บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ปทุมมา (*Curcuma alismatifolia* Gagnep.) จัดเป็นพืชในวงศ์ Zingiberaceae ซึ่งเป็นวงศ์เดียวกับขิงและข่า อยู่ในสกุล *Curcuma* มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบอินโดจีน เช่น ประเทศพม่า กัมพูชา และไทย (Zhang *et al.,* 1995 ; Hagiladi *et al*., 1997a ; 1997b) สำหรับในประเทศไทยพบปทุมมาได้แทบทุกภาคของประเทศ โดยเฉพาะในเขตภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีความหลากหลายของสายพันธุ์มากที่สุด (ปทุมมา, 2547 : ระบบออนไลน์) เริ่มพบตั้งแต่ริมฝั่งทะเลไปจนถึงพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 900 เมตร แหล่งที่พบมากเช่น เขตวนอุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวงและเทือกเขาตะนาวศรี บริเวณน้ำตกสามหลั่น สระบุรี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบมากตั้งแต่ปราจีนบุรีไปจนถึงเขตชัยภูมิ (สุรวิช, 2539)

1. ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ปทุมมาเป็นไม้หัวล้มลุก อายุหลายปี มีลำต้นใต้ดินทำหน้าที่สะสมน้ำและอาหารเรียกว่าเหง้า ซึ่งมีข้อหดสั้นทำให้มีลักษณะคล้ายหัว (stubbed rhizome) (Ruamrungsri *et al*., 2001) ตาข้างของเหง้าเจริญเติบโตไปเป็นลำต้นเทียม (pseudostem) ที่เห็นอยู่เหนือดิน เมื่อต้นเริ่มแก่ส่วนของโคนลำต้นใต้ดินมีการสะสมอาหารมีลักษณะป้อมและโป่งออกด้านข้างมากกว่าเรียวยาว มองเห็นข้อและปล้องที่หดสั้นได้อย่างชัดเจน มีตาที่เรียงอยู่ในแนวเดียวกัน 3-4 ตาต่อหัว (สุรวิช, 2539) ปทุมมามีระบบรากฝอย แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ รากฝอย (fibrous root) เกิดขึ้นตั้งแต่ระยะแรกของการปลูก มีลักษณะเป็นฝอยละเอียดทำหน้าที่หาอาหารและน้ำ รากค้ำยัน (contractile root) เกิดขึ้นในเวลาต่อมา ทำหน้าที่ยึดลำต้นและหาอาหาร รากค้ำยันส่วนหนึ่งที่ปลายมีการบวมพองออกมีลักษณะเป็นตุ้ม ทำหน้าที่เก็บสะสมน้ำและอาหาร ไม่สามารถตัดไปใช้ขยายพันธุ์ได้ (Hagiladi *et al*., 1997a ; Ruamrungsri *et al*., 2001) ปกติตุ้มรากนี้เกิดขึ้นเป็นปริมาณมากเมื่อต้นมีความสมบูรณ์เต็มที่ ดังนั้นจำนวนตุ้มรากต่อหัวจึงถูกนำมาใช้กำหนดคุณภาพหัวพันธุ์ ตุ้มรากจะค่อยๆ เหี่ยวไปก่อนเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน โดยเหง้าเป็นส่วนที่เหี่ยวช้าที่สุด หัวพันธุ์ที่มีตุ้มรากมากจึงสามารถเก็บรักษาได้นาน และถึงแม้ว่าหัวพันธุ์ที่ไม่มีตุ้มรากหรือถูกตัดตุ้มรากทิ้งก่อนปลูกก็สามารถงอกได้เช่นเดียวกับหัวพันธุ์ที่มีตุ้มราก (สุรวิช, 2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ใบเกิดจากส่วนของลำต้นใต้ดิน ประกอบด้วยกาบใบซึ่งห่อรวมกันแน่นเกิดเป็นลำต้นเทียม มีช่อดอกแบบ compact spike แผ่นใบซึ่งเป็นใบเดี่ยวมีลักษณะยาวรี เส้นกลางใบมีสีน้ำตาลแดง ใบกว้าง 4-5 เซนติเมตร ยาว 30–35 เซนติเมตร (จีรวัฒน์, 2535 ; สุรวิช, 2539)

ช่อดอกเกิดที่บริเวณปลายยอด ประกอบด้วยกลีบประดับ (bract) เวียนซ้อนกันเกิดเป็นช่อ โดยกลีบประดับส่วนล่างและส่วนบน มีสีสันและลักษณะแตกต่างกันคือ กลีบประดับส่วนล่างมี 8-10 กลีบ มีลักษณะสั้นและมีสีเขียว โคนของกลีบประดับเชื่อมติดกันเกิดเป็นลักษณะคล้ายถ้วยซ้อนกัน ตรงปลายมีลักษณะป้านแผ่ออกเป็นช่องทำให้น้ำขังได้ดี กลีบประดับส่วนบน (coma bract) มี 12-15 กลีบ มีขนาดใหญ่สีชมพูอมม่วงเรียงซ้อนกันคล้ายดอกบัว ซึ่งความงามของปทุมมาอยู่ที่สีสันของกลีบประดับส่วนบนนั่นเอง (สุรวิช, 2539 ; พิสมัย, 2541)

ดอกจริงเกิดอยู่ที่บริเวณซอกของกลีบประดับส่วนล่าง 3-4 ดอกต่อกลีบประดับ ทยอยบานทีละดอกและบานเพียงหนึ่งวันเท่านั้น ขนาดดอกจริงยาวเฉลี่ย 4 เซนติเมตร ประกอบด้วยกลีบดอก 6 กลีบ แบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นนอก 3 กลีบ ชั้นใน 3 กลีบ มีสีขาวยกเว้นกลีบดอกชั้นในส่วนล่าง 1 กลีบ มีลักษณะเหมือนปากของดอกกล้วยไม้ สีม่วงเข้มและตรงกลางสีเหลือง ดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ เกสรตัวผู้ประกอบด้วยก้านเกสรตัวผู้แผ่เป็นแผ่นเชื่อมติดกับกลีบดอก ปลายก้านชูมีอับละอองเกสร 2 พู โดยมีฐานอับละอองเกสรเชื่อมติดกันเป็นหลอดล้อมก้านชูเกสรตัวเมีย ละอองเกสรตัวผู้มีลักษณะกลมและเหนียวจับกันเป็นก้อน ยอดเกสรตัวเมียเป็นแบบปลายปิดคล้ายปากแตรชูอยู่เหนืออับละอองเกสร รังไข่มีขนาดประมาณ 0.5 เซนติเมตร ภายในแบ่งเป็น 3 ช่อง มีไข่อ่อนลักษณะคล้ายเมล็ดถั่ว 40- 50 อันเกาะติดที่แกนกลางของรังไข่ ภายหลังการปฏิสนธิแล้ว รังไข่ซึ่งมีไข่อ่อนอยู่ขยายขนาดขึ้น โดยเริ่มต้นนั้นผลจะมีรูปหน้าตัดเป็นเหลี่ยม 3 เหลี่ยม เนื่องจากรังไข่เกิดจากผนังรังไข่ 3 อันเชื่อมต่อกัน เมื่อผลพัฒนาเต็มที่เห็นเป็นลักษณะ 3 พู อย่างเด่นชัด ภายในแต่ละพูเป็นที่อยู่ของเมล็ด มีขนาดและรูปร่างคล้ายเมล็ดองุ่น คือมีรูปร่างคล้ายหยดน้ำ ความยาว 0.5 เซนติเมตร ที่ปลายแหลมของแต่ละเมล็ดนั้นมีเยื่อบางสีขาวติดอยู่ เพื่อช่วยให้เมล็ดลอยน้ำเหมาะต่อการกระจายพันธุ์ในช่วงปลายฤดูฝน ผลมีอายุเฉลี่ย 1-2 เดือน ขึ้นกับชนิดของพืช (จีรวัฒน์, 2535 ; สุรวิช, 2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2. วงจรการเจริญเติบโตของปทุมมา

ผู้ที่เริ่มศึกษาปทุมมา ท่านแรก คือ พระยาวินิจวนันดร (นามเดิม โต โกเมศ) อดีตข้าราชการในกรมป่าไม้ เนื่องจากเป็นนักป่าไม้ และได้สำรวจป่าดูธรรมชาติเป็นประจำ จึงได้เก็บมากปลูกเลี้ยงในเมือง โดยประสบความสำเร็จอย่างดียิ่ง จนกระทั่งครอบครัวของพระยาวินิจวนันดรมีโอกาส

ไปเชียงใหม่ ครอบครัวของท่านจึงได้นำต้นปทุมมาถวายแด่พระวินัยโกศลแห่งวัดเจดีย์หลวง จังหวัดเชียงใหม่ และพระท่านได้ปลูกขยายพันธุ์ได้ผลดี จากนั้นชาวบ้านจึงขอแบ่งมาปลูกขยายพันธุ์นับตั้งแต่นั้นมา ผู้ที่ทำการศึกษาต่อมา คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิศิษฐ์ วรอุไร นำขึ้นไปปลูกในพื้นที่วิจัยของโครงการหลวงทุ่งจ้อ และในปี พ.ศ. 2519 ได้เปลี่ยนชื่อพื้นเมืองซึ่งนิยมเรียกว่า กระเจียว หรือบัวสวรรค์ เป็นปทุมมาท่าน้อง ซึ่งภายหลังเรียกสั้นๆ ว่า ปทุมมา จากนั้นปทุมมาได้ถูกขยายพันธุ์ และนำไปปลูกในพื้นที่อื่นๆ ของจังหวัดเชียงใหม่ จนถูกเรียกชื่อภายหลังว่า พันธุ์เชียงใหม่ ต่อมา ดร. อุทัย จารณศรี ผู้เชี่ยวชาญพิเศษมูลนิธิแม่ฟ้าหลวงดอยตุง จังหวัดเชียงราย ได้ทำการขยายพันธุ์โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ทำให้ปริมาณการผลิตปทุมมาเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ชาวต่างประเทศสนใจนำไปใช้ประโยชน์ในการทำเป็นไม้กระถาง และเริ่มมีการส่งออกหัวปทุมมาสู่ตลาดโลกขึ้นในปี พ.ศ. 2528 โดยคุณ อุดร คำหอมหวาน เป็นผู้นำที่สำคัญ(จีรวัฒน์, 2535 ; สุรวิช, 2539)

ปทุมมาเจริญได้ดีในที่ที่มีแสงแดดจัดประมาณ 70-100% ดินที่เหมาะสมเป็นดินทรายที่มีอินทรีย์วัตถุสูง มีการระบายน้ำดี (สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 1, 2540)

วิภาดาและนิพัฒน์ (2537) นิพัฒน์และคณะ (2538) และสุรวิช (2539) กล่าวถึงวงจรการเจริญเติบโตของปทุมมาว่า ปทุมมาเป็นไม้หัวหลายฤดูที่มีช่วงการเจริญเติบโตนาน 7-8 เดือน เริ่มจากเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายนในแต่ละปี และต้นพืชออกดอกในช่วงฤดูฝน โดยมีช่วงเวลาออกดอก 2-3 เดือนหลังจากที่ต้นเริ่มงอก ในระยะที่ต้นออกดอก ต้นพืชเริ่มมีการสะสมอาหารไว้บริเวณโคนต้นที่อยู่ใต้ดินควบคู่กันไปกับการออกดอก หลังจากดอกโรยแล้วใบจึงเริ่มเหี่ยว และแห้งไปจนกระทั่งต้นยุบตัวในสัปดาห์สุดท้ายของเดือนกันยายนโดยประมาณ หัวพักตัวในฤดูหนาวคือช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ และเมื่อพ้นระยะพักตัวหัวใหม่เริ่มงอกอีกครั้งในต้นฤดูฝนของปีถัดไปประมาณสัปดาห์สุดท้ายของเดือนมีนาคม

3. การขยายพันธุ์ (สุรวิช, 2539 ; สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 1, 2540)

การขยายพันธุ์ปทุมมาสามารถทำได้หลายวิธีคือ

1. การเพาะเมล็ด

ปทุมมาพร้อมที่จะมีการถ่ายละอองเรณูได้ตั้งแต่ดอกเริ่มบานจนถึงดอกบานเต็มที่ ละอองเรณูมีความเป็นหมันในระดับปานกลางจนถึงต่ำ จึงต้องรับถ่ายละอองเรณูในขณะที่มีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในระดับสูง เนื่องจากปทุมมามีการพักตัวโดยธรรมชาติ จึงควรนำเมล็ดไปเก็บไว้ก่อน แล้วนำมาเพาะเมล็ดในฤดูปลูกถัดไป (ราวกลางเดือนเมษายน เป็นต้นไป) ปทุมมาบางพันธุ์ติดเมล็ดได้ง่ายตามธรรมชาติ จึงสามารถนำเมล็ดมาเพาะได้ แต่พบความแปรปรวนของต้นในการขยายพันธุ์แบบนี้ เนื่องจากเมล็ดที่ได้อาจเกิดจากการผสมข้ามพันธุ์ตามธรรมชาติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2. การแยกหัวปลูก

เป็นวิธีที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติ เมื่อหัวที่เก็บไว้เริ่มปลิตาออกมาจึงแยกหัวที่เพิ่มขึ้นนั้นไปปลูกโดยให้มีรากสะสมอาหารติดไปด้วย ช่วงฤดูปลูกที่เหมาะสมคือในช่วงต้นฤดูฝน (ปลายเดือนเมษายน) เนื่องจากหัวงอกเร็ว สามารถตัดดอกได้เร็วและช่วงเวลาออกดอกนาน

3. การผ่าเหง้าปลูก

เป็นวิธีการเพิ่มชิ้นส่วนของพันธุ์ให้มากขึ้น โดยผ่าแบ่งตามยาวเป็น 2 ชิ้นเท่าๆ กัน แนวการผ่าต้องอยู่กึ่งกลางระหว่างตาที่อยู่สองข้างของเหง้า ชิ้นเหง้าควรมีตาข้างที่สมบูรณ์ไม่น้อยกว่าหนึ่งตาและมีรากสะสมอาหารติดมาด้วยอย่างน้อยหนึ่งราก วิธีนี้เป็นการประหยัดค่าหัวพันธุ์เริ่มต้น แต่เกษตรกรไม่นิยมเนื่องจากมีปัญหาเรื่องโรคเข้าทำลายบริเวณบาดแผล

4. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

เป็นการเลี้ยงจากส่วนของช่อดอกอ่อนที่ได้จากต้นที่ไม่เป็นโรค โดยช่อดอกอ่อนระยะที่ดีที่สุดนั้นควรเป็นช่อดอกที่เพิ่งออกจากลำต้นเทียมและใบประดับต้องอยู่ในสภาพที่ปิดหุ้มอยู่ มีข้อดีคือปราศจากเชื้อ หรือมีการปนเปื้อนน้อย เปรียบเทียบกับการใช้ชิ้นส่วนจากหัว ซึ่งมีการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราสูงมาก ต้นที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อใช้เวลาประมาณ $1\ ^{1}/_{2} - 2$ ปี จึงให้ดอกและหัวพันธุ์ที่ได้คุณภาพ

4. บทบาทและหน้าที่ของธาตุอาหารพืช

4.1 มหธาตุหรือธาตุอาหารหลัก (macronutrients) คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณมากเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ประมาณ 1,000 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้งของพืช 1 กรัม มี 9 ธาตุ ได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) ธาตุไฮโดรเจน ออกซิเจน และคาร์บอน เป็นธาตุที่มีอยู่มากอย่างเพียงพอตามธรรมชาติ โดยพืชได้รับจากน้ำและอากาศ ส่วนธาตุที่เหลือพืชได้รับจากดินหรือการให้ธาตุอาหารเหล่านี้โดยตรงในรูปของปุ๋ย

4.2 จุลธาตุหรือธาตุอาหารรอง (micronutrients) คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็เพียงพอต่อการดำรงชีพ มี 7 ธาตุ ได้แก่ โบรอน (B) เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) โมลิบดินัม (Mo) และคลอรีน (Cl) ส่วนใหญ่พืชต้องการในปริมาณน้อยกว่า 100 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้งของพืชหนัก 1 กรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของพืชเหล่านี้ แม้ว่าพืชต้องการมหธาตุในปริมาณที่มาก ในขณะที่ต้องการจุลธาตุในปริมาณที่น้อย แต่ทั้งมหธาตุและจุลธาตุต่างก็มีความสำคัญเสมอกัน พืชจะขาดธาตุหนึ่งธาตุใดไม่ได้หรือจะใช้ทดแทนกันไม่ได้ พืชต้องได้รับธาตุอาหารเหล่านี้ครบทุกชนิดในปริมาณที่เพียงพอจึงจะเจริญเติบโตได้ดี (สมบุญ, 2536)

นอกจากธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของพืชทั้ง 16 ชนิดนี้แล้ว พืชบางชนิดต้องการธาตุอื่นๆ เป็นธาตุอาหารเสริมอีกด้วย เช่น พืชทะเลทรายและพืช C_4 หลายชนิด ต้องการโซเดียม (Na) ขณะที่ซิลิคอน (Si) จะช่วยให้พืชบางชนิดมีการเจริญเติบโตดีขึ้น และช่วยป้องกันการหักล้มในพืชวงศ์หญ้า นอกจากนี้ซิลิคอนที่อยู่ที่ใบหรือดอกยังช่วยป้องกันการกัดกินแมลงและสัตว์เพราะมักทำให้ใบสาก

ธาตุที่ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตแต่ไม่ได้มีคุณสมบัติตามหลักเกณฑ์สองข้อของธาตุอาหารที่จำเป็นหรือเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับพืชบางชนิดเท่านั้น ไม่จัดว่าเป็นธาตุที่จำเป็น แต่จัดว่าเป็นธาตุที่เป็นประโยชน์หรือ beneficial elements (สมบุญ, 2536 ; นิตย์, 2541)

ไนโตรเจน (Nitrogen)

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณมาก รากพืชดูดไนโตรเจนจากดินมาใช้ในรูปของเกลือไนเตรท (NO^-_3) และเกลือแอมโมเนียม (NH^+_4) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544 ; สมบุญ, 2538) แต่พืชมีความสามารถในการดึงไนโตรเจนทั้ง 2 รูปแบบไปใช้ได้ต่างกันเนื่องจากข้อจำกัดทางชีวเคมีภายในต้นพืช (Haynes, 1986) ในพืชบางชนิดมีจุลินทรีย์ช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศเปลี่ยนมาเป็นรูปเกลือไนเตรทที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ เช่นในรากพืชตระกูลถั่วมีไรโซเบียมช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้พืชนำไปใช้ได้ สารประกอบไนโตรเจนที่พบในเนื้อเยื่อพืชมีทั้งในรูปอนินทรีย์สาร ได้แก่ แอมโมเนียม ไนเตรท กับอินทรีย์สารซึ่งเกิดการสังเคราะห์ขึ้นใหม่จากไนเตรท แอมโมเนียม และยูเรีย [$CO(HN_2)_2$] โดยทั่วไปแล้วไนโตรเจนในรูปที่เป็นอนินทรีย์สาร สามารถสะสมในลำต้น และเนื้อเยื่อพืชได้ในรูปไนเตรท ส่วนแอมโนเนียมเมื่อเข้าสู่พืชแล้วถูกเปลี่ยนรูปเป็นอินทรีย์สารในราก ซึ่งมีอยู่มากในรูปของโปรตีน (ยงยุทธ, 2543 ; ชวนพิศ, 2544 ; Marscher, 1986 ; Jones, 1998 ; Sumner, 2000)

ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของโปรตีนซึ่งมีหน้าที่สำคัญมากในเซลล์ โดยเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของไซโทพลาสซึม เนื้อเยื่อ และเอนไซม์ นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนอิสระ และสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ เช่น อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (adenosine triphosphate, ATP) และโคเอนไซม์ (co-enzyme) เป็นต้น เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

(nucleic acid) ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน เป็นองค์ประกอบของสารพันธุกรรม เป็นองค์ประกอบของฮอร์โมนพืช คือ ออกซิน (auxin) ไซโทไคนิน (cytokinin) และเป็นองค์ประกอบของสารประกอบไนโตรเจนที่พืชสะสมไว้เพื่อทำหน้าที่ป้องกัน (protective compounds) เช่น นิโคติน (nicotine) จากใบยาสูบ และมอร์ฟีน (morphine) จากฝิ่น ซึ่งเป็นอัลคาลอยด์ (alkaloid) ทั้งสิ้น (สมบุญ, 2538 ; ยงยุทธ, 2543 ; ชวนพิศ, 2544)

ปริมาณไนโตรเจนในพืชแม้แตกต่างกันตามชนิดของพืช อวัยวะของพืช และระยะการเจริญเติบโต แต่โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 2-5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์อยู่ในคลอโรพลาสต์ ไนโตรเจนในรูปไนเตรทเคลื่อนย้ายได้ดีในไซเลม สามารถเก็บไว้ในแวคิวโอลของราก ยอด และอวัยวะอื่นของพืชได้ การสะสมไว้ในแวคิวโอลนั้นมีความสำคัญต่อความสมดุลของแคทไอออน-แอนไอออน และการควบคุมออสโอซิสภายในเซลล์ แต่ไม่เคลื่อนย้ายในโฟลเอม จึงไม่พบไนเตรทในน้ำเลี้ยงจากโฟลเอม รูปที่เคลื่อนที่ไปทางโฟลเอ็มได้ดีมาก คือ กรดอะมิโนหรือเอไมด์ เมื่อไนเตรทเข้าสู่พืชจะถูกรีดิวซ์จนได้แอมโมเนียมแล้วจึงเข้ารวมกับอินทรียสารบางชนิดสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนและเอไมด์ ส่วนแอมโมเนียมที่ถูกพืชดูดเข้าไปในเซลล์ถูกนำไปสังเคราะห์กรดอะมิโนและเอไมด์ได้ทันที (ยงยุทธ, 2543)

สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่พืชสังเคราะห์ในเบื้องต้น เช่น กลูตาเมทและกลูตามีน พืชนำไปใช้ในการสังเคราะห์กรดอะมิโน โปรตีน และสารประกอบอื่นๆ กระบวนการสังเคราะห์กรดอะมิโนและเอไมด์ เกิดขึ้นได้ทั้งในรากและส่วนเหนือดิน โดยต้องใช้คาร์โบไฮเดรตที่เคลื่อนย้ายมาจากใบเพื่อเป็นโครงคาร์บอน และแหล่งพลังงาน เมื่อสังเคราะห์กรดอะมิโนและเอไมด์ได้แล้ว ส่วนหนึ่งถูกลำเลียงทางไซเลมไปเลี้ยงต้นและใบ สำหรับสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่เคลื่อนย้ายทางไกลหรือส่งไปแหล่งเก็บมีความแตกต่างกันระหว่างพืช (ยงยุทธ, 2543 ; Marschner, 1986)

ไนโตรเจนในดินสูญเสียง่ายโดยการชะล้าง (leaching) ในรูปเกลือไนเตรท หรือเกิดการระเหย (volatilization) ในรูปแอมโมเนีย เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณมาก เมื่อพืชขาดไนโตรเจนจะเกิดอาการคลอโรซิส (chlorosis) คือ ใบมีสีเหลืองเนื่องจากขาดคลอโรฟิลล์ โดยปรากฏในใบแก่ที่อยู่ส่วนล่างก่อน ไนโตรเจนเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ในท่ออาหารได้ดี ใบอ่อนในระยะแรกยังคงมีธาตุนี้อยู่โดยได้รับจากใบแก่ที่อยู่ด้านล่าง ถ้าไนโตรเจนมีอยู่น้อยมาก ใบด้านล่างที่เหลือหลุดร่วงจากต้นและค่อยๆ ลุกลามไปยังใบอ่อนที่อยู่ด้านบน ทำให้ใบอ่อนมีสีเขียวซีดและเหลือง หลังจากนั้นการเจริญของส่วนยอดหยุดชะงัก ลำต้นแคระแกร็น ส่วนรากแผ่ขยายมาก และพืชตายในที่สุด (สมบุญ, 2536 ; นิตย์, 2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับพืชที่ได้รับไนโตรเจนมากเกินไป มีการเจริญทางวัฒภาค (vegetative growth) มาก ใบมีสีเขียวเข้ม มีการขยายเพิ่มขนาด และปริมาณของเซลล์ทำให้ใบมีขนาดใหญ่ปริมาณของใบมาก การออกดอกและผลช้าลง ในมันฝรั่งที่ได้รับไนโตรเจนมากเกินไปทำให้เกิดการสร้างใบมาก ในขณะที่รากเจริญน้อยและการสร้างลำต้นใต้ดินที่สะสมอาหารลดลงด้วย แต่เป็นผลดีสำหรับพืชพวกผักที่ทำให้มีการเจริญของใบดี (สมบุญ, 2538)

ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

พืชดูดฟอสฟอรัสในรูปสารอนินทรีย์พวกอนุมูลของไดไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน (H_2PO_4) และไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน (HPO_4^{-2}) ปริมาณไอออนทั้ง 2 ชนิดมีมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ดินที่มีค่า pH ต่ำกว่า 7 ฟอสฟอรัสมักจะอยู่ในรูป H_2PO_4 ถ้าดินที่มีค่า pH สูง ฟอสฟอรัสมักอยู่ในรูป (HPO_4^{-2}) (สมบุญ, 2538 ; นิตย์, 2541)

ฟอสเฟตไอออนในดินมักถูกดูดยึด (adsorb) ไว้ด้วยอนุภาคของดินเหนียว ทำให้พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้หรืออาจรวมตัวกับธาตุอื่นในดิน ในสภาพที่เป็นกรดหรือด่างมากเกินไปทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ไม่ได้ เช่น ในสภาพดินที่เป็นด่างมีไอออนของแคลเซียมและแมกนีเซียมมาก ทำให้ฟอสเฟตไอออนรวมกับไอออนประจุบวกเหล่านี้ กลายเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำในรูปที่พืชนำไปใช้ได้น้อย ส่วนดินที่เป็นกรดมาก ธาตุอะลูมิเนียมและเหล็กมีมากในดินจะรวมตัวกับฟอสเฟตไอออน เกิดตะกอนของอะลูมินัมฟอสเฟตและเหล็กฟอสเฟต ซึ่งทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ (สมบุญ, 2538)

ฟอสฟอรัส เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิกซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีนและเป็นศูนย์ข้อมูลทางพันธุกรรม เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของฟอสโฟลิปิดในเยื่อหุ้มเซลล์ของสิ่งมีชีวิต มีบทบาทสำคัญในระบบชีวเคมีของเซลล์ในด้านของสารประกอบพลังงานสูง โดยเฉพาะเป็นองค์ประกอบของ ATP และของโคเอนไซม์ (coenzyme) บางชนิด ได้แก่ NAD^+ $NADP^+$ FAD และโคเอนไซม์เอ (สมบุญ, 2538 ; ยงยุทธ, 2543) นอกจากนี้ยังกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการรีดิวซ์ในเตรท และช่วยลดความเป็นกรดของน้ำในเซลล์ (cell sap) ด้วย (นพดล, 2538)

โดยทั่วไปพืชต้องการฟอสฟอรัส 0.3-0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง เพื่อให้การเจริญเติบโตในระยะวัฒนภาค (vegetative stage) เป็นไปตามปกติ สำหรับระดับที่ถือว่าเป็นพิษคือสูงกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง (ยงยุทธ, 2543) เมื่อพืชขาดฟอสฟอรัสมีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ภายในเซลล์ ในขั้นแรกอัตราการสังเคราะห์แสงยังเป็นปกติแต่อัตราการหายใจลดลง ทำให้เกิดการสะสมของคาร์โบไฮเดรต หลังจากนั้นใบพืชมีสีเขียวเข้มเกิดการสะสมของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รงควัตถุพวกแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ที่ลำต้นและก้านใบ ทำให้ก้านใบเป็นสีชมพู อาการเริ่มเกิดที่ใบแก่ก่อน ใบเป็นจุดแห้งตาย (necrotic) การเจริญของพืชหยุดชะงัก ลำต้นแคระแกรน (นิตย์, 2541) นอกจากนี้การขาดฟอสฟอรัสยังมีผลกระทบต่อการเจริญพันธุ์อย่างมาก เช่น ออกดอกช้า จำนวนผล และเมล็ดน้อยลง การที่ใบพืชเสื่อมตามอายุและร่วงหล่นเร็วกว่าปกติเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตเมล็ดต่ำ (ดุสิต, 2535 ; ยงยุทธ, 2543)

โพแทสเซียม (Potassium)

พืชดูดโพแทสเซียมจากดินในรูปโมโนวาเลนต์โพแทสเซียมไอออน (K_2O) โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่ละลายน้ำดี ถูกชะล้างในดินได้ง่าย และไม่ได้เป็นองค์ประกอบหลักในโมเลกุลหรือในโครงสร้างของพืชจึงอยู่ในเซลล์พืชในสภาพที่เป็นไอออนที่ละลายน้ำได้ โพแทสเซียมมีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้ดี และมีบทบาทสำคัญเกี่ยวกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืชมากมาย (สมบุญ, 2538) ได้แก่ โพแทสเซียมช่วยในการสังเคราะห์และกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ RuBP carboxylase ในกระบวนการสังเคราะห์แสง กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ pyruvate kinase และ 6- phosphofructokinase ในกระบวนการสร้างแป้ง และ ATPase ที่เยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการควบคุมศักย์ออสโมซิสของเซลล์ เนื่องจากเซลล์พืชมีโพแทสเซียมไอออนมากกว่าไอออนอื่นๆ ธาตุนี้จึงมีส่วนค่อนข้างมากในค่าศักย์ออสโมซิสของเซลล์ด้วย ความสำคัญในแง่นี้ทำให้โพแทสเซียมมีบทบาทต่อการขยายขนาดเซลล์ การปิดเปิดปากใบ นอกจากนี้ยังพบว่าโพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญที่ช่วยให้ซูโครสเข้าสู่ท่อลำเลียงอาหาร และมีการเคลื่อนย้ายตัวทำละลายในท่อลำเลียงอาหารได้มากขึ้น หน้าที่ในเรื่องนี้เกี่ยวข้องกับการรักษาระดับ pH ใน sieve plate ให้สูงและคงที่ เพื่อให้ซูโครสเคลื่อนย้ายเข้าสู่ sieve plate ได้สะดวก และการเพิ่มความดันออสโมซิสใน sieve plate บริเวณต้นทางของการเคลื่อนย้ายให้สูง ซึ่งช่วยเพิ่มอัตราการลำเลียงสารจากการสังเคราะห์แสง (photosynthates) จากแหล่งจ่าย (source) มายังบริเวณที่สะสม (sink) (ยงยุทธ, 2543)

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

พืชแต่ละชนิดมีความต้องการโพแทสเซียม เพื่อการเจริญเติบโตตามปกติในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 2-5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งของใบ ลำต้น ผล และหัว ทั้งนี้ยกเว้นพืชชอบโซเดียม (natrophilic species) ซึ่งความต้องการโพแทสเซียมมีน้อยกว่าพืชทั่วไป แต่ถ้าได้รับธาตุนี้จากเครื่องปลูกน้อยเกินไปย่อมเกิดภาวะขาดแคลนทำให้การเจริญเติบโตลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โพแทสเซียมส่วนที่เคยสะสมอยู่ใบแก่และอวัยวะอื่นๆ ก็เคลื่อนย้ายทางท่อลำเลียงอาหาร (phloem) ไปเลี้ยงเนื้อเยื่อที่กำลังเจริญ อวัยวะดังกล่าวจึงมีอาการผิดปกติ เช่น เกิดคลอโรซิส (ยงยุทธ, 2543) เกิดขึ้นในใบแก่ก่อน ใบเหลือง แห้งตายเป็นจุด ๆ บริเวณขอบ และปลายใบ หรือใบอาจม้วนงอ หลังจากนั้นจึงแพร่กระจายไปทั่วลำต้น (สมบุญ, 2538)

การเพิ่มปุ๋ยโพแทสเซียมในเครื่องปลูกเพื่อให้พืชดูดทางรากช่วยเพิ่มความเข้มข้นของธาตุในอวัยวะต่างๆ ทั้งนี้ยกเว้นเมล็ดซึ่งมักคงความเข้มข้นไว้ประมาณ 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งเท่านั้น หากเพิ่มปุ๋ยในอัตราที่สูงเกินไป เนื้อเยื่อพืชอาจสะสมไว้มากแต่การเจริญเติบโตไม่เพิ่มขึ้น เรียกสภาพนี้ว่า luxury consumption ซึ่งนอกจากไม่เกิดประโยชน์ใดๆ แล้ว ยังอาจมีผลในทางลบต่อการดูดใช้ และบทบาทเชิงสรีระของแคลเซียมและแมกนีเซียมด้วย (ยงยุทธ, 2543)

แคลเซียม (Calcium)

พืชดูดแคลเซียมไปใช้ในรูปไดวาเลนต์แคลเซียมไอออน (Ca^{+2}) แคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายทางท่ออาหารได้ยาก ดังนั้นเมื่อแคลเซียมอยู่ในเนื้อเยื่อพืชแล้วจึงไม่ค่อยเคลื่อนย้ายไปส่วนอื่น (สมบุญ, 2538) ความเข้มข้นของแคลเซียมในพืชแตกต่างกันตามสภาพการปลูก พันธุ์พืช และอวัยวะซึ่งแปรผันอยู่ในช่วง 0.1 ถึงมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง พืชใบเลี้ยงคู่ต้องการแคลเซียมเพื่อให้มีการเจริญเติบโตอย่างพอเหมาะมากกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยว โดยทั่วไปในดินมักไม่ค่อยขาดแคลเซียมยกเว้นในดินที่เป็นกรด (ยงยุทธ, 2543)

แคลเซียมเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ในรูปแคลเซียมเพคเตท (calcium pectate) ในมิดเดิลลาเมลลา (middle lamella) ของผนังเซลล์ มีบทบาทสำคัญทำให้ผนังเซลล์ เนื้อเยื่อและต้นพืชแข็งแรง เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึม การสร้างนิวเคลียส และไมโทคอนเดรีย ตลอดจนการแบ่งเซลล์ และการขยายตัวของเซลล์ นอกจากนี้ยังช่วยให้ส่วนประกอบของเซลล์เมมเบรนมีโครงสร้างและทำหน้าที่ได้สมบูรณ์ ตลอดทั้งควบคุมการเข้าออกของสารบางชนิดในเซลล์ เกลือแคลเซียมของเลซิทิน (lecithin) เป็นองค์ประกอบของลิพิดซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของเซลล์เมมเบรน แคลเซียมมีบทบาทต่อเอนไซม์บางชนิด เป็นองค์ประกอบในเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α-amylase) ซึ่งมีหน้าที่ย่อยแป้ง ทำให้โมเลกุลของแป้งถูกทอนให้สั้นลง จึงนับเป็นเอนไซม์ชนิดหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนย้ายแป้งจากแหล่งสะสมไปยังส่วนอื่นของพืช นอกจากนี้ยังช่วยย่อยแป้งในเอนโดสเปิร์มของเมล็ด ให้มีโมเลกุลเล็กลงสำหรับใช้ในกระบวนการงอก นอกจากนี้แคลเซียมยังเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ฟอสฟาเทส (phosphatase) ฟอสฟอลิเพส (phospholipase) อาร์จินินคิเนส (arginine kinase) และอื่นๆ (ยงยุทธ, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

แคลเซียมช่วยลดความเป็นพิษ (detoxify) ของกรดออกซาลิก (oxalic acid) โดยรวมตัวเป็นผลึกแคลเซียมออกซาเลต (calcium oxalate) ในแวคิวโอล แคลเซียมยังมีผลต่อขบวนการสร้างปมและการตรึงไนโตรเจนของไรโซเบียมในรากพืชตระกูลถั่วอีกด้วย (สมบุญ, 2538)

ในสภาพดินด่างและมีแคลเซียมมากเกินไปพบว่า แคลเซียมรวมตัวกับฟอสฟอรัสเกิดเป็นแคลเซียมฟอสเฟตทำให้พืชนำไปใช้ไม่ได้ และในดินที่เป็นด่างสูงทำให้ธาตุที่สำคัญบางอย่างในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ลดลง เช่น การขาดเหล็ก มีผลทำให้การดูดแคลเซียมลดลงได้ ฉะนั้นการมีแคลเซียมมากเกินไป (excess calcium) ทำให้เกิดการขาดแคลเซียมในพืช (calcium deficiency) ได้

พืชที่ขาดแคลเซียมพบว่า บริเวณปลายยอดและปลายรากไม่เจริญ เพราะเนื้อเยื่อจะไม่สร้างผนังเซลล์ทำให้เซลล์ไม่แบ่งตัว ลำต้น ยอด ก้านใบเปราะหักง่าย เซลล์ไม่ขยายตัว ใบเหลือง เกิดคลอโรซิสในบริเวณใบอ่อน และใบอ่อนมักบิดเบี้ยวเสียรูปทรง เกิดลักษณะงอคล้ายตะขอ (hook) ลำต้นแคระแกรน เนื่องจากแคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ยาก อาการขาดธาตุแคลเซียมจะเกิดที่บริเวณใบอ่อนก่อน (สมบุญ, 2538) อวัยวะซึ่งคายน้ำน้อยแต่อัตราการเจริญเติบโตสูงมักมีความเสี่ยงต่อการขาดแคลเซียมหรือมีแคลเซียมในอวัยวะนั้นต่ำกว่าระดับวิกฤตหรือมีธาตุนี้ไม่เพียงพอสำหรับคงสภาพที่ดีของเนื้อเยื่อไว้ได้ เป็นเหตุให้พืชแสดงอาการขาดแคลเซียมที่ผล เช่น อาการมะเขือเทศก้นเน่า (blossom end rot) และผิวผลแอปเปิลมีรอยบุ๋ม (bitter pit) หรือที่อวัยวะอื่นๆ เช่น อาการไส้เน่า (black heart) ของกะหล่ำดอก อาการปลายใบไหม้ของผักกาดหอมหรือผักกาดเขียวปลี (tipburn) สำหรับผลที่มีเนื้อมาก (fleshy fruits) หากมีแคลเซียมน้อยเกินไปจะเข้าสู่สภาพเสื่อมอายุ (senescence) รวดเร็วและเชื้อราเข้าทำลายง่าย ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวจึงมีสูง (ยงยุทธ, 2543) ในดินที่เป็นกรดพืชมักขาดแคลเซียม อาจแก้ปัญหาโดยการใส่ปูนขาว พวกแคลเซียมออกไซด์ (CaO) แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ลงไปในดินทำให้ค่า pH ของดินสูง (สมบุญ, 2538)

แมกนีเซียม (Magnesium)

แมกนีเซียมที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้อยู่ในรูปของไดวาเลนต์แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) (สมบุญ, 2538 ; นิตย์, 2541) หน้าที่สำคัญของแมกนีเซียมในพืชคือ เป็นอะตอมแกนกลางของโมเลกุลของคลอโรฟิลด์ พืชสีเขียวจึงต้องใช้ธาตุแมกนีเซียมเพื่อสร้างคลอโรฟิลด์สำหรับการเจริญเติบโต (ดุสิต, 2535 ; นพดล, 2538) และเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในปฏิกิริยาหลักของการถ่ายทอดพลังงานในกระบวนการสังเคราะห์แสง เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด รวมทั้งเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างแป้ง (สมบุญ, 2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นตัวกระตุ้นการทำงาน ของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการคาร์โบไฮเดรตเมแทบอลิซึม ซึ่งมีความสำคัญในกระบวนการหายใจของเซลล์ (ยงยุทธ, 2543) นอกจากนี้แมกนีเซียมยังมีบทบาทเกี่ยวกับการสังเคราะห์โปรตีน ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก โดยธาตุแมกนีเซียมจะรวมตัวกับไรโบโซมช่วยสร้างเสถียรให้กับไรโบโซมและทำให้เกิดการสังเคราะห์โปรตีน (สมบุญ,2538) แมกนีเซียมช่วยเคลื่อนย้ายธาตุฟอสฟอรัส โดยไปรวมกับธาตุฟอสฟอรัสทำให้ได้สารประกอบแมกนีเซียมฟอสเฟตที่เคลื่อนย้ายง่าย (นพดล,2538)

พืชปกติมีแมกนีเซียมในอวัยวะด้านวัฒนภาค อยู่ในช่วง 0.15 - 0.35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง (ยงยุทธ,2543) แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ ถ้าพืชขาดแมกนีเซียมทำให้ใบเหลืองซีดในบริเวณเนื้อเยื่อใบที่อยู่ระหว่างเส้นใบและก้านใบ พบว่า ก้านใบยังเขียวอยู่เรียกว่า interveinal chlorosis โดยในระยะแรกเกิดขึ้นในบริเวณใบที่แก่อยู่ด้านล่างก่อนจึงลุกลามไปยังใบอ่อน เพราะแมกนีเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ง่ายเกิดการสร้างแอนโทไซยานินที่ใบทำให้เห็นเป็นจุดสีต่าง ๆ เช่น ม่วง แดง เหลือง เซลล์ของใบมักแห้งไหม้ตายเป็นจุด ๆ กระจายไปทั่วและปลายใบม้วนงอ (สมบุญ,2538) แต่ถ้าพืชได้รับธาตุแมกนีเซียมมากเกินไป พืชแสดงอาการม้วนใบและมีอาการเฉาตายจากปลายใบ (นพดล,2538)

ปริมาณแมกนีเซียมและโพแทสเซียมในดิน มีความสัมพันธ์กันด้านการแก่งแย่งการดูดธาตุอาหารของพืช (antagonistic effect) พบว่า ในดินที่มีธาตุแมกนีเซียมมากมีผลทำให้พืชเกิดอาการขาดธาตุโพแทสเซียมและในดินที่มีโพแทสเซียมมาก การดูดแมกนีเซียมของพืชลดลงทำให้พืชขาดแมกนีเซียมได้ (สมบุญ,2538)

ความสัมพันธ์ของปริมาณธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืชกับการเจริญเติบโต

ตลอดวงจรชีวิตการเจริญเติบโตของพืช นับตั้งแต่เมล็ดหรือหัวพันธุ์งอกเป็นต้นกล้า และมีการเจริญเติบโตทางลำต้น ผลิใบ ออกดอก จนกระทั่งเข้าสู่ระยะชราภาพหรือพักตัวพบว่า ระดับปริมาณธาตุอาหารภายในพืชมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโต การออกดอก และคุณภาพดอก นอกจากนี้ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในเนื้อเยื่อพืช ยังสามารถใช้เป็นค่าประเมินความต้องการธาตุอาหารของพืชได้ ดังนั้นในการจัดการธาตุอาหารพืชให้เหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการของพืช จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ศูนย์วิจัยพืชสวนเชียงราย (2540) ได้ศึกษาปริมาณธาตุอาหารสะสมในหัวปทุมมาพันธุ์ Chiangmai Pink หลังการเก็บเกี่ยว โดยสุ่มเลือกหัวพันธุ์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร มาวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในส่วนหัวและตุ้มราก แล้วนำปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่างๆ เหล่านี้ มาประเมินหาความต้องการไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมพบว่า การปลูกปทุมมาให้ได้หัวพันธุ์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร พร้อมตุ้มราก 4 ตุ้ม ปทุมมามีความต้องการธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ประมาณ 2.56 0.77 และ 6.74 กรัม ตามลำดับ

Hagiladi *et al*. (1997) ได้วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และโซเดียม ในส่วนหัวและตุ้มรากของปทุมมาพันธุ์ Chiangmai Pink ระยะพักตัวพบว่า หัวและตุ้มรากมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และโซเดียมไม่แตกต่างกัน แต่ทั้งในหัวและตุ้มรากนั้นพบว่า ปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมมีแนวโน้มมากกว่าฟอสฟอรัสและโซเดียม

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2544) รายงานว่า พืชหัวโดยทั่วไปต้องการไนโตรเจนมากในระยะแรกสำหรับการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินเพื่อให้มีใบมาก มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงได้สูง เมื่อถึงเวลาที่เหมาะสมการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินถูกบังคับให้หยุดเพื่อให้คาร์โบไฮเดรตที่เกิดขึ้นในระยะนี้เคลื่อนย้ายมาสะสมที่ส่วนใต้ดินให้มากที่สุด

Ruamrungsri (1997) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ของนาซิสซัสพันธุ์ Garden Giant พบว่าเมื่อเริ่มปลูกปริมาณไนโตรเจนในกลีบของหัวที่ใช้ปลูก มีปริมาณสูงที่สุดเมื่อเทียบกับส่วนอื่น ต่อมาเมื่อรากงอกออกมาปริมาณไนโตรเจนในรากมีเพิ่มขึ้น ในขณะที่ไนโตรเจนในหัวเริ่มลดลง เมื่อพ้นฤดูหนาวต้นมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ปริมาณไนโตรเจนในต้นเหนือดินเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ และสูงสุดเมื่อหลังการออกดอก จากนั้นปริมาณลดลง ต่อมาเมื่อมีการสร้างหัวใหม่พบว่า ปริมาณไนโตรเจนไปสะสมที่หัวใหม่มากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเข้าสู่ระยะพักตัว

Llabres *et al.* (1987) ศึกษาปริมาณไนโตรเจน และปริมาณกรดอะมิโนอิสระใน *Narcissus assoanus* ในส่วนเหนือดิน และหัว ในระยะการเติบโต 12 ระยะ พบว่า ปริมาณไนโตรเจนในส่วนเหนือดิน มีมากที่สุดในช่วงพืชกำลังออกดอก และกรดอะมิโนอิสระที่พบมากในส่วนเหนือดิน ในระยะออกดอก ได้แก่ กรดกลูตามิค กรดแกมมาอะมิโนบูไทริค และกรดแอสพาร์ติค ในส่วนของพืชใต้ดินพบว่า มีปริมาณไนโตรเจนมากในช่วงหัวมีการเจริญเติบโตสูงสุด และพบกรดกลูตามิค และ กรดอาร์จินีนในปริมาณมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Menzel *et al.* (1992) ได้ศึกษาปริมาณธาตุอาหารสำรองในส่วนต่างๆ ของลิ้นจี่พันธุ์ Bengal โดยแยกส่วนต่างๆ ของพืชเป็น 9 ส่วนเพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในส่วนของพืชหลังจากแทงช่อดอก พบว่า มีการสะสมน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งทั้งต้น และปริมาณธาตุอาหารที่สะสมมีความเข้มข้นสูงในใบ กิ่งแขนง และกิ่งขนาดเล็กตามลำดับ และปริมาณลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้นของส่วนต่างๆ ของพืช ยกเว้นฟอสฟอรัสจะมีการสะสมสูงในกิ่งขนาดเล็ก

Gagnard (1987) รายงานว่า ปริมาณธาตุไนโตรเจน ที่มีมากในแอปเปิล (80 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของผลสด) มีผลทำให้ความแน่นเนื้อน้อยลง สีผิวไม่ดีเท่าที่ควร และเกิดการเน่าเสียในช่วงที่เก็บรักษา ปริมาณฟอสฟอรัส และแคลเซียมในผลที่ต่ำ (11 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของผลสด) ทำให้ความแน่นเนื้อลดลง และเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดสีน้ำตาลภายในผล (internal browning) แต่ถ้าแคลเซียมในผลมีปริมาณมากทำให้คุณภาพของผลดีขึ้น

Cheng *et al.*(1999) ได้ศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในสารละลายธาตุอาหาร กับการดูดซึมธาตุอาหาร และปริมาณธาตุอาหารสะสมในใบส้ม Navel orange ที่ปลูกในทราย พบว่า การเปลี่ยนแปลงระดับธาตุอาหารในพืชขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของธาตุอาหารในสารละลาย หากความเข้มข้นของธาตุอาหารในสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้น ก็ทำให้ธาตุอาหารในพืชเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ผลของความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ใช้ปลูกเลี้ยงต่อการเจริญเติบโตของพืช

วันเพ็ญ (2546) ศึกษาผลของความเข้มข้นของไนโตรเจน 4 ระดับคือ 0 210 (กรรมวิธีควบคุม) 420 และ 630 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อการเจริญเติบโตของดองดึง โดยปลูกดองดึงในสารละลายของ Hoagland and Arnon พบว่า ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในการปลูกดองดึง คือ 210 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งทำให้พืชมีความสูง และน้ำหนักหัวมากกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในกรรมวิธีนี้จำนวนดอก จำนวนฝัก สูงกว่ากรรมวิธีอื่น ปริมาณกรดอะมิโนและโปรตีนในหัวมากกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ดองดึงที่ได้รับไนโตรเจน 210 มิลลิกรัมต่อลิตร เข้าสู่ระยะพักตัวช้ากว่าเมื่อได้รับไนโตรเจน 420 และ 630 มิลลิกรัมต่อลิตร

Yen and Lin (1999) ศึกษาผลของความเข้มข้นและรูปไนโตรเจน (ไนเตรท ยูเรีย และแอมโมเนียม) ต่อการเติบโตของเดหลี (*Spathiphyllum*) พบว่า ไนโตรเจนความเข้มข้น 8 มิลลิโมล ทำให้พืชมีพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งของยอด และรากดีที่สุด การเพิ่มความเข้มข้นของไนโตรเจนถึง 32 มิลลิโมล ทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นแต่ใบมีการยับย่น (puckered leaves) อัตราไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น 0-8 มิลลิโมล ทำให้ใบมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเพิ่ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขึ้นและปริมาณแคลเซียมลดลง แต่ในระหว่างความเข้มข้นไนโตรเจน 8 และ 32 มิลลิโมล พบว่า ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมีปริมาณคงที่ ผลผลิตของพืชมีคุณภาพดีที่สุดเมื่อได้รับไนโตรเจนในรูปไนเตรทหรือยูเรีย ส่วนการได้รับในรูปแอมโมเนียมให้ผลผลิตน้อยที่สุด

Rajiv and Misra (2003) ศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจน ต่อการเจริญเติบโต การออกดอก และผลผลิตของแกลดิโอลัสพันธุ์ Jester Gold โดยการให้ไนโตรเจน 5 ระดับคือ 0 20 40 60 และ 80 กรัมต่อตารางเมตร พบว่า การให้ไนโตรเจน 60 กรัมต่อตารางเมตร ทำให้แกลดิโอลัสมีการเจริญเติบโตและออกดอกดีที่สุด โดยมีจำนวนใบ 6.0 ใบ พื้นที่ใบ 330.83 ตารางเซนติเมตร ความสูงของต้น 80.6 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของดอกย่อย 9.7 เซนติเมตร จำนวนดอกย่อยต่อช่อ 15.7 ดอก และความยาวช่อดอก 58.8 เซนติเมตร ส่วนการให้ไนโตรเจน 80 กรัมต่อตารางเมตร ทำให้แกลดิโอลัสมีคุณภาพของหัวดีที่สุด โดยมีจำนวนหัวต่อต้น 1.8 หัว ขนาดหัว 5.3 เซนติเมตร น้ำหนักหัว 44.8 กรัม จำนวนหัวย่อยต่อต้น 19.3 หัว และน้ำหนักหัวย่อย 5.0 กรัม

เกียรติรวี (2544) ศึกษาผลของไนโตรเจนต่อผลผลิตและคุณภาพของมะนาวพันธุ์แป้นที่ปลูกในทราย โดยมีการควบคุมความเข้มข้นของไนโตรเจน 3 ระดับ คือ 600 800 และ 1000 มิลลิอิคคิวาเลนซ์ต่อลิตร พบว่า ไนโตรเจนที่ระดับความเข้มข้น 1000 มิลลิอิคคิวาเลนซ์ต่อลิตร มีผลทำให้มะนาวมีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (TA) และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) มากกว่าระดับไนโตรเจนที่ระดับความเข้มข้นอื่น ไนโตรเจนทุกความเข้มข้นไม่มีผลต่อ ขนาดผล น้ำหนักผล ปริมาณน้ำคั้น และค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำคั้น ส่วนปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ มีค่าสูงขึ้นเมื่ออายุของผลมะนาวเพิ่มขึ้น ระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนไม่มีผลต่อการสะสมน้ำหนักแห้งและปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมะนาว แต่ไนโตรเจนที่ระดับความเข้มข้น 800 มิลลิอิคคิวาเลนซ์ต่อลิตร มีการสะสมปริมาณธาตุไนโตรเจนในใบที่ได้จากกิ่งที่มีผลผลิตมากกว่ากิ่งที่ไม่มีผลผลิต ในขณะที่ปริมาณ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ในใบของทุกระดับความเข้มข้นไม่แตกต่างกัน

Lis-Krzyscin (1999) ศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโต ปริมาณไนโตรเจนใน *Pelargonium* x *hortorum* พันธุ์ Pinto Salmon Orange ที่ปลูกในกระถางภายใต้สภาพโรงเรือน โดยใช้กระถางที่มีขนาด 2 ลูกบาศก์เดซิเมตร บรรจุทรายผสมพีทอัตรา 2:1 ใช้ไนโตรเจน 6 อัตรา คือ 100 120 140 160 180 และ 200 มิลลิกรัมต่อกระถาง พบว่า อัตราไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นจาก 100 ถึง 200 มิลลิกรัมต่อกระถาง มีความยาวของยอดหลัก จำนวนกิ่งก้าน และจำนวนช่อดอกเพิ่มขึ้น ระดับไนโตรเจน 160 180 และ 200 มิลลิกรัมต่อกระถาง ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตมากและออกดอกหนาแน่น ซึ่งพบว่าที่ระดับไนโตรเจน 160 มิลลิกรัมต่อกระถาง เป็นระดับไนโตรเจนต่ำสุดที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Mukherjee *et. al*. (1994) ศึกษาผลของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการออกดอกและจำนวนหัวของแกลดิโอลัส (G. *grandiflorum* L.) พันธุ์ Vink's Glory โดยการให้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 40 50 และ 60 กรัมต่อตารางเมตร และฟอสฟอรัส 10 20 และ 30 กรัมต่อตารางเมตร และโพแทสเซียมในอัตราคงที่ 20 กรัมต่อตารางเมตร พบว่า การให้ไนโตรเจน 50 กรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับฟอสฟอรัส 10-20 กรัมต่อตารางเมตร ทำให้มีจำนวนดอกย่อยต่อช่อมากที่สุดและขนาดหัวใหญ่ที่สุด

Rajiv *et al*. (2003) ศึกษาผลของอิทธิผลของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตการออกดอก และคุณภาพหัวของแกลดิโอลัสพันธุ์ Sylvia โดยการให้ปุ๋ยไนโตรเจน 4 ระดับ คือ 0 20 30 และ 40 กรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับฟอสฟอรัส 3 ระดับ คือ 10 20 และ 30 กรัมต่อตารางเมตร พบว่า การให้ไนโตรเจน 30 กรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับฟอสฟอรัส 30 กรัมต่อตารางเมตร แกลดิโอลัสมีการเจริญเติบโตดีที่สุด โดยมีความสูงของต้น 86.65 เซนติเมตร จำนวนดอกย่อยต่อช่อ 15.80 ดอก ความยาวช่อดอก 75.70 เซนติเมตร ความยาวใบ 55.85 เซนติเมตร ความกว้างใบ 2.79 เซนติเมตร จำนวนหัวต่อต้น 1.50 หัว และน้ำหนักของหัวย่อยต่อต้น 54.30 กรัม ส่วนการให้ไนโตรเจน 40 กรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับฟอสฟอรัส 30 กรัมต่อตารางเมตร แกลดิโอลัสมีขนาดหัวใหญ่ที่สุดคือ 6.16 เซนติเมตร

Clark (1997) ศึกษาผลของไนโตรเจนและโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตของแซน-เดอโซเนีย (*Sandersonia*) โดยการให้ไนโตรเจน 4 ระดับ คือ 5 10 20 และ 40 กรัมต่อตารางเมตร และโพแทสเซียม 4 ระดับ คือ 0.4 0.8 1.8 และ 3.2 มิลลิอิควิวาเลนซ์ต่อ100 กรัม พบว่า ระดับของไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่เพิ่มขึ้น ทำให้น้ำหนักหัว ปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมในใบที่มีอายุมากลดลง จำนวนดอกและเปอร์เซ็นต์ตาข้างเพิ่มขึ้นเมื่อให้ระดับไนโตรเจนเพิ่มขึ้น แต่ความสูงของต้นลดลงเมื่อโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น

Nautiyal and Bajpai (1979) ศึกษาความต้องการธาตุอาหารของว่านสี่ทิศพันธุ์ Royal Dutch โดยการให้ไนโตรเจน 40-80 กรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับฟอสฟอรัส (P_2O_5) 30 และ 60 กรัมต่อตารางเมตร และโพแทสเซียม (K_2O) 30 และ 60 กรัมต่อตารางเมตร พบว่า การให้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม 60 30 และ 30 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตดีที่สุดในด้านของจำนวนดอกและคุณภาพดอก ส่วนการให้ไนโตรเจน 60 และ 80 กรัมต่อตารางเมตร ทำให้อัตราการออกดอกช้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Thomas *et al*. (1998) ศึกษาผลของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโต การออกดอก ผลผลิตและคุณภาพหัวฟรีเซีย พบว่า การให้ไนโตรเจนที่ระดับความเข้มข้น 600 – 800 กรัมต่อตารางเมตร และฟอสฟอรัส 200 กรัมต่อตารางเมตร ทำให้ใบของฟรีเซียแข็งแรง การบานของดอกและการเจริญเติบโตของหัวใหม่ดี

Venkatesha *et al*. (1998) ศึกษาผลของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต และคุณภาพหัวของขมิ้น (*Curcuma domestica* Val.) พบว่า การให้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม 150 125 และ 200 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ มีการเจริญเติบโตดีที่สุดทั้งความสูง ผลผลิต และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหัว

Anil *et al*. (2000) ศึกษาอิทธิพลของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของแกลดิโอลัส (*Gladiolus* sp.) โดยการให้ปุ๋ยไนโตรเจน 4 ระดับคือ 0 40 60 และ 80 กรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับฟอสฟอรัส 3 ระดับ คือ 0 10 และ 20 กรัมต่อตารางเมตร และโพแทสเซียม 3 ระดับคือ 0 10 และ 20 กรัมต่อตารางเมตร พบว่า เมื่อเพิ่มระดับไนโตรเจนมีผลทำให้การเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยการให้ไนโตรเจน 60 กรัมต่อตารางเมตร ทำให้ต้นมีความสูงเฉลี่ยมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า การให้ไนโตรเจน 60 กรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม 20 กรัมต่อตารางเมตร ทำให้มีความยาวช่อดอกเฉลี่ยยาวที่สุด และแกลดิโอลัสมีจำนวนหัวมากที่สุดเมื่อให้ไนโตรเจน 80 กรัมต่อตารางเมตร ร่วมกับฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม 20 กรัมต่อตารางเมตร ส่วนความแตกต่างกันของระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแกลดิโอลัส

Singh *et al*. (2002) ศึกษาผลของความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโตรเจน (0 25 50 และ 75 กรัมต่อตารางเมตร) ฟอสฟอรัส (0 20 และ 30 กรัมต่อตารางเมตร) และ โพแทสเซียม (0 และ 20 กรัมต่อตารางเมตร) ต่อปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในใบของแกลดิโอลัส (G. *grandiflorus*) พันธุ์ Sylvia พบว่า ระดับธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในใบเพิ่มขึ้นตามอัตราความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้น โดยการให้ฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณไนโตรเจนในใบเพิ่มขึ้น ส่วนการให้ไนโตรเจนและโพแทสเซียมทำให้ฟอสฟอรัสในใบเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่โพแทสเซียมในใบเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนความแตกต่างกันของอัตราความเข้มข้นของฟอสฟอรัสไม่มีผลต่อปริมาณโพแทสเซียมในใบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved