บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

คะน้า (Kale) (ยุพยงษ์, 2546)

เป็นผักที่ใช้ใบรับประทาน หรือผักกินใบ มีชื่อสามัญว่า Kailaan , Chinese Kale และชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica Alboglabra Bailey* ในวงศ์ Brassicaceae

คะน้าจัดว่าเป็นพืชผักที่มีคุณค่าทางอาหารสูง ประกอบด้วยแร่ธาตุและวิตามินที่มีประโยชน์ หลายชนิด จากข้อมูลของกองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2530) ได้รายงานองค์ประกอบต่าง ๆ ของผักคะน้า เมื่อเทียบจากส่วนที่กินได้ของต้นคะน้า 100 กรัม ประกอบด้วย พลังงาน 24.0 กิโลแคลลอรี่ โปรตีน 2.7 กรัม ไขมัน 0.5 กรัม คาร์โบไฮเดรต 2.2 กรัม แคลเซียม 245.0 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 80.0 มิลลิกรัม เหล็ก 1.2 มิลลิกรัม วิตามิน บี 1 0.05 มิลลิกรัม วิตามิน บี 2 0.08 มิลลิกรัม ไนอาซิน 1.0 มิลลิกรัม วิตามินซี 141.0 มิลลิกรัม เบตาแคโรทีน 186.9 ไมโครกรัมเทียบหน่วยเรตินัล ใยอาหาร 3.2 กรัม

โดยทั่วไปพันธุ์คะน้าที่ปลูกอยู่ในประเทศไทย สามารถจำแนกได้เป็น 3 พันธุ์ คือ

1. คะน้าใบ มีลักษณะใบมนกว้าง ผิวใบเป็นคลื่น ใบสีเขียวอ่อน ต้นอวบหนา ข้อถี่

2.คะน้ายอด ลำต้นสูงกว่าคะน้าใบ ใบเรียบ ปลายใบแหลม ชี้ตั้งขึ้น ก้านใบบาง ข้อยาว น้ำหนักส่วนของต้นและก้านมากกว่าใบ นิยมนำส่วนลำต้นมาใช้ประกอบอาหาร

3. คะน้าดอก คือ คะน้าที่นำส่วนของช่อดอกมาใช้ในการบริโภคร่วมกับส่วนอื่น ๆ ของต้น เช่น คะน้าฮ่องกง

ธรรมชาติของคะน้าโดยทั่วไปเป็นผักที่ปลูกง่าย เหมาะกับสภาพดินดีและมีแสงแดดตลอดทั้งวัน มีการเจริญเติบโตเร็ว สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี ซึ่งคะน้ามีลักษณะเฉพาะดังนี้

1.ลำต้น คะน้ามีลำต้นค่อนข้างแข็งแรง ระหว่างลำต้นและรากของคะน้า มีระยะห่างกันประมาณ 4-5นิ้ว ซึ่งเป็นลำต้นที่แข็ง เมื่อมีอายุแก่ ลำต้นมีสีเขียวนวล

2.ใบ ลักษณะใบของคะน้าจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพันธุ์ เช่น คะน้าใบกลม คะน้าใบแหลม หรือคะน้าพันธุ์ก้านลักษณะของใบคะน้ามีก้านที่ยาว ซึ่งเป็นส่วนที่ติดกับลำต้น มีก้านสีเขียวนวลใบมีลักษณะรี แล้วแต่ชนิดพันธุ์คล้ายกับใบผักกาด แต่มีความหนา และมีสีเขียวหม่น หรือสี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เขียวนวลคล้ายแป้งทา ในลำต้นของคะน้าต้นหนึ่งๆ จะมีก้านใบ และใบที่ติดกับลำต้น เรียงสลับกันขึ้นไปสู่ยอดอ่อน ประมาณ 5-6 ใบ

3.ยอด คะน้ามียอดอ่อนที่ขึ้นต่อจากก้านใบสุดท้าย และขนาดใบเล็กลงไปเรื่อยๆ ยอดของคะน้าเป็นส่วนที่ใช้มาปรุงอาหาร ซึ่งเป็นส่วนที่ติดอยู่กับปลายลำต้น และประกอบไปด้วยใบอ่อนขนาดเล็ก 2-3 ใบ ยอดมีลักษณะบัวตูมเล็กๆ

4.ราก คะน้ามีรากเป็นลักษณะรากฝอยสีน้ำตาลอ่อนออกขาว ทำหน้าที่ดูดซับน้ำและแร่ธาตุไปเลี้ยงส่วนลำต้น ดอก และใบ ตลอดระยะเวลาที่เจริญเติบโต

โรคและศัตรูที่สำคัญของคะน้า

โรคและศัตรูที่สำคัญของคะน้า ได้แก่

1. โรคใบจุด มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Alternaria* sp. อาการของโรคนี้ คือ เกิดแผลวงกลมเป็นจุดช้ำน้ำ จุดเล็กๆ ต่อมาใบคะน้าจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ฉะนั้นควรเด็ดใบคะน้าทิ้งไป

2. โรคเน่าคอดิน มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Pythiup* sp. หรือ *Rhizoconia* sp. อาการของโรคคือโคนต้นมีจุดช้ำน้ำ จุดเล็กๆเกิดขึ้น เมื่อแผลแห้งลำต้นก็จะยุบตัว คอกกิ่วลง และต้นก็พับหักลง

3. หนอนกระทู้หอม (Beet Army Worm) เป็นแมลงศัตรูสำคัญของพืชผักหลายชนิด เช่น กะหล่ำปลี กะหล่ำดอกหอม หน่อไม้ฝรั่ง ถั่วฝักยาว ถัวลันเตา พริก กระเจี๊ยบขาว มันเทศ แตงกวา รวมไปถึงคะน้า

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (ไฮโดรโพนิกส์)

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเป็นการปลูกพืชเลียนแบบการปลูกพืชบนดิน โดยใช้วัสดุปลูกหรือไม่ต้องมีวัสดุปลูกก็ได้ เพื่อให้พืชได้รับสารอาหารอย่างเพียงพอจากสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งจะทำการควบคุมสภาพแวดล้อมเพื่อให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช (ดิเรก, 2547)

ระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินสามารถจำแนก ได้ 2 ระบบ คือ การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร (Water culture) เช่น NFT (Nutrient Film Technique), DRF (Dynamics Root Floating System), DFT (Deep Flow Technique), Ebb & Flow System หรือ Flood and Drain, Aeroponics เป็นต้น และ การปลูกพืชในวัสดุปลูกที่ไม่ใช่ดิน (Substrate culture)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร (Water culture)

1. Nutrient Film Technique (NFT)

เป็นวิธีการปลูกพืชโดยให้สารละลายอาหารไหลผ่านระบบรากซึ่งอยู่ในรางแคบเป็นฟิล์มบางๆ โดยมีการหมุนเวียนของสารละลายธาตุอาหารกลับมาใช้อีก ซึ่งในระบบจะไม่มีการใช้วัสดุอื่น ระบบรากซึ่งเจริญเติบโตอยู่ในรางปลูกจะแผ่สานกันเป็นแผ่นหนาเรียกว่า root mat ซึ่งบางส่วนจะสัมผัสอยู่กับสารละลายธาตุอาหารและส่วนบนสัมผัสกับอากาศโดยตรง รากพืชบริเวณที่อยู่เหนือระดับสารละลายขึ้นมาจะได้รับธาตุอาหารด้วยแรง capillary ผ่าน root mat (Cooper, 1979)

องค์ประกอบของระบบ

1. รางปลูก (Gullies) ใช้สำหรับปลูกพืชและยึดส่วนของพืชไว้ ตัวรางทำด้วย โพลีธีน, พีวีซี, ไฟเบอร์กลาส, โลหะ หรือ คอนกรีต เป็นต้น วัสดุที่ใช้ทำรางปลูกบางชนิดอาจเป็นพิษกับพืชทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต จึงไม่เหมาะกับการนำมาทำรางปลูก การใช้โลหะทำรางปลูกทำให้เกิดสนิมขึ้นซึ่งจะทำให้สารละลายธาตุอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบไปซึ่งอาจเป็นพิษกับพืชได้ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการอุดตันในท่อต่างๆ

ขนาดของรางปลูกควรมีความกว้างประมาณ 10-15 เซ็นติเมตร หากปลูกพืชแบบแถวเดี่ยว และ กว้างประมาณ 25-30 เซ็นติเมตร หากต้องการปลูกแบบแถวคู่ ส่วนความยาวของรางอยู่ระหว่าง 20-30 เมตร โดยทั่วไปการติดตั้งรางปลูกจะให้มีความลาดชันประมาณ 1 : 150 ซึ่งจะทำให้การไหลเวียนสารละลายเป็นไปโดยสะดวก

2. ท่อรับสารละลายธาตุอาหารจากรางปลูกสู่ถังรับสารละลาย

3. ถังรับสารที่ใช้แล้ว

4. ปั๊มสำหรับดึงสารละลายขึ้นสู่ถังเก็บ หรือรางปลูก

5. ท่อส่งสารละลาย ซึ่งจะมีสารละลายไหลผ่านไปสู่รางปลูก

6. ถังบรรจุสารละลายเข้มข้น สารละลายกรด (ในกรณีใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ)

7. อุปกรณ์ควบคุม pH, EC

8. โต๊ะหรือขาตั้งสำหรับวางปลูก (Mason, 1990)

Noggle and Fritz (1977) และนักสรีรวิทยาพืชหลายท่านแนะนำว่าเทคนิค NFT มีข้อดีที่ไม่ต้องระวังเรื่องการขาดออกซิเจนของรากพืช หากแต่รางไม่ควรยาวเกิน 10 เมตร ถ้ารางยาวกว่านี้จะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกิดความแตกต่างของปริมาณออกซิเจน (O_2 gradience) ระหว่างหัวและท้ายราง โดยความกว้างของรางขึ้นอยู่กับชนิดพืชและถังรับควรจะเพียงพอรับสารละลาย

2. DRF (Dynamics Root Floating System)

เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นโดย Prof.Dr. Te-Chen Kao ชาวไต้หวัน ในปี คศ. 1988 ระบบนี้ได้รับความนิยม มีเกษตรกรนำไปใช้ในการผลิตพืชทั้งในไต้หวัน จีน สิงคโปร์ ไทย ฟิจิ บรูไน ฮ่องกง และมาเลเซีย

ข้อดีของระบบนี้คือ

1. โครงสร้างง่ายไม่ซับซ้อน
2. การจัดการระบบน้ำทำได้สะดวก
3. ใช้แรงงานน้อย
4. ใช้พลังงานน้อย
5. การลงทุนไม่สูงมาก เป็นต้น (โสระยา, 2548)

โครงสร้างของระบบประกอบด้วย

1. โรงเรือนขนาดเล็ก ทำด้วยเหล็กกาวาไนซ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว และ 0.75 นิ้ว ความกว้างของโรงเรือนมาตรฐานอยู่ที่ 2.13 เมตร สูง 2.1 เมตร ส่วนความยาวขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ พลาสติกมุงหลังคาใช้พลาสติกใสหนาประมาณ 0.15-0.20 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันฝน ด้านข้างมุงด้วยตาข่ายขนาด 24 mesh (ช่องต่อตารางเซนติเมตร) เพื่อป้องกันแมลง หากอุณหภูมิสูงเกิน 30 องศาเซลเซียส อาจมุงด้วยตาข่ายพรางแสงขนาด 25-40% ด้านบนเหนือหลังคาประมาณ 30 เซนติเมตร เพื่อลดอุณหภูมิ

2. พื้นแปลงเป็นแผ่นโฟมที่มีร่องเป็นคลื่น ลึกประมาณ 4 เซนติเมตร รากของพืชส่วนหนึ่งแช่อยู่ในสารละลายที่ขังอยู่ในร่องนี้ ขนาดแผ่นโฟมกว้าง 2.01 เมตร ยาว 90.1 เซนติเมตร และขอบแปลงสูงประมาณ 15 เซนติเมตร

3. โฟมสำหรับปลูกพืช ด้านบนเรียบ ส่วนด้านล่างเว้าเป็นช่องเพื่อให้เป็นช่องอากาศ ทำให้พืชมีการพัฒนารากด้านบนที่ติดกับแผ่นโฟมสัมผัสอากาศ เรียกว่า aero-roots ส่วนรากด้านล่างที่สัมผัสกับสารละลายเรียกว่า nutria-roots

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ช่องปรับระดับสารละลายธาตุอาหาร ทำเป็นชั้นๆ เพื่อปรับสารละลายให้สูงต่ำตามระยะการเจริญเติบโตของพืช เพื่อเพิ่มช่องอากาศให้รากพืชเมื่อต้นเจริญเติบโตขึ้นมาด้วย

5. ระบบการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร สารละลายหมุนเวียนกลับมาใช้โดยอาศัยแรงจากปั๊ม

3. DFT (Deep Flow Technique)

ระบบการปลูกแบบนี้จะปลูกพืชบนแผ่นโฟมที่วางบนถาดปลูก หรือรางปลูก โดยให้สารละลายธาตุอาหารระดับลึกกว่าการปลูกแบบ NFT

การให้สารละลายธาตุอาหารแก่พืชโดยใช้รางปลูกเป็นภาชนะ อาจทำได้โดยปล่อยให้สารละลายหมุนเวียนอย่างต่อเนื่องหรือให้เป็นระยะๆ แบบท่วมขังรางประมาณ 3-5 เซนติเมตร ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาเมื่อไฟฟ้าขัดข้อง เพราะรากยังใช้น้ำหรือธาตุอาหารจากน้ำที่ท่วมขังได้

ถ้าเป็นถาดปลูกจะมีลักษณะคล้ายอ่าง สามารถใส่สารละลายได้ลึกประมาณ 15-20 เซนติเมตร แล้วให้สารละลายพืชแบบหมุนเวียน ซึ่งเหมือนการปลูกพืชแบบลอยน้ำ (Floating System)

4. Ebb and Flow System (Muckle, 1995) หรือ Flood and Drain (ดิเรก, 2547)

เป็นระบบการให้สารละลายธาตุอาหารที่ใช้กันมานาน องค์ประกอบของระบบประกอบด้วย ภาชนะปลูกที่บรรจุวัสดุปลูกที่ไม่ใช้ดิน เช่น กรวด ทราย เวอร์มิคูไลท์ เป็นต้น วางอยู่บนแปลงปลูกหรือถาดซึ่งใช้บรรจุสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งต่ออยู่กับระบบควบคุมการไหลเวียนของสารละลาย เช่น ปั๊ม ท่อน้ำ นาฬิกาตั้งเวลา (timer) เป็นต้น

โดยมีหลักการคือ การปล่อยให้สารละลายธาตุอาหาร ผ่านเข้าไปยังแปลงปลูกหรือถาดวางภาชนะปลูก โดยถาดหรือแปลงปลูกต้องมีความลึกพอที่จะขังสารละลายไว้ได้ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งวัสดุปลูกสามารถดูดซับสารละลายนั้นไว้ได้ระยะหนึ่ง จากนั้นปล่อยให้สารละลายไหลออก ซึ่งสารละลายที่ไหลออกมาจะถูกหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่อีกได้ โดยอาศัยปั๊มดูดสารละลายขึ้นไปเก็บไว้ยังถังเก็บ ระยะเวลาการปล่อยสารละลายท่วมภาชนะปลูกนั้น ขึ้นอยู่กับสภาพบรรยากาศ และระยะการเจริญเติบโตของพืช (Jones, 1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

5. Aeroponics

เป็นระบบปลูกที่รากพืชไม่ได้สัมผัสกับสารละลายโดยตรงแต่จะลอยอยู่ในอากาศ และได้รับธาตุอาหารจากพืชโดยการพ่นสารละลายในรูปละอองน้ำเป็นระยะๆ อย่างต่อเนื่อง รากพืชจะมีความชื้นอยู่ตลอดเวลา โดยให้รากคงความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 95-100% ในระบบปิด ระบบนี้จะส่งผลให้ได้ผลผลิตที่สูงและใช้เวลาในการผลิตน้อย

รูปแบบการปลูกพืชในระบบแอโรโพนิกส์ในปัจจุบันประกอบด้วย

1. แอโรโพนิกส์แบบเอเฟรม (A-Frames)

เป็นการปลูกพืชในระบบปลูกที่สร้างเป็นรูปสามเหลี่ยม มีความลาดเอียงลงมาทางด้านข้าง รากพืชห้อยลง ลักษณะดังกล่าวจะทำให้การใช้พื้นที่ปลูกน้อยลง สามารถปลูกต้นพืชได้มาก และใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งรูปแบบนี้นิยมใช้กันมากในต่างประเทศ

2. แอโรโพนิกส์แบบกล่อง

เป็นการปลูกพืชในระบบที่สร้างเป็นแบบกล่องสี่เหลี่ยม และต่อท่อฉีดพ่นสารละลายไว้ด้านล่างกล่อง และเป็นระบบกล่องปลูกขนาดเล็กที่บรรจุสารละลายธาตุอาหารพืชและติดตั้งปั๊มไว้ในกล่องโดยตรง และทำการปลูกพืชบนฝาของกล่อง รากพืชห้อยลงอยู่ภายในกล่อง ปั๊มดูดสารละลายและพ่นใส่รากพืชเป็นระยะๆ

ข้อดีของระบบแอโรโพนิกส์

1. ประหยัดน้ำมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ
2. พืชเจริญเติบโตได้เร็ว เก็บเกี่ยวได้เร็ว และให้ผลผลิตสูงกว่าระบบอื่นๆ
3. สามารถปลูกพืชหัวที่สะอาดได้ผลดี

ข้อเสียของระบบแอโรโพนิกส์

1. จำเป็นต้องใช้น้ำที่มีคุณภาพสูง เนื่องจากตะกอนเจือปนอาจทำให้หัวฉีดอุดตัน จึงต้องลงทุนกับระบบน้ำสูงมาก
2. ระบบสิ้นเปลืองพลังงานมาก
3. มีข้อจำกัดในการปลูกบริเวณที่มีอากาศร้อน
4. ต้องมีไฟฟ้าสำรอง ในกรณีที่ไฟฟ้าดับจะก่อให้เกิดความเสียหายมาก
5. ต้องใช้เทคนิคสูง และผู้เชี่ยวชาญระบบที่มีความพร้อมมากกว่าระบบอื่น (อานัฐ, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การปลูกพืชในวัสดุปลูกที่ไม่ใช่ดิน (Substrate culture)

เป็นวิธีการปลูกพืชในวัสดุปลูกที่ไม่ใช่ดิน เช่น สารอินทรีย์ ได้แก่ มะพร้าวสับ แกลบ ฟางข้าว เปลือกถั่ว ชานอ้อย ฯลฯ และวัสดุที่เป็นสารอนินทรีย์ เช่น ทราย กรวด ดินเผา เพอร์ไลท์ เวอร์มิคูไลท์ ร็อควูล เป็นต้น การปลูกพืชระบบนี้นิยมกันมากในเขตที่มีปริมาณน้ำน้อย และใช้ปลูกพืชที่มีอายุเก็บเกี่ยวยาว สำหรับประเทศไทยนิยมใช้กาบมะพร้าวสับ ในการปลูกพริกหวาน มะเขือเทศ และแตงเลมอน เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายและไม่แพง อุ้มน้ำได้ดี โปร่งเบา แต่มักมีปัญหาในเรื่องความเค็มสูง จึงควรนำมาแช่น้ำก่อนจึงนำไปเป็นวัสดุปลูกได้

รูปแบบการปลูกพืชในวัสดุปลูกที่ไม่ใช่ดิน

1. ปลูกในถุง

ใช้ถุงพลาสติกที่ป้องกันรังสียูวีได้โดยเฉพาะถุงพลาสติกที่มีสีขาวด้านนอกสามารถสะท้อนรังสีได้ดี เป็นการลดความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้ ในการปลูกควรวางถุงพลาสติกบนพื้นที่ปูพลาสติกคลุมดินไว้ เพื่อป้องกันการติดเชื้อโรคจากดิน

2. ปลูกในกระสอบ

เป็นการปลูกพืชบนกระสอบที่ใส่วัสดุปลูกไว้ภายใน โดยทั่วไปนิยมใช้กระสอบพลาสติกที่มีความจุ 50 กิโลกรัม โดยเจาะรูปลูกกระสอบละ 6 ต้น วิธีนี้มีปัญหาคือถ้ามีแสงแดดส่องกระสอบโดยตรงกระสอบจะแตกได้ง่าย

3. ปลูกในราง

เป็นการปลูกในรางยาวที่ใส่วัสดุปลูกไว้ภายในรางโดยทั่วไปนิยมใช้พลาสติกแข็งสีดำหนา 2 มิลลิเมตร ปูพื้นและกั้นด้านข้างให้เป็นขอบขึ้นมาให้มีความสูงจากพื้น 20-25 เซนติเมตร ยึดขอบด้านข้างกับเสาเหล็กที่ฝังอยู่กับดิน ระยะห่างของเสาประมาณ 2 เมตร ใส่วัสดุปลูกลงไปในช่องปลูกหนา 15-20 เซนติเมตร

สำหรับรูปแบบการให้สารละลายกับวัสดุปลูก คือ การให้น้ำในระบบหยด โดยจะติดตั้งท่อพลาสติกหลัก (PVC) และใช้ท่อไมโครที่มีความยืดหยุ่น และมีรูระบายน้ำขนาดเล็กตรงปลายท่อต่อไปยังต้นพืชแต่ละต้น ระบบนี้ต้องคอยระวังหัวปล่อยสารละลายอุดตัน และแรงดันน้ำของหัวปล่อยน้ำแต่ละหัวไม่เท่ากัน ซึ่งจำเป็นต้องใช้ตัวปรับแรงดัน

ข้อดีของวัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์สาร 1) วัสดุมีช่องว่างมาก และมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีกว่า 2) ในปุ๋ยหมักชีวภาพมีจุลินทรีย์บางชนิดที่สามารถช่วยลดโรคทางรากบางชนิดได้ 3) ราคาถูกหาง่าย (อานัฐ, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อเสียของวัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์สาร 1) มีจุลินทรีย์ไปปนเปื้อนในวัสดุปลูกเมื่อปลูกไปนานๆ 2) อัตราการยุบตัวของวัสดุปลูกสูง 3) ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ข้อดีของวัสดุปลูกที่เป็นอนินทรีย์สาร 1) ไม่มีปัญหาในเรื่องการปนเปื้อนจุลินทรีย์ก่อโรค 2) มีความทนสูง นำไปฆ่าเชื้อแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

ข้อเสียของวัสดุปลูกที่เป็นอนินทรียีสาร 1) มีช่องว่างน้อย ไม่สามารถดูดซับน้ำได้ หรือดูดซับได้น้อย 2) มีน้ำหนักมาก 3) ราคาแพง

ปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกในสารละลายธาตุอาหาร คือ การที่รากพืชต้องการออกซิเจนจากอากาศและธาตุอาหารพืชจากสารละลายที่เตรียมไว้ นอกจากนี้ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของระบบรากก็เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง โดยในพืชบางชนิด เช่น มะเขือเทศ หากอุณหภูมิบริเวณรากต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส พืชจะหยุดเจริญ ในขณะที่ผักกาดหอม ยังคงเจริญต่อไปได้แม้ว่าอุณหภูมิรากต่ำถึง 1-2 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามในประเทศไทย ปัญหาที่พบกลับเป็นอุณหภูมิรากสูงเกินไป ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปีค่อนข้างสูง (โสระยา, 2548)

นอกจากปัจจัยดังกล่าวแล้ว ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งวัดเป็นค่าความนำไฟฟ้าของสารละลาย (Electrical Conductivity, EC) และ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)ในสารละลาย ก็มีความสำคัญต่อความสำเร็จในการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC)

ธาตุอาหารพืชที่อยู่ในรูปองค์ประกอบทางเคมีเมื่อนำมาละลายในน้ำจะแตกตัวเป็นอิออนของธาตุ ที่สามารถวัดเป็นค่าความนำกระแสไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) มีหน่วยเป็นโมห์ (Mho) แต่ค่าของการนำไฟฟ้านี้ค่อนข้างน้อยมากจึงมีการวัดเป็นหน่วยมิลลิโมห์ หรือนิยมอ่านค่าเป็นมิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร (mS/cm) อันเป็นค่าที่ได้จากการวัดการนำกระแสไฟฟ้าจากพื้นที่หนึ่งคิวบิกเซนติเมตรของสารละลายธาตุอาหาร ค่า EC เป็นค่ารวมของการนำไฟฟ้าของน้ำกับธาตุอาหารทั้งหมด แต่ไม่สามารถวัดค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละธาตุได้ซึ่งความเข้มข้นของธาตุอาหารเหล่านี้เปลี่ยนไปตามเวลา เนื่องจากพืชนำไปใช้หรือเกิดการตกตะกอน ดังนั้นในการปลูกพืชจึงควรเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารเมื่อค่า EC สูงหรือต่ำกว่ามาตรฐานที่ต้องการใช้มากอย่างผิดปกติ (ดิเรก, 2547)

จากรายงานการศึกษาของกองเกษตรเคมี (2531) พบว่าการเตรียมต้นกล้าพืชสำหรับการปลูกพืชในวัสดุปลูก การให้สารละลายธาตุอาหารแก่ต้นกล้าพืชควรอยู่ในช่วงค่าการนำไฟฟ้า (EC)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.0-1.2 mS/cm ข้อควรระวัง คือจะต้องให้สารละลายธาตุอาหารเจือจางประมาณ 1/4-1/2 ของระยะต้นพืชเจริญเติบโตเต็มที่ เนื่องจากต้นกล้าพืชยังไม่แข็งแรง ถ้าให้ความเข้มข้นมากเกินไปจะเกิดอาการเหี่ยวเฉา

Morgan (1998) รายงานว่า การปลูกผักกาดหอมถ้าใช้ระดับ EC ที่สูงเกินไปจะทำให้เกิดอาการ ใบไหม้ (Tip burn) ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของผักกาดหอม นอกจากนี้ เมื่อมีการใช้ระดับ EC สูงจะทำให้โซเดียม (Na) สูงขึ้น ส่งผลต่อการใช้ประโยชน์ของธาตุอาหารของพืชลดลง ซึ่งโดยทั่วไประดับความเป็นพิษของโซเดียมต่อพืชอยู่ที่ประมาณ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลาย

ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของสารละลายที่ใช้ในการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินเป็นสิ่งจำเป็นมีผลต่อพืชในการนำธาตุอาหารไปใช้ ทั้งนี้เพราะหากสารละลายมีสภาพเป็นด่าง (มี pH มากกว่า 7) จะทำให้เกิดการตกตะกอนของธาตุต่าง ๆ หลายชนิด เช่น เหล็ก แมงกานีส ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม มีผลให้ต้นพืชไม่สามารถนำสารอาหารเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ได้ และหากปล่อยทิ้งไว้ให้ต้นพืชขาดแคลนธาตุอาหารยาวนานต่อไป ผลที่สุดคือ ต้นพืชอาจตายได้ พืชส่วนมากมีความต้องการ pH เป็นกรดอ่อน หรือค่อนไปในด้านเป็นกรดเล็กน้อย คือ อยู่ระหว่าง 5.0-6.5 (ถวัลย์, 2534) ในสภาพเป็นกรดจะไม่ทำให้ธาตุอาหารต่างๆเกิดการตกตะกอน โดยธาตุเหล่านี้จะอยู่ในรูปของอิออนที่พืชสามารถนำ ไปใช้ได้

บทบาทและหน้าที่ของธาตุอาหารในพืช (ยงยุทธ, 2543)

มหธาตุหรือธาตุอาหารหลัก (macronutrient) คือธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมากเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ประมาณ 1000 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

จุลธาตุหรือธาตุอาหารรอง (micronutrient) คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็เพียงพอต่อการดำรงชีพ มี 7 ธาตุ ได้แก่ โบรอน (B) เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) สังกะสี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Zn) แมงกานีส (Mn) โมลิบดินัม (Mo) และคลอรีน (Cl) ส่วนใหญ่พืชต้องการในปริมาณน้อยกว่า 100 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้งของพืชหนัก 1 กรัม

ไนโตรเจน (Nitrogen)

รากพืชดูดไนโตรเจนจากดินมาใช้ในรูปของเกลือไนเตรท (NO_3^-) และเกลือแอมโมเนียม (NH_4^+) แต่ความสามารถในการตรึงไนโตรเจนทั้ง 2 รูปแบบไปใช้ได้ต่างกัน เนื่องจากข้อจำกัดทางชีวเคมีภายในต้นพืช (Haynas, 1986) นอกจากนี้อาจพบการเปลี่ยนแปลงด้านสัณฐานวิทยาของพืชด้วย คือ หากพืชได้รับไนโตรเจนมากตั้งแต่ระยะแรกนั้นส่วนเหนือดินจะเจริญเร็วแต่รากเจริญเร็วแต่รากจะเจริญช้า ดังนั้นเวลาต่อมารากย่อมดูดน้ำและธาตุอาหารได้น้อยลง เช่น ใบข้าวยาวและกว้างมากขึ้นในขณะที่ความหนาของใบลดลงเมื่อได้รับไนโตรเจนในปริมาณมากใบจึงอ่อนและโค้งเป็นเหตุให้ใบบนบดบังแสงใบล่าง และต้นมักยืดยาวมากจึงไม่แข็งแรงและล้มง่ายผลผลิตจึงลดลง (Yoshida *et al.,* 1969)

ในพืชบางชนิดมีจุลินทรีย์ช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศ เปลี่ยนมาเป็นรูปเกลือไนเตรทที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ เช่น ในรากพืชตระกูลถั่วมีไรโซเบียมช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้พืชนำไปใช้ได้ นอกจากนี้พืชอาจได้รับไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์ เช่น ยูเรีย เป็นต้น (สมบุญ, 2538)

ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของโปรตีนซึ่งมีหน้าที่สำคัญมากในเซลล์โดยเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของไซโตพลาสซึม เนื้อเยื่อ และเอนไซม์ นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนอิสระและสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ เช่น อะดีโนซีนไตรฟอสเฟส (adenosinetriphosphate, ATP) และโคเอนไซม์ (co-enzyme) เป็นต้น ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน และเป็นศูนย์ข้อมูลทางพันธุกรรม เป็นองค์ประกอบของฮอร์โมนพืช คือ ออกซิน (auxins) และไซโตไคนิน (cytokinins) เป็นองค์ประกอบของสารประกอบไนโตรเจนที่พืชสะสมไว้ (reserves) เพื่อทำหน้าที่ป้องกัน (protective compounds) เช่นนิโคติน (nicotine) จากใบยาสูบ และมอร์ฟีน (morphine) จากฝิ่น ซึ่งเป็นอัลคาลอยด์ (alkaloid) ทั้งสิ้น (ยงยุทธ, 2543)

ไนโตรเจนในดินสูญเสียง่ายโดยถูกชะล้าง (leaching) ในรูปเกลือไนเตรทหรือเกิดการระเหย (volatilization) ในรูปเกลือแอมโมเนียม เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณมาก เมื่อพืชขาดไนโตรเจนเกิดอาการคลอโรซิส (chlorosis) คือ ใบมีสีเหลือง เนื่องจากการขาดคลอโรฟิลล์ โดยปรากฏในใบแก่ที่อยู่ส่วนล่างก่อน เป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้มาก ใบอ่อนในระยะแรกยังคงมีธาตุนี้อยู่โดยได้รับจากใบแก่ที่อยู่ด้านล่าง ถ้าไนโตรเจนมีอยู่น้อยมากในใบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ล่างที่เหลืองหลุดร่วงจากต้นและค่อยๆ ลุกลามไปยังใบอ่อนที่อยู่ด้านบน ทำให้ใบอ่อนมีสีเขียวซีดและเหลือง หลังจากนี้การเจริญส่วนยอดหยุดชะงัก ลำต้นแคระแกร็นส่วนรากแผ่ขยายมาก และพืชตายในที่สุด (สมบุญ, 2538)

ปริมาณความต้องการไนโตรเจนของพืชขึ้นอยู่กับชนิดของพืช อายุของพืช และฤดูกาล (นพดล, 2538) ประมาณ 80-85 เปอร์เซ็นต์ ของไนโตรเจนทั้งหมดในพืชเป็นองค์ประกอบของโปรตีน ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก และอีก 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นของกรดอะมิโนที่ละลายได้ (soluble amino N) (โสระยา, 2544) ปริมาณไนโตรเจนในพืชแม้แตกต่างกันตามชนิดของพืช อวัยวะและระยะการเจริญเติบโต แต่โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 2-5 เปอร์เซ็นต์

การสะสมไนเตรทของพืช

Miguel *et al*. (1998) กล่าวว่า ในการปลูกผักกาดหอมด้วยระบบ NTF ถ้ามีการงดให้ไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารช่วงสัปดาห์สุดท้ายจะทำให้ไนเตรทสะสมลดลง และ Santamaria *et al*. (1998) พบว่า ปริมาณไนเตรทสะสมใน Chicory และRocket จะลดลง ถ้าลดการใช้ไนโตรเจนในรูปของไนเตรท ในสารละลายธาตุอาหารลง หรือแทนที่สารละลายบางส่วนด้วยไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม ก่อนการเก็บเกี่ยวเพียงเล็กน้อย

Jarvan (1995) รายงานว่า การใช้ NH_4NO_3, NH_4SO_4 และ ยูเรีย มีอิทธิพลต่อการสะสมไนเตรทการปลูกพืชในโรงเรือนมีโอกาสพบการสะสมของไนเตรทมากกว่าการปลูกพืชกลางแจ้ง การใช้โบรอน โมลิบดินัมทางใบในปริมาณที่เหมาะสมช่วยลดการสะสมของไนเตรทในพืชได้ และในสภาพที่พืชขาดธาตุอาหารเสริมหรือมีธาตุอาหารเสริมมากเกินไปเป็นสาเหตุให้พืชเกิดการสะสมไนเตรทในเซลล์ได้

Escobor *et al* . (2002) รายงานว่า ในสภาพความเข้มแสงน้อยโดยเฉพาะในฤดูหนาวของประเทศในแถบยุโรป พบว่าผักกินใบมีการสะสมไนเตรทในพืชสูง

มนัชญาและคณะ (2546) ศึกษาวอเตอร์เคส (Watercress) ที่ปลูกด้วยระบบ DFT พบว่า การงดการให้สารละลายธาตุอาหารก่อนการเก็บเกี่ยว 0, 3, 6 และ 9 วันมีน้ำหนักสดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนไนเตรทตกค้างมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

โดยทั่วไปพืชดูดฟอสฟอรัสในรูปสารอนินทรีย์พวกอนุมูลของไดไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน (H_2PO_4) และ ไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน (HPO_4^{-2}) ซึ่งปริมาณไอออนทั้งสองชนิดมีมากหรือน้อยขึ้นกับค่า pH ของดิน ดินที่มีค่า pH ต่ำกว่า 7 ฟอสฟอรัสมักอยู่ในรูป $H_2PO_4^-$ ถ้าดินที่มีค่า pH สูงฟอสฟอรัสมักอยู่ในรูป HPO_4^{2-} การดูดโดยทั่วไปจะเป็น active process เนื่องจากปริมาณฟอสเฟตที่อยู่ในเซลล์ราก และ xylem sap มีความเข้มข้นสูงกว่าฟอสเฟตที่อยู่ในสารละลายดิน ดังนั้นการดูดใช้ฟอสเฟตจึงเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช สารประกอบฟอสเฟตที่พบอยู่ในพืชแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. อนินทรีย์ฟอสเฟต (inorganic phosphate) ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูป orthophosphate และมีอยู่ในรูปของ pyrophosphate เพียงเล็กน้อย

2. อินทรีย์ฟอสเฟต (organic phosphate) เป็นสารประกอบที่เกิดจากอนุมูล orthophosphate ถูก esterfied โดย hydroxyl group ของน้ำตาลและ alcohol หรือ pyrophosphate group มาต่อเข้ากับ phosphate group อีกอันหนึ่ง (Mengel and Kirkby, 1987)

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

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

เมื่อพืชขาดฟอสฟอรัสมีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ภายในเซลล์ ในขั้นแรกอัตราการสังเคราะห์แสงยังปกติ แต่อัตราการหายใจลดลง ทำให้เกิดการสะสมของคาร์โบไฮเดรต หลังจากนั้นใบพืชที่มีสีเขียวเข้มเกิดสารสะสมของรงควัตถุพวกแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ที่ลำต้นและก้านใบ ทำให้ก้านใบเป็นสีชมพู อาการเริ่มเกิดที่ใบแก่ก่อน ใบเป็นจุดแห้งตาย (necrotic) การเจริญของพืชหยุดชะงักลำต้นแคระแกร็นนอกจากนี้พืชที่ขาดฟอสฟอรัสมีผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชช้า แล้วยังมีผลทำให้เกิดการพักตัวของตาข้าง (leteral bud dormancy) ตลอดทั้งการออกดอก ถ้าพืชได้รับฟอสฟอรัสมากจะช่วยเร่งการเจริญของดอก ผลและรากได้ดี (สมบุญ, 2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีหน้าที่สัมพันธ์ซึ่งกันและกันทำให้ ถ้ามีไนโตรเจนมากเกินไปพืชแก่ช้าแต่ถ้ามีฟอสฟอรัสมากเกินไปพืชจะแก่เร็วและรากจะเจริญได้ดีกว่ายอดและถ้าไนโตรเจนมากเกินไปยอดจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าราก

บทบาทของฟอสฟอรัส (ยงยุทธ, 2543)

1. เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิกซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์โปรตีนและเป็นองค์ประกอบของดีเอ็นเอ ซึ่งเป็นศูนย์ข้อมูลทางพันธุกรรม
2. เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของฟอสโฟลิปิดในเยื่อหุ้มเซลล์ของสิ่งมีชีวิต
3. เป็นองค์ประกอบของ ATP ซึ่งเป็นสารประกอบพลังงานสูงที่มีบทบาทสำคัญในระบบชีวเคมีของเซลล์
4. เป็นองค์ประกอบของโคเอนไซม์ (co-enzyme) บางชนิด ได้แก่ NAD^+ (nicotinamide adenine dinucleotide), $NADP^+$ (nicrotinamide adinine dinucleotide phosphate), FAD (flavin adenine dinucleotide) และเอนไซม์
5. เป็นองค์ประกอบของสารประกอบฟอสเฟตอื่นๆ เช่น riburose bis phosphate และ phosphoglyceraldehyde ในวัฏจักรคาลวิน (Calvin's cycle) ของกระบวนการสังเคราะห์แสง glucose-6-phosphate, fructose-1,6-diphosphate และ glyceraldehydes phosphate ในไกลโคไลซิส (glycolysis) guanosine triphosphate (GTP) ในวัฏจักรเครบส์ (Kreb's cycle) (ยงยุทธ, 2543) และ phytic acid (นพดล, 2538)
6. กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการรีดิวซ์ไนเตรท และช่วยลดความเป็นกรดของน้ำในเซลล์ (cell sap) (นพดล, 2538)

โพแทสเซียม (Potassium)

โพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบของแร่ธาตุและหิน ซึ่งเป็นวัตถุต้นกำเนิดของดินหลายชนิด โดยพบว่า มีธาตุโพแทสเซียมโดยทั่วไปในทั้งดินชั้นบนและดินชั้นล่าง และพบในปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน โพแทสเซียมเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีพของพืชและเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ในพืช เช่นเดียวกับฟอสฟอรัสและธาตุไนโตรเจน (มุกดา, 2544)

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และเป็น cation ที่สำคัญที่สุดในด้านสรีรวิทยาพืชทั้งในแง่ปริมาณและในเนื้อเยื่อพืช โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่ละลายน้ำได้ดี และมิได้เป็นองค์ประกอบหลักในโมเลกุลหรือในโครงสร้างของพืช (สมบุญ, 2536)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โพแทสเซียมสามารถเคลื่อนที่ภายในต้นพืชได้ง่าย การเคลื่อนที่ส่วนใหญ่ภายในต้นพืชจะมุ่งสู่เนื้อเยื่อเจริญ อาจเนื่องมาจากเนื้อเยื่อพืชดังกล่าวมีความสำคัญต่อการสร้างโปรตีน อัตราการเจริญเติบโตและการเพิ่มของไซโตไคนินในต้นพืช ส่วนใหญ่โพแทสเซียมถูกดูดเข้ามาในระยะ vegetative stage

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่พบมากในบริเวณส่วนอ่อนของพืช เช่น ในเนื้อเยื่อเจริญบริเวณยอดของต้น ปลายราก ตาข้าง ใบอ่อน เนื้อใบ (mesophyll) ในใจกลางของลำต้น (pith) และในท่อลำเลียงอาหาร (นพดล, 2538) แม้ว่าพืชแต่ละชนิดมีความต้องการโพแทสเซียม เพื่อการเจริญเติบโตตามปกติในปริมาณที่ต่างกันก็ตาม โดยทั่วไปแล้วความต้องการของพืชอยู่ในช่วง 2-5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง ของใบ ลำต้น ผล และหัว ทั้งนี้ยกเว้นพืชที่ชอบโซเดียม (natrophilic species) ซึ่งความต้องการโพแทสเซียมน้อยกว่าพืชทั่วไป (ยงยุทธ, 2543)

บทบาทของโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโต

โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมเทบอลิซึมของพืชมาก ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งในส่วนลำต้นและราก บทบาทที่สำคัญของโพแทสเซียม คือ ควบคุมอัตราการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ซึ่งในระยะแรกถ้าพืชขาดโพแทสเซียมอัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลงในขณะที่อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นทั้งนี้เป็นผลมาจากการควบคุมการปิดเปิดของปากใบ (สมบุญ, 2536) การกระตุ้นเอนไซม์ก็เป็นอีกบทบาทอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญของโพแทสเซียม โดยโพแทสเซียมเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ หรือทำงานร่วมกับเอนไซม์ในกระบวนการการสังเคราะห์โปรตีน เช่น enzyme starch synthetase ที่แยกออกมาจากข้าวโพด จะมีกิจกรรมสูงสุดเมื่อถูกกระตุ้นด้วย K^+ (Mengel and Kirkby, 1987) นอกจากนี้โพแทสเซียมยังช่วยสร้างสมดุลระหว่างประจุไฟฟ้ากันแนวไอออนที่เคลื่อนย้ายไม่ได้ (immobile) ในไซโทพลาสซึมและคลอโรพลาสต์ ตลอดจนประจุลบที่เคลื่อนย้ายไม่ได้ ในแวคคิวโอล ท่อลำเลียงน้ำ และท่อลำเลียงอาหาร เมื่อเซลล์มีกรดอินทรีย์สะสมอยู่ภายใน ย่อมเป็นปัจจัยส่งเสริมให้เซลล์ดูด K^+ เข้ามาในรากหรือเซลล์คุมโดยไม่ต้องมีประจุลบติดมาด้วย การเคลื่อนย้ายไนเตรทระยะไกลทางท่อลำเลียงอาหารเข้าสู่แวคคิวโอลมี K^+ เคียงคู่มาเสมอ เมื่อไนเตรทผ่านกระบวนการรีดักชั่นไปแล้ว เซลล์มีการสร้างกรดอินทรีย์ เช่น กรดมาลิก (malic acid) เพื่อให้มีสมดุลด้านประจุกับโพแทสเซียมและรักษาระดับ pH ที่เหมาะสมไว้ บทบาทที่สำคัญอีกอย่างของโพแทสเซียมคือการเคลื่อนย้ายทางท่อลำเลียงอาหาร โดยมีส่วนสำคัญในการช่วยให้ซูโครสเข้าสู่ท่อลำเลียงอาหารและมีการเคลื่อนย้ายสารละลายในท่อลำเลียงอาหารได้มากขึ้น หน้าที่ของโพแทสเซียมในเรื่องนี้เกี่ยวกับการรักษาระดับของ pH ในหลอดตะแกรง (sieve plate) ให้สูงและคงที่ เพื่อให้ซูโครสย้าย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เข้าสู่หลอดตะแกรงได้สะดวก และเพิ่มแรงดันออสโมซิสในตะแกรงบริเวณต้นทางของการเคลื่อนย้ายให้สูง ซึ่งช่วยเพิ่มอัตราการลำเลียงสารจากการสังเคราะห์แสง (photosynthates) จากแหล่งจ่าย (source) มายังบริเวณที่สะสม (sink)

แคลเซียม (Calcium)

แคลเซียม (Ca) เป็นธาตุที่พืชต้องการอยู่ในช่วง 300-500 มิลลิกรัมต่อลิตร แคลเซียมจำเป็นในการแบ่งเซลล์ เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างที่สำคัญของผนังเซลล์ ใน middle lamellaของผนังเซลล์จะมีแคลเซียมในรูปแคลเซียมเพคเตท (calcium pectate) พืชจะเจริญเติบโตได้จะต้องมีการแบ่งเซลล์ที่ส่วนยอดหรือปลายราก พบว่าในปลายรากที่กำลังเจริญจะมีปริมาณแคลเซียมมาก (Taiz and Zeiger, 1998)

พืชดูดแคลเซียมไปใช้ในรูปไดวาเลนต์แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) แคลเซียมเป็นธาตุอาหารที่เคลื่อนย้ายได้ยาก ดังนั้นเมื่อแคลเซียมอยู่ในเนื้อเยื่อพืชแล้วจึงไม่ค่อยเคลื่อนย้ายไปส่วนอื่น (สมบุญ , 2538) ความเข้มข้นของแคลเซียมต่างกันตามสภาพการปลูก พันธุ์พืช และอวัยวะซึ่งแปรผันอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง พืชใบเลี้ยงคู่ต้องการแคลเซียมเพื่อให้มีการเจริญเติบโตอย่างพอเหมาะมากกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยว โดยทั่วไปในดินมักไม่ขาดแคลเซียมยกเว้นในดินที่เป็นกรด (ยงยุทธ, 2543)

แคลเซียมเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ในรูปแคลเซียมแพคเตท (calcium pectate) ในมิดเดิลลาเมลลา (middle lamella) ของผนังเซลล์ มีบทบาทสำคัญทำให้ผนังเซลล์ เนื้อเยื่อและต้นพืชแข็งแรง เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมเทบอลิซึม การสร้างนิวเคลียส และไมโทคอนเดรียตลอดจนการแบ่งเซลล์ และการขยายตัวของเซลล์ นอกจากนี้ยังช่วยให้ส่วนประกอบของเซลล์เมมเบรนมีโครงสร้างและหน้าที่ได้สมบูรณ์ ตลอดทั้งควบคุมการเข้าออกของสารบางชนิดในเซลล์ เกลือแคลเซียมของเลซิติน (lecithin) เป็นองค์ประกอบของลิปิดซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของเซลล์เมมเบรน แคลเซียมมีบทบาทต่อเอนไซม์บางชนิด เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α-amylase) ซึ่งมีหน้าที่ย่อยแป้ง ทำให้โมเลกุลของแป้งถูกทอนให้สั้นลง จึงนับเป็นเอนไซม์ชนิดหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนย้ายแป้งไปยังแหล่งสะสมไปยังส่วนอื่นของพืชนอกจากนี้ยังช่วยย่อยแป้งในเอนโดสเปิร์มของเมล็ด ให้มีโมเลกุลเล็กลงเพื่อใช้ในกระบวนการงอก นอกจากนี้แคลเซียมยังช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ฟอสฟาเตส (phosphatase) ฟอสฟอลิเพส (phospholipase) อาร์จินินคิเนส (arginine kinase) และอื่นๆ (ยงยุทธ, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แคลเซียมช่วยลดความเป็นพิษ (detoxify) ของกรดออกซาลิก (oxalic acid) โดยรวมเป็นผลึกแคลเซียมออกซาเลต (calcium oxalate) ในแวคิวโอล แคลเซียมยังมีผลต่อขบวนการสร้างปมและตรึงไนโตรเจนของไรโซเบียมในรากพืชตระกูลถั่วอีกด้วย (สมบุญ,2538)

ในสภาพดินด่างและมีแคลเซียมมากเกินไปพบว่า แคลเซียมรวมตัวกับฟอสฟอรัสกลายเป็นแคลเซียมฟอสเฟตทำให้พืชนำไปใช้ไม่ได้ และในดินที่เป็นด่างสูงทำให้ธาตุบางอย่างอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ลดลง เช่น การขาดเหล็กมีผลทำให้การดูดใช้แคลเซียมลดลงได้ ฉะนั้นการมีแคลเซียมมากเกินไป (excess calcium) ทำให้เกิดการขาดแคลเซียมในพืชได้

พืชที่ขาดแคลเซียมพบว่าบริเวณปลายยอดและปลายรากไม่เจริญ เพราะเนื้อเยื่อจะไม่สร้างผนังเซลล์ทำให้เซลล์ไม่แบ่งตัว ลำต้น ยอด ก้านใบเปราะหักง่าย เซลล์ไม่ขยายตัว ใบเหลือง เกิดอาการคลอโรซิสในบริเวณใบอ่อน และใบอ่อนมักบิดเบี้ยวเสียรูปทรง เกิดลักษณะงอคล้ายตะขอ (hook) ลำต้นแคระแกร็น เนื่องจากแคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ยาก อาการขาดธาตุแคลเซียมจะเกิดที่บริเวณใบอ่อนก่อน (สมบุญ, 2538) อวัยวะซึ่งคายน้ำน้อยแต่อัตราการเจริญเติบโตสูงมักมีความเสี่ยงต่อการขาดแคลเซียมหรือมีแคลเซียมในอวัยวะนั้นต่ำกว่าระดับวิกฤต หรือมีธาตุนี้ไม่เพียงพอสำหรับคงสภาพที่ดีของเนื้อเยื่อไว้ได้ เป็นเหตุให้พืชแสดงอาการขาดแคลเซียมได้ที่ผล เช่น อาการมะเขือเทศก้นเน่า (blossom end rot) และผิวผลแอปเปิ้ลมีรอยบุ๋ม (bitter pit) หรือที่อวัยวะอื่นๆ เช่น อาการไส้เน่า (black heart) ของกะหล่ำดอก อาการปลายใบไหม้ของผักกาดหอมหรือผักกาดเขียวปลี (tip burn) สำหรับผลที่มีเนื้อมาก (fresh fruits) หากมีแคลเซียมน้อยเกินไปจะข้าสู่สภาพเสื่อมอายุ (senescence) รวดเร็วและเชื้อราเข้าทำลายง่าย ความเสียหายหลังเก็บเกี่ยวจึงมีสูง (ยงยุทธ, 2543) ในดินที่เป็นกรดพืชมักขาดแคลเซียม อาจแก้ปัญหาโดยการใส่ปูนขาว พวกแคลเซียมออกไซด์ (CaO) แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ลงไปในดินทำให้ค่า pH ของดินสูง (สมบุญ, 2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แมกนีเซียม (Magnesium)

ธาตุแมกนีเซียม (Mg) ปริมาณที่พืชต้องการอยู่ในช่วง 50-100 มิลลิกรัมต่อลิตร แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการสังเคราะห์แสง และยังเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ และมีส่วนช่วยในการเคลื่อนย้ายน้ำตาลภายในใบพืช

แมกนีเซียมที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้อยู่ในรูปของไดวาเลนต์แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) (สมบุญ, 2538 ; นิตย์, 2541) หน้าที่สำคัญของแมกนีเซียมในพืชคือ เป็นอะตอมแกนกลางของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ พืชสีเขียวจึงต้องใช้ธาตุแมกนีเซียมเพื่อสร้างคลอโรฟิลล์สำหรับการ

เจริญเติบโต (นพดล, 2538) และเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในปฏิกริยาหลักของการถ่ายทอดพลังงานในกระบวนการสังเคราะห์แสง เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด รวมทั้งเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์แป้ง (สมบุญ, 2538)

เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการคาร์โบไฮเดรตเมเทบอลิซึม ซึ่งมีความสำคัญในกระบวนการหายใจของเซลล์ (ยงยุทธ, 2543) นอกจากนี้แมกนีเซียมยังมีบทบาทเกี่ยวกับการสังเคราะห์โปรตีน ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก โดยแมกนีเซียมจะรวมตัวกับไรโบโซมช่วยสร้างเสถียรให้กับไรโบโซม และทำให้เกิดการสังเคราะห์โปรตีน (สมบุญ, 2538) แมกนีเซียมช่วยเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัส โดยไปรวมกับธาตุฟอสฟอรัสทำให้ได้สารประกอบแมกนีเซียมฟอสเฟตที่เคลื่อนย้ายง่าย (นพดล, 2538)

ในพืชปกติมีแมกนีเซียมอยู่ในช่วง 0.15-0.35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง (ยงยุทธ, 2543) แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ ถ้าพืชขาดแมกนีเซียมทำให้ใบพืชเหลืองซีดในบริเวณเนื้อเยื่อใบที่อยู่ระหว่างก้านใบและเส้นใบ พบว่าก้านใบยังเขียวอยู่เรียกว่า interveinal chlorosis โดยระยะแรกเกิดขึ้นที่ใบแก่อยู่ด้านล่างก่อนจึงลุกลามไปยังใบอ่อน เพราะแมกนีเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ง่ายเกิดการสร้างแอนโทไซยานินที่ใบทำให้เป็นจุดสีต่างๆ เช่น ม่วง เหลือง แดง เซลล์ของใบมักแห้งตายเป็นจุดๆ กระจายไปทั่วและปลายใบม้วนงอ (สมบุญ, 2538)

ความสัมพันธ์ของไนโตรเจนต่อความเข้มสีใบ

Tennenbaum (1978) รายงานว่าไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นสารที่พืชสามารถจับพลังงานจากแสงแดดนำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหาร สอดคล้องกับโสระยา (2548) รายงานว่า ความเข้มของสีใบกล้วยไม้หวายที่ได้รับไนโตรเจนที่ระดับ 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลที่ดีกว่าระดับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสัมพันธ์ระหว่างธาตุอาหารต่อการเจริญติบโตของพืช

ไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของพืช

เพ็ญนภา และนพดล (2546) ศึกษาเกี่ยวกับผลของระดับ ไนโตรเจน แคลเซียม และโพแทสเซียม ต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม (*Lactuca sativa Linn.*) พันธุ์ Red Oak ที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ (Nutrient Film Technique) โดยใช้สารอาหารที่มีความเข้มข้นของธาตุ

ไนโตรเจน 85, 95, 105, 115 และ 125 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ EC 1.2 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร พบว่า สารอาหารธาตุ ไนโตรเจน 95 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้น้ำหนักสดของผักกาดหอมพันธุ์ Red Oak มากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า ผักกาดหอมพันธุ์ Red Oak เจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อใช้สารอาหารธาตุไนโตรเจน 95 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับธาตุแคลเซียม 120 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งทำให้ผักกาดหอมพันธุ์ Red Oak ในความเข้มข้นนี้มีใบหนา แข็งแรง ไม่แสดงอาการเหี่ยวในช่วงกลางวันที่มีอุณหภูมิสูง การใช้ไนโตรเจน 95 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับธาตุโพแทสเซียม เข้มข้น 117 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ผักกาดหอมมีการเจริญเติบโตดีที่สุด

เกียรติรวี (2544) ศึกษาผลของไนโตรเจนต่อผลผลิตและคุณภาพของมะนาวพันธุ์แป้นที่ปลูกในทราย โดยให้ไนโตรเจนที่ระดับต่างกันคือ 600 800 และ 1000 มิลลิอิควิวาเลนซ์ต่อลิตร พบว่าไนโตรเจนทุกความเข้มข้นไม่มีผลต่อ ขนาดผล น้ำหนักผล และปริมาณน้ำคั้น และทุกๆระดับของไนโตรเจนไม่ส่งผลต่อน้ำหนังแห้งและปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมะนาว แต่ที่ไนโตรเจน 800 มิลลิอิควิวาเลนซ์ต่อลิตร มีการสะสมปริมาณธาตุไนโตรเจนในใบที่ได้จากกิ่งที่มีผลผลิตมากกว่ากิ่งที่ไม่มีผลผลิต

อภิษฎา (2546) ได้ศึกษาเกี่ยวกับอาการขาดธาตุอาหารในผักกาดหอมและคะน้า โดยปลูกใน Substrate Culture ให้สารละลายที่ขาดธาตุอาหารทั้งหมด 7 กรรมวิธี พบว่า กรรมวิธีที่พืชขาดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม พืชแสดงอาการอย่างรุนแรง คือ พืชชะงักการเจริญเติบโต

Mill and Jones (1996) รายงานว่า ปริมาณของธาตุอาหารจากใบทั้งหมดของผักสลัด มีปริมาณธาตุอาหารในพืชที่แตกต่างกันคือ ไนโตรเจน5% ฟอสฟอรัส 0.6% และ โพแทสซียม 6%

ดิเรก ทองอร่าม (2542) รายงานว่า ปริมาณธาตุอาหารในใบและผลของมะเขือเทศ คือ ไนโตรเจน 2,150 และ 1,800 มิลลิโมลต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ฟอสฟอรัส 125 และ 125 มิลลิโมลต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ และ โพแทสเซียม 770 และ 1,300 มิลลิโมลต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ

แคลเซียมต่อการเจริญเติบโตของพืช

Evans and Kiss (1990) ได้รายงานว่า แคลเซียมเป็นตัวต่อต้านฤทธิ์ของสารออกซิน (auxin) โดยมีผลไปยับยั้งการยืดยาวของรากต้นกล้าข้าวโพด ออกซินเป็นฮอร์โมนที่ช่วยเร่งการขยายตัวของเซลล์ให้ยาวออกไป แคลเซียมสามารถต่อต้านฤทธิ์ของออกซิน มีผลทำให้สารนี้ทำงานได้พอเหมาะ ไม่ทำให้เซลล์พืชผิดปกติ พบว่าในพืชที่ขาดแคลเซียมการแบ่งเซลล์แบบ mitosis ลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Zink and Yamaguchi (1962) แนะนำว่าแคลเซียมที่ระดับ 1.0-1.3 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตที่สมบูรณ์ของพืช ความเข้มข้นของแคลเซียม ในสารละลายไม่กระทบต่อระดับไนโตรเจนหรือ โซเดียม ในราก ลำต้น ใบ หรือตา แต่ในขณะ Sanchez (1980) รายงานว่า ที่ระดับแคลเซียม เพิ่มขึ้น (2.5 ถึง 10 มิลลิอิควิวาเลนต์ต่อลิตร) มีผลทำทำให้ระดับ ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานิส และสังกะสี ลดลงและระดับ โพแทสเซียม กับแคลเซียม เพิ่มขึ้น

แมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของพืช

Erica S. Fischer และ Elke Bremer ศึกษาเกี่ยวกับผลของการขาดแมกนีเซียมต่อการขยายพื้นที่ใบ การแลกเปลี่ยนก๊าซ และความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบ ของถั่วฝักยาว โดยทำการปลูกในตู้ควบคุมสภาพแวดล้อม (Growth Chamber) 21 วันหลังเมล็ดงอก พบว่า 5 วันหลังจากทดลองในกรรมวิธีที่ขาดแมกนีเซียม อัตราการดูดซึมธาตุอาหาร, การขยายของใบ, การคายน้ำ และการชักนำการระเหยของน้ำในใบ ลดลง แต่ในกรรมวิธีที่ให้แมกนีเซียมหลังจากที่ทดลองในตู้ควบคุมสภาพแวดล้อม 7 วัน พบว่า อัตราการดูดซึมธาตุอาหารเพิ่มขึ้น 93% และหลังจากนั้น 12 วัน การคายน้ำเพิ่มขึ้น 7% และการชักนำการระเหยของน้ำในใบเพิ่มขขึ้น 50% เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม

Poole and Seeley (1978) ทำการทดลองในกล้วยไม้สกุล *Cymbidium Phalaenopsis* และ *Cattleya* พบว่าการเจริญเติบโตทางลำต้นลดลงเมื่อได้รับธาตุแมกนีเซียมน้อยลง นอกจากนี้การขาดแมกนีเซียมยังส่งผลทำให้ความเข้มข้นของธาตุแคลเซียมสูงขึ้น

Ruamrungsri *et al.*,(1995) ทำการทดลองในนาซิสซัส พบว่าการขาดแมกนีเซียมส่งผลให้ความเข้มข้นของแคลเซียมในรากเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นของธาตุอื่นๆ แตกต่างกันไปตามพันธุ์

Kinraide (1999) กล่าวว่า ความเข้มข้นของแคดอิออนของ Na^{+}, K^{+} and Mg^{2+} ที่สูงมากส่งผลให้เกิดการแทนที่ของ Ca^{2+} ในเซลล์เมมเบรน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved