บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของหงส์เหิน

หงส์เหินเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวสกุล *Globba* (Larsen, 1980) จัดอยู่ในตระกูล Zingiberaceae (Ridley, 1967) เป็นพืชไม่มีเนื้อไม้ อายุยืน มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนของทวีปเอเชีย มีจุดศูนย์กลางการกระจายพันธุ์อยู่ในเขตเอเชียตะวันตกเฉียงใต้ พบหนาแน่นที่ประเทศมาเลเซียและอินโดนีเซีย ในป่าเมืองไทยมีพืชสกุลนี้ขึ้นกระจายอยู่ทั่วทุกภาค พบได้ตั้งแต่พื้นที่ต่ำจนถึงภูเขาสูง (Larsen, 1980) พืชสกุลนี้อาจมีถึง 40 ชนิด หรือมากกว่า และจากการสำรวจพบว่าแถบภาคเหนือและภาคกลางมีความหลากหลายของพันธุ์สูงกว่าภาคอื่น ๆ (พวงเพ็ญ, 2532) พืชสกุลนี้มีชื่อเรียกแตกต่างกันไป เช่น ดอกเข้าพรรษา กล้วยเครือคำ กล้วยจ๊ะก่า ว่านดอกเหลือง (ศูนย์วิจัยพืชสวนเชียงราย, 2541) กล้วยจั่น ดอกคำน้อย และกล้วยเครือคำเป็นต้น (อดิศร, 2541)

หงส์เหินเป็นพืชหัว ลำต้นใต้ดินประกอบด้วยเหง้าสั้น ๆ ส่วนลำต้นเหนือดินเป็นไม้เนื้ออ่อน ลำต้นตั้งตรง ใบมีลักษณะเป็นรูปไข่ หรือรูปหอก ช่อดอกเป็นแบบ panicle ดอกมีขนาดเล็ก สีเหลือง ขาว หรือ ม่วง กลีบเลี้ยงเป็นหลอด มี 3 แฉก กลีบดอกเป็นหลอดเรียวยาวรูปเรือ ส่วนฐานของกลีบดอกเชื่อมติดกับเกสรตัวผู้ เกิดเป็นหลอดผอม ๆ โค้ง ก้านชูเกสรตัวผู้เรียวยาว อับเรณูเป็นรูปไข่ มี 2-4 อัน ส่วนก้านชูเกสรตัวเมียยาวกว่า รังไข่เป็นรูปตัวไอ (I) ไข่อ่อนกลม มีขนาดเล็ก bulbil เกิดอยู่ในช่อดอก (Ridley, 1967)

***Globba rosea* Gagnep.**

1) ลักษณะทางสัณฐาน (กำปั่น, 2541 ; นิตยา,2544)

ลำต้นเหนือดินมีความสูงประมาณ 25 เซนติเมตร มีกาบใบโอบอยู่รอบปล้องหุ้มส่วนลำต้นไว้ข้างใน ใบเป็นใบเดี่ยว เรียงตัวแบบเวียน ใบประกอบด้วยกาบใบ (leaf sheath) ซึ่งห่อหุ้มปล้องไว้ แผ่นใบ (lamina) ที่มีลักษณะบางเป็นรูปหอก แผ่นใบยาว 7.5-12 เซนติเมตร แผ่นใบบาง ขอบใบเรียบ มีเส้นใบแบบขนาน เส้นกลางใบเห็นเด่นชัด ผิวใบเรียบทั้งสองด้าน ด้านบนสีเขียวเข้ม ด้านล่างสีเขียว หัวที่อยู่ใต้ดินเป็นแบบ rhizome ที่มีรากสะสมอาหารติดอยู่ ส่วนที่แปรรูปมี 2 ส่วน คือ ส่วนของลำต้นใต้ดินซึ่งแปรรูปโดยการหดตัวของปล้องเป็นปล้องสั้นซ้อนกันถี่ และส่วนของรากแปรรูป เมื่อถึงระยะที่มีการสะสมอาหารโคนรากแปรรูปเป็นรากสะสมอาหารโดยที่

ส่วนโคนรากบริเวณที่อยู่ติดกับลำต้นแปรรูปนั้นขยายตัวออกทางด้านข้าง ส่วนปลายของราก สะสมอาหารนี้เป็นระบบรากฝอย รากมีลักษณะเรียวยาวและแตกแขนง รากมีสีน้ำตาลอ่อน

ช่อดอกเกิดที่ปลายยอด ช่อดอกเป็นแบบช่อกระจะ (raceme) ใบประดับอัดแน่น ขนาดประมาณ 1.2x1.8 เซนติเมตร สีชมพูอมม่วง มีลักษณะบาง ใบประดับเกิดบนก้านช่อดอกในลักษณะเวียน ใบประดับเป็นรูปมนรีถึงรูปไข่ ปลายแหลม ผิวเรียบทั้งสองด้าน ขอบนอกมีขน ช่อดอกยาว 6-8 เซนติเมตร ดอกอยู่รวมกันเป็นกลุ่มบริเวณปลายสุดของช่อดอก ซึ่งโดยปกติบานครั้งละ 1 ดอกในแต่ละกลุ่ม ส่วนที่บริเวณซอกใบประดับเกิดหัวย่อย (bulbil) ลักษณะมนรี ปลายมน (obtuse) สีเหลืองหม่นขนาด 3x4 มิลลิเมตร

ดอกย่อยมีลักษณะไม่สมมาตร เป็นดอกแบบสมบูรณ์เพศ กลีบเลี้ยงเชื่อมกันเป็นหลอดรูปร่างคล้ายรูปถ้วย ปลายแยกเป็น 3 แฉกมีขนาดไม่เท่ากัน สีขาว มีขนขึ้นปกคลุม กลีบดอกสีส้มอ่อนเชื่อมกันเป็นหลอดมีขนาดเล็กยาวประมาณ 2.2 เซนติเมตร ปกคลุมไปด้วยขนขนาดเล็ก กลีบดอกมี 3 กลีบ ลักษณะบาง มี 2 กลีบ มีรูปร่างขอบขนาน ปลายแหลมสีเหลือง ผิวเรียบทั้งสองด้าน มีลักษณะเว้าเล็กน้อยขนาด 3.2x5.2 มิลลิเมตร ส่วนอีก 1 กลีบเว้ามากกว่า ขนาด 4.2x6.1 มิลลิเมตร ปลายมน เกสรตัวผู้เป็นหมันมีลักษณะเหมือนกลีบดอก (petaloid) มี 2 อัน รูปร่างมนรีปลายแหลม ฐานเป็นรูปลิ่ม ผิวเรียบทั้ง 2 ด้าน สีส้ม ขนาด 4.2x8.3 มิลลิเมตร กลีบดอกลักษณะคล้ายปาก ห้อยลงเป็นรูปไข่ถึงรูปหอก ส่วนหนึ่งของด้านล่างเชื่อมติดกับก้านชูอับละอองเรณู ส่วนด้านบนจะแยกเป็นอิสระและมีปลายแยกออกเป็น 2 พู สีส้ม ผิวเรียบทั้ง 2 ด้าน เกสรตัวผู้มี 1 อัน ก้านชูอับละอองเรณูบริเวณส่วนบนมีลักษณะโค้ง สีส้ม อับละอองเรณูขนาด 1.2x2.3 มิลลิเมตร มี 2 พู สีครีม แต่ละพูมีปีกสีส้ม 2 ปีกเป็นรูปตัววี (V) ยื่นออกไปด้านข้าง ยอดเกสรตัวเมียมีลักษณะกลม มีขนโดยรอบ ก้านชูยอดเกสรตัวเมียยาวคล้ายเส้นด้ายสีขาวอ่อน ยาวประมาณ 4.3 มิลลิเมตร รังไข่อยู่ในระดับต่ำกว่าส่วนอื่นของดอก ลักษณะค่อนข้างกลม ขนาด 2x2 มิลลิเมตร สีขาว ผิวเรียบ มีขนขึ้นปกคลุม มี 1 ห้อง ไข่อ่อนติดที่ผนังของรังไข่มีจำนวนมาก ผลเป็นแบบ capsule

2) วงจรการเจริญเติบโต (นิตยา, 2544)

หลังจากที่ผ่านระยะพักตัวแล้ว หัวเริ่มมีการเจริญเติบโตโดยเริ่มจากการงอกหน่อใบขึ้นมาจากดิน จากนั้นหน่อใบยืดตัวและมีการคลี่ใบควบคู่ไปกับการยืดตัวของลำต้นจนกระทั่งความสูงและจำนวนใบต่อต้นคงที่ จึงเริ่มแทงช่อดอกออกมาให้เห็น ในขณะที่มีการเจริญเติบโตของช่อดอกนั้นมีหัวย่อยเกิดขึ้นที่ซอกของใบประดับด้วย หัวย่อยเหล่านี้ติดอยู่กับช่อระยะหนึ่งแล้วจึงร่วงจากช่อไป ส่วนใบประดับยังคงแห้งติดอยู่กับช่อ หลังจากนั้นต้นเจริญต่อไปอีกระยะหนึ่ง

แล้วจึงเริ่มเหลืองและแห้งตาย โคนต้นเน่าและหลุดจากส่วนใต้ดิน ในขณะที่ต้นมีการเจริญเติบโตถึงระยะแทงช่อดอก ต้นจะเริ่มสร้างหัวใหม่เพื่อสะสมอาหารและเป็นส่วนขยายพันธุ์ ในระยะนี้มีการขยายขนาดของโคนรากออกเป็นรากสะสมอาหารและรากเหล่านี้จะหยุดขยายขนาดเมื่อส่วนเหนือดินตาย ส่วนของหัวที่อยู่ใต้ดินจะเข้าสู่การพักตัวในเวลาต่อมา สำหรับหัวย่อยซึ่งเจริญเติบโตบนช่อดอกนั้นเมื่อหัวแก่เต็มที่จะหลุดจากช่อดอกแล้วร่วงลงบนพื้นดิน หัวเหล่านี้พักตัวอยู่ระยะหนึ่งแล้วจึงงอกเป็นต้นใหม่ในวงจรการเจริญเติบโตถัดไป

2. ธาตุอาหารกับการเจริญเติบโตของพืช

ตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตจนถึงระยะพักตัว พืชจำเป็นต้องได้รับปริมาณธาตุอาหารอย่างเหมาะสมเพื่อการดำรงชีวิตให้ครบวงจร ดังนั้นธาตุอาหารจึงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช

ไนโตรเจน (Nitrogen)

รากพืชดูดไนโตรเจนจากดินมาใช้ในรูปของเกลือไนเตรต (NO_3^-) และเกลือแอมโมเนีย (NH_4^+) ในพืชบางชนิดมีจุลินทรีย์ช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศ เปลี่ยนมาเป็นรูปเกลือไนเตรทที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ เช่น ในรากพืชตระกูลถั่วมีไรโซเบียมช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้พืชนำไปใช้ได้ (สมบุญ, 2538) การสลายตัวของสารอินทรีย์จากซากพืช ซากสัตว์ และจุลินทรีย์ทุกชนิดจะให้ธาตุไนโตรเจนแก่พื้นที่นั้น (นภดล, 2538) นอกจากนี้พืชอาจได้รับไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์ เช่น ยูเรีย เป็นต้น (สมบุญ, 2538) ไนโตรเจนเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ง่าย (mobile) (นิตย์, 2541) ไนโตรเจนในดินจะสูญเสียง่ายโดยถูกชะล้าง (leaching) ในรูปเกลือไนเตรต หรือเกิดการระเหย (volatilization) ในรูปแอมโมเนีย (สมบุญ, 2538)

ปริมาณความต้องการธาตุไนโตรเจนของพืชขึ้นอยู่กับชนิดของพืช อายุของพืช และฤดูกาล (นพดล, 2538) ประมาณ 80-85 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดในพืช เป็นองค์ประกอบของโปรตีน ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลิอิก และอีก 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบของสารละลายกรดอะมิโน (soluble amino N) (โสระยา, 2544) ปริมาณไนโตรเจนในพืชแม้จะแตกต่างกันตามชนิดของพืช อวัยวะและระยะการเจริญเติบโต แต่โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 2-5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง และประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในคลอโรพลาสต์ (สมบุญ, 2538)

บทบาทของไนโตรเจนในพืช (ยงยุทธ, 2543)

1) เป็นองค์ประกอบของโปรตีนซึ่งมีหน้าที่สำคัญมากในเซลล์โดยเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของไซโทพลาสซึม เนื้อเยื่อ และเอนไซม์ นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนอิสระและสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ เช่น อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (adenosine triphosphate, ATP) และโคเอนไซม์ (co-enzyme) เป็นต้น

2) เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน และเป็นศูนย์ข้อมูลทางพันธุกรรม

3) เป็นองค์ประกอบของฮอร์โมนพืช คือ ออกซิน (auxins) และไซโทไคนิน (cytokinins)

4) เป็นองค์ประกอบของสารประกอบไนโตรเจนที่พืชสะสมไว้ (reserves) เพื่อทำหน้าที่ป้องกัน (protective compounds) เช่น นิโคติน (nicotine) จากใบยาสูบ และมอร์ฟีน (morphine) จากฝิ่น ซึ่งเป็นอัลคาลอยด์ (alkaloid) ทั้งสิ้น

ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

โดยทั่วไปพืชดูดฟอสฟอรัสในรูปสารอนินทรีย์พวกอนุมูลของไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ($H_2PO_4^-$) และไฮโดรเจนฟอสเฟต (HPO_4^{-2}) ปริมาณไอออนทั้งสองชนิดจะมีมากหรือน้อยขึ้นกับค่าความเป็นกรดด่างของดิน ดินที่มีค่า pH ต่ำกว่า 7 ฟอสฟอรัสมักจะอยู่ในรูป $H_2PO_4^-$ ดินที่มีค่า pH สูง ฟอสฟอรัสมักอยู่ในรูป HPO_4^{-2} อนุมูลฟอสเฟตในดินมักจะถูกดูดยึด (adsorb) ในอนุภาคของดินเหนียวทำให้พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้หรืออาจรวมตัวกับธาตุอื่นในดิน สภาพดินที่เป็นกรดหรือด่างมากเกินไป ทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ไม่ได้ เช่น ในสภาพดินที่เป็นด่างมีอนุมูลที่เป็นประจุบวก ได้แก่ แคลเซียมและแมกนีเซียมมาก ทำให้อนุมูลฟอสฟอรัสซึ่งเป็นประจุลบรวมกับอนุมูลที่เป็นประจุบวกเหล่านี้ กลายเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำเป็นรูปที่พืชนำไปใช้ได้น้อย ส่วนในดินที่เป็นกรดมากพบว่า ธาตุอะลูมิเนียมและเหล็กมีมาก ซึ่งจะรวมตัวกับอนุมูลฟอสเฟต ทำให้เกิดตะกอนของอะลูมิเนียมฟอสเฟตและเหล็กฟอสเฟต ทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ ฉะนั้นสภาพดินที่เป็นกลางช่วยให้อนุมูลฟอสเฟตอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้มาก (สมบุญ, 2538) ส่วนใหญ่ฟอสฟอรัสจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์เมื่อเข้าสู่ต้นพืช ฟอสฟอรัสจะไม่ถูกรีดิวซ์ในพืชแต่จะคงอยู่ในรูปฟอสเฟตไม่ว่าจะอยู่อย่างอิสระหรือรวมอยู่ในสารประกอบอินทรีย์ก็ตาม (นิตย์, 2541)

ธาตุฟอสฟอรัสในรูปของเกลือฟอสเฟตละลายน้ำได้ (นพดล, 2538) ทำให้สามารถเคลื่อนย้ายในพืชในทิศทางขึ้นและลงได้ จึงมักพบอนินทรีย์ฟอสเฟตในท่อลำเลียงอาหาร

(โสระยา, 2544) นอกจากพืชจะดูดซึมธาตุฟอสฟอรัสทางรากในรูปของเกลือฟอสเฟตแล้ว รากพืชยังดูดซึมธาตุฟอสฟอรัสในรูปของกรดนิวคลิอิกได้ (นพดล, 2538)

พืชต้องการฟอสฟอรัส 0.3-0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง เพื่อให้การเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative stage) เป็นไปตามปกติ สำหรับระดับฟอสฟอรัสที่ถือว่าเป็นพิษ คือ สูงกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง แต่พืชตระกูลถั่วหลายชนิดไวต่อพิษของธาตุนี้มาก เช่น ถั่วนกพิราบ (*Cajanus cajan*) และถั่วเขียวผิวดำ (*Vigna mungo*) ระดับฟอสฟอรัสเป็นพิษเมื่อมีเพียง 0.3-0.4 และ 0.6-0.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ยงยุทธ, 2543) พบฟอสฟอรัสมากในเมล็ด ผล และเนื้อเยื่อเจริญ (meristematic tissue) (นพดล, 2538)

บทบาทของฟอสฟอรัสในพืช (ยงยุทธ, 2543)

1) เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิกซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีนและเป็นศูนย์ข้อมูลทางพันธุกรรม

2) เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของฟอสโฟลิพิดในเยื่อหุ้มเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

3) เป็นองค์ประกอบของ ATP ซึ่งเป็นสารประกอบพลังงานสูงที่มีบทบาทสำคัญในระบบชีวเคมีของเซลล์

4) เป็นองค์ประกอบของโคเอนไซม์ (coenzyme) บางชนิด ได้แก่ NAD^+ (nicotinamide adenine dinucleotide), $NADP^+$ (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate), FAD (flavin adenine dinucleotide) และ โคเอนไซม์เอ

5) เป็นองค์ประกอบของสารประกอบฟอสเฟตอื่น ๆ เช่น ribulose bis phosphate และ phosphoglyceraldehyde ในวัฏจักรคาลวิน (Calvin cycle) ของกระบวนการสังเคราะห์แสง glucose-6-phosphate, fructose-1,6-diphosphate และ glyceraldehyde phosphate ในไกลโคไลซิส (glycolysis) guanosine triphosphate (GTP) ในวัฏจักรเครบส์ (Kreb's cycle) (ยงยุทธ, 2543) และ phytic acid ในกระบวนการ hydrolysis (นพดล, 2538)

6) กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ ในกระบวนการรีดิวซ์ไนเตรต และช่วยลดความเป็นกรดของน้ำในเซลล์ (cell sap) ด้วย (นพดล, 2538)

โพแทสเซียม (Potassium)

พืชดูดโพแทสเซียมจากดินในรูปโมโนวาเลนต์ โพแทสเซียมไอออน (K^+)โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่ละลายน้ำได้ดี ถูกชะล้างในดินได้ง่าย ในดินโดยปกติจะมีธาตุโพแทสเซียมอยู่มาก แต่ส่วนใหญ่มักจะรวมตัวกับธาตุอื่นหรือถูกยึดในชั้นคอลลอยด์ของดินเหนียว ทำให้เกิดการตรึงโพแทสเซียม (K^+-fixation) ซึ่งโพแทสเซียมจะอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ไม่ได้ จากการสลายตัวของหินเป็นดินมีการปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมา หรือจากปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ในดินและรากพืชบางชนิด มีผลทำให้โพแทสเซียมที่ถูกตรึงในชั้นของคอลลอยด์ในดินถูกปลดปล่อยออกมาและอยู่ในรูปโพแทสเซียมซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้ (สมบุญ, 2538)

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารพืชที่พบมากในบริเวณส่วนอ่อนของพืช เช่น ในเนื้อเยื่อเจริญบริเวณยอดของต้น ปลายราก ตาข้าง ใบอ่อน ในเนื้อใบ (mesophyll) ในใจกลางของต้น (pith) และในท่อลำเลียงอาหาร (phloem) (นพดล, 2538)

แม้ว่าพืชแต่ละชนิดมีความต้องการโพแทสเซียมเพื่อการเจริญเติบโตตามปกติในประมาณที่แตกต่างกันก็ตาม โดยทั่วไปแล้วความต้องการของพืชอยู่ในช่วง 2-5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งของใบ ลำต้น ผล และหัว ทั้งนี้ยกเว้นพืชชอบโซเดียม (natrophilic species) ซึ่งความต้องการโพแทสเซียมมีน้อยกว่าพืชทั่วไป (ยงยุทธ, 2543)

บทบาทของโพแทสเซียมในพืช (ยงยุทธ, 2543)

1) กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ pyruvate kinase และ 6-phosphofructokinase ในกระบวนการสร้างแป้ง และ ATPase ที่เยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการควบคุมศักย์ออสโมซิสของเซลล์

2) ช่วยในการสังเคราะห์และกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ RuBP carboxylase ในกระบวนการสังเคราะห์แสง

3) การควบคุมศักย์ออสโมซิส เนื่องจากเซลล์พืชมีโพแทสเซียมไอออนมากกว่าไอออนอื่น ๆ ธาตุนี้จึงมีส่วนค่อนข้างมากในค่าศักย์ออสโมซิสของเซลล์ด้วย ความสำคัญในแง่นี้ทำให้โพแทสเซียมมีบทบาทต่อการขยายขนาดเซลล์ การปิดและเปิดปากใบ

4) การเคลื่อนย้ายทางท่อลำเลียงอาหาร โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญที่ช่วยให้ซูโครสเข้าสู่ท่อลำเลียงอาหารและมีการเคลื่อนย้ายตัวทำละลายในท่อลำเลียงอาหารได้มากขึ้น หน้าที่ของโพแทสเซียมในเรื่องนี้เกี่ยวข้องกับการรักษาระดับ pH ในหลอดตะแกรง (sieve plate) ให้สูงและคงที่ เพื่อให้ซูโครสเคลื่อนย้ายเข้าสู่หลอดตะแกรงได้สะดวก และการเพิ่มความดันออสโมซิสใน

หลอดตะแกรงบริเวณต้นทางของการเคลื่อนย้ายให้สูง ซึ่งจะช่วยเพิ่มอัตราการลำเลียงสารจากการสังเคราะห์แสง (photosynthates) จากแหล่งจ่าย (source) มายังบริเวณที่สะสม (sink)

5) สมดุลระหว่างประจุบวก โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในการสร้างสมดุลด้านประจุไฟฟ้ากันแนวไอออนที่เคลื่อนย้ายไม่ได้ (immobile) ในไซโทพลาซึมและคลอโรพลาสต์ ตลอดจนประจุลบที่เคลื่อนย้ายได้ ในแวคิวโอล ท่อลำเลียงน้ำ และท่อลำเลียงอาหาร เมื่อเซลล์มีกรดอินทรีย์สะสมอยู่ภายในย่อมเป็นปัจจัยส่งเสริมให้เซลล์ดูด K^+ เข้ามาในรากหรือเซลล์คุม โดยไม่ต้องมีประจุลบติดตามมาด้วย การเคลื่อนย้ายไนเตรตระยะไกลทางท่อลำเลียงอาหารหรือเข้าสู่แวคิวโอลมี K^+ เคียงคู่มาเสมอ เมื่อไนเตรตผ่านกระบวนการรีดักชันไปแล้ว เซลล์จะสังเคราะห์กรดอินทรีย์ เช่น กรดมาลิก (malic acid) เพื่อให้มีสมดุลด้านประจุกับโพแทสเซียมและรักษาระดับ pH ที่เหมาะสมไว้

แคลเซียม (Calcium)

พืชดูดแคลเซียมไปใช้ในรูปไดวาเลนต์แคลเซียมไอออน (Ca^{+2}) แคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายทางท่ออาหารได้ยาก ดังนั้นเมื่อแคลเซียมอยู่ในเนื้อเยื่อพืชแล้วจึงไม่ค่อยเคลื่อนย้ายไปส่วนอื่น ความเข้มข้นของแคลเซียมในพืชแตกต่างกันตามสภาพการปลูก พันธุ์พืช และอวัยวะ ซึ่งแปรผันอยู่ในช่วง 0.1 ถึงมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง พืชใบเลี้ยงคู่ต้องการแคลเซียมเพื่อให้มีการเจริญเติบโตอย่างพอเหมาะมากกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยว โดยปกติทั่วไปในดินมักไม่ค่อยขาดแคลเซียมยกเว้นในดินที่เป็นกรด

ในสภาพดินที่เป็นด่างและมีแคลเซียมมากเกินไป พบว่าแคลเซียมจะรวมตัวกับฟอสฟอรัสเกิดเป็นแคลเซียมฟอสเฟตทำให้พืชนำฟอสฟอรัสไปใช้ไม่ได้ และในดินที่เป็นด่างสูงทำให้ธาตุที่สำคัญบางอย่างในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ลดลง เช่น การขาดเหล็ก มีผลทำให้การดูดแคลเซียมลดลงได้ ฉะนั้นการมีแคลเซียมมากเกินไป ทำให้เกิดการขาดแคลเซียมในพืช (calcium deficiency) ได้

บทบาทของแคลเซียมในพืช (ยงยุทธ, 2543)

1) เป็นองค์ประกอบของแคลเซียมเพคเตต (calcium pectate) ซึ่งอยู่ในมิดเดิลลาเมลลา (middle lamella) ของผนังเซลล์ (สมบุญ, 2538) มีบทบาทสำคัญที่ทำให้ผนังเซลล์ เนื้อเยื่อ และต้นพืชแข็งแรง

2) การสร้างเสถียรภาพของเยื่อ (membrane stabilization) แคลเซียมเป็นสะพานเชื่อมระหว่างฟอสเฟตกับหมู่คาร์บอกซิลของฟอสโฟลิพิดและโปรตีนตรงบริเวณผิวของเยื่อหุ้มเซลล์ (ยงยุทธ, 2543) และเกลือแคลเซียมของเลซิทิน (lecithin) เป็นองค์ประกอบของลิพิดซึ่งเกี่ยวข้องกับ

โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ ช่วยให้หน่วยของเยื่อของเซลล์มีโครงสร้างและทำหน้าที่ได้สมบูรณ์ ตลอดทั้งควบคุมการเข้าออกของสารบางชนิดในเซลล์ (สมบุญ, 2538)

3) การรักษาสมดุลของประจุบวก-ประจุลบ (cation-anion balance) แคลเซียมแสดงบทบาทต่อการควบคุมด้านออสโมซิสโดยทางอ้อมในการปิดและเปิดปากใบ ใบหุบกลางคืน (nyctinastic movement) และใบสะดุ้ง (seismosatic movement) ซึ่งทั้งสามอย่างนี้เกี่ยวข้องกับกระบวนการควบคุมความเต่งของเซลล์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความเต่งของเซลล์หรือเนื้อเยื่อดังกล่าวเกิดจากฟลักซ์ของโพแทสเซียม คลอไรด์ และมาเลต

4) เป็นตัวนำรหัสที่สอง (second messenger) เมื่อแคลเซียมเข้าไปในไซโทซอลเป็นเสมือนการนำสัญญาณที่ได้รับจากภายนอกเข้ามาด้วย แล้วแคลเซียมไอออนจะเข้ายึดเหนี่ยวโปรตีนแคลโมดูลิน (calmodulins) กลายเป็นแคลเซียม-แคลโมดูลิน ซึ่งมีบทบาทในการควบคุมความเข้มข้นของแคลเซียมในไซโทซอล และมีผลต่อกระบวนการทางสรีระที่สำคัญ 2 ประการ คือ การปิดเปิดปากใบ ซึ่งถูกควบคุมโดยกรดแอบซิสิก (ABA) ในขณะที่การเคลื่อนย้ายของ ABA อยู่ในความควบคุมของแคลเซียม-แคลโมดูลินอีกต่อหนึ่ง และการสังเคราะห์ซูโครส โดยแคลเซียม-แคลโมดูลิน มีผลต่อการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ fructose 1,6 bisphosphate และ sucrose phosphate synthase นอกจากนี้แล้ว แคลเซียม-แคลโมดูลิน ยังมีผลในการกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์โปรตีนคิเนสอีกด้วย

5) ส่งเสริมการงอกของเมล็ด แคลเซียมเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์โปรตีนคิเนส (protein kinase) และแอลฟา-อะไมเลส (∝-amylase) โดยที่โปรตีนคิเนสมีบทบาทในการเร่งปฏิกิริยาฟอสฟอรีเลชั่น และแอลฟา-อะไมเลส มีหน้าที่ย่อยแป้งทำให้โมเลกุลของแป้งถูกทอนให้สั้นลง จึงนับเป็นเอนไซม์ชนิดหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนย้ายแป้งจากแหล่งสะสมไปยังส่วนอื่นของพืช นอกจากนี้ยังช่วยย่อยแป้งในเอนโดสเปิร์มของเมล็ดให้มีโมเลกุลเล็กลงสำหรับใช้ในกระบวนการงอกอีกด้วย

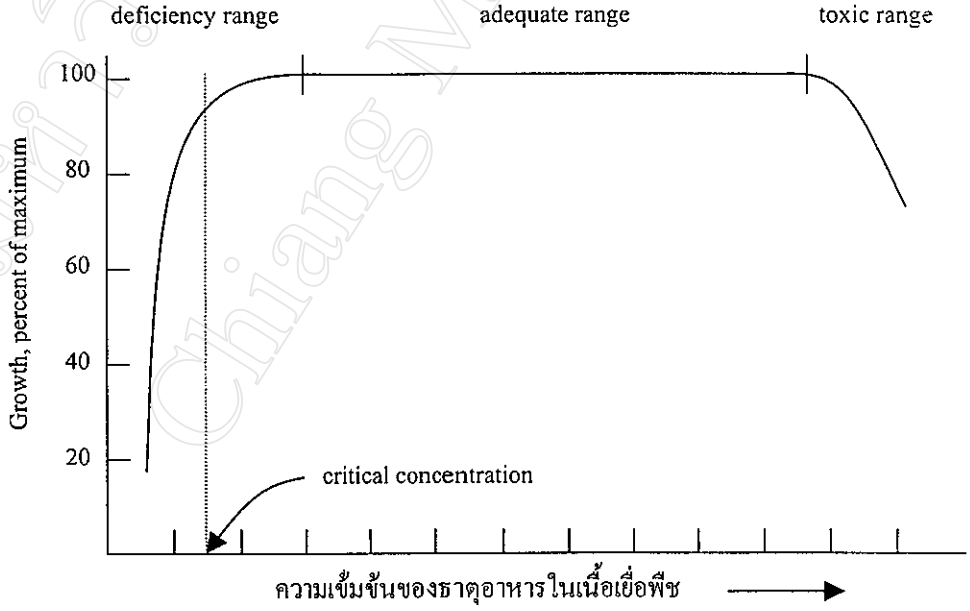
6) การตอบสนองต่อแรงดึงดูดของโลก เนื่องจากในบางพืชการเคลื่อนย้ายออกซินต้องการอาศัยแคลเซียมช่วย เมื่อรากอยู่ในแนวราบและอะไมโลพลาสต์ของสตาโทไซต์ในหมวกรากเป็นออร์แกเนลที่รับสิ่งเร้าจากแรงดึงดูด อะไมโลพลาสต์นี้เองที่มีบทบาทในการเคลื่อนย้ายของทั้งแคลเซียมและออกซิน แคลเซียมมีบทบาทช่วยให้ออกซินเคลื่อนย้ายลงสู่ปลายรากที่กำลังยืดตัวและควบคุมให้ปลายรากงอลง

7) ช่วยลดความเป็นพิษ (detoxify) ของกรดออกซาลิก (oxalic acid) โดยรวมตัวเป็นผลึกแคลเซียมออกซาเลต (calcium oxalate) ในแวคิวโอล (สมบุญ, 2538)

8) มีผลต่อขบวนการสร้างปมและการตรึงไนโตรเจนของไรโซเบียมในรากพืชตระกูลถั่ว (สมบุญ, 2538)

3. การขาดธาตุอาหารในพืช

ในการให้ธาตุอาหารกับพืช หากมีธาตุอาหารชนิดใดชนิดหนึ่งต่ำมากในขณะที่มีธาตุอื่นเพียงพอ การเพิ่มธาตุอาหารที่ขาดแคลนลงไปทำให้พืชตอบสนองด้านการเจริญเติบโต เช่น น้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นเป็นต้น ระดับความต้องการธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืชสามารถแบ่งได้สามระดับ คือ ระดับแรก อัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้นเมื่อเพิ่มธาตุอาหาร เรียกว่า พิสัยขาดแคลน (deficiency range) ระดับที่สอง เมื่อการเจริญเติบโตถึงจุดสูงสุดแล้วและคงระดับนี้ต่อไปแม้จะเพิ่มธาตุอาหารก็ตาม เรียกว่า พิสัยพอเพียง (adequate range) และระดับที่สาม อัตราการเจริญเติบโตลดลงเมื่อเพิ่มธาตุอาหารเข้าไปอีก เรียกว่า พิสัยเป็นพิษ (toxic range) (ยงยุทธ, 2543) สำหรับจุดวิกฤติ (critical concentration) เป็นระดับของธาตุอาหารในพืชซึ่งต่ำกว่าระดับที่พืชให้ผลผลิตสูงสุด (optimum growth) เพียงเล็กน้อย (สมบุญ, 2538)



ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของพืชกับปริมาณธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืช

3.1 สาเหตุของการขาดธาตุอาหารในพืช (ยงยุทธ, 2543)

1) ธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินหรือวัสดุปลูกมีปริมาณน้อย ดินบางชนิดมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เนื่องจากเกิดจากหินและแร่ซึ่งมีธาตุอาหารเป็นองค์ประกอบน้อย มีการสูญเสียของธาตุอาหารที่มีอยู่เนื่องจากการชะล้างและการชะกร่อนดิน และสูญเสียไปเนื่องจากมีการปลูกพืชอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการปรับปรุงบำรุงดินหรือการใส่ปุ๋ยชดเชยอย่างเพียงพอ

2) ธาตุอาหารอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ เนื่องจากพืชดูดธาตุอาหารจากดินเฉพาะรูปที่เป็นประโยชน์ หากสมบัติทางเคมีไม่เหมาะสมและธาตุเหล่านั้นอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์พืชย่อมดูดไปใช้ยาก ดินที่มีสภาพกรดหรือด่างสูงเกินไปจะมีปัญหาดังกล่าวมาก เช่น ความเป็นประโยชน์ของเหล็ก ทองแดง สังกะสี และแมงกานีสต่ำในดินด่างแต่จะสูงกว่าในดินกรด ส่วนความเป็นประโยชน์ของแคลเซียมและแมกนีเซียมสูงในดินด่างแต่จะต่ำในดินกรดเป็นต้น

3) ธาตุอาหารชนิดหนึ่งที่มีมากส่งผลให้ปริมาณการดูดธาตุอาหารอีกชนิดหนึ่งลดลงได้ ความขาดแคลนธาตุอาหารของพืชบางธาตุอาจเกิดจากการขาดสมดุลของธาตุอาหาร เช่น เมื่อใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในดินมากเกินไปทำให้พืชดูดแคลเซียมและแมกนีเซียมได้น้อยลง นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตอัตราสูงยังเป็นสาเหตุให้พืชขาดเหล็กหรือสังกะสีได้เช่นเดียวกัน

4) สมบัติทางฟิสิกส์ของดินไม่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของราก พืชแต่ละชนิดมีสภาพไว (sensitivity) ต่อการขาดแคลนธาตุอาหารแตกต่างกัน เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการไม่เท่ากัน และความสามารถของรากพืชที่จะสกัดธาตุจากดินมาใช้ประโยชน์แตกต่างกัน

3.2 อาการขาดธาตุอาหารในพืช

เมื่อธาตุอาหารชนิดใดชนิดหนึ่งมีไม่เพียงพอแก่ความต้องการของพืช ในขั้นแรกจะมีผลกระทบต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยธาตุชนิดนั้นทำให้การเกิดปฏิกิริยาลดลง เมื่อขบวนการดังกล่าวดำเนินต่อไประยะหนึ่ง พืชปรากฏอาการขาดธาตุอาหารสำหรับอาการขาดธาตุอาหารของพืชแต่ละชนิด ในแต่ละธาตุมีลักษณะต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับหน้าที่ของธาตุอาหารนั้นและความสามารถในการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารในท่อลำเลียงมีผลกระทบทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง ผลผลิตพืชจึงลดลงด้วย (สมบุญ, 2538)

อาการของพืชที่ขาดธาตุไนโตรเจน

เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณมาก เมื่อพืชขาดไนโตรเจนจะเกิดอาการคลอโรซิส (chlorosis) คือใบมีสีเหลืองเนื่องจากขาดคลอโรฟิลล์ โดยปรากฏในใบแก่ที่อยู่ส่วนล่างก่อน ไนโตรเจนเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ในท่อลำเลียงอาหารได้ดี ใบอ่อนในระยะแรกยังคงมีธาตุนี้อยู่โดยได้รับจากใบแก่ที่อยู่ด้านล่าง ถ้าไนโตรเจนมีอยู่น้อยมาก ใบด้านล่างที่เหลืองจะหลุดร่วงจากต้นและค่อย ๆ ลุกลามไปยังใบอ่อนที่อยู่ด้านบน ทำให้ใบอ่อนมีสีเขียวซีดและเหลือง หลังจากนั้นการเจริญเติบโตของส่วนยอดจะหยุดชะงัก ลำต้นแคระแกร็น (สมบุญ, 2538) การแตกกิ่งก้านและยอดช้า การแตกกอของธัญพืชมีน้อย (สุชาติ, 2529) รากของพืชยืดยาวผิดปกติ และมีการแตกแขนงเพียงเล็กน้อย (โสระยา, 2544) อาการขาดธาตุปรากฏชัดเจนที่ใบแก่เนื่องจากไนโตรเจนเคลื่อนย้ายจากใบเหล่านั้นไปเลี้ยงเนื้อเยื่อที่กำลังพัฒนา ทำให้ใบแก่ร่วงหล่นเร็ว (ยงยุทธ, 2543) นอกจากนี้แล้วยังทำให้พืชสะสมแป้งหรือน้ำตาลมากกว่าปกติซึ่งเป็นสาเหตุของการสร้างเซลลูโลส (cellulose) เพิ่มมากขึ้นในเซลล์ทำให้เนื้อเยื่อพืชแข็งกระด้าง ถ้าเป็นพืชผักทำให้เหนียวและไม่น่ารับประทาน (นพดล, 2538)

อาการของพืชที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส

เมื่อพืชขาดฟอสฟอรัสมีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ภายในเซลล์ ในขั้นแรกอัตราการสังเคราะห์แสงยังเป็นปกติ แต่อัตราการหายใจจะลดลง ทำให้เกิดการสะสมของคาร์โบไฮเดรต หลังจากนั้นใบพืชจะมีสีเขียวเข้ม เกิดการสะสมของรงควัตถุพวกแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ที่ลำต้นและก้านใบ ทำให้ก้านใบเป็นสีชมพู อาการเริ่มเกิดที่ใบแก่ก่อน ใบจะเป็นจุดแห้งตาย (necrotic) การเจริญเติบโตของพืชหยุดชะงัก ลำต้นแคระแกร็น (สมบุญ, 2538) รากอาจเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำตาล (โสระยา, 2544) นอกจากนี้พืชที่ขาดฟอสฟอรัสมีผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชช้า แล้วยังมีผลทำให้เกิดการพักตัวของตาข้าง (lateral bud dormancy) (สมบุญ, 2538) และการขาดฟอสฟอรัสยังมีผลกระทบต่อการเจริญพันธุ์อย่างมาก เช่น ออกดอกช้า จำนวนดอก ผล และเมล็ดน้อยลง การที่ใบพืชเสื่อมตามอายุและร่วงหล่นเร็วกว่าปกติเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตเมล็ดต่ำ (ยงยุทธ, 2543) การสุกแก่ของพืชหลายชนิดเกิดจากการมีปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างฟอสฟอรัสและไนโตรเจน คือถ้ามีไนโตรเจนมากเกินไปพืชจะแก่ช้า แต่ถ้ามีฟอสฟอรัสมากพืชจะแก่เร็ว (นิตย์, 2541)

พืชที่ขาดฟอสฟอรัสมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ คือ ใบเล็กเนื่องจากใบขยายขนาดช้า และจำนวนใบน้อย อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการขยายขนาดใบจะลดลงอย่างมาก แต่ปริมาณโปรตีนและคลอโรฟิลล์ต่อหน่วยพื้นที่ใบลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากขนาดใบลดมากแต่คลอโรฟิลล์

ลดน้อยกว่า ทำให้ใบพืชที่ขาดฟอสฟอรัสในระยะแรกมีสีใบเขียวเข้มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาอัตราการสังเคราะห์แสงต่อหน่วยของคลอโรฟิลล์พบว่ามีค่าลดลงไป (ยงยุทธ, 2543)

การขาดฟอสฟอรัสเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การกระจายของคาร์โบไฮเดรตลงมาอยู่ข้างล่างมากขึ้น ทำให้รากพืชที่ขาดฟอสฟอรัสยังสามารถยืดตัวได้ในขณะที่ส่วนเหนือดินหยุดการเจริญ-เติบโตแล้ว เมื่อการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินลดลงมาก แต่มีผลกระทบต่อรากน้อย พืชที่ขาดฟอสฟอรัสจึงมีสัดส่วนระหว่างส่วนเหนือดินกับราก (shoot-root ratio) ลดลงด้วย (ยงยุทธ, 2543)

อาการของพืชที่ขาดธาตุโพแทสเซียม

ในภาวะที่ขาดแคลนโพแทสเซียม ทำให้โพแทสเซียมส่วนที่เคยสะสมอยู่ในใบแก่และอวัยวะอื่น ๆ เคลื่อนย้ายทางท่อลำเลียงอาหารไปเลี้ยงเนื้อเยื่อที่กำลังเจริญ อวัยวะดังกล่าวจึงมีอาการผิดปกติ (ยงยุทธ, 2543) เช่น ใบเหลืองเกิดคลอโรซิสเป็นทางๆ เกิดขึ้นในใบแก่ก่อน และใบแห้งตายเป็นจุด ๆ ที่บริเวณขอบและปลายใบ หรือใบอาจม้วนงอ หลังจากนั้นจะแพร่กระจายไปทั่วลำต้น ลำต้นมีปล้องสั้น ส่วนยอดใบเป็นกระจุกเกิดลักษณะที่เรียกว่า โรเซตต์ (rosette) (สมบุญ, 2538) ในใบเลี้ยงคู่ ใบเริ่มซีดแล้วแห้งตายเป็นจุด ๆ ส่วนในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น ธัญพืช ปลายใบและขอบใบจะตายก่อน และลามไปยังส่วนโคนใบ (นิตย์, 2541) พืชพวกธัญพืชมีเมล็ดลีบ พืชหัวมีแป้งน้อยแต่มีน้ำมาก และพืชน้ำมันมีน้ำมันน้อย เป็นต้น (สุชาติ, 2529)

นอกจากนี้ยังพบว่า พืชอาจล้มง่ายเนื่องจากการสะสมลิกนินในเซลล์กลุ่มท่อลำเลียงน้อยกว่าปกติลำต้นจึงไม่แข็งแรง เหี่ยวเฉาง่ายเมื่อความชื้นในดินน้อย และเป็นโรคง่าย เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงด้านกิจกรรมของเอนไซม์ ชนิดและปริมาณของอินทรียสารซึ่งทำให้พืชนั้นอ่อนแอต่อเชื้อโรค (ยงยุทธ, 2543)

เนื่องจากโพแทสเซียมมีบทบาทในการควบคุมการเปิดและปิดของปากใบ เมื่อขาดธาตุนี้ปากใบจะเปิดเพียงเล็กน้อย ความต้านทานของปากใบย่อมสูงขึ้นเป็นเหตุให้การแลกเปลี่ยนแก๊สมีอัตราต่ำลง และส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงด้วย (ยงยุทธ, 2543)

อาการของพืชที่ขาดธาตุแคลเซียม

พืชที่ขาดแคลเซียมพบว่าบริเวณปลายยอดและปลายรากไม่เจริญ เพราะเนื้อเยื่อไม่สร้างผนังเซลล์ทำให้เซลล์ไม่แบ่งตัว ลำต้น ยอด และก้านใบเปราะหักง่าย เซลล์ไม่ขยายตัว ใบเหลือง ในบริเวณใบอ่อน และใบอ่อนมักบิดเบี้ยวเสียรูปทรง เกิดลักษณะงอคล้ายตะขอ (hook) ที่ส่วนปลายยอด ปลายรากไม่เจริญ ลำต้นแคระแกร็น เนื่องจากแคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ยาก อาการขาดธาตุแคลเซียมจึงเกิดที่บริเวณใบอ่อนก่อน (สมบุญ, 2538) อวัยวะซึ่งคายน้ำน้อย

แต่อัตราการเติบโตสูงมักมีความเสี่ยงต่อการขาดแคลเซียมหรือมีแคลเซียมในอวัยวะนั้นต่ำกว่าระดับวิกฤต หรือมีธาตุนี้ไม่เพียงพอสำหรับคงสภาพที่ดีของเนื้อเยื่อไว้ได้ เป็นเหตุให้พืชแสดงอาการขาดแคลเซียมที่ผล เช่น อาการผลมะเขือเทศก้นเน่า (blossom end rot) และผิวผลแอปเปิลมีรอยบุ๋ม (bitter pit) หรือที่อวัยวะอื่น ๆ เช่น อาการไส้เน่า (black heart) ของเซเลอรี่และกะหล่ำดอก อาการปลายใบไหม้ของผักกาดหอมหรือผักกาดขาวปลี (tipburn) สำหรับผลที่มีเนื้อมาก (fleshy fruits) หากมีแคลเซียมน้อยเกินไปจะเข้าสู่สภาพเสื่อมตามอายุ (senescence) รวดเร็วและเชื้อราเข้าทำลายง่าย ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวจึงมีสูง (ยงยุทธ, 2543)

4. ความสัมพันธุ์ระหว่างการขาดธาตุอาหารกับการเปลี่ยนแปลงภายในของพืชบางชนิด

ธาตุอาหารมีบทบาทสำคัญดังกล่าวข้างต้น ในพืชหลายชนิดเมื่อได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอจึงมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต และการเปลี่ยนแปลงขบวนการต่าง ๆ ภายในพืชนำไปสู่อาการผิดปกติต่าง ๆ

Ruamrungsri *et al.* (1996 a, b) รายงานว่า นาซิสซัสพันธุ์ Garden Giant ที่ปลูกเลี้ยงในสารละลายที่ขาดธาตุอาหารต่าง ๆ คือ ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg), เหล็ก (Fe) หรือ โบรอน (B) เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ปลูกในสารละลายที่มีธาตุอาหารครบทุกอย่างที่พืชต้องการ พืชแสดงอาการขาดธาตุที่ศึกษาดังนี้ อาการขาดไนโตรเจนทำให้การเจริญเติบโตของยอดชะงัก ใบเล็กและแคบ ใบเหลือง อาการขาดแคลเซียมทำให้การเจริญเติบโตของรากหยุดชะงัก ปลายรากมีสีน้ำตาลและยุ่ย การขาดแมกนีเซียมทำให้เกิดอาการใบเหลืองที่เนื้อใบระหว่างเส้นใบใกล้กับปลายใบ การขาดเหล็กทำให้เกิดอาการใบเหลืองบริเวณใกล้โคนใบ ไอริส ที่ขาดธาตุแคลเซียม พบว่าข้อบนสุดของก้านดอกอ่อนแอทำให้เกิดอาการโค่นล้มของลำต้นเทียม (Doss *et al*, 1979) ส่วนอาการขาดธาตุแคลเซียมในต้นทิวลิป ทำให้ต้นฉ่ำน้ำ เปราะ โค่นล้มง่าย ใต้ใบเป็นสีม่วง และดอกฝ่อ (Nelson and Niedziela, 1998)

Rosolem and Mikkelsen (1991) ศึกษาผลของการขาดธาตุโพแทสเซียมในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน ต่อการเจริญเติบโตและปริมาณของโพแทสเซียม ในฝ้าย พบว่า หลังจากที่พืชขาดธาตุชนิดนี้เป็นเวลา 30 วัน ยังไม่ส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลง แต่เมื่อขาดโพแทสเซียมมากกว่า 30 วัน พบว่า การเจริญเติบโตของลำต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากที่พืชขาดโพแทสเซียมเป็นเวลา 90 วัน (ตลอดระยะการเจริญเติบโต) พบว่า น้ำหนักแห้งของสมอฝ้ายลดลง ในขณะการขาดธาตุเป็นเวลา 60 วัน ในช่วงต้นของวงจรการเจริญเติบโต หรือขาดเป็นเวลา 30 วัน ในช่วงปลายของวงจรการเจริญเติบโตไม่ส่งผลต่อการลดปริมาณโพแทสเซียมในสมอฝ้าย น้ำหนักแห้งของเปลือก

ตอบสนองต่อโพแทสเซียม โดยมีการตอบสนองเพิ่มขึ้นจากส่วนล่างของต้นสู่ส่วนบน โดยทั่วไปความไวต่อการขาดโพแทสเซียมจะเพิ่มขึ้นจากส่วนของใบ สมอ ราก และลำต้นตามลำดับ

Chaanin (1994) ศึกษาการขาดธาตุอาหารในโรโดเดนดรอน พบว่า หลังจากที่พืชมีอายุได้ 30 สัปดาห์ ต้นจะแสดงอาการอย่างชัดเจน โดยเกิดอาการใบเหลืองระหว่างเส้นใบ และเป็นจุดแห้งตาย ที่บริเวณแผล เมื่อขาดธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส หรือ เหล็ก แต่ไม่พบอาการในต้นที่ไม่ได้รับธาตุทองแดง โมลิบดินัม หรือสังกะสี

ในคาร์เนชั่น ต้นที่ขาดไนโตรเจนจะแสดงอาการใบเหลืองโดยทั่วไปการเจริญเติบโตลดลง ปล้องสั้น ต้นที่ขาดโพแทสเซียม เกิดเป็นจุดแห้งตายบนใบ ลำต้นเปราะ และน้ำตาลซึมออกมาจากลำต้น ต้นที่ขาดฟอสฟอรัส ใบมีสีคล้ำ และต้นที่ขาดแคลเซียม มีความอ่อนแอและเกิดอาการใบเหลืองเล็กน้อยที่บริเวนยอดอ่อน นอกจากนี้ยังพบว่าต้นที่ขาดไนโตรเจนมีจำนวนดอกลดลง 40 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักแห้งลดลง 30 เปอร์เซ็นต์ (Medina, 1993)

He *et al.* (1999) ศึกษาการขาดธาตุแคลเซียมเป็นระยะเวลาหนึ่งต่อการเจริญเติบโตและความเข้มข้นของธาตุอาหารใน petiole sap ของมะเขือเทศ พบว่า หลังจากที่งดการให้แคลเซียมแก่พืชเป็นเวลา 10 วัน ใบที่อยู่ด้านบนจะแสดงอาการขาดธาตุอาหารซึ่งทำให้ผลผลิตเชิงพาณิชย์ลดลง และพบอาการก้นผลเน่า นอกจากนี้ยังพบว่า ความเข้มข้นของแคลเซียมใน petiole sap ลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่ความเข้มข้นของธาตุอื่นไม่ได้รับผลกระทบจากการขาดธาตุแคลเซียมชั่วคราวแต่อย่างใด

El-Midaoui *et al.* (1999) ศึกษาการขาดธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมในทานตะวัน พบว่า การขาดธาตุทั้งสองมีผลเสียต่อการเจริญเติบโต โดยที่ยอดแสดงอาการมากกว่าที่รากในสภาพที่ขาดธาตุไนโตรเจน พืชมีน้ำหนักแห้งลดลงมากกว่าในสภาพที่ขาดธาตุโพแทสเซียม ถ้าพืชได้รับไนโตรเจนและโพแทสเซียมในอัตราปกติ พบว่าปริมาณรากมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดต่อน้ำหนักแห้งของยอด ราก และน้ำหนักแห้งรวม

McArthur and Knowles (1993) ศึกษาอิทธิพลของธาตุฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโต การพัฒนา และปริมาณธาตุอาหารในมันฝรั่ง พบว่า ถ้าพืชขาดธาตุฟอสฟอรัส จะทำให้พื้นที่ใบลดลงอย่างมาก การเจริญเติบโตของตาข้าง และการขยายขนาดของใบลดลง ส่วนการเจริญเติบโตของรากนั้นได้รับผลกระทบเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับลำต้นและใบ นอกจากนี้ยังพบว่า ต้นที่ขาดธาตุฟอสฟอรัสจะสะสมฟอสฟอรัสในรูปที่นำไปใช้ได้ในสัดส่วนที่มากกว่าต้นที่ได้รับฟอสฟอรัสสูง ชี้ให้เห็นว่าความเครียดที่เกิดจากการขาดธาตุฟอสฟอรัส สามารถไปเพิ่มประสิทธิภาพของรากในการหาฟอสฟอรัส อย่างไรก็ตามการสะสมธาตุไนโตรเจน โพแทสเซียม แมกนีเซียม และเหล็กในยอดของต้นที่ขาดธาตุฟอสฟอรัสนั้นน้อยกว่าต้นที่ได้รับธาตุฟอสฟอรัสอย่างเพียงพอ

Suckkee *et al.* (2000) พบว่าสตรอเบอรี่พันธุ์ Nyoho ที่ได้รับสารละลายปุ๋ยที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน เกิดอาการขาดฟอสฟอรัส โดยเกิดที่ใบแก่ก่อน น้ำหนักแห้งเริ่มลดลงเมื่อปริมาณของฟอสฟอรัส ในเนื้อเยื่อแห้งต่ำกว่า 0.3 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักสดเริ่มลดลงเมื่อปริมาณของฟอสฟอรัส ใน plant sap มีประมาณ 520 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นตัวบ่งชี้ถึงระดับวิกฤติของฟอสฟอรัส

นอกจากอาการที่พบจากภายนอกแล้ว การขาดธาตุอาหารยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับสารชีวเคมี เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และกรดอะมิโน เป็นต้น Ruamrungsri *et al.* (1996 a) รายงานว่า การขาดฟอสฟอรัสทำให้นาซิสซัสมีการสะสมอาร์จีนีน (arginine) ที่รากมากขึ้น ขณะที่การขาดธาตุโพแทสเซียมทำให้รากสะสมกลูตามีน (glutamine) มากที่สุด นอกจากนี้นาซิสซัสที่ขาดไนโตรเจนยังมีการสะสมน้ำตาลมากกว่าต้นที่ปลูกในสภาพควบคุม

Pettigrew (1999) ศึกษาการขาดธาตุโพแทสเซียมในฝ้าย พบว่าในสภาพที่ขาดโพแทสเซียมนั้นปริมาณกลูโคสเพิ่มขึ้น 84 เปอร์เซ็นต์ ในใบช่วงเก็บเกี่ยว ในขณะที่ปริมาณของแป้ง ซูโครส และฟรุกโทสไม่เปลี่ยนแปลง แต่พบว่า ปริมาณของแป้งเพิ่มขึ้น 82 เปอร์เซ็นต์ กลูโคสเพิ่มขึ้น 14 เปอร์เซ็นต์ และฟรุกโทสเพิ่มขึ้น 27 เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ยตลอดทั้งปี

การขาดธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมในทานตะวันมีผลกระทบต่อปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble sugar) และการสะสมกรดอะมิโนในราก (El-Midaoui *et al.*, 1999)

หากพืชขาดธาตุอาหารชนิดใดชนิดหนึ่ง ทำให้ปริมาณการสะสมธาตุอาหารนั้นในเนื้อเยื่อลดลง Hernandez and Pacheco (1986) พบว่ากระวาน (*Elettaria cardamomum*) ที่ปลูกในสภาพขาดไนโตรเจนสะสมไนโตรเจนในต้นลดลงประมาณ 2.0 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับต้นปกติ และเมื่อปลูกในสภาพขาดฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ให้ผลในทำนองเดียวกัน โดยมีการสะสมฟอสฟอรัสลดลง 0.5 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียมลดลงประมาณ 3.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับเมื่อเทียบกับต้นปกติ

การศึกษาการขาดธาตุแมกนีเซียมในปวยเหล็ง พบว่าน้ำหนักสดและแห้งของยอด และรากของต้นที่ขาดธาตุแมกนีเซียมน้อยกว่าต้นปกติ ปริมาณของแมกนีเซียมในใบและรากของพืชที่ขาดแมกนีเซียม มีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับต้นปกติ แต่พบว่าปริมาณน้ำตาลซูโครส และกรดอะมิโนในน้ำเลี้ยงจากท่ออาหารของต้นที่ขาดธาตุแมกนีเซียม และต้นปกติไม่แตกต่างกัน (Fischer *et al.*, 1998)

นอกจากนี้การขาดธาตุอาหารชนิดหนึ่ง มีผลกระทบต่อการดูดและสะสมธาตุอาหารชนิดอื่น หากพืชขาดฟอสฟอรัสจะทำให้การดูดไนโตรเจนช้าลง และยังทำให้การใช้ประโยชน์จากโปรตีนลดลงตามไปด้วย (Bezyludnyi and Belenkevich, 1971)

Dekock (1971) ศึกษาการใช้ไนโตรเจนรูปต่าง ๆ ในยาสูบ พบว่า ทั้งแอมโมเนียมและยูเรียสามารถเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัส แต่ไปลดปริมาณแคลเซียมในใบ และ Coic *et al.* (1971) ศึกษาบทบาทของไนเตรตต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ K^+, Ca^+ และ Mg^{2+} ในส่วนเหนือดินของยาสูบ พบว่า การให้ไนเตรตแบบต่อเนื่องมีผลให้การดูด K^+, Ca^+ และ Mg^{2+} ดีกว่าการให้แบบสลับกับไม่ให้ การที่ไนเตรตเปลี่ยนรูปไปเป็นกรดอะมิโนส่งผลให้เกิดการสะสมโพแทสเซียมในอวัยวะของพืชที่ได้รับ metabolized N และส่งเสริมการนำตัวมันเองออกมาใช้อีกครั้งหนึ่งหากพืชไม่ได้รับไนเตรต

Gunar *et al.* (1971) ศึกษาการดูดฟอสเฟตและซัลเฟตของต้นกล้าบาร์เลย์ที่ปลูกในสารละลายที่มีโพแทสเซียมและแคลเซียมในอัตราต่าง ๆ พบว่า อัตราส่วนของโพแทสเซียมต่อแคลเซียม มีผลต่อการดูดฟอสเฟตและซัลเฟต และ Marschner and Ossenberg-Neuhaus (1971) ศึกษาการให้สารเคมีแก่ต้นบาร์เลย์เป็นระยะสั้น ๆ (30 และ 120 นาที) พบว่าการให้แคลเซียม-คลอไรด์ช่วยส่งเสริมการดูดโพแทสเซียม แต่การให้แคลเซียมซัลเฟตไปยับยั้งการดูดโพแทสเซียม การที่แคลเซียมคลอไรด์ส่งเสริมการดูดโพแทสเซียมนั้นเนื่องมาจากการเพิ่มการดูดคลอไรด์ ทั้งโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมซัลเฟตมีผลในการขัดขวางการดูดโพแทสเซียม

Khanna and Parkash (1971) ทดลองปลูกข้าวสาลีในดินที่มี pH 7.5-8.4 โดยให้ K_2O ในอัตราต่าง ๆ พบว่า ถ้าให้โพแทสเซียมสูงขึ้นในระยะ boot stage ทำให้พืชดูดโพแทสเซียมได้มากขึ้นในดินทุกชนิด การที่พืชดูดโพแทสเซียมได้เพิ่มขึ้นมีผลชัดเจนต่อการลดปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียม Saric and Petrovic (1971) ศึกษาอิทธิพลของ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และซัลเฟอร์ ต่อการคายน้ำของใบข้าวสาลี พบว่า ต้นข้าวสาลีอายุ 60 วัน มีการคายน้ำสูงขึ้นถ้าขาดธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม ในขณะที่การขาดซัลเฟอร์ไม่ส่งผลให้การคายน้ำสูงขึ้น และ Elliott *et al.* (1997) ศึกษาอาการ ปริมาณผลผลิต และส่วนประกอบของข้าว*สาลี (Triticum aestivum cv.* Halberd) ในสภาพที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส พบว่า การเจริญเติบโตและการแตกกอหยุดชะงัก พบอาการใบเรียว ตั้ง และมีสีเขียวคล้ำมากที่แผ่นใบของใบแก่ในต้นที่ปลูกในโรงเรือน ในขณะที่ต้นที่ปลูกในแปลงแสดงอาการใบมีสีเขียวซีด นอกจากนี้ยังพบว่า พืชแก่ช้า แตกกอน้อยลง ปริมาณเมล็ดลดลง ยอดไม่เจริญเติบโต ความสูงลดลง และจำนวนรากลดลงด้วย