

รายงานการวิจัย

อิทธิพลของการพรางแสง และการใช้พืชร่มเงา ต่อการสะสมแคลเซียมและโบรอน การ
สร้างผนังเซลล์ และอาการเกิดเนื้อแก้ว/ยางไหลในผลมังคุด

Effects of artificial shading and natural plant shading on calcium and boron
accumulation, cell wall development and incidence of translucent/gamboge

disorders in mangosteen fruits

ชื่อ ผู้วิจัย

1. รศ.ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม

2. น.ส.นุจรี บุญเปล่ง

ได้รับทุนสนับสนุนวิจัยจากเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2554

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานการวิจัย

อิทธิพลของการพร่างแสง และการใช้พืชร่มเงา ต่อการสะสมแคลเซียมและโบรอน การ
สร้างผนังเซลล์ และอาการเกิดเนื้อแก้ว/ยางไหลในผลมังคุด

**Effects of artificial shading and natural plant shading on calcium and boron
accumulation, cell wall development and incidence of translucent/gamboge
disorders in mangosteen fruits**

ชื่อ ผู้วิจัย

1. รศ.ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม
2. น.ส.นุจรี บุญแปรง

ได้รับทุนสนับสนุนวิจัยจากเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2554
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH ๘๘๔๒ 2554

- 12๗๐๗38๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ อิทธิพลของการพร่างแสง และการใช้พืชร่มเงา ต่อการสะสมแคลเซียมและโบรอน
การสร้างผนังเซลล์ และอาการเกิดเนื้อแก้ว/ยางไหลในผลมังคุด

**Effects of artificial shading and natural plant shading on calcium and boron
accumulation, cell wall development and incidence of translucent/gamboge
disorders in mangosteen fruits**

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก เงินรายได้คณะเทคโนโลยีการเกษตร
ประจำปี 2554 จำนวนเงิน 399,000 บาท
ระยะเวลาทำวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2553 ถึง 30 กันยายน 2554

คณะผู้วิจัย

รศ.ดร.สุมิตรา ภู่วโรตม

น.ส.นุจรี บุญแปง

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โทรศัพท์ 02-3298510

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

อาการเนื้อแก้วและยางไหลเป็นปัญหาสำคัญในการผลิตมังคุด เนื่องจากเป็นอาการที่เกิดขึ้นภายในผล และไม่สามารถสังเกตได้จากภายนอก จากการทดลองที่ผ่านมามีพบว่า การใส่แคลเซียมทางดินในรูปของปูนและยิปซัม สามารถลดปัญหาการเกิดเนื้อแก้ว และยางไหลได้ ปัญหาสำคัญของ Ca ในพืชคือการที่ Ca เป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ในท่อน้ำโดยไปกับน้ำที่พืชใช้ในการคายน้ำเท่านั้น Ca จึงเคลื่อนที่ไปที่ใบมากกว่าที่ผล ผลจึงมีอาการขาด Ca ได้มาก สภาพแวดล้อมที่ส่งเสริมให้เกิดการคายน้ำจึงทำให้มี Ca สะสมได้มากกว่า การคายน้ำของพืชสัมพันธ์กับความเข้มแสงและอุณหภูมิของสภาพอากาศ ถ้าอากาศร้อนมาก ปากใบจะปิด พืชจึงไม่คายน้ำ การลดอุณหภูมิโดยการพรางแสงอาจทำให้การคายน้ำของพืชเกิดได้มากขึ้น การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการพรางแสงต่อ 1) อัตราการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของผลมังคุด 2) การสร้างผนังเซลล์ของผลมังคุดในระยะเวลาเจริญเติบโตต่าง ๆ และ 3) การเกิดเนื้อแก้วและยางไหลในมังคุด โดยทำการศึกษาในสวนมังคุด 2 แห่ง สวนที่ 1 มังคุดอายุ 23 ปีของเกษตรกร ที่อำเภอชะอำ จังหวัดจันทบุรี ดำรับการทดลองประกอบด้วย 1) สภาพทั่วไปที่ปลูกมังคุด (กลางแจ้ง) และ 2) ชิงตาข่ายซาเลนส์ดำบังแสงเหนือทรงพุ่มเมื่อมังคุดเริ่มติดผล สวนที่ 2 เป็นสวนมังคุดที่มีอายุมากกว่า 30 ปี อยู่ที่ตำบลพลับพลา อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี ดำรับการทดลองประกอบด้วย 1) สภาพทั่วไปที่ปลูกมังคุด (กลางแจ้ง) และ 2) ต้นมังคุดที่มีพืชอื่นเป็นไม้ร่มเงา (พรางแสง) เมื่อดอกเปลี่ยนเป็นผลได้ 2 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างผลนำมาศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหาร การสร้างผนังเซลล์ หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างผลทุกสัปดาห์ จนกระทั่งเก็บเกี่ยว ซึ่งใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 12-13 สัปดาห์

ผลการทดลองพบว่า การพรางแสงไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผลมังคุดทั้ง 2 สวน และผลมังคุดมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นในลักษณะเป็นเส้นตรงเมื่ออายุผลมากขึ้น ความเข้มข้นของธาตุ K, Ca, Mg, และ B ในผลมังคุดลดลงเมื่อผลมีอายุเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักผล ทำให้เกิด dilution effect แต่ความเข้มข้นของ Ca ของเนื้อมังคุดสวนที่ 2 (เฉลี่ย 0.19%) มีค่าสูงกว่าสวนที่ 1 (เฉลี่ย 0.14%) ค่อนข้างมาก ในทางกลับกัน ความเข้มข้นของ Mg ในเนื้อมังคุดสวนที่ 1 กลับสูงกว่าสวนที่ 2 เนื่องจากการเป็นปฏิปักษ์กันระหว่าง Ca กับ Mg

การพรางแสงทำให้ผลมังคุดมีอาการผิดปกติเพิ่มขึ้นในทั้ง 2 สวน โดยสวนที่ 1 จำนวนผลปกติลดลงจาก 49 เหลือ 44.3% เมื่อมีการพรางแสง ส่วนสวนที่ 2 ลดลงจาก 59.1 เป็น 58.1% ส่วนคุณภาพอื่นไม่แตกต่างกันยกเว้นความหนาของเปลือก

ในกรณีของผนังเซลล์ (cell wall material, CWM) พบว่าปริมาณ CWM ของเปลือกและผิวเปลือกมีมากขึ้นเมื่อผลอายุมากขึ้น ส่วนประมาณ CWM ของเนื้อลดลงเมื่ออายุผลเพิ่มขึ้น โดยในเปลือกพบว่าดำรับการทดลองที่อยู่กลางแจ้งมีค่า CMW สูงกว่าดำรับที่มีการพรางแสงเล็กน้อยในทั้ง 2 สวน โดยสวนที่ 1 มีความแตกต่างมากกว่าสวนที่ 2 ในขณะที่ CWM ของผิวเปลือกไม่แตกต่างกัน

เมื่อวิเคราะห์เพกตินทั้งหมดซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของผนังเซลล์พบว่า เปลือกมังคุดมีปริมาณเพกตินใกล้เคียงกันทั้ง 2 ดำรับการทดลองและพบในทั้ง 2 สวน ส่วนเนื้อมังคุดพบว่า ผลที่มาจากต้นที่อยู่

กลางแจ้งมีเพกตินสูงกว่าผลที่มาจากต้นที่มีการพรางแสงทั้ง 2 ส่วน แต่ส่วนที่ 2 มีปริมาณเพกตินทั้งหมด (216.1-220.3 mg/gCw) ในเนื้อสูงกว่าส่วนที่ 1 (156.8-164.5 mg/gCw) ค่อนข้างมาก สำหรับปริมาณ Ca ใน CWM ของเนื้อมังคุดมีค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 ดำรับการทดลองไม่แตกต่างกัน เมื่อวิเคราะห์สัดส่วนของเพกตินต่อ Ca พบว่าดำรับการทดลองที่อยู่กลางแจ้งมีสัดส่วนของเพกตินต่อ Ca พบว่าค่าสูงกว่าดำรับที่พรางแสงทั้ง 2 ส่วน แต่ สัดส่วนของส่วนที่ 2 (43.2-46.7) ต่ำกว่าส่วนที่ 1 (55.7-60.7) ค่อนข้างมาก การที่มีเพกตินและ Ca ใน CWM ต่ำ น่าจะเป็นสาเหตุให้ผนังเซลล์ไม่มีความยืดหยุ่น จึงเกิดการเสียหายเมื่อน้ำเข้าไปในผลมากในช่วงฝนตกก่อน หรือระหว่างการเก็บเกี่ยว นอกจากนี้ การที่มี K และ Mg สูงในส่วนที่ 1 อาจเป็นสาเหตุอีกประการหนึ่งที่ทำให้ผนังเซลล์ไม่แข็งแรง เนื่องจาก K และ Mg อาจไปแย่งจับกับประจุลบที่ผนังเซลล์ของพืช

ผลการทดลองนี้สรุปได้ว่า การพรางแสงไม่ว่าจะเป็นการบังตาข่ายบังแสง หรือการใช้ร่มเงาพืชก็ตาม ไม่สามารถลดอาการผิดปกติของเนื้อแก้วและยางไหลในมังคุด และอาจเกิดผลเสียมากกว่าการปล่อยให้พืชอยู่ กลางแจ้งด้วย



Abstract

The physiological disorders of translucent flesh and gamboge in mangosteen were reported to be caused by calcium (Ca). Calcium is phloem immobile which implies that the delivery of Ca to the fruit (or leaf) is almost entirely dependent on the transpiration stream through the xylem. The rate of transpiration related to radiation and temperature. Reduction of temperature by shading may enhance transpiration and nutrient uptake. The objectives of this study were to compare the effect of artificial shading and natural plant shading on 1) mangosteen fruit growth 2) synthesis of cell wall material (CWM) at various stages of fruit development and 3) incidence of translucent and gamboges disorders in mangosteen fruits. The experiments were carried out at 2 mangosteen orchards in Chanthaburi province, Eastern Thailand. The first orchard located at Makham district. In this orchard, the trees are 23 years old and were shaded by black artificial net after fruit set. The second orchard located at Muang district and the trees were shaded by plants grown above them.

Fruit growth in both orchards was not affected by shading and fruit weight increased linearly during the 12-13 weeks of fruit development. In contrast, concentration of K, Ca, Mg and B in mangosteen fruit declined sharply during the first few weeks after fruit set to reach values which remained relatively constant or decreased only gradually until harvest. This occurred because the rate of nutrient accumulation was less than that of dry and fresh weight accumulation during early fruit development. Shading had no effect on fruit growth and nutrient concentrations in both orchards but Ca concentration in orchard 1 (0.14%) was lower than orchard 2 (0.19%). In contrast, Mg in orchard 1 was higher than orchard 2 due to antagonistic effect between Ca and Mg.

Shading enhanced disorders fruits in both orchards. The percentage of normal fruit reduced from 49 to 44.3% in orchard 1 but only slight decrease was found in orchard 2. Other quality attributes were not difference except rind thickness in orchard 2.

Cell wall material of rind and outer rind surface increased with fruit age whereas CWM of flesh decreased with fruit age. CWM of unshaded rind was higher than shaded rind especially in orchard 1 but no difference was observed in flesh and outer rind.

Total pectin contents in CWM in rind of shaded and unshaded fruits were not significantly different in both orchards. Shading in contrast reduced flesh pectin content. Pectin content of orchard 1 (156.8-164.5 mg/gCw) was lowered than orchard 2 (216.1-220.3 mg/gCw). Calcium concentration in shaded and unshaded fruits was similar but was much higher in orchard 2 (0.19%) compared to orchard 1 (0.14%). Thus the pectin/Ca of orchard 1 was much higher than orchard 2. The lower pectin and Ca may be the cause of higher disordered fruits in this orchard. In addition, fruits from orchard 1 also have higher K and Mg content which may complete with Ca at the exchangeable sites of the cell wall. It is concluded that shading could not reduce the number of disordered fruits in mangosteen and may have negative effect than unshaded plant.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ iii

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	v
สารบัญรูป	vi
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	8
ผลการทดลองและวิจารณ์	12
เอกสารอ้างอิง	37



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1a	สมบัติของดินมั่งคุด สวนที่ 1 (คุณสงวน บุญญฤทธิ์) อ.มะขาม จ.จันทบุรี เก็บตัวอย่างวันที่ 29 กันยายน 2553 ที่ความลึก 20 ซม. (n=8)	13
1b	สมบัติของดินมั่งคุด สวนที่ 2 (คุณสมวงศ์ ปิยารมย์) อ.เมือง จ.จันทบุรี เก็บตัวอย่างวันที่ 24 กรกฎาคม 2554 ที่ความลึก 20 ซม. (n=8)	13
2a	ปริมาณธาตุอาหารในใบมั่งคุด สวนที่ 1 เก็บตัวอย่างวันที่ 22 มีนาคม 2554	14
2b	ปริมาณธาตุอาหารในใบมั่งคุด สวนที่ 2 เก็บตัวอย่างวันที่ 30 มีนาคม 2555	14
3	อิทธิพลของการพรางแสงต่อคุณภาพผลมั่งคุดสุก	26
4	คะแนนความรุนแรงของการเกิดอาการผิดปกติผลมั่งคุดในแต่ละตำรับการทดลอง (คะแนนสูงหมายถึงอาการที่เกิดรุนแรง)	27
5	ความหนาเปลือกมั่งคุด (มิลลิเมตร) แยกตามขนาดผล ในสวนมั่งคุด 2 สวน	28
6	ความหนาเปลือกมั่งคุด (มิลลิเมตร) ในตำรับการทดลองและคุณภาพผลต่างๆ	28
7	Total soluble solid (TSS) and % Titratable acidity (%TA) ในแต่ละตำรับการทดลอง	29
8	Total soluble solid (TSS) and % Titratable acidity (%TA) แยกตามชนิดของผล	29
9	ปริมาณเพกตินทั้งหมด (total pectin, mg/gCW) ในเปลือกมั่งคุดจากการทดลอง 2 สวน	33
10	ปริมาณเพกตินทั้งหมด (total pectin, mg/gCW) ในเนื้อมั่งคุดจากการทดลอง 2 สวน	34
11	ความเข้มข้นของแคลเซียม (mgCa/gCW) ในผนังเซลล์ของเนื้อมั่งคุดจากการทดลอง 2 สวน	35
12	สัดส่วนปริมาณเพกตินทั้งหมดต่อแคลเซียมในผนังเซลล์ของเนื้อมั่งคุด	36

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1a	ขนาดและน้ำหนักผลม้งคุดเฉลี่ยระหว่างการพัฒนาของผล ส่วน 1	16
1b	ขนาดและน้ำหนักผลม้งคุดเฉลี่ยระหว่างการพัฒนาของผล ส่วน 2	17
2a	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุอาหารในเปลือกม้งคุดดิบ ส่วน 1	19
2b	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุอาหารในเปลือกม้งคุดดิบ ส่วน 2	20
3a	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุอาหารในผิวเปลือกม้งคุดดิบ ส่วน 1	21
3b	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุอาหารในผิวเปลือกม้งคุดดิบ ส่วน 2	22
4a	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อม้งคุดดิบ ส่วน 1	24
4b	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อม้งคุดดิบ ส่วน 2	25
5a	ปริมาณ cell wall materials ของเนื้อเปลือกและผิวเปลือกม้งคุดในระยะพัฒนาการต่างๆ ส่วน 1	31
5b	ปริมาณ cell wall materials ของเนื้อเปลือกและผิวเปลือกม้งคุดในระยะพัฒนาการต่างๆ ส่วน 2	32

คำนำ

ปัญหาสำคัญที่เป็นข้อจำกัดในการส่งมังคุดไปจำหน่ายยังตลาดบนในต่างประเทศ เช่น ญี่ปุ่น ยุโรป ออสเตรเลีย และสหรัฐอเมริกา คือ การที่มังคุดมีอาการเนื้อแก้วและ/หรืออาการยางไหลจำนวนมากกว่า 60% และอาจสูงถึง 75% ในบางฤดูการเจริญเติบโต (Poovarodom and Boonplang, 2008) อาการเนื้อแก้วและยางไหลเกิดภายในผลและไม่สามารถคัดแยกด้วยสายตาจากภายนอกได้ ทั้ง ๆ เกษตรกรได้ใช้ความพยายามอย่างมากที่จะคัดแยกให้ได้คุณภาพตามความต้องการของผู้ส่งออก แต่ไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร ปัญหาเนื้อแก้ว/ยางไหลในมังคุดเกิดมานานแล้ว แต่ที่ไม่ได้รับความสนใจอย่างจริงจังเนื่องจากเดิมตลาดต่างประเทศ เช่น ตลาดญี่ปุ่น และสหรัฐอเมริกา ไม่อนุญาตให้ไทยส่งมังคุดสดไปจำหน่าย การส่งออกส่วนใหญ่อยู่ในรูปมังคุดแช่แข็ง ซึ่งต้องผ่าผลมังคุดก่อน จึงสามารถคัดแยกผลที่ไม่มีคุณภาพออกได้ง่าย แต่เมื่อส่งออกในรูปผลมังคุดสด ปัญหาเนื้อแก้ว/ยางไหลจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง และมีผลให้ปริมาณการส่งออกมังคุดของไทยลดลง เช่น เมื่อประเทศญี่ปุ่นเปิดให้นำเข้ามังคุดสดในปี 2546 มีการนำเข้ามังคุดสด จำนวน 395 ตัน แต่ต่อมาในปี 2550 จำนวนนำเข้ามังคุดลดลงเหลือเพียง 117 ตันเท่านั้น (อิโนอุเอะ 2551) สาเหตุหลักของการลดปริมาณนำเข้าเกิดจากปัญหาเนื้อแก้วและยางไหลในผล ผู้นำเข้าจากญี่ปุ่นรายงานว่า ตลาดญี่ปุ่นยอมรับในรสชาติของมังคุด แต่ปัญหาเนื้อแก้วและยางไหลทำให้การบริโภคมังคุดลดลง ดังนั้น หากไทยต้องการส่งออกมังคุดไปยังตลาดญี่ปุ่นต้องปรับปรุงคุณภาพของมังคุดให้ดีขึ้น (อิโนอุเอะ 2551)

อาการเนื้อแก้ว และยางไหลในมังคุดจะเกิดมากในช่วงที่มีฝนตกชุกก่อนเก็บเกี่ยว ทำให้เชื่อกันว่าฝนหรือปริมาณน้ำเป็นสาเหตุสำคัญในการเกิดอาการเนื้อแก้ว และ/หรือยางไหลในมังคุด อย่างไรก็ตาม การเกิดเนื้อแก้วและ/หรือยางไหล ไม่ได้เกิดกับผลมังคุดทั้งหมด และมีจำนวนแตกต่างกันมากระหว่างต้นมังคุดที่อยู่ภายในสวนเดียวกัน ถึงแม้ว่าต้นมังคุดเหล่านี้จะอยู่ภายในสวนที่ได้รับฝนในปริมาณเท่ากันก็ตาม จากการศึกษาอาการเนื้อแก้ว ศิริวรรณ (2543) พบว่าอาการเนื้อแก้วเกิดจากการที่ผลสุกได้รับน้ำมาก เซลล์เกิดความเสียหาย สารละลายต่าง ๆ ไหลออกมาแทนที่อากาศบริเวณผนังเซลล์ทำให้เห็นเป็นเนื้อใส สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่พบว่า เนื้อเยื่อของมังคุดที่เป็นผลเนื้อแก้วมีขนาดของเซลล์ที่ขยายใหญ่และเรียงตัวกันแน่นกว่าผลปกติ (สุมิตรา กูว์โรคมข้อมูลยังไม่ได้ตีพิมพ์) ส่วนอาการยางไหลเกิดจากการที่ท่อน้ำยางแตกเมื่อได้รับน้ำมากแต่ระเหยออกไปไม่ทัน การศึกษาอาการเนื้อแก้วและยางไหลที่กล่าวมาเป็น การอธิบายลักษณะการเกิดเนื้อแก้วและยางไหล แต่ไม่ได้อธิบายถึงสาเหตุของการเกิดความผิดปกติทั้งสองประการ เมื่อพิจารณาอาการเนื้อแก้วและยางไหลจะพบว่า ทั้ง 2 อาการเกิดจากการที่ผนังเซลล์แตก โดยในส่วนของเนื้อแก้วเกิดจากผนังเซลล์ที่เนื้อมังคุดแตก จึงทำให้สารละลายไหลออกมาแทนที่อากาศ ส่วนอาการยางไหลเกิดจากการที่ท่อน้ำยางแตก อาการในลักษณะนี้ ไม่ใช่เกิดจากการที่มีฝนมากเพียงอย่างเดียว แต่มีปัจจัยภายในพืช (internal factor) เกี่ยวข้องด้วย ในบรรดาปัจจัยภายในทั้งหลาย ธาตุอาหารพืชน่าจะมีความสำคัญมากที่สุด (Huang et al., 2005) และในธาตุอาหารทั้ง 16 ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แคลเซียม (Ca) และโบรอน (B) น่าจะเกี่ยวข้องกับการเกิดปัญหาเนื้อแก้ว/ยางไหลมากที่สุดด้วย เนื่องจากแคลเซียมและโบรอนมีบทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของผนังเซลล์ (cell wall) ถ้าพืชได้รับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 1

แคลเซียมและโบรอนไม่เพียงพอ ผนังเซลล์จะอ่อนแอ ขาดความยืดหยุ่นและเสียหายได้ง่าย (Matoh and Kobayashi, 1998) แคลเซียมยังเป็นธาตุอาหารที่มีรายงานว่าเกี่ยวข้องกับความผิดปกติทางด้านสรีรวิทยา (physiological disorders) ของผลไม้ต่าง ๆ มากกว่า 30 ชนิด ซึ่งอาการเหล่านั้นล้วนมีส่วนเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของผนังเซลล์ทั้งสิ้น เช่น อาการ bitter pit, cork spot ในแอปเปิล อาการก้นเนาในมะเขือเทศ น้อยหน่า และแตงโม อาการ water soaking ซึ่งเป็นอาการที่เนื้อแคนตาลูปมีลักษณะใส ๆ รวมทั้งอาการแตกของผลที่เปลือกบาง เช่น เชอร์รี่ และลิ้นจี่ (Shear, 1975; Sharples, 1980; Madrid et al., 2004; Huang et al., 2005) เป็นต้น

ในระยะต่อมา ทีมงานวิจัยที่มี รศ.ดร.สุมิตรา กุ้วโรดม เป็นหัวหน้าโครงการ ได้มีความพยายามหาสาเหตุการเกิดเนื้อแก้วและยางไหล และลดการปัญหาอาการผิดปกติเหล่านี้โดยการจัดการธาตุอาหาร และได้มีงานวิจัยอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2548 โดยมีความก้าวหน้าต่อเนื่องมาตามลำดับดังนี้ Pludbuntong et al. (2007) ได้ศึกษาปริมาณธาตุอาหารในผลมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้ว และยางไหลเปรียบเทียบกับผลปกติพบว่า เนื้อมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วมีปริมาณธาตุ K และสัดส่วนของ K/Ca สูงกว่าผลปกติและผลยางไหล สอดคล้องกับผลการทดลองของ Poovarodom and Boonplang (2008) ซึ่งพบว่า การให้แคลเซียมทางดินอย่างเดียว หรือร่วมกับการฉีดพ่นทางใบและผลทำให้อาการ เนื้อแก้วลดลง ส่วนอาการยางไหลยังไม่สามารถขจัดลงไปได้แน่ชัดว่ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับธาตุอาหารชนิดใด แต่มีแนวโน้มว่าจะเกิดจากการขาดแคลเซียมและโบรอน เนื่องจากผลมังคุดจากการทดลองที่มีการให้แคลเซียมทางดินร่วมกับการฉีดพ่น Ca+B ทางใบและผล จะทำให้อาการยางไหลลดลงและผลผลิตมีคุณภาพดีขึ้น (Poovarodom and Boonplang, 2008; สุมิตรา กุ้วโรดม และคณะ 2552.) แต่มีแนวโน้มว่าธาตุ แคลเซียมและโบรอนในขั้วผลมังคุด ซึ่งเชื่อมต่อกับกลุ่มของท่อลำเลียงอาหารและท่อน้ำยังมีสัดส่วนของแคลเซียมและโบรอนไม่เหมาะสม สาเหตุอาจเกิดจากการที่ความเข้มข้นของโบรอนที่วิเคราะห์ในเนื้อเยื่อ (tissue) ส่วนต่างๆ ของผลที่วิเคราะห์โดยวิธี dry ashing เป็นการวิเคราะห์ปริมาณ total Ca และ total B ซึ่งเป็นปริมาณธาตุอาหารรวม แต่ไม่สามารถเป็นค่าชี้บ่งปริมาณแคลเซียมและโบรอนที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์ได้โดยตรง Rosolem and Leite (2007) ทำการศึกษาแคลเซียมและโบรอนในใบกาแฟ 2 พันธุ์พบว่า ปริมาณแคลเซียมในผนังเซลล์ของกาแฟทั้ง 2 พันธุ์ไม่แตกต่างกันแต่ปริมาณโบรอนแตกต่างกัน จึงทำให้สัดส่วนของ Ca/B แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยใบกาแฟที่มี โบรอนต่ำมีแนวโน้มที่จะมีโบรอนที่ผนังเซลล์ต่ำกว่าด้วย ในทำนองเดียวกัน Hu and Brown (1994) พบว่าสัดส่วนของ cell wall B ต่อ total B เพิ่มขึ้นจาก 64% ไปเป็น 97% เมื่อ tobacco cells ขาดโบรอนมากขึ้น ยืนยันข้อมูลที่รายงานมาก่อนหน้านั้น โดย Matoh et al. (1992) ซึ่งพบว่า มากกว่า 98% ของ cell B อยู่ที่ผนังเซลล์ของ tobacco cell ที่เลี้ยงใน culture solution การวิเคราะห์แคลเซียมและโบรอนในเนื้อเยื่อที่ขาด จึงควรวิเคราะห์ในส่วนที่อยู่ที่ผนังเซลล์โดยตรงมากกว่าการวิเคราะห์จากเนื้อเยื่อ (tissue) ของพืช

จากการศึกษาโดยคณะวิจัยที่มี รศ.ดร.สุมิตรา กุ้วโรดม เป็นหัวหน้าโครงการ ในฤดูการเจริญเติบโต 2552/2553 ที่ผ่านมาพบว่า ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในผลตั้งแต่ผลอายุ 1 สัปดาห์จนกระทั่งเก็บเกี่ยวค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบการศึกษารสชาติของผลในผลมังคุดในฤดูการเจริญเติบโต 2551/2552 ของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 2

สุมิตรา และคณะ (2552) อาจเนื่องจากอากาศร้อน ทำให้ปากใบปิด (ศ.ดร.สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์ ติดต่อกับเป็นการส่วนตัว) การสะสมธาตุอาหารจึงน้อยลงไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสะสม Ca และ B ซึ่งเป็นการดูดใช้ธาตุอาหารโดยการเคลื่อนที่ไปกับน้ำที่ดูดเข้าไปเพื่อคายน้ำ ยังผลให้ผลผลิตในฤดูการนี้มีปัญหาการเกิดเนื้อแก้ว/ยางไหลมากกว่าปีที่พืชมีการสะสม Ca และ B ได้ดี กล่าวคือ ผลผลิตที่เป็นผลปกติปี 2552 สูงถึง 59.2% ในขณะที่ปี 2553 ผลผลิตที่เป็นผลปกติมีเพียง 39.2% เท่านั้น ในช่วงการพัฒนาผลซึ่งอยู่ระหว่างกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม 2553 อากาศค่อนข้างร้อนและมีฝนตกน้อย จากข้อมูลงานวิจัยซึ่งอยู่ระหว่างดำเนินการพบว่า ความเข้มข้นของธาตุแคลเซียมและโบรอนในผลต่ำกว่าปี 2551 และ 2552 ค่อนข้างมาก (สุมิตรา และคณะ 2552) แม้ว่าชาวสวนจะให้น้ำเป็นปกติก็ตาม สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์ (2553) รายงานว่า ในสภาพปกติที่ดินไม่ขาดน้ำ ปากใบจะปิดแคบลงเมื่อความชื้นของแสงลดต่ำลง หรือเมื่อแรงดึงระเหยของน้ำ (air vapor pressure deficit) หรือเมื่ออุณหภูมิใบ หรือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในใบเพิ่มสูงขึ้นเกินระดับวิกฤตในช่วงฤดูแล้ง สภาพอากาศที่แห้งรุนแรง จะชักนำให้ปากใบปิดเป็นเวลาหลายชั่วโมงในรอบวัน การให้อย่างเดียวไม่สามารถชักนำให้ปากใบเปิดได้ เมื่อปากใบไม่เปิดการดูดธาตุอาหารจะหยุดชะงักไปด้วย ดังนั้น หากต้องการให้พืชเปิดปากใบได้นานขึ้น จะต้องลดอุณหภูมิของอากาศที่ระดับปากใบ ซึ่งอาจทำได้โดยการฉีดพ่นน้ำเป็นละอองฝอยในอัตราต่ำแต่บ่อยครั้ง และลดความชื้นแสงลงโดยการพรางแสงด้วยตาข่าย (ซาเลน) เพื่อช่วยลดพลังงานแสงของใบ ซึ่งจะช่วยให้พืชตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในขณะที่เดียวกันก็ลดน้ำและธาตุอาหารขึ้นมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยมังคุด ซึ่งพบว่าทำให้แคลเซียมทางดินร่วมและ/หรือกับการฉีดพ่นทางใบสามารถให้ผลผลิตมังคุดที่ดีและมีคุณภาพ (สุมิตรา และคณะ 2552) แต่หากพืชไม่สามารถดูดธาตุอาหารไปใช้ได้ การพัฒนาคุณภาพมังคุดย่อมเกิดได้ยาก ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่า โลกร้อนขึ้น และนับวันจะร้อนมากขึ้น การศึกษาเกี่ยวกับการพรางแสงในมังคุดทั้งระบบที่ใช้ตาข่ายพรางแสง (ซาเลน) และระบบดั้งเดิมที่ชาวสวนเคยปฏิบัติกันมาก่อนคือการปลูกพืชเพื่อเป็นร่มเงา (ซึ่งขณะนี้มีส่วนไม้กึ่งแห้งที่มีพืชร่มเงา) จะช่วยให้เข้าใจวิธีในการจัดการสวนไม้ผลในอนาคต โดยเฉพาะสวนมังคุดเท่านั้น แต่ไม้ผลอื่น ๆ อีกด้วย เพื่อรับมือกับการแก้ปัญหาโลกร้อน ผลงานที่ได้้นอกจากจะสามารถนำไปแนะนำเกษตรกรเพื่อนำไปปฏิบัติแล้ว ยังสามารถตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสารที่มี impact factor อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของผลมังคุด ในระบบที่ปลูกพืชแบบมีไม้ร่มเงา เปรียบเทียบกับปลูกกลางแจ้ง และระบบที่ปลูกพืชแบบการพร่างแสงด้วยตาข่ายเปรียบเทียบกับปลูกกลางแจ้ง
2. ศึกษาปริมาณการสร้างผนังเซลล์ในระยะเวลาเจริญเติบโตต่าง ๆ
3. ศึกษาผลของการพร่างแสงทั้ง 2 ระบบต่ออาการเกิดเนื้อแก้วและยางไหลในมังคุด



การตรวจเอกสาร

ผลงานวิจัยเกี่ยวกับธาตุอาหารและการเกิดอาการเนื้อแก้ว และยางไหลมีน้อย ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมที่ปลูกมังคุดกับการเกิดเนื้อแก้วและ/หรือยางไหล และผลที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดอาการเนื้อแก้วและยางไหล (วรภัทร, 2539, ธนสิทธิ์, 2541, ศิริวรรณ, 2543, ชีรวุฒิ, 2544, เสาวภา, 2544) ส่วนการศึกษาในพืชอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแอปเปิลมีมากและมีมานานกว่า 30 ปี (Shear, 1975; Sharples, 1980) หลังจากนั้น ได้มีการตื่นตัวในการศึกษาเกี่ยวกับแคลเซียมในไม้ผลอื่นๆ เช่น แดงโม แคนตาลูป อโวคาโด ลิ้นจี่ เชอร์รี่ และพีชฝัก รวมทั้งไม้ดอกมากขึ้น (Madrid et al., 2004; Huang et al., 2005; Li et al., 2001; Maynard, 1979; Mortensen et al., 2001) ผลการศึกษาส่วนใหญ่รายงานตรงกันว่า พืชที่ได้รับแคลเซียมอย่างเพียงพอ จะทำให้คุณภาพผลผลิตดีขึ้น ปัญหาต่างๆ ที่พบเกี่ยวกับความผิดปกติที่ผล (physiological disorder) ลดลง ซึ่งการที่พืชจะได้รับแคลเซียมอย่างเพียงพอ อาจต้องมีการใส่เพิ่มทั้งทางดิน และทางผลโดยการฉีดพ่น การที่มีการศึกษาเกี่ยวกับแคลเซียมในไม้ผลมาก เนื่องจากแคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ในท่อน้ำเป็นหลัก ดังนั้น ส่วนของพืชที่คายน้ำได้ดีจึงมีการสะสมแคลเซียมมาก ในขณะที่ส่วนของพืชที่คายน้ำน้อยเช่นใบอ่อน หรือผล มักจะขาดแคลเซียม อาการผลแตกในพืชที่มีเปลือกบางเช่น มะเขือเทศ เชอร์รี่ และ แอปเปิล มักเกิดเมื่อความชื้นในอากาศสูงหรือภายหลังฝนตก ทำให้พืชได้รับ hypo-osmotic shock ผนังเซลล์ที่อ่อนแอจากการขาดแคลเซียมไม่สามารถทนแรงดันของน้ำจึงเกิดรอยแตกได้ง่าย (White and Broadley, 2003) อาการเนื้อแก้วและยางไหลในมังคุด ก็เกิดภายหลังฝนตกและความชื้นในอากาศสูง จึงน่าจะเกิดจากการที่ผนังเซลล์อ่อนแอเช่นกัน

แคลเซียมเป็นธาตุที่บทบาทสำคัญใน โครงสร้าง (structural role) ของผนังเซลล์ (cell wall) ซึ่งบทบาทของแคลเซียมในด้าน โครงสร้างคือต้องการปริมาณแคลเซียมค่อนข้างสูงในระดับ millimolar เพื่อใช้ในการเชื่อม pectin ที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ ทำให้เซลล์แข็งแรง (Zocchi and Mignani, 1995) บทบาทของแคลเซียมในด้าน โครงสร้างคือต้องการแคลเซียมในปริมาณที่สูงกว่าบทบาทของแคลเซียมในด้านเป็นตัวนำรหัสที่สอง (secondary messenger) หลายเท่า ดังนั้น การขาดแคลเซียมจึงมีผลหรือเกี่ยวข้องกับบทบาทในด้าน โครงสร้างของเซลล์เป็นส่วนใหญ่ ดังเช่นที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

การสะสมแคลเซียมของผลมังคุดเพิ่มขึ้นตามขนาดของผลที่เติบโตมากขึ้น และเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของผลมังคุด แต่ภายหลังจากสัปดาห์ที่ 7 ไปแล้ว อัตราการสะสมแคลเซียมในผลจะลดลง (สุมิตรา และคณะ 2552, Poovarodom, 2009) การเพิ่มขึ้นของ Ca ในผลตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตที่พบในการศึกษารุ่นนี้แตกต่างจากที่พบทั่วไปในพืชอื่น ซึ่ง Ca ส่วนมากจะเคลื่อนเข้าไปที่ผลในช่วงแรกของการเจริญเติบโตของผล (Faust, 1989) แต่การศึกษารุ่นนี้พบว่า Ca เคลื่อนที่เข้าไปในผลจนถึงกับเกี่ยวถึงแม้อัตราการเคลื่อนที่ที่จะลดลงในช่วงท้ายของการเจริญเติบโตก็ตาม แสดงว่าการเคลื่อนที่ทางท่อน้ำยังเกิดได้หรืออาจมีการเคลื่อนที่ของ Ca บางส่วนผ่านทางท่ออาหาร (Tromp and Oele, 1972) จากการวัดค่าศักย์ของน้ำ (water potential) ของใบและผลจากกิ่งเดียวกัน ปรากฏว่ายังมีการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าไปในผลในช่วงท้ายของการเจริญเติบโต (ศ.ดร.สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์ ติดต่อเป็นการส่วนตัว) Lang (1990) รายงานว่า พืชต่างชนิดกันมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 5

ความสามารถในการทำงานของท่อน้ำยาวนานแตกต่างกัน ผลการทดลองนี้คล้ายคลึงกับที่พบในแอปเปิลบางสายพันธุ์ที่มีการเคลื่อนที่ของ Ca เข้าไปที่ผลจนกระทั่งเก็บเกี่ยว (Tromp, 1979; Zavalloni et al., 2001)

นอกจากแคลเซียมแล้ว โบรอนเป็นอีกธาตุหนึ่งที่มีบทบาทและหน้าที่สำคัญในโครงสร้างของผนังเซลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของผนังเซลล์โดยการยึด (binding) กับ pectin polysaccharides โมเลกุลของโบรอนที่อยู่ที่ผนังเซลล์จะทำปฏิกิริยาเชิงซ้อน (complex) กับ rhamnogalacturonan II (RG-II) (Matoh et al., 1992, 1993; Hu and Brown, 1994) ต่อมา Matoh and Kobayashi (1998) และ Kobayashi et al. (1999) วิเคราะห์สารประกอบ B-RG-II complex พบว่าประกอบด้วย boric acid 2 โมเลกุล Ca^{++} 2 โมเลกุล และ monomeric RG-II 2 สาย (chain) โดย Ca^{++} และ borate จะเชื่อมโยง (cross-link) กับ pectin polysaccharides ที่บริเวณ RG-II เรียก pectin ส่วนนี้ว่า chelator-soluble pectin หรือ CDTA soluble pectin การเชื่อมตัวกันของโบรอน, แคลเซียม และ pectin ทำให้ pectin ในผนังเซลล์เชื่อมเป็นโครงข่ายและแข็งแรง

ในพืชที่ได้รับโบรอนอย่างเพียงพอ ผนังเซลล์จะมีความแข็งแรงและทนต่อแรงดันภายในเซลล์ (turgor pressure) ได้ดี การขาดโบรอนทำให้ผนังเซลล์หนาขึ้น โดยพืชมีการสร้างเซลล์ขนาดเล็กและรูปร่างผิดปกติ เมื่อผนังเซลล์หนาขึ้น การจัดเรียงตัวของ middle lamella ซึ่งประกอบด้วย pectin เป็นส่วนใหญ่จะผิดปกติ การขยายตัวของเซลล์ตามยาว (longitudinal) และความหนาของเซลล์ (transverse) ลดลง แต่ความสูงไม่เปลี่ยนแปลง ยังผลให้เซลล์มีความยืดหยุ่นลดลง (Hu and Brown, 1994) สอดคล้องกับอาการขาดโบรอนของพืชที่มักจะแข็ง เปราะและหักง่าย ในทางกลับกัน เซลล์ของพืชที่ได้รับโบรอนเพียงพอมีความยืดหยุ่นทนต่อแรงดันภายในเซลล์ ทำให้เซลล์ขยายตัว (expansion) ได้ดีขึ้น Rosolem and Leite (2007) ศึกษาท่อน้ำ (xylem vessel) ของใบกาแพที่ขาดโบรอน พบว่ามีลักษณะแตกต่างกับท่อน้ำของต้นกาแพที่ได้รับโบรอนอย่างเพียงพอ กล่าวคือ ท่อน้ำปกติจะค่อนข้างตรงและต่อเนื่อง ในขณะที่ท่อน้ำในต้นกาแพที่ขาดโบรอนจะบิดหรือโค้งงอและไม่ค่อยต่อเนื่อง นอกจากนี้ ยังพบว่า ความหนาของผนังท่อน้ำ (xylem wall) จะบางกว่าปกติเนื่องจากขาด pectin การที่ท่อน้ำผิดปกติมีผลให้การนำธาตุแคลเซียมและ โบรอน ไปยังส่วนที่กำลังเจริญเติบโตน้อยลง

จากการศึกษาผนังเซลล์ของเนื้อและเปลือกมังคุด คณะผู้วิจัย (ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม เป็นหัวหน้าโครงการ) พบว่าปริมาณผนังเซลล์ (cell wall material) ซึ่งวัดโดยวิธี alcohol insoluble solid (AIS) ในเปลือกของผลปกติสูงกว่าเปลือกของผลที่เป็นเนื้อแก้ว และผลที่เป็นเนื้อแก้ว+ยางไหล ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ Ca ในผนังเซลล์ที่สูงในผลปกติด้วย การที่มีผนังเซลล์และแคลเซียมมากทำให้เซลล์แข็งแรง สามารถทนทานต่อแรงดันของน้ำภายในเซลล์ได้ ส่วนในเนื้อมังคุด กลับพบว่าปริมาณ AIS ในผลเนื้อแก้วสูงกว่าผลปกติ อาจเนื่องจาก ผลปกติมีลักษณะอ่อนนุ่ม มีเนื้อน้อย ส่วนผลเนื้อแก้วมีลักษณะแข็ง ซึ่งเกิดจากการที่สารละลายในเซลล์เนื้อแก้วไหลออกมาแทนที่อากาศ ทำให้เซลล์เบียดชิดกัน เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่า เซลล์ของเนื้อมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้ว มีขนาดใหญ่กว่าเซลล์ของเนื้อปกติ (ข้อมูลยังไม่ได้ตีพิมพ์) ทำให้การย่อยสลายผนังเซลล์เกิดไม่ได้ เนื้อแก้วจึงจะคงแข็งตัว ซึ่งพบใน Japanese pear ที่มีอาการเนื้อใสและแข็ง (watercore) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 6

เหมือนกัน ในทำนองเดียวกัน ผล Japanese pear ที่มีอาการ water core มีค่า AIS ต่ำกว่าผลปกติ (Gemma, et al., 2002; Chun, et al., 2003) นอกจากนี้ Yamaki et al., (1976) ยังพบว่า pectin ในผล water core ต่ำกว่าในผลปกติ แสดงให้เห็นถึงผนังเซลล์ที่ไม่แข็งแรง

การแก้ปัญหาการขาดแคลเซียมและโบรอนในผลทำได้ยาก เนื่องจากแคลเซียมและโบรอนเคลื่อนที่ในท่อลำน้ำ (xylem vessel) เท่านั้น ดังนั้นส่วนของพืชที่มีการคายน้ำดี จึงมีการสะสมแคลเซียมและโบรอนมาก ในขณะที่ผลมีการคายน้ำได้น้อย การเคลื่อนที่ของธาตุทั้ง 2 ไปที่ผลจึงเกิดได้น้อยด้วย การคายน้ำของพืชเป็นกระบวนการที่สัมพันธ์กับการเปิดของปากใบเพื่อสังเคราะห์แสง ดังนั้น การศึกษาเกี่ยวกับการลดความเข้มของแสงและอุณหภูมิ เพื่อให้พืชคายน้ำได้ดี จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการนำไปปฏิบัติของเกษตรกร เพื่อให้สามารถนำผลการวิจัยที่พบว่า เมื่อต้นมังคุดได้รับแคลเซียมเพิ่มขึ้น อาการผิดปกติของผลมังคุดลดลงไปด้วย



อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการทดลองในสวนมังคุดของเกษตรกร จังหวัดจันทบุรี จำนวน 2 แห่ง ประกอบด้วยดำรับการทดลอง ดังนี้

สวนที่ 1 สวนคุณสงวน บุญญฤทธิ์ อำเภอมะขาม จังหวัดจันทบุรี ต้นมังคุดอายุ 23 ปี (ทำการทดลองในฤดูปลูก 2553/2554)

1. ปลูกพืชกลางแจ้งตามปกติ
2. ชิงตาข่ายซาเลนสีดำ เพื่อพรางแสงในช่วงที่มีการพัฒนาผล

สวนที่ 2 สวนคุณสมวงศ์ ปิยารมย์ อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี (ทำการทดลองในฤดูปลูก 2554/2555 เนื่องจากในฤดูการเจริญเติบโต 2553/2554 มังคุดสวนนี้ไม่ออกดอก) ต้นมังคุดอายุมากกว่า 30 ปี

1. ปลูกพืชกลางแจ้งตามปกติ
2. มีพีชร่มเงาเป็นทองหลาง (มีอยู่แล้วในแปลงมังคุด และอยู่ใกล้กับแปลงที่ปลูกกลางแจ้ง)

แต่ละดำรับการทดลองประกอบด้วยต้นมังคุดจำนวน 10 ต้น (ซ้ำ) การใส่ปุ๋ยและการปฏิบัติต่าง ๆ เหมือนกันทั้ง 2 ดำรับการทดลอง แต่แตกต่างกันบ้างระหว่างสวน เนื่องจากสวนทั้ง 2 แห่ง มีสภาพดินและอายุของมังคุดแตกต่างกัน

ขั้นตอนการดำเนินการ

1. เก็บตัวอย่างดินบริเวณชายพุ่มหลังการเก็บผลผลิตมังคุด ต้นละ 4 จุด โดยเก็บที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร นำดินของแต่ละจุดมารวมกัน โดยแยกแต่ละชั้น แล้ววิเคราะห์ pH, EC, OM, P, K, Ca, Mg, และ B ข้อมูลที่ได้นำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการปุ๋ย รวมทั้งปุ๋ยชนิดอื่น ๆ

2. เก็บตัวอย่างใบมังคุดเมื่อใบมีอายุ 7 - 9 เดือน ซึ่งเป็นใบที่เหมาะสมสำหรับเก็บตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ (สุมิตรา กูว์โรดม และ คณะ 2547) โดยเก็บตัวอย่างใบต้นละ 4 ใบจากทุกทิศรอบทรงพุ่ม

3. Tag ตัวอย่างดอกมังคุดที่บ้านแล้ว และเมื่อดอกเปลี่ยนเป็นผลได้ 1 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างผลนำมาศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหาร การสร้างผนังเซลล์ (วิเคราะห์ทุก 2 สัปดาห์) หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างผลทุกสัปดาห์ จนกระทั่งเก็บเกี่ยว ซึ่งใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 12-13 สัปดาห์

4. เมื่อผลแก่พร้อมเก็บเกี่ยว สุ่มเก็บตัวอย่างผลมาวิเคราะห์คุณภาพ โดยแบ่งผลออกเป็น 3 ขนาดตามที่ตลาดต้องการคือ ขนาดเล็ก (<60 กรัม) ขนาดกลาง (60-90 กรัม) และ ขนาดใหญ่ (>90 กรัม) ทำการสุ่มตัวอย่างผลมังคุดในแต่ละขนาดจำนวน 10 ผลหรือเท่าที่มีอยู่ในการเก็บครั้งนั้น ทำการผ่าผลเพื่อแยกคุณภาพออกเป็น 3 ชนิดคือ ผลปกติ ผลเนื้อแก้ว และผลยางไหล ทำซ้ำแบบเดียวกันจำนวน 3 ครั้ง รวมเป็นผลมังคุดขนาดละ 30 ผล ถ้าเก็บผลได้น้อยกว่า 30 ผล ใช้ผลทั้งหมดที่เก็บได้ในครั้งนั้น

5. สุ่มผลมังคุดในแต่ละชั้นคุณภาพมา 3-5 ผล แยกผลมังคุดออกเป็น เนื้อ เปลือก และขั้วผล หลังจากนั้น แบ่งแต่ละส่วนออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุ K, Ca, Mg และ B โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 8

ส่วนที่ 2 นำไปสกัดเพื่อให้ได้ผนังเซลล์ (cell wall material) ดังรายละเอียดข้างล่าง แล้วจึงนำส่วนที่เหลือไปเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ K, Ca, Mg, B และ pectin ต่อไป

6. วิเคราะห์คุณภาพของผล ได้แก่ ความหนาของเปลือก total soluble solid (TSS) และ %titrable acidity

การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

การเตรียมตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดินมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม เก็บซากพืช และเศษพืชออก แล้วนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 mm เก็บตัวอย่างดินที่ร่อนผ่านตะแกรงไว้ศึกษาในห้องปฏิบัติการต่อไป

การวิเคราะห์ดิน

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน ทำตามวิธีที่กล่าวไว้ใน Methods of Soil Analysis Part 3 : Chemical Methods (Sparks et al., 1996)

- วิเคราะห์ค่าปฏิกิริยาดิน (pH) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 แล้ววัดค่าปฏิกิริยาดินด้วยเครื่อง pH meter

- วิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity; EC) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 แล้ววัดค่า EC ด้วยเครื่อง EC meter

- วิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน โดยวิธี Walkley-Black Titration แล้วเปลี่ยนเป็นปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) โดยคูณปริมาณอินทรีย์คาร์บอนด้วย 1.724

- วิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus) โดยสกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II แล้ววัดปริมาณฟอสฟอรัสด้วยการทำให้เกิดสี โดยใช้เครื่องมือ spectrophotometer ความยาวคลื่น 882 nm

- วิเคราะห์ปริมาณด่างที่สกัดได้ (Exchangeable Bases) ซึ่งประกอบด้วย K, Ca และ Mg โดยการสกัดดินด้วยสารละลาย 1 N NH_4OAc pH 7.0 แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดหาปริมาณด่างที่สกัดได้ โดยใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrophotometer (ICP-OES)

- วิเคราะห์จุลธาตุในดิน (ซึ่งประกอบด้วย Fe, Mn, Cu และ Zn) ด้วยวิธี DTPA pH 7.3 และนำสารละลายที่ได้ไปวัดหาปริมาณจุลธาตุที่เป็นประโยชน์ โดยใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrophotometer (ICP-OES)

- วิเคราะห์โบรอน โดยการสกัดด้วยน้ำร้อน และวิเคราะห์หาปริมาณโบรอนโดยการทำให้เกิดสีด้วยวิธี curcumin แล้ววัดด้วย spectrophotometer ความยาวคลื่น 550 nm

การเก็บตัวอย่างใบ

เก็บตัวอย่างใบมังคุดที่ Tag ไว้เมื่ออายุใบระหว่าง 7-9 เดือน (สุมิตรา และคณะ 2547)

การเตรียมตัวอย่างใบพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 9

1. จุ่มตัวอย่างใบมังคุดใน 0.1M HCl แล้วตามด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง บรรจุใบในถุงกระดาษ นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60-72 ชั่วโมง หรืออบจนแห้ง
2. ชั่งน้ำหนักแห้งตัวอย่างใบมังคุดที่อบแห้งแล้ว
3. บดตัวอย่างด้วยเครื่องบด ให้ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 40 mesh (0.42 mm) และเก็บไว้เพื่อวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

การเก็บตัวอย่างผลมังคุดเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหาร

1. Tag ตัวอย่างดอกมังคุดที่บ้านแล้ว และเมื่อดอกเปลี่ยนเป็นผลได้ 1 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างผลนำมาศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหาร หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างผลทุกสัปดาห์จนกระทั่งเก็บเกี่ยว ซึ่งใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 12-13 สัปดาห์
2. ผลมังคุดที่เก็บได้นำล้างทำความสะอาด เช่นเดียวกับวิธีเตรียมตัวอย่างใบ วัดเส้นผ่าศูนย์กลางและชั่งน้ำหนักผลรวม แล้วนำมาตัดขั้วและกลีบเลี้ยงออก ชั่งน้ำหนักของแต่ละส่วน นำแต่ละส่วนไปวิเคราะห์ธาตุ K, Ca, Mg และ B ตามวิธีที่จะกล่าวถึงต่อไป

การวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบและผลมังคุด

การวิเคราะห์ K, Ca, Mg, และ B : ย่อยสลายตัวอย่างใบและผลมังคุดด้วยวิธี dry ashing ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเอาที่ได้ไปละลายด้วย 1 N HCl แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrophotometer (ICP-OES) (Allan, 1971)

การเตรียมตัวอย่างผนังเซลล์ (Cell Wall Material: CWM)

ชั่งตัวอย่างสด 5 กรัม ใส่ flask เติม ethanol 95% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระดาษฟอยล์นำไปต้มให้เดือดเป็นเวลา 10 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น เติม ethanol 95% อีก 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่อง homogenizer กรองผนังเซลล์ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ที่ต่อกับเครื่องดูดสุญญากาศ เมื่ออากาศใกล้แห้งให้ล้าง ethanol 80% จำนวน 100 มิลลิลิตร ตามด้วย methanol : chloroform เข้มข้น อัตราส่วน 1:1 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และตามด้วย acetone ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง บันทึกน้ำหนักแห้ง แล้วเก็บตัวอย่างผนังเซลล์ใน desiccator เพื่อรอการสกัดปริมาณ total pectin (Ahmed and Labavitch, 1977) ดังนี้

วิธีการสกัด Total Pectin

1. ชั่ง cell wall material ประมาณ 5 mg ใส่หลอดขนาด 15 ml
2. เติม conc. H₂SO₄ 1 ml
3. นำหลอดไปปั่นด้วยเครื่อง Vortex Mixer เป็นเวลา 5 นาที เพื่อละลาย cell wall material จากนั้นหลอดไปแช่ในบีกเกอร์น้ำแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 10

4. เมื่อสารละลายเย็น ให้เติม conc. H_2SO_4 อีก 1 ml นำหลอดไปปั่นด้วยเครื่อง Vortex Mixer เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำหลอดไปแช่ในบีกเกอร์น้ำแข็ง
5. เมื่อสารละลายเย็น ให้เติมน้ำกลั่น 0.5 ml นำหลอดไปปั่นด้วยเครื่อง Vortex Mixer เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำหลอดไปแช่ในบีกเกอร์น้ำแข็ง
6. เมื่อสารละลายเย็น ให้เติมน้ำกลั่นอีก 0.5 ml นำหลอดไปปั่นด้วยเครื่อง Vortex Mixer เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำหลอดไปแช่ในบีกเกอร์น้ำแข็ง
7. เมื่อสารละลายเย็น ให้เติมน้ำกลั่นอีก 7 ml นำหลอดไปปั่นด้วยเครื่อง Vortex Mixer เพื่อให้สารละลายเข้ากัน ถ่ายสารละลายที่ได้ใส่ขวดพลาสติก

การวิเคราะห์ปริมาณ *pectin* (Blumenkrantz and Asboe-Hansen, 1973)

1. ดูดสารละลาย 0.6 ml ลงในหลอดแล้วนำไปแช่ในน้ำแข็ง
2. เติม 0.0125 M $Na_2B_4O_7$ / conc H_2SO_4 ปริมาตร 3.6 ml เขย่าให้เข้ากัน
3. ปิดหลอดด้วยกระดาษฟอยล์หิมิดชิด ต้มในน้ำเดือด 10 นาที แล้วนำออกมาแช่ในน้ำแข็งทันที
4. เติม 0.15% m-hydroxydiphenyl/ 0.5% NaOH ปริมาตร 60 μ l ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที
5. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm เทียบกับสารละลายมาตรฐาน polygalacturonic ที่ความเข้มข้น 0-100 μ g/ml

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS โดยวิเคราะห์ค่า Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ส่วนการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง 2 ดำรับการทดลองโดยใช้วิธี Student's t-test at 95%

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติทางเคมีของดิน

1.1 ส่วนที่ 1 (สวนคุณสงวน บุญฤทธิ์)

สมบัติของดินที่ระดับความลึก 0-20 ซม. หลังฤดูการเก็บเกี่ยว ปี 2552/2553 ของทั้ง 2 ดำรับการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 1a จากตารางจะพบว่า ดินทั้ง 2 ดำรับการทดลอง มีสมบัติทางเคมีใกล้เคียงกัน คือ มีความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 4.59- 4.86 ซึ่งจัดว่าเป็นดินกรดจัดมาก ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (EC) ค่อนข้างต่ำคือมีค่าระหว่าง 169-172 $\mu\text{S cm}^{-1}$ มีอินทรีย์วัตถุตั้งแต่ 2.33-2.40% จัดอยู่ในระดับปานกลาง ส่วน P สูงมากคือ 327-331 mg kg^{-1} ความเข้มข้นของ K ที่สกัดได้ในดินอยู่ในระดับต่ำคือ 45.7-48.9 mg kg^{-1} ส่วน Ca เท่ากันทั้ง 2 ดำรับการทดลองคือ 366 mg kg^{-1} และ Mg (38.4-42.6 mg kg^{-1}) ที่สกัดได้อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ สำหรับจุลธาตุอาหารพบว่า เหล็กและทองแดงมีค่าสูง แมงกานีสต่ำ ส่วนสังกะสีและโบรอนมีค่าปานกลาง

1.2 ส่วนที่ 2 (สวนคุณสมวงศ์ ปิยารมย์)

สมบัติของดินที่ระดับความลึก 0-20 ซม. ของสวนที่ 2 หลังฤดูการเก็บเกี่ยว ปี 2553/2554 ของทั้ง 2 ดำรับการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 1b จากตารางจะพบว่า ดินทั้ง 2 ดำรับการทดลอง มีสมบัติทางเคมีใกล้เคียงกัน คือ มีความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 5.25 - 5.28 ซึ่งจัดว่าเป็นดินกรด และสูงกว่าสวนที่ 1 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (EC) ค่อนข้างต่ำคือมีค่าระหว่าง 126-134 $\mu\text{S cm}^{-1}$ มีอินทรีย์วัตถุตั้งแต่ 2.33-2.70% จัดอยู่ในระดับปานกลาง ส่วน P สูงมากคือ 2732-2750 mg kg^{-1} เนื่องจากสวนนี้มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจำนวนมากติดต่อกันมานานหลายปี ความเข้มข้นของ K ที่สกัดได้ในดินอยู่ในระดับต่ำคือ 36.6-43.5 mg kg^{-1} ส่วน Ca ในดินสูงกว่าสวนที่ 1 คือ อยู่ในระดับ 503-602 mg kg^{-1} และ Mg ที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำ 52.3-54.1 mg kg^{-1} จัดอยู่ในระดับปานกลางทั้ง 2 ธาตุ สำหรับจุลธาตุอาหารพบว่า เหล็กและทองแดงมีค่าสูง ส่วนแมงกานีสสังกะสีปานกลาง และโบรอนมีค่าปานกลางถึงสูง

2. ปริมาณธาตุอาหารไนโบมังกูด

ความเข้มของธาตุอาหารไนโบมังกูด เก็บเมื่อวันที่ 22 มีนาคม 2554 สำหรับสวนที่ 1 และ เก็บเมื่อวันที่ 30 มีนาคม 2555 สำหรับสวนที่ 2 แสดงไว้ในตารางที่ 2a และ 2b ตามลำดับ จากตารางจะพบว่า ความเข้มของธาตุอาหารในดำรับการทดลองที่มีการพรางแสง ไม่ว่าจะใช้ตาข่าย หรือใช้ต้นไม้เป็นร่มเงา มีความเข้มของธาตุอาหารส่วนมากใกล้เคียงกับต้นมังกูดที่ปลูกกลางแจ้งทั้ง 2 สวน ยกเว้นธาตุ Fe ซึ่งดำรับการทดลองที่ปลูกกลางแจ้งมีความเข้มข้นต่ำกว่าดำรับการทดลองที่มีการพรางแสงทั้ง 2 สวน แต่สวนที่ 2 (33.3 ppm เมื่อปลูกกลางแจ้ง และ 70.2 ppm เมื่อมีร่มเงา) มีความแตกต่างมากกว่าสวนที่ 1 (9.49 และ 14.3 ppm ตามลำดับ) ในทำนองเดียวกัน Mn ในโบมังกูดสวนที่ 2 ดำรับที่อยู่กลางแจ้งมีความเข้มข้นเพียง 82.7 ppm ในขณะที่ดำรับที่มีร่มเงามีความเข้มข้น 124 ppm สำหรับสวนที่ 1 ความเข้มข้นของ Mn ในโบใกล้เคียงกัน Diaz-Perez (2013) รายงานว่าในพริกหวาน (bell pepper) ความเข้มของธาตุอาหารหลายชนิดรวมทั้ง Mn เพิ่มขึ้นเมื่อปลูกภายใต้ร่มเงา ซึ่งน่าจะเกิดจากการที่ร่มเงาทำให้อุณหภูมิของอากาศและดินลดลง ทำให้การดูดใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 12

ตารางที่ 1a สมบัติของดินมังคุด สวนที่ 1 (คุณสงวน บุญญฤทธิ) อ.มะขาม จ.จันทบุรี เก็บตัวอย่างวันที่ 29 กันยายน 2553 ที่ความลึก 20 ซม. (n=8)

คำรับ การ ทดลอง	ค่า	pH (1:1) น้ำ	EC (1:1) $\mu\text{S cm}^{-1}$	OM %	P mg kg^{-1}	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
กลางแจ้ง	Mean	4.86	172	2.33	331	45.7	366	42.6	106	4.16	6.87	3.62	0.54
	SD	0.22	54.5	0.23	75.1	14.4	114	17.3	14.2	0.80	0.96	1.19	0.09
พรางแสง	Mean	4.59	169	2.40	327	48.9	366	38.4	103	4.19	74.3	3.41	0.49
	SD	0.20	44.6	0.20	63.0	13.7	81.1	11.8	8.2	0.65	1.12	0.73	0.17

ตารางที่ 1b สมบัติของดินมังคุด สวนที่ 2 (คุณสมวงศ์ ปิยารมย์) อ.เมือง จ.จันทบุรี เก็บตัวอย่างวันที่ 24 กรกฎาคม 2554 ที่ความลึก 20 ซม. (n=8)

คำรับ การ ทดลอง	ค่า	pH (1:1) น้ำ	EC (1:1) $\mu\text{S cm}^{-1}$	OM %	P mg kg^{-1}	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
กลางแจ้ง	Mean	5.28	126	2.33	2750	36.6	503	54.1	105	8.34	3.03	10.4	0.87
	SD	0.36	25.0	0.37	12.7	6.22	160	11.8	21.6	2.42	0.51	3.75	0.18
พรางแสง (มีร่มเงา)	Mean	5.25	134	2.70	2732	43.5	602	52.3	88.8	8.07	4.05	11.9	1.13
	SD	0.29	19.0	0.22	17.2	8.56	170	8.46	14.6	1.95	0.76	3.88	0.14

ธาตุอาหาร (nutrient uptake) เกิดได้ดีขึ้น ในการทดลองครั้งนี้พบว่าธาตุที่แตกต่างกันมากระหว่างต้นที่มีการพร่างแสงและกลางแจ้งคือธาตุ Fe และ Mn ซึ่งเป็นธาตุที่เกิดการปนเปื้อนได้ง่าย นอกจากนั้น ยังพบว่า มีความผันแปรค่อนข้างมากระหว่างตัวอย่างใบ ทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) สูง การที่ความเข้มข้นของธาตุทั้ง 2 นี้ในใบสูง จึงอาจเกิดจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมร่วมด้วย

เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานมังคุดที่กำหนด โดยสุมิตรา และคณะ (2547) พบว่าธาตุอาหารส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วงความเข้มข้นธาตุอาหารที่กำหนดไว้โดย สุมิตรา และคณะ (2547) ยกเว้นธาตุ Fe ที่มีค่าค่อนข้างต่ำ แต่ไม่พบอาการขาด Fe ที่ใบมังคุด สาเหตุส่วนหนึ่งอาจเนื่องมาจาก ในการกำหนดค่ามาตรฐานโดยสุมิตรา และคณะ (2547) เป็นการวิเคราะห์หุ้ลธาตุโดยวิธี wet ashing ซึ่งมีการใช้กรดในการย่อยสลาย จึงเกิดการปนเปื้อนของจุลธาตุได้ค่อนข้างมาก ในขณะที่วิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในปัจจุบัน เป็นวิธี dry ashing ซึ่งมีการปนเปื้อนธาตุอาหารน้อยกว่า สำหรับ N ในสวนที่ 2 พบว่าสูงกว่าค่ามาตรฐานเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากปีที่ผ่านมามังคุดที่สวนนี้ไม่ออกดอก หรือออกดอกน้อยมาก จึงมี N อยู่ในใบสูง

ตารางที่ 2a ปริมาณธาตุอาหารในใบมังคุด สวนที่ 1 เก็บตัวอย่างวันที่ 22 มีนาคม 2554

ตัวรับการทดลอง	ค่า	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
		%						mg kg ⁻¹			
กลางแจ้ง	Mean	1.35	0.07	0.99	1.18	0.12	9.49	139	7.23	18.9	44.7
	SD	0.07	0.01	0.20	0.09	0.02	1.50	27.2	1.12	2.19	9.20
พร่างแสง	Mean	1.35	0.07	0.92	1.23	0.11	14.3	141	6.67	20.1	47.4
	SD	0.07	0.01	0.18	0.12	0.02	9.61	25.6	0.92	2.72	8.13
ค่ามาตรฐาน		1.1-	.05-.08	.6-1.1	1.0-1.4	.12-	50-	50-250	5-15	15-35	25-45
		1.4				.18	150				

ตารางที่ 2b ปริมาณธาตุอาหารในใบมังคุด สวนที่ 2 เก็บตัวอย่างวันที่ 30 มีนาคม 2555

ตัวรับการทดลอง	ค่า	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
		%						mg kg ⁻¹			
กลางแจ้ง	Mean	1.53	0.07	1.16	1.20	0.14	33.3	82.7	5.9	20.3	46.8
	SD	0.06	0.01	0.11	0.14	0.01	3.63	28.3	1.08	3.36	11.8
พร่างแสง (มีร่มเงา)	Mean	1.57	0.07	1.20	1.27	0.14	70.2	124	6.58	21.1	50.5
	SD	0.07	0.01	0.17	0.14	0.01	52.3	52.7	0.95	3.03	12.2
ค่ามาตรฐาน		1.1-	.05-.08	.6-1.1	1.0-1.4	.12-	50-	50-250	5-15	15-35	25-45
		1.4				.18	150				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเจริญเติบโตและพัฒนาการของผลมังคุด

พัฒนาการของผลมังคุดของทั้ง 2 ส่วนที่ศึกษาเป็นไปในทำนองเดียวกัน แต่ส่วนที่ 2 มีขนาดใหญ่กว่าส่วนที่ 1 เล็กน้อย ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1a และ 1b ดังนั้น จึงจะกล่าวถึงทั้ง 2 ส่วนไปด้วยกัน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง น้ำหนักสดทั้งผล (whole fruit) น้ำหนักสดเฉพาะผล (fruit) เพิ่มขึ้นตามอายุผลที่เพิ่มขึ้นในทั้ง 2 ดำรับการทดลอง และมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในกรณีของเส้นผ่าศูนย์กลางผลพบว่า หลังจากสัปดาห์ที่ 9 ไปแล้ว เส้นผ่าศูนย์กลางผลเพิ่มขึ้นค่อนข้างน้อย สอดคล้องกับผลการศึกษาของสุมิตรา และนารี (2554) แต่ในส่วนของน้ำหนักสดทั้งผล และน้ำหนักสดเฉพาะผล (fruit) มีลักษณะการเพิ่มขึ้นในลักษณะค่อนข้างเป็นเส้นตรงจนกระทั่งเก็บเกี่ยว ซึ่งแตกต่างจากรายงานของธีรวัฒน์ (2533) และ สุมิตรา และนารี (2554) ที่พบว่าน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งเฉพาะส่วนของผลและน้ำหนักแห้งทั้งผลเพิ่มขึ้นในลักษณะเป็น single sigmoidal curve อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างที่พบมีค่อนข้างน้อย

ส่วนน้ำหนักกลีบเลี้ยง (calyx) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระยะแรก หลังจากนั้นค่อนข้างคงที่ในส่วนที่ 1 แต่ในส่วนที่ 2 หลังจากน้ำหนักเพิ่มขึ้นแล้วกลับมีแนวโน้มลดลง เป็นที่น่าสังเกตว่า ทั้ง 2 ส่วนมีความแตกต่างกัน คือ ส่วนที่ 1 มีแนวโน้มว่าน้ำหนักกลีบเลี้ยงของดำรับการทดลองที่อยู่กลางแจ้งมีค่าสูงกว่าดำรับที่อยู่ในที่ร่ม แต่ในส่วนที่ 2 ค่าที่ได้กลับเป็นไปในทางตรงกันข้าม อย่างไรก็ตาม ทั้ง 2 ดำรับการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ สำหรับน้ำหนักขั้วผล (peduncle) เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบ ๆ คือมีน้ำหนักสดประมาณ 1 กรัมเท่านั้น สำหรับส่วนที่ 1 แต่ส่วนที่ 2 มีขนาดขั้วผลใหญ่กว่าส่วนที่ 1 และมีความแตกต่างระหว่างดำรับการทดลองมากกว่า กล่าวคือ ส่วนที่อยู่ในที่ร่มมีขนาดขั้วผลใหญ่กว่าส่วนที่อยู่ในบริเวณกลางแจ้ง ทั้งนี้ระหว่าง 2 ดำรับการทดลองของส่วนที่ 2 ทั้งกลีบเลี้ยงและขั้วผลมีความแตกต่างกันทางสถิติในช่วง 3-4 สัปดาห์แรกของการเจริญเติบโตเท่านั้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากส่วนที่ 2 มีร่มเงาของพืชธรรมชาติปกคลุมมาก และมีระยะปลูกชิด ทำให้มีแสงแดดส่องถึงต้นมังคุดแตกต่างกันมากกว่าส่วนที่ 1 ซึ่งเป็นการปลูกกลางแจ้งเหมือนกัน แต่หน้าตาข่าขาลนมาบังแสงแดด ซึ่งคลุมเฉพาะทรงพุ่มด้านบน จึงมีแสงส่องถึงต้นมังคุดได้มากกว่า การที่ผลการทดลองของปีนี้แตกต่างจาก สุมิตรา และนารี (2554) เล็กน้อย อาจเนื่องจาก ฤดูกาลเจริญเติบโต 2553/2554 และ 2554/2555 มีการกระจายและปริมาณฝนแตกต่างกัน

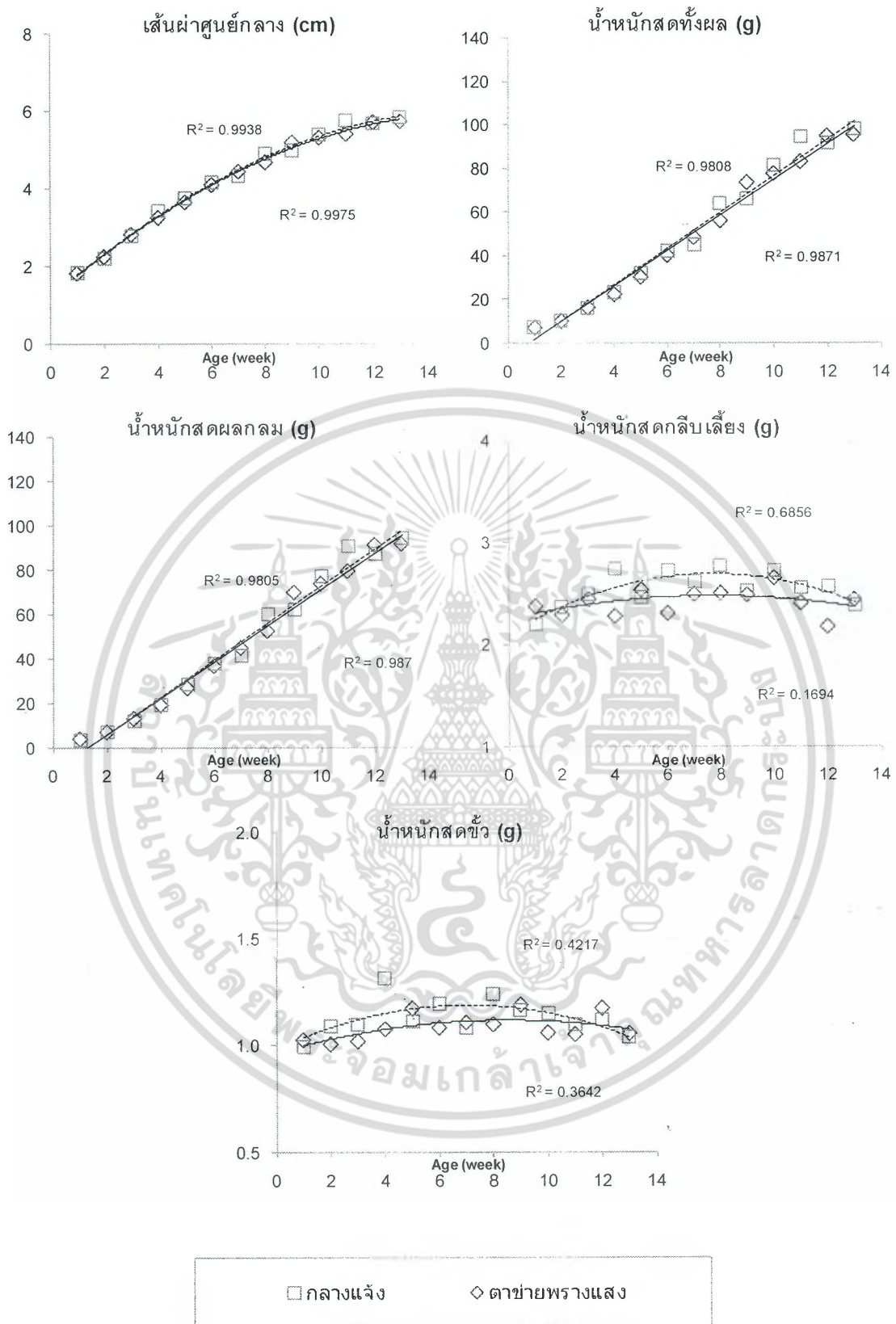
4. ปริมาณธาตุอาหารในผลมังคุดระหว่างพัฒนาการของผล (fruit development)

ผลมังคุดที่เก็บได้ นำมาล้างทำความสะอาด ชับน้ำให้แห้ง ตัดขั้วและกลีบเลี้ยงออก แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหาร ทั้ง 3 ส่วนแยกกัน เมื่อผลอายุได้ 5 สัปดาห์ เริ่มมีการพัฒนาเนื้อ จึงแยกส่วนของผลออกเป็นเปลือก และเนื้อ สำหรับปริมาณธาตุอาหารของทั้ง 2 ดำรับการทดลองและค่าวิเคราะห์แสดงไว้ในรูปที่ 2-4 มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ปริมาณธาตุอาหารในเปลือกมังคุด

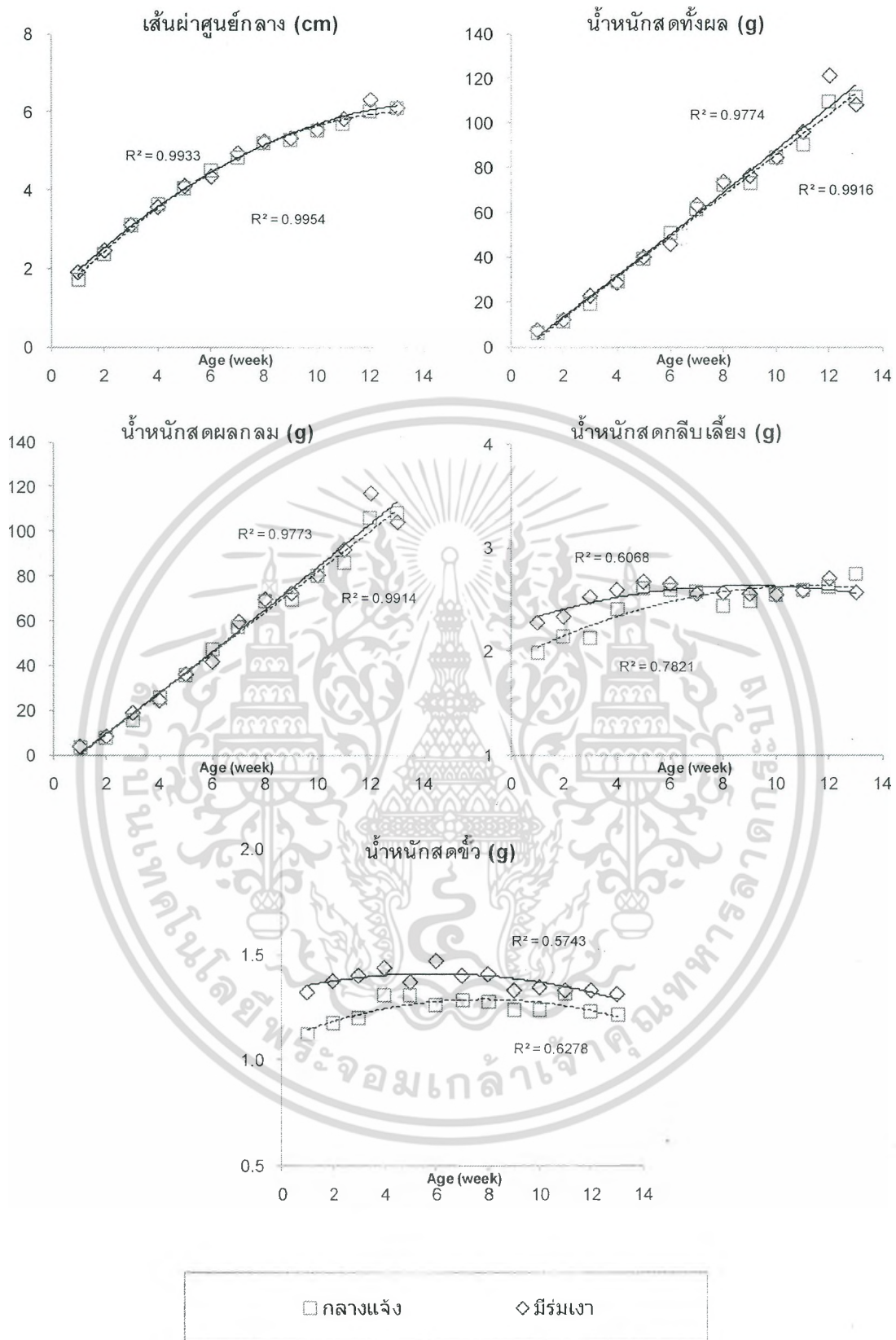
การพัฒนาของผลมังคุดในระยะแรก มีเฉพาะส่วนของเปลือกเท่านั้น จนกระทั่งอายุประมาณ 5 สัปดาห์ จึงเริ่มมีการพัฒนาการของเนื้อ ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเปลือกมีแนวโน้มคล้ายกับในเนื้อคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1a ขนาดและน้ำหนักผลมังคุดเฉลี่ยระหว่างการพัฒนาของผล สวน 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1b ขนาดและน้ำหนักผลมังคุดเฉลี่ยระหว่างการพัฒนาของผล ส่วน 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลงเมื่อผลอายุเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2a และ 2b) แต่ในเปลือก การลดลงของธาตุอาหารน้อยกว่าในเนื้อ ในส่วนที่ 1 ความเข้มข้นของ K ลดลงจาก 1.7% เหลือ 1.2% ส่วน Ca ลดลงจาก 0.2% เหลือ 0.12% ในขณะที่ Mg ลดลงจาก 0.12% เหลือ 0.06% และ B ลดลงจาก 11.8 ไปเป็น 8.0 ppm ซึ่งทั้ง 2 ดำรับการทดลองมีแนวโน้มเหมือนกัน และมีค่าความเข้มข้นใกล้เคียงกัน

ในกรณีของส่วนที่ 2 การลดลงของความเข้มข้นธาตุอาหารมีแนวโน้มลดลงเมื่อผลอายุมากขึ้น เช่นกัน และมีความเข้มข้นในเปลือกใกล้เคียงกันทั้ง 2 ดำรับการทดลอง ธาตุ K และ Ca ของส่วน 2 ใกล้เคียงกัน แต่มีความเข้มข้นของ Mg และ B ของส่วน 2 ต่ำกว่าส่วน 1 โดยความเข้มข้นของ Mg ลดลงจาก 0.1% ไปเป็น 0.05% และ B ลดลงจาก 9.3 ppm เหลือ 6.6 ppm สำหรับดำรับการทดลองที่อยู่ในที่ร่ม ส่วนดำรับการทดลองที่อยู่กลางแจ้ง ความเข้มข้นของ B ต่ำกว่าดำรับที่อยู่กลางแจ้งเล็กน้อย คือ ลดลงจาก 8.2 ไปเป็น 6.7 ppm โดยภาพรวมแล้ว แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในผลมังคุด ส่วนมากจะมีความเข้มข้นลดลงเมื่อผลอายุมากขึ้น ซึ่งคล้ายกับที่รายงานในพืชอื่นเช่นส้ม (Storey and Treeby, 2000; Xiao et al., 2007) แอปเปิ้ล (Wilkinson and Perring, 1964) และพลับ (Clark and Smith, 1990).

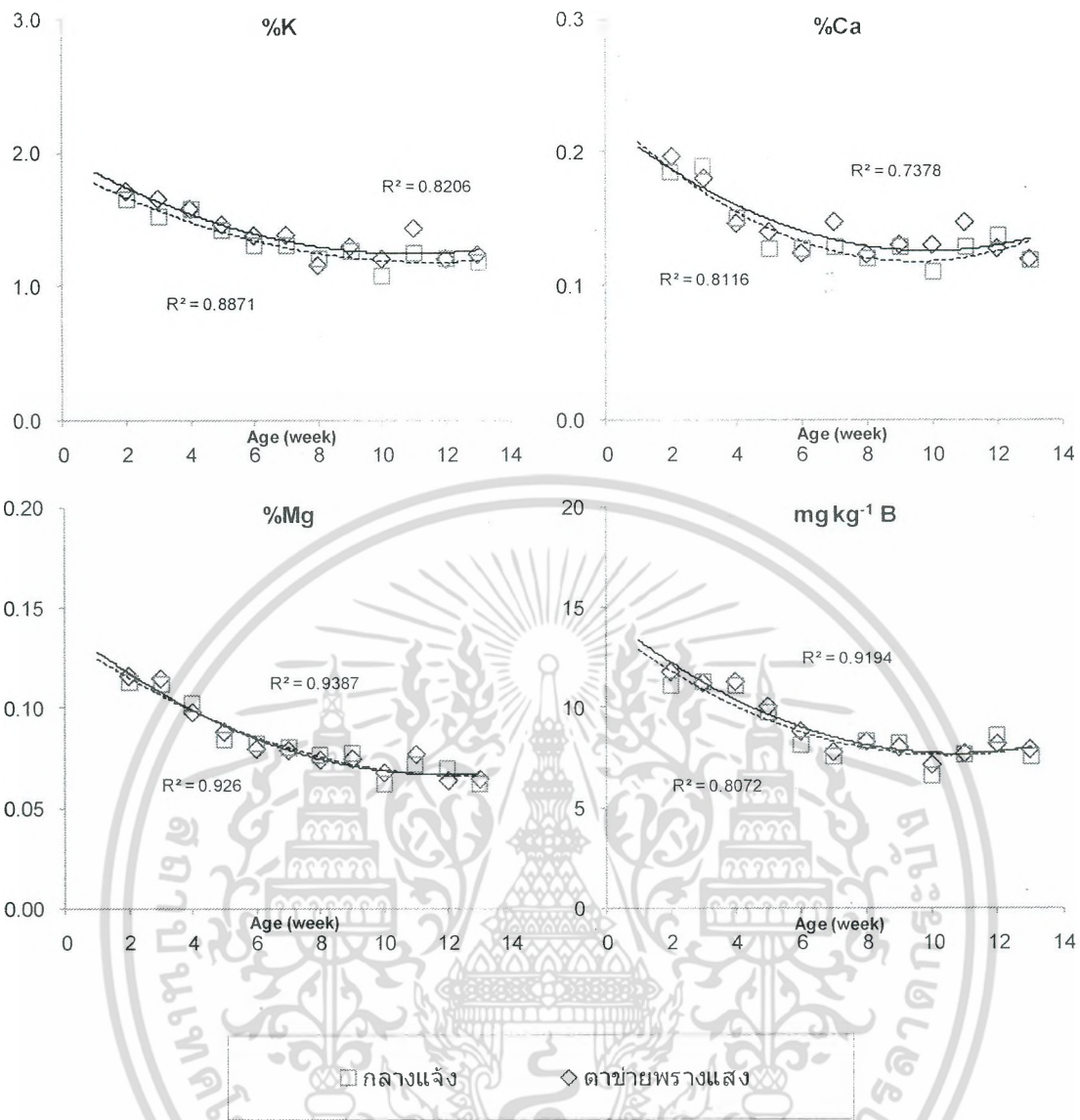
4.2 ปริมาณธาตุอาหารในผิวเปลือกมังคุด

เนื่องจากผิวเปลือกค่อนข้างแข็งและมีปริมาณธาตุอาหาร โดยเฉพาะ Ca สูงกว่าส่วนที่อยู่ด้านใน จึงแยกส่วนของผิวซึ่งหนาประมาณ 1 มม.มาวิเคราะห์ ผลการศึกษาปรากฏว่า ส่วนของผิวเปลือกทั้ง 2 ส่วน มีแนวโน้มธาตุ K ต่ำกว่า แต่ Ca สูงกว่าส่วนของเปลือกที่อยู่ด้านใน เนื่องจากเคลือบเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ไปกับกระแสการคายน้ำ ส่วนที่อยู่ด้านนอกจึงมีความเข้มข้นสูงกว่าส่วนที่อยู่ด้านใน ความแตกต่างที่พบจะมากเมื่อผลมีขนาดเล็ก แต่เมื่อผลมีขนาดอายุมากขึ้น ความแตกต่างของ Ca ระหว่างผิวเปลือกน้อยลง ส่วน K นั้น ผิวเปลือกมี K น้อยกว่า ตลอดอายุการเก็บตัวอย่าง (รูปที่ 3a และ 3b)

สำหรับ Mg พบว่า มีความแตกต่างระหว่างผิวเปลือกกับส่วนที่อยู่ด้านในน้อย ส่วน B พบว่า ผิวเปลือกมี B น้อยกว่าด้านในเล็กน้อย ตลอดอายุการเก็บตัวอย่าง ซึ่งผิดจากความคาดหมาย เนื่องจากโดยปกติแล้ว B เป็นธาตุที่เคลื่อนที่ไปกับกระแสน้ำที่ใช้ในการคายน้ำเหมือน Ca อย่างไรก็ตาม ในระยะหลังมีการรายงานว่า B สามารถเคลื่อนที่ได้ในพืชบางชนิด (Brown and Hu, 1996) ในส่วนที่ 1 พบว่า ความเข้มข้นของ B ในผิวเปลือกผันแปรค่อนข้างมากในระหว่างแต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่าง และมีค่าสูงกว่าส่วนที่ 2 อาจเนื่องจากส่วนที่ 1 มีการฉีดพ่น B ทางใบ ในขณะที่ส่วนที่ 2 มีความเข้มข้นของ B ต่ำกว่า แต่ความเข้มข้นของ B ใกล้เคียงกันในระหว่างแต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่าง และมีแนวโน้มว่าต้นมังคุดที่อยู่กลางแจ้งจะมีความเข้มข้นของ B ที่เปลือกสูงกว่าต้นที่อยู่ในที่ร่ม

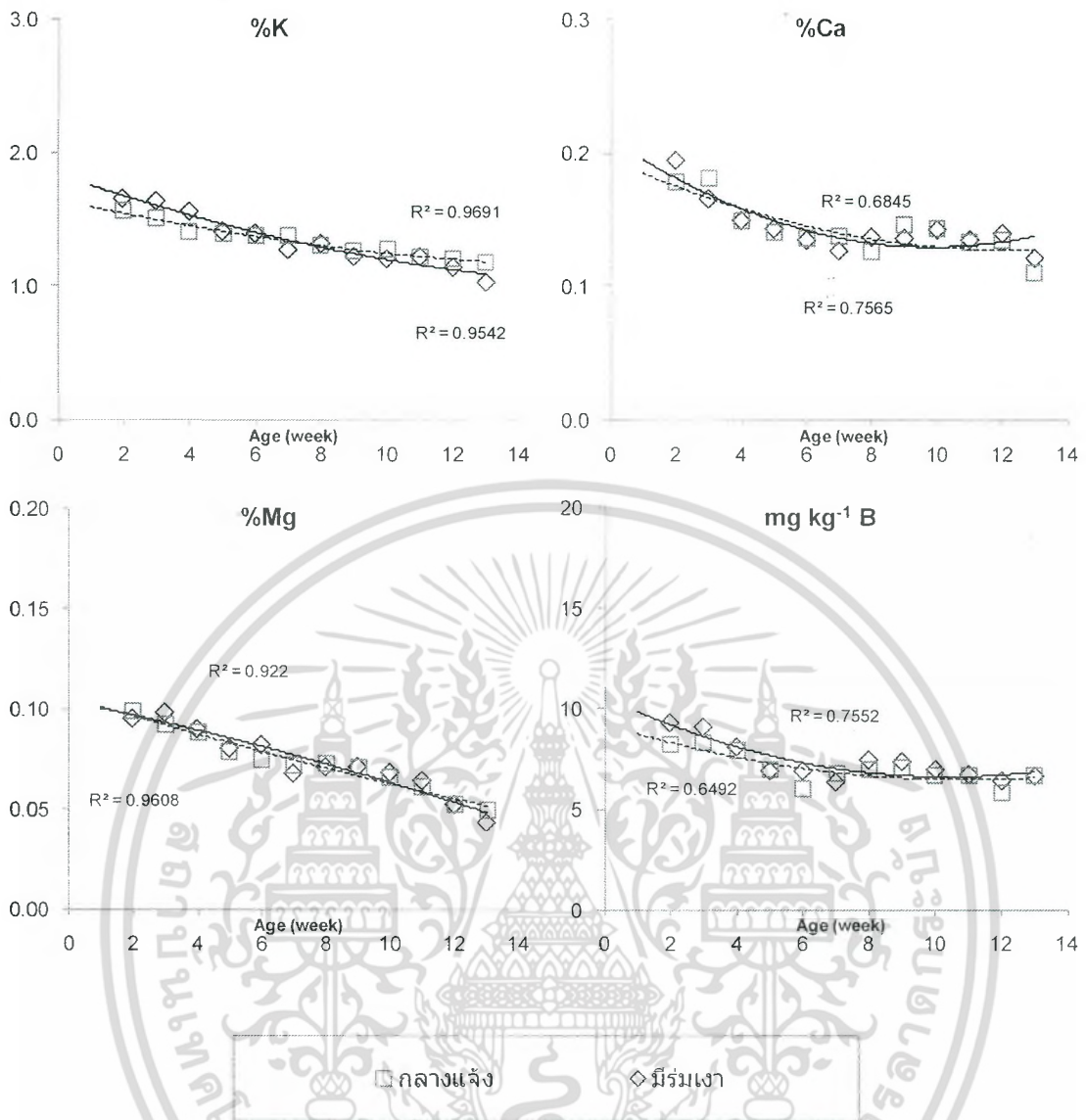
สำหรับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุอาหารในผิวเปลือกคล้ายกับที่พบในเนื้อ และเปลือก คือมีแนวโน้มลดลงมากในระยะแรก จนถึงผลอายุประมาณ 8 สัปดาห์ หลังจากนั้น ความเข้มข้นของธาตุอาหารลดลงน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



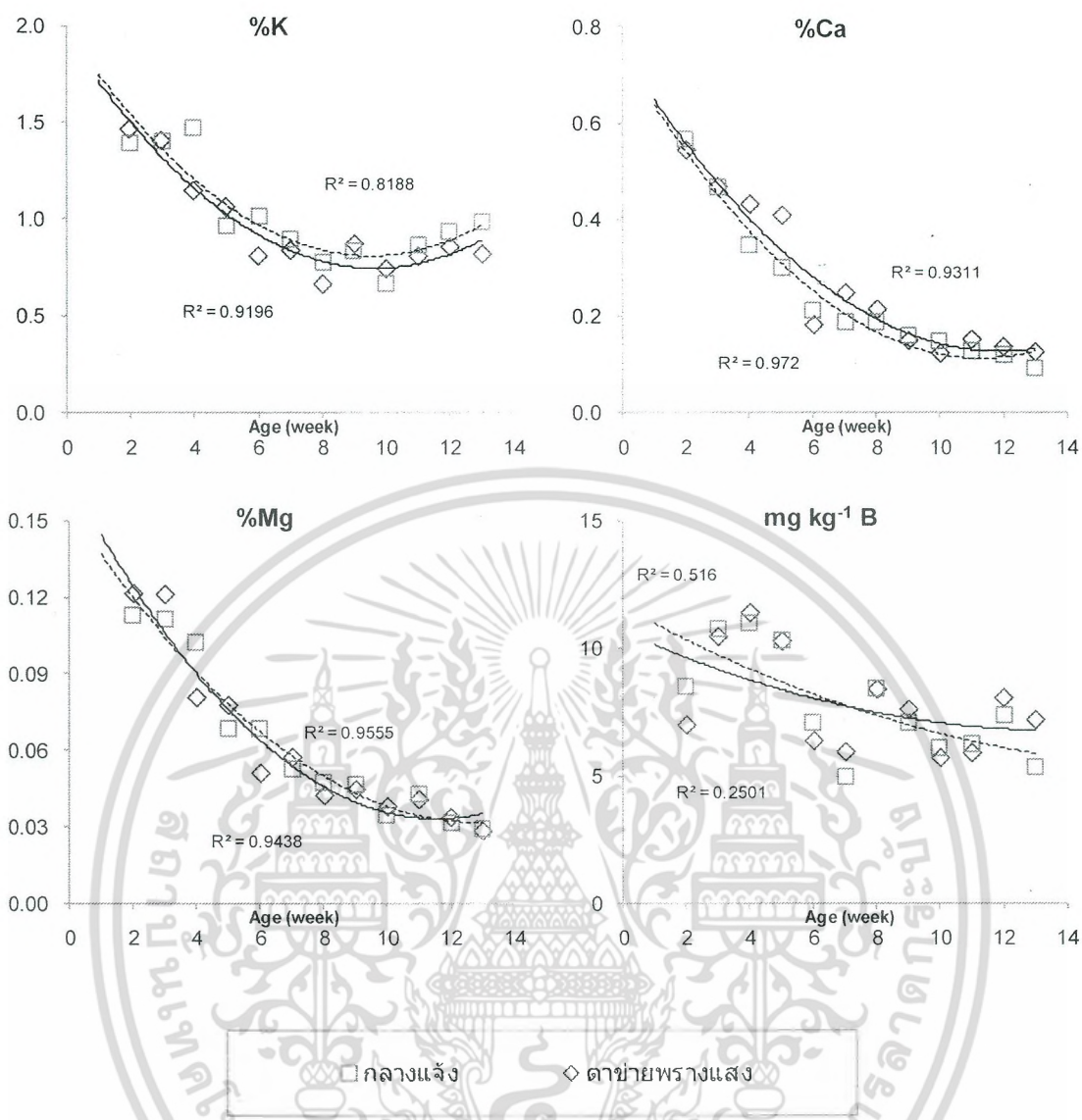
รูปที่ 2a แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุอาหารในเปลือกมั่งคุดคิบสวน 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



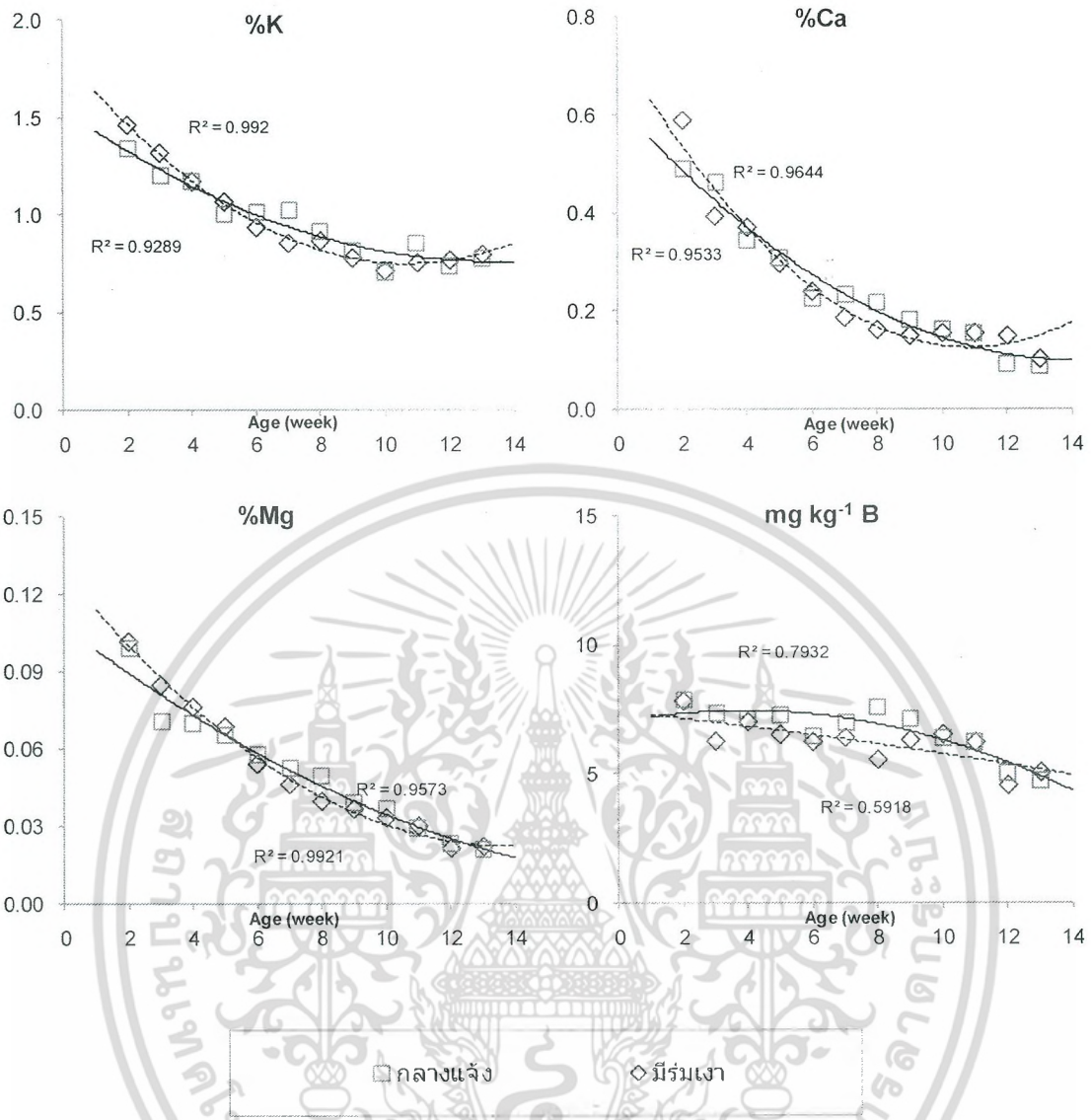
รูปที่ 2b แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุอาหารในเปลือกมังกุดดิบ สวน 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3a แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุอาหารในผิวเปลือกมังกูดคียบ ส่วน 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3b. แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุอาหารในผิวเปลือกมังคุดดิบ สวน 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ปริมาณธาตุอาหารในเนื้อมังคุด

พัฒนาการของเนื้อมังคุด เริ่มขึ้นเมื่ออายุผลประมาณ 5 สัปดาห์ ปริมาณธาตุ K, Ca, Mg และ B ในเนื้อมังคุดทั้ง 2 ส่วนแสดงไว้ในรูปที่ 4a และ 4b โดยภาพรวมพบว่า ธาตุอาหารทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเมื่อผลอายุมากขึ้น โดยลดลงค่อนข้างมากในช่วงแรก จนถึงอายุประมาณ 10 สัปดาห์ หลังจากนั้น ความเข้มข้นของธาตุอาหารค่อนข้างคงที่ หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย การที่ความเข้มข้นของธาตุอาหารลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องจากการเจริญเติบโตของผลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงเกิด dilution effect เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการพรางแสงกับกลางแจ้งพบว่า ปริมาณธาตุ K, Ca, Mg และ B ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม การลดลงของธาตุอาหารมีลักษณะแตกต่างกันเล็กน้อยระหว่างสวนที่ 1 และสวนที่ 2 กล่าวคือ สวนที่ 2 มีการลดลงของ Ca ในลักษณะเป็นเส้นตรงตลอดอายุการพัฒนาผล ซึ่งต่างจากสวนที่ 1 ซึ่งลดลงจนถึงสัปดาห์ที่ 10 หลังจากนั้นค่อนข้างคงที่ นอกจากนี้ ยังพบว่าความเข้มข้นของ Ca ในเนื้อมังคุดสวนที่ 2 มีความเข้มข้นสูงกว่าสวนที่ 1 (เฉลี่ย 0.14% สำหรับสวน 1 และ 0.19% สำหรับสวน 2) ทั้งนี้อาจเนื่องจากสวนที่ 2 มีความเข้มข้นของ Ca ในดินสูงกว่าสวนที่ 1 ค่อนข้างมาก (ตารางที่ 1a, 1b) จึงทำให้สามารถดูด Ca เข้าไปยังผลได้มากกว่าสวนที่ 1 ในทางกลับกัน ความเข้มข้นของ Mg ในเนื้อของสวนที่ 1 สูงกว่าสวนที่ 2 โดยค่าเฉลี่ยของสวนที่ 1 เท่ากับ 0.18% ส่วนสวนที่ 2 มีค่าเฉลี่ย Mg เพียง 0.1% เท่านั้น ซึ่งน่าจะเกิดจาก antagonistic effect ระหว่างธาตุทั้ง 2 ส่วน B แนวโน้มการลดลงคล้ายกันทั้ง 2 สวน แต่ความเข้มข้นของ B สวน 1 สูงกว่าสวนที่ 2 เล็กน้อย

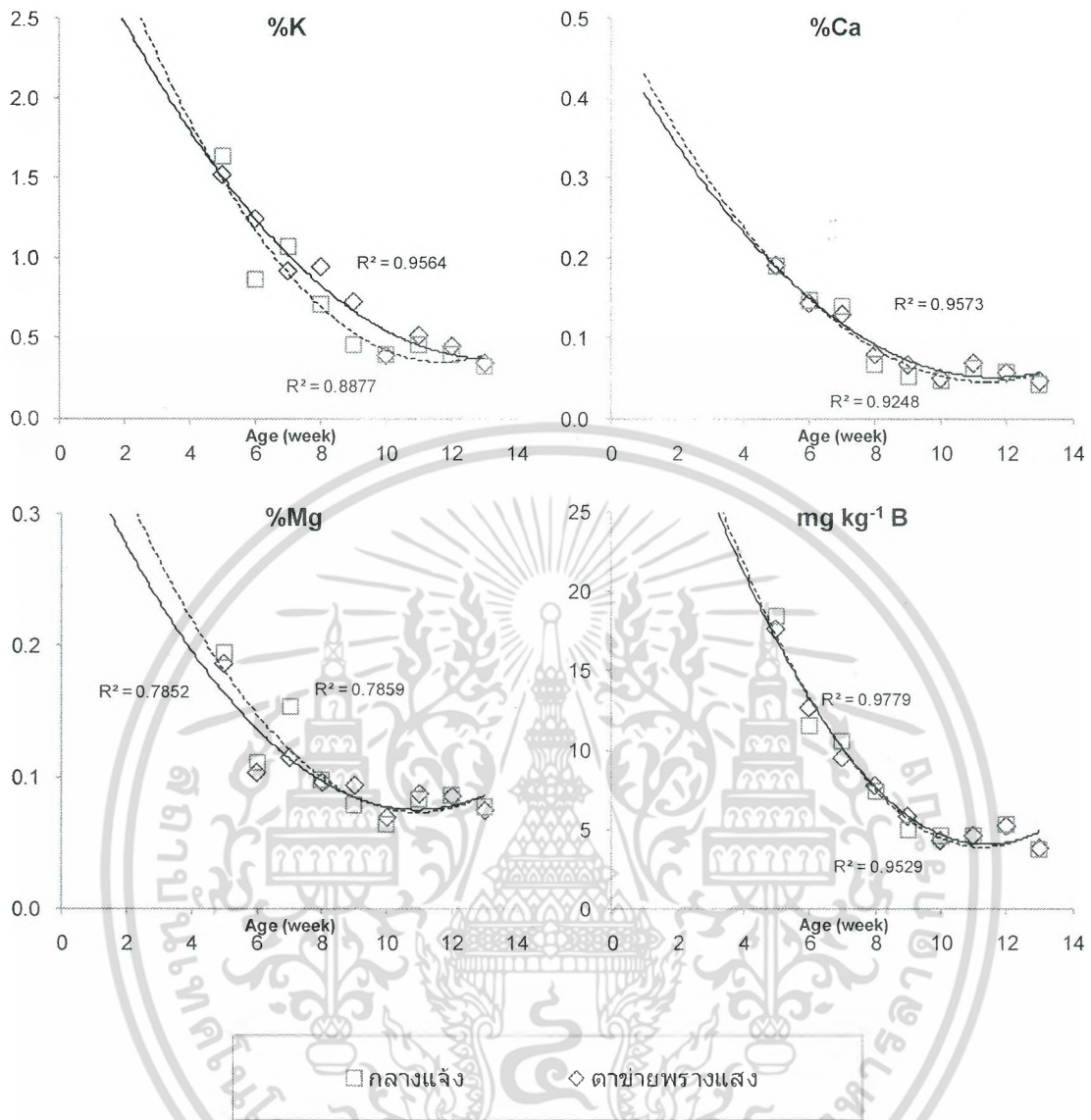
5. คุณภาพของผลมังคุดสุก

เมื่อผลมังคุดแก่ เก็บตัวอย่างผลมังคุดจากทั้ง 2 ดำรับการทดลองของทั้ง 2 สวนมาแยกขนาดและผ่าผลมังคุดเพื่อประเมินคุณภาพและให้คะแนนความรุนแรงในการเกิดปัญหาเนื้อแก้ว ยางไหล และเนื้อแก้ว+ยางไหล (สวนที่ 1 เก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง รวมจำนวน 938 ผล ส่วนสวนที่ 2 เก็บตัวอย่าง 1 ครั้ง จำนวน 455 ผล เนื่องจากสวนที่ 2 เป็นต้นมังคุดที่มีอายุมากกว่า 30 ปี ทำให้ต้นขนาดใหญ่ การสุ่มเก็บผลทำได้ยาก) โดยให้คะแนนคุณภาพตั้งแต่ 1-5 (1 มีอาการน้อยที่สุด และ 5 มีอาการรุนแรงมากที่สุด) พร้อมทั้งวัดความหนาของเปลือก ปริมาณ Total soluble solid และ % Titratable acidity ปรากฏผลดังนี้

5.1 ขนาดของผลและคุณภาพผลที่นำมาศึกษา

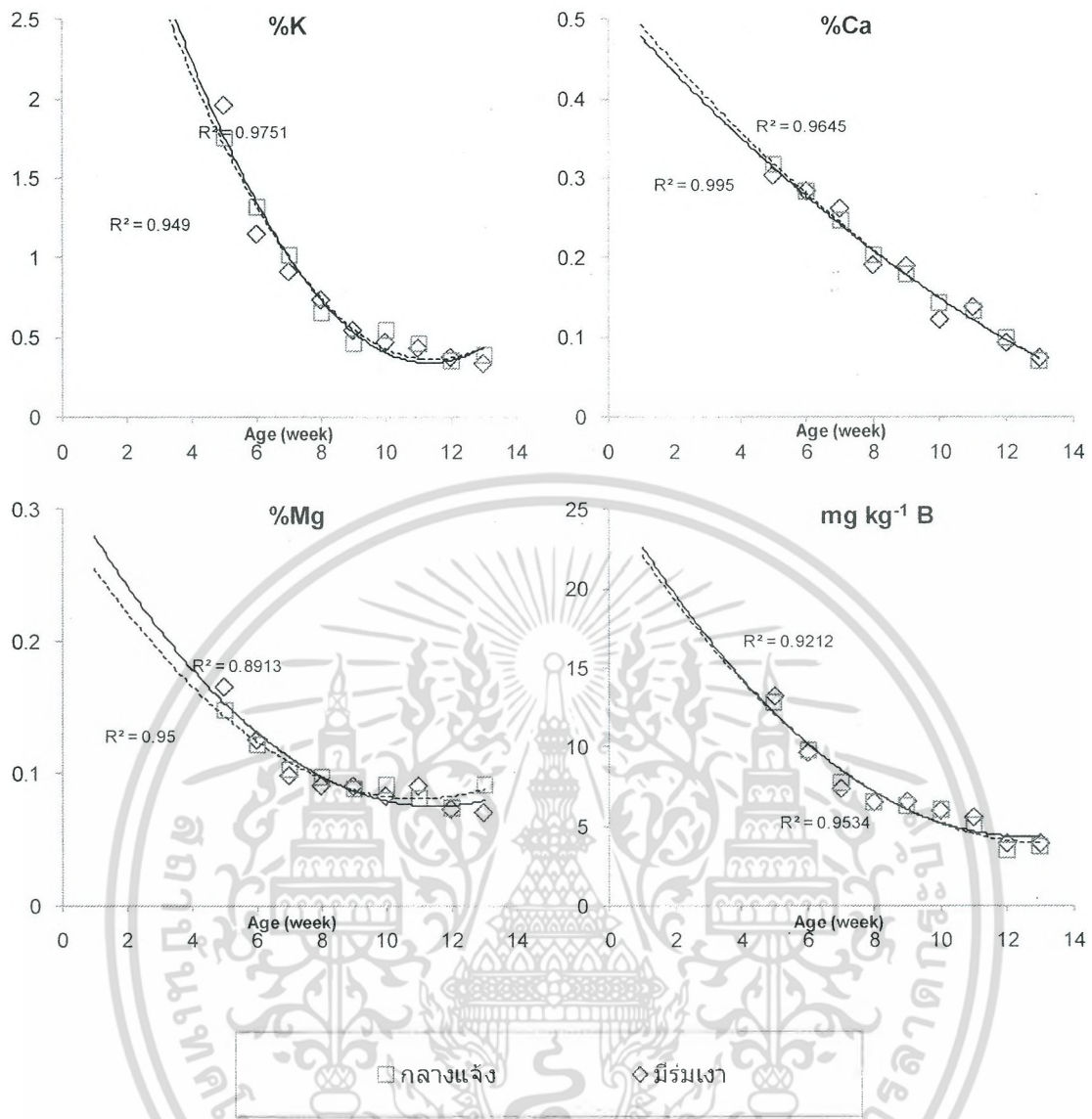
จำนวนผลมังคุดที่เก็บศึกษาจากทั้ง 2 ดำรับการทดลองของสวนที่ 1 มีจำนวน 938 ผล แบ่งเป็นผลจากต้นที่อยู่กลางแจ้ง 407 ผล และผลที่มีการพรางแสง 531 ผล โดยทั้ง 2 ดำรับการทดลองมีผลแยกตามขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ประมาณ 19% 52% และ 29% ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 2 ดำรับการทดลองมีเปอร์เซ็นต์ของผลแต่ละขนาดใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 3) สำหรับสวนที่ 2 เก็บผลมังคุดมาศึกษาทั้งสิ้น 498 ผล แบ่งเป็นผลจากต้นที่อยู่กลางแจ้ง 288 ผล และต้นที่มีร่มเงา 210 ผล สำหรับสัดส่วนของขนาดผลพบว่าผลจากต้นที่อยู่กลางแจ้งมีขนาดผล 28% 36% และ 36% สำหรับผล ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ตามลำดับ ในขณะที่ผลจากต้นที่มีร่มเงา มีการกระจายของผล 21% 40% และ 39% ตามลำดับ ผลมังคุดที่เก็บจากการทดลองครั้งนี้มีสัดส่วนของขนาดผลใกล้เคียงกับปี 2552 แต่แตกต่างจากปี 2551 ที่มีจำนวนผลขนาดเล็กสูงถึง 31% (สุมิตรา และคณะ 2552) ทั้งนี้ผลขนาดใหญ่เป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศมากกว่าผลขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4a แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อมังกุดดิบ ส่วน 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4b แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเมล็ดถั่วเขียว ส่วน 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตำรับที่อยู่กลางแจ้ง และมีการพรางแสงพบว่า ในสวนที่ 1 ตำรับการทดลองที่อยู่กลางแจ้งมีแนวโน้มที่จะให้ผลผลิตมากกว่าตำรับที่มีการพรางแสง โดยมีความแตกต่างกันมากในผลที่มีขนาดเล็กและขนาดกลาง ส่วนผลขนาดใหญ่ไม่แตกต่างกัน ในทางตรงกันข้าม สวนที่ 2 ตำรับการทดลองที่อยู่กลางแจ้งกลับมีผลผลิตน้อยกว่าตำรับที่มีร่มเงาในผลขนาดเล็กและขนาดกลาง แต่ผลขนาดใหญ่ตำรับที่อยู่กลางแจ้งมีอาการผิปกติน้อยกว่าตำรับที่อยู่ใต้ร่มเงาก่อนข้างเด่นชัด เมื่อคำนวณค่าเฉลี่ยของทุกขนาดของผลพบว่า สวนทั้ง 2 แห่ง มีผลผลิตในตำรับที่อยู่กลางแจ้งสูงกว่าที่มีการพรางแสงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่าที่ได้ของสวนที่ 2 ใกล้เคียงกัน (59.1% เมื่ออยู่กลางแจ้ง และ 58.1%เมื่อมีร่มเงา) เป็นที่น่าสังเกตว่า สวนที่ 2 มีอาการเนื้อแก้ว+ยางไหล ซึ่งเป็นอาการที่รุนแรงที่สุดก่อนข้างน้อยจนแทบไม่พบอาการผิปกตินในผลขนาดเล็กและขนาดกลาง (ตารางที่ 3)

เมื่อให้คะแนนความผิปกติของผลพบว่าคะแนนความผิปกติของอาการเนื้อแก้ว ยางไหล และเนื้อแก้ว+ยางไหลในสวนที่ 1 พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างผลที่มีจากต้นที่อยู่กลางแจ้ง และมีการพรางแสงในทุกอาการผิปกติในผลที่มีขนาดเล็กและใหญ่ ส่วนผลที่มีขนาดกลางพบว่าผลที่มาจากต้นพรางแสงมีคะแนนผิปกติของผลเนื้อแก้ว และเนื้อแก้ว+ยางไหลสูงกว่าผลที่มาจากต้นที่อยู่กลางแจ้ง (ตารางที่ 4) ในทำนองเดียวกัน สวนที่ 2 ก็พบว่าผลเนื้อแก้ว และเนื้อแก้ว+ยางไหลในผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ มีความแตกต่างกันทางสถิติในคะแนนความรุนแรงของอาการ โดยผลที่มาจากต้นที่อยู่กลางแจ้งมีแนวโน้มจะรุนแรงน้อยกว่า ยกเว้นในผลเนื้อแก้วขนาดใหญ่ที่ผลจากต้นที่อยู่กลางแจ้งคะแนนความผิปกติสูงกว่าจากต้นที่มีร่มเงาโดยทั่วไปแล้ว ผลที่มีขนาดใหญ่มีแนวโน้มจะมีความผิปกติที่รุนแรงกว่าผลขนาดเล็ก

ตารางที่ 3 อิทธิพลของการพรางแสงต่อคุณภาพผลมังคุดสุก

ขนาดผล	% ผลปกติ		t-test	% ผลเนื้อแก้ว		t-test	% ผลยางไหล		t-test	%เนื้อแก้ว+ยางไหล		t-test
	กลางแจ้ง	พรางแสง		กลางแจ้ง	พรางแสง		กลางแจ้ง	พรางแสง		กลางแจ้ง	พรางแสง	
สวนที่ 1												
เล็ก	44.7	38.5	*	17.2	19.0	ns	16.5	21.9	*	21.7	20.6	ns
กลาง	53.2	45.8	*	10.8	13.3	ns	15.0	22.8	*	21.0	18.1	ns
ใหญ่	49.0	48.7	ns	8.8	9.4	ns	20.7	29.5	*	21.6	12.4	*
รวมทุกขนาด	49.0	44.3	*	12.3	13.9	ns	17.4	24.8	*	21.3	17.0	*
สวนที่ 2												
เล็ก	56.6	61.9	*	28.6	23.8	ns	14.8	7.1	*	0.0	7.1	*
กลาง	53.5	64.6	*	17.1	17.0	ns	26.5	18.3	*	2.9	0.0	*
ใหญ่	67.3	47.8	*	3.4	14.4	*	24.0	29.9	ns	5.4	7.9	ns
รวมทุกขนาด	59.1	58.1	*	16.4	18.4	ns	21.8	18.4	*	2.8	5.0	ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 คะแนนความรุนแรงของการเกิดอาการผิดปกติผลมังคุดในแต่ละดำรับการทดลอง
(คะแนนสูงหมายถึงอาการที่เกิดรุนแรง)

ขนาดผล	ดำรับการทดลอง	เนื้อแก้ว		ยางไหล		เนื้อแก้ว+ยางไหล	
		ส่วน 1	ส่วน 2	ส่วน 1	ส่วน 2	ส่วน 1	ส่วน 2
เล็ก	กลางแจ้ง	1.20	1.33	1.11	1.07	1.88	3.00
	พรางแสง	1.27	1.75	1.38	1.00	1.80	- ^x
	<i>t-test</i>	ns	*	ns	ns	ns	- ^y
กลาง	กลางแจ้ง	1.40	2.33	1.23	1.20	1.78	- ^x
	พรางแสง	1.73	2.63	1.15	1.13	2.04	1.00
	<i>t-test</i>	*	*	ns	ns	*	- ^y
ใหญ่	กลางแจ้ง	1.33	2.50	1.38	1.31	2.27	1.50
	พรางแสง	1.36	1.75	1.31	1.20	2.40	2.00
	<i>t-test</i>	ns	*	ns	ns	ns	*

^x ไม่พบผลที่มีปัญหาในกลุ่มผลขนาดนี้ในการทดลอง ^y ไม่ได้เปรียบเทียบทางสถิติ

5.2 ความหนาของเปลือกมังคุด

ผลมังคุดที่มีขนาดใหญ่มีเปลือกหนากว่าผลขนาดเล็กและกลาง ในทุกกลุ่มคุณภาพของผล (ตารางที่ 5) ยกเว้นในส่วนที่ 1 ซึ่งผลปกติมีความหนาของเปลือกในแต่ละขนาดไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยผลมังคุดที่อาการเนื้อแก้ว+ยางไหล มีเปลือกหนาที่สุด ส่วนผลที่มีอาการเนื้อแก้ว หรือยางไหลอย่างเดียวมีเปลือกหนาใกล้เคียงกัน ส่วนผลปกติมีเปลือกบางที่สุด เมื่อเปรียบเทียบแต่ละกลุ่มคุณภาพในผลขนาดเดียวกันพบว่าผลปกติมีความหนาของเปลือกน้อยที่สุด และผลเนื้อแก้ว+ยางไหลมีความหนาของเปลือกมากที่สุด ซึ่งพบในทั้ง 2 ส่วน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างดำรับการทดลองพบว่า ส่วนที่ 1 ความหนาของเปลือกมังคุด ในผลปกติ ผลเนื้อแก้ว ผลยางไหล ไม่แตกต่างกันระหว่างดำรับการทดลองที่อยู่กลางแจ้ง และเมื่อมีการพรางแสง ยกเว้นผลเนื้อแก้ว+ยางไหล ซึ่งดำรับที่อยู่กลางแจ้งมีเปลือกหนากว่าดำรับที่มีการพรางแสง ในทางกลับกันความหนาของเปลือกมังคุดทุกกลุ่มคุณภาพของส่วนที่ 2 มีความแตกต่างกันระหว่างต้นมังคุดที่อยู่กลางแจ้งกับต้นที่อยู่ใต้ร่มเงา ในทุกกลุ่มคุณภาพยกเว้นผลที่มีอาการยางไหล โดยผลจากต้นที่อยู่กลางแจ้ง มีเปลือกบางกว่าผลจากต้นที่อยู่ใต้ร่มเงาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 6)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 ส่วนพบว่า เปลือกมังคุดของส่วนที่ 1 บางกว่าเปลือกของส่วนที่ 2 อาจเนื่องจากส่วนที่ 1 มีความเข้มข้นของ B ในเปลือกสูงกว่าส่วนที่ 2 ดังรูปที่ 2a และ 2b การที่ผลมังคุดที่มีเปลือกบาง มีความเข้มข้นของ B สูง อาจเนื่องจาก B มีคุณสมบัติที่ทำให้เซลล์มีความยืดหยุ่นดีขึ้น จึงสามารถรับแรงดันภายใน (turgor pressure) ได้ดีขึ้น (Loomis and Durst, 1992) พืชจึงไม่จำเป็นต้องสร้างเปลือกให้หนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ความหนาเปลือกมังคุด (มิลลิเมตร) แยกตามขนาดผล

ขนาดผล	ตำรับการทดลอง	ผลปกติ		เนื้อแก้ว		ยางไหล		เนื้อแก้ว+ยางไหล	
		ส่วน 1	ส่วน 2	ส่วน 1	ส่วน 2	ส่วน 1	ส่วน 2	ส่วน 1	ส่วน 2
เล็ก	กลางแจ้ง	5.60	5.28	5.69	5.38	5.64	5.26	5.69	- ^x
	พรางแสง	5.54	5.23	5.66	5.33	5.60	5.23	5.81	5.33
	<i>t-test</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	- ^y
กลาง	กลางแจ้ง	5.60	6.06	5.49	6.06	6.41	6.67	6.49	- ^x
	พรางแสง	5.60	6.62	6.19	6.62	6.34	6.55	6.14	6.92
	<i>t-test</i>	ns	ns	*	*	ns	ns	*	- ^y
ใหญ่	กลางแจ้ง	6.03	6.92	6.75	8.17	6.35	7.88	7.30	8.68
	พรางแสง	5.74	7.93	5.72	8.46	6.30	7.90	6.52	7.73
	<i>t-test</i>	ns	*	*	ns	ns	ns	*	*

^x ไม่พบผลที่มีปัญหาในกลุ่มผลขนาดนี้ในการทดลอง ^y ไม่ได้เปรียบเทียบทางสถิติ

ตารางที่ 6 ความหนาเปลือกมังคุด (มิลลิเมตร) ในตำรับการทดลองและคุณภาพผลต่างๆ

ตำรับการทดลอง	ผลปกติ		เนื้อแก้ว		ยางไหล		เนื้อแก้ว+ยางไหล	
	ส่วน 1	ส่วน 2	ส่วน 1	ส่วน 2	ส่วน 1	ส่วน 2	ส่วน 1	ส่วน 2
กลางแจ้ง	5.75	6.09	5.97	6.54	6.13	6.60	6.49	7.80
พรางแสง	5.63	6.59	5.86	6.80	6.08	6.56	6.16	6.53
<i>t-test</i>	ns	*	ns	*	ns	ns	*	*

5.3 Total soluble solid (TSS) and % Titratable acidity (%TA)

ผลมังคุดในทั้ง 2 ตำรับการทดลองจากทั้ง 2 ส่วน มี total soluble solid (TSS) ซึ่งวัดเป็น °Brix และ % titratable acidity (TA) ไม่แตกต่างกันในทางสถิติไม่ว่าเป็นผลที่มาจากต้นที่ปลูกกลางแจ้ง หรือมีการพรางแสง แสดงให้เห็นว่า แสงไม่มีผลต่อปริมาณกรด และน้ำตาลภายในผล (ตารางที่ 7) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ TSS และ TA ของผลปกติหรือผลที่มีอาการผิดปกติไม่ว่าจะเป็นอาการเนื้อแก้ว-ยางไหล หรือเนื้อแก้ว+ยางไหล ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ซึ่งต่างจากรายงานของ สุมิตรา และนารี (2554) ซึ่งพบว่าผลที่มีอาการเนื้อแก้ว+ยางไหลมีค่า TSS ต่ำกว่าผลชนิดอื่นและสุมิตรา และคณะ (2552) ผลปกติมีค่า TSS ต่ำกว่าผลชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 Total soluble solid (TSS) and % Titratable acidity (%TA) ในแต่ละตำรับการทดลอง

ตำรับการทดลอง	Total soluble solid (°Brix)		% Titratable acidity	
	ส่วน 1	ส่วน 2	ส่วน 1	ส่วน 2
กลางแจ้ง	16.6	16.9	0.60	0.61
พรางแสง	16.5	17.0	0.60	0.59
<i>t-test (P=0.05)</i>	ns	ns	ns	ns

ตารางที่ 8 Total soluble solid (TSS) and % Titratable acidity (%TA) แยกตามชนิดของผล

ชนิดผล	Total soluble solid (°Brix)		% Titratable acidity	
	ส่วน 1	ส่วน 2	ส่วน 1	ส่วน 2
ผลปกติ	16.7	17.3	0.58	0.57
เนื้อแก้ว	16.5	16.9	0.62	0.60
ยางไหล	16.5	16.9	0.60	0.60
เนื้อแก้ว+ยางไหล	16.5	16.8	0.61	0.62
<i>P<0.05</i>	ns	ns	ns	ns

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

6. ปริมาณ Cell wall material (CWM)

ความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับผลมังคุดเกิดเนื่องจากความเสียหายของผนังเซลล์ ทั้งอาการเนื้อแก้วซึ่งเป็นอาการที่ผนังเซลล์ของเนื้อแตก ส่วนอาการยางไหลเกิดจากท่อน้ำยางแตก จึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของผนังเซลล์ (cell wall material, CWM) ของผลมังคุดที่ระยะต่างๆ ของการเจริญเติบโต เพื่อดูพัฒนาของ cell wall material ว่ามีลักษณะการเพิ่มขึ้นอย่างไร โดยวิเคราะห์ส่วนที่เป็น alcohol Insoluble Solid (AIS) โดยถือว่าส่วนที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์คือส่วนที่เป็นผนังเซลล์ ผลปรากฏว่า ปริมาณ CWM ในเปลือกเพิ่มขึ้นตามอายุผลที่เพิ่มขึ้นจนถึงอายุผล 5-6 สัปดาห์ในทั้ง 2 ส่วน หลังจากนั้น ปริมาณ CWM เพิ่มขึ้นและลดลงในช่วงระหว่าง 210 – 230 mg/gFW โดยทั้งตำรับการทดลองที่ปลูกกลางแจ้งและตำรับการทดลองที่พรางแสงมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน แต่ตำรับการทดลองที่อยู่กลางแจ้งมีค่า CWM สูงกว่าตำรับที่มีตาข่ายพรางแสง โดยใช้ชาเลน (ส่วนที่ 1) หรือมีร่มเงาต้นไม้อื่น (ส่วนที่ 2) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกของการเจริญเติบโตพบที่มีความแตกต่างกันทางสถิติในหลายครั้งที่เก็บตัวอย่าง แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 7 ไปแล้ว ปริมาณ CMW ไม่มีความแตกต่างกันระหว่าง 2 ตำรับการทดลองและทั้ง 2 ส่วน (รูปที่ 5a และ 5b) โดยทั้ง 2 ส่วนมีค่า CMW ในช่วงท้ายของพัฒนาผลใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงแรกของการพัฒนาผล ค่า CWM ของส่วนที่ 1 ต่ำกว่าส่วนที่ 2 จึงทำให้มีอัตราเพิ่มในระยะแรกเร็วกว่าส่วนที่ 2

ในกรณีของผิวเปลือก พบว่าค่า CWM มีแนวโน้มลักษณะเดียวกับเปลือก คือเพิ่มขึ้นในระยะแรกจนถึงประมาณ 8 สัปดาห์ หลังจากนั้น CWM เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งพบในทั้ง 2 ส่วน โดยทั้ง 2 ตำรับการทดลอง

เอ็กสาร์ทเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำมาใช้เพื่อประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดอายุการพัฒนาของผล 13 สัปดาห์ (รูปที่ 5a และ 5b) โดยภาพรวมแล้ว ปริมาณ CWM ของผิวเปลือกสว่นที่ 2 มีแนวโน้มสูงกว่าสว่นที่ 1 เล็กน้อย

สำหรับปริมาณ CWM ของเนื้อม้กคุด ซึ่งเริ่มวิเคราะห์ได้เมื่ออายุ 5 สัปดาห์ พบว่า มีลักษณะแตกต่างจากเปลือกและผิวเปลือกอย่างชัดเจน กล่าวคือ เมื่ออายุผลมากขึ้น และขนาดผลใหญ่ขึ้น ปริมาณ CWM ในเนื้อกลับลดลง คล้ายกับที่พบในส่วนของธาคูอาหาร ทั้งนี้ น่าจะเกิดจากการที่ไม่มีการสร้าง CWM เพิ่มขึ้น เพียงแต่เซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อคำนวณต่อหน่วยน้ำหนักจึงพบว่า CWM ลดลงตามอายุผลแต่ปริมาณ CWM ในเนื้อของทั้ง 2 ตัวรับการทดลองไม่แตกต่างกันยกเว้น เมื่อผลอายุ 7 สัปดาห์ (สว่นที่ 1) และ เมื่อผลอายุ 5 และ 12 สัปดาห์ (สว่นที่ 2) อย่างไรก็ตาม สว่นที่ 2 มีแนวโน้มจะมีค่า CWM ในเนื้อม้กคุดสูงกว่า สว่นที่ 1 เล็กน้อยตลอดอายุของการเก็บตัวอย่าง (รูปที่ 5a และ 5b)

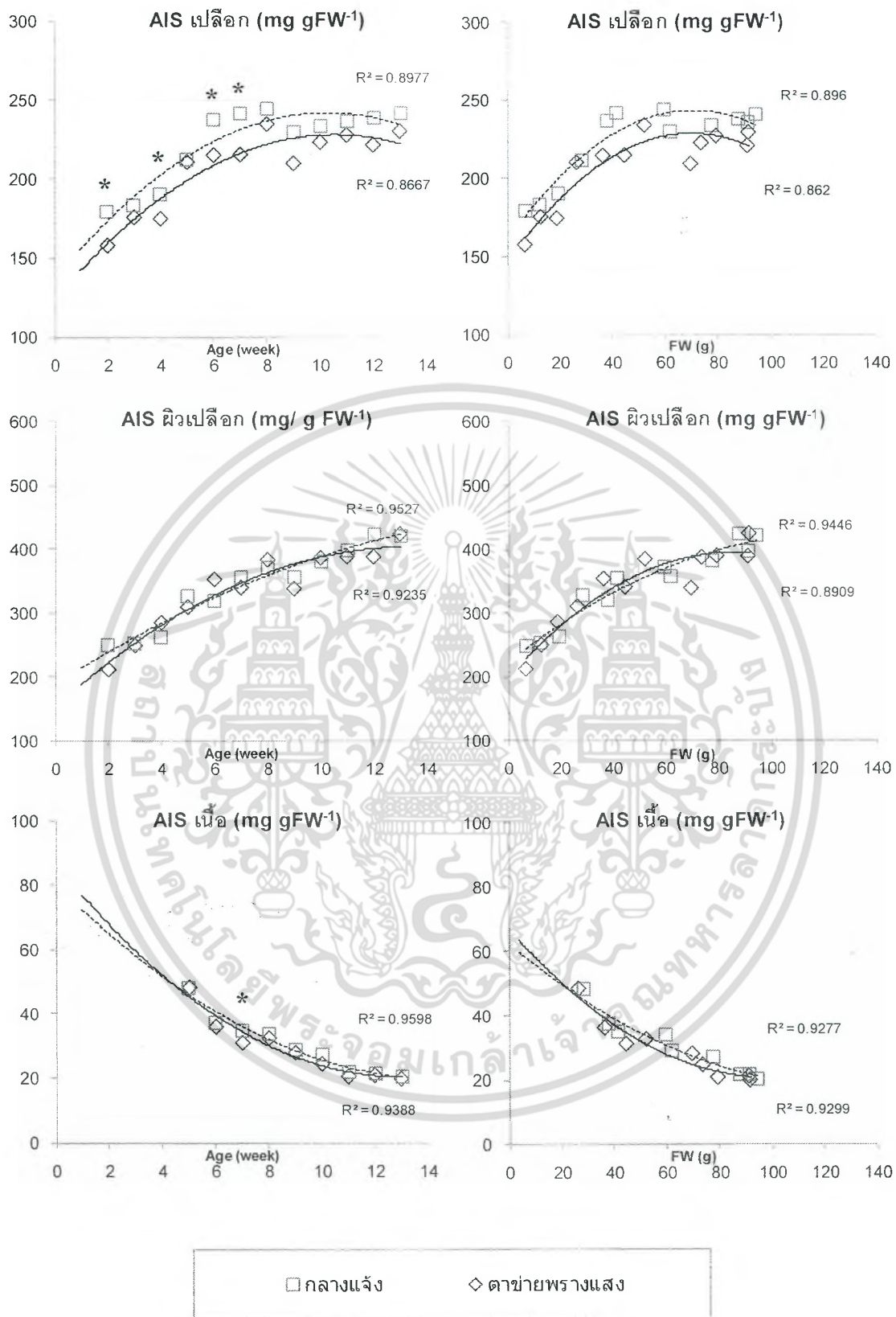
เมื่อนำปริมาณ CWM มาหาความสัมพันธ์กับขนาดของผลม้กคุดพบว่า ปริมาณ CWM ของเปลือกเพิ่มขึ้นตามขนาดของผลที่เพิ่มขึ้น จนถึงช่วงที่ผลมีขนาดประมาณ 40-50 กรัม หลังจากนั้น ปริมาณ CWM เพิ่มขึ้นหรือลดลงในช่วงแคบ ๆ เหมือนกับที่พบในอายุผล (รูปที่ 5a และ 5b) เนื่องจากขนาดผลมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับอายุผลดังรูปที่ 1a และ 1b ในกรณีของผิวเปลือกม้กคุด พบว่า ปริมาณ CWM เพิ่มขึ้นจนถึงเมื่อผลมีขนาดประมาณ 60-70 กรัม หลังจากนั้นปริมาณ CWM เพิ่มขึ้นเล็กน้อย คล้ายกับที่พบในเปลือก

ส่วน CWM ในเนื้อลดลงตามขนาดของผล เนื่องจากปริมาณ CWM ของเนื้อมีการสร้างขึ้นในระยะแรกเริ่มพัฒนาการของเนื้อเท่านั้นดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น การลดลงของ CWM ในเนื้อเกิดขึ้นในช่วงแรกของการพัฒนาผล เมื่อผลอายุประมาณ 6-8 สัปดาห์ หรือ หนักประมาณ 60-80 กรัม ปริมาณ CWM ในเนื้อค่อนข้างคงที่

7. ปริมาณเพกตินในผนังเซลล์

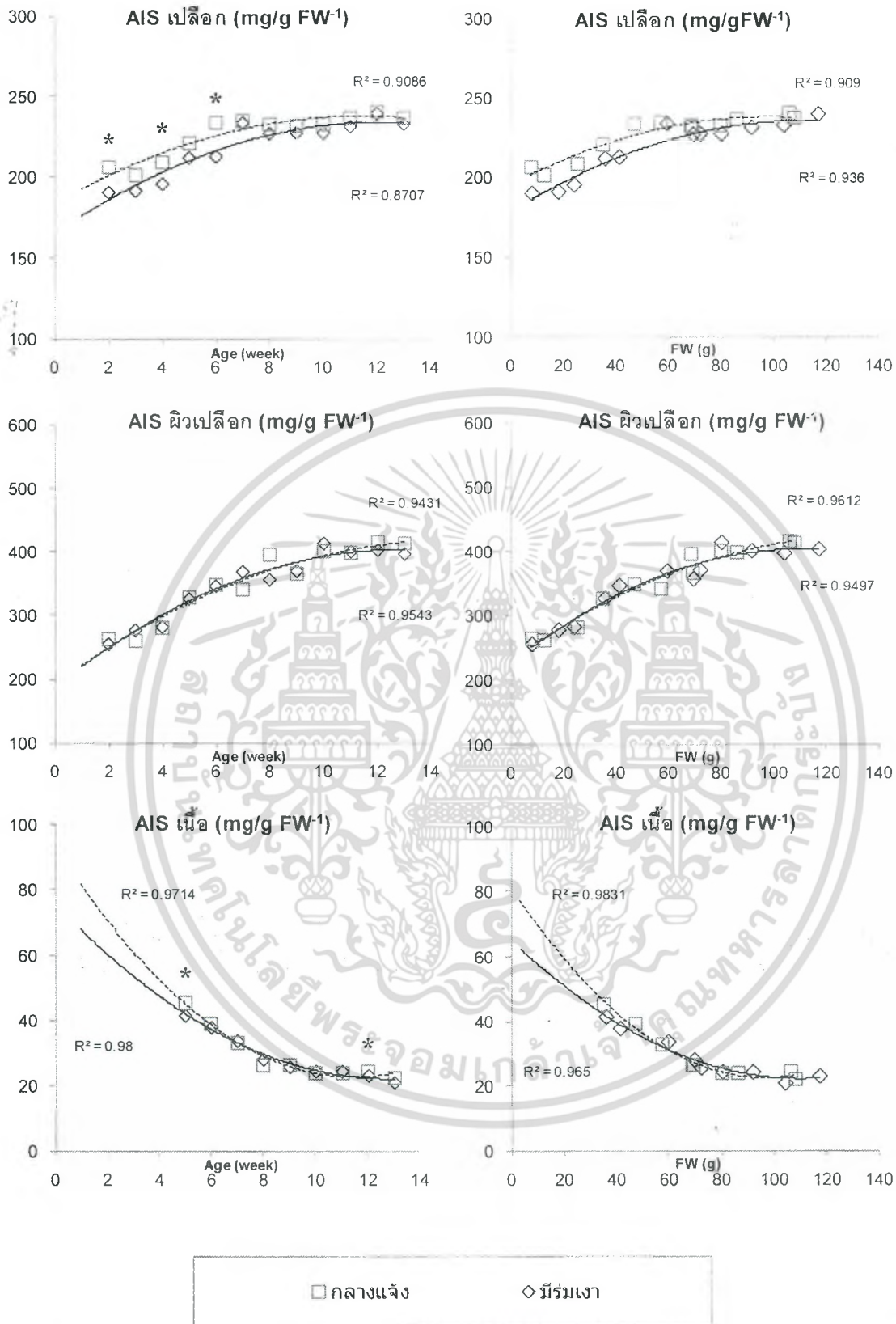
เพกตินเป็นส่วนประกอบสำคัญของผนังเซลล์ และมีบทบาทหน้าที่หลากหลายในพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแข็งแรงของเซลล์ ผนังเซลล์ของพืชประกอบด้วย middle lamella, primary cell wall, secondary cell wall (ในพืชบางชนิด) และ plasma membrane โดยทั่วไป ผนังเซลล์ประกอบด้วยน้ำ 60% และ polymer 40% ในส่วนของ polymer มีเพกตินเป็นองค์ประกอบประมาณ 20-35% (Javis, 1982) โดยพบเพกตินใน middle lamella มากที่สุดประมาณ 10-30% ซึ่งเพกตินจะเชื่อมแบบไขว้ (cross-links) กับ Ca^{+2} ทำให้เกิดแรงยึดแบบ cohesive ในโครงสร้าง บทบาทสำคัญอันหนึ่งของเพกตินใน middle lamella คือยึดผนังเซลล์ที่อยู่ติดกันเข้าไว้ด้วยกัน สายโซ่ของเพกติน (pectin chain) สามารถก่อตัวเป็น gel-like network ซึ่งทำให้เกิดความแข็งแรง (firmness) ของโครงสร้าง การศึกษาเกี่ยวกับเพกตินจึงสำคัญต่อการเข้าใจถึงปัญหาที่เกิดจากความแข็งแรงของผนังเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5a ปริมาณ cell wall materials ของเนื้อ เปลือกและผิวเปลือกมังคุดในระยะพัฒนาการต่างๆ สวน 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5b ปริมาณ cell wall materials ของเนื้อ เปลือกและผิวเปลือกมังคุดในระยะพัฒนาการต่างๆ ส่วน 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1 เปลือกมังคุด

ผลการวิเคราะห์ปรากฏว่าปริมาณ เพกตินทั้งหมด (total pectin) เพกตินในเปลือกเพิ่มขึ้น อย่างช้า ๆ ตลอดอายุการพัฒนาผลทั้ง 2 ส่วน และทั้ง 2 ดำรับการทดลอง (ตารางที่ 9) เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 ดำรับการทดลองพบว่า ทั้ง 2 ส่วนมีปริมาณเพกตินเฉลี่ยใกล้เคียงกัน โดยบางช่วงของการเก็บตัวอย่างดำรับที่อยู่กลางแจ้งมีปริมาณเพกตินทั้งหมดสูงกว่าดำรับที่มีการพรางแสง แต่ในบางช่วงกลับเป็นไปในทางตรงกันข้าม โดยภาพรวมแล้ว การพรางแสงไม่มีผลต่อปริมาณเพกตินทั้งหมดในเปลือก

ตารางที่ 9 ปริมาณเพกตินทั้งหมด (total pectin, mg/gCW) ในเปลือกมังคุดจากการทดลอง 2 ส่วน

อายุผล (สัปดาห์)	ส่วนที่ 1			ส่วนที่ 2		
	กลางแจ้ง	พรางแสง	t-test	กลางแจ้ง	พรางแสง	t-test
2	80.6	77.3	ns	81.9	79.6	ns
3	90.2	84.0	ns	94.3	87.0	ns
4	93.8	98.8	ns	92.5	105.7	ns
5	106.6	99.1	ns	107.0	104.9	ns
6	111.0	112.7	ns	115.3	118.1	ns
7	121.3	109.5	ns	118.5	115.1	*
8	120.4	126.4	ns	129.9	132.3	ns
9	132.0	130.2	ns	138.0	137.1	ns
10	145.6	135.8	ns	148.5	138.8	ns
11	138.1	131.7	ns	146.6	137.6	*
12	135.6	138.1	ns	138.2	143.6	ns
13	134.0	129.1	*	135.9	130.1	ns
เฉลี่ย	117.4	114.4	ns	120.5	119.2	ns

7.2 เนื้อมังคุด

เพกตินทั้งหมดในเนื้อมังคุดแตกต่างจากในเปลือก โดยเพกตินทั้งหมดในเนื้อจากดำรับที่อยู่กลางแจ้งมีแนวโน้มสูงกว่าดำรับการทดลองที่มีการพรางแสงตลอดอายุการเก็บตัวอย่าง โดยพบความแตกต่างกันทางสถิติในบางช่วงของการเก็บตัวอย่าง (ตารางที่ 10) เป็นที่น่าสังเกตว่า ปริมาณเพกตินในเนื้อมังคุดของส่วนที่ 2 สูงกว่าส่วนที่ 1 ค่อนข้างมาก กล่าวคือ ส่วนที่ 2 มีปริมาณเพกตินทั้งหมดในดำรับที่อยู่กลางแจ้ง เท่ากับ 220.3 mg/gCw ในขณะที่ดำรับที่มีร่มเงามีปริมาณเพกตินทั้งหมด 216.1 mg/gCw ในขณะที่ส่วนที่ 1 มีค่าเพกตินทั้งหมด เท่ากับ 164.5 และ 156.8 mg/gCw ตามลำดับ ซึ่งส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่มีผลที่ผิดปกติ (เนื้อแก้ว ขางไหล และ เนื้อแก้ว+ขางไหล) น้อยกว่าส่วนที่ 1 ค่อนข้างมากโดยส่วนที่ 2 มีผลปกติ 58-59% ในขณะที่ส่วนที่ 1 มีผลปกติเพียง 44-49% เท่านั้น (ตารางที่ 3) การที่เนื้อมังคุดมีปริมาณเพกตินสูง น่าจะทำให้เนื้อมังคุดมีความยืดหยุ่นดีกว่าเนื้อเปลือกซึ่งเป็นเอกสารที่สวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า มังคุดที่มีเพกตินน้อย สายโซ่ของเพกติน (pectin chain) สามารถก่อตัวเป็น gel-like network ซึ่งทำให้เกิดความไม่ว่องไวใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็งแรง (firmness) ของโครงสร้าง การศึกษาเกี่ยวกับเพกตินจึงสำคัญต่อการเข้าใจถึงปัญหาที่เกิดจากความแข็งแรงของผนังเซลล์ (Harholt et al., 2010) นอกจากนี้ ยังพบว่า ส่วนที่ 2 มีอาการเนื้อแก้ว+ยางไหลค่อนข้างน้อย ซึ่งอาการเนื้อแก้ว+ยางไหลนี้ เป็นอาการที่รุนแรงที่สุด ผลที่มีอาการนี้ไม่สามารถรับประทานได้ ทั้งนี้อาจเนื่องจากเซลล์มีความยืดหยุ่นมากกว่า จึงทำให้ส่วนที่ 2 มีอาการเนื้อแก้ว+ยางไหลน้อยมาก ส่วนอาการเนื้อแก้วส่วนมากจะเกิดที่กลีบของเนื้อที่มีขนาดใหญ่ อาการจึงไม่รุนแรง และยังสามารถรับประทานได้

ตารางที่ 10 ปริมาณเพกตินทั้งหมด (total pectin, mg/gCW) ในเนื้อมังคุดจากการทดลอง 2 ส่วน

อายุผล (สัปดาห์)	ส่วนที่ 1			ส่วนที่ 2		
	กลางแจ้ง	พรางแสง	t-test	กลางแจ้ง	พรางแสง	t-test
2	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	111.0	106.5	ns	161.3	159.9	ns
6	128.9	127.3	ns	177.9	173.9	ns
7	139.3	134.0	ns	185.7	182.5	ns
8	152.1	149.3	ns	211.1	211.2	ns
9	163.8	150.6	*	221.3	220.9	ns
10	178.5	166.7	*	233.0	232.2	ns
11	201.8	188.8	ns	251.4	247.9	ns
12	198.1	192.8	ns	265.5	252.3	*
13	206.6	195.0	ns	275.1	264.2	*
เฉลี่ย	164.5	156.8	*	220.3	216.1	ns

* ยังไม่มีการพัฒนาของเนื้อ

8. ปริมาณธาตุอาหารในผนังเซลล์

เมื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของ Ca ในผนังเซลล์พบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ Ca ใน CWM ใกล้เคียงกันทั้ง 2 ดำรับการทดลอง และพบในทั้ง 2 ส่วน แต่มีแนวโน้มว่าดำรับที่มีการพรางแสงมีความเข้มข้นของ Ca สูงกว่าดำรับที่อยู่กลางแจ้ง โดย Ca มีแนวโน้มลดลง เมื่อผลมีอายุมากขึ้น เนื่องจากการสร้างผนังเซลล์มากขึ้น จึงเกิด dilution effect เหมือนที่พบในเนื้อมังคุด (ตารางที่ 11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 ความเข้มข้นของแคลเซียม (mgCa/gCW) ในผนังเซลล์ของเนื้อมังกุดจากการทดลอง 2 ส่วน

อายุผล (สัปดาห์)	ส่วนที่ 1			ส่วนที่ 2		
	กลางแจ้ง	พรางแสง	t-test	กลางแจ้ง	พรางแสง	t-test
2	*	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	3.02	3.13	ns	6.88	6.97	ns
6	2.74	2.61	ns	5.59	6.08	ns
7	3.01	2.87	ns	5.53	6.07	ns
8	2.54	2.88	*	4.72	5.14	ns
9	2.48	2.69	ns	5.19	5.51	ns
10	2.73	3.00	*	4.17	4.14	ns
11	2.63	2.72	ns	4.39	5.04	ns
12	2.70	2.89	ns	4.59	4.63	ns
13	2.77	2.69	*	3.75	4.01	ns
เฉลี่ย	2.74	2.83	ns	4.98	5.29	ns

* ยังไม่มีการพัฒนาของเนื้อ

เมื่อนำข้อมูลความเข้มข้นของเพกตินในเนื้อมังกุดมาหาสัดส่วนกับ Ca พบว่าส่วนที่ 1 มีสัดส่วนของเพกตินทั้งหมดต่อ Ca สูงกว่าส่วนที่ 2 (ตารางที่ 12) ซึ่งการที่มีเพกตินมากแต่ Ca น้อยน่าจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ ผนังเซลล์ไม่มีความยืดหยุ่น จึงเกิดอาการผิปกดที่เนื้อมังกุดได้ง่าย นอกจากนี้ยังพบว่า ส่วนที่ 1 มีความเข้มข้นของ Mg ในเนื้อสูงกว่าส่วนที่ 2 ซึ่งการที่มี Mg สูง อาจแข่งขันกับ Ca ในผนังเซลล์เพื่อจับกับประจุลบ ในเนื้อเยื่อที่มี K/Ca หรือ (K+Mg)/Ca/ สูงจะมีอาการผิปกดของเนื้อเยื่อได้ง่าย (de Freitas et al., 2010) อาการ itter pit ในแอปเปิล มีความสัมพันธ์กับสัดส่วนระหว่าง K/Ca หรือ (K+Mg)/Ca ของเนื้อเยื่อมากกว่าความเข้มข้นของ Ca อย่างเดียว (Piestrzeniewicz and Tomala, 2001)

แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า เมื่อเปรียบเทียบภายในสวนเดียวกัน ผลมังกุดที่มาจากต้นที่อยู่กลางแจ้งกลับมีสัดส่วนของเพกตินต่อ Ca สูงกว่า อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ต่างกันน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับความแตกต่างที่พบระหว่าง 2 สวน

ตารางที่ 12 สัดส่วนปริมาณเพกตินทั้งหมดต่อแคลเซียมในผนังเซลล์ของเนื้อมังคุด

อายุผล (สัปดาห์)	ส่วนที่ 1			ส่วนที่ 2		
	กลางแจ้ง	พรางแสง	t-test	กลางแจ้ง	พรางแสง	t-test
2	*	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	36.8	33.9	ns	23.4	23.0	ns
6	47.0	48.7	ns	31.8	28.6	ns
7	46.3	46.7	ns	33.6	30.1	ns
8	59.9	51.7	ns	44.7	41.1	ns
9	66.0	56.1	*	42.6	40.1	ns
10	65.4	55.7	ns	55.9	56.1	ns
11	76.7	69.5	ns	57.3	49.2	*
12	73.4	66.8	ns	57.8	54.5	ns
13	74.6	67.5	ns	73.4	65.9	*
เฉลี่ย	60.7	55.7	*	46.7	43.2	*

* ยังไม่มีการพัฒนาของเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- คาโอริ อีโนอุเอะ. 2551. การส่งออกสู่ญี่ปุ่น- ความสำคัญของเวลาและคุณภาพ. เอกสารประกอบการสัมมนา Just in Time ผลไม้คุณภาพสู่ตลาดญี่ปุ่น โรงแรมมณีจันทร์รีสอร์ท จังหวัดจันทบุรี 27-28 พฤศจิกายน 2551
- ชนสิต ลิ้มปาวิภากร. 2541. อาการยางไหลในผลมังคุดจากส่วนต่างๆ ของทรงพุ่ม. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน.
- ธีรวัฒน์ บุญสม. 2533. การพัฒนาและการสุกแก่ของผลและเมล็ดมังคุด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ธีรวัฒน์ ชูตินันทกุล. 2544. การป้องกันการเกิดเนื้อแก้วและยางไหลภายในผลของมังคุดและเทคนิคการตัดแยก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- วรภัทร ลัคนาทินวงศ์. 2539. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ความมีชีวิตของเซลล์และปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเนื้อแก้วในผลมังคุด. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน.
- ศิริวรรณ แดงจำเริญ. 2543. กลไกการเกิดเนื้อแก้วของผลมังคุด. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน.
- สุนทรียังชัชวาลย์. 2553. เพื่อความเข้าใจเรื่องการให้น้ำแก่พืช. ข่าวสารเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร ฉบับที่ 2 มกราคม – มีนาคม 2553 หน้า 14-17.
- สุมิตรา กุ้วโรดม พรทิวา กัญยวงศ์หา และนุจรีย์ บุญเปล่ง. 2547. การกำหนดค่ามาตรฐานธาตุอาหารในใบสำหรับมังคุด. ว.วิทย์. กษ. 35 (3-4) : 87-95.
- สุมิตรา กุ้วโรดม และคณะ. 2547. การวิเคราะห์พืชเพื่อเป็นแนวทางการใส่ปุ๋ยในมังคุด รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย กรุงเทพฯ.
- สุมิตรา กุ้วโรดม และคณะ. 2552. การจัดการธาตุอาหารเพื่อลดอาการเกิดเนื้อแก้วและยางไหลในมังคุด รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย กรุงเทพฯ.
- สุมิตรา กุ้วโรดม และนารี พันธุ์จินดาวรรณ. 2554. การจัดการแคลเซียมและโบรอนเพื่อลดอาการเนื้อแก้วและยางไหลในมังคุด และ ความสัมพันธ์ระหว่างแคลเซียมและโบรอนในผนังเซลล์กับอาการผิดปกติของผลมังคุด รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ
- เสาวภา ลิ้มพันธุ์อุดม. 2544. อิทธิพลของน้ำต่อการเกิดเนื้อแก้วในผลมังคุด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Ahmed, A.E.R. and Labavitch, J.M. 1977. A simplified method for accurate determination of cell wall uronide content. J. Food Biochem. 1:361-365.
- Allen, S.E. 1971. Chemical Analysis of Ecological Materials. John Wiley and Sons, New York.
- Blumenkrantz, N. and G. Asboe-Hansen. 1973. New Method for Quantitative Determination of Uronic Acids. Analytical Biochemistry. 54: 484-489.
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

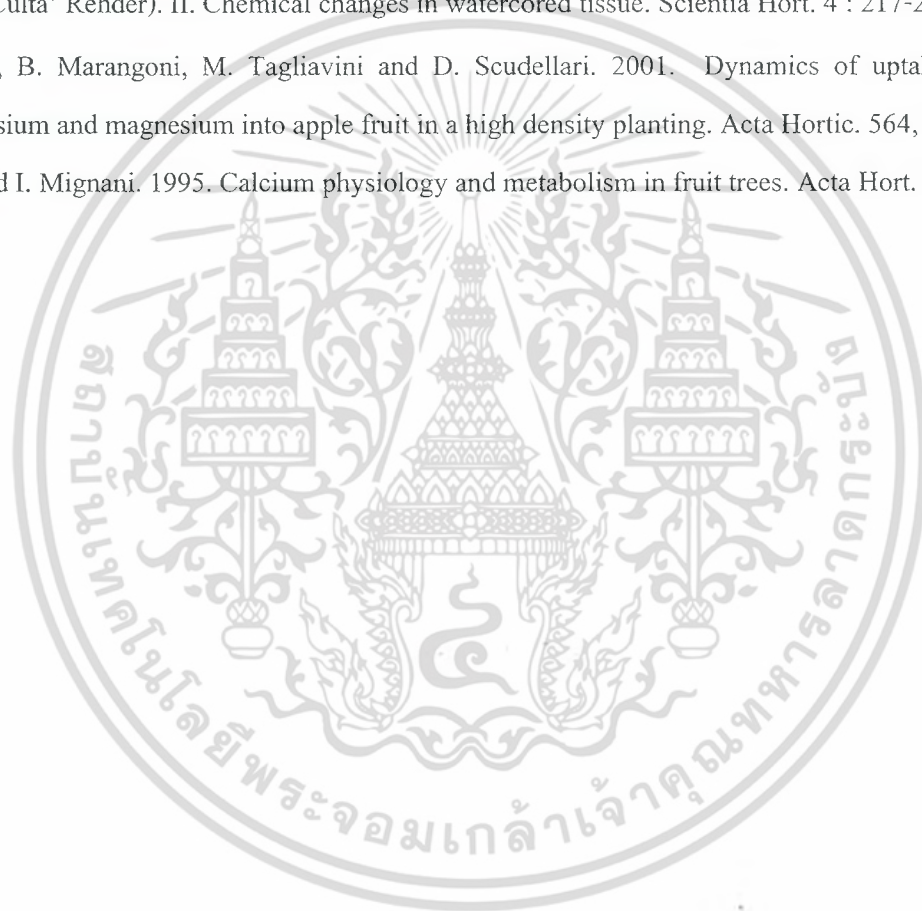
- Brown, P.H. and H. Hu. 1996. Phloem mobility of boron is species dependent: Evidence for phloem mobility in sorbitol-rich species. *Ann. Bot.* 77: 497-505.
- Chun, P.-J., F. Tamura, K. Tanabe and A. Itai. 2003. Physiological and chemical changes associated with watercore development induced by GA in Japanese pear 'Akibae' and 'Housui'. *J. Japan Soc. Hort. Sci.* 72: 378-384.
- Clark, C.J. and G.S. Smith. 1990. Seasonal changes in the composition, distribution and accumulation of mineral nutrients in persimmon fruit. *Scientia Hort.* 42:99-111.
- dé Freitas, S.T., C.V.T. do Amarante, J.M. Labavitch, and E.J. Mitcham. 2010. Cellular approach to understand bitter pit development in apple fruit. *Postharvest Biology and Technology* 57:6-13.
- Diaz-Perez, J.C. 2013. Bell pepper (*Capsicum annum* L.) crop as affected by shade level: Microenvironment, plant growth, leaf gas exchange, and leaf mineral nutrient concentration. *HortSci.* 48: 175-182.
- Faust, M. 1989. *Physiology of Temperate Zone Fruit Trees*. John Wiley and Sons, New York.
- Gemma, H., S. Oomori, S. Sugaya, S-A. Peng and S. Iwahori. 2002. Study on watercore occurrence in 'Hosui' Japanese pear. *Acta Hort.* 596 : 845-850.
- Harholt, J., A. Suttangkakul and H.V. Scheller. 2010. Biosynthesis of pectin. *Plant Physiol.* 153: 384-395.
- Hu, H. and P. H. Brown. 1994. Localization of boron in cell walls of squash and tobacco and its association with pectin : evidence for structural role of boron in the cell wall. *Plant Physiol.* 105: 681-689.
- Huang, X., H.C. Wang, J. Li, W. Yuan, J. Lu, H.B. Huang and J. Yin. 2005. An overview of calcium's role in lychee fruit cracking. *Acta Hort.* 665: 231-240.
- Javis, M.C. 1982. The proportion of calcium-bound pectin in plant cell walls. *Planta.* 154:344-346.
- Kobayashi, M., H. Nakagawa, T. Asaka and T. Matoh. 1999. Borate-rhamnogalacturonan II bonding reinforced by Ca²⁺ retains pectin polysaccharides in higher-plant cell walls. *Plant Physiol.* 119: 199-203.
- Lang, A. 1990. Xylem, phloem and transpiration flows in developing apple fruits. *J. Exp. Bot.* 41: 645-651.
- Li, J.G., H.B. Huang, F.F. Gao, X.M. Huang and H.C. Wang. 2001. An overview of litchi fruit cracking. *Acta Hort.* 558 : 205-208.
- Loomis, W.D. and R.W. Durst. 1992. Chemistry and biology of boron. *Biofactors* 3:229-239.
- Madrid, R., M. Valverde, V.A. Sicoles and F. Romojaro. 2004. Influence of calcium nutrition on water soaking disorder during ripening of cantaloupe melon. *Scientia Hort.* 101: 69-79.
- Matoh, T. and M. Kobayashi. 1998. Boron and calcium, essential inorganic constituents of pectic polysaccharides in higher plant cell wall. *J. Plant Res.* 111: 179-190.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Match, T., K. Ishigaki, M. Mizutani, W. Matsunaga and K. Takabe. 1992. Boron nutrition of cultured tobacco BY-2 cells. I. Requirement for and intracellular localization of boron and selection of cells that tolerate low levels of boron. *Plant Cell Physiol.* 33: 1135-1141.
- Maynard, D.N. 1979. Nutritional disorder of vegetable crops : A review. *J. Plant Nutrition* 1: 1-23.
- Mortensen, L.M., C.O. Ottosen and H.R. Gislerod. 2001. Effects of air humidity and K:Ca ratio on growth morphology, flowering and keeping quality of pot roses. *Scientia Hort.* 90: 131-141.
- Piesterzeniewicz, C. and Tomala, K. 2001. Some factors influencing storage ability of 'Jonagold' apples. *Acta Hort.* 564: 435-442.
- Pludbuntong, W., C. Makhonpas and S. Poovarodom. 2007. Nutrient content in translucent flesh and gamboges disorders of mangosteen fruits (*Garcinia mangostana* L.). p.30-34. Proceedings of the International Conference on Integration of Science & Technology for Sustainable Development. 26-27 April, 2007. Bangkok, Thailand.
- Poovarodom, S. and N. Boonplang. 2008. Soil calcium application and pre-harvest calcium and boron sprays on mangosteen fruit quality. Paper presentation at the VI International Symposium on mineral nutrition of fruit crops. 19-23 May, 2008. Faro, Portugal.
- Poovarodom, S. 2009. Growth and nutrient uptake into mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) fruit. The Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI, 26-30 August, 2009, Sacramento, CA.
- Rosolem, C.A. and V.M. Leite. 2007. Coffee leaf and stem anatomy under boron deficiency. *R. Bras. Ci. Solo* 31: 477-483.
- Sharples, R.O. 1980. The influence of orchard nutrition on the storage quality of apples and pears grown in the United Kingdom. p. 17-28. *In* Atkinson et al. (eds) *Mineral Nutrition of Fruit Trees*. Butterworths, London.
- Shear, C.B. 1975. Calcium-related disorders of fruits and vegetables. *HortSci.* 10: 361-365.
- Sparks, D. L., A.L. Page, P.A. Helmeke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Summer (eds.). 1996. *Methods of Soil Analysis. Part 3 : Chemical Methods*. Soil Science Society of America Book Ser. 5, SSSA and ASA, Wisconsin, USA.
- Storey, R. and M.T. Treeby. 2000. Seasonal changes in nutrient concentrations of navel orange fruit. *Scientia Hort.* 84: 67-82.
- Tromp, J. 1979. The intake curve for calcium into apple fruits under various environmental conditions. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 10: 325-335.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Tromp, J. and J. Oele. 1972. Shoot growth and mineral composition of leaves and fruits of apple as affected by relative air humidity. *Physio. Plant.* 27: 253-258.
- White, P.J. and M.R. Broadley. 2003. Calcium in plant. *Ann. Bot.* 92: 487-511.
- Wilkinson, B.G. and M.A. Perring. 1964. Changes in the chemical composition of apples during development, and near picking. *J.Sci. Fd. Agric.* 164: 146-152.
- Xiao, J.X., Yan, X. S.A. Peng and Y.W. Fang. 2007. Seasonal changes of mineral nutrients in fruit and leaves of 'Newhall' and 'Skagg's Bonnaza' navel oranges. *J. Plant Nutrition* 30: 671-690.
- Yamaki, S. I. Kajiura, M. Omura and K. Matsuda. 1976. Watercore in Japanese pear (*Pyrus serotina* Rehder var. 'Culta' Rehder). II. Chemical changes in watercored tissue. *Scientia Hort.* 4 : 217-277.
- Zavalloni, C., B. Marangoni, M. Tagliavini and D. Scudellari. 2001. Dynamics of uptake of calcium, potassium and magnesium into apple fruit in a high density planting. *Acta Hort.* 564, 113-121.
- Zocchi, G. and I. Mignani. 1995. Calcium physiology and metabolism in fruit trees. *Acta Hort.* 383: 15-23.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้