บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 ความหมายถั่วเหลืองฝักสด และลักษณะพันธุ์ที่ดี

ถั่วเหลืองฝักสด (Vegetable soybean) หรือ ถั่วแระญี่ปุ่น (Green soybean) หรือ มีชื่อภาษาญี่ปุ่นว่า อิดามาเมะ (Edamame) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Glycine max* (L.) Merr. เป็นพืชชนิดเดียวกับถั่วเหลืองทั่วไป (soybean) แต่แตกต่างกันที่ลักษณะของผลผลิต และระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวผลผลิต กล่าวคือถั่วเหลืองฝักสด จะเก็บเกี่ยวผลผลิตในลักษณะฝักสด เมล็ดมีขนาดใหญ่ เนื้อนุ่ม รสหวานมัน อยู่ในระยะที่เมล็ดเต่งเต็มที่ (R7) (Fehr and Caviness, 1977) ต่างจากถั่วเหลืองทั่วไปที่เก็บในระยะ R8 (Field maturity) เพราะต้องการผลผลิตเฉพาะเมล็ดที่กะเทาะเปลือกเท่านั้น ถั่วเหลืองฝักสดเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบประมาณ 12-13 % (กรุงและสิรีกุล, 2537) และมีกรดอะมิโนที่จำเป็นบางชนิด เช่น Lysine และ Tryptophan ที่มีหน้าที่สำคัญในการเจริญเติบโตของมนุษย์คือ กระตุ้นการหลั่ง Growth hormone (ฮอร์โมนที่ใช้ในการเติบโตของมนุษย์) ซ่อมแซมเนื้อเยื่อส่วนที่สึกหรอ ทำให้กล้ามเนื้อเอ็น กระชับและแข็งแรงขึ้น ลดไขมันที่สะสมในร่างกาย ปรับสมดุลของไนโตรเจนเพื่อเพิ่มพละกำลังให้ดีขึ้น ช่วยสร้างความต้านทานโรค (Anti-Body) เป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์เนื้อเยื่อ และสร้างสารต่างๆ ที่เป็นของเหลวในร่างกาย รวมทั้งฮอร์โมน และเป็นแหล่งพลังงานเมื่อร่างกายขาดคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ดังนั้นถั่วเหลืองฝักสดจึงเป็นแหล่งโปรตีนสำหรับบุคคลที่ไม่บริโภคเนื้อสัตว์ นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุและวิตามินที่จำเป็นอีกหลายชนิด เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก และวิตามิน B1, B2 เป็นต้น

ถั่วเหลืองฝักสดมีศักยภาพในการผลิตและการตลาดสูงทั้งภายในประเทศและนอกประเทศ ซึ่งจะเห็นได้จากเป้าหมายการผลิตถั่วเหลืองฝักสดเพื่อการบริโภคมีสูงถึง 8,000 ไร่ ผลผลิตรวม 14,400 ตัน ขณะที่เป้าหมายการผลิตเพื่อการส่งออกมีสูงถึง 10,000 ไร่ ผลผลิตรวม 10,000 ตัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2537) คิดเป็นมูลค่าการส่งออกประมาณ 1,000 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจทางการเกษตร, 2547) โดยส่งไปยังประเทศญี่ปุ่นมากเป็นอันดับหนึ่ง และขยายตลาดไปยังประเทศในแถบยุโรป (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547) ทั้งนี้มาตรฐานฝักสดที่ตลาดต่างประเทศต้องการนั้นพิจารณาจากลักษณะภายนอกเป็นอันดับแรก ส่วนรสชาติเป็นอันดับรองลงมา สำหรับลักษณะพันธุ์ของถั่วเหลืองฝักสดที่ตลาดต้องการ คือ ฝักมีสีเขียวและขนาดใหญ่ ความยาวฝักไม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร ความกว้างฝักไม่น้อยกว่า 1.4 เซนติเมตร ความหนาไม่น้อยกว่า 7 มิลลิเมตร (Lui and Shanmugasundaram, 1982) มี 2 เมล็ดขึ้นไปและเมล็ดติดต่อกันไม่เว้นช่องว่าง ไม่มีตำหนิของโรคและแมลง ขนมีสีขาวหรือเทา ตา (hilum)ไม่มีสี ถั่วเหลืองฝักสด 1 กิโลกรัม ควรมีจำนวนฝักน้อยกว่า 350 ฝัก (Shanmugasundaram *et al*., 1989)

2.2 ธาตุแคลเซียม ธาตุโบรอนในดินและความเป็นประโยชน์

บทบาทและหน้าที่ของธาตุแคลเซียมและธาตุโบรอนน่าจะมีส่วนในการช่วยเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น โดยถ้ามีการให้สารละลายธาตุอาหารแคลเซียมและโบรอนเข้าไป อาจจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพลดการร่วงหล่นของดอกและเพิ่มการติดฝักให้สูงขึ้นได้

โบรอนเป็นธาตุชนิดหนึ่งที่มาจากวัตถุต้นกำเนิดดินและพบในดินตามแหล่งต่างๆ โดยทั่วไปจะมีปริมาณของโบรอนทั้งหมดประมาณ 2 ppm ไปจนถึง 100 ppm หรือมากกว่า (Swaine, 1955) และจำนวนนี้จะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพียง 0.38 ถึง 4.67 ppm (ยงยุทธ, 2535) ซึ่งดินที่มีวัตถุต้นกำเนิดต่างกันจะมีปริมาณของโบรอนแตกต่างกัน ดินที่มีวัตถุต้นกำเนิดจากหินตะกอนหรืออินทรียวัตถุที่ทับถมกันในทะเลจะมีโบรอนทั้งหมด (total boron) และโบรอนในรูปที่ละลายได้ในน้ำที่เป็นประโยชน์กับพืชมากที่สุดและจะสูงกว่าดินที่มีวัตถุต้นกำเนิดมาจากหินแกรนิต หินทราย และ หินภูเขาไฟ (Norrish, 1975) ดังนั้นพืชที่ขึ้นในดินที่มีต้นกำเนิดมาจากหินแกรนิตจะมีปัญหาการขาดโบรอน เช่น บนพื้นที่สูงของประเทศเกาหลี (Park and Park, 1966)

โบรอนในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะอยู่ในรูป กรดบอริก $B(OH)_3$ ในดินที่มี pH สูง โบรอนจะอยู่ในรูปบอเรทไอออน $B(OH)_4^-$ ซึ่งพืชจะดูดไปใช้ได้ยากกว่าที่อยู่ในรูปกรดบอริก ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเป็นประโยชน์ของโบรอนต่อต้นพืชมี 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่เกี่ยวกับดินและปัจจัยที่ไม่เกี่ยวกับดิน ปัจจัยที่เกี่ยวกับดิน ได้แก่ โครงสร้างของดิน ความเป็นกรด-ด่างของดิน อุณหภูมิในดิน และความชื้นของดิน โดยดินที่มีโครงสร้างของเนื้อดินหยาบ จะมีโบรอนในดินทั้งหมดและโบรอนในรูปที่ละลายได้ในน้ำต่ำกว่า ดินที่มีโครงสร้างของเนื้อดินละเอียด (Wilson *et al*., 1951; Ouellette, 1958) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Goldberg and Glaubig (1986) ที่พบว่าดินเนื้อละเอียดมีโบรอนมากกว่าดินเนื้อหยาบ โดยความเข้มข้นของโบรอนในดินจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของดินเนื้อละเอียด และดินเนื้อละเอียดสามารถดูดซับโบรอนได้ดีกว่าดินเนื้อหยาบ ดังนั้นมักพบว่าพืชที่ปลูกในดินทรายจะแสดงอาการขาดโบรอนได้ง่าย (Gupta, 1968; Mezuman and Keren, 1981) Berger and Platt (1963) รายงานว่าดินในเขตชื้นจะมีโบรอนประมาณ 0.3-3 ppm ส่วนดินในเขตแห้งแล้งจะมีโบรอนประมาณ 100 ppm (Fleming, 1980) สำหรับประเทศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไทยดินที่มีปริมาณโบรอนต่ำจะพบมากในดินทราย รองลงมาคือดินร่วนปนทรายและดินร่วนปนเหนียว ตามลำดับ ซึ่งอนุภาคของดินเหนียวที่ต่ำกว่า 11 % จะมีอินทรียวัตถุต่ำกว่า 1.0 % โดยจะมีปริมาณโบรอนในดินต่ำกว่า 0.12 mg B/Kg (สุวพันธ์และคณะ, 2537) สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดิน มีรายงานพบว่าความเป็นประโยชน์ของโบรอนในดินต่อต้นพืชจะน้อยลง เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของดินสูงขึ้น (Goldberg and Glaubig, 1986) เนื่องจากกรดบอริกทำปฏิกิริยากับน้ำได้บอเรตไอออน ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีประจุจึงถูกดูดยึดโดยอนุภาคในดินทำให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง (Mengel and Kirkby, 1987) และจากการศึกษาของสุพจน์และกนกพันธ์ (2536) พบว่า โบรอนจะถูกดูดยึดเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เพิ่มจาก 5 จนถึง 7 ส่งผลให้การดูดใช้โบรอนของพืชจากดินลดลง เบญจวรรณ และศันสนีย์ (2532) รายงานว่า การใส่ปูนขาวเพื่อแก้ปัญหาดินเป็นกรดมากเกินไปอาจส่งผลให้ความรุนแรงของการขาดโบรอนของข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าปริมาณโบรอนในดินมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (Elrashidi and O'Connor, 1982) Bingham *et al.* (1971) ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อความเป็นประโยชน์ของโบรอนในดินพบว่า พืชจะดูดใช้โบรอนเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของดินเพิ่มขึ้น การดูดใช้โบรอนจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 10 ถึง 40 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ Bennett and Mathias (1973) รายงานว่า พืชจะมีอัตราการดูดใช้โบรอนและมีการเจริญเติบโตลดลงเมื่อดินมีอุณหภูมิต่ำ ส่วนความชื้นของดินก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เป็นประโยชน์ต่อต้นพืชในการดูดใช้โบรอน จากการรายงานของ Gupta (1979) พบว่าเมื่อดินมีความชื้นเหมาะสมแล้ว ข้าวบาร์เลย์จะสามารถดูดใช้โบรอนมาสะสมในใบได้ 162-312 ppm แต่ถ้าดินแห้งหรือมีความชื้นต่ำจะมีประโยชน์ในใบเพียง 85-135 ppm เท่านั้น ดังนั้น Blamey *et al.* (1979) จึงสรุปว่าการดูดใช้โบรอนของพืชจะแปรผันโดยตรงกับความชื้นที่เป็นประโยชน์ของดิน โดยเมื่อดินมีความชื้นที่พอเหมาะพืชก็จะสามารถดูดใช้โบรอนได้มาก แต่ถ้าดินมีความชื้นต่ำพืชก็จะดูดใช้โบรอนได้น้อยลง สำหรับปัจจัยที่ไม่เกี่ยวกับดิน ได้แก่ ความเข้มแสง อุณหภูมิของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์และพันธุกรรม

ธาตุแคลเซียมพบในเปลือกโลกประมาณ 5.4 % โดยมวล พบในรูปของสารประกอบที่มี $CaCO_3$ เป็นองค์ประกอบ เช่น หินงอก หินย้อย ดินมาร์ล เปลือกหอย และพบในสารประกอบซัลเฟต เช่น ยิปซั่ม สำหรับพืชดูดแคลเซียมไปใช้ได้ในรูปไดวาเลนต์แคลเซียมไอออน แคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายทางท่ออาหารได้ยาก ดังนั้นเมื่อแคลเซียมอยู่ในเนื้อเยื่อพืชแล้วจึงไม่ค่อยเคลื่อนย้ายไปส่วนอื่นๆ ความเข้มข้นของแคลเซียมในพืชแตกต่างกันตามสภาพการปลูก พันธุ์พืช และอวัยวะ ซึ่งแปรผันอยู่ในช่วง 0.1 ถึงมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง พืชใบเลี้ยงคู่ต้องการแคลเซียมเพื่อให้มีการเจริญเติบโตอย่างพอเหมาะมากกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (Loneragan

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

and Snowball, 1969) โดยปกติทั่วไปในดินมักไม่ค่อยขาดแคลเซียมยกเว้นในดินที่เป็นกรด ในสภาพดินที่เป็นด่างและมีแคลเซียมมากเกินไป พบว่าแคลเซียมจะรวมตัวกับฟอสฟอรัสเกิดเป็นแคลเซียมฟอสเฟตทำให้พืชนำฟอสฟอรัสไปใช้ไม่ได้ และในดินที่เป็นด่างสูงทำให้ธาตุที่สำคัญบางอย่างในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ลดลง เช่น การขาดเหล็ก มีผลทำให้การดูดแคลเซียมลดลงได้ ฉะนั้นการขาดเหล็กมากเกินไป ทำให้เกิดการขาดแคลเซียมในพืช (calcium deficiency) (ยงยุทธ, 2543)

2.3 บทบาทของธาตุโบรอนในพืช

โบรอนเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อยแต่พืชก็มีการตอบสนองที่สูง (Davidescu and Davidescu, 1982) มีความจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช โดยเกี่ยวข้องกับขบวนการทางสรีรวิทยาของพืชทั้งในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative growth) และระยะการเจริญพันธุ์ (reproductive growth) ซึ่งโบรอนมากกว่า 98 % จะอยู่ที่ผนังเซลล์ (Matoh *et al*., 1992) หน้าที่หลักของโบรอนในผนังเซลล์จึงเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงและการรักษารูปร่างของเซลล์ (Loomis and Durst, 1992; Matoh, 1997) สอดคล้องกับ Pilbeam and Kirkby (1983) ที่กล่าวว่าโบรอนมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการคงสภาพและการรักษาสภาพของเนื้อเยื่อ โบรอนนอกจากจะมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับผนังเซลล์แล้วยังมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน (Albert, 1968) หน้าที่ในการรักษาสมดุลของเอนไซม์ IAA auidase (Mengel and Kirkby, 1987) หน้าที่ช่วยให้การเคลื่อนย้ายน้ำตาลภายในต้นพืชให้เป็นไปง่ายขึ้น หน้าที่ในการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต และการสังเคราะห์แสง (Dugger, 1983) ซึ่งความต้องการโบรอนของพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป โดยทั่วไปแล้วพืชใบเลี้ยงคู่จะมีความต้องการโบรอนมากกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

2.4 บทบาทของธาตุแคลเซียมในพืช

แคลเซียมจัดเป็นธาตุที่ไม่ค่อยเป็นพิษต่อพืช และพืชทั่วไปสามารถปรับตัวให้สอดคล้องกับปริมาณแม้ว่าพืชได้รับธาตุนี้มากเกินไป จะมีการเจริญเติบโตช้าลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชที่ไม่ชอบดินเนื้อปูนหรือพืชไม่ทนปูน (calcifuge) แต่อาการเป็นพิษก็เกิดช้า และมักเป็นผลทางอ้อมมากกว่าทางตรง สาเหตุที่ไม่ค่อยเป็นพิษเนื่องจากพืชมีกลไกที่สามารถควบคุมให้มีแคลเซียมในไซโทพลาสซึมต่ำได้นั่นเอง (Hanson, 1984) ปริมาณแคลเซียมที่พืชต้องการอยู่ในช่วง 300-500 มิลลิกรัม/ลิตร แคลเซียมมีความสำคัญในการแบ่งเซลล์ และมีส่วนช่วยให้เซลล์ของพืชทำงานได้เป็นปกติ เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างที่สำคัญของผนังเซลล์ใน middle lamella ผนังเซลล์จะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีแคลเซียมในรูปแคลเซียมเพคเตท (calcium pectate) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญด้วย สำหรับปรากฏการณ์ที่เซลล์ membrane ยอมให้สารผ่านเข้าออก หรือ permeability phenomena ก็มีแคลเซียมเป็นตัวทำหน้าที่อย่างสำคัญ สอดคล้องกับ Marschner (1995) ที่กล่าวว่าแคลเซียมเป็นธาตุที่กระจายอยู่ในผนังเซลล์ (apoplasm) เนื่องจากผนังเซลล์มีบริเวณที่เหมาะแก่การยึดเกาะของแคลเซียมมากจึงจำกัดการเคลื่อนย้าย Ca^{2+} ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปในเซลล์ ธาตุนี้มีมากในมิดเดิลลาเมลลา ซึ่งเป็นชั้นบางๆ ของผนังเซลล์ปฐมภูมิอยู่กึ่งกลางระหว่างผนังเซลล์ของเซลล์ที่ติดกัน มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างจากผนังซึ่งเป็นเซลล์ลูโลส นอกจากนี้แคลเซียมยังช่วยให้ท่อน้ำและท่ออาหารของพืชแข็งแรง แคลเซียมยังเป็นส่วนสำคัญในการทำให้การสร้างฮอร์โมนต่างๆ ของพืชเป็นไปตามปกติ เช่น ฮอร์โมนไซโตไคนินเพื่อให้เกิดตาดอก (ยงยุทธ และสุรเดช, 2521) Brewbaker and Kwack (1963) ได้ทดลองเลี้ยงละอองเกสรของพืชชนิดต่างๆ ในสารละลาย ซึ่งประกอบด้วยธาตุแคลเซียมร่วมกับสารเคมีต่างๆ พบว่าแคลเซียมมีบทบาทสำคัญต่อการงอกของละอองเกสร ช่วยทำให้หลอดละอองเกสรที่งอกแล้วยืดตัวได้ดี โดยมีคุณสมบัติเป็น chemotropic factor สำหรับละอองเกสรของพืช ซึ่งเหนี่ยวนำให้หลอดละอองเกสรยืดตัวตามทิศทางความเข้มข้นของแคลเซียม (ยงยุทธ, 2535) Hepler and Wayne (1985) รายงานว่าแคลเซียมช่วยให้ membrane ทำหน้าที่ได้อย่างปกติ นอกจากนี้แคลเซียมยังช่วยในการยืดตัวของเซลล์ ขณะเกิดการผสมเกสรทำให้การงอกของหลอดละอองเกสร เพื่อนำเชื้อสืบพันธุ์เพศผู้เข้าไปผสมเกิดได้เร็วขึ้น และยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีน รวมทั้งการสะสมของสารประกอบเหล่านี้ระหว่างการเจริญเติบโตของผลด้วย (Elliot *et al*., 1982) และแคลเซียมยังทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างที่สำคัญในลำต้น กิ่งและใบ อีกทั้งยังช่วยเชื่อมผนังเซลล์ให้มีรูปร่างและขนาดตามลักษณะของพืชแต่ละชนิด นอกจากนี้ยังมีหน้าที่ในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative growth) และระยะการเจริญพันธุ์ (reproductive growth) ช่วยเพิ่มการติดผลผลิต ป้องกันผลร่วงและแตก (สรสิทธิ์, 2518) พืชจะเจริญเติบโตได้จะต้องมีการแบ่งเซลล์ที่ส่วนยอดหรือปลายราก พบว่าในปลายรากที่กำลังเจริญจะมีปริมาณแคลเซียมอยู่มาก (ยงยุทธ , 2535) นอกจากนี้กฤษณา และคณะ (2543) ยังรายงานว่า การให้สารละลายแคลเซียมและโบรอนด้วยการพ่นทางใบสามารถเพิ่มปริมาณแคลเซียมในช่อดอกได้ และทำให้การติดผลของมะม่วงโดยเฉพาะในช่วงเดือนแรกเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 การขาดธาตุโบรอนในพืช

- การขาดธาตุโบรอนในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative growth)

Maschner (1995) กล่าวว่า ในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบที่อ่อนแอต่อการขาดโบรอนมากที่สุด คือ การยืดขยายของส่วนปลายราก โดยการขาดโบรอนจะไปจำกัดการขยายตัวและการแบ่งตัวของเซลล์ในเนื้อเยื่อเจริญที่ปลายราก (Dugger, 1983) Kouchi and Kumazawa (1977) ได้มีการทดลองในมะเขือเทศ พบว่าเมื่อมะเขือเทศขาดโบรอนมีผลทำให้เซลล์ที่ปลายรากมีผนังหนาขึ้น และสูญเสียความสามารถในการแบ่งตัวและการขยายตัวของเซลล์ แต่การยืดตัวของปลายรากเมื่อถูกยับยั้ง เนื่องจากการขาดโบรอนแล้วสามารถที่จะกลับมายืดตัวได้ใหม่ ถ้าได้รับโบรอนก่อนที่เนื้อเยื่อเจริญจะเสียหายอย่างถาวร (Bohnsach and Albert, 1977) จึงมีผลต่อความสูงของลำต้น พืชที่ขาดโบรอนจึงมีปล้องสั้น กิ่งก้านไม่ค่อยยาวจึงทำให้ทรงพุ่มเตี้ยและหนาทึบ และการขาดโบรอนยังสามารถส่งผลทำให้เนื้อเยื่อเจริญที่ปลายยอดตายได้ (Brown, 1979) เมื่อพืชขาดโบรอนจะทำให้ผนังเซลล์ขาดความแข็งแรง และสภาพยืดหยุ่นจะลดลง (Hu *et al*., 1996) Marschner (1995) สรุปว่าถ้าพืชขาดโบรอนความสามารถในการสร้างและการยืดตัวของผนังเซลล์จะหยุดลง เนื่องจากเกิดการสูญเสียโครงสร้าง ที่เกิดจากโบรอนและสารประกอบหมู่ซิสไฮดรอกซิล ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสารเพกตินในผนังเซลล์ ไกลโคโปรตีนหรือไกลโคลิปิดในเยื่อหุ้มเซลล์ (Shelp, 1993) Warington (1923) ได้ทดลองปลูกถั่วปากอ้าในสารละลายที่ไม่มีการให้โบรอน พบว่ารากของถั่วจะมีลักษณะสั้นและบาง ลำต้นแคระแกรน สีเขียวเข้มปลายยอดเหี่ยว และตายไปในที่สุด นอกจากนี้การขาดโบรอนยังทำให้ผนังเซลล์มีการพัฒนาโครงสร้างที่ผิดปกติ (Hu and Brown, 1994) Matoh *et al.* (1992) ศึกษาอิทธิพลของโบรอนที่มีต่อเนื้อเยื่อของเซลล์ยาสูบ พบว่าผนังเซลล์จะหนาขึ้นและเกาะกันอย่างหลวมๆ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Lee and Aronoff (1966) ที่พบว่าการขาดโบรอนทำให้เซลล์ mesophyll ของดอกทานตะวันมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ทำให้เซลล์หนาขึ้น แต่ความแข็งแรงของโครงสร้างผนังเซลล์ลดลง นอกจากนี้การขาดโบรอนยังไปจำกัดการขยายตัวของเซลล์ในส่วนใบที่กำลังเจริญ โดยทำให้การขยายตัวของใบลดลง ใบมีขนาดเล็ก หรือมีการขยายตัวไม่เท่ากันทำให้มีรูปร่างผิดปกติ (Kirk and Loneragan, 1988; Huang *et al*., 1996) ใบม้วนงอลงข้างล่าง ใบมีสีม่วง เนื้อเยื่อใบตาย (Dell and Huang, 1997) ซึ่งมีผลกระทบต่อขบวนการสังเคราะห์แสงของพืชจากการลดลงของพื้นที่ใบ นอกจากนี้ยังมีผลต่อการลดลงของจำนวนปากใบและขนาดของช่องปากใบทำให้การผ่านเข้าของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง (Sharma and Ramchanda, 1990)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- การขาดธาตุโบรอนในระยะการเจริญพันธุ์ (reproductive growth)

โบรอนมีบทบาทสำคัญในขบวนการเจริญพันธุ์ของพืช ซึ่งระยะการเจริญพันธุ์ (reproductive growth) จะได้รับผลกระทบจากการขาดโบรอนมากกว่าระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative growth) (Noppakoonwong *et al*., 1997) หากพืชขาดโบรอนจะส่งผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมในระยะการเจริญพันธุ์ โดยเป็นสาเหตุทำให้ดอกไม่สมบูรณ์ ละอองเรณู (Pollen grain) เป็นหมัน ยอดของเกสรตัวเมีย (stigma) ไม่พร้อมที่จะรับละอองเรณู ละอองเรณูไม่งอก การงอกของหลอดเรณู (pollen tube) ภายในก้านเกสรตัวเมีย (style) ไม่สมบูรณ์ ทำให้ไม่มีการปฏิสนธิ ไม่ติดผล เมล็ดไม่มีการพัฒนาหรือเมล็ดไม่สมบูรณ์ ทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกต่ำ และส่งผลให้ต้นกล้าอ่อนแอ (Dell and Huang, 1997) ในธัญพืชจะมีการพัฒนาของอับเรณู (anther) จะช้าลง การเจริญเติบโตของรังไข่ (ovule) และการสร้างไข่หรือละอองเกสรจะแสดงอาการอ่อนแอมากเมื่ออยู่ในสภาพการขาดโบรอน (Zhang *et al*., 1994) Rerkasem and Loneragan (1994) รายงานว่าเนื่องจากการขาดโบรอนทำให้การพัฒนาของละอองเรณูในระยะผสมเกสร (anthesis) ไม่สมบูรณ์ซึ่งในอับเรณู อาจไม่พบละอองเรณู หรือในกรณีที่พบอาจมีรูปร่างผิดปกติ เหี่ยวแห้ง ฝ่อลีบ ไม่สมบูรณ์ หรืออาจมีรูปร่างปกติแต่แป้งที่สะสมไว้มีปริมาณลดลง เป็นเหตุให้เกสรตัวผู้เป็นหมัน เบญจวรรณ และศันสนีย์ (2532) พบว่าอาการขาดโบรอนในข้าวบาร์เลย์คล้ายกับในข้าวสาลี โดยรวงจะเป็นหมัน เกสรตัวผู้จะฝ่อลีบและหลังจากนั้นรวงจะลีบไม่ติดเมล็ด เนื่องจากไม่มีการผสมเกสรซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาของละอองเรณูล้มเหลว และการเป็นหมันจะรุนแรงมากขึ้นเมื่อปลูกข้าวบาร์เลย์ในดินที่มีโบรอนต่ำ (0.1-0.2 mg B/kg) เป็นผลให้ผลผลิตลดลงมากกว่า 50 % (Rerkasem and Jamjod, 1989) อาการเป็นหมันในข้าวบาร์เลย์และข้าวสาลีสามารถสังเกตได้จากรวงในระยะที่มีการถ่ายละอองเกสร โดยเมื่อแสงส่องผ่านรวงจะมีลักษณะโปร่งใส และพบว่าดอกของข้าวสาลีจะบานอยู่เป็นเวลานานเนื่องจากไม่ได้รับการผสมเกสร (Rerkasem *et al*., 1989)

สำหรับการขาดโบรอนในระยะการพัฒนาของเกสรตัวเมีย (pistil) Xu *et al*. (1993) รายงานว่า oilseed rape เมื่ออยู่ในสภาพขาดโบรอนการพัฒนาของรังไข่ และถุงรังไข่จะถูกยับยั้งและการพัฒนาของยอดเกสรตัวเมียไม่ปกติ Vaughan (1997) พบว่าในข้าวโพดโบรอนที่ต่ำจะไปจำกัดการพัฒนาของเกสรตัวเมีย สำหรับการถ่ายละอองเกสรเพื่อการผสมพันธุ์ Cheng and Rerkasem (1993) รายงานว่าโบรอนมีความจำเป็น ต่อขั้นตอนการงอกของละอองเรณูและการเจริญของหลอดละอองเรณู ซึ่งการขาดโบรอนทำให้เกิดความล้มเหลวในการปฏิสนธิ ที่เกิดจากเกสรตัวผู้ไม่พัฒนา หลอดเรณูจะมีลักษณะผิดปกติ คือบวมหรือส่วนปลายของเรณูจะแตกออกภายใน 2-3 นาที เมื่อขาดโบรอน (Schmucher, 1934) Jamjod and Rerkasem (1999) รายงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลของการขาดโบรอนที่มีผลต่อการพัฒนาของเมล็ดและผล พบว่าในข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์ที่ขาดโบรอนจะพบว่าการติดเมล็ดน้อยและผลผลิตลดลง Rerkasem and Loneragan (1994) พบว่าในข้าวสาลีเมื่ออยู่ในสภาพการขาดโบรอนจะทำให้ขนาดของเมล็ดเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับในถั่วลิสง (Keerati-kasikorn *et al*., 1991) ซึ่งอาจเป็นการชดเชยจำนวนฝักที่น้อยลง โดยอาหารที่สะสมไว้จะถูกใช้ในการเจริญของเมล็ด ทำให้ได้เมล็ดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น Rerkasem *et al*. (1988) พบว่าการขาดโบรอนมีผลทำให้จำนวนฝักของถั่วเขียวผิวดำและถั่วเหลืองลดลง (Rerkasem *et al*., 1993) และในถั่วเขียวผิวมัน (Bell *et al*., 1990) จำนวนเมล็ดในแต่ละฝักก็ลดลงด้วยเมื่ออยู่ในสภาพที่ขาดโบรอน นอกจากการขาดโบรอนจะกระทบต่อผลผลิตแล้ว ยังมีผลต่อคุณภาพของผลผลิตด้วยเช่นกัน เบญจวรรณ (2537) พบว่าคุณภาพเมล็ดถั่วเขียวผิวดำจะต่ำ ถึงแม้ว่าน้ำหนักแห้งเมล็ดจะเท่ากัน เมล็ดที่มีปริมาณโบรอนต่ำความมีชีวิตจะต่ำ และมีเปอร์เซ็นต์การงอกที่ผิดปกติสูง ลักษณะเมล็ดกลวงในถั่วลิสงเป็นอาการจำเพาะเนื่องมาจากการขาดโบรอน Mary and Dale (1997) ได้ศึกษาการฉีด B และ Ca ผ่านทางลำต้นของถั่วเหลืองพบว่า สามารถเพิ่มจำนวนฝักต่อข้อและผลผลิตเมล็ด การให้ B ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของจำนวนฝักต่อข้อ 84.8 % และน้ำหนักเมล็ดต่อต้นเพิ่มขึ้น 17.6 % โดยผลผลิตเมล็ดในกรรมวิธีการให้ B อยู่ที่ 4,170 kg/ha^{-1} เปรียบเทียบกับ control อยู่ที่ 3,540 kg/ha^{-1} ดังนั้น B จึงสามารถเป็นตัวกำหนดผลผลิตของพืชได้

2.6 การขาดธาตุแคลเซียมในพืช

- การขาดธาตุแคลเซียมในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative growth)

พืชที่ขาดแคลเซียมพบว่าบริเวณปลายยอดและปลายรากไม่เจริญ เพราะเนื้อเยื่อไม่สร้างผนังเซลล์ทำให้เซลล์ไม่แบ่งตัว ลำต้น ยอด และก้านใบเปราะง่าย เซลล์ไม่ขยายตัว ใบเหลือง ในบริเวณใบอ่อน และใบอ่อนมักบิดเบี้ยวเสียรูปทรง เกิดลักษณะงอคล้ายตะขอ ที่ส่วนปลายยอด ปลายรากไม่เจริญ ลำต้นแคระแกร็น เนื่องจากแคลเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ยาก อาการขาดแคลเซียมจึงเกิดที่บริเวณใบอ่อนก่อน (สมบุญ, 2536) พืชที่ขาดธาตุแคลเซียมใบจะเกิดการม้วน (curl) ใบอ่อนอาจจะพบอาการของ chlorosis และ scorch และพืชที่ขาดแคลเซียมมากๆ จะเกิดอาการเหี่ยว (wilting) (ศักดิ์, 2530) ในส่วนของท่อน้ำและท่ออาหารถ้าขาดแคลเซียมจะทำให้เซลล์ของท่อน้ำท่ออาหารแตกแยกจากกัน การส่งน้ำและอาหารไปสู่ใบพืชจะขาดประสิทธิภาพ (Adams and Ho, 1993; Adams and Ho,1995) Evans and Kiss (1990) ได้รายงานว่าแคลเซียมเป็นตัวต่อต้านฤทธิ์ของสารออกซิน (auxin) โดยมีผลไปยับยั้งการยืดยาวของรากต้นกล้าข้าวโพด ออกซินเป็นฮอร์โมนที่ช่วยเร่งการขยายตัวของเซลล์ให้ยาวออกไป แคลเซียมสามารถต่อต้านฤทธิ์ของออกซิน มีผลทำให้สารนี้ทำงานได้พอเหมาะไม่ทำให้เซลล์พืชผิดปกติ พบว่าในพืช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่ขาดแคลเซียมการแบ่งเซลล์แบบ mitosis ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Taiz and Zeiger (1998) ว่าถ้าพืชขาดแคลเซียม ส่วนยอดและรากของพืชจะไม่เจริญ เพราะการแบ่งเซลล์แบบ mitosis ลดลง ถ้าขาดมากขึ้นพืชจะไม่มีการแบ่งเซลล์ นอกจากนี้แคลเซียมยังทำให้พืชมีลำต้นแข็งแรงและช่วยรักษาโครงสร้างของผนังเซลล์ และการขาดแคลเซียมยังทำให้การเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลในพืชลดลง เช่น การเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลจากใบไปสู่ผล (Burdon *et al*., 1992) สำหรับในข้าวโพดถ้าขาดแคลเซียม ต้นจะแตกเป็นพุ่มแคระเหมือนพัด ใบอ่อนจะไม่คลี่ออกเต็มที่ ปลายใบโค้งลงและติดกันเป็นกระจุก

- การขาดธาตุแคลเซียมในระยะการเจริญพันธุ์ (reproductive growth)

ในระยะพืชออกดอกและติดผล ถ้าพืชขาดแคลเซียมตาดอกและกลีบดอกจะไม่มีการพัฒนาดอกและผลจะร่วง เนื่องจากการขาดแคลเซียมที่บริเวณขั้วหรือข้อต่อของผลจะทำให้เกิดแก๊สเอธีลีน (Ethylene) เป็นเหตุทำให้ดอกและผลร่วง (ยงยุทธ, 2543) ถ้าพืชขาดแคลเซียมการสร้างฮอร์โมนของพืชก็จะลดลง กระทบต่อการออกดอกและการเจริญเติบโตของพืช Ho and Adams (1989) ศึกษาการขาดแคลเซียมเป็นระยะเวลาหนึ่งต่อการเจริญเติบโตและความเข้มข้นของธาตุอาหารใน petiole sap ของมะเขือเทศ พบว่าหลังจากที่งดการให้แคลเซียมแก่พืชเป็นเวลา 10 วัน ใบที่อยู่ด้านบนจะแสดงอาการขาดธาตุอาหาร ซึ่งทำให้ผลผลิตลดลง และพบอาการก้นผลเน่า สอดคล้องกับ ยงยุทธ (2543) รายงานว่า ถ้าแคลเซียมไม่เพียงพอสำหรับการคงสภาพของเนื้อเยื่อ จะทำให้พืชแสดงอาการขาดที่ผล เช่น อาการผลมะเขือเทศก้นเน่า และผิวผลของแอปเปิ้ลมีรอยบุ๋ม หรือที่อวัยวะอื่นๆ เช่น อาการไส้เน่าของเซเลอรี่และกะหล่ำดอก อาการปลายใบไหม้ของผักกาดขาวปลี สำหรับที่มีเนื้อมาก หากมีแคลเซียมน้อยเกินไปจะเข้าสู่สภาพเสื่อมตามอายุ รวดเร็วและเชื้อราเข้าทำลายง่ายความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวจึงมีสูง สำหรับในถั่วลิสงมีรายงานว่า การเพิ่มแคลเซียมเข้าไปในถั่วลิสง สามารถลดจำนวนฝักที่มีเมล็ดลีบลงได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved