บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

ส้มโชกุน เป็นส้มพันธุ์เปลือกล่อน (mandarin; *Citrus reticulata* Blanco) มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งคือ ส้มสายน้ำผึ้ง ซึ่งส้มทั้งสองจัดเป็นส้มชนิดเดียวกันแต่มีแหล่งปลูกต่างกัน กล่าวคือ ส้มโชกุนจะปลูกในพื้นที่ภาคใต้ เมื่อผลแก่ผิวเปลือกจะมีสีเขียวและมีขนาดผลค่อนข้างใหญ่ ส่วนส้มสายน้ำผึ้งใช้เรียกส้มชนิดนี้ที่ปลูกทางภาคเหนือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งผลที่แก่จะมีสีแดงอมส้ม (อำไพวรรณและนิพนธ์, 2545) ทั้งนี้ส้มโชกุนมีการเจริญดีใกล้เคียงกับส้มเขียวหวานแต่จะมีทรงพุ่มหนาแน่นกว่า ลักษณะกิ่งและใบจะตั้งขึ้น (erect form) ในขณะที่ส้มเขียวหวานใบจะตกหรือห้อยลงมา (weeping form and willow leaf) รวมทั้งใบของส้มโชกุนจะมีขนาดเล็กและมีสีเขียวเข้มกว่า นอกจากนี้ที่ผลจะมีสะดือเป็นเอกลักษณ์พิเศษ เนื้อแน่นและชานนิ่ม ให้น้ำส้มในปริมาณมาก รสชาติหวานอมเปรี้ยว มีกลิ่นหอมคล้ายส้มจีนหรือส้มพองแกน และให้น้ำหนักดีกว่าส้มเขียวหวาน จึงได้รับความนิยมบริโภคอย่างมาก เป็นเหตุให้มีการขยายพื้นที่ปลูกเกือบทุกภาคของประเทศ อาทิ เชียงใหม่ เชียงราย กำแพงเพชร เพชรบูรณ์ เลย จันทบุรี ตราด ชุมพร สุราษฎร์ธานี กระบี่ ตรัง นครศรีธรรมราช สงขลา และยะลา (อำไพวรรณและนิพนธ์, 2545)

2.1 โรคกรีนนิ่งของส้ม (citrus greening disease)

กรีนนิ่ง หรือ ฮวงลองบิง (huanglongbing; HLB) ในภาษาจีน หมายถึง มังกรสีเหลือง (yellow dragon disease) เป็นโรคที่ทำความเสียหายรุนแรงและมีการแพร่ระบาดอย่างกว้างขวาง จัดเป็นโรคที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในหลายประเทศที่มีการปลูกส้ม (Halbert and Manjunath, 2004) จากรายงานการสำรวจโรคบนเกาะ Réunion ซึ่งเป็นเกาะอาณานิคมของประเทศฝรั่งเศสและตั้งอยู่ทางตอนใต้ของมหาสมุทรอินเดียเป็นเวลา 8 ปี พบว่าส้มถูกทำลายอย่างรุนแรงและไม่ให้ผลผลิตถึง 65% หลังจากปลูกได้เพียง 5 ปี (Aubert *et al*, 1996) สำหรับประเทศไทยต้นส้มที่เป็นโรคจะโทรมภายในระยะเวลา 5 – 6 ปี หลังปลูก (Roistacher, 1996) ในปี 1998 Toorawa ประมาณการว่า ส้มที่ปลูกในเอเชียใต้ และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้กว่า 50 ล้านต้นเป็นโรคนี้ โดย 3 ล้านต้น พบที่ประเทศอินโดนีเซีย และอีก 10 ล้านต้นในแอฟริกา อย่างไรก็ตามโรคดังกล่าวมีชื่อเรียกต่างกันอีกหลายชื่อ อาทิ likubin หรือ citrus vein phloem degeneration เป็นต้น ซึ่งชื่อที่ใช้อย่างเป็นทางการ คือ huanglongbing (Anonymous, 1996) ส่วน citrus greening disease ยังคงเป็นชื่อที่ใช้เรียกกันทั่วไปในสหรัฐอเมริกา (Halbert and Manjunath, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.1 เชื้อสาเหตุ (casual agent)

เชื้อสาเหตุโรคกรีนนิ่ง คือ แบคทีเรีย *Candidatus* Liberibacter spp. ซึ่งอาศัยอยู่ภายในท่ออาหาร (phloem – inhabiting bacteria) และไม่สามารถเจริญบนอาหารสังเคราะห์ จึงนำมาจำแนกเชื้อสาเหตุตามหลักการของ Koch's postulation ไม่ได้ แต่จากการทดสอบโดยฉีดสารปฏิชีวนะเข้าไปในส้มที่เป็นโรคพบว่าอาการของโรคลดลงชั่วคราว ทำให้ชี้ชัดลงไปได้ว่าโรคดังกล่าวมีสาเหตุจากเชื้อแบคทีเรีย (Buitendag and von Broembsen, 1993; Lim *et al*., 1990 and Su *et al*., 1986)

ทั้งนี้ในอดีตชื่อจีนัสของแบคทีเรียคือ Liberobacter แต่ภายหลังได้เปลี่ยนมาเป็น Liberibacter ในปี ค.ศ. 2000 โดย Garnier และคณะ ซึ่งตั้งตามหลักสากลการตั้งชื่อแบคทีเรีย (the International Code of Nomenclature of Bacteria) ซึ่ง "bacter" หมายถึง เพศชาย และ "Liber" หมายถึง มีแหล่งกำเนิดในละติน (Latin origin) สระที่ใช้เชื่อมทั้งสองคำจึงควรเป็นอักษร "i"

ปัจจุบันพบแบคทีเรียสาเหตุโรคกรีนนิ่งทั้งหมด 3 สายพันธุ์ด้วยกัน ได้แก่ สายพันธุ์เอเซียน *Candidatus* Liberibacter asiaticus สายพันธุ์ที่พบในแอฟริกาใต้ *Candidatus* Liberibacter africanus ซึ่งมี subspicies คือ *Candidatus* L. africanus subsp. capensis พบในพืชพื้นเมือง (Cape chestnut; *Calodendrum capense*) ของแอฟริกาใต้ และสามารถก่อโรคกับส้มได้ (Garnier *et al*., 2000) และสายพันธุ์ล่าสุด *Candidatus* Liberibacter americanus ค้นพบครั้งแรกในปี 2004 (Teixeira. *et al*., 2005)

ทั้งนี้แบคทีเรียสายพันธุ์แอฟริกันจะก่อโรคได้ในสภาพที่อากาศเย็นหรืออุณหภูมิต่ำกว่า 25°C และพืชจะไม่แสดงอาการถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 27°C ในสภาพที่เป็นโรงเรือน ขณะที่สายพันธุ์เอเซียนสามารถก่อโรคได้ดีเมื่ออากาศร้อน (Garnier and Bové, 1993) นอกจากนี้ยังพบว่าส้มในแอฟริกาใต้จะแสดงอาการของโรคในฤดูหนาวมากกว่าฤดูร้อน พื้นที่ปลูกส้มที่อยู่สูงกว่า 700 เมตรจะแสดงอาการของโรคอย่างรุนแรง ในทางกลับกันโรคจะหายไปหากปลูกในพื้นที่ที่อยู่ต่ำลงมาและมีอากาศร้อน ส่วนโรคกรีนนิ่งในแถบเอเซียจะพบโรคน้อยหรือไม่พบเลยในพื้นที่ปลูกที่อยู่สูงกว่า 1,500 เมตร เนื่องจากสภาพดังกล่าวจะไม่พบพาหะนำโรค (Aubert, 1987)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.2 ลักษณะอาการ (symptoms)

เชื้อสาเหตุโรคกรีนนิ่งสามารถก่อโรคกับส้มทุกพันธุ์ ทุกชนิด ตลอดจนส้มพันธุ์ลูกผสม (hybrids) และพืชที่อยู่ในตระกูลเดียวกับส้ม (ไมตรี, 2542) โดยส้มที่อ่อนแอต่อการเกิดโรคได้แก่ sweet orange, mandarin และลูกผสมของส้มแมนดาริน ขณะที่ grapefruit, rangpur lime lemons, calomandarin และส้มโอบางชนิด แสดงอาการของโรคเพียงเล็กน้อย ส่วนส้มที่ทนทานต่อกรีนนิ่ง ได้แก่ เม็กซิกันไลม์ (Mexican lime) ส้มสามใบ (trifoliate orange) และลูกผสมของ

ส้มสามใบ (trifoliate orange hybrids) ซึ่งอาจจะพบอาการด่างบางใบเท่านั้น ต้นที่เริ่มเป็นโรคจะแสดงอาการเหลืองบางกิ่งหรือบางส่วนของทรงพุ่ม โดยเชื้อจะเคลื่อนตัวอย่างช้า ๆ ภายในต้น หากได้รับเชื้อเป็นเวลานานจะมีใบน้อยและกิ่งแห้งตาย (dieback) ส้มที่ได้รับเชื้อครั้งแรกเส้นใบจะเหลือง บางส่วนของใบหรือทั้งใบจะแสดงอาการด่างเหลือง (chlorotic mottling) เมื่อได้รับเชื้อเป็นเวลานานใบจะมีขนาดเล็กและเหลืองระหว่างเส้นใบที่ยังมีสีเขียวอยู่ คล้ายกับอาการของการขาดธาตุสังกะสี ในสภาพโรงเรือนส้มที่เป็นโรคจะแคระแกร็น ยอดเหลือง ใบใหม่มีขนาดเล็กหยาบและชี้ตั้ง ส่วนใบแก่จะมีอาการด่าง ซึ่งโรคจะใช้เวลาประมาณ 4 – 6 เดือนจึงจะปรากฏอาการ (Timmer *et al*., 2000) ทั้งนี้อาการด่างที่มีสาเหตุจากโรคกรีนนิ่งจะเกิดตามขวางของเส้นใบ ขณะที่อาการด่างเนื่องจากการขาดธาตุอาหารจะปรากฏตามยาวหรือระหว่างเส้นใบนอกจากนี้ยังพบว่าส้มจะออกดอกนอกฤดู ยิ่งไปกว่านั้นโรคกรีนนิ่งยังส่งผลกระทบถึงผล ทำให้มีขนาดเล็ก บิดเบี้ยว เปลือกแข็ง รสชาติขม คุณภาพต่ำ ผลร่วงและเมล็ดไม่สมบูรณ์ (Capoor *et al*., 1974) ผิวเปลือกส้มจะไม่มีการพัฒนาของสีทำให้มีสีเขียวเช่นเดิม จึงเป็นที่มาของชื่อโรค กรีนนิ่ง (greening)

2.1.3 พาหะและการถ่ายทอดโรค (vectors and disease transmission)

เพลี้ยไก่แจ้ส้ม (psyllid) เป็นแมลงพาหะสำคัญในการถ่ายทอดโรคกรีนนิ่ง พบ 2 ชนิด คือ Asian psyllids (*Diaphorina citri* Kuwayama) พบในแถบเอเชียและเป็นพาหะถ่ายทอดโรคกรีนนิ่งสายพันธุ์เอเชียน และ African psyllid (*Trioza erytreae* (del Guercio)) เพลี้ยไก่แจ้ส้มที่ถ่ายทอดโรคกรีนนิ่งสายพันธุ์แอฟริกัน โดยเพลี้ยไก่แจ้ส้มชนิดแรกใช้เวลา 30 นาที สำหรับถ่ายทอดโรค (Roistacher, 1991) ส่วนเพลี้ยไก่แจ้ส้มแอฟริกันใช้เวลา 24 ชั่วโมง ในการถ่ายทอดโรค (Buitendag and von Broembsen, 1993) ทั้งนี้บางงานทดลองพบว่า แมลงสามารถถ่ายทอดโรคได้ ในระยะเวลา 5 – 7 ชั่วโมง แต่จะไม่ถ่ายทอดโรคในช่วง 1 – 3 ชั่วโมง (Xu *et al*., 1988) ทั้งนี้เชื้อสาเหตุโรคกรีนนิ่งสามารถเพิ่มปริมาณในตัวแมลงพาหะได้ ซึ่งสามารถตรวจสอบโดยใช้เทคนิคทางชีวโมเลกุล (Aubert, 1987; Moll and Martin, 1973; Xu *et al*., 1988)

ปี ค.ศ. 1993 Bové และคณะตรวจพบเชื้อสาเหตุโรคกรีนนิ่งได้จากเพลี้ยไก่แจ้ส้มเพียง 1 ตัว และพบความแปรปรวนของการถ่ายทอดโรคด้วยแมลง กล่าวคือ เพลี้ยไก่แจ้ส้มที่เก็บจากประเทศมาเลเซียในเดือนกันยายน ปี 1991 ตรวจพบเชื้อสาเหตุโรคกรีนนิ่งถึง 39% ขณะที่แมลงที่เก็บจากอินเดียในเดือนกุมภาพันธ์ ปี 1992 มีเชื้อสาเหตุโรคกรีนนิ่งไม่ถึง 1%

นอกจากเพลี้ยไก่แจ้ส้มจะเป็นพาหะในการถ่ายทอดโรคกรีนนิ่งแล้ว เชื้อโรคยังสามารถถ่ายทอดผ่านการติดตา (Bové *et al*., 1996; van Vuuren, 1993) โดยจะมีความผันแปรขึ้นอยู่กับส่วนของพืชที่ใช้สำหรับติดตา ปริมาณของเนื้อเยื่อ ตลอดจนสายพันธุ์ของเชื้อสาเหตุโรค ส้มที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ติดตาด้วยตาส้มที่เป็นโรคกรีนนิ่งสายพันธุ์แอฟริกันจำนวนหนึ่งตา จะมีความผันแปรในการเกิดโรคตั้งแต่ 0 – 50% กรณีการใช้กิ่งมาติด (graft) ที่ด้านข้างลำต้นจะมีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดโรคได้ดี ขณะที่ fruit stem และ bark strip ไม่สามารถถ่ายทอดโรคได้ (van Vuuren, 1993)

Lin and Lin (1990) ทดลองติดตาที่เป็นโรคกรีนนิ่งบนต้นตอปลอดโรคพบว่า หลังการติดตา 7 เดือน มีต้นที่แสดงอาการปรกติ 58% และแสดงอาการของโรคกรีนนิ่ง 20% อีกงานทดลองทดสอบกับต้นตอที่เป็นโรค โดยติดตาด้วยตาที่นำมาจากกิ่งปรกติ พบว่าต้นส้มแสดงอาการ 10 – 16% ขณะที่ต้นที่ติดตาด้วยตาส้มที่เป็นโรคแสดงอาการของกรีนนิ่ง 40% ภายในระยะเวลา 3 – 9 เดือน

ยิ่งไปกว่านั้นในสภาพห้องทดลองยังพบว่าสามารถใช้ต้นฝอยทอง (Dodder; *Cuscuta campestris*) ในการถ่ายทอดเชื้อแบคทีเรีย Liberibacters ไปยังต้น periwinkle (*Catharanthus roseus*) และยาสูบได้ (Timmer *et al*., 2003)

2.1.4 การตรวจหาเชื้อโรคกรีนนิ่ง (detection of citrus greening disease)

ปัจจุบันการใช้ DNA probes นับว่าประสบความสำเร็จในการตรวจหาเชื้อแบคทีเรีย *Candidatus* Liberibacter spp.ทั้งจากพืชที่เป็นโรคและเพลี้ยไก่แจ้ส้ม (Bové et al., 1993 และ Tian *et al*., 1996) เช่นเดียวกับเทคนิค ELISA และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสามารถใช้ตรวจหาแบคทีเรียสาเหตุโรคได้ (Garnier and Bové, 1993) ในปี 1970 Lafleche และ Bové ใช้กล้องจุลทรรศ์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscope) ตรวจดูท่อลำเลียงอาหารของส้มที่เป็นโรคกรีนนิ่งพบเชื้อสาเหตุ ความยาว 200 นาโนเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 – 200 นาโนเมตร โดยพบเชื้อที่มีลักษณะเดียวกันนี้ในเพลี้ยไก่แจ้ส้มทั้ง 2 ชนิด

Jagoueix และคณะ (1996) ใช้ universal primers เพิ่มปริมาณ prokaryotic 16S rDNA และอาศัยข้อมูลจากลำดับ (sequence) ของ DNA พัฒนา primers เพื่อใช้เพิ่มปริมาณ DNA ขนาด 1,160 bp ซึ่งเป็นดีเอ็นเอบริเวณตำแหน่งอนุรักษ์ของ rDNA (region of ribosomal DNA) ด้วยเทคนิค Polymerase Chain Reaction หรือ PCR

ทั้งนี้ PCR เป็นเทคนิคการเพิ่มปริมาณยีนหรือชิ้นส่วนของ DNA ในบริเวณที่ต้องการให้มีจำนวนมากขึ้นหลายล้านเท่าในหลอดทดลองภายในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งเทคนิคนี้ค้นพบโดย Mullis และคณะ ในปี ค.ศ. 1985 ซึ่งอาศัยการเลียนแบบธรรมชาติของ DNA ที่สามารถจับคู่กับเบสคู่สม (complementary) กันได้ จึงใช้หลักการนี้นำ DNA ต้นแบบ (DNA template) และ DNA สายสั้น ๆ ที่สามารถจับกันได้โดยอาศัยการทำงานของเอนไซม์ DNA polymerase ช่วยนำนิวคลีโอไทด์ทั้ง 4 ชนิด (dNTPs) ได้แก่ dATP dTTP dGTP dCTP มาต่อให้เข้าคู่กับ DNA

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

template ซึ่งจะต้องอาศัยอุณหภูมิเหมาะสมที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาหลาย ๆ รอบ จนได้ DNA ที่ต้องการจำนวนมาก โดยแต่ละรอบของปฏิกิริยาประกอบไปด้วยขั้นตอนดังนี้

1. Denaturation การแยก double strand DNA ของ DNA template ให้เป็นเส้นเดี่ยว ขั้นตอนนี้ใช้อุณหภูมิประมาณ 92 – 96°C

2. Primer annealing การลดอุณหภูมิลงเหลือประมาณ 45 – 70°C เพื่อให้ primer เข้าไปจับกับ DNA template โดยอุณหภูมิที่ใช้จะขึ้นอยู่กับ DNA template และชนิดของ primer

3. Primer extension ขั้นตอนที่ DNA polymerase จะนำ dNTPs ชนิดต่าง ๆ ที่เข้าคู่กับ DNA template มาต่อสายให้ยาวออกไปจาก primer โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมกับขั้นตอนนี้อยู่ที่ประมาณ 70 – 75°C

หลังจากได้ PCR product มาแล้ว จึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค gel electrophoresis ซึ่งจะใช้กระแสไฟฟ้าในการแยกขนาดของ DNA บน agarose gel เทียบกับ DNA มาตรฐานที่ทราบขนาดความยาวแน่นอน จากนั้นนำ agarose gel ที่ได้ไปย้อมด้วย ethidiumbromide แล้วเข้าเครื่อง gel document จะปรากฏแถบของ DNA ที่ชัดเจนและตรงตามตำแหน่งที่ต้องการภายใต้แสงอุลตร้า ไวโอเล็ต (อังสนา, 2546)

2.2 การขาดธาตุสังกะสีของส้ม (zinc deficiency in citrus)

นอกจากคาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) และไฮโดรเจน (H) ที่มีอยู่อย่างมากมายแล้ว ต้นส้มยังต้องการธาตุอาหารในการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตอีก 12 ชนิด (Smith, 1966) แบ่งเป็นธาตุอาหารหลัก คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก (macronutrient) ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) และ ซัลเฟอร์ (S) และธาตุอาหารรอง (micronutrient) ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่จำเป็นต่อการเจริญของพืชอย่างมาก ประกอบด้วย ธาตุเหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) โบรอน (B) คอปเปอร์ (Cu) โมลิบดีนัม (Mo) คลอรีน (Cl) และ นิเกิล (Ni) แม้ธาตุอาหารหลักจะเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณมากเมื่อเทียบกับธาตุอาหารรอง แต่การได้รับธาตุอาหารรองปริมาณต่ำกว่าความต้องการ สามารถทำให้พืชแสดงอาการขาดธาตุอาหารและส่งผลต่อการเจริญเติบโตได้ ดังนั้นการรักษาความสมดุลระหว่างธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งนี้การขาดธาตุอาหารรองของส้มมักจะพบในดินที่ไม่ผ่านการเพาะปลูกมาก่อน บริเวณผิวดินที่มีระดับน้ำสูง พื้นที่ที่เป็นดินทราย และดินด่าง (Zekri and Obreza, 2003b)

อย่างไรก็ตามสวนส้มจำนวนมากในแถบเอเชียมักตั้งอยู่บนพื้นที่ที่มีความลาดชัน ซึ่งสภาพดินขาดความอุดมสมบูรณ์ มีความเป็นกรดสูง และปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ ตลอดจนมีระดับของแคลเซียมและแมกนีเซียมต่ำ ทั้งนี้ที่ผ่านมาเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยมองข้ามความสำคัญของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และการเติมปูนขาว ทำให้เกิดความไม่สมดุลย์ของธาตุอาหารในดิน รวมถึงมีการสะสมของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเป็นจำนวนมาก ส่งผลกระทบต่อผลผลิตส้มทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ อีกทั้งต้นส้มจะแสดงอาการผิดปรกติอันเนื่องมาจากธาตุอาหารไม่สมดุลย์ (Chang and Peterson, 2003)

สังกะสีจัดเป็นจุลธาตุที่ไม้ผลส่วนใหญ่มักจะขาดเสมอ โดยพืชตระกูลส้มเป็นอีกพืชหนึ่งที่พบว่ามีอาการขาดธาตุสังกะสีมาก ส่วนใหญ่พบในดินด่างเพราะสังกะสีจะละลายออกมาได้น้อย ส่วนดินกรดที่มีเนื้อดินหยาบและอินทรียวัตถุต่ำสามารถขาดธาตุสังกะสีได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังพบได้ในดินที่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสสูง เนื่องจากฟอสฟอรัสจะทำปฏิกิริยากับสังกะสีทำให้พืชไม่สามารถดูดสังกะสีที่อยู่ในดินไปใช้ได้ ซึ่งในอดีตเชื่อว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทำให้พืชออกดอกและติดผลเร็ว จึงมีการใช้ปุ๋ยดังกล่าวในปริมาณสูงติดต่อกันเป็นเวลานาน เมื่อนำตัวอย่างดินจากสวนไม้ผลหลายชนิดมาวิเคราะห์ธาตุอาหารในช่วงเวลา 3 – 4 ปี ที่ผ่านมาพบว่าหลายสวนมีฟอสฟอรัสสะสมในดินสูง บางสวนมีมากถึง 1,000 ส่วนในล้านส่วน (part per million; ppm) โดยพบร่วมกับการขาดธาตุสังกะสีและบ่อยครั้งที่ขาดอย่างรุนแรง (สุมิตรา, 2545) ทั้งนี้พื้นที่ปลูกส้มในประเทศไทยที่มักพบว่าขาดธาตุสังกะสี ส่วนใหญ่จะอยู่ในเขตภาคเหนือและภาคตะวันออกของประเทศ อีกทั้งยังพบในมะนาว ส้มตรา ส้มเกลี้ยง และส้มโอ (อำไพวรรณและนิพนธ์, 2545)

2.2.1 หน้าที่ของสังกะสี (functions of zinc)

ธาตุสังกะสี (zinc) มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการเผาผลาญคาร์บอนของพืช (plant carbon metabolism) และเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบเอนไซม์หลายชนิดที่มีหน้าที่ควบคุมกระบวนการเมตาบอลิซึมในพืช นอกจากนี้สังกะสียังเป็นส่วนหนึ่งของเอนไซม์ที่ควบคุมสมดุลย์ระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และกรดคาร์บอนิก ตลอดจนเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ 2 ชนิดที่มีบทบาทในกระบวนการเผาผลาญโปรตีน ธาตุสังกะสียังเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการสร้างคลอโรฟิลล์และทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชดำเนินไปอย่างปรกติ การสร้างออกซิน ซึ่งเป็นฮอร์โมนเร่งการเจริญเติบโตในพืชก็ต้องอาศัยสังกะสีเป็นตัวช่วย และยังเกี่ยวข้องกับ water relation และ water uptake ในพืชอีกด้วย (Zekri and Obreza, 2003a)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2 ลักษณะอาการของการขาดธาตุสังกะสี (zinc deficiency symptoms)

ส้มที่ขาดธาตุสังกะสีโดยทั่วไปจะมีเส้นกลางใบและเส้นใบเป็นสีเขียว ขณะที่พื้นใบมีสีเหลืองจนถึงใกล้เคียงกับสีขาว ทั้งนี้ปริมาณการเกิดสีเขียวและเหลืองบนใบจะแปรผันตามความรุนแรงของการขาดสังกะสี กรณีที่ขาดธาตุไม่รุนแรงจะพบว่าใบอ่อนแสดงอาการเหลืองระหว่างเส้นใบจนถึงอาการที่ส่วนฐานของเส้นกลางใบมีสีเขียวและใบส่วนที่เหลือมีสีเหลืองอ่อน

หรือสีขาวขณะที่ใบแก่ปรกติ ผลส้มที่สร้างจากกิ่งที่แสดงอาการดังกล่าวจะขนาดเล็ก บางครั้งพบว่าสีผิวอ่อนและมีน้ำน้อย (Zekri and Obreza, 2003b; Anonymous, 2003) ขณะที่การขาดธาตุสังกะสีอย่างรุนแรงใบที่แตกใหม่มีขนาดเล็ก แคบ ชี้ตั้งขึ้น ข้อสั้น และมีสีเหลืองระหว่างเส้นใบ ส่วนกิ่งจะแห้งตายจากยอด (dieback) บริเวณกิ่งหลักและลำต้นจะมีการสร้าง water sprout จำนวนมาก ผลจากต้นที่มีลักษณะดังกล่าวมีขนาดใหญ่ ผิวหยาบ แข็ง ผลผลิตลดลงและมีคุณภาพต่ำ อย่างไรก็ตามอาการขาดธาตุสังกะสีอาจจะรุนแรงขึ้นเนื่องจากมีการขาดธาตุชนิดอื่นร่วมด้วย ยกตัวอย่างเช่น สภาพที่ขาดแมกนีเซียมและคอปเปอร์ทำให้รากดูดใช้ธาตุสังกะสีได้น้อยลง ทั้งที่ในดินมีปริมาณสังกะสีอย่างเพียงพอก็ตาม นอกจากนี้สามารถพบการขาดสังกะสีในดินที่ถูกทำลายหรือมีการสร้างสารประกอบสังกะสีในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble zinc compound) การเติมฟอสฟอรัสและไนโตรเจนมากเกินไปสามารถทำให้สังกะสีตกตะกอนได้เช่นกัน ตลอดจนการเติมปุ๋ยที่ได้จากมูลสัตว์ปีกปริมาณมากและบ่อยครั้งส่งผลให้ส้มแสดงอาการขาดสังกะสีได้ ยิ่งไปกว่านั้นสวนส้มที่มีสภาพดินเป็นด่างอาจพบอาการขาดธาตุเหล็ก แมงกานีส และสังกะสี เกิดขึ้นพร้อมกันในต้นเดียวได้ (Food & Fertilizer Technology Center, 2003)

อย่างไรก็ตามเป็นการยากที่จะบอกได้ว่าพืชขาดธาตุอาหารรองชนิดใด จากการสังเกตลักษณะผิดปรกติภายนอกเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการขาดธาตุต่างกันพืชอาจแสดงอาการคล้ายกันหรือมีสาเหตุจากโรค ซึ่งบางครั้งพบว่าอาการจะแสดงที่ปริมาณผลผลิตลดลงเท่านั้น ดังนั้นการตัดสินว่าต้นส้มขาดธาตุอาหาร จึงต้องนำดินไปวิเคราะห์ร่วมกับการวิเคราะห์ใบส้ม ซึ่งจะทำให้เกิดความแม่นยำยิ่งขึ้น (Chang and Peterson, 2003) เนื่องจากความสามารถของส้มในการดูดธาตุอาหารขึ้นอยู่กับ pH ของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุและธาตุอาหารในดินมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นตลอดจนผลผลิตของส้ม อีกทั้งใบยังเป็นส่วนที่มีการสังเคราะห์แสงและมีการย่อยธาตุอาหารที่พืชดูดซึมได้จากราก ผลการวิเคราะห์ใบจึงสัมพันธ์กับปริมาณผลผลิตส้มและปริมาณธาตุอาหารในผล ฉะนั้นการวิเคราะห์ดินและใบส้มจึงเป็นประโยชน์ในการประเมินธาตุอาหารในต้นส้มและระดับธาตุอาหารในดินไปพร้อม ๆ กัน ซึ่งแนวทางการวิเคราะห์ธาตุอาหารจากใบส้มแสดงในตารางที่ 1 (Tucker *et al*., 1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 1 มาตรฐานค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารของใบส้มอายุ 4 ─ 6 เดือน จากต้นที่ยังไม่ให้ผลผลิต

Element	Deficient	Low	Optimum	High	Excessive
Nitrogen (%)	< 2.2	2.2 – 2.4	2.5 – 2.7	2.8 – 3.0	> 3.0
Phosphorus (%)	< 0.09	0.09 – 0.11	0.12 – 0.16	0.17 – 0.30	> 0.30
Potassium (%)	< 0.7	0.7 – 1.1	1.2 – 1.7	1.8 – 2.4	> 2.4
Calcium (%)	< 1.5	1.5 – 2.9	3.0 – 4.9	5.0 – 7.0	> 7.0
Magnesium (%)	< 0.20	0.20 – 0.29	0.30 – 0.49	0.50 – 0.70	> 0.70
Chlorine (%)	…	…	< 0.20	0.20 – 0.70	> 0.70
Sodium (%)	…	…	…	0.15 – 0.25	> 0.25
Manganese (ppm)	< 17	18 – 24	25 – 100	101 – 300	> 300
Zinc (ppm)	< 17	18 – 24	25 – 100	101 – 300	> 300
Copper (ppm)	< 3	3 – 4	5 – 16	17 – 20	> 20
Iron (ppm)	< 35	35 – 59	60 – 120	121 – 200	> 200
Boron (ppm)	< 20	20 – 35	36 – 100	101 – 200	> 200
Molypdenum (ppm)	< 0.05	0.06 – 0.09	0.10 – 1.0	2.0 – 5.0	> 0.5

ที่มา : Tucker *et al*., 1995. Nutrition of Florida Citrus Trees. U. Fla. Coop.Ext. Serv. Publ.

สำหรับประเทศไทยแนะนำให้เก็บตัวอย่างใบตำแหน่งที่ 3 – 4 จากกิ่งที่ไม่มีผล ทั้งหมด 4 ทิศ จำนวน 100 ใบ ซึ่งส้มโชกุนจะมีการแตกใบใหม่ทุก 3 – 4 เดือน การเก็บใบเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารจึงเก็บก่อนที่จะมีการแตกใบใหม่ และเป็นใบที่มีการขยายขนาดเต็มที่ โดยค่าวิเคราะห์มาตรฐานของธาตุอาหารในใบส้มของประเทศไทย แสดงในตารางที่ 2 (นันทรัตน์, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2 ค่าวิเคราะห์ความเข้มข้นมาตรฐานของธาตุอาหารในใบส้ม

ธาตุอาหาร	ความเข้มข้นมาตรฐานของธาตุอาหารในใบส้ม		
	ไต้หวัน	นิวซีแลนด์	ไทย
N (%)	2.9 – 3.1	2.4 – 2.6	2.4 – 2.6
P (%)	0.12 – 0.18	0.14 – 0.16	0.12 – 0.16
K (%)	1.4 – 1.7	0.9 – 1.2	0.80 – 1.10
Ca (%)	2.5 – 4.5	3.0 – 6.0	3.05 – 5.00
Mg (%)	0.26 – 0.50	0.25 – 0.60	0.26 – 0.60
Fe (ppm)	60 – 120	60 – 120	–
Mn (ppm)	25 – 200	25 – 200	25 – 100
Cu (ppm)	5 – 16	5 – 10	5 – 16
B (ppm)	25 – 150	30 – 150	31 – 100
Zn (ppm)	25 – 100	25 – 100	25 – 100

ที่มา : นันทรัตน์, 2545. การวิจัยธาตุอาหารส้ม วารสารเคหการเกษตรฉบับพิเศษ

วีระ (2543) ศึกษาผลของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมและจุลธาตุ ต่อคุณภาพและผลผลิตของส้มเขียวหวานในดินบ้านจ้อง พบว่าจากการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในตัวอย่างใบแสดงให้เห็นว่าปริมาณสังกะสีที่วัดได้ในใบของส้มเขียวหวานไม่สามารถใช้เป็นเกณฑ์สำหรับกำหนดอาการขาดธาตุสังกะสีได้

Weire and Sarooshi (2002) รายงานว่าจากการวิเคราะห์ใบส้มโดย NSW Agriculture พบว่าร้อยละ 60 ของสวนส้มขาดธาตุสังกะสี โดยระยะเริ่มแรกจะทำให้ผลผลิตและความแข็งแรงของต้นส้มลดลง ผลมีขนาดเล็กและมีคุณภาพต่ำ ใบมีขนาดเล็ก แคบ และมีสีเหลืองระหว่างเส้นใบหรือใบด่าง นอกจากนี้ใบจะแตกยอดมากและข้อปล้องสั้น กิ่งแห้งตายจากยอด (dieback) ซึ่งอาการจะปรากฏที่ยอดก่อน

Kaya and Higgs (2002) ศึกษาผลของพันธุ์มะเขือเทศ (*Lycopersicon esculenta* L.) ต่อการให้สังกะสีทางใบ เมื่อปลูกในทรายที่มีปริมาณสังกะสีต่ำ พบว่า หลังจาก 1 เดือน มะเขือเทศที่ปลูกในทรายที่มีสังกะสีต่ำ (0.15 µmol/l) มะเขือเทศจะแสดงอาการต้นเตี้ยแคระ ใบมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่มีสังกะสี 7.70 µmol/l ทั้งนี้การให้สังกะสีทางใบความเข้มข้น 0.35 mmol/l สามารถลดการขาดธาตุสังกะสีและทำให้พืชเจริญเติบโตดีขึ้น ในทางกลับกันถ้าให้สังกะสี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเข้มข้น 3.5 mmol/l ทางใบ ต้นจะแสดงอาการใบเหลืองและชะงักการเจริญเติบโต ดังนั้นการให้สังกะสีทางใบในปริมาณที่เหมาะสมสามารถช่วยลดอาการขาดธาตุสังกะสีได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved