ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (พฤกษศาสตร์)

ปริญญา

พฤกษศาสตร์ | พฤกษศาสตร์

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การปรับตัวทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองเมื่อปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

Physiological Acclimatization of Soybean Plant when Grown under Saturated Soil Culture

นามผู้วิจัย นางสาวศิริพรรณ บรรหาร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์อภิพรรณ พุกภักดี, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์นภดล เรียบเลิศหิรัญ, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาวิตร มีจุ้ย, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์สุรียา ตันติวิวัฒน์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เรื่อง

การปรับตัวทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองเมื่อปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

Physiological Acclimatization of Soybean Plant when Grown under Saturated Soil Culture

โดย

นางสาวศิริพรรณ บรรหาร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (พฤกษศาสตร์)
พ.ศ .2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศิริพรรณ บรรหาร 2555: การปรับตัวทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองเมื่อปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต) พฤกษศาสตร์ (สาขาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา: ศาสตราจารย์อภิพรรณ พุกภักดี, Ph.D. 213 หน้า

การศึกษาการปรับตัวทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 เมื่อปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ ได้ดำเนินการทดลองที่สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อ.เมือง จ.ลำปางระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2549 การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การทดลองในสภาพกระถางกับการทดลองในสภาพไร่นา โดยศึกษาจากลักษณะทางด้านการเจริญเติบโต ผลผลิต องค์ประกอบของผลผลิต ตลอดจนลักษณะทางด้านสรีรวิทยาต่างๆ ได้แก่ ความเขียวของใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ ประสิทธิภาพการทำงานของคลอโรฟิลล์ในใบพืช ความต้านทานการเปิดปากใบ อัตราการสังเคราะห์แสง อัตราการคายน้ำ ค่าศักย์ของน้ำในใบ และการตรึงไนโตรเจน โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) จากผลการทดลองพบว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีแนวโน้มของการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ใกล้เคียงกับถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความเขียวของใบ สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการปรับตัวเพื่อเข้าสู่สภาพปรกติได้โดยใบมีสีเขียวสดกลับเป็นปรกติเมื่อถั่วเหลืองอยู่ในระยะ V_5-V_6 หรือมีอายุ-26 28วันหลังปลูก และถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ยังมีค่าความต้านทานการเปิดปากใบที่ต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ จึงส่งผลให้ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ รวมไปถึงอัตราการคายน้ำและค่าศักย์ของน้ำในใบ อีกด้วย เมื่อวัดระดับการตรึงไนโตรเจน พบว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ สามารถตรึงไนโตรเจนในอัตราที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ ซึ่งจากค่าศักย์ของน้ำที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้น้ำและการตรึงไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีการปรับตัวให้สามารถเจริญอยู่ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้ นอกจากนี้ถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ยังมีอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงมากขึ้น รวมทั้งมีการสร้างผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตให้มากกว่าหรือมีค่าใกล้เคียงกับถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติอีกด้วย

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Siripan Banharn 2012 : Physiological Acclimatization of Soybean Plant when Grown under Saturated Soil Culture. Doctor of Philosophy (Botany), Major Field : Botany, Department of Botany. Thesis Adviser: Professor Aphiphan Pookpakdi, Ph.D.
213 pages.

The study on physiological responses of soybeans cultivars "Chakkrabhandhu" No. 1 when grown in saturated soil culture, as compared with the soybean plants receiving conventional irrigation, was conducted at Agricultural Research and Training Institute, Lanna Rachamongkla Technological University at Lampang province between July 2004 to October 2006. The study was divided into two sections, the pot trials and field experiment. Study involved with recording and data gathering on growth, yield, yield components and measuring various physiological characteristics of soybeans. Experiments were conducted using Factorial in Completely Randomized Design. Results of this study revealed that soybeans grown in saturated soil culture had the tendency of producing growth and yield as similar to those receiving conventional irrigation. In term of physiological characteristics, the chlorophyll content could be used as an indicator for acclimatization, at the point where the chlorophyll contents which were previously dropped at the earlier stage of growth when receiving saturated soil culture, returned to level similar to those of the conventional irrigated soybeans at V_5-V_6 growth stage. In relation to the stomatal resistance, saturated soybeans demonstrated the lower rate of stomatal resistance and allowed CO_2 influx through leaves more readily. These results could be used to explain the reason in which photosynthetic rate of saturated soybeans were higher than those grown in the conventional irrigation. The results also revealed that transpiration rate, water potential and N_2 fixation of the saturated soybean were much greater than the control, and the obtained data confirmed with previous findings which indicated that the water potential, water use efficiency and nitrogen fixation had made the saturated soybeans approached the acclimatization point more readily after suffered from brief flooding. As the result, saturated soybeans recovered and adjusted themselves through the increase in photosynthesis and finally increased their growth and yield up to the level similar or more than the conventional irrigation.

Keyword : Physiological response, Photosynthesis, Saturated Soil Culture, Soybean

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร .อภิพรรณ พุกภักดี ประธานกรรมการที่ปรึกษา ซึ่งได้ให้คำปรึกษา แนวความคิด และข้อคิดเห็นต่างๆ ของงานวิจัย ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนจนเสร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. นพดล เรียบเลิศหิรัญ กรรมการวิชาเอก ที่ได้คอยช่วยเหลือและให้คำปรึกษา รวมทั้งตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร .สาวิตร มีจุ้ย กรรมการวิชารอง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาในด้านการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ทางด้านวิทยาศาสตร์ในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนอำนวยความสะดวกต่างๆ ในขณะที่ทำวิจัยที่สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จ.ลำปาง และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ นอกเหนือจากนี้ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร .อิสรา สุขสถาน ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์จารุณี มีจุ้ย ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อให้ใช้ห้องปฏิบัติการ รวมทั้งวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นต่อการทำวิจัย และดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี ในขณะที่ทำวิจัยที่สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านๆ ของสถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง ที่อนุญาตให้ใช้พื้นที่สำหรับการศึกษาภาคสนามและห้อง ปฏิบัติการ ขอขอบคุณคุณเดชา น่วมแหยมและ คุณกรรณนิกา ขันทอง รวมทั้งเจ้าหน้าที่ขอสถาบันวิจัยทุกๆ ท่าน ที่ได้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือทางด้านวิทยาศาสตร์ รวมทั้งคุณเกศสุดา มนตรีศรี และน้องๆ นักศึกษา ภาควิชาพืชไร่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตลำปาง ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดระยะเวลาที่ไปทำวิจัย

ท้ายที่สุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา ให้สามารถก้าวผ่านปัญหาและอุปสรรคทุกอย่างไปได้ด้วยดี รวมทั้งผู้บังคับบัญชาและเพื่อนร่วมงาน รวมทั้งเจ้าหน้าที่ภาควิชาชีววิทยา มหาวิททยาลัยบูรพา ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

ศิริพรรณ บรรหาร

พฤษภาคม 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	46
ผลและวิจารณ์	59
ผล	59
วิจารณ์	121
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	146
สรุป	146
ข้อเสนอแนะ	148
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	150
ภาคผนวก	165
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	213

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ช่วงเวลาและจำนวนวันของการพัฒนาการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในการทดลองต่างๆ กัน ทั้งในกระถางและในแปลง ภายใต้สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและสภาพปกติ	62
2	ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธุ์ 1 ที่ปลูกในช่วงต่าง ๆ ตั้งแต่ปีพ.ศ 2547.ถึง พ.ศ 2549.ทั้งในกระถางและในแปลง ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	63
3	ข้อมูลการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในการทดลองต่างๆ กัน ทั้งในกระถางและในแปลง ภายใต้สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและสภาพปกติ	66
4	อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (Amax, $\mu molCO_2m^{-2}s^{-1}$) ที่ความเข้มแสงประมาณ 2,000 $\mu molCO_2m^{-2}s^{-1}$ ขึ้นไป ของใบถั่วเหลืองที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ในระยะ V_3 และ V_7 ของการทดลองที่ 2 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ 2547.ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ โดยนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ	84
5	ค่า quantum yield ($molCO_2mol^{-1}PPFD$) และ quantum requirement (ตัวเลขในวงเล็บ) ของใบถั่วเหลืองที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ในระยะ V_3 และ V_7 ของการทดลองที่ 2 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ 2547. ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ โดยนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ	84
6	อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (Amax, $\mu molCO_2m^{-2}s^{-1}$) ที่ความเข้มข้นของกาซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 500 $\mu molmol^{-1}$ ขึ้นไป ของใบถั่วเหลืองที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ในระยะ V_3 และ V_7 ของการทดลองที่ 2 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ 2547.ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ โดยนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ	88
7	Rubisco activity (molm-2s-1) ของใบถั่วเหลืองที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ในระยะ V3 และ V7 ของการทดลองที่ 2 ที่ปลูกในกระถางช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ 2547.ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ โดยนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ	88

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
8	อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (Amax, μmol$CO_2$$m^{-2}$$s^{-1}$) ที่ความเข้มแสงประมาณ 1,000 μmol$CO_2$$m^{-2}$$s^{-1}$ ขึ้นไป ของใบถั่วเหลืองที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ในระยะ V_3 และ V_7 ของการทดลองที่ 3 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ 2549.ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ โดยนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ	93
9	ค่า quantum yield (mol$CO_2$$mol^{-1}$PPFD) และ quantum requirement (ตัวเลขในวงเล็บ) ของใบถั่วเหลืองที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ในระยะ V_3 และ V_7 ของการทดลองที่ 3 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ โดยนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ	93
10	อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (Amax, μmol$CO_2$$m^{-2}$$s^{-1}$) ที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ1 ,0 00 μmolmol^{-1} ขึ้นไป ของใบถั่วเหลืองที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ในระยะ V_3 และ V_7 ของการทดลองที่ 3ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ 2549.ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ โดยนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ	97
11	Rubisco activity (mol$m^{-2}$$s^{-1}$) ของใบถั่วเหลืองที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ในระยะ V_3 และ V_7 ของการทดลองที่ 3 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ 2549.ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ โดยนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ	97
12	แสดงเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนโดยรวมในเมล็ด (total nitrogen in seed) และปริมาณโปรตีนโดยรวมในเมล็ด (total protein in seed) ของการทดลองที่ 3 และการทดลองที่ 4 ในปี พ.ศ 2549.ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	112

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ผลการวิเคราะห์ดินในแปลงทดลองปลูกถั่วเหลืองในสภาพปกติและสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2549	167
2	น้ำหนักแห้งทั้งหมดเฉลี่ย) total dry matter) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	168
3	น้ำหนักแห้งทั้งหมดเฉลี่ย) total dry matter) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงปลายฤดูหนาวพ.ศ.2548 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	169
4	น้ำหนักแห้งทั้งหมดเฉลี่ย) total dry matter) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	170
5	น้ำหนักแห้งทั้งหมดเฉลี่ย) total dry matter) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	171
6	ค่าเฉลี่ยความเขียวของใบ) SPAD unit) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	172
7	ค่าเฉลี่ยความเขียวของใบ) SPAD unit) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงปลายฤดูหนาวพ.ศ.2548 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	173
8	ค่าเฉลี่ยความเขียวของใบ) SPAD unit) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ 2549.ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	174

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
9	ค่าเฉลี่ยความเขียวของใบ) SPAD unit) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	175
10	ปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวม) total chlorophyll, mg/g fresh weight) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	176
11	ปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวม) total chlorophyll, mg/g fresh weight) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงปลายฤดูหนาว พ.ศ.2548 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	177
12	ปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวม) total chlorophyll, mg/g fresh weight) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	178
13	ปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวม) total chlorophyll, mg/g fresh weight) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	179
14	อัตราการสังเคราะห์แสง) ไมโครโมล/ตารางเมตร/วินาที(ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงปลายฤดูหนาว พ.ศ.2548 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	180
15	อัตราการสังเคราะห์แสง) ไมโครโมล/ตารางเมตร/วินาที(ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	181
16	อัตราการสังเคราะห์แสง (ไมโครโมล/ตารางเมตร/วินาที (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	182

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
17	อัตราการคายน้ำ) มิลลิโมล/ตารางเมตร/วินาที (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงปลายฤดูหนาว พ.ศ.2548 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	183
18	อัตราการคายน้ำ) มิลลิโมล/ตารางเมตร/วินาที (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	184
19	อัตราการคายน้ำ (มิลลิโมล/ตารางเมตร/วินาที (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	185
20	ความต้านทานการเปิดปากใบ) ตารางเมตร/วินาที/โมล (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	186
21	ความต้านทานการเปิดปากใบ) ตารางเมตร/วินาที/โมล (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงปลายฤดูหนาว พ.ศ.2548 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	187
22	ความต้านทานการเปิดปากใบ) ตารางเมตร/วินาที/โมล (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	188
23	ความต้านทานการเปิดปากใบ) ตารางเมตร/วินาที/โมล (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	189
24	ค่าศักย์ของน้ำในใบ (Leaf water potential ; bar) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงปลายฤดูหนาว พ.ศ.2548 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	190

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
25	ค่า chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	191
26	ค่า chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงปลายฤดูหนาวพ.ศ.2548 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	192
27	ค่า chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	193
28	ค่า chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	194
29	ปริมาณยูรีไอด์สัมพัทธ์) relative ureides index, %) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	195
30	ปริมาณยูรีไอด์สัมพัทธ์) relative ureides index, %) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	196
31	อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ) Net assimilation rate ; $g/m^{-2}/day$) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	197
32	น้ำหนักใบจำเพาะ (Specific leaf weight ; g/m^{-2}) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	198

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
33	อัตราการสะสมน้ำหนักต่อพื้นที่) Crop growth rate ; g/m^{-2}/day) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	199
34	อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์) Relative growth rate ; g/g/day) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	200
35	Leaf area ratio (LAR ; cm^{-2}/g) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	201
36	ดรรชนีพื้นที่ใบ) Leaf area index) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	202

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดง Light response curve	29
2	แสดง A/Ci response curve	32
3	แสดงกลไกการปลดปล่อยพลังงานในส่วนที่ไม่ถูกใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยวิธีต่างๆ	36
4	แสดงถึงลักษณะของ kautsky curve	37
5	การสะสมน้ำหนักแห้งทั้งหมดเฉลี่ย) กรัม/ต้น (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	67
6	การสะสมน้ำหนักแห้งทั้งหมดเฉลี่ย) กรัม/ต้น (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	67
7	การสะสมน้ำหนักแห้งทั้งหมดเฉลี่ย) กรัม/ต้น (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	68
8	การสะสมน้ำหนักแห้งทั้งหมดเฉลี่ย) กรัม/ต้น (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในการแปลงปลูกของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	68
9	ค่าเฉลี่ยความเขียวของใบ) SPAD unit) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ 2547 .ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	71
10	ค่าเฉลี่ยความเขียวของใบ) SPAD unit) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงต้นฤดูหนาวพ.ศ 2547 .ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	71
11	ค่าเฉลี่ยความเขียวของใบ) SPAD unit) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ 2549 .ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	72

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
12	ค่าเฉลี่ยความเขียวของใบ) SPAD unit) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ 2549 .ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	72
13	ปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวม) กรัม/กรัมน้ำหนักสด (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ 2547 .ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	74
14	ปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวม) กรัม/กรัมน้ำหนักสด (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงต้นฤดูหนาวพ.ศ .2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	74
15	ปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวม) กรัม/กรัมน้ำหนักสด (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	75
16	ปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวม) กรัม/กรัมน้ำหนักสด (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	75
17	อัตราการสังเคราะห์แสง) ไมโครโมล CO_2/ตารางเมตร/วินาที (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงต้นฤดูหนาวพ.ศ .2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	78
18	อัตราการสังเคราะห์แสง) ไมโครโมลCO_2/ตารางเมตร/วินาที (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝนปีพ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	79
19	อัตราการสังเคราะห์แสง) ไมโครโมลCO_2/ตารางเมตร/วินาที (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝนปีพ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	79

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	แสดง light response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง) CO_2 assimilation rate ; $mmolm^{-2}s^{-1}$) ต่อปริมาณแสง) PPFD ; $mmolm^{-2}s^{-1}$) ของใบถั่วเหลืองในระยะ V_3 ของการทดลองที่ 2 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	83
21	แสดง light response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง) CO_2 assimilation rate ; $mmolm^{-2}s^{-1}$) ต่อปริมาณแสง) PPFD ; $mmolm^{-2}s^{-1}$) ของใบถั่วเหลืองในระยะ V_7 ของการทดลองที่ 2 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	83
22	แสดง CO_2 response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง) CO_2 assimilation rate ; $mmolm^{-2}s^{-1}$) ต่อปริมาณแสง) PPFD ; $mmolm^{-2}s^{-1}$) ของใบถั่วเหลืองในระยะ V_3 ของการทดลองที่ 2 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	87
23	แสดง CO_2 response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง) CO_2 assimilation rate ; $mmolm^{-2}s^{-1}$) ต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ปากใบพืช) Ci ; $mmolmol^{-1}$) ของใบถั่วเหลืองในระยะ V_7 ของการทดลองที่ 2 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ.2547	87
24	แสดง light response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง) CO_2 assimilation rate ; $mmolm^{-2}s^{-1}$) ต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ปากใบพืช) Ci ; $mmolmol^{-1}$) ของใบถั่วเหลืองในระยะ V_3 ของการทดลองที่ 2 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ.2547	92
25	แสดง light response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง) CO_2 assimilation rate ; $mmolm^{-2}s^{-1}$) ต่อปริมาณแสง) PPFD ; $mmolm^{-2}s^{-1}$) ของใบถั่วเหลืองในระยะ V_7 ของการทดลองที่ 3 ที่ปลูกในกระถางช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	92

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	แสดง CO_2 response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง) CO_2 assimilation rate ; $mmolm^{-2}s^{-1}$) ต่อปริมาณแสง) PPFD ; $mmolm^{-2}s^{-1}$) ของใบถั่วเหลืองในระยะ V_3 ของการทดลองที่ 3 ที่ปลูกในกระถางช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	96
27	แสดง CO_2 response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง) CO_2 assimilation rate ; $mmolm^{-2}s^{-1}$) ต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ปากใบพืช) Ci ; $mmolmol^{-1}$) ของใบถั่วเหลืองในระยะ V_7 ของการทดลองที่ 3 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	96
28	อัตราการคายน้ำ (มิลลิโมล/ตารางเมตร/วินาที (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงต้นฤดูหนาวพ.ศ .2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	99
29	อัตราการคายน้ำ (มิลลิโมล/ตารางเมตร/วินาที (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน ปีพ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	100
30	อัตราการคายน้ำ (มิลลิโมล/ตารางเมตร/วินาที (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝนปีพ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	100
31	ความต้านทานการปิดเปิดปากใบ (ตารางเมตร/วินาที/โมล (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ .2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	103
32	ความต้านทานการปิดเปิดปากใบ (ตารางเมตร/วินาที/โมล (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงปลายฤดูหนาวพ.ศ .2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	103

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
33	ความต้านทานการปิดเปิดปากใบ (ตารางเมตร/วินาที/โมล (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	104
34	ความต้านทานการปิดเปิดปากใบ (ตารางเมตร/วินาที/โมล (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	104
35	ค่าศักย์ของน้ำในใบ) Leaf water potential , bar) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ .2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	106
36	ค่า chlorophyll flluorescence (Fv/Fm) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ .2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	109
37	ค่า chlorophyll flluorescence (Fv/Fm) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ .2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	109
38	ค่า chlorophyll flluorescence (Fv/Fm) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	110
39	ค่า chlorophyll flluorescence (Fv/Fm) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	110
40	ปริมาณยูรีไอด์สัมพัทธ์) relative ureides index, %) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ	114

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

41 ปริมาณยูรีไอด์สัมพัทธ์) relative ureides index, %) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ 114

42 อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ) Net assimilation rate, g/m^{-2}/day) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลง การทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ 116

43 น้ำหนักใบจำเพาะ) Specific leaf weight, g/m^{-2}) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ 116

44 อัตราการสะสมน้ำหนักต่อพื้นที่) Crop growth rate, g/m^{-2}/day) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลง การทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ 119

45 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์) Relative growth rate, g/g/day) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลง การทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ 119

46 Leaf area ratio (LAR, cm^{-2}/g) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ 120

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

1 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายสัปดาห์) มิลลิเมตร (ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ 2547.ถึงเดือนเมษายน พ.ศ 2548.ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง อ.เมือง จ.ลำปาง 166

2 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายสัปดาห์) มิลลิเมตร (ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ 2549.ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง อ.เมือง จ.ลำปาง 166

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การปรับตัวทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองเมื่อปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

Physiological Acclimatization of Soybean Plant

when Grown under Saturated Soil Culture

คำนำ

ถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ เมล็ดถั่วเหลืองประกอบด้วยโปรตีน ร้อยละ 35-40 น้ำมันร้อยละ 15-20 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 25-30 จึงเป็นพืชที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์มากมายในด้านอุตสาหกรรมต่อเนื่อง รวมทั้งการแปรรูปเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เพื่อการบริโภค ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองทั้งหมดประมาณ 1.165 ล้านไร่ในปี 2546/2547 แต่ผลผลิตที่ได้ยังไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ภายในประเทศที่สูงถึง 1,752,600 9 ตันต่อปี โดยพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งภาคกลางมีพื้นที่ปลูกสูงถึง 1,030,549 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 69.66 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2546) แต่สภาพพื้นที่ในภาคกลางที่ดินมีความชื้นสูง เนื่องจากยังมีฝนตกอยู่ทำให้เกิดน้ำท่วมขัง ไม่สามารถปลูกพืชไร่โดยทั่วไปได้ จึงได้เกิดแนวความคิดที่จะพัฒนาวิธีการเพิ่มผลผลิตถั่วเหลืองเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของประเทศตลอดจนการผลิตเพื่อให้เกินความต้องการจนสามารถส่งจำหน่ายเป็นสินค้าออกที่สำคัญในอนาคตได้ กล่าวคือ การขยายพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองเข้าไปในแหล่งที่มิใช่พื้นที่การปลูกถั่วเหลืองมาก่อนอาจจะโดยการปลูกถั่วเหลืองเป็นพืชเดี่ยวๆ หรือปลูกถั่วเหลืองร่วมกับพืชหลักอื่นๆ พื้นที่เป้าหมายที่น่าจะเป็นไปได้สำหรับการใช้ในการขยายพื้นที่ปลูกคือ พื้นที่นา โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่นาในแถบภาคกลางของประเทศ ซึ่งมีเนื้อที่ประมาณ 15,702,000 ไร่ อาจนำมาปลูกถั่วเหลืองได้ในระบบที่มีข้าวเป็นหลัก โดยปลูกถั่วเหลืองก่อนปลูกข้าวหรือหลังเก็บเกี่ยวข้าวแล้ว (อภิพรรณ, 2545) ซึ่งการปลูกถั่วเหลืองอย่างเดียวในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ หรือการปลูกร่วมกับข้าว พบว่าให้ผลผลิตค่อนข้างสูงเนื่องจากถั่วเหลืองเป็นพืชที่ค่อนข้างทนทานต่อสภาพน้ำท่วมขัง โดยถั่วเหลืองมีศักยภาพในการปรับตัว (acclimatization) เข้ากับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ แต่ในระยะแรกๆ นั้น การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองจะหยุดชะงัก มีลักษณะอาการใบเหลืองซีด (chlorosis) และใช้เวลานานในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ หลังจากนั้นถั่วเหลืองสามารถฟื้นตัวกลับคืนสู่สภาพปรกติ มีการสะสมน้ำหนักแห้งในอัตราสูง ซึ่งทำให้ผลผลิตสูงตามไปด้วย (Hunter *et al*, 1980)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การศึกษาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ทั้งในประเทศไทยและประเทศออสเตรเลีย เป็นการศึกษาที่จะพยายามหาแนวทางในการใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองให้มากยิ่งขึ้น ในอดีตงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ได้ชี้ให้เห็นถึงข้อดีของการที่ถั่วเหลืองมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะที่มีน้ำหล่อเลี้ยงอย่างเต็มที่ ทำให้มีการเจริญเติบโตและการสร้างน้ำหนักแห้งที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกในสภาพปรกติ การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำจากจุดที่มีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพดังกล่าว หรือที่เรียกว่า acclimatization นั้น ผลงานต่างๆ ในอดีตได้ชี้ให้เห็นว่า เกิดจากการที่ถั่วเหลืองเจริญเติบโตในสภาพที่ไม่ขาดน้ำ และมีการตรึงไนโตรเจนในอัตราที่สูง ซึ่งหากเป็นเพราะสาเหตุสองประการนี้จริง ก็อาจจะส่งผลให้ลักษณะทางสรีรวิทยาหลายลักษณะของถั่วเหลือง มีการพัฒนาในรูปแบบที่แตกต่างจากการปลูกในสภาพปรกติ ซึ่งลักษณะทางสรีรวิทยาดังกล่าวยังไม่ได้รับการศึกษาและเข้าใจมาก่อน ดังนั้นหากมีการศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองทางสรีรวิทยาและลักษณะทางสรีระบางประการของถั่วเหลืองในสภาพที่เจริญเติบโตอยู่ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาในสิ่งที่เกิดขึ้นใกล้ๆ กับระยะเวลาที่พืชมีการปรับตัว ความเข้าใจและองค์ความรู้ที่เกิดขึ้นอาจจะสามารถนำมาพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตในถั่วเหลืองหรือพืชตระกูลถั่วอื่นๆ ให้มีผลผลิตสูงในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้เช่นกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงการตอบสนองทางสรรีวิทยาของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำในด้านการเจริญเติบโต ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และลักษณะทางสรีระต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปรับตัวของถั่วเหลือง (acclimatization) ที่เจริญเติบโตอยู่ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

2. เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการที่จะใช้ประโยชน์จากความสามารถในการปรับตัวของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ในการเพิ่มผลผลิตของถั่วเหลือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพพื้นที่ดินนาหรือสภาพดินที่มีน้ำท่วมขังตลอดเวลาโดยการยกแปลงปลูกให้สูงขึ้นและให้น้ำท่วมขังรอบๆ แปลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. ลักษณะประจำพันธุ์ของถั่วเหลืองที่ใช้ในการทดลอง

ถั่วเหลืองที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้คือ คือพันธุ์จักรพันธ์ 1 ซึ่งได้รับอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์มาจากภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งประวัติพันธุ์ถั่วเหลืองที่ใช้เป็นพืชทดลอง (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2552) มีคุณลักษณะดังนี้

ถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1

ผู้พัฒนาพันธุ์ : ศ.ดร.อภิพรรณ พุกภักดี

หน่วยงาน : ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการพัฒนาพันธุ์

ถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ชื่อภาษาอังฤกษว่า “Chakkrabhandhu no.1” เป็นพันธุ์ถั่วเหลืองที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้พัฒนาขึ้น และได้รับการรับรองพันธุ์จากคณะอนุกรรมการประสานงานวิจัยปรับปรุงพันธุ์และขยายพันธุ์พืช ของกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เมื่อวันที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ 2541.ต่อมาคณะกรรมการวิจัยและพัฒนา กรมวิชาการเกษตร ได้มีมติรับรองให้ถั่วเหลืองพันธุ์นี้เป็นพันธุ์รับรอง เมื่อวันที่ 30 กันยายน พ.ศ.2541

ถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 หรือถั่วเหลืองสายพันธุ์ UFV 80-85 ได้รับการปรับปรุงจากมหาวิทยาลัยเฟดอรัลวิโคย่า ประเทศบราซิล ต่อมาถั่วเหลืองสายพันธุ์นี้ได้ถูกนำเข้ามาในประเทศไทย เมื่อปี พ.ศ. 2533 พร้อมๆ กับสายพันธุ์ถั่วเหลืองอื่นๆ จากประเทศบราซิล

ถั่วเหลืองสายพันธุ์ UFV 80-85 และสายพันธุ์อื่นๆ จำนวน 79 สายพันธุ์ได้รับการทดลองเบื้องต้นในพื้นที่ปลูก 8 แห่งในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง และใน 3 ฤดูปลูกคือ ต้นฤดูฝน ปลายฤดูฝนและฤดูแล้ง ต่อมาได้คัดเลือกพันธุ์ถั่วเหลือง 12 สายพันธุ์ นำไปปลูกทดสอบต่อในการทดสอบผลผลิตมาตรฐาน 13 การทดลอง หลังจากนั้นจึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับถั่วเหลืองสายพันธุ์ UFV 80-85 ร่วมกับพันธุ์อื่นๆ ในการทดลองด้านการปรับปรุงพันธุ์ การเขตกรรม การอารักขาพืช ตลอดจนการทดสอบในไร่นาเกษตรกรอีกด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ถั่วเหลืองสายพันธุ์ UFV 80-85 มีความเหมาะสมที่จะนำมาเพาะปลูกและส่งเสริมในประเทศไทย คณะนักวิจัยจึงได้เสนอขอรับรองพันธุ์อย่างเป็นทางการ เพื่อให้เกษตรกรไทยได้นำพันธุ์ดังกล่าวไปใช้ได้อย่างกว้างขวาง โดยใช้ชื่อว่า “จักรพันธ์ 1” เพื่อสดุดีต่อพระเจ้าวรวงศ์เธอพระองค์เจ้าจักรพันธ์เพ็ญศิริ ผู้ซึ่งทรงเป็นอดีตอธิการบดีมหาวิทยาลัยเกษตรศาสร์ และเป็นอนุสรณ์ถึงผลงานอันยิ่งใหญ่ที่ได้พระราชทานไว้เพื่อเป็นพื้นฐานของการพัฒนาการเกษตรของชาติ

ถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เชียงใหม่ 60 พันธุ์ สจ.4 และพันธุ์สุโขทัย 1 ถั่วเหลืองพันธุ์นี้เหมาะสมกับพื้นที่ปลูกในภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในต้นฤดูฝน และฤดูแล้งแต่ไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกในปลายฤดูฝน เนื่องจากมีความต้านทานต่อโรคใบจุดนูนค่อนข้างต่ำ ซึ่งมักจะระบาดในปลายฤดูฝน

ถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 มีความต้านทานต่อโรคแอนแทรคโนส โรคราสนิม และโรคทางใบอื่นๆ ค่อนข้างสูง ในการทดสอบในไร่นาเกษตรกรในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เชียงใหม่ 60 และพันธุ์ สจ.5 ในต้นฤดูฝนและฤดูแล้ง ซึ่งในฤดูแล้ง พ.ศ. 2539 ค่าเฉลี่ยผลผลิตของพันธุ์จักรพันธ์ 1 สูงกว่าพันธุ์เชียงใหม่ 60 และพันธุ์สจ.5 ถึง 55 และ 48% ตามลำดับ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 พบว่า มีน้ำมัน 18.30% มีโปรตีนสูง 41.04% และปริมาณโปรตีนในเมล็ดของพันธุ์จักรพันธ์ 1 สูงกว่าในเมล็ดของพันธุ์เชียงใหม่ 60 ด้วย

2. ประโยชน์และความสำคัญทางเศรษฐกิจของถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองจัดว่าเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทยและสามารถขึ้นได้ดีในสภาพดินฟ้าอากาศของประเทศไทย พื้นที่ปลูกถั่วเหลืองส่วนใหญ่อยู่ในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แต่แหล่งปลูกที่สำคัญจะอยู่ทางภาคเหนือและภาคกลางตอนบน เช่น จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดสุโขทัย จังหวัดกำแพงเพชร จังหวัดเพชรบูรณ์ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2529ข) ถั่วเหลืองใช้ประโยชน์ได้ทั้งในด้านการบริโภคในรูปเมล็ด น้ำมัน และกากถั่วเหลือง ความต้องการใช้ประโยชน์จากถั่วเหลืองในรูปเมล็ดของประเทศไทย จะมีประมาณ 70,000-80,000 ตันต่อปี ส่วนที่เหลือเป็นความต้องการในรูปกากถั่วเหลืองและน้ำมันถั่วเหลือง แต่การผลิตถั่วเหลืองภายในประเทศยังไม่เพียงพอต่อความต้องการคือสามารถผลิตได้เพียง 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณความต้องการทั้ง หมด จึงต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คิดเป็นมูลค่านับพันล้านบาทต่อปี (กรมวิชาการเกษตรและกรมส่งเสริมการเกษตร, 2529 และสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2529ก) ปัจจุบันรัฐบาลมีนโยบายขยายการผลิตถั่วเหลืองเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศ โดยการเร่งรัดและส่งเสริมให้มีการขยายพื้นที่ปลูก และหาแนวทางเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ โดยใช้วิทยาการและเทคโนโลยีใหม่ๆ เกี่ยวกับการผลิตต่างๆ เช่น การปรับปรุงพันธุ์ การเขตกรรม การใช้ไรโซเบียมและปุ๋ย การกำจัดวัชพืช เป็นต้น

ถั่วเหลืองมีคุณค่าทางอาหารสูงและให้โปรตีนในปริมาณที่สูง และยังคงมีความสำคัญยิ่งในทุกส่วนของโลกในด้านการเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปเอเชีย นอกจากถั่วเหลืองจะใช้ประโยชน์เป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์แล้ว ถั่วเหลืองยังเป็นพืชที่ใช้ในระบบการปลูกพืชต่างๆ และช่วยให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการปลูกพืชหลัก ความสำคัญอีกสองประการที่ทำให้ถั่วเหลืองเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับระบบเกษตรในภาคพื้นเอเชีย ได้แก่ การที่พืชดังกล่าวเป็นพืชที่ช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน จากกระบวนการตรึงไนโตรเจนในปมราก จากการที่ถั่วเหลืองสามารถตรึงไนโตรเจนได้นี้ ทำให้ถั่วเหลืองเป็นพืชที่ไม่จำเป็นจะต้องใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในการเจริญเติบโต และยังเผื่อแผ่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ถั่วเหลืองสามารถตรึงได้เองให้กับพืชอื่นๆ ที่ปลูกตามหลังอีกด้วย นอกจากนี้ถั่วเหลืองยังเป็นพืชที่เกษตรกรใช้ในการป้องกันมิให้มีการระบาดของโรคและแมลงเมื่อนำไปปลูกเป็นพืชหมุนเวียน (อภิพรรณ, 2545)

3. ปัญหาของถั่วเหลืองในประเทศไทย

ถั่วเหลืองจัดว่ามีคุณค่าทางอาหารแก่มนุษย์และสัตว์ เปอร์เซ็นต์โปรตีนในเมล็ดถั่วเหลืองมีอยู่ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และมีเปอร์เซ็นต์น้ำมัน 20 เปอร์เซ็นต์ แต่ถึงแม้ว่าถั่วเหลืองจะมีคุณค่าทางอาหารสูง และส่วนใหญ่เป็นพืชที่ให้โปรตีนสูง แต่พืชดังกล่าวยังถูกจัดว่าเป็นพืชเสริม เกษตรกรส่วนใหญ่มักจะไม่ค่อยนิยมปลูกพืชตระกูลถั่วเป็นพืชหลัก และจะปลูกก็ต่อเมื่อมีตลาดรับซื้อแทนที่จะปลูกเพื่อการบริโภค ดังนั้นผลผลิตของถั่วเหลืองในประเทศไทยจึงนับว่าต่ำเป็นอย่างยิ่ง (อภิพรรณ, 2533) การที่ผลผลิตของถั่วเหลืองค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบผลผลิตของธัญญพืชอื่นๆ เช่น ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง เหตุผลที่สำคัญได้แก่ พืชตระกูลถั่วนั้น ถูกจัดเป็นพืชเสริม ใช้ปลูกตามหลังพืชหลัก บางครั้งก็ใช้ปลูกแซมหรือปลูกแทรกกับพืชหลัก พื้นที่การปลูกถั่วเหลืองและพืชตระกูลถั่วอื่นๆ ก็นับว่าเป็นพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมหรือไม่ได้รับการปรับปรุงมากนัก (marginal land) พื้นที่ปลูกมักเป็นพื้นที่ที่อาศัยน้ำฝนแต่เพียงอย่างเดียว การเขตกรรมที่เกษตรกรให้กับพืชตระกูลถั่วเป็นไปในลักษณะที่เป็นการลงทุนน้อย เช่น การปลูกโดยการหว่านเมล็ด การไม่ดูแลเก็บเกี่ยววัชพืช และการไม่ไถพรวน เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงพันธุ์และผลผลิตของถั่วเหลือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการนำมาปลูกในระบบเกษตรของทวีปเอเชียยังนับว่าจำกัดอยู่มาก หากพิจารณากันให้ดีแล้ว จะเห็นได้ว่างานวิจัยที่เกี่ยวกับถั่วเหลืองและพืชตระกูลถั่วบางชนิด เช่น ถั่วลิสง ในประเทศสหรัฐอเมริกาและยุโรปตะวันตกบางประเทศก้าวหน้าไปเป็นอย่างมาก และในประเทศสหรัฐอเมริกาและยุโรปตะวันตกก็เป็นแหล่งที่ปลูกถั่วเหลืองและถั่วลิสงได้อีกด้วย ผลจากการวิจัยดังกล่าวทำให้ผลผลิตถั่วเหลืองและถั่วลิสงในสหรัฐอเมริกาสูงกว่าผลผลิตในประเทศกำลังพัฒนาหลายประเทศ อย่างไรก็ตามพันธุ์ถั่วเหลืองที่ให้ผลผลิตสูงใสหรัฐอเมริกาก็ไม่สามารถนำมาปลูกในภาคพื้นเอเชียอาคเนย์ได้ เนื่องจากพันธุ์ดังกล่าวไม่ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมในเขตร้อนของทวีปเอเชีย และเนื่องจากระบบการปลูกพืชในเอเชียที่เกษตรกรปลูกพืชหลายชนิดลงไปในแปลงที่มีสภาพแวดล้อมแตกต่างไปจากสหรัฐอเมริกา จึงทำให้พันธุ์ถั่วเหลืองเหล่านั้นไม่ให้ผลผลิตสูงดังเช่นที่ปลูกในสหรัฐอเมริกา นอกจากนี้ประเทศต่างๆ ในทวีปเอเชียรวมทั้งประเทศไทย โอกาสที่จะมีการขยายพื้นที่เพาะปลูกโดยการหักร้างถางพง แล้วนำเอาพื้นที่ดังกล่าวมาใช้ในการปลูกพืชนั้นเป็นไปได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากพื้นที่ป่าไม้ซึ่งเป็นทรัพยากรที่สำคัญมีน้อย และประชากรที่อยู่อาศัยต่อตารางกิโลเมตรมีมาก ดังนั้นการเพิ่มผลผลิตของถั่วเหลืองต่อพื้นที่ จึงเป็นทางออกเดียวที่จะใช้ในการปรับปรุงพืชตระกูลถั่วหรือถั่วเหลืองให้มีผลผลิตสูงขึ้น การที่ถั่วเหลืองมีผลผลิตสูง ย่อมทำให้เกษตรกรได้กำไรจากพืชนั้นๆ มากขึ้น และทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำ และย่อมทำให้ราคาของพืชผลนั้นๆ อยู่ในระดับที่ทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคพอใจ (อภิพรรณ, 2533)

ถึงแม้ผลผลิตของถั่วเหลืองที่ต่ำจะเกิดจากปัจจัยต่างๆ หลายประการและที่มีความสำคัญยิ่งและก่อให้เกิดอุปสรรคต่อการปรับปรุงพันธุ์และผลผลิตนั้น มาจากปัจจัยทางเศรษฐกิจและสังคม (อภิพรรณ, 2533) แต่ถ้าไม่นับปัจจัยทางเศรษฐกิจและสังคมแล้ว ผลผลิตและคุณภาพของถั่วเหลืองที่ต่ำนั้นเกิดขึ้นเนื่องจาก ปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพหลายประการ การวิจัยเพื่อหาแนวทางที่จะแก้ไขปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพนี้ จะทำให้ถั่วเหลืองเพิ่มขีดความเป็นไปได้ของผลผลิต (potential yield) ดังนั้นปัจจัยต่างๆ เหล่านี้จึงจำเป็นที่จะต้องนำมาวิจัยเพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ และการปรับปรุงเทคโนโลยีในการผลิตถั่วเหลืองต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. คำนิยาม (definition) ของการปลูกพืชในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Soil Culture ; SSC)

Saturated Soil Culture (SSC) หมายถึง การเพาะปลูกพืชภายใต้อิทธิพลหรือสภาพของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (soil saturated) ที่อยู่ต่ำจากระดับน้ำใต้ดิน (irrigation water table) เกิดแรงดูดซับ (capillary force) ดูดความชื้นจากชั้นดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ผ่าน capillary tube ซึ่งเกิดจากการทดน้ำเข้าท่วมรากครั้งแรก ดินบนแปลงปลูกเปียกเป็นเนื้อเดียวกัน (soil saturation) หลังจากนั้นระบายน้ำออกทันที นั่นคือ ดินได้ผ่านสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำมาแล้ว) ด้วยแรงดูดซับขึ้นไปสู่ดินชั้นบนซึ่งถูกแสงแดดและสมพัดทำให้น้ำในดินเคลื่อนที่ในรูปของไอน้ำ (vapor) ขณะที่ไอน้ำไหลออกสู่บรรยากาศหรือน้ำระเหยหรือใบพืชคายน้ำ ดินชั้นบนจะแห้งและก่อให้เกิดแรงดึง (tension) ความชื้นจากดินชั้นที่ต่ำกว่าลงมา ซึ่งมีความชื้นมากกว่าก็จะไหลขึ้นมาแทนที่และเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและตลอดเวลา เมื่อมีการให้น้ำทางใต้ผิวดิน มีผลทำให้ดินบนแปลงปลูกมีความชื้นที่ใช้ประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช (available moisture) ณ ระดับ field capacity (เจริญ, 2539)

Convetional Irrigation (CI) หมายถึง การให้น้ำในสภาพปรกติ 10-14 วันต่อครั้ง ซึ่งพืชจะได้รับสภาพน้ำท่วมขัง (water logging) ในช่วงแรก และขาดน้ำ (water stress) ในช่วงท้ายของการให้น้ำแต่ละครั้ง ตลอดชั่วอายุพืชจะเกิดสลับกันหลายครั้ง ซึ่งมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและทำให้ผลผลิตของพืชลดต่ำลง (Nathanson *et al*., 1984)

5. ความเป็นมาของงานวิจัยเกี่ยวกับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและแนวทางในการพัฒนาเพื่อเพิ่มผลผลิตถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

5.1 แนวความคิดเพื่อใช้ประโยชน์จากการวิจัยเกี่ยวกับดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

การวิจัยเกี่ยวกับการตอบสนองของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำในประเทศไทย เกิดขึ้นจากแนวความคิดที่จะพัฒนาวิธีการเพิ่มผลผลิตถั่วเหลือง เพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของประเทศตลอดจนการผลิตเพื่อให้เกินความต้องการจนสามารถส่งจำหน่ายเป็นสินค้าออกที่สำคัญในอนาคตได้ กล่าวคือ การขยายพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองเข้าไปในแหล่งที่มิใช่พื้นที่ปลูกถั่วเหลืองมาก่อน อาจจะโดยการปลูกถั่วเหลืองเป็นพืชเดี่ยวๆ หรือปลูกร่วมกับพืชหลักอื่นๆ พื้นที่เป้าหมายที่น่าจะเป็นไปได้สำหรับการใช้ในการขยายพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองคือ พื้นที่นา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแถบภาคกลางของประเทศ ซึ่งมีเนื้อที่ประมาณ 15,702,000 ไร่ (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2529) อาจนำมาปลูกถั่วเหลืองได้ในระบบที่มีข้าวเป็นหลัก โดย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปลูกถั่วเหลืองก่อนปลูกข้าวหรือหลังเก็บเกี่ยวข้าวแล้ว ซึ่งตามปรกติในช่วงระยะเวลาดังกล่าว พื้นที่ในแถบที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศส่วนใหญ่ยังอยู่ในสภาพที่มีฝนตกอยู่ ซึ่งทำให้เกิดสภาพน้ำท่วมขัง หรือดินมีความชื้นสูงเกินกว่าที่จะปลูกพืชไร่โดยทั่วๆ ไปได้ (อภิพรรณ, 2533)

5.2 ความเป็นมาของการวิจัยเกี่ยวกับดินอิ่มตัวด้วยน้ำในระยะแรก

ได้มีรายงานว่า ถั่วเหลืองจัดเป็นพืชที่ค่อนข้างทนทานต่อสภาพดินน้ำท่วมขังชั่วคราว (Pendleton, 1976 ; Lawn and Byth, 1973 ; และ Stanley *et al*., 1980) และสามารถปรับตัวเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Nathanson *et al*, 1984) ในประเทศ ออสเตร เลียได้มีการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้อย่างจริงจัง และประสบผลสำเร็จในการนำวิธีการดังกล่าวไปใช้ในไร่นาของเกษตรกรในแถบใต้ของรัฐนิวเซาท์เวลล์ แต่การขยายพื้นที่ปลูกยังอยู่ในระดับที่เป็นไปอย่างช้าๆ (Troedson *et al*, 1989) เมื่อพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการที่จะปลูกถั่วเหลืองภายใต้สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำให้ได้ผลในเชิงเศรษฐกิจ Troedson และคณะ (1989) ได้เสนอแนะว่า สภาพพื้นที่ที่เหมาะต่อการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำคือ ประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยการปลูกถั่วเหลืองหมุนเวียนกับข้าว อย่างไรก็ตามการที่จะนำความรู้และเทคโนโลยีการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ เพื่อเพิ่มการผลิตถั่วเหลืองในสภาพพื้นที่ดังกล่าวอย่างได้ผลและมีประสิทธิภาพนั้น ควรได้มีการทดลองศึกษาเพิ่มเติมถึงผลการตอบสนองของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ตลอดจนความรู้ในด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการปรับตัวของถั่วเหลืองให้สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ในสภาวะดังกล่าว และยังส่งผลให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกในสภาพปรกติได้

5.3 แนวทางการวิจัยเพื่อให้ถั่วเหลืองในระบบดินอิ่มตัวด้วยน้ำให้ผลผลิตสูงขึ้น

การศึกษาถึงการตอบสนองของถั่วเหลืองพันธุ์ต่างๆ ต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำในประเทศไทยน่าจะเป็นวิถีทางหนึ่งในการที่จะนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตของถั่วเหลืองในสภาพพื้นที่ที่มีปัญหาด้านการระบายน้ำไม่ดี สภาพดินที่มีความชื้นสูงหรือน้ำท่วมขังชั่วคราว เช่นสภาพพื้นที่นา โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่นาแถบภาคกลางของประเทศ โดยการปลูกถั่วเหลืองร่วมกับการปลูกข้าว หรือปลูกก่อนหรือหลังเก็บเกี่ยวข้าวแล้ว ซึ่งนอกจากผลผลิตถั่วเหลืองที่ได้รับแล้ว ประโยชน์ด้านอื่นที่ได้รับคือช่วยปรับปรุงสภาพของดิน เพิ่มธาตุอาหารให้แก่ข้าว ลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับปุ๋ยลง ควบคุมการแพร่ระบาดของศัตรูพืช นอกจากนี้ยังสามารถใช้ความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในสภาพพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองแบบปรกติ โดยการปรับวิธีการให้น้ำให้ดินอยู่ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ก็อาจจะเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตของถั่วเหลืองได้ หรือโดยการปรับวิธีการชลประทานที่เหมาะสมแก่ถั่วเหลืองโดยการเพิ่มปริมาณน้ำที่ให้แต่ละครั้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไม่ต้องระบายน้ำส่วนเกินออกและยืดเวลาการให้น้ำแต่ละครั้งให้ห่างออกไป ซึ่งจะช่วยประหยัดน้ำ ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการให้น้ำชลประทานลงได้ (โกวิท, 2533) นอกจากนี้หากสามารถนำเทคโนโลยีของการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำมาใช้เพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์ให้เพียงพอกับความต้องการของเกษตรกร ยังเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อเมล็ดพันธุ์ของเกษตรกรได้อีกทางหนึ่ง และยังสามารถนำใช้พัฒนาและปรับปรุงการปลูกถั่วเหลืองฝักสดเพื่อเพิ่มปริมาณการส่งออกสู่ประเทศญี่ปุ่นให้มากขึ้นและเป็นการเพิ่มรายได้เข้าสู่ประเทศอีกด้วย

แนวทางในการที่จะทำให้ถั่วเหลืองในระบบดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ให้ผลผลิตสูงน่าจะทำได้หลายกรณี รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป สามารถกระทำได้หลายวิธีดังนี้

(ก) การใช้พันธ์อายุยาวหรือพันธุ์หนัก (late maturing variety) ในระบบของการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งอภิพรรณ และคณะ (2539) พบว่าการใช้ถั่วเหลืองที่มีอายุยาวคือ พันธุ์จักรพันธ์ 1 สามารถให้ผลผลิตสูงเมื่อปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและพันธุ์จักรพันธ์ 1 ยังมีอัตราการตรึงไนโตรเจนที่สูงมาก การที่ใช้พันธุ์ที่มีอายุยาวทำให้ยืดอายุการสุกแก่ออกไปและมีการสะสมน้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้น จึงเป็นผลทำให้ผลผลิตสูงขึ้น

(ข) การใช้อัตราปลูกสูงมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลือง การจัดการเขตกรรมเป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้ถั่วเหลืองได้รับสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่เหมาะสมนั่นคือ อัตราปลูกถั่วเหลือง (เอ็จ, 2521) ดังนั้นอัตราปลูกมีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อปัจจัยสภาพแวดล้อมภายในแปลงปลูกถั่วเหลือง เฉลิมพล (2535) กล่าวไว้ว่า สำหรับปัจจัยทางการจัดการ ได้แก่ ระยะปลูกและ ความหนาแน่นของอัตราประชากร เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น การสะสมน้ำหนักแห้ง (หรือการเจริญเติบโต) ต่อต้นลดลงแต่ต่อปริมาณน้ำหนักแห้งต่อพื้นที่จะเพิ่มขึ้น ถั่วเหลืองเป็นพืชประเภทแตกกิ่งก้าน เมื่อเพิ่มความหนาแน่นของประชากรจนถึงระดับหนึ่งแล้ว ซึ่งไม่ว่าจะทำได้ด้วยการลดระยะปลูกให้แคบลง หรือเพิ่มจำนวนต้นต่อหลุมก็ตาม องค์ประกอบของผลผลิตที่ถูกกระทบอันดับแรกคือ จำนวนฝักต่อต้น ซึ่งจะลดลง แต่องค์ประกอบอื่นๆ ของผลผลิตจะไม่เปลี่ยนแปลง และผลผลิตจะถูกชดเชยด้วยจำนวนต้นต่อพื้นที่ที่เพิ่มขึ้น

อภิพรรณ และคณะ (2535) รายงานไว้ว่าการเพิ่มอัตราปลูกให้สูงขึ้นจาก 200,000 ต้นต่อเฮกตาร์ เป็น 800,000 ต้นต่อเฮกตาร์ ทำให้ผลผลิตและน้ำหนักแห้งต่อพื้นที่ของถั่วเหลืองพันธุ์สจ.4 ทั้งที่ปลูกที่กำแพงแสนและขอนแก่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Board และคณะ (1990) รายงานไว้ว่า การสะสมน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองที่ระยะ R5 จะมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มผลผลิตของถั่วเหลืองที่ปลูกโดยใช้ระยะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระหว่างแถวแคบ (50 เซนติเมตร) จะมีการสะสมน้ำหนักแห้งต่อพื้นที่มากกว่าการปลูกถั่วเหลืองโดยใช้ระยะแถวกว้าง (100 เซนติเมตร) ทำให้ถั่วเหลืองที่ปลูกระยะแถวแคบให้ผลผลิตเมล็ดสูงกว่าระยะแถวกว้าง แต่ถ้าการใช้อัตราปลูกที่สูงเกินไปจะทำให้ต้นถั่วเหลืองมีการบังแสง เกิดร่มเงาบังแสงซึ่งกันและกัน ลำต้นถั่วเหลืองสูงขึ้น ขนาดลำต้นเล็กลง มีกิ่งก้านน้อย หรือไม่มีเลย เนื่องจากเกิดการแข่งขันกันเพื่อรับแสงแดด ธาตุอาหาร ความชื้นในดิน และสภาพแวดล้อมอื่นๆ (สุทัศน์, 2516 ; Fontes and Ohlrogge, 1972) และในส่วนของดรรชนีพื้นที่ใบ (LAI) โดยทั่วๆ ไปแล้วการรับแสงของพืชจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราปลูกสูงขึ้น และทำให้พื้นที่ใบเพิ่มขึ้น (Kamnarlrut, 1973) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Weber และคณะ (1966) รายงานไว้ว่า ดรรชนีพื้นที่ใบมีความสัมพันธ์ทางสถิติกับน้ำหนักแห้งของถั่วเหลือง การปลูกถั่วเหลืองในอัตราปลูกเหมาะสม จะทำให้ถั่วเหลืองมีดรรชนีพื้นที่ใบสูงสุดอย่างรวดเร็ว

Wigham (1983) รายงานว่า การปลูกถั่วเหลืองให้มีจำนวนประชากรต่อพื้นที่มาก จะทำให้จำนวนกิ่งต่อต้นลดลงแต่จำนวนข้อบนกิ่งหลัก (main stem) ไม่เปลี่ยนแปลง แต่ในทางตรงข้ามการปลูกในอัตราประชากรที่หนาแน่นจะส่งผลให้จำนวนฝักต่อหน่วยพื้นที่เพิ่มขึ้น เป็นผลให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูงขึ้น Pookpakdi (1992) พบว่าการเพิ่มศักยภาพในการพัฒนาถั่วเหลืองให้มีผลผลิตต่อพื้นที่สูงขึ้น ด้วยการเพิ่มประชากรต่อพื้นที่เพาะปลูกจาก 200,000 เป็น 400,000 ต้นต่อเฮกตาร์ ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 1.9 ตันต่อเฮกตาร์เป็น 3.7 ตันต่อเฮกตาร์ เมื่อปลูกบนแปลง ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

(ค) การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเร่งให้ระยะ lag phase สั้นเพื่อเพิ่มผลผลิตของถั่วเหลือง ในการศึกษาของอภิพรรณ (2533) แสดงให้เห็นว่า ปุ๋ยไนโตรเจนในดินนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในช่วงที่ถั่วเหลืองยังไม่สามารถสร้างปมและตรึงไนโตรเจนได้ในช่วง 14 วันแรกหลังงอก ดังนั้นต้นกล้าจึงจำเป็นต้องอาศัยไนโตรเจนจากใบเลี้ยง ซึ่งอาจจะไม่เพียงพอ จึงต้องให้ปุ๋ยไตรเจนในดินในช่วงแรก

ถั่วเหลืองเป็นพืชที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ โดยใช้กิจกรรมร่วมกับไรโซเบียมที่อยู่ในปมราก การสร้างปมของถั่วเหลืองจะเริ่มขึ้นเมื่อถั่วเหลืองอายุได้ประมาณ 7 ถึง 9 วันหลังงอก และเมื่อโผล่พ้นดินแล้ว กระบวนการตรึงไนโตรเจนจะเริ่มเกิดขึ้นหลังจากนั้นอีกประมาณ 10 ถึง 14 วัน (อภิพรรณ, 2533) อัตราการตรึงไนโตรเจนของพืชตระกูลถั่วตามช่วงเวลาที่ผ่านไปนั้น มีลักษณะเป็นแบบ sigmoid curve (Bond, 1936 ; Hardy *et al*., 1971 ; Weber *et al*., 1971) คือในช่วงระยะแรกๆ จะเป็นแบบ lag phase ซึ่งระยะนี้อัตราการตรึงไนโตรเจนและอัตราการเจริญทางด้าน vegetative growth เป็นไปอย่างช้าๆ ระยะที่สองเป็นแบบ exponential phase มีอัตราการตรึงไนโตรเจนสูง การเคลื่อนย้ายสารประกอบอินทรีย์ที่ได้จากการตรึง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไนโตรเจนจากปมให้แก่พืชตระกูลถั่วเกิดขึ้นมาก และมีอัตราการเจริญเติบโตของส่วน shoot มากกว่าส่วนรากและปม ส่วนระยะต่อมาอัตราการตรึงไนโตรเจน จะเริ่มลดลงตามลำดับ จนกระทั่งถึงระยะสุกแก่

เมื่อถั่วเหลืองปลูกในระบบดินอิ่มตัวด้วยน้ำ และน้ำท่วมรากชุดแรก (primary root) จะทำให้พืชชะงักและใช้เวลานานกว่าจะปรับตัวได้ (acclimatization) กับสภาพดังกล่าวทำให้ระยะการเจริญ เติบโต เช่น lag phase ยาวนาน กว่าถั่วเหลืองจะถึง log phase หรือ exponential phase ประกอบกับในขณะนั้นถั่วเหลืองยังตรึงไนโตรเจนไม่เพียงพอที่จะช่วยทำให้ lag phase สั้นลง การให้ปุ๋ยไนโตรเจนในระดับต่างๆ เช่น startrer N น่าจะเป็นแนวทางในการทำให้ธาตุไนโตรเจนช่วยกระตุ้นให้ lag phase ของถั่วเหลืองสั้นลง การเกิด acclimatization เกิดเร็วขึ้น และถั่วเหลืองก็จะมีการเจริญเติบโตหลังจากที่ชะงักโดยเร็ว (เจริญ, 2539)

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

6.1 งานวิจัยในประเทศออสเตรเลีย

ในประเทศออสเตรเลีย ได้มีการศึกษาการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำอย่างจริงจังและประสบผลสำเร็จ โดยพบว่าการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ทำให้ผลผลิตถั่วเหลืองสูงถึง 8 ตันต่อเฮกตาร์

ในถั่วเหลืองซึ่งจัดว่าเป็นพืชที่ค่อนข้างทนทานต่อสภาพดินที่มีน้ำท่วมขังชั่วคราว แต่ก็พบเสมอว่าสภาพดังกล่าวลดการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลือง อย่างไรก็ตามได้มีการค้นพบโดยบังเอิญว่าถั่วเหลืองสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำถาวรได้รวดเร็วในช่วงระหว่างการทดลองเพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน และการแสดงออกของการขาดธาตุสังกะสี ซึ่ง Hunter จากมหาวิทยาลัยควีนแลนด์ได้ทำขึ้น โดย Hunter ได้สังเกตเห็นว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในกระถางที่มีระดับน้ำต่ำกว่าผิวหน้าดินเพียง 1 เซนติเมตร สามารถเจริญเติบโตได้เป็นปรกติ ต่อมา Hunter และคณะ (1980) ได้ทดลองเพื่อพิสูจน์ข้อเท็จจริงโดยการให้ถั่วเหลืองเจริญเติบโตภายใต้สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ให้น้ำอยู่ต่ำกว่าผิวหน้าดิน 3 และ 15 เซนติเมตร กับการให้น้ำตามปรกติ ทำการทดลองกับถั่วเหลือง 9 พันธุ์ เก็บเกี่ยวถั่วเหลืองเมื่ออายุได้ 36 วันหลังจากที่ได้รับสภาพน้ำดังกล่าว เพื่อวัดการสะสมน้ำหนักแห้ง พบว่าการให้สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำในระดับน้ำต่ำกว่าผิวหน้าดิน 15 เซนติเมตร ถั่วเหลืองสามารถสร้างน้ำหนักแห้งทั้งหมดและน้ำหนักแห้งปมได้สูงกว่าสภาพการให้น้ำแบบปรกติถึง 37 และ 35 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในขณะที่ถั่วเหลืองซึ่งปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำที่มีระดับน้ำต่ำกว่าผิวหน้าดิน 3 เซนติเมตร แสดงอาการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ใบเหลือง (chlorosis) ภายในช่วงสัปดาห์แรก แต่สามารถฟื้นกลับคืนสภาพปรกติได้และให้น้ำหนักแห้งน้อยกว่าในสภาพปรกติเพียง 18 เปอร์เซ็นต์ แต่จะให้น้ำหนักแห้งปมสูงสุด

Nathanson และคณะ (1984) ได้ศึกษาถึงการเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตถั่วเหลือง เมื่อปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและให้น้ำแบบปรกติ โดยใช้ถั่วเหลืองอายุสั้น 2 พันธุ์คือ Fiskerby V และ CPI 26671 ปลูกในสภาพที่มีระดับน้ำต่ำกว่าผิวหน้าดิน 3 และ 15 เซนติ เมตร เปรียบเทียบกับสภาพการให้น้ำปรกติ พบว่าในช่วงแรกๆ ของการเจริญเติบโตของลำต้น ราก จำนวนปมและน้ำหนักแห้งปมต่อต้นของถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำจะลดต่ำลงกว่าในสภาพการให้น้ำแบบปรกติ ถั่วเหลืองแสดงอาการใบเหลือง เนื่องจากขาดธาตุไนโตรเจน แต่หลังจากนั้นถั่วเหลืองสามารถปรับตัวฟื้นคืนสู่สภาพปรกติ มีการดำเนินกิจกรรมของปมสูงตามด้วยอัตราการเจริญ เติบโตที่สูงกว่า ผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์ Fiskerby V ที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ไม่แตกต่างจากสภาพให้น้ำตามปรกติ ในขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ CPI 26671 ซึ่งมีอายุเก็บเกี่ยวยาวนานกว่าสามารถสร้างผลผลิตได้สูงกว่าปรกติถึง 71 และ 65 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพระดับน้ำต่ำกว่าผิวดิน 15 และ 3 เซนติเมตรตามลำดับ

6.2 งานวิจัยในประเทศไทย

ในประเทศไทยได้มีการศึกษาถึงการตอบสนองของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำมาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2529 มาเป็นลำดับ ในปีพ.ศ.2529 ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาทและมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ได้ทดสอบการตอบสนองของถั่วเหลืองต่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยทดลองที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท การศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้เน้นเฉพาะการตอบสนองทางด้านผลผลิตของพืชเป็นหลัก โดยทดลองในพันธุ์สจ.4 นครสวรรค์ 1 และ P 44 ซึ่งจากการทดลองได้แสดงให้เห็นว่า พันธุ์ถั่วเหลืองของประเทศไทยสามารถปรับตัวหลังจากการได้รับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (acclimatization) และเจริญเติบโตได้ดีในสภาพดังกล่าวในฤดูฝน ถึงแม้ว่าถั่วเหลืองภายใต้สภาพอิ่มตัวด้วยน้ำจะให้ผลผลิตต่ำกว่าสภาพที่ให้น้ำตามปรกติ แต่ผลผลิตที่ได้รับเกือบจะเท่ากับ 3 ตันต่อเฮกตาร์ ซึ่งเท่ากับประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตที่ได้รับในสภาพการให้น้ำตามปรกติ แต่ในฤดูแล้ง ผลผลิตภายใต้สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำจะสูงกว่าสภาพการให้น้ำแบบปรกติ และพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงสุดได้แก่ พันธุ์สจ.4 ซึ่งให้ผลผลิตเท่ากับ 2,640 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (Pookpakdi *et al*., 1989)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ได้มีการทดลองปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำในถั่วเหลือง 5 พันธุ์คือ สจ.4, สจ.5, นครสวรรค์1, P44 และ A138 ทั้งในฤดูฝน พ.ศ. 2529 และในฤดูแล้ง พ.ศ.2530 ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ได้มีการควบคุม ให้ระดับน้ำในแปลงต่ำกว่าระดับผิวดินบนสันร่องเพียง 10 เซนติเมตรเท่านั้น ได้มีการปลูกถั่วเหลืองบนสันร่องซึ่งมีความกว้าง 1.50 เมตรและตั้งแต่ปลูกจนถั่วเหลืองสุกแก่ มีการให้น้ำเพื่อหล่อสันร่องให้ชุ่ม และเพื่อให้อยู่ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำตลอดเวลา โดยใช้ระดับน้ำคงที่ดังที่กล่าวมาแล้ว ส่วนการปลูกถั่วเหลืองตามปรกตินั้นก็ปลูกถั่วเหลืองบนสันร่องเช่นกัน แต่ไม่มีน้ำหล่อสันร่องให้ดินอิ่มตัว เพียงแต่ให้มีน้ำชลประทานทุกสัปดาห์

การปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำในฤดูฝนนั้น ทำให้มีผลผลิตที่สูงเกือบเท่าๆ กับสภาพการปลูกโดยปรกติ แต่ในฤดูแล้ง ผลผลิตเฉลี่ยของถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำสูงกว่าการปลูกในสภาพปรกติโดยพันธุ์ A138 ให้ผลผลิตสูงสุด ในการทดลองดังกล่าวได้มีการสรุปว่าพันธุ์ A138 ซึ่งเป็นพันธุ์ถั่วเหลืองที่นำเข้าจากประเทศออสเตรเลียสามารถปรับตัว (acclimatization) ให้เจริญ เติบโตและให้ผลผลิตที่สูงได้ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำในประเทศไทย แต่ในขณะเดียวกันพันธุ์ถั่วเหลืองของไทยหลายพันธุ์เช่น พันธุ์สจ.4 และสจ.5 ก็สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ แม้จะไม่ให้ผลผลิตสูงเท่ากับพันธุ์ A138 ก็ตาม (Pookpakdi, 1992)

ในการทดลองครั้งนั้นได้มีการศึกษาถึงการสะสมน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและในสภาพปรกติ ภายใต้สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำพบว่าการสะสมน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองในช่วง initial lag phase น้อยกว่าที่พบในสภาพการให้น้ำปรกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 27-48 วันหลังงอก เนื่องจากในช่วงดังกล่าว พืชเพิ่งพบกับสภาพของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ และพืชอยู่ในช่วงการปรับตัว ภายหลังจาก 48 วันหลังงอก การสะสมน้ำหนักแห้งภายใต้สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำจะเพิ่ม ขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลมาจาก acclimatization process ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น และอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งดังกล่าวนี้จะเห็นได้ชัดเจนในการทดลองในฤดูแล้ง

สำหรับการสร้างปมและการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพที่มีการให้น้ำปรกติและในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำพบว่า ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ถั่วเหลืองจะสร้างน้ำหนักปมและจำนวนปมได้สูงกว่าในสภาพปรกติ และจากการวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของการตรึงไนโตรเจนที่วัดจาก acetylene reduction activity ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำจะทำให้การตรึงไนโตรเจนสูงกว่าในสภาพปรกติ (Pookpakdi *et al*., 1989 ; Pookpakdi, 1992)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ต่อมาได้มีการทดสอบเบื้องต้นในไร่นาเกษตรกร โดยอภิพรรณและคณะ (2533) ได้รายงานถึงการทดสอบเบื้องต้นถึงความเป็นไปได้ของการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยปลูกเดี่ยวและปลูกร่วมกับข้าวในไร่นาเกษตรกรในภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งพบว่าผลผลิตของถั่วเหลืองที่ปลูกเดี่ยวสูงกว่าการปลูกถั่วเหลืองร่วมกับข้าวในระบบดินอิ่มตัวด้วยน้ำ และการปลูกถั่วเหลืองในระบบดังกล่าวทำให้ผลผลิตถั่วเหลืองสูงกว่าการปลูกในสภาพให้น้ำปรกติ พันธุ์ A 138 ให้ผลผลิตสูงสุด และการให้ปุ๋ยไนโตรเจนไม่ได้ทำให้ถั่วเหลืองให้ผลผลิตแตกต่างกว่าที่ไม่ให้ปุ๋ยไนโตรเจนแต่ประการใด การปลูกข้าวร่วมกับถั่วเหลืองทำให้ผลผลิตข้าวต่ำกว่าการปลูกข้าวเดี่ยวๆ ส่วนค่าสัดส่วนพื้นที่สมมูลย์ (Land Equivalent Ratio, LER) (อภิพรรณ, 2528) ของการปลูกถั่วเหลืองร่วมกับข้าวสูงกว่าค่า LER ของทั้งข้าวและถั่วเหลืองเมื่อปลูกเป็นพืชเดี่ยว แสดงให้เห็นว่าการปลูกถั่วเหลืองร่วมกับข้าวในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำให้ผลดีกว่าการปลูกพืชทั้งสองในสภาพเดี่ยวเมื่อพิจารณาถึงผลผลิตเป็นหลัก การปลูกถั่วเหลืองร่วมกับข้าวทำให้ได้รายได้รวม (gross income) สูงสุดเมื่อพิจารณาจากผลผลิตของถั่วเหลืองและข้าวรวมกัน และการใช้พันธุ์ A138 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีอายุยาว ทำให้ได้รายได้รวมมากกว่าการใช้พันธุ์สจ.4 หรือนครสวรรค์ 1

อภิพรรณ และคณะ (2539) ได้ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของพันธุ์ถั่วเหลืองและอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยทำการทดลองในฤดูฝน พ.ศ.2536 และฤดูแล้ง พ.ศ.2537 ได้พบว่า การปลูกถั่วเหลืองเดี่ยวให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกถั่วเหลืองร่วมกับข้าวในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน และพบว่าพันธุ์จักรพันธ์ 1 (สายพันธุ์ UFV 80-85 ในขณะนั้น) ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในฤดูฝน ส่วนในฤดูแล้งผลผลิตของพันธุ์ทั้งสองไม่แตกต่างกัน ในการทดลองครั้งนั้น อภิพรรณ และคณะ (2539) ได้พบอีกว่าถั่วเหลืองสามารถตรึงไนโตรเจนได้สูงในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง การตรึงไนโตรเจนที่สูงนี้เป็นสาเหตุที่การตอบสนองของปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราต่างๆ ไม่เกิดขึ้นกับถั่วเหลือง ส่วนพันธุ์ถั่วเหลืองที่ตรึงไนโตรเจนในอัตราที่สูงมากได้แก่ พันธุ์จักรพันธ์ 1 เช่นกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.3 สาเหตุที่ทำให้การปลูกถั่วเหลืองในดินอิ่มตัวด้วยน้ำให้ผลผลิตสูง

พื้นฐานความสำเร็จในการปรับตัวของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ประการคือ

(ก) สถานะของน้ำในต้นและปมรากสูง ถั่วเหลืองไม่เกิดสภาพขาดน้ำ (water stress) เมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำในสภาพปรกติ (Pookapkdi, 1992) เนื่องจากในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำซึ่งเป็นสภาพที่มีความชื้นสูงและสม่ำเสมอ มีผลทำให้สถานะของน้ำภายในต้นพืชสูงและสม่ำเสมอไปด้วย มีผลทำให้ Ψ_{leaf} สูง ความต้านทานของปากใบ (stomata resistance, r_s) ต่ำ ง่ายต่อการแพร่กระจายของกาซ CO_2 จากบรรยากาศสู่ใบ มีผลทำให้ประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสงสูงขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพการให้น้ำตามปรกติ 10-14 วันต่อครั้ง ซึ่งพืชได้รับสภาพน้ำตั้งแต่ท่วมขังในช่วง แรกของการรดน้ำและขาดน้ำในช่วงท้ายของการให้น้ำในแต่ละครั้ง ในช่วงแสงแดดจัด อุณหภูมิสูงสถานะของน้ำภายในต้นพืชอาจลดต่ำกว่าจุดวิกฤต แม้เพียงเล็กน้อยก็อาจจะมีผลต่อการลดประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสง ซึ่งมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตอย่างเห็นได้ชัด (Boyer *et al*., 1980 และ Nathanson *et al*., 1984)

(ข) สถานะของไนโตรเจนที่สูงและสม่ำเสมอกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับในสภาพการให้น้ำปรกติ ในสภาพที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ถั่วเหลืองสามารถสร้างรากใหม่ (secondary roots) ขึ้นทดแทนรากเก่า (primary roots) เป็นจำนวนมากในบริเวณพื้นที่ที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งอยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินขึ้นมา มีการสร้างปมขึ้นมาใหม่เป็นจำนวนมาก ถึงแม้ปมจะมีขนาดเล็ก แต่ให้น้ำหนักปมต่อต้นมากกว่า ที่ผิวของปมมีการสร้างเนื้อเยื่อ aerenchyma และเนื่องจากปมมีขนาดเล็ก เป็นผลทำให้มีพื้นที่ผิวมาก ทำให้การแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างรากกับดินอิ่มตัวด้วยน้ำมีประสิทธิภาพดีขึ้น (Howell, 1960 ; Pankhurst and Sprent, 1975 ; Nathanson *et al*., 1984) การที่สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ทำให้ถั่วเหลืองตรึงไนโตรเจนในปริมาณที่สูงนี้ ได้มีการทดลองดังกล่าวเกิดขึ้นเมื่อปลูกถั่วเหลืองในฤดูฝนและฤดูแล้ง ในขณะเดียวกันเมื่อถั่วเหลืองตรึงไนโตรเจนในปริมาณที่สูง สัดส่วนของไนโตรเจนที่พืชดูดซับจากดินในรูปของ nitrate จะลดลงเป็นทวีคูณ สาเหตุดังกล่าวเป็นอาจเป็นเหตุผลที่ว่าทำไมอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนในระดับต่างๆ จึงไม่ทำให้ผลผลิตและการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำแตกต่างกันแต่ประการใด (อภิพรรณ, 2545)

การตรึงไนโตรเจนจากอากาศโดยพืชตระกูลถั่ว ขึ้นอยู่กับปฏิกริยาสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างพืชกับบัคเตรี และจะได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมทั้งจากบรรยากาศและสภาพแวดล้อมในดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยเฉพาะอย่างยิ่งความชื้นจากดิน Sprent (1971) รายงานว่า เมื่อปริมาณน้ำในปมถั่วเหลืองลดลงไปจนเหลือระดับน้ำในปม 80 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในปม จะมีผลทำให้การตรึงไนโตรเจนลดลง แต่สามารถฟื้นกลับคืนสู่สภาพปรกติได้ แต่ถ้าปริมาณน้ำในปมลดต่ำลงน้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ การตรึงไนโตรเจนจะหยุดชะงัก อัตราการหายใจของปมจะอยู่ในระดับที่ต่ำมาก การเพิ่มน้ำให้แก่ปมอีกไม่สามารถกระตุ้นให้กระบวนการตรึงไนโตรเจนกลับคืนดีดังเดิมได้ การขาดน้ำอย่างรุนแรงมีผลทำให้โครงสร้างทางกายวิภาคของปมเปลี่ยนแปลงไป

Pate และคณะ (1969) ได้ให้เหตุผลว่า การที่อัตราการเคลื่อนย้ายของน้ำออกจากปมล่าช้าลงในช่วงขาดน้ำ จะเป็นตัวจำกัดการเคลื่อนย้ายของไนโตรเจนที่ได้จากการตรึง ทำให้เกิดการคั่งของไนโตรเจนในปม ซึ่งจะมีผลไปยับยั้งการตรึงไนโตรเจนให้น้อยลง ปมของถั่วเหลืองสามารถดูดน้ำได้โดยตรงจากการสัมผัสกับน้ำในดิน (Pate *et al*., 1969) แต่บางทีน้ำส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่ผ่าน vascular tissue ของรากก่อนที่จะเข้าไปยังปมถั่วเหลือง (Sprent, 1972) ลักษณะโครงสร้างของเนื้อเยื่อปมถั่วง่ายต่อการแลกเปลี่ยนออกซิเจน (Sprent, 1972 ; Pankhurst and Sprent, 1975 ; Ralston and Imsande, 1982) และน้ำสามารถเคลื่อนย้ายจากปมถั่วไปยังดินที่มีความชื้นน้อยกว่าได้โดยง่าย (Sprent, 1972) Finn และ Brun (1980) และ Sprent (1972) ได้ตั้งข้อสังเกตว่าสภาพขาดน้ำจะลดกระบวนการตรึงไนโตรเจน โดยมีผลโดยตรงต่อปมและเนื่องจากใบพืชที่ขาดน้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้มากพอ ทำให้ปริมาณสารสังเคราะห์ถูกส่งไปเลี้ยงปมน้อยลง การลดการสังเคราะห์แสงในช่วงพืชขาดน้ำเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้กิจกรรมการตรึงไนโตรเจนลดน้อยลง (Huang *et al*., 1975a,1975b) การตรึงไนโตรเจนจะลดลงเมื่อค่า water potential ในปมและในใบ รวมทั้ง stomatal conductance ในใบลดลง (Pankhurst and Sprent, 1975 ; Patterson *et al*., 1979 และ Finn and Brun, 1980)

ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำนั้น ถั่วเหลืองสร้างปมได้มากมาย สถานะของน้ำภายในปมสูงและสม่ำเสมอ ประกอบกับประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองในสภาพดังกล่าวมีค่าสูง จึงมีผลส่งเสริมทำให้กิจกรรมการตรึงไนโตรเจนเป็นไปได้ดีกว่าในสภาพการให้น้ำตามปรกติ นอกจากนี้ยังพบว่าในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ทำให้ยืดอายุช่วงการตรึงไนโตรเจนของปมให้ยาวนานออกไป แม้แต่ในช่วงการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ด พบว่าการดำเนินกิจกรรมของปม และการสะสมไนโตรเจนสูงเป็นสองเท่าของสภาพการให้น้ำตามปรกติ ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการไนโตรเจนในปริมาณที่สูง ในช่วงของการสร้างฝักและสร้างเมล็ดของถั่วเหลือง (Nathanson *et al*., 1984 ; Troedson *et al*., 1984) ส่วนในสภาพการให้น้ำตามปรกตินั้น นอกจากสถานะของน้ำภายในปม ปริมาณปม และประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงที่ด้อยกว่าในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งส่งผลกระทบถึงสถานะของไนโตรเจนภายในต้นถั่วเหลืองแล้ว กิจกรรมของปม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ถั่วเหลืองยังลดต่ำลง เนื่องจากปมถั่วได้รับอันตรายโดยตรงจากการหดและขยายตัวของดินที่เกิดขึ้นเนื่องจากความไม่คงที่ของความชื้นในดิน และในบางช่วงเวลาปมของถั่วเหลืองอาจสูญเสียน้ำในระดับที่สูงกว่าจุดวิกฤต ซึ่งเกิดจากบริเวณดินแห้งที่อยู่ล้อมรอบ หรือสูญเสียน้ำสู่บรรยากาศโดยตรง ผ่านทางรอยแยกของเนื้อดินที่หดตัวซึ่งเกิดจากการที่ดินสูญเสียน้ำมากเกินไป (Ralph, 1983 และ Troedson *et al*., 1983)

6.4 การตอบสนองทางสรีรวิทยาและปัจจัยทางสรีรวิทยาบางประการที่เกี่ยวข้องกับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและกระบวนการปรับตัว (acclimatization proceess) ของถั่วเหลือง

6.4.1 การตอบสนองทางสรีรวิทยาและการปรับตัวของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

การตอบสนองของพืชต่อสภาพความชื้นในดินสูง แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับระยะการเจริญเติบโต ความยาวนานที่พืชได้รับสภาพความชื้นในดินสูง สภาพแวดล้อมอื่นๆ และพันธุ์ของพืช สภาพของดินที่มีระดับน้ำใต้ดินและความชื้นสูงเกินไปจะเป็นอันตรายต่อพืช (Glinka and Reinhold, 1962 ; Jackson and Campbell, 1976 และ Russell, 1977) โดยมีผลกระทบต่อกระบวนการต่างๆ ทางสรีรวิทยา เช่น ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงและการหายใจของพืชลดลง เนื่องจากสภาพความชื้นในดินสูงเกินไปมีผลทำให้ปากใบปิด (Bradford and Yang, 1981) และลดปริมาณออกซิเจนในอาณาเขตรากพืช (Grable, 1966 ; Huck, 1970 และ Allen, 1976)

ในสภาพดินที่มีออกซิเจนจำกัด จะทำให้เกิดผลเสียต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง โดยในสภาพดังกล่าวจะทำให้กระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชกระทบกระเทือนได้ โดยปรกติปริมาณของออกซิเจนจากบรรยากาซจะแพร่กระจายสู่ดินในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของสิ่งมีชีวิตในดิน เช่น จุลินทรีย์ในดินหรือรากพืช เป็นต้น อย่างไรก็ตามในบางสภาวะ เช่นในสภาพฝนตกชุก สภาพดินที่มีการระบายน้ำไม่ดี ทำให้ดินมีปริมาณความชื้นสูง ปริมาณออกซิเจนในดินจะถูกจำกัดอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าความต้องการของรากพืช

Letey และคณะ (1961) ได้แสดงให้เห็นว่า โดยทั่วๆ ไป การเจริญ เติบโตของรากพืชจะลดลงเมื่อปริมาณออกซิเจนในบรรยากาศลดลง การยืดตัวของรากมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับความเข้มข้นของออกซิเจนในดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Huck (1970) รายงานถึงผลของออกซิเจนที่ระดับต่างๆ ต่ออัตราการยืดตัวของรากถั่วเหลืองพันธุ์ Biloxi ไว้ว่า การเจริญเติบโตของรากจะไม่ถูกจำกัด จนกระทั่งระดับออกซิเจนของรากลดต่ำลงกว่า 10 เปอร์เซ็นต์

ในขณะที่ Yentur และ Leopold (1976) ได้รายงานว่า แม้แต่ที่ระดับออกซิเจนต่ำเพียง 2.5 เปอร์เซ็นต์ การเจริญเติบโตของรากกล้าถั่วเหลืองก็ยังสามารถดำเนินไปได้ตามปรกติ ความเข้มข้นวิกฤต (critical concentration) ของออกซิเจนที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของรากขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยที่ความเข้มข้นวิกฤตของออกซิเจนเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 18°C แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 30 °C ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ระดับดังกล่าวไม่เพียงพอต่อความต้องการเพื่อการเจริญเติบโตของราก

Turner และคณะ (1983) ได้รายงานถึงผลของสภาพไร้ออกซิเจน (anaerobiosis) ต่อการเจริญเติบโตของกล้าถั่วเหลืองไว้ว่า รากถั่วเหลืองสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในสภาพไร้ออกซิเจนดีกว่าที่คาดไว้ เมื่อส่วนยอดถั่วเหลือง (seedling shoot) อยู่ในสภาพได้รับอากาศ ออกซิเจนสามารถแพร่กระจายผ่านลำต้นไปยังรากที่อยู่ในสภาพไม่มีอากาศ (unaerated root) ทำให้การยืดตัวของรากเกิดขึ้นได้เพียง 14 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการยืดตัวของรากในสภาพมีอากาศ เมื่อต้นกล้าถั่วเหลืองทั้งต้นได้รับสภาพไร้ออกซิเจน การยืดตัวของรากแก้วจะถูกยับยั้งการคืนสู่สภาพปรกติ (ในแง่การยืดตัวของราก) และจะเป็นปฏิภาคกลับกับระยะเวลาที่กล้าถั่วเหลืองได้รับสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ความทนทานต่อสภาพขาดออกซิเจนของถั่วเหลืองแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับ พันธุ์ ลักษณะพิเศษของรากพืชซึ่งมีความสามารถที่จะเจริญเติบโตอยู่ได้ในสภาพดินมีออกซิเจนต่ำ จัดว่ามีความสำคัญต่อพืชชนิดนั้นที่สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ในสภาพดินน้ำท่วมขังหรือระดับน้ำใต้ดินสูง

Stanley และคณะ (1980) ได้รายงานถึงการตอบสนองของถั่วเหลืองต่อระดับน้ำใต้ดินสูงที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ 3 ระยะไว้ว่า ความทนทานของรากต่อระดับน้ำใต้ดินสูงจะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงการเจริญเติบโต ในช่วงระยะก่อนออกดอก รากแสดงอาการทนทานคือ สามารถเจริญเติบโตได้ดี มีเพียงเล็กน้อยที่แสดงอาการถูกทำลาย ส่วนในช่วงระยะหลังการออกดอกพบว่า มีรากเพียงส่วนน้อยที่แสดงลักษณะอาการทนทาน แต่ระบบรากถั่วเหลืองก็สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพระดับน้ำใต้ดินสูงได้ โดยมีการสร้างรากขึ้นมาใหม่ในบริเวณที่อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินขึ้นมา แต่ในช่วงระยะหลังจากถั่วเหลืองติดฝักแล้วรากจะอ่อนแอต่อสภาพระดับน้ำใต้ดินสูง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Fukui (1956) ได้รายงานว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ป่า (*Glycine ussuriensis* Regel and Maack) ที่ปลูกในสภาพน้ำขังจะสร้างเนื้อเยื่อ aerenchyma ในส่วนของลำต้นเหนือดินและราก ซึ่งจะช่วยให้อากาศแก่ส่วนของต้นที่อยู่ใต้ผิวดิน ทำให้ถั่วเหลืองสามารถทนต่อสภาพน้ำขัง นอกจากนี้ยังพบว่ามีระบบรากแขนงที่แข็งแรงสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพน้ำขังตั้งแต่อายุ 17 วันหลังปลูกจนถึงระยะแก่ ในขณะที่ถั่วเหลืองที่ปลูกทั่วไปจะสร้างได้เฉพาะเนื้อเยื่อ lenticel like aerenchyma ซึ่งไม่สามารถทนต่อสภาพน้ำขังได้

Nathanson และคณะ (1984) ได้ศึกษาการเจริญเติบโต การสร้างปมและการสะสมไนโตรเจนของถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ พบว่า ในช่วงแรกของการเจริญเติบโต ถั่วเหลืองจะแสดงอาการใบเหลือง เนื่องจากขาดธาตุไนโตรเจน แต่หลังจากนั้นถั่วเหลืองสามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ตามปรกติ สร้างผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตสูงกว่าที่ให้น้ำปรกติ การที่ถั่วเหลืองสามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ดี เนื่องมาจากถั่วเหลืองสร้างรากใหม่ทดแทนรากเก่าได้เป็นจำนวนมาก ในบริเวณที่อยู่เหนือระดับน้ำขึ้นไป จำนวนปมที่เพิ่มขึ้นและมีขนาดเล็กแต่ให้น้ำหนักปมต่อต้นมากกว่า ที่ผิวของปมมีเนื้อเยื่อ aerenchyma และเนื่องจากปมมีขนาดเล็ก จึงทำให้มีพื้นที่ผิวมากและทำให้การแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างรากกับดินในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำเกิดได้ดี อีกประการหนึ่งที่ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองสูงขึ้นในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ เนื่องจากในสภาพดังกล่าวช่วยทำให้สถานะของน้ำในลำต้นถั่วเหลืองดีขึ้น ความต้านทานของปากใบ (stomatal resistance) ลดลง CO_2 เข้าสู่ใบได้มากขึ้น จึงทำให้การสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น (Lawn, 1982)

สมศักดิ์ (2516) ได้รายงานถึงความทนทานของปมถั่วเหลืองต่อสภาพน้ำขังและพบว่าปมถั่วเหลืองสามารถทนทานต่อสภาพน้ำขังได้เป็นเวลาหลายวัน Besnett และ Albrecht (1984) รายงานว่าถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตอยู่ในสภาพน้ำขังเป็นเวลานาน 14 วัน จะทำให้ water potential ของใบและปมเพิ่มขึ้นและทำให้ diffusive resistance ของใบลดลง แม้ว่าในช่วงแรกจะมีลักษณะอาการใบเหลือง รูปร่างของรากผิดปรกติ แต่หลังจากเมื่อถั่วเหลืองได้รับสภาพความชื้นของดินปรกติแล้ว กิจกรรมของ nitrogenase ของปมถั่วเหลืองยังคงปรกติ และมีแนวโน้มสูงกว่าถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตในสภาพที่ให้น้ำตามปรกติเสียอีก สาเหตุเนื่องมาจากถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพน้ำขัง มีการสร้างปมเล็กๆ จำนวนมากที่รากฝอย (adventitious root) ใกล้ผิวดิน

นอกจากนี้ วรรณชลี (2524) รายงานว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพความชื้นในดินสูง (100 % field capacity) จะมีการเจริญเติบโตและการเกิดปมสูงกว่าที่ระดับความชื้นในดินต่ำ (40 % field

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

capacity) และระยะเวลาการให้น้ำทุกๆ วัน จะทำให้การเจริญเติบโต การเกิดปม การตรึงไนโตรเจนและผลผลิตถั่วเหลืองสูงที่สุด

ส่วน Hunter และคณะ (1980) และ Troedson และคณะ (1981) รายงานว่าถั่วเหลืองสามารถปรับตัวได้ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยมีการพัฒนาการของปมและกิจกรรมของ nitrogenase ซึ่ง Sumarno (1986) ได้รายงานว่าจำนวนปมต่อต้นของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จะมากกว่าเมื่อปลูกในสภาพน้ำปรกติ

Smith และ Hume (1983) รายงานว่าเมื่อถั่วเหลืองได้รับความชื้นสูง (ให้น้ำ 1 เซนติเมตรต่อวัน) จะทำให้มีมวลของปมเพิ่มขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนปม น้ำหนักปมแห้ง และการตรึงไนโตรเจนเพิ่มขึ้นกว่าปรกติ 18 เปอร์เซ็นต์ แต่จะให้น้ำหนักปมแห้งสูงสุด

Troedson และคณะ (1981) ได้ทดลองปลูกถั่วเหลืองพันธุ์ Fitzroy ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและให้น้ำปรกติ ติดต่อกันเป็นเวลา 2 ปี พบว่าการเจริญเติบโตของต้นถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำในช่วงแรกจะต่ำกว่าสภาพการให้น้ำปรกติ แต่ในช่วงหลังโดยเฉพาะในช่วงติดเมล็ด การเจริญเติบโตของต้นจะสูงกว่าในสภาพการให้น้ำปรกติ การสร้างรากและปม การตรึงไนโตรเจน และการระเหยของน้ำจากใบในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำก็สูงกว่าด้วย ส่วนผลผลิตของถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำก็สูงกว่าสภาพการให้น้ำปรกติ 24 เปอร์เซ็นต์ และ 52 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองของทั้ง 2 ปี ซึ่งการเพิ่มขึ้นของผลผลิตดังกล่าว มีความสัมพันธ์กับจำนวนฝักและน้ำหนักเมล็ดด้วย ปริมาณไนโตรเจนในลำต้นของถั่วเหลืองในระยะการเจริญของเมล็ดจะมากเป็น 2 เท่าของสภาพการให้น้ำปรกติ และในระหว่างการสุกแก่ของถั่วเหลืองนั้น จะมีการสูญเสียของพื้นที่ใบจากการหลุดร่วงของใบ การทำหน้าที่ของปมและการขนส่งไนโตรเจนไปยังใบจะล่าช้าออกไป การเพิ่มสถานะของน้ำในใบจะทำให้การสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นและการตรึงไนโตรเจนของปมในขณะติดฝักดีขึ้น ซึ่ง Troedson และคณะ (1981) ได้รายงานว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำจะเพิ่มผลผลิตเฉลี่ยมากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพการให้น้ำปรกติประมาณ 20 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ Troedson และคณะ (1983) พบว่าถั่วเหลืองจะไวต่อการขาดอากาศในสภาพน้ำขังชั่วคราว และในดินที่มีการระบายน้ำดีก็จะทำให้ถั่วเหลืองให้ผลผลิตดี แต่ถั่วเหลืองก็สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำอย่างถาวร หรือมีระดับน้ำที่ใกล้กับผิวหน้าดิน ถึงแม้ว่าน้ำจะมีผลต่อการจำกัดเขตรากของถั่วเหลืองก็ตาม ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำให้ผลผลิตสูง เพราะมีการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพิ่มสถานะของน้ำในต้นถั่วเหลือง การสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น การตรึงไนโตรเจนมีมากและมีระยะเวลาที่ยาวนาน ซึ่งลักษณะเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามชนิดและพันธุ์ของถั่วเหลือง

Sumarno (1986) ได้ศึกษาถึงผลการตอบสนองของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำในฤดูแล้ง โดยใช้ถั่วเหลือง 5 พันธุ์คือ Wills, Kerinci, B-3032, B-3043 และ B-7207-1 พบว่า ถั่วเหลืองจะให้ผลผลิตสูงกว่าในสภาพการให้น้ำปรกติ

วันชัย และคณะ (2529) ได้ศึกษาถึงผลผลิตของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ และการให้น้ำปรกติในฤดูฝน โดยใช้ถั่วเหลือง 3 พันธุ์คือ นครสวรรค์ 1, สจ.4 และ P44 พบว่า การปลูกถั่วเหลืองทั้งสองสภาพให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นเพราะในแปลงที่ให้น้ำปรกตินั้นมีความชื้นสูงเนื่องจากฝนตกชุก และไม่มีการควบคุมความชื้นที่ดีพอในระบบการปลูกทั้งการให้น้ำแบบปรกติและในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จึงทำให้การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในทั้งสองสภาพไม่ต่างกัน ในการให้ผลผลิตพบว่าพันธุ์สจ.4 ให้ผลผลิตสูงสุด รองลงคือพันธุ์นครสวรรค์ 1 และพันธุ์ P44 โดยให้ผลผลิต 606, 553 และ 369 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ อำนาจ และคณะ (2530) ได้ปลูกถั่วเหลืองพันธุ์นครสวรรค์ 1, สจ.4 และ P44 ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ และในสภาพการให้น้ำปรกติในฤดูแล้ง พบว่า ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ถั่วเหลืองจะให้น้ำหนักแห้งทั้งหมด จำนวนปมต่อต้นน้ำหนัก 100 เมล็ด และผลผลิตสูงกว่าในสภาพให้น้ำปรกติ สอดคล้องกับการศึกษาของ โกวิท (2533) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองของถั่วเหลืองพันธุ์ต่างๆ ต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยศึกษาในถั่วเหลือง 5 พันธุ์คือ นครสวรรค์1, สจ.4, สจ.5, A138 และ P44 พบว่า พันธุ์นครสวรรค์ 1, สจ.4 และสจ.5 ได้รับผลกระทบจากสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำมากกว่าพันธุ์ A138 และ P44 จากออสเตรเลีย แต่ถั่วเหลืองพันธุ์ไทยก็มีศักยภาพในการปรับตัวทั้งในลักษณะของการสะสมน้ำหนักแห้งและผลผลิตเข้ากับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำในช่วงฤดูแล้งเด่นชัดกว่าในฤดูฝน นอกจากนี้ยังพบว่าในสภาพดินอิ่มตัวมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตเมล็ดของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใส่ปุ๋ยร่วมด้วย

6.4.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการปรับตัว (acclimatizattion) ของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

จากการศึกษาถึงการตอบสนองของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ พบว่าถั่วเหลืองมีศักยภาพในการปรับตัว (acclimatization) ให้เข้ากับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้ โดยที่ในช่วงแรกๆ นั้น การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองหยุดชะงัก มีลักษณะอาการใบเหลือง (chlorosis) เนื่องจากขาดธาตุไนโตรเจน (Hunter *et al*., 1980) หลังจากนั้นถั่วเหลืองสามารถฟื้นตัวกลับคืนสู่สภาพปรกติ สะสมน้ำหนักแห้งในอัตราสูง ซึ่งมีผลทำให้ผลผลิตเมล็ดสูงตามไปด้วย (Hunter *et al*., 1980 ; Nathanson *et al*., 1984 ; Troedson *et al*.,

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1983) การที่ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำมีการสะสมน้ำหนักแห้งและให้ผลผลิตเมล็ดสูง เนื่องจากสถานะของน้ำและไนโตรเจนในต้นพืชดีกว่าในสภาพการให้น้ำปรกติ (Nathanson *et al*., 1984 ; Ralph, 1983)

