บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

กล้วยไม้ที่พบในโลกนี้มีอยู่ประมาณ 15,000-30,000 ชนิด (species) และมากกว่า 800 สกุล (genera) เป็นวงศ์ที่ใหญ่ที่สุดวงศ์หนึ่งของพืชมีดอก กล้วยไม้ *Cymbidium* Super Freak เป็นกล้วยไม้อยู่ในวงศ์ย่อย Vadoideae เผ่าย่อย CYRTOPODIINE Bentham เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (Subclass Monocotyledoneae) อยู่ในวงศ์ Orchidaceae สกุล *Cymbidium* (ครรชิต, 2550) เป็นกล้วยไม้ที่มีการเจริญเติบโตไปทางด้านข้าง (Sympodial) ลำลูกกล้วยมีลักษณะเหมือนกล้วยไม้ในสกุลแคทลียา (ระพี, 2516) สามารถเจริญเติบโตบนพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเล บริเวณเทือกเขาหิมาลัยที่มีอากาศหนาวเย็น จนถึงสภาพที่เป็นทะเลทรายอากาศร้อนในประเทศออสเตรเลีย เช่น *Cymbidium caniculatum* และ *Cymbididium crythrosthylum* (ปฐพีชล, 2547) กล้วยไม้สกุลนี้มีอยู่ประมาณ 44 ชนิด ในประเทศไทยพบมากถึง 19 ชนิด บางชนิดขึ้นตามพื้นดินเรียกว่า กล้วยไม้ดิน (terrestrial orchid) และเจริญเติบโตแบบกล้วยไม้อิงอาศัย (epiphytic orchid) พบทั้งภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ (อบฉันท์, 2549)

1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (อบฉันท์, 2549; ณัฐา, 2545; เศรษฐมันตร์, 2552; นฤทธิ์, 2551)

1.1 ลำต้น

ลักษณะลำต้นของกล้วยไม้ซิมบิเดียมจะเป็นประเภทแตกกอมีลำลูกกล้วย (pseudo bulb) มีขนาดแตกต่างกันออกไปตามชนิด บางชนิดมีลำต้นอ้วนขนาดเท่ากำปั้น บางชนิดมีรูปร่างผอมลำต้นสั้นหรือยาว และมีกาบใบโอบหุ้มอยู่อย่างมิดชิด

1.2 ใบ

กล้วยไม้ซิมบิเดียมไม่มีการทิ้งใบ ใบติดอยู่กับต้น และมีสีเขียวตลอดทั้งปี มีอายุยาวนาน ใบเรียงกันเป็นแถบยาว ค่อนข้างแข็งหรือเป็นแผ่นรี เนื้อใบคล้ายหนัง โคนใบซ้อนถี่ หุ้มหัวไว้ด้วยกาบใบ (leaf sheath) ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ต่อจากแผ่นใบ เพื่อเชื่อมและห่อหุ้มลำต้นและตาข้าง ใบยาวประมาณ 30 เซนติเมตร ไปจนถึง 90-100 เซนติเมตร ในหนึ่งลำต้นมีใบประมาณ 9-15 ใบ

1.3 ราก

มีลักษณะคล้ายกับของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวทั่วไป แต่มีการปรับตัวให้เหมาะกับสภาพแวดล้อมที่กล้วยไม้ชนิดนั้นเจริญเติบโตทั้งรากยึดเกาะต้นไม้ บนหิน และเจริญในพื้นดินไม่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รากฝอย รากมีขนาดใหญ่หรือเล็กขึ้นอยู่กับชนิดของกล้วยไม้ซิมบิเดียม และรากจะออกที่โคนต้น เป็นกระจุกผิวนอกของรากมีเนื้อเยื่อคล้ายนวมหุ้มเอาไว้เรียกว่า เวลาเมน (velamen)

1.4 ดอก

ดอกกล้วยไม้ซิมบิเดียมค่อนข้างใหญ่ มีความสวยงามอยู่ในตัว ทยอยบานจากโคนก้านดอกไปยังปลายก้านดอก และมีอายุการบานนาน 1 เดือนถึง 3 เดือน ลักษณะเฉพาะของดอกกล้วยไม้ซิมบิเดียมคือ กลีบดอกชั้นนอกและชั้นใน มีขนาดเท่าๆ กัน สีสันของกลีบดอกทั้งสองข้างเหมือนกัน กลีบดอกชั้นนอกด้านบนโน้มมาข้างหน้าเล็กน้อย ส่วนของปากมีด้านข้างที่ห่อขึ้นมาตั้งขนานไปกับเส้าเกสร ส่วนของปากด้านหน้าโค้งลงคล้ายคนแลบลิ้น และรูปเรือเลยตั้งชื่อว่า Cymbidium มาจากคำว่า Cymbid ในภาษากรีกแปลว่า เรือ และมักมีสีแต้มเป็นเส้นหรือจุด บางครั้งมีสันนูนด้วย เส้าเกสรตั้งตรงมีสีเรื่อๆ บางก็แต้มด้วยสีหรือลายเส้นสีเดียวกันกับปากแต้มอยู่บนเส้าเกสรด้วย บางชนิดมีกลุ่มเรณู 2 กลุ่ม แต่ละกลุ่มยึดติดกับแผ่นเยื่อกว้างและสั้น

1.5 ช่อดอก

ช่อดอกยาว บางชนิดตั้งหรือโค้ง และห้อยลง มีความยาวของช่อดอกประมาณ 20-60 เซนติเมตร จำนวนดอกต่อช่อ 10-30 ดอก ขนาดของดอก 3-7 เซนติเมตร.

ลักษณะการพัฒนาของช่อดอกกล้วยไม้ซิมบิเดียมแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม

1.) ช่อดอกมีการพัฒนาในขณะที่ลำต้นยังพัฒนาไม่เต็มที่ กลุ่มนี้การเจริญเติบโตจะเริ่มในช่วงกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม และมีการพัฒนาช่อดอกในช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายน ดอกบานในฤดูหนาว

2.) ช่อดอกมีการพัฒนาต่อเมื่อลำต้นมีการพัฒนาไปเต็มที่แล้ว และช่อดอกปรากฏให้เห็นในช่วงฤดูร้อน ดอกบานในช่วงฤดูหนาว

1.6 ผลหรือฝักกล้วยไม้

ผลหรือฝักกล้วยไม้ทั่วไปลักษณะรูปร่างแตกต่างกันมีขนาดเล็กหรือใหญ่ไม่เท่ากัน ส่วนฝักของกล้วยไม้ซิมบิเดียมมีขนาดเล็ก และใหญ่แตกต่างตามชนิดของกล้วยไม้ ซึ่งมีขนาดฝักใหญ่ 5 – 16 เซนติเมตร ยาวประมาณ 4 – 18 เซนติเมตร และเป็นฝักกล้วยไม้ประเภทแตกกอเมื่อฝักแก่มีสีเหลืองอมเขียวอ่อนๆ ส่วนกล้วยไม้ประเภทไม่แตกกอฝักแก่เป็นสีน้ำตาลไหม้ และฝักแก่เต็มที่จะแตกตามแนวยาว 3 แนว ภายในมีเมล็ดที่เล็กมาก ลักษณะเป็นผงละเอียดจำนวนมาก บางชนิดอาจมีถึงล้านเมล็ด และยังเป็นเมล็ดที่ภายในไม่มีอาหารสะสม ใบเลี้ยง (cotyledon) ไม่เจริญอีกด้วย ส่วนเมล็ดที่งอก และเจริญเติบโตได้นั้น ต้องอาศัยสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม และต้องมีราพวกไมคอร์ไรซา (mycorrhiza) อาศัยอยู่ด้วยแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. ความสำคัญของธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของพืช

ธาตุอาหารพืช (plant nutrient) คือกลุ่มธาตุที่พืชต้องการนำไปใช้เพื่อดำรงชีวิต และเจริญเติบโต โดยมีกระบวนการสร้างอาหาร และเนื้อเยื่อพืชจนถึงการสร้างเป็นผลผลิตของพืช (วิเชียร, 2546) พืชต่างชนิดกันมีระดับความต้องการธาตุอาหารมากน้อยแตกต่างกัน เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีลักษณะการเจริญเติบโต และระบบรากต่างกัน มีผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารแตกต่างกัน (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2530) แม้ว่าพืชชนิดเดียวกันก็ตามยังมีความต้องการธาตุอาหารไปสร้างส่วนต่างๆ ของพืชแตกต่างกัน (ปฐพีชล, 2533)

2.1 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช

ในปี พ.ศ. 2243 John Woodward ศาสตราจารย์สาขาแพทย์แห่งลอนดอน เป็นบุคคลแรกที่ทดลองปลูกพืชในน้ำจากแหล่งต่างๆ ต่อมาในปี พ.ศ. 2403 Julius von Sachs นักพฤกษศาสตร์ ชาวเยอรมัน สาธิตให้เห็นว่า อาหารที่พืชเคยได้รับจากวัฏภาคของแข็ง (solid phase) ในดินนั้นสามารถทดแทนได้ด้วยการให้อาหารแก่พืชในรูปสารละลาย โดยเตรียมสารละลายของเกลือให้มีธาตุอาหารที่พืชต้องการ ซึ่งพืชสามารถเจริญเติบโตจนแก่ และเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ช่วงเวลาเดียวกัน ในปี พ.ศ. 2403 W. Knop พัฒนาสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชสูตรใหม่ขึ้นมา และได้รับความนิยมอย่างสูง จากผลการศึกษาของ Sachs และ Knop สรุปได้ว่า พืชสามารถเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์ ถ้าปลูกในสารละลายที่มีธาตุไนโตรเจน กำมะถัน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก (ยงยุทธ, 2546) Arnon และ Stout (1939) ได้ระบุข้อกำหนด (criteria) เพื่อใช้ตัดสินว่าธาตุอาหารใดเป็นธาตุที่จำเป็นต่อพืช (essential nutrient elements) ดังนี้ (ยงยุทธ, 2546)

1) หากขาดธาตุอาหารนั้น พืชจะไม่สามารถดำรงชีวิตจนตลอดระยะการเติบโตทางลำต้นหรือวัฒนภาค (vegetative stage) หรือระยะเจริญพันธุ์ (reproductive stage) ในวัฏจักรชีวิต (life cycle) ของพืชนั้น

2) อาการขาดธาตุนั้นจะแสดงออกเป็นลักษณะเฉพาะ ซึ่งอาจป้องกันหรือแก้ไขโดยให้ธาตุอาหารดังกล่าวในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้

3) ธาตุนั้นต้องเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเจริญเติบโตของพืชมิใช่เพียงแต่ช่วยแก้ไขความไม่เหมาะสมของสภาพทางเคมี หรือด้านอื่นของดิน ธาตุอาหารที่จำเป็นแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1) มหธาตุ (macronutrient elements) หรือธาตุอาหารมหัพภาค คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก มีความเข้มข้นของธาตุอาหารโดยน้ำหนักแห้ง เมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มวัยสูงกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีจำนวน 6 ธาตุ ซึ่งจำแนกเป็น 2 กลุ่มย่อยคือ

1.1 กลุ่มธาตุอาหารหลัก (primary nutrient elements) คือธาตุอาหารพืชที่ต้องการในปริมาณมาก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม

1.2 กลุ่มธาตุอาหารรอง (secondary nutrient elements) คือธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อยลงมา ได้แก่ แคลเซียม กำมะถันและแมกนีเซียม

2) จุลธาตุ (micronutrient elements) คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย มีความเข้มข้นของธาตุอาหารโดยน้ำหนักแห้ง เมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มวัยต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน โมลิบดินัม คลอรีนและนิกเกิล เพิ่งจะมีการรวมเข้าเป็นธาตุที่ 8 (ดิเรก, 2550) นิกเกิลเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นที่พบเป็นธาตุสุดท้ายโดย (Dalton และคณะ 1988 อ้างโดย ศรีสม, 2547) รายงานว่า นิกเกิลเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ยูรีเอส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่กระตุ้นปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสยูเรียให้เป็นแอมโมเนีย และคาร์บอนไดออกไซด์ และนิกเกิลยังทำหน้าที่สำคัญในการสร้างสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนพืชบางชนิด นอกจากนั้นพืชบางชนิดต้องการธาตุอาหารอื่นๆ พิเศษ เพื่อการเจริญเติบโต เช่น โคบอลท์ (CO) โซเดียม (Na) อะลูมิเนียม (Al) แวนาเดียม (Va) ซิลิเนียม (Se) ซิลิกอน (Si) และอื่นๆ เรียกธาตุอาหารกลุ่มหลังเหล่านี้ว่าเป็น beneficial element (สมบุญ, 2538) ธาตุอาหารที่จำเป็นทุกธาตุมีความสำคัญเท่าเทียมกัน แม้ว่าพืชต้องการธาตุบางธาตุ ในปริมาณเพียงเล็กน้อยแต่ก็ขาดไม่ได้ (มุกดา, 2544) หากพืชได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอจะแสดงอาการผิดปกติขึ้น ทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ (โสระยา, 2547) ดังนั้นพืชต้องได้รับธาตุอาหารที่จำเป็นเหล่านี้ครบทุกธาตุในปริมาณที่เพียงพอ จึงเจริญเติบโตได้ดี (สมบุญ, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 บทบาทและหน้าที่ของธาตุอาหารในพืช

ไนโตรเจน (Nitrogen)

ไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างยิ่ง โดยพืชจะดูดไนโตรเจนไปใช้ในรูปที่เป็นประโยชน์ คือ ไนเตรทไอออน (NO_3^-) แอมโมเนียม (NH_4^+) และยูเรีย [$Co(NH_2)_2$] (ยงยุทธ, 2546) ยูเรียมีไนโตรเจนประมาณร้อยละ 46 สามารถละลายในน้ำได้ดี และดูดความชื้นได้ง่าย เป็นปุ๋ยที่นิยมใช้กันมาก สามารถใช้ได้ในทางดิน และผสมน้ำฉีดพ่นให้กับพืชทางใบอีกด้วย ซึ่งส่วนใหญ่ยูเรียจะมีส่วนผสมในปุ๋ยน้ำ หรือปุ๋ยเกร็ดเป็นส่วนสำคัญ (ดิเรก, 2550) ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของอินทรีย์สารดังนี้ (ยงยุทธ, 2543; สมบุญ, 2544)

1) เป็นองค์ประกอบของโปรตีน ประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดต่างๆ โปรตีนมีหน้าที่สำคัญมากในเซลล์ โดยเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างไซโทพลาสซึม เนื้อเยื่อ เอนไซม์ ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาชีวเคมี จึงมีบทบาทเกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมอย่างกว้างขวาง

2) กรดอะมิโนมีไนโตรเจนอยู่ที่หมู่อะมิโน (amino group) เป็นหน่วยในโครงสร้าง (Building blocks) ของโปรตีน

3) เป็นองค์ประกอบของฮอร์โมนพืชได้แก่ ออกซิน (auxins) และไซโตไคนิน (cytokinins) ซึ่งออกซินที่พืชสังเคราะห์ได้จากกรดอะมิโนทริพโทแฟน (tryptophane) มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช และไซโตไคนินเป็นฮอร์โมนพืชที่ส่งเสริมการแบ่งเซลล์ ช่วยการเจริญของตาข้าง ชะลอความเสื่อมของใบ (senescence) และช่วยในการเคลื่อนย้ายธาตุอาหาร ไซโตไคนินชนิดแรกที่พบในพืชคือ ซีเอทิน (zeatin)

4) กรดนิวคลีอิก (nucleic acids) มีอยู่ 2 ชนิดคือ ribo nucleic acids (RNA) ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน และ deoxyribo nucleic acids (DNA) เป็นศูนย์ข้อมูลทางพันธุกรรม

5) สารประกอบไนโตรเจน เช่น อะดีโนซีนไดรฟอสเฟต (ATP) โคเอนไซม์ (Co-enzymes) และ NADP

6) สารประกอบไนโตรเจนที่พืชสะสมไว้ (reserves) เพื่อทำหน้าที่ป้องกัน (protective compounds) เช่น อัลคาลอยด์ (alkaloids) ที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางก็คือ นิโคติน (nicotine) จากใบยาสูบ และมอร์ฟีน (morphine) จากฝิ่น พืชมีความต้องการไนโตรเจนที่แตกต่างกันตามชนิดของพืช อวัยวะ และระยะการเจริญเติบโต แต่โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 2-5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง (ยงยุทธ, 2546) ประมาณ 80-85 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดในพืชเป็นองค์ประกอบของโปรตีน 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก และอีก 5 เปอร์เซ็นต์เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่ละลายได้ (soluble amino N) (โสระยา, 2544) ดังนั้นการให้ไนโตรเจนควรคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยา และความต้องการของไนโตรเจนที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจากการให้ไนโตรเจนในรูปที่เหมาะสม ตามความต้องการของพืช (King et al., 1995) ถ้าพืชขาดไนโตรเจนจะก่อให้เกิดสภาวะพร่องคลอโรฟิลล์หรืออาการคลอโรซิส (chlorosis) คือใบพืชจะมีสีเหลืองโดยเกิดจากใบล่างก่อน ใบพืชมีสีจางกว่าปกติ ใบแก่มีสีเหลือง ร่วงก่อนกำหนด การแตกใบอ่อนและหน่อไม่ดี ต้นแคระแกร็น (ดิเรก, 2550)

ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

ฟอสฟอรัสที่พืชดูดไปใช้ส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารอนินทรีย์พวกไดไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน (HPO_4^{2-}) ปริมาณไอออนทั้ง 2 ชนิด จะมีมาก หรือน้อยขึ้นกับค่าความเป็นกรดเบส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของดิน (สมบุญ, 2544) ถ้า pH ของสารละลายดินต่ำกว่า 6.3 ฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์และมีอยู่มาก คือ ($H_2PO_4^{2-}$) ซึ่งพืชดูดไปใช้ได้ง่ายที่สุด ส่วน pH ระหว่าง 6.8-7.2 จะอยู่ในรูป HPO_4^{2-} มาก ซึ่งพืชจะดูดไปใช้ได้ช้ากว่ารูปแรก ถ้าหาก pH สูงกว่า 7.2 ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ PO_4^{3-} ซึ่งพืชดูดใช้ได้ยาก (ยงยุทธ, 2546) เนื่องจากสภาพดินที่เป็นเบสมีไอออนประจุบวกได้แก่แคลเซียมและแมกนีเซียมมาก ทำให้ฟอสเฟตไอออนรวมกับไอออนประจุบวกเหล่านี้ กลายเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำ ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้น้อย ส่วนดินที่เป็นกรดมากจะมี ธาตุอะลูมิเนียม และเหล็กมากซึ่งสามารถรวมกับฟอสเฟตไอออน ทำให้เกิดตะกอนของอะลูมินัมฟอสเฟต และเหล็กฟอสเฟต ซึ่งทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ (สมบุญ, 2544) รากพืชดูดฟอสเฟตไปใช้ด้วย active process เนื่องจากปริมาณของฟอสเฟตที่อยู่ในเซลล์ราก และ xylem sap มีความเข้มข้นสูงกว่าฟอสเฟตที่มีอยู่ในสารละลายดิน ดังนั้นการดูดใช้ฟอสเฟตจึงเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช และสารประกอบฟอสเฟตที่พบอยู่ในพืชแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ

1) อนินทรีย์ฟอสเฟต (inorganic phosphate) ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ orthophosphate และในรูปของ pyrophosphate เพียงเล็กน้อย นอกจากนี้พืชยังสามารถสะสมฟอสเฟตไว้ในรูปอนินทรีย์พอลิฟอสเฟต (inorganic polyphosphate) พืชหลายชนิดสามารถสังเคราะห์พอลิฟอสเฟตเชิงเส้น (linear polyphosphate) ซึ่ง Pi ต่อเรียงกันกว่า 500 โมเลกุล และมีพลังงานเทียบเท่ากับ ATP ซึ่งพอลิฟอสเฟตทำหน้าที่เกี่ยวกับการสะสมพลังงานไว้ในเซลล์ เป็นแหล่งแลกเปลี่ยนไอออน (cation exchange) หรือทำหน้าที่เป็นคีเลต (chelating agent) สามารถเคลื่อนย้ายในพืชในทิศทางขึ้นและลงได้ จึงมักพบอนินทรีย์ฟอสเฟตในท่อลำเลียงอาหาร

2) อินทรีย์ฟอสเฟต (organic polyphosphate) เป็นสารประกอบที่เกิดจากอนุมูล orthophosphate ถูก esterfied โดย hydroxyl group ของโซ่คาร์บอนได้สารประกอบฟอสเฟตเอสเทอร์ (phoaphate esters) เช่น น้ำตาลฟอสเฟต (sugar phosphate) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง นิวคลีโอไทด์ซึ่งเป็นองค์ประกอบของ DNA และ RNA และฟอสโฟลิพิด ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์และเยื่ออื่นๆ (Mengel and Kirkby, 1987; ยงยุทธ, 2546; โสระยา, 2544)

การเจริญเติบโตของพืชมีความจำเป็นต้องการฟอสฟอรัส 0.3-0.5% (โดยน้ำหนักแห้ง) เพื่อให้การเจริญเติบโตในระยะวัฒนภาค (vegatative stage) เป็นไปตามปกติ สำหรับระดับที่ถือว่าเป็นพิษ คือ สูงกว่า 1% (โดยน้ำหนักแห้ง) แต่ที่มีพืชตระกูลถั่วหลายชนิดไวต่อพิษของธาตุนี้มาก เช่น ถั่วเขียวผิวดำ *Vigna mungo* (ยงยุทธ, 2546) ฟอสฟอรัสจำเป็นสำหรับการเจริญของระบบรากโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่ออุณหภูมิต่ำ และยังช่วยในการเจริญเติบโตทางลำต้น ใบ ดอกและผลตลอดฤดูกาลปลูก ดินจับยึดฟอสฟอรัสได้ดี แต่ถูกชะล้างได้ง่ายในดินพีท (peat) และ soilless

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

media ดังนั้นการปลูกพืชไร้ดินต้องใส่ฟอสฟอรัสอย่างสม่ำเสมอ (นิพนธ์, 2548) นอกจากนั้น ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ดีในพืช เมื่อเกิดการขาดแคลนก็สามารถเคลื่อนที่จากเนื้อเยื่อที่แก่ไปยังส่วนอ่อน และกำลังมีการเจริญหรือพัฒนาการ (ยงยุทธ, 2543) ถ้าพืชขาดธาตุฟอสฟอรัสมักแสดงอาการใบมีสีเขียวเข้ม และอาจมีสีแดงหรือสีม่วงที่ใบหรือก้านใบ ต้นแคระแกร็น เกิดที่ใบแก่ก่อน มีจำนวนใบน้อย ใบมีการขยายขนาดช้าจึงมีขนาดเล็ก เพราะเซลล์ชั้นผิวไม่ค่อยขยายตัว อันเนื่องมาจากเซลล์ชั้นผิวมีฟอสฟอรัสต่ำ และสภาพนำน้ำของราก (root hydraulic conductivity) ลดลง (ศรีสม, 2547; ยงยุทธ, 2546)

โพแทสเซียม (Potassium)

พืชแต่ละชนิดมีความต้องการโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้วความต้องการของพืชอยู่ในพิสัย 2-5 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง) ของอวัยวะด้านวัฒนภาค (vegetative parts) ผลและหัว ทั้งนี้ยกเว้นพืชที่ชอบโซเดียม (natrophilic species) ซึ่งมีความต้องการโพแทสเซียมน้อยกว่าพืชทั่วไป (ยงยุทธ, 2546) โพแทสเซียมเป็นธาตุที่พืชมีความต้องการสูง และมีการเคลื่อนย้ายได้ดีในพืช ปริมาณโพแทสเซียมที่เหมาะสมในแต่ละฤดูปลูกประมาณ 134 กรัมต่อตารางเมตร และมีความต้องการมากในระยะแรกของการเจริญเติบโต (มุกดา, 2544; สมบุญ, 2544) พบโพแทสเซียมมากในบริเวณส่วนอ่อนของพืช เช่น ในเนื้อเยื่อเจริญบริเวณยอดของต้น ปลายราก ตาข้างใบอ่อน เนื้อใบ (mesophyll) ใจกลางต้น (pith) และในท่อลำเลียงอาหาร (phloem) โพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชคือ K^+ มีเส้นผ่าศูนย์กลางในสภาวะไฮเดรต 0.331 นาโนเมตร พืชดูดไอออนนี้ด้วยกลไกที่มีการคัดเลือกอย่างเข้มงวด (highly selective) แบบแอกทีฟและโพแทสเซียมยังมีบทบาทสำคัญเกี่ยวกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืชมากมายดังนี้

1) ควบคุมอัตราการสังเคราะห์แสงอย่างน้อย 3 ขั้นตอนคือ

1.1 ควบคุมให้ปากใบเปิด เมื่อมีแสงจึงช่วยให้คาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ใบได้สะดวก

1.2 ส่งเสริมการสังเคราะห์ ATP ในกระบวนการโฟโตฟอสฟลอรีเลชัน (photophosphorylation)

1.3 มีบทบาทในการคงสภาพโครงสร้างของคลอโรพลาสต์ และโพรพลาสติก (proplastids) ที่เหมาะสมกับกิจกรรมการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์

2) บทบาทในกิจกรรมของเอนไซม์ เป็นตัวกระตุ้นการทำงาน (activator) ของเอนไซม์หรือทำงานร่วมกับเอนไซม์ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3) ควบคุมการเปิดและปิดปากใบ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุนี้ในเซลล์คุม (guard cells) มีผลต่อความเต่งของเซลล์นั้นด้วยกล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเซลล์คุมเพิ่มขึ้น น้ำจะย้ายจากเซลล์ข้างเคียงเข้าไปในเซลล์คุม ทำให้เซลล์คุมเต่งและปากใบปิด

4) ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีน และการแบ่งเซลล์ในพืช นอกจากนั้นยังมีบทบาทในการเคลื่อนย้ายน้ำตาลออกจากใบ

5) โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญช่วยให้ซูโครสเข้าสู่ท่อลำเลียงอาหาร และมีการเคลื่อนย้ายสารละลายในท่อลำเลียงอาการได้มากขึ้น (ยงยุทธ, 2546; สมบุญ, 2544)

พืชได้รับโพแทสเซียมที่เหมาะสมจะทำให้มีการเจริญเติบโตได้ดี ในขณะเดียวกันถ้าพืชได้รับโพแทสเซียมน้อยเกินไปหรือว่าขาด พืชจะมีการสังเคราะห์แสงและโปรตีนได้น้อย (ดนัย, 2544) ในขณะเดียวกัน ถ้าได้รับธาตุนี้จากเครื่องปลูกน้อยเกินไปย่อมเกิดภาวะขาดแคลน ทำให้การเจริญเติบโตลดลงโพแทสเซียมส่วนที่เคยสะสมอยู่ในใบแก่ และอวัยวะอื่นๆเคลื่อนย้ายทางโฟลเอ็มไปเลี้ยงเนื้อเยื่อที่กำลังเจริญ อวัยวะดังกล่าวจึงมีอาการผิดปกติเช่น คลอโรซิส (chlorosis) และเนโครซิส (necrosis) คือ ลักษณะของใบพืชที่มีสีเขียวแล้วค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีเขียวจาง และอาการตายของเซลล์เนื้อเยื่อ ใบเหลือง ขอบใบและปลายใบไหม้ เนื้อเยื่อใบตายเป็นจุดๆ (necrotic spot) เกิดที่ใบแก่ก่อน นอกจากนั้นพืชมักเหี่ยวเฉาง่าย เนื่องจากความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดินมีอยู่อย่างจำกัด และยังแสดงอาการเป็นโรคง่าย เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงด้านกิจกรรมของเอนไซม์และปริมาณของอินทรีย์สาร ซึ่งทำให้พืชนั้นอ่อนแอต่อเชื้อโรค (ยงยุทธ, 2546; ศรีสม, 2547)

แคลเซียม (Calcium)

พืชดูดแคลเซียมเข้าไปในรูปของ Ca^{2+} ดินส่วนใหญ่มี Ca^{2+} พอเพียงต่อการเจริญเติบโตของพืช ยกเว้นดินกรดในสภาพที่มีฝนตกชุก มักต้องเติมปูน CaO หรือ $CaCO_3$ เพื่อเพิ่ม pH (ดนัย, 2544) แคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายทางท่ออาหารได้ยาก ดังนั้นเมื่อแคลเซียมอยู่ในเนื้อเยื่อของพืชแล้วจึงไม่ค่อยเคลื่อนย้ายไปส่วนอื่น (สมบุญ, 2544) ความเข้มข้นของแคลเซียมในพืชแตกต่างกันตามสภาพการปลูก พันธุ์พืชและอวัยวะ ซึ่งแปรผันอยู่ในช่วง 0.1 ถึงมากกว่า 5% โดยน้ำหนักแห้ง พืชใบเลี้ยงคู่ต้องการแคลเซียม เพื่อการเจริญเติมโตมากกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (ยงยุทธ, 2546)

ในปัจจุบันแคลเซียมเป็นธาตุที่ได้รับความสนใจมาก โดยปกติในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตมี Ca^{2+} อิสระต่ำมากในไซโตโซล คือ ต่ำกว่า 1 ไมโครโมล แคลเซียมมักปรากฏอยู่มากในแวคคิวโอล และอยู่ร่วมกับผนังเซลล์ในสภาพ pectate ploysaccharides แคลเซียมในแวคคิวโอล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มักตกตะกอนอยู่ในรูปผลึกที่ไม่ละลายน้ำของ oxalates การที่ไซโตโซลมีปริมาณแคลเซียมต่ำนั้นช่วยให้ ATP และสารอินทรีย์ฟอสเฟตละลายน้ำได้ และแคลเซียมที่สูงเกินไปมักระงับการไหลของไซโตพลาสต์ได้ (ดนัย, 2544) แคลเซียมมีบทบาทดังนี้ (ยงยุทธ, 2546; สมบุญ, 2544)

1) การยึดเหนี่ยว (binding) และการแยกเก็บแคลเซียมเป็นสัดส่วน (compartmentation) แคลเซียมมีอยู่ในผนังเซลล์ อะโพพลาสต์ (apoplast) และมิดเดิลลาเมลลา (middle lamella) มิดเดิลลาเมลลามีสารเพกทิก (pectic substance) สารในกลุ่มนี้ประกอบด้วยกรดเพกทิก (pectic acids) และเกลือเพกเทต

2) เสถียรภาพของผนังเซลล์ แคลเซียมเพกเทตในมิดเดิลลาเมลลา ช่วยทำให้ผนังเซลล์ เนื้อเยื่อและต้นพืชแข็งแรง

3) เกี่ยวข้องกับการยืดตัวของเซลล์ (cell extension) กระบวนการหลั่งสาร (secretory process) การสร้างนิวเคลียสและไมโทคอนเดรีย ตลอดจนการแบ่งเซลล์และการขยายตัวของเซลล์

4) ช่วยลดความเป็นพิษ (detoxify) ของกรดออกซาลิก (oxalic acid) โดยรวมตัวเป็นผลึกแคลเซียม-ออกซาเลต (calcium oxalate) ในแวคคิวโอลของพืช

5) มีผลต่อกระบวนการสร้างปมและการตรึงไนโตรเจนของไรโซเบียม ในรากพืชตระกูลถั่ว แคลเซียมจัดเป็นธาตุที่ไม่ค่อยเป็นพิษต่อพืช และพืชทั่วไปสามารถปรับตัวให้สอดคล้องกับปริมาณที่ได้รับ สาเหตุที่ไม่ค่อยเป็นพิษ เนื่องจากพืชมีกลไกที่สามารถควบคุมให้มีแคลเซียมในไซโทพลาสซึมต่ำได้นั่นเอง (Hanson, 1934 อ้างโดย ยงยุทธ, 2546) แคลเซียมเป็นธาตุที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านท่ออาหารของพืชได้เป็นผลให้อาการขาดแคลเซียมเกิดขึ้นที่ใบอ่อน เนื้อเยื่อเจริญของราก ลำต้นและใบ เพราะเนื้อเยื่อจะไม่สร้างผนังเซลล์ ทำให้เซลล์ไม่แบ่งตัว ลำต้น ยอดก้านใบ เปราะหักง่าย เซลล์ไม่ขยายตัว ใบเหลือง เกิดคลอโรซิสในบริเวณใบอ่อน และใบอ่อนมักบิดเบี้ยวเสียรูปทรง เกิดลักษณะงอคล้ายตะขอ (hook) ที่ส่วนปลายยอด ลำต้นแคระแกร็น เนื้อเยื่อเจริญมีอายุสั้น ในมะเขือเทศที่ขาดแคลเซียมมักเกิดการสลายตัวของเนื้อเยื่อ ด้าน blossom end ทำให้เกิดอาการเรียกว่า blossom end rot (สมบุญ, 2544; ดนัย, 2544)

แมกนีเซียม (Magnesium)

แมกนีเซียมอยู่ในดินมี 3 รูปคือ 1) แมกนีเซียมไอออนในสารละลายดิน 2) แมกนีเซียมแลกเปลี่ยนได้ ซึ่งดูดซับอยู่กับผิวของคอลลอยด์ดิน พืชสามารถดูดใช้แมกนีเซียมทั้งสองรูปนี้ เป็นประโยชน์ได้โดยง่าย และ 3) เป็นองค์ประกอบของเกลืออนินทรีย์และแร่ต่างๆในดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(ยงยุทธ, 2546) พืชดูดแมกนีเซียมในรูปไดวาเลนต์แมกนีเซียมไอออน (Mg^{+2}) และแมกนีเซียมมีบทบาทสำคัญหลายอย่างดังนี้ (สมบุญ, 2544)

1) บทบาทในกระบวนการสังเคราะห์แสง แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ และเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในปฏิกิริยาหลักของการถ่ายทอดพลังงานในกระบวนการสังเคราะห์แสง

2) เป็นตัวกระตุ้นการทำงาน (activator) ของเอนไซม์หลายชนิด รวมทั้งเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างแป้ง

3) บทบาทเกี่ยวกับการสังเคราะห์โปรตีน เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก แมกนีเซียมจะรวมตัวกับไรโบโซมช่วยสร้างเสถียรให้กับไรโบโซม และทำให้เกิดการสังเคราะห์โปรตีน

4) แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบของโมเลกุลคลอโรฟิลล์สัดส่วนของธาตุนี้ในคลอโรฟิลล์ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับ โดยปกติใบพืชจะแบ่งสัดส่วนการใช้แมกนีเซียมที่มีอยู่ 6-25 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ 5-10 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบของสารเพกเทต (pectate) ในผนังเซลล์ และตกตะกอนเป็นเกลือที่ละลายยากในแวคคิวโอลที่เหลือประมาณ 60-90 เปอร์เซ็นต์ ละลายน้ำง่ายจึงสกัดได้ด้วยน้ำ (Scott and Robson, 1990 อ้างโดย ยงยุทธ, 2546) โดยปกติพืชสะสมแมกนีเซียมในอวัยวะด้านวัฒนภาค (vegetative part) อยู่ในช่วง 0.15-0.35 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อพืชขาดธาตุนี้พบอาการใบเหลืองซีด โดยจะเหลืองระหว่างเส้นใบ (interveinal chlorosis) ที่ใบแก่ และลุกลามไปยังใบอ่อน เพราะแมกนีเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ง่าย นอกจากนั้นยังเกิดการสร้างแอนโทไซนิน (anthrocyarin) ที่ใบทำให้เห็นใบเป็นจุดสีต่างๆเช่น ม่วงแดง เหลือง เซลล์ของใบมักแห้งไหม้ตายเป็นจุดๆ กระจายไปทั่วและปลายม้วนงอ แมกนีเซียมเป็นแคตไอออนประจุบวกสองขนาดเล็ก อัตราการดูดแมกนีเซียมไอออนลดลงมาก หากมี K^{+}, NH^{+}, Ca^{2+}, Mn^{2+} และ H^{+} ในสารละลายสูง เนื่องจากไอออนเหล่านี้แสดงภาวะปฏิปักษ์ต่อการดูดแมกนีเซียม ดังนั้น จึงอาจพบอาการขาดแมกนีเซียมได้เสมอหากธาตุต่างๆ ในดินไม่สมดุล (ยงยุทธ, 2546; ดนัย, 2544; สมบุญ, 2544)

กำมะถัน (Sulfur)

กำมะถันเป็นองค์ประกอบในอินทรีย์สารของพืชชั้นสูงได้จากดินและอากาศ ดินเป็นแหล่งสำคัญของธาตุนี้ และรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช คือ ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) ซึ่งอยู่ในสารละลายดิน ซัลเฟตเกิดจากการสลายตัวของวัตถุต้นกำเนิดดิน และอินทรีย์ รากพืชดูดกำมะถันในรูปซัลเฟตไอออนด้วยกลไกแบบแอกทีฟ และมีอัตราการดูดค่อนข้างต่ำ นอกจากนั้นพืชยังดูด SO_2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทางใบ และใช้ประโยชน์ได้โดยตรง แต่ถ้าแก๊สนี้มีความเข้มข้นจะเป็นอันตรายต่อพืช ถ้าพืชดูด SO_2 มีความเข้มข้นเกินกว่า 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลานานกว่า 8 ชั่งโมง ใบจะไหม้ และเสียหายอย่างรุนแรง

พืชปกติมีกำมะถัน 0.1-0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตามพืชแต่ละชนิดมีความต้องการธาตุนี้ในปริมาณที่แตกต่างกัน (ยงยุทธ, 2546) กำมะถันยังมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน คือ ซีสเทอีน (cysteine) ซิสทีน (cystin) เมไทโอนีน (methionine) และยังเป็นองค์ประกอบของไวตามิน เช่น ไบโอทิน (biotin) ไทอามิน (thiamine) โคเอนไซม์เอ (coenzyme A) และเป็นองค์ประกอบของหมู่ซัลไฟไฮดริล (sulfhydryl group,-SH) ในโมเลกุลของเอนไซม์หลายชนิด (สมบุญ, 2544) พืชขาดกำมะถันจะมีผลต่อการสังเคราะห์โปรตีนได้น้อยลง ใบจึงมีภาวะพร่องคลอโรฟิลล์ (chlorosis) แต่อาการที่ปรากฏจะแตกต่างจากการขาดไนโตรเจนคือ เมื่อขาดกำมะถันทั้งใบแก่ และใบอ่อนจะเหลืองเหมือนกัน และอาการขาดกำมะถันอาจปรากฏที่ใบอ่อน (ซึ่งมีไนโตรเจนเพียงพอ) หรือใบแก่ (ซึ่งมีไนโตรเจนต่ำ) แสดงให้เห็นว่า การเคลื่อนย้ายของกำมะถันจากใบแก่จะเกิดมาก หรือน้อยย่อมขึ้นอยู่กับ ระดับความรุนแรงของการขาดไนโตรเจนขณะนั้น หากขาดรุนแรงย่อมกระตุ้นให้สภาพใบเสื่อมตามอายุ (senescence) พร้อมจะร่วงหล่น (ยงยุทธ, 2546)

แมงกานีส (Manganese)

แมงกานีสเกิดอยู่ในรูปประจุ 3 รูป คือ Mn^{2+} Mn^{3+} และ Mn^{4+} ซึ่งเป็นรูปที่ไม่ละลายน้ำ นอกจากนั้นยังเกิดในรูปคีเลทด้วย พืชจะดูดแมงกานีสในรูป Mn^{2+} หลังจากที่ถูกปล่อยออกมาจากคีเลท หรือถูกรีดิวซ์จากออกไซด์ ซึ่งมีประจุสูงกว่า ในสภาพดินทั่วไปมักไม่ขาดแมงกานีส (ดนัย, 2544) แมงกานีสมีบทบาทในการเจริญเติบโตของพืชดังนี้ (สมบุญ, 2544)

1) เป็นตัวคะตะลิสต์หรือตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดในกระบวนการหายใจ การสังเคราะห์แสง และไนโตรเจนเมแทบอลิซึม

2) เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ในกระบวนการเมแทบอลิซึมของออกซิเจน

3) บทบาทในการสังเคราะห์แสง ช่วยกระตุ้นกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน การปลดปล่อยออกซิเจนในโฟโตซิสเต็ม II (PS II) และเกี่ยวข้องกับโครงสร้างเมมเบรนของคลอโรพลาสต์

4) บทบาทในการสร้างกรดอะมิโน และเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการสังเคราะห์นิวคลีโอไทด์ (nucleotide) และกรดไขมัน อาการขาดธาตุแมงกานีสมักจะแสดงเป็น interveinal chlorosis ที่ใบอ่อน หรือใบแก่ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช มีอาการจุดสีน้ำตาลและยังทำให้เยื่อหุ้มไธลาคอยด์ผิดปกติ (ดนัย, 2544) นอกจากนั้นพืชทั่วไปมีระดับขาดแคลนขั้นวิกฤต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Critical deficiency level) ของแมงกานีสในใบแก่ 10-20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (โดยน้ำหนักแห้ง) (ยงยุทธ, 2546)

เหล็ก (Iron)

สารละลายดินมีเฟอริกไอออนน้อยกว่าเฟอรัสไอออนและการละลายของเหล็กขึ้นอยู่กับ pH ของดิน คือ ละลายได้มากในดินกรด และน้อยในดินด่าง (ยงยุทธ, 2546) พืชดูดธาตุเหล็กในรูปเฟอรัสไอออน (Fe^{3+}) ในดินที่เป็นด่างพบว่า เหล็กมักจะรวมตัวกับธาตุอื่นเป็นตะกอนอยู่ในรูปไม่ละลายน้ำ พืชนำไปใช้ไม่ได้ ส่วนดินเป็นกรดสูงจะพบพืชเกิดอาการเป็นพิษ เนื่องจากพืชดูดธาตุเหล็กในดินปริมาณมากเกินไป และเกิดสะสมในพืช เหล็กเป็นธาตุที่ทำหน้าที่สำคัญหลายอย่างในกระบวนการเมแทบอลิซึม เป็นองค์ประกอบของพวกฮีม (heme) นอนฮีม (nonheme) เอนไซม์และตัวพา (carrier) หลายชนิด ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง และการหายใจ นอกจากนี้เหล็กยังมีส่วนในกระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ การสร้างโปรตีนของเมมเบรน และไมโทคอนเดรียในพืชด้วย (สมบุญ, 2544) เหล็กซึ่งสะสมที่ใบแก่จะไม่เคลื่อนที่ในท่ออาหาร อาจเป็นเพราะเกิดการตะกอนของเหล็กที่ใบ ทำให้เหล็กอยู่ในสภาพของออกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำหรือเกิดเป็นสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ของ ferric-phosphate รูปของเหล็กที่มีมากและอยู่ตัวในใบที่คลอโรฟิลล์ในรูปของ iron-protein complex เรียกว่า phytoferritin (ดนัย, 2544)

ในดินที่เป็นด่างมีแคลเซียมมาก (Calcareous soil) มักพบพืชเกิดอาการขาดธาตุเหล็กโดยเกิดอาการ lime-induced chlorosis ในพืชและถ้าดินเป็นกรดมีสารละลายอะลูมิเนียมมากจะจำกัดการดูดธาตุเหล็ก (สมบุญ, 2544) พืชแสดงอาการเหลืองซีดระหว่างเส้นใบ ใบมีสีเหลืองซีดโดยที่เส้นใบยังเขียวอยู่ ในขณะที่พื้นที่ระหว่างเส้นใบมีสีเหลือง โดยจะเกิดที่ใบอ่อนก่อนลุกลามไปยังใบแก่ (ดิเรก, 2550)

สังกะสี (Zinc)

สังกะสีในดินที่พืชดูดมาใช้ได้ในรูปของ Zn^{2+} หรือรูปของสังกะสีคีเลท (zinc chelades) ในสารละลายดินกับสังกะสีแลกเปลี่ยนได้ สังกะสีจะเป็นประโยชน์ต่อพืชง่ายในดินกรด คืออยู่ในรูป Zn^{2+} แต่ถ้า pH สูงกว่า 7.7 จะเป็น $Zn(OH)^{+}$ และในสภาพด่างจัดคือ pH 9.1 ขึ้นไปจะตกตะกอนเป็น $Zn(OH)_2$ หรือ $ZnCO_3$ (ยงยุทธ, 2546; ดนัย, 2544) บทบาทสำคัญของสังกะสี (สมบุญ, 2544) ดังนี้คือ

1) เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่สำคัญหลายชนิดเช่น เอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส (dehydrogorase enzyme) ชนิดต่างๆ ได้แก่ แล็กติกแอซิค ดีไฮโดรจีเนส กลูทามิกแอซิค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดีไฮโดรจีเนส แอลกอฮอล์ ดีไฮโดรจีเนส ไพริมิดีนนิวคลีโอไทด์ ดีไฮโดรจีเนส และเอนไซม์บางชนิด เช่น คาร์บอนิกแอนไฮเดส (carbonic anhydase) จะมีสังกะสีเป็นองค์ประกอบ

2) ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ทริปโทเฟน (tryptophan) เพราะสังกะสีมีบทบาทต่อการสร้างทริปโทเฟน ซึ่งเป็นสารหลักในการสร้างออกซิน

3) เกี่ยวข้องกับสังเคราะห์โปรตีน อาการขาดธาตุสังกะสีมักจะพบใบมีขนาดเล็ก (little leaf) อาการแคระแกร็น ข้อปล้องสั้น ใบเป็นกระจุก (rosette) พบในพืชหลายชนิด

ทองแดง (Copper)

ทองแดงในดินรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชคือ คิวปริกไอออน (Cu^{2+}) ซึ่งมีมากและคิวปรัสไอออน (Cu^{+}) ซึ่งมีน้อย ดินมีอิทธิพลต่อรูปของทองแดงในดิน กล่าวคือ ดินเป็นกรด กรดปานกลางและเป็นกลางจนถึงเป็นด่าง ทองแดงในสารละลายดินส่วนมากจะอยู่ในรูป Cu^{2+}, $Cu(OH)^{+}$ และ $Cu(OH)_2$ ซึ่งสองรูปหลังเป็นประโยชน์ต่อพืชน้อยกว่ารูปแรก (ยงยุทธ, 2546) หน้าที่สำคัญของทองแดงมีดังนี้ (สมบุญ, 2544; นิตย์, 2541)

1) เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ หรือโปรตีนหลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับการออกซิไดซ์ และการรีดิวส์ที่เห็นได้ชัดเจนที่สุด คือ ไซโทโครมออกซิเดส (cytochrome oxidase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ในกระบวนการหายใจที่เกิดในไมโตคอนเดรีย (mitochondria)

2) เป็นตัวคะตะลิสส์ หรือเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของเอนไซม์บางชนิด เช่น ฟีนอเลส (phenolase) แลคเคส (laccase) และแอสคอนิกแอซิดออกซิเดส (ascorbic acid oxidase)

3) บทบาทในกระบวนการสังเคราะห์แสง ทองแดงในคลอโรพลาสต์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบในโปรตีน พลาสโทไซยานิน (plastocyanin) ซึ่งเป็นโปรตีนอีกชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่รับส่งอิเล็กตรอนในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ในกระบวนการสังเคราะห์แสง

4) ช่วยในการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจ

พืชมักไม่แสดงอาการขาดธาตุทองแดงเพราะพืชมีความต้องการน้อยมาก แต่ก็ขาดไม่ได้ ถ้าพืชได้รับทองแดงไม่เพียงพอจะแสดงอาการที่ใบอ่อนมีสีเขียวเข้มผิดปกติ และบิดเบี้ยว อาจจะเกิดจุดสีน้ำตาลด้วย (ดนัย, 2544) อาการขาดทองแดงจะแตกต่างกันไปในแต่ละชนิดพืชที่พบทั่วไปคือ การเจริญเติบโตลดลง ปล้องสั้น เมล็ดลีบ ปลายใบอ่อนมีสีซีดหรือขาว (ดิเรก, 2550) ใบอ่อนเหลือง ใบอ่อนตายและเกิดยางไหลในพืชตระกูลส้ม (ศรีสม, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 ผลของธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของพืช

รากพืชจะดูดธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตในรูปเกลือที่ละลายน้ำ ซึ่งมีรูปแบบแตกต่างกันได้แก่ ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน พืชได้รับจากอากาศ และน้ำ ในกระบวนการสังเคราะห์แสง (CO_2 + H_2O) ขณะที่ไนโตรเจนพืชอาจได้รับจากกระบวนการตรึงไนโตรเจนจากอากาศที่นอกเหนือจากการดูดจากดิน และสารละลาย ส่วนธาตุอื่นๆ พืชมักได้จากดินและสารละลายเช่นกัน พืชจะดูดธาตุอาหารหลักสูงกว่าจุลธาตุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและสภาพแวดล้อม (สมบุญ, 2544) ระยะการเจริญ และพัฒนาต้นกล้วยไม้ระยะต่างๆ มีความต้องการธาตุอาหารแต่ละชนิดในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนี้ ระยะลูกกล้วยไม้ (ต้นกล้าที่นำออกจากขวด) ระยะไม้รุ่น (ระยะใกล้ออกดอก) ระยะไม้เริ่มออกดอก และระยะไม้แทงช่อ นอกจากนี้สภาพแวดล้อมก็ส่งผลต่อการเลือกใช้ชนิด และปริมาณปุ๋ยได้แก่ วัสดุปลูก ฤดูกาล และระยะปลูก (ครรชิต, 2547) จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในพืช เป็นแนวทางที่จะใช้เพื่อแนะนำการใช้ปุ๋ย (fertilizer recommendation) ตามกฎของ Law of the minimum ว่า “ หากพืชได้รับธาตุอาหารอื่นๆ เพียงพอแล้ว การเจริญเติบโตของพืชจะถูกจำกัดด้วยธาตุหนึ่ง ซึ่งมีอยู่น้อยสุด ” และนักพฤกษศาสตร์ ชาวเยอรมัน Julius von Sachs สาธิตให้เห็นว่า ธาตุอาหารที่พืชเคยได้รับจากวัฏภาคของแข็ง (solid phase) ในดินนั้นสามารถทดแทนได้ด้วยการให้ธาตุอาหารแก่พืชในรูปสารละลาย (ยงยุทธ, 2546)

ครรชิต (2547) รายงานว่า กล้วยไม้ในระยะกล้าควรให้ปุ๋ยที่มีไนโตรเจนสูง เพื่อเร่งต้นและใบ ส่วนฟอสฟอรัสสูงจะเร่งระบบรากโดยให้อัตรา 3 : 1 : 1 และ 1 : 2 : 1 ให้อย่างละครั้งต่อเดือน และให้สูตรเสมอ 1 : 1 : 1 2 ครั้งต่อเดือน ส่วนไม้รุ่นที่มี 4 ลำขึ้นไปใกล้ออกดอกควรให้ฟอสฟอรัสอัตรา 1 : 2 : 1 และ 1 : 1 : 1 โดยให้ 2 ครั้งต่อเดือน กล้วยไม้ที่เริ่มออกดอกนั้นให้ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูง คือ 16-21 : 27 และ 20-20-20 อัตรา 50-100 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร Wang (2000) ได้ศึกษาผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการออกดอกของ *phalaenopsis* TAM Butterfly โดยให้ปุ๋ย N : P : K จำนวน 2 สูตร และอัตราส่วนที่ใช้คือ 100 : 44 : 83 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 30 : 398 : 506 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า การให้ฟอสฟอรัสความเข้มข้นสูงไม่มีผลต่อการเร่งให้ *phalaenopsis* แทงช่อดอกเร็วขึ้น รวมถึงขนาดของดอก และการบานของดอก นอกจากนี้ฟอสฟอรัสสูงยังส่งผลให้จำนวนดอกต่อช่อน้อยกว่าเมื่อใช้ N : P : K ที่อัตรา 100 : 44 : 83 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ Poole and Seeley (1978) ได้ศึกษาระดับธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ 3 สกุลได้แก่ *Cattleya, Cymbidium* และ *Phalaenopsis* พบว่า ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อสกุล *Cymbidium* และ *Phalaenopsis* คือ ไนโตรเจน 100 ส่วนต่อล้าน, โพแทสเซียม 50-100 ส่วนต่อล้าน และแมกนีเซียม 25 ส่วนต่อล้าน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนกล้วยไม้สกุล *Cattleya* ความเข้มข้นของไนโตรเจน โพแทสเซียม และแมกนีเซียมที่เหมาะสม คือ อย่างละ 50 ส่วนต่อล้าน

Pan *et al.* (1997) รายงานว่า การให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเตรต (NO_3^-) อัตรา 1 และ 10 มิลลิโมล ทำให้จำนวนดอก และใบของ *Cymbidium sinense* เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นของ NH_4-N และ NO_3-N ที่ 50 มิลลิโมล ทำให้จำนวนใบ และดอกลดลง สอดคล้องกับ Chen (1994) ได้ศึกษาผลของการให้ NO_3^- และ NH_4^+ ในความเข้มข้นต่างกันต่อการออกดอกของกล้วยไม้ *Cymbidium sinense* ที่ความเข้มข้น 1, 10 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า *Cymbidium sinense* สามารถสร้างตาดอกได้เมื่อให้ NO_3^- ที่ความเข้มข้น 1 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วน NO_3^- ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ NH_4^+ ทุกความเข้มข้นไม่สามารถชักนำให้เกิดตาดอกได้ การศึกษาการดูด NH_4^+ และ NO_3^- ของกล้วยไม้ในเขตร้อนที่ขึ้นตามพื้นดิน และตามต้นไม้ จำนวน 3 ชนิดคือ *Bromhendia finlagsonia, Cymbidium sinense* และ *Dendrobium* White Fairy พบว่า อัตรา NO_3^- ที่มีอยู่ใน *Cymbidium* และ *Bromheadia* 0.3-0.4 ไมโครโมลต่อกรัมน้ำหนักสดต่อชั่วโมง สำหรับ *Dendrobium* มี 0.9 ไมโครโมลต่อกรัมน้ำหนักสดต่อชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการปลูกเลี้ยงด้วย นอกจากนั้นเนื้อเยื่อก็เป็นปัจจัยสำคัญในการไหลเข้าของ NO_3^- และ NH_4^+ กิจกรรมของ nitrate reductase (NR) และ glutamine symthetase พบทั้งในใบ และรากของกล้วยไม้ (Hew *et al*.,1993)

YunZhai and SiQing (2005) รายงานผลของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ที่ระดับต่างกันต่อการเกิดตาดอก และคุณภาพดอกของ *Cymbidium* ลูกผสม พบว่าโพแทสเซียม มีส่วนสำคัญต่อการพัฒนาของตาดอกมากกว่าไนโตรเจน และฟอสฟอรัส นอกจากนี้ไนโตรเจนยังมีอิทธิพลต่อการพัฒนาของหน่อ ตาดอก และคุณภาพดอก ซึ่งมีผลต่อจำนวนดอกต่อช่อ และโพแทสเซียมทำให้ดอกมีขนาดใหญ่จากการทดลองระดับของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เหมาะสมต่อการเกิดตาดอก และคุณภาพดอกของ *Cymbidium* คือ 2.4 : 1 : 2.6

การศึกษาความเข้มข้นของระดับไนโตรเจนที่ต่างกันร่วมกับ ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ *Vanda* Miss Joaquim โดยให้ไนโตรเจนความเข้มข้น 0, 150 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับฟอสฟอรัส 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และโพแทสเซียม 275 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ฟอสฟอรัส 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับโพแทสเซียม 275 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลผลิตดอกมากที่สุด ไนโตรเจนที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับฟอสฟอรัส 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ความสูงต้นมากที่สุด และความกว้างของลำลูกกล้วยไม้กว้างที่สุด เมื่อใช้ไนโตรเจนความเข้มข้นที่ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมกับโพแทสเซียม 275 มิลลิกรัมต่อลิตร (Higaki and Imamura, 1978)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พชร (2550) ศึกษาผลของไนโตรเจน 3 ระดับ คือ 100, 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับฟอสฟอรัส 2 ระดับ คือ 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ *Phalaenopsis* ลูกผสม พบว่า การให้ไนโตรเจนที่ระดับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับการให้ฟอสฟอรัสที่ระดับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้มีความสูงของต้นมากที่สุดคือ 5.21 เซนติเมตร นอกจากนี้ Kim *et al.*(1999) รายงานผลการศึกษากล้วยไม้ *Phalaenopsis* กับปุ๋ย 4 สูตร คือ 6.5N-4.5P-19K, 6N-40P-6K, 8N-14P-12K และ 5N-4P-6K พบว่า เมื่อใช้ปุ๋ยสูตร 6N-40P-6K มีผลทำให้ปริมาณความเข้มข้นไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในใบและรากมีปริมาณมากที่สุด นอกจากนี้ยังมีผลทำให้ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส และกลูโคสมากที่สุดอีกด้วย Wang (1996) ศึกษาสูตรของปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ *Phalaenopsis* โดยให้ปุ๋ย N : P_2O_5 : K_2O 6 สูตรดังนี้ คือ 10 : 30 : 20, 15 : 10 : 30, 15 : 20 : 25, 20 : 5 : 19, 20 : 10: 20 และ 20 : 20 : 20 พบว่า การเติบโตของใบ ขนาดของใบ พื้นที่ใบทั้งหมด น้ำหนักของยอดและรากไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีความแตกต่างของจำนวนใบโดยปุ๋ยสูตร 10N-13.1P-16.6K (10-3-20) ให้ต้นที่มีจำนวนใบมากกว่าการให้ปุ๋ยสูตร 20N-8.7P-16.6K (20-20-20) ถึง 12 เปอร์เซ็นต์

ชมัยพร และโสระยา (2553) ศึกษาผลระดับแคลเซียม และแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ *Vanda* Sansai Blue โดยให้แคลเซียมต่างกัน 6 ระดับคือ 0, 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า สารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของแคลเซียม 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ความสูงของต้นมากที่สุด ส่วนการให้แมกนีเซียมที่มีความเข้มข้นต่างกัน 6 ระดับคือ 0, 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า สารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของแคลเซียม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลต่อการเจริญเติบโตด้านความสูงต้น จำนวนใบต่อต้น ความกว้างใบ ความยาวใบ และความหนาใบของแวนดาสันทรายบลูมากที่สุด

การศึกษาผลของระดับปุ๋ยที่ให้ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อ พบว่า การให้ปุ๋ย N: P: K ร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีผลต่อปริมาณ N : P : K ในใบของกล้วยไม้สกุลหวาย *Dendrobium* cv. Sonia-17 โดยการให้ N : P : K (30 : 10 : 10) ร่วมกับ BA ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และ N : P : K อัตรา 10 :10 :10 ร่วมกับการให้ BA ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ปริมาณไนโตรเจนที่ใบสูงถึง 2.73 เปอร์เซ็นต์ และ N : P : K ที่อัตรา 10 : 10 : 10 ร่วมกับการให้ BA ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีปริมาณโพแทสเซียมในใบสูง 0.54 และ 2.36 เปอร์เซ็นต์ (Devi and Chezhiyan, 2002) คีตวัชร์ (2547) ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนและความเข้มข้นไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ร่วมกับความถี่ของการให้ปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตของเลลิโอแคทลียา เมม.โรเบิร์ตสเตรท พบว่า อัตรา 2.3 : 1 : 3 ให้ค่าเฉลี่ยของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จำนวนลำลูกกล้วยไม้เลลิโอแคทลียา เมม.โรเบิร์ตสเตรท มากกว่า การให้ที่อัตรา 2.3 : 1 : 2.3 โดยการให้ความเข้มข้นไนโตรเจนที่ 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ค่าเฉลี่ยความยาวลำลูกกล้วย เส้นผ่าศูนย์กลางลำลูกกล้วย ความยาวใบ และความกว้างใบมากกว่าการให้ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และการให้ปุ๋ย 3 วันต่อครั้ง มีค่าเฉลี่ยความสูงของลำลูกกล้วย และความยาวใบมากกว่าการให้ปุ๋ยที่ 6 วันต่อครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับ ดาราพงษ์ (2547) รายงานว่า การให้ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ร่วมกับอัตราการให้ปุ๋ยของกล้วยไม้ช้างแดง ในระยะไม้นิ้ว พบว่า การให้ ไนโตรเจน: ฟอสฟอรัส: โพแทสเซียม (3.2 : 1 : 3) ทำให้มีความสูงต้นมากกว่าการให้ที่อัตรา 2.3 : 1 : 2.3 ส่วนการให้ไนโตรเจนที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้กล้วยไม้ช้างแดงมีความยาวใบและความสูงต้นมากที่สุด ส่วนการให้ปุ๋ย 3 วันต่อครั้ง มีผลให้ความกว้างใบ จำนวนใบ และความสูงต้นมากกว่าการให้ปุ๋ยที่อัตรา 6 วันต่อครั้ง

การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนและความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ร่วมกับความถี่ของการใช้ปุ๋ยต่อการเจริญเติบโต และอัตราการรอดของกล้วยไม้เอื้องแซะหอม ในระยะกล้วยไม้นิ้ว พบว่า การให้ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมอัตรา 2.3 : 1 : 2.3 ร่วมกับสารละลายปุ๋ยความเข้มข้นของไนโตรเจน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนโตรเจน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้ความยาวใบ ความกว้างหัว และความกว้างใบมากที่สุด (กีรติ , 2546)

พชร (2550) รายงานว่า การให้ปุ๋ยทุก 2 วัน ทำให้พืชมีความเข้มข้น และปริมาณของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียมในใบกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิส มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น แต่พบว่า ทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียม แคลเซียม และเหล็กในใบลดลง ในทางตรงข้ามการให้ปุ๋ยทุก 2 วัน และทุก 7 วัน ทำให้ปริมาณของโพแทสเซียม แคลเซียม แมงกานีส สังกะสี และเหล็กในใบมากกว่าการให้น้ำประปาเพียงอย่างเดียว จากการศึกษาพบว่า การให้ปุ๋ยทุก 7 วัน เป็นอัตราการให้ปุ๋ยที่เหมาะสมกับกล้วยไม้ฟาแลนนอปซิสลูกผสมมากที่สุด ทั้งด้านการเจริญเติบโต และปริมาณธาตุอาหาร

การศึกษาระดับของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตของแกลดิโอลัส พันธุ์สปริทไฟร์ โดยให้ปุ๋ย 1) ไนโตรเจน 3 ระดับคือ 100, 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร 2) ฟอสฟอรัส 2 ระดับคือ 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร 3) โพแทสเซียม 3 ระดับคือ 50, 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ระดับของไนโตรเจนที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้พืชมีความสูงต้น อายุการบานของดอก และจำนวนหัวย่อยมากกว่ากรรมวิธีอื่นและฟอสฟอรัสที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้พืชมีความสูง จำนวนดอกต่อช่อ ตลอดจนคุณภาพหัวพันธุ์ ได้แก่ น้ำหนักหัว และเส้นผ่าศูนย์กลางหัวมากกว่ากรรมวิธีอื่น ส่วนระดับของโพแทสเซียมไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ผลการทดลองชี้ให้เห็นระดับของธาตุอาหาร ในสารละลายที่เหมาะสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กับแกลดิโอลัส ธาตุไนโตรเจน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ธาตุฟอสฟอรัส 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และโพแทสเซียม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร (โสระยา และคณะ, 2552) นอกจากนี้ Kumar *et al*. (2001) รายงานผลของการศึกษาธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ต่อคุณภาพและปริมาณผลผลิตของ แกลดิโอลัสพันธุ์ Tropic Sea ให้พืชได้รับธาตุอาหารต่างกันดังนี้ ไนโตรเจน 40, 50 และ 60 กรัมต่อตารางเมตร ฟอสฟอรัส 10, 20 และ 30 กรัมต่อตารางเมตร และโพแทสเซียม 20 กรัมต่อตารางเมตร พบว่า พืชได้รับไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม 50 : 10 : 20 กรัมต่อตารางเมตร ทำให้ช่อดอก จำนวนดอกต่อช่อ เส้นผ่าศูนย์กลางของดอก จำนวนดอกบาน ขนาด น้ำหนักแห้ง และจำนวนมากที่สุด Thomas *et al*. (1998) ศึกษาผลของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตการออกดอก ผลผลิตและคุณภาพหัวฟรีเซีย พบว่า การให้ไนโตรเจนที่ระดับความเข้มข้น 600-800 กรัมต่อตารางเมตร และฟอสฟอรัส 200 กรัมต่อตารางเมตร ทำให้ใบของฟรีเซียแข็งแรง การบานของดอก และการเจริญเติบโตของหัวใหม่ดี

2.4 ปริมาณของธาตุแต่ละชนิดในเนื้อเยื่อพืช

ธาตุอาหารมหัพภาค คือธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณมาก ความเข้มข้นของธาตุโดยน้ำหนักแห้ง เมื่อพืชเจริญเต็มวัยสูงกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมและกำมะถัน ส่วนคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน

ธาตุอาหารจุลธาตุ (micronutrient elements) คือธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณน้อย ความเข้มข้นธาตุโดยน้ำหนักแห้ง เมื่อพืชเจริญเต็มวัยต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้แก่ โบรอน คลอรีน ทองแดง เหล็ก แมงกานีส โมลิบดีนัม สังกะสีและนิลเกิล (ยงยุทธ, 2546) ดัง (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช ซึ่งเป็นระดับที่คาดว่าเพียงพอสำหรับพืชทั่วไป

ธาตุ	น้ำหนักอะตอม	ความเข้มข้นคิดต่อน้ำหนักแห้ง ไมโครโมล/กรัม	ppm หรือ %	จำนวนอะตอมของธาตุเมื่อเทียบกับจำนวนอะตอมโมลิบดีนัม
			ppm	
Mo	95.95	0.001	0.1	1
Cu	63.54	0.10	6	100
Zn	65.38	0.30	20	300
Mn	54.94	1.0	50	1,000
Fe	55.85	2.0	100	2,000

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

B	10.82	2.0	20	2,000
Cl	35.46	3.0	100	3,000
			%	
S	32.07	30	0.1	30,000
Mg	24.32	80	0.2	80,000
Ca	40.08	125	0.5	125,000
K	39.10	250	1.0	250,000
N	14.01	1,000	1.5	1,000,000
O	16.00	30,000	45	3,000,0000
C	12.01	40,000	45	4,000,0000
H	1.01	60,000	6	6,000,0000

ที่มา : ปรับปรุงจาก Epstein (1965) อ้างโดย (ยงยุทธ, 2546)

2.5 การขาดธาตุอาหารในพืช

ธาตุอาหารมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารอินทรีย์ภายในพืชเช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน ฮอร์โมน กรดอะมิโน และกรดอินทรีย์ต่างๆ เป็นต้น ดังนั้น หากพืชได้รับธาตุอาหารไม่พอเพียงจะแสดงอาการผิดปกติเกิดขึ้น ทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ (โสระยา, 2547)

หากในวัสดุปลูกพืชมีธาตุอาหารธาตุหนึ่งในปริมาณต่ำมากในขณะที่มีธาตุอื่นในระดับเพียงพอ การเพิ่มธาตุอาหารที่ขาดแคลนลงไป พืชจะมีการตอบสนองด้านการเจริญเติบโตเช่น น้ำหนักแห้ง ซึ่งระดับความต้องการธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืช สามารถแบ่งได้ 3 ระยะดังนี้คือ

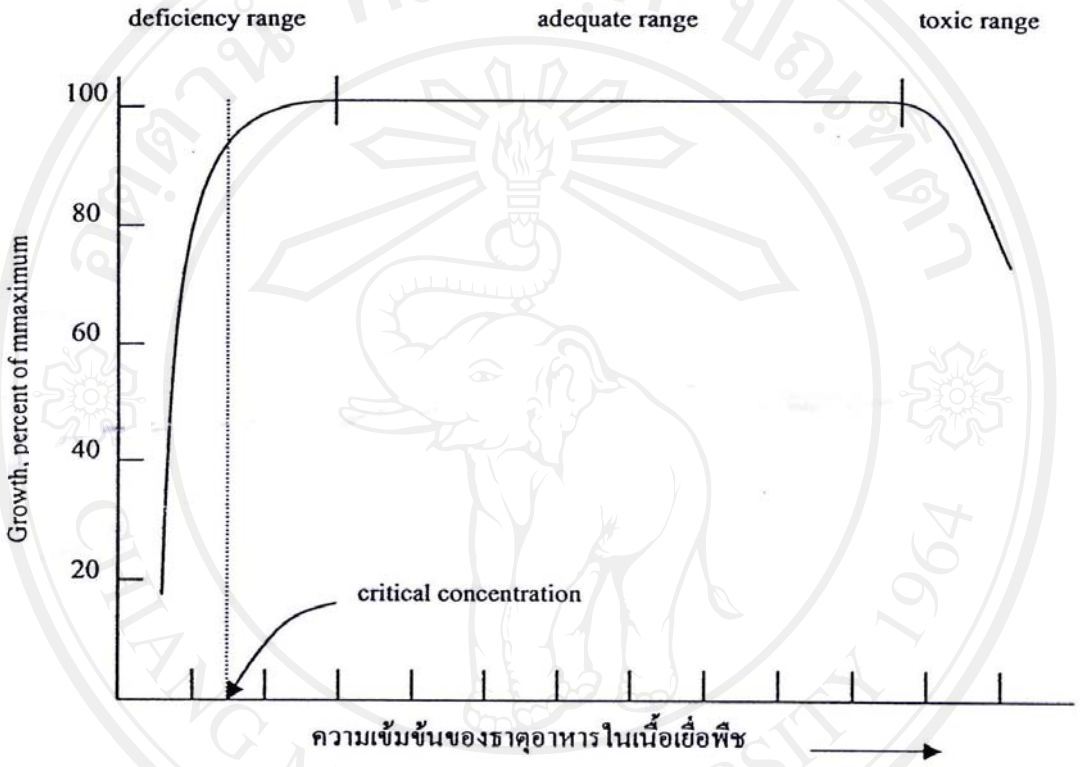
1) ระยะอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น เมื่อเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืชในช่วงที่พืชขาดแคลนธาตุอาหารเรียกว่า พิสัยขาดแคลน (deficiency range)

2) เมื่อพืชเจริญเติบโตถึงจุดสูงสุดแล้วหากได้รับธาตุอาหารเพิ่มขึ้นก็ไม่ทำให้การเจริญเติบโตหรือผลผลิตเพิ่มขึ้นเรียกว่า พิสัยเพียงพอ (adequate range)

3) ระดับอัตราการเจริญเติบโตลดลง เมื่อเพิ่มธาตุอาหารให้พืชมากขึ้นแต่กลับทำให้การเจริญเติบโตหรือผลผลิตลดลงเรียกว่า พิสัยเป็นพิษ (toxic range) สำหรับจุดความเข้มข้นวิกฤต (critical concentration) เป็นระดับของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืช ซึ่งต่ำกว่าระดับที่พืชมีการเจริญเติบโตที่เหมาะสม (optimum growth) เพียงเล็กน้อย ถ้าพืชได้รับธาตุอาหารต่ำกว่าจุดวิกฤตนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเจริญเติบโตของพืชจะไม่สมบูรณ์ เกิดอาการขาดธาตุอาหาร (deficiency symptom) ทำให้ผลผลิตพืชลดลง (สมบุญ, 2544; ยงยุทธ, 2546) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของพืชกับปริมาณธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืช

ความผิดปกติของพืชเนื่องจากธาตุอาหาร (Nutrient disorder) (ยงยุทธ, 2546)

ความผิดปกติของพืชอันเนื่องมาจากธาตุอาหารที่พืชได้รับไม่เพียงพอแก่การดำรงชีวิตจึงทำให้ขาดแคลน (dficiencies) และเมื่อพืชได้รับธาตุอาหารมากเกินกว่าที่พืชจะทนได้จะเป็นพิษ (toxicities) ซึ่งความผิดปกติของพืชเนื่องจากธาตุอาหารมีดังนี้

1) ธาตุอาหารของพืชในดินหรือวัสดุปลูกมีปริมาณน้อย ทำให้พืชขาดแคลน และถ้ามีธาตุอาหารมากแต่ไม่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ ก็ทำให้พืชขาดแคลน และเป็นพิษได้ ดินเป็นกรดหรือด่างสูงเกินไปจะทำให้ความเป็นประโยชน์ของเหล็ก ทองแดง สังกะสี และแมงกานีส ต่ำในดินด่าง แต่จะสูงขึ้นในดินกรด ส่วนแคลเซียมและแมกนีเซียมสูงในดินด่างแต่จะมีปริมาณต่ำในดินกรด นอกจากนั้นการใส่โพแทสเซียมมากเกินไป ทำให้พืชดูดแคลเซียมและแมกนีเซียมได้น้อยลง และการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราสูง เป็นสาเหตุให้พืชขาดเหล็ก และสังกะสี แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชนิดของพืชด้วย เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีสภาพไว (sensitivity) ต่อความขาดแคลนธาตุอาหารต่างกัน ปริมาณความต้องการไม่เท่ากัน และความสามารถของรากพืชที่จะสกัดธาตุอาหารมาใช้ประโยชน์ต่างกันด้วย

2) อาการผิดปกติของพืชเกิดขึ้นเมื่อขาดหรือเป็นพิษจากธาตุอาหารและความเค้นจากสิ่งแวดล้อม (environmental stress) เช่น แสง อุณหภูมิ น้ำ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และธาตุอาหาร ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการเกิดคลอโรซิส (chlosis) และเนโครซิส (necrosis)

3) อาการขาดธาตุที่ปรากฏให้เห็นต้นแคระแกร็น ใบเหลืองเรียวเล็กและรูปทรงผิดเพี้ยน ซึ่งเกิดจากความเสียหายของเมแทบอลิซึม (metabolism) ในเซลล์พืช เช่น พืชขาดโบรอนตายอดจะตาย ดอก และใบบิดเบี้ยวผิดส่วน (distortion) หรือพืชขาดไนโตรเจนและแมกนีเซียม ทำให้ใบพืชมีสีซีดลง ผิวสีเหลือง เนื่องจากธาตุทั้งสองเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll II) อาการขาดธาตุหรือความเป็นพิษของธาตุเหล่านี้สามารถสังเกตด้วยตาเปล่าได้

อาการขาดธาตุไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชมีความต้องการในปริมาณมาก ถ้าพืชขาดพืชจะสูญเสียสีเขียว ใบมีลักษณะเล็กและแคบ แสดงอาการเหลือง เกิดสภาวะพร่องคลอโรฟิลล์หรืออาการคลอโรซิส (chlorosis) ใบพืชมีสีเหลืองโดยจะเกิดจากใบล่างก่อน ใบจะมีสีซีดกว่าปกติและใบแก่จะร่วงก่อนกำหนด การแตกใบอ่อนและหน่อไม่ดี ทั้งต้นแคระแกร็น (ปฐพีชล, 2547; ดิเรก, 2550)

Yen *et al*. (2000) ศึกษาผลของการขาดธาตุอาหารต่อการพัฒนาใบและรากใน *Spathiphyllum* พบว่า การขาดไนโตรเจนทำให้จำนวนใบ พื้นที่ใบและปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงเช่นเดียวกับการให้น้ำกลั่นเพียงอย่างเดียว

การศึกษาการขาดธาตุอาหารในหงส์เหิน พบว่า หงส์เหินที่ขาดไนโตรเจนต้นแคระแกร็น มีความสูงเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 20.85 เซนติเมตร รากมีการแตกแขนงน้อย ใบมีขนาดเล็กเป็นสีเหลืองอมเขียว และเปลี่ยนเป็นสีเหลืองในที่สุด มีจำนวนใบต่อต้น 13.75 ใบ จำนวนช่อดอกต่อกอเฉลี่ย 1.62 ช่อ และไม่มีดอกจริง ใบประดับมีสีชมพูซีด การขาดไนโตรเจนยังมีผลทำให้ปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมลดลง (วัชรพล และโสระยา , 2546)

Ruamrungsri *et al*. (1996) รายงานว่า นาร์ซิสซัสพันธุ์ Garden Giant ที่ขาดไนโตรเจน พบว่าการเจริญของยอดชะงัก

ทรงสุดา (2546) ศึกษาผลของการขาดธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในกล้วยไม้ สกุลหวายพันธุ์ วุลแลงสีขาวและพันธุ์ชาแนลสีชมพู พบว่า การขาดธาตุ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไนโตรเจนมีผลทำให้จำนวนใบและความเข้มของสีใบลดลงไปมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม และการขาดธาตุไนโตรเจนในกล้วยไม้พันธุ์ วุลแลงสีขาว ส่งผลกระทบต่อความเข้มข้นของโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมและเหล็ก ส่วนพันธุ์ชาแนลสีชมพู การขาดไนโตรเจนส่งผลต่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และเหล็กในพืช

รายงานผลของการขาดธาตุอาหารในฟรีเซีย พบว่า การขาดธาตุไนโตรเจน ทำให้ใบมีขนาดเล็กมีสีเหลืองอมเขียว และเปลี่ยนเป็นสีเหลืองในที่สุด มีความยาวก้านดอกและเส้นผ่าศูนย์กลางหัวพันธุ์ลดลง และยังทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมต่ำด้วย (หทัย และโสระยา , 2548)

Yoneda *et al*. (1999) ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายต่อการเจริญเติบโต และดอกของกล้วยไม้ *Odontoglossum* ลูกผสม พบว่า การให้ N และ P น้อยทำให้ จำนวนใบ และพื้นที่ใบแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ใบมีลักษณะสีซีดจางลง มีเส้นผ่าศูนย์กลางหัว จำนวนรากลดลง และรากสั้น มีจำนวนก้านดอกน้อย ในขณะที่แกลดิโอลัสที่ขาดธาตุไนโตรเจน พบว่า มีอาการใบเหลืองซีด จำนวนดอกย่อยต่อช่อและจำนวนช่อดอกต่อหัวลดลง (โสระยา, 2547)

Ruamrungsri *et al*. (2003) รายงานว่า การปลูกเลี้ยงปทุมมาในสภาพขาดแคลนธาตุไนโตรเจน ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตช้า ต้นแคระแกร็นใบเหลือง

อาการขาดธาตุฟอสฟอรัส

พืชต้องการฟอสฟอรัส 0.3-0.5% (โดยน้ำหนักแห้ง) เพื่อการเจริญเติบโตในระยะวัฒนภาค (vegetative) ถ้าพืชขาดฟอสฟอรัส ใบจะขยายช้า จึงทำให้ใบเล็ก มีจำนวนใบน้อย และยังส่งผลต่อค่าสัดส่วนระหว่างส่วนเหนือดินกับราก (shoot-root ratio) ลดลงด้วย และยังเป็นสาเหตุทำให้การกระจายตัวของคาร์โบไฮเดรตลงมาอยู่ที่รากมากขึ้น ซึ่งในพืชปกติจะมีฟอสฟอรัสในราก 15.7% ถ้าพืชขาดฟอสฟอรัส รากก็ยังสามารถยืดตัวได้ ในขณะที่ส่วนเหนือดินหยุดการเจริญเติบโตแล้ว และการขาดฟอสฟอรัสยังมีผลกระทบต่อการเจริญพันธุ์ เช่น ออกดอกช้า จำนวนดอก ผลและเมล็ดน้อยลง ใบพืชเสื่อม และร่วงหล่นเร็วกว่าปกติ (ยงยุทธ, 2546) นอกจากนั้นการขาดฟอสฟอรัสทำให้พืชมีการเจริญเติบโตช้า ต้นมีลักษณะเรียวเล็กบางครั้ง ใบอาจเป็นสีเขียวม่วง และยังมีผลทำให้เกิดการพักตัวของตาข้าง (lateral bud dormancy) ด้วย (Bloom, 2006; สมบุญ, 2544)

Yeh *et al*. (2000) ศึกษาอาการขาดธาตุอาหารของเดหลี พบว่า การขาดธาตุฟอสฟอรัสทำให้พืชมีการเจริญเติบโตช้า มีจำนวนใบน้อย พื้นที่ใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และน้ำหนักแห้งน้อย นอกจากนั้นยังทำให้ออกดอกลดลง และการเจริญของยอดอ่อนช้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การขาดธาตุฟอสฟอรัสในฟรีเซีย พบว่า ทำให้ใบแก่ด้านล่างมีลักษณะไม่สมบูรณ์ หงิกงอ ใบสีเขียวเข้มขนาดเล็ก และแคบ มีการแทงช่อดอกล่าช้า ความยาวก้านดอกและเส้นผ่าศูนย์กลางหัวเฉลี่ย 30.00 และ 2.35 เซนติเมตร นอกจากนั้นการขาดฟอสฟอรัส ทำให้ปริมาณธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อของฟรีเซียต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุม (หทัย และโสระยา, 2548) การศึกษาในหงส์เหิน พบว่า หงส์เหินที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส มีอัตราการเจริญเติบโตในด้านต่างๆ ต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุม โดยมีความสูงเฉลี่ย 27.95 เซนติเมตร ใบแก่มีสีเขียวเข้ม จำนวนใบต่อต้น 13.25 ใบ จำนวนช่อดอกต่อกอเฉลี่ย 2.88 ช่อ ใบประดับมีสีชมพูซีด (วัชรพล และโสระยา, 2546) โสระยา (2547) รายงานว่า ในแกลดิโอลัสที่ขาดฟอสฟอรัส พบว่า ทำให้ใบสีเขียวเข้ม ใบล่างเป็นสีม่วง การขาดฟอสฟอรัสยังทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต ใบมีสีเขียวเข้ม บางครั้งมีการสะสมแอนโทไซยานิน (anthrocyanin) ใบแก่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มและตาย พืชจะแก่ช้า (นิตย์, 2541)

อาการขาดธาตุโพแทสเซียม

พืชมีความต้องการธาตุโพแทสเซียม เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้วพืชมีความต้องการอยู่ในพิสัย 2-5 % (โดยน้ำหนักแห้ง) ของอวัยวะด้านวัฒนภาค (vegetative part) ทั้งนี้ยกเว้นพืชชอบโซเดียม (Natrophilic species) ซึ่งความต้องการโพแทสเซียมมีน้อยกว่าพืชทั่วไป โพแทสเซียมมีบทบาทในการควบคุมการเปิดและปิดของปากใบ เมื่อขาดธาตุนี้ช่องปากใบจะเปิดเพียงเล็กน้อย ความต้านทานของปากใบย่อมสูงขึ้น เป็นเหตุให้การแลกเปลี่ยนแก๊สมีอัตราต่ำ และส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงด้วย ใบที่ขาดโพแทสเซียมทำให้มีความเต่งน้อย ขนาดเซลล์และพื้นที่ผิวใบเล็กกว่าใบพืชปกติ นอกจากนั้นการขาดโพแทสเซียมยังทำให้พืชเป็นโรคง่าย (ยงยุทธ, 2546) โพแทสเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายจากใบแก่ไปยังใบอ่อน อาการขาดธาตุนี้มักแสดงที่ใบแก่ในพืชใบเลี้ยงคู่ ใบจะเริ่มซีดแล้วแห้งตายเป็นจุดๆ ส่วนพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ปลายใบและขอบใบจะตายก่อน แล้วลามไปยังส่วนโคน ใบ ลำต้นอ่อนแอ ทำให้รากถูกทำลายโดยเชื้อโรค ทำให้รากเน่าได้ง่าย (นิตย์, 2542) นอกจากนั้นการขาดโพแทสเซียม ใบเหลืองเป็นแนว เกิดที่ใบแก่ก่อนและใบแห้งตายเป็นจุดๆ บริเวณขอบ และปลายใบหรือใบม้วนงอ แล้วแพร่กระจายไปทั่วลำต้น ลำต้นมีปล้องสั้น ส่วนยอดใบเป็นกระจุก เกิดลักษณะที่เรียกว่า โรเซตต์ (rosette) (สมบุญ, 2544) และใบหงิกงอ ด่างที่ปลายใบ และขอบใบ มีการเจริญเติบโตของใบช้า (Bloom, 2006)

Yoneda *et al*. (1999) รายงานว่า *Odontoglossum* ลูกผสมที่ขาดโพแทสเซียม มีผลต่อการพัฒนาของก้านดอก ทำให้ก้านดอกสั้น จำนวนดอกและขนาดดอกลดลง การขาดโพแทสเซียมยังทำให้กล้วยไม้มีต้นแคระแกร็น ใบมีสีเหลือง (Jones, 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การขาดธาตุโพแทสเซียมในฟรีเซีย พบว่า ใบเป็นสีเหลือง และกลายเป็นสีน้ำตาลจากขอบใบสู่กลางใบ ปลายใบเหี่ยวและขอบใบไหม้ มีความยาวก้านดอก และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 34.50 และ 2.12 เซนติเมตร การขาดโพแทสเซียมทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมน้อยกว่ากรรมวิธีควบคุม (หทัย และโสระยา, 2548) การขาดธาตุในหงส์เหิน พบว่า การขาดโพแทสเซียม ทำให้อัตราการเจริญเติบโตในด้านต่างๆ ต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุม โดยพบว่า ความสูงของต้นเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ มีการเพิ่มจำนวนต้นต่อกอช้า มีจำนวนช่อดอกต่อกอ จำนวนใบและน้ำหนักแห้งน้อย ใบมีขนาดเล็ก ใบประดับมีสีชมพูซีด (Yen *et al*., 2000)

อาการขาดธาตุแมกนีเซียม

โดยทั่วไปพืชสะสมแมกนีเซียมในอวัยวะด้านวัฒนภาค (vegetative part) อยู่ในช่วง 0.15-0.35% โดยน้ำหนักแห้ง โดย 6-25% เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ 5-10 % เป็นองค์ประกอบของสารเพกเทต (pectate) ในผนังเซลล์ และตกตะกอนเป็นเกลือที่ละลายยากในแวคคิวโอล และที่เหลือประมาณ 60-90% ละลายน้ำง่าย เมื่อพืชขาดแมกนีเซียมจะสะสมแป้ง และน้ำตาล ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มิได้เป็นโครงสร้าง (nonstructural carbohydrates) มากขึ้น ทำให้พืชมีน้ำหนักแห้งสูงกว่าพืชปกติ (ยงยุทธ, 2546) การขาดแมกนีเซียม ทำให้พืชแสดงอาการ ใบเหลืองระหว่างเส้นใบ-เส้นใบสีเขียว (interveinal chlorosis) เนื้อเยื่อใบตายเป็นจุดๆ (ศรีสม, 2547)

Jones (2007) รายงานว่า การขาดธาตุแมกนีเซียมในกล้วยไม้ทำให้เกิดอาการคลอโรซิสที่ใบ ขอบใบ และระหว่างเส้นใบ ใบหงิกงอและพบอาการใบจุด

Ruamrungsri *et al*. (1996) ศึกษาการขาดธาตุในนาร์ซิสซัส พบว่า การขาดธาตุแมกนีเซียมทำให้พืชแสดงอาการ interveinal chlorosis ที่ปลายใบและการสังเคราะห์แสงลดลงด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Yeh (2000) พบว่า การขาดแมกนีเซียมทำให้ใบบิดเบี้ยว และการสังเคราะห์แสงลดลงในเดหลี ในขณะที่ต้น Navaho blackberry แสดงอาการ interveinalar chlorosis ที่ใบเช่นกัน Spiers (1999) นอกจากนั้นการขาดแมกนีเซียมยังทำให้ใบฉีก เปราะง่าย และร่วงก่อนกำหนด (ดิเรก, 2550)

โสระยา (2547) รายงานว่า อาการขาดธาตุแมกนีเซียมในแกลดิโอลัสมักเกิด interveinal chlorosis กับใบแก่ก่อน นอกจากนี้ยังทำให้การออกดอกล่าช้า แต่ไม่รุนแรงเท่ากับการขาดโพแทสเซียม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาการขาดธาตุแคลเซียม

ความเข้มข้นของแคลเซียมในพืชแตกต่างกันตามสภาพปลูก พันธุ์พืช และอวัยวะต่างกัน ซึ่งแปรผันอยู่ในช่วง 0.1 ถึงมากกว่า 5% โดยน้ำหนักแห้ง พืชใบเลี้ยงคู่ต้องการแคลเซียมมากกว่า พืชใบเลี้ยงเดี่ยว (ยงยุทธ, 2546) แคลเซียมเป็นธาตุที่ไม่เคลื่อนย้าย อาการขาดมักจะปรากฏบริเวณเนื้อเยื่อที่ยังอ่อนอยู่ บริเวณที่เป็นเนื้อเยื่อเจริญของราก ลำต้น ใบ หรือส่วนใดๆ ที่กำลังแบ่งเซลล์ การขาดแคลเซียม ทำให้เนื้อเยื่อบิดเบี้ยวผิดรูปร่าง เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด และปลายรากตาย ใบอ่อนหงิกงอ ปลายใบและขอบใบเหี่ยว ทำให้ผลมีลักษณะผิดปกติเช่น ผลมะเขือเทศเกิดอาการ blossom-end rot (นิตย์, 2541; ศรีสม, 2547) การขาดแคลเซียมทำให้รากพืชเกิดสีน้ำตาล และรากสั้น ถ้าขาดในระดับรุนแรงจะทำให้เนื้อเยื่อเจริญตายก่อนกำหนด (Bloom, 2006)

โสระยา (2547) รายงานว่า นาร์ซิสซัสพันธุ์ ‘Fortune’ ที่ขาดธาตุแคลเซียมแสดงการขาดที่ปลายรากก่อนคือ รากเริ่มเน่าจากนั้นจึงลุกลามไปทั่วราก ทำให้การเจริญของต้นถูกยับยั้งไปด้วย

วัชรพล และโสระยา (2546) ศึกษาการขาดธาตุในหงส์เหินพบว่า การขาดแคลเซียม ใบมีขนาดไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม พบอาการปลายรากมีสีน้ำตาล แต่ในส่วนอื่นๆ ไม่พบอาการผิดปกติใดๆ เมื่อเทียบกับต้นที่ได้รับธาตุอาหารครบ

Yen *et al*. (2000) รายงานว่า เดหลีที่ขาดธาตุแคลเซียม มีการเจริญเติบโต และพัฒนาใบอ่อนช้า มีการเกิดอาการเนื้อเยื่อใบตายที่ขอบใบ กลางใบ และปลายใบ ในการทดลองของ Bautista *et al*. (2009) พบว่า Strawberry ที่ขาดธาตุแคลเซียม ทำให้ปลายใบไหม้และน้ำหนักลดลง แคลเซียมมีความสำคัญต่อคุณภาพดอกออกของแกลดิโอลัส หากขาดจะเกิดอาการ ‘Topple’ โดยก้านดอกหัก ขณะปักแจกัน หากอาการขาดรุนแรง เกิดอาการดอกย่อยไม่นาน กลีบดอกม้วนงอและมีอาการฉ่ำน้ำ (โสระยา, 2547)

อาการขาดธาตุเหล็ก

พืชดูดธาตุเหล็กมาใช้ในรูปของสารประกอบเฟอริกเชิงซ้อน เช่น เฟอริก ซิเทรต หรือสารประกอบเป็บไทด์-คาร์โบไฮเดรต พืชทั่วไปมีระดับขาดแคลนขั้นวิกฤต (critical deficiency level) ของเหล็ก ในใบระหว่าง 50-150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (พืชแห้ง) ซึ่งถือว่าเป็นความเข้มข้นที่ค่อนข้างต่ำ และหากต่ำกว่านี้จะแสดงอาการขาดธาตุ โดยมีผลต่อโครงสร้างของ คลอโรพลาสต์ มีการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์น้อยลง ใบพืชแสดงอาการเหลืองซีด และมีผลต่อการเจริญเติบโตของรากด้วย (ยงยุทธ, 2546) อาการขาดธาตุเหล็กคล้ายๆ กับแมกนีเซียม แต่จะเกิดที่ใบอ่อนก่อนโดย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เหลืองซีดระหว่างเส้นใบต่อจากนั้นเส้นใบ และใบเหลืองทั้งหมด ถ้าขาดรุนแรงใบอ่อนจะมีสีซีดจนขาว และมีจุดสีน้ำตาล (recrotic lesions) (นิตย์, 2541)

Yeh *et al*. (2000) รายงานว่า เดหลีขาดธาตุเหล็กเกิด interveinal chlorosis บนใบอ่อนเท่านั้น รากที่ขาดเหล็กสีขาว และมีการเจริญของขนรากในด้านข้าง มีผลทำให้น้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม แต่ความเข้มข้นของธาตุเหล็กในใบ ไม่มีความแตกต่างกับ control การปลูกเลี้ยงนาร์ซิสซัสพันธุ์ Garden Giant ในสารละลายธาตุอาหารที่ขาดธาตุเหล็ก พบว่า พืชมีอาการโคนใบเหลืองซีด (Ruamrungsri *et al*., 1996)

โสระยา (2547) รายงานการขาดธาตุเหล็กในแกลดิโอลัส พบว่า เกิดอาการ interveinal chlorosis ในใบอ่อน และนำไปสู่อาการเหลืองทั่วทั้งใบ ในดินที่มีทองแดงสูงอาจทำให้ขาดธาตุเหล็กได้ ในขณะที่ดินเป็นเบสมีแคลเซียมมาก (calcareous soil) มักพบว่าพืชเกิดอาการ line-induced chlorosis และถ้าดินเป็นกรดมีสารละลายอะลูมิเนียมมาก จะจำกัดการดูดธาตุเหล็ก (สมบุญ, 2544)

อาการขาดธาตุแมงกานีส

พืชทั่วไปมีระดับขาดแคลนขั้นวิกฤต (critical deficiency level) ของแมงกานีสในใบแก่ 10-20 มิลลิกรัมต่กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ค่อนข้างต่ำ หากต่ำกว่านี้จะทำให้น้ำหนักแห้ง การสังเคราะห์แสงสุทธิ และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ลดลงอย่างรวดเร็ว มีสีเหลืองซีดระหว่างเส้นใบของใบอ่อนมักเกิดขึ้นในพืชใบเลี้ยงคู่ ส่วนพืชใบเลี้ยงเดี่ยวพบจุดสีเทาแกมเขียว (gray speck) ที่ใบล่างๆ อาการขาดแมงกานีสทำให้ใบแห้งตายเป็นจุดๆ ในใบเลี้ยงของต้นกล้า และพืชทั่วไปเกิดใบเหลืองระหว่างเส้นใบหรือ interveinal chlorosis ในใบอ่อนก่อน พร้อมกับการเกิดใบแห้งตาย ใบม้วนงอบิดเบี้ยว และลำต้นแคระแกร็น การขาดธาตุแมงกานีสยังทำให้เยื่อหุ้มไทลาคอยด์ (thylakoid) ผิดปกติซึ่งธาตุแมงกานีสนั้น เกี่ยวข้องกับระบบเยื่อหุ้ม (ดนัย, 2544; สมบุญ , 2544; ยงยุทธ, 2546) นอกจากนี้การขาดธาตุแมงกานีสอาจทำให้เกิดจุดเล็กๆ ที่ใบอ่อน และใบแก่ การเกิดในลักษณะนี้ขึ้นอยู่กับชนิดพืช และการเจริญเติบโตของพืชด้วย (Bloom, 2006)

Jones (2007) รายงานว่า แมงกานีสมีความจำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงและขบวนการ metabolism ของกล้วยไม้ ถ้าขาดพืชจะแสดงอาการ chlorosis ระหว่างพื้นที่ใบกับเส้นใบและเป็นจุดทั่วใบ ทำให้ใบเสียหาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาการขาดธาตุทองแดง

ทองแดงมีอยู่ในใบ 3-5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (พืชแห้ง) อาการขาดทองแดงนั้นขึ้นอยู่กับพันธุ์พืช อวัยวะ ระยะของการพัฒนา และสภาพของธาตุไนโตรเจนที่พืชนั้นได้รับ อาการขาดทองแดงเห็นได้ชัดเจนในพืชยืนต้น คือ ต้นแกร็น ใบอ่อนบิดเบี้ยว เยื่อเจริญที่ยอดตาย ใบอ่อนสีเหลืองซีด และปลายกิ่งแห้ง แล้วลุกลามลงไปยังโคนกิ่ง สำหรับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจะมีการแตกแขนงมาก ส่วนพืชใบเลี้ยงคู่จะมีความแตกตาข้าง จึงมีจำนวนยอดมากกว่าปกติ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ยอดตายไปนั้นเอง (Robson and Reuter, 1981) อ้างโดย (ยงยุทธ, 2546) และเกิดยางไหลในพืชตระกูลส้ม (ดนัย, 2544; ศรีสม, 2547) การขาดทองแดงพืชจะแสดงอาการชะงักการเจริญเติบโต (โสระยา, 2547) ในกล้วยไม้ พบว่า การขาดธาตุทองแดงทำให้ต้นแคระแกร็น การเจริญเติบโตผิดปกติและปลายยอดตาย

อาการขาดธาตุสังกะสี

ระดับขาดแคลนขั้นวิกฤต (critical deficiency level) ของสังกะสี ในใบพืชโดยทั่วไปมีค่าต่ำกว่า 15-20 มิลลิกรัมสังกะสีต่อกิโลกรัม (ใบแห้ง) อาการขาดสังกะสีของพืช พบว่าต้นแกร็นและใบเล็ก (little leaf) ข้อปล้องสั้น ใบเป็นกระจุก (rosette) พบในพืชหลายชนิด เกิดจากพืชขาดออกซิน ในธัญพืชและไม้ผลหลายชนิดพบอาการใบเหลืองระหว่างเส้นใบหรือ interveinal chlorosis เข้าใจว่า สังกะสีมีส่วนเกี่ยวข้องกับการสร้างคลอโรฟิลล์ในพืช และมักพบขอบใบพืชมีสีเขียวอยู่ ในขณะที่แผ่นใบซีดจากโคนใบสู่ปลายใบเซลล์แห้งตายเป็นจุด ใบมักบิดเบี้ยวเสียรูปทรง ขอบใบม้วนงอ โดยเกิดที่ใบแก่ก่อน ต้นแคระแกร็น ซึ่งมักเกิดในดินที่เป็นเบส (สมบุญ, 2544; ยงยุทธ, 2546) และการขาดสังกะสีทำให้ขนาดของใบ และปล้องลดลง เนื่องจากสังกะสีอาจมีส่วนร่วมในการสังเคราะห์ฮอร์โมนพืช สำหรับการเจริญเติบโต เช่น กรดอินโดลแอซิติก (indole-3-acetic acid หรือ IAA) ซึ่งเป็นออกซินกระตุ้นการขยายตัวของเซลล์ และเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด (นิตย์, 2542) Jones (2007) รายงานว่า กล้วยไม้ขาดธาตุสังกะสี ทำให้การเจริญเติบโตต้นแคระแกร็น ใบจะมีสีเหลือง และเป็นจุดๆ สีน้ำตาลที่แผ่นใบ ใบมีขนาดเล็ก และปลายยอดตาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved