บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

ถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) จัดอยู่ในวงศ์ Leguminosae เป็นพืชล้มลุกผสมตัวเอง การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองเป็นขบวนการที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่งอกโผล่พ้นผิวดินขึ้นมา (emergence) จนกระทั่งสุกแก่และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ (ลิลลี่, 2537) การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระยะหลักใหญ่ ๆ ด้วยกันคือ ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative growth stage) และระยะการเจริญเติบโตทางการเจริญพันธุ์ (reproductive growth stage) การเจริญทั้งสองระยะดังกล่าวยังถูกแบ่งออกเป็นระยะต่าง ๆ อีกหลายระยะ และได้มีการกำหนดวิธีการในการวัดระยะต่างๆขึ้นมาเพื่อให้เป็นที่เข้าใจตรงกันระหว่างผู้ที่ทำการศึกษาและสนใจในเรื่องของถั่วเหลือง วิธีการในการวัดการเจริญเติบโตและการพัฒนาดังกล่าวเรียกว่า ขั้นการเจริญเติบโต (growth stages) (อัจฉรา และคณะ, 2547)

McWilliams *et al.* (1999) แบ่งระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองออกเป็น 2 ระยะ คือ

1. ระยะเจริญเติบโตทางลำต้น ซึ่งแบ่งเป็น

VE = (emergence stage) ระยะเริ่มงอก ระยะที่ใบเลี้ยงกำลังจะโผล่พ้นดิน

VC = (cotyledon stage) ระยะที่ใบเลี้ยงกางเต็มที่ และเริ่มมีใบจริงคู่แรกปรากฏขึ้นแต่ยังไม่กางออก

V1 = (first node stage) ระยะที่เริ่มปรากฏข้อเป็นข้อแรกซึ่งเป็นข้อแรกซึ่งเป็นข้อที่มี unifoliate leaves กางเต็มที่ trifoliate leaf ที่อยู่ถัดขึ้นมาขอบใบเริ่มแยกออกจากกัน

V2 = (second node stage) ระยะที่ถั่วเหลืองเริ่มมีข้อที่ 2 เกิดขึ้นโดย trifoliate leaves ใบแรกที่อยู่ข้อที่ 2 กางเต็มที่ และ trifoliate leaves ที่อยู่ถัดขึ้นมาขอบใบเริ่มแยกจากกัน

V3 = (third node stage) ระยะที่ถั่วเหลืองเริ่มมีข้อที่ 3 เกิดขึ้นโดย trifoliate leaves ที่อยู่ถัดขึ้นมา ขอบใบเริ่มแยกจากกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Vn = (N^{th} node stage) ระยะที่ถั่วเหลืองเริ่มมีข้อที่ n เกิดขึ้น โดย trifoliate leaves ใบที่ n-1 ที่ข้อที่ n กางเต็มที่ trifoliate leaves ที่อยู่ถัดขึ้นมาเริ่มแยกจากกัน

2. ระยะการเจริญเติบโตทางการเจริญพันธุ์

R1 = (beginning bloom stage) ระยะที่ถั่วเหลืองเริ่มออกดอก โดยมีดอกแรกในข้อใดข้อหนึ่งของลำต้นบาน

R2 = (full bloom stage) ดอกที่อยู่ 2 ข้อบนสุดข้อใดข้อหนึ่งบาน

R3 = (beginning pod stage) ฝักที่อยู่ 4 ข้อบนสุดข้อใดข้อหนึ่งมีฝักยาว 0.5 เซนติเมตร

R4 = (full pod stage) ฝักที่อยู่ 4 ข้อบนสุดข้อใดข้อหนึ่งมีฝักยาวเกิน 2 เซนติเมตร

R5 = (beginning seed stage) ฝักที่อยู่ 4 ข้อบนสุดข้อใดข้อหนึ่งมีฝักที่มีเมล็ดขนาด 0.3 เซนติเมตร

R6 = (full seed stage) ฝักที่อยู่ 4 ข้อบนสุดข้อใดข้อหนึ่ง มีเมล็ดใดเมล็ดหนึ่งโตเต็มที่ เมล็ดมีสีเขียว

R7 = (beginning maturity stage) ฝักใดฝักหนึ่งบนลำต้นเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง

R8 = (full maturity stage) 95 % ของจำนวนฝักทั้งต้นเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล

2.2 ปริมาณและความต้องการน้ำของถั่วเหลือง

น้ำเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตของถั่วเหลือง (Hsiao 1973; Turner and Kramer, 1990) ปริมาณน้ำที่ใช้จะแตกต่างกันตามระยะของการเจริญเติบโตของพืช (Matson, 1964) ถั่วเหลืองมีความต้องการน้ำตั้งแต่เริ่มงอกจนถึงระยะติดฝักและสุกแก่ ซึ่งน้ำจะช่วยทำให้การติดฝักและการสะสมน้ำหนักในเมล็ดดีขึ้น (อภิพรรณ, 2533) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับพื้นที่ใบ การกระจายตัวของใบ แหล่งน้ำ ตลอดจนความต้องการในการระเหยสู่บรรยากาศ และในการสร้างผลผลิต (Kato, 1967) จากการศึกษาของ Thompson (1977) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับผลผลิตถั่วเหลืองเป็นเส้นตรง และเมื่อปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้น ผลผลิตของถั่วเหลืองก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย และจากการศึกษาของ Doss *et al.* (1974) และ Korte *et al.* (1983) พบว่าการให้น้ำอย่างเพียงพอในช่วงพัฒนาฝักและเมล็ด จะทำให้ผลผลิตสูงสุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถั่วเหลือง มีปริมาณการใช้น้ำอยู่ระหว่าง 250-730 มิลลิเมตร โดยปริมาณการใช้น้ำสูงสุดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 9-10 มิลลิเมตร/วัน (วันชัย, 2542) ส่วนในจังหวัดต่าง ๆ ของประเทศไทย ถั่วเหลืองมีปริมาณการใช้น้ำอยู่ระหว่าง 344-456 มิลลิเมตร และปริมาณการใช้น้ำสูงสุดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.1-4.2 มิลลิเมตร/วัน (กรมชลประทาน, 2537)

ถั่วเหลืองต้องการน้ำตลอดฤดูปลูก 300-400 มิลลิเมตร (อภิพรรณ, 2546) และจากการทดลองปริมาณการใช้น้ำในพืชต่าง ๆ อุทัย (2543) พบว่า ปริมาณการใช้น้ำของถั่วเหลืองตลอดฤดูปลูกอยู่ระหว่าง 550-650 ลูกบาศก์เมตร/ไร่

2.3 ระยะความต้องการน้ำของถั่วเหลืองที่สำคัญ

1. ระยะความต้องการน้ำของถั่วเหลืองเพื่อการงอกของเมล็ด

ดินต้องมีความชื้นพอเหมาะ และเพียงพอที่จะให้เมล็ดดูดน้ำไปใช้ เพราะเมื่อเมล็ดดูดน้ำความเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ทางสรีระของถั่วเหลืองก็เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเมล็ดจนกระทั่งเริ่มงอกในที่สุด ความต้องการน้ำเพื่อการงอกของเมล็ดถั่วเหลืองนี้อย่างน้อยสุดก็ประมาณ 50 % โดยคิดจากน้ำหนักแห้งของเมล็ดถั่วเหลืองเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดหรือข้าวใช้เพียง 30 % ของน้ำหนักแห้ง ถ้าในดินมีความชื้นน้อยความงอกของเมล็ดจะลดลงหรือเมื่องอกมาแล้วต้นอ่อนอาจจะเหี่ยวแห้งตายไปเพราะขาดความชื้น

2. ความต้องการน้ำของถั่วเหลืองในระยะกำลังเจริญเติบโตและให้ผลผลิต

การให้น้ำแก่ถั่วเหลืองนั้นต้องพยายามรักษาความชื้นในดินระดับรากพืช การขาดความชื้นในระยะแรกที่ถั่วเหลืองกำลังเริ่มออกดอกประมาณ 2-3 สัปดาห์ ก็จะทำให้ต้นถั่วเหลืองชะงักการเจริญเติบโต และเร่งการออกดอกจนดูว่าดอกดกมากแล้ว แต่แล้วดอกนั้นก็จะร่วงหล่นไป ความต้องการน้ำ หรือความชื้นในช่วงระยะติดฝักเริ่มมีเมล็ดนี้เป็นระยะที่สำคัญมาก เพราะถ้าดินมีความชื้นไม่พอต่อความต้องการของถั่วเหลืองแล้ว ดอกที่เริ่มติดฝัก หรือฝักอ่อนก็จะร่วงหล่น ทำให้ได้ผลผลิตต่ำ และถ้าดินขาดความชื้นในช่วงฝักเริ่มติดเมล็ดจะทำให้ฝักลีบ หรือเมล็ดมีขนาดเล็กปริมาณน้ำมันต่ำ การขาดน้ำในระยะนี้จะมีผลต่อผลผลิตมากที่สุด ดังนั้น ถั่วเหลืองจะต้องการน้ำตั้งแต่ปลูกเพิ่มมากขึ้น และต้องการมากในช่วงระยะการมีดอกและติดฝักจนกระทั่งถึงระยะเมล็ดเริ่มสุกแก่ (อัจฉรา และคณะ, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 การตอบสนองของพืชต่อสภาวะการขาดน้ำ

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับขบวนการและปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในต้นพืชไม่ว่าจะโดยทางตรงหรือทางอ้อมก็ตาม การทำงานต่าง ๆ ของเซลล์พืชจะขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำที่มีอยู่ (จักรี, 2539) การให้น้ำแก่พืชในปริมาณที่ไม่เพียงพอมีผลต่อการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาต่าง ๆ เช่น การสังเคราะห์แสงและการนำไฟฟ้าของใบลดลง ในสภาพที่ความสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์ได้ของน้ำในดินลดลง ทำให้ศักย์ของน้ำในพืชลดลงและมีผลต่อความเต่งของเซลล์ลดลงด้วย (Shackel *et al.,* 2000) การเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชจึงขึ้นอยู่กับความต่อเนื่องของการแบ่งเซลล์และการขยายตัวของเซลล์ลดลงย่อมส่งผลกระทบต่อลักษณะทางกายภาพของพืช (Kramer, 1983) Boonpradub (2000) รายงานว่าการตอบสนองของข้าวโพดต่อสภาวะขาดน้ำมีผลทำให้มีการตายของใบ (leaf senescence) และอุณหภูมิพุ่มใบ (canopy temperature) เพิ่มมากขึ้น โดยพันธุ์ที่ทนแล้งมีอัตราการเจริญเติบโตและการถ่ายเทสารสังเคราะห์ที่สูง มีความหนาแน่นของรากมากและสามารถดึงดูดน้ำจากดินในระดับลึกได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับ Puntase (2005) พบว่าถั่วลิสงสายพันธุ์ที่หลีกเลี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้งได้นั้น จะมีความสามารถที่จะรักษาสมดุลของน้ำภายในต้นได้ดี เพื่อใช้ในขบวนการต่าง ๆ และมีระบบรากที่หยั่งลึกตลอดจนมีปริมาณของรากมากเพื่อดูดน้ำมาใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้เป็นปกติ สภาวะขาดน้ำยังมีผลต่อส่วนขยายพันธุ์ ทำให้การยืดยาวของช่อดอกและการสร้างดอกชะงัก ขัดขวางการผสมเกสร จำนวนและขนาดของเมล็ดเล็กลง การลดการให้น้ำลงส่งผลให้การติดผลลดลง ผลมีขนาดเล็ก (Hsiao, 1995) การให้น้ำที่ต่ำกว่า 53 % ของการให้น้ำของมันฝรั่งในระยะการเกิดหัวทำให้ผลผลิตน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งลดลงเนื่องจากมีการเจริญของใบ, พื้นที่ใบ และน้ำหนักใบที่ลดลง (Nimah *et al*., 2000)

2.5 ผลกระทบของการขาดน้ำต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลือง

การขาดน้ำจะมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของสภาวะการขาดน้ำและระยะการเจริญเติบโตพืชที่มีสภาวะขาดน้ำเกิดขึ้น เมื่อถั่วเหลืองขาดน้ำจะลดอัตราการขยายตัวของพื้นที่ใบ เพื่อลดการสูญเสียน้ำโดยขบวนการคายน้ำ ทำให้มีการใช้น้ำน้อยลง จึงส่งผลให้ขบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างสารสังเคราะห์ลดลง ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลือง (Pandey *et al*., 1987) ทรงยศ และ อุมา (2543) พบว่าการลดความถี่การให้น้ำแก่ถั่วเหลืองส่งผลทำให้การเจริญเติบโตทางลำต้น ส่วนเจริญพันธุ์ให้ผลผลิต และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

องค์ประกอบของผลผลิตน้อยกว่าการให้น้ำตามปกติ ในพืชตระกูลถั่วการขาดน้ำในช่วงการเจริญพันธุ์ จัดว่าเป็นระยะวิกฤติของการผลิตพืช (Ashley and Ethridage , 1978; Turk *et al.*, 1980) ถ้าหากพืชมีการขาดน้ำจะทำให้ขบวนการทางสรีรวิทยา เช่น การสังเคราะห์แสง การขยายตัวของเซลล์ และการตรึงไนโตรเจนมีอัตราลดต่ำลงไป (Huang *et al*., 1975, Finn and William, 1980) ซึ่งสอดคล้องกับ Sionit and Kramer (1977) พบว่าเมื่อถั่วเหลืองขาดน้ำในระยะชักนำให้เกิดการออกดอกแล้ว จะทำให้ได้จำนวนดอก จำนวนฝัก และผลผลิตเมล็ดต่ำลง เพราะมีระยะออกดอกสั้นเกินไป และบางดอกเกิดเป็นหมันขึ้น Meckel *et al*. (1986) พบว่า ในช่วงพัฒนาฝักและเมล็ด ถ้าหากเกิดการขาดน้ำจะทำให้ผลผลิตลดลง โดยองค์ประกอบผลผลิตที่ถูกกระทบมากที่สุดคือจำนวนฝัก อิทธิพลของการขาดน้ำในระยะออกดอกและระยะเริ่มติดฝัก จะทำให้เกิดการหลุดร่วงของดอกและฝัก แต่อิทธิพลของการขาดน้ำในระยะที่เมล็ดสะสมน้ำหนักแห้ง ทำให้เมล็ดมีขนาดเล็กลง และส่งผลให้ผลผลิตลดลงได้ (อภิพรรณ, 2546) สมยศ และธวัชชัย (2543) ได้ศึกษาการตอบสนองของถั่วเหลืองฝักสดต่อการขาดน้ำช่วงต่าง ๆ กันของการเจริญเติบโตพบว่าการขาดน้ำในระยะติดฝัก มีผลทำให้น้ำหนักแห้งรวม, จำนวนฝักต่อต้น, จำนวนเมล็ดต่อฝัก และผลผลิตเมล็ดมีค่าต่ำสุด นอกจากนี้เมล็ดพันธุ์ที่ได้รับยังมีเปอร์เซ็นต์ความงอกต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการขาดน้ำช่วงอื่น ๆ และที่ได้รับน้ำตลอดอายุการเจริญเติบโต Breveden and Egli (2003) ศึกษาการขาดน้ำในช่วงเวลาสั้น ๆ ของถั่วเหลืองในช่วงสร้างเมล็ดพบว่าถั่วเหลืองเมื่อมีการขาดน้ำอย่างต่อเนื่อง carbon exchange rate จะลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ถั่วเหลืองมีการสุกแก่เร็วขึ้น ผลผลิตลดลงถึง 39 % และเมล็ดมีขนาดเล็กลง 25-33 % เนื่องจากการเติมเต็มของเมล็ดหยุดชะงัก เกิด leaf senescence พื้นที่ใบ ไนโตรเจนในใบ และระดับคลอโรฟิลล์ลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Miquel *et al.* (2005) ที่พบว่าในสภาวะขาดน้ำทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง ส่งผลต่อชีวเคมีทั้งหมดของถั่วเหลือง โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงลดลงประมาณ 70 % ในขณะที่อัตราการหายใจไม่ได้รับผลจากสภาวะขาดน้ำ ในสภาวะที่ขาดน้ำ Yizhi and Tian (2000) พบว่าถั่วเหลืองมีการตอบสนองต่อสภาวะเครียดจากการขาดน้ำคือการสะสมโพรลีนอิสระและ endogenous abscisic acid เพิ่มขึ้นซึ่งสารทั้งสองชนิดสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงการทนต่อความแห้งแล้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6 การวิเคราะห์การเจริญเติบโต

ในการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืชนั้น จะเกี่ยวข้องกับอัตราของการสะสมน้ำหนักแห้ง ทั้งนี้เพราะผลผลิตที่สร้างขึ้นจากขบวนการสังเคราะห์แสงจะอยู่ในรูปของน้ำหนักแห้ง ซึ่งจะสะสมอยู่ที่ลำต้น ใบ ฝัก ราก และเมล็ด ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโต (crop growth rate, CGR) และ (relative growth rate, RGR) ได้ สำหรับ RGR นี้จะปรากฏอยู่ในรูปของค่า slope ที่มีอยู่บนเส้นกราฟที่จุดใดจุดหนึ่ง จากการศึกษาของ McCloud (1974) ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์การเจริญเติบโตติดตามการเปลี่ยนแปลงของผลผลิต โดยการหาน้ำหนักแห้งของพืชที่สะสมอยู่ในส่วนต่าง ๆ โดยคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตจากการชั่งหาน้ำหนักแห้งสะสมทั้งหมดทุกสัปดาห์แล้วใช้สมการของ linear regression เป็นตัววิเคราะห์หาอัตราการเจริญเติบโต (CGR) โดยพบว่าถ้าหากพืชพันธุ์ใดมีการสร้างน้ำหนักแห้งอยู่ในส่วนที่เจริญเติบโต เช่น ใบ, ลำต้น, กิ่ง และดอกมากก็สามารถที่จะวิเคราะห์ได้ว่า พืชชนิดนั้นมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงกว่าพันธุ์หนึ่งซึ่งมีการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนที่เจริญที่ต่ำกว่า และเช่นเดียวกันถ้าหากพืชมีการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนที่เป็นผลผลิต เช่น ฝัก หรือเมล็ดอยู่มาก สามารถที่จะบอกได้ว่าพืชชนิดนั้นมีอัตราของการเจริญเติบโตของฝักหรือของเมล็ดที่สูง ผลผลิตที่ได้ก็จะมีมากขึ้นด้วย ในบางพันธุ์อาจจะมีอัตราการเจริญเติบโต (CGR) ที่สูง แต่มีอัตราการเจริญของฝัก (Pod growth rate, PGR) และการสร้างผลผลิตที่ต่ำก็สามารถที่จะวิเคราะห์ได้ว่าพืชพันธุ์ชนิดนั้นมีการถ่ายเทสารสังเคราะห์ไปสู่ส่วนที่เจริญเติบโตมากเกินไป ทำให้มีสารสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ถ่ายเทมายังฝักและเมล็ดน้อยลง จึงทำให้มีผลผลิตที่ต่ำ จากการศึกษาของ Hanway and Weber (1971) พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองพันธุ์ต่าง ๆ จะมีค่าตั้งแต่ 8.8-15.0 กรัม/ตารางเมตร/วัน และจากการทดลองของ Senthong *et al.* (1986) พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์อายุสั้นจะมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 9.7 กรัม/ตารางเมตร/วันในระดับน้ำที่มาก และมีค่าเฉลี่ย 7.6 กรัม/ตารางเมตร/วัน ในระดับน้ำที่น้อย เปรียบเทียบกับพันธุ์อายุปานกลางซึ่งมีค่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 16.4 กรัม/ตารางเมตร/วัน ในระดับน้ำที่มาก และมีค่าเฉลี่ย 9.0 กรัม/ตารางเมตร/วัน ในสภาพที่ขาดน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7 การถ่ายเทสารสังเคราะห์

พืชมีกลไกในการลำเลียงและกำหนดให้สารสังเคราะห์นั้นกระจายถ่ายเทไปยังส่วนต่าง ๆ เช่น ราก ลำต้น ใบ และจุดเจริญอื่น ๆ ให้อยู่ในปริมาณที่ได้สัดส่วนสมดุลกัน กระบวนการกระจายและการแบ่งสรรปันส่วนสารสังเคราะห์นี้จึงมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของส่วนต่าง ๆ และต่อการสร้างผลผลิตของพืช โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงเป็นกระบวนการสังเคราะห์อาหารจำพวกน้ำตาล น้ำตาลที่ถูกสังเคราะห์ขึ้น จะมีการลำเลียง (transportation) และจัดสรรปันส่วน (partitioning) ไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชเพื่อไปใช้ในการเจริญ และพัฒนาส่วนต่าง ๆ เหล่านั้น กระบวนการลำเลียงสารสังเคราะห์นี้จะดำเนินด้วยกระบวนการที่เรียกว่า mass flow ซึ่งเกิดขึ้นจากความแตกต่างกันของศักยภาพของน้ำ (water potential) ซึ่งจะเกิดต่อเนื่องกันเป็นลูกโซ่ เมื่อการลำเลียงมาถึงจุดที่ต้องการใช้สารสังเคราะห์เหล่านั้นก็จะถูกใช้ไป และเมื่อมีสารอาหารเหลือมากเกินไป สารสังเคราะห์เหล่านั้นก็จะเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปของการสะสม (storage) แทนและเมื่อใดก็ตามที่พืชต้องการใช้สารอาหารอย่างเร่งด่วน สารอาหารที่ถูกเก็บสะสมก็จะมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพให้อยู่ในรูปที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ และจะเคลื่อนไปในส่วนที่พืชต้องการ ใบพืชเป็นแหล่งผลิตสารสังเคราะห์ที่ใหญ่ที่สุด ซึ่งแหล่งผลิตเหล่านี้เราจะเรียกว่า source และแหล่งที่สารอาหารถูกลำเลียงไปไม่ว่าเพื่อไปใช้งาน หรือไปเก็บสะสมเราเรียกแหล่งนั้นว่า sink ซึ่งพืชจะลำเลียงและถ่ายเทสารอาหารที่สังเคราะห์ได้ไปยัง sink ที่อยู่ใกล้ที่สุด เช่น ส่วนใบล่างก็จะส่งไปเลี้ยงราก สำหรับใบที่อยู่ตรงกลางก็อาจส่งไปเลี้ยงทั้งส่วนบนและล่าง (เฉลิมพล, 2542)

เทวา (2531) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายเทสารสังเคราะห์ไปสู่เมล็ดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ยอดสน และนครสวรรค์ 1 พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์สจ. 5 ยอดสน และนครสวรรค์ 1 มีการถ่ายเทสารสังเคราะห์ไปยังเมล็ดถึง 79, 72 และ 78 % ตามลำดับ ซึ่งพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีเปอร์เซ็นต์ของการถ่ายเทสารสังเคราะห์ไปยังเมล็ดสูงกว่ามีแนวโน้มที่จะให้ผลผลิตสูงกว่าด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ สมชาย และคณะ (2537) พบว่าในพันธุ์ถั่วเขียวที่ให้ผลผลิตสูงนั้นจะมีการถ่ายเทสารสังเคราะห์ไปยังส่วนที่เป็นผลผลิตสูง แต่มีการถ่ายเทสารสังเคราะห์ไปสร้างลำต้น และใบในปริมาณที่น้อยกว่า ส่วนพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำนั้นการถ่ายเทสารที่สังเคราะห์ได้เข้าสู่ลำต้น, ใบ, กิ่งก้าน และดอก ในปริมาณที่มากกว่าส่วนที่เป็นผลผลิต ในขณะที่ อภิพรรณ (2533) พบว่าการสะสมน้ำหนักแห้งในเมล็ดประมาณ 80 % และที่เหลือ 20 % นั้น ได้จากการสังเคราะห์ที่ถูกสะสมไว้ในลำต้นแล้ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เคลื่อนย้ายเข้ามาเก็บไว้ในเมล็ดถึงแม้สารสังเคราะห์ส่วนหลังนี้จะเป็นส่วนน้อยที่พืชสะสมเข้าสู่เมล็ด แต่ก็มีความสำคัญมากในการที่จะทำให้กระบวนการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดดำเนินไปโดยไม่หยุดชะงัก เช่นเดียวกับ Thorne (1979) พบว่า เปลือกฝักถั่วเหลืองสามารถที่จะถ่ายเทสารสังเคราะห์ที่สะสมไว้ไปยังเมล็ดได้อีกด้วย นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์ของการถ่ายเทสารสังเคราะห์มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูฝนกับฤดูแล้ง ซึ่งพบว่าการขาดน้ำมีผลต่อขบวนการเคลื่อนย้ายสารสังเคราะห์จาก source ไปยัง sink โดยทำให้อัตราการเคลื่อนย้ายช้าลง ทำให้เกิดการคั่งของสารสังเคราะห์ในใบเป็นผลให้การสังเคราะห์แสงของใบลดลง (Doss *et al.,* 1974)

McGraw (1977) ได้คำนวณหาค่าของประสิทธิภาพในการถ่ายเทสารสังเคราะห์ (partitioning coefficient) สำหรับถั่วลิสงพันธุ์ Florunner ซึ่งมีอยู่ ประมาณ 73 % โดยที่ค่าของประสิทธิภาพนี้สามารถคำนวณหาได้จากการนำค่าของ PGR หารด้วย CGR แล้วคูณด้วยตัวคงที่ 1.65 และคูณด้วย 100 จะได้ค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทสารสังเคราะห์ซึ่งคิดออกมาได้เป็นเปอร์เซ็นต์ การวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการถ่ายเทสารสังเคราะห์ระหว่างการเจริญเติบโตทางลำต้นกับการเจริญเติบโตทางการเจริญพันธุ์ในพืชนั้น ประสิทธิภาพในการถ่ายเทสารสังเคราะห์ (partitioning coefficient) จะใช้เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงความสามารถในการสร้างผลผลิตที่แตกต่างกันของพืชได้ดีกว่าการใช้ค่าของ harvest index (HI) อธิบาย (Egli *et al.,* 1985)

2.8 โพรลีน

โพรลีนเป็นกรดอะมิโนที่ประกอบเป็นโปรตีนของสิ่งมีชีวิตทั้งในพืช สัตว์ และแบคทีเรีย พบสองรูปแบบ คือ โพรลีนอิสระ และโพรลีนร่วม ที่พบในพืชจะอยู่ในรูปโพรลีนอิสระสะสมในราก ลำต้น ใบ และส่วนต่าง ๆ ของพืช ในสภาพการขาดน้ำพืชตอบสนองต่อการสังเคราะห์และสะสมโพรลีนในปริมาณที่สูงมากภายในไซโตพลาสซึมของเซลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชั้นเมโซฟิลล์ของใบเพื่อลดอัตราการสูญเสียธาตุอาหาร คาร์บอน และไนโตรเจน ปริมาณโพรลีนอิสระที่สะสมขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของการสลายตัวของโปรตีนและอัตราเร็วของการสร้างและการสลายตัวของโพรลีนอิสระซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของคาร์โบไฮเดรตในใบและระยะเวลาของการสังเคราะห์ด้วยแสง จากการศึกษาของวัลลภ (2539) พบว่าในสภาพการขาดน้ำใบที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากจะมีการสะสมโพรลีนอิสระสูงกว่าใบที่ไม่สะสมคาร์โบไฮเดรต Stewart (1972) พบว่า ใบถั่ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เหลืองที่ขาดน้ำและอยู่ในที่มืดจะมีการสังเคราะห์โพรลีนอิสระสูงขึ้น และลดลงหลังจากที่ได้รับน้ำใหม่อีกครั้ง และยังขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ในใบ

การสะสมโพรลีนขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณคลอโรฟิลล์ ความสามารถของการสังเคราะห์แสง ระยะของการเจริญเติบโต ตำแหน่งของใบ และอายุของใบ เป็นต้น ซึ่งการสะสมโพรลีนมีปริมาณมากในส่วนของแผ่นใบ จากรายงานของ El-Tayeb and Hassanein (2000) ซึ่งพบว่าเมื่อให้ *Vicia faba* อยู่ในสภาพที่ขาดน้ำมีผลทำให้โปรตีนที่ละลายน้ำได้ กรดอะมิโนอิสระและปริมาณโพรลีนเพิ่มขึ้น โดยปริมาณโพรลีนในใบเพิ่มขึ้นมากกว่าในราก สอดคล้องกับ Phutela *et al*. (2000) ที่ได้ทำการศึกษาในผักกาด (*Brassica juncea*) พันธุ์ต่าง ๆ พบว่าพันธุ์ Varuna มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพรลีนในใบและรากเพิ่มขึ้นจาก 8.4 และ 5.3 ไมโครโมล/กรัม เป็น 128.2 และ 44.5 ไมโครโมล/กรัม ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ Prakash ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ไม่ทนแล้งปริมาณโพรลีนในใบและรากเพิ่มขึ้นจาก 7.0 และ 1.8 ไมโครโมล/กรัม เป็น 62.9 และ 13.4 ไมโครโมล/กรัม ตามลำดับ โดยการคงสภาพของโพรลีนในเซลล์พืชนั้นช่วยให้ส่วนประกอบภายในเซลล์ต่าง ๆ ของพืชมีความคงตัวอยู่ได้การเพิ่มขึ้นของปริมาณโพรลีนจะมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการทนแล้งของพืชโดยพืชพันธุ์ที่ทนแล้งจะมีปริมาณโพรลีนที่สูงกว่าพันธุ์ที่ไม่ทนแล้ง เช่น ในถั่วเหลืองพันธุ์ที่ทนแล้งมีปริมาณโพรลีนที่สูงกว่าพันธุ์ที่ไม่ทนแล้ง (Yizhi and Tian, 2000) เช่นเดียวกับ Siswanto and Sopian (1997) ที่พบว่าในกาแฟพันธุ์ที่ทนแล้งคือพันธุ์ BGN371 และ BP409 มีการสะสมโพรลีนในปริมาณที่สูงกว่าพันธุ์ที่ไม่ทนแล้งสภาวะเครียดจากน้ำมีผลทำให้โพรลีนในใบเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณการสะสมโพรลีนไม่เพิ่มขึ้นมากนัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved