

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของพืชตระกูลส้ม

ส้ม (citrus) หมายถึงกลุ่มพืชเกือบทั้งหมดที่จัดอยู่ในวงศ์ Rutaceae และจากการจัดแบ่งกลุ่มทั่ว ๆ ไปของส้มที่ปลูกเป็นการค้าเพื่อบริโภคนั้นมี 3 genera คือ Citrus, Fortunella และ Poncirus ส้มเป็นพืชที่มีความหลากหลายทางพันธุกรรมที่กว้างขวางมาก นอกจากนี้ แต่ละพันธุ์ต่างก็มีลักษณะพิเศษเฉพาะตัว คือ กลิ่น ปริมาณกรด ความหวาน สี และขนาดแตกต่างกัน เช่น ส้มเขียวหวาน (Mandarin หรือ tangerine) ส้มโอ (pumelo) มะนาว (lime) มะนาวฝรั่ง (lemon) มะกรูด (leech lime) ส้มเกลี้ยงและ ส้มตรา (sweet orange) ส้มกินเปลือก (kumquat) เป็นต้น (รวี, 2541 ; Davenport, 1990; Krajewski and Rabe, 1995; Spiegel Roy and Goldschmidt, 1996)

ส้มเขียวหวานพันธุ์โชกุน (*Citrus reticulata* Blanco cv. Shogun) หรือส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งจัดอยู่ในกลุ่มส้มเปลือกกล่อน (mandarin หรือ tangerine) มีลักษณะคล้ายส้มเขียวหวานมาก เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางสูงประมาณ 15-25 ฟุต การเจริญเติบโตมีทั้งแบบ primary growth และ secondary growth เปลือกไม้ที่มีอายุมากขึ้นเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อนในปีที่ 2 และมีการพัฒนาเป็นชั้น periderm ขึ้นมาแทนที่เซลล์ชั้นผิวนอก เนื้อไม้ค่อนข้างอ่อน นิ่มง่าย ใบเป็นใบเดี่ยว (unifoliate) รูปหอก (lanceolate) มีก้านใบ (petiole) และ wing ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวกำหนดในการจำแนกพันธุ์และชนิดของส้มได้ บนแผ่นใบมีต่อมน้ำมันขนาดเล็กและใหญ่กระจายอยู่ทั่วไป ดอกเกิดจากยอดอ่อนเป็นดอกเดี่ยว กลีบเลี้ยง (sepal) สีเขียวมี 5 กลีบ กลีบดอก (petal) สีขาวมี 4-5 กลีบ เป็นดอกสมบูรณ์เพศ (complete flower) ผลเป็นแบบ ผลทรงกลมแป้นเล็กน้อย (hesperidium) เจริญมาจากรังไข่โดยตรงมีประมาณ 10 carpel เชื่อมติดกันเป็นวงกลมอยู่รอบแกนกลาง (central axis) ด้านปลายผลราบเป็นแอ่งตื้น ๆ ฐานผลมีจุดขนาดเล็ก ผิวเรียบมีต่อมน้ำมันเกิดถี่เต็มผิวผล ผนังกลีบบาง มีรกล้อย ชานน่ม เมล็ดขนาดเล็กยาวประมาณ 9 มิลลิเมตร กว้าง 6 มิลลิเมตร จัดเป็น polyembryonic คือ มีจำนวนเมล็ดน้อยจนถึง 12 เมล็ดต่อผล (เปรมปรี, 2537)

ส้มโชกุนมีลักษณะทรงต้นและขนาดต้นใกล้เคียงส้มเขียวหวาน แต่ที่ต่างจากส้มเขียวหวานคือ ทรงพุ่มของต้นส้มโชกุนค่อนข้างแน่นกว่า ลักษณะของกิ่งและใบตั้งขึ้น (erect form) ส่วนส้มเขียวหวานกิ่งและใบห้อยลง (weeping form) นอกจากนี้ ใบของส้มโชกุนมีขนาดเล็กและสีเขียวเข้มกว่า ผลมีลักษณะและสีผิวใกล้เคียงกับส้มเขียวหวาน แต่ทั้งนี้ผลมีสะดือซึ่งเป็นเอกลักษณ์พิเศษของส้มโชกุน เปลือกผลล่อนมีกลิ่นหอมคล้ายส้มจิน เนื้อแน่น ชานน่มมากน้ำคั้นมีปริมาณมาก รสชาติ

หวานแหลม อมเปรี้ยวเล็กน้อย จุดเด่นเหล่านี้จึงทำให้ส้มโชกุนได้รับความนิยมในการบริโภค เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (เปรมปรี, 2544)

2.2 การให้ปุ๋ยทางระบบน้ำ (Fertigation)

การให้ปุ๋ยทางระบบน้ำ (Fertigation) หมายถึงการให้ปุ๋ยระบบหนึ่งโดยผสมปุ๋ยที่สามารถน้ำได้ผสมลงไปในระบบให้น้ำ ดังนั้น เมื่อพืชดูดใช้น้ำก็จะมีการดูดธาตุอาหารพืชไปพร้อมกับน้ำ เนื่องจากพืชไม่สามารถดูดปุ๋ยในรูปของแข็งได้ ปุ๋ยจะต้องละลายในน้ำก่อนพืชจึงจะดูดขึ้นไปใช้ได้ เนื่องจากระบบนี้เป็นการให้ปุ๋ยไปพร้อมกับน้ำ ดังนั้น ระบบการให้น้ำที่ดีจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ที่ทำให้การให้น้ำและปุ๋ยไปสู่ต้นพืชได้อย่างสม่ำเสมอที่สุด ซึ่งระบบการให้ปุ๋ยพร้อมกับการให้น้ำมีหลายแบบ เช่น ระบบการให้น้ำแบบหยด (Trickle or drip irrigation) สปริงเกอร์ (Sprinkler irrigation) และมีมินิสปริงเกอร์ (Minisprinkler irrigation) การให้ปุ๋ยทางระบบน้ำเป็นวิธีการให้ปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพสูง (Papadopoulos and Eliades, 1987) และ (Hanson, 1996) 1. ประหยัดแรงงานในการขนปุ๋ยและหว่านปุ๋ย เนื่องจากปุ๋ยไปพร้อมกับน้ำ ดังนั้น ไม่ต้องเสียแรงงานคนหว่านปุ๋ยและสามารถให้ปุ๋ยได้ถี่ตามความต้องการ 2. กำหนดการให้ปุ๋ยได้สะดวกและสอดคล้องกับความต้องการของพืชและสภาพแวดล้อมในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากการให้ปุ๋ยอัตราน้อยและมีความถี่ในการให้ ธาตุอาหารจึงไม่สะสมในดิน ดังนั้น ถ้ามีการเปลี่ยนสูตรปุ๋ยหรือสัดส่วนของปุ๋ยพืชก็ตอบสนองได้รวดเร็วกว่าระบบการให้ปุ๋ยที่ให้ครั้งละมาก ๆ ลงในดิน และมีประสิทธิภาพในการให้ปุ๋ยสูงกว่า 10-50 % ของการให้ปุ๋ยทางดิน 3. การกระจายของปุ๋ยสม่ำเสมอ เนื่องมาจากอยู่ในรูปของสารละลายที่เคลื่อนย้ายไปพร้อมกับน้ำ สามารถควบคุมการกระจายของปุ๋ยให้ปุ๋ยอยู่เฉพาะในเขตรากพืช 4. ประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยสูง เพราะพืชดูดไปใช้ได้มากแต่สูญเสียน้อย 5. เพิ่มผลผลิตทั้งคุณภาพและปริมาณ เนื่องจากพืชได้น้ำ และปุ๋ยสม่ำเสมอ และสามารถเปลี่ยนชนิด และสัดส่วนของปุ๋ยตามความต้องการได้อย่างรวดเร็วตามความต้องการของพืช นอกจากนี้ยังสามารถผสมธาตุอาหารและจุลินทรีย์ลงในระบบน้ำได้เลย

นอกจากนี้แล้ว การให้ปุ๋ยในโตรเจนทางระบบน้ำในอัตราต่ำและให้ทุกวันจะมีผลทำให้ผลผลิตของ Yellow Squash สูงกว่าการให้ทุกสัปดาห์และส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดใช้ในโตรเจนได้มาก (Couto et al., 1999) และให้ผลในทำนองเดียวกันกับการทดลองของ Bussi et al., 1994 โดยพบว่าการให้ปุ๋ยทางระบบน้ำกับ Peach จะมีผลทำให้ผลผลิต เส้นรอบวงของต้นและน้ำหนักเฉลี่ยผลสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากเวลาในการให้ปุ๋ยและการสูญเสียในตรทอดลง ส่งผลให้การให้ปุ๋ยทางระบบน้ำมีประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยเพิ่มมากขึ้น ส่วนการให้ปุ๋ยในอัตราที่สูงเกินไปทำให้เกิดการ

สูญเสียปุ๋ยไนโตรเจนในรูปไนเตรทไปได้มาก (Syvertsen and Smith, 1996) และยังทำให้มีการสะสมไนโตรเจน

ในใบมากขึ้น ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและไม่ทำให้ผลผลิตสูงขึ้น (Spiers, 1996)

อิทธิสุนทร นันทกิจ และคณะ (2542) รายงานว่า การให้ปุ๋ยแบบ Fertigation ร้อยละ 30, 50 และ 70 เปรียบเทียบกับการให้ปุ๋ยทางดินกับทุเรียน ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของทุเรียน แต่การให้ปุ๋ยแบบ Fertigation ที่ร้อยละ 30 มีผลทำให้ค่าวิเคราะห์ใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับการให้ปุ๋ยทางดิน ส่วนการให้ปุ๋ยแบบ Fertigation ที่ร้อยละ 50 และ 70 จะให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้นการให้ปุ๋ยแบบ fertigation ที่ร้อยละ 50 และ 70 แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มดีกว่าการให้ปุ๋ยทางดินประมาณร้อยละ 30-50 นอกจากนี้แล้วการให้ปุ๋ยทางระบบน้ำ 50 % ของการให้ปุ๋ยทางดินจะมีผลทำให้พืชตอบสนองได้ดีกว่า โดยจะส่งผลทำให้ผลผลิตสูงกว่าการให้ปุ๋ยทางดิน

Alva and Paramasivam (1998) รายงานว่า การให้ปุ๋ยไนโตรเจน อัตราที่ให้เท่ากับ 56-280 กก. N/เฮกตาร์/ปี การให้ปุ๋ย Dry granular (DGF) และ Fertigation (FRT) อัตรา 112-224 กก. N/เฮกตาร์/ปี กับส้ม Hamlin ที่ให้ในระยะเวลา 3 ปี เมื่ออัตราการให้ไนโตรเจนสูงขึ้น ผลผลิตเฉลี่ยจะเพิ่มมากขึ้น แต่เพิ่มในอัตราที่ลดลงในการให้ปุ๋ย DGF ส่วนการเปรียบเทียบอัตราของไนโตรเจนและชนิดของปุ๋ยของ DGF และ FRT จะมีผลต่อปริมาณไนโตรเจนในใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 3 ปี ในการทดลองให้ปุ๋ยแบบ Fertigation อัตรา 170 กก. N/เฮกตาร์/ปี กับส้มจะมีผลผลิตสูงกว่าการให้ปุ๋ยทางดินคล้ายคลึงกับ (Dasberg et al., 1988) ในการทดลองกับเงาะของปัญจพร เลิศรัตน์ และคณะ (2540) พบว่าการให้ปุ๋ยแบบ Fertigation จะให้ผลผลิตสูงกว่าการให้ปุ๋ยทางดิน ที่อัตราร้อยละ 25 และ 50 และคล้ายคลึงกับการทดลองให้ปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมทางระบบน้ำ 67% ของปริมาณปุ๋ยรวมกับการให้ปุ๋ยทางดิน 33% ตั้งแต่ปี 1988-1992 กับ Grapefruit โดยปี 1988 เท่ากับ 165 ปี 1989 เท่ากับ 159 ปี 1990 เท่ากับ 159 ปี 1991 เท่ากับ 159 total N และ K₂O ปอนด์/เอเคอร์ ตามลำดับ พบว่าการให้ปุ๋ยระบบน้ำรวมกับการให้ปุ๋ยทางดินจะมีผลผลิตทั้ง 4 ปี เท่ากับ 2,071 กล้อง /เอเคอร์ ส่วนการให้ปุ๋ยทางดินจะมีผลผลิตทั้งหมดเท่ากับ 1,897 กล้อง/เอเคอร์ โดยการให้ปุ๋ยทางระบบน้ำรวมกับการให้ปุ๋ยทางดินจะให้ผลผลิตมากกว่าการให้ปุ๋ยทางดินอย่างเดียว 174 กล้อง/เอเคอร์/4 ปี หรือ 44 กล้อง/เอเคอร์ (Boman, 1996)

ปุ๋ยที่ให้ทางระบบน้ำสามารถผสมเองได้ ซึ่งมีราคาถูกกว่าจะเท่ากับราคาการให้ปุ๋ยทางดินแต่มีประสิทธิภาพสูงกว่า เช่น แหล่งของไนโตรเจนจะใช้ยูเรีย (Urea : 46-0-0) และแหล่งโพแทสเซียมใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium Chloride : 0-0-6) หรือโพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulfate : 0-0-5) ซึ่งขึ้นอยู่กับความทนทานต่อความเป็นพิษของคลอไรด์ของพืชแต่ละชนิด ส่วนปุ๋ยฟอสฟอรัสที่

ให้ทางระบบน้ำจะมีราคาแพง ดังนั้น การให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสจะให้ทางดินโดยให้ปีละครั้ง (อิทธิสุนทร นันทกิจ, 2546)

2.3 บทบาทและความสำคัญของธาตุโพแทสเซียม

โพแทสเซียมเป็นธาตุที่มีไอออนซึ่งมีประจุบวก (monovalent cation) ชนิดเดียวเท่านั้นที่จำเป็นต่อพืชและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ทั่วไป (Evan and Sorger, 1966) พืชดูดโพแทสเซียมไปใช้ในปริมาณที่สูงพอ ๆ กับไนโตรเจน และประมาณ 3-4 เท่าของฟอสฟอรัส โพแทสเซียมเมื่อเข้าไปอยู่ในพืชแล้วไม่ได้เปลี่ยนเป็นสารประกอบอินทรีย์เหมือนไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม แต่จะอยู่ในรูปเกลืออินทรีย์หรืออนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ หรือไม่ก็เชื่อมกับ anion ในกรดอินทรีย์ (Tisdale and Nelson, 1963) ดังนั้นหน้าที่โพแทสเซียมภายในพืชจึงเกี่ยวข้องกับการทำงานของขบวนการทางด้านสรีรวิทยาต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ ขบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ การสร้างแป้งและน้ำตาล การเคลื่อนย้ายและสะสมน้ำตาล การสังเคราะห์โปรตีนจากสารประกอบไนโตรเจน นอกจากนี้โพแทสเซียมช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อที่กำลังจะเจริญเติบโต (Miller and Evans, 1957) และช่วยกระตุ้นการทำงานของระบบเอนไซม์หลายชนิด เช่น เอนไซม์ในขบวนการ glycolysis oxidative phosphorylation และ photophosphorylation ควบคุมกิจกรรมของธาตุอาหารพืชหลายชนิดให้ดำเนินไปได้ด้วยดี และยังมีบทบาทในการควบคุมการเปิดและปิดของปากใบควบคุมการเคลื่อนย้ายน้ำจากภายนอกเซลล์เข้าไปภายในเซลล์ ตลอดจนและทำหน้าที่เป็น osmotic regulator เนื่องจากเป็นประจุบวกที่มีอยู่มากภายใน cell sap ของพืช (Sutcliffe, 1967)

โพแทสเซียมยังมีบทบาทในการเคลื่อนย้ายสารละลายอินทรีย์และอนินทรีย์ ควบคุมการเคลื่อนย้ายน้ำจากภายนอกเซลล์เข้าไปภายในเซลล์พืช ถ้าใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมให้แก่พืช พืชจะถูกโรคและแมลงทำลายลดลง ทั้งนี้เพราะโพแทสเซียมช่วยทำให้เกิดพัฒนาการที่ดีของ cortex ทำให้ผนังเซลล์ของพืชหนาและแข็งแรงต่อการเข้าทำลายของโรคและแมลง ด้านทานการหักล้มของต้นพืช นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยให้คุณภาพของผักและผลไม้ดีขึ้น (Janssen และ Bartholomew, 1932)

พืชที่ขาดโพแทสเซียม ขอบใบจะมีสีเขียว (chlorosis) แล้วกลายเป็นสีน้ำตาลและแห้งตายในที่สุด อาการเริ่มจากปลายใบสู่โคนใบ ระหว่างเส้นใบจะมีสีน้ำตาลแห้ง ลักษณะอาการขาดจะเกิดขึ้นที่ใบแก่ก่อน เนื่องจากโพแทสเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ดีในพืช และพร้อมที่จะเคลื่อนย้ายจากส่วนที่แก่ไปยังส่วนที่กำลังเจริญเติบโต จะพบอาการขาดในลักษณะดังกล่าวอย่างชัดเจนในข้าวโพด ในธัญพืช มักทำให้เมล็ดลีบและน้ำหนักเบาผิดปกติ ในพืชตระกูลถั่วจะเกิดเป็นจุดสีน้ำตาลไหม้ (necrotic spots)

กระจายทั่วไปทั้งใบทำให้ใบจะแห้งและร่วงหล่นก่อนถึงเวลา พืชที่ให้หัวจะมีแป้งน้อยและมีน้ำมันมาก พืชที่ให้น้ำมันจะมีน้ำมันน้อย (Lanton and Cook, 1954)

2.4 รูป ปริมาณ และแหล่งของโพแทสเซียมในดิน

ในบรรดาธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ในดิน โพแทสเซียมนับว่าเป็นธาตุอาหารพืชที่มีปริมาณมากที่สุด โดยเป็นองค์ประกอบของเปลือกโลกมากถึงประมาณ 2.4 เปอร์เซ็นต์ (Berger, 1968) เมื่อเทียบกับ ฟอสฟอรัสที่มีเพียง 0.11 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากหินและแร่หลายชนิดที่เป็นวัตถุดิบกำเนิดดินมี โพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบได้แก่ แร่ปฐมภูมิ ที่สำคัญคือแร่ feldspars และ micar แร่ทุติยภูมิหรือแร่ ดินเหนียว ซึ่งได้แก่ montmorillonites, illite หรือ hydrous micas, vermiculites, chlorites และ interstratified minerals เมื่อหินและแร่ดังกล่าวผุพังสลายตัวกลายเป็นดินก็จะปลดปล่อยโพแทสเซียมให้ออกมาอยู่ในดินบริเวณนั้น

โพแทสเซียมในดินจะมีอยู่เฉพาะในรูปของอนินทรีย์โพแทสเซียม เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ จะไม่มีธาตุโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้าง อนินทรีย์โพแทสเซียมสามารถแบ่งออกเป็น 3 รูป คือ 1) Non-exchangeable K ได้แก่ โพแทสเซียมที่อยู่ในหินแร่ที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนกับประจุบวกอื่น ๆ ได้เพราะส่วนมากจะอยู่ใน clay lattice 2) Exchangeable K ได้แก่ โพแทสเซียมที่อยู่บนผิวของ soil colloid และสามารถแลกเปลี่ยนกับประจุบวกอื่น ๆ ที่มีอยู่ในสารละลายดิน และ 3) Water soluble K (soil solution K) ได้แก่ โพแทสเซียมที่อยู่ในสารละลายดิน โพแทสเซียมทั้ง 3 รูปจะอยู่ในสภาพที่สมดุลกัน

เมื่อพิจารณาโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ในดินที่เกี่ยวข้องกับความเป็นประโยชน์ต่อพืชสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ 1) Relatively unavailable K เป็นส่วนของโพแทสเซียมที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยตรง ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแร่ feldspars และ micas ซึ่งแร่พวกนี้ต้องผุพังสลายตัวเสียก่อนจึงจะปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาเป็นประโยชน์แก่พืชได้ 2) Slowly available K เป็นส่วนของโพแทสเซียมที่ถูกตรึงอยู่ในระหว่างหีบของอนุภาคดินเหนียวซึ่งไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยตรง แต่เป็นแหล่งขดเซยโพแทสเซียมให้ออกมาอย่างช้า ๆ แก่ส่วนที่อยู่ในสภาพของไอออนในสารละลายดิน เมื่อถูกพืชหรือจุลินทรีย์ดูดไปใช้ และ 3) Readily available K เป็นส่วนของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้กับโพแทสเซียมในสารละลายดินให้พืชใช้ประโยชน์ได้ทันที

โพแทสเซียมในดินนอกจากได้จากหินแร่ที่เป็นวัตถุดิบกำเนิดดินแล้ว ยังได้มาจากการใส่ปุ๋ย ได้แก่ ปุ๋ย

1) โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) หรือ Muriate of potash มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ 60-63% K_2O และมีคลอไรด์อยู่ระหว่าง 45-47 % มีสีขาว หรือชมพู หรือแดงขึ้นอยู่กับวิธีการผลิต เป็นปุ๋ยที่มีราคาถูกหน่วยของโพแทสเซียมถูกที่สุด ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ไม่เหมาะสำหรับดินที่มีปัญหาเรื่องความเค็มหรือในพืชที่ไวต่อคลอไรด์ เช่น ยาสูบและไม้ผลหลายชนิดรวมทั้งองุ่นด้วย (Ludwick, 1994)

2) ปุ๋ยโพแทสเซียมซัลเฟต K_2SO_4 มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ 50-53% K_2O และมีกำมะถัน 18% ปุ๋ยโพแทสเซียมซัลเฟตสามารถใช้ได้กับดินทุกชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินที่มีปัญหาเรื่องความเค็ม แต่ปุ๋ยโพแทสเซียมซัลเฟตมีราคาแพงกว่าปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ในขณะที่มีการละลายน้ำจะต่ำกว่าปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์

3) ปุ๋ยโพแทสเซียมไนเตรท KNO_3 มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ 46% K_2O และไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ 13% N เป็นปุ๋ยโพแทสเซียมที่มีการละลายน้ำดีที่สุดและราคาแพงกว่าปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์และปุ๋ยโพแทสเซียมซัลเฟต โดยปุ๋ยโพแทสเซียมไนเตรทสามารถใช้ได้ทั้งทางระบบน้ำและฉีดพ่นทางใบ

2.5 บทบาทและความสำคัญของธาตุกำมะถัน

กำมะถันเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช พืชดูดซับกำมะถันจากดินโดยทางรากในรูปของอนุมูลซัลเฟต (SO_4^{2-}) ซึ่งอาจเกิดการเปลี่ยนรูปได้ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) ถ้าดินมีค่า pH มากกว่า 7.0 ซัลเฟตอาจตกตะกอนกับแคลเซียม (Ca) กลายเป็น $CaSO_4$ แต่ถ้าดินมีค่า pH น้อยกว่า 4.0 ซัลเฟตอาจถูกดูดซับไว้โดย Al และ Fe oxide (Jones, 1998) นอกจากนี้กำมะถันที่อยู่ในอากาศในรูปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ พืชยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (สรสิทธิ์, 2527) กำมะถันที่พืชดูดไปใช้จะสะสมอยู่ที่รากมากที่สุดในระยะแรกของการเจริญเติบโต และในระยะหลังจะมีมากที่สุดใบ ส่วนการใช้กำมะถันจะสูงสุดในระยะที่พืชกำลังออกดอก (Mica, 1963) พืชโดยทั่วไปมีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ 0.2-0.7 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง พืชที่ขาดกำมะถันจะมีผลทำให้การเจริญเติบโตเกิดการชะงักงัน แต่ถ้าได้รับมากเกินไปจนเป็นพิษ ใบจะแก่เร็วผิดปกติ (Blair, 1979) ทั้งนี้เพราะกำมะถันมีบทบาทและหน้าที่สำคัญสำหรับกระบวนการต่าง ๆ ภายในพืชมากมายหลายประการคือ

1. การสังเคราะห์กรดอะมิโน 3 ชนิด คือ ซีสทีน ซีสทีโอน และเมทไทโอนีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโปรตีน
2. การสร้างสารคลอโรฟิลล์ สำหรับกระบวนการสังเคราะห์แสง
3. เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ proteolytic enzyme เช่น papinases

กัมมะถันเป็นธาตุที่ไม่เคลื่อนที่ (Immobile) ดังนั้นเมื่อพืชขาดจะแสดงอาการผิดปกติที่ส่วนยอดของพืชมาก่อน ยอดพืชจะชะงักการเจริญเติบโต ใบจะมีสีเขียวอ่อนหรือสีเหลืองคล้ายกับอาการขาดไนโตรเจน แตกต่างกันที่การขาดไนโตรเจนพืชจะเหลืองจากใบล่างขึ้นสู่ยอด พืชที่ขาดกัมมะถันจะมีการเจริญเติบโตไม่ดี แคระแกร็น ลำต้นสูงพอม เนื้อไม้แข็งและเปราะ (Tidale and Nelson, 1963) นอกจากนี้ยังทำให้การสังเคราะห์โปรตีนช้าลง ดังนั้น จึงมีการสะสมของไนเตรท กรดอะมิโน และไนโตรเจนในรูปเอไมด์ เมื่อเพิ่มกัมมะถันลงไปดินทำให้พืชสังเคราะห์ chlorophyll สำหรับขบวนการสังเคราะห์แสงซึ่งมีผลทำให้การสังเคราะห์โปรตีนเพิ่มขึ้นด้วย (Mosolov and Volldeidt, 1957)

2.6 รูป ปริมาณ และแหล่งของกัมมะถันในดิน

กัมมะถันที่สะสมอยู่ในดินสามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปใหญ่ ๆ คือ อนินทรีย์กัมมะถัน และอินทรีย์กัมมะถัน ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอินทรีย์กัมมะถัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ก็ต่อเมื่อถูกจุลินทรีย์ดินทำการเปลี่ยนรูปให้มาอยู่ในรูปของอนินทรีย์กัมมะถัน โดยเฉพาะรูปของอนุมูลซัลเฟต (SO_4^{2-}) เสียก่อน โดยผ่านกระบวนการ mineralization (ชัยฤกษ์, 2536) อนินทรีย์ กัมมะถันในดินมี 2 รูป คือ hydriodic acid (HI) reducible sulphur ซึ่งเชื่อว่าส่วนใหญ่เป็นสารประกอบพวก ester sulfates ที่แยกได้จากพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ดิน ประกอบด้วย phenolic sulfate, chlorine sulfate, fucoidan และ condroitin sulfate และอีกรูป คือ carbon-bonded sulphur ได้แก่ cysteine, cystine และ methionine (Freney et al., 1975) สำหรับ อนินทรีย์กัมมะถันส่วนใหญ่พบในรูปสารประกอบซัลเฟต โดยอยู่ในรูปสารประกอบซัลเฟต โดยอยู่ในรูปของเกลือที่ละลายน้ำได้ ในรูปที่ดูดซับโดยคอลลอยด์ในดิน หรือในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งในรูปที่ละลายน้ำมักพบในบริเวณที่ระบายน้ำเลวหรือในบริเวณที่ชุ่มชื้น (Probert and Samosis, 1983) นอกจากนี้แหล่งของกัมมะถันยังได้จากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศที่ถูกละลายโดยน้ำฝนบริเวณที่มีโรงงานอุตสาหกรรม (Charles, 1978) ปริมาณกัมมะถันที่สะสมอยู่ในดินแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดของดิน ชนิดของวัตถุต้นกำเนิด อายุของดิน การจัดการดิน และสภาพภูมิอากาศ เป็นต้น

2.7 บทบาทและความสำคัญของคลอโรฟิลล์

คลอโรฟิลล์ (CI) มีบทบาททางประการเกี่ยวกับฮอร์โมนในพืช ช่วยในการกระตุ้นการแตกตัวของน้ำใน photosystem II ของกระบวนการสังเคราะห์แสง ทำให้เกิดแรงดันออสโมติกในเซลล์ที่มีผลต่อ stomatal regulation และมีความสำคัญต่อกระบวนการแบ่งเซลล์ภายในใบ (Tidale et al., 1999) รูปที่

เป็นประโยชน์ของคลอรีนคือ คลอไรด์ (Cl⁻) ซึ่งอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ง่าย และสามารถเคลื่อนย้ายได้ในดิน ถ้ามีน้ำไหลผ่านดินมาก คลอไรด์จะถูกชะล้างออกจากดินได้

ปริมาณคลอไรด์ในใบจะพบอยู่ระหว่าง 0.2-2.0 % และลดลงเมื่อใบอายุมากขึ้น ถ้าพืชได้รับน้อยเกินไป พืชจะแสดงอาการขาด สังเกตได้จากการเกิด chlorosis ที่ใบอ่อน และใบจะเหี่ยวบางครั้งอาจพบอาการ necrosis ที่ใบ และรากเจริญเติบโตช้า แต่ถ้าได้รับมากเกินไปจนเป็นพิษ ใบจะเหลืองเร็ว ผิดปกติ ปลายใบและกลางใบไหม้ ใบเปลี่ยนเป็นสีทองแดง และใบร่วง ซึ่งเกิดจากการที่กิจกรรมการสังเคราะห์แสงของพืชลดลง (Kadman, 1963) พืชที่ไวต่อปริมาณคลอไรด์ เช่น พืช อะโวคาโด ต้นยาสูบ พืชตระกูลถั่ว และพืชตระกูลกะหล่ำ เป็นต้น ผลผลิตและคุณภาพจะลดลงเมื่อปริมาณคลอไรด์ในใบอยู่ระหว่าง 0.5-2.0% (Tisdale et al., 1999)

2.8 ปริมาณ และแหล่งของคลอรีนในดิน

คลอไรด์ (Cl⁻) อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ง่าย และการแลกเปลี่ยนคลอไรด์ (Exchangible Cl⁻) จะพบในดินกรดที่มีประจุบวกที่ผันแปรไปตามค่าความเป็นกรดด่างของดิน โดยในดินกรดจะมีปริมาณคลอไรด์ประมาณ 0.5 mg kg⁻¹ ในขณะที่ดินด่างหรือดินเค็มจะมีปริมาณคลอไรด์มากกว่า 6,000 mg kg⁻¹ ในดินที่มีการระบายน้ำที่จำกัดและในดินที่มีระดับน้ำใต้ดินตื้นจะมีคลอไรด์สะสมอยู่ ซึ่งคลอไรด์สามารถเคลื่อนที่ด้วยแรง capillary เข้าไปในเขตรากพืช (root zone) ได้ และอาจตกตะกอนอยู่ที่หรือใกล้ผิวหน้าดิน (Tisdale et al., 1999)

2.9 ผลของโพแทสเซียม กำมะถันและคลอรีนต่อคุณภาพของพืชชนิดต่าง ๆ

2.9.1 โพแทสเซียม

โพแทสเซียมเป็นธาตุที่มีบทบาทต่อคุณภาพของพืชหลายชนิด กล่าวคือ ในพืชตระกูลถั่ว โพแทสเซียมทำให้การแห้งของเมล็ดถั่วเหลืองเร็วขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำมันและโปรตีนในเมล็ดเพิ่มขึ้น และทำให้จำนวนปมที่รากถั่วเหลืองมีปริมาณมากขึ้นด้วย (Griffith, 1977) พวกผัก Windsor et al. (1961) รายงานว่า ถ้ามะเขือเทศขาดโพแทสเซียมจะทำให้ผลสุกไม่พร้อมกัน และยังมีผลต่อสีของมะเขือเทศ เพราะสีแดงที่ปรากฏในผลมะเขือเทศเกิดจากการสังเคราะห์ของเม็ดสี carotenoid นอกจากนี้ Peck and Stamer (1970) รายงานว่า การเก็บหัวกะหล่ำปลีช้ากว่ากำหนดทำให้กะหล่ำปลีมีสีดำ แต่อาการดังกล่าวจะลดลงถ้าเพิ่มโพแทสเซียมให้แก่พืช พวกไม้ผล เช่น ฝรั่ง การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม 1.5 กรัมต่อกระถาง ทำให้อุ่นมีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลเพิ่มจาก 23.3 เป็น 25.7 และเปอร์เซ็นต์กรดเพิ่มจาก 0.40

เป็น 0.52 (Cook, 1968) ในพืชตระกูลส้มโพแทสเซียมทำให้สีของผลน่ารับประทาน ทำให้เปลือกบางลง ผิวไม่ขรุขระ และยังเพิ่มปริมาณวิตามินซีในน้ำผลไม้ (Cohen, 1976)

2.9.2 กำมะถัน

กำมะถันมีผลต่อคุณภาพของพืชต่าง ๆ ดังนี้ ในพืชตระกูลกะหล่ำกำมะถันทำให้ปริมาณน้ำมันและโปรตีนเพิ่มขึ้น สุวพันธ์และคณะ (2531) พบว่า การใส่ปุ๋ยในรูปของแอมโมเนียมซัลเฟตให้กับถั่วลิสง ทำให้ปริมาณโปรตีนในเมล็ดเพิ่มขึ้น 3-6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ย ส่วนปริมาณน้ำมันไม่มีความแตกต่างกัน Daniel (1986) พบว่า การใส่ปุ๋ยกำมะถันสามารถเพิ่มปริมาณน้ำมันในเมล็ดถั่วลิสง 5.1 เปอร์เซ็นต์ และในเมล็ดถั่วเหลือง 6.8 เปอร์เซ็นต์ ในพริกผลไม้ ปริดาและพิชิต (2535) รายงานว่า ปุ๋ยกำมะถันเพิ่มความหวานให้กับสับปะรด ทำให้เปอร์เซ็นต์ของกรดซิตริก และเปอร์เซ็นต์น้ำตาลในสับปะรดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับไม่ใส่ปุ๋ยนี้ ในส้ม Lu et al. (2002) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมซัลเฟตจะช่วยเพิ่มปริมาณวิตามินซี ในพริก Hamdy et al. (1971) รายงานว่า การเพิ่มกำมะถันในรูปต่าง ๆ แก่มะเขือเทศ ทำให้ %N, %P, %K, %Ca และ %Mg ในเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของมะเขือเทศเพิ่มขึ้น ในธัญพืช การเพิ่มปุ๋ยกำมะถันช่วยเพิ่มปริมาณของ methionine และ cysteine ในข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์ (Renner et al., 1953) Lehane (1981) พบว่าปริมาณของกำมะถันในเมล็ดข้าวสาลีมีผลต่อการขยายตัวและคุณภาพของแป้งสาลีที่ใช้ทำขนมปัง ซึ่งถ้าหากข้าวสาลีได้รับกำมะถันไม่เพียงพอจะทำให้เนื้อแป้งขนมปังหยาบและขยายตัวได้น้อย Barros et al. (1999) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยในรูปของโพแทสเซียมซัลเฟตให้กับกาแฟ จะช่วยเพิ่ม polyphenoloxidase และช่วยลดปริมาณกรดในเมล็ดและช่วยส่งเสริมสีของเมล็ดกาแฟนอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มปริมาณน้ำตาลอีกด้วย

2.9.3 คลอรีน

คลอรีนมีผลต่อคุณภาพของพืชต่าง ๆ กล่าวคือ ในมันฝรั่ง Mcdole and Westerman (2003) ได้รายงานว่ามันฝรั่งเป็นพืชที่ต้องปลูกในดินที่มีธาตุ K สูง แต่การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมกลับส่งผลให้ specific gravity ของหัวมันฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยว (harvestd tuber) มีค่าลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ ในองุ่น Edelbauer (1997) รายงานว่า ถ้ามากกว่า 62% ของโพแทสเซียมทั้งหมดที่ใส่อยู่ในรูปโพแทสเซียมคลอไรด์ ผลผลิตขององุ่น “Gruner Veltliner” ที่ปลูกในสารละลายลดลง แต่เมื่อใส่โพแทสเซียมคลอไรด์น้อยกว่า 62% ของ K ทั้งหมด ไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตและคุณภาพขององุ่นแต่อย่างใด เช่นเดียวกับการรายงานของ Cline and O.A. (1980) ที่ได้ใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์อัตรา 232 และ 456 kg/ha ใน “Concord grape” พบว่าปุ๋ยทั้ง 2 อัตราไม่ได้ทำให้ผลผลิตองุ่นลดลง และ

พบว่าผู้ป่วยโพแทสเซียมคลอไรด์ อัตราสูงช่วยเพิ่มคุณภาพของอุ้งนและไม่มีพบอาการ toxic จากการที่ได้รับผู้ป่วยโพแทสเซียมคลอไรด์อัตราสูงด้วย