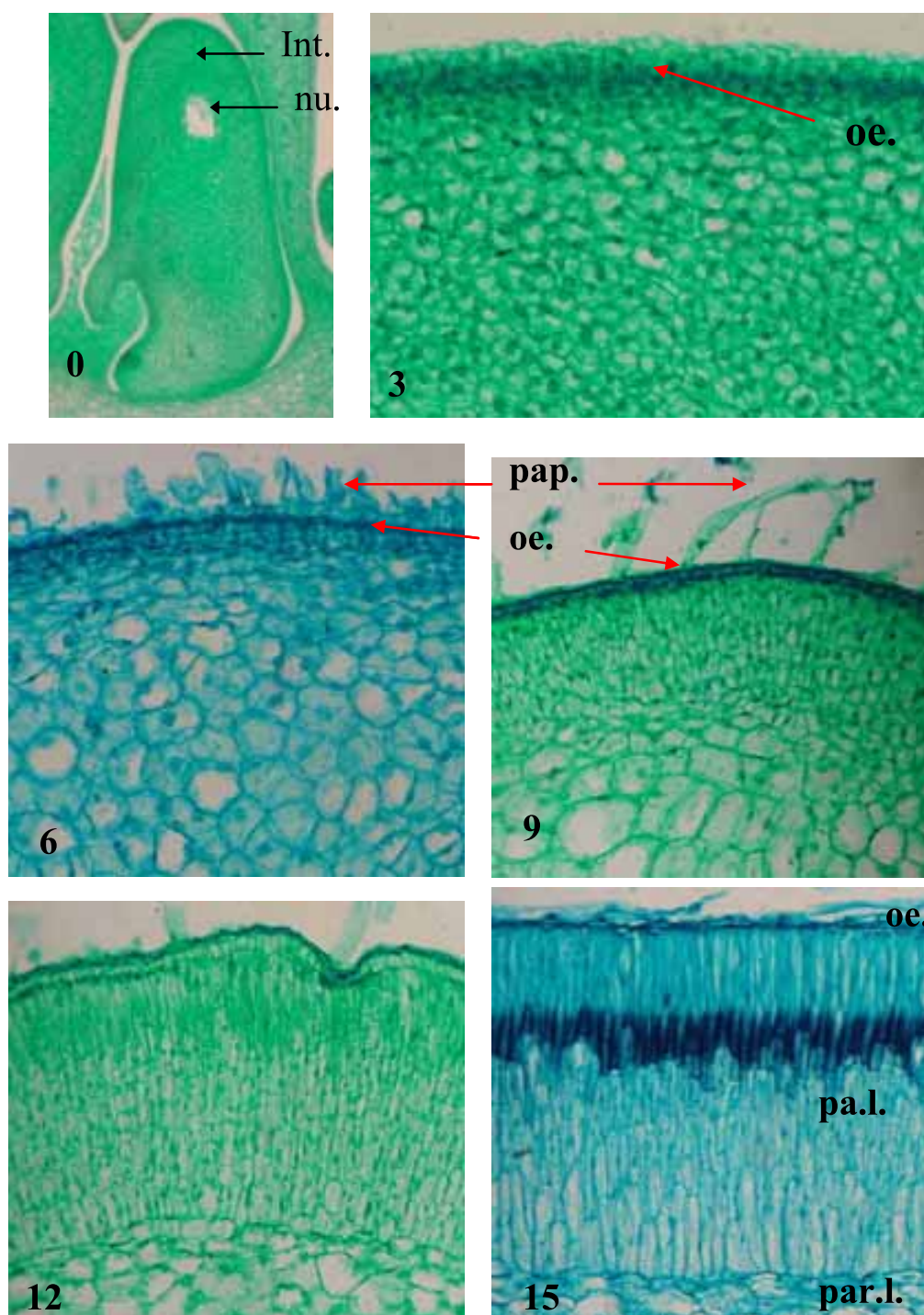
ภาพที่ 7 ก) ภาพตัดขวาง และ ข) ภาพตัดตามยาว ส่วนรังไข่และโอดุลของฝักนึ่งไทยระยะดอกบาน

1. โครงสร้างและการพัฒนาของเปลือกหุ้มเมล็ดปกติของเมล็ดผักบุ้งไทยแดง

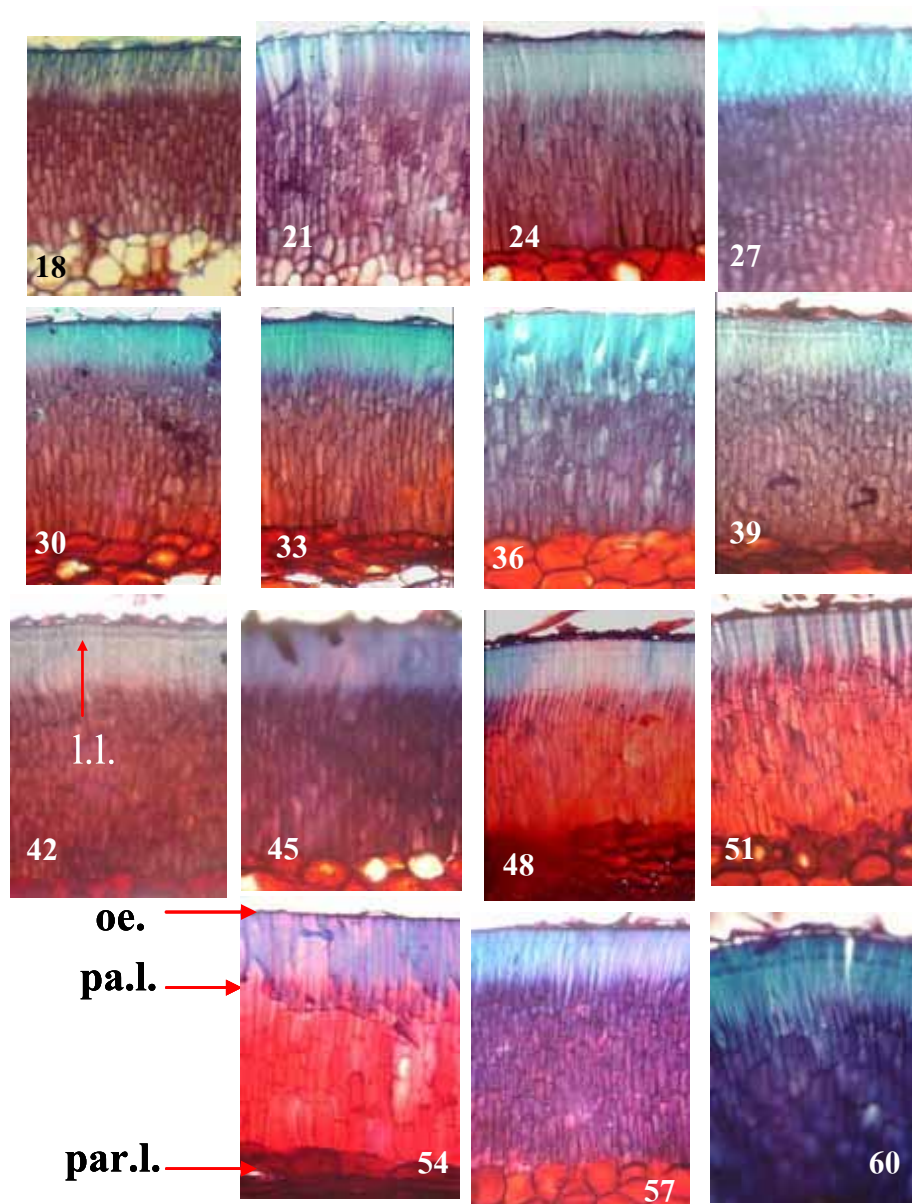
เมื่อนำชิ้นส่วนของ integument ของโอดุลที่ระยะดอกบานมาศึกษาผ่านกล้องจุลทรรศน์ พบว่า ส่วนของ outer epidermis และ palisade cell เป็น parenchyma cell ไม่สามารถแยกออกจากชั้น nucellus ได้ โดยมี cellulose อยู่ทั่วไปที่ผนังเซลล์ สังเกตได้จากการย้อมติดสีเขียวของ fast green อย่างชัดเจน เมื่อเมล็ดมีอายุ 3 วันหลังดอกบานชั้น epidermis เริ่มขยายขนาด จากนั้นเมื่อเมล็ดอายุ 6 วันหลังดอกบานเซลล์มีการแบ่งชั้นชัดเจนขึ้น โดย outer epidermis มีขน (papillae) เจริญขึ้นมา เซลล์ใต้ชั้น outer epidermis เริ่มขยายขนาดความยาวรูปร่างคล้ายทรงกระบอกซ้อนกัน 1 - 2 ชั้นเซลล์ เมื่อตรวจหาสารประกอบทางเคมีจะพบว่าในระยะนี้เริ่มมี cutin และ lignin (ตารางที่ 1) มาสะสมอยู่ที่ผนังเซลล์แล้วเล็กน้อย ชั้นถัดเข้ามาจะพบ parenchyma cell ขนาดใหญ่เรียงตัวกันอย่างหลวมๆ เรียก parenchymatous layer (ภาพที่ 8)

ส่วนเซลล์ integument ในชั้น outer epidermis ของเมล็ดที่อายุ 12 วันหลังดอกบาน เริ่มบางลง ถัดเข้ามาเซลล์ใน palisade layer ขยายขนาดความยาวเพิ่มขึ้น ซึ่งประกอบด้วยเซลล์รูปร่างคล้ายทรงกระบอกซ้อนกัน 5 - 6 ชั้น สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน จากนั้นเมื่อเมล็ดอายุ 15 วันหลังดอกบาน เซลล์ใน palisade layer เริ่มมีรูปร่างแตกต่างกันแบ่งออกได้เป็น 2 ชั้น อย่างชัดเจนโดยกลุ่ม palisade cell เซลล์ที่อยู่ติดกับชั้นของ outer epidermis มีรูปร่างเป็นแท่งยาวจำนวน 1 ชั้นเซลล์ เรียงตัวขนานไปกับชั้น outer epidermis เมื่อตรวจหาสารประกอบทางเคมีแล้วให้ผลเป็นบวก (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่า ที่ผนังเซลล์มี cutin และ suberin สะสมอยู่ ถัดเข้าไปจากชั้นนี้จะเป็น palisade cell ที่มีรูปร่างคล้ายทรงกระบอกสั้นๆ เรียงซ้อนกัน 4 - 5 ชั้นเซลล์ และพบว่าในระยะนี้การสะสมสาร lignin เพิ่มขึ้นมาโดยเฉพาะในเซลล์ที่เป็นส่วนรอยต่อระหว่าง palisade layer ทั้ง 2 ชั้น สังเกตได้จากการติดสีแดงของ safranin o

จากภาพที่ 9 ซึ่งแสดงถึงโครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดผักบุ้งไทยแดงอายุ 18 - 60 วันหลังดอกบานนั้น พบว่า ระยะที่เมล็ดอายุ 18 วันหลังดอกบาน เป็นระยะที่เซลล์ต่างๆ ขยายตัวเต็มที่แล้ว ชั้น outer epidermis เริ่มบางลงเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดอายุ 12 วันหลังดอกบาน อย่างชัดเจน ส่วน palisade layer ที่ติดกับ outer epidermis ซึ่งเซลล์มีรูปร่างเป็นแท่งยาวในแนวตั้งเรียงติดกัน และ palisade cell ที่มีรูปร่างคล้ายทรงกระบอกสั้นๆ เรียงซ้อนกัน 4 - 5 ชั้นเซลล์นั้น มีการสะสมของ cutin, suberin และ lignin เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับระยะที่เมล็ดอายุ 15 วันหลังดอกบาน และเมื่อตรวจหาสารประกอบทางเคมีให้ผลเป็นบวกดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 8 โครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดผักบุ้งไทยแดง (WC089) อายุ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 วันหลังดอกบาน (200X) แสดง outer epidermis (oe.), integument (int.), papillae (pap), palisade layer (pa.l.), parenchymatous layer (par.l.) และ nucellus (nu.)



ภาพที่ 9 โครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดปกติของผักนึ่งไทยแดง (WC089) อายุ 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 42, 45, 48, 51, 54, 57 และ 60 วันหลังดอกบาน (200X) แสดง outer epidermis (oe.), palisade layer (pa.l.), parenchymatous layer (par.l.) และ light line (l.l.)

ตารางที่ 1 สารประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ดผักบุ้งไทยแดง (WC089) ช่วงอายุ 0 - 24 วัน
หลังดอกบาน

อายุเมล็ด (วันหลังดอกบาน)	สารประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ด							
	cutin+suber		lignin		cellulose		hemicellulose	
	pa.l. ¹	par.l. ²	pa.l. ¹	par.l. ²	pa.l. ¹	par.l. ²	pa.l. ¹	par.l. ²
0	-	-	-	-	+	+	-	-
3	-	-	-	-	+	+	-	-
6	+	-	+	-	+	+	-	-
9	+	-	+	-	+	+	-	-
12	+	-	+	-	+	+	-	-
15	+	-	+	-	+	+	-	-
18	+	-	+	-	+	+	-	-
21	+	-	+	-	+	+	-	-
24	+	-	+	-	+	+	-	-

¹ pa.l. = palisade layer

² par.l. = parenchymatous layer

+ พบสารดังกล่าวเป็นองค์ประกอบในเนื้อเยื่อ

- ไม่พบสารดังกล่าวเป็นองค์ประกอบในเนื้อเยื่อ

2. โครงสร้างและการพัฒนาของเปลือกหุ้มเมล็ดปกติของเมล็ดผักบุ้งไทยเขียว

ในระยะดอกบานพบว่า outer epidermis และ palisade cell เป็น parenchyma cell ไม่สามารถแยกออกจากชั้น nucellus ได้ (ภาพที่ 10) โดยมี cellulose อยู่ทั่วไปที่ผนังเซลล์ สังเกตได้จากการย้อมติดสีเขียวของ fast green เมื่อเมล็ดมีอายุ 3 วันหลังดอกบาน outer epidermis มีขน (papillae) เจริญขึ้นมา เซลล์ได้ชั้น epidermis เริ่มขยายขนาด จากนั้นเมื่อเมล็ดอายุ 6 วันหลังดอกบานเซลล์มีการแบ่งชั้นชัดเจนขึ้น โดย เซลล์ได้ชั้น outer epidermis เริ่มขยายขนาดความยาวมีรูปร่างคล้ายทรงกระบอกซ้อนกัน 1 - 2 ชั้น เมื่อตรวจสอบทางเคมีจะพบว่าในระยะนี้เริ่มมี cutin และ suberin มาสะสมอยู่ที่ผนังเซลล์แล้วเล็กน้อย ชั้นถัดเข้ามาจะพบ parenchyma cell ขนาดใหญ่เรียงตัวกันอย่างหลวมๆ เรียก parenchymatous layer ที่อายุ 9 วันหลังดอกบาน เริ่มมี lignin เข้ามาสะสมในส่วน of palisade cell เมื่อตรวจสอบทางเคมีให้ผลเป็นบวก (ตารางที่ 2)

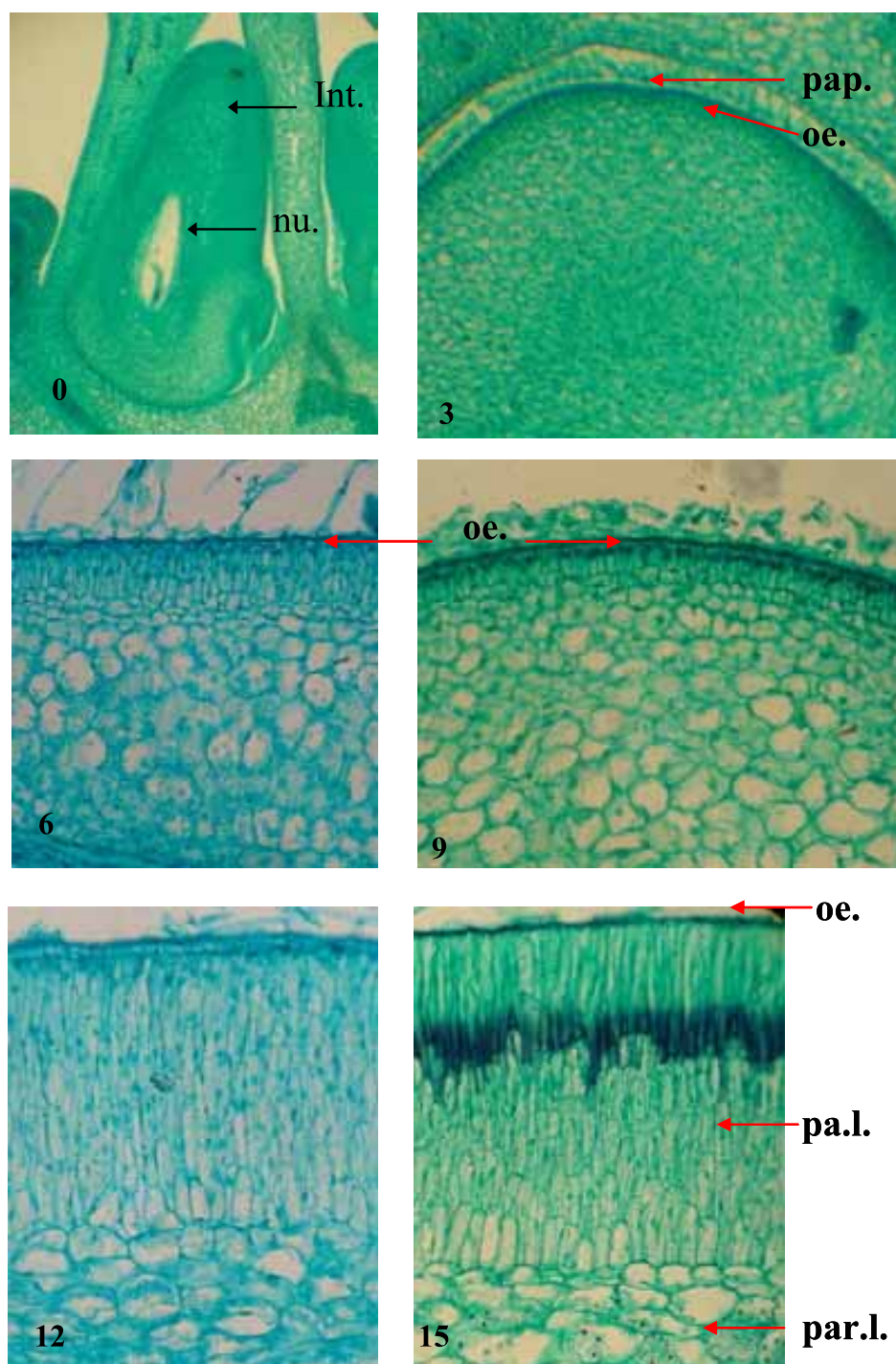
เมื่อเมล็ดอายุ 12 วันหลังดอกบาน เซลล์ในชั้น outer epidermis เริ่มบางลง ถัดเข้ามาใน palisade layer เซลล์มีการขยายขนาดความยาวเพิ่มขึ้น ซึ่งประกอบด้วยเซลล์รูปร่างคล้ายทรงกระบอกซ้อนกัน 5 - 6 ชั้น สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน

เมื่อเมล็ดอายุ 15 วันหลังดอกบาน เซลล์ใน palisade layer เริ่มมีรูปร่างแตกต่างกันแบ่งออกได้เป็น 2 ชั้น โดยกลุ่มเซลล์ที่อยู่ติดกับชั้นของ outer epidermis มีรูปร่างเป็นแท่งยาวจำนวน 1 ชั้น เซลล์เรียงตัวขนานไปกับชั้น outer epidermis ถัดเข้าไปจากชั้นนี้จะเป็น palisade cell ที่มีรูปร่างคล้ายทรงกระบอกสั้นๆ เรียงซ้อนกัน 4 - 5 ชั้นเซลล์ และพบว่าในระยะนี้การสะสมสาร lignin เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในเซลล์ที่เป็นส่วนรอยต่อระหว่าง palisade layer ทั้ง 2 ชั้น สังเกตได้จากการติดสีแดงของ safranin o

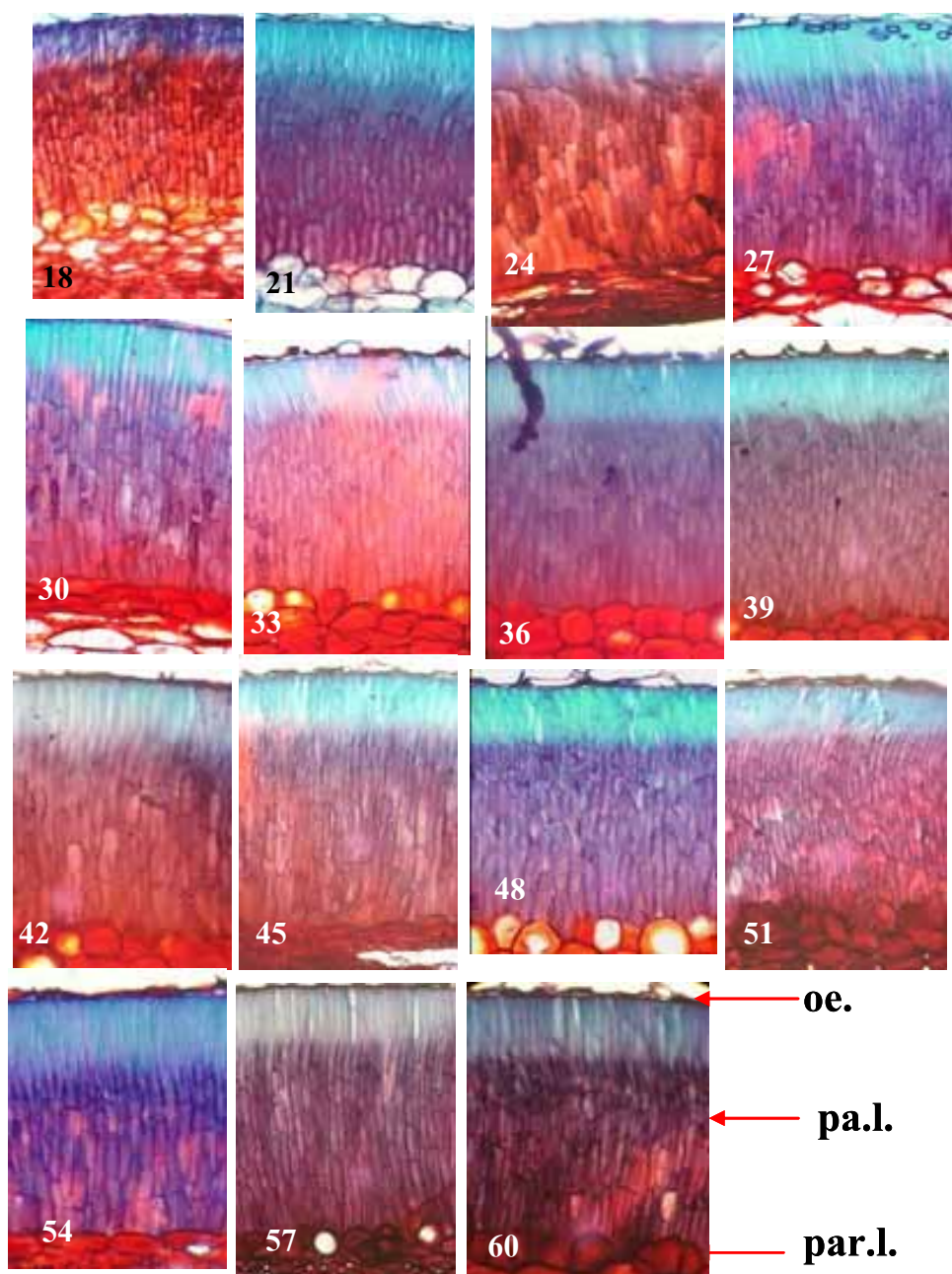
เมล็ดอายุ 18 วันหลังดอกบาน (ภาพที่ 11) เป็นระยะที่เซลล์ต่างๆ ขยายตัวเต็มที่แล้ว ชั้น outer epidermis เริ่มบางลงเมื่อเปรียบเทียบกับระยะที่เมล็ดอายุ 12 วันหลังดอกบาน อย่างชัดเจน ส่วน palisade layer ที่ติดกับ outer epidermis ซึ่งเซลล์มีรูปร่างเป็นแท่งยาวเรียงติดกัน และ palisade cell ที่มีรูปร่างคล้ายทรงกระบอกสั้นๆ เรียงซ้อนกัน 4 - 5 ชั้นเซลล์ จากการตรวจสอบทางเคมีที่เป็นองค์ประกอบพบว่า มีการสะสมของ cutin, suberin และ lignin เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่อายุ 15 วันหลังดอกบาน (ตารางที่ 2)

ส่วนของ outer epidermis จะมีสีเข้มขึ้นเมื่อเมล็ดมีอายุ 30 วันหลังดอกบาน (ภาพที่ 11) ซึ่งเมื่อสังเกตสีเมล็ดแล้วจะเป็นระยะที่เมล็ดเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (ภาพที่ 4) การสะสม lignin ในส่วนของ palisade layer จะเพิ่มขึ้นตามอายุของเมล็ดที่มากขึ้น และเซลล์ใน palisade layer จะติดสีเข้มขึ้นเช่นเดียวกับที่พบในเมล็ดผักนึ่งไทยแดง นอกจากนี้ยังพบว่า เมล็ดแข็งบางเมล็ดของผักนึ่งไทยทั้ง 2 accession (ภาพที่ 12 และ 13) และเมล็ดปกติบางเมล็ดของผักนึ่งไทยแดง (ภาพที่ 9) มี light line ปรากฏอยู่บริเวณส่วนบนของ outer palisade layer ใน โดย light line นี้จะเป็นบริเวณที่สะสมสารจำพวกสีที่ซึ่งที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ ทำให้น้ำซึมผ่านเข้าสู่ภายในเมล็ดได้ยากขึ้น จากการศึกษาที่ผ่านมาสามารถพบ light line ได้ในถั่วบางชนิด (ลิลลี่, 2546; Serrato-Valenti *et al.*, 1989) และ กระเจียบมอญ (Serrato-Valenti *et al.*, 1992) เป็นต้น ซึ่งในเมล็ดผักนึ่งไทยนี้ยังไม่สามารถชี้ชัดได้ว่า light line ที่เกิดขึ้นมีผลต่อการเกิดเมล็ดแข็งในเมล็ดผักนึ่งไทยหรือไม่ เนื่องจากพบ light line ทั้งในเมล็ดปกติและเมล็ดแข็ง ในขณะที่อรพรรณ (2534) ไม่พบว่ามี light line เกิดขึ้นในเปลือกหุ้มเมล็ดผักนึ่งจีน

โครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดปกติของผักนึ่งไทยแดงและเขียวที่ศึกษามีรูปแบบเดียวกับที่พบในเมล็ดผักนึ่งจีน (อรพรรณ, 2534) และเมล็ดพืชในวงศ์ Convolvulaceae อื่นๆ (Lyshede, 1992) โดย palisade layer ของเปลือกหุ้มเมล็ด ประกอบด้วยเซลล์ที่มีรูปร่างแตกต่างกัน 2 แบบ คือเซลล์ที่เป็นแท่งยาวมีผนังเซลล์หนา เรียกว่า macrosclereid และถัดเข้าไปเป็นเซลล์รูปทรงกระบอกสั้นๆ ซึ่ง Sripleng and Smith (1960) เรียกเซลล์ชั้นนี้ว่า cubical sclereid Esau (1964) และ Algan and Bakar Buyukkartal (2000) อธิบายว่า เซลล์ในชั้น palisade ที่ไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านเข้าไบนั้นมักประกอบด้วย macrosclereid หรือ malpighian cell ที่มี lignin สะสมที่ผนังเซลล์ โครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดผักนึ่งนี้จะแตกต่างจากเปลือกหุ้มเมล็ดของพืชตระกูลถั่ว (Fabaceae) ซึ่งประกอบด้วย cuticle บางๆ ที่ผิวเมล็ด กลุ่มเซลล์ใน palisade layer นี้เป็น macrosclereid ซึ่งเป็นเซลล์ผนังหนาที่มีรูปร่างยาว ถัดเข้าไปเป็นเซลล์ที่มีผนังหนาไม่เท่ากันเรียกว่า hourglass cell เป็นชั้นที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับเยื่อหุ้มเมล็ด อาจมีชื่อต่างกันตามรูปร่างและความหนาเช่น columnar cell, pillar, lagenosclereid และ osteoscleried ชั้นในสุดคือ parenchyma cell (ลิลลี่, 2546) ขณะที่เมล็ดกำลังพัฒนานั้น ภายใน palisade cell ของเปลือกหุ้มเมล็ดพืชจะมีการสะสมสารประกอบฟีนอลิกหรือสารประกอบที่ป้องกันน้ำ เช่น lignin, cutin และ suberin ที่ผนังเซลล์จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านของเปลือกหุ้มเมล็ด (วันชัย, 2537; สุวิมล, 2538; Serrato-Valenti *et al.*, 1990)



ภาพที่ 10 โครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดผักบุ้งไทยเขียว (WC077) อายุ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 วัน หลังดอกบาน (200X) แสดง outer epidermis (oe.), integument (int.), papillae (pap), palisade layer (pa.l.), parenchymatous layer (par.l.) และ nucellus (nu.)



ภาพที่ 11 โครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดปอกคิของผักนึ่งไทยเขียว (WC077) อายุ 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 42, 45, 48, 51, 54, 57 และ 60 วันหลังดอกบาน (200X) แสดง outer epidermis (oe.), palisade layer (pa.l.) และ parenchymatous layer (par.l.)

ตารางที่ 2 สารประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ดผักบุ้งไทยเขียว (WC077) ช่วงอายุ 0 - 24 วัน
หลังดอกบาน

อายุเมล็ด (วันหลังดอกบาน)	สารประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ด							
	cutin+suber		lignin		cellulose		hemicellulose	
	pa.l. ¹	par.l. ²	pa.l. ¹	par.l. ²	pa.l. ¹	par.l. ²	pa.l. ¹	par.l. ²
0	-	-	-	-	+	+	-	-
3	-	-	-	-	+	+	-	-
6	+	-	-	-	+	+	-	-
9	+	-	+	-	+	+	-	-
12	+	-	+	-	+	+	-	-
15	+	-	+	-	+	+	-	-
18	+	-	+	-	+	+	-	-
21	+	-	+	-	+	+	-	-
24	+	-	+	-	+	+	-	-

¹ pa.l. = palisade layer

² par.l. = parenchymatous layer

+

พบสารดังกล่าวเป็นองค์ประกอบในเนื้อเยื่อ

-

ไม่พบสารดังกล่าวเป็นองค์ประกอบในเนื้อเยื่อ

จากที่กล่าวมาแล้วแสดงให้เห็นว่า การพัฒนาของเปลือกหุ้มเมล็ดผักนึ่งไทยทั้งชนิดแดง และเขียวมีรูปแบบเดียวกัน อาจแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ตารางที่ 1 และ 2) โดยเฉพาะ อายุที่เริ่มมีการสะสมสาร lignin ในส่วนของ palisade cell เท่านั้น สาร lignin ที่พบในเมล็ดนี้ นอกจากจะมีส่วนทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดมีความแข็งแรงแล้ว (Christainsen and Moore, 1959) อาจมีส่วนทำให้เมล็ดเกิดการพักตัวแบบเมล็ดแข็งได้เนื่องจาก น้ำไม่สามารถซึมผ่านเซลล์เหล่านั้นเข้าไปภายในเมล็ดได้ เช่นรายงานของ Rolston (1978) และ Serrato-Valenti *et al.* (1993) หรือไม่มีผลต่อการพักตัวของเมล็ด เช่น รายงานของ Coe and Martin (1920)

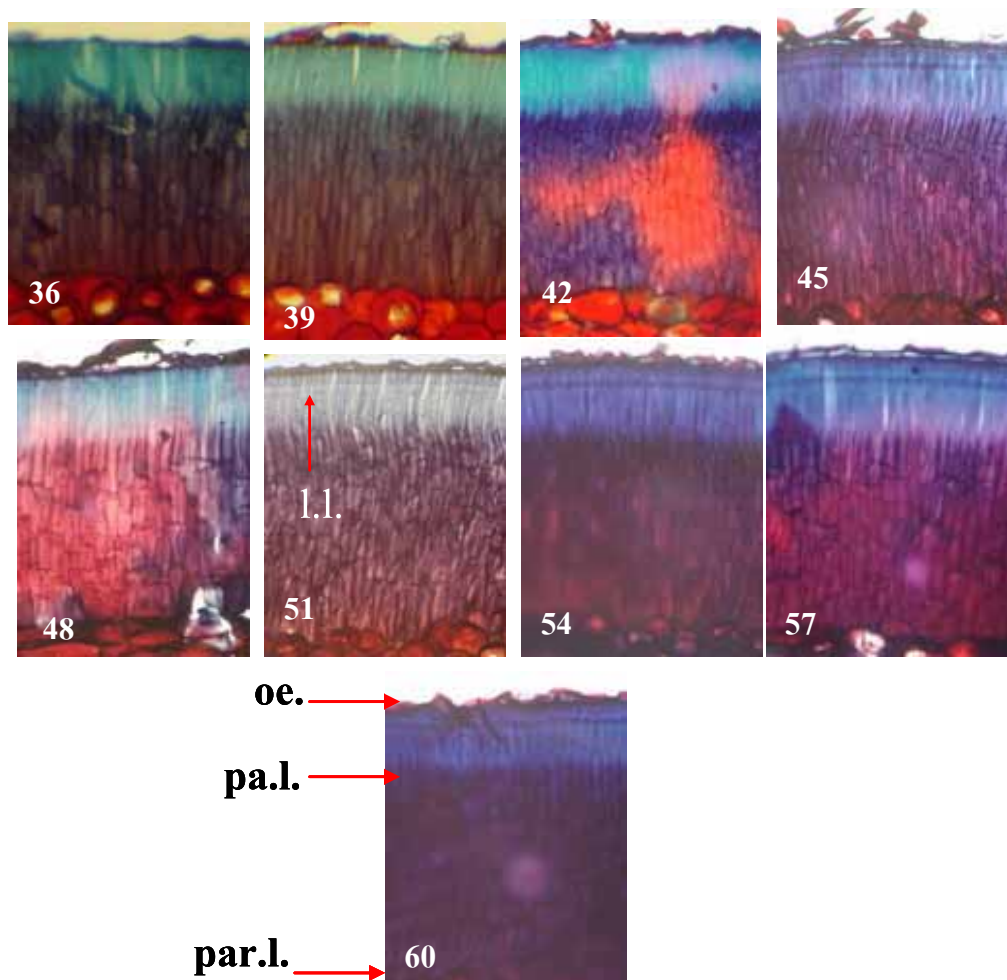
3. โครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดที่มีการพักตัวแบบเมล็ดแข็ง

ผักนึ่งไทยแดงเริ่มมีเมล็ดแข็งเกิดขึ้นเมื่อเมล็ดมีอายุ 36 วันหลังดอกบาน ในขณะที่ผักนึ่งไทยเขียวจะพบเมล็ดแข็งเมื่ออายุ 39 วันหลังดอกบาน (ตารางผนวกที่ 3 และ 4) ซึ่งโครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดแข็งในอายุต่างๆ ของทั้งสอง accession ไม่มีความแตกต่างกัน (ภาพที่ 12 และ 13) และเมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างในชั้นต่างๆ ของเปลือกหุ้มเมล็ดปกติและเมล็ดแข็งของผักนึ่งไทยทั้ง 2 accession (ภาพที่ 14 และ 15) พบว่า ทั้งชั้นของ outer epidermis และ palisade มีโครงสร้างแบบเดียวกันคือ outer epidermis มีสีน้ำตาลเข้ม palisade layer แบ่งเป็น 2 ชั้นอย่างชัดเจน ส่วนที่ติดกับชั้น outer epidermis เป็นเซลล์รูปแท่งยาวอัดตัวกันอย่างหนาแน่น ถัดเข้าไปเป็น palisade layer ที่มีรูปร่างคล้ายทรงกระบอกเรียงซ้อนกัน 4 - 5 ชั้น แต่เมื่อสังเกตการติดสีแดงของ safranin o แล้วจะเห็นว่า เมล็ดที่มีการพักตัวแบบเมล็ดแข็งนั้นเซลล์ของ palisade layer ชั้นใน (inner palisade layer) จะติดสีเข้มกว่าในเมล็ดปกติเล็กน้อย เช่นเดียวกับการศึกษาของสุวิมล (2538) ซึ่งพบว่า ผนังเซลล์ของเยื่อหุ้มเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ TC1966 ที่พักตัวแบบเมล็ดแข็ง ในชั้น palisade layer โดยเฉพาะในส่วนของ macrosclereid cell จะติดสีแดงชัดเจนกว่าผนังเซลล์เยื่อหุ้มเมล็ดปกติในเกือบทุกระยะของเมล็ด แสดงให้เห็นว่ามีการสะสมสารประกอบ cutin suberin และ lignin ชนิดใดชนิดหนึ่งที่ผนังเซลล์ของเยื่อหุ้มเมล็ดแข็งมากกว่าเมล็ดปกติ ซึ่งสารประกอบเหล่านี้เมื่อมีสะสมอยู่มากจะเป็นตัวสกัดกั้นไม่ให้น้ำซึมผ่านเข้าสู่ภายในเมล็ดได้หรือได้เพียงเล็กน้อย นอกจากนี้การที่เมล็ดสูญเสียความชื้นอย่างรวดเร็วทำให้ชั้นของเซลล์ที่เป็นส่วนประกอบของเปลือกหุ้มเมล็ดอัดตัวกันแน่นขึ้น ร่วมกับมีสารประกอบพวก cutin, suberin และ lignin เข้ามาสะสมในเซลล์ของ palisade layer จึงทำให้น้ำซึมผ่านเข้าสู่เมล็ดได้ยาก (Rolston, 1978) ในขณะที่ Serrato Valenti *et al.* (1989) พบว่า โครงสร้างของเยื่อหุ้มเมล็ด *Lupinus angustifolius* L. ที่เป็นเมล็ดแข็งไม่แตกต่างจากเมล็ดปกติ เพียงแต่ในเมล็ดแข็งจะพบแนวของ light line ที่ชัดเจนและไม่แตกหรือขาดออกจากกันมากกว่า

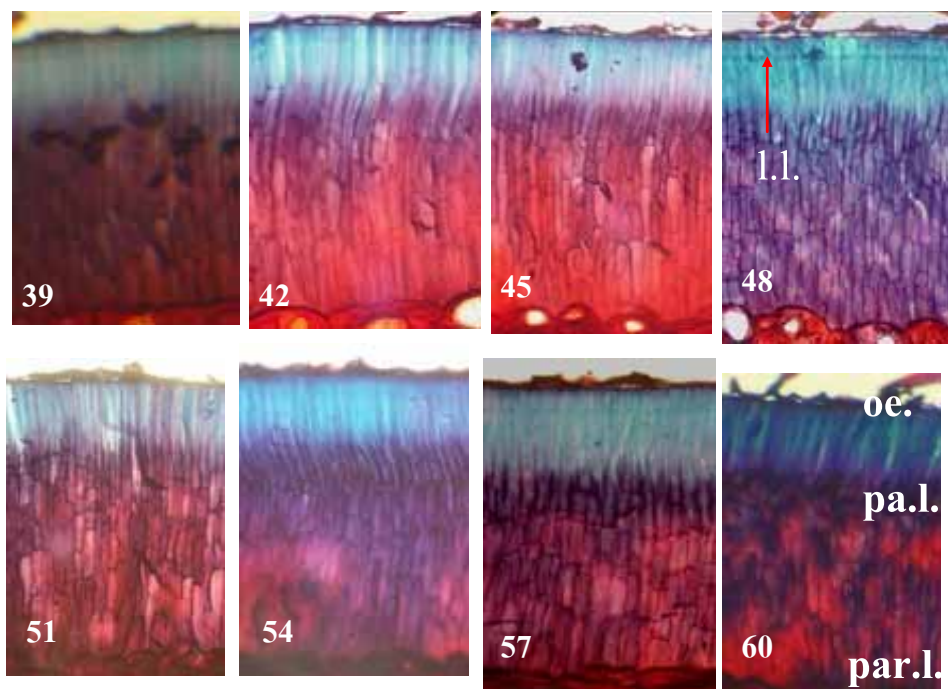
เมล็ดปกติ ในเมล็ด *Pisum* ที่เชื่อมเมล็ดไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านมีสาร pectin สะสมอยู่ในส่วนของ cap ของ palisade cell อย่างต่อเนื่อง และพบสารประกอบ quinone ในแต่ละเซลล์ของ palisade cell และ osteosclereid cell ในปริมาณสูง แต่เมล็ดที่เชื่อมเมล็ดยอมให้น้ำซึมผ่านส่วนของ cap ไม่เชื่อมติดกันและพบสารประกอบ quinone ในแต่ละเซลล์ของ palisade cell และ osteosclereid cell ในปริมาณน้อยหรือไม่มีเลย ซึ่งมีผลให้น้ำสามารถผ่านเข้าสู่เมล็ดได้ (Werker *et al.*, 1979)

จากการศึกษาโครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดของผักบุ้งไทยทั้งสอง accession นี้อาจกล่าวได้ว่า การพังกว้างแบบเมล็ดแข็งเกิดจากสารประกอบ phenolic ที่สะสมในชั้น palisade cell โดยเฉพาะ lignin ในเซลล์ของ palisade layer ชั้นใน ซึ่งเห็นได้ชัดเจนจากการติดสี safranin o ที่เข้มมากกว่าเมล็ดปกติ สอดคล้องกับ Lyshede (1992) ที่ศึกษาในเมล็ดพืชวงศ์เดียวกับเมล็ดผักบุ้ง รายงานว่า palisade layer ชั้นใน (inner palisade layer) จะเป็นชั้นที่ไม่ยอมให้น้ำซึมผ่าน ส่วนในพืชชนิดอื่น เช่น เมล็ดถั่วฮามาต้า Argel and Humpherys (1983b) รายงานว่า ปริมาณ lignin ในส่วนของ counter palisade cell ของเมล็ดแข็งจะสูงกว่าในเมล็ดปกติ นอกจากนี้ Egley *et al.* (1985) ยังพบว่าในเมล็ดของพืชตระกูล Malvaceae และ Leguminosae บางชนิดที่ทำการศึกษามีปริมาณ lignin สะสมเพิ่มมากขึ้นในระหว่างการพัฒนาเมล็ดเป็นสาเหตุทำให้เมล็ดเกิดการพังกว้างแบบเมล็ดแข็ง

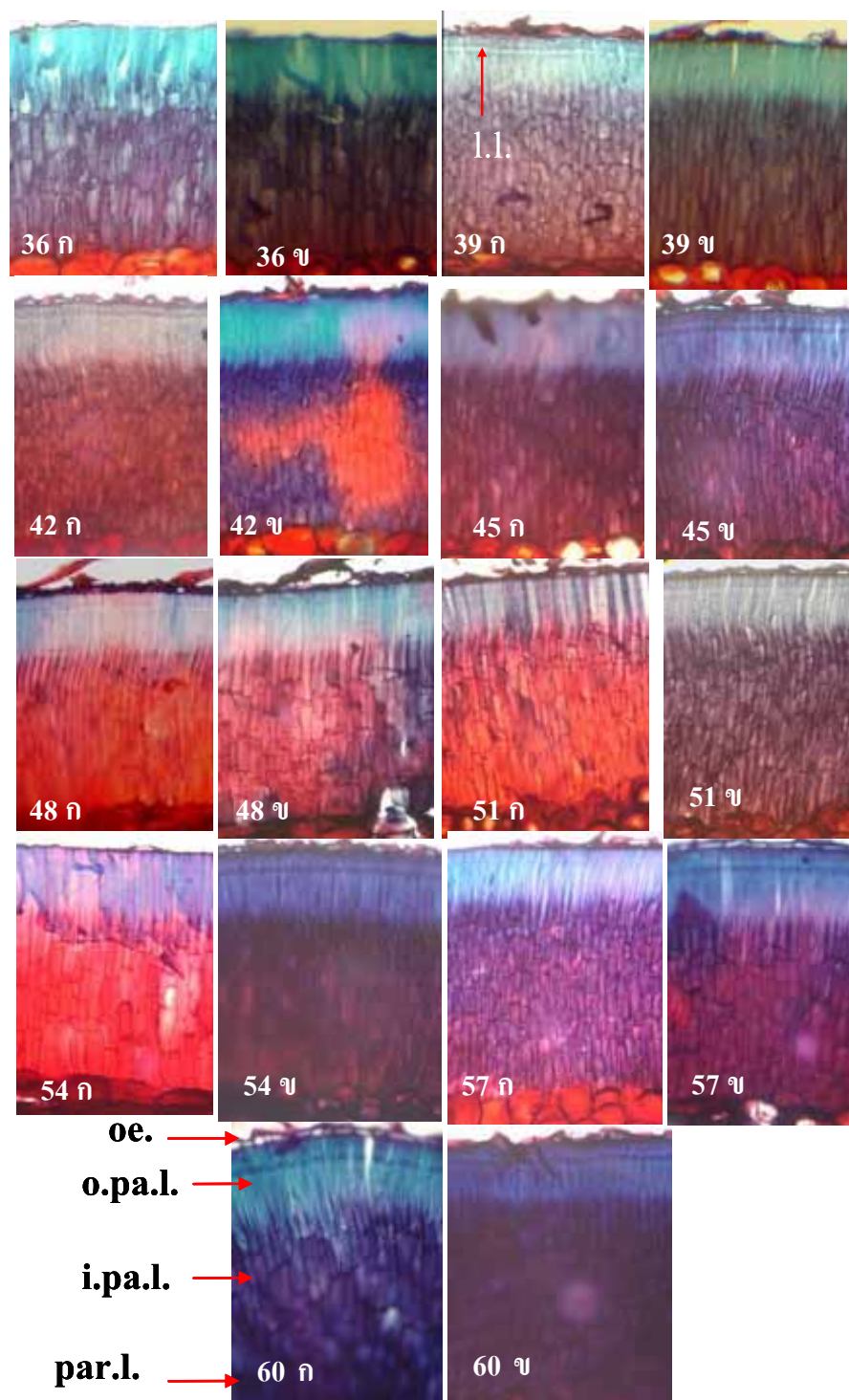
จากการศึกษานี้ เมล็ดแข็งที่เกิดขึ้นในการผลิตเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งไทยเป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้เมล็ดไม่เหมาะสมต่อการนำไปเก็บรักษา เนื่องจากไม่สามารถคาดคะเนได้ว่าเมล็ดเหล่านี้จะงอกได้เมื่อใด โดยพบว่า เมล็ดแข็งที่เกิดขึ้นนี้อาจมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย ได้แก่ พันธุกรรม ระดับการลดความชื้นของเมล็ด รวมถึงโครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดที่อัดตัวกันแน่น และมีสารประกอบกันน้ำมาสะสมอยู่ ทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านเข้าสู่เมล็ดได้ แนวทางในการลดปริมาณเมล็ดแข็งที่เกิดขึ้นนี้อาจทำได้โดยการศึกษาหาวิธีการและระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ รวมถึงวิธีการลดความชื้นที่เหมาะสม เป็นต้น



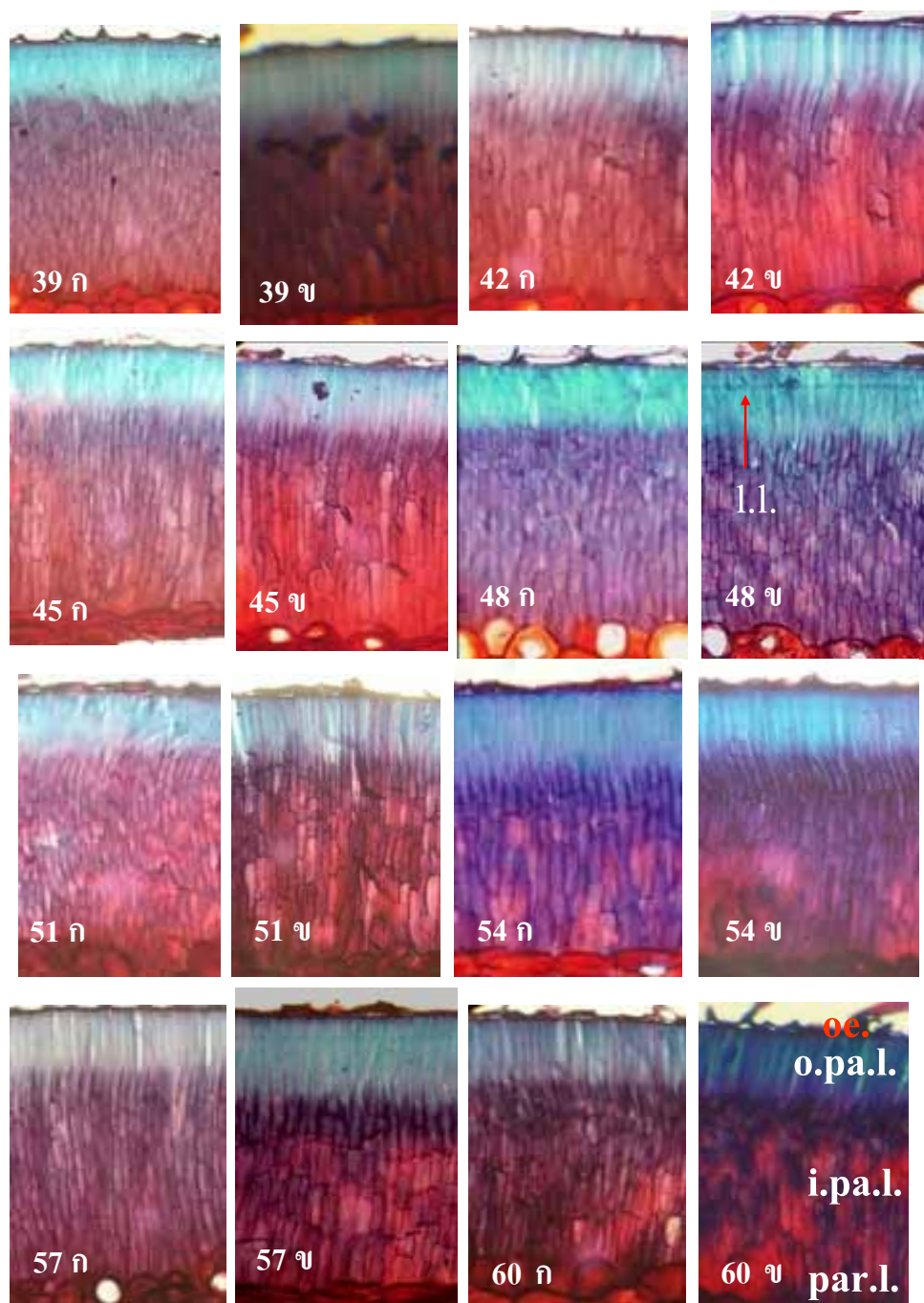
ภาพที่ 12 โครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดแห้งพริกขี้หนูไทยแดง (WC089) อายุ 36, 39, 42, 45, 48, 51, 54, 57 และ 60 วันหลังดอกบาน (200X) แสดง outer epidermis (oe.), palisade layer (pa.l.), parenchymatous layer (par.l.) และ light line (l.l.)



ภาพที่ 13 โครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดแข็งของผักนึ่งไทยเขียว (WC077) อายุ 39, 42, 45, 48, 51, 54, 57 และ 60 วันหลังดอกบาน (200X) แสดง outer epidermis (oe.), palisade layer (pa.l.), parenchymatous layer (par.l.) และ light line (l.l.)



ภาพที่ 14 โครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดผักบุ้งไทยแดงอายุ 36, 39, 42, 45, 48, 51, 54, 57 และ 60 วันหลังดอกบาน ก) เมล็ดปกติ เปรียบเทียบกับ ข) เมล็ดแข็ง (200X) แสดง outer epidermis (oe.), outer palisade layer (o.pa.l.), inner palisade layer (i.pa.l.), parenchymatous layer (par.l.) และ light line (l.l.)



ภาพที่ 15 โครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดผักบุ้งไทยเขียวอายุ 39, 42, 45, 48, 51, 54, 57 และ 60 วัน หลังดอกบาน ก) เมล็ดปกติ เปรียบเทียบกับ ข) เมล็ดแข็ง (200X) แสดง outer epidermis (oe.), outer palisade layer (o.pa.l.), inner palisade layer (i.pa.l.), parenchymatous layer (par.l.) และ light line (l.l.)

สรุป

1. การพัฒนาของเมล็ด

เมล็ดผักบุ้งไทยแดงและเขียวมีระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาเท่ากันที่อายุ 33 วัน หลังดอกบาน เป็นระยะที่มีน้ำหนักแห้งและเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงสุด จากระยะนี้น้ำหนักแห้งจะคงที่จนเมล็ด อายุ 60 วันหลังดอกบาน เริ่มพบการพักตัวแบบเมล็ดแข็งที่อายุ 36 และ 39 วันหลังดอกบาน และ สูงสุดที่ 52 และ 84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเมล็ดอายุ 60 วันหลังดอกบาน

2. โครงสร้างและการพัฒนาของเปลือกหุ้มเมล็ด

เปลือกหุ้มเมล็ดผักบุ้งไทยเจริญมาจาก integument ของโอวุลเพียงชั้นเดียว ในระยะดอก บานส่วน outer epidermis และ palisade cell ยังเป็น parenchyma cell มี cellulose อยู่ทั่วไปที่ผนัง เซลล์ ต่อมา integument เริ่มแบ่งชั้นชัดเจนขึ้น โดย outer epidermis มีขน (papillae) เจริญขึ้นมา palisade cell ได้ชั้น outer epidermis เริ่มขยายขนาดด้านความยาวคล้ายทรงกระบอกซ้อนมี cutin, suberin และ lignin มาสะสมอยู่ที่ผนังเซลล์ เมื่อการพัฒนาสมบูรณ์แล้ว palisade layer จะแบ่ง ออกเป็น 2 ชั้น ได้แก่ เซลล์ที่อยู่ติดกับชั้นของ outer epidermis มีรูปร่างเป็นแท่งยาวจำนวน 1 ชั้น เซลล์ โดยมี light line ปรากฏในเมล็ดปกติและเมล็ดแข็งบางส่วน และเซลล์ที่มีรูปร่างคล้าย ทรงกระบอกสั้นๆ เรียงซ้อนกัน 4-5 ชั้นเซลล์

การสะสมของสาร cutin suberin และ lignin ในส่วนของ palisade layer เพิ่มขึ้นเมื่อเมล็ดมี อายุมากขึ้น และ inner palisade layer ของเปลือกหุ้มเมล็ดแข็งจะติดสีเข้มกว่าเมล็ดปกติเล็กน้อย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กองวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2532. การผลิตเมล็ดพันธุ์ผักกุ่มจีน. กองวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2521. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. กลุ่มหนังสือเกษตร, กรุงเทพฯ.

_____. 2523. เอกสารประกอบการสอนวิชาพืชไร่ 581: สรีรวิทยาของเมล็ด.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)

ดัชนี ศรีรุ่งเรือง. 2530. การศึกษาความแปรผันของลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักกุ่ม (*Ipomoea aquatica* Forsk.) จาก 25 จังหวัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิรนาม. 2538. ผักกุ่ม, น. 166-167. ใน เพ็ญภา ทรัพย์เจริญ และ มาโนช วามานนท์,
บรรณาธิการ. ผักพื้นบ้าน: ความหมายและภูมิปัญญาของชาวไทย. โรงพิมพ์
องค์การทหารผ่านศึก, กรุงเทพฯ.

_____. 2548. ผักกุ่มไทย. พื้นที่ปลูก, สถิติการเกษตร. แหล่งที่มา:
http://www.doae.go.th/stat/newpage/page_54.htm, 2 มกราคม 2548.

พวงผกา สุนทรชัยนาคแสง. 2548. กายวิภาคและสัณฐานวิทยาของพืชมีดอก. ครั้งที่ 1.
สำนักพิมพ์ท็อป, กรุงเทพฯ.

รังสฤษฎ์ กาวิตะ. 2525. การถ่ายทอดลักษณะ “เมล็ดแข็ง” (hard seed) ในถั่วเหลือง. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลิลลี่ กาวิตะ. 2546. การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานและการพัฒนาการของพืช. สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วันชัย จันทร์ประเสริฐ. 2525. อิทธิพลขนาดเมล็ดที่มีต่อลักษณะบางประการของเมล็ดพันธุ์และ
ผลผลิตของถั่วเหลือง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_____. 2537. สรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

สุเทวี สุขปรากร และ พวงทอง ยืนอัสวพรรณ. 2536. การผลิตเมล็ดพันธุ์ฝักงูจีน, น. 276-290.
ใน ประพนธ์ ศรีสวัสดิ์, บรรณาธิการ. การผลิตเมล็ดพันธุ์ฝัก. กองขยายพันธุ์พืช กรม
ส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ.

สุวิมล ถนอมทรัพย์. 2538. พัฒนาการของเยื่อหุ้มเมล็ดและผลของความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่อการเกิด
ลักษณะเมล็ดแข็งในถั่วเขียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรพรรณ ศังขจันทรานนท์. 2534. พัฒนาการและความสามารถในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์
ฝักงูจีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนุชา จุลกะเสวี. 2544ก. ชีววิทยาและการควบคุมสะเก็ดดอกขาวเล็ก [*Ipomoea obscura* (L.)
Ker-Gawl] และผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของสับปะรด. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก,
กรุงเทพฯ.

_____. 2544ข. ชีววิทยาและการควบคุมสะเก็ดดอกขาวเล็ก [*Ipomoea obscura* (L.)
Ker-Gawl] และผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของสับปะรด. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก,
กรุงเทพฯ. อ้างถึง S.K. Johnson, R.H. Crowley and D.S. Murray. 1977. A rapid
technique for separation of individual weed species from a seed mixture. **Proc. Sou.
Weed Sci. Soc.** (30): 362.

_____. 2544ค. ชีววิทยาและการควบคุมสะเก็ดดอกขาวเล็ก [*Ipomoea obscura* (L.)
Ker-Gawl] และผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของสับปะรด. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก,
กรุงเทพฯ. อ้างถึง F.H.W. Morley. 1958. The inheritance and ecological of seed

dormancy in subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.). **Aust. Jour. of Bio. Sci.** (11): 261-274.

อุดมลักษณ์ มัจฉาชีพ. 2524. พัฒนาการของเมล็ดผักนึ่ง. ปัญหาพิเศษปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Adams, C.A. and R.W. Rinne. 1980. Moisture content as a controlling factor in seed development and germination. **Int. Rev. of Cytol.** (68): 1-8.

Algan, G. and H.N. Bakar Buyukkartal. 2000. Ultrastructure of Seed Coat Development in the Natural Tetraploid *Trifolium pratense* L.. **J. Agron. & Crop Sci.** (184): 205-213.

Argel, P.J. and L.R. Humpreys. 1983a. Environmental Effects on Seed Development and Hardseededness in *Stylosanthes hamata* cv. Verano. I Temperature. **Aust. J. Agric. Res.** (34): 261-270.

_____. 1983b. Environmental Effects on Seed Development and Hardseededness in *Stylosanthes hamata* cv. Verano. III Storage Humidity and Seed Characteristics. **Aust. J. Agric. Res.** (34): 279-287.

Baskin, J.M., C.C. Baskin and X. Li. 2000. Taxonomy, anatomy and evolution of physical dormancy in seeds. **Plant Species Biol.** (15): 139-152. *Cited* E.J.H. Corner. 1976. **The Seeds of Dicotyledons V.1.** Cambridge University Press, Cambridge.

Bewley, J.D. and M. Black. 1994. **Seeds: Physiology of Development and germination.** Plenum Press, New York.

Beresniewicz, M.M., A.G. Taylor, M.C. Goffinet and W.D. Koeller. 1995. Chemical layer of a semipermeable layer in seed coat of leek, onion (Liliaceae), tomato and pepper (Solanaceae). **Seed Sci. & Technol.** (23): 135-145.

- Chan, S.C.K. and C.J. Hillson. 1968. Developmental Morphology of Megaspogium and Embryogeny in *Ipomoea reptans* Poir. and Related Species. **Bot. Gaz.** (129): 150-156.
- Chandler, J.M., R.L. Munson and C.E. Vaughan. 1977. Purple Moonflower : emergence, growth, reproduction. **Weed Sci.** (25): 163-167.
- Chinnasamy, G. and A.K. Bal. 2003. The pattern of seed development and maturation in beach pea (*Lathyrus maritimus*). **Can. J. Bot.** (81): 531-540.
- Christainsen, M.N. and R.R. Moore. 1959. Seed coat structure difference that influence water uptake and seed quality in hard seed cotton. **Agron. J.** (51): 582-584.
- Coe, H.S. and J.W. Martin. 1920. Structure and chemical nature of seed coat and its relation to impermeable seeds of sweet clover. **U.S.D.A. Bull.** (844): 26-39.
- Coolbear, P. 1987. **Seed Physiology II: Dormancy, Storage, Seed Physiology in Practice.** Seed Technology Centre, Massey Univ., New Zealand.
- Duangpatra, J. 1976. **Some characteristics of the impermeable seed coat in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.].** Ph.D. thesis, Mississippi State University.
- Egley, G.H., R.N. Paul, JR., S.O. Duke and K.C. Vaughn. 1985. Peroxidase involvement in lignification in water impermeable seed coats of weedy leguminous and malvaceous species. **Plant, Cell & Env.** (8): 253-260.
- Esau, K. 1964. **Anatomy of Seed Plants.** Wiley, New York.
- Hampton, J.G. 2002. What is seed quality?. **Seed Sci. & Technol.** (30): 1-10.

- Harrington, J.F. 1972. Seed storage and longevity, pp. 145-150. *In* T.T. Kozlowski, ed. **Seed Biology V. 3**. Academic Press, New York.
- Hill, H.J., S.H. West and K. Hinson. 1986. Effect of water stress during seedfill on impermeable seed expression in soybean. **Crop Sci.** (26): 807-812.
- Hyde, E.O.C. 1954. The function of the hilum in some papilionaceae in relation to ripening of the seed and the permeability of the testa. **Ann. Bot.** (18): 241-256.
- ISTA. 2003. **International Rules for Seed Testing Edition 2003**. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
- Johansen, D.A. 1940. **Plant Microtechnique**. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- Johansson, M. and B. Walles. 1994. Function Anatomy of the Ovule in Broad Bean (*Vicia faba* L.): Ultrastructure Seed Development and Nutrient Pathways. **Ann. Bot.** (74): 233-244.
- Julakasewee, A., R. Suwanketnikom and S. Chantakul. 1999. Development, germination and dormancy of small-white flower morningglory [*Ipomoea obscura* (L.) Ker-Gawl] seed, pp. 583-587. *In* **Proceedings I (B) the 17th Asian-Pacific Weed Science Society Conference: Weed and Environmental impact. November 22 – 27, 1999, Bangkok, Thailand.**
- Juntakool, S. 1983. **A Study of the Effect of Plant Spacing and Irrigation on Seed Production and Seed Development in Siratro (*Macroptilium atropurpureum*)**. Ph.D. thesis thesis, Massey Univ. New Zealand.
- Koornneef, M., L. Bentsink and H. Hilhorst. 2002. Seed dormancy and germination. **Current Opinion Plant Biol.** (5): 33-36.

- Kowithayakorn, L. and M.J. Hill. 1982. A study of Lucerne seed development and some aspects of hard seed content. **Seed Sci. & Technol.** (10): 179-186.
- Lyshede, O.B. 1992. Studies on Mature Seeds of *Cuscuta pedicellata* and *C. campestris* by Electron Microscopy. **Ann. Bot.** (69): 365-371.
- Ma, F., E. Cholewa, T. Mohamed, C.A. Peterson and M. Gijzen. 2004. Cracks in the Palisade Cuticle of Soybean Seed Coats Correlate with their Permeability to Water. **Ann. Bot.** (94): 213-228.
- McDonald, M.B. 1998. Seed quality assessment. **Seed Sci. Res.** (8): 265-275.
- Miller, S.S., L.A. Bowman, M. Gijzen and B.L.A. Miki. 1999. Early Development of the Seed Coat of Soybean (*Glycine max*). **Ann. Bot.** (84): 297-304.
- Moise, J.A., S. Han, L. Gudynaite-Savitch, D.A. Johnson and B.L.A. Miki. 2005. Seed Coats: Structure, Development, Composition and Biotechnology. **In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant** (41): 620-644.
- Quinlivan, B.J. 1961. The effect of constant and fluctuating temperatures on the permeability of hard seed of some legume species. **Aust. J. Agr. Res.** (12): 1009-1022.
- _____. 1964. The influence of the growing season and following dry season on the hardseededness of subterranean clover in different environments. **Aust. J. Agr. Res.** (16): 277-291.
- _____. 1971. Seed coat impermeability in legumes. **J. Aust. Inst. Agri. Sci.** (37): 283-295.
- Rolston, W.P. 1978. Water impermeable seed dormancy. **Bot. Rev.** 44 (3): 365-396.

- Samarah, N.H., N. Allataifeh, M.A. Turk and A.M. Tawaha. 2004. Seed germination and dormancy of fresh and air-dried seeds of common vetch (*Vicia sativa* L.) harvest at different stage of maturity. **Seed Sci. & Technol.** (32): 11-19.
- Serrato-Valenti, G., L. Cornara, M. Ferrando and P. Modenesi. 1993. Structural and histochemical features of *Stylosanthes scabra* (Leguminosae; Papilionoideae) seed coat as related to water entry. **Can. J. Bot.** (71): 834-840.
- Serrato-Valenti, G., L. Cornara, S. Lotito and L. Quagliotti. 1992. Seed Coat Structure and Histochemistry of *Abelmoschus esculentus* Chalazal Region and Water Entry. **Ann. Bot.** (69): 313-321.
- Serrato-Valenti, G., M. Ferro and P. Modenesi. 1990. Structure and Histochemical Changes in Palisade Cells of *Prosopis juliflora* Seed Coat in Relation to its Water Permeability. **Ann. Bot.** (65): 529-532.
- Serrato-Valenti, G., L. Melone, M. Ferro and A. Bozzini. 1989. Comparative studies on testa structure of “hard-seeded” and “soft-seeded” varieties of *lupinus angustifolius* L. (Leguminosae) and on mechanisms of water entry. **Seed Sci. & Technol.** (17): 563-581.
- Smith, G.R. 1988. Screening subterranean clover for persistent hard seed. **Crop Sci.** (28): 998-1000.
- Sripleng, A. and F.H. Smith. 1960. Anatomy of The Seed of *Convolvulus arvensis*. **Amer. J. Bot.** (47): 386-392.
- Taylor, G.B. and M.A. Ewing. 1992. Long term patterns of seed softening in some annual pasture legumes in low rainfall environment. **Aust. J. Expt. Agric.** (32): 331-337.
- Thomson, J.R. 1979. **An Introduction to Seed Technology.** Leonard Hill, Glasgow.

- Tinius, C. 1991. Valiable expression of seedcoat permeability. **Soybean genet. Newsletter** (18): 256-259.
- Van Dongen, J.T., A.M.H. Ammerlaan, M. Wouterlood, A.C. Van Aelst and A.C. Borstlap. 2003. Structure of the Developing Pea Seed Coat and the Post-phloem Transport Pathway of Nutrients. **Ann. Bot.** (91): 729-737.
- Van Ooststroom, S.J. 1953. Convolvulaceae. **Flora Malesiana** vol. 4 (1953): 388-512.
- Wang, H.L. and M.A. Grusak. 2005. Structure and Development of *Medicago truncatula* Pod Wall and Seed Coat. **Ann. Bot.** (95): 737-747.
- Werker, E., I. Marbach and A.M. Mayer. 1979. Relation Between the Anatomy of the Testa, Water Permeability and the Presence of Phenolics in the Genus *Pisum*. **Ann. Bot.** (43): 765-771.
- Westphal, E. 1994. *Ipomoea aquatica* Farsskal, pp. 181-184. *In* J.S. Siemonsma, K. Piluek, comp. **Prosea: Plant Resources of South-East Asia. No.8.** Prosea Founation. Bogor., Indonesia.

ภาคผนวก

การศึกษาโครงสร้างของเยื่อหุ้มเมล็ด

การทำสไลด์ถาวรเพื่อศึกษาโครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดผักบุ้งไทย ด้วยวิธี paraffin technique ของ Johansen (1940) โดย แช่เมล็ดในสารละลาย FAA 70% ซึ่งประกอบด้วย ethyl alcohol 70% จำนวน 90 มิลลิลิตร, glacial acetic acid 5 มิลลิลิตร และ formalin 40% 5 มิลลิลิตร เพื่อทำการฆ่าและคงสภาพเซลล์ (fixation) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนเมล็ดที่เปลือกหุ้มเมล็ดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแล้วนั้น ผ่าครึ่งเมล็ดตามขวาง นำส่วนของ คั่นอ่อนและอาหารสะสมทิ้งไป เพื่อให้สารละลายสามารถเข้าไปแทรกซึมได้ทั่วชิ้นส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ด จากนั้นแช่เปลือกหุ้มเมล็ดในสารละลาย glycerine ผสมน้ำร้อนอัตราส่วน 1:1 เปลี่ยนสารละลายทุก ๆ 5 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 - 5 วัน จนกระทั่งเปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนนุ่มก่อนแช่ในสารละลายฆ่าและคงสภาพเซลล์ ค่อย ๆ เทสารละลาย FAA ออกจากขวด

ดึงน้ำออกจากเซลล์ (dehydration) โดยใช้สารละลาย tertiary butyl alcohol (TBA) ในน้ำ ความเข้มข้น 70, 85, 95 และ 100% ตามลำดับ ความเข้มข้นละไม่ต่ำกว่า 12 ชั่วโมง จากนั้นแช่ชิ้นส่วนใน pure TBA 3 ครั้ง ครั้งละ 24 ชั่วโมง เทสารละลาย pure TBA ออกจากขวด เติม paraffin oil และ TBA อัตราส่วน 1:1 ลงในหลอดทิ้งไว้นานกว่า 1 ชั่วโมง จนกระทั่งชิ้นส่วนของเมล็ดค่อย ๆ จมลงสู่ก้นหลอดแก้ว แสดงว่า paraffin oil ได้แทรกซึมเข้าสู่ชิ้นส่วนพืชแล้ว เป็นการทำ infiltration แล้วเทชิ้นส่วนของเมล็ดและสารละลายลงในขวดที่บรรจุ paraffin แข็ง นำขวดเข้าตู้อบ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เทส่วนผสมในขวดทิ้งเหลือแต่เมล็ดอยู่ในขวด เติม pure Parawax อย่างน้อย 2 ครั้ง ในระหว่างนี้ จนกระทั่งในขวดไม่มีกลิ่นของ TBA ระเหยออกมา ใส่ paraffin wax ที่มีจุดหลอมเหลว 58 องศาเซลเซียสลงไปแทนที่ นำเข้าตู้อบเป็นเวลา 30 นาที แล้วฝังชิ้นส่วน (embedded) โดยเทส่วนผสมของเมล็ดและ paraffin ลงในแบบพิมพ์เดิม paraffin เหลวลงไปในเต็มแบบพิมพ์ จัดเรียงชิ้นส่วนของเมล็ดให้เป็นระเบียบ ทิ้งให้ paraffin แข็งตัวอย่างน้อย 24 ชั่วโมง

นำแท่ง paraffin ที่มีเมล็ดฝังอยู่ภายในออกจากแบบพิมพ์ แล้วตัดเป็นชิ้น ๆ ติดบนแท่งไม้ ตัดแต่งให้แท่ง paraffin เรียบเสมอกัน ตัดด้วย rotary microtome ให้ชิ้นส่วนมีความหนาประมาณ 15 ไมโครเมตร ติดชิ้นส่วนที่ตัดได้บนแผ่นกระจกสไลด์ โดยใช้สารละลาย Haupt's solution ทาบนแผ่นกระจกแล้วหยดสารละลาย formalin 3% ก่อนนำชิ้นส่วนวางบนสารละลาย เพื่อให้ paraffin ยึดตัวออก วางแผ่นกระจกบน hot plate หรือ slide warmer ที่อุณหภูมิ 46 - 48 องศา

เซลเซียส จนกระทั่งชิ้นส่วนของเมล็ดและ paraffin ติดแน่นบนกระจกสไลด์ เก็บไว้ในที่แห้งอย่างน้อย 24 ชั่วโมง นำกระจกสไลด์ที่มีชิ้นส่วนของเมล็ด ไปแช่ในสารละลาย pure xylol และ pure xylol: absolute alcohol อัตราส่วน 1:1 อย่างละ 10 นาที แช่ใน absolute alcohol อัตราส่วน 1:1 นาน 3 นาที และแช่ใน 95% และ 75% ethyl alcohol อย่างละ 5 นาที ทำการย้อมสี (staining) โดยใช้ safranin และ fast green ซึ่งจะให้สีแดงและสีเขียวชัดเจนบนเนื้อเยื่อต่างชนิดกัน โดยแช่กระจกสไลด์ที่มีชิ้นส่วนติดเรียบร้อยแล้วในสารละลาย 1% safranin ใน methyl cellosolve ผสม ethyl alcohol ในอัตราส่วน 1:1 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำ 2-3 ครั้ง ดึงน้ำออกจากเซลล์โดยใช้ 30, 50, 70 และ 95% ethyl alcohol ความเข้มข้นละ 5 นาที แช่ใน absolute alcohol 10 นาที จากนั้นแช่ในสารละลาย fast green (ใส่สี fast green ลงในส่วนที่เท่า ๆ กันของ methyl cellosolve และ absolute alcohol จนเกือบอิ่มตัว เติมน้ำลงในสารละลายผสมของ absolute alcohol 25 ส่วนกับ clove oil 75 ส่วนโดยประมาณ) ไม่เกิน 15 วินาที ล้างสีส่วนเกินด้วยสารผสมของ clove oil : absolute alcohol : xylol อัตราส่วน 2 : 1 : 1 เป็นเวลา 2 - 3 นาที แช่ใน xylol 2 - 3 วินาที และใน pure xylol 2 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที เช็ดกระจกบริเวณรอบ ๆ ตัวอย่างพืชให้สะอาด หยดสารละลาย permount บนชิ้นส่วนพืช 1 หยด แล้วค่อย ๆ ปิด ด้วยกระจกปิดสไลด์ (cover slip) ไม่ให้มีฟองอากาศ นำไปไว้ในที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จนกระทั่ง permount แข็งตัวดี ติดป้ายชื่อบอกชนิดและอายุของเมล็ดที่ศึกษา ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แล้วบันทึกภาพสำหรับศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเปลือกหุ้มเมล็ดที่อายุต่าง ๆ กัน

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มเมล็ด

นำเมล็ดที่อายุต่าง ๆ กันมาตัดขวางด้วยใบมีดโกน ให้ชิ้นส่วนมีความหนาไม่เกิน 50 ไมโครเมตร แช่ในน้ำกลั่น แล้วทดสอบด้วยสารละลายต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบสารประกอบทันทีตามวิธีการของ Johansen (1940)

1. cutin, suberin แช่ชิ้นส่วนเปลือกหุ้มเมล็ดในสารละลาย sudan IV ที่ละลายใน ethyl alcohol 70% ประมาณ 20 นาที ล้างด้วย 50% ethyl alcohol ย้ายชิ้นส่วนพืชไปวางบนสไลด์ที่มี glycerine 1 หยด ถ้ามีสารเหล่านี้ จะเห็นหยาดสีแดงอยู่ภายในเซลล์

2. lignin วางชิ้นส่วนสดของเปลือกหุ้มเมล็ดลงบนสไลด์ที่มีสารละลาย

phloroglucin 0.1 กรัมใน ethyl alcohol 95% 10 มิลลิลิตร 3-4 หยด ปิดด้วย cover slip ปล่อยให้บางส่วนของสารละลายระเหยออกไป หยดกรด hydrochloric 25% ในน้ำลงไปตรงขอบของ cover slip เพื่อให้หน้ายาค่อย ๆ ซึมเข้าไปด้านใน ถ้ามีสีม่วงแดงเกิดขึ้น แสดงว่าในเนื้อเยื่อพืชมี lignin อยู่

3. cellulose วางชิ้นส่วนพืชลงบนสไลด์ที่มีสารละลาย iodine 0.3 กรัมและ potassium iodide 1.5 กรัมในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ปิดด้วย cover slip สังเกตตำแหน่งของปฏิกิริยาที่มีสีน้ำเงินเกิดขึ้น หยดกรดกำมะถัน 75% ลงไปทันทีที่ขอบของ cover slip ด้านใดด้านหนึ่ง ถ้าขอบเซลล์บริเวณนั้นพองบวม แสดงว่ามี cellulose เป็นองค์ประกอบ

4. hemicellulose

- araban, xylan วางชิ้นส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดลงบนสไลด์ที่มีสารละลาย 1% phloroglucin ใน 95% ethyl alcohol 1 - 2 หยด หยดกรด hydrochloric ลงไป 1 หยด นำไปอังไฟให้ร้อนจัดประมาณ 10 นาที ถ้ามีสารเหล่านี้เห็นสีแดงหรือเกิดขึ้น

- methyl pentose วางชิ้นส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดลงบนสไลด์ที่มี acetone 1 - 2 หยด หยดกรด hydrochloric ลงไป 1 หยด นำสไลด์อังไฟพออุ่นประมาณ 15 นาที ถ้ามี methyl pentose จะเห็นสีแดงหรือสีม่วงเกิดขึ้น

ตารางผนวกที่ 1 สีของฝักและเมล็ดของฝักนึ่งไทยแดง (WC089) และฝักนึ่งไทยเขียว (WC077)

จำนวนวันหลัง ดอกบาน	ฝักนึ่งไทยแดง		ฝักนึ่งไทยเขียว	
	ฝัก	เมล็ด	ฝัก	เมล็ด
6	เขียวอ่อน	ขาว	เขียวอ่อน	ขาว
9	ขาว	ขาว	ขาว	ขาว
12	ขาว	ขาว	ขาว	ขาว
15	ขาว	ขาว	ขาว	ขาว
18	ขาว	ขาว	ขาว	ขาว
21	ขาว	ขาว	ขาว	ขาว
24	ขาว	ขาว-น้ำตาล	ขาว	ขาว-น้ำตาล
27	ขาว	ขาว-น้ำตาล	ขาว	ขาว-น้ำตาล
30	ขาว	ขาว-น้ำตาล	ขาว-น้ำตาล	น้ำตาล
33	ขาว-น้ำตาล	น้ำตาล	ขาว-น้ำตาล	น้ำตาลเข้ม
36	ขาว-น้ำตาล	น้ำตาล	ขาว-น้ำตาล	น้ำตาลเข้ม
39	น้ำตาล	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาล	น้ำตาลเข้ม
42	น้ำตาล	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาล	น้ำตาลเข้ม
45	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาล	น้ำตาลเข้ม
48	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาล	น้ำตาลเข้ม
51	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาล	น้ำตาลเข้ม
54	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้ม
57	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้ม
60	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้ม

ตารางผนวกที่ 2 ความกว้างและยาวของเมล็ดผักนึ่งไทยแดง (WC089) และผักนึ่งไทยเขียว (WC077) (เซนติเมตร)

อายุ (วันหลังดอกบาน)	ผักนึ่งไทยแดง		ผักนึ่งไทยเขียว	
	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว
6	0.29	0.49	0.34	0.54
9	0.49	0.70	0.49	0.74
12	0.48	0.69	0.55	0.77
15	0.54	0.74	0.55	0.76
18	0.55	0.73	0.57	0.78
21	0.57	0.74	0.55	0.76
24	0.55	0.74	0.55	0.73
27	0.48	0.62	0.40	0.50
30	0.43	0.52	0.40	0.50
33	0.41	0.48	0.41	0.51
36	0.42	0.48	0.42	0.51
39	0.40	0.50	0.42	0.51
42	0.41	0.50	0.45	0.54
45	0.40	0.48	0.42	0.49
48	0.41	0.48	0.43	0.50
51	0.42	0.46	0.41	0.49
54	0.43	0.48	0.42	0.50
57	0.42	0.47	0.42	0.51
60	0.39	0.48	0.44	0.52

ตารางผนวกที่ 3 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความชื้น ความมอด และเมล็ดแข็งของเมล็ดฝักบัวไทย
แดง (WC089) ที่กำลังพัฒนา

อายุ (วันหลังดอกบาน)	น้ำหนักสด (กรัม/100 เมล็ด)	น้ำหนักแห้ง (กรัม/100 เมล็ด)	ความชื้น (%)	ความมอด (%)	เมล็ดแข็ง (%)
3	0.46	0.05	88.47	0	0
6	2.50	0.28	88.76	0	0
9	6.08	0.69	88.61	0	0
12	8.51	1.12	86.80	0	0
15	9.78	1.58	83.80	0	0
18	7.58	2.03	73.24	0	0
21	9.79	2.90	70.34	6	0
24	10.04	3.77	62.40	4	0
27	9.06	3.58	60.52	28	0
30	8.53	3.35	60.71	82	0
33	8.86	4.14	53.23	98	0
36	6.85	3.66	46.67	88	8
39	5.88	3.52	40.15	84	8
42	4.27	3.49	18.19	46	20
45	3.77	3.10	17.89	40	28
48	4.76	4.09	13.99	42	32
51	4.91	4.23	13.97	30	38
54	4.73	4.07	13.92	32	42
57	4.87	4.27	12.14	16	48
60	4.83	4.40	8.85	18	52

ตารางผนวกที่ 4 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความชื้น ความมอด และเมล็ดแข็งของเมล็ดฝักบัวไทย
เขียว (WC077) ที่กำลังพัฒนา

อายุ (วันหลังดอกบาน)	น้ำหนักสด (กรัม/100 เมล็ด)	น้ำหนักแห้ง (กรัม/100 เมล็ด)	ความชื้น (%)	ความมอด (%)	เมล็ดแข็ง (%)
3	0.21	0.02	89.97	0	0
6	0.92	0.10	88.89	0	0
9	4.53	0.81	82.09	0	0
12	8.43	1.12	86.70	0	0
15	9.80	2.09	78.69	0	0
18	10.08	3.09	69.29	0	0
21	9.80	2.97	69.65	6	0
24	9.20	2.85	69.04	12	0
27	8.22	2.68	67.37	30	0
30	8.00	2.73	65.87	88	0
33	8.54	3.76	55.97	100	0
36	8.07	3.58	55.61	98	0
39	6.29	3.69	41.37	84	6
42	3.98	3.32	16.61	92	4
45	3.93	3.32	15.50	62	22
48	3.79	3.09	18.52	38	54
51	3.65	3.15	13.70	36	54
54	3.59	3.12	13.10	30	62
57	3.89	3.41	12.21	16	84
60	3.79	3.40	10.34	14	84

ตารางผนวกที่ 5 ต้นกล้าปกติ ต้นกล้าผิดปกติ เมล็ดแข็ง เมล็ดตาย และเมล็ดสดไม่งอกจากการ
ทดสอบความงอกมาตรฐานของเมล็ดผักบุ้งไทยแดง (WC089) (เปอร์เซ็นต์)

อายุ (วันหลังดอกบาน)	ต้นกล้าปกติ	ต้นกล้าผิดปกติ	เมล็ดแข็ง	เมล็ดตาย	เมล็ดสดไม่งอก
3	0	0	0	100	0
6	0	0	0	100	0
9	0	0	0	100	0
12	0	0	0	100	0
15	0	0	0	100	0
18	0	0	0	100	0
21	6	6	0	72	16
24	4	20	0	58	18
27	28	18	0	2	52
30	82	4	0	2	12
33	98	0	0	0	2
36	88	0	8	2	2
39	84	4	8	4	0
42	46	2	20	28	4
45	40	2	28	30	0
48	42	6	32	16	4
51	30	0	38	32	0
54	32	0	42	26	0
57	16	6	48	8	22
60	18	6	52	4	20

ตารางผนวกที่ 6 ต้นกล้าปกติ ต้นกล้าผิดปกติ เมล็ดแข็ง เมล็ดตาย และเมล็ดสดไม่งอกจากการ
ทดสอบความงอกมาตรฐานของเมล็ดผักบุ้งไทยเขียว (WC077) (เปอร์เซ็นต์)

อายุ (วันหลังดอกบาน)	ต้นกล้าปกติ	ต้นกล้าผิดปกติ	เมล็ดแข็ง	เมล็ดตาย	เมล็ดสดไม่งอก
3	0	0	0	100	0
6	0	0	0	100	0
9	0	0	0	100	0
12	0	0	0	100	0
15	0	0	0	100	0
18	0	0	0	100	0
21	6	14	0	66	14
24	12	18	0	42	28
27	30	1	0	0	69
30	88	4	0	0	8
33	100	0	0	0	0
36	98	0	0	2	0
39	84	4	6	4	2
42	92	1	4	1	2
45	62	7	22	5	4
48	38	0	54	8	0
51	36	0	54	7	3
54	30	0	62	8	0
57	16	0	84	0	0
60	14	0	84	0	2

ตารางผนวกที่ 7 ข้อมูลภูมิอากาศบริเวณแปลงทดลอง ระหว่างเดือนมิถุนายน 2547 - มิถุนายน 2548

ปี/เดือน	อุณหภูมิ (°C)		ความชื้น (%)		ปริมาณน้ำฝน (mm.)	ปริมาณเมฆ (%)
	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด		
2547 มิ.ย.	34.11	24.49	94.77	56.77	1.10	75.53
ก.ค.	34.68	24.82	93.32	52.94	2.70	84.42
ส.ค.	33.67	24.56	94.13	57.45	2.50	82.74
ก.ย.	32.68	24.20	95.03	60.70	6.30	82.43
ต.ค.	32.43	23.14	95.19	54.74	2.90	31.06
พ.ย.	32.36	22.42	95.10	50.10	0.10	22.67
ธ.ค.	30.61	17.01	96.84	43.48	0.00	11.26
2548 ม.ค.	31.55	19.26	96.71	48.10	0.24	26.10
ก.พ.	34.83	23.16	95.57	45.25	0.44	9.25
มี.ค.	34.43	23.34	94.61	49.00	3.48	27.32
เม.ย.	36.14	25.54	94.47	49.87	0.10	38.07
พ.ค.	36.11	25.72	95.06	50.52	2.60	70.39
มิ.ย.	34.74	25.36	94.57	55.57	2.20	82.47

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวนิอร งามสุข
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2524
สถานที่เกิด	หนองคาย
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-