บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

มะเขือเทศมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Solanum lycopersicum* L. (Mi *et al*., 2009) อยู่ในวงศ์ Solanaceae (Heuvelink, 2004) เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนและเขตอบอุ่น อุณหภูมิที่เหมาะแก่การเจริญเติบโตและติดผลอยู่ระหว่าง 18.5 - 26.5 องศาเซลเซียส (สุชีลา, 2552) มะเขือเทศสามารถผลิตได้ทุกภาคของประเทศไทย แต่แหล่งผลิตส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งสถานการณ์ตลาดมะเขือเทศในประเทศไทยมีความต้องการมะเขือเทศบริโภคสดและมะเขือเทศอุตสาหกรรมตลอดทั้งปี ทำให้ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกรวมประมาณ 46,000 ไร่ ได้ผลผลิตปีละประมาณ 188,000 ตัน (กุศล และ คณะ, 2545) ในปี 2003 ทั่วโลกมีผลผลิตของมะเขือเทศประมาณ 110 ล้านตัน จากพื้นที่ปลูกทั้งหมด 4.2 ล้านเฮกแตร์ (Heuvelink, 2004)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะเขือเทศ

ลำต้น เมื่ออยู่ระยะต้นกล้าหรือเมื่อเริ่มเจริญเติบโตลำต้นกลม อ่อนเปราะ แต่เมื่อเจริญเติบโตมากขึ้นลำต้นแข็ง เป็นเหลี่ยม (ไฉน, 2542)

ใบ เป็นใบประกอบ จำนวน 7 - 9 ใบย่อย (ไฉน, 2542)

ดอก เป็นดอกสมบูรณ์เพศ มีเกสรเพศผู้ (stamen) รวมกันเป็นหลอดครอบเกสรเพศเมีย (pistil) (มณีฉัตร, 2538) ดอกมีกลีบเลี้ยง 5 - 10 กลีบ กลีบดอก 5 กลีบ สีเหลือง รูปร่างคล้ายหอก เชื่อมติดกันที่โคน (ไฉน, 2542)

ผล เป็นประเภท berry (มณีฉัตร, 2538) รูปทรงของผลมีตั้งแต่กลมไปจนรี ขนาดของผลไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับพันธุ์ สีของผลเกิดจากเม็ดสี 2 ชนิดคือ ไลโคปีน ทำให้เกิดสีแดง และ คาโรทีนอยด์ทำให้เกิดสี ส้ม เหลือง แดง ภายในผลแบ่งเป็นช่องว่าง (locule) ซึ่งมี 2 - 15 ช่อง เมล็ดมีขนาดเล็กล้อมรอบด้วยวุ้น เมื่อล้างวุ้นออกแล้วปล่อยให้เมล็ดแห้งจะมีสีเนื้อเข้มถึงสีน้ำตาลอ่อนรูปร่างกลมแบนปกคลุมด้วยขนสั้นๆทั้งเมล็ด (ไฉน, 2542)

ราก เป็นระบบรากแก้ว มีรากแขนงเจริญไปตามแนวนอนได้ไกลถึง 60 เซนติเมตร และสามารถเจริญในแนวดิ่งได้ลึก 100 - 120 เซนติเมตร อีกทั้งยังสามารถเกิดรากได้ทั่วๆไปตามลำต้นที่สัมผัสกับผิวดิน ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของมะเขือเทศ (ไฉน, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พันธุ์มะเขือเทศ

มะเขือเทศแบ่งตามลักษณะนิสัยการเจริญเติบโตของลำต้น และการเกิดช่อดอกได้เป็น 3 ประเภท ดังต่อไปนี้

1. พันธุ์พุ่ม หรือพันธุ์ไม่ทอดยอด (determinate type) เป็นพันธุ์ซึ่งมีลำต้นเป็นพุ่ม ช่อดอกเกิดได้ทุกสองข้อของลำต้น ส่วนยอดกลายเป็นช่อดอกแทน ออกดอกในระยะเวลาใกล้เคียงกัน ดังนั้นการเก็บเกี่ยวจึงทำได้สะดวกคือสามารถเก็บได้พร้อมๆกัน ตัวอย่างเช่น พันธุ์ไฟร์บอลล์, มาโกลบ, โรมา แอล-15 และแอล-22 เป็นต้น (ไฉน, 2542)
2. พันธุ์เลื้อย หรือพันธุ์ทอดยอด (indeterminate type) ไม่มีดอกที่ปลายยอด ส่วนปลายยอดยังเจริญทางกิ่งก้านใบออกไปเรื่อยๆ นอกเสียจากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมเท่านั้นยอดจึงชะงักการเจริญเติบโต ช่อดอกเกิดทุกๆ 3 ข้อ การปลูกมะเขือเทศพันธุ์นี้ต้องทำค้างโดยใช้ไม้หรือเชือกขึงเป็นค้างเพื่อพยุงต้นทำให้ผลมีคุณภาพดีขึ้น ตัวอย่างพันธุ์เช่น พันธุ์สีดา ฟลอราเดล เป็นต้น(ไฉน, 2542)
3. แบบกึ่งเลื้อย (semi determinate type) มะเขือเทศประเภทนี้ในช่วงแรกจะเจริญเติบโตคล้ายมะเขือเทศแบบพุ่ม แต่มักมีแขนงย่อยเกิดใต้ช่อดอกบนกิ่งแขนงไปได้เรื่อยๆ หรือเมื่อติดผลจำนวนพอสมควรอาจหยุดการเจริญเติบโตชั่วระยะหนึ่ง แต่เมื่อผลแก่ถูกเก็บเกี่ยวไปบ้างแล้วก็จะมีกิ่งแขนงใหม่เจริญเติบโตต่อไปได้อีก (กรุง, 2537) ตัวอย่างเช่น พันธุ์ Celebrity และ พันธุ์ Mountain Pride (Sandy, 2008)

ภาพที่ 1 ลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นมะเขือเทศ A พันธุ์พุ่ม (determinate type) และ B พันธุ์เลื้อย (indeterminate type) (Papadupulos,1991)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมืองทอง และสุรีรัตน์ (2532) แบ่งพันธุ์มะเขือเทศที่ปลูกในประเทศไทยออกเป็น 2 ชนิด คือพันธุ์สำหรับโรงงานแปรรูป และมะเขือเทศรับประทานผลสด คุณสมบัติของทั้งสองชนิดมีดังนี้

มะเขือเทศสำหรับแปรรูป (Processing Tomato) มีการเจริญเติบโตแบบพุ่ม (determinate) ซึ่งมักมีอายุการเก็บเกี่ยวค่อนข้างสม่ำเสมอพร้อมๆกัน เพื่อประหยัดค่าแรงงานในการเก็บเกี่ยว หรือสามารถใช้เครื่องจักรกลในการเก็บเกี่ยวได้ มะเขือเทศกลุ่มนี้ต้องมีคุณสมบัติสำคัญดังนี้

- ผลสุกสีแดงจัด
- ผลแน่นและเปลือกเหนียว ไม่แตกง่ายในขณะขนส่ง
- ไส้กลางของผลควรสั้น เล็ก และไม่แข็ง
- เนื้อมาก
- ขั้วผลที่ยึดติดผลแยกหลุดออกจากผลได้ง่ายขณะเก็บเกี่ยว

มะเขือเทศรับประทานผลสด (Table Tomato) มะเขือเทศชนิดนี้มีทั้งแบบผลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ มีการเจริญเติบโตแบบทอดยอด (indeterminate) มีอายุการเก็บเกี่ยวไม่ค่อยพร้อมกัน จึงสามารถทยอยเก็บส่งตลาดสดได้ต่อเนื่อง และมีผลผลิตสูง มีคุณสมบัติดังนี้

- ลักษณะผลทรงกลมมีขนาดใหญ่
- เนื้อแน่น รสชาติดี
- ผิวเรียบสม่ำเสมอ ไม่มีรอยแตก
- มีไหล่เขียวเล็กน้อย และเมื่อสุกต้องมีผลสีแดงสม่ำเสมอทั้งลูก

โรคของมะเขือเทศและการป้องกันกำจัด

1. โรคเหี่ยวเฉา (Bacterial wilt)

สาเหตุ เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas solanacearum* มะเขือเทศที่เป็นโรคนี้มีอาการเหี่ยวเฉา และบางพันธุ์ตายอย่างรวดเร็ว เมื่อถอนรากมาตรวจพบว่ารากเน่าเปื่อย ถ้าตัดลำต้นตามขวางแล้วเอาไปแช่ในน้ำจะปรากฏมีน้ำสีขาวขุ่นคล้ายยางเหนียวออกมาตรงรอยแผลตัด ซึ่งเป็นน้ำที่มีเชื้อแบคทีเรีย

การป้องกันและการกำจัด เชื้อโรคชอบดินที่เป็นกรด อุณหภูมิและความชื้นสูง ดินที่ขาดไนโตรเจน เชื้อสามารถถูกทำลายได้โดยกำมะถัน ดังนั้นการแก้ไขควรปฏิบัติดังนี้

1. บำรุงดินให้มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงขึ้นด้วยปูนขาว
2. ปลูกพืชหมุนเวียนสลับกัน
3. ใช้อะกริมัยซิน 100 อัตรา 2 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ฉีดพ่น
4. ในดินที่เป็นโรคให้ใส่กำมะถันผงจำนวน 14 กิโลกรัมต่อไร่แล้วทิ้งไว้ให้ผ่านฤดูฝนสัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระยะหนึ่ง จากนั้นปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างด้วยปูนขาวในอัตรา 300 ถึง 400 กิโลกรัมต่อไร่

2. โรคใบจุดต่างๆ

สาเหตุเกิดจากเชื้อราหลายกลุ่มได้แก่ *Alternaria* sp., *Septoria* sp. และ *Cladosporium* sp. มะเขือเทศที่เป็นโรคนี้ มีใบเป็นจุดหลายแบบ เช่น จุดวงกลมสีน้ำตาล และจุดสี่เหลี่ยม เป็นสาเหตุทำให้ใบเหลืองและแห้ง บางครั้งอาจพบเชื้อราเป็นผงสีดำคล้ายกำมะหยี่ในจุดดังกล่าว

การป้องกันและกำจัด ควรฉีดพ่นด้วยสารเคมีป้องกันและกำจัดเชื้อราชนิดต่างๆซึ่งได้ผลดี

3. โรคยอดหงิก

สาเหตุ เกิดจากเชื้อไวรัส มะเขือเทศที่เป็นโรคนี้มีลำต้นแคระแกร็น ใบที่ยอดด่างและหงิกงอ ไม่ออกดอกออกผล หรือออกดอกออกผลเพียงเล็กน้อย

การป้องกันกำจัด

1. กำจัดแมลงศัตรูมะเขือเทศจำพวกแมลงปากดูด
2. ถอนและทำลายต้นที่เป็นโรคด้วยการเผาไฟ
3. ไม่ควรสูบบุหรี่หรือจับต้นที่เป็นโรค แล้วไปจับต้นมะเขือเทศที่ไม่เป็นโรค ซึ่งทำให้โรคระบาดติดต่อกันได้ง่าย (ไฉน, 2542)

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Hydroponics)

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หรือที่เรียกว่า การปลูกพืชในสารละลาย (Hydroponics) มาจากภาษากรีกสองคำ คือ คำว่า “hudro” หมายถึง น้ำ และ “ponus” หมายถึง งาน เมื่อรวมความของทั้งสองคำหมายถึง การปฏิบัติงานเกี่ยวกับน้ำ แต่โดยความหมายจริงๆนั้นมีความหมายเกี่ยวข้องกับการใช้สารละลาย หรือการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (ถวัลย์, 2534) การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเป็นการปลูกพืชเลียนแบบการปลูกพืชบนดิน โดยใช้วัสดุปลูกหรือไม่ต้องมีวัสดุปลูกก็ได้ แต่ให้พืชได้รับสารอาหารอย่างเพียงพอจากสารละลายธาตุอาหาร โดยควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช (ดิเรก, 2547)

ประเภทของการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. การปลูกเลี้ยงในสารละลายโดยตรง (water culture) เป็นการปลูกเลี้ยงที่ระบบรากของพืชสัมผัสกับสารละลายโดยตรง พืชเจริญอยู่ในสารละลายธาตุอาหารที่มีองค์ประกอบของธาตุ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่างๆ ที่พืชต้องการอย่างเหมาะสม ส่วนวัสดุที่ใช้พยุงลำต้นอาจเป็นตาข่าย หรือโฟม ซึ่งจะอยู่บริเวณส่วนบนของสารละลาย (Mason, 1990) ระบบการปลูกพืชในสารละลายนี้แบ่งได้เป็น 4 ระบบคือ

1.1 Nutrient Film Technique (NFT) เป็นการปลูกพืชในรางตื้นๆ ที่ติดตั้งให้มีความลาดเอียง 1-3 เปอร์เซ็นต์ โดยให้สารละลายไหลผ่านรากพืชเป็นชั้นแผ่นผิวบางๆ หนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร สารละลายจะไหลหมุนเวียนผ่านรากตลอดเวลา ความยาวของระบบไม่ควรเกิน 20 เมตร เนื่องจากจะเกิดความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนระหว่างหัวระบบและท้ายระบบ (อานัฐ, 2549)

1.2 Dynamic Root Floating (DRF) เป็นระบบที่ทำให้รากพืชแช่อยู่ในสารละลายส่วนหนึ่งและอีกส่วนหนึ่งลอยอยู่ในอากาศ (อานัฐ, 2549) ซึ่งเมื่อรากพืชเจริญลงมาถึงสารละลายแล้ว จึงลดระดับของสารละลายให้ต่ำลงปล่อยให้มีช่องว่างของอากาศ (โสระยา, 2544) เพื่อช่วยในการหายใจ ทำให้พืชสามารถเจริญในสารละลายที่มีอุณหภูมิสูงได้ดีขึ้น (อานัฐ, 2549)

1.3 Deep Floating Technique (DFT) เป็นระบบที่รากของพืชแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลา โดยสารละลายลึก 15- 20 เซนติเมตร (อานัฐ, 2549) ใช้วัสดุน้ำหนักเบา เช่น โฟม พยุงลำต้นพืชให้ลอยอยู่ในสารละลาย โดยเจาะรูโฟมไว้เพื่อปลูกพืชลงไป สารละลายมีการหมุนเวียนกลับมาตลอดเวลา (โสระยา, 2544)

1.4 Aeroponics เป็นการปลูกพืชโดยปล่อยให้รากพืชลอยอยู่ในอากาศ ปราศจากวัสดุยึดเหนี่ยวและมีการฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหารให้กับรากเป็นระยะๆ (โสระยา, 2544)

2. การปลูกเลี้ยงในวัสดุที่ไม่ใช้ดิน (substrate culture) รากของพืชเจริญในวัสดุที่ปลูกชนิดต่างๆ ที่เป็นของแข็ง มีการให้สารละลายในรูปของสารละลายหรือปุ๋ยเม็ดก็ได้ วัสดุที่ใช้เป็นวัสดุที่มีธาตุอาหารพืชอยู่น้อยหรือไม่มีเลย ส่วนใหญ่มักเก็บความชื้นได้ดีและระบายน้ำดี มีความคงทนไม่ย่อยสลายง่าย ตัวอย่างเช่น การปลูกในทราย (sand culture) การปลูกในกรวด (gravel culture) การปลูกในใยหิน (rookwool) การปลูกในขี้เลื่อย (sawdust culture) และการปลูกในแผ่นฟองน้ำเป็นวัสดุปลูก (plastoponics) (Mason, 1990)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การปลูกพืชในวัสดุปลูกที่ไม่ใช้ดิน (substrate culture)

เป็นวิธีการปลูกพืชในวัสดุปลูกที่ไม่ใช่ดิน เช่น สารอินทรีย์ ได้แก่ มะพร้าวสับ แกลบ ฟางข้าว เปลือกถั่ว ชานอ้อย ฯลฯ และวัสดุที่เป็นสารอนินทรีย์ เช่น ทราย กรวด ดินเผา เพอร์ไลท์ เวอร์มิคูไลท์ ใยหิน เป็นต้น การปลูกพืชระบบนี้นิยมกันมากในเขตที่มีปริมาณน้ำน้อย และใช้ปลูกพืชที่มีอายุเก็บเกี่ยวยาว สำหรับประเทศไทยนิยมใช้เปลือกมะพร้าวสับ ในการปลูกพริกหวาน มะเขือเทศ และแตงเมลอน เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายและไม่แพง อุ้มน้ำได้ดี โปร่งเบา แต่มักมีปัญหาในเรื่องการสะสมของเกลือ จึงควรนำมาแช่น้ำก่อนนำไปเป็นวัสดุปลูก รูปแบบการปลูกพืชในวัสดุปลูกที่ไม่ใช้ดิน มีดังนี้

1. ปลูกในถุง

ใช้ถุงพลาสติกที่ป้องกันรังสียูวีได้ โดยเฉพาะถุงพลาสติกที่มีสีขาวด้านนอกสามารถสะท้อนรังสีได้ดี เป็นการลดความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้ ในการปลูกควรวางถุงพลาสติกบนพื้นที่ปูพลาสติกคลุมดินไว้ เพื่อป้องกันการติดเชื้อโรคจากดิน

2. ปลูกในกระสอบ

เป็นการปลูกพืชบนกระสอบที่ใส่วัสดุปลูกไว้ภายใน โดยทั่วไปนิยมใช้กระสอบพลาสติกที่มีความจุ 50 กิโลกรัม โดยเจาะรูปลูกกระสอบละ 6 ต้น วิธีนี้มีปัญหาคือถ้ามีแสงแดดส่องกระสอบโดยตรงกระสอบจะแตกได้ง่าย

3. ปลูกในราง

เป็นการปลูกในรางยาวที่ใส่วัสดุปลูกไว้ภายในราง โดยทั่วไปนิยมใช้พลาสติกแข็งสีดำหนา 2 มิลลิเมตร ปูพื้นและกั้นด้านข้างให้เป็นขอบขึ้นมาให้มีความสูงจากพื้น 20 - 25 เซนติเมตร ยึดขอบด้านข้างกับเสาเหล็กที่ฝังอยู่กับดิน ระยะห่างของเสาประมาณ 2 เมตร ใส่วัสดุปลูกลงไปในช่องปลูกหนา 15 - 20 เซนติเมตร (อานัฐ, 2549)

วัสดุปลูก

หน้าที่ของวัสดุปลูก ที่สำคัญคือ เป็นที่ยึดเกาะค้ำยันของต้นพืช เป็นแหล่งสะสมน้ำแก่พืชเป็นแหล่งให้อากาศแก่พืช และเป็นแหล่งให้อาหารแก่พืช (ชัยสิทธิ์, 2549)

คุณสมบัติของวัสดุปลูก

ลักษณะของวัสดุปลูกที่ดีต้องอุ้มน้ำไว้ได้ในช่องอากาศระหว่างก้อนวัสดุ แต่ความสามารถในการอุ้มน้ำของวัสดุปลูกต้องขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุปลูก ซึ่งมักมีขนาดรูปร่าง คุณภาพของเนื้อวัสดุและความพรุนของวัสดุที่แตกต่างกันด้วย ในกรณีที่วัสดุปลูกมีขนาดเล็ก วัสดุนี้มีพื้นที่ผิวมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และถ้าความพรุนมากด้วยทำให้ช่วยอุ้มน้ำไว้ได้มาก ผิววัสดุมีความสำคัญต่อการอุ้มน้ำเช่นเดียวกัน วัสดุที่มีผิวเรียบหรือผิวมันจะยึดโมเลกุลน้ำไว้ได้น้อยกว่าวัสดุที่มีผิวขรุขระหรือผิวหยาบ (โสระยา, 2543 ; นพดล, 2550) วัสดุปลูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1. อินทรีย์วัสดุ (Organic media)

เป็นวัสดุที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีข้อดีคือ มักเป็นวัสดุที่อุ้มน้ำและระบายอากาศดี มีคุณสมบัติเป็น pH-buffering แต่ก็มีข้อเสียคือ อาจมีโรคและแมลงติดมา อินทรีย์วัสดุที่ใช้ในระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดิน (โสระยา, 2544) ได้แก่

1.1 พีท (Peat) เกิดจากการย่อยสลายของซากพืชในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน หรือเกือบไม่มีออกซิเจน มีความเป็นกรด-ด่าง ต่ำ และมีธาตุอาหารน้อย ความหนาแน่นรวมประมาณ 0.03 - 0.14 กรัมต่อมิลลิลิตร (โสระยา, 2544) แต่พีทมีการตรึงธาตุทองแดงทำให้พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์และมีการแสดงอาการขาดธาตุนี้ จึงต้องนำไปผสมกับทราย เช่น ผสมพีทกับทรายในอัตราส่วน 1 : 3 สำหรับต้นกล้า และ 3 : 1 สำหรับพืชที่โตแล้ว (มนูญ, 2544)

1.2 ขี้เลื่อย (Sawdust) มีสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ประมาณ 250 - 800 ขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ การใช้ขี้เลื่อยมาเป็นวัสดุปลูกต้องนำมาหมักให้ย่อยสลายก่อน (โสระยา, 2544) อาจมีปัญหาการเกิดโรคเน่าจากเชื้อ *Pythium* และ *Phytophthora* (มนูญ, 2544)

1.3 ขุยมะพร้าว (Coconut coir) มีคุณสมบัติในการระบายน้ำได้ สามารถนำมาผสมกับทราย ทำให้ความพรุนและความหนาแน่นรวมของอนุภาคเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของช่องว่างมีขนาดใหญ่ เหมาะแก่การนำมาใช้ปลูกพืชไม่ใช้ดินหรือเพาะกล้าต้นพืช (ถวิล, 2546)

1.4 ถ่านแกลบ (Rice husk charcoal) เป็นวัสดุที่ได้จากการเผาของโรงสีข้าว เพื่อเป็นพลังงานส่วนที่เหลือเป็นถ่านแกลบสีดำ คุณสมบัติอุ้มน้ำได้ดี มีความพรุนที่เหมาะสมและมีความสะอาด เหมาะแก่การนำมาใช้ปลูกพืชไม่ใช้ดินแบบ substrate culture หรือเป็นวัสดุในการเพาะกล้า นิยมผสมกับทรายละเอียด (มนูญ, 2544)

1.5 เปลือกข้าว (Rice-hull) ก่อนนำมาใช้ต้องนำไปหมักให้ย่อยสลายก่อน โดยทั่วไปมักจะนำมาผสมกับวัสดุอื่น เช่น ทราย และขี้เถ้าแกลบ (โสระยา, 2544)

2. อนินทรีย์วัสดุ (Inorganic media)

มีปริมาณมากที่สุดในดินทั่วไป ได้จากการผุพังสลายตัวของหินและแร่ มีขนาดแตกต่างกันไปทั้งขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร ที่เป็นอนุภาคทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว และชิ้นส่วนทราย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หยาบที่มีขนาด 2 มิลลิเมตรหรือใหญ่กว่า อนินทรีย์วัตถุเป็นตัวควบคุมลักษณะเนื้อดินเป็นแหล่งธาตุอาหารของพืชและจุลินทรีย์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

2.1 ทราย (Sand) มีแหล่งกำเนิดจากชายทะเลหรือแม่น้ำ ขนาดที่ใช้เป็นวัสดุปลูกมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5 - 2 มิลลิเมตร ความสามารถอุ้มน้ำดีกว่ากรวดไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารละลายธาตุอาหาร มีอายุการใช้งานนาน ความคงทนของโครงสร้างดี แต่ความพรุนต่ำ จึงทำให้อัดตัวแน่นอาจมีปัญหาการระบายน้ำ และอากาศ (โสระยา, 2544) อาจจำเป็นต้องนำทรายหยาบและทรายละเอียดปนกัน (มนูญ, 2544)

2.2 กรวด (Gravel) โดยทั่วไปไม่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุปลูกเนื่องจากมีขนาดใหญ่และไม่มีความสามารถในการดูดซับน้ำ (มนูญ, 2544) แต่ถ้าหากจำเป็นต้องใช้ควรเลือกให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอนุภาคประมาณ 0.75 เซนติเมตร และควรมีอนุภาคเล็กกว่า 1 เซนติเมตร ไม่ควรมีวัสดุละเอียดที่มีขนาดเล็กว่า 1 มิลลิเมตร เจือปน ไม่ควรใช้กรวดที่ได้จากหินปูน เพราะจะทำให้ค่า pH สูงขึ้น หรือหากจำเป็นต้องใช้ ควรมีการควบคุมระดับความเข้มข้นของแคลเซียม แมกนีเซียม ในสารละลายธาตุอาหารที่จะให้ต่ำกว่าปกติ (โสระยา, 2544)

2.3 เวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite) เป็นแร่ที่พบในรูป aluminum iron-magnesium silicate ในทางพืชสวนมี 2 ขนาด คือขนาดเล็กมากสำหรับเพาะกล้า และขนาด ¼ นิ้วใช้สำหรับเป็นวัสดุปลูกพืชไม่ใช้ดิน (มนูญ, 2544) โครงสร้างของเวอร์มิคูไลท์ใช้ได้นานถึงสองปี ก็จะยุบตัว เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีราคาค่อนข้างแพงจึงมักไม่ค่อยนิยมเป็นการค้า (Schwarz, 1995)

2.4 เพอร์ไลท์ (Perlite) เป็นวัสดุที่ได้จากการเผาหินภูเขาไฟที่อุณหภูมิประมาณ 1000 องศาเซลเซียส ได้วัสดุที่มีน้ำหนักเบา มีความชื้นประมาณ 2-5 เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่นรวม 130 -180 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (โสระยา, 2544) มีความโปร่งในตัวที่อากาศสามารถผ่านเข้าออกได้สะดวก มีค่า pH ต่ำ (นพดล, 2538)

2.5 เม็ดดินเหนียว (Clay pellets หรือ Expanded clay pellets) ได้จากการเผาดินเหนียวด้วยอุณหภูมิสูงประมาณ 1100 องศาเซลเซียส นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุปลูก ขนาดของเม็ดดินประมาณ 4 - 16 มิลลิเมตร มีความหนาแน่นรวมต่ำประมาณ 0.3 - 0.6 กรัมต่อมิลลิเมตร และปลดปล่อยธาตุอาหารได้บ้าง (โสระยา, 2544)

3.วัสดุอื่นๆ

เป็นวัสดุที่สามารถประยุกต์ใช้ในการปลูกพืชไม่ใช้ดิน โดยวัสดุที่นำมาใช้ต้องคำนึงถึงสิ่งต่างๆดังนี้ การค้ำจุนพืชที่ปลูก การเก็บกักน้ำเพื่อเป็นประโยชน์และแลกเปลี่ยนธาตุอาหาร (มนูญ, 2544) เช่น พลาสติกโฟม (Foam plastic) ที่นิยมใช้ได้แก่ polyurethane และ polysterene วัสดุ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประเภทนี้มีการใช้กันมากในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินเนื่องจากมีน้ำหนักเบา (โสระยา, 2544) ปลอดเชื้อไวรัสและเชื้อโรคอื่นๆ แต่เนื่องจากคุณสมบัติหยุ่นตัวที่เป็นอยู่ทำให้ไม่นิยมใช้ปลูกพืชขนาดใหญ่ เพราะว่าทำให้ลำต้นมักโอนเอน และล้มง่าย (นพดล, 2538)

ข้อดีข้อเสียของวัสดุปลูกแต่ละประเภท

การใช้อินทรียวัตถุเป็นวัสดุปลูก

ข้อดีคือ วัสดุมีช่องว่างมาก และมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีกว่า ในปุ๋ยหมักชีวภาพมีจุลินทรีย์บางชนิดที่สามารถช่วยลดโรคทางรากบางชนิดได้ และยังมีราคาถูกหาซื้อได้ง่าย

ข้อเสียคือ มีจุลินทรีย์ปนเปื้อนในวัสดุปลูกเมื่อปลูกเป็นระยะเวลานาน อัตราการยุบตัวของวัสดุปลูกสูง และวัสดุปลูกไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

การใช้อนินทรีย์วัตถุเป็นวัสดุปลูก

ข้อดีคือ ไม่มีปัญหาในเรื่องการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค มีความคงทนสูง นำไปฆ่าเชื้อแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

ข้อเสียคือ มีช่องว่างน้อย ไม่สามารถดูดซับน้ำได้ หรือดูดซับได้น้อย มีน้ำหนักมาก และราคาแพง (อานัฐ, 2549)

การให้สารละลายธาตุอาหาร

สำหรับรูปแบบการให้สารละลายกับวัสดุปลูก คือ การให้น้ำในระบบหยด โดยจะติดตั้งท่อพลาสติกหลัก (PVC) และใช้ท่อพีอีที่มีความยืดหยุ่น และมีรูระบายน้ำขนาดเล็กตรงปลายท่อ ต่อไปยังต้นพืชแต่ละต้น ระบบนี้ต้องคอยระวังหัวปล่อยสารละลายอุดตัน และแรงดันน้ำของหัวปล่อยน้ำแต่ละหัวไม่เท่ากัน ซึ่งจำเป็นต้องใช้ตัวปรับแรงดัน (อานัฐ, 2549) ระยะเวลาการให้สารละลายธาตุอาหารขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น (โสระยา, 2544)

1. รูปร่างความพรุนของวัสดุ หากวัสดุค่อนข้างกลมและลื่น จำเป็นต้องมีการให้สารละลายบ่อยครั้งกว่าปกติ

2. ขนาดอนุภาคของวัสดุ ถ้ามีขนาดใหญ่จะต้องให้สารละลายบ่อยครั้งกว่าวัสดุที่มีอนุภาคขนาดเล็ก

3. ความต้องการของพืช ขึ้นอยู่กับพืชแต่ละชนิด ซึ่งแตกต่างกัน

4. สภาพอากาศในขณะนั้น เช่น หากมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากลม อุณหภูมิสูง ต้องมีการให้สารละลายบ่อยครั้งกว่าปกติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงก่อนให้สารละลายธาตุอาหารแก่พืช คือ ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งวัดเป็นค่าความนำไฟฟ้าของสารละลาย (Electrical Conductivity, EC) และ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในสารละลาย (โสระยา, 2544)

การปรับค่า pH ในสารละลาย

ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายธาตุอาหารและวัสดุปลูก มีผลต่อการที่พืชดูดธาตุอาหารในสารละลายนั้นๆ ไปใช้ได้มากน้อยเพียงใด สารละลายที่มีค่าความเป็นกรดมาก (pH ประมาณ 4) เป็นอันตรายต่อรากพืชได้ ในขณะเดียวกันหากค่า pH สูงเกินไปก็ทำให้การดูดธาตุเหล็ก ฟอสฟอรัส และแมงกานีส ผิดปกติไปด้วย (โสระยา, 2544) การปลูกพืชในสารละลายจึงต้องวัดค่า pH สม่ำเสมอและปรับค่า pH อยู่ในระดับ 5.5 - 6.0 ซึ่งเมื่อเตรียมสารละลายใหม่หากค่า pH สูง สามารถปรับโดยใช้กรดไนตริก หรือกรดฟอสฟอริก ในการปรับค่า pH โดยใช้กรดไนตริกที่จำหน่ายทางการค้า ซึ่งมีความเข้มข้นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ต้องนำมาเจือจางด้วยน้ำ 10 เท่าก่อนแล้วจึงนำมาใช้ปรับค่า pH ในถังเก็บสารละลายโดยค่อยๆเติมที่ละ 100 มิลลิลิตร จนกว่าค่า pH อยู่ในช่วง 5.5 - 6.0 (อานัฐ, 2549)

การปรับค่า EC ในสารละลาย

เนื่องจากสารละลายธาตุอาหารพืชเป็นสารประกอบพวกเกลือ ซึ่งสามารถละลายในน้ำและอยู่ในรูปของไอออนบวกและไอออนลบ สารละลายธาตุอาหารพืชจึงเป็นสารตัวนำไฟฟ้า สารละลายธาตุอาหารพืชเป็นตัวนำไฟฟ้าได้น้อยเมื่อมีสารประกอบเกลือละลายอยู่น้อย แต่เป็นตัวนำไฟฟ้าได้มากขึ้นเมื่อมีสารประกอบเกลือละลายมากขึ้น (นพดล, 2550) สามารถวัดเป็นค่าความนำกระแสไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) ที่มีหน่วยเป็นโมห์ (Mho) แต่ค่าของการนำไฟฟ้านี้ค่อนข้างน้อยมากจึงมีการวัดเป็นหน่วยมิลลิโมห์ หรือนิยมอ่านค่าเป็นมิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร (mS/cm) อันเป็นค่าที่ได้จากการวัดการนำกระแสไฟฟ้าจากพื้นที่หนึ่งลูกบาศก์เซนติเมตรของสารละลายธาตุอาหาร ค่า EC เป็นค่ารวมของการนำไฟฟ้าของน้ำกับธาตุอาหารทั้งหมด แต่ไม่สามารถวัดค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละธาตุได้ (ดิเรก, 2547) การเตรียม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารละลายธาตุอาหาร ต้องเติมสารละลายธาตุอาหารเข้มข้น (สต็อค A และสต็อค B) ลงไปเพื่อเพิ่มค่า EC พร้อมกับวัดค่า EC พร้อมกันไปจนกระทั่งได้ค่า EC ตามที่ต้องการ (อานัฐ, 2549)

บทบาทและหน้าที่ของธาตุอาหารในพืช

มหธาตุหรือธาตุอาหารหลัก (macronutrient) คือธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก เพื่อใช้ในการดำรงชีวิตให้สมบูรณ์ได้ตามปกติ (โสระยา, 2544) 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 ส่วนธาตุที่เหลือพืชได้รับจากดิน หรือการให้ธาตุอาหารเหล่านี้โดยตรงในรูปของปุ๋ย (ยงยุทธ, 2543)

จุลธาตุหรือธาตุอาหารรอง (micronutrient) คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อยแต่ขาดไม่ได้ (โสระยา, 2544) มี 7 ธาตุ ได้แก่ โบรอน (B) เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) โมลิบดินัม (Mo) และคลอรีน (Cl) ส่วนใหญ่พืชต้องการในปริมาณน้อยกว่า 100 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้งของพืชหนัก 1 กรัม (ยงยุทธ, 2543)

ไนโตรเจน (Nitrogen)

พืชสามารถใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนได้ในรูปของแอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเตรท (NO_3^-) ประมาณ 80 - 85 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดในพืช เป็นองค์ประกอบของโปรตีน ส่วนอีกประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอีก และอีก 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบของสารละลายกรดอะมิโน (soluble amino N) (โสระยา, 2544) ในพืชบางชนิดจะมีจุลินทรีย์ช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศ เปลี่ยนมาเป็นรูปไนเตรทที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ เช่น ในรากพืชตระกูลถั่ว มีไรโซเบียมช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้พืชสามารถนำไปใช้ได้ (สมบูรณ์, 2544)

ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของโปรตีนซึ่งมีหน้าที่สำคัญมากในเซลล์โดยเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของไซโตพลาสซึม (cytoplasm) เนื้อเยื่อ และเอนไซม์ นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนอิสระและสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ เช่น อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (adenosinetriphosphate, ATP) และโคเอนไซม์ (co-enzyme) เป็นต้น ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน และเป็นศูนย์ข้อมูลทางพันธุกรรม เป็นองค์ประกอบของฮอร์โมนพืช คือ ออกซิน (auxins) และไซโตไคนิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(cytokinins) เป็นองค์ประกอบของสารประกอบไนโตรเจนที่พืชสะสมไว้ (reserves) เพื่อทำหน้าที่ป้องกัน (protective compounds) เช่น นิโคติน (nicotine) จากใบยาสูบ และมอร์ฟีน (morphine) จากฝิ่น ซึ่งเป็นอัลคาลอยด์ (alkaloid) (ยงยุทธ, 2543) ในพืชบางชนิดมีจุลินทรีย์ช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศ เปลี่ยนมาเป็นรูปเกลือไนเตรทที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ เช่น ในรากพืชตระกูลถั่วมีไรโซเบียมช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้พืชนำไปใช้ได้ นอกจากนี้พืชอาจได้รับไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์ เช่น ยูเรีย เป็นต้น (สมบุญ, 2536)

ลักษณะอาการของพืชที่ได้รับธาตุไนโตรเจนในปริมาณที่ไม่เหมาะสม

1. ลักษณะอาการขาดธาตุไนโตรเจนในพืช

พืชแต่ละชนิดแสดงอาการขาดธาตุแตกต่างกันไป เช่น อาการขาดไนโตรเจนของข้าวโพดใบมีลักษณะสีเหลืองที่ปลายใบแล้วลามเข้ามาสู่เส้นกลางใบ เป็นลักษณะรูปร่างคล้ายตัววี (V-shape) โดยทั่วไปแล้วพืชที่ขาดธาตุไนโตรเจนมักแสดงอาการ ดังต่อไปนี้

1.1 ใบล่างของพืชเป็นสีเหลือง หรือเหลืองปนส้ม พืชบางชนิดลำต้นอาจมีสีเหลืองปลายใบ และขอบใบค่อยๆ แห้งและลุกลามเข้าไป จนในที่สุดใบร่วงหล่นไปจากต้น

1.2 ลำต้นผอมสูง ใบ กิ่งก้านลีบเล็ก และมีจำนวนน้อย

1.3 พืชไม่เติบโตหรือโตช้ามาก แคระแกร็น การแตกยอดและกิ่งก้านมีน้อย

1.4 ให้ผลผลิตต่ำ คุณภาพไม่ดี โปรตีนน้อย

2. ลักษณะอาการของพืชที่ได้รับธาตุไนโตรเจนมากเกินไป

หากพืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไปแสดงอาการเฝือใบ ลำต้นอวบน้ำ มีการหักล้มได้ง่าย และมีการแตกกอมากเกินไป ถ้าไม้ผลที่กำลังติดผล ทำให้ผลร่วงและมีการแตกใบอ่อนแทนการแตกช่อดอก ผลแตกทำให้มีโรคและแมลงเข้าทำลาย หากพืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไปตั้งแต่ระยะแรก มีผลทำให้ส่วนเหนือดินหรือลำต้นเจริญเติบโตเร็วแต่ส่วนรากเจริญเติบโตช้า ทำให้พืชดูดน้ำอาหารน้อยกว่าที่ต้องการ ส่งผลกระทบต่อสัณฐานลักษณะของพืช เช่นใบข้าวยาวและกว้างกว่าปกติ แต่ใบบางลง ใบอ่อนแล้วโค้งตัวลง (มุกดา, 2544)

ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

พืชต้องการฟอสฟอรัส 0.3-0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง เพื่อให้การเจริญเติบโตทางใบเป็นไปตามปกติ สำหรับระดับฟอสฟอรัสที่ถือว่าเป็นพิษ คือสูงกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง (ยงยุทธ, 2543) พบฟอสฟอรัสมากในเมล็ด ผล และเนื้อเยื่อเจริญ (นพดล, 2538) ฟอสฟอรัสที่พืชดูดขึ้นไปส่วนใหญ่อยู่ในรูปของอนินทรีย์ฟอสเฟต เช่น โมโนเบสิกออโทฟอสเฟต (H_2PO_4) การใช้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในดินนั้นใช้ได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่าง ของดิน ซึ่งหากค่า pH ไม่เหมาะสม เช่น ดินมีค่าเป็นกรดจะส่งเสริมการตรึงฟอสเฟตให้อยู่ในรูปของเหล็กและอะลูมิเนียมฟอสเฟตซึ่งยากแก่การที่นำไปใช้ประโยชน์ พืชส่วนใหญ่เก็บอนินทรีย์ฟอสเฟตไว้ในแวคิวโอลของส่วนที่เป็น vegetative organs (โสระยา, 2544) นอกจากพืชดูดซึมธาตุฟอสฟอรัสทางรากในรูปของเกลือฟอสเฟตแล้ว รากพืชยังดูดซึมธาตุฟอสฟอรัสในรูปของกรดนิวคลีอิกได้ (นพดล, 2538) การแพร่กระจายของปริมาณฟอสฟอรัสพบตามระดับความลึกของชั้นดินที่ใช้เพาะปลูกนั้น โดยดินชั้นบนมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าดินชั้นล่างที่มีรากพืชแพร่กระจายอยู่ เนื่องจากพืชมีการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสในระยะใกล้รากมากกว่าระดับผิวดิน และในระดับผิวดินพบว่าธาตุฟอสฟอรัสที่ได้จากการสลายตัวของซากพืชซากสัตว์และจากการใส่ปุ๋ยบนดิน ถึงแม้ว่าดินชั้นบนมีการชะล้างของฟอสฟอรัสสู่ดินชั้นล่าง แต่เนื่องจากอัตราที่พืชดูดใช้ฟอสฟอรัสจากดินชั้นล่างมาใช้มากกว่าปริมาณที่ถูกชะล้างสู่ดินชั้นล่าง ดังนั้นการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจึงต้องให้ในตำแหน่งบริเวณรากพืช (มุกดา, 2544)

บทบาทของฟอสฟอรัส

1. เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์โปรตีนและเป็นองค์ประกอบของดีเอ็นเอ (DNA) ซึ่งเป็นศูนย์ข้อมูลทางพันธุกรรม

2. เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของฟอสโฟลิปิด (phospholipid) ในเยื่อหุ้มเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

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 (RuBP) และphosphoglyceraldehyde 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)

6. เป็นตัวช่วยในกระบวนการสลายแป้งให้เป็นน้ำตาลและกระบวนการสังเคราะห์แป้งจากน้ำตาล ธาตุฟอสฟอรัสยังเป็นส่วนประกอบของสารไฟติน (Phytin) (ถวิล, 2546) ซึ่งเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารอินทรีย์ฟอสเฟตชนิดหนึ่งที่มักพบในเมล็ดและผล ซึ่งพืชเก็บรักษาฟอสฟอรัสไว้ในรูปของไฟติน เพื่อใช้ในกระบวนการงอกของเมล็ด (โสระยา, 2544)

อาการขาดธาตุฟอสฟอรัส

เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ดี ดังนั้นอาการขาดธาตุจึงมักแสดงที่ใบแก่ก่อน โดยใบเป็นสีม่วงแดงหรือเขียวปนน้ำเงิน (โสระยา, 2544) เนื่องจากเมื่อพืชขาดฟอสฟอรัสมีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ภายในเซลล์ ในขั้นแรกอัตราการสังเคราะห์แสงยังปกติ แต่อัตราการหายใจลดลง ทำให้เกิดการสะสมของคาร์โบไฮเดรต หลังจากนั้นใบพืชที่มีสีเขียวเข้มเกิดสารสะสมของเม็ดสี (pigment) พวกแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ที่ลำต้นและก้านใบ ทำให้ก้านใบเป็นสีชมพู ใบเป็นจุดแห้งตาย (necrotic) การเจริญของพืชหยุดชะงักลำต้นแคระแกร็น นอกจากนี้พืชที่ขาดฟอสฟอรัสมีผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชช้า และยังมีผลทำให้เกิดการพักตัวของตาข้าง (leteral bud dormancy) ตลอดทั้งการออกดอก (สมบุญ, 2536) ซึ่งมีผลทำให้การติดผลและเมล็ดของพืชน้อยลง ผลไม้ที่ได้รับธาตุฟอสฟอรัสเพียงพอ ผลสามารถเจริญเติบโตเป็นปกติ และสุกเร็วกว่าต้นที่ได้รับธาตุฟอสฟอรัสไม่เพียงพอ (ถวิล, 2546)

โพแทสเซียม (Potassium)

รูปของโพแทสเซียมที่มีประโยชน์ต่อพืช คือ K^+ เมื่ออยู่ในพืชโพแทสเซียมสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายมาก ไม่ว่าการเคลื่อนย้ายภายในเซลล์ ระหว่างเซลล์ในเนื้อเยื่อ การเคลื่อนย้ายระยะไกลผ่านท่อลำเลียงน้ำ (xylem) และท่อลำเลียงอาหาร (phloem) ในเชิงปริมาณธาตุนี้มีในพืชมากกว่าแคตไอออนอื่นๆ (ยงยุทธ, 2543) พบมากในบริเวณส่วนอ่อนของพืช เช่น ในเนื้อเยื่อเจริญบริเวณยอดของต้น ปลายราก ตาข้าง ใบอ่อน เนื้อใบ (mesophyll) ในใจกลางของลำต้น (pith) และในท่อลำเลียงอาหาร (นพดล, 2538) ความเป็นประโยชน์ของธาตุโพแทสเซียมขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ของดิน เช่น ลักษณะเนื้อดิน อนุภาคดินเหนียวที่เกี่ยวข้องกับการตรึงโพแทสเซียม กระบวนการชะล้าง และการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (มุกดา, 2544)

หน้าที่ของโพแทสเซียม

1. โพแทสเซียมจำเป็นในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน โดยช่วยในการรวมกรดอะมิโนให้เป็นเพปไทด์ และช่วยในการสังเคราะห์เอนไซม์ RuDP carboxylase ที่ใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนในคลอโรพลาสต์ ดังนั้นเมื่อมีการสังเคราะห์โปรตีนในเซลล์พืชในปริมาณที่พอเหมาะเซลล์จะอิ่มน้ำ ทนต่อความแล้งได้ดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. โพแทสเซียมกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์รวมตัวกับสารอื่นได้ง่ายขึ้น เช่น เอนไซม์ pyruvate kinase ถูกเปลี่ยนเป็น pyruvate ในกระบวนการ Kreb cycle และช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ 6-phoshofructokinese โดยโพแทสเซียมช่วยในการเปลี่ยนโครงรูปของโปรตีนในเอนไซม์ จึงช่วยให้เอนไซม์สามารถเร่งปฏิกิริยาด้วยอัตราสูงสุด

3. โพแทสเซียมช่วยส่งเสริมการสังเคราะห์แสงมากขึ้น โดยส่งเสริมการดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) ควบคุมการเปิดปิดปากใบ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเซลล์คุม มีผลต่อความเต่งของเซลล์ ดังนั้น เมื่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเซลล์คุมเพิ่มขึ้น น้ำเคลื่อนย้ายจากเซลล์ข้างเคียงเข้ามาในเซลล์คุม จึงทำให้เซลล์คุมเต่งและปากใบเปิด มีผลต่อเนื่องกับการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และกระบวนการสร้างคาร์โบไฮเดรต มีการสะสมแป้งและน้ำตาล ช่วยการลำเลียงสารต่างๆ ในเซลล์พืช

4. โพแทสเซียม ช่วยในการควบคุมศักย์ออสโมซิส ซึ่งมีผลต่อการขยายขนาดเซลล์ เนื่องจากก่อนมีการขยายเซลล์ มีการสะสมโพแทสเซียมเพื่อให้มีการควบคุมระดับ pH ในไซโทพลาสซึม โพแทสเซียมช่วยลดศักย์ออสโมซิส โดยทำให้น้ำเคลื่อนย้ายเข้าสู่เซลล์ แล้วมีการขยายขนาดเซลล์ขึ้น มีผลต่อการเกิดใบหุบตอนกลางคืน ส่วนในตอนกลางวันเกิดการเคลื่อนย้ายโพแทสเซียมในทางตรงกันข้าม ทำให้ใบตั้งขึ้นและสามารถรับแสงได้ตามปกติ ส่วนการเกิดใบสะดุ้งเป็นการตอบสนองต่อสิ่งเร้า เช่น ไมยราบ เป็นผลเนื่องจากการปรับความเต่งของเซลล์ที่นวมโคนใบ โดยการกระจายของโพแทสเซียมจากด้านหนึ่งไปยังด้านหนึ่ง จึงมีผลทำให้เซลล์ด้านหนึ่งเต่งส่วนอีกด้านหนึ่งแฟบ (มุกดา, 2544)

อาการเป็นพิษเนื่องจากจากโพแทสเซียมมักไม่ค่อยพบ เนื่องจากพืชไม่ดูดโพแทศเซียมมากจนเกินความจำเป็น อย่างไรก็ตามระดับความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่มีมากเกินไป จะมีผลต่อการดูดธาตุตัวอื่น(โสระยา, 2544) เช่นอาจมีผลยับยั้งการใช้แมกนีเซียม และทำให้สมดุลของแคลเซียมเปลี่ยนไป (มนูญ, 2544) อาการขาดธาตุโพแทสเซียมเกิดขึ้นที่ใบแก่เป็นที่แรก เนื่องจากโพแทสเซียมต้องเคลื่อนที่จากใบแก่สู่ไปอ่อนและยอดผ่านท่อลำเลียงอาหาร (Allen and David, 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แมกนีเซียม (Magnesium)

พืชดูดใช้แมกนีเซียมในรูปไดโควาเลนต์แมกนีเซียมไอออน (Mg^{+2}) พืชปกติมีแมกนีเซียมอยู่ในช่วง 0.15 - 0.35 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง (ยงยุทธ, 2543) แมกนีเซียมพบในส่วนสีเขียวของพืชเป็นส่วนใหญ่ และยังพบได้ในเมล็ด หรือส่วนสะสมอาหาร (มุกดา, 2544) ปริมาณความเข้มข้นที่พืชต้องการธาตุแมกนีเซียม อยู่ในช่วง 50 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (สมบุญ, 2538)

หน้าที่ของแมกนีเซียม

1. เป็นส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์ โดยคลอโรฟิลล์มีแมกนีเซียมอยู่ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ ทุกๆ โมเลกุลของคลอโรฟิลล์ประกอบด้วยแมกนีเซียม 10 อะตอมซึ่งอยู่กึ่งกลางของโมเลกุล ทำให้พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้ตามปกติ

2. ทำหน้าที่ช่วยเร่งหรือเพิ่มฤทธิ์ของเอนไซม์ และทำหน้าที่เป็นโคแฟกตอร์สำหรับเอนไซม์ที่มีบทบาทในการถ่ายโอนฟอสเฟต (Pi) จาก ATP ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นตัวนำพาฟอสเฟตในพืช คือเป็นตัวร่วมทำให้เกิดปฏิกิริยาฟอสโฟรไรเลชัน (phosphorylation) ในพืช และนอกจากนี้แมกนีเซียมยังช่วยให้เอนไซม์ RuDP carboxylase มีกิจกรรมได้ดีในช่วง pH ต่ำกว่า 8 ซึ่งเป็น pH ที่เหมาะสมต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาทั่วไป และแมกนีเซียมยังเป็นตัวเร่งเอนไซม์ที่เกี่ยวกับเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต และกรดซิตริก

3. มีส่วนในการสังเคราะห์โปรตีน โดยแมกนีเซียมเป็นธาตุที่ช่วยเชื่อมหน่วยย่อยของไรโบโซมให้เกาะกลุ่มกันในการสร้างโปรตีน เป็นโคแฟกเตอร์ให้กับเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้าง RNA ในนิวเคลียส และยังมีส่วนร่วมในการสร้างสารประกอบฟอสโฟไรเลต (phosphorhylate) เลซิทิน (lecithin) และนิวคลีโอโปรตีน

4. มีส่วนในการจัดแบ่งส่วนคาร์โบไฮเดรต จากแหล่งที่สร้าง (source) และแหล่งที่รับ (sink) ทำให้มีการสะสมแป้งและน้ำตาลตำแหน่งที่เหมาะสม

5. แมกนีเซียมในแวคิวโอล เป็นประจุบวกที่ทำหน้าที่ประกบคู่กับไอออนลบของกรดอินทรีย์จึงทำให้เกิดสมดุลระหว่างไอออน (มุกดา, 2544)

อาการขาดธาตุแมกนีเซียม

พืชดูดแมกนีเซียมเข้าไปในรูปของ Mg^{+2} การขาดแมกนีเซียมทำให้พืชแสดงอาการใบเหลืองโดยเหลืองระหว่างเส้นใบ (interveinal chlorosis) ที่ใบแก่ เหตุผลที่เกิดอาการเหลืองเฉพาะระหว่างเส้นใบยังไม่ทราบแน่นอน แต่เนื้อเยื่อเมโซฟิลล์ (mesophyll) ที่อยู่ติดกับท่อน้ำท่ออาหารรักษาคลอโรฟิลล์ไว้ได้แต่พวกพาเรนไคมา (parenchyma) อื่นๆ ไม่สามารถรักษาคลอโรฟิลล์ไว้ (ดนัย, 2544) อีกทั้งใบพืชมีขนาดเล็กลง การทำหน้าที่ของคลอโรพลาสต์ลดลง ทำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ให้เกิดสภาวะกระตุ้นการสลายตัวของโปรตีนในใบแก่ และเคลื่อนย้ายสิ่งที่ได้จากการสลายตัวไปเลี้ยงใบอ่อน (ยงยุทธ, 2543)

กำมะถัน (Sulfur)

พืชดูดกำมะถันจากดินในรูปซัลเฟตไอออน (SO_4^{-2}) กำมะถันในดินมักอยู่รวมตัวกับโมเลกุลของสารอื่น หรือเป็นองค์ประกอบของแร่ธาตุต่างๆ ก็ได้ เช่น รวมตัวกับเหล็กอยู่ในรูปเหล็กซัลไฟด์ (FeS) หรือ ไพไรต์ (Pyrite) ซึ่งอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ แต่มีจุลินทรีย์หลายชนิดสามารถออกซิไดส์กำมะถันที่อยู่รวมกับโมเลกุลของสารอื่น หรืออินทรีย์วัตถุ เปลี่ยนไปเป็นซัลเฟตไอออน (SO_4^{-2}) ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ (สมบุญ, 2544) โดยปริมาณกำมะถันทั้งหมดในเนื้อเยื่อพืชมีปริมาณ 0.2 - 0.5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง (Bergmann. 1992)

หน้าที่ของกำมะถัน

1. กำมะถันเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน เช่น ซีสเตอีน (cysteine) และเมไทโอนีน (methionine) จึงเป็นองค์ประกอบของโปรตีน ซึ่งเป็นโปรตีนส่วนที่อยู่ในคลอโรพลาสต์จึงมีผลต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ของพืช โดยซีสเตอีนมีบทบาทสำคัญที่ทำให้โครงสร้างของโปรตีนมีเสถียรภาพ

2. เป็นองค์ประกอบของกลูตาไทโอน (glutathione) ซึ่งได้จากการสังเคราะห์โดยการลดออกซิเจนซัลเฟต และกลูตาไทโอนนนี้ละลายน้ำได้ง่ายสามารถทำหน้าที่ลดความเป็นพิษของโลหะหนักได้

3. กำมะถันเกี่ยวข้องโดยตรง กับการสังเคราะห์โปรตีน จึงมีผลทางอ้อมต่อการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของส่วนยอดและกิ่งก้านสาขาของพืช คล้ายกับไนโตรเจน

4. เป็นองค์ประกอบของโคเอนไซม์หลายชนิด เช่น ไทอามีน ไฟโรฟอสเฟต เป็นต้น ซึ่งโคเอนไซม์เหล่านี้ มีบทบาทในปฏิกิริยาเมแทบอลิซึมหลายชนิด รวมทั้งปฏิกิริยาเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน

5. กำมะถันเป็นองค์ประกอบของสารระเหยได้ในพืช เช่น แอลลิอิน (alliine) เป็นสารตั้งต้นที่ให้กลิ่นเป็นสมบัติเฉพาะ เช่น กลิ่นกล้วยหอม สะตอ กระเทียม และทุเรียน และสำหรับสารประกอบกำมะถันอีกชนิดหนึ่งคือ ซัลเฟอร์ไกลโคไซด์ ซึ่งเป็นไฮโดรไลส์แล้วได้น้ำมันมัสตาร์ท พบได้ในพืชตระกูลมัสตาร์ท หรือพืชตระกูลกะหล่ำ ซึ่งสารเหล่านี้มีประโยชน์เพื่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ป้องกันมิให้ศัตรูมารบกวนและเป็นแหล่งสะสมหรือสำรองกำมะถันไว้ใช้ในสภาวะคลาดแคลน (มุกดา, 2544)

อาการขาดธาตุกำมะถันของพืช แสดงอาการใบเหลืองทั้งใบรวม และบริเวณเส้นใบด้วย กำมะถันไม่สามารถเคลื่อนย้ายไปสู่ใบอ่อนได้ อาการขาดธาตุจึงมักพบที่ใบอ่อนก่อน แต่ในบางพืชแสดงอาการเหลืองพร้อมกันทั้งต้น หรือบางกรณีอาจแสดงที่ใบแก่ก่อนก็ได้ (ดนัย, 2544)

แคลเซียม (Calcium)

พืชดูดแคลเซียมไปใช้ในรูปไดวาเลนต์แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) (สมบุญ, 2538) แคลเซียมเป็นธาตุที่ไม่เป็นพิษต่อพืช และพืชทั่วไปมีกลไกในการปรับตัวเมื่อได้รับธาตุนี้มากเกินไป (Honson, 1984) แคลเซียมมีความสำคัญในการแบ่งเซลล์ และช่วยให้เซลล์พืชทำงานได้เป็นปกติ เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างที่สำคัญของผนังเซลล์อยู่ในรูปของแคลเซียมเพคเตท (calcium pectate) (ยงยุทธ และ สุรเดช, 2521) พืชโดยทั่วไปสะสมโดยแคลเซียมเพคเตท มีบทบาทสำคัญที่ทำให้ผนังเซลล์ เนื้อเยื่อ และต้นพืชแข็งแรง ป้องกันการย่อยสลายของมิลเดิลลาเมลลาจากเอ็นไซม์โพลีกาแลกทูโรเนส (polygalacturonase) ซึ่งเร่งปฏิกิริยาการสลายสารเพกเทตนั้น แต่กิจกรรมของเอนไซม์จะถูกยับยั้งเมื่อมีแคลเซียมความเข้มข้นสูง (ยงยุทธ, 2543)

แคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ช้ามาก (อรวรรณ, 2551) เมื่อพืชดูดแคลเซียมเข้าไปจะเคลื่อนที่อยู่ในท่อลำเลียงน้ำแบบ passive transport ไปตามกระแสการไหลเวียนของสารละลายในท่อลำเลียงน้ำ สู่ส่วนยอดของต้นพืช ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อการคายน้ำของพืชจึงส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของสารละลายในท่อลำเลียงน้ำ และกระทบต่อการดูดใช้และการเคลื่อนย้ายของแคลเซียมในพืช ดังนั้น ส่วนของพืชที่มีการคายน้ำน้อย เช่นปลายยอด หรือปลายผลก็มีโอกาสที่จะขาดแคลเซียมได้เป็นส่วนแรก โดยเฉพาะเมื่อได้รับระดับแคลเซียมไม่เพียงพอ ส่วนใบแก่ซึ่งมีอัตราการคายน้ำสูงมักไม่แสดงอาการขาดแคลเซียม (อิทธิสุนทร, 2552)

รูปของแคลเซียมที่พบในดิน

แคลเซียมในดินมักได้จากการสลายตัวผุพังของหินแร่ กลายเป็นแร่ที่สลายตัวได้ง่ายหรือเป็นประโยชน์ได้อย่างช้าๆ และในที่สุดจะแตกตัวออกเป็นแคลเซียมไอออนในสารละลายดิน แคลเซียมที่ได้จากอินทรียวัตถุในดินมีปริมาณไม่มากนัก แหล่งสำคัญจึงได้จากอนินทรีย์วัตถุได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. องค์ประกอบของหินและแร่หลายชนิด หินที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ ได้แก่หินปูน หินอ่อน ยิปซัม อะพาไทต์ และฟลูออสปาร์ ส่วนแร่ที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ เฟลด์สปาร์ แคลไซต์ โดโลไมดต์ และ แอมฟิโบล แร่เหล่านี้ไม่ละลายน้ำจึงไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช

2. ในรูปของสารประกอบเกลือแคลเซียมอิสระ เกลือแคลเซียมอิสระที่พบมาก คือ แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมซัลเฟต ขึ้นอยู่กับวัตถุต้นกำเนิดของดิน และการสร้างตัวของดิน ปกติพบเกลือคาร์บอเนตมากในดินที่เกิดจากหินปูน ส่วนดินทั่วไปชั้นบนมักมีอยู่ไม่มาก

3. แคลเซียมที่ถูกดูดซับหรือแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แคลเซียมรูปนี้ถูกดูดซับที่ผิวของคอลลอยด์ เป็นแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้โดยสามารถถูกไล่ที่ หรือถูกไฮโดรไลซ์ให้ออกไปอยู่ในสารละลายดินได้หรืออาจแลกเปลี่ยนกับไอออนบวกชนิดอื่น

4. แคลเซียมที่อยู่ในสารละลายดิน เป็นรูปของไอออนสองบวก (Ca^{2+}) รูปของไอออนนี้ปกติมีอยู่น้อย โดยอยู่ในสภาพที่สมดุลกับแคลเซียมที่ถูกดูดยึดไว้กับเกลือแคลเซียมอิสระ ในดินที่มีสภาพเป็นกรด มีแคลเซียมไอออนอยู่ในสารละลายดินน้อย ส่วนดินที่เป็นกลางหรือด่างเล็กน้อยมีปริมาณมาก แคลเซียมในสารละลายในดินและแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ทั้งสองรูปนี้รวมกันถือว่าเป็นรูปที่เป็นประโยชน์แก่พืช พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ หากสารละลายดินรอบๆ รากพืชมีแคลเซียม 5 - 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็เพียงพอต่อความต้องการของพืช (มุกดา, 2544)

ความสำคัญของแคลเซียมต่อการเจริญเติบโตของพืช

แคลเซียมมีบทบาทที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช 8 ประการ คือ

1. แคลเซียมจำเป็นต่อการแบ่งเซลล์และเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างที่สำคัญของผนังเซลล์ แคลเซียมเป็นธาตุที่พบมากในผนังเซลล์ (อะโพพลาส) โดยเฉพาะในมิดเดิลลาเมลลา (middle lamella) ซึ่งเป็นชั้นบางๆของผนังเซลล์ปฐมภูมิอยู่กึ่งกลางระหว่างผนังเซลล์ของเซลล์ที่ติดกัน สารที่มีอยู่ในมิดเดิลลาเมลลามากที่สุด คือเกลือเพกเตท (calcium pectate) ซึ่งเกิดจากกรดเพกทิก (pectic acid) ที่มีในมิดเดิลลาเมลลาทำปฏิกิริยากับแคลเซียมแล้วตกตะกอนกลายเป็นเกลือเพกเตท จากการทำปฏิกิริยาของแคลเซียมกับหมู่คาร์บอกซิลในกรดนี้เอง ทำให้เกิดการเชื่อมไขว้ของโซ่กรดเพกทิกข้างเคียงเข้าด้วยกัน เป็นโครงข่ายที่มั่นคง จึงมีผลให้ผนังเซลล์ และเนื้อเยื่อแข็งแรง ปริมาณแคลเซียมเพกเตทที่ผนังเซลล์ จึงเป็นสิ่งที่บ่งชี้ความต้านทานของพืชที่มีต่อการทำลายของโรคและแมลงศัตรูพืช และช่วยยืดเวลาการสุกของผลไม้ได้ (ยงยุทธ, 2543) ในมะเขือเทศการฉีดพ่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แคลเซียมคลอไรด์หลังจากเก็บเกี่ยว สามารถช่วยให้เนื้อของผลแน่นขึ้นหรือยืดเวลาการสุกออกไป (Wills, et al, 1977)

2. ลดความเป็นพิษของสารบางอย่าง พวกกรดอินทรีย์ต่างๆในพืช เช่น oxalic acid อาจเป็นพิษต่อพืชได้หากมีปริมาณมากเกินไป พิษนั้นจะหายไปเมื่อมีแคลเซียมเพียงพอ เพราะแคลเซียมทำปฏิกิริยากับกรดดังกล่าวกลายเป็น calcium oxalate ตกตะกอนอยู่ในเซลล์และไม่ค่อยละลายน้ำ มีผลทำลายความเป็นพิษของทองแดงในพืช เมื่อพืชดูดทองแดงมากเกินไปจนอาจเป็นพิษ (มุกดา, 2544)

3. เป็นตัวต้านฤทธิ์ของออกซิน ออกซิน (auxin) เป็นฮอร์โมนที่ช่วยเร่งการขยายตัวของเซลล์ให้ยาวออกไป ถ้าไม่มีสิ่งที่คอยต้านฤทธิ์ของสารนี้แล้วทำให้เซลล์ขยายตัวตามออกไปจนผิดปกติ แคลเซียมสามารถต้านฤทธิ์ของสารนี้ได้ (มุกดา, 2543)

4. ช่วยเคลื่อนย้ายและเก็บรักษาคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ในระยะที่พืชกำลังสร้างเมล็ดพบว่าแคลเซียมมีความสำคัญในการเคลื่อนย้าย เพื่อสะสมคาร์โบไฮเดรต โปรตีน (มุกดา, 2544) เนื่องจากแคลเซียมส่งเสริมให้มีการดูดใช้ (uptake) ไนโตรเจนมากขึ้น แคลเซียมจึงมีบทบาทต่อการสร้างโปรตีนทางอ้อมด้วย (มุกดา, 2543) จากการศึกษาผลของแคลเซียมกับโบรอนมีผลทำให้เมล็ดมีระยะเวลาในการเก็บรักษาที่นานขึ้น จากการเก็บรักษาเมล็ดถั่วลิสงพันธุ์ขอนแก่น 60 - 3 ณ อุณหภูมิห้อง นาน 5 เดือน เมล็ดที่เกิดจากต้นที่ได้รับแคลเซียมร่วมกับโบรอนให้เปอร์เซ็นต์ความงอกสูงถึง 52 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าเมล็ดที่ได้จากต้นที่ไม่ได้รับทั้งสองธาตุซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความงอกเพียง 37 เปอร์เซ็นต์ (เพิ่มพูนและคณะ อ้างโดยเพิ่มพูน, 2546)

5. ลดการดึงดูดโพแทสเซียม การใส่แคลเซียมแก่ดินเป็นการช่วยเพิ่มสัดส่วนระหว่างแคลเซียมและโพแทสซียมในดิน เนื่องจากสัดส่วนดังกล่าวทำให้พืชลดการดูดใช้โพแทสเซียมจากดินที่มีโพแทสเซียมมาก กรณีนี้เป็นประโยชน์ในการช่วยลดการดูดใช้โพแทสเซียมเข้าไปสะสมในปริมาณที่มากเกินไป ดังนั้นการใส่แคลเซียมมากเกินไปพืชอาจแสดงอาการขาดธาตุโพแทสเซียมได้ทั้งๆที่สารละลายในดินมีปริมาณโพแทสเซียมเพียงพอ (มุกดา, 2543)

6. ส่งเสริมการเกิดปมที่รากถั่ว แคลเซียมเพกเตท (calcium pectate) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของปมรากถั่ว (สมบุญ, 2538) ดังนั้น พืชตระกูลถั่วที่ขึ้นบนดินที่มีแคลเซียมพอเพียง จึงมักมีปมรากมากกว่าพืชที่เจริญเติบโตบนดินที่มีแคลเซียมน้อย (มุกดา, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

7. มีบทบาทช่วยให้เรณูงอกและหลอดเรณู (pollen tube) ที่งอกแล้วยืดตัวได้ดี พบว่าหลอดเรณูยืดตัวไปตามทิศทางการเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียม เป็นลักษณะเฉพาะไม่อาจทดแทนได้ด้วยธาตุอื่น อย่างไรก็ตามในการตอบสนองทางเคมีที่เรียกว่า chemotropic response นี้จะเกิดได้ดีในกรณีที่มีโบรอนที่เพียงพอ (ยงยุทธ, 2543) เพราะโบรอนช่วยในการกระตุ้นการงอกของหลอดเรณู

8. บทบาทในการงอกของเมล็ด เนื่องจากเอ็นไซม์ในพืชหลายชนิดที่ต้องการแคลเซียมเป็นโคแฟกเตอร์ ที่ช่วยให้เอนไซม์มีกิจกรรมได้ เช่น โปรตีนไคเนส (protein kinase) และแอลฟาอะไมเลส ซึ่งเป็นเอ็นไซม์ที่มีบทบาทในการเคลื่อนย้ายแป้งจากแหล่งสะสมไปยังส่วนอื่นของพืช และช่วยในการย่อยแป้งในเอนโดสเปิร์มในเมล็ดให้มีโมเลกุลที่เล็กลงสำหรับใช้ในกระบวนการงอกของเมล็ด Hepler and Wayne (1985) ศึกษาในชั้นแอลิวโรน (alelron layer) ของข้าวบาร์เลย์ พบว่า เมื่อใช้แคลเซียม 10 มิลลิโมลาร์ ร่วมกับจิบเบอเรลิน (Gibberellan) ช่วยให้กิจกรรมของเอนไซม์สูงกว่าเมื่อใช้ GA เพียงอย่างเดียว ถึง 70 - 80 เปอร์เซ็นต์

ลักษณะอาการขาดธาตุแคลเซียม

อาการขาดแคลเซียม โดยทั่วไปสังเกตเห็นบริเวณส่วนของ meristematic regions ของใบ ลำต้น และ ราก คือส่วนปลายบริเวณที่มีการแบ่งเซลล์สูง (อรวรรณ, 2551) โดยดอกและยอดของพืชจะลีบเล็กและหงิกงอ ใบอ่อนที่แตกใหม่แสดงอาการใบเหลืองบิดเบี้ยว ขอบใบสองข้างม้วนเข้าหากัน ส่วนปลายใบม้วนไปด้านหลังใบ ต่อมาขอบใบแห้งขาว หรือมีสีน้ำตาล หรือใบเป็นจุดสีน้ำตาลตามขอบใบ ต่อไปยอดอ่อนก็ตายลง ระบบรากไม่เจริญเท่าที่ควร รากสั้น อาการผลแตกของผลไม้หลายชนิดพบในสภาวะที่อากาศชื้น ฝนตก เนื่องจากขาดแคลเซียมผนังเซลล์ไม่แข็งแรง ผลจึงแตกได้ง่าย (มุกดา, 2543) การขาดแคลเซียมในถั่วลิสงทำให้เกิดอาการเมล็ดลีบ ไม่สมบรูณ์ มักพบในดินที่เป็นกรด ที่มีค่า pH ต่ำกว่า 5.0 มีแคลเซียมต่ำกว่า 100 มิลิกรัมต่อลิตร อาการที่พบในผักขึ้นฉ่ายและมะเขือเทศ ทำให้เนื้อเยื่อส่วนของมีโซฟีลล์ ฉีกขาดออกเป็นชิ้นเล็กๆ ยอดอ่อนตาย ในมะเขือเทศก้นผลเน่าดำ เรียกว่า โรคก้นผลเน่า เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับของแคลเซียมที่ผนังเซลล์ โดยขณะที่ผลของมะเขือเทศกำลังพัฒนานั้นปริมาณแคลเซียมในผลจะเพิ่มขึ้น และเมื่อผลแก่เต็มที่ก่อนผลสุกปริมาณแคลเซียมจะลดลง และแคลเซียมเพกเตทแปรสภาพเป็นสารที่ละลายน้ำได้ ดังนั้นถ้าพืชผลได้รับแคลเซียมไม่เพียงพอ ผนังเซลล์อ่อนแอเกิดอาการเน่าโดยการทำลายของโรคและแมลง ผลสุกเร็วกว่าปกติ อาการที่พบในแครอท ก้านใบฉีกขาด ส่วนสตรอเบอรี่ ทำให้ส่วนที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เรียกว่าหัวใต้ดินแห้งตาย พืชตระกูลส้มแสดงอาการใบเหลืองที่ยอดอ่อน ใบยอดเล็กเป็นพุ่ม (มุกดา , 2544)

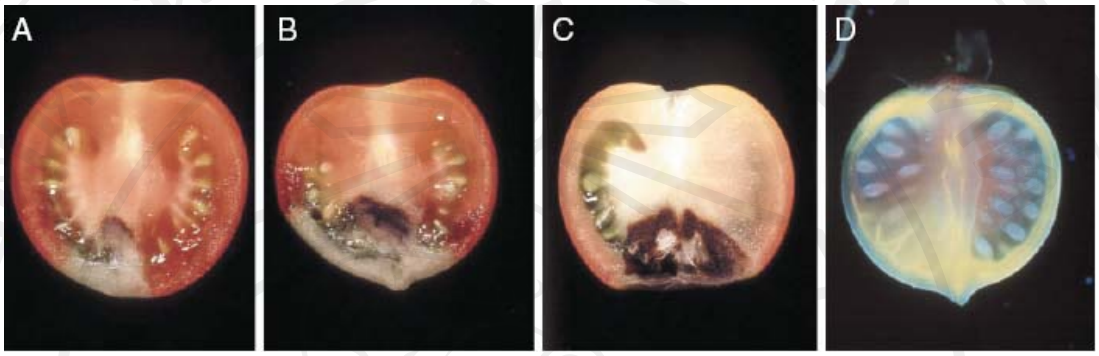
อาการก้นผลเน่า (Blossom-end rot) ในมะเขือเทศ

อาการขาดธาตุแคลเซียมในมะเขือเทศ พบอาการชัดเจนในผลมะเขือเทศที่เกิดอาการก้นผลเน่า (Blossom-end rot) พบทั้งผลอ่อนและผลแก่ อาการก้นผลเน่าสามารถเกิดขึ้นได้ในมะเขือเทศที่ปลูกทั้งในสภาพแปลงและในโรงเรือน โดยเริ่มแสดงอาการหลังจากการติดผลประมาณสองสัปดาห์ (Spurr, 1959 ; Adams and Gizawy, 1988) เมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมในผลลดลง เซลล์ผิว (epidermis และ subepidermis parenchyma) เกิดการแตกหัก (Suzuki, *et al*., 2003) ทำให้อาการจุดช้ำที่บริเวณก้นผล เมื่ออาการรุนแรงมาก รอยช้ำนี้จะขยายออกไปเรื่อยๆอย่างรวดเร็วและแผลยุบตัวลง เกิดเซลล์ตาย เนื้อเยื่อแฉะทำให้เชื้อราต่างๆเข้าทำลายซ้ำเติมเกิดเป็นรอยแผลสีดำ ที่บริเวณก้นผล (วัฒนา, 2529) จากนั้นการตายของเนื้อเยื่อจะแพร่กระจายสู่เนื้อเยื่อกลุ่ม parenchyma รอบๆเมล็ดอ่อน และ บริเวณปลาย placenta (Adams and Ho, 1992) ทำให้ผลที่แสดงอาการก้นผลเน่านั้นสุกเร็วกว่าผลปกติ (Jones, 1993) Ho and Adams (1989) ศึกษาการขาดแคลเซียมในระหว่างการเจริญเติบโต พบว่าหลังจากที่งดให้แคลเซียมแก่พืชเป็นระยะเวลา 10 วัน ใบที่อยู่ด้านบนแสดงอาการขาดธาตุ และพบอาการก้นผลเน่า (blossom end rot) Millikan *et al*. (1999) ได้ศึกษามะเขือเทศที่ปลูกในสารละลายที่มีแคลเซียมสองระดับ คือระดับปกติ (120 - 160 มิลลิกรัมต่อลิตร) และระดับต่ำ (40 มิลลิกรัมต่อลิตร) พบว่า ที่ระดับต่ำเกิดอาการก้นเน่ามากกว่าที่ระดับปกติ โดยมะเขือเทศมีปริมาณแคลเซียมในเนื้อเยื่อ 12.9 มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง (Loneragan and Snowball, 1969)

เนื่องจากพืชแต่ละสายพันธุ์มีการตอบสนองต่อปัจจัยต่างๆแตกต่างกัน (Heuvelink, 2004) Poovaiah (1979) พบว่าในช่วงระยะเวลา 40 วัน ถึง 60 วันหลังจากถ่ายเรณู ระดับแคลเซียมที่อยู่ในรูปของแคลเซียมเพกเตทในผลของมะเขือเทศพันธุ์รินเพิ่มขึ้น ส่วนในพันธุ์รัทเกอร์นั้นพบว่าปริมาณแคลเซียมทั้งหมดยังคงที่ แต่แคลเซียมเพกเตทลดลง และแนวโน้มของการลดลงนี้สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเอนไซม์โพลีกาแลกทูโรเนส Nukaya *et al*, (1995) ศึกษาการเกิดอาการก้นผลเน่าในมะเขือเทศสองสายพันธุ์ได้แก่พันธุ์ Momotaro และพันธุ์ June pink พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของโพแทสเซียมต่อแคลเซียมในสารละลายที่ระดับความเข้มข้น 2.0 คิววาเลนท์ต่อลิตร ทำให้การดูดใช้แคลเซียม ในพันธุ์ Momotaro ลดลง 1 ใน 3 ส่วน และ ในพันธุ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

June pink ลดลง 1 ใน 2 ส่วน เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้น 0.5 มิลลิอิคิววาเลนท์ต่อลิตร ทำให้เกิดอาการก้นผลเน่าในพันธุ์ June pink มากกว่าพันธุ์ Momotaro



ภาพที่ 2 ลักษณะอาการก้นผลเน่าในผลมะเขือเทศเนื่องจากขาดธาตุแคลเซียม (A, B = อาการก้นผลเน่าภายในผล C = ลักษณะของผลสุกที่แสดงอาการก้นผลเน่า D = เครือข่ายของท่อลำเลียงน้ำในผลมะเขือเทศ ที่ใช้ Lucifer CH ย้อมท่อลำเลียงน้ำให้เป็นสีเหลือง (Malone and Andrewa, 2001) ในผลอ่อนของมะเขือเทศปรากฏท่อลำเลียงน้ำที่บริเวณเนื้อเยื่อ placental (Ho and White, 2005))

เนื่องจากแคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ช้ามาก (Jones, 1993) อีกทั้งแคลเซียมสามารถเคลื่อนที่ได้เฉพาะในท่อลำเลียงน้ำ ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ในท่อลำเลียงอาหาร ดังนั้นส่วนของผลจึงได้รับแคลเซียมเฉพาะจากรากที่ส่งมาให้ ไม่สามารถรับจากใบได้ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการขยายตัวของผลมีมากขึ้น โดยเฉพาะในผลอ่อนระยะ 11 - 13 วัน หลังจากดอกบาน ทำให้ผลมีความต้องการแคลเซียมสูงขึ้น แต่อัตราการเคลื่อนย้ายของแคลเซียมจากรากถูกจำกัดโดยการเคลื่อนที่ของน้ำสู่ใบ ดังนั้นสภาพขาดน้ำจึงส่งเสริมการเกิดอาการก้นผลเน่า ในพืชที่อ่อนแอต่อการเกิดอาการผิดปกตินี้ (Savvas and Passam, 2002 อ้างโดย โสระยา, 2548) ปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการดึงดูดธาตุแคลเซียม ซึ่งนำไปสู่อาการขาดธาตุแคลเซียมในที่สุด ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง อุณหภูมิสูงและแสงแดดจัด สิ่งแวดล้อมบริเวณราก ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณสารละลายเกลือ ความไม่สมดุลของธาตุที่เป็นประจุบวก เช่น K^+, Mg^{2+} และ NH_4^+ และการขาดน้ำ (Martin, 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved