บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ปทุมมา เป็นพืชกลุ่มกระเจียว มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Curcuma alismatifolia* Gagnep. จัดเป็นพืชในวงศ์ Zingiberaceae สกุล *Curcuma* Valeton (1918) อ้างโดย Sirirugsa *et al.* (2007) แบ่งพืชสกุลนี้ตามลักษณะช่อดอกและเกสรตัวผู้ออกเป็น 2 สกุลย่อย คือ Eucurcuma และ Paracurcuma สำหรับปทุมมาจัดอยู่ในสกุลย่อย Paracurcuma มีถิ่นกำเนิดในแถบอินโดจีน เช่น พม่า ไทย และพบว่ามีการกระจายพันธุ์จากอินเดียสู่มาเลเซีย อินโดนีเซีย และตอนใต้ของจีน พบทั่วไปในป่าของประเทศไทยตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนกระทั่งสูง 1000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล (Larsen, 1980)

1. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของปทุมมา

ระบบราก

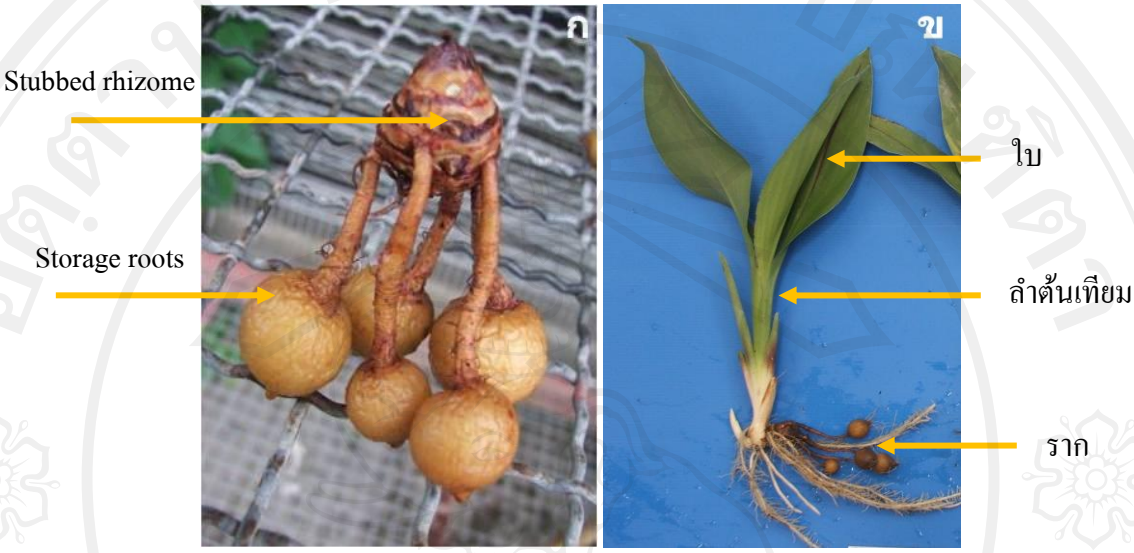
ปทุมมาเป็นไม้หัวที่มีระบบราก 2 แบบ คือ ระบบรากฝอย (fibrous roots) และรากค้ำยัน (contractile roots) โดยในระยะแรกเกิดเป็นรากฝอย มีหน้าที่ดูดธาตุอาหารและน้ำ ต่อมาหลังการเจริญเติบโตไปได้ระยะหนึ่ง จึงมีการสร้างรากแบบที่ 2 ซึ่งเป็นรากค้ำยันขึ้นเพื่อทำหน้าที่ค้ำยันต้นและดูดอาหาร เมื่อใกล้ระยะพักตัวบริเวณปลายรากค้ำยันมีการขยายขนาดพองออกมีลักษณะเป็นตุ้ม (storage roots) เก็บสะสมอาหารเพื่อการเจริญในฤดูถัดไป ซึ่งจำนวนตุ้มรากสะสมอาหารเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดคุณภาพของต้นและดอกปทุมมา (โสระยา, 2547) เมื่อเก็บรักษาหัวพันธุ์เป็นเวลานาน พบว่า ตุ้มรากจะค่อยๆเหี่ยวก่อน ส่วนของเหง้าเป็นส่วนที่เหี่ยวช้าที่สุด และแม้ว่าหัวพันธุ์ที่ไม่มีตุ้มราก หรือถูกตัดตุ้มรากทิ้งก่อนปลูก สามารถงอกได้เช่นเดียวกับหัวพันธุ์ที่มีตุ้มราก แต่หัวพันธุ์ที่มีตุ้มรากมากสามารถเก็บรักษาได้นานกว่า (สุรวิช, 2539)

ลำต้น

ลำต้นแท้จริงอยู่ใต้ดินเรียกว่าเหง้า (rhizome) (ภาพที่ 1) รูปร่างลักษณะค่อนข้างกลม มีข้อและปล้องชัดเจนอัดกันแน่น เรียกว่า stubbed rhizome (Apavatjrut *et al*., 1999) มีตาเรียงตัวในแนวเดียวกัน 3 - 4 ตา ส่วนของหัวมีรากสะสมอาหารติดอยู่ 1 - 5 ราก มีลักษณะเป็นเส้นหนาที่ปลายรากบวมพองออกมาเป็นตุ้มเรียก ตุ้มน้ำ หรือ ตุ้มราก (storage root) จำนวนรากสะสมอาหารมีผลต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพดอกของปทุมมา โดยส่วนลำต้นทำหน้าที่สะสมน้ำและอาหาร ตาข้างของเหง้าเจริญเติบโตเป็นลำต้นเทียม (pseudostem) มีลักษณะเป็นกาบ ทำหน้าที่เป็นก้านใบและห่อหุ้มส่วนก้านดอก ความสูงของต้นจากโคนถึงยอดสุดประมาณ 50 เซนติเมตร เมื่อต้นเริ่มแก่ส่วน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โคนลำต้นใต้ดินจะโป่งออกทางด้านข้าง และเปลี่ยนเป็นหัว (วิภาดา และนิวัฒน์, 2537; โสระยา, 2547)



ภาพที่ 1 ลักษณะหัวพันธุ์ (ก) และต้นของปทุมมา (ข)

ใบ

ใบเป็นใบเดี่ยวรูปหอกหรือรูปไข่ ที่ประกอบด้วยกาบใบที่ห่อรวมตัวแน่น เกิดเป็นลำต้นเทียม กาบใบสีเขียวโคนสีแดง แผ่นใบเรียบสีเขียวเข้มหนา เส้นกลางใบมีสีแดง ขอบใบเรียบใบกว้าง 4 - 5 เซนติเมตร ยาว 30 - 35 เซนติเมตร จำนวนใบต่อต้นประมาณ 5 - 10 ใบ ขึ้นกับขนาดหัวที่ใช้ปลูก และความสมบูรณ์ของต้น (จีรวัฒน์, 2535; สุรวิช, 2539; โสระยา, 2547)

ดอกและช่อดอก

ช่อดอกเป็นแบบช่อแน่น (compact spike) เกิดจากปลายลำต้นเทียม ประกอบด้วยส่วนของกลีบประดับ (bract) เวียนซ้อนกันเกิดเป็นช่อทรงกระบอก อาจเวียนแบบตามหรือทวนเข็มนาฬิกา โดยโคนใบประดับจะเชื่อมกันเกิดเป็นถ้วยขึ้น ใบประดับมีสีเขียวเฉพาะส่วนล่างของช่อ และมีสีชมพูในส่วนบนของช่อ (จีรวัฒน์, 2535; จำนงค์ และคณะ, 2548) สำหรับกลีบประดับส่วนบนของช่อหรือกลีบประดับสีชมพู (coma bract) ยาวกว่ากลีบประดับส่วนล่างเล็กน้อย และมักไม่มีดอกจริงที่ซอกกลีบประดับ กลีบประดับส่วนล่าง หรือกลีบประดับสีเขียว (green bract) มีลักษณะสั้น มีสีเขียว และหนาเป็นมัน โดยซอกของกลีบประดับแต่ละอันเป็นที่เกิดของดอกจริงจำนวน 4 - 6 ดอก ดอกจริงเหล่านั้นบานไม่พร้อมกัน การบานของดอกเริ่มจากกลีบประดับแรกบริเวณโคนช่อ แล้วบานเวียนขึ้นไปทางปลายช่อ มีอายุการบานดอกเพียง 1 วัน จากนั้นมีการบานของดอกในกาบรอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดอกอันถัดไปต่อเนื่องกันทุกวัน เมื่อดอกแรกของกลีบประดับที่ 4 - 6 เริ่มบาน ดอกที่สองของกลีบประดับแรกทางโคนช่อ เริ่มบานหมุนเวียนขึ้นไปทางช่อดอกอีก ทำให้การบานของดอกหลายๆ ดอกในแต่ละกลีบ มีระยะห่างกันประมาณ 4 - 6 วัน (จีรวัฒน์, 2535)

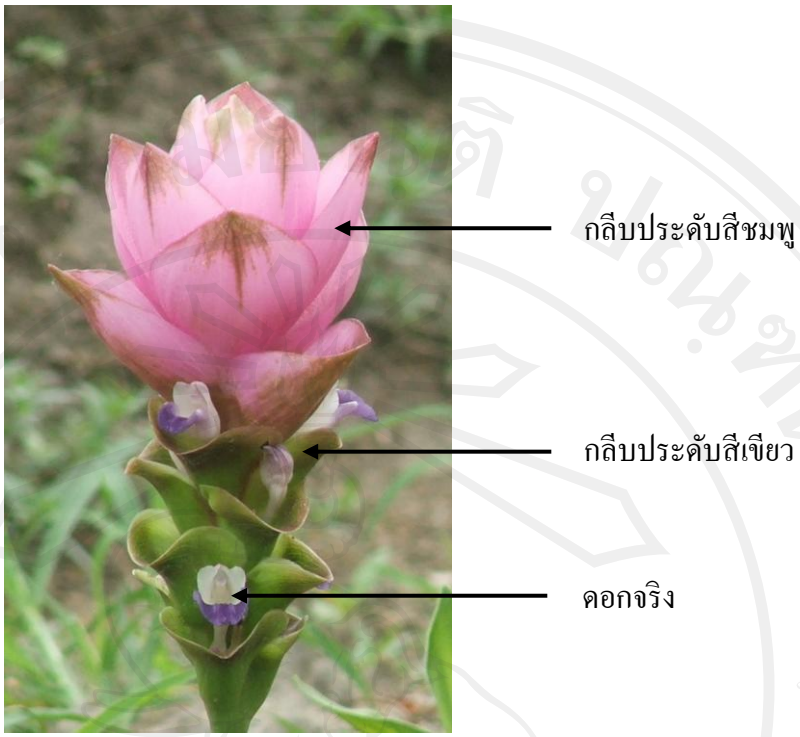
ดอกจริง ยาวประมาณ 4 เซนติเมตร ประกอบด้วย กลีบเลี้ยง 3 กลีบอยู่เหนือรังไข่ เชื่อมกันเป็นรูปกรวย หรือหลอดหุ้มส่วนโคนของกลีบดอกไว้ ซึ่งกลีบดอกเองนั้นก็มีโคนที่เชื่อมกันเป็นหลอดแต่มีปลายแยกเป็น 3 กลีบ เรียกกลีบ staminode โดย 1 กลีบเปลี่ยนรูปไปเป็นปาก (lib) เพื่อเป็นที่เกาะของแมลง (จำนงค์ และคณะ, 2548) สีม่วงเข้ม (deep reddish purple) ส่วนโคนเป็นร่องลึกตรงกลาง มีขอบนูนเป็นทางสีเหลือง (vivid yellow) ขอบกลีบหยักเป็นริ้ว (จีรวัฒน์, 2535; วิภาดา และนิพัฒน์, 2537)

ปทุมมาเป็นดอกสมบูรณ์เพศ เกสรเพศผู้ประกอบด้วยก้านเกสรเพศผู้เป็นแผ่นเชื่อมติดกับกลีบดอก มีขนาดสั้นและกว้าง ปลายก้านชูมีอับละอองเกสรเชื่อมติดกัน 2 พู แต่ละพูมีกระเปาะละอองเกสร 2 กระเปาะ โดยมีฐานอับละอองเกสรเชื่อมติดกันเป็นหลอดล้อมก้านชูเกสรเพศเมีย ละอองเกสรเพศผู้มีลักษณะกลมและเหนียวจับกันเป็นก้อน เกสรเพศเมียประกอบด้วยรังไข่แบบต่ำกว่าส่วนประกอบของดอก ยอดเกสรเพศเมียเป็นแบบปลายปิดคล้ายปากแตรชูอยู่เหนืออับละอองเกสร รังไข่ขนาดประมาณ 0.5 เซนติเมตร (จีรวัฒน์, 2535; สุรวิช, 2539)

ผลและเมล็ด

ภายหลังการปฏิสนธิแล้วรังไข่ซึ่งมีไข่อ่อนอยู่ขยายขนาดขึ้น โดยระยะเริ่มต้นหน้าตัดของผลมีลักษณะเป็นรูป 3 เหลี่ยม เนื่องจากมีรังไข่แยกเป็นลักษณะ 3 พูเชื่อมติดกัน เมื่อผลพัฒนาเต็มที่จะเห็นอย่างชัดเจน ภายในแต่ละพูเป็นที่อยู่ของเมล็ดที่มีขนาด และรูปร่างคล้ายเมล็ดองุ่น หรือรูปร่างคล้ายหยดน้ำ ความยาว 0.5 เซนติเมตร ที่ปลายแหลมแต่ละเมล็ดมีเยื่อบางสีขาวรูปหลายแฉกติดอยู่ เพื่อช่วยให้เมล็ดลอยน้ำเหมาะแก่การกระจายพันธุ์ในช่วงฤดูฝน ผลมีอายุประมาณ 1 - 2 เดือน ผลแก่เต็มที่มีผนังบางและใส ภายในสามารถเห็นเมล็ดแก่สีน้ำตาลเข้ม สำหรับเมล็ดนั้นอาจงอกในฤดูฝนที่ติดเมล็ดก็ได้ พบว่าเมล็ดสามารถงอกอยู่บนช่อดอกที่แห้งเหี่ยวแล้ว หรืออาจพักตัวเพื่อรอสภาพที่เหมาะสมในฤดูฝนถัดไป (จีรวัฒน์, 2535; สุรวิช, 2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2 ลักษณะช่อดอกแบบ compact spike ของปทุมมา

2. วงจรการเจริญเติบโตชีวิตของปทุมมา

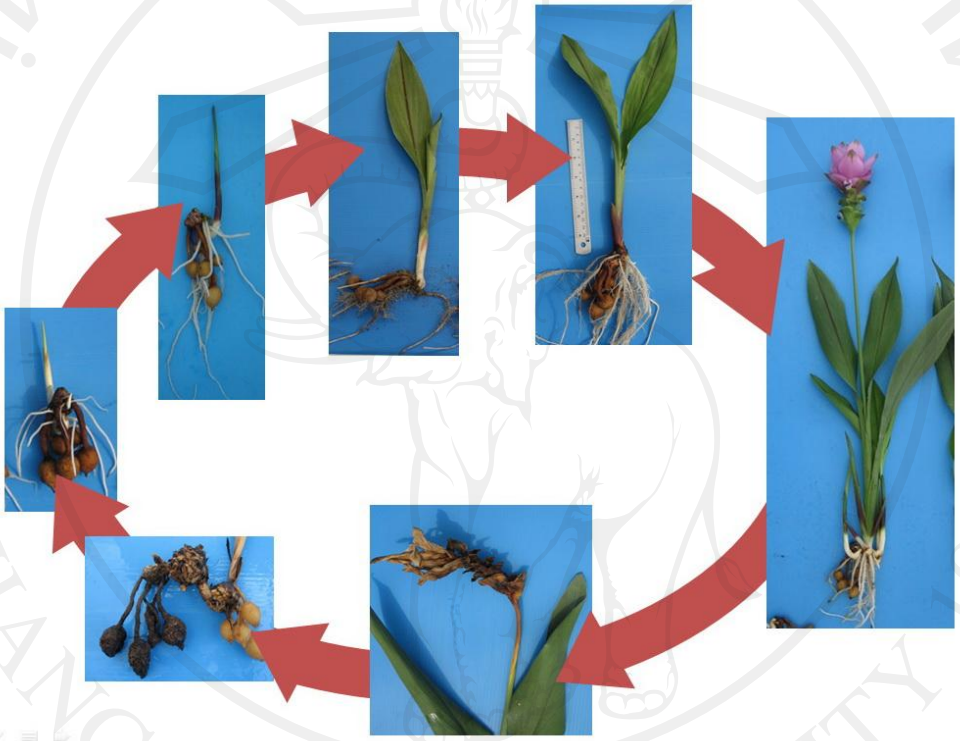
ปทุมมาเป็นไม้หัวหลายฤดูที่มีช่วงการเจริญเติบโตนาน 7 - 8 เดือน (ภาพที่ 3) เริ่มจากเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายนในแต่ละปี และออกดอกในช่วงฤดูฝน ช่วงระยะเวลาในการออกดอก 2 - 3 เดือน โดยที่ต้นปทุมมาเริ่มมีการกำเนิดช่อดอกเมื่อต้นมีอายุเฉลี่ย 70 วันหลังปลูก และแทงช่อดอกเมื่ออายุได้ประมาณ 91 วันหลังปลูก ช่อดอกที่ยืดตัวแล้วบานดอกย่อยดอกแรกภายใน 105 วัน หลังปลูก ตามลำดับ (จีรวัฒน์, 2535) หลังจากดอกบานแล้ว ส่วนของลำต้นที่อยู่ใต้ดินเริ่มมีการสะสมอาหาร ส่วนโคนของลำต้นเริ่มบวมพอง รากค้ำยันเริ่มมีการสะสมอาหาร ทำให้บริเวณปลายรากพองออกเป็นตุ้ม ขณะเดียวกันปทุมมาก็ยังมีการเจริญเติบโต แตกหน่อเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ประมาณ 2 - 5 หน่อ เมื่อเข้าสู่ฤดูหนาวพืชจึงเริ่มการพักตัว เมื่อส่วนของพืชแห้งเหี่ยวแล้ว จึงทำการเก็บเกี่ยวหัวพันธุ์ (โสระยา, 2547) ทั้งนี้ อภิชาติ (2548) รายงานกระบวนการสร้างหัวของปทุมมา แบ่งออกเป็น 3 ระยะคือ

ระยะที่ 1) ระยะเริ่มต้น เกิดขึ้นเมื่อพืชมีอายุประมาณ 11 สัปดาห์หลังปลูก โดยพืชมีการเจริญเติบโตทางลำต้นถึงระยะสูงสุด ในระยะนี้พบว่า ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างในใบเริ่มลดลง และมีการลำเลียงไปยังส่วนของหัวใหม่และตุ้มราก ทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างในหัวใหม่และตุ้มรากเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระยะที่ 2) ระยะการพัฒนา เกิดขึ้นประมาณสัปดาห์ที่ 14 - 22 เป็นช่วงที่มีการเพิ่มจำนวนและขยายขนาดของเซลล์บริเวณหัวใหม่และตุ้มราก การสะสมคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างในหัวและตุ้มรากเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

ระยะที่ 3) ระยะสุกแก่ เกิดขึ้นในสัปดาห์ที่ 23 หลังปลูก ซึ่งพบว่าการเจริญเติบโตต่างๆ หยุดลง ความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างในหัวและตุ้มรากคงที่



ภาพที่ 3 วงจรชีวิตของปทุมมา

3. การขยายพันธุ์ (สุรวิช, 2539; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2548)

การเพาะเมล็ด

ใช้สำหรับการผสมพันธุ์เพื่อสร้างพันธุ์ใหม่ หลังจากการผสมพันธุ์ปทุมมาจะติดผลและเมล็ด ควรเก็บเมล็ดแก่ไว้ก่อนที่ผลจะแตกจนเมล็ดหลุดร่วง เนื่องจากปทุมมามีการพักตัว จึงควรนำเมล็ดมาเพาะในฤดูถัดไป โดยการเก็บเมล็ดไว้ในร่ม การเพาะเมล็ดควรใช้วัสดุเพาะที่ประกอบด้วยทรายผสมถ่านแกลบ อัตราส่วน 1 : 1 เพาะในวัสดุปลูกลึกประมาณ 0.5 เซนติเมตร เมื่อต้นกล้ามีใบจริง 2 - 3 ใบ จึงค่อยแยกต้นกล้าไปปลูก ต้นกล้าจากการเพาะเมล็ดจะใช้เวลาราว 2 ปี จึงให้ช่อดอก

การแยกเหง้า (หัว)

เป็นวิธีที่นิยมในการขยายพันธุ์ จัดเป็นการขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ต้นที่ได้มีลักษณะคง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เดิมเหมือนต้นแม่พันธุ์ เหมาะสำหรับใช้เพื่อการผลิตแบบอุตสาหกรรมซึ่งต้องการต้นที่มีลักษณะเหมือนกัน เมื่อสิ้นฤดูปลูกให้ขุดหัวพันธุ์ขึ้นมา จากนั้นนำมาแยกเป็นหัวเดี่ยว ล้างทำความสะอาด ผึ่งให้แห้ง แล้วจึงคลุกยาป้องกันโรคที่เกิดจากเชื้อรา ก่อนนำหัวพันธุ์เหล่านี้ไปเก็บรักษาในที่ร่ม มีอากาศถ่ายเทดี

การผ่าเหง้า

เป็นวิธีเพิ่มชิ้นส่วนของหัวพันธุ์ให้มากขึ้น เพื่อช่วยให้ผู้ปลูกเลี้ยงประหยัดการใช้หัวพันธุ์เริ่มต้น วิธีการนี้เป็นการนำเหง้าที่ได้จากการแยกเหง้ามาผ่าแบ่งตามยาวเป็น 2 ชิ้นเท่าๆกัน โดยแนวการผ่าต้องอยู่กึ่งกลางระหว่างตาที่อยู่สองข้างของเหง้า ชิ้นเหง้าที่ได้ควรมีตาข้างที่สมบูรณ์ไม่น้อยกว่า 1 ตา และมีรากสะสมอาหารติดมาด้วยอย่างน้อย 1 ราก แต่ก็เป็นวิธีที่ไม่นิยมเนื่องจากโรคอาจเข้าทำลายบริเวณบาดแผลได้ง่าย ดังนั้นเมื่อผ่าเหง้าแล้วต้องป้องกันจำกัดเชื้อราไม่ให้เข้าทำลายบริเวณบาดแผล โดยอาจใช้ปูนแดงทาปิดปากแผล การผ่าเหง้าควรทำก่อนปลูกเล็กน้อย เพราะชิ้นเหง้าไม่สามารถเก็บรักษาได้นาน ชิ้นเหง้าที่ได้จากการขยายพันธุ์โดยวิธีนี้ต้องให้ความสำคัญในเรื่องธาตุอาหาร และความชื้นเป็นอย่างดี เนื่องจากหัวพันธุ์ที่ใช้มีอาหารสะสมน้อยกว่าปกติ จะงอกช้า และอาจให้ดอกที่มีคุณภาพต่ำกว่าหากขาดการจัดการที่ดี

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

เป็นวิธีการเพิ่มปริมาณต้นพืชโคลนเดียวกันให้มากในเวลาสั้น ชิ้นส่วนเริ่มต้นสำหรับการขยายพันธุ์ คือ ตาข้างของเหง้า และช่อดอกอ่อน เนื่องจากวิธีการนี้ต้องทำให้ชิ้นส่วนเริ่มต้นปราศจากจุลินทรีย์ จึงนิยมนำช่อดอกอ่อน ซึ่งสะอาดกว่าเหง้ามาใช้ โดยช่อดอกอ่อนระยะที่ดีที่สุดควรเป็นช่อดอกที่เริ่มโผล่ออกจากลำต้นเทียม และใบประดับจะต้องอยู่ในสภาพที่ปิดหุ้มอยู่ วิธีการนี้มีข้อดีคือ ปราศจากเชื้อหรือมีการปนเปื้อนน้อย เปรียบเทียบกับการใช้ชิ้นส่วนจากหัวมีการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราสูงมาก โดยเพาะเลี้ยงช่อดอกอ่อน ซึ่งตัดเป็นท่อนยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ในอาหารสังเคราะห์เพื่อเพิ่มปริมาณต้น อัตราการขยายพันธุ์ขึ้นกับสายพันธุ์ เมื่อต้นกล้าโตเต็มขวดแล้ว นำขวดมาเปิดฝาทิ้งไว้ในร่ม ประมาณ 3 - 5 วัน ก่อนนำต้นออกมาล้างเอาวุ้นอาหารออกจากบริเวณรากให้หมด แล้วนำไปปลูกในเรือนเพาะชำต่อไป การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อใช้เวลาประมาณ 2 ปี จึงจะผลิตดอก หรือหัวพันธุ์ได้

4. บทบาทและหน้าที่ของธาตุอาหาร

4.1 ความจำเป็นของธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของพืช

ในปี ค.ศ. 1939 Daniel Arnon และ Perry Stout นักสรีรวิทยาของพืชชาวอเมริกันได้ศึกษาความสำคัญของธาตุอาหารชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ผักกาดหอม และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน่อไม้ฝรั่ง ซึ่งได้ตั้งหลักเกณฑ์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาตัดสินว่าธาตุใดเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชไว้ 4 ประการดังนี้

1. ถ้าพืชได้รับธาตุอาหารชนิดนั้นๆในปริมาณที่ไม่เพียงพอกับความต้องการ พืชไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้จนครบวงจรชีวิต (life cycle) ได้ กล่าวคือ พืชไม่สามารถเจริญจนถึงระยะผลิดอกออกผล และในที่สุดพบว่าพืชตายก่อนครบวงจรชีวิต

2. ถ้าพืชได้รับธาตุอาหารชนิดนั้นๆ ในปริมาณที่ไม่เพียงพอกับความต้องการ พืชแสดงอาการขาดธาตุนั้นๆ ให้เห็นสามารถตรวจสอบได้ทางสายตา อาการที่พบมีลักษณะพิเศษแตกต่างกันไปในแต่ละธาตุ และอาการขาดธาตุนั้นแก้ได้ด้วยวิธีเดียว คือการให้ธาตุอาหารนั้นกับพืช

3. ธาตุอาหารพืชชนิดนั้นๆ ต้องเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเป็นธาตุอาหารพืช และต้องทำหน้าที่เฉพาะอย่างใดอย่างหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับขบวนการเมตาโบลิซึม (metabolism) ในพืช

4. ธาตุใดจำเป็นต่อพืชชนิดใดแล้วอาจไม่จำเป็นต่อพืชทุกชนิด เช่นโซเดียมจำเป็นต่อพืชบางชนิดที่ทนเค็มได้ เฟิร์นบางชนิดต้องการอะลูมินัม (Al) โคบอลต์ (Co) จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรียที่อาศัยอยู่กับพืชแบบชีวสัมพันธ์ (symbiosis) เช่น ไรโซเบียม ดังนั้นธาตุต่างๆเหล่านี้ จึงไม่ถือว่าเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช (essential element) แต่จัดเป็นธาตุพิเศษ (accessory element) ได้แก่ ซิลิกอน (Si) อะลูมินัม (Al) โซเดียม (Na) โคบอลต์ (Co) ซีรีเนียม (Se) เบเรียม (Ba) และไอโอดีน (I) เป็นต้น (สมบุญ, 2544; อานัฐ, 2549)

4.2 การจำแนกธาตุอาหารพืช

ปัจจุบันการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้พัฒนาขึ้นมาก ทำให้มีเครื่องมือที่สามารถวิเคราะห์ทางเคมีได้ละเอียดยิ่งขึ้น และเมื่อนำพืชมาวิเคราะห์ พบธาตุต่างๆในพืชประมาณ 60 ธาตุ โดยมีเพียง 17 ธาตุที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าเป็นธาตุที่จำเป็นต่อพืช โดยธาตุต่างๆ ในพืชพบว่า 95 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งเป็น คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) และไนโตรเจน (N) (อานัฐ, 2549)

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชทั้ง 17 ธาตุนั้น พืชได้รับจาก อากาศ น้ำ และดิน สามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม ตามปริมาณของธาตุอาหารแต่ละธาตุที่พืชต้องการ คือ ธาตุอาหารมหัพภาค (macronutrient elements) และธาตุอาหารจุลภาค (micronutrient elements) (Epstein, 1972; Gauch, 1972)

4.2.1 ธาตุอาหารมหัพภาค (macronutrient elements) คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณมาก ความเข้มข้นของธาตุโดยน้ำหนักแห้งเมื่อพืชเจริญเต็มวัยสูงกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ยงยุทธ, 2543; กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) มี 9 ธาตุ แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.1.1 ธาตุที่มีความสำคัญต่อโครงสร้าง (structural nutrient elements) เป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของโครงสร้างพืช มี 3 ธาตุ คือ คาร์บอน(C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) (อรวรรณ, 2551) เป็นธาตุที่มีอยู่มากอย่างเพียงพอตามธรรมชาติ โดยพืชได้รับจากน้ำและอากาศ (โสระยา, 2544)

4.2.1.2 ธาตุหลัก (primary nutrient elements) เป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณมาก และมักพบขาดแคลนในดินทั่วไป มี 3 ธาตุ คือ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K)

4.2.1.3 ธาตุรอง (secondary nutrient elements) เป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณที่น้อยกว่าธาตุหลัก ดินส่วนใหญ่ไม่ค่อยมีปัญหาในเรื่องการขาดธาตุอาหารเหล่านี้ มี 3 ธาตุ คือ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) (สมบุญ, 2538)

4.2.2 ธาตุอาหารจุลภาค (micronutrient elements) คือธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณน้อย ความเข้มข้นของธาตุโดยน้ำหนักแห้งเมื่อพืชเจริญเต็มวัยต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้แก่ ธาตุเหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โบรอน (B) โมลิบดินัม (Mo) คลอรีน (Cl) แมงกานีส (Mn) และนิเกิล (Ni) ซึ่งเป็นธาตุที่มีความสำคัญไม่น้อยกว่าธาตุอื่นๆ ที่พืชต้องการแต่คิดเป็นปริมาณที่น้อยกว่าในกลุ่มแรก อาจเรียกธาตุทั้ง 8 ธาตุนี้ว่า จุลธาตุ (trace elements) ธาตุต่างๆเหล่านี้มีอยู่ในดินในปริมาณที่น้อย แต่ขณะเดียวกันพืชก็ต้องการน้อยเช่นกัน ดังนั้นปัญหาการขาดธาตุเหล่านี้จึงมีน้อย ยกเว้นธาตุเหล็ก (Fe) ซึ่งมีมากในดินและมีปัญหาการเป็นพิษน้อยกว่าจุลธาตุอื่นๆ เนื่องจากระดับความพอดีและระดับที่ขาดธาตุนี้ใกล้เคียงกันมาก ดินที่มีปัญหาขาดธาตุเหล็ก (Fe) มักเป็นดินเก่าที่ใช้ปลูกพืชซ้ำกันนานๆ และมีเนื้อดินหยาบ (สมบุญ, 2544; โสระยา, 2548; อานัฐ, 2549)

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชเหล่านี้ แม้ว่าพืชต้องการมหธาตุในปริมาณที่มาก ในขณะที่ต้องการจุลธาตุในปริมาณที่น้อย แต่ทั้งมหธาตุและจุลธาตุต่างก็มีความสำคัญเสมอกัน พืชขาดธาตุหนึ่งธาตุใดไม่ได้ หรือใช้ทดแทนกันไม่ได้ พืชต้องได้รับธาตุอาหารเหล่านี้ครบทุกชนิดในปริมาณที่เพียงพอจึงเจริญเติบโตได้ดี

นอกจากธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 17 ชนิดนี้แล้ว พืชบางชนิดต้องการธาตุอาหารอื่นโดยเฉพาะบางชนิดเป็นพิเศษเพื่อการเจริญเติบโต ได้แก่ โคบอลท์ (Co) โซเดียม (Na) อะลูมิเนียม (Al) แวนาเดียม (Va) ซิลิเนียม (Se) ซิลิกอน (Si) ซึ่งจัดเป็นธาตุที่ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโต แต่ไม่มีคุณสมบัติตามหลักเกณฑ์สองข้อของธาตุอาหารที่จำเป็น หรือเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับพืชบางชนิดเท่านั้น ไม่จัดว่าเป็นธาตุที่จำเป็น แต่จัดว่าเป็นธาตุที่มีประโยชน์หรือ beneficial elements (สมบุญ, 2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 บทบาทและหน้าที่ของธาตุอาหารพืช

ไนโตรเจน (Nitrogen)

เป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณมากที่สุด และเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชมาก รากพืชดูดไนโตรเจนจากดินมาใช้ในรูปของเกลือไนเตรท (NO_3^-) และเกลือแอมโมเนียม (NH_4^+) (สมบุญ, 2538; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีศาสตร์, 2544) แต่พืชมีความสามารถในการดึงไนโตรเจนทั้ง 2 รูปแบบมาใช้ได้แตกต่างกัน เนื่องจากข้อจำกัดทางชีวเคมีภายในต้นพืช (Haynes, 1986) นอกจากนี้อาจพบการเปลี่ยนแปลงด้านสัณฐานวิทยาของพืชด้วย คือ หากพืชได้รับไนโตรเจนมากตั้งแต่ระยะแรกนั้น ส่วนเหนือดินจะเจริญเร็วแต่รากจะเจริญช้า ดังนั้นในเวลาต่อมารากย่อมดูดน้ำและธาตุอาหารได้น้อยลง เช่น ใบข้าวยาวและกว้างมากขึ้น ในขณะที่ความหนาของใบลดลง เมื่อได้รับไนโตรเจนในปริมาณมาก ใบจึงอ่อนและโค้ง เป็นเหตุให้ใบบนบดบังแสงใบล่าง และต้นมักยืดยาวมากจึงไม่แข็งแรงและล้มง่าย ผลผลิตจึงลดลง (Yoshida *et al*., 1969)

ในพืชบางชนิดมีจุลินทรีย์ช่วงตรึงไนโตรเจนจากอากาศ เปลี่ยนมาเป็นรูปของเกลือไนเตรทที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ เช่น ในรากพืชตระกูลถั่ว มีแบคทีเรียชื่อ ไรโซมเบียม (*Rhizobium*) ช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (สมบุญ, 2544) สารประกอบไนโตรเจนที่พบในเนื้อเยื่อมีทั้งในรูปอินทรีย์สาร ได้แก่ แอมโมเนียม ไนเตรท กับอินทรีย์สารซึ่งเกิดการสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่จากไนเตรท แอมโมเนียม และยูเรีย [$CO(HN_2)_2$] โดยทั่วไปแล้วไนโตรเจนในรูปที่เป็นอินทรีย์สารสามารถสะสมในลำต้น และเนื้อเยื่อพืชได้ในรูปไนเตรท ส่วนแอมโมเนียมเมื่อเข้าสู่เนื้อเยื่อพืชแล้วถูกเปลี่ยนรูปเป็นอินทรีย์สารในรากซึ่งมีอยู่มากในรูปโปรตีน (ยงยุทธ, 2543; ชวนพิศ, 2544; Jones, 1998; Sumner, 2000)

ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของอินทรีย์สารดังนี้ (ยงยุทธ, 2543; สมบุญ, 2544)

1. เป็นองค์ประกอบของโปรตีน ประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ต่อเรียงกันอย่างมีแบบแผน ตั้งแต่ 50 ถึง 100 หน่วย โดยกรดอะมิโนเหล่านั้นเชื่อมกันด้วยพันธะเพ็บไทด์ (peptide bond) โปรตีนมีหน้าที่สำคัญมากในเซลล์ โดยเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างไซโทพลาสซึม เนื้อเยื่อ และเอนไซม์ ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาชีวเคมี จึงมีบทบาทเกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมอย่างกว้างขวาง

2. กรดอะมิโน มีไนโตรเจนอยู่ที่หมู่อะมิโน (amino group) เป็นหน่วยในโครงสร้าง (building blocks) ของโปรตีน โดยต่อเรียงกันอย่างมีแบบแผน

3. เป็นองค์ประกอบของฮอร์โมนพืช ได้แก่ ออกซิน (auxins) และไซโตไคนิน(cytokinins) ซึ่งกรดอินโดลแอซิติก (indole-3-acetic acid, IAA) เป็นออกซินที่พืชสังเคราะห์ได้จากกรด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อะมิโนทริพโทเฟน (tryptophane) มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ กระตุ้นการแบ่งเซลล์ เร่งการขยายขนาดเซลล์ ควบคุมการแตกราก ยับยั้งการเจริญของตาข้าง ป้องกันการร่วงของใบ กิ่ง และผล และไซโตไคนิน เป็นฮอร์โมนพืชที่ส่งเสริมการแบ่งเซลล์ ช่วยการเจริญของตาข้าง ชะลอความเสื่อมของใบ (senescence) ส่งเสริมการสร้างโปรตีน และช่วยในการเคลื่อนย้ายธาตุอาหาร ไซโตไคนินชนิดแรกที่พบในพืชคือ ซีเอทิน (zeatin)

4. กรดนิวคลีอิก (nucleic acids) มีอยู่ 2 ชนิดคือ ribonucleic acids (RNA) ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน และ deoxyribonucleic acids (DNA) เป็นศูนย์ข้อมูลทางพันธุกรรม

5. สารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ เช่น อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (adenosine triphosphate, ATP) โคเอนไซม์ (co-enzymes) เช่น NAD (nicotinamide adenine dinucleotide) และ NADP (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate)

6. สารประกอบไนโตรเจนที่พืชสะสมไว้ (reserves) เพื่อทำหน้าที่ป้องกัน (protective compounds) เช่น นิโคติน (nicotine) จากใบยาสูบ และมอร์ฟีน (morphine) จากฝิ่น ซึ่งเป็นอัลคาลอยด์ (alkaloids) ทั้งสิ้น

พืชมีความต้องการไนโตรเจนที่แตกต่างกันตามชนิดของพืช อวัยวะ และระยะการเจริญเติบโต แต่โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 2-5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง (ยงยุทธ, 2546) ประมาณ 80 - 85 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดในพืชเป็นองค์ประกอบของโปรตีน ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก และอีก 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นของกรดอะมิโนที่ละลายได้ (soluble amino N) เมื่อรากพืชดูดไนโตรเจนขึ้นมา ไนโตรเจนจะถูกส่งผ่านไปตามท่อลำเลียงน้ำไปสู่ส่วนบนของพืช โดยพืชชั้นสูงส่วนใหญ่เคลื่อนย้ายไนโตรเจนในรูปของไนเตรทและกรดอะมิโนพวกกลูตามีนและแอสพาราจีน (โสระยา, 2544)

ดังนั้นการให้ไนโตรเจนควรคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยา และความต้องการของไนโตรเจนที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จากการให้ไนโตรเจนในรูปที่เหมาะสมตามความต้องการของพืช (King *et al*., 1995)

ไนโตรเจนในดินสูญเสียง่ายโดยการถูกชะล้าง (leaching) ในรูปเกลือไนเตรท หรือเกิดการระเหย (volatilization) ในรูปเกลือแอมโมเนียม เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณมาก เมื่อพืชขาดไนโตรเจนจะแสดงอาการชะงักการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว หากขาดไนโตรเจนเป็นระยะเวลานานมักก่อให้เกิดสภาวะพร่องคลอโรฟิลล์หรืออาการคลอโรซิส (chlorosis) คือ ใบพืชมีสีเหลืองเนื่องจากการขาดคลอโรฟิลล์ โดยปรากฏจากใบแก่ที่อยู่ส่วนล่างก่อน ไนโตรเจนเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ในท่อลำเลียงอาหารได้ดี ใบอ่อนในระยะแรกยังคงมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ธาตุนี้อยู่โดยได้รับจากใบแก่ที่อยู่ด้านล่าง ถ้าไนโตรเจนมีอยู่น้อยมาก ใบล่างที่เหลือจะหลุดร่วงจากต้น และค่อยๆลุกลามไปยังใบอ่อนที่อยู่ด้านบน ทำให้ใบอ่อนมีสีเขียวซีดและเหลือง หลังจากนั้นการเจริญส่วนยอดจะหยุดชะงัก ลำต้นแคระแกร็น ร่วงก่อนกำหนด การแตกใบอ่อนและหน่อไม่ดี (นิตย์, 2541; ดิเรก, 2550) และในพืชบางชนิดอาจมีการสร้างสารสีแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ทำให้ใบ ก้านใบ และลำต้นมีสีม่วงได้ รากพืชที่ขาดไนโตรเจนมักยืดยาวกว่าปกติ และมีการแตกแขนงเพียงเล็กน้อย และตายในที่สุด (สมบุญ, 2538; โสระยา, 2544)

สำหรับพืชที่ได้รับไนโตรเจนที่มากเกินไป จะแสดงอาการเฝือใบ ใบมีสีเขียวเข้ม มีการขยายขนาดและปริมาณของเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้ใบมีขนาดใหญ่ ปริมาณของใบมาก การออกดอกและผลช้าลง (สมบุญ, 2544) ลำต้นอวบน้ำ มีการหักได้ง่ายและมีการแตกกอมากเกินไป พืชที่ได้รับไนโตรเจนมากเกินไปในระยะแรกของการเจริญเติบโต มีผลทำให้ส่วนเหนือดินหรือลำต้นเจริญเติบโตเร็ว แต่ส่วนของรากเจริญเติบโตช้า ต่อมารากพืชเหล่านั้นจะดูดน้ำและธาตุอาหารพืชได้น้อยกว่าที่พืชต้องการ (มุกดา, 2544) ในมันฝรั่งได้รับไนโตรเจนมากเกินไปจะทำให้เกิดการสร้างใบมาก ในขณะที่รากเจริญน้อยและการสร้างลำต้นใต้ดินที่สะสมอาหารลดลงด้วย แต่เป็นผลดีสำหรับพืชพวกผักทำให้มีการเจริญของใบดี (สมบุญ, 2538)

ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

ฟอสฟอรัสในสารละลายดินเป็นแอนไอออนของกรดออโทฟอสฟอริก (H_3PO_4) รูปของแอนไอออนจึงมีได้สามแบบ (ยงยุทธ, 2543) โดยทั่วไปพืชดูดฟอสฟอรัสในรูปสารอนินทรีย์ พวกไดไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน ($H_2PO_4^-$) และไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน (HPO_4^{2-}) ซึ่งปริมาณไอออนทั้งสองชนิดจะมีมากหรือน้อยขึ้นกับค่าความเป็นกรด-เบสของดิน (pH) (สมบุญ, 2544) ถ้า pH ของสารละลายดินต่ำกว่า 6.8 ฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์และมีอยู่มาก คือ $H_2PO_4^-$ ซึ่งพืชดูดไปใช้ได้ง่ายที่สุด ส่วน pH ระหว่าง 6.8 - 7.2 จะอยู่ในรูป HPO_4^{2-} มาก ซึ่งพืชจะดูดไปใช้ได้ช้ากว่ารูปแรก ถ้าหาก pH สูงกว่า 7.2 ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่อยู่ในรูป PO_4^{3-} ซึ่งพืชดูดใช้ได้ยาก (ยงยุทธ, 2546) เนื่องจากสภาพดินที่เป็นเบสมีไอออนประจุบวกได้แก่ แคลเซียม และแมกนีเซียมมาก ทำให้ฟอสเฟตไอออนรวมกับไอออนประจุบวกเหล่านี้ กลายเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำในรูปที่พืชนำไปใช้ได้น้อย ส่วนดินที่เป็นกรดมาก จะมีธาตุอะลูมิเนียมและเหล็กมาก ซึ่งสามารถรวมกับฟอสเฟตไอออน ทำให้เกิดตะกอนของอะลูมินัมฟอสเฟต และเหล็กฟอสเฟต ซึ่งทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ (สมบุญ, 2544) รากพืชดูดฟอสเฟตไปใช้ด้วย active process เนื่องจากปริมาณของฟอสเฟตที่อยู่ในเซลล์ราก และ xylem sap มีความเข้มข้นสูงกว่าฟอสเฟตที่มีอยู่ในสารละลายดิน ดังนั้นการดูดใช้ฟอสเฟตจึงเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารประกอบฟอสเฟตที่พบอยู่ในพืชแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ

1. อนินทรีย์ฟอสเฟต (inorganic phosphate) ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ orthophosphate และรูปของ 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 phosphate) เป็นสารประกอบที่เกิดจากอนุมูล orthophosphate ถูก esterfied โดย hydroxyl group ของโซ่คาร์บอนได้สารประกอบฟอสเฟตเอสเทอร์ (phosphate esters) เช่น น้ำตาลฟอสเฟต (sugar phosphate) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง นิวคลีโอไทด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของ DNA และ RNA และฟอสโฟลิพิด ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์และเยื่ออื่นๆ (โสระยา, 2544; ยงยุทธ, 2546; Mengel and Kirkby, 1987)

ธาตุฟอสฟอรัสอยู่ในรูปของเกลือฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ (นพดล, 2538) ทำให้สามารถเคลื่อนย้ายในพืชในทิศทางขึ้นและลงได้ จึงมักพบอนินทรีย์ฟอสเฟตในท่อลำเลียงอาหาร (โสระยา, 2544) นอกจากพืชดูดซึมธาตุฟอสฟอรัสทางรากในรูปของเกลือฟอสเฟตแล้ว รากพืชยังดูดซึมธาตุฟอสฟอรัสในรูปของกรดนิวคลีอิกได้ (นพดล, 2538)

ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีนและเป็นองค์ประกอบของ DNA ซึ่งเป็นศูนย์ข้อมูลทางพันธุกรรม เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของฟอสโฟลิปิดในเยื่อหุ้มเซลล์ของสิ่งมีชีวิต มีบทบาทสำคัญในชีวเคมีของเซลล์ในด้านของสารประกอบพลังงานสูง โดยเฉพาะเป็นองค์ประกอบของ ATP และโคเอนไซม์ (co-enzymes) บางชนิด เช่น NAD^+ $NADP^+$ FAD และโคเอนไซม์เอ (สมบุญ, 2538; ยงยุทธ, 2543) นอกจากนี้ยังกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการรีดิวซ์ไนเตรท และช่วยลดความเป็นกรดของน้ำในเซลล์ (cell sap) ด้วย (นพดล, 2538)

พืชต้องการฟอสฟอรัส 0.3 - 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง เพื่อให้การเจริญเติบโตในระยะวัฒนภาค (vegetative stage) เป็นไปตามปกติ สำหรับระดับที่ถือว่าเป็นพิษ คือ สูงกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง (ยงยุทธ, 2543) ฟอสฟอรัสจำเป็นสำหรับการเจริญของระบบราก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออุณหภูมิต่ำ และยังช่วยในการเจริญเติบโตทางลำต้น ใบ ดอก และผล ตลอดฤดูกาลปลูก ดินจับยึดฟอสฟอรัสได้ดี แต่ถูกชะล้างได้ง่ายในพีท (peat) และ soilless media ดังนั้นการปลูกพืชไร้ดินต้องใส่ฟอสฟอรัสอย่างสม่ำเสมอ (นิพนธ์, 2548) นอกจากนั้นฟอสฟอรัสเป็นธาตุ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่เคลื่อนที่ได้ดีในพืช เมื่อเกิดการขาดแคลนก็สามารถเคลื่อนที่จากเนื้อเยื่อที่แก่ไปยังส่วนอ่อน และกำลังมีการเจริญหรือพัฒนาการ (ยงยุทธ, 2543)

ถ้าพืชขาดธาตุฟอสฟอรัส มีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ภายในเซลล์ ขั้นแรกอัตราการสังเคราะห์แสงยังเป็นปกติ แต่อัตราการหายใจลดลง ทำให้เกิดการสะสมของคาร์โบไฮเดรต แสดงอาการยังยั้งการเจริญเติบโตของต้นพืชอายุน้อย ทำให้พืชเจริญเติบโตช้า ใบพืชมีสีเขียวเข้มและอาจมีรูปร่างผิดปกติ ใบอาจมีเซลล์ตายเป็นจุดที่เรียกว่า เนโครซิส (necrosis) หลังจากนั้นใบพืชจะมีสีเขียวเข้ม อาจแสดงอาการคล้ายการขาดไนโตรเจน คือ เกิดการสะสมของรงควัตถุพวกแอนโทไซยานิน (anthocyanin) เพิ่มขึ้น ที่ลำต้นและก้านใบ ทำให้ก้านใบเป็นสีชมพูและใบสีม่วงแต่ไม่เกิดร่วมกัน อาการพร่องคลอโรฟิลล์แตกต่างจากอาการขาดไนโตรเจน โดยใบเป็นสีม่วงแดง หรือเขียวปนน้ำเงิน เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ดี ดังนั้นอาการขาดธาตุนี้จึงมักแสดงที่ใบแก่ก่อน มีจำนวนใบน้อย ใบมีการขยายขนาดช้าจึงมีขนาดเล็ก เพราะเซลล์ชั้นผิวไม่ค่อยขยายตัว อันเนื่องมาจากเซลล์ชั้นผิวมีฟอสฟอรัสต่ำ และสภาพนำน้ำของราก (root hydraulic conductivity) ลดลง (ยงยุทธ, 2546; ศรีสม, 2547) ต้นแคระแกร็น ทำให้เกิดการพักตัวของตาข้าง (lateral bud dormancy) ตลอดทั้งการออกดอกช้า จำนวนผลและเมล็ดลดลง การที่ใบพืชเสื่อมตามอายุและร่วงหล่นเร็วกว่าปกติ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตเมล็ดต่ำลง (Barry and Miller, 1989) รากอาจเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำตาล ถ้าพืชได้รับฟอสฟอรัสมาก จะช่วยเร่งการเจริญเติบโตของดอก ผล และรากได้ดี (สมบุญ, 2538; สมบุญ, 2544; โสระยา, 2544)

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีหน้าที่สัมพันธ์ซึ่งกันและกัน หากมีไนโตรเจนมากเกินไปทำให้พืชแก่ช้า แต่ถ้ามีฟอสฟอรัสมากเกินไปพืชก็จะแก่เร็ว และรากเจริญได้ดีกว่ายอด และถ้าไนโตรเจนมากเกินไป ยอดเจริญเติบโตได้ดีกว่าราก อีกทั้งฟอสฟอรัสยังเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดธาตุโพแทสเซียม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

เมื่อพืชได้รับธาตุฟอสฟอรัสมากเกินไปทำให้เกิดอาการเป็นพิษ โดยแสดงอาการใบเหลืองปลายใบแก่ และบริเวณขอบใบเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำตาล (โสระยา, 2544)

โพแทสเซียม (Potassium)

เป็นองค์ประกอบของแร่ธาตุและหิน ซึ่งเป็นวัตถุต้นกำเนิดของดินหลายชนิด โดยพบว่ามีธาตุโพแทสเซียมโดยทั่วไป ทั้งดินชั้นบนและดินชั้นล่าง และพบในปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน โพแทสเซียมเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีพของพืช และเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ในพืช เช่นเดียวกับธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส (มุกดา, 2544)

พืชดูดใช้โพแทสเซียมในรูปโมโนวาเลนต์โพแทสเซียมไอออน (K_2O) โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่ละลายน้ำได้ดี ถูกชะล้างได้ง่ายและไม่ได้เป็นองค์ประกอบหลักในโมเลกุลหรือใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โครงสร้างของพืช จึงอยู่ในเซลล์พืชในสภาพที่ละลายน้ำได้ โพแทสเซียมมีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้ดี และมีบทบาทสำคัญเกี่ยวกับกระบวนการเมแทบอลิซึมมากมาย (สมบุญ, 2544) ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งในส่วนของลำต้นและราก

โดยบทบาทที่สำคัญของโพแทสเซียม คือ ควบคุมอัตราการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ซึ่งในระยะแรกหากพืชขาดโพแทสเซียม อัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลง ในขณะที่อัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากการควบคุมการปิดเปิดของปากใบ (สมบุญ, 2536) การกระตุ้นเอนไซม์ก็เป็นอีกบทบาทหนึ่งที่สำคัญ โดยโพแทสเซียมเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ หรือทำงานร่วมกับเอนไซม์ในกระบวนการ การสังเคราะห์โปรตีน เช่น enzyme starch synthetase ที่แยกออกมาจากข้าวโพด จะมีกิจกรรมสูงสุดเมื่อถูกกระตุ้นด้วย K^+ (Mengel and Kirkby, 1987) อีกทั้งยังช่วยสร้างสมดุลระหว่างประจุไฟฟ้ากันแนวไอออนที่เคลื่อนย้ายไม่ได้ (immobile) ในไซโทพลาสซึม และคลอโรพลาสต์ ตลอดจนประจุลบที่เคลื่อนย้ายไม่ได้ในแวคคิวโอล ท่อลำเลียงน้ำ และท่อลำเลียงอาหาร เมื่อเซลล์มีกรดอินทรีย์สะสมอยู่ภายใน ย่อมเป็นปัจจัยส่งเสริมให้เซลล์ดูด K^+ เข้ามาในรากหรือเซลล์คุมโดยไม่ต้องมีประจุลบติดมาด้วย การเคลื่อนย้ายไนเตรทระยะไกลทางท่อลำเลียงอาหารเข้าสู่แวคคิวโอลมี K^+ เคียงคู่มาเสมอ เมื่อไนเตรทผ่านกระบวนการรีดักชั่นไปแล้ว เซลล์มีการสร้างกรดอินทรีย์ เช่น กรดมาลิก (malic acid) เพื่อให้มีสมดุลด้านประจุกับโพแทสเซียม และรักษาระดับของ pH ที่เหมาะสมไว้ บทบาทที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของโพแทสเซียมคือ การเคลื่อนย้ายทางท่อลำเลียงอาหาร โดยมีส่วนสำคัญในการช่วยให้ซูโครสเข้าสู่ท่อลำเลียงอาหาร และมีการเคลื่อนย้ายสารละลายในท่อลำเลียงอาหารได้มากขึ้น หน้าที่ของโพแทสเซียมในเรื่องนี้เกี่ยวกับการรักษาระดับของ pH ในหลอดตะแกรง (sieve plate) ให้สูงและคงที่ เพื่อให้ซูโครสย้ายเข้าสู่หลอดตะแกรงได้สะดวก และเพิ่มแรงดันออสโมซิสในตะแกรงบริเวณต้นทางของการเคลื่อนย้ายให้สูง ซึ่งช่วยเพิ่มอัตราการลำเลียงสารจากการสังเคราะห์แสง (photosynthates) จากแหล่งจ่าย (source) มายังบริเวณสะสม (sink) (ยงยุทธ, 2538)

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่พบมากในบริเวณส่วนอ่อนของพืช เช่น ในเนื้อเยื่อเจริญบริเวณยอดของต้น ปลายราก ตาข้าง ใบอ่อน เนื้อใบ (mesophyll) ในใจกลางของลำต้น (pith) และในท่อลำเลียงอาหาร (นพดล, 2548) แม้ว่าพืชแต่ละชนิดมีความต้องการโพแทสเซียมเพื่อการเจริญเติบโตตามปกติในปริมาณที่ต่างกัน แต่โดยทั่วไปแล้วความต้องการของพืชอยู่ในช่วง 2 - 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ของใบ ลำต้น ผล และหัว ทั้งนี้ยกเว้นพืชที่ชอบโซเดียม (natrophilic species) ซึ่งความต้องการโพแทสเซียมน้อยกว่าพืชทั่วไป (ยงยุทธ, 2543)

เมื่อพืชขาดธาตุโพแทสเซียม อาการขาดเกิดที่ใบแก่ โดยอาการแรกที่พบคือ บริเวณปลายใบระหว่างเส้นใบมีสีเหลือง (chlorosis) ใบแห้งตายเป็นจุดๆ บริเวณขอบและปลายใบหรือใบอาจ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ม้วนงอ หลังจากนั้นจะแพร่กระจายไปทั่วลำต้น (สมบุญ, 2544) ใบใหม่มีสีเข้มกว่าปกติ ลำต้นแคระแกร็น เป็นโรคง่าย ใบเล็ก ก้านใบสั้น ต้นผอม ผลจะอ่อน และมีอายุสั้น

เมื่อพืชได้รับโพแทสเซียมมากเกินไป อาการเป็นพิษมักไม่ค่อยพบ เนื่องจากพืชไม่ดูดโพแทสเซียมจนเกินความจำเป็น ระดับความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่มีมากเกินไป มีผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารตัวอื่น เช่น แมกนีเซียม แมงกานีส สังกะสี และเหล็ก ทำให้เกิดอาการขาดธาตุเหล่านี้ได้ (โสระยา, 2544)

แคลเซียม (Calcium)

แคลเซียมเป็นธาตุที่พืชต้องการอยู่ในช่วง 300 - 500 มิลลิกรัมต่อลิตร แคลเซียมจำเป็นในการแบ่งเซลล์ เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างที่สำคัญของผนังเซลล์ ใน middle lamella ของผนังเซลล์ จะมีแคลเซียมในรูปแคลเซียมเพคเตท (calcium pectate) พืชจะเจริญเติบโตได้ต้องมีการแบ่งเซลล์ที่ส่วนยอด หรือปลายราก พบว่าในปลายรากที่กำลังเจริญจะมีปริมาณแคลเซียมมาก (Taiz and Zeiger, 1998)

พืชดูดแคลเซียมเข้าไปในรูปของไดวาเลนต์แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) (สมบุญ, 2544) แคลเซียมในพืชมีปริมาณมากรองจากโพแทสเซียม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับโพแทสเซียม ในพืชทุกชนิดมีแคลเซียมน้อยมาก (มุกดา, 2544) ดินส่วนใหญ่มี Ca^{2+} พอเพียงต่อการเจริญเติบโตของพืช ยกเว้นดินกรดในสภาพที่มีฝนตกชุก มักต้องเติมปูนแคลเซียมออกไซด์ (CaO) หรือแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ลงไปในดินเพื่อเพิ่มค่า pH ของให้สูงขึ้น (สมบุญ, 2538; ดนัย, 2544) แคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายทางท่ออาหารได้ยาก ดังนั้นเมื่อแคลเซียมอยู่ในเนื้อเยื่อของพืชแล้วจึงไม่ค่อยเคลื่อนย้ายไปส่วนอื่น (สมบุญ, 2544) ความเข้มข้นของแคลเซียมในพืชแตกต่างกันตามสภาพการปลูก พันธุ์พืช และอวัยวะ ซึ่งแปรผันอยู่ในช่วง 0.1 - 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง พืชใบเลี้ยงคู่ต้องการแคลเซียมเพื่อให้มีการเจริญเติบโตอย่างเหมาะสมมากกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (ยงยุทธ, 2546)

แคลเซียมเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ในรูปแคลเซียมแพคเตท ในมิเดิลลาเมลลาของผนังเซลล์ มีบทบาทสำคัญทำให้ผนังเซลล์ เนื้อเยื่อ และต้นพืชแข็งแรง เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึม การสร้างนิวเคลียส และไมโทคอนเดรีย ตลอดจนการแบ่งเซลล์ และการขยายตัวของเซลล์ นอกจากนี้ช่วยให้ส่วนประกอบของเซลล์เมมเบรนมีโครงสร้างและหน้าที่ได้สมบูรณ์ ตลอดทั้งควบคุมการเข้าออกของสารบางชนิดในเซลล์เกลือแคลเซียมของเลซิติน (lecithin) เป็นองค์ประกอบของลิปิดซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของเซลล์เมมเบรน แคลเซียมมีบทบาทต่อเอนไซม์บางชนิด เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α-amylase) ซึ่งทำหน้าที่ย่อยแป้ง ทำให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โมเลกุลของแป้งถูกทอนให้สั้นลง จึงนับเป็นเอนไซม์ชนิดหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนย้ายแป้งยังแหล่งสะสมไปยังส่วนอื่นๆของพืช อีกทั้งแคลเซียมช่วยย่อยแป้งในเอนโดสเปิร์มของเมล็ดให้มีโมเลกุลเล็กลงเพื่อใช้ในกระบวนการงอก นอกจากนี้ยังช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ฟอสฟาเตส (phosphatase) ฟอสฟอลิเพส (phospholipase) อาร์จินินคิเนส (arginine kinase) และอื่นๆ (ยงยุทธ, 2543)

แคลเซียมช่วยลดความเป็นพิษ (detoxify) ของกรดออกซาลิก (oxalic acid) โดยรวมตัวเป็นผลึกแคลเซียมออกซาเลต (calcium oxalate) ในแวคคิวโอลของพืช แคลเซียมยังมีผลต่อกระบวนการสร้างปมและการตรึงไนโตรเจนของไรโซเบียมในรากพืชตระกูลถั่ว แคลเซียมจัดเป็นธาตุที่ไม่ค่อยเป็นพิษต่อพืช และพืชทั่วไปสามารถปรับตัวให้สอดคล้องกับปริมาณที่ได้รับ สาเหตุที่ไม่ค่อยเป็นพิษ เนื่องจากพืชมีกลไกที่สามารถควบคุมให้มีแคลเซียมในไซโทพลาสซึมต่ำได้นั่นเอง (Hanson, 1934 อ้างโดย ยงยุทธ, 2546)

แคลเซียมเป็นธาตุที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านท่ออาหารของพืชได้ เป็นผลให้อาการขาดแคลเซียมมักเกิดขึ้นที่จุดเจริญ ได้แก่ ใบอ่อน เนื้อเยื่อเจริญของราก ลำต้นและใบ เพราะเนื้อเยื่อจะไม่สร้างผนังเซลล์ ทำให้เซลล์ไม่แบ่งตัว ลำต้น ยอด ก้านใบเปราะหักง่าย เซลล์ไม่ขยายตัว ใบเหลือง เกิดคลอโรซิสในบริเวณใบอ่อน และใบอ่อนมักบิดเบี้ยวเสียรูปทรง เกิดลักษณะงอคล้ายตะขอ (hook) ที่ส่วนปลายยอด ลำต้นแคระแกร็น เนื้อเยื่อเจริญมีอายุสั้น อวัยวะซึ่งคายน้ำน้อยแต่อัตราการเจริญเติบโตสูงมักมีความเสี่ยงต่อการขาดแคลเซียม หรือมีแคลเซียมในอวัยวะนั้นต่ำกว่าระดับวิกฤต หรือมีธาตุนี้ไม่เพียงพอสำหรับคงสภาพที่ดีของเนื้อเยื่อไว้ได้ เป็นเหตุให้พืชแสดงอาการขาดแคลเซียมได้ที่ผล เช่น ในมะเขือเทศที่ขาดแคลเซียมมักเกิดการสลายตัวของเนื้อเยื่อด้าน blossom end ทำให้เกิดอาการเรียกว่า อาการก้นผลเน่า (blossom end rot) (ดนัย, 2544; สมบุญ, 2544) และผิวผลแอปเปิ้ลมีรอยบุ๋ม (bitter pit) หรือที่อวัยวะอื่นๆ เช่น อาการไส้เน่า (black heart) ของกะหล่ำดอก หรือขึ้นฉ่าย อาการปลายใบไหม้ (tip burn) ของผักกาดหอม หรือผักกาดเขียวปลี สำหรับผลที่มีเนื้อมาก หากมีแคลเซียมน้อยเกินไปจะเข้าสู่สภาพเสื่อมอายุ (senescence) รวดเร็วและเชื้อราเข้าทำลายได้ง่าย ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวจึงมีสูง (ยงยุทธ, 2543)

เมื่อพืชได้รับธาตุแคลเซียมมากเกินไป โดยทั่วไปมักไม่พบอาการเป็นพิษเนื่องจากแคลเซียม ถ้าปริมาณของแคลเซียมมากเกินไปมีผลกระทบต่อสมดุลของธาตุอาหารตัวอื่นๆ ทำให้พืชแสดงอาการขาดธาตุนั้น เช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และโบรอน (มุกดา, 2544; โสระยา, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แมกนีเซียม (Magnesium)

เป็นธาตุที่พืชต้องการในช่วงปริมาณ 50 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร แมกนีเซียมอยู่ในดินมี 3 รูป คือ 1) แมกนีเซียมไอออนในสารละลายดิน 2) แมกนีเซียมแลกเปลี่ยนได้ ซึ่งดูดซับอยู่กับผิวของคอลลอยด์ดิน พืชสามารถดูดใช้แมกนีเซียมทั้งสองรูปนี้ เป็นประโยชน์ได้โดยง่าย และ 3) เป็นองค์ประกอบของเกลืออนินทรีย์ และแร่ต่างๆในดิน (ยงยุทธ, 2546) พืชดูดแมกนีเซียมในรูปไดวาเลนต์แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) และแมกนีเซียมมีบทบาทสำคัญหลายอย่าง ดังนี้ (นิตย์, 2541; สมบุญ, 2544)

1) บทบาทในกระบวนการสังเคราะห์แสง แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ และเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในปฏิกิริยาหลักของการถ่ายทอดพลังงานในกระบวนการสังเคราะห์แสง

2) เป็นตัวกระตุ้นการทำงาน (activator) ของเอนไซม์หลายชนิด รวมทั้งเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์แป้ง

3) บทบาทเกี่ยวกับการสังเคราะห์โปรตีน เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก โดยแมกนีเซียมจะรวมตัวกับไรโบโซมช่วยสร้างเสถียรให้กับไรโบโซม และทำให้เกิดการสังเคราะห์โปรตีน

4) แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ สัดส่วนของธาตุนี้ในคลอโรฟิลล์ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับ 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 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง (ยงยุทธ, 2543) แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ เมื่อพืชขาดธาตุแมกนีเซียมทำให้เกิดอาการใบเหลืองซีด โดยจะเหลืองระหว่างเส้นใบและก้านใบยังเขียวอยู่ เรียกอาการ interveinal chlorosis ที่ใบแก่ และลุกลามไปยังใบอ่อน เพราะแมกนีเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ง่าย ต่อไปจะกลายเป็นสีขาวและสีน้ำตาล อาจมีจุดขาวกระจายทั่วไป และใบกรอบ หักง่าย เนื่องจากแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์ และการที่แมกนีเซียมมีบทบาทในการสร้างโปรตีน ดังนั้นเมื่อพืชขาดแมกนีเซียม ใบพืชจะมีขนาดลดลง การทำหน้าที่ของคลอโรพลาสต์ลดลง และทำให้เกิดสภาวะกระตุ้นการสลายตัวของโปรตีนในใบแก่ และการเคลื่อนย้ายสิ่งที่ได้จากการสลายตัวไปเลี้ยงต้นอ่อน (ยงยุทธ, 2543) นอกจากนั้นยังเกิดการสร้างแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ที่ใบทำให้เห็นใบเป็นจุดสีต่างๆ เช่น ม่วง และแดง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นต้น เซลล์ของใบมักแห้งไหม้ตายเป็นจุดๆ กระจายไปทั่ว และปลายใบม้วนงอ แมกนีเซียมเป็นแคตไอออนประจุบวกสองขนาดเล็ก อัตราการดูดแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ลดลงมาก หากมี K^+, NH_4^+, Ca^{2+}, Mn^{2+} และ H^+ ในสารละลายสูง เนื่องจากไอออนเหล่านี้แสดงภาวะปฏิปักษ์ (antagonism) ต่อการดูดแมกนีเซียม ดังนั้น จึงอาจพบอาการขาดแมกนีเซียมได้เสมอ หากธาตุต่างๆ ในดินไม่สมดุล (ดนัย, 2544; สมบุญ, 2544; ยงยุทธ, 2546)

เมื่อพืชได้รับธาตุแมกนีเซียมมากเกินไป โดยปกติอาการที่แสดงความเป็นพิษมากเกินไปไม่ค่อยปรากฏให้เห็น ส่วนใหญ่ที่พบมักเป็นอาการที่เกิดจากความไม่สมดุลของธาตุอาหารมากกว่า เช่น การที่พืชดูดแมกนีเซียมมากเกินไป อาจเกิดจากการขาดโพแทสเซียม เนื่องจากสมดุลของโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียมในดินมีสัดส่วนต่ำ (มุกดา, 2544) ปริมาณแมกนีเซียมในดินและโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์กันด้านการแก่งแย่งการดูดธาตุอาหารของพืช (antagonistic effect) พบว่าในดินที่มีแมกนีเซียมมาก มีผลทำให้พืชเกิดการขาดโพแทสเซียม และในดินที่มีโพแทสเซียมมาก การดูดแมกนีเซียมของพืชจะลดลง ทำให้พืชขาดแมกนีเซียมได้ (สมบุญ, 2544) การที่มีแมกนีเซียมมากเกินไป เกิดการยับยั้งการดูดไอออนที่มีประจุบวกตัวอื่น ทำให้เกิดอาการขาดธาตุอื่นๆได้ (โสระยา, 2544)

4.4 ความสัมพันธ์ของระดับของธาตุอาหารที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช

ตลอดวงจรการเจริญเติบโตของพืช นับตั้งแต่เมล็ด หรือหัวพันธุ์งอกเป็นต้นกล้า และมีการเจริญเติบโตทางลำต้น ผลิใบ ออกดอก จนกระทั่งเข้าสู่ระยะชราภาพ หรือพักตัว พบว่าปริมาณธาตุอาหารภายในพืชมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพืช การออกดอก และคุณภาพดอก นอกจากนี้ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในเนื้อเยื่อ ยังสามารถใช้เป็นค่าประเมินความต้องการธาตุอาหารของพืชได้ ดังนั้นในการจัดการธาตุอาหารพืชให้เหมาะสม และเพียงพอต่อความต้องการของพืช จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในเนื้อเยื่อของพืช

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีศาสตร์ (2544) รายงานว่าพืชหัวโดยทั่วไปต้องการไนโตรเจนมากในระยะแรกสำหรับการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินเพื่อให้มีใบมาก มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงได้สูง เมื่อถึงเวลาที่เหมาะสมการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินถูกบังคับให้หยุดเพื่อให้คาร์โบไฮเดรตที่เกิดขึ้นในระยะนี้เคลื่อนย้ายมาสะสมที่ส่วนใต้ดินให้มากที่สุด

Ruamrungsri (1997) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในส่วนต่างๆของนาซิสซัส พันธุ์ Garden Giant พบว่าเมื่อเริ่มปลูกปริมาณไนโตรเจนในกลีบของหัวที่ใช้ปลูก มีปริมาณสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนอื่นๆ ต่อมาเมื่อรากงอกออกมาปริมาณไนโตรเจนในรากมีเพิ่มขึ้น ในขณะที่ไนโตรเจนในหัวเริ่มลดลง เมื่อพ้นฤดูหนาวต้นมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ปริมาณไนโตรเจนใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต้นเหนือดินเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ และสูงสุดเมื่อหลังการออกดอก จากนั้นปริมาณลดลง ต่อมาเมื่อมีการสร้างหัวใหม่พบว่าปริมาณไนโตรเจนไปสะสมที่หัวใหม่มากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเข้าสู่ระยะพักตัว

Hagiladi et al. (1997) ได้วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และโซเดียม ในส่วนหัวและตุ้มรากของปทุมมาพันธุ์ Chiangmai Pink ระยะพักตัวพบว่า หัวและตุ้มรากมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และโซเดียม ไม่แตกต่างกัน แต่ทั้งในหัวและตุ้มรากนั้นพบว่า ปริมาณไนโตรเจน และโพแทสเซียมมีแนวโน้มมากกว่า ฟอสฟอรัส และโซเดียม

ศูนย์วิจัยพืชสวนเชียงราย (2540) ได้ศึกษาปริมาณธาตุอาหารสะสมในหัวปทุมมาพันธุ์เชียงใหม่พิงค์หลังการเก็บเกี่ยว โดยการสุ่มเลือกหัวพันธุ์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร มาวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในส่วนหัวและตุ้มราก แล้วนำปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่างๆเหล่านี้มาประเมินหาความต้องการไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม พบว่าการปลูกปทุมมาให้ได้หัวพันธุ์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร พร้อมตุ้มราก 4 ตุ้ม ปทุมมามีความต้องการธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ประมาณ 2.56 0.77 และ 6.74 กรัม ตามลำดับ สำหรับการบ่มหัวพันธุ์ทำในถาดเพาะโดยใช้ทรายผสมถ่านแกลบเป็นวัสดุชำ ความชื้นประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้หัวงอกสม่ำเสมอก่อนย้ายปลูกลงแปลง

4.5 ผลของความเข้มข้นของธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของพืช

การศึกษาผลของธาตุอาหารในผักบางชนิด มีปรากฏในรายงานหลายเรื่อง เช่น

Yoldas *et al.* (2008) ได้ศึกษาผลของอัตราไนโตรเจนต่อผลผลิต คุณภาพ และปริมาณธาตุอาหารในหัวบร็อคโคลี่ โดยให้อัตรา 0, 150, 300, 450 และ 600 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ พบว่าเพิ่มผลผลิต น้ำหนักเฉลี่ยของหัว และเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม โดยไนโตรเจน 300 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ให้ปริมาณผลผลิตสูงสุด การให้ไนโตรเจน 450 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ทำให้ผลรวมไนโตรเจนในหัวบร็อคโคลี่สูงสุด และการเพิ่มอัตราไนโตรเจนให้สูงขึ้นช่วยเพิ่มปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี แต่ไม่มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัส ทองแดง แมงกานีส โบรอน และโซเดียม

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของไนโตรเจนต่อการเติบโต การสะสมธาตุอาหาร และการผลิตคาร์โรทีนอยด์ในพาร์สเล่ย์ โดยให้ระดับสารละลายธาตุไนโตรเจน ที่ 6.0, 13.1, 26.3, 52.5 และ 105.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าหลังจากให้ 8 สัปดาห์ การเพิ่มไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารส่งผลให้น้ำหนักแห้งของพืช การสะสมไนโตรเจนในเนื้อเยื่อใบ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ลูทีน ซีแซนทิน เบต้าแคโรทีน และคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น และลดการสะสมธาตุเหล็กในใบ แมงกานีส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กำมะถัน โบรอน ทองแดง และสังกะสี (Chenard *et al.*, 2005)

จากการศึกษาผลของธาตุอาหารในไม้ดอกหลายชนิด พบว่า ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มีผลต่อการเกิดตาดอก และคุณภาพดอกของ *Cymbidium* ลูกผสม โพแทสเซียมมีส่วนสำคัญต่อการพัฒนาของตาดอกมากกว่าไนโตรเจน และฟอสฟอรัส นอกจากนี้ไนโตรเจนยังมีอิทธิพลต่อการพัฒนาของหน่อ ตาดอก และคุณภาพดอก ซึ่งมีผลต่อจำนวนดอกต่อช่อ และโพแทสเซียมทำให้ดอกมีขนาดใหญ่ จากการทดลองระดับของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เหมาะสมต่อการเกิดตาดอก และคุณภาพดอกของ *Cymbidium* คือ 2.4 : 1.0 : 2.6 (YunZhai and SiQing, 2005)

จากการรายงานของ พชร (2550) พบว่า ไนโตรเจน 3 ระดับ คือ 100, 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับฟอสฟอรัส 2 ระดับ คือ 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ *Phalaenopsis* ลูกผสม พบว่า การให้ไนโตรเจนที่ระดับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับการให้ฟอสฟอรัสที่ระดับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้มีความสูงของต้นมากที่สุดคือ 5.21 เซนติเมตร

Khan and Ahmad (2004) พบว่า ระดับไนโตรเจนสูง ร่วมกับฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมระดับกลาง เพิ่มการเจริญเติบโตทางลำต้นของแกลดิโอลัสพันธุ์ Wind Song ให้ดีขึ้น สอดคล้องกับงานของ Pant (2005) ศึกษาผลของอัตราความแตกต่างของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสต่อการพัฒนา corm และ cormel ของแกลดิโอลัสสายพันธุ์ American Beauty พบว่าอัตราไนโตรเจน 50 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ผลิต corm ได้สูงสุด ในขณะที่อัตราไนโตรเจน 100 และ 150 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ กลับผลิต cormel ได้น้อยสุด ขณะที่อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เพิ่มสูงขึ้น (50 และ 100 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์) ให้ผลผลิตได้สูงสุด ผลของปฏิสัมพันธ์ชี้ให้เห็นผลผลิตของ cormel จะตอบสนองดีขึ้นโดยใช้ระดับฟอสฟอรัสที่สูงขึ้น ร่วมกับระดับไนโตรเจนที่ต่ำลง

Kumar *et al*. (2002) รายงานผลการศึกษาธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ต่อคุณภาพและปริมาณผลผลิตของ แกลดิโอลัสพันธุ์ Tropic Sea โดยให้พืชได้รับธาตุอาหารต่างกันดังนี้ 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 และโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโต การออกดอก ผลผลิตและคุณภาพหัวฟรีเซีย พบว่าการให้ไนโตรเจนที่ระดับความเข้มข้น 600 - 800 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร และฟอสฟอรัส 200 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทำให้ใบของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฟรีเซียแข็งแรง การบานของดอก และการเจริญเติบโตของหัวใหม่ดี

Clark (1997) ทำการศึกษาผลของไนโตรเจน และโพแทสเซียม ต่อการเจริญเติบโตของแซนเดอร์โซเนีย (*Sandersonia*) โดยให้ไนโตรเจน 4 ระดับ คือ 5, 10, 20 และ 40 กรัมต่อตารางเมตร โพแทสเซียม 4 ระดับ คือ 0.4, 0.8, 1.8 และ 3.2 มิลลิอิควิวาเลนซ์ต่อ 100 กรัม พบว่าระดับของไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่เพิ่มขึ้น ทำให้น้ำหนักหัว ปริมาณไนโตรเจน และโพแทสเซียมในใบที่มีอายุมากลดลง จำนวนดอก และเปอร์เซ็นต์ตาข้างเพิ่มขึ้น เมื่อให้ระดับไนโตรเจนเพิ่มขึ้น แต่ความสูงของต้นลดลงเมื่อโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น

การศึกษาผลของธาตุอาหารในพืชกลุ่มปทุมมาและกระเจียว พบว่า การให้ไนโตรเจนร่วมกับโพแทสเซียมที่อัตรา 200 : 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้จำนวนหัวใหม่ของปทุมมาที่ปลูกแบบไม่ใช้ดินเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในตุ้มรากใหม่ระยะพักตัวเพิ่มขึ้นตามระดับไนโตรเจนที่สูงขึ้น แต่ระดับไนโตรเจนที่สูงขึ้นทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในหัวใหม่และตุ้มรากใหม่ลดลง (โสภิตา และโสระยา, 2549; Ruamrungsri *et al.*, 2004)

ในขณะที่ Lee *et al.* (2008) ศึกษาผลของระดับสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเติบโต การออกดอก และผลผลิตหัวพันธุ์ของปทุมมาสายพันธุ์เชียงใหม่พิงค์ และเชียงใหม่สโนว์ ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมที่สุด คือ 2.7 กรัมต่อลิตรของสายพันธุ์เชียงใหม่พิงค์ และ 1.3 - 4.0 กรัมต่อลิตรของสายพันธุ์เชียงใหม่สโนว์

Karthikeyan *et al.* (2009) ศึกษาผลของธาตุโพแทสเซียมต่อผลผลิตและคุณภาพขมิ้นสายพันธุ์ Erode local พบว่า การเพิ่มอัตราการให้โพแทสเซียมในรูปของ KCl ที่ 260 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ เพิ่มการเติบโต การดูดใช้ธาตุอาหาร และการใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของขมิ้น

โสระยา และคณะ (2551) ศึกษาผลของการให้ปุ๋ยและความหนาแน่นในการปลูกต่อการเติบโต และคุณภาพหัวพันธุ์ของกระเจียวส้มที่ปลูกจากต้นอ่อนที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ พบว่าปัจจัยการให้ปุ๋ยและปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สรุปได้ว่าการปลูกโดยใช้จำนวนต้นอ่อน 30 ต้นต่อตะกร้า ร่วมกับการให้ปุ๋ยสูตร 18-18-18 หรือปุ๋ยน้ำสูตรบ้านไร่ #102 ครึ่งสูตร จำนวน 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ดีที่สุด

โสระยา และคณะ (2551) ศึกษาผลของระดับไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของบัวชั้น โดยให้ระดับไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมแตกต่างกัน ส่วนธาตุอื่นได้ในระดับเดียวกัน อัตราส่วนความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญของบัวชั้นคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในอัตรา 200 : 50 : 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Ruamrungsri *et al.* (2008) ศึกษาผลของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ต่อคุณภาพดอก และหัวพันธุ์ของปทุมมาลูกผสม โดยอัตราการใช้ที่ระดับ 200:50:200 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถใช้ในการผลิต substrate ได้ และระดับไนโตรเจน 300 มิลลิกรัมต่อลิตร เพิ่มจำนวนหัวพันธุ์ (rhizome) แต่ลดความยาวของตุ้มราก (storage roots)

Lee *et al.* (2003) ศึกษาผลของสารละลายธาตุไนโตรเจนต่อการเติบโต และการพัฒนาของขิง พบว่าธาตุไนโตรเจนเพิ่มจำนวนปลายยอดชุดที่สาม และ การแตกกิ่งก้านของไรโซมชุดที่สี่ และผลรวมของผลผลิตและไรโซม อัตราของการประยุกต์ใช้ไนโตรเจนอยู่ที่ 200 - 300 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ทำให้ได้ผลผลิตสูงสุด

Attoe *et al.* (2009) ทำการศึกษาผลของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต่อการเติบโตและผลผลิตของขิง ในดินของการเลี้ยงดูที่แตกต่างกันของรัฐทางชายฝั่งแม่น้ำ อัตราส่วนของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่เหมาะสมที่สุดคือ 200 : 80 : 100 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ซึ่งปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดคือ ความสูง จำนวนใบ น้ำหนักสดของพืช และผลผลิตใหม่ของไรโซม

4.6 ผลของการขาดธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของพืช

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

หากในวัสดุปลูกพืชมีธาตุอาหารธาตุหนึ่งในปริมาณต่ำมากในขณะที่มีธาตุอื่นในระดับเพียงพอ การเพิ่มธาตุอาหารที่ขาดแคลนลงไป พืชจะมีการตอบสนองด้านการเจริญเติบโต เช่น น้ำหนักแห้ง ซึ่งระดับความต้องการธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืช สามารถแบ่งได้ 3 ระยะดังนี้คือ

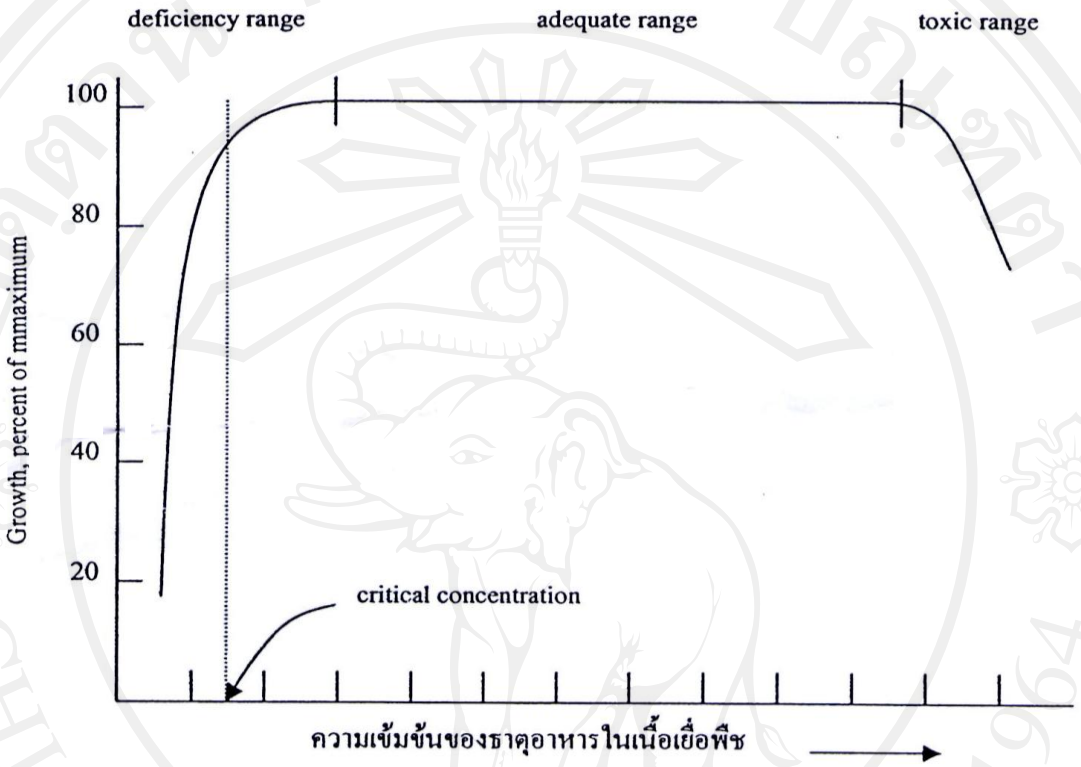
1) ระยะอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น เมื่อเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืชในช่วงที่พืชขาดแคลนธาตุอาหาร เรียกว่า พิสัยขาดแคลน (deficiency range)

2) เมื่อพืชเจริญเติบโตถึงจุดสูงสุดแล้วหากได้รับธาตุอาหารเพิ่มขึ้นก็ไม่ทำให้การเจริญเติบโตหรือผลผลิตเพิ่มขึ้นเรียกว่า พิสัยเพียงพอ (adequate range)

3) ระดับอัตราการเจริญเติบโตลดลง เมื่อเพิ่มธาตุอาหารให้พืชมากขึ้นแต่กลับทำให้การเจริญเติบโต หรือผลผลิตลดลง เรียกว่า พิสัยเป็นพิษ (toxic range) สำหรับจุดความเข้มข้นวิกฤต (critical concentration) เป็นระดับของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืชซึ่งต่ำกว่าระดับที่พืชมีการเจริญเติบโตที่เหมาะสม (optimum growth) เพียงเล็กน้อย ถ้าพืชได้รับธาตุอาหารต่ำกว่าจุดวิกฤตนี้ การเจริญเติบโตของพืชจะไม่สมบูรณ์ เกิดอาการขาดธาตุอาหาร (deficiency symptom) ทำให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลผลิตพืชลดลง (สมบุญ, 2544; ยงยุทธ, 2546) ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของพืชกับปริมาณธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืช

อาการขาดธาตุอาหารในพืช

Ruamrungsri *et al.* (2003) ศึกษาอาการขาดธาตุอาหารในปทุมมา พบว่าพืชที่ขาดแคลนธาตุไนโตรเจนทำให้พืชเจริญเติบโตช้า แคระแกร็น ใบเหลือง ในขณะที่การขาดธาตุฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม มีผลทำให้ช่อดอกเล็กลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าการขาดแคลเซียม และแมกนีเซียมอย่างต่อเนื่องนานกว่า 1 ฤดูกาลมีผลทำให้ระบบรากของปทุมมาอ่อนแอ รากเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและเน่าในที่สุด

วัชรพล และโสระยา (2546) ทำการศึกษาการขาดธาตุอาหารในหงส์เหิน พบว่าหงส์เหินที่ขาดไนโตรเจน ต้นแคระแกร็น มีความสูงเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 20.85 เซนติเมตร รากมีการแตกแขนงน้อย ใบมีขนาดเล็กเป็นสีเหลืองอมเขียว และเปลี่ยนเป็นสีเหลืองในที่สุด มีจำนวนใบต่อต้น 13.75 ใบ จำนวนช่อดอกต่อกอเฉลี่ย 1.62 ช่อ และไม่มีดอกจริง ใบประดับมีสีชมพูซีด การขาดไนโตรเจนยังมีผลทำให้ปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมลดลง สำหรับต้นที่ขาดฟอสฟอรัส มีความสูงเฉลี่ย 27.59 เซนติเมตร โดยใบแก่สีเขียวเข้ม ช่อดอกเฉลี่ย 2.88 ช่อต่อกอ ใบประดับสีชมพูซีดเช่นเดียวกับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หงส์เหินที่ขาดไนโตรเจน สำหรับอาการขาดโพแทสเซียม ใบมีขนาดเล็ก ช่อดอกเฉลี่ย 3.38 ช่อต่อกอใบประดับสีชมพูซีด ส่วนต้นที่ขาดแคลเซียม ปลายรากมีสีน้ำตาล ไม่พบอาการผิดปกติที่ช่อดอก ระดับที่เหมาะสมที่สุดของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของหงส์เหิน คือ 100 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

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

รายงานผลของการขาดธาตุอาหารในฟรีเซีย พบว่า การขาดธาตุไนโตรเจน ทำให้ใบมีขนาดเล็ก มีสีเหลืองอมเขียว และเปลี่ยนเป็นสีเหลืองในที่สุด มีความยาวก้านดอก และเส้นผ่าศูนย์กลางหัวพันธุ์ลดลง และยังทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมต่ำด้วย (หทัยและโสระยา , 2548)

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved