



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การจัดการธาตุอาหารเพื่อลดปัญหาการเกิดเนื้อแก้ว
และยางไหลในมังคุด

โดย รศ.ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม และคณะ

สิงหาคม 2552

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การจัดการธาตุอาหารเพื่อลดปัญหาการเกิดเนื้อแก้ว
และยางไหลในมังคุด

คณะผู้วิจัย

สังกัด

รศ.ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม

ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สจล.

น.ส.นุจรี บุญแปลง

ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สจล.

น.ส.นารี พันธุจินดาวรรณ

ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สจล.

ดร.ชัยวัฒน์ มกรเทศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

ชุดโครงการ ทูเรียนและพื้นที่ภาคตะวันออก

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

Executive Summary

Project Title: Reduction of translucent flesh and gamboge disorders in mangosteen by nutrient management

Translucent flesh disorder (TFD) and gamboges disorder (GD) are the two major causes of reduced fruit quality in mangosteen. These disorders pose the problem that it only becomes apparent in pulp and, therefore, external visual detection is impossible and the marketing of the affected fruits can not be avoided. Translucent flesh usually found in large segments (carpels) but in a severe case, all segments of the fruits became translucent. The symptoms include flesh changes from white to translucent and texture change from soft to firm and crispy. Gamboge disorder displays a yellow gum in the rind and/or in the flesh resulting in bitter flesh taste. Excessive rain and water during pre-harvest period increase the number of TFD and GD. However, TFD and GD incidences vary significantly among trees within the same orchard that encountered the same climatic conditions, which indicated that internal factors in the trees are also affecting TFD and GD incidences. Among all the internal factors, tree nutrient status is the prime concern and among the mineral nutrients, calcium is the most extensively studied. Calcium deficiency causes many physiological disorders in various fruit species such as bitter pit in apple and blossom-end rot in tomato. These physiological disorders have generally associated with low calcium transport to the fruit due to immobility of Ca ions in phloem sap. Thus, it is important to evaluate the effect of calcium application on mangosteen quality with the aim to reduce TFD and GD disorders.

Objectives:

1. To evaluate the effect of soil and fruit calcium application on the occurrence of translucent and gamboges disorders in mangosteen fruit.
2. To establish calcium intake curve into mangosteen fruits.
3. To obtain the nutrient composition in TFD, GD and normal mangosteen fruits.

Methodology

1. Field experiments on the effects of soil calcium sulfate application and fruit calcium spray were carried out at a twenty-year-old mangosteen orchard in Chantaburi. Nutrient concentrations in mangosteen fruits during the fruit development period were monitored weekly for the first 5 weeks thereafter the fruits were sampled every 2 weeks until harvested. The data were used to establish nutrient intake into the fruits.

2. Nutrient concentrations in fruits of different qualities (normal, TFD, GD and TFD+GD) were analysed and correlation were established.

3. Effect of fruit bagging on fruit development, nutrient concentrations and nutrient accumulation were investigated.

Results

1. Soil Ca application—with or without foliar sprays—significantly increased the number of normal fruits compared with control in both seasons but the quality of fruit was enhanced by Ca+B spray.

2. The ratio of K/Ca in the flesh was observed to be a good indicator of TFD and TFD+GD. In the case of GD, no direct correlation with nutrient content was observed but we suspected that both Ca and B were involved since the Ca/B ratio of the GD peduncle was significantly higher than the normal fruit.

3. Fruit fresh weight, dry weight increased throughout the growing season in a pattern fitted well by a single sigmoid curve.

4. Concentrations of K, Ca, Mg and B in mangosteen fruit declined sharply during the first 5 weeks after fruit set to reach values which remained relatively constant or decreased only gradually until they were harvested.

5. When the quantity of nutrient accumulation was calculated, it was found that P, K, Mg, B, Cu and Zn increased linearly with time where as the movement of Ca, Fe and Mn into fruit were lower after 7 weeks.

6. Bagging of mangosteen fruit with plastic bag reduced fruit dry weight but had no effect on K, Ca, Mg and B concentrations in fruit.

7. Bagging lower the accumulation of Ca and B which were xylem mobile nutrients, while no influence was found in phloem mobile nutrients such as K and Mg.

บทคัดย่อ

อาการเนื้อแก้วและยางไหลเป็นปัญหาสำคัญในการผลิตมังคุด เนื่องจากเป็นอาการที่เกิดขึ้นภายในผลและไม่สามารถสังเกตได้จากภายนอก ดังนั้น จึงทำการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของการใส่ปุ๋ยแคลเซียมและโบรอนต่อการเกิดอาการเนื้อแก้วและยางไหลในมังคุด เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับแนะนำการจัดการธาตุอาหารแก่เกษตรกร โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) เพื่อศึกษาอิทธิพลของการใส่แคลเซียมทางดิน และการฉีดพ่นแคลเซียมให้ผลมังคุดต่อการเกิดอาการเนื้อแก้วและ/หรือยางไหล 2) เพื่อศึกษาการสะสมแคลเซียมในผลมังคุดระยะการเจริญต่าง ๆ 3) เพื่อศึกษาปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ในผลมังคุดปกติ มังคุดเนื้อแก้ว และมังคุดยางไหล โดยทำการศึกษาในสวนมังคุดอายุ 20 ปีของเกษตรกร ที่อำเภอมะขาม จังหวัดจันทบุรี ดำรับการทดลองประกอบด้วย 1) Control 2) ใส่ CaSO_4 ทางดิน 3) ใส่ CaSO_4 ทางดิน + ฉีดพ่น CaCl_2 ทางใบและผล 4) ใส่ CaSO_4 ทางดิน + ฉีดพ่น $\text{CaCl}_2 + \text{B}$ ทางใบและผล วางแผนการทดลองแบบ RCBD จำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 2 ต้น ใส่ CaSO_4 ในรูปของยิบซัมในเดือนกันยายน 2550 และ 2551 ฉีดพ่น CaCl_2 เข้มข้น 2% ในรูป $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ จำนวน 6 ครั้ง และ B ในรูป solubor 0.25% จำนวน 3 ครั้ง ในฤดูการเจริญเติบโต 2550/2551 เก็บตัวอย่างผลมังคุดอ่อนมาศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและความเข้มข้นของธาตุอาหารในผล ส่วนฤดูการเจริญเติบโต 2551/2552 ศึกษาอิทธิพลของการห่อผลเมื่ออายุระหว่าง 1-4 สัปดาห์ต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารในผลที่อายุ 7 และ 12 สัปดาห์ เมื่อผลแก่พร้อมเก็บเกี่ยวในเดือนพฤษภาคม 2551 และ 2552 เก็บเกี่ยวผลมังคุดแล้วแยกออกเป็น 3 ขนาดตามความต้องการของตลาดคือ ขนาดเล็ก (<60 กรัม) ขนาดกลาง (60-80 กรัม) และ ขนาดใหญ่ (>80 กรัม) ทำการสุ่มตัวอย่างผลมังคุดในแต่ละขนาดจำนวน 5-10 ผล ทำซ้ำแบบเดียวกันจำนวน 3 ครั้ง เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพโดยแยกออกเป็น 4 ชนิด คือ ผลปกติ ผลเนื้อแก้ว ผลยางไหล และ ผลเนื้อแก้ว+ยางไหล หลังจากนั้น แยกผลออกเป็น เนื้อเปลือก ขั้วผล และกลีบเลี้ยง แล้วนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ P, K, Ca, Mg และ B

ผลการทดลองพบว่า การใส่ Ca ทางดินอย่างเดียว หรือร่วมกับการฉีดพ่น Ca และการฉีดพ่น $\text{Ca} + \text{B}$ ลดจำนวนผลที่เกิดเนื้อแก้วและยางไหลได้มากกว่าการควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้ง 2 ปีที่ศึกษา ผลมังคุดที่มีขนาดใหญ่มีแนวโน้มที่จะพบอาการยางไหล และ/หรือเนื้อแก้ว+ยางไหลมากกว่าผลขนาดเล็ก และมีเปลือกหนากว่าผลขนาดเล็กด้วย ผลมังคุดในการทดลองที่ได้รับ Ca ทางดินร่วมกับการฉีดพ่น $\text{Ca} + \text{B}$ ทางใบและผล มีเปลือกบางกว่า มีค่า total soluble solid (TSS) สูงกว่า และมี % titratable acidity ต่ำกว่าการทดลองอื่น ความเข้มข้นของ P และ K ในผลที่มีอาการเนื้อแก้ว และเนื้อแก้ว+ยางไหลสูงกว่าผลปกติและผลยางไหลอย่างมีนัยสำคัญในทั้ง 2 ปีที่ศึกษา ส่วนความเข้มข้นของ Ca พบว่าผลเนื้อแก้ว+ยางไหลสูงกว่าผลปกติทั้ง 2 ปีเช่นกัน แต่ผลเนื้อแก้วไม่พบแนวโน้มที่ชัดเจน โดยทั่วไปแล้วพบว่าเมื่อความเข้มข้นของ K ในผลสูงขึ้นความเข้มข้นของ Ca กลับลดลง แต่ความเข้มข้นของ K หรือ Ca ในผลไม่มีความสัมพันธ์กับอาการผิดปกติในผล

มังกูด เมื่อคำนวณเป็นสัดส่วน K/Ca ซึ่งมักใช้เป็นดัชนีชี้บ่งความผิดปกติในผลไม้ปรากฏว่า K/Ca ในเนื้อของผลเนื้อแก้วและเนื้อแก้ว+ยางไหลสูงกว่าผลปกติและผลยางไหลทั้ง 2 ปีที่ศึกษา แสดงให้เห็นว่า อาการเนื้อแก้วในมังกูดเกิดจากสัดส่วนของ K/Ca ในผลที่ไม่เหมาะสม ส่วนอาการยางไหล ยังไม่สามารถชี้บ่งอย่างชัดเจนว่าเกิดจากธาตุอาหารชนิดใด แต่มีแนวโน้มที่จะเกี่ยวข้องกับธาตุ Ca และ B เนื่องจากสัดส่วน Ca/B ในข้อผล ซึ่งเป็นแหล่งที่มาของยางไหลภายในผลมีแนวโน้มจะสูงกว่าผลชนิดอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูเก็บเกี่ยว 2551 ซึ่งพบอาการยางไหลมาก และได้รับการทดลองที่มีการใส่ Ca ทางดินร่วมกับการฉีดพ่น Ca หรือ Ca+B มีอาการยางไหลและเนื้อแก้ว+ยางไหลน้อยที่สุด

ผลมังกูดมีลักษณะการเจริญเติบโตแบบ single sigmoid curve และมีอายุการเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 12-13 สัปดาห์เป็นต้นไป ความเข้มข้นของธาตุ P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn และ B ในผลมังกูดลดลงเมื่อผลมีอายุเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักผล ทำให้เกิด dilution effect ส่วนกลีบเลี้ยงมี Ca ค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ธาตุอื่น ๆ มีแนวโน้มลดลง ในกรณีของข้อผลพบว่า Ca เพิ่มขึ้น ส่วนธาตุอื่น ๆ ลดลง ยกเว้น P และ K ที่ไม่พบแนวโน้มที่ชัดเจน การสะสมธาตุอาหาร (nutrient accumulation) ของผลมังกูดเพิ่มขึ้นตามขนาดของผลที่เติบโตมากขึ้น โดยธาตุ P, K, Mg, B, Cu และ Zn มีลักษณะการเพิ่มค่อนข้างเป็นเส้นตรง ในขณะที่ Ca, Fe และ Mn ภายหลังจากสัปดาห์ที่ 7 ไปแล้ว เพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง

การห่อผลมังกูดด้วยถุงพลาสติกที่อายุผลตั้งแต่ 1-4 สัปดาห์ ทำให้น้ำหนักแห้งลดลงกว่าผลที่ไม่ห่อเมื่ออายุ 12 สัปดาห์ แต่อายุการห่อผลไม่มีอิทธิพลต่อน้ำหนักแห้งของผล ส่วนความเข้มข้นของธาตุอาหารพบว่า การห่อผลไม่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในผลกลม แต่ทำให้ความเข้มข้นของ Ca ในข้อผลและ B ในทั้งกลีบเลี้ยงและข้อผลลดลง นอกจากนั้นยังพบว่า การห่อผลทำให้การสะสมธาตุ Ca และ B ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่เคลื่อนที่ในท่อน้ำลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผลที่ห่อมีอายุน้อย แต่การห่อผลไม่มีอิทธิพลต่อการสะสมธาตุ K และ Mg ซึ่งเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ในท่ออาหารแต่อย่างใด

ABSTRACT

Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) is susceptible to translucent flesh disorder (TFD) and gamboge disorder (GD). Both are apparent only on the fruit's flesh making external visual inspection impossible. The importance of soil calcium application and pre-harvest Ca and B sprays on these disorders were investigated on a twenty years old mangosteen orchard in Chantaburi province, Eastern Thailand. The experiment was carried out in RCBD with four replications and two mangosteen trees for each replicate. These treatments were 1) no treatment (control), 2) soil Ca application, 3) soil Ca and Ca spray and 4) soil Ca and Ca + B spray. Soil Ca was applied as gypsum in September 2007 and 2008. The Ca spray was applied six times using 2% $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ while B spray was applied three times using 0.25% solubor. The fruit samples were harvested in the middle of May, 2008 and 2009. At harvest, the fruits were separated into three groups based on their size: small (<60 g), medium (60-80 g) and large (>80 g). Then, they were classified as normal fruits, TFD fruits, GD fruits or TFD+GD fruits. The concentrations of K, Ca, Mg and B in the flesh, rind and peduncle were analyzed. It was found that the soil Ca application—with or without foliar sprays—significantly increased the number of normal fruit compared with control in both seasons. Large fruits were susceptible to both TFD and GD disorders and have a thicker rind than small fruits. Treatments with soil Ca combined with Ca +B sprays resulted in fruits which thinner rind, higher total soluble solid and lower % titratable acidity than the other treatments. In both seasons, flesh P and K concentrations in TFD and TFD+GD were significantly higher than the normal or GD only fruits. In the case of Ca, only TFD+GD flesh Ca was higher than the normal fruit in both seasons but the results were not consistent for TFD. It was also found that when the concentration of K in fruit increased, fruit Ca decreased. No correlation could be made between the TFD and GD disorders with either K or Ca concentrations in fruits. Instead, it was found that the ratio of K/Ca in the flesh could be a good indicator of TFD and TFD+GD. The study revealed that high K/Ca ratio led to more TFD and TFD+GD in mangosteen fruits. In the case of GD, no direct correlation with nutrient content was observed but we suspected that Ca and B were involved as Ca/B ratio of peduncle in GD was significantly higher than the normal fruit especially in the year 2007/2008 growing season where higher percentage of GD was found. In addition, lowest number of GD was observed in the soil Ca treatment in combined with Ca + B sprays.

Mangosteen fruit fresh weight, dry weight increased throughout the growing season in a pattern fitted well by a single sigmoid curve and could be harvested after 12-13 weeks after fruit set. Concentration of K, Ca, Mg and B in mangosteen fruit declined sharply during the first 5 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. Calyx Ca remained constant while other nutrients decreased. In contrast, peduncle Ca increased during fruit development but P and K did not show any clear pattern. When the quantity of nutrient accumulation was calculated, it was found that P, K, Mg, B, Cu and Zn increased linearly with time where as the movement of Ca, Fe and Mn into fruit reduced after 7 weeks.

Bagging of mangosteen fruit with plastic bag one to four weeks after fruit set lower fruit dry weight than non-bagged fruits when fruits were 12 weeks old but the time of bagging did not affected fruit weight. Concentrations of fruit K, Ca, Mg and B were not influenced by bagging either. In contrast, bagging lowered Ca and B in both peduncle and calyx. Furthermore, it was found that bagging lower the accumulation of Ca and B which were xylem mobile nutrients, while no influence was found in phloem mobile nutrients such as K and Mg.

สารบัญ

	หน้า
Executive Summary	i
บทคัดย่อ	iii
Abstract	v
สารบัญ	vii
สารบัญตาราง	viii
สารบัญรูป	x
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	6
ผลการทดลองและวิจารณ์	9
สรุปผลการทดลอง	47
เอกสารอ้างอิง	49
ภาคผนวก	53

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 สมบัติดินสวนมังคุดคุณสงวน บุญญฤทธิ์ อ.มะขาม จ.จันทบุรี ที่ระดับความลึก 0-20 ซม. เก็บตัวอย่าง กรกฎาคม 2550 (n=8)	10
2 สมบัติดินสวนมังคุดคุณสงวน บุญญฤทธิ์ อ.มะขาม จ.จันทบุรี ที่ระดับความลึก 0-20 ซม. เก็บตัวอย่าง กรกฎาคม 2551 (n=8)	11
3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของธาตุอาหารในใบมังคุดเมื่อใบมีอายุ 5, 7 และ 9 เดือน (ฤดูกาลเจริญเติบโต 2550/2551)	13
4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของธาตุอาหารในใบมังคุดเมื่อใบมีอายุ 5, 7 และ 9 เดือน (ฤดูกาลเจริญเติบโต 2551/2552)	13
5 อิทธิพลของอายุการห่อผลต่อน้ำหนักแห้ง (กรัม) ของผล กลีบเลี้ยงและขั้วผล มังคุด	27
6 อิทธิพลของอายุการห่อผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในผลกลม (fruit)	28
7 อิทธิพลของอายุการห่อผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในกลีบเลี้ยง (calyx)	28
8 อิทธิพลของอายุการห่อผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในขั้วผล (peduncle)	29
9 อิทธิพลของอายุการห่อผลต่อการสะสมธาตุอาหารในผลกลม (fruit)	30
10 อิทธิพลของอายุการห่อผลต่อการสะสมธาตุอาหารในกลีบเลี้ยง (calyx)	30
11 อิทธิพลของอายุการห่อผลต่อการสะสมธาตุอาหารในขั้วผล (peduncle)	30
12 คุณภาพผลมังคุดจากทุกตำรับการทดลองรวมกัน	31
13 คะแนนความรุนแรงของการเกิดอาการผิดปกติผลมังคุดจากทุกตำรับการทดลองรวมกัน	32
14 สัดส่วนคุณภาพผลมังคุดในตำรับการทดลองต่าง ๆ	33
15 ความหนาเปลือกมังคุด (มิลลิเมตร) ในตำรับการทดลองและคุณภาพผลต่างๆ	33
16 Total soluble solid (TSS) and % titratable acidity (%TA)	34
17 ความเข้มข้นของ P, K, Ca, Mg และ B ในเนื้อมังคุดสุกที่มีคุณภาพแตกต่างกัน	35
18 ความเข้มข้นของ Fe, Mn, Cu และ Zn ในเนื้อมังคุดสุกที่มีคุณภาพแตกต่างกัน	36
19 สัดส่วนของ K/Ca และ Ca/B ในเนื้อมังคุดคุณภาพต่าง ๆ	39
20 ความเข้มข้นและสัดส่วนของธาตุอาหารในกลีบเนื้อแก้วกับกลีบมังคุดปกติจากผลเดียวกัน	40
21 ความเข้มข้นของ P, K, Ca, Mg และ B ในเปลือก กลีบเลี้ยง และขั้วผลมังคุดสุกที่มีคุณภาพแตกต่างกัน	41

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
22	ความเข้มข้นของ Fe, Mn, Cu และ Zn ในเปลือก กลิบเลี้ยง และข้าวผลมังคุดสุก ที่มีคุณภาพแตกต่างกัน	42
23	สัดส่วนของ K/Ca และ Ca/B ในเปลือกมังคุดคุณภาพต่าง ๆ	43
24	สัดส่วนของ K/Ca และ Ca/B ในกลีบเลี้ยงมังคุดคุณภาพต่าง ๆ	43
25	สัดส่วนของ K/Ca และ Ca/B ในข้าวผลมังคุดคุณภาพต่าง ๆ	44
26	คะแนนความรุนแรงการเกิดเนื้อแก้ว ขางไหล และเนื้อแก้ว+ขางไหลในมังคุดใน ตำรับการทดลองต่าง ๆ	46

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	ขนาดและน้ำหนักผลม้งคู่ระหว่างการพัฒนาของผล	15
2	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารในผลม้งคู่ระหว่างการพัฒนา ของผล	16-17
3	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารในกลีบเลี้ยงของผลม้งคู่ระหว่าง การพัฒนาของผล	19-20
4	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารในขั้วผลม้งคู่ระหว่างการพัฒนา ของผล	21-22
5	ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ของผลม้งคู่ระหว่างการพัฒนาของ ผล	23-24
6	การสะสมธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ของผลม้งคู่ระหว่างการพัฒนาของผล	25-26
7	ความเข้มข้นของ K และ Ca ในผลม้งคู่คุณภาพต่างๆ (a) ปี 2551 (b) ปี 2552	37
8	สัดส่วน K/Ca ในผลม้งคู่คุณภาพต่าง ๆ	38
9	ท่อน้ำยางของผลปกติเปรียบเทียบกับผลที่มีอาการยางไหลภายในผล	46

คำนำ

มังคุดเป็นผลไม้ที่มีศักยภาพในการส่งออกสูง โดยเฉพาะตลาดญี่ปุ่น และยุโรป ซึ่งราคามังคุดคุณภาพสูงที่ส่งออกไปยังทั้ง 2 ตลาดนี้สูงกว่าราคาจำหน่ายในตลาดต่างประเทศอื่น เช่นประเทศจีน หรือตลาดในประเทศหลายเท่า อย่างไรก็ตาม เกษตรกรไม่สามารถผลิตมังคุดให้ได้คุณภาพตามความต้องการและตามที่ตลาดกำหนด เนื่องจากมีปัญหาเรื่องการเกิดเนื้อแก้ว และ/หรือยางไหลภายในผล ซึ่งไม่สามารถดูได้จากภายนอก (อาการเนื้อแก้วรุนแรง อาจคัดแยกได้บ้าง แต่ผู้คัดต้องมีประสบการณ์สูง ซึ่งหาได้ยากในช่วงที่มีมังคุดออกสู่ตลาดมาก) ส่วนอาการยางไหล ไม่สามารถคัดแยกได้ ถึงแม้ว่าเกษตรกรจะพยายามคัดแยกมาอย่างดีแล้วก็ตาม จำเป็นต้องผ่าผลดู อาการยางไหลพบค่อนข้างมากโดยเฉพาะในผลมังคุดขนาดใหญ่ อาจพบได้มากถึง 50 % ซึ่งผลมังคุดขนาดใหญ่ (น้ำหนักมากกว่า 80 กรัม/ต่อผล) เป็นที่ต้องการของตลาดญี่ปุ่น หรือตลาดต่างประเทศอื่น ๆ มากกว่ามังคุดขนาดเล็ก จากการสอบถามจากชาวสวนและผู้รับซื้อมังคุดพบว่า ต้องใช้เวลาในการคัดแยกมังคุดมาก ทำให้ไม่มีเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิต จึงเกิดความเสียหายของผลผลิตมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปีที่มังคุดออกผลดก นอกจากนั้น การคัดแยกมังคุด ยังก่อให้เกิดความเครียด เนื่องจากหากคัดออกทั้ง ๆ ที่ผลผลิตดี ก็ทำให้เสียรายได้ แต่ถ้าไม่คัดออกและใส่รวมไปกับผลผลิตอื่น ๆ เมื่อนำไปจำหน่ายและผ่าผลตรวจสอบ หากเป็นผลที่ไม่ดี ก็จะทำให้เสียหาย เพราะอาจจะถูกปฏิเสธการรับซื้อ (reject) ผลผลิตทั้งหมด ดังนั้น หากสามารถผลิตมังคุดที่มีคุณภาพดี จะทำให้สามารถส่งออกผลมังคุดได้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นและลดรายจ่ายจากการคัดแยกมังคุดลงด้วย

อาการเนื้อแก้วและยางไหลจะเกิดมากในช่วงที่มีฝนตกชุก หลังจากมีสภาพแห้งมาเป็นระยะหนึ่งก่อน อาการจะรุนแรงมากถ้ามีฝนตกมากในช่วง 2-3 สัปดาห์ก่อนเก็บเกี่ยว ทำให้เชื่อกันว่าฝนหรือปริมาณน้ำเป็นสาเหตุสำคัญในการเกิดอาการเนื้อแก้ว และ/หรือยางไหลในมังคุด

ถึงแม้ว่าอาการเนื้อแก้ว/ยางไหล จะเกิดจากการที่มีฝนตกชุกในช่วงก่อนเก็บเกี่ยวก็ตาม เป็นที่น่าสังเกตว่า การเกิดเนื้อแก้วและ/หรือยางไหล ไม่ได้เกิดกับผลมังคุดทั้งหมด และมีจำนวนแตกต่างกันมากระหว่างต้นมังคุดที่อยู่ในสวนเดียวกัน ถึงแม้ว่าต้นมังคุดเหล่านี้จะอยู่ในสวนที่ได้รับฝนในปริมาณเท่ากันก็ตาม แสดงว่าปัจจัยภายในของต้น (internal factor) มีผลต่อการเกิดปัญหาเนื้อแก้วและ/หรือยางไหลในมังคุดด้วยเช่นกัน ในบรรดาปัจจัยภายในทั้งหลาย ธาตุอาหารฟอสฟอรัสจะมีความสำคัญมากที่สุด (Huang et al., 2005) และในบรรดาธาตุอาหารทั้ง 16 ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แคลเซียมน่าจะเกี่ยวข้องกับการเกิดปัญหาเนื้อแก้ว/ยางไหลมากที่สุด เนื่องจากแคลเซียมมีบทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของผนังเซลล์ ถ้าพืชได้รับแคลเซียมไม่เพียงพอ ผนังเซลล์จะอ่อนแอ การเกิดปัญหาเนื้อแก้ว/ยางไหลล้วนแล้วแต่เกี่ยวข้องกับความอ่อนแอของผนังเซลล์ กล่าวคืออาการเนื้อแก้วเกิดจากการที่ผลสุกได้รับน้ำมากเกินไป ผนังเซลล์เกิดความเสียหาย สารละลายต่าง ๆ ไหลออกมาแทนที่อากาศบริเวณผนังเซลล์ทำให้เห็นเป็นเนื้อใส ส่งผลให้เพกตินเปลี่ยนเป็นรูปที่ไม่ละลายน้ำ (สิริวรรณ 2543) ส่วนอาการยางไหลเกิดจากการที่ท่อน้ำยางแตกเมื่อได้รับน้ำมากเกินไปไม่ทัน นอกจากนั้น แคลเซียมยังเป็นธาตุอาหารที่มีรายงานว่าเกี่ยวข้อง

กับความผิดปกติทางด้านสรีรวิทยา (physiological disorders) ของผลไม้ต่าง ๆ มากกว่า 30 ชนิด เช่น อาการ bitter pit, cork spot ในแอปเปิล อาการก้นเน่าในมะเขือเทศ น้อยหน่า และแตงโม อาการน้ำเน่า (water soaking) ซึ่งเป็นอาการที่เนื้อแคนตาลูปมีลักษณะใส ๆ รวมทั้งอาการแตกของผลที่เปลือกบาง เช่น เชอรี่ และ ลิ้นจี่ (Shear, 1975; Sharples, 1980; Madrid et al., 2004; Huang et al., 2005) เป็นต้น

ดินในภาคตะวันออกที่ปลูกไม้ผล ส่วนใหญ่เป็นดินกรดจัด ประกอบกับมีฝนตกชุก ทำให้เกิดการชะล้างสูง ดินส่วนมากจึงมีแคลเซียมต่ำถึงต่ำมาก (สุมิตรา และคณะ 2544, 2547) โอกาสที่พืชจะขาดแคลเซียมจึงมีสูง จากการศึกษาในสละพบว่า การใส่แคลเซียมในรูปของปูนและยิบซัม รวมทั้งการจัดการเช่นตัดแต่งทางใบเพื่อให้ทรงพุ่มโปร่ง และผลได้รับแสงแดด สามารถช่วยลดอาการห่วยหวั่นในสละได้ระดับหนึ่ง (สุมิตรา ภู่วโรดม ข้อมูลที่ไม่ได้ตีพิมพ์) ดังนั้น จึงควรศึกษาอิทธิพลของการใส่แคลเซียม ร่วมกับการให้แคลเซียมทางผล (และใบ) ต่อการแก้ปัญหาเนื้อแก้วและ/หรือยางไหลในมังคุด

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของการใส่แคลเซียมทางดิน และการฉีดพ่นแคลเซียมให้ผลมั่งคุดต่อการเกิดอาการเนื้อแก้วและ/หรือยางไหล
2. เพื่อศึกษาการสะสมแคลเซียมในผลมั่งคุดระยะการเจริญต่าง ๆ
3. เพื่อศึกษาปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ในผลมั่งคุดปกติ มั่งคุดเนื้อแก้ว และมั่งคุดยางไหล

การตรวจเอกสาร

ผลงานวิจัยเกี่ยวกับธาตุแคลเซียมและการเกิดอาการเนื้อแก้ว และยางไหลมีน้อย ส่วนใหญ่เป็น การศึกษาเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมที่ปลูกมีผลต่อการเกิดเนื้อแก้ว และ/หรือยางไหล และผลที่เกิดขึ้นเมื่อเกิด อาการเนื้อแก้วและยางไหล (วรภัทร, 2539, ธนสิทธิ์, 2541, ศิริวรรณ, 2543, ชีรวิทย์, 2544, เสาวภา, 2544) ส่วน การศึกษาในพืชอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแอปเปิลมีมากและมีมานานกว่า 30 ปี (Shear, 1975; Sharples, 1984) หลังจากนั้น ได้มีการตื่นตัวในการศึกษาเกี่ยวกับ Ca ในไม้ผลอื่น ๆ เช่น แดงโม แคนตาลูป อโวคาโด ลิ้นจี่ เชอรี่ และพืชผัก รวมทั้งไม้ดอกมากขึ้น (Madrid et al., 2004; Huang et al., 2005; Li et al., 2001; Maynard, 1979; Mortensen et al., 2001) ผลการศึกษาส่วนใหญ่รายงานตรงกันว่า พืชที่ได้รับแคลเซียมอย่าง เพียงพอ จะทำให้คุณภาพผลผลิตดีขึ้น ปัญหาต่าง ๆ ที่พบเกี่ยวกับความผิดปกติที่ผล (physiological disorder) ลดลง ซึ่งการที่พืชจะได้รับแคลเซียมอย่างเพียงพอ อาจต้องมีการใส่เพิ่มทั้งทางดิน และทางผลโดยการฉีดพ่น การที่มีการศึกษาเกี่ยวกับแคลเซียมในไม้ผลมาก เนื่องจากแคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ในท่อน้ำเป็นหลัก ดังนั้น ส่วนของพืชที่คายน้ำได้ดีจึงมีการสะสมแคลเซียมมาก ในขณะที่ส่วนของพืชที่คายน้ำน้อยเช่นใบอ่อน หรือผล มักจะขาดแคลเซียม อาการผลแตกในพืชที่มีเปลือกบางเช่น มะเขือเทศ เชอรี่ และ แอปเปิล มักเกิด เมื่อความชื้นในอากาศสูงหรือภายหลังฝนตก ทำให้พืชได้รับ hypo-osmotic shock พืชเซลล์ที่อ่อนแอจากการขาด Ca ไม่สามารถทนแรงดันของน้ำจึงเกิดรอยแตกได้ง่าย (White and Bradley, 2003) อาการเนื้อแก้ว และยางไหลในมังคุด ก็เกิดภายหลังฝนตกและความชื้นในอากาศสูง จึงน่าจะเกิดจากการที่พืชเซลล์อ่อนแอ เช่นกัน

แคลเซียมเป็นธาตุที่บทบาทสำคัญในโครงสร้าง (structural role) ของผนังเซลล์และเมมเบรนของ เซลล์ (cell membrane) ซึ่งบทบาทของแคลเซียมในด้านโครงสร้างต้องการปริมาณแคลเซียมค่อนข้างสูงใน ระดับ millimolar เพื่อใช้ในการเชื่อมเพคตินที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ ทำให้เซลล์แข็งแรง (Zocchi and Mignani, 1995) บทบาทของแคลเซียมในด้านโครงสร้างต้องการแคลเซียมในปริมาณที่สูงกว่าบทบาท ของแคลเซียมในด้านเป็นตัวนำรหัสที่สอง (secondary messenger) หลายเท่า ดังนั้น การขาดแคลเซียมจึงมี ผลหรือเกี่ยวข้องกับบทบาทในด้านโครงสร้างของเซลล์เป็นส่วนใหญ่ ดังเช่นที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

Bangerth (1976) รายงานว่า เมื่อชักนำให้เกิด parthenocarpic fruits ในมะเขือเทศ แอปเปิล และแพร์ ผลเหล่านี้จะมีการสะสม Ca น้อยกว่าผลที่ผสมอย่างสมบูรณ์ (normal pollinated fruit) เนื่องจาก เมล็ดจะ สร้างออกซิน (auxin) ซึ่งทำให้มีการสะสม Ca เพิ่มขึ้น นอกจากนั้น ยังพบว่าเมื่อมีการฉีดพ่นสารที่ยับยั้งการ เคลื่อนที่ออกซิน (auxin transport inhibitor) ปรากฏว่าการสะสมของ Ca ในผลลดลง ทำให้สรุปได้ว่า ออกซินเป็นส่วนสำคัญในการเคลื่อนย้าย Ca ไปที่ผล สำหรับมังคุดซึ่งเป็น parthenocarpic fruit (Yaacob and Tindall, 1995) อาจทำให้การเคลื่อนย้ายแคลเซียมไปยังผลน้อย ส่งผลให้เกิดการขาด Ca ได้ง่าย

การแก้ปัญหาการขาดแคลเซียมในผลทำได้ยาก เนื่องจากแคลเซียมเคลื่อนที่ในท่อน้ำ (xylem vessel) เท่านั้น ดังนั้นส่วนของพืชที่มีการคายน้ำดี จึงมีการสะสมแคลเซียมมาก ในขณะที่ผลซึ่งเป็นส่วนที่มีการคาย

น้ำได้น้อย การเคลื่อนที่ของแคลเซียมไปที่ผลจึงเกิดได้น้อยด้วย ในไม้ผลการขาดแคลเซียมจึงมักแสดงออกที่ผล ถึงแม้ว่าใบจะมีแคลเซียมในปริมาณที่เพียงพอก็ตาม การให้แคลเซียมในทางดินอย่างเพียงพอจะลดปัญหาการขาดแคลเซียมได้ระดับหนึ่งเท่านั้น เนื่องจากแคลเซียมละลายช้า ในแอปเปิลพบว่า แคลเซียมที่ใส่ในรูปยิบซัมใช้เวลาหลายปีกว่าจะไปเคลื่อนที่ไปที่ผล (Bramlage, 1994) การแก้ไขปัญหการขาดแคลเซียม จึงต้องฉีดพ่นแคลเซียมไปที่ผลโดยตรงร่วมกับการให้ปุ๋ยแคลเซียมทางดิน สารเคมีที่ได้รับความนิยมแพร่หลายในการฉีดพ่นคือ แคลเซียมคลอไรด์ เนื่องจากมีความเข้มข้นของแคลเซียมสูงและราคาไม่แพง การฉีดพ่นให้ได้ผลดีต้องฉีดพ่นเมื่อผลยังเล็กอยู่ และติดต่อกันหลายครั้งเพื่อให้มั่นใจว่าผลได้รับแคลเซียม เนื่องจากการฉีดพ่นเมื่อผลยังมีขนาดเล็ก อาจไม่สัมผัสที่ผลโดยตรง แต่การฉีดพ่นเมื่อผลขนาดเล็กจะนำแคลเซียมไปใช้ได้ดีที่สุด ในแอปเปิล ซึ่งการฉีดพ่นเป็นวิธีปฏิบัติที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย แนะนำให้ฉีดพ่นประมาณ 6-8 ครั้งตั้งแต่ผลยังเล็ก ส่วนอัตราการฉีดพ่นขึ้นกับสภาพอากาศและสภาพแวดล้อมและชนิดของพืช โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 2-4% อัตราที่สูงกว่านี้ถึงแม้จะมีประโยชน์เพราะผลจะได้รับแคลเซียมสูง แต่อาจทำลายผิวผลและทำให้เกิดใบไหม้ จากการทดสอบเบื้องต้นในมังคุดที่จันทบุรีพบว่า อัตรา 2% CaCl_2 ไม่มีผลต่อ ผิวผลและใบ ส่วนอัตราฉีดพ่น 4% ทำให้ปลายใบไหม้โดยเฉพาะเมื่ออากาศร้อนจัด

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 เซลล์ของพืชที่ได้รับโบรอนเพียงพอมีความยืดหยุ่น ทนต่อแรงดันภายในเซลล์ ทำให้เซลล์ขยายตัว (expansion) ได้ดีขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

ทำแปลงทดลองในสวนมังคุดของคุณสงวน บุญญฤทธิ์ อำเภอมะขาม จังหวัดจันทบุรี เป็นสวนมังคุดอายุประมาณ 20 ปี ให้ผลผลิตและคุณภาพที่จัดว่าดี และมีการดูแลรักษาเพื่อทำมังคุดผิวมัน มีระบบการให้น้ำ วางแผนแบบ RCBD จำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 2 ต้นรวมเป็นต้นทดลองทั้งสิ้น 32 ต้น

ดำรับการทดลองประกอบด้วย

1. Control
2. ใส่ CaSO_4 ทางดิน
3. ใส่ CaSO_4 ทางดิน + ฉีดพ่น CaCl_2 ทางใบและผล
4. ใส่ CaSO_4 ทางดิน + ฉีดพ่น CaCl_2 + B ทางใบและผล

ใส่ปุ๋ยในรูปโดโลไมท์ อัตรา 3-4 กก./ต้น โดยต้นที่มี pH ระหว่าง 4-5 ใส่อัตรา 4 กก./ต้น ส่วนต้นที่มีค่า pH มากกว่า 5 ใส่อัตรา 3 กก./ต้น ส่วน CaSO_4 ใส่ในรูปยิบซัม โดยใส่ในเดือนกันยายน 2550 และ 2551 ซึ่งมังคุดอยู่ระหว่างการเตรียมความพร้อมต้น ใส่ยิบซัมอัตรา 3-5 กก./ต้นขึ้นกับระดับ Ca ในดิน คือต้นที่มีปริมาณ Ca ในดินต่ำกว่า 300 mg kg^{-1} ใส่ 5 กิโลกรัม ปริมาณ Ca $300-400 \text{ mg kg}^{-1}$ ใส่ 4 กิโลกรัม และปริมาณ Ca มากกว่า 400 mg kg^{-1} ใส่ 3 กิโลกรัม การฉีดพ่น CaCl_2 ทางใบและผลเริ่มภายหลังดอกบาน โดยฉีดพ่นทุก 2 สัปดาห์อัตราความเข้มข้น $2\% \text{ CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ เป็นจำนวนทั้งสิ้น 6 ครั้ง ส่วนการฉีดพ่น B ทางใบและผลใช้ solubor ความเข้มข้น 0.25% จำนวน 3 ครั้งพร้อมกับการฉีดพ่น CaCl_2 ครั้งที่ 1-3 ส่วนปุ๋ยอื่น ๆ ใส่เท่ากันทุกต้น

1. การเก็บตัวอย่างดินและการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

1.1 เก็บตัวอย่างดิน ช่วงหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ระดับความลึก 0-20 ซม. โดยเก็บตัวอย่างดินบริเวณชายพุ่ม ต้นละ 4 จุด นำดินของแต่ละจุดมารวมกันเป็น 1 ตัวอย่างต่อต้น

1.2 ตัวอย่างดินที่ได้นำมาวิเคราะห์ เนื้อดิน pH , EC, OM, CEC, P, K , Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn และ B ดังวิธีที่แสดงในตารางข้างล่าง

ค่าที่วิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์
pH และ EC	1 : 1 Soil : H_2O
Organic matter	Walkley and Black
Cation Exchange Capacity	1 N NH_4OAc pH 7.0
Available P	Bray II และ develop สีด้วยวิธี Molybdenum blue
Extractable K, Ca, Mg	1 N NH_4OAc pH 7.0 และวัดด้วยเครื่อง ICP-OES
Extractable Fe, Mn, Cu, Zn	DTPA และวัดด้วยเครื่อง ICP-OES
B	Hot water และ develop สีด้วยวิธี curcumin
เนื้อดิน	Pipette method

2. การเก็บตัวอย่างใบมังคุดและการวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบ

- 2.1 ในช่วงที่มังคุดแตกใบอ่อน ทำการ tag กิ่งที่อยู่ด้านนอกของทรงพุ่มที่แตกออกมาในรุ่นเดียวกัน จำนวนมากพอที่จะเก็บตัวอย่างได้ 3-4 ครั้ง
- 2.2 เมื่อใบมังคุดอายุ 5, 7 และ 9 เดือน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับเก็บตัวอย่างใบเพื่อวิเคราะห์ (สุมิตรา และคณะ 2547) เก็บตัวอย่างใบมังคุดจากยอดที่ tag ไว้ โดยเก็บจากทุกทิศรอบทรงพุ่มทิศละ 1 ใบ นำใบจากทั้ง 4 ทิศมารวมกันเป็น 1 ตัวอย่าง
- 2.3 นำตัวอย่างใบที่ได้ใส่ในถุงพลาสติก ใส่ในกระติกที่มีน้ำแข็งอยู่ด้านล่าง นำกลับมายังห้องปฏิบัติการ
- 2.4 ล้างทำความสะอาดใบโดยจุ่มใน 0.1 M HCl แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง หลังจากนั้น นำไปอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส
- 2.5 บดตัวอย่างด้วยเครื่องบด Wiley Cutting Mill ให้ผ่านตะแกรงขนาด 40 mesh (0.42 mm) และเก็บไว้เพื่อวิเคราะห์ธาตุ N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn และ B ต่อไป
- 2.6 การวิเคราะห์ N ใช้วิธี microKjeldahl และกลั่นหาปริมาณ NH_4^+ ในสารละลาย ส่วน P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn และ B ใช้วิธี dry ashing ที่อุณหภูมิ 550 °C แล้วนำไปวิเคราะห์ธาตุอาหารต่าง ๆ โดยใช้เครื่อง ICP – OES (Allen, 1971)

3. การเก็บตัวอย่างผลมังคุดเพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหาร (ทำการศึกษาเฉพาะฤดูกาลเจริญเติบโต 2550/2551)

- 3.1 ในช่วงที่มังคุดออกดอก ทำการ tag ดอกมังคุด เพื่อใช้เก็บตัวอย่างผลสำหรับศึกษาต่อไป
- 3.2 เก็บตัวอย่างผลมังคุดเมื่อผลอายุ 1 สัปดาห์ และเก็บทุกสัปดาห์จนถึงสัปดาห์ที่ 5 หลังจากนั้น เก็บตัวอย่างทุก 2 สัปดาห์จนกระทั่งผลมังคุดแก่ (เก็บครั้งแรกเมื่อ 11 กุมภาพันธ์ 2551) นำตัวอย่างผลที่ได้ไปล้างทำความสะอาดโดยจุ่มใน 0.1 M HCl แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง ชับน้ำออกให้แห้ง นำไปวิเคราะห์ธาตุ ได้แก่ P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn และ B ตามวิธี dry ashing ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

4. การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของการห่อผลต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารในผล (ทำการศึกษาเฉพาะ ฤดูกาลเจริญเติบโต 2551/2552)

- 4.1 ในช่วงที่มังคุดออกดอก ทำการ tag ดอกมังคุด เพื่อใช้เก็บตัวอย่างผลสำหรับศึกษาต่อไป
- 4.2 ห่อตัวอย่างผลที่ tag ไว้ด้วยถุงพลาสติกที่เจาะรูไว้ด้านล่าง โดยห่อผลเมื่อผลมีอายุ 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ และเนื่องจากข้าวผลมังคุดสั้นมาก จึงห่อใบคู่ที่อยู่ติดกับผลไว้ในถุงพลาสติกด้วย เมื่อผลอายุ 7 และ 12 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างผลที่ห่อและไม่ห่อ นำมาเปรียบเทียบ น้ำหนัก เส้นผ่าศูนย์กลาง และวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารดังวิธีที่กล่าวไว้ในข้อ 3.2

5. การเก็บตัวอย่างผลมังคุดสุกเพื่อแยกคุณภาพและวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร

- 5.1 เมื่อผลแก่พร้อมเก็บเกี่ยว เก็บเกี่ยวผลมังคุดแล้วแยกออกเป็น 3 ขนาดตามความต้องการของตลาดคือ ขนาดเล็ก (<60 กรัม) ขนาดกลาง (60-80 กรัม) และ ขนาดใหญ่ (>80 กรัม) ทำการสุ่มตัวอย่างผลมังคุดในแต่ละขนาดจำนวน 5-10 ผล (ขึ้นกับจำนวนผลแต่ละขนาดที่มีในการเก็บครั้งนั้น) ทำซ้ำแบบเดียวกันจำนวน 3 ครั้ง เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพและธาตุอาหารต่อไป
- 5.2 ผลมังคุดที่ได้นำมาผ่าเพื่อแยกคุณภาพออกเป็น 4 ชนิดคือ ผลปกติ ผลเนื้อแก้ว ผลยางไหล และ ผลเนื้อแก้ว+ยางไหล
- 5.3 บันทึกความรุนแรงของการเกิดเนื้อแก้ว ผลยางไหล และ ผลเนื้อแก้ว+ยางไหล โดยให้คะแนนตั้งแต่ 1-5 (คะแนน 1 เกิดอาการน้อยที่สุด และคะแนน 5 เกิดอาการรุนแรงที่สุด)
- 5.4 สุ่มตัวอย่างผล 2-3 ผลต่อชนิดของการเกิดปัญหา และผลปกติ (ทุกครั้งที่มีการตรวจสอบผลผลิต) แยกเนื้อ เปลือก ขั้วผล และกลีบเลี้ยง แล้วชั่งน้ำหนัก
- 5.5 วัดความหนาของเปลือกบริเวณใกล้เส้นผ่าศูนย์กลาง โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ผลละ 2 จุด
- 5.6 นำเนื้อส่วนหนึ่งไปวิเคราะห์หา ปริมาณ total soluble solid (TSS) และ % titratable acidity (%TA)
- 5.7 นำส่วนของผลมังคุดได้แก่ เนื้อ เปลือก ขั้วผล และกลีบเลี้ยง ไปวิเคราะห์ปริมาณ P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn และ B โดยวิธี dry ashing ที่อุณหภูมิ 550 °C แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในสารละลาย โดยใช้เครื่อง ICP – OES (Allen, 1971)

6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS โดยวิเคราะห์ค่า Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ผลการทดลองและวิจารณ์

เนื่องจากการทดลองครั้งนี้เป็นงานทดลองต่อเนื่อง 2 ปี ยกเว้นส่วนที่ศึกษาเกี่ยวกับอัตราการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของผลมังคุด ซึ่งศึกษาเฉพาะปีที่ 1 (ฤดูการเจริญเติบโต 2550/2551) และอิทธิพลของการห่อผลต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของผลมังคุด ซึ่งศึกษาเฉพาะปีที่ 2 (ฤดูการเจริญเติบโต 2551/2552) ส่วนการศึกษาอื่น ๆ เก็บข้อมูลเหมือนกันทั้ง 2 ปี และเนื่องจากผลการทดลองทั้ง 2 ปีใกล้เคียงกัน จึงนำข้อมูลทั้ง 2 ปี มารายงานไว้ด้วยกัน

1. สมบัติทางเคมีของดิน

สมบัติของดินที่ระดับความลึก 0-20 ซม. ก่อนดำเนินการทดลองในฤดูการเจริญเติบโต 2550/2551 ของแต่ละดำรับการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 1 จากตารางจะพบว่า ดินแต่ละดำรับการทดลองมีเนื้อดินเหมือนกัน คือ sandy clay loam มีสมบัติทางเคมีใกล้เคียงกัน คือ มีความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 4.63 - 4.92 ซึ่งจัดว่าเป็นดินกรด ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (EC) ก่อนข้างดำคือมีค่าระหว่าง $94.2-106 \mu\text{S cm}^{-1}$ มีอินทรียวัตถุตั้งแต่ 2.19-2.38% จัดอยู่ในระดับปานกลาง ส่วน P สูงมากคือ $366-392 \text{ mg kg}^{-1}$ มีค่าความจุในการดูดซับประจุบวก (CEC) ต่ำคือตั้งแต่ $8.54-9.45 \text{ cmol(+) / kg}^{-1}$ ความเข้มข้นของ K ที่สกัดได้ในดินอยู่ในระดับปานกลางคือ $68.2-101 \text{ mg kg}^{-1}$ ส่วน Ca ($329-426 \text{ mg kg}^{-1}$) และ Mg ($27.3-42.6 \text{ mg kg}^{-1}$) ที่สกัดได้ อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ สำหรับจุลธาตุอาหาร

สมบัติของดินที่ระดับความลึก 0-20 ซม. ของที่เก็บดินฤดูการเจริญเติบโต 2551/2552 แสดงไว้ในตารางที่ 2 โดยทั่วไปแล้ว สมบัติดินทั้ง 2 ปีใกล้เคียงกัน กล่าวคือดินมีความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นเล็กน้อย ระหว่าง 4.73- 4.91 ถึงแม้ว่ามีการใส่ปูนโดโลไมท์จำนวน 3-5 กก./ต้นก็ตาม แสดงให้เห็นว่า การปรับค่า pH ในดินไม่สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว แม้ว่าดินจะมีเนื้อเป็น Sandy clay loam ก็ตาม ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (EC) สูงกว่าปีที่ 1 เล็กน้อยแต่จัดว่าค่อนข้างต่ำคือมีค่าระหว่าง $111-189 \mu\text{S cm}^{-1}$ อินทรียวัตถุตั้งแต่ 2.35-2.56% สูงกว่าปีที่ 1 เล็กน้อยเช่นกัน ส่วน P สูงมากคือ $398-428 \text{ mg kg}^{-1}$ และมีค่าความจุในการดูดซับประจุบวก (CEC) ต่ำคือตั้งแต่ $8.84-10.26 \text{ cmol(+) / kg}^{-1}$ ซึ่งใกล้เคียงกับปีที่ 1 ความเข้มข้นของ K ที่สกัดได้ในดินอยู่ในระดับปานกลางคือ $81.8-97.2 \text{ mg kg}^{-1}$ ส่วน Ca สูงกว่าปีที่ 1 คือมีปริมาณระหว่าง $518-651 \text{ mg kg}^{-1}$ (ปีที่ 1 มีปริมาณ Ca $329-426 \text{ mg kg}^{-1}$) เนื่องจากมีการใส่ปูนโดโลไมท์และยิบซัมให้แก่ดิน และ Mg สูงกว่าปีที่ผ่านมาก่อนข้างมากคือ ระหว่าง $51.0-70.1 \text{ mg kg}^{-1}$ (ปีที่ 1 มี Mg $27.3-42.6 \text{ mg kg}^{-1}$) เนื่องจากมีการใส่ปูนโดโลไมท์และแมกนีเซียมซัลเฟตให้แก่ดินเช่นกัน สำหรับจุลธาตุอาหารพบว่า เหล็กและทองแดงมีค่าสูง แมงกานีสต่ำ ส่วนสังกะสีปานกลาง ในขณะที่โบรอนสูงขึ้นค่อนข้างมากคือระหว่าง $0.64-0.92 \text{ mg kg}^{-1}$ ในทุกดำรับการทดลอง อาจเนื่องจากการฉีดพ่นทางใบและผลถึง 3 ครั้งในอัตราความเข้มข้น 0.25% ทำให้การฟุ้งกระจายของโบรอนตกอยู่ทั่วไปในดินทุกดำรับการทดลอง ปริมาณโบรอนในปีที่ 1 อยู่ระหว่าง $0.28-0.38 \text{ mg kg}^{-1}$ เท่านั้น

ตารางที่ 1 สมบัติดินสวนมังคุดคุณสงวน บุญญฤทธิ์ อ.มะขาม จ.จันทบุรี ที่ระดับความลึก 0-20 ซม. เก็บตัวอย่าง กรกฎาคม 2550 (n=8)

ตำรับ การทดลอง	ค่า	pH (1:1)	EC (1:1)	OM	P	CEC	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Texture
		น้ำ	$\mu\text{S cm}^{-1}$	%	mg kg^{-1}	$\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$	Extractable (mg kg^{-1})								
T1	Mean	4.92	100	2.19	370	8.54	78.7	426	42.6	113	3.87	8.49	4.59	0.28	SCL
	SD	0.26	14.2	0.29	36.6	0.98	13.3	122	14.9	14.2	0.53	0.45	0.83	0.03	
T2	Mean	4.63	94.2	2.27	374	8.80	68.2	329	27.3	133	3.97	9.60	4.17	0.30	SCL
	SD	0.23	11.8	0.13	58.3	0.29	19.7	58.4	11.7	8.26	0.59	0.58	1.02	0.09	
T3	Mean	4.67	106	2.37	392	9.02	76.7	339	28.2	132	3.81	10.0	4.21	0.29	SCL
	SD	0.16	14.6	0.23	61.2	0.83	19.0	78.2	9.36	9.50	0.65	0.87	0.71	0.08	
T4	Mean	4.79	101	2.38	366	9.45	101	416	38.3	157	3.54	8.41	3.83	0.38	SCL
	SD	0.12	6.00	0.11	42.4	0.87	31.7	76.7	12.9	17.0	0.41	0.66	0.15	0.07	

ตารางที่ 2 สมบัติดินสวนมังกุดคุณสงวน บุญญฤทธิ์ อ.มะขาม จ.จันทบุรี ที่ระดับความลึก 0-20 ซม. เก็บตัวอย่าง กรกฎาคม 2551 (n=8)

ดำรับ การทดลอง	ค่า	pH (1:1)	EC (1:1)	OM	P	CEC	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
		น้ำ	$\mu\text{S cm}^{-1}$	%	mg kg^{-1}	cmol(+) kg^{-1}	Extractable (mg kg^{-1})							
T1	Mean	4.80	113	2.35	398	8.84	97.2	518	51.0	112	3.90	8.70	4.98	0.64
	SD	0.11	5.27	0.22	82.5	1.15	5.56	72.6	8.79	6.69	0.76	0.58	0.68	0.15
T2	Mean	4.73	143	2.41	428	8.73	84.0	523	55.7	126	3.55	9.06	4.22	0.66
	SD	0.17	38.8	0.15	34.0	0.47	15.2	100	9.45	6.12	0.51	0.56	0.78	0.14
T3	Mean	4.85	189	2.47	416	9.28	81.8	569	62.6	131	3.69	9.02	4.25	0.70
	SD	0.18	117	0.10	104	0.59	8.98	145	16.8	12.1	0.36	0.51	0.50	0.03
T4	Mean	4.91	134	2.56	417	10.3	91.6	651	70.1	146	3.89	9.28	4.59	0.92
	SD	0.08	9.92	0.12	42.3	1.21	10.7	57.0	4.73	19.7	0.64	1.16	0.99	0.09

2. ปริมาณธาตุอาหารในใบมังคุด

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมังคุดในช่วงอายุใบ 5, 7 และ 9 เดือนก่อนข้างคงที่ ดังนั้น จึงเฉลี่ยความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมังคุดทั้ง 3 ครั้งที่เก็บตัวอย่างดังตารางที่ 3 สำหรับฤดูกาลเจริญเติบโต 2550/2551 และ ตารางที่ 4 สำหรับฤดูกาลเจริญเติบโต 2551/2552 จากตารางจะพบว่าความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมังคุดทั้ง 2 ปีที่ศึกษามีปริมาณใกล้เคียงกัน และส่วนใหญ่มีความเข้มข้นอยู่ในระดับเพียงพอที่กำหนดไว้โดย สุมิตรา และคณะ (2547) ยกเว้นธาตุ Mg และ Fe โดย Mg มีความเข้มข้นก่อนข้างคงที่ตลอด 3 ครั้งที่เก็บตัวอย่างในทั้ง 2 ปีที่ศึกษา ในปีที่ 2 ความเข้มข้นของ Mg เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 0.12% ส่วนปีที่ 1 มีความเข้มข้นของ Mg ในใบ 0.11% ซึ่งใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่ 0.12-0.18% (สุมิตรา และคณะ 2547) ถึงแม้ว่าในการทดลองจะมีการใส่แมกนีเซียมซัลเฟตในอัตรา 0.5 กก./ต้น/ปีแล้วก็ตาม ทั้งนี้อาจเนื่องจากการใส่ปุ๋ยโคโลไมท์ และยิบซัมในอัตราค่อนข้างสูง มีผลทำให้พืชดูดใช้ Mg ได้น้อยลง อย่างไรก็ตาม พบอาการขาด Mg ในใบมังคุดค่อนข้างน้อย สำหรับ Fe ที่มีค่าค่อนข้างต่ำ และในปีที่ 2 ต่ำกว่าปีที่ 1 เล็กน้อย (เฉลี่ย 16.7 mg kg^{-1} สำหรับปีที่ 2 และ 20.9 mg kg^{-1} สำหรับปีที่ 1) อย่างไรก็ตาม ไม่พบอาการขาด Fe ที่ใบมังคุด สาเหตุส่วนหนึ่งอาจเนื่องมาจาก ในการกำหนดค่ามาตรฐานโดยสุมิตรา และคณะ (2547) เป็นการวิเคราะห์จุลธาตุโดยวิธี wet ashing ซึ่งมีการใช้กรดในการย่อยสลาย จึงเกิดการปนเปื้อนของจุลธาตุได้ค่อนข้างมาก ในขณะที่วิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้ เป็นวิธี dry ashing มีการปนเปื้อนของจุลธาตุอาหารน้อยกว่า การที่ Fe ลดลงในปีที่ 2 อาจเป็นสัญญาณแสดงว่าจะมีการขาด Fe ในอนาคต จำเป็นที่ชาวสวนจะต้องฉีดพ่น Fe เพื่อป้องกันการขาด

สำหรับความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบในแต่ละดำรับการทดลองพบว่า ในปีที่ 1 ดำรับที่มีการฉีดพ่น Ca ทางใบ (ดำรับ T3 และ T4) มีค่าความเข้มข้นของ Ca ในใบสูงกว่าดำรับที่ไม่มีการฉีดพ่นเล็กน้อย (ตารางที่ 3) ในขณะที่ปีที่ 2 ดำรับการทดลองที่ได้รับ Ca ทางดินอย่างเดียว (T2) ไม่แตกต่างจากดำรับที่ได้รับการฉีดพ่น (T3 และ T4) แสดงว่า ยิบซัมที่ใส่ไปในปีที่ 1 และ 2 มีการละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ดี จึงทำให้ดำรับที่มีการฉีดพ่น Ca ไม่แตกต่างจากดำรับที่มีการฉีดพ่นแต่แตกต่างจากดำรับควบคุม (T1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยทั่วไปแล้ว ดำรับที่มี Ca สูงมีแนวโน้มจะพบความเข้มข้นของ K และ N ต่ำ ซึ่งพบมากในผลการทดลองปีที่ 1 (ตารางที่ 3) ทั้งนี้เพราะ ธาตุ Ca และ K รวมทั้ง N ในรูป NH_4^+ เป็นปฏิปักษ์ (antagonistic) ต่อกัน (Mengel and Kirkby, 1987)

ในส่วนของ B พบว่า ดำรับที่มีการฉีดพ่น B (T4) มีความเข้มข้นของ B ในใบ (80.2 และ 78.8 mg kg^{-1} สำหรับปีที่ 1 และ 2 ตามลำดับ) สูงกว่าดำรับการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3 และ 4) นอกจากนั้น ยังพบว่า Mn ในใบมังคุดจากดำรับการทดลองที่มี Ca สูงมีความเข้มข้นสูงกว่าดำรับควบคุมที่มี Ca ต่ำ ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาส่งเสริม (synergistic) และปฏิปักษ์กันของธาตุอาหาร โดย Kabata-Pendias (2001) รายงานว่าในบางกรณี Ca จะมีปฏิกิริยาส่งเสริมการดูดกับ Mn ในขณะที่ K และ N เป็นปฏิปักษ์กับการดูด Mn แต่ Foy, et al. (1978) พบว่า Ca และ Mn มีปฏิกิริยาแบบปฏิปักษ์ระหว่าง

กัน ในกรณีของใบมังคุด อาจเป็นไปได้ว่าการที่ตำรับการทดลอง T3 และ T4 มีปริมาณ N และ K ต่ำ จึงทำให้มีการดูดใช้ Ca และ Mn มากขึ้น สำหรับธาตุอาหารอื่น ในใบมังคุดมีปริมาณใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของธาตุอาหารในใบมังคุดเมื่อใบมีอายุ 5, 7 และ 9 เดือน (ฤดูกาลเจริญเติบโต 2550/2551)

ตำรับ	%					mg kg ⁻¹				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
T1	1.30b	.06	.91b	1.27a	.10	17.8	166a	7.20	18.5	56.0a
T2	1.26ab	.07	.85ab	1.25a	.10	19.1	193a	7.50	18.4	59.5a
T3	1.21a	.06	.78a	1.42b	.11	22.5	224b	7.31	18.9	51.8a
T4	1.24a	.07	.86a	1.37ab	.11	24.1	225b	7.70	20.3	82.0b
เฉลี่ย	1.25	.07	.85	1.32	.11	20.9	207	7.23	19.0	62.3
P<0.05	*	ns	*	*	ns	ns	*	ns	ns	*
ค่ามาตรฐาน	1.1-1.4	.05-.08	.6-1.1	1.0-1.4	.12-.18	50-150	50-250	5-15	15-35	25-45

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของธาตุอาหารในใบมังคุดเมื่อใบมีอายุ 5, 7 และ 9 เดือน (ฤดูกาลเจริญเติบโต 2551/2552)

ตำรับ	%					mg kg ⁻¹				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
T1	1.25	0.07	0.86	1.24a	0.12b	16.4	166a	6.04	19.3	48.9a
T2	1.24	0.06	0.83	1.40b	0.12b	16.0	195b	5.94	19.9	49.2a
T3	1.23	0.06	0.81	1.44b	0.11a	18.7	191b	6.03	20.3	51.5a
T4	1.23	0.07	0.82	1.44b	0.11a	15.6	190b	5.82	19.8	78.8b
เฉลี่ย	1.24	0.07	0.83	1.38	0.12	16.7	185	5.96	19.8	57.1
P<0.05	ns	ns	ns	*	*	ns	*	ns	ns	*
ค่ามาตรฐาน	1.1-1.4	.05-.08	.6-1.1	1.0-1.4	.12-.18	50-150	50-250	5-15	15-35	25-45

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

3. การเจริญเติบโตของผลมังคุดอ่อน (ทำการศึกษาเฉพาะฤดูการเจริญเติบโต 2550/2551)

ผลมังคุดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง น้ำหนักสดทั้งผล (whole fruit) น้ำหนักสดเฉพาะผล (fruit) เพิ่มขึ้นตามอายุผลที่มากขึ้นในทุกตำรับการทดลอง และมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่ตำรับการทดลอง T1 มีแนวโน้มจะมีขนาดและน้ำหนักผลสูงกว่าตำรับอื่นเล็กน้อย (รูปที่ 1) เนื่องจากทั้ง 4 ตำรับการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน จึงนำข้อมูลจากทุกตำรับการทดลองมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นข้อมูลแสดงพัฒนาการของผล เป็นที่น่าสังเกตว่า หลังจากสัปดาห์ที่ 9 ไปแล้ว เส้นผ่าศูนย์กลางผลเพิ่มขึ้นค่อนข้างน้อย แต่น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งเฉพาะส่วนของผลและน้ำหนักแห้งทั้งผลยังเพิ่มขึ้นโดยมีลักษณะเป็น single sigmoidal curve ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของธีรวัฒน์ (2533) และในส้ม (Storey and Treeby, 1999) ส่วนน้ำหนักกลีบเลี้ยง (calyx) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระยะแรก หลังจากนั้นน้ำหนักค่อนข้างคงที่ สำหรับน้ำหนักขั้วผล (peduncle) เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบ ๆ คือน้ำหนักสดประมาณ 1 กรัม และน้ำหนักแห้งประมาณ 0.25 กรัมเท่านั้น (รูปที่ 1)

4. ปริมาณและการสะสมธาตุอาหารในผลมังคุดระหว่างพัฒนาการของผล (fruit development)

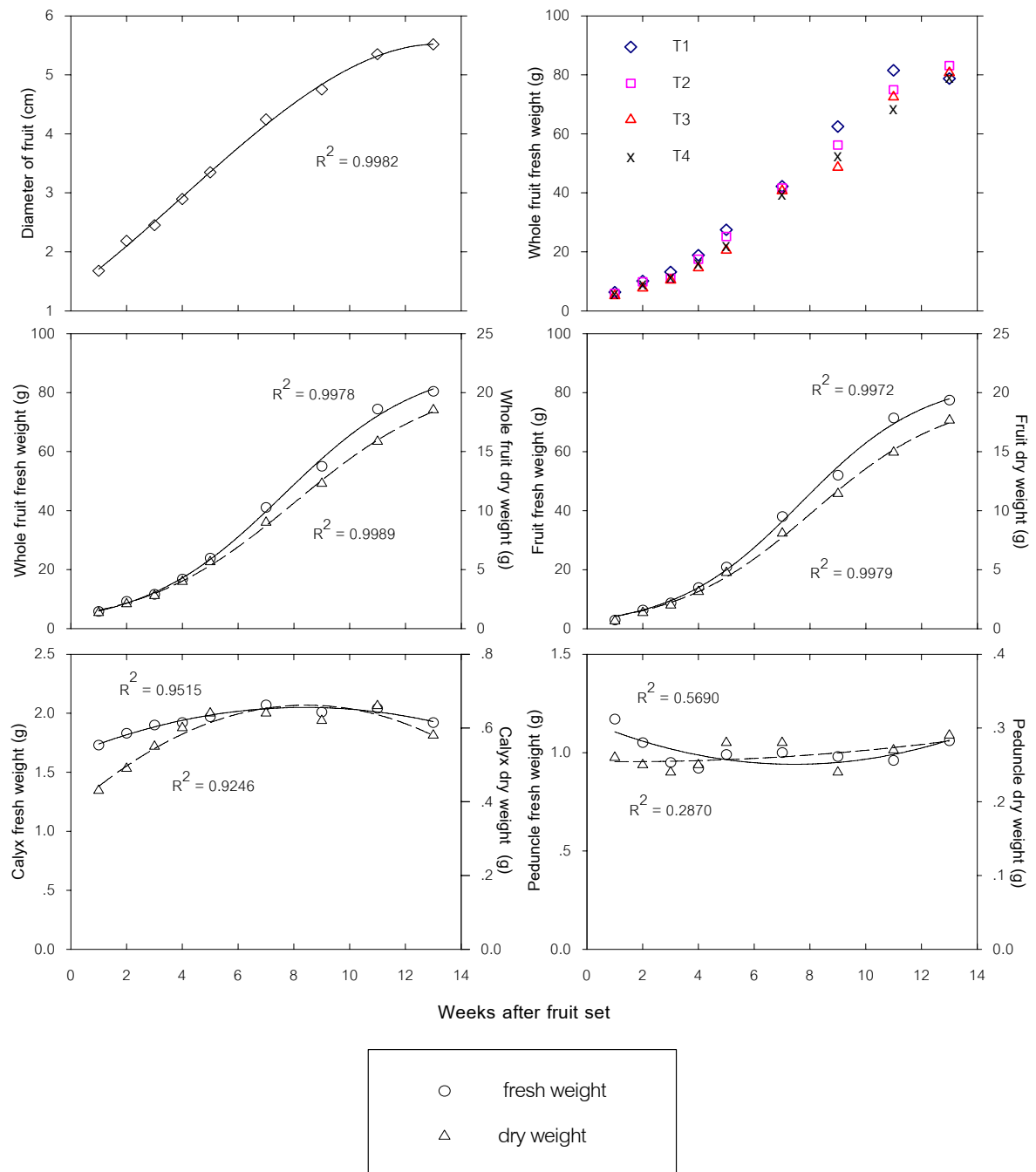
ภายหลังทำความสะอาดผลมังคุดและซับน้ำให้แห้ง นำผลมังคุดมาแยกเป็น 3 ส่วนคือ 1] ส่วนที่เป็นผล (fruit) 2] กลีบเลี้ยง (calyx) 3] ขั้วผล (peduncle) ชั่งน้ำหนักแต่ละส่วน แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหาร สำหรับปริมาณธาตุอาหารของแต่ละตำรับการทดลองและค่าวิเคราะห์ผลทั้ง 3 ส่วนมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ปริมาณธาตุอาหารในผล:

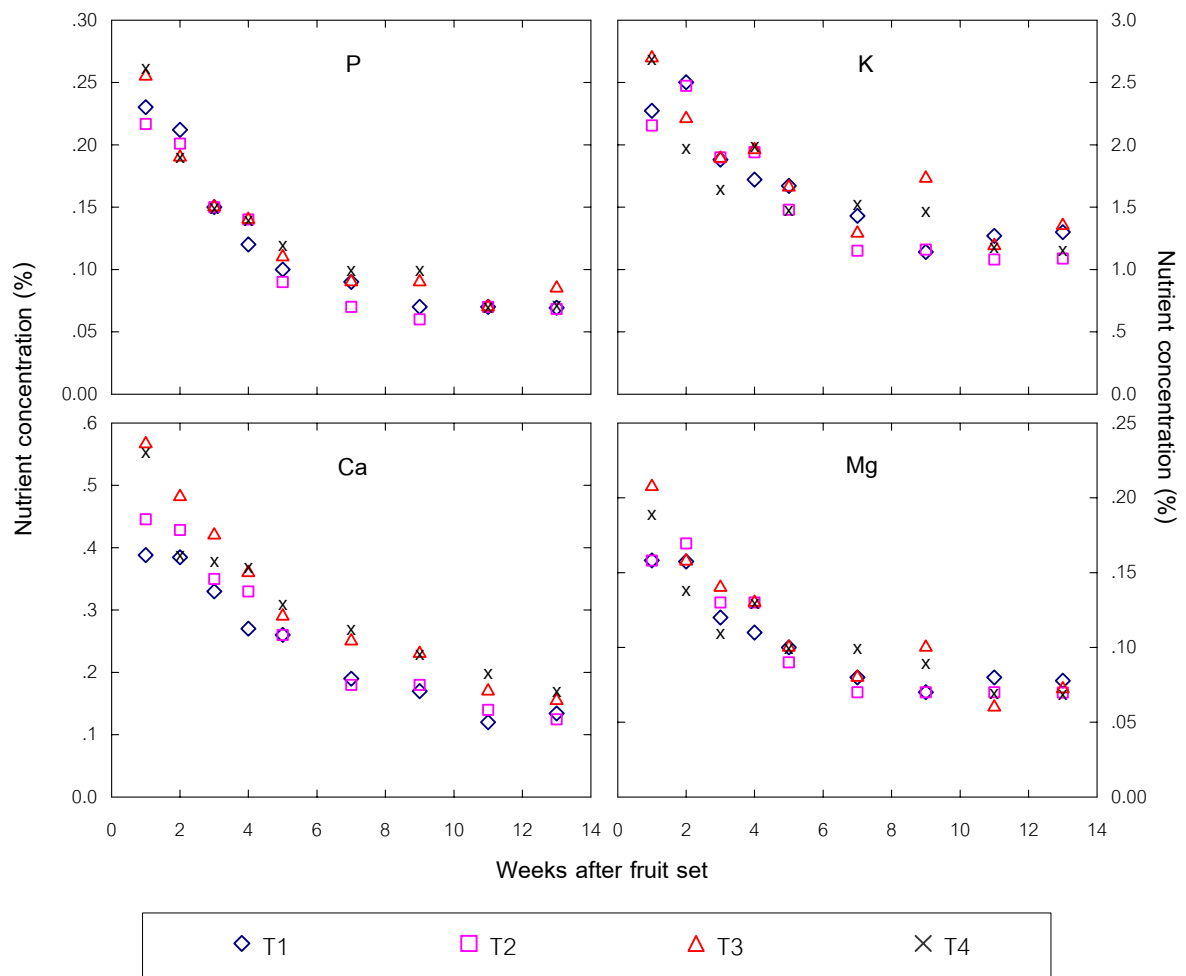
ปริมาณธาตุอาหารในผลมังคุดแสดงไว้ในรูปที่ 2 โดยภาพรวมพบว่า ธาตุอาหารส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงเมื่อผลอายุมากขึ้นและคล้ายคลึงกันในทุกตำรับการทดลอง เนื่องจากการเจริญเติบโตของขนาดผลเพิ่มขึ้น จึงเกิด dilution effect ความเข้มข้นของธาตุอาหารส่วนใหญ่จะมีความเข้มข้นลดลงค่อนข้างมาก ในช่วงอายุ 1 ถึง 5 สัปดาห์ หลังจากนั้น ความเข้มข้นของธาตุอาหารลดลงน้อย หลังจาก 7 สัปดาห์ไปแล้ว ความเข้มข้นของธาตุอาหารส่วนใหญ่ค่อนข้างคงที่ (รูปที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตำรับการทดลองพบว่า ตำรับที่มีการฉีดพ่นและให้ CaSO_4 ทางดิน (T2) มี Ca สูงกว่าตำรับควบคุม (T1) ในทางตรงกันข้าม K ในตำรับควบคุม (T1) มีแนวโน้มสูงกว่าตำรับอื่น ในทำนองเดียวกัน การฉีดพ่น B ทำให้ B ในผลสูงกว่าตำรับอื่น นอกจากนั้นยังพบว่า ตำรับที่มีการให้ Ca ทางดินร่วมกับการฉีดทางใบ (T3 และ T4) มีปริมาณ Mn ในผลสูงกว่าตำรับที่ให้ Ca ทางดินแต่เพียงอย่างเดียว (T2) และ ตำรับควบคุม (T1) อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสอดคล้องกับที่พบในใบมังคุดดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับธาตุอื่นๆ มีความเข้มข้นที่แตกต่างกันน้อยระหว่างตำรับการทดลอง

4.2 ปริมาณธาตุอาหารในกลีบเลี้ยงมังคุด :

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในกลีบเลี้ยงมังคุดแสดงไว้ในรูปที่ 3 จากรูปจะพบว่า ความเข้มข้นของธาตุอาหารในกลีบเลี้ยงมังคุดมีแนวโน้มลดลงเมื่อผลมีอายุมากขึ้น ซึ่งคล้ายกับที่พบในผล ถึงแม้



รูปที่ 1 ขนาดและน้ำหนักผลมังคุดระหว่างการพัฒนาของผล



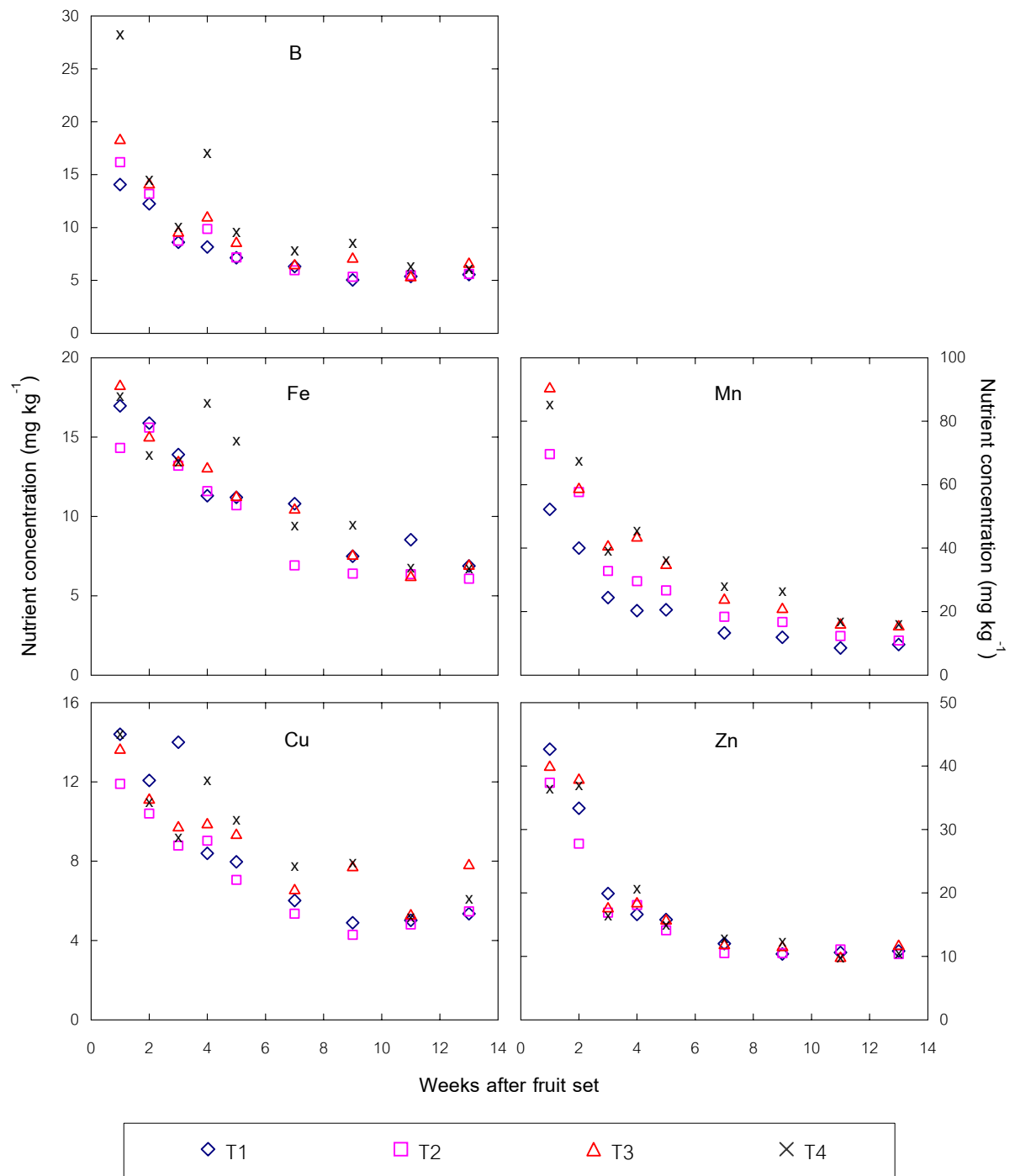
T1 : Control

T2 : CaSO₄ ทางดิน

T3 : CaSO₄ ทางดิน + ฉีดพ่น CaCl₂

T4 : CaSO₄ ทางดิน + ฉีดพ่น CaCl₂ + B

รูปที่ 2 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารในผลมังคุดระหว่างการพัฒนาของผล



T1 : Control

T2 : CaSO₄ ทางดิน

T3 : CaSO₄ ทางดิน + นีดฟ่อน CaCl₂

T4 : CaSO₄ ทางดิน + นีดฟ่อน CaCl₂ + B

รูปที่ 2 (ต่อ)

ว่าน้ำหนักกลีบเลี้ยงจะเพิ่มขึ้นไม่มากก็ตาม แสดงว่าอาจมีการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารจากส่วนของกลีบเลี้ยงเข้าไปยังผล อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของ Ca ในกลีบเลี้ยงลดลงค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ การลดลงของ Ca ในผล เนื่องจาก Ca เป็นธาตุที่ไม่เคลื่อนที่ในพืช กล่าวคือสามารถเคลื่อนที่เฉพาะในท่อน้ำเท่านั้น นอกจากนั้น ความเข้มข้นของ Ca ในกลีบเลี้ยงยังสูงกว่าในผลด้วย เนื่องจากกลีบเลี้ยงเป็นส่วนที่คายน้ำได้ดีกว่าผล จึงมี Ca ไปสะสมมากกว่า ส่วนปริมาณ P, K และ Mg ใกล้เคียงกัน สำหรับการทดลองที่มีการฉีดพ่นทางใบและผลด้วย Ca มีความเข้มข้นของ Ca สูงกว่าการที่ ไม่มีการฉีดพ่น ในทำนองเดียวกัน การทดลองที่มีการฉีดพ่น B มีความเข้มข้นของ B สูงกว่าการทดลองอื่น ๆ และมีความแตกต่างกันมากในแต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่าง ซึ่งน่าจะเกิดจากการปนเปื้อนของ B เนื่องจากกลีบเลี้ยงมีขอบบริเวณที่ติดกับข้อผลมีลักษณะโค้งงอ อาจทำให้ B ไปสะสมอยู่ และล้างออกได้ไม่หมด ส่วนปริมาณ Fe, Mn, Cu และ Zn พบว่า เมื่อผลอายุ 2 สัปดาห์ ความเข้มข้นของธาตุทั้ง 4 เพิ่มขึ้น หลังจากนั้น ความเข้มข้นของธาตุอาหารจึงลดลง ซึ่งคล้ายกับที่พบในส้ม (Storey and Treeby, 2000; Xiao, 2007)

4.3 ปริมาณธาตุอาหารในข้อผลมังคุด :

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในข้อผลมังคุดมีแนวโน้มลดลงเมื่อผลอายุมากขึ้นคล้ายกับที่พบในผลและกลีบเลี้ยง (รูปที่ 4) ยกเว้น Ca ซึ่งมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นในช่วง 4 สัปดาห์แรก หลังจากนั้นค่อนข้างคงที่ และลดลงอีกครั้งในช่วงที่ผลมีอายุ 13 สัปดาห์ เป็นที่น่าสังเกตว่า ข้อผลของการทดลองที่มีการฉีดพ่น Ca และ B (T4) มีแนวโน้มจะมีความเข้มข้นของธาตุอาหารสูงกว่าการทดลองอื่น ๆ

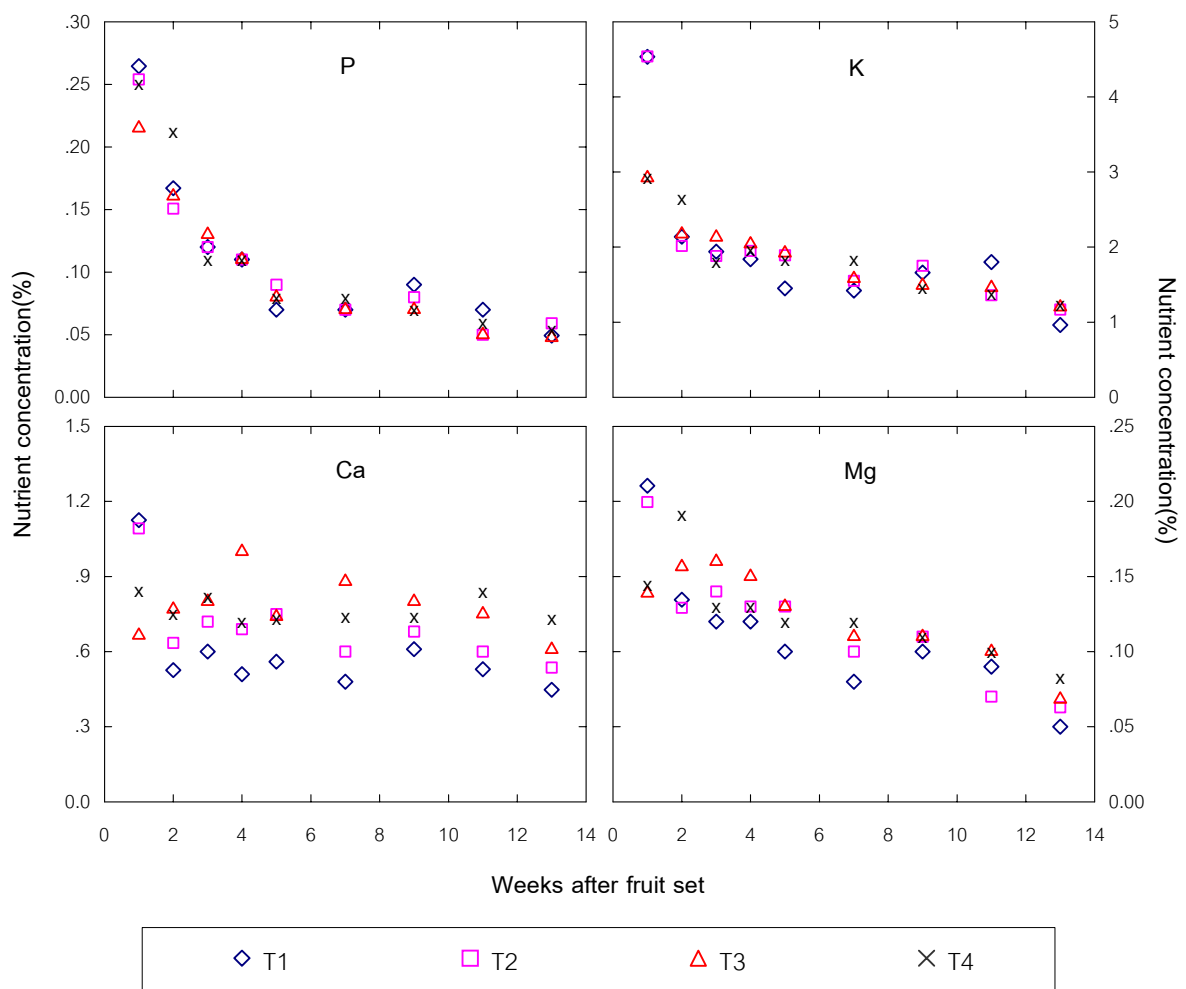
เมื่อนำความเข้มข้นของธาตุอาหารในแต่ละการทดลองมาหาค่าเฉลี่ย โดยแยกให้เห็นเป็นส่วนของผล กลีบเลี้ยงและข้อผล พบว่าโดยภาพรวมแล้ว แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ผลมังคุด ส่วนมากลดลงเมื่อผลอายุมากขึ้น (รูปที่ 5) มีเฉพาะ Ca ในข้อผลเท่านั้นที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่ 11 (รูปที่ 5) ซึ่งคล้ายกับที่รายงานในไม้ผลอื่นเช่น ส้ม (Storey and Treeby, 2000; Xiao et al., 2007) แอปเปิ้ล (Wilkinson and Perring, 1964) และพลับ (Clark and Smith, 1990)

4.4 การสะสมธาตุอาหารในผลมังคุด (Nutrient accumulation)

การสะสมของธาตุอาหารในผลคำนวณจาก ผลคูณระหว่างน้ำหนักกับความเข้มข้นของธาตุอาหาร เนื่องจากน้ำหนักผล กลีบเลี้ยงและข้อผล มีค่าใกล้เคียงกัน จึงใช้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักส่วนต่าง ๆ ของผลและความเข้มข้นธาตุอาหารของทุกการทดลองในการคำนวณ การสะสมธาตุอาหารในผลของมังคุดทั้งผล (whole fruit) และเฉพาะส่วนของผลอย่างเดียวนั้นมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน และมีค่าแตกต่างกันน้อย เนื่องจากส่วนของกลีบเลี้ยงและข้อผลมีน้ำหนักน้อย การสะสมธาตุอาหารส่วนใหญ่จึงอยู่ที่ผล (รูปที่ 6)

การสะสมธาตุอาหารของผลมังคุดทุกธาตุเพิ่มขึ้นตามขนาดของผลที่เติบโตมากขึ้น โดยธาตุ P, K Mg, B, Cu และ Zn มีลักษณะการเพิ่มค่อนข้างเป็นเส้นตรง ในขณะที่ Ca, Fe และ Mn ภายหลังจากสัปดาห์ที่ 7 ไปแล้ว จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง (รูปที่ 6) การเพิ่มขึ้นของ Ca ในผลตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตที่พบในการศึกษาครั้งนี้แตกต่างจากที่พบทั่วไปในพืชอื่น ซึ่ง Ca ส่วนมากจะเคลื่อนเข้าไปที่ผลในช่วงแรกของการเจริญเติบโตของผล (Faust, 1989) แต่การศึกษานี้พบว่า Ca เคลื่อนที่เข้าไปในผล

จนถึงเก็บเกี่ยวถึงแม้อัตราการเคลื่อนที่จะลดลงในช่วงท้ายของการเจริญเติบโตก็ตาม แสดงว่าการเคลื่อนที่ทางท่อน้ำยังเกิดได้หรืออาจมีการเคลื่อนที่ของ Ca บางส่วนผ่านทางท่ออาหาร (Tromp and Oele, 1972) จากการศึกษาศักย์ของน้ำ (water potential) ของใบและผลจากกิ่งเดียวกัน ปรากฏว่ายังมีการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าไปในผลในช่วงท้ายของการเจริญเติบโต (ดร.สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์ คิดต่อเป็นส่วนตัว) Lang (1990) รายงานว่า พืชต่างชนิดกันมีความสามารถในการทำงานของท่อน้ำยาวนานแตกต่างกัน ผลการทดลองนี้คล้ายคลึงกับที่พบในแอปเปิลบางสายพันธุ์ที่มีการเคลื่อนที่ของ Ca เข้าไปที่ผลจนกระทั่งเก็บเกี่ยว (Tromp, 1979; Zavalloni et al., 2001)



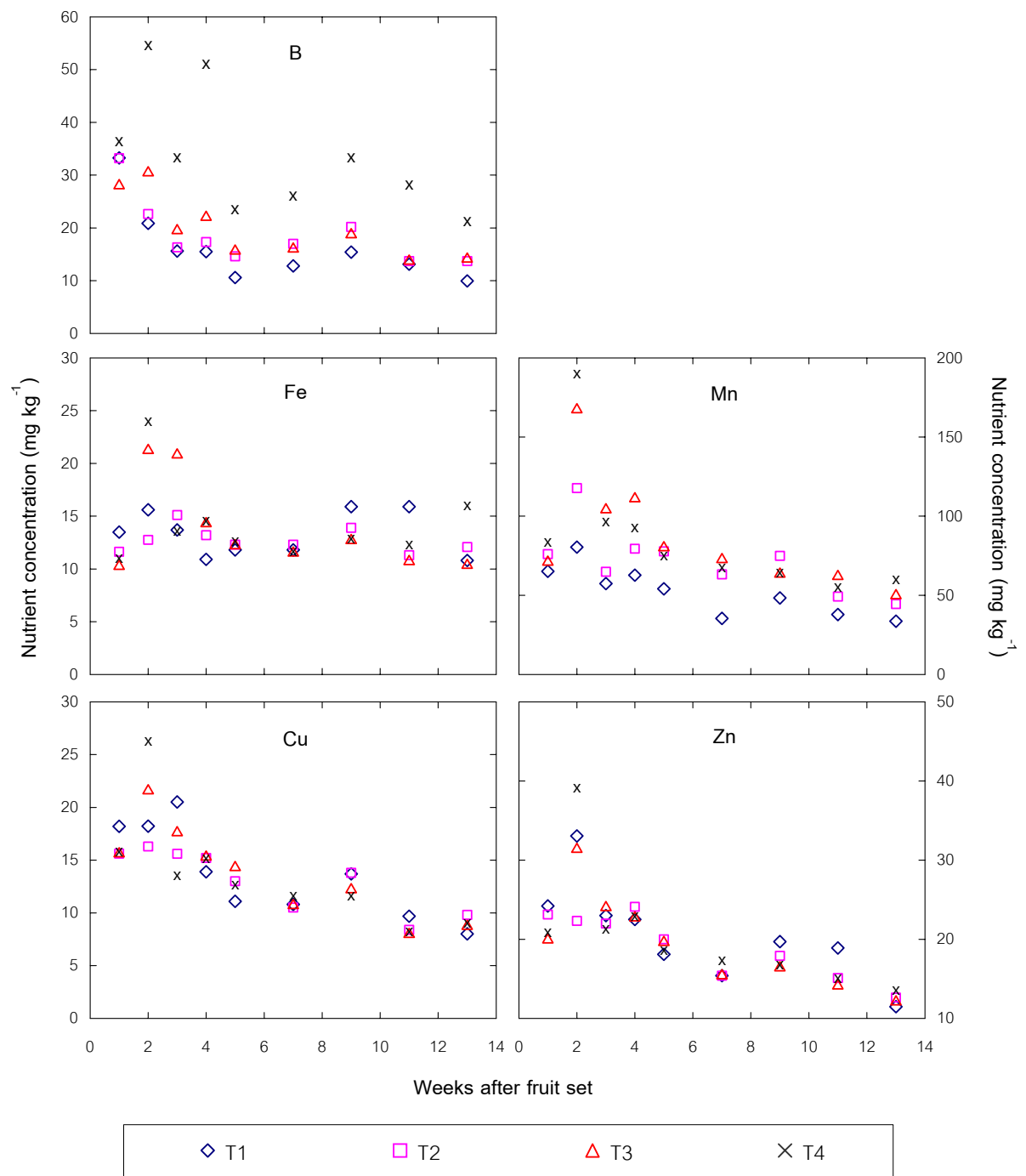
T1 : Control

T2 : CaSO₄ ทางดิน

T3 : CaSO₄ ทางดิน + นีดฟ่อน CaCl₂

T4 : CaSO₄ ทางดิน + นีดฟ่อน CaCl₂ + B

รูปที่ 3 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารในกิลีบเลี้ยงของผลมังคุดระหว่างการพัฒนาของผล



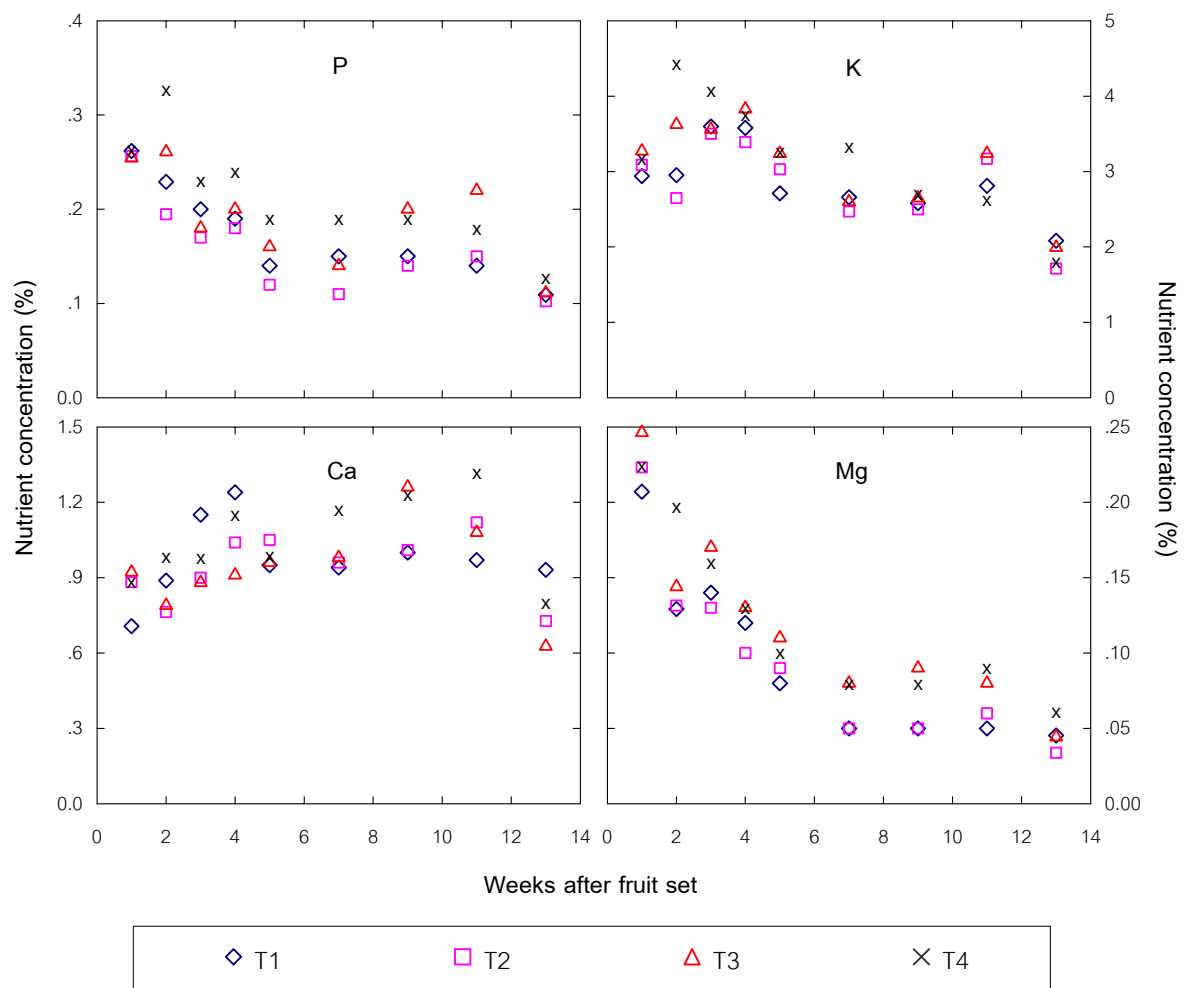
T1 : Control

T2 : CaSO_4 ทางดิน

T3 : CaSO_4 ทางดิน + นีดฟ่อน CaCl_2

T4 : CaSO_4 ทางดิน + นีดฟ่อน $\text{CaCl}_2 + \text{B}$

รูปที่ 3 (ต่อ)



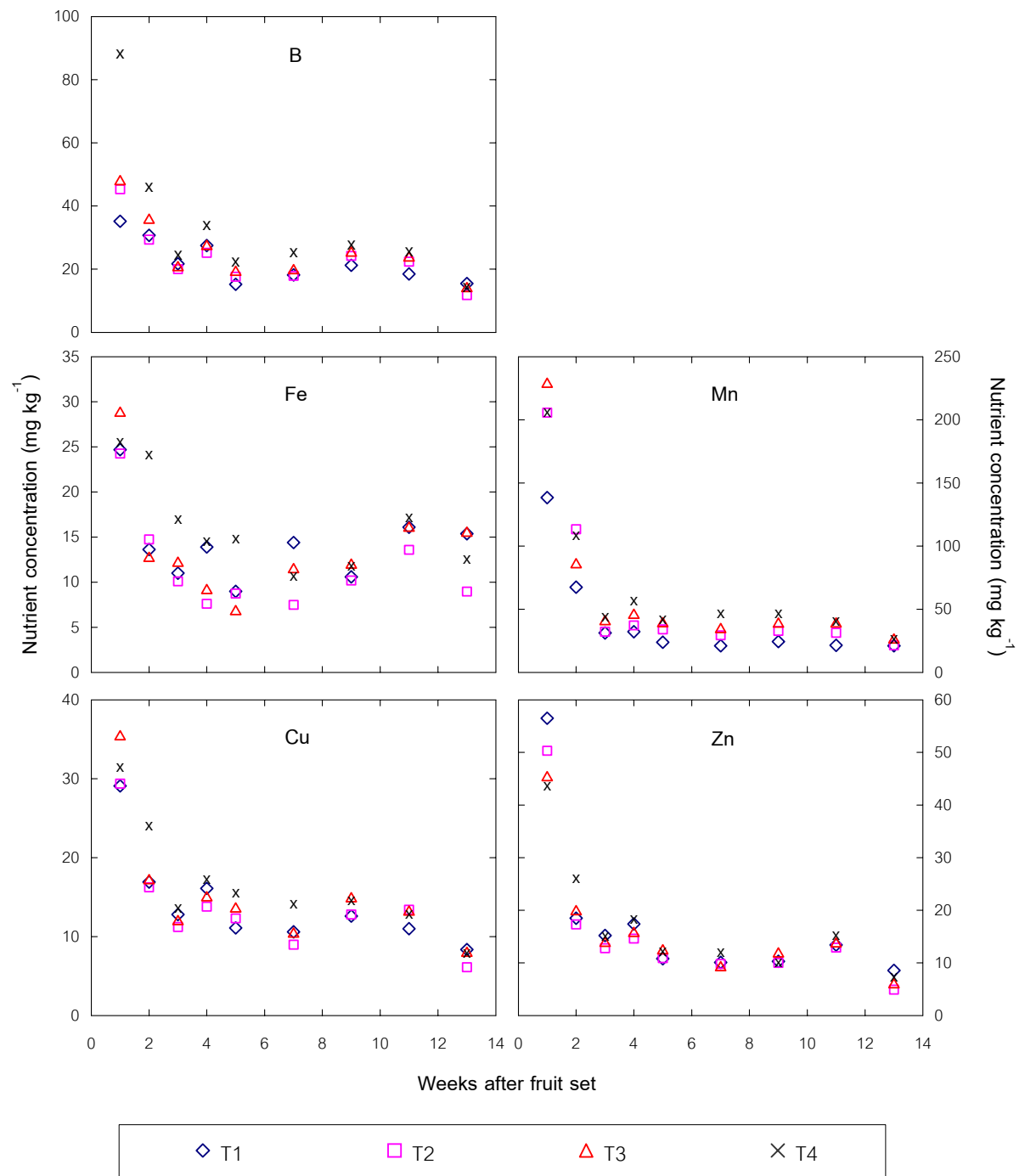
T1 : Control

T2 : CaSO₄ ทางดิน

T3 : CaSO₄ ทางดิน + นีดฟ่อน CaCl₂

T4 : CaSO₄ ทางดิน + นีดฟ่อน CaCl₂ + B

รูปที่ 4 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารในข้อผลมังคุดระหว่างการพัฒนาของผล



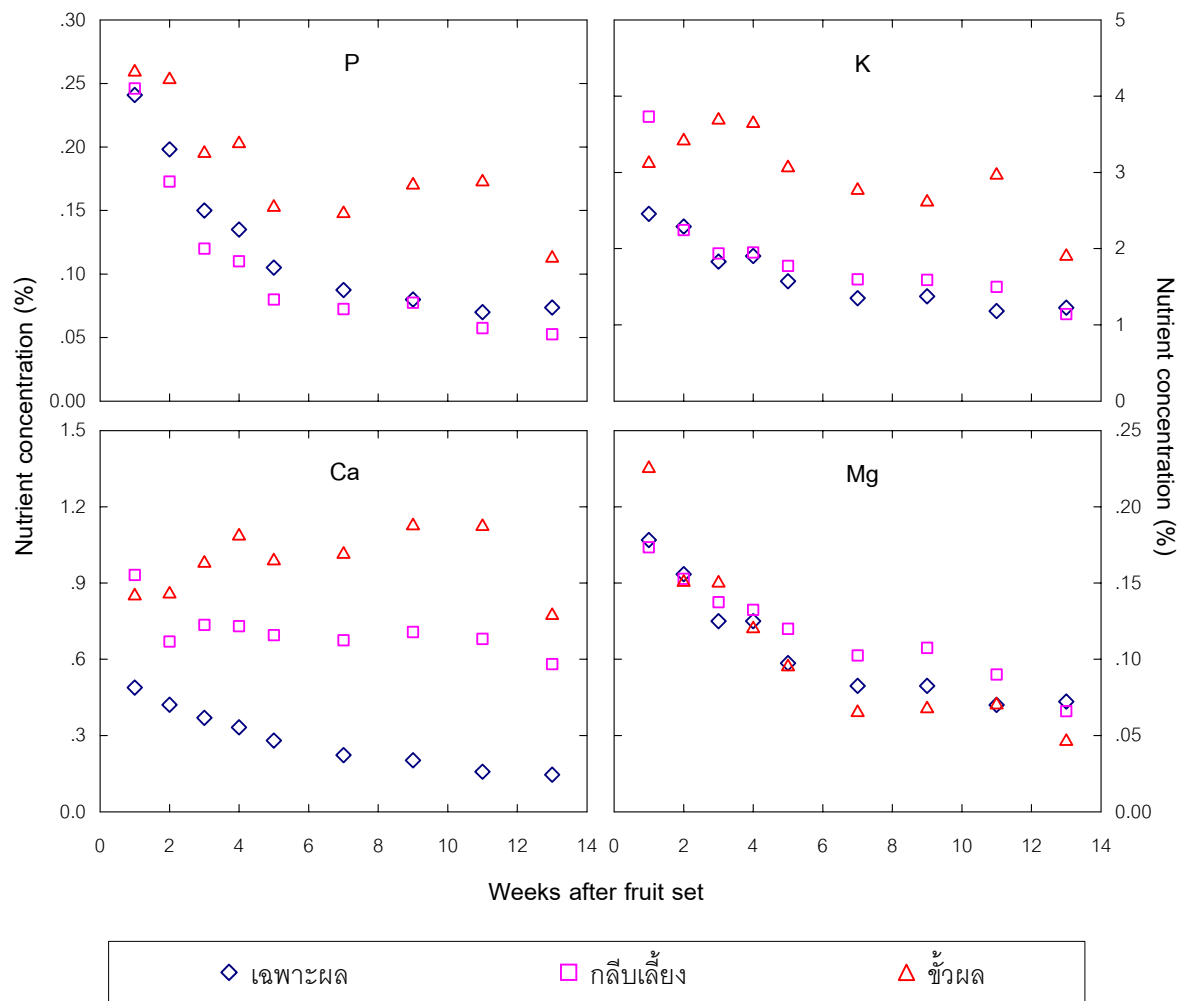
T1 : Control

T2 : CaSO_4 ทางดิน

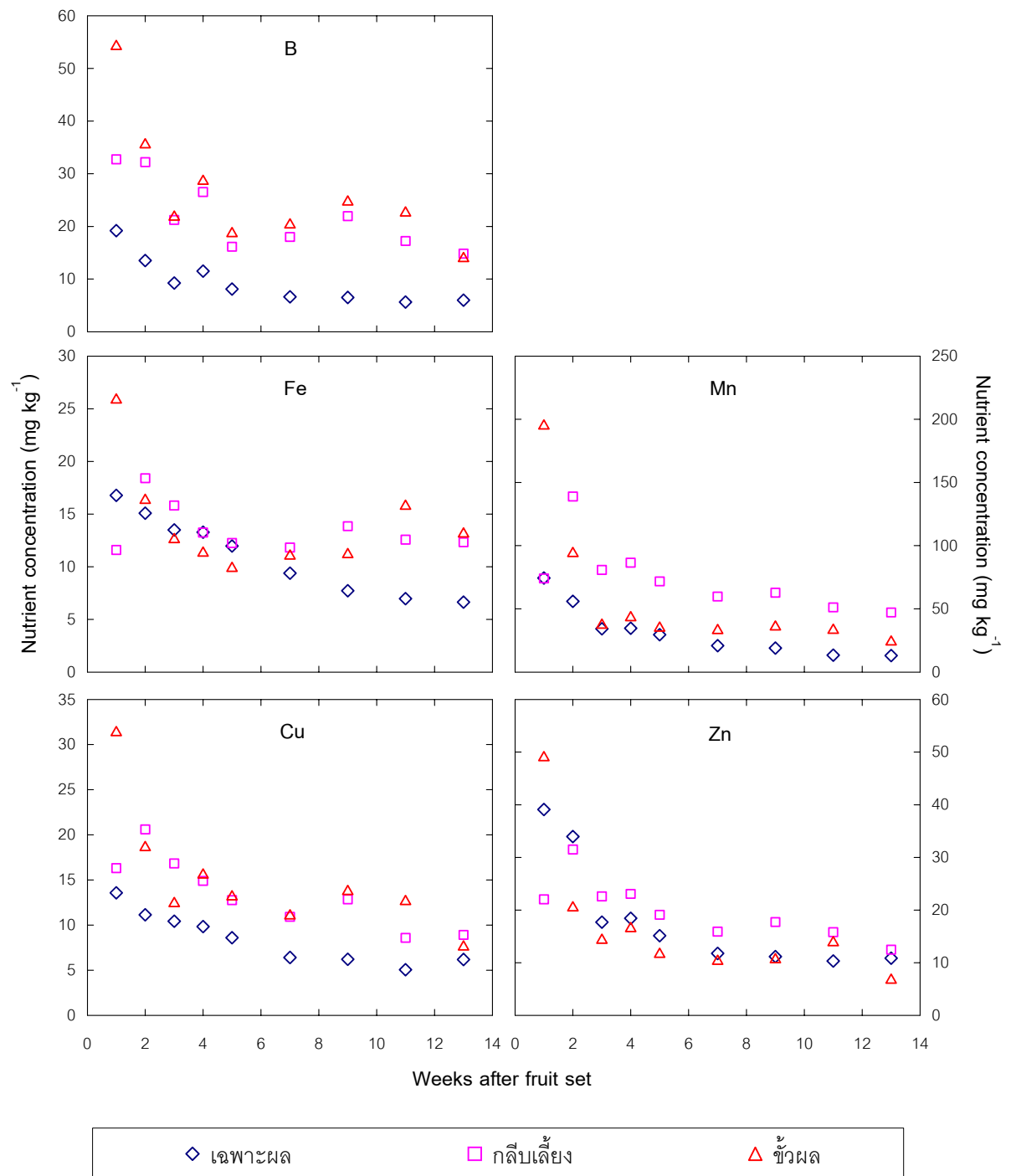
T3 : CaSO_4 ทางดิน + ฉีดพ่น CaCl_2

T4 : CaSO_4 ทางดิน + ฉีดพ่น CaCl_2 + B

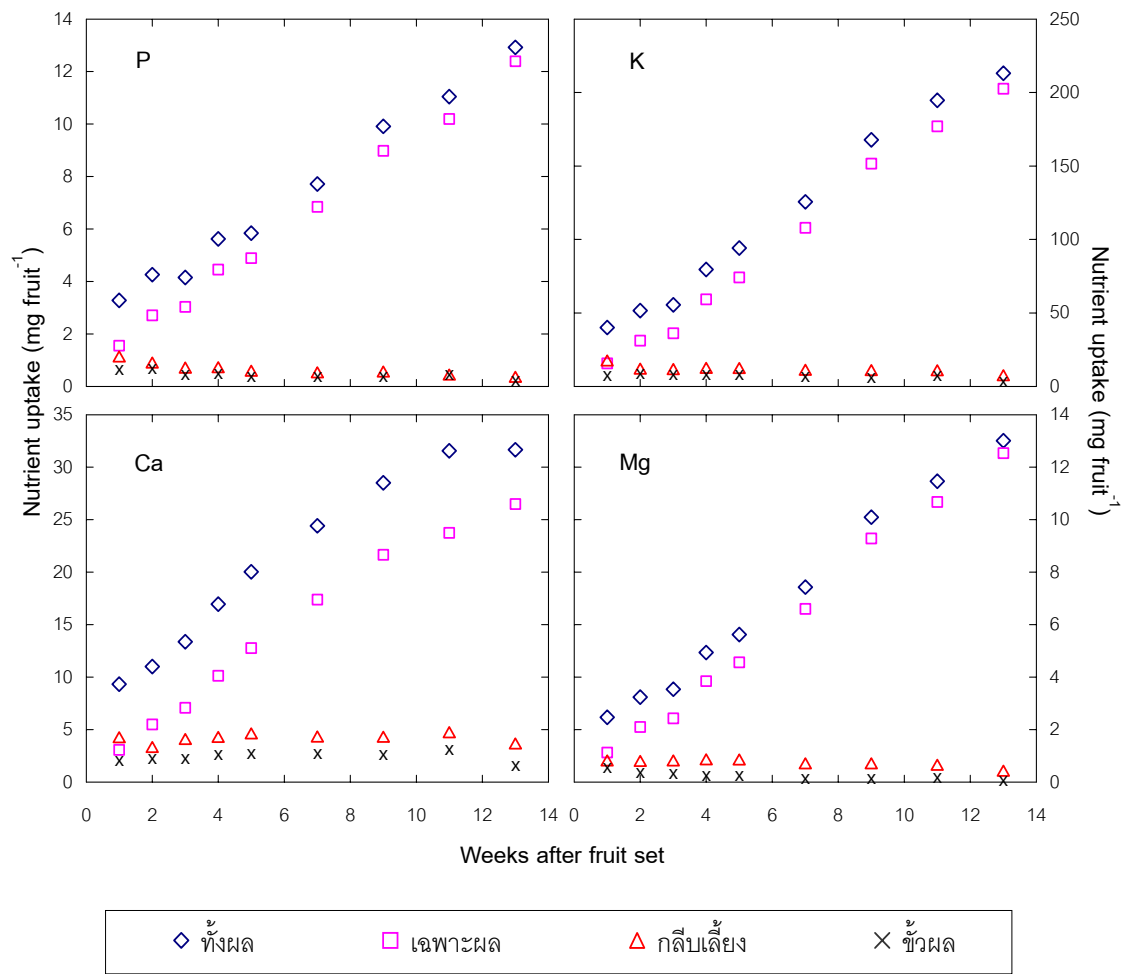
รูปที่ 4 (ต่อ)



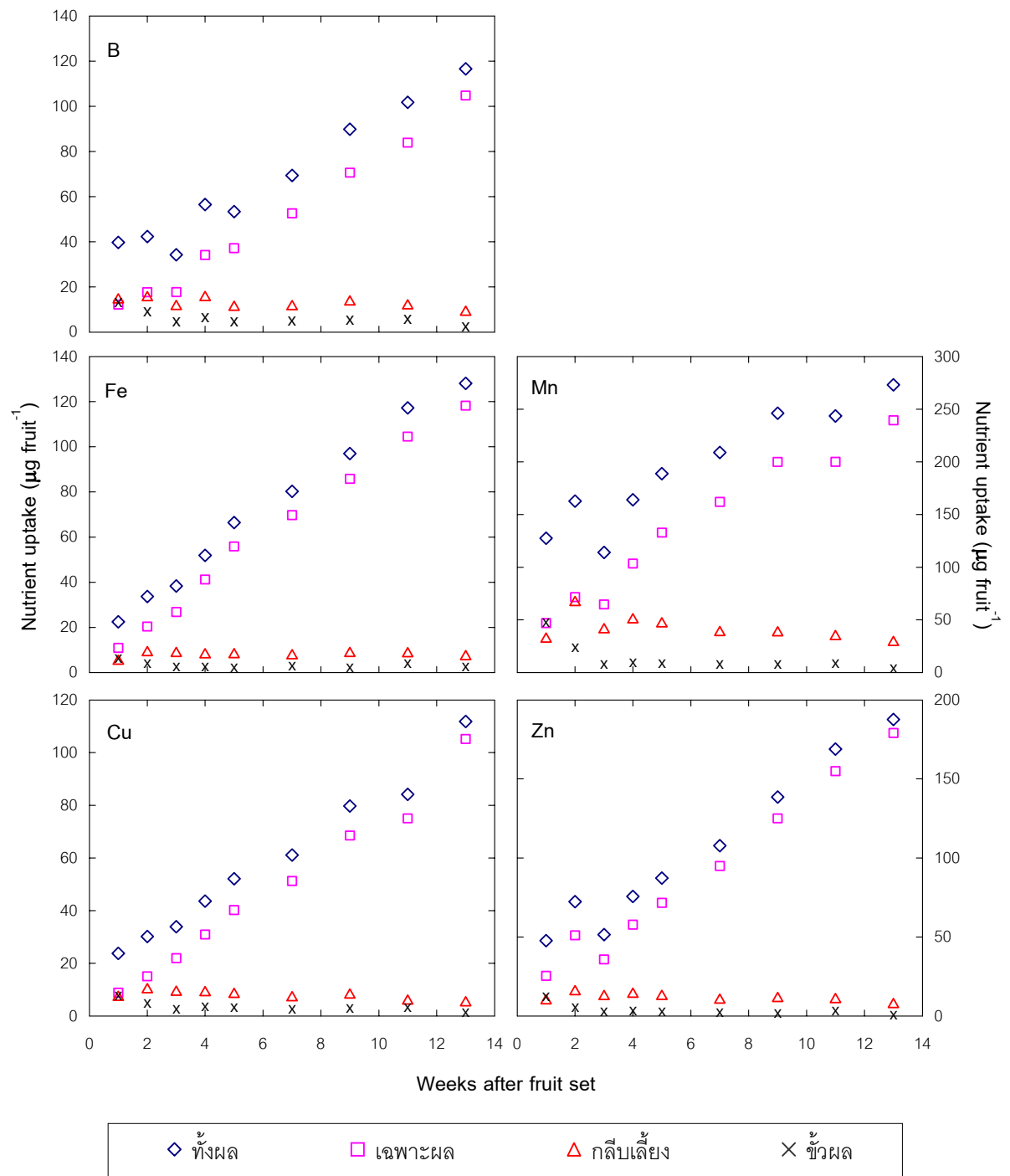
รูปที่ 5 ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ของผลมังคุดระหว่างการพัฒนาของผล



รูปที่ 5 (ต่อ)



รูปที่ 6 การสะสมธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ของผลมังคุดระหว่างการพัฒนาของผล



รูปที่ 6 (ต่อ)

1. อิทธิพลของการห่อผลต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารในผล

การศึกษาอิทธิพลของการห่อผลต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของผลมังคุด ทำการศึกษาเฉพาะฤดูการเจริญเติบโต 2551/2552 โดยห่อผลมังคุดที่อายุ 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ด้วยถุงพลาสติก และเก็บตัวอย่างผลมาวิเคราะห์เมื่อผลมีอายุ 7 และ 12 สัปดาห์ ผลการศึกษามีดังนี้

5.1 การเจริญเติบโตของผล

การห่อผลไม่มีผลต่อน้ำหนักแห้งของผลกลม (fruit) เมื่ออายุ 7 สัปดาห์ น้ำหนักกลีบเลี้ยงและน้ำหนักขั้วผลทั้งอายุ 7 และ 12 สัปดาห์ (ตารางที่ 5) การที่น้ำหนักผลไม่แตกต่างกันเมื่ออายุ 7 สัปดาห์อาจเนื่องจากในระยะ 5 สัปดาห์แรก การเจริญเติบโตของผลค่อนข้างช้า (รูปที่ 1) ทำให้มีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักน้อย การคายน้ำของผลน่าจะยังเกิดได้ และถุงพลาสติกที่ใช้ห่อผลมีขนาดค่อนข้างใหญ่ นอกจากนั้นยังมีใบอยู่ในถุงด้วย 1 คู่ (สาเหตุที่ต้องห่อใบด้วย เนื่องจากขั้วผลมังคุดค่อนข้างสั้น จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า ถ้าไม่ห่อใบด้วย ผลมักจะร่วง) แต่เมื่อผลอายุ 12 สัปดาห์ การห่อผลทุกอายุมีน้ำหนักแห้งต่ำกว่าเมื่อไม่ห่อผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อายุที่ห่อผลไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 5) เนื่องจากการห่อผลทำให้การคายน้ำของผลลดลง ยังผลให้การสะสมน้ำและสารอาหารต่าง ๆ ในผลลดลงด้วย (Morandi et al., 2007) ในส่วนของกลีบเลี้ยงและขั้วผลซึ่งมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักค่อนข้างมาก และน้ำหนักค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเจริญเติบโตของผล (รูปที่ 1) การห่อผลจึงไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของทั้งกลีบเลี้ยงและขั้วผล ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Jones and Samuelson (1983) ที่พบว่า การห่อผลมีผลต่อน้ำหนักสดของผลแอปเปิลค่อนข้างน้อย

ตารางที่ 5 อิทธิพลของอายุการห่อผลต่อน้ำหนักแห้ง (กรัม) ของผล กลีบเลี้ยงและขั้วผลมังคุด

อายุของ ผลที่ห่อ	ผลกลม		กลีบเลี้ยง		ขั้วผล	
	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์
ไม่ห่อผล	10.6	18.0b	0.24	0.24	0.76	0.70
1 สัปดาห์	10.5	14.9a	0.24	0.23	0.74	0.72
2 สัปดาห์	10.6	15.0a	0.25	0.24	0.80	0.70
3 สัปดาห์	10.8	15.4a	0.23	0.23	0.74	0.67
4 สัปดาห์	10.9	15.1a	0.25	0.23	0.76	0.70
P=0.05	ns	*	ns	ns	ns	ns

5.2 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของผล

ความเข้มข้นของธาตุ K, Ca, Mg และ B ในผล (fruit) ที่ห่อด้วยถุงพลาสติกระหว่างอายุ 1-4 สัปดาห์ไม่แตกต่างกับผลที่ไม่ห่อทั้ง 2 อายุการเก็บตัวอย่าง (ตารางที่ 6) สอดคล้องกับรายงานของ Hoffman et al. (1999) ที่พบว่าการห่อผลมะม่วงด้วยถุงกระดาษหรือถุงพลาสติกก่อนเก็บเกี่ยว 41, 25 และ 9 วันไม่มีผลต่อความเข้มข้นของ Ca ในเปลือกและในเนื้อแต่อย่างใด การที่ความเข้มข้นของ Ca ในผลไม่แตกต่างกัน อาจ

เนื่องจากการเจริญเติบโตของผลที่แตกต่างกันระหว่างตำรับที่มีการห่อและไม่ห่อผล ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ในทำนองเดียวกัน ความเข้มข้นของธาตุ K, Ca, Mg ในกลีบเลี้ยงไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 7) แต่ความเข้มข้นของ B ในกลีบเลี้ยงของผลที่ไม่ห่อสูงกว่าผลที่ห่อเมื่ออายุ 1 และ 2 สัปดาห์ทั้ง 2 อายุการเก็บตัวอย่าง ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 เมื่ออายุ 12 สัปดาห์ การห่อผลเมื่ออายุ 3 สัปดาห์แตกต่างกับเมื่อไม่ห่อผลด้วย (ตารางที่ 7)

ส่วนข้าวผล พบว่าความเข้มข้นของ Ca แตกต่างกันทั้ง 2 อายุการเก็บตัวอย่าง โดยเมื่ออายุ 7 สัปดาห์ ผลที่ไม่ห่อมีความเข้มข้นของ Ca ในข้าวผลเท่ากับ 1.27 mg kg^{-1} ซึ่งสูงกว่าผลที่ห่อเมื่ออายุ 1 สัปดาห์ที่มีความเข้มข้น Ca เท่ากับ 0.92 mg kg^{-1} แต่ไม่แตกต่างจากผลที่ห่อเมื่ออายุ 2, 3 และ 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 8) เมื่อผลอายุมากขึ้นถึง 12 สัปดาห์ ความแตกต่างของ Ca ในข้าวผลมีมากขึ้น โดยผลที่ไม่ห่อมีความเข้มข้นของ Ca สูงกว่าผลที่ห่อเมื่ออายุ 1 และ 2 สัปดาห์ สำหรับ B พบความแตกต่างกันเฉพาะเมื่ออายุเก็บตัวอย่าง 12 สัปดาห์ โดยมีลักษณะเหมือนกับที่พบใน Ca คือการห่อผลเมื่ออายุ 1 สัปดาห์ มีความเข้มข้น B (24.5 mg kg^{-1}) น้อยกว่าผลที่ไม่ห่อ (27.5 mg kg^{-1}) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 6 อิทธิพลของอายุการห่อผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในผลกลม (fruit)

อายุของ ผลที่ห่อ	%K		%Ca		$\text{mg kg}^{-1}\text{Mg}$		$\text{mg kg}^{-1}\text{B}$	
	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์
ไม่ห่อผล	1.21	1.32	.174	.156	808	789	8.75	9.21
1 สัปดาห์	1.25	1.40	.144	.130	850	856	7.98	8.24
2 สัปดาห์	1.25	1.43	.150	.140	800	900	8.05	8.56
3 สัปดาห์	1.25	1.32	.165	.143	818	838	8.21	8.37
4 สัปดาห์	1.18	1.43	.165	.146	792	850	8.57	8.73
P=0.05	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 7 อิทธิพลของอายุการห่อผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในกลีบเลี้ยง (calyx)

อายุของ ผลที่ห่อ	%K		%Ca		$\text{mg kg}^{-1}\text{Mg}$		$\text{mg kg}^{-1}\text{B}$	
	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์
ไม่ห่อผล	1.35	1.40	.53	.53	1004	800	18.9b	23.9c
1 สัปดาห์	1.47	1.43	.44	.43	910	729	15.2a	17.6a
2 สัปดาห์	1.36	1.31	.46	.50	882	809	15.2a	19.7ab
3 สัปดาห์	1.44	1.42	.51	.50	973	781	16.8ab	20.8b
4 สัปดาห์	1.35	1.49	.52	.51	982	789	18.6b	21.5b
P=0.05	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 8 อิทธิพลของอายุการห่อผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในข้อผล (peduncle)

อายุของ ผลที่ห่อ	%K		%Ca		mg kg ⁻¹ Mg		mg kg ⁻¹ B	
	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์
ไม่ห่อผล	2.81	2.54	1.27b	0.90c	959	660	33.2	27.5b
1 สัปดาห์	2.99	2.66	0.92a	0.57a	836	659	31.5	24.5a
2 สัปดาห์	2.73	2.49	1.06ab	0.65ab	854	722	30.3	26.0ab
3 สัปดาห์	2.89	2.50	1.18b	0.80bc	950	721	32.3	26.9ab
4 สัปดาห์	2.72	2.76	1.22b	0.88c	918	728	32.5	27.5b
P=0.05	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	*

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

5.3 การสะสมธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของผลมังกุด (Nutrient accumulation)

ปริมาณธาตุอาหารทั้งหมดในแต่ละส่วนของผล คำนวณจากผลคูณระหว่างความเข้มข้นของธาตุอาหารกับน้ำหนักแห้ง ผลการทดลองปรากฏว่า การห่อผลมีอิทธิพลต่อการสะสมธาตุ Ca และ B ในผลกลม (fruit) เมื่อเก็บตัวอย่างที่อายุผล 12 สัปดาห์ ซึ่งเป็นไปตามความคาดหมาย เนื่องจากธาตุทั้ง 2 นี้มีการเคลื่อนที่ในท่อน้ำ ถ้าผลมีการคายน้ำมาก การสะสมของ Ca และ B จึงมากด้วย (ตารางที่ 9) ในส่วนของกลีบเลี้ยงพบว่า การห่อผลมีผลต่อการสะสม B ทั้ง 2 อายุการเก็บตัวอย่าง โดยผลที่ไม่ห่อมี B สูงกว่าผลที่ห่อเมื่ออายุ 1 และ 2 สัปดาห์ทั้ง 2 ครั้งของการเก็บตัวอย่าง แต่เมื่อผลอายุ 12 สัปดาห์ ผลที่ไม่ห่อมี B สูงกว่าผลที่ห่อเมื่ออายุ 3 สัปดาห์ด้วย (ตารางที่ 10)

การสะสมธาตุอาหารในข้อผลแตกต่างจากในผลและกลีบเลี้ยงเล็กน้อย คือ การสะสม Ca แตกต่างกันทั้ง 2 อายุที่เก็บตัวอย่าง ส่วน B แตกต่างกันเฉพาะเมื่อผลอายุ 12 สัปดาห์ โดย Ca ในผลที่ไม่ห่อสูงกว่าผลที่ห่อเมื่ออายุ 1 สัปดาห์ในการเก็บตัวอย่างครั้งแรก แต่สูงกว่าการห่อผลที่อายุ 1 และ 2 สัปดาห์ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 แต่ B ในผลที่ไม่ห่อสูงกว่าผลที่ห่อเมื่ออายุ 1 สัปดาห์เท่านั้น (ตารางที่ 11)

อิทธิพลของการห่อผลต่อการสะสมธาตุอาหารสอดคล้องกับการศึกษาของ Jones and Samuelson (1983) ที่พบว่า การห่อผลทำให้การสะสม Ca ในผลลดลง และสนับสนุนข้อมูลเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของ Ca และ B ที่กล่าวว่า การคายน้ำมีผลต่อการสะสม Ca และ B ของผล นอกจากนั้นยังแสดงให้เห็นว่า การห่อผลเมื่อผลอายุน้อย และระยะเวลาการห่อผลนาน มีอิทธิพลสูงต่อการสะสมธาตุอาหารที่เคลื่อนที่ในท่อน้ำได้แก่ Ca และ B แต่การห่อผลไม่ทำให้การสะสมธาตุอาหารที่เคลื่อนที่ในท่ออาหาร เช่น K และ Mg เปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด

ตารางที่ 9 อิทธิพลของอายุการห่อผลต่อการสะสมธาตุอาหารในผลกลม (fruit)

อายุของ ผลที่ห่อ	mg K fruit ⁻¹		mg Ca fruit ⁻¹		mg Mg fruit ⁻¹		mg B fruit ⁻¹	
	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์
ไม่ห่อผล	126	237	18.3	26.9b	8.40	14.0	92.6	164b
1 สัปดาห์	133	206	15.3	18.4a	9.00	12.5	85.0	121a
2 สัปดาห์	134	214	16.6	20.9a	8.65	13.6	86.8	130a
3 สัปดาห์	137	199	18.1	21.5a	8.98	12.6	88.8	127a
4 สัปดาห์	129	215	18.4	21.3a	8.78	12.6	91.6	132a
P=0.05	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 10 อิทธิพลของอายุการห่อผลต่อการสะสมธาตุอาหารในกลีบเลี้ยง (calyx)

อายุของ ผลที่ห่อ	mg K fruit ⁻¹		mg Ca fruit ⁻¹		mg Mg fruit ⁻¹		mg B fruit ⁻¹	
	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์
ไม่ห่อผล	10.3	9.8	4.00	3.63	.76	.55	14.4c	16.7c
1 สัปดาห์	10.6	10.2	3.23	3.03	.66	.51	11.1a	12.6a
2 สัปดาห์	10.5	9.1	3.65	3.48	.68	.55	12.0ab	13.7ab
3 สัปดาห์	10.5	9.4	3.69	3.36	.70	.52	12.4abc	14.0ab
4 สัปดาห์	10.1	10.3	3.98	3.52	.74	.55	14.0bc	15.0bc
P=0.05	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 11 อิทธิพลของอายุการห่อผลต่อการสะสมธาตุอาหารในข้อผล (peduncle)

อายุของ ผลที่ห่อ	mg K fruit ⁻¹		mg Ca fruit ⁻¹		mg Mg fruit ⁻¹		mg B fruit ⁻¹	
	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์	7 สัปดาห์	12 สัปดาห์
ไม่ห่อผล	6.78	6.05	3.10b	2.15c	0.23	0.16	8.05	6.59
1 สัปดาห์	7.18	5.93	2.20a	1.29a	0.20	0.15	7.51	5.51a
2 สัปดาห์	6.69	5.86	2.62ab	1.57ab	0.21	0.17	7.52	6.16ab
3 สัปดาห์	6.70	5.67	2.73ab	1.84bc	0.22	0.17	7.53	6.21ab
4 สัปดาห์	6.64	6.39	2.92b	2.05bc	0.23	0.17	7.96	6.38b
P=0.05	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	*

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

5. คุณภาพของผลมังคุดสุก

เมื่อผลมังคุดแก่ เก็บตัวอย่างผลมังคุดจากทั้ง 4 ดำรับการทดลองมาแยกขนาดและผ่าผลมังคุด เพื่อประเมินคุณภาพและให้คะแนนความรุนแรงในการเกิดปัญหาเนื้อแก้ว ขางไหล และเนื้อแก้ว+ขางไหล โดยให้คะแนนคุณภาพตั้งแต่ 1-5 (คะแนน 1 มีอาการน้อยที่สุด และคะแนน 5 มีอาการรุนแรงมากที่สุด) พร้อมทั้งวัดความหนาของเปลือก ปริมาณ Total soluble solid และ % Titratable acidity ปรากฏผลดังนี้

5.1 ขนาดของผลและคุณภาพผลที่นำมาศึกษา

จำนวนผลมังคุดที่เก็บศึกษาจากทุกดำรับการทดลองทั้ง 2 ปีใกล้เคียงกัน คือ 2,528 ผล สำหรับปีที่ 1 และ 2,547 ผลสำหรับปีที่ 2 โดยจำนวนผลที่แยกออกเป็น ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ในปีที่ 1 ใกล้เคียงกันคือ 31, 38 และ 31% ตามลำดับ (ตารางที่ 12) แต่ปีที่ 2 ผลขนาดเล็กลดลงเหลือเพียง 19.5% และผลขนาดกลางเพิ่มเป็น 48.4% ส่วนผลขนาดใหญ่ใกล้เคียงกับปีที่ 1 คือ 32.1% (ตารางที่ 5) ซึ่งผลขนาดกลางและขนาดใหญ่เป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศมากกว่าผลขนาดเล็ก

เมื่อแยกออกเป็นคุณภาพผลพบว่า ผลขนาดเล็กและขนาดกลางมีจำนวนผลปกติมากกว่าผลขนาดใหญ่ (61.4-61.9% เปรียบเทียบกับ 54.2%) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปีที่ 2 (ตารางที่ 12) ในปีที่ 1 ผลขนาดเล็กมีจำนวนผลที่มีอาการเนื้อแก้วมากกว่า แต่ปีที่ 2 ไม่แตกต่างกัน ในส่วนของขางไหลพบว่าผลขนาดใหญ่มีแนวโน้มจะเกิดขางไหล หรือ เนื้อแก้ว+ขางไหลมากกว่า ถ้ารวมอาการเนื้อแก้ว+ขางไหลซึ่งเป็นอาการที่เกิดเนื้อแก้วด้วยเช่นกัน จะพบว่า ผลขนาดใหญ่มีแนวโน้มจะเกิดเนื้อแก้วและ/หรือขางไหลมากกว่าผลขนาดเล็กและขนาดกลางในทั้ง 2 ปีที่ศึกษา นอกจากนี้ยังพบว่า ผลขนาดเล็กมีความรุนแรงในการเกิดความผิดปกติน้อยกว่าผลขนาดใหญ่ ทั้งนี้ คะแนนความรุนแรงของทั้ง 2 ปีใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 12 คุณภาพผลมังคุดจากทุกดำรับการทดลองรวมกัน

ขนาด ผล	จำนวนผล		%ผลปกติ		%เนื้อแก้ว		%ขางไหล		%เนื้อแก้ว+ขางไหล	
	2251	2552	2251	2552	2551	2552	2551	2552	2551	2552
เล็ก	780 (31%)	496 (19.5%)	47.1	61.9	17.7	18.1	19.8	9.1	15.4	10.9
กลาง	974 (38%)	974 (48.4%)	44.4	61.4	13.1	19.9	27.6	9.2	14.9	9.5
ใหญ่	774 (31%)	819 (32.1%)	40.3	54.2	12.3	18.2	22.4	11.7	25.1	15.9
เฉลี่ย			43.9	59.2	14.4	18.7	23.2	10.0	18.5	12.1

ตารางที่ 13 คะแนนความรุนแรงของการเกิดอาการผิดปกติผลมั่งคุดจากทุกคำรับการทดลองรวมกัน
(คะแนนสูงหมายถึงอาการที่เกิดรุนแรง)

ขนาดผล	เนื้อแก้ว		ยางไหล		เนื้อแก้ว+ยางไหล	
	2251	2552	2551	2552	2551	2552
เล็ก	1.27	1.48	1.10	1.19	1.71	1.88
กลาง	1.39	1.51	1.22	1.45	2.09	2.02
ใหญ่	1.33	1.53	1.33	1.30	2.49	1.99
เฉลี่ย	1.33	1.51	1.22	1.32	2.10	1.97

เมื่อแยกตามคำรับการทดลองพบว่า คำรับการทดลองที่มีการใส่ CaSO_4 ทางดินอย่างเดียว (T2) หรือร่วมกับการฉีดพ่น Ca (T3) และฉีดพ่น Ca+B (T4) ให้ผลผลิตที่เป็นปกติมากกว่าคำรับควบคุมในทั้ง 2 ปี ที่ศึกษา สำหรับอาการเนื้อแก้วพบว่า ในปีที่ 1 อาการเกิดเนื้อแก้วในแต่ละคำรับการทดลองไม่แตกต่างกัน แต่ ปีที่ 2 คำรับควบคุม (T1) มีการเกิดเนื้อแก้วมากกว่าคำรับที่ได้ CaSO_4 ทางดินอย่างเดียว (T2) และคำรับที่ได้รับการฉีดพ่น Ca+B (T4) แต่ไม่ต่างจากคำรับที่ได้รับการฉีดพ่น Ca (T3) สำหรับอาการยางไหล และ เนื้อแก้ว+ยางไหลในปีที่ 2 ไม่แตกต่างกันระหว่างคำรับการทดลอง แต่ในปีที่ 1 พบว่าคำรับที่ให้ CaSO_4 ทางดินอย่างเดียว มีอาการยางไหลน้อยที่สุด แต่อาการเนื้อแก้ว+ยางไหลของคำรับการทดลองที่มีการฉีดพ่น Ca และฉีดพ่น Ca+B พบอาการน้อยที่สุด (ตารางที่ 14)

5.2 ความหนาของเปลือกมั่งคุด :

ผลมั่งคุดที่มีขนาดเล็กมีเปลือกบางกว่าผลขนาดใหญ่ ในทุกกลุ่มคุณภาพของผลมั่งคุดและทั้ง 2 ปีที่ศึกษา (ตารางที่ 15) โดยผลมั่งคุดที่เป็นเนื้อแก้วมีแนวโน้มที่จะมีเปลือกหนากว่าผลชนิดอื่น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างคำรับการทดลองพบว่า ผลมั่งคุดที่ได้รับการฉีดพ่น Ca+B (T4) มีความหนาของเปลือกน้อยกว่าคำรับการทดลองอื่นในทุกกลุ่มคุณภาพผลในปีที่ 1 ส่วนในปีที่ 2 มีความแตกต่างเฉพาะในกลุ่มผลปกติเท่านั้น ส่วนผลชนิดอื่น ๆ ไม่แตกต่างกันแต่มีแนวโน้มว่าคำรับ T4 มีเปลือกบางที่สุด การที่ผลมั่งคุดจากคำรับการทดลองที่มีการฉีดพ่น B มีเปลือกบางกว่าผลชนิดอื่น อาจเนื่องจาก B มีคุณสมบัติที่ทำให้เซลล์มีความยืดหยุ่นดีขึ้น จึงสามารถรับแรงดันภายใน (turgor pressure) ได้ดีขึ้น (Loomis and Durst, 1992) พืชจึงไม่จำเป็นต้องสร้างเปลือกให้หนา ความหนาของเปลือกมั่งคุดปีที่ 2 สูงกว่าปีที่ 1 เล็กน้อย เนื่องจากผลมั่งคุดที่นำมาศึกษาในปีนี้มีคูนน้อยกว่าผลมั่งคุดที่ศึกษาในปีที่ 1

ตารางที่ 14 สัดส่วนคุณภาพผลมังคุดในดำรับการทดลองต่าง ๆ

ดำรับการทดลอง	ขนาดผล	%ปกติ		%เนื้อแก้ว		%ยางไหล		%เนื้อแก้ว+ยางไหล	
		2551	2552	2551	2552	2551	2552	2551	2552
T1 (คววม)	เล็ก	31.1	50.4	24.0	23.6	17.9	17.4	27.1	8.6
	กลาง	37.8	51.4	16.4	22.7	22.7	9.6	23.0	16.3
	ใหญ่	33.6	49.5	11.2	21.8	24.4	11.3	30.8	17.6
เฉลี่ย		34.2a	50.4a	17.2	22.7b	21.7ab	12.7	27.0b	14.2
T2 CaSO ₄ ทางดิน	เล็ก	54.6	61.9	16.0	11.7	15.6	10.2	13.8	16.3
	กลาง	44.8	65.2	13.6	17.9	24.6	8.6	17.3	8.3
	ใหญ่	44.3	53.6	14.6	16.8	13.5	12.1	27.6	17.6
เฉลี่ย		47.9b	60.2b	14.7	15.5a	17.9a	10.3	19.6ab	14.0
T3 (CaSO ₄ ทางดิน +น็ดพ่น Ca)	เล็ก	58.3	67.8	8.5	18.3	23.0	4.4	10.2	9.5
	กลาง	49.7	63.1	13.2	22.4	25.2	6.9	12.0	7.6
	ใหญ่	41.0	56.2	14.9	16.7	27.5	14.0	16.6	13.2
เฉลี่ย		49.7b	62.3b	12.2	19.1ab	25.2ab	8.4	12.9a	10.1
T4 (CaSO ₄ ทางดิน +น็ดพ่น Ca+B)	เล็ก	51.8	69.6	13.2	9.6	24.5	8.9	12.9	12.0
	กลาง	43.4	67.7	9.9	13.1	38.6	12.9	8.2	6.2
	ใหญ่	41.2	62.4	7.9	14.7	23.1	11.9	27.8	11.1
เฉลี่ย		45.5b	66.6b	10.4	12.5a	28.7b	11.2	16.3a	9.8

การเปรียบเทียบทางสถิติเฉพาะค่าเฉลี่ยในแต่ละดำรับการทดลองเท่านั้น

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 15 ความหนาเปลือกมังคุด (มิลลิเมตร)ในดำรับการทดลองและคุณภาพผลต่าง ๆ

ดำรับ	ผลปกติ		ผลเนื้อแก้ว		ผลยางไหล		ผลเนื้อแก้ว+ยางไหล	
	2551	2552	2551	2552	2551	2552	2551	2552
T1	5.70d	5.75b	5.77c	5.90	5.58b	5.77	5.72c	5.92
T2	5.46c	5.76b	5.54bc	5.87	5.38b	5.72	5.65c	5.94
T3	5.16b	5.62b	5.39b	5.77	4.93a	5.76	5.32b	5.91
T4	4.81a	5.40a	4.84a	5.62	4.82a	5.61	4.86a	5.76
P=0.05	*	*	*	ns	*	ns	*	ns
ขนาดผล								
เล็ก	4.99a	5.25a	5.17a	5.38a	4.78a	5.24a	5.05a	5.51a
กลาง	5.28b	5.70b	5.45b	5.80b	5.20b	5.63b	5.64b	5.83b
ใหญ่	5.51c	5.93c	5.85c	6.10c	5.43c	5.97c	5.66c	6.18c
P=0.05	*	*	*	*	*	*	*	*

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

ผลมังคุดในตำรับการทดลองที่ได้รับการฉีดพ่น Ca+B (T4) มี Total soluble solid (TSS) ซึ่งวัดเป็น °Brix สูงกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปีที่ 2 (ตารางที่ 16) ส่วนในปีที่ 1 ค่า TSS ไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ %TA ในตำรับการทดลองที่ได้รับ Ca ไม่ว่าจะเป็นทางดินอย่างเดียว (T2) หรือ ร่วมกับการฉีดพ่น Ca หรือ Ca+B (T3 และ T4) มี %TA ต่ำกว่าตำรับควบคุม (T1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้ง 2 ปีที่ศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Embleton et al. (1973) ที่พบว่า ถ้ามีปริมาณ K ในใบส้มสูง จะทำให้เปอร์เซ็นต์กรดในน้ำส้มเพิ่มขึ้น ซึ่งในการทดลองนี้ ตำรับการทดลองที่ T3 และ T4 มีความเข้มข้นของ K ในใบต่ำกว่าตำรับควบคุม เนื่องจากตำรับการทดลองที่ T3 และ T4 มีปริมาณความเข้มข้นของ Ca สูงจึง เกิดปฏิปักษ์กับ K เมื่อเปรียบเทียบระหว่างปีพบว่า ค่า TSS ของปีที่ 2 สูงกว่าปีที่ 1 เล็กน้อย แต่ %TA ปีที่ 2 สูงกว่าปีที่ 1 มาก เนื่องจากผลมังคุดที่นำมาศึกษาในปีนี้มีผลสุกน้อยกว่าดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การให้ Ca และ B มีผลทำให้คุณภาพของผลมังคุดดีขึ้นทั้งในส่วนที่ลดอาการ ผิดปกติของผลและเพิ่มคุณภาพในด้านความหวานและความเปรี้ยวในสัดส่วนที่เหมาะสม

ตารางที่ 16 Total soluble solid (TSS) and % Titratable acidity (%TA)

ตำรับการทดลอง	TSS (°Brix)		%TA	
	2551	2552	2551	2552
T1	16.7	16.8a	0.54 d	.67c
T2	16.8	17.2b	0.49 c	.65b
T3	17.0	17.1b	0.44 a	.60a
T4	16.7	17.7c	0.46b	.60a
P<0.05	ns	*	*	*

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

6. ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อมังคุด

เมื่อแยกมังคุดออกเป็น 3 ขนาด คือ เล็ก กลาง และใหญ่ และแยกต่อไปอีกเป็นผลปกติ ผลเนื้อ แก้ว ผลยางไหล และผลเนื้อแก้ว+ยางไหล แล้ววิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารปรากฏว่า ธาตุ P และ K ในผลที่เป็นเนื้อแก้ว และผลเนื้อแก้ว+ยางไหลสูงกว่าปริมาณ P และ K ในผลปกติและผลยางไหลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้ง 2 ปีที่ศึกษา (ตารางที่ 17) ส่วน Ca มีความแตกต่างระหว่างขนาดของผลและปีที่ศึกษา โดยทั่วไปแล้วพบว่า ผลเนื้อแก้ว+ยางไหลมีแนวโน้มจะมี Ca สูงที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลปกติ ส่วนผลเนื้อแก้วอย่างเดียวพบว่ามี Ca สูงกว่าผลปกติเฉพาะปีที่ 1 เท่านั้น สำหรับ Mg พบว่าปีที่ 1 มีความเข้มข้น Mg สูงกว่าปีที่ 2 ในทุกขนาดผลที่ศึกษา แต่ทั้ง 2 ปีไม่พบแนวโน้มที่ชัดเจนระหว่างชนิดคุณภาพกับปริมาณ Mg ในกรณีของ B พบแนวโน้มที่ชัดเจนเฉพาะปีที่ 2 โดยผลเนื้อแก้ว+ยางไหลมีความเข้มข้นของ B สูงกว่าผลชนิดอื่น ส่วน Fe, Mn, Cu และ Zn ในปีที่ 1 ไม่แตกต่างกันในแต่ละชนิดของผล ยกเว้น Fe ในผล

ขนาดกลาง (ตารางที่ 18) แต่ในปีที่ 2 พบความแตกต่างระหว่างคุณภาพของผลโดยเฉพาะในผลขนาดเล็กและกลาง โดยผลเนื้อแก้ว + ขางไหล และในบางกรณีผลเนื้อแก้ว มีความเข้มข้นของ Fe, Mn, Cu and Zn สูงกว่าผลปกติและผลขางไหล Wills and Scott (1981) ทดลองฉีด (inject) Cu และ Fe เข้าไปในผลแอปเปิลและพบว่า มีผลทำให้เกิดอาการ breakdown ของเนื้อเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา แต่อัตราที่ใช้ค่อนข้างสูงคือ 40 $\mu\text{mole/fruit}$ ซึ่งเขารายงานว่าโดยทั่วไปแล้วโอกาสที่ผลจะได้รับ Cu และ Fe เพิ่มขึ้นในระดับนี้ในสภาพธรรมชาติมีน้อย ในทางกลับกัน Meheriuk and Nielsen (1991) พบว่า ผลแอปเปิลที่มี Cu สูงมีความแน่นเนื้อมากกว่า ซึ่งความแน่นเนื้อมักจะสัมพันธ์กับอายุการเก็บรักษาที่ดีขึ้น แต่กลไกและบทบาทของธาตุทั้ง 2 ในการเกิดความผิดปกติของผลยังไม่ทราบแน่ชัด

ตารางที่ 17 ความเข้มข้นของ P, K, Ca, Mg และ B ในเนื้อมั่งคุดสุกที่มีคุณภาพแตกต่างกัน

ขนาด ผล	ชนิด	%P		%K		mg kg ⁻¹ Ca		mg kg ⁻¹ Mg		mg kg ⁻¹ B	
		2551	2552	2551	2552	2551	2552	2551	2552	2551	2552
เล็ก	ปกติ	.048a	.041a	.26a	.20a	468a	481a	759	591a	2.08	2.05ab
	เนื้อแก้ว	.053b	.057b	.31b	.29b	526b	534ab	754	637a	2.02	2.39b
	ขางไหล	.048a	.042a	.26a	.21a	465a	480a	782	585a	2.13	1.89a
	แก้ว+ขาง	.054b	.064c	.31b	.37c	553b	553b	768	755b	1.97	2.85c
	เฉลี่ย	.050	.049	.28	.25	496	506	764	632	2.06	2.26
	P=0.05	*	*	*	*	*	*	ns	*	ns	*
กลาง	ปกติ	.051a	.042a	.30a	.23a	432a	392a	760ab	630a	2.16ab	2.09a
	เนื้อแก้ว	.056b	.055c	.35b	.33c	487b	426ab	712a	658a	2.04a	2.60a
	ขางไหล	.053a	.047b	.30a	.27b	446a	434b	794b	654a	2.25b	2.26a
	แก้ว+ขาง	.060c	.064d	.37c	.39d	517b	493c	716a	743b	2.09a	3.03c
	เฉลี่ย	.054	.051	.32	.30	461	431	753	665	2.15	2.47
	P=0.05	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
ใหญ่	ปกติ	.054a	.043a	.35a	.27a	430ab	353a	727b	636	2.19	2.32a
	เนื้อแก้ว	.062b	.054c	.41b	.36b	469b	351a	670a	680	2.11	2.48ab
	ขางไหล	.053a	.048b	.33a	.28a	409a	384b	748b	637	2.18	2.58ab
	แก้ว+ขาง	.064b	.060d	.44c	.38c	462b	403b	742b	690	2.22	2.83b
	เฉลี่ย	.058	.051	.38	.32	439	371	727	658	2.18	2.53
	P=0.05	*	*	*	*	*	*	*	ns	ns	ns

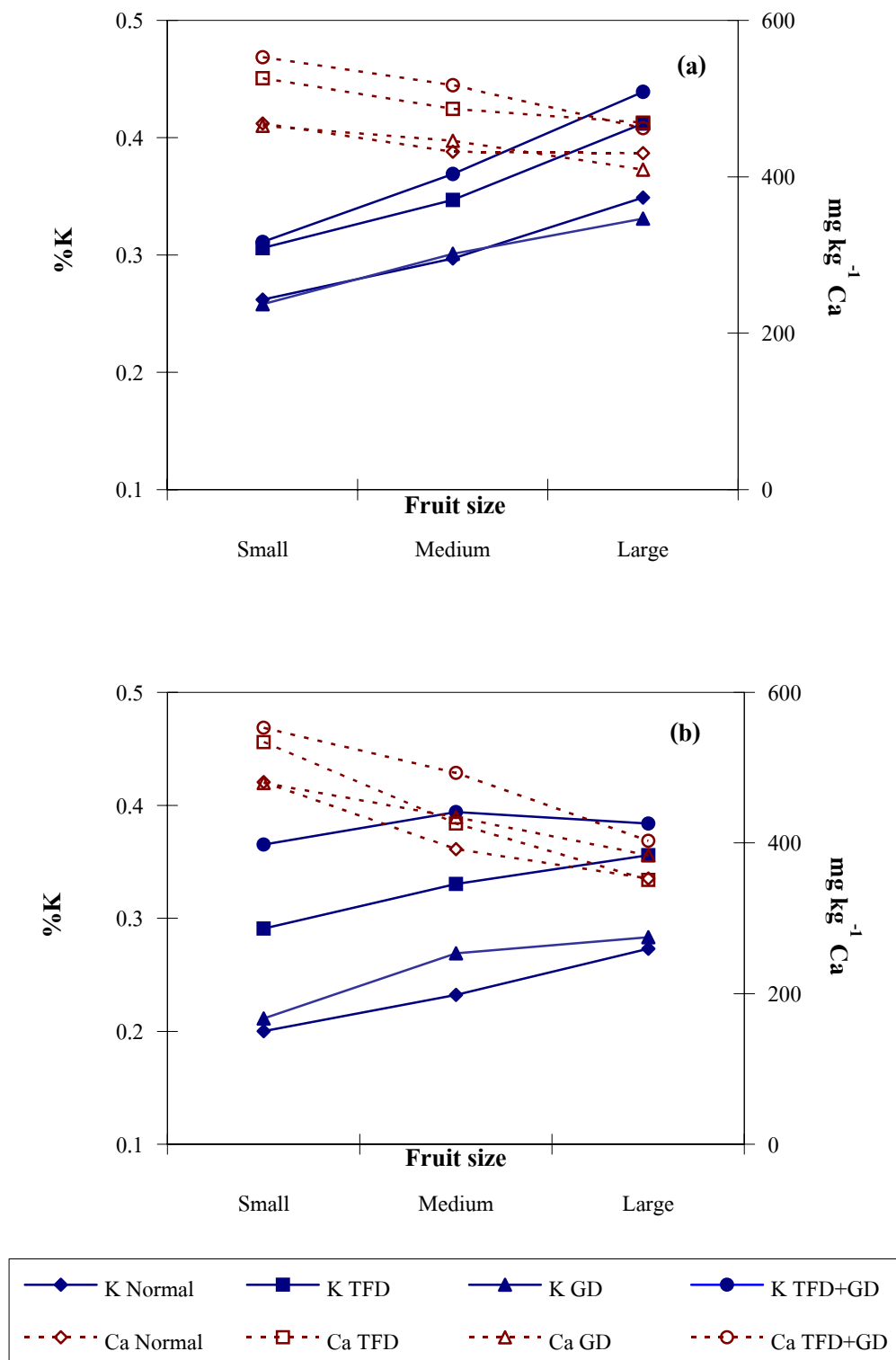
ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 18 ความเข้มข้นของ Fe, Mn, Cu และ Zn ในเนื้อมังคุดสุกที่มีคุณภาพแตกต่างกัน

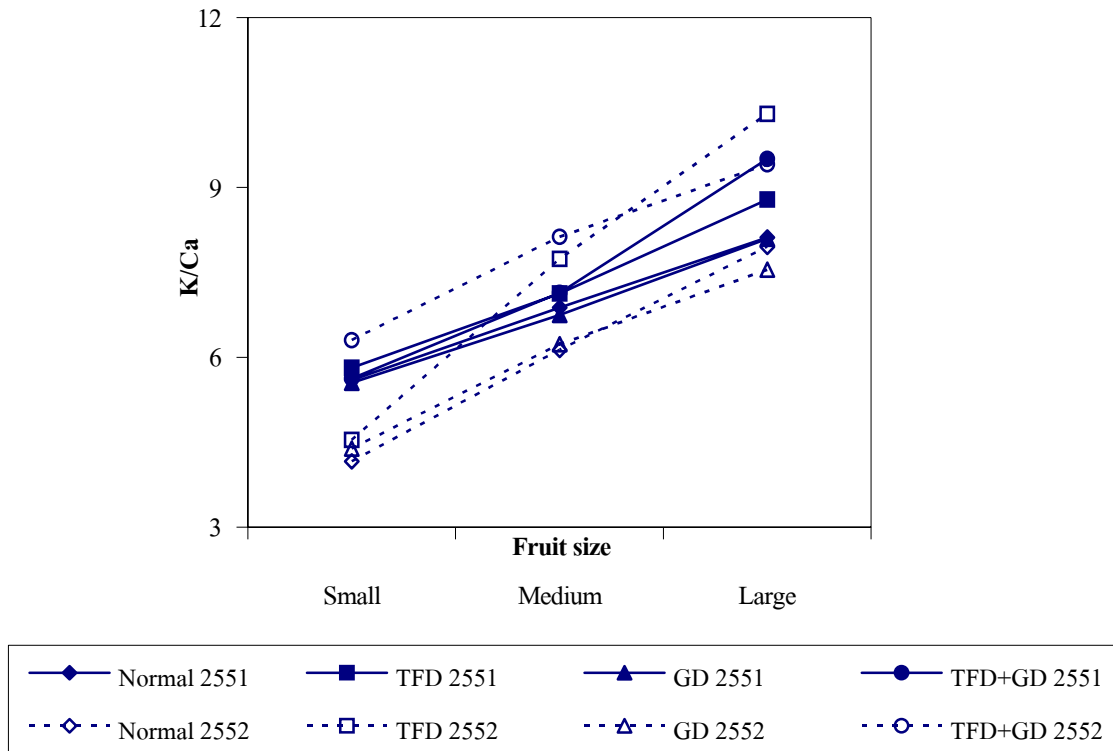
ขนาด	ชนิด คุณภาพ	mg kg ⁻¹ Fe		mg kg ⁻¹ Mn		mg kg ⁻¹ Cu		mg kg ⁻¹ Zn	
		2551	2552	2551	2552	2551	2552	2551	2552
เล็ก	ปกติ	4.55	4.05b	4.71	4.43a	3.57	3.50ab	3.77	5.50b
	เนื้อแก้ว	5.03	4.20bc	4.88	4.55ab	3.74	4.05bc	3.84	5.78b
	ยางไหล	4.56	3.29a	4.85	4.48a	3.46	3.21a	3.95	4.63a
	แก้ว+ยาง	5.45	4.79c	5.09	5.15b	3.82	4.82c	4.41	6.65c
	เฉลี่ย	4.82	4.15	4.85	4.60	3.63	3.85	3.94	5.69
	P=0.05	ns	*	ns	*	ns	*	ns	*
กลาง	ปกติ	4.46a	4.27a	4.44	3.87a	3.44	3.41a	3.78	5.41a
	เนื้อแก้ว	4.56a	4.76bc	4.40	4.13ab	3.66	3.87ab	3.69	5.67a
	ยางไหล	4.72ab	4.41ab	4.51	4.29bc	3.67	4.00b	4.10	5.48a
	แก้ว+ยาง	5.09b	4.90c	4.62	4.59c	3.61	4.52c	4.32	6.40b
	เฉลี่ย	4.662	4.57	4.48	4.17	3.57	3.88	3.95	5.71
	P=0.05	*	*	ns	*	ns	*	ns	*
ใหญ่	ปกติ	4.89	4.36	4.15	3.57	3.59	3.60a	4.37	5.57
	เนื้อแก้ว	4.85	4.78	4.11	3.43	3.48	3.94a	4.08	5.57
	ยางไหล	4.82	4.58	4.18	3.82	3.42	3.86a	4.06	5.67
	แก้ว+ยาง	5.19	4.69	4.15	3.74	3.78	4.54b	4.26	6.10
	เฉลี่ย	4.939	4.58	4.15	3.63	3.58	3.94	4.22	5.71
	P=0.05	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

เมื่อพิจารณาขนาดของผลพบว่า เมื่อผลมีขนาดใหญ่ขึ้น ความเข้มข้นของ K เพิ่มขึ้นแต่ความเข้มข้นของ Ca ลดลง ซึ่งในพบทั้ง 2 ปีที่ศึกษา (ตารางที่ 17 และรูปที่ 7) ซึ่งคล้ายกับที่พบในแอปเปิล (Perring, 1968) และอโวคาโด (Hofman, et al., 2002) ถ้าพิจารณาแยกแต่ละธาตุจะพบว่า ผลที่มีอาการเนื้อแก้ว และเนื้อแก้ว+ยางไหลมีธาตุ K สูง ขณะเดียวกันก็มี Ca สูงด้วยเช่นกัน ซึ่งไม่สามารถอธิบายการเกิดเนื้อแก้วได้ แต่เมื่อคำนวณเป็นสัดส่วนของธาตุอาหารจะพบว่าสัดส่วนของ K/Ca ในผลที่มีอาการเนื้อแก้ว และเนื้อแก้ว+ยางไหล มีค่าสูงกว่าผลปกติและผลที่เป็นยางไหลอย่างเฉียบและสัดส่วน K/Ca ยิ่งสูงมากขึ้นเมื่อผลมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยในปีที่ 2 ที่ศึกษาความแตกต่างระหว่างสัดส่วนของ K/Ca ระหว่างผลเนื้อแก้ว และเนื้อแก้ว+ยางไหล กับผลปกติ และผลยางไหลยิ่งชัดเจนมากขึ้น (ตารางที่ 12 และรูปที่ 8) ซึ่ง K/Ca เป็นสัดส่วนของธาตุอาหารที่นิยมใช้เป็นเครื่องชี้บ่งอาการ bitter pit ของผลแอปเปิล (Piestrzeniewicz and Tomala, 2001; Fallahi et al., 2006) สำหรับความเข้มข้นของ P ในผลเนื้อแก้ว และเนื้อแก้ว+ยางไหลซึ่งสูงกว่าผลปกติและผลยางไหลในทุกขนาดของผลและทั้ง 2 ปีที่ศึกษา สอดคล้องกับรายงานของ Ben (1995) ที่พบว่า



รูปที่ 7 ความเข้มข้นของ K และ Ca ในผลมังคุดคุณภาพต่างๆ (a) ปี 2551 (b) ปี 2552



TFD = ผลเนื้อแก้ว

GD = ผลยางไหล

TFD+GD = ผลเนื้อแก้ว+ผลยางไหล

รูปที่ 8 สัดส่วน K/Ca ในผลมังคุดคุณภาพต่าง ๆ

แอปเปิลที่มีอาการ bitter pit มีปริมาณ P สูงกว่าผลปกติ และ Meheriuk and Nielsen (1991) ที่พบว่า ความแน่นเนื้อ (firmness) ลดลงเมื่อ P ความเข้มข้นของ P ในเนื้อสูงขึ้น แต่แตกต่างจากรายงานของ Yogaratnum and Sharples (1982) และ Webster and Lidster (1986) ที่พบว่าเมื่อมี P ในเนื้อสูงอาการผิดปกติของแอปเปิลน้อยลง เนื่องจากเนื้อแอปเปิลมีความแน่นเนื้อ (firmness) เพิ่มขึ้น คณะผู้วิจัยไม่สามารถเชื่อมโยงอาการผิดปกติกับความเข้มข้นของ P ในเนื้อมังคุดหรืออธิบายความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากการศึกษาส่วนใหญ่เป็นเพียงการรายงานผลการทดลองเท่านั้น นอกจากนี้ ในปีที่ 1 ยังพบว่า สัดส่วนของ Ca/B ในผลเนื้อแก้วและ เนื้อแก้ว+ยางไหลยังสูงกว่าผลปกติอีกด้วย แต่ในปีที่ 2 สัดส่วนของ Ca/B ในผลปกติกลับสูงที่สุด ซึ่ง B เป็นธาตุที่สัมพันธ์กับอาการผิดปกติ เช่น bitter pit, cork spot และผลแตกในแอปเปิลเช่นกัน (Shear, 1975; Shorrocks and Nicholson, 1980)

ตารางที่ 19 สัดส่วนของ K/Ca และ Ca/B ในเนื้อมังคุดคุณภาพต่าง ๆ

ชนิดของผล	K/Ca		Ca/B	
	2551	2552	2551	2552
ผลปกติ	6.86a	5.89a	206a	189b
ผลเนื้อแก้ว	7.11a	7.74b	241b	171a
ผลยางไหล	6.85a	6.43a	200a	178a
ผลเนื้อแก้ว+ยางไหล	7.56b	8.11b	239b	163a
P= 0.05	*	*	*	*

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ผลจากการทดลองครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า อาการเนื้อแก้ว (อาการเนื้อแก้ว+ยางไหล จัดเป็นอาการเนื้อแก้วด้วย) เป็นอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาของผลที่เกิดจากธาตุอาหาร ซึ่งเกิดจากการขาด Ca และอาจจะมี B เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เนื่องจากธาตุทั้ง 2 นี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ pectin polysaccharides ในผนังเซลล์ของพืช (Matoh and Kobayashi, 1998) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ศิริวรรณ (2543) ที่พบว่า อาการเนื้อแก้วเกิดจากการที่ผลสุกได้รับน้ำมากเกินไป เซลล์เกิดความเสียหาย สารละลายต่าง ๆ ไหลออกมาแทนที่อากาศบริเวณผนังเซลล์ทำให้เห็นเป็นเนื้อใส ส่งผลให้เพกตินเปลี่ยนเป็นรูปที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อผลขาด Ca จะทำให้ membrane permeability เพิ่มขึ้น (Bangerth, 1979) ส่งผลให้มีการรั่วหรือปล่อย (release) ของสารละลายออกจาก cytoplasm มากขึ้น การขาด B ทำให้ความยืดหยุ่นของเซลล์ลดลงส่งผลให้เซลล์ประทุ (Loomis and Durst, 1992) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่แสดงไว้ในตารางที่ 14 ที่พบว่า การใส่ Ca ทางดิน (T2) และการใส่ Ca ทางดินร่วมกับการฉีดพ่น Ca (T3) หรือ Ca+B (T4) สามารถลดการเกิดเนื้อแก้ว/เนื้อแก้ว+ยางไหลได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปีที่ 1

อาการเนื้อแก้วมักเกิดกับกลีบมังคุดที่มีขนาดใหญ่ก่อน หรือเกิดเพียงกลีบเดียว ถ้าอาการรุนแรงมากขึ้นอาจเกิดเนื้อแก้วทั้งผล ซึ่งในการทดลองครั้งนี้พบค่อนข้างน้อย เนื่องจากคะแนนการเกิดเนื้อแก้วเฉลี่ยอยู่ที่ 1.33 (ตารางที่ 13) เท่านั้น การที่กลีบมังคุดที่มีขนาดใหญ่เกิดอาการก่อน น่าจะอธิบายได้ว่าปริมาณ Ca ในกลีบมังคุดแต่ละกลีบใกล้เคียงกัน แต่เมื่อกลีบมีการขยายใหญ่ขึ้น ทำให้ปริมาณ Ca และ B ที่มีอยู่ไม่เพียงพอต่อการสร้างความแข็งแรงให้ผนังเซลล์ จึงทำให้เซลล์แตกสารละลายต่าง ๆ ไหลออกมาแทนที่อากาศบริเวณผนัง ดังรายงานของศิริวรรณ (2543)

คณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์ธาตุอาหารของกลีบมังคุดที่เกิดเนื้อแก้ว เปรียบเทียบกับกลีบมังคุดปกติที่มาจากผลเดียวกัน (ศึกษาเฉพาะในปีที่ 1) พบว่า ในทุกตำรับการทดลอง กลีบมังคุดปกติมีค่า K, Ca และ B สูงกว่ากลีบเนื้อแก้ว เมื่อคิดเป็นสัดส่วนของ K/Ca พบว่า กลีบเนื้อแก้วมีสัดส่วน K/Ca สูงกว่ากลีบปกติมาก ในขณะที่ Ca/B ในกลีบปกติต่ำกว่ากลีบเนื้อแก้ว ผลการวิเคราะห์นี้ ทำให้มั่นใจยิ่งขึ้นว่า อาการเนื้อแก้ว เกิดจากการที่มีปริมาณ K สูงแต่มีปริมาณ Ca ต่ำ และอาจมีความไม่สมดุลของ B ร่วมอยู่ด้วย (ตารางที่ 20)

ในส่วนอาการยางไหล ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างธาตุอาหารในเนื้อม้กับอาการยางไหล เนื่องจากอาการยางไหลเป็นอาการที่พบที่เปลือกและขั้วผล กล่าวคือท่อน้ำยางในเปลือกหรือขั้วผลแตก จึงทำให้มียางรั่วหรือไหลออกมาจากท่อน้ำยาง ซึ่งอาจพบยางได้ทั้งที่เปลือกภายนอกผล หรือภายในผล ดังนั้น จึงไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างธาตุอาหารในเนื้อม้กับอาการยางไหล แต่น่าจะพบในส่วนของเปลือกและขั้วผลมากกว่า

ตารางที่ 20 ความเข้มข้นและสัดส่วนของธาตุอาหารในกลีบเนื้อแก้วกับกลีบม้จากผลเดียวกัน

ชนิดของกลีบ	%K	mg kg ⁻¹ Ca	mg kg ⁻¹ B	K/Ca	Ca/B
กลีบปกติ	0.31	513	2.20	6.01	234
กลีบเนื้อแก้ว	0.40	473	1.94	8.36	244
P=0.05	*	*	*	*	*

7. ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเปลือกม้

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเปลือกม้ของผลม้ทั้ง 3 ขนาด คือ เล็ก กลาง และใหญ่ที่แยกออกเป็นผลปกติ ผลเนื้อแก้ว ผลยางไหล และผลเนื้อแก้ว+ยางไหล มีแนวโน้มไปในลักษณะเดียวกัน ดังนั้น จึงนำธาตุอาหารของผลทั้ง 3 ขนาดมาหาค่าเฉลี่ยความเข้มข้นธาตุอาหารในแต่ละชนิดคุณภาพ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 21 และ 22 จากตารางจะพบว่า ความเข้มข้นของ K, Ca, Fe และ Mn ต่ำกว่าปีที่ 1 ส่วนธาตุอื่น ๆ มีความเข้มข้นใกล้เคียงกัน ความเข้มข้นของ K และ Ca ที่ลดลงสอดคล้องกับที่พบในเนื้อม้ที่ความเข้มข้นของธาตุทั้ง 2 ลดลง ส่วน Fe และ Mn ที่ลดลง อาจเนื่องจากการปนเปื้อนของธาตุทั้ง 2 จากการฉีดพ่นสารปราบศัตรูพืช หรือปุ๋ยทางใบของเกษตรกรในปีที่ 1 ทั้งนี้ปริมาณ Fe และ Mn ในเนื้อม้ทั้ง 2 ปีใกล้เคียงกัน

ความเข้มข้นของ Ca, Mn และ B มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างกลุ่มคุณภาพของผลในทั้ง 2 ปีที่ศึกษา โดย Ca, Mn และ B ในเปลือกของผลเนื้อแก้ว+ยางไหลต่ำกว่าผลปกติทั้ง 2 ปี แต่ผลเนื้อแก้วอย่างเดียวการตอบสนองไม่ชัดเจน คือ Mn ไม่แตกต่างกันทั้ง 2 ปี แต่ Ca ในเปลือกของผลเนื้อแก้วต่ำกว่าผลปกติในปีที่ 1 แต่ปีที่ 2 ไม่แตกต่างกัน ส่วน B ในปีที่ 1 ไม่แตกต่างแต่ปีที่ 2 ความเข้มข้นของ B ในผลเนื้อแก้วต่ำกว่าผลปกติ ในกรณีของ K พบว่าผลยางไหลมี K สูงกว่าผลชนิดอื่นเฉพาะปีที่ 1 ส่วนปีที่ 2 ไม่แตกต่างกัน สำหรับธาตุอื่น ๆ ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 21 ความเข้มข้นของ P, K, Ca, Mg และ B ในเปลือก กลีบเลี้ยง และข้าวผลมังคุดสุกที่มี

คุณภาพแตกต่างกัน

ส่วนของผล	ชนิด	%P		%K		%Ca		%Mg		mg kg ⁻¹ B	
		2551	2552	2551	2552	2551	2552	2551	2552	2551	2552
เปลือก	ปกติ	0.052	.055	1.51a	1.37	0.153b	.125b	0.056	.056ab	9.11bc	8.93b
	เนื้อแก้ว	0.051	.055	1.45a	1.35	0.141a	.120ab	0.056	.058c	8.85ab	8.71b
	ยางไหล	0.053	.053	1.58b	1.34	0.158b	.125b	0.057	.055a	9.48c	8.79b
	แก้ว+ยาง	0.050	.054	1.47a	1.33	0.139a	.116a	0.056	.057bc	8.60a	8.39a
	เฉลี่ย	0.051	.054	1.51	1.35	0.148	.122	0.056	.056	9.03	8.74
	P=0.05	ns	ns	*	ns	*	*	ns	*	*	*
กลีบเลี้ยง	ปกติ	0.061a	.065a	1.59a	1.39	0.62bc	.52ab	0.089	.075	26.4	29.2
	เนื้อแก้ว	0.063a	.068ab	1.61a	1.39	0.57a	.49a	0.085	.073	25.9	28.7
	ยางไหล	0.062a	.067a	1.60a	1.40	0.64c	.54b	0.091	.077	27.1	28.5
	แก้ว+ยาง	0.066b	.070b	1.67b	1.42	0.60ab	.50a	0.087	.074	26.1	27.4
	เฉลี่ย	0.063	.067	1.61	1.40	0.61	.51	0.088	.074	26.4	28.6
	P=0.05	*	*	*	ns	*	*	ns	ns	ns	ns
ข้าวผล	ปกติ	0.11	.116	3.72b	3.06b	0.54a	.52	0.091	.069	28.3	27.3
	เนื้อแก้ว	0.11	.136	3.42a	2.92a	0.50a	.52	0.091	.071	28.4	28.1
	ยางไหล	0.11	.116	3.68b	2.98ab	0.59b	.54	0.094	.068	29.6	27.4
	แก้ว+ยาง	0.11	.115	3.61b	2.94a	0.52a	.52	0.093	.070	29.2	27.8
	เฉลี่ย	0.11	.121	3.62	2.98	0.54	.52	0.092	.069	28.2	27.6
	P=0.05	ns	ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 22 ความเข้มข้นของ Fe, Mn, Cu และ Zn ในเปลือก กลีบเลี้ยง และข้าวผลมังคุดสุกที่มี

คุณภาพแตกต่างกัน

ส่วนขอ ผล	ชนิด ผล	Fe		Mn		Cu		Zn	
		2551	2552	2551	2552	2551	2552	2551	2552
เปลือก	ปกติ	18.5	5.99	16.5ab	11.2ab	5.74	5.93	9.91	10.9
	เนื้อแก้ว	17.9	5.92	15.3a	10.8a	5.62	6.01	10.2	10.9
	ยางไหล	19.1	5.50	17.7b	11.8b	5.72	5.88	10.3	10.6
	แก้ว+ยาง	18.3	5.79	15.4a	10.6a	5.43	5.71	10.1	10.9
	เฉลี่ย	18.5	5.85	16.3	11.1	5.64	5.89	10.1	10.8
	P=0.05	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns
กลีบเลี้ยง	ปกติ	22.3	17.2	58.9	40.6a	9.22	8.37	18.9	10.9
	เนื้อแก้ว	22.5	17.4	55.1	39.5a	9.50	8.55	19.2	10.9
	ยางไหล	22.0	17.6	60.8	43.6b	9.19	8.34	18.9	10.6
	แก้ว+ยาง	22.5	17.6	58.1	39.5a	9.52	8.29	19.3	10.9
	เฉลี่ย	22.3	17.4	58.4	40.6	9.34	8.39	19.1	10.8
	P=0.05	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
ข้าวผล	ปกติ	14.9	8.61	28.9	20.5	11.0	9.15	20.0	18.5
	เนื้อแก้ว	16.9	8.31	30.3	21.6	11.3	9.45	21.2	17.9
	ยางไหล	16.9	8.07	30.9	21.2	11.0	9.06	20.9	18.1
	แก้ว+ยาง	17.3	8.24	30.2	21.6	11.3	9.40	20.7	18.0
	เฉลี่ย	16.4	8.36	30.0	21.1	11.1	9.26	20.6	18.2
	P=0.05	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

เมื่อคำนวณเป็นสัดส่วนของธาตุ K/Ca หรือ Ca/B ซึ่งโดยทั่วไปทั้ง 2 parameters นี้ มักจะเชื่อมโยงกับความผิดปกติทางสรีรวิทยาของผลไม้ (Piestrzeniewicz and Tomala, 2001; Fallahi et al., 2006, Shear, 1975; Shorrocks and Nicholson, 1980) พบว่า สัดส่วนของ K/Ca และ Ca/B ในเปลือกมังคุดที่มีการยางไหล ไม่แตกต่างกับผลปกติ (ตารางที่ 23) แต่แตกต่างจากผลเนื้อแก้ว และผลเนื้อแก้ว+ยางไหล โดยเฉพาะอย่างยิ่งปีที่ 1 สำหรับปีที่ 2 ถึงแม้ไม่แตกต่างกันทางสถิติแต่มีแนวโน้มเหมือนกับปีที่ 1 ซึ่งคล้ายกับที่พบในเนื้อมังคุดซึ่งที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยสัดส่วน K/Ca ในปีที่ 2 สูงกว่าปีที่ 1 เล็กน้อย แต่ Ca/B ต่ำกว่าปีที่ 1 เนื่องจากความเข้มข้นของ Ca ในผลปีที่ 1 สูงกว่าปีที่ 2 การวิเคราะห์ธาตุอาหารในเปลือกมังคุดยืนยันความสำคัญของสัดส่วน K/Ca ที่มีต่อการเกิดเนื้อแก้ว รวมทั้งอาการเนื้อแก้ว+ยางไหลซึ่งเป็นอาการเนื้อแก้วชนิดหนึ่ง แต่ไม่สามารถอธิบายการเกิดอาการยางไหลในมังคุด

ตารางที่ 23 สัดส่วนของ K/Ca และ Ca/B ในเปลือกมังคุดคุณภาพต่าง ๆ

ชนิดของผล	K/Ca		Ca/B	
	2551	2552	2551	2552
ผลปกติ	10.2a	10.6	170b	146
ผลเนื้อแก้ว	10.7bc	11.3	161a	137
ผลยางไหล	10.3ab	10.2	171b	149
ผลเนื้อแก้ว+ยางไหล	11.0c	11.2	165ab	143
P= 0.05	*	ns	*	ns

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

8. ความเข้มข้นของธาตุอาหารในกลีบเลี้ยงของผลมังคุด

เช่นเดียวกับในเปลือก ความเข้มข้นของ K, Ca, Mg, Fe และ Mn ในปีที่ 2 ต่ำกว่าปีที่ 1 ในขณะที่ Zn และ B สูงกว่าปีที่ 1 ความเข้มข้นของ P และ Ca ในกลีบเลี้ยงแตกต่างกันทางสถิติระหว่างผลแต่ละชนิด ในทั้ง 2 ปีที่ศึกษา ธาตุ K แตกต่างเฉพาะปีที่ 1 และ Mn แตกต่างเฉพาะปีที่ 2 ส่วนธาตุอาหารอื่น ๆ ไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 21 และ 22) ความเข้มข้นของ P ในผลเนื้อแก้ว +ยางไหลสูงที่สุดกว่าผลปกติและผลเนื้อแก้ว ในทำนองเดียวกัน ความเข้มข้นของ K ในปีที่ 1 ก็สูงกว่าผลชนิดอื่นเช่นกัน แต่ไม่พบความแตกต่างในปีที่ 2 ส่วน Ca ในผลยางไหล สูงกว่าผลเนื้อแก้ว และเนื้อแก้ว+ยางไหล แต่ไม่แตกต่างจากผลปกติทั้ง 2 ปีที่ศึกษา ในขณะที่ B มีความเข้มข้นปีที่ 2 ($27.4\text{--}29.2\text{ mg kg}^{-1}$) สูงกว่าปีที่ 1 เล็กน้อย ($25.9\text{--}27.1\text{ mg kg}^{-1}$) แต่ไม่แตกต่างกันระหว่างตำรับการทดลอง เมื่อคำนวณสัดส่วนของ K/Ca และ Ca/B ในกลีบเลี้ยงพบว่า ในปีที่ 1 ผลเนื้อแก้ว และผลเนื้อแก้ว+ยางไหลมีสัดส่วนของ K/Ca เท่ากับ 2.99 และ 3.00 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าผลปกติและผลยางไหลที่มีสัดส่วน K/Ca เท่ากับ 2.75 และ 2.67 ตามลำดับ (ตารางที่ 24) ส่วนปีที่ 2 ผลเนื้อแก้ว และผลเนื้อแก้ว+ยางไหลมีสัดส่วน K/Ca สูงกว่าผลยางไหลแต่ไม่แตกต่างจากผลปกติ ส่วนสัดส่วนของ Ca/B พบว่าปีที่ 1 ไม่แตกต่างกัน ส่วนปีที่ 2 ผลยางไหลมีสัดส่วนของ Ca/B สูงที่สุด และสูงกว่าผลเนื้อแก้วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความเข้มข้นของธาตุอาหารในกลีบเลี้ยงสอดคล้องกับความเข้มข้นของธาตุอาหารในเปลือกที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

ตารางที่ 24 สัดส่วนของ K/Ca และ Ca/B ในกลีบเลี้ยงมังคุดคุณภาพต่าง ๆ

ชนิดของผล	K/Ca		Ca/B	
	2551	2552	2551	2552
ผลปกติ	2.75a	2.67ab	245	179ab
ผลเนื้อแก้ว	2.99b	2.83ab	230	170a
ผลยางไหล	2.67a	2.59a	245	190b
ผลเนื้อแก้ว+ยางไหล	3.00b	2.84b	238	181ab
P= 0.05	*	*	ns	*

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

9. ความเข้มข้นของธาตุอาหารในข้าวผลม้งฤดู

ธาตุ K เพียงธาตุเดียวเท่านั้นที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันระหว่างผลแต่ละชนิดในทั้ง 2 ปี โดย K ในข้าวผลเนื้อแก้วต่ำที่สุดในปีที่ 1 ส่วนปีที่ 2 ความเข้มข้นของ K ในผลเนื้อแก้วและ ผลเนื้อแก้ว+ยางไหลต่ำกว่าผลปกติ แต่ไม่แตกต่างจากผลยางไหล สำหรับ Ca แตกต่างกันเฉพาะปีที่ 1 เท่านั้น โดยความเข้มข้นของ Ca ในข้าวผลยางไหลสูงที่สุด (ตารางที่ 21 และ 22) เมื่อคำนวณเป็นสัดส่วนของ K/Ca ในปีที่ 1 พบว่าผลยางไหลมี K/Ca ต่ำสุดเท่ากับ 6.86 ซึ่งต่ำกว่าผลชนิดอื่นที่มีสัดส่วนของ K/Ca อยู่ระหว่าง 7.57-7.71 ส่วนปีที่ 2 สัดส่วน K/Ca ไม่แตกต่างกันแต่มีแนวโน้มว่าผลยางไหลมีค่าต่ำกว่าผลปกติเช่นกัน สำหรับ B ในข้าวผลไม่แตกต่างกัน ดังนั้น สัดส่วนของ Ca/B ในข้าวผลที่เกิดอาการยางไหลจึงสูงที่สุดเท่ากับ 206 สำหรับปีที่ 1 ซึ่งสูงกว่าผลเนื้อแก้ว+ยางไหล แต่ไม่แตกต่างกับผลปกติ ส่วนปีที่ 2 สัดส่วนของ Ca/B ไม่แตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มว่าผลยางไหลมีสัดส่วน Ca/B สูงที่สุดเช่นกัน (ตารางที่ 25)

ตารางที่ 25 สัดส่วนของ K/Ca และ Ca/B ในข้าวผลม้งฤดูคุณภาพต่าง ๆ

ชนิดของผล	K/Ca		Ca/B	
	2551	2552	2551	2552
ผลปกติ	7.71b	5.89	197b	190
ผลเนื้อแก้ว	7.57b	5.62	183a	186
ผลยางไหล	6.86a	5.51	206b	196
ผลเนื้อแก้ว+ยางไหล	7.64b	5.65	181a	188
P= 0.05	*	ns	*	ns

ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

เมื่อพิจารณาจากปริมาณธาตุอาหารในเนื้อ เปลือก กลีบเลี้ยง และข้าวผลจะพบว่าไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุอาหารกับอาการเกิดยางไหลได้ชัดเจน แตกต่างจากอาการเนื้อแก้ว ซึ่งสามารถระบุได้ค่อนข้างแน่ชัดว่าเกิดจากสัดส่วนของธาตุ K/Ca ที่ไม่เหมาะสมทั้งในเนื้อ และเปลือกม้งฤดู ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ส่วนในข้าวผลที่พบว่าสัดส่วนของ K/Ca ในผลยางไหลต่ำกว่าผลชนิดอื่นในปีที่ 1 คณะผู้วิจัยยังไม่สามารถเชื่อมโยงสัดส่วน K/Ca กับอาการยางไหลได้ เนื่องจากโดยทั่วไปแล้ว มักพบว่า สัดส่วน K/Ca ที่สูงทำให้เซลล์ไม่แข็งแรง และเกิดอาการผิดปกติในไม้ผลได้ง่าย (Piestrzeniewicz and Tomala, 2001; Fallahi et al., 2006) อย่างไรก็ตาม สัดส่วนของ K/Ca ที่ใช้เป็นตัวชี้บ่งอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาส่วนใหญ่ใช้กับเนื้อผลไม้ แต่กรณีของม้งฤดูเป็นส่วนของข้าวผล การที่สัดส่วนของ K/Ca ต่ำแสดงว่ามีความเข้มข้นของ Ca สูง ซึ่งโดยทั่วไปถ้าพืชมี Ca สูงจำเป็นต้องมี B ที่สูงด้วย เนื่องจากบทบาทของธาตุทั้ง 2 ในการสังเคราะห์ Rhamnogalacturonan II (RG-II) (Power and Woods, 1997; Matoh and Kobayashi, 1998) ตารางที่ 25 แสดงให้เห็นว่า ผลที่มีอาการยางไหลมีสัดส่วนของ Ca/B ในข้าวผลสูงที่สุดเท่ากับ 206 และ 196 สำหรับปีที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ในขณะที่ผลปกติมีสัดส่วนของ Ca/B เท่ากับ 197 สำหรับปีที่ 1 และ 190

สำหรับปีที่ 2 ค่าที่ได้นี้ถึงแม้จะไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่แตกต่างกันค่อนข้างมาก อาการยางไหลในผลมังคุดเกิดจากท่อน้ำยางแตก ซึ่งท่อน้ำยางที่มีปัญหามากเป็นท่อที่เชื่อมต่อระหว่างข้อผลไปท่อน้ำยางที่เชื่อมต่อกับผลมังคุด เมื่อผ่าผลมังคุดที่มีอาการยางไหลภายในผล จะพบว่ากลุ่มของท่อน้ำที่อาหารและท่อน้ำยางที่เชื่อมต่อระหว่างข้อผลไปท่อน้ำยางที่เชื่อมต่อกับผลมังคุดมักจะแตกจนสามารถมองเห็นยางที่อยู่ภายในท่อชัดเจน ในขณะที่ผลปกติส่วนของท่อเหล่านี้จะค่อนข้างเล็ก ดังรูปที่ 9 อาจเป็นไปได้ว่า การที่มีท่อน้ำยางในข้อผลมี Ca สูง แต่ B ต่ำเป็นสาเหตุให้เซลล์ท่อน้ำยางเปราะและแตกได้ง่าย (Loomis and Dust, 1992) นอกจากนั้น อาจเกิดจากการที่ค่าวิเคราะห์ Ca และ B ในส่วนต่าง ๆ ของผลที่ทำโดยวิธี dry ashing เป็นปริมาณ total Ca และ total B ทำให้ไม่สามารถใช้เป็นดัชนีปริมาณ Ca และ B ในส่วนที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์โดยตรง Rosolem and Leite (2007) ทำการศึกษา Ca และ B ในใบกาแฟ 2 พันธุ์พบว่า ปริมาณ Ca ในผนังเซลล์ของกาแฟทั้ง 2 พันธุ์ไม่แตกต่างกันแต่ปริมาณ B แตกต่างกัน จึงทำให้สัดส่วนของ Ca/B แตกต่างกันค่อนข้างมาก โดยใบกาแฟที่มี B ต่ำมีแนวโน้มที่จะมี B ที่ผนังเซลล์ต่ำกว่าด้วย นอกจากนั้นยังพบว่า ความเข้มข้นของ B ในผนังเซลล์สูงกว่าในใบ 4-6 เท่า แสดงให้เห็นว่า B ส่วนมากจะเป็นองค์ประกอบ (bound) อยู่ที่ผนังเซลล์ และเมื่อพืชมี B ต่ำ B ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ผนังเซลล์ เมื่อส่องด้วยกล้อง scanning electron พบว่าลักษณะของกลุ่มท่อน้ำ (xylem vessel) ของต้นกาแฟที่ขาด B แตกต่างกับท่อน้ำของต้นกาแฟที่ได้รับ B อย่างเพียงพอ กล่าวคือ ท่อน้ำปกติจะค่อนข้างตรงและต่อเนื่องในขณะที่ท่อน้ำในต้นกาแฟที่ขาด B จะบิดหรือโค้งงอและไม่ค่อยต่อเนื่อง นอกจากนั้น Rosolem and Leite (2007) ยังพบว่า main and secondary veins ของใบก็มีลักษณะผิดปกติ และมีการจัดเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ไม่ขาด B ด้วยเช่นกัน ในทำนองเดียวกัน Kouchi and Kumazawa (1976) รายงานว่า ในมะเขือเทศที่ขาด B ผนังเซลล์จะหนากว่าปกติ ซึ่ง Cakmak and Romheld (1997) สรุปว่าน่าจะเกิดจากบทบาทของ B ใน cell division and differentiation ในข้อผลมังคุดที่มีอาการยางไหล ท่อน้ำยางอาจผิดปกติ และเนื่องจากท่อน้ำยางของมังคุดมีขนาดค่อนข้างเล็ก (ดร.สาธิต สดุดี คิดต่อการส่วนตัว) เมื่อผนังเซลล์ของท่อน้ำยางไม่แข็งแรง และอาจบิด หรือโค้งงอด้วย จึงทำให้ท่อน้ำยางแตกได้ง่าย ผลการทดลองนี้ สอดคล้องกับคำแนะนำการเกิดยางไหลในตำรับที่มีการให้ Ca ทางดิน ร่วมกับการฉีดพ่น Ca+B ที่มีคำแนะนำการเกิดยางไหล และ เนื้อแก้ว+ยางไหลน้อยที่สุด (ตารางที่ 26) นอกจากนั้น ตำรับการทดลองที่มีการฉีดพ่น Ca+B ยังมีความหนาของเปลือกน้อยที่สุดในผลทุกชนิดอีกด้วย (ตารางที่ 13) โดยทั่วไปแล้ว พืชที่ขาด B จะมีรูปร่างของ ผนังเซลล์ผิดปกติ และอาการที่พบมากที่สุดคือ ผนังเซลล์จะหนาขึ้น และขอบของผนังเซลล์ไม่เรียบ (Spurr, 1957, Kouchi and Kumazawa, 1976; Hirsch and Torrey, 1980; Fischer and Hecht-Buchholz, 1985) หรือหากพืชได้รับ B ในอัตราต่ำ ผนังเซลล์อาจจะบวม (swallow) (Matoh et al., 1992) เนื่องจากผนังเซลล์มีบทบาทสำคัญในการทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ สามารถทนทานต่อแรงดันภายในเซลล์ (turgor pressure) ได้ ผนังเซลล์ที่แข็งแรงจึงมีบทบาทสำคัญต่อความแข็งแรงของเนื้อเยื่อ การที่ผนังเซลล์ของท่อน้ำยางในผลมังคุดซึ่งมีขนาดเล็กจะสามารถทนทานต่อแรงดันได้มาก จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความยืดหยุ่นสูง ซึ่ง B เป็นธาตุที่มีบทบาทเกี่ยวข้องกับความยืดหยุ่นของเซลล์ (Loomis and Dust, 1992)

ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า Ca มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดความผิดปกติของผลมังคุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดอาการเนื้อแก้ว ส่วนการเกิดยางไหล ยังไม่สามารถสรุปได้แน่ชัด แต่ Ca และ B น่าจะมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการแตกของท่อน้ำยาง เนื่องจากตำรับการทดลองที่ได้รับ Ca ทางดิน หรือร่วมกับการฉีดพ่น Ca/ Ca+B ทางใบ สามารถลดการเกิดอาการเนื้อแก้วและยางไหลในมังคุดได้

ตารางที่ 26 คะแนนความรุนแรงการเกิดเนื้อแก้ว ยางไหล และเนื้อแก้ว+ยางไหลในมังคุดในตำรับการทดลองต่าง ๆ (คะแนนสูงหมายถึงอาการที่เกิดรุนแรง)

ตำรับการทดลอง	เนื้อแก้ว		ยางไหล		เนื้อแก้ว+ยางไหล	
	2551	2552	2551	2552	2551	2552
T1	1.32	1.70b	1.35	1.48c	2.43b	2.18
T2	1.54	1.38a	1.11	1.42bc	2.14b	1.91
T3	1.35	1.54a	1.32	1.16a	2.27b	1.90
T4	1.13	1.38a	1.10	1.19ab	1.55a	1.88
P= 0.05	NS	*	NS	*	*	ns



รูปที่ ๑ ท่อน้ำยางของผลปกติเปรียบเทียบกับผลที่มีอาการยางไหลภายในผล

สรุปผลการทดลอง

1. การเจริญเติบโตของผลมังคุดมีลักษณะการเพิ่มแบบ single sigmoid curve และมีอายุการเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 12-13 สัปดาห์เป็นต้นไป
2. เมื่อผลมีอายุเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของธาตุ P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn และ B ในผลมังคุดลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักผล ทำให้เกิด dilution effect ส่วนกลีบเลี้ยงมี Ca ก่อนข้างคงที่ ในขณะที่ที่ธาตุอื่น ๆ มีแนวโน้มลดลง ในกรณีของข้าวผลพบว่า Ca เพิ่มขึ้นส่วนธาตุอื่น ๆ ลดลงยกเว้น P และ K ไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน
3. การสะสมธาตุอาหารของผลมังคุดทุกธาตุเพิ่มขึ้นตามขนาดของผลที่เติบโตมากขึ้น โดยธาตุ P, K, Mg, B, Cu และ Zn มีลักษณะการเพิ่มค่อนข้างเป็นเส้นตรง ในขณะที่ Ca, Fe และ Mn ภายหลังจากสัปดาห์ที่ 7 ไปแล้ว เพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง
4. การห่อผลมังคุดด้วยถุงพลาสติกที่อายุผลตั้งแต่ 1-4 สัปดาห์ ทำให้น้ำหนักแห้งลดลงกว่าผลที่ไม่ห่อเมื่ออายุ 12 สัปดาห์ ส่วนอายุการห่อผลไม่มีอิทธิพลต่อน้ำหนักแห้งของผล
5. การห่อผลไม่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในผลกลม (fruit) แต่ทำให้ความเข้มข้นของ Ca ในข้าวผล และ B ในทั้งกลีบเลี้ยงและข้าวผลลดลง แต่การห่อผลทำให้การสะสมธาตุ Ca และ B ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่เคลื่อนที่ในท่อน้ำลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผลที่ห่อมีอายุน้อย แต่การห่อผลไม่มีอิทธิพลต่อการสะสมธาตุ K และ Mg ซึ่งเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ในท่ออาหารแต่อย่างใด
6. การใส่ Ca ทางดินอย่างเดียว หรือร่วมกับการฉีดพ่น Ca และการฉีดพ่น Ca+B ลดจำนวนผลที่เกิดเนื่อแก้วและยางไหลได้มากกว่าการควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้ง 2 ปีที่ศึกษา โดยผลมังคุดที่มีขนาดใหญ่มีแนวโน้มที่จะพบอาการยางไหล และ/หรือน้ำแก้ว+ยางไหลมากกว่าผลขนาดเล็ก และมีเปลือกหนากว่าผลขนาดเล็กด้วย
7. ผลมังคุดในดำรับการทดลองที่ได้รับ Ca ทางดินร่วมกับการฉีดพ่น Ca+B ทางใบและผล มีเปลือกบางกว่า มีค่า total soluble solid (TSS) สูงกว่า และมี % titratable acidity (%TA) ต่ำกว่าดำรับการทดลองอื่น
8. ความเข้มข้นของ P และ K ผลมังคุดที่มีอาการเนื่อแก้ว และเนื่อแก้ว+ยางไหลสูงกว่าผลปกติและยางไหลอย่างมีนัยสำคัญในทั้ง 2 ปีที่ศึกษา ส่วนความเข้มข้นของ Ca พบว่าผลเนื่อแก้ว+ยางไหลสูงกว่าผลปกติทั้ง 2 ปีเช่นกัน แต่ความเข้มข้นของ Ca ในผลเนื่อแก้วแตกต่างกันระหว่างขนาดผล และปีที่ศึกษาในทำนองเดียวกัน ความเข้มข้นของ Mg, Fe, Mn, Cu, Zn และ B มีความแตกต่างกันระหว่างขนาดผล และปีที่ศึกษาเช่นกัน
9. โดยทั่วไปแล้ว เมื่อผลมีขนาดใหญ่ขึ้นความเข้มข้นของ K ในผลสูงขึ้น แต่ Ca ลดลง แต่ความเข้มข้นของธาตุ K และ Ca ไม่สามารถชี้บ่งอาการผิดปกติของผลมังคุด แต่สัดส่วนของ K/Ca ในผลผลมังคุดที่

มีอาการเนื้อแก้ว และเนื้อแก้ว+ยางไหล สูงกว่าผลปกติและผลยางไหล แสดงให้เห็นว่า อาการเนื้อแก้ว ในมังคุดเกิดจากสัดส่วนของK/Ca ในผลที่ไม่เหมาะสม

10. อาการยางไหล ยังไม่สามารถชี้บ่งอย่างชัดเจนว่าเกิดจากธาตุอาหารชนิดใด แต่มีแนวโน้มที่จะเกี่ยวข้องกับธาตุ Ca และ B เนื่องจากสัดส่วน Ca/B ในข้าวผล ซึ่งเป็นแหล่งที่มาของยางไหลภายในผลมีแนวโน้มจะสูงกว่าผลชนิดอื่น และดำเนินการทดลองที่มีการใส่ Ca ทางดินร่วมกับการฉีดพ่น Ca หรือ Ca+B มีอาการยางไหลและเนื้อแก้ว+ยางไหลน้อยที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- ชนสิทธิ์ ลิ้มปวิภากร. 2541. อาการยางไหลในผลมังคุดจากส่วนต่างๆ ของทรงพุ่ม. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน.
- ธีรวุฒิ ชูตินันทกุล. 2544. การป้องกันการเกิดเนื้อแก้วและยางไหลภายในผลของมังคุดและเทคนิคการคัดแยก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ธีรวัฒน์ บุญสม 2533 การพัฒนาและการสุกแก่ของผลและเมล็ดมังคุด วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- วรภัทร ลัคนทินวงศ์. 2539. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ความมีชีวิตของเซลล์และปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเนื้อแก้วในผลมังคุด. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน.
- ศิริวรรณ แดงน้ำ 2543 กลไกการเกิดเนื้อแก้วของผลมังคุด วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สุมิตรา กูว์โรดม และ คณะ 2544. ความต้องการธาตุอาหารและการแนะนำปุ๋ยในทุเรียน รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย กรุงเทพฯ
- สุมิตรา กูว์โรดม พรทิวา กัญยวงศ์หา และนุจรี บุญแปลง. 2547. การกำหนดค่ามาตรฐานธาตุอาหารในใบสำหรับมังคุด. ว.วิทย์. กษ. 35 (3-4) : 87-95.
- เสาวภา ลิ้มพันธุ์อุดม. 2544. อิทธิพลของน้ำต่อการเกิดเนื้อแก้วในผลมังคุด. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Allen, S.E. 1971. Chemical Analysis of Ecological Materials. John Wiley and Sons, New York.
- Bangerth, F. 1979. Calcium-related physiological disorder of plants. Ann. Rev. Phytopathol. 17: 97-122.
- Bangerth, F. 1976. A role for auxin and auxin transport inhibitors on the Ca content of artificially induced parthenocarpic fruits. Physiol. Plant. 37: 191-194.
- Ben, J. 1995. Mineral composition of “Jonagold” apples differing in size and in the presence of bitter pit. Acta Hort. 383: 457-462.
- Bramlage, W.J. 1994. Physiological role of calcium in fruit. p. 101-107. In Peterson and Stevens (eds.) Tree Fruit Nutrition. Good Fruit Grower, Washington, USA.
- Cakmak, I. and V. Romheld. 1997. Boron deficiency-induces impairments of cellular functions in plant. Plant Soil 193: 71-83.
- 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.

- Embleton, T.W., W.W. Jones, C.K. Labanauskas and W. Reuter. 1973. Leaf analysis as diagnostic tool and guide to fertilization. *In* p.183-210. W. Reuter (ed.) The Citrus Industry. Vol. III. University of California, Berkeley, USA.
- Fallahi, E., B. Fallahi, J.B. Retamales, C. Valdes and S.J. Tabatabaei. 2006. Prediction of apple fruit quality using preharvest mineral nutrients. *Acta Hort.* 721: 259-264.
- Faust, M. 1989. *Physiology of Temperate Zone Fruit Trees*. John Wiley and Sons, New York.
- Fischer, G. and C. Hecht-Buchholz. 1985. The influence of boron deficiency on glandular scale development and structure in *Mentha piperita*. *Planta Medica* 5: 371–377.
- Foy, C.D., R.L. Chaney and M.C. White. 1978. The physiology of metal toxicity in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 29: 511-566.
- Hirsch, A. M. and J. G. Torrey. 1980. Ultrastructural changes in sunflower root cells in relation to boron deficiency and added auxin. *Can. J. Bot.* 58: 856–866.
- Hofman, P.J., D.R. Beasley and D.C. Joyce. 1999. Effect of preharvest bagging and of embryo abortion on calcium levels in ‘Kensington Pride’ mango fruit. *Aust. J. Expt. Agric.* 39: 345-349.
- Hofman, P.J., S.Vuthapanich, A.W. Whiley, A. Klieber and D.H. Simons. 2002. Tree yield and fruit minerals concentrations influence ‘Hass’ avocado fruit quality. *Scientia Hort.* 92: 113-123.
- 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.
- Jones, H.G. and T.J. Samuelson. 1983. Calcium uptake by developing fruits. II. The role of spur leaves. *J. Hortic Sci.* 58: 183-190.
- Kabatas-Pendias, A. 2001. *Trace Elements in Soils and Plants*. 3rd Edition. CRC Press, Boca Raton.
- Kobayashi, M., H. Nakagawa, T. Asaka and T. Matoh. 1999. Borate-rhamnogalacturonan II bonding reinforced by Ca⁺² retains pectin polysaccharides in higher-plant cell walls. *Plant Physiol.* 119: 199-203.
- Kouchi, H. and K. Kumazawa. 1976. Anatomical responses of root tips to boron deficiency. III. Effect of boron deficiency on sub-cellular structure of root tips, particularly on morphology of cell wall and its related organelles. *Soil Sci. Plant Nutr.* 22: 53–71.
- 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., 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.
- 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.
- Maynard, D.N. 1979. Nutritional disorder of vegetable crops : A review. *J. Plant Nutrition* 1: 1-23.
- Meheriuk, M. and G.H. Nielsen. 1991. Fruit quality of McIntosh apples irrigated with well or municipal waste water. *Can. J. Plant Sci.* 71: 1267-1269.
- Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1987. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute, Bern, Switzerland.
- Morandi, B., M. Rieger and L.C. Grappadelli. 2007. Vascular flows and transpiration affected peach (*Prunus persica* Batsch.) fruit daily growth. *J. Expt. Bot.* 58: 3941-3947.
- 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.
- Perring, A. 1968. Mineral composition of apples. VII. The relationship between fruit composition and some storage disorder. *J. Sci. Fd. Agric.* 19: 186-192.
- Piestrzeniewicz, C. and K. Tomala. 2001. Some factors influencing storage ability of 'Jonagold' apples. *Acta Hort.* 564: 435-442.
- Power, R.P. and W.G. Woods. 1997. The chemistry of boron and its speciation in plants. *Plant Soil* 193: 1-13.
- 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.

- Shorrocks, V.M. and D.D. Nicholson. 1980. The influence of boron deficiency on fruit quality. p. 103-108. In D. Atkinson et al. (eds.) Mineral Nutrition of Fruit Trees. Butterworths, London, UK.
- Spurr, A. R., 1957, The effect of boron on cell-wall structure in celery. *Am. J. Bot.* 44: 637–650.
- Storey, R. and M.T. Treeby. 1999. Short- and long-term growth of navel orange fruit. *J. Hort. Sci. and Biotech.* 74: 464-471.
- 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.
- 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.
- Webster, D.H. and P.D. Lidster. 1986. Effects of phosphate sprays on McIntosh apple fruit and leaf composition, flesh firmness and susceptibility to low-temperature disorder. *Can J. Plant Sci.* 66: 617-626.
- 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.
- Wills, R.B.H. and K.J. Scott. 1981. Studies on the relationship between minerals and the development of storage breakdown in apples. *Aust. J. Agric. Res.* 32: 331-338.
- Xiao, J.X., X. Yan, 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.
- Yaacob, O. and H.D. Tindall, 1995. Mangosteen Cultivation. *FAO Plant Production and Protection Paper* No. 129. Rome, 100 pp.
- Yogarathnam, N. and R.O. Sharples. 1982. Supplementing the nutrition of Bramley’s seedling apple with phosphorus sprays II. Effects on fruit composition and storage quality. *J. Hort. Sci.* 57: 53-59.
- 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.

ภาคผนวก

บทความสำหรับเผยแพร่

การจัดการธาตุอาหารเพื่อลดการเกิดอาการเนื้อแก้วและยางไหลในมังคุด

มังคุดเป็นผลไม้ที่คนไทยและต่างชาตินิยมรับประทานมาก เพราะรสชาติ ไม่หวานมาก และมีคุณค่าทางอาหารสูง ทำให้มีโอกาสดึงออกไปขายในตลาดบนของประเทศญี่ปุ่น ยุโรป สหรัฐอเมริกาหรือออสเตรเลียได้มาก แต่ในความเป็นจริงกลับไม่สามารถส่งออกได้ตามที่ตลาดต้องการ เนื่องจากอาการเนื้อแก้วและยางไหลภายในผล ซึ่งไม่สามารถสังเกตได้จากภายนอก อาการเนื้อแก้วและยางไหลจะเกิดมากถ้ามีฝนตกในช่วงก่อนเก็บเกี่ยว ซึ่งต้นฤดูฝนตรงกับช่วงเก็บเกี่ยวมังคุดพอดี ชาวสวนและนักวิชาการจำนวนมากได้พยายามบังคับให้มังคุดออกดอกนอกฤดูเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา แต่ยังไม่ประสบความสำเร็จ

รศ.ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านธาตุอาหารไม้ผล จากภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้มองเห็นประเด็นที่น่าสนใจว่า ผลมังคุดจากต้นเดียวกันไม่ได้มีอาการเนื้อแก้ว และยางไหลทุกผล ถึงแม้ว่าจะได้รับน้ำฝนในจำนวนเท่ากันก็ตาม ซึ่งเหมือนกับคนเป็นหวัดในหน้าฝน คือโดนฝนเหมือนกัน แต่บางคนเป็นหวัด ในขณะที่บางคนไม่เป็น เพราะสุขภาพแข็งแรงไม่เหมือนกัน

อาการเนื้อแก้วและยางไหลเกิดจากการที่เซลล์ของมังคุดไม่แข็งแรง เนื้อมังคุดที่เซลล์แตกสารละลายจะไหลเข้าไปแทนที่อากาศ จึงเห็นเป็นสีขาว เป็นที่มาของชื่อเนื้อแก้ว ส่วนอาการยางไหล เกิดจากท่อน้ำยางแตก ดังนั้น ถ้าเราทำให้เซลล์พืชแข็งแรงได้ ก็น่าจะลดปัญหาเหล่านี้ได้เช่นกัน ธาตุอาหารที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับความแข็งแรงของเซลล์คือ แคลเซียม จากการศึกษาวิจัยในช่วง 2 ปีที่ผ่านมาพบว่า การให้แคลเซียมทางดิน และเสริมด้วยการฉีดพ่นให้ผลมังคุดตั้งแต่ผลยังเล็กช่วยลดอาการเนื้อแก้วและยางไหลในมังคุดได้ และคุณภาพมังคุดดีขึ้นด้วย การปรับปรุงดินให้ได้แคลเซียมอย่างเพียงพอ เกษตรกรควรนำดินมาวิเคราะห์ แล้วปรับปรุงดินด้วยปูนให้เป็นกรดน้อยลง และในกรณีที่ดินมีแคลเซียมต่ำ ควรเพิ่มแคลเซียมในรูปแบบอื่น ซึ่งการปรับปรุงดินนี้ต้องทำทีละน้อย เพราะถ้าใส่แคลเซียมให้ดินมากครั้งเดียว จะทำให้พืชดูดใช้ธาตุอาหารอื่นได้ไม่ดี การปรับปรุงดินให้มีแคลเซียมเหมาะสมอาจต้องใช้เวลานานปี แต่ผลตอบแทนที่ได้จะคุ้มค่าในระยะยาว

รศ.ดร. สุมิตรา เพิ่มเติมว่า แคลเซียมมีความสำคัญต่อคุณภาพผลไม้ทุกชนิด เพราะทำให้เซลล์พืชแข็งแรง จึงไม่เน่าเสียง่าย ซึ่งสำคัญมากในการส่งออกผลไม้ไปต่างประเทศ ในต่างประเทศให้ความสำคัญกับแคลเซียมมาก แต่เป็นเรื่องใหม่สำหรับเกษตรกรในเมืองไทย ขณะนี้ความรู้เรื่องแคลเซียมได้เริ่มแพร่หลายเข้าสู่เกษตรกรบางกลุ่มแล้ว โดยเฉพาะเกษตรกรหัวก้าวหน้า คาดว่าต่อไปเกษตรกรไทยจะสามารถผลิตมังคุดและสินค้าเกษตรอื่นที่มีคุณภาพ และเป็นที่ต้องการของตลาดโลกได้มากขึ้น

สัญญาเลขที่ RDG5020074

โครงการ “การจัดการธาตุอาหารเพื่อลดปัญหาการเกิดเนื้อมันและยางไหลในมังคุด”

สรุปรายงานฉบับสมบูรณ์

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2550 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2552

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน : รศ.ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม

หน่วยงาน : ภาควิชาปฐพีวิทยา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของการใส่แคลเซียมทางดิน และการฉีดพ่นแคลเซียมให้ผลมังคุดต่อการเกิดอาการเนื้อมันและ/หรือยางไหล
2. เพื่อศึกษาการสะสมแคลเซียมในผลมังคุดระยะการเจริญต่าง ๆ
3. เพื่อศึกษาปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ในผลมังคุดปกติ มังคุดเนื้อมัน และมังคุดยางไหล

รายละเอียดผลการดำเนินงานของโครงการตามแผนงานโดยสรุป

กิจกรรม (ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ
6 เดือนที่ 1 1.1 ใส่ปุ๋ยและปูนตามดำรับ การทดลอง 1.2 เก็บตัวอย่างดินที่ปลูกมังคุด 1.3 ใส่ปุ๋ยตามดำรับการทดลอง 1.4 เก็บตัวอย่างใบมังคุดใน ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ 1.5 วิเคราะห์ธาตุอาหารต่างๆ	1.1 ได้แปลงทดลอง 1.2 ได้ค่าวิเคราะห์ดิน มังคุด 1.3 ได้ค่าวิเคราะห์ธาตุ อาหารในใบมังคุด	1.1 ได้แปลงทดลอง 1.2 ได้ค่าวิเคราะห์ดินมังคุด 1.3 ใส่ปุ๋ยและปูนตามดำรับการ ทดลอง 1.4 Tag ตัวอย่างใบและผลมังคุด 1.5 เก็บตัวอย่างผลมังคุด 1.6 ได้ค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารใน ผลมังคุดบางส่วน	ยังไม่สามารถ เก็บตัวอย่างใบ มังคุด เนื่องจาก ใบมังคุดอายุยัง ไม่ครบกำหนด สำหรับเก็บ ตัวอย่าง
6 เดือนที่ 2 2.1 เก็บตัวอย่างใบมังคุด เก็บตัวอย่างผลมังคุดที่ระยะ การเจริญเติบโตต่างๆ ต่อ 2.2 วิเคราะห์ธาตุอาหารจาก ตัวอย่างที่เก็บได้ 2.3 เก็บผลมังคุดสุกแก่มา วิเคราะห์คุณภาพและ ปริมาณธาตุอาหาร	2.1 ได้ข้อมูลวิเคราะห์ใบ มังคุด 2.2 ได้ข้อมูลธาตุอาหารใน ผลมังคุดระยะการ เจริญต่างๆ 2.3 ได้ข้อมูลคุณภาพผล และปริมาณธาตุอาหาร ในผลมังคุดสุกที่มีคุณภาพ ต่างกันบางส่วน	2.1 เก็บตัวอย่างใบมังคุด 2.2 เก็บตัวอย่างผลมังคุดที่ระยะ การเจริญเติบโตต่างๆ ต่อไป จนเก็บเกี่ยว 2.3 วิเคราะห์ธาตุอาหารจาก ตัวอย่างที่เก็บได้ 2.4 เก็บผลมังคุดสุกแก่มาวิเคราะห์ คุณภาพและปริมาณธาตุ อาหาร	

กิจกรรม (ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ
6 เดือนที่ 3 a. วิเคราะห์ธาตุอาหารในผล มังคุดที่มีคุณภาพแตกต่างกัน b. ใส่ปุ๋ย และเก็บตัวอย่างใบ และดิน ถัดใหม่	3.1 ได้อิทธิพลของธาตุ Ca ต่อคุณภาพผลผลิต 3.2 ได้ข้อมูลปริมาณธาตุ อาหารในผลมังคุดที่ คุณภาพแตกต่างกัน 3.3 ได้ปริมาณธาตุ อาหาร ในดินจากสวน เกษตรกร	3.1 ได้ปริมาณธาตุอาหารในเปลือก และขั้วผล 3.2 ได้ปริมาณธาตุอาหารในดิน ถัดใหม่ 3.3 ได้ปริมาณธาตุอาหารในใบ มังคุด ถัดใหม่	อิทธิพลของ Ca ต่อคุณภาพ ผลผลิตและ ปริมาณธาตุ อาหารในเนื้อ มังคุดรายงานไว้ แล้วในรายงาน ครั้งที่ 2
6 เดือนที่ 4 4.1 เก็บตัวอย่างใบมังคุดต่อ 4.2 เก็บผลมังคุดในช่วงสุกแก่ มาวิเคราะห์คุณภาพและ ปริมาณธาตุอาหารในผล	4.1 ได้ข้อมูลปริมาณธาตุ อาหารในใบ และผล 4.2 ได้ความสัมพันธ์ ระหว่างปุ๋ยกับคุณภาพ ผลผลิต 4.3 ได้วิธีการจัดการธาตุ อาหารเพื่อลดปัญหา การเกิดเนื้อแก้ว และ ยางไหลในมังคุด	4.1 ได้ปริมาณธาตุอาหารในใบ และผลมังคุดที่มีคุณภาพ แตกต่างกัน ถัดใหม่ 4.2 ได้ความสัมพันธ์ระหว่าง Ca กับคุณภาพผลผลิต 4.3 ได้วิธีการจัดการธาตุอาหาร เพื่อลดปัญหาการเกิดเนื้อแก้ว และยางไหลในมังคุด 4.4 ได้อิทธิพลของการห่อผล มังคุดด้วยถุงพลาสติกต่อการ เจริญเติบโตและการสะสมธาตุ อาหารในผลมังคุด	การศึกษา อิทธิพลการห่อ ผล ทำเพิ่มเติม จากแผนเดิมที่ เสนอไว้ใน ข้อเสนอ โครงการ