บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

แคลล่าลิลี่เป็นไม้ดอกเมืองหนาวประเภทหัว มีหลากหลายสีสันสวยงาม บางชนิดมีกลิ่นหอม มีถิ่นกำเนิดในแถบอัฟริกาใต้ ในทางพืชสวนแบ่งแคลล่าลิลี่ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. *Zantedeschia aethiopica* ต้นสูงประมาณ120 เซนติเมตรเป็นชนิดที่ไม่มีการพักตัวในฤดูหนาว ออกดอกในปลายฤดูหนาวถึงฤดูใบไม้ผลิ ดอกมีสีขาว หรือ ชมพู เมื่อผลสุก ค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีส้มอ่อนนุ่ม และมีเมือก 2. แคลล่าลิลี่ ชนิดอื่นๆ เช่น *Z. rehmannii* (ดอกสีขาว ชมพู แดงเข้ม) , *Z. jucunda* (ดอกสีเหลืองทอง) , *Z. elliottiana* (ดอกสีเหลืองทอง) , *Z. odorata* (ดอกสีขาวน้ำนม) เป็นต้น ซึ่งใบมีการพักตัวในช่วงฤดูหนาว ออกดอกในช่วงฤดูร้อน เมื่อผลสุกยังคงมีสีเขียว ในช่วงปี 1990-1991 ประเทศนิวซีแลนด์เป็นประเทศที่ผลิตแคลล่าลิลี่จำนวนมากกว่า 120 ชนิด ตัดดอกจำหน่ายมากกว่า 3 ล้านดอก และส่งออกหัวพันธุ์ไปจำหน่ายยังประเทศต่างๆ มากกว่า 1.4 ล้านหัว นอกจากนี้ยังมีประเทศเนเธอแลนด์ (ผลิตประมาณ 10 เฮกแตร์) อิสราเอล (ประมาณ 10 เฮกแตร์) และญี่ปุ่น (ผลิตประมาณ 30 เฮกแตร์) (โสระยา, 2544)

1. ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (โสระยา, 2547)

แคลล่าลิลี่ (Calla Lily) มีชื่อวิทยาศาตร์ว่า *Zantedeschia* spp. เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอยู่ในวงศ์ Araceae อยู่ในวงศ์ย่อย Philodendroideae เช่นเดียวกับ *Dieffenbachia*, *Aglonema* และ *Philodendron* มีชื่อเรียกอย่างอื่นอีกหลายชื่อ เช่น Cape Lily , Calla, Arum Lily, Lily of the Nile, Plg Lily, Aroid Lily เป็นต้น

1.1 ลำต้น ส่วนของลำต้นที่แท้จริงแปรรูปเป็นส่วนสะสมอาหารมีรูปร่างค่อนข้างกลม บางชนิดจัดเป็นหัวประเภท rhizome มีลักษณะหัวเจริญอยู่ใต้ดิน ที่หัวจะมีตาขึ้นมากมาย ซึ่งตาจะเจริญและพัฒนาขึ้นเมื่อได้รับน้ำอย่างพอเพียง ลักษณะหัวของแคลล่าลิลี่จะแตกต่างกันหัวของ *Z. actchiopca* หัวมีลักษณะยาวแตกแขนง ส่วนหัวของแคลล่าลิลี่ชนิดอื่นๆหัวจะอัดตัวกันแน่นเป็นก้อนกลม บางชนิดจัดเป็นหัวแบบ corm หรือ tuber ได้แก่ *Z. rehmannii* , *Z. jucunda* , *Z. elliottiana*, *Z. odorata* เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.2 ราก เป็นระบบรากฝอย ชนิดรากยึดเหนี่ยว (contractile roots) ไม่แตกแขนง

1.3 ใบ มีหลายลักษณะแตกต่างกันตามพันธุ์ ใบของ *Z. elliotiana* มีลักษณะเป็นรูปหอกกว้าง มีความยาว 28 เซนติเมตร กว้าง 23 เซนติเมตร พื้นใบมีสีเขียวแก่ มีจุดประสีขาวที่ใบเป็นจำนวนมาก ส่วน *Z.acthipica* ใบมีลักษณะคล้ายใบบอน มีสีเขียวเข้มและเป็นมัน มีเส้นแขนงแยกออกยาวไปจนถึงขอบใบเห็นได้ชัดเจน ขอบใบหยักเล็กน้อย ก้านใบโดยทั่วไปยาวประมาณ 60 เซนติเมตร โดยส่วนโคนก้านใบจะโอบรอบๆ ลำต้นแล้วจึงค่อยๆชูใบขึ้นมา

1.4 ช่อดอก ช่อดอกประกอบด้วยจานรองดอก (spadix) รองรับดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย มีความสูงระดับทรงต้นหรือสูงเหนือไป กลีบประดับ (spath) มีรูปร่างต่างกัน เช่น รูปกรวย (funnel), รูปปากแตร (trumpet) สีของกลีบประดับ มีตั้งแต่สีขาวน้ำนม (milky white) เหลือง ส้ม และแดงเข้ม บริเวณโคนของกลีบประดับมีสีเข้มกว่า แตกต่างกันตามชนิด

1.5 ผล มีลักษณะคล้ายกับผลของดอกหน้าวัวโดยเมื่อยังอ่อนอยู่จะมีสีเขียวและเมื่อสุกจะสีแดง

2. วงจรการเจริญเติบโต

แคลล่าลิลี่เป็นไม้เนื้ออ่อนที่มีอายุหลายปี โดยทั่วไปวงจรการเจริญเติบโต (growth cycle) ของหัวไม้ดอกประเภทหัว ประกอบด้วย 3 ระยะคือ ระยะการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบ (vegetative phase) ระยะการเจริญเติบโตทางดอก (reproductive phase) และระยะพักตัว (dormancy) (ฉันทนา, 2533)

2.1 การเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบ (vegetative phase) เริ่มจากหัวที่พ้นระยะพักตัว เมื่อได้รับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจึงเริ่มมีการเจริญเติบโตของราก (ฉันทนา และคณะ, 2540) ในระยะแรกของการเจริญเติบโตมีการสร้างระบบรากฝอยขึ้นมาก่อนโดยเกิดบริเวณโคนของหัวเจริญแผ่ออก ไม่หยั่งลึกลงไปในดินมากนัก (Imanshi,1993) และต่อมามีการแทงหน่อใบที่ประกอบด้วยใบอ่อนห่อซ้อนกันอยู่เป็นชั้นๆ ขึ้นมาเหนือดิน (ฉันทนา และคณะ, 2540) ซึ่งใบชุดแรกที่โผล่พ้นออกมามีขนาดเล็กมีสีเขียวอ่อนและยังไม่มีจุด การเจริญเติบโตของใบเมื่อถึงระยะหนึ่งจึงจะมีการสร้างตาดอก

2.2 การเจริญเติบโตทางดอก (reproductive phase) หัวแคลล่าลิลี่ที่มีขนาดใหญ่สามารถให้ดอกได้ประกอบด้วยตา 2 ประเภทคือ 1) ตาที่พักตัวอยู่ (dorminant bud) ซึ่งสามารถเจริญเติบโตและชักนำให้สร้างดอกได้ในสภาพการปลูกเลี้ยงที่เหมาะสม 2) ตาข้าง (axillary bud) มี 2 ชนิดคือ ตาที่พัฒนา (developed-bud) ตาจะบวมพองและชักนำให้สร้างดอกได้โดยการให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จิบเบอเรลลิน ส่วนตาที่ไม่พัฒนา (undeveloped-bud) ไม่บวมพองและไม่สามารถชักนำให้ออกดอกได้ การเจริญของแคลล่าลิลี่ เป็นไปในทิศทางเดียว (sympodial) ตาที่พักตัวอยู่ เมื่อได้รับสภาพที่เหมาะสมจึงมีการแตกตาออกและเจริญเป็นใบเหนือดิน ตาดอกสร้างขึ้นที่ตายอด หลังจากที่มีการแตกตาข้างและเจริญเติบโตเป็นหน่อใหม่ สามารถให้ดอกชุดที่สองได้ต่อไป ดังนั้นปริมาณผลผลิตดอกจึงขึ้นอยู่กับจำนวนตาที่ถูกกระตุ้นให้เจริญ และจำนวนหน่อที่ให้ดอก (โสระยา, 2547)

2.3 การพักตัว (dormancy) เมื่อต้นออกดอกได้ระยะหนึ่ง ช่อดอกเริ่มเหี่ยวแห้งไป เมื่อช่อดอกหมดอายุแล้ว ใบเริ่มเหี่ยวแห้งในขณะที่ส่วนลำต้นใต้ดินคือ หัวแม่ และรากเริ่มมีการเหี่ยวแล้วเช่นกัน (ปิยะมาศ, 2544) หลังจากปลูกแคลล่าลิลี่ในช่วงเดือนตุลาคม และดอกบานในช่วงเดือนมกราคม จึงเริ่มมีการพักตัวในช่วงเดือนมีนาคม โดยหลังจากแคลล่าลิลี่ออกดอกแล้วจะมีการสร้างหัวใหม่ใต้ดินและขยายขนาดขึ้น ต่อมาก็จะค่อยๆเข้าสู่ระยะพักตัว และสามารถเก็บหัวพันธุ์ได้ในช่วงต้นเดือนพฤษภาคม หัวพันธุ์ถูกเก็บรักษาระยะเวลาหนึ่งและจะสิ้นสุดระยะพักตัวประมาณเดือนสิงหาคม (โสระยา, 2544)

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

3.1 สารควบคุมการเจริญเติบโต

3.1.1 จิบเบอเรลลิน (Gibberellins) (ปรารถนา, 2545)

เป็นสารพวก isoprenoid ที่สามารถกระตุ้นการแบ่งตัวและการยืดยาวของเซลได้ มักเรียกว่า กรดจิบเบอเรลลิก (gibberellic acid ,GA) เพราะมีหมู่ คาร์บอกซิล อยู่ในโครงสร้าง ปัจจุบันพบว่ามีมากกว่า 90 ชนิด พบทั้งในเชื้อราและในพืชชั้นสูง จิบเบอเรลลินแต่ละชนิดแตกต่างกันที่ตำแหน่งของ double bond และหมู่ hydroxyl (OH) Kurosawa (1926) นักโรคพืชชาวญี่ปุ่นเป็นผู้ค้นพบ และต่อมามีการผลิตจิบเบอเรลลินเป็นการค้าในอเมริกาและอังกฤษ West and Phinney (1956) พบว่าจิบเบอเรลลิน เป็นสารที่พบตามธรรมชาติในพืชชั้นสูงปี 1957 เริ่มใช้จิบเบอเรลลินทางการเกษตรเป็นครั้งแรก เพื่อเพิ่มขนาดผลองุ่นพันธุ์ Thomson seedless และใช้กระตุ้นการสร้างเอนไซม์ อะไมเลสในเมล็ดธัญพืชในอุตสาหกรรมเบียร์

ผลของจิบเบอเรลลินต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของพืช(ปรารถนา, 2545)

1. ผลต่อการเจริญเติบโตของต้นพืชมีรายงานว่าจิบเบอเรลลินส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทั้งต้น จิบเบอเรลลิน 90 ชนิดที่รู้จักกันนั้นสามารถส่งเสริมการยืดยาวของลำต้นหรือการแบ่งเซล หรือทั้งสองอย่าง การตอบสนองของพืชต่อจิบเบอเรลลินขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยทั่วไปการเจริญเติบโตของพืชจะถูกส่งเสริมโดยจิบเบอเรลลิน โดยเฉพาะพืชแคระ และพืชที่มีอายุสองปี (biennials) ที่อยู่ในระยะ rosette

2. พันธุกรรมต้นเตี้ย (genetic dwarfism) มีการพัฒนาของพืชกลายพันธุ์จำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน มักเป็นพวกกลายพันธุ์แบบยีนเดี่ยว (single gene mutant) พืชมีขนาดประมาณเศษหนึ่งส่วนห้าของต้นปกติ และมีปล้องสั้น เมื่อให้จิบเบอเรลลินแก่พืชเหล่านี้ ก็จะเกิดการเพิ่มขนาดเท่ากับต้นปกติ

3. การตั้งท้องและการออกดอก (bolting and flowering) จิบเบอเรลลินเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นการออกดอกของพืชชั้นสูงจำนวนมาก ในพืชพวก rosette plant ใบจะพัฒนาอย่างมาก แต่การยืดตัวของข้อถูกยับยั้ง แต่เมื่อถึงระยะสืบพันธุ์ลำต้นจึงยืดตัวอย่างมาก 5-6 เท่าของปกติ พืชที่มีลักษณะการเจริญแบบ rosette ต้องการสภาพกลางวันยาวและความเย็นก่อนการออกดอก ถ้าให้จิบเบอเรลลินแก่ rosette plant ในสภาพที่ไม่มีสิ่งกระตุ้นต่อการออกดอก จะเกิดการกระตุ้นการตั้งท้องและการออกดอก ความเกี่ยวข้องของจิบเบอเรลลินในการส่งเสริมการออกดอกเกิดภายใต้สภาพควบคุมบางอย่าง มีรายงานว่าการใช้ GA ระดับต่ำช่วยชักนำให้เกิด การตั้งท้องโดยไม่เกิดการออกดอก Bose and Yadav (1989) ศึกษาผลของจิบเบอเรลลินต่อแกลดิโอลัส พบว่า หัวพันธุ์ที่ได้รับจิบเบอเรลลินจากภายนอกก่อนนำไปปลูกจะงอกเร็วกว่าและออกดอกเร็วกว่าหัวพันธุ์ที่ไม่ได้รับจิบเบอเรลลินจากภายนอกนอกจากนี้ยังพบว่าจิบเบอเรลลินและออกซินที่ได้จากภายนอกนอกจากช่วยเร่งการเกิด differentiation ของ floral priodia แต่พบว่าหัวที่ได้รับไคนีตินจากภายนอกจะมีการงอกลดลงและ shoot apex differentiation ลดลง Jadwida (2005) ศึกษาจิบเบอเรลลินต่อการออกดอกของแคลล่าลิลี่ให้จิบเบอเรลลินในระดับต่างๆ ในแคลล่าลิลี่พันธุ์ BM, PP, C และ FG พบว่า การให้จิบเบอเรลลินที่ระดับความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้ดอก มีคุณภาพดี พันธุ์ BM และ FG

4. การเคลื่อนย้ายอาหารสะสมในระหว่างการงอกและการพักตัวของเมล็ด (mobilization of storage compounds, effect on seed germination and dormancy) : จากการศึกษาของ Yomo (1960) และ Paleg (1960) พบว่าจิบเบอเรลลินช่วยกระตุ้นการทำงาน α-amylase และเอ็นไซม์ไฮดรอไลซิสตัวอื่น ๆ ทำให้เกิดการส่งเสริมการเกิดไฮดรอไลซิสของอาหารสะสม โดยพบว่าชั้นแอลิวโรนเป็นตัวสร้าง α-amylase ทำให้เกิดการเปลี่ยนแป้งไปเป็นน้ำตาล จิบเบอเรลลินอาจส่งเสริมการเจริญเติบโต โดยการไปเพิ่ม plasticity ของผนังเซลและตามด้วยการไฮดรอไลซิสแป้งไปเป็นน้ำตาล ซึ่งจะไปลดค่าชลศักย์ของเซล ทำให้น้ำเข้าในเซลมากขึ้นและเซลยืดยาวออก พบว่า α-amylase สร้างขึ้นมาในทางตอบสนองต่อจิบเบอเรลลิน ขั้นตอนมีดังนี้ เอมบริโอสร้างจิบเบอเรลลินแล้วส่งไปยังชั้นแอลิวโรน แล้วชั้นแอลิวโรนก็จะสร้าง α-amylase ขึ้นมาแล้วส่งเข้าไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาล ทิราภรณ์ และ โสระยา (2549) ศึกษาผลของจิบเบอเรลลิน ต่อการเจริญเติบโตของปทุมมา โดยให้ จิบเบอเรลลิน 4 ระดับความเข้มข้นจำนวน 2 ครั้ง ในระยะต้นเริ่มงอกและหลังจากงอก 2 สัปดาห์ พบว่าการให้จิบเบอเรลลิน ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตรและ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้พืชมีความสูงต้นเพิ่มขึ้น และจิบเบอเรลลินที่ระดับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้ความยาวก้านดอกเพิ่มมากขึ้นด้วย การวิเคราะห์หาความเข้มข้นปริมาณธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืช พบว่าจิบเบอเรลลินมีผลต่อปริมาณความเข้มข้นและปริมาณของไนโตรเจน และโพแทสเซียม แต่ไม่มีผลต่อฟอสฟอรัส การให้จิบเบอเรลลินที่ระดับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตรทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมในส่วนใต้ดินมากที่สุด

5. เมล็ดพืชบางชนิดไม่งอกแม้ว่าจะได้รับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการงอกก็ตาม เมล็ดเหล่านั้นอยู่ในระยะพักตัวซึ่งเกิดได้จากหลายสาเหตุ การแก้การพักตัวทำได้หลายวิธี ทั้งทางเคมีและกายภาพ เมล็ดพืชบางชนิดต้องผ่านความหนาวเย็นช่วงระยะเวลาหนึ่งเป็นการแก้การพักตัว การให้จิบเบอเรลลินแก่เมล็ดพืชเหล่านั้น สามารถทำให้เมล็ดงอกเป็นปกติโดยไม่ต้องผ่านความเย็น

นอกจากนั้นยังมีการใช้ จิบเบอเรลลินในการเปลี่ยนเพศดอก (พืชตระกูลแตง), กระตุ้นการเกิดดอกตัวผู้, เร่งและยับยั้งการเกิดดอกในพืชบางชนิด, กระตุ้นการงอกของเมล็ดและตา การเพิ่มขนาดของผล

3.1.2 ไซโตไคนิน (Cytokinins) (ปรารถนา, 2545)

ไซโตไคนินถูกค้นพบโดย Haberlandt ในปี ค.ศ. 1913 เป็นสารประกอบ substituted adenine ที่มีคุณสมบัติในการกระตุ้นการแบ่งเซล ซึ่งคำว่า Cytokinins ตั้งขึ้นตามคุณสมบัติในข้อนี้ ไซโตไคนินที่พบในพืช ได้แก่ Zeatin [6-(4-hydroxzy-3-methyl-trans-2-butenyl-amino)purine] เป็นไซโตไคนินชนิดแรกที่สกัดได้จากจากเอนโดสเปอร์มของเมล็ดข้าวโพด Zeatin riboside พบในข้าวโพดหวาน และน้ำมะพร้าว Isopentenyl adenine พบในในถั่วลันเตาบริเวณที่พบไซโตไคนินมากที่สุดคือบริเวณส่วนของพืชที่กำลังเจริญเติบโตและบริเวณที่มีการเจริญเติบอย่างต่อเนื่องรวมทั้งราก ใบอ่อน ผลและเมล็ดที่กำลังพัฒนา เชื่อกันว่าแหล่งสำคัญที่สร้างไซโตโคนินคือปลายราก แล้วส่งไปยังส่วนต่างๆ ทางท่อลำเลียง ได้มีการศึกษาสารสังเคราะห์อื่นๆ ที่คิดว่าน่าจะมีคุณสมบัติเป็นไซโตไคนิน โดยเฉพาะสารในกลุ่ม 6-substituted purines ทำให้พบสารไซโตไคนินที่สำคัญจำนวนมาก ปัจจุบันมีไม่ต่ำกว่า 100 ชนิด เช่น ไคนีติน (6-furfurylaminopurine), BA (6-benzylaminopurine) เป็นไซโทไคนินที่มีกิจกรรมเท่าไคนีติน, BPA [6--(benzylamino)-9-(2-tetrahydropyranyl)-9H- purine] ไซโตไคนินมีทั้งที่อยู่ในรูปอิสระและรูปที่เกาะจับกับสารอื่น ตัวอย่างของไซโตไคนินรูปอิสระ ได้แก่ zeatin และ isopentenyladenine

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไซโทไคนินในรูปที่เกาะกับสารอื่น เช่น ไซโตไคนินที่เกาะกับกลูโคส (glucoside conjugate) ซึ่งอาจเป็นรูปที่สะสมหรือใช้เคลื่อนย้ายของไซโตไคนินในบางกรณี ส่วนรูปที่จับกับอะลานีน (alanine conjugate) เป็นรูปที่ไม่สามารถเปลี่ยนกลับคืน จึงเป็นกลไกในการแก้พิษของไซโตไคนินภายในพืช การสลายตัวของไซโตไคนินเกิดโดย cytokinin oxidase ซึ่งจะปลดปล่อย side chain ที่มีคาร์บอน 5 ตัว และได้ adenine ออกมาจาก zeatin หรือได้ adenosine ออกมาจาก zeatin riboside

ผลของไซโตไคนินต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของพืช (ปรารถนา, 2545)

1. การพัฒนาของตาและยอด ไซโตไคนินส่งเสริมการแตกตาข้าง และแก้การข่มของตายอด (apical dominance) บางส่วน การศึกษาในพืชตัดแต่งยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไซโตไคนิน พบว่าทำให้ปริมาณ zeatin และสารที่เกี่ยวข้องเพิ่มขึ้นหลายสิบเท่าตัว และทำให้ต้นพืชนั้นมีการเจริญเติบโตของตาข้างมาก และไม่เกิดการข่มของตายอด การข่มของตายอดถูกควบคุมโดย สมดุลระหว่างระดับของไซโตไคนินและ ออกซินภายในพืช มีสองทฤษฎีที่อธิบายเกี่ยวกับบทบาทของไซโตไคนินกับการข่มของตายอด ทฤษฎีแรกเสนอว่า ไซโตไคนินอาจยับยั้ง IAA oxidase ในตาข้าง ทำให้มีออกซินในระดับที่ทำให้ตาข้างยืดยาวออก ทฤษฎีที่สองนั้น ไซโตไคนินอาจทำให้เกิดกลไกของการใช้สารอาหาร (sink mechanism) ที่ตาข้างและส่งเสริมให้เกิดการเคลื่อนย้ายของสารอาหาร วิตามิน แร่ธาตุ และสารควบคุมการเจริญเติบโตอื่นๆ (ซึ่งทั้งหมดนั้นอาจเป็นตัวที่จำกัดการเจริญเติบโต)

2. การแบ่งเซลและการสร้างอวัยวะ หน้าที่หลักของไซโตไคนินในพืชคือส่งเสริมการแบ่งเซล มีรายงานว่าการเจริญเติบโตของแคลลัสจากบริเวณใจของของลำต้น (pith) ยาสูบและตอบสนองไคนีทินหรือออกซินอย่างเดียว แต่ถ้าต้องการให้มีการเจริญเติบโตเกิดต่อเนื่องจะต้องให้ทั้งไคนีทินและออกซินในอาหาร เนื่องจากในระยะแรกออกซินหรือไซโตไคนินที่มีอยู่ภายในพืชอาจทำปฏิกิริยากับไซโตไคนินหรือออกซิน ที่ให้ในอาหารเลี้ยง แต่เมื่อเวลานานขึ้น ระดับฮอร์โมนภายในลดลง การเจริญเติบโตหยุด การจัดการให้มีอัตราส่วนที่เหมาะสมของออกซินและไซโตไคนิน ทำให้ได้แคลลัสที่มีทั้งรากและ/หรือต้น

3. การงอกของเมล็ด และการขยายขนาดของเซลและอวัยวะไคนีตินช่วยทำลายผลการยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดหอม ที่เกิดจากแสง ฟาร์เรดได้ โดยทั่วไปไซโตไคนินถูกจัดเป็นสารตัวกระตุ้นการแบ่งเซล และมีผลต่อการขยายขนาดของเซลส่งเสริมการขยายขนาดของเซลของใบเลี้ยงที่ตัดออกมา (excised cotyledon) ในพืชใบกว้างหลายชนิด เมื่อเด็ดใบเลี้ยงออกจากต้นทำให้เกิดการขาดแหล่งไซโตไคนินตามธรรมชาติ แต่เมื่อให้ไซโตไคนินจากภายนอก ไปส่งเสริมการขยายตัวของเซลของใบเลี้ยงนั้นได้ การขยายขนาดของเซลเกี่ยวข้องกับการดูดน้ำ ซึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกิดจากการลดค่าศักดิ์ออสโมซิส (osmotic potential) ของเซล ที่กระตุ้นโดยการเกิดการเปลี่ยนแปลงของไขมัน (lipid) ซึ่งเป็นอาหารสะสมในใบเลี้ยง ไปเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar เช่น glucose, fructose) K. ngamau (2001) ศึกษาการเพิ่มจำนวนของหัวใหม่ในแคลล่าลิลี่ โดยทำการทดลองให้จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนินในระดับต่างๆ พบว่าการใช้จิบเบอเรลลินร่วมกับไซโตไคนินทำให้การงอกในช่วงแรกและการเพิ่มจำนวนหัวใหม่มีความสม่ำเสมอ และยังเพิ่มขนาดของหัวใหม่ได้เป็นอย่างดี

4. การชะลอการเสื่อมตามอายุ และการส่งเสริมการเคลื่อนย้ายสารอาหาร เมื่อเด็ดใบที่โตเต็มที่ออกจากต้น ทำให้เกิดการสลายตัวของโปรตีนอย่างรวดเร็ว คลอโรพลาสต์สลายตัว ทำให้สูญเสียคลอโรฟิลล์ และเกิดการสูญเสียไนโตรเจนที่ไม่ได้เป็นองค์ประกอบของโปรตีน (nonprotein nitrogen) , ไขมัน, กรดนิวคลีอิค ผ่านทางรอยแตกของเยื่อหุ้มเซล ถ้าชักนำให้ใบนั้นสร้างรากขึ้นมา ก็จะทำให้การเสื่อมตามอายุนั้นเกิดช้าลง และพบว่าการให้ไซโตไคนินจากภายนอกทำให้ชะลอการเสื่อมตามอายุได้โดยไม่ต้องชักนำการเกิดราก ในสภาพมืดเกิดการเร่งการเสื่อมตามอายุอย่างมาก การให้ไซโตไคนินสามารถทดแทนผลของแสงต่อการชะลอการเสื่อมตามอายุได้ ซึ่งอาจเกิดจากการรักษาบูรณภาพของผนักเซลล์ เมื่อให้ไซโตไคนินแก่ใบหรือใบเลี้ยงของพืชที่ปลูกในที่มืด 2-3 ชม. ก่อนได้รับแสง พบว่า อีทิโอพลาสต์ (etioplast) จะถูกเปลี่ยนไปเป็นคลอโรพลาสต์ ทำให้มีการสร้างคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น ไซโตไคนินยังสามารถชะลอการเสื่อมตามอายุในดอกไม้ และผักสด นอกจากนั้นยังมีรายงานว่าไคนีทินสามารถส่งเสริมการเคลื่อนย้ายสารอินทรีย์ในใบพืชที่ถูกตัดออกมา ที่อยู่ในที่มืดได้ และพบว่าเมื่อพ่นไซโตไคนินให้ใบที่อยู่ใกล้เคียงจะเกิดการชราภาพ การให้ไซโตไคนินแก่ใบที่เริ่มเหลืองแล้วทำให้ใบกลับเขียวเพราะมีการสร้างคลอโรฟิลล์ขึ้นมาอีก (ปราถนา, 2545)

3.2 ธาตุอาหาร

ในกระบวนการเสริมสร้างการเจริญเติบโต วัฏจักรการดำรงชีวิต และกิจกรรมต่างๆ ของพืชมีความต้องการธาตุอาหารที่จำเป็นจำนวน 16 ธาตุ เพื่อเป็นองค์ประกอบ วัตถุดิบ และเป็นสารเร่งในกระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการหายใจ กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และการทำงานของเอนไซม์ เป็นต้น (มุกดา, 2544) ธาตุอาหารที่จำเป็นทุกธาตุมีความสำคัญและเท่าเทียมกัน แม้ว่าพืชต้องการธาตุอาหารบางชนิดในปริมาณน้อยแต่ก็ไม่สามารถขาดได้ (มุกดา, 2544) พืชต้องได้รับธาตุอาหารเหล่านี้ครบทุกชนิดในปริมาณที่เพียงพอจึงเจริญเติบโตได้ดี (สมบุญ, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.1 ไนโตรเจน (Nitrogen)

ไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชมาก ในพืชมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ รากพืชดูดไนโตรเจนจากดินในรูปของเกลือไนเตรท (No_3^-) และเกลือแอมโมเนียม (NH_4^+) (ชวนพิศ, 2544) โดยทั่วไปดินส่วนใหญ่ขาดธาตุไนโตรเจนมากกว่าธาตุอื่น (เนาวรัตน์, 2544) ไนโตรเจนในดินสูญเสียได้โดยง่าย ด้วยการถูกชะล้าง (leaching) ในรูปเกลือไนเตรท หรือเกิดการระเหย (volatilization) ในรูปแอมโมเนีย (สมบุญ, 2544) เนื่องจากพืชมีความต้องการธาตุไนโตรเจนเป็นปริมาณมาก และในดินมีปริมาณไม่เพียงพอ ดังนั้นธาตุไนโตรเจนจึงจัดเป็นธาตุหนึ่งที่จำเป็นต้องใส่ลงไปในดินในรูปปุ๋ยชนิดต่างๆ นอกจากนี้พืชยังได้รับไนโตรเจนจากแหล่งอื่นๆ เช่น จากการสลายตัวของอินทรียวัตถุ และการแปรสภาพของสารประกอบอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในดิน (มุกดา, 2544) ในพืชบางชนิดมีจุลินทรีย์ช่วยตรึงไนโตรเจนในอากาศ เปลี่ยนมาเป็นรูปเกลือไนเตรทที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ เช่น ในรากพืชตระกูลถั่วมีไรโซเบียมช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้พืชนำไปใช้ได้ (สมบุญ, 2544)

ปริมาณความต้องการธาตุไนโตรเจนของพืชขึ้นอยู่กับชนิดของพืช อายุของพืช และฤดูกาล (นพดล, 2538) ประมาณ 80-85 เปอร์เซ็นต์ ของไนโตรเจนทั้งหมดในพืชเป็นองค์ประกอบของโปรตีน ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก และอีก 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่ละลายได้ (soluble amino N) (โสระยา, 2544) ปริมาณไนโตรเจนในพืชแม้แตกต่างกันตามชนิดของพืช อวัยวะและระยะการเจริญเติบโต แต่โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 2-5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง และประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในคลอโรพลาสต์ (สมบุญ, 2544)

บทบาทของไนโตรเจนในพืช (ยงยุทธ, 2543)

1. เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโปรตีน ซึ่งโปรตีนเป็นส่วนประกอบสำคัญในเซลล์พืช นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน และเอนไซม์ชนิดต่างๆ ไนโตรเจนมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชเนื่องจากโปรตีนมีความจำเป็นต่อการแบ่งเซลล์ ช่วยในการขยายขนาด และเพิ่มจำนวนของเซลล์มากขึ้น ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น

2. เป็นองค์ประกอบของฮอร์โมนพืช ได้แก่ ออกซิน (auxin) และไซโตไคนิน (cytokinins)

3. เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน และการสังเคราะห์ดีเอ็นเอ ซึ่งเป็นศูนย์ข้อมูลทางพันธุกรรม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

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

3.2.2 ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ในดินมีธาตุฟอสฟอรัสไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช เนื่องจากเป็นธาตุที่ถูกตรึงหรือเปลี่ยนรูปได้ง่าย กลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยากทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสต่อพืชลดลง (มุกดา , 2544) พืชดูดฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ในรูปสารอนินทรีย์ พวกอนุมูลของไดไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน ($H_2PO^-_4$) และไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน (HPO_4^{-2}) ปริมาณไอออนทั้งสองชนิดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดเป็นเบสของดิน ดินที่มีค่า pH ต่ำกว่า 7 ฟอสฟอรัสมักอยู่ในรูป $H_2PO^-_4$ ถ้าดินค่า pH สูงฟอสฟอรัสมักอยู่ในรูป HPO_4^{-2} ฟอสเฟตไอออนในดินมักถูกยึด (adsorb) อยู่กับอนุภาคของดินเหนียว ทำให้พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ หรืออาจรวมตัวกับธาตุอื่นในดินในสภาพดินที่เป็นกรดเป็นเบสมากเกินไป ทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ไม่ได้ เช่น ในสภาพดินที่เป็นเบสมีไอออนประจุบวก ได้แก่ แคลเซียม และแมกนีเซียมมาก ทำให้ฟอสเฟตรวมตัวกับไอออนประจุบวกเหล่านี้ กลายเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำพืชนำไปใช้ได้น้อย ส่วนดินที่เป็นกรดมาก ธาตุอะลูมิเนียมและเหล็กในดินมีมากรวมตัวกับฟอสเฟตไอออน ทำให้เกิดตะกอนของอะลูมินัมฟอสเฟตและเหล็กฟอสเฟต ซึ่งทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ ฉะนั้นในสภาพดินที่เป็นกลางจึงช่วยทำให้ฟอสเฟตไอออนอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้มาก (สมบุญ, 2544)

พืชต้องการฟอสฟอรัส 0.3-0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง เพื่อให้การเจริญเติบโตทางใบ (vegetative stage) เป็นไปตามปกติ สำหรับระดับฟอสฟอรัสที่ถือว่าเป็นพิษ คือ สูงกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง (ยงยุทธ, 2543) พบฟอสฟอรัสมากในเมล็ด ผล และเนื้อเยื่อเจริญ (meristematic tissue) (นพดล, 2538)

บทบาท ของฟอสฟอรัสในพืช (ยงยุทธ, 2543)

1. เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิกซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องการสังเคราะห์โปรตีน และเป็นองค์ประกอบของดีเอ็นเอ ซึ่งเป็นศูนย์กลางข้อมูลทางพันธุกรรม

2. เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของฟอสโฟลิปิดในเยื่อหุ้มเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. เป็นองค์ประกอบของ ATP ซึ่งเป็นสารประกอบพลังงานสูงที่มีบทบาทสำคัญในระบบชีวเคมีของเซลล์

4. เป็นองค์ประกอบของโคเอนไซม์ (coenzyme) บางชนิด ได้แก่ NAD^+ (nicotinamide adenine dinucleotide), $NADP^+$ (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate) , FAD (flavin adenine dinucleotide) และโคเอนไซม์เอ เป็นต้น

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

6. กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการรีดิวซ์ไนเตรท และช่วยลดความเป็นกรดของน้ำในเซลล์ (cell sap) ด้วย (นพดล, 2538)

3.2.3 โพแทสเซียม (Potassium)

โพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบของแร่และหิน ซึ่งเป็นวัตถุต้นกำเนิดของดินหลายชนิด ในดินโดยทั่วไปจึงพบว่า มีธาตุโพแทสเซียมกระจายอยู่ทั่วไปทั้งดินชั้นบน ดินชั้นล่าง พบในปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน โพแทสเซียมเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีพของพืชและเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ในพืช เช่นเดียวกับธาตุฟอสฟอรัสและธาตุไนโตรเจน (มุกดา, 2544)

พืชดูดโพแทสเซียมจากดินในรูปโมโนวาเลนต์ โพแทสเซียมไอออน (K^+) โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่ละลายน้ำได้ดี ถูกชะล้างในดินได้ง่าย ในดินปกติมีธาตุโพแทสเซียมอยู่มากแต่ส่วนใหญ่มักรวมตัวกับธาตุอื่น หรือถูกยึดในชั้นคอลลอยด์ของดินเหนียว ทำให้เกิดการตรึงโพแทสเซียม (K^+ - fixation) ทำให้โพแทสเซียมอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ไม่ได้ การสลายตัวของหินเป็นดินมีการปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมา หรือปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ในดินและรากพืชบางชนิด มีผลทำให้ โพแทสเซียมที่ถูกตรึงในชั้นของคอลลอยด์ในดินถูกปลดปล่อยออกมา และอยู่ในรูปโพแทสเซียมซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้ (สมบุญ, 2544)

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่พบมากในบริเวณส่วนอ่อนของพืช เช่น ในเนื้อเยื่อเจริญบริเวณยอดของต้น ปลายราก ตาข้าง ใบอ่อน ในเนื้อใบ (mesophyII) ในใจกลางของลำต้น (pith) และในท่อลำเลียงอาหาร (phloem) (นพดล,2538)

แม้ว่าพืชแต่ละชนิดมีความต้องการโพแทสเซียม เพื่อการเจริญเติบโตตามปกติในปริมาณที่แตกต่างกันก็ตาม โดยทั่วไปแล้วความต้องการของพืชอยู่ในช่วง 2-5 เปอร์เซ็นต์ โดย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำหนักแห้งของใบ ลำต้น ผล และหัว ทั้งนี้ยกเว้นพืชชอบโซเดียม (natrophilic species) ซึ่งความต้องการโพแทสเซียมมีน้อยกว่าพืชทั่วไป (ยงยุทธ, 2543)

บทบาทของโพแทสเซียม (ยงยุทธ, 2543)

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

2. ในการสังเคราะห์และกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ RuBP carboxylase ในกระบวนการสังเคราะห์แสง

3. การควบคุมศักย์ออสโมซิส เนื่องจากพืชมีโพแทสเซียมไอออนมากกว่าไอออนอื่นๆ ธาตุนี้จึงมีค่อนข้างมากในค่าศักย์ออสโมซิสของเซลล์ด้วย ความสำคัญในแง่นี้ ทำให้โพแทสเซียมมีบทบาทต่อการขยายขนาดของเซลล์ การปิดและเปิดปากใบ

4. การเคลื่อนย้ายทางท่อลำเลียงอาหาร โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญช่วยให้ซูโครสเข้าสู่ท่อลำเลียงอาหาร และมีการเคลื่อนย้ายสารละลายในท่อลำเลียงอาหารได้มากขึ้น หน้าที่ของโพแทสเซียมในเรื่องนี้เกี่ยวข้องกับการรักษาระดับ pH ในหลอดตะแกรง (sieve palte) ให้สูงและคงที่ เพื่อให้กลูโครสย้ายเข้าสู่หลอดตะแกรงได้สะดวก และการเพิ่มอัตราการลำเลียงออสโมซิสในหลอดตะแกรงบริเวณต้นทางของการเคลื่อนย้ายให้สูง ซึ่งช่วยเพิ่มอัตราการลำเลียงสารจากการสังเคราะห์แสง (photosynthates) จากแหล่งจ่าย (source) มายังบริเวณที่สะสม (sink)

5. สมดุลระหว่างประจุบวก โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในการสร้างสมดุลด้านประจุไฟฟ้ากันแนวไอออนที่เคลื่อนย้ายไม่ได้ (immobile) ในไซโทพลาสซึมและคอลโรพลาสต์ตลอดจนประจุลบที่เคลื่อนย้ายได้ ในแวคิวโอล ท่อลำเลียงน้ำ และท่อลำเลียงอาหาร เมื่อเซลล์มีกรดอินทรีย์สะสมอยู่ภายใน ย่อมเป็นปัจจัยส่งเสริมให้เซลล์ดูด K^+ เข้ามาในรากหรือเซลล์คุมโดยไม่ต้องมีประจุลบติดมาด้วย การเคลื่อนย้ายไนเตรทระยะไกลทางท่อลำเลียงอาหารเข้าสู่แวคคิวโอลมี K^+ เคียงคู่มาเสมอ เมื่อไนเตรทผ่านกระบวนการรีดักชันไปแล้ว เซลล์มีการสังเคราะห์กรดอินทรีย์ เช่น กรดมาลิก (malic acid) เพื่อให้มีสมดุลด้านประจุกับโพแทสเซียมและรักษาระดับ pH ที่เหมาะสมไว้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.4 แคลเซียม (Calcium) (ยงยุทธ, 2543)

ดินเป็นแหล่งของแคลเซียมที่รากพืชดูดไปใช้และพืชจะได้รับธาตุนี้อย่างเพียงพอ เมื่อรูปซึ่งเป็นประโยชน์มีอยู่ในระดับที่เหมาะสม สำหรับหน้าที่ของแคลเซียมในพืชมีอยู่

หลายด้านทั้งนี้เนื่องจากเป็นธาตุที่มีสมบัติเฉพาะตัวบางประการ แคลเซียมในดินมาจากการสลายตัวของหินและแร่สำหรับที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลักได้แก่ เฟลด์สปาร์ อะพาไทต์ แคลไซต์ และยิปซัม ดินใดมีแร่เหล่านี้มากก็สามารถสนองแคลเซียมให้แก่พืชได้อย่างเพียงพอ ดินด่างมีแคลเซียมมากกว่าดินกรด แคลเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ในดิน คือ Ca^{2+} ในสารละลายดินกับแคลเซียมแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable calcium) ดินที่มักขาดแคลเซียมได้แก่ดินกรดและดินซึ่งผ่านการชะล้างมาช้านาน การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตราสูงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้รากพืชดูดแคลเซียมได้น้อยลง และอาจขาดธาตุนี้

บทบาทของแคลเซียม (ยงยุทธ, 2543)

1. การยึดเหนี่ยว (binding) และการแยกเก็บแคลเซียมเป็นสัดส่วน (compartmentation)

การกระจายของแคลเซียมในเซลล์พืชแตกต่างจากธาตุอาหารมหัพภาคอื่นๆ ตรงที่ธาตุนี้มีอยู่มากในผนังเซลล์ (อะโพพลาสต์) การกระจายของแคลเซียมเป็นไปในลักษณะนี้ก็เนื่องจากในผนังเซลล์มีบริเวณที่เหมาะสมแก่การเกาะยึดแคลเซียมมาก จึงจำกัดการเคลื่อนย้าย Ca^{2+} ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปในเซลล์ พบธาตุนี้มากในมิดเดิลลาเมลลา (middle lamella) ซึ่งเป็นชั้นบางๆ ของผนังเซลล์ปฐมภูมิอยู่กึ่งกลางระหว่างผนังเซลล์ของเซลล์ที่ติดกัน มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างจากผนังซึ่งเป็นเซลลูโลสมิดเดิลลาเมลลามีสารเพกทิก(pectic substance)อยู่ส่วนหนึ่งสารในกลุ่มนี้คือกรดเพกทิก (pectic acid) กับอนุพันธ์ของกรดนี้ 2 อย่างคือ เพกทิน (pectin) และโพรโทเพกทิน (protopectin) สารที่อยู่ในมิดเดิลลาเมลลามากที่สุด คือ เกลือเพกเทต ซึ่งได้แก่ เกลือแคลเซียมหรือแมกนีเซียมของกรดเพกทิก ส่วนแพกทินและโพรโทเพกทินก็มีบ้างแต่ไม่มากนัก เพกทินเกิดจากปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันของหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group, -COOH) ด้วยหมู่เมทิล (methyl group) สารนี้เป็นคอลลอยด์และมีสภาพเจล ส่วนโพรโทเพกทินมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าเพกทินและกรดเพกทิก

2. แคลเซียมกับเสถียรภาพของผนังเซลล์ แคลเซียมแพกเทตในมิดเดิลลาเมลลามีบทบาทสำคัญที่ทำให้ผนังเซลล์ เนื้อเยื่อ และต้นพืชแข็งแรง โดยปกติพืชจะเจริญได้ดีก็ต่อเมื่อผนังเซลล์มีการแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง ขณะเดียวกันก็มีแคลเซียมปริมาณมากพอในเนื้อเยื่อพืชด้วย บทบาทที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง ได้แก่ ธาตุนี้ช่วยป้องกันการย่อยสลายของมิลเดิลลาเมลลา กล่าวคือ เอนไซม์พอลิกาแลคทูรอเนส (polygalacturonase) ซึ่งเร่งปฏิกิริยาการสลายสารเพกเทตนั้น กิจกรรมของเอนไซม์จะถูกยับยั้งเมื่อมีแคลเซียมความเข้มข้นสูง ความเปลี่ยนแปลงของพืชซึ่งขาดแคลเซียมคือกิจกรรมของเอนไซม์พอลิกาแลกทูรอเนสสูงขึ้น มีการสลายของผนังเซลล์และเนื้อเยื่อให้ชำรุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จนยุบตัวลง ในทางตรงกันข้ามพืชที่ได้รับแคลเซียมอัตราสูงและอยู่บริเวณที่มีแสงความเข้มสูงด้วย ผนังเซลล์จะมีแคลเซียมเพกเทตใน สัดส่วนที่มากกว่าสารเพกทิกชนิดอื่น เนื้อเยื่อพืชจึงต้านทานต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ดังกล่าว ปริมาณแคลเซียมเพกเทตในผนังเซลล์ยังเป็นข้อมูลที่บ่งชี้ถึงความต้านทานของพืชต่อการทำลายของเชื้อราหรือยืดเวลาการสุกของผลก็ได้

3. การยืดตัวของเซลล์ (cell extension) และกระบวนการหลั่งสาร (secretory process)แคลเซียมภายนอกรากทำหน้าที่เกี่ยวกับการยืดตัวของราก คือ คอยถ่วงดุลและป้องกันมิให้ไอออนอื่นซึ่งมีอยู่ในความเข้มข้นสูงในสารละลายมาก่อนผลเสียหายให้เยื่อหุ้มเซลล์ ดังนั้นรากที่มิได้รับแคลเซียมจากสารละลายธาตุอาหารจึงหยุดการยืดตัวภายใน 2-3 ชั่วโมงเท่านั้น โดยปกติธาตุนี้มีบทบาทในการแบ่งเซลล์ด้วย แต่การที่รากหยุดการยืดตัวตามกรณีข้างต้นเนื่องมาจากเซลล์ไม่ขยายขนาด

4. การสร้างเสถียรภาพของเยื่อ (membrane stabilization) หน้าที่ของแคลเซียมต่อเสถียรภาพของเยื่อ (membrane stability) และบูรณภาพของเซลล์ (cell integrity) เป็นหน้าที่พื้นฐานซึ่งสำคัญมาก เมื่อใดเนื้อเยื่อพืชขาดธาตุนี้รุนแรงจนโครงสร้างของเยื่อเสื่อมสลายจะมีสารต่างๆ ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กรั่วไหลออกมาจากเซลล์

5. แคลเซียมกับการงอกของเมล็ดเอนไซม์ของพืชที่ต้องการแคลเซียมเป็นโคแฟกเตอร์มีหลายชนิด โดยแคลเซียมความเข้มข้นต่ำสามารถปลุกฤทธิ์เอนไซม์โปรตีนคิเนส (protein kinase) และแอลฟา-อะไมเลส (α - amtlase)

ผลของระดับธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไม้ดอกบางชนิด

Bose and Yadav (1989) ศึกษาระดับความเข้มข้นไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมในแกลดิโอลัส ธาตุอาหารต่างๆมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของแกลดิโอลัสหากพืชขาดธาตุไนโตรเจนจะแสดงอาการเหลืองซีด จำนวนดอกย่อยต่อช่อและจำนวนช่อดอกต่อหัวลดลง การให้ไนโตรเจนในปริมาณที่สูงเกินไปในขณะที่ต้นขาดโพแทสเซียมและแคลเซียมจะทำให้คุณภาพดอกไม่ดี เนื่องจากขาดสมดุลของธาตุอาหาร จากการทดลองปลูกหัวขนาดเล็กใน sand culture และให้ไนโตรเจน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร นาน 2 สัปดาห์ พบว่าต้นเจริญอย่างรวดเร็ว การออกดอกดีและจำนวนดอกย่อยต่อช่อสูง การเกิดโรค Fusarium corn rot สูงขึ้นเมื่อระดับไนโตรเจนเพิ่มขึ้นด้วย แกลดิโอลัสต้องการฟอสฟอรัสปริมาณ 1/10 ของไนโตรเจน ในระยะแรกของการเจริญเติบโตพืชมีการดูดฟอสฟอรัสและลำเลียงไปยังส่วนต่างๆ ปริมาณฟอสฟอรัสสูงขึ้นในอวัยวะต่างๆ หลังจากปลูกไปได้ 16 สัปดาห์ จากนั้นจะลดลง ถ้าในดินมีเหล็กและอะลูมิเนียมสูงพบว่าการดูดฟอสฟอรัสไม่ดี แกลดิโอลัสต้องการโพแทสเซียมประมาณ 3-4 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้งของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใบ และแคลเซียมถ้าหากในดินมีแคลเซียมไม่เพียงพอจะทำให้คุณภาพดอกไม่ดี อาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต่อคุณภาพดอกและการผลิตหัวพันธุ์ในแกลดิโอลัส พบว่าการให้ไนโตรเจนร่วมกับโพแทสเซียมส่งผลทำให้จำนวนช่อดอก และจำนวนหัวใหม่เพิ่มขึ้นมากที่สุด แต่การให้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมไม่มีผลแตกต่างกันในเรื่องของจำนวนช่อดอกและการเพิ่มของหัวพันธุ์ (Butt, 2005)

Choi (2005) ศึกษาอิทธิพลของแคลเซียมในสารละลายธาตุอาหารในการเจริญเติบโต และการดูดใช้ธาตุอาหารในลิลลี่ โดยให้แคลเซียมในระดับต่างๆ คือ 0 0.3 4.5 และ 6 มิลลิกรัมโมล ในสารละลายธาตุอาหาร ไนโตรเจน 176.2 กรัม ฟอสฟอรัส 187.0 กรัม และโพแทสเซียม 200.9 กรัม พบว่าการให้แคลเซียมที่ระดับความเข้มข้น 3.0 4.5 และ 6 มิลลิกรัมโมล ทำให้ความสูงและคุณภาพดอกในลิลี่เพิ่มมากขึ้น 2.8 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Lee *et al.* (2005) ศึกษาอิทธิพลปริมาณสารละลายธาตุอาหารที่มีต่อการออกดอกและคุณภาพดอกในไอริส ทิวลิป และลิลลี่ ในระยะออกดอก พบว่า การให้ไนโตรเจนร่วมกับโพแทสเซียมในระดับความเข้มข้น 10.7 ต่อ 3.9 ไมโครกรัมต่อลิตร ทำให้การออกดอกและการยืดอายุปักแจกันในดอกไอริส การให้ปุ๋ย ไนโตรเจนร่วมกับโพแทสเซียมในระดับความเข้มเข้น 14.3 ต่อ3.9 ไมโครกรัมต่อลิตร ทำให้ทิวลิปมีการออกดอกมากขึ้น ในลิลี่ควรใช้ ไนโตรเจนร่วมกับ โพแทสเซียม 17.9 ต่อ 3.9 ไมโครกรัมต่อลิตร

การศึกษาอิทธิพลของไนโตรเจนและโพแทสเซียมในการเจริญเติบโตและการพัฒนาของปทุมมา พบว่า เมื่อปลูกปทุมมาแบบไร้ดินโดยใช้วัสดุปลูก ทรายและถ่านแกลบอัตรา1ต่อ 1 ให้พืชได้รับ ระดับไนโตรเจน 3 ระดับคือ 50, 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ โพแทสเซียม 3 ระดับคือ 50, 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตรพบว่าไนโตรเจนที่ระดับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตรช่วยให้ความสูง จำนวนดอก ขนาดหัวใหม่ และคุณภาพดอกเพิ่มขึ้น ระดับของไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่เหมาะสมกับการปลูกปทุมมาอยู่ที่ระดับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (Ruamrungsri,2005) โสระยา และ คณะ (2547) ศึกษาผลของฟอสฟอรัสร่วมกับธาตุอาหารรองต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพดอกของปทุมมา จำนวน 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 ฟอสฟอรัส 3 ระดับ คือ 50 , 70 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปัจจัยที่ 2 ธาตุอาหารรอง 2 ระดับ คือ อัตราเจือจาง 1:200 และ 1:100 พบว่า พืชมีความสูงต้น ความสูงทรงพุ่ม จำนวนใบต่อต้น จำนวนหน่อต่อกอและความยาวเฉลี่ยก้านช่อดอก ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อพืชได้รับธาตุอาหารรองที่มีความเข้มข้นอัตรา 1:100 ร่วมกับฟอสฟอรัสทุกระดับ พบว่าให้ช่อดอกที่มีขนาดใหญ่และมีจำนวนกลีบประดับทั้งส่วนบนและส่วนล่าง มากกว่าการที่พืชได้รับธาตุอาหารรองที่มีความเข้มข้นอัตรา 1:200 นอกจากนี้ พืชยังมีน้ำหนักรวมของหัวใหม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วันเพ็ญ และ โสระยา (2546) ศึกษาผลของความเข้มข้นของไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของดองดึง โดยปลูกดองดึงในสารละลายของ Hoagland and Arnon ความเข้มข้นของไนโตรเจน 4 ระดับ คือ 0, 210, (กรรมวิธีควบคุม), 420 และ 630 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในการปลูกดองดึง คือ 210 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ดองดึงมีความสูงและน้ำหนักหัวมากกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในกรรมวิธีนี้จำนวนดอก จำนวนฝัก มีแนวโน้มสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ดองดึงที่ได้รับไนโตรเจน 210 มิลลิกรัมต่อลิตร เข้าสู่ระยะพักตัวช้ากว่ากรรมวิธีที่ได้รับไนโตรเจน 420 และ 630 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้พืชยังสะสมปริมาณไนโตรเจนรวมในใบราก และหัวเฉลี่ย 38.66 มิลลิกรัม สืบศักดิ์ และ โสระยา (2547) ศึกษาผลของไนโตรเจน และโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตของ *Ornithogalum thyrsoides Jacq.* โดยใช้ไนโตรเจน 50, 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และโพแทสเซียม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ผลดีที่สุด ในด้านความสูง จำนวนใบ การแตกกอและค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนต์ที่วัดได้จากใบ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับการใช้ไนโตรเจนความเข้มข้นที่สูงกว่า

การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารภายในพืช

โดยทั่วไปเนื้อเยื่อของพืชสดมีน้ำ 80-90 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อ เช่น ในเนื้อเยื่อของพืชยืนต้นและเมล็ดมีน้ำเป็นองค์ประกอบเพียงเล็กน้อย แต่ในผักสดมีน้ำมากถึง 90 เปอร์เซ็นต์ (มุกดา,2544) หากนำเนื้อเยื่อพืชสดมาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง ได้น้ำหนักแห้ง 10-20 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักสดเท่านั้น (ยงยุทธ, 2543) เมื่อวิเคราะห์ซากพืชแห้งทางเคมี พบว่าประกอบด้วย 3 ธาตุ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ประมาณ 96 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้งของพืช และมีเพียง 4 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้นที่ประกอบด้วยธาตุอื่นๆ ที่ได้รับจากดิน ซึ่งเป็นธาตุที่กำหนดการเจริญเติบโตของพืช ส่วนธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อยมักสะสมในเนื้อเยื่อของพืชในความเข้มข้นที่ต่ำกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของพืชแห้ง ได้แก่ ธาตุเหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน โมลิบดีนัม และคลอรีน (ตารางที่ 1) (มุกดา,2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในเนื้อเยื่อพืช

ธาตุอาหาร	ความเข้มข้นในเนื้อเยื่อแห้ง	
	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	เปอร์เซ็นต์
ธาตุอาหารพืชกลุ่มที่พืชต้องการในปริมาณมาก (มหธาตุ)		
ไฮโดรเจน	60,000	6.0
คาร์บอน	450,000	45.0
ออกซิเจน	450,000	45.0
ไนโตรเจน	15,000	1.5
ฟอสฟอรัส	10,000	1.0
โพแทสเซียม	5,000	0.5
แคลเซียม	2,000	0.2
แมกนีเซียม	2,000	0.2
ซัลเฟอร์	1,000	0.1
ธาตุอาหารพืชกลุ่มที่พืชต้องการในปริมาณน้อย (จุลธาตุ)		
คลอรีน	100	0.01
เหล็ก	100	0.01
โบรอน	20	0.002
แมงกานีส	50	0.005
สังกะสี	20	0.002
ทองแดง	6	0.0006
โมลิบดีนัม	0.1	0.00001

ที่มา : มุกดา (2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณธาตุอาหารในเนื้อเยื่อมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง Dole and wilkins (1999) รายงานว่า ฟรีเซียที่มีการเจริญเติบโตดีควรมีปริมาณไนโตรเจนสะสมอยู่ในใบ 2.7-5.6 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.4-1.2 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม 3.1-5.9 เปอร์เซ็นต์

Harbaugh (1987) พบว่าปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของ caladium × hortulanum Birdsey ในใบสัมพันธ์กับน้ำหนักของใบและหัว จากการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารในใบช่วงที่พืชมีน้ำหนักใบและหัวที่เหมาะสม พบว่ามีปริมาณไนโตรเจน 3.6-4.9 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.52-0.55 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 3.2 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าในระยะการสร้างหัวพันธุ์ พืชควรมีไนโตรเจนสะสมในเนื้อเยื่อใบ 3.1-4.1 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสมี 0.36-6.8 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียมมี 2.3-4.1 เปอร์เซ็นต์ จึงจะแสดงว่าพืชได้รับธาตุอาหารเพียงพอ อาการขาดธาตุอาหารจะแสดงออกเมื่อ ระดับธาตุอาหารในใบมีไนโตรเจนน้อยกว่า 2.8 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสน้อยกว่า 0.18 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียมน้อยกว่า 0.14 เปอร์เซ็นต์

Bach (1992) ศึกษาธาตุอาหารในไฮยาซิน (*Hyyacinythus orientalis* L.) พบว่าในช่วงเริ่มงอกความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินสูงขึ้นในขณะที่ในหัวลดลง และในช่วงที่พืชมีการสร้างหัวความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินลดลง

Hagiladi *et al.* (1997) ได้วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และโซเดียม ในส่วนหัวและตุ้มรากของปทุมมาพันธุ์ Chaiangmai Pink ระยะพักตัว พบว่าหัวและตุ้มรากมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมไม่แตกต่างกันทั้งในหัวพันธุ์และตุ้มราก ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ของนาซิสซัสพันธุ์ Garden Giant พบว่าเมื่อเริ่มปลูกปริมาณไนโตรเจนในส่วนของ scales ของหัวเริ่มต้น มีปริมาณสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนอื่น ต่อมาเมื่อรากงอกออกมาปริมาณไนโตรเจนในรากมีเพิ่มขึ้นในขณะที่ไนโตรเจนในหัวเริ่มลดลง เมื่อพ้นฤดูหนาวต้นมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ปริมาณไนโตรเจนในต้นเหนือดินเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ และสูงสุดเมื่อหลังจากออกดอกจากนั้นจึงมีปริมาณลดลง ต่อมาเมื่อมีการสร้างหัวใหม่พบว่าปริมาณไนโตรเจนไปสะสมที่หัวใหม่มากขึ้นเรื่อยๆ จนกระมั่งเข้าสู่ระยะพักตัว (Ruamrungsri *et al*,1997)

Gramrod and Soggins (2006) ศึกษาความเข้มข้นของธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ *Strobianthes dyerianus* พบว่าที่ระดับความเข้มข้นไนโตรเจน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้น ใบ และรากมีขนาดใหญ่ เมื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืชพบว่าส่วนประกอบของความเข้มข้นของธาตุอาหารเพิ่มมากขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของธาตุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม แต่ระดับของแคลเซียม และแมกนีเซียมในเนื้อเยื่อพืชลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved