

คำนำ

มะม่วงเป็นไม้ผลอีกชนิดหนึ่งที่โอกาสในการส่งออกมีสูงมาก โดยในปี 2549 มีปริมาณการส่งออกมะม่วงสดสูงกว่าที่พบในปี 2548 ถึงกว่า 3 เท่า (10,652 ตัน และ 2,494 ตัน ตามลำดับ) (กรมศุลกากร, 2549) แต่อุปสรรคสำคัญของการส่งออกมะม่วงคือคุณภาพผลผลิตไม่ได้มาตรฐานการส่งออก ได้แก่ สีเนื้อ ความหวาน ความเป็นกรด-ด่าง และความคงทนในการเก็บรักษา ปัญหาเหล่านี้มีสาเหตุหลักจากความไม่สมดุลของธาตุอาหาร เช่น การมีธาตุไนโตรเจนสูง แม้จะทำให้ผลมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ก็มีข้อเสียด้วยเช่นกัน กล่าวคือทำให้ผลแก่ช้า (delay fruit ripening) เนื้อผลนุ่ม สีผลไม่สวย เน่าเสียง่าย ทำให้เก็บไว้ได้ไม่นาน (Weir and Cresswell, 1995) นอกจากนี้มะม่วงยังมีการเน่าเสียที่สำคัญมากเรียกว่า “soft nose” ซึ่งหมายถึงส่วนหัวของผลสุกนิ่มและเน่า โดยมีสาเหตุมาจากการที่มะม่วงเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบ (vegetative growth) อย่างรวดเร็ว ทำให้การดูดใช้แคลเซียม และการเคลื่อนที่ของแคลเซียมไปที่ผลเกิดได้น้อย ประกอบกับผลมะม่วงมีขนาดใหญ่ ทำให้แคลเซียมในผลเจือจางลงไปอีก (dilution effect) (Young and Minor, 1961)

พืชชนิดอื่นที่ขาดแคลเซียมแล้วแสดงอาการผิดปกติที่ผลหรือส่วนของพืชที่เจริญเติบโต ได้แก่ อาการห้วยบุ-ห้วยดำในสละ blossom end rot ในแตงโม bitter pit cork spot และผลแตกในแอปเปิล เชอร์รี่ เนื้อผลใสและฉ่ำน้ำ (water soaking) ในแคนตาลูป อาการปลายใบไหม้ (tip burn) ของ lettuce และอาการ black heart ของคื่นไฉ้ (celery) เป็นต้น สาเหตุที่อาการขาดแคลเซียมปรากฏให้เห็นในส่วนของพืชที่กำลังเจริญเติบโตเนื่องจากแคลเซียมเป็นธาตุที่ไม่เคลื่อนที่ในพืช (Havlin, et al., 2005) ทำให้ส่วนของพืชที่กำลังเจริญเติบโต เช่น ใบอ่อน หรือส่วนที่มีท่อลำเลียงน้ำ (xylem) น้อย เช่น ผล ได้รับแคลเซียมน้อยลงกว่าส่วนของลำต้นหรือใบ อีกทั้งแคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ในดินโดยวิธีการไหลไปกับน้ำ (mass flow) (Foth and Ellis, 1997; Havlin, et al., 2005) ถ้าพืชมีการคายน้ำน้อย เช่น ในสภาพที่อากาศมีความชื้นสูงหรือฝนตก แคลเซียมก็จะเคลื่อนที่เข้าสู่ต้นได้น้อย

ธาตุอาหารอีกชนิดหนึ่งที่สำคัญกับไม้ผลไม่น้อยและมีบทบาทเกี่ยวข้องกับความสมบูรณ์ของผลได้แก่โบรอน ซึ่งเป็นธาตุที่ไม่เคลื่อนที่ในพืชเช่นเดียวกับแคลเซียม เนื่องจากโบรอนเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของท่อเรณู (pollen tube) และการผสมของละอองเกสร อีกทั้งยังมีบทบาทเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของผนังเซลล์ ทำให้พืชที่ขาดโบรอนมักมีรูปทรงของผลผิดปกติ ขนาดผลเล็กลง ผลแตก ผลร่วงก่อนกำหนด รวมทั้งรสชาติไม่ดี (Peryea, 1994; Weir and Cresswell, 1995) อาการขาดแคลเซียมและโบรอนเกิดครั้งแรกที่บริเวณยอด และธาตุทั้งสองเคลื่อนที่ได้น้อยในพืชเหมือนกัน

สถานะของแคลเซียมในดินประเทศไทย ถ้าไม่กล่าวถึงดินต่างจัดหรือดินเนื้อปูน (calcareous soils) ซึ่งวัตถุดิบกำเนิดมีแคลเซียมสูงอยู่แล้ว พบว่าดินแทบทั้งหมดของประเทศไทยมีแคลเซียมต่ำ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เกิดจากการมีฝนตกชุก และมีอุณหภูมิสูงตลอดปี เป็นการส่งเสริมให้กระบวนการทางดินเกิดขึ้นอย่างรุนแรง ทำให้ไอออนประจุบวกที่เป็นต่าง (รวมทั้งแคลเซียม) สูญหายไปจากหน้าตัดดิน นอกจากนี้การเป็นดินเนื้อหยาบก็ทำให้มีไอออนประจุบวกต่ำ (Brady and Weil, 2002) ดังนั้นโอกาสที่พืชโดยเฉพาะไม้ผลจะขาดแคลเซียมจึงเป็นไปได้สูง ส่วนโบรอนเป็นธาตุที่พบน้อยมากอยู่แล้วในดิน เมื่อดินมีการชะละลายสูงมีพัฒนาการของหน้าตัดดินมากขึ้น รวมทั้งเกิดกระบวนการสร้างดินอย่างรุนแรงในเขตร้อน โอกาสที่ดินจะมีโบรอนไม่พอต่อความต้องการของพืชจึงเป็นไปได้สูง

จากการวิเคราะห์ดินไม้ผลโดยเฉพาะทุเรียนในพื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทย (พรทิพา และสุมิตร, 2548) พบว่าดินมีค่าปฏิกิริยาดินต่ำกว่า 5.5 ถึงกว่า 90% ของตัวอย่างดินทั้งหมด และ 66% ของตัวอย่างดินทั้งหมดมีแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่า 300 mg kg^{-1} ซึ่งถือเป็นปริมาณที่ต่ำสำหรับไม้ผล นอกจากนี้ การวิเคราะห์ดินเกษตรกรรมปลูกมะม่วงในจังหวัดฉะเชิงเทราก็ให้ค่าวิเคราะห์ที่ไม่ต่างจากดินปลูกทุเรียนมากนัก (รศ.ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม ให้คำปรึกษาส่วนตัว) แสดงให้เห็นว่าดินปลูกไม้ผลส่วนใหญ่เป็นกรดและมีแคลเซียมในดินไม่มากนัก

การปรับปรุงดินเพื่อให้มีแคลเซียมเพิ่มขึ้นทำได้หลายวิธี เช่น การใส่ปูนขาวหรือปูนมาร์ล ซึ่งเป็นการปรับค่าปฏิกิริยาดิน (pH) ให้สูงขึ้นด้วย และถ้าต้องการเพิ่มทั้ง pH และธาตุแมกนีเซียมให้แก่ดินร่วมกับธาตุแคลเซียมก็ใส่ปูนโดโลไมท์ ในกรณีที่ต้องการเพิ่มแคลเซียมอย่างเดียวใส่ยิปซัม

งานวิจัยที่ได้ดำเนินการมาแล้วเกี่ยวกับการใส่ปุ๋ยเพื่อปรับปรุงคุณภาพผลผลิตของไม้ผล ได้แก่การใช้ธาตุแคลเซียมและโบรอนเพื่อแก้ปัญหอาการเนื้อแก้ว-ยางไหลของมังคุด (สุมิตราและคณะ, 2550) ซึ่งพบว่าอาการเนื้อแก้ว-ยางไหลมีน้อยลงเมื่อมังคุดได้รับแคลเซียมและโบรอนมากขึ้น และงานวิจัยที่กำลังจะเริ่มดำเนินการ ได้แก่การศึกษาอิทธิพลของการใส่แคลเซียม และโบรอน เพื่อบรรเทาอาการห้วยบุ หัวดำของผลสะละ (พรทิพาและนารี โครงการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2552)

การเพิ่มแคลเซียมให้ต้นมะม่วงและผลมะม่วงนั้น ทำได้ทั้งการใส่ทางดินและการฉีดพ่นที่ผลโดยตรงเมื่อผลยังมีขนาดเล็ก สำหรับโบรอนนั้น โดยทั่วไปพืชต้องการน้อย การให้โบรอนสามารถทำได้ทั้งทางดินและทางผล อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีงานวิจัยเกี่ยวกับอิทธิพลของการใส่แคลเซียม และโบรอนเพื่อปรับปรุงคุณภาพของมะม่วง ดังนั้น จึงสนใจที่จะศึกษาเรื่องนี้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของการใส่แคลเซียมและโบรอนที่มีต่อคุณภาพของมะม่วง

ตรวจเอกสาร

แคลเซียมในพืช

แคลเซียม (Ca) เป็นหนึ่งในธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช มีบทบาทสำคัญในพืช คือ รักษาความแข็งแรงของเซลล์และความสามารถในการส่งผ่านของเซลล์เมมเบรน ทำให้ผนังเซลล์แข็งแรง เพิ่มการงอกและการเจริญเติบโตของละอองเกสร (pollen germination and growth) กระตุ้นเอนไซม์ที่มีส่วนร่วมในการแบ่งเซลล์ในช่วง mitosis การแบ่งเซลล์และการขยายขนาดของเซลล์ อีกทั้งมีความสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีนและการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้การมีแคลเซียมอาจช่วยลดความเป็นพิษของโลหะหนักที่พบในพืช (Jones, 1998) อีกทั้งแคลเซียมยังมีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณภาพของผลไม้ และทำให้เก็บรักษาผลไม้ได้นานขึ้น แคลเซียมช่วยเพิ่มการดูดกลืนไนโตรเจนจึงมีความสัมพันธ์กับเมตาบอลิซึมของไนโตรเจน นอกจากนี้แคลเซียมยังช่วยควบคุมการดูดกลืนไอออนประจุบวกบางอย่างด้วย เช่นในสภาพที่ขาดแคลเซียม พืชจะดูดกลืนโพแทสเซียมและโซเดียมในสัดส่วนที่เท่ากัน แต่ถ้ามีแคลเซียม พืชจะดูดกลืนโพแทสเซียมมากกว่าโซเดียม (Havlin, *et al.*, 2005)

ปริมาณแคลเซียมที่พบในพืชมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 0.20-5.00 ของน้ำหนักแห้งของใบ ปริมาณที่พบผันแปรไปตามชนิดของพืชโดยที่พืชให้เมล็ดมีแคลเซียมต่ำที่สุด ในขณะที่ผักและไม้ผลมีแคลเซียมสูง ใบพืชที่แก่กว่าจะมีแคลเซียมสูงกว่าใบอ่อน เนื่องจากแคลเซียมไม่เคลื่อนที่ในพืช (Jones, 1998)

พืชดูดกลืนแคลเซียมจากสารละลายดินและจากส่วนที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable site) ในรูป Ca^{2+} ในแทบทุกกรณีการดูดกลืนและการเคลื่อนย้ายแคลเซียมภายในต้นพืชส่วนใหญ่เป็นกระบวนการที่ไม่ใช้พลังงาน (passive processes) และอัตราการคายน้ำมีอิทธิพลอย่างมากต่อการดูดกลืนแคลเซียมของพืช (Foth and Ellis, 1997) การที่แคลเซียมเข้าสู่รากพืชโดยวิธี mass flow คือ ไปด้วยการไหลของน้ำ และอัตราการคายน้ำมีผลโดยตรงต่ออัตราและปริมาณการเคลื่อนที่ของแคลเซียมเข้าสู่รากพืช ดังนั้น พืชจึงดูดใช้แคลเซียมได้น้อยในวันที่ฝนตกหรือท้องฟ้ามีเมฆครึ้ม ถ้าสภาวะเช่นนี้เกิดขึ้นในช่วงที่มีพัฒนาการของผล (fruit development) ก็จะกระตุ้นให้พืชบางอย่าง เช่น มะเขือเทศ และแตงโม แสดงอาการขาดแคลเซียมออกมาให้เห็น ส่วนพืชชนิดอื่น เช่น ถั่วลิสง และ คีนไช้ (celery) ก็อาจแสดงอาการขาดแคลเซียมเมื่อปลูกบนดินซึ่งพืชชนิดอื่นไม่ปรากฏอาการขาดให้เห็น

เมื่อเข้าไปอยู่ในต้นพืช แคลเซียมจะไม่เคลื่อนที่ภายในต้นพืช ทำให้ส่วนของพืชที่มีการเจริญเติบโตมีแคลเซียมต่ำกว่าใบ นอกจากนี้ ส่วนของพืชที่มีท่อลำเลียงน้ำอยู่น้อยก็อาจได้รับแคลเซียมไม่เพียงพอ แม้ว่าใบจะมีแคลเซียมเพียงพอก็ตาม (Havlin, *et al.*, 2005)

อาการขาดแคลเซียมมักปรากฏให้เห็นเฉพาะที่ (localized) เช่น ปรากฏที่ผล ส่วนที่สะสมอาหาร (storage organs) หรือปลายยอด ซึ่งส่วนเหล่านี้ของพืชมีแคลเซียมต่ำโดยธรรมชาติอยู่แล้ว ตัวอย่างอาการขาดแคลเซียมในพืช ได้แก่ bitter pit ในผลแอปเปิ้ล, อาการก้นเน่า (blossom end rot) ในมะเขือเทศปลายใบไหม้ (tip burn) ของ lettuce, black heart ของ celery อาการไส้กลางในถั่วลิสง (Mortvedt and Cox, 1985) รวมทั้งอาการเนื้อแก้วในผลมังคุด (วรรณิศาและสุมิตรา, 2549) การเคลื่อนที่ของแคลเซียมไปยังรากพืชก็เกิดขึ้นน้อยเช่นกัน พืชที่ขาดแคลเซียมจึงมีระบบรากน้อย ทำให้ไม่สามารถแผ่ออกไปหาแคลเซียมที่มีต่ำอยู่แล้วในดิน อีกทั้งมีเฉพาะส่วนปลายรากที่ยังอ่อนอยู่เท่านั้นที่สามารถดูดกินแคลเซียมได้ ทำให้พืชได้รับแคลเซียมต่ำลงไปอีก (Foth and Ellis, 1997)

แคลเซียมในดิน

เปลือกโลกมีแคลเซียมประมาณร้อยละ 3.5 แต่ปริมาณ Ca^{2+} ในดินผันแปรไปตามภูมิภาค เนื้อดิน พัฒนาการของดินและกระบวนการชะละลาย (Foth and Ellis, 1997; Havlin, *et al.*, 2005) ดินทรายในมี Ca^{2+} ต่ำมาก ส่วนดินในเขตอบอุ่นชื้นที่ไม่ใช่ดินต่างโดยทั่วไปมี Ca^{2+} ร้อยละ 0.7-1.5 ในขณะที่ดินเขตร้อนซึ่งสลายตัวอย่างรุนแรงอาจมี Ca^{2+} เพียงร้อยละ 0.1-0.3 เท่านั้น ระดับ Ca^{2+} ในดินต่างจัดหรือดินเหนียว ผันแปรตั้งแต่น้อยกว่าร้อยละ 1 จนถึงมากกว่าร้อยละ 25

แหล่งปฐมภูมิที่สำคัญของแคลเซียมในดิน ได้แก่ แร่อะนอร์ไทต์ (anorthite, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_3$) ส่วนแร่อื่นๆ ที่ให้ธาตุแคลเซียมแก่ดิน ได้แก่ แอมฟิโบล ไพรอกซีน ไบโอไทต์ และ อะพาไทต์ เป็นต้น นอกจากนี้ ในเขตแห้งแล้งซึ่งมีฝนตกน้อยก็จะมีแคลเซียมในดินสูงมาก แร่ที่เด่นในเขตนี้ ได้แก่ แคลไซต์ (calcite, CaCO_3) โดโลไมท์ [dolomite, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] และยิปซัม (gypsum, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Havlin, *et al.*, 2005) ส่วนในอนุภาคนาตรายและขนาดทรายแป้งจะพบแคลเซียมในแร่เฟลด์สปาร์ เมื่อแร่เหล่านี้สลายตัวก็จะปลดปล่อย Ca^{2+} ออกสู่สารละลายดิน ซึ่งจะถูกระจุบของแร่ดินเหนียวและฮิวมัสดูดซับเอาไว้และถือเป็นไอออนประจุบวกที่เด่นที่สุดในดินแทบทุกชนิด (Foth and Ellis, 1997) แคลเซียมในสารละลายดินของเขตอบอุ่นมีค่าอยู่ในพิสัย 30-300 ppm ส่วนเขตที่มีฝนตกมากกว่านี้อาจมี Ca^{2+} ในสารละลายดินเพียง 5-50 ppm ระดับ Ca^{2+} ในสารละลายดินเพียง 15 ppm ก็ถือว่าเพียงพอสำหรับพืชแทบทุกชนิด (Havlin, *et al.*, 2005) แม้ว่าแคลเซียมในดินจะมีปริมาณมากกว่าที่พืชต้องการเพื่อการเจริญเติบโตอย่างเหมาะสมก็ตาม แต่สิ่งนี้มีผลน้อยมากต่อการดูดกินแคลเซียมของพืช เนื่องจากการดูดกินแคลเซียมถูกควบคุมโดยพันธุกรรม ดินมีแคลเซียม

สูงกว่าโพแทสเซียมหลายเท่า แต่พืชกลับดูดกินแคลเซียมได้น้อยกว่าโพแทสเซียม ทั้งนี้เนื่องจากมีเฉพาะส่วนของรากที่ยังอ่อนอยู่เท่านั้นที่สามารถดูดกินแคลเซียมได้

สภาพดินที่ขาดแคลเซียม

โดยทั่วไปดินเนื้อหยาบ ดินเขตร้อน ดินที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่มีแคลเซียมต่ำ ดินที่มีปฏิกิริยาดิน (pH) ต่ำกว่า 5.5 และดินที่มีอินทรีย์วัตถุต่ำจะมีแคลเซียมต่ำตามไปด้วย (Foth and Ellis, 1997; Jones, 1998; Havlin, *et al.*, 2005)

ส่วนสาเหตุที่ทำให้พืชขาดแคลเซียมนั้น นอกจากการมีแคลเซียมต่ำในดินแล้ว สภาพแวดล้อมที่ทำให้รากอ่อนของพืชมีน้อย จะลดการดูดกินแคลเซียมของพืชและชักนำให้เกิดการขาดแคลเซียม ปัญหาเกี่ยวกับการดูดกินแคลเซียมไม่เพียงพอมักสัมพันธ์กับระบบรากขนาดเล็กของพืชมากกว่าที่จะเกิดกับพืชที่มีระบบรากที่พัฒนาเต็มที่แล้ว (Havlin, *et al.*, 2005)

นอกจากนี้ แอมโมเนียม ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) ก็สามารถทำให้เกิดการขาดแคลเซียมได้โดยลดการดูดกินแคลเซียมของพืช (Jones, 1998) อีกทั้งการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมลงในดินจะมีผลตกค้างทำให้ดินเป็นกรด และถ้าแอมโมเนียมเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ก็จะทำให้ดินเป็นกรดมากขึ้น แคลเซียมจึงมีโอกาสนี้จะสูญเสียออกจากหน้าตัดดินมากขึ้นตามไปด้วย (Brady and Weil, 2002)

การมีแมกนีเซียมและ/หรือโพแทสเซียมในดินสูงกว่าแคลเซียมก็อาจทำให้พืชดูดกินแคลเซียมได้น้อยลง เนื่องจากธาตุดังกล่าวเกิดปฏิสัมพันธ์ของธาตุอาหารชนิด antagonistic reaction (Brady and Weil, 2002)

อัตราการคายระเหยน้ำของพืชก็มีผลต่อปริมาณการดูดกินแคลเซียมของพืช แคลเซียมเคลื่อนที่ในดินโดยไปกับการไหลของน้ำ (Mass flow) ดังนั้น ดินแห้งก็ทำให้พืชดูดกินแคลเซียมได้น้อย วันที่ฝนตก ท้องฟ้ามีดครึ้มพืชคายน้ำได้น้อย การดูดกินแคลเซียมก็น้อยตามไปด้วย แม้ว่าในสารละลายดินจะมีแคลเซียมเพียงพอก็ตาม (Foth and Ellis, 1997)

ถ้าไม่รวมดินต่างจัดหรือดินเนื้อปูน (calcareous soils) ที่มีแคลเซียมสูงโดยกำเนิดอยู่แล้ว ดินในประเทศไทยแทบทั้งหมดมีโอกาสสูงมากที่จะมีแคลเซียมไม่พอต่อความต้องการของพืช เนื่องจากอยู่ภายใต้ภูมิอากาศร้อนที่อุณหภูมิสูงตลอดปีและฝนตกชุก จึงส่งเสริมการสลายตัวของวัตถุต้นกำเนิดดินทั้งทางกายภาพและทางเคมี ส่งผลให้ดินมีออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมสูง ดินเป็นกรด ไอออนประจุบวกที่เป็นต่างจึงสูญหายไปจากหน้าตัดดิน และถ้าเป็นดินเนื้อหยาบก็ยิ่งทำให้ดูดยึดไอออนประจุบวกได้น้อยลงไปอีกทำให้แคลเซียมสูญเสียจากดินได้มาก โอกาสที่พืชจะขาดแคลเซียมจึงสูงตามไปด้วย

การแก้ปัญหาแคลเซียมในดินไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืชทำได้หลายวิธี เช่น การใส่ปุ๋ยเพื่อปรับ pH ซึ่งอาจใช้ปูนขาว ปูนมาร์ล หรือโดโลไมท์ก็ได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณแมกนีเซียมในดิน การใส่ยิปซัมในกรณีที่ต้องการเพิ่มแคลเซียมเท่านั้น นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (เช่น ซุปเปอร์ฟอสเฟต) ก็เป็นการเพิ่มแคลเซียมแก่ดินด้วย

พืชที่ได้รับแคลเซียมเพียงพอ จะให้ผลผลิตที่คุณภาพดีขึ้น อาการผิดปกติที่ปรากฏที่ผลลดลง ซึ่งการที่พืชได้รับแคลเซียมเพียงพอนั้น อาจต้องให้ทั้งทางดินร่วมกับการฉีดพ่นทางใบหรือผล การแก้ปัญหาแคลเซียมในผลทำได้ยาก เพราะแคลเซียมเคลื่อนที่เฉพาะในท่อลำเลียงน้ำเท่านั้น ทำให้ส่วนของพืชที่คายน้ำได้มาก มีแคลเซียมสูงกว่าผลที่คายน้ำได้น้อย อาการขาดแคลเซียมจึงมักปรากฏที่ผล ซึ่งนอกจากจะเป็นส่วนที่คายน้ำได้น้อยแล้ว ยังมีแคลเซียมต่ำโดยธรรมชาติ การแก้ปัญหาดังกล่าวอาจทำได้โดยการใส่แคลเซียมทางดินในปริมาณที่เพียงพอ เป็นการแก้ปัญหาได้ในระดับหนึ่ง สารที่นิยมใช้ ได้แก่ ยิปซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) เนื่องจากละลายน้ำได้เร็วกว่า และเคลื่อนที่ในดินได้ดีกว่า การใส่ปูนขาวหรือปูนคาร์บอเนต แม้ว่าแคลเซียมในรูปนี้จะใช้เวลานานกว่าจะเคลื่อนที่ไปที่ผลก็ตาม (Bramlage, 1994) ดังนั้น การแก้ปัญหการขาดแคลเซียม จึงควรฉีดพ่นแคลเซียมที่ผลโดยตรง ร่วมกับการใส่แคลเซียมทางดิน สารเคมีที่นิยมใช้ฉีดพ่น ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) เพราะราคาไม่แพง และมีความเข้มข้นของแคลเซียมสูง และควรฉีดพ่นในขณะที่ผลยังเล็ก

โบรอนในดินและพืช

โบรอนเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชทุกชนิดที่มีท่อลำเลียงอาหาร (vascular plants) ส่วนพืชชั้นต่ำไม่ต้องการโบรอน Davidescu and Davidescu (1982) กล่าวว่า โบรอนเป็นธาตุอาหารเพียงธาตุเดียวที่ให้ผลตอบสนองสูงมากเมื่อใส่ให้พืชในปริมาณที่น้อย แต่ถ้าใส่โบรอนในปริมาณที่สูงเพียงเล็กน้อยจากอัตราที่แนะนำ โบรอนก็อาจเป็นพิษหรือทำให้เกิดความเสียหายได้ ในดินทั่วไป โบรอนในสารละลายดินอยู่ในรูป H_3BO_3 หรือ B(OH)_3 โบรอนละลายได้ดีในสภาพดินเป็นกรด และสามารถถูกชะละลายออกจากดินได้ง่าย โบรอนมีบทบาทอย่างมากต่อการสร้างและคงรูปของผนังเซลล์ ความแข็งแรงของ ท่อเรณู (pollen tube) และการผสมของละอองเกสร นอกจากนั้นยังมีบทบาทเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของผนังเซลล์ พืชที่ขาดโบรอนมักมีรูปทรงผิดปกติที่ผล การใส่โบรอนและแคลเซียมมีผลทำให้เมล็ดมีความแข็งแรงขึ้น (เพิ่มพูน, 2546) ในพืชหลายชนิด อาการขาดแคลเซียมและโบรอนมีลักษณะใกล้เคียงกัน เนื่องจากธาตุทั้งสองมีบทบาทและหน้าที่หลายอย่างร่วมกัน (Marschner, 1986) การให้โบรอนทำได้ทั้งทางดินและการฉีดพ่น การให้ปุ๋ยทางดินต้องทำด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากอาการเป็นพิษของโบรอนเกิดได้ง่าย ส่วนการฉีดพ่นก็ให้ผลดีเช่นกัน เนื่องจากโบรอนที่ถูกชะล้างลงจากใบจะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ในภายหลัง

มะม่วง (Mango; *Mangifera indica* L.)

การจัดการธาตุอาหารพืชมีผลต่อปริมาณและคุณภาพผลผลิต การที่พืชเกิดความไม่สมดุลของธาตุจะทำให้ผลผลิตลดลงหรือมีคุณภาพไม่ดี การจัดการธาตุอาหารพืชต้องให้ความสนใจในทุกธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ไม่ว่าจะเป็นธาตุอาหารหลัก (N, P, K) ธาตุอาหารรอง (Ca, Mg, S) หรือจุลธาตุ (Bhriuvanshi, et al., 2007)

มะม่วงก็เหมือนกับไม้ผลอื่นที่ต้องการการจัดการธาตุอาหารอย่างสมดุล เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี Bhriuvanshi et al. (2007) รายงานว่า การดูดใช้ธาตุอาหาร (nutrient uptake) ของต้นมะม่วงสัมพันธ์กับอัตราปุ๋ยที่ใส่ การวิเคราะห์ดินและพืชจะทำให้ทราบถึงปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการ ซึ่งมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลผลิต

สำหรับในมะม่วงพบว่า ความเข้มข้นของ Ca ในผลเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่ให้เพิ่มในช่วงที่ผลกำลังเจริญเติบโต (Lapade, 1977) ถ้าวัดการให้น้ำในระหว่างที่ผลกำลังเจริญเติบโตและมีการขยายขนาดอย่างรวดเร็ว ทำให้มะม่วงสุกเร็วขึ้น เกิด lenticel spot และความเข้มข้นของ Ca ในผลลดลง เนื่องจากมีการแข่งขันการใช้น้ำระหว่างใบและผลเพิ่มมากขึ้น (Simmon et al., 1995) โดยทั่วไปแล้ว กล้วยไม้ที่คายน้ำน้อยแต่อัตราการเจริญเติบโตสูงมักมีความเสี่ยงต่อการขาดแคลเซียมส่งผลให้พืชแสดงอาการขาด Ca ที่ผล

การสะสม Ca ในผลระหว่างการพัฒนาผลจะลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากในช่วงสัปดาห์แรกๆ ของการติดผล การเคลื่อนย้ายแคลเซียมและแร่ธาตุอื่นๆ จะผ่านทางท่อน้ำและท่ออาหารเป็นหลัก แต่หลังจากติดผลแล้วและเมื่อผลเริ่มพัฒนา การเคลื่อนย้าย Ca และแร่ธาตุจะผ่านทางท่ออาหารอย่างเดียว และเกิดขึ้นตลอดการพัฒนาของผล (Tromp, 1975) จากการศึกษาของ Ferguson (2001) พบว่า Ca ในแอปเปิ้ลจะเคลื่อนที่ไปสะสมในผลอย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต หลังจากนั้นจะไม่เพิ่มขึ้นหรืออาจจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจนถึงระยะสุดท้ายของการเจริญเติบโตของผล ซึ่งต่างจาก K และ Mg ที่มีการเคลื่อนย้ายไปสะสมตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของผล (แสดงว่าเมื่อผลแก่เต็มที่มีความเข้มข้นของ Ca ในเนื้อจะลดลง) หากผลแอปเปิ้ลมี Ca สะสมอยู่มาก จะทำให้อัตราการเกิดโรคต่ำ และเนื้อผลแน่น มีคุณภาพผลดีขึ้น การวินิจฉัยการขาดแคลเซียมในไม้ผลทำได้ยาก เมื่อเทียบกับการขาดธาตุอาหารอื่นๆ เนื่องจากอาการขาด Ca ในไม้ผลมักเกิดที่ผล ในขณะที่อาการขาดธาตุอาหารอื่นๆ มักสังเกตได้จากใบ อาการขาดแคลเซียมที่ผลมะม่วง อาจแสดงออกได้หลายอาการ เช่น การเกิดโพรงในเนื้อบริเวณหัวของผล (stem-end breakdown) เนื้อรอบเมล็ดและ (jelly seed) บริเวณเนื้อมีรูพรุน (spongy tissue) มีจุดสีดำ และเนื้อมีอาการฉ่ำน้ำ (Schaffer, 1998) ที่อาจเกิดจากการขาดแคลเซียม หากฉีดพ่น Ca ให้กับมะม่วง จะทำให้ Ca ในผลเพิ่มขึ้นและช่วยลดอาการ spongy tissue (Gungate et al., 1979) และลดการสูญเสียน้ำหนักในช่วงระหว่างที่ผลกำลัง

สุก (ripening) ได้ (Singh et al., 1993) ส่วนในไม้ผลอื่นๆ เช่น แอปเปิ้ล หากได้รับ Ca ไม่เพียงพอ อาจแสดงอาการที่ผลได้หลายอย่าง เช่น อาการรอยบุ๋มที่ผิวผล (bitter pit) ผลแตก (cracking) และ ไล้เน่า (internal breakdown) เป็นต้น (Shear, 1975)

นอกจากธาตุ N, K และ Ca แล้ว ธาตุอาหารอื่นๆ ก็มีผลต่อคุณภาพผลผลิตเช่นกัน เช่น พืช ได้รับ Mg มากเกินไป จะทำให้พืชขาด Ca และ K เนื่องจากธาตุทั้ง 3 นี้เป็นปฏิปักษ์ต่อกัน หากธาตุใด ธาตุหนึ่งมีมากเกินไปจะเสียสมดุลของธาตุอาหาร ทำให้พืชขาดธาตุอื่นๆ ได้ โดยทั่วไปแล้ว จึงนิยมใช้ สัดส่วนของธาตุอาหารเหล่านี้ในผลเป็นตัวชี้บ่งอาการผิดปกติของผล มากกว่าการใช้ความเข้มข้นของ ธาตุอาหารแต่ละชนิดแยกกัน Assis et al. (2004) รายงานว่า เมื่อผลมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins มี อัตราส่วนของ N/Ca และ K/Ca ต่ำ สามารถป้องกันการเกิดอาการผิดปกติของผลมะม่วงได้ ในไม้ผล อื่น ก็นิยมใช้สัดส่วนของธาตุอาหารในการชี้บ่งความผิดปกติของผลเช่นกัน (Embleton et al., 1973; Holland, 1980; Piestrzenewicz and Tomala, 2001)

การเก็บตัวอย่างมะม่วงเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหาร

ยังไม่มีวิธีหนึ่งเดียวที่ใช้ในทุกประเทศที่ปลูกมะม่วงเชิงพาณิชย์ (Reuter and Robinson, 1997) เช่น ช่วงการเจริญเติบโตที่แนะนำให้เก็บตัวอย่าง ในรัฐฟลอริดาของสหรัฐอเมริกา แนะนำให้ เก็บใบหลังจากระยะออกดอก โดยเก็บตัวอย่างใบทั้งจากกิ่งที่มีผลและไม่มีผลมาในปริมาณเท่าๆกัน และแยกเป็น 2 ตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหาร ส่วนประเทศอิตาลีได้นำแนะนำให้เก็บใน เดือนธันวาคม ในขณะที่ประเทศอิสราเอลแนะนำให้เก็บในฤดูใบไม้ร่วง สำหรับรัฐควีนแลนด์ของ ประเทศออสเตรเลียแนะนำให้เก็บหลังจากออกดอก แต่ก็มือนักธาตุอาหารพืชบางท่านแนะนำให้เก็บ ก่อนระยะออกดอก ซึ่งโดยทั่วไปตัวอย่างใบมะม่วงที่เก็บจากกิ่งที่ไม่มีดอกจะมีความเข้มข้นของธาตุ อาหารสูงกว่าที่พบในกิ่งที่มีดอก

ส่วนของพืชที่นำมาวิเคราะห์ ก็เช่นเดียวกับช่วงการเจริญเติบโตที่แนะนำให้เก็บตัวอย่าง คือ ขึ้นอยู่กับแต่ละประเทศ (Reuter and Robinson, 1997) เช่น ในรัฐฟลอริดาของสหรัฐอเมริกาแนะนำให้ เก็บทั้งหมด 60 ใบจากตำแหน่งที่ 2 หรือ 3 นับจากฐานของใบที่ยังไม่คลี่เต็มที่ (bloom panicle ใน ที่นี้คือใบฉัตรซึ่งหมายถึงใบที่เรียงกันเป็นกระจุก) ในประเทศอิตาลีได้นำให้เก็บใบอ่อน (young leaves) จากกิ่งที่กำลังติดผล (ซึ่งแทบทั้งหมดเป็นใบที่ออกมาในช่วงที่ติดผล) ในประเทศอิสราเอล แนะนำให้เก็บใบซึ่งผลออกมาในฤดูใบไม้ผลิก่อนหน้านั้นและมีอายุ 6 เดือน ส่วนในรัฐควีนแลนด์ของ ออสเตรเลียแนะนำให้เก็บจากกิ่งที่ไม่มีผล แต่ก็มือนักธาตุอาหารพืชบางท่านแนะนำให้เก็บใบแก่ที่ อ่อนที่สุด (lastest mature flush) ประมาณ 50 ใบ และแนะนำให้ล้างด้วยกรดอะซิติกเจือจาง ก่อน แล้วจึงล้างครั้งสุดท้ายด้วยน้ำกลั่น ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมะม่วงที่ปรากฏใน

ตารางที่ 1 เป็นของประเทศออสเตรเลีย ซึ่งการวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบมะม่วงของประเทศไทยจะอ้างอิงค่าในตารางนี้ในการแนะนำการจัดการธาตุอาหารพืช และการเก็บใบมะม่วงเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารของประเทศไทย แนะนำให้เก็บเมื่อใบอายุได้ 4-6 เดือน โดยเก็บจากใบที่ 1 หรือ 2 ที่อยู่ใต้ใบฉัตร ของกิ่งที่ไม่มีผล โดยเก็บจาก 4 ทิศรอบทรงพุ่ม (รศ.ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม ปรีक्षाเป็นการส่วนตัว)

จากการศึกษาความอุดมสมบูรณ์ของดินและปริมาณธาตุอาหารในใบมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ปลูกในพื้นที่ลาดกระบัง (พรณิภา, 2549) ซึ่งดินที่ปลูกมีวัตถุดิบกำเนิดจากตะกอนน้ำจืดทับถมบนตะกอนน้ำทะเลและน้ำกร่อยซึ่งมีแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้สูงมาก (เฉลี่ย 10 ส่วนมีปริมาณของธาตุอาหารพืชทั้งสองอยู่ที่ $2,272 \text{ mg Ca kg}^{-1}$ และ $1399 \text{ mg Mg kg}^{-1}$ ตามลำดับ) แต่พบว่าความเข้มข้นของแคลเซียมในใบมะม่วงอายุ 4-6 เดือนกลับต่ำมาก กล่าวคือมีเพียงส่วนเดียวเท่านั้นที่แคลเซียมในใบมีค่าเป็น 2.89% ในขณะที่อีก 9 ส่วนมีค่าอยู่ในพิสัย 1.10-1.92% ส่วนแมกนีเซียมในใบของทั้ง 10 ส่วนไม่ต่างกันมากนัก (0.30-0.49% โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.42%) และความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในใบเป็นดังนี้ 1.31-1.53% N, 0.10-0.14% P และ 0.35-0.76% K ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานในตารางที่ 1 จะเห็นว่าใบมะม่วงมีแคลเซียมค่อนข้างต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ในขณะที่แมกนีเซียมอยู่ในพิสัยพอเพียง ส่วนธาตุอาหารหลักพบว่าส่วนใหญ่อยู่ในระดับพอเพียง

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและใบมะม่วงจากสวนเกษตรกรในจังหวัดฉะเชิงเทรา (รศ.ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม ปรีक्षाเป็นการส่วนตัว) พบว่ามากกว่า 50% ของตัวอย่างดินมีแคลเซียมที่สกัดได้ต่ำกว่า 200 mg kg^{-1} ซึ่งถือว่าต่ำสำหรับไม้ผล ในขณะที่แมกนีเซียมที่สกัดได้ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในพิสัย $10-100 \text{ mg kg}^{-1}$ เมื่อพิจารณาแคลเซียมในใบมะม่วงพบว่า มีเพียง 30% ของตัวอย่างเท่านั้นที่ความเข้มข้นของแคลเซียมในใบเกิน 2% (2.00-2.74%) นอกนั้นมีค่าอยู่ในพิสัย 0.62-1.94% แต่แมกนีเซียมในใบแทบทั้งหมดมีค่าพอเพียงตามค่ามาตรฐานในตารางที่ 1 โดยแทบทั้งหมดมีค่าอยู่ในพิสัย 0.20-0.45% มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่มีค่าเป็น 0.15-0.19% ส่วนธาตุอาหารหลักพบว่าส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในระดับพอเพียงตามเกณฑ์มาตรฐานในตารางที่ 1

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นเกี่ยวกับสถานะธาตุอาหารพืชในสวนมะม่วงของประเทศไทย จะเห็นว่าดินปลูกมะม่วงส่วนใหญ่มีแคลเซียมต่ำ ความเข้มข้นของแคลเซียมในใบมะม่วงก็ต่ำเช่นกัน

ตารางที่ 1 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมะม่วง

ธาตุอาหาร	พิสัยของความเข้มข้น (Critical range)						หมายเหตุ
	Deficient	Marginal	Critical (deficiency)	Adequate	High	Toxic (excess)	
N (%)			0.9	1.0-1.5			ไนโตรเจนกำหนดให้มีความเข้มข้นมากกว่า 1.7% ส่วนในประเทศอาฟริกาได้กำหนดให้มีค่าเป็น 1.2-1.4% (ต้นอ่อน-young trees) และ 1.4-1.5% (ต้นแก่-mature trees)
P (%)			0.12	0.13-0.18			
K (%)	<0.25	0.25-0.29		0.3-1.2			นักธาตุอาหารพืชบางท่านแนะนำว่าพิสัยของระดับพอเพียงควรขึ้นไปถึง 2.0%
S (%)				0.06-0.22			
Ca (%)				2.0-3.5 (ดิน pH เป็นกรด) 3.0-3.5 (ดิน pH เป็นด่าง)			นักธาตุอาหารพืชบางท่านเสนอว่าควรอยู่ในพิสัย 1.0-3.0% สำหรับดินทุกชนิด อย่างไรก็ตามมะม่วงสายพันธุ์ที่ปรากฏลักษณะเนื้อรอบเมล็ดและ (jelly seed disorder) ต้องการแคลเซียมสูงกว่านี้
Mg (%)				0.2-0.4			พิสัยที่กว้างกว่านี้ก็ยอมรับได้ ในประเทศอินเดียพบว่าความเข้มข้น 0.75% ก็ยังไม่ถือว่าสูงเกินไป
Na (%)				<0.2		>0.4	
Cl (%)						>0.5	นักธาตุอาหารพืชบางท่านกล่าวว่า 0.2% ก็สูงเกินไป
Cu (mg kg ⁻¹)				10-20			อาจปนเปื้อนจากฝุ่นละอองและสารกำจัดเชื้อรา
Zn (mg kg ⁻¹)	<15	15-19	20	20-100			
Fe (mg kg ⁻¹)				70-100			
B (mg kg ⁻¹)				30-100			

ที่มา : Reuter and Robinsons (1997)

วิธีศึกษา

การเลือกสถานที่ทดลอง

1. เลือกสวนมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ ในพื้นที่ อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา จำนวน 1 สวน (เลือกจากผลการศึกษาของนุจรีและคณะ (2552) ที่เริ่มดำเนินงานในปีงบประมาณ 2552 ซึ่งทำให้ทราบปริมาณธาตุอาหารในดิน ในใบและผลมะม่วง จากแหล่งปลูกต่างๆ ของประเทศไทย โดยเป็นสวนมะม่วงที่มีปริมาณธาตุอาหารพืช โดยเฉพาะแคลเซียมและโบรอนต่ำทั้งในดินและในใบ รวมทั้งเป็นสวนที่ผลมะม่วงสุกแสดงอาการ soft nose มากที่สุดด้วย ทั้งนี้เพื่อให้การทดลองนี้เป็นการแก้ปัญหาให้ตรงจุดมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้)
2. เลือกต้นมะม่วง 50 ต้น เพื่อใช้ในการศึกษา
3. เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร จากต้นมะม่วงทุกต้น โดยแต่ละต้นจะเก็บรอบทรงพุ่ม จำนวน 4 จุด/ต้น ในแต่ละความลึกนำมาผสมกับเป็น 1 ตัวอย่าง
4. เก็บตัวอย่างใบมะม่วง โดยเก็บในที่ 1 หรือ 2 ที่อยู่ใต้ใบฉัตร (ใบที่เรียงกันเป็นกระจุก) จากยอดของกิ่งที่ไม่มีผล เมื่อใบมีอายุ 4-6 เดือน (Robinson et al., 1997) โดยเก็บตัวอย่างทิศละ 2 ใบ แล้วนำใบจากทั้ง 4 ทิศมารวมกันเป็น 1 ตัวอย่าง นำใบที่ได้มาล้างทำความสะอาด อบและบดให้ละเอียด แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบ
5. การวิเคราะห์ดินและพืชก่อนวางแผนการทดลอง เพื่อเลือกต้นมะม่วงที่จะใช้ในการศึกษา ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงรายการวิเคราะห์ดินและพืช

รายการวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์	อ้างอิง
ตัวอย่างดิน:		
1. การแจกกระจายของขนาดอนุภาคดินและชั้นเนื้อดิน		Gee and Bauder, (1986); Soil Survey Laboratory Staff, 1992
2. ปฏิกริยาดิน (pH),	Soil:Solution = 1:1	Thomas (1996)
3. ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC)	Soil:Water = 1:1	Rhoades (1982b)
4. อินทรีย์วัตถุ	Wet oxidation (Walkley & Black titration)	Walkley and Black. (1934); IITA (1979)
5. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	Bray II	Kuo (1996)
6. ไนโตรเจนที่จับเป็นด่างและความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	1 N NH ₄ OAc pH 7.0	Rhoades (1982a); Blakemore, et al. (1987); Chapman (1985)

7. จุลธาตุที่เป็นประโยชน์	DTPA pH 7.3	สุมิตรา (2549)
8. โบรอน	Hot water	Keren (1996)
ตัวอย่างพืช:		
1. ไนโตรเจนทั้งหมด	Digestion	สุมิตรา (2549)
2. P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn และ B	Dry ashing	สุมิตรา (2549)

หมายเหตุ รายละเอียดของวิธีวิเคราะห์จะกล่าวถึงในหัวข้อการวิเคราะห์ดินและพืช

6. จากข้อมูลค่าวิเคราะห์ดินและพืชในข้อ 5 เลือกต้นมะม่วง 30 ต้น ที่มีค่าวิเคราะห์ดินและพืชที่ใกล้เคียงกันที่สุด เพื่อวางแผนการทดลอง

การวางแผนการทดลอง

a. วางแผนการทดลองแบบ RCBD ประกอบด้วย 5 ตำรับการทดลอง 6 ซ้ำ ดังนี้

T1 ตำรับควบคุม (control)

T2 ใส่ปุ๋ยคอกทางดิน

T3 ใส่ปุ๋ยคอกทางดิน + ฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์ทางผล

T4 ใส่ปุ๋ยคอกทางดิน + ฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์และโบรอนทางผล

T5 ฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์และโบรอนทางผล

ก่อนการใส่ปุ๋ยคอกและ/หรือปุ๋ย จะใส่ปุ๋ยมาร์ลหรือปุ๋นโดโลไมท์ ให้ต้นทดลองทุกต้น ปริมาณที่ใส่ขึ้นอยู่กับค่าวิเคราะห์ pH, Ca และ Mg ในดิน และจะเก็บตัวอย่างดินหลังจากใส่ปุ๋นประมาณ 2-3 เดือน ซึ่งถือเป็นดินก่อนการทดลอง เพื่อนำมาวิเคราะห์เฉพาะสมบัติทางเคมีเท่านั้น (ตารางที่ 2 ยกเว้นการแจกกระจายของขนาดอนุภาคดินและจำแนกชั้นเนื้อดิน)

ฉีดพ่นปุ๋ยทางใบตามตำรับทดลองเมื่อมะม่วงเริ่มติดผล โดยจะฉีดพ่นเป็นระยะๆ ทุกสัปดาห์จนกระทั่งห่อผล ซึ่งกระทำทั้งหมด 6 ครั้ง ห่างกัน 1 สัปดาห์ใน 3 ครั้งแรก และทุกๆ 2 สัปดาห์ในครั้งที่ 3-6 โดยเริ่มฉีดพ่นปุ๋ยทางใบครั้งแรกในวันที่ 22 มกราคม 2554 และครั้งที่ 6 ในวันที่ 19 มีนาคม 2554 ความเข้มข้นของปุ๋ยที่ใช้ คือ CaCl_2 2% ส่วนโบรอนฉีดพ่นในรูป Solubor 0.15% โดยฉีดพ่นต้นละ 10 ลิตร เวลาที่ฉีดพ่นปุ๋ยเป็นดังนี้

ครั้งที่ 1 วันที่ 22 มกราคม 2554

ครั้งที่ 4 วันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2554

ครั้งที่ 2 วันที่ 30 มกราคม 2554

ครั้งที่ 5 วันที่ 5 มีนาคม 2554

ครั้งที่ 3 วันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2554

ครั้งที่ 6 วันที่ 22 มีนาคม 2554

โดยตำรับที่ฉีดพ่นโบรอน จะฉีดเฉพาะ 3 ครั้งแรกเท่านั้น

วันที่ 30 เมษายน 2554 เลือกผลมะม่วงที่จะเก็บผลผลิตและติด Tag และวันที่ 21 พฤษภาคม 2554 เก็บผลผลิตมะม่วง

b. การวิเคราะห์พืช เก็บตัวอย่างใบที่มีอายุ 4-6 เดือน จำนวน 2 ครั้ง โดยครั้งแรกเก็บในวันที่ 7 พฤศจิกายน 2552 พร้อมกับการเก็บตัวอย่างดินก่อนการทดลอง ครั้งที่ 2 เก็บในเดือนสิงหาคม 2553 พร้อมกับการเก็บตัวอย่างดิน ถือเป็นตัวอย่างหลังจากการใส่ปุ๋ยและยิปซัม เพื่อนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารในใบ สิ่งทีวิเคราะห์เป็นไปตามตารางที่ 2

c. เมื่อผลมะม่วงครบอายุเก็บเกี่ยว สุ่มตัวอย่างผลมะม่วงมาเพื่อเช็คคุณภาพผลผลิต บันทึกคุณภาพได้แก่ (1) สีของเนื้อโดยเทียบกับสมุดเทียบสี (Color chart) และให้คะแนน (2) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์) และ (3) วัดความเป็นกรด-ด่างของเนื้อผล (pH)

d. สุ่มตัวอย่างผลมะม่วงจากแต่ละต้นเพื่อนำมาวิเคราะห์ธาตุอาหารในเนื้อและเปลือกมะม่วง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ตาราง ANOVA (Analysis of variance)

การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

การเตรียมตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดินมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม เก็บซากพืช และเศษพืชออก แล้วนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 mm เก็บตัวอย่างดินที่ร่อนผ่านตะแกรงไว้ศึกษาในห้องปฏิบัติการต่อไป (Soil Survey Laboratory Staff, 1992)

การวิเคราะห์ดิน

(1) การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่

- วิเคราะห์การแจกกระจายของขนาดอนุภาคดิน โดยวิธีไปเปต (pipette method) (Gee and Bauder, 1986) แล้วนำค่าที่วิเคราะห์ได้ไปประเมินชั้นเนื้อดินโดยใช้เกณฑ์ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA) (Soil Survey Laboratory Staff, 1992)

(2) การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่

- วิเคราะห์ค่าปฏิกิริยาดิน (pH) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 แล้ววัดค่าปฏิกิริยาดินด้วยเครื่อง pH meter (Thomas, 1996)

- วิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity; EC) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 แล้ววัดค่า EC ด้วยเครื่อง EC meter (Rhoades, 1982b)

- วิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน โดยวิธี Walkley-Black Titration (Walkley and Black, 1934; International Institute of Tropical Agriculture, 1979) แล้วเปลี่ยนเป็นปริมาณอินทรีย์วัตถุ โดยคูณปริมาณอินทรีย์คาร์บอนด้วย 1.724
- วิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus) โดยสกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II แล้ววัดปริมาณฟอสฟอรัสด้วยการทำให้เกิดสี โดยใช้เครื่องมือ spectrophotometer ความยาวคลื่น 882 nm (Kuo, 1996)
- วิเคราะห์ปริมาณด่างที่สกัดได้ (Extractable Bases) ซึ่งประกอบด้วย โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม โดยวิธีของ Blakemore, *et al.* (1987) โดยการสกัดดินด้วยใช้สารละลาย 1 N NH_4OAc pH 7.0 แล้วนำสิ่งที่สกัดได้ไปวัดหาปริมาณด่างที่สกัดได้ โดยใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrophotometer (ICP-OES) หลังจากนั้น ล้างดินด้วย Ethyl alcohol เพื่อล้าง NH_4^+ ion ส่วนเกิน แล้วสกัดดินด้วยสารละลาย 10% NaCl acidified นำสิ่งที่สกัดได้ไปกลั่นหาค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, CEC pH 7.0)
- วิเคราะห์ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, CEC pH 7.0) โดยวิธีของ Chapman (1985) โดยเริ่มจากการสกัดดินด้วยใช้สารละลาย 1 N NH_4OAc pH 7.0 หลังจากนั้น ล้างดินด้วย Ethyl alcohol เพื่อล้าง NH_4^+ ion ส่วนเกิน แล้วสกัดดินด้วยสารละลาย 10% NaCl acidified นำสิ่งที่สกัดได้ไปกลั่นหาค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, CEC pH 7.0)
- วิเคราะห์จุลธาตุในดิน ด้วยวิธี DTPA pH 7.3 (สุมิตรรา, 2549)
- วิเคราะห์โบรอน โดยการสกัดด้วยน้ำร้อน และวิเคราะห์หาปริมาณโบรอนโดยการทำให้เกิดสีด้วยวิธี curcumin แล้ววัดด้วย spectrophotometer ความยาวคลื่น 550 nm (Keren, 1996)

การเก็บตัวอย่างใบพืช

เก็บตัวอย่างใบมะม่วง โดยเก็บในที่ 1 หรือ 2 ที่อยู่ใต้ใบฉัตร (ใบที่เรียงกันเป็นกระจุก) จากยอดของกิ่งที่ไม่มีผล เมื่อใบมีอายุ 4-6 เดือน (Robinson *et al.*, 1997) โดยเก็บตัวอย่างทีละ 2 ใบ แล้วนำใบจากทั้ง 4 ทิศมารวมกันเป็น 1 ตัวอย่าง นำตัวอย่างใบใส่ถุงพลาสติกให้มิดชิด และวางในถังพลาสติกที่มีน้ำแข็งอยู่ด้านล่างสุด มีกระดาษหนังสือพิมพ์วางกั้นระหว่างน้ำแข็งและตัวอย่างใบ และนำตัวอย่างดังกล่าวสู่ห้องปฏิบัติการ และเมื่อถึงห้องปฏิบัติการนำไปที่ได้มาล้างทำความสะอาด อบและบดให้ละเอียด แล้วนำไปวิเคราะห์หาธาตุอาหารในใบ

การเตรียมตัวอย่างใบพืช

1. ล้างตัวอย่างใบให้สะอาดด้วยน้ำประปา และล้างด้วยน้ำกลั่นอีกสามครั้ง บรรจุในถุงกระดาษ นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60-72 ชั่วโมง หรืออบจนแห้ง
2. ชั่งน้ำหนักแห้งตัวอย่างใบมะม่วงที่อบแห้งแล้ว
3. บดใบมะม่วงด้วยเครื่องบด ให้ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 40 mesh (0.42 mm) และเก็บไว้เพื่อวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

การเก็บตัวอย่างผลมะม่วง

เก็บผลมะม่วงในระยะเก็บเกี่ยวของเกษตรกร โดยสุ่มจากผลที่เลือกได้ไว้แล้ว นำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยในแต่ละตัวอย่างแยกวิเคราะห์ส่วนเปลือกและเนื้อมะม่วง

การวิเคราะห์พืชและผลผลิต

1. วิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด โดยย่อยตัวอย่างพืชและผลผลิตด้วยกรด H_2SO_4 เข้มข้น ที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส จนใส แล้วนำไปกลั่นหาปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี microKjeldahl ไตรเตตสิ่งทีกลั่นได้ด้วยกรด H_2SO_4 ทราบความเข้มข้นแน่นอน (สุมิตรา, 2549)
2. P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn และ B : ย่อยสลายด้วยวิธี Dry ashing ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเอาที่ได้ไปละลายด้วย 1 N HCl แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrophotometer (ICP-OES) (Allan, 1971)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมบัติของดินก่อนการใส่ปุ๋ยและยิปซัม (เก็บวันที่ 6 พฤศจิกายน 2552)

ตารางที่ 3 แสดงสมบัติของดินก่อนการใส่ปุ๋ยและยิปซัม ที่ระดับความลึกที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร จะเห็นว่าตำรับการทดลองมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (Sandy loam) มีค่าปฏิกิริยาดิน (pH ดิน: น้ำ = 1:1) อยู่ในพิสัยระหว่าง 4.75-6.77 ซึ่งเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกลาง โดยตำรับการทดลอง T3 (ใส่ยิปซัมทางดินและฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์ทางผล) มีค่า pH ต่ำที่สุด ในขณะที่ตำรับการทดลอง T5 (ฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์และโบรอนทางผล) มีค่า pH สูงที่สุด ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดิน (EC) ค่อนข้างต่ำ คืออยู่ในพิสัย $120-314 \mu\text{S cm}^{-1}$ ซึ่งถือว่าความเค็มของดินไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ตำรับการทดลอง T3 มีค่า EC ต่ำที่สุด ในขณะที่ตำรับการทดลอง T5 มีค่า EC สูงที่สุด อินทรีย์วัตถุมีปริมาณอยู่ในพิสัย 1.44-1.77% จัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำถึงปานกลาง โดยดินของตำรับการทดลอง T2 (ใส่ยิปซัมทางดิน) มีปริมาณต่ำที่สุด ส่วนตำรับการทดลอง T5 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุด ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ต่ำกว่า $10 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$ ทุกตำรับการทดลอง ($6.90-10.20 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$) โดยดินของตำรับการทดลอง T2 มีค่า CEC ต่ำที่สุดและตำรับการทดลอง T5 มีค่าสูงสุด

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของทุกตำรับการทดลองอยู่ในระดับสูง ($108-157 \text{ mg kg}^{-1}$) โดยตำรับการทดลอง T1 (ควบคุม) มีปริมาณต่ำที่สุด และตำรับการทดลอง T5 มีปริมาณสูง ความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่สกัดได้ (K) อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ($124-172 \text{ mg kg}^{-1}$) โดยตำรับการทดลอง T1 มีปริมาณต่ำที่สุด และตำรับการทดลอง T5 มีปริมาณสูงที่สุด แคลเซียมที่สกัดได้ (Ca) อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ($481-897 \text{ mg kg}^{-1}$) โดยตำรับการทดลอง T2 มีปริมาณต่ำที่สุดและตำรับการทดลอง T5 มีปริมาณสูงที่สุด ส่วนแมกนีเซียมที่สกัดได้ (Mg) อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ($71.5-121 \text{ mg kg}^{-1}$) ปริมาณสูงที่สุดพบที่ตำรับการทดลอง T3 ส่วนปริมาณต่ำที่สุดพบที่ตำรับการทดลอง T5

ปริมาณจุลธาตุในดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองมีเหล็กที่สกัดได้ (Fe) ในระดับสูงมาก ($57.5-94.7 \text{ mg kg}^{-1}$) โดยตำรับการทดลอง T2 และ T3 มีปริมาณเหล็กต่ำที่สุดและสูงที่สุด ตามลำดับ แมงกานีสที่สกัดได้ (Mn) อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ($9.95-26.1 \text{ mg kg}^{-1}$) ตำรับการทดลอง T3 มีปริมาณต่ำที่สุด และตำรับการทดลอง T5 มีปริมาณสูงที่สุด ทองแดงที่สกัดได้ (Cu) ในระดับปานกลาง ($0.30-0.74 \text{ mg kg}^{-1}$) โดยตำรับการทดลอง T3 และ T5 มีปริมาณต่ำที่สุดและสูงที่สุด ตามลำดับ สังกะสีที่สกัดได้ (Zn) มีปริมาณอยู่ในพิสัย $1.19-1.92 \text{ mg kg}^{-1}$ จัดอยู่ในระดับปานกลาง ตำรับการทดลอง T1 มีปริมาณต่ำที่สุด และตำรับการทดลอง T3 มีปริมาณสูงที่สุด โบรอนที่สกัดได้ (B) มีปริมาณอยู่ในพิสัย $0.26-0.47$

mg kg⁻¹) จัดอยู่ในระดับปานกลาง ตำรับทดลอง T3 มีปริมาณต่ำที่สุด และตำรับทดลอง T5 มีปริมาณสูงที่สุด

ปริมาณธาตุอาหารในใบมะม่วงก่อนการใส่ปุ๋ยและยิปซัม (เก็บตัวอย่างในวันที่ 6 พฤศจิกายน 2552)

ตารางที่ 4 แสดงความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมะม่วงในช่วงอายุ 4-6 เดือน (ฤดูการเจริญเติบโต 2552/2553) ก่อนการใส่ปุ๋ยและยิปซัม จะเห็นว่ามีความเข้มข้นของโพแทสเซียมกับเหล็กในใบมะม่วงเท่านั้นที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (0.43-0.69% K และ 22.7-35.5 mg Fe kg⁻¹) โดยตำรับทดลอง T1 มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมต่ำที่สุดและความเข้มข้นของเหล็กสูงที่สุด ส่วนใหญ่โพแทสเซียมในใบมะม่วงอยู่ในช่วงค่ามาตรฐาน ยกเว้นตำรับทดลอง T1 ที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ในขณะที่เดียวกันตำรับทดลอง T1 ก็มีเหล็กอยู่ในช่วงค่ามาตรฐาน แต่ตำรับทดลองอื่น ปริมาณเหล็กที่พบต่ำกว่าช่วงค่ามาตรฐาน

ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่อยู่ในช่วงค่ามาตรฐานทุกตำรับทดลอง ได้แก่ ไนโตรเจน (1.26-1.44%) และฟอสฟอรัส (0.11-0.13%) ในขณะที่ปริมาณแคลเซียมในใบมะม่วงทุกตำรับทดลองต่ำกว่าช่วงมาตรฐาน (1.53-1.67%) ส่วนแมกนีเซียม มีเฉพาะตำรับทดลอง T3 (0.24%) และ T5 (0.20%) เท่านั้นที่จัดอยู่ในช่วงค่ามาตรฐาน ส่วนตำรับทดลองอื่นปริมาณที่พบต่ำกว่าช่วงมาตรฐาน (0.17-0.18%)

แมงกานีส มีเฉพาะตำรับทดลอง T4 (ใส่ยิปซัมทางดินและฉีดพ่นแคลเซียมคลอไรด์กับโบรอนทางผล) เท่านั้นที่อยู่ในช่วงค่ามาตรฐาน (244 mg kg⁻¹) ส่วนตำรับทดลองอื่นสูงกว่าช่วงมาตรฐาน (258-324 mg kg⁻¹) จุลธาตุอาหารที่มีปริมาณต่ำกว่าช่วงค่ามาตรฐานทุกตำรับทดลองคือ ทองแดง สังกะสี และโบรอน (1.21-3.65, 11.5-13.7 และ 18.3-26.0 47 mg kg⁻¹ ตามลำดับ)

สมบัติของดินหลังการใส่ปุ๋ยและยิปซัม (เก็บวันที่ 7 สิงหาคม 2553)

ตารางที่ 5 แสดงสมบัติของดินหลังจากใส่ปุ๋ยและยิปซัมที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร โดยมีเฉพาะเนื้อดินกับความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่านั้นที่เป็นค่าเดิม

ปฏิกิริยาดิน (pH ดิน:น้ำ = 1:1) จัดอยู่ในเกณฑ์เป็นกรดจัดมากถึงกรดจัด (4.68-5.29) ตำรับทดลอง T1 มีค่า pH ต่ำที่สุด และตำรับทดลอง T5 มีค่า pH สูงที่สุด ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดิน (EC) อยู่ในพิสัย 228-328 $\mu\text{S cm}^{-1}$ จัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำ นั่นคือความเค็มของดินไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินที่เก็บในเดือนพฤศจิกายน 2552 (ตารางที่ 3) พบว่าค่ารับทดลอง T3 และ T4 มีค่า pH เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่ค่ารับทดลองอื่นมีค่า pH ลดลง โดยค่ารับทดลอง T5 ลดลงอย่างเห็นได้ชัด เช่นเดียวกับค่ารับทดลอง T1 ส่วนค่า EC ของค่ารับทดลอง T5 ลดลงจากเดิม ในขณะที่ค่ารับทดลองอื่นเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

อินทรีย์วัตถุ (OM) อยู่ในเกณฑ์ต่ำถึงปานกลาง (1.10-1.63%) โดยค่ารับทดลองส่วนใหญ่มีปริมาณลดลงจากเดิมเล็กน้อยเมื่อเทียบกับตัวอย่างดินที่เก็บในปี 2552 ยกเว้นค่ารับทดลอง T3 ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่ารับทดลอง T2 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำที่สุดและค่ารับทดลอง T3 มีปริมาณสูงที่สุด

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P) จัดอยู่ในเกณฑ์สูง (146-205 mg kg⁻¹) และสูงกว่าที่พบในตัวอย่างดินปี 2552 ค่ารับทดลอง T4 มีปริมาณต่ำที่สุด และค่ารับทดลอง T5 มีปริมาณสูงที่สุด

โพแทสเซียมที่สกัดได้ (K) อยู่ในเกณฑ์ปานกลางถึงสูง (146-205 mg kg⁻¹) และสูงกว่าที่พบในตัวอย่างดินปี 2552 ค่ารับทดลอง T2 มีปริมาณต่ำที่สุดและค่ารับทดลอง T4 มีปริมาณสูงที่สุด

แคลเซียมที่สกัดได้ (Ca) อยู่ในเกณฑ์ปานกลางถึงสูง (515-871 mg kg⁻¹) และสูงกว่าที่พบในตัวอย่างดินปี 2552 ค่ารับทดลอง T2 มีปริมาณต่ำที่สุด ส่วนค่ารับทดลอง T5 มีปริมาณสูงที่สุด

แมกนีเซียมที่สกัดได้ (Mg) ทุกค่ารับทดลองมีปริมาณลดลงจากที่พบในตัวอย่างดินปี 2552 (57.4-93.4 mg kg⁻¹) จัดอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง ค่ารับทดลอง T2 มีปริมาณต่ำที่สุดและค่ารับทดลอง T5 มีปริมาณสูงที่สุด

เหล็กที่สกัดได้ (Fe) มีปริมาณลดลงกว่าที่พบในตัวอย่างดินปี 2552 (45.3-78.6 mg kg⁻¹) อยู่ในเกณฑ์สูงมาก ค่ารับทดลอง T5 มีปริมาณต่ำที่สุดและค่ารับทดลอง T1 มีปริมาณสูงที่สุด

แมงกานีสที่สกัดได้ (Mn) ส่วนใหญ่มีปริมาณลดลงจากที่พบในตัวอย่างดินปี 2552 (9.4-19.5 mg kg⁻¹) จัดอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง ค่ารับทดลอง T2, T4 และ T5 มีปริมาณลดลงจากเดิม โดยค่ารับทดลอง T4 มีปริมาณต่ำที่สุด ส่วนค่ารับทดลอง T1 มีปริมาณเพิ่มขึ้นและเป็นปริมาณสูงที่สุดในขณะที่ค่ารับทดลอง T3 ปริมาณที่พบไม่แตกต่างจากเดิมมากนัก

ทองแดงที่สกัดได้ (Cu) ส่วนใหญ่มีปริมาณลดลงจากที่พบในตัวอย่างดินปี 2552 (0.22-0.47 mg kg⁻¹) ค่ารับทดลอง T2 มีปริมาณต่ำที่สุด ส่วนค่ารับทดลอง T1 มีปริมาณสูงที่สุดและเพิ่มขึ้นจากเดิม

สังกะสีที่สกัดได้ (Zn) ทุกค่ารับทดลองมีปริมาณลดลงจากที่พบในตัวอย่างดินปี 2552 (0.71-1.00 mg kg⁻¹) จัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำถึงปานกลาง ค่ารับทดลอง T2 มีปริมาณต่ำที่สุด

โบรอนที่สกัดได้ (B) มีปริมาณอยู่ในพิสัย 0.39-0.46 mg kg⁻¹ จัดอยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณที่พบไม่แตกต่างจากตัวอย่างดินปี 2552 มากนัก ยกเว้นตำรับทดลอง T3 ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

ปริมาณธาตุอาหารในใบมะม่วงหลังการใส่ปุ๋ยและยิปซัม (เก็บตัวอย่างใบวันที่ 7 สิงหาคม 2553)

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณธาตุอาหารในใบมะม่วง (เก็บตัวอย่างใบวันที่ 7 สิงหาคม 2553) จะเห็นว่าธาตุอาหารที่มีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือแคลเซียม (Ca : 1.27-1.67%) และเป็นปริมาณที่ต่ำกว่าช่วงมาตรฐานในทุกตำรับทดลอง เหล็ก (Fe : 66.4-265 mg kg⁻¹) ซึ่งตำรับทดลอง T1 มีปริมาณสูงที่สุด ตำรับทดลอง T3, T4 และ T5 อยู่ในช่วงมาตรฐาน ส่วนตำรับ T1 และ T2 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ทองแดง (Cu : 2.04-4.52 mg kg⁻¹) ทุกตำรับทดลองมีปริมาณต่ำกว่าช่วงค่ามาตรฐาน โดยที่ตำรับทดลอง T1 และ T2 มีปริมาณต่ำกว่าที่พบในตำรับ T3, T4 และ T5

เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุอาหารที่พบในตัวอย่างใบที่เก็บในเดือนพฤศจิกายน 2552 (ตารางที่ 4) พบว่าแทบทุกตำรับทดลองมีแคลเซียมต่ำลง ยกเว้นตำรับทดลอง T5 ที่มีปริมาณเท่าเดิม เหล็กมีปริมาณเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับทองแดงส่วนใหญ่ ยกเว้นตำรับ T3 ที่ปริมาณทองแดงลดลงจากที่พบในตัวอย่างใบที่เก็บในเดือนพฤศจิกายน 2552 เล็กน้อย

ความเข้มข้นของไนโตรเจนในทุกตำรับทดลองอยู่ในช่วงค่ามาตรฐาน (1.32-1.43%) ปริมาณที่พบไม่ต่างจากตัวอย่างใบที่เก็บในเดือนพฤศจิกายน 2552 มากนัก เช่นเดียวกับฟอสฟอรัส (0.11-0.13%) ซึ่งอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานเช่นกัน

โพแทสเซียม มีความเข้มข้นมากกว่าที่พบในตัวอย่างใบที่เก็บในเดือนพฤศจิกายน 2552 และอยู่ในช่วงค่ามาตรฐาน (0.74-0.87%) เช่นเดียวกับแมกนีเซียมซึ่งปริมาณที่พบไม่ต่างกันมากนัก (0.18-0.21%) ในขณะที่แมงกานีสมีปริมาณสูงกว่าที่พบในตัวอย่างใบที่เก็บในเดือนพฤศจิกายน 2552 และสูงกว่าช่วงค่ามาตรฐาน (378-487 mg kg⁻¹)

สังกะสีและโบรอนมีปริมาณสูงขึ้นกว่าเดิมที่พบในตัวอย่างใบที่เก็บในเดือนพฤศจิกายน 2552 อย่างชัดเจน โดยส่วนใหญ่สังกะสีอยู่ในช่วงมาตรฐาน ยกเว้นตำรับ T3 ซึ่งต่ำกว่าช่วงค่ามาตรฐาน ในขณะที่โบรอนส่วนใหญ่ต่ำกว่าช่วงค่ามาตรฐาน ยกเว้นตำรับทดลอง T2 ซึ่งอยู่ในช่วงค่ามาตรฐาน

จากผลการศึกษา (ตารางที่ 3 ถึงตารางที่ 6) จะเห็นว่าตัวอย่างดินภายหลังการใส่ปุ๋ยและยิปซัม สมบัติของดินที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทุกตัวรับทดลอง นั่นคือสมบัติดินพื้นฐานของทุกตัวรับทดลองค่อนข้างคล้ายคลึงกัน หรือมีความแปรปรวนไม่มากนัก

ส่วนตัวอย่างใบมะม่วง พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ปริมาณแคลเซียม เหล็ก และทองแดง อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าทุกตัวรับทดลองมีแคลเซียมและทองแดงต่ำกว่าช่วงค่ามาตรฐาน ส่วนปริมาณเหล็กสูงกว่าช่วงค่ามาตรฐาน

ค่าวิเคราะห์อื่นที่ไม่แตกต่างทางสถิติ พบว่า แมงกานีสสูงกว่าช่วงค่ามาตรฐาน ในขณะที่สังกะสีส่วนใหญ่อยู่ในช่วงค่ามาตรฐาน แต่โบรอนส่วนใหญ่ต่ำกว่าช่วงค่ามาตรฐาน

ปริมาณธาตุอาหารในเนื้อมะม่วงและเปลือกมะม่วง (เก็บผลผลมะม่วงวันที่ 21 พฤษภาคม 2554)

ตารางที่ 7 แสดงปริมาณธาตุอาหารในเนื้อมะม่วงและเปลือกมะม่วง

เนื้อมะม่วง

ธาตุอาหารที่มีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง และโบรอน

แคลเซียม (Ca) มีปริมาณในพืช 4.01-4.96 mg 100 g⁻¹ FW โดยตัวรับทดลอง T5 มีปริมาณต่ำที่สุด ในขณะที่ตัวรับทดลอง T1 และ T4 มีปริมาณสูงที่สุด

แมกนีเซียม (Mg) มีปริมาณอยู่ในพืช 6.54-7.84 mg 100 g⁻¹ FW โดยตัวรับทดลอง T1 และ T2 มีปริมาณสูงกว่าที่พบในตัวรับ T3, T4 และ T5

ทองแดง (Cu) มีปริมาณอยู่ในพืช 37.3-61.9 µg 100 g⁻¹ FW ตัวรับทดลอง T5 มีปริมาณสูงที่สุด และตัวรับทดลอง T3 มีปริมาณต่ำที่สุด

โบรอน (B) มีปริมาณอยู่ในพืช 95.1-126 µg 100 g⁻¹ FW ตัวรับทดลอง T4 มีปริมาณสูงที่สุด ในขณะที่ตัวรับทดลองอื่นมีปริมาณไม่ต่างกันมากนัก

ทุกตัวรับทดลองมีไนโตรเจนในเนื้อมะม่วงสุก 90.4-105 mg 100 g⁻¹ FW ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม 13.5-15.3 mg 100 g⁻¹ FW และ 150-176 mg 100 g⁻¹ FW ตามลำดับ เหล็ก 214-247 µg 100 g⁻¹ FW แมงกานีสและสังกะสี 79.9-110 µg 100 g⁻¹ FW และ 102-110 µg 100 g⁻¹ FW ตามลำดับ

นั่นคือ การใส่แคลเซียมคลอไรด์และโบรอนทางผล (T5) ทำให้ปริมาณแคลเซียมในเนื้อมะม่วงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่ยิปซัมทางดิน (T2) และการใส่ยิปซัมทางดินร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ทางผล (T3) แต่ปริมาณแคลเซียมในเนื้อมะม่วงของตัวรับทดลอง T5

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตำรับควบคุม (T1) และตำรับที่ใส่ยิปซัมทางดินร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์และโบรอนทางผล (T4) คือมีปริมาณต่ำกว่าที่พบในตำรับ T1 และ T4

การใส่แคลเซียมคลอไรด์และโบรอนทางผล (T5) ทำให้ปริมาณโบรอนในเนื้อมะม่วงสุกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ปริมาณที่พบต่ำกว่าตำรับทดลองที่ใส่ยิปซัมทางดินร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์และโบรอนทางผล (T4)

การใส่ยิปซัมทางดินเพียงอย่างเดียว (T2) ไม่ทำให้ปริมาณแมกนีเซียมในเนื้อมะม่วงสุกแตกต่างจากตำรับควบคุม (T1) และมีปริมาณสูงกว่าที่พบในตำรับทดลอง T3, T4 และ T5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ตำรับ T3, T4 และ T5 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

เปลือกมะม่วง

ทุกตำรับทดลองมีความเข้มข้นของธาตุอาหารในเปลือกมะม่วงสุกไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความเข้มข้นของมหาธาตุเป็นดังนี้ 163-193 mg N 100 g⁻¹ FW, 42.1-49.9 mg P 100 g⁻¹ FW, 320-365 mg K 100 g⁻¹ FW, 48.4-70.0 mg Ca 100 g⁻¹ FW และ 35.0-42.8 mg Mg 100 g⁻¹ FW ในขณะที่ความเข้มข้นของจุลธาตุเป็นดังนี้ 441-656 µg Fe 100 g⁻¹ FW, 869-1209 µg Mn 100 g⁻¹ FW, 54.4-89.5 µg Cu 100 g⁻¹ FW, 214-245 µg Zn 100 g⁻¹ FW และ 387-469 µg B 100 g⁻¹ FW

คุณภาพของผลมะม่วง (ตารางที่ 9)

ตรวจสอบสีเนื้อและสีเปลือกมะม่วงโดยใช้ Color Chart ซึ่งพบว่ามีสีอยู่ในกลุ่ม Chart ที่ 13 (Yellow group) ถึง Chart ที่ 18 (Yellow-orange group) ในแต่ละ Chart มีระดับ A, B, C, D ซึ่ง A คือเข้มสุด ส่วน D คืออ่อนสุด

เพื่อการวิเคราะห์ทางสถิติ จึงกำหนดตัวเลขคะแนนสำหรับสีเปลือกและสีเนื้อ ดังแสดงในตารางที่ 8 โดยกำหนดให้ค่าสี 13D, 13C, 13B และ 13A เท่ากับ 1, 2, 3 และ 4 คะแนน ตามลำดับ และในค่าสี 14D, 14C, 14B และ 14A คะแนนเพิ่มขึ้นเป็น 5, 6, 7 และ 8 ส่วนค่าสีอื่นๆก็ปฏิบัติเช่นเดียวกัน ทำให้ค่าสี 18D ถึง 18A มีคะแนน 21, 22, 23 และ 24 ตามลำดับ

ค่าวิเคราะห์สีเปลือกและสีเนื้อในตารางที่ 9 มาจากค่าเฉลี่ยที่ได้จากตัวเลขในตารางที่ 8

ตารางที่ 9 แสดงคุณภาพของผลมะม่วง จะเห็นว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างคุณภาพของผลมะม่วงในทุกตำรับทดลอง โดยของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solid- องศาบริกซ์) มีปริมาณอยู่ในพิสัย 14.3-15.3 ความเป็นกรดทั้งหมด (Total acidity - TA) 0.07-0.8% สีเปลือก 9.58-14.2 คะแนน สีเนื้อ 13.3-15.3 คะแนน ความกว้าง ความหนา ความยาว และเส้นรอบวงของผล 73.7-82.5, 68.3-71.3, 16.4-16.7 และ 23.9-24.7 เซนติเมตร ตามลำดับ และน้ำหนักของผลสุก 382-415 g