กระบวนการปรับตัวหรือ aclimatization process หมายถึง การปรับตัวของพืชให้เข้ากับที่พืชเจริญเติบโตอยู่หรือสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อให้พืชสามารถเจริญเติบโตและให้สามารถอยู่รอดได้ในสภาวะดังกล่าว (อภิพรรณ, 2533) ซึ่งความสามารถในการปรับตัวของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำนี้ ถือว่าเป็นความสามารถในการปรับตัวอย่างหนึ่งของพืชเช่นกัน จากการศึกษาของ Hartley และคณะ (1993) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ genotypic variation ในถั่วเหลือง (*Glycine* spp.) พันธุ์ต่าง ๆ ทั้งในถั่วเหลืองที่เป็น perennial species 8 ชนิดและ annual species 2 ชนิดคือ *Glycine max* และ *Glycine soja* ที่มีความสามารถในการปรับตัวต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ พบว่าในถั่วเหลืองที่เป็น annual species สามารถทนต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้ดี มีการเจริญเติบโตดีและให้ผลผลิตสูง ส่วนในถั่วเหลืองที่เป็น perennial species ไม่สามารถทนต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้และบางชนิดต้นถั่วเหลืองตาย ไม่สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้หลังจากสัปดาห์แรกที่ได้รับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ บางชนิดอยู่รอดได้ แต่ใบเหลืองและมีใบเหลือเพียง 1-2 ตำแหน่งใบ นอกจากนี้ในถั่วเหลืองที่เป็น annual species คือ *Glycine max* สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิต สูงกว่า *Glycine soja* ซึ่งความสามารถในการปรับตัวและสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำนี้ จัดว่าเป็นลักษณะที่โดดเด่นและมีอยู่เฉพาะในถั่วเหลือง (ubiquitous traits) ซึ่งสามารถพบได้ในถั่วเหลืองที่เป็น annual species เท่านั้น

จากการศึกษาของ White and Malano (1994) ได้ทดลองปลูกถั่วนิ้วนางแดงหรือ common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) พันธุ์ต่าง ๆ เป็นจำนวน 10 พันธุ์ ณ ประเทศโคลัมเบียในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ สภาพขาดน้ำ เปรียบเทียบกับสภาพปรกติ พบว่าในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำมีผลทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 20 เปอร์เซ็นต์จากสภาพปรกติ และให้ผลผลิตลดลงเมื่อปลูกในสภาพขาดน้ำ ซึ่งการตอบสนองของ common bean ที่มีต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ของถั่วด้วย ถึงแม้ว่าในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำจะมีผลทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น แต่จากรายงานการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าการตอบสนองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำของ common bean ก็ยังให้ผลดีน้อยกว่าที่ได้มีรายงานการศึกษาไว้ในถั่วเหลือง ต่อมา Purcell และคณะ (1997) ได้ทดลองปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำในรัฐ Arkansas ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มผลผลิต โดยปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ แต่พบว่า ผลการศึกษาที่ได้ตรงกันข้ามกับที่ได้มีรายงายการทดลองในประเทศออสเตรเลีย คือผลผลิตของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำไม่เพิ่มขึ้นและผลผลิตของเมล็ด (seed yield) ลดลง 40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การให้น้ำปรกติ ใบเหลืองซีด การสะสมน้ำหนักแห้งและการสะสมของไนโตรเจนลดลงในช่วงของการปรับตัว ผลการ ศึกษาที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมที่เป็นเขตแห้งแล้ง (arid zone) ที่มีอุณหภูมิค่อนข้างสูงและมีความเข้มของแสง (irradiance level) ในช่วงวันที่สูงมาก จึงก่อให้เกิดผลร้ายแรงต่อถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำมากยิ่งขึ้น

จากผลการศึกษาทั้งหมดที่กล่าวมานี้ สอดคล้องกับที่ได้มีการศึกษาก่อนหน้านี้ โดย Ralph (1983) ได้อ้างถึงผลงานของ Lawn และ Garside ซึ่งทำการทดลองศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตของถั่วเหลือง 14 พันธุ์ เมื่อได้รับสภาพน้ำชลประทานแตกต่างกัน 5 ระดับ โดยทำการทดลองในช่วงฤดูแล้ง พบว่า ผลผลิตของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มความชื้นภายในดิน และให้ผลผลิตสูงสุดในสภาพการให้น้ำชลประทานในระดับที่ทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำตลอดฤดูปลูก การตอบสนองของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำดังกล่าว พบได้ในทำนองเดียวกันในช่วงฤดูฝนภายใต้สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ พบว่า ถั่วเหลืองทั้ง 14 พันธุ์ สามารถสร้างผลผลิตได้สูงกว่าปรกติตั้งแต่ 2 ถึง 68 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับพันธุ์ การตอบสนองของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำจะเห็นว่าแตกต่างกันออกไป นอกจากจะขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ถั่วเหลืองแล้ว สภาพแวดล้อมนับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง Sumarno (1986) ได้ตั้งข้อสังเกตจากรายงานผลการทดลองการตอบสนองของถั่วเหลืองพันธุ์ต่างๆ ต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ในสภาพท้องที่และฤดูกาลที่แตกต่างกันว่า นอกจากพันธุ์จะมีผลต่อระดับความสามารถในการปรับตัวต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำของถั่วเหลืองแล้ว สภาพท้องที่และฤดูกาลที่แตกต่างกันจะมีความสัมพันธ์ต่อความสามารถในการปรับตัวของถั่วเหลืองด้วย โดยทั่วไปสภาพปริมาณน้ำฝนยิ่งสูง จะยิ่งลดการตอบสนองของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ และจากรายงานผลการทดลองนี้ได้สรุปไว้ว่า สภาพปริมาณน้ำฝนสูงและความเข้มแสงต่ำ เป็นปัจจัยจำกัดความ สามารถในการตอบสนองของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

7. ลักษณะทางสรีรวิทยาโดยทั่วไปของถั่วเหลือง

7.1 กระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis)

การสังเคราะห์แสง เป็นกระบวนการเปลี่ยนพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์มาเป็นพลังงานทางชีวเคมีในรูปของแป้งและน้ำตาล ความสำคัญของการสังเคราะห์แสงอยู่ที่การสังเคราะห์จากสาร ประกอบที่มีพลังงานน้อย ได้แก่น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ มาเป็นสารประกอบคาร์บอนที่มีพลังงานสูงจำพวกน้ำตาลและแป้ง และพลังงานที่อยู่ในสารประกอบคาร์บอนนี้จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่างๆ ของพืช โดยผ่าน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทางกระบวนการหายใจ (respiration) (นิวัติ, 2535) การสังเคราะห์แสงจัดเป็นกระบวนการรีดักชั่น (reduction) ของคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นจึงสามารถวัดการสังเคราะห์แสงได้โดยวัดจากอัตราการแลกเปลี่ยนกาซคาร์บอนไดออกไซด์ ระหว่างบรรยากาศกับใบพืช

การสังเคราะห์แสง (P_n) ของพืชประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ (อภินันท์และคณะ, 2535)

1. การแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide diffusion) เป็นกระบวนการแพร่ของกาซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศบริเวณรอบผิวใบไปยังศูนย์กลางการสังเคราะห์แสง อัตราการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์ ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศกับคลอโรพลาสต์และแรงต้าน (resistance) ต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นในระหว่างทางที่คาร์บอนไดออกไซด์แพร่ไป ซึ่งอาจแยกออกเป็นแรงต้านที่สำคัญคือ แรงต้านของอากาศ (r_a) แรงต้านของปากใบ (r_s) แรงต้านของเนื้อเยื่อชั้นมีโซฟิลล์ (r_m) ความสัมพันธ์นี้สรุปได้ดังสมการ

$$Pn = \frac{[CO_2]\ \text{air} - [CO_2]\ \text{chloroplast}}{r_a + r_s + r_m}$$

2. การเปลี่ยนพลังงานรังสีดวงอาทิตย์เป็นพลังงานชีวเคมีในพืช (light reaction) ในกระบวนการนี้มีปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (oxidation) ของน้ำเกิดขึ้นพร้อมกันไป ทำให้ได้พลังงานชีวเคมีและออกซิเจน

$$2Pi + 2H_2O + 2\ ADP + 4\ NADP^{+} \longrightarrow 4\ NADPH + O_2 + 2ATP$$

ในกระบวนการนี้พลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์เป็นปัจจัยหลัก จึงมักเรียกว่าเป็นปฏิกิริยาแสง (light reaction) คือเป็นปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง ปฏิกิริยาแสงเกิดขึ้นในไทลาคอยด์ (thylakoid) ของคลอโรพลาสต์ กระบวนการนี้ใช้พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ในการแตกตัวของน้ำ เรียกว่า โฟโตไลซิส (photolysis) หรือโฟโตออกซิเดชั่น (photo-oxidation) ได้เป็นไฮโดรเจนไอออน และออกซิเจน นอกจากนี้จะได้สารพลังงานคือ ATP และ NADPH ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยามืด (dark reaction) หรือการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 fixation)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 fixation) เป็นกระบวนการที่เอนไซม์ Rubisco รีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์ให้กลายไปเป็นน้ำตาลหรือคาร์โบไฮเดรต โดยใช้พลังงานเคมี ATP และ NADPH ดังสมการ

$$nCO_2 + 2\ ATP + 4n\ NADPH \xrightarrow{\text{Chlorophyll}} (CH_2O)_n + 4\ NADP^+ + 2\ ADP + H_2O$$

กระบวนการนี้ไม่จำเป็นต้องใช้แสง จึงมักเรียกว่าปฏิกิริยามืด (dark reaction) ปฏิกริยามืดจะทำการสังเคราะห์น้ำตาลจากคาร์บอนไดออกไซด์โดยไม่ใช้แสงโดยตรง แต่ใช้ผลผลิตจากปฏิกิริยาแสง คือ พลังงานในรูป NADPH และ ATP ปฏิกิริยามืดนี้เกิดขึ้นในสโตรมา (stroma) ของคลอโรพลาสต์ ซึ่งทำให้สามารถแบ่งพืชออกเป็นกลุ่มพืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM

พืช C_3 เป็นพืชที่ตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศและรวมตัวกับ ribulose-1,5 bisphos phate (RuBP) โดยใช้เอนไซม์ RuBP carboxylase (Rubisco) แล้วแตกตัวให้ 3-phosphoglyceric acid (3-PGA) ซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอม จากนั้น 3-PGA จะเปลี่ยนเป็นสารประกอบอื่นๆ ต่อไปจนถึง ribulose-1,5 bisphosphate พืชพวกนี้ได้แก่ ถั่วเหลือง ยาสูบและพืชในเขตอบอุ่น

พืช C_4 ส่วนใหญ่เป็นพืชเขตร้อนพืชกลุ่มนี้มีโครงสร้างทางกายภาพของใบเป็นแบบ Kranz anatomy คือมีเซลล์ bundle sheath ล้อมรอบกลุ่มเนื้อเยื่อลำเลียง ซึ่ง bundle sheath cell จะมีคลอโรพลาสต์อยู่ด้วย ดังนั้นพืชในกลุ่มนี้จะมีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ครั้ง ครั้งแรกเกิดขึ้นในเซลล์มีโซฟิลล์ (mesophyll) ของใบ โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะเข้าทำปฏิกิริยากับ phosphoenol pyruvate (PEP) โดยอาศัยกิจกรรมของเอนไซม์ PEP carboxylase ได้สารประกอบที่มีคาร์บอน 4 อะตอม (malate, aspartate หรือ oxaloacetate) จึงเรียกว่าพืช C_4 สารประกอบที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นนี้จะถูกส่งไปในเซลล์ bundle sheath และถูกเปลี่ยนเป็น pyruvate และ CO_2 เพื่อใช้ในวัฏจักรคาลวิน (Calvin cycle) ต่อไป พืชพวกนี้ได้แก่ อ้อย ข้าวโพด ข้าวฟ่างและพืชตระกูลหญ้าเขตร้อน

พืชกลุ่ม CAM (Crassulacean Acid Metabolism) เป็นพืชที่ขึ้นได้ในที่แห้งแล้ง ได้แก่ พืชทะเลทรายและพืชอวบน้ำ มีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อสร้างเป็นสารประกอบคาร์บอนในรูปกรดอินทรีย์ในเวลากลางคืน เช่น กรดมาลิก (malic acid) แล้วในตอนกลางวันจะปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ให้แก่วัฏจักรคาลวินในเซลล์มีโซฟิลล์ (mesophyll) เพื่อสร้างน้ำตาล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กลไกการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แบบ CAM มีความคล้ายคลึงกับการตรึง CO_2 ในพืช C_4 คือมีการตรึง 2 ครั้ง ครั้งแรกโดยกิจกรรมของเอนไซม์ PEP carboxylase เพื่อสร้างกรด C_4 และครั้งที่สองโดยเอนไซม์ Rubisco แต่แตกต่างกันตรงที่ ในพืช C_4 การตรึง CO_2 2 ครั้งนั้น เกิดขึ้นในเซลล์ที่ต่างกันคือ การตรึงครั้งแรกโดย PEP carboxylase เกิดขึ้นในเซลล์มีโซฟิลล์ การตรึงครั้งที่สองเกิดขึ้นในเซลล์บันเดิลชีทโดยเอนไซม์ Rubisco และการตรึงทั้งสองครั้งเกิดขึ้นในเวลากลางวัน ส่วนในพืช CAM การตรึง CO_2 ทั้งสองครั้งเกิดขึ้นในเซลล์เดียวกันคือเกิดขึ้นในเซลล์มีโซฟิลล์ แต่ต่างเวลากันคือ การตรึงครั้งแรกโดยเอนไซม์ PEP carboxylase เพื่อการสร้างกรด C_4 นั้นเกิดขึ้นในเวลากลางคืน ส่วนการตรึงครั้งที่สองโดย Rubisco นั้นเกิดขึ้นในเวลากลางวัน ใบของพืชไม่มีลักษณะโครงสร้างพิเศษแบบใบของพืช C_4 แต่มักจะมีลักษณะอวบน้ำ (ปิยะดา, 2542)

กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช สรุปเป็นสมการเคมีได้ดังนี้

$$nCO_2 + 2nH_2O \xrightarrow{\text{Chlorophyll \& Radiation}} (CH_2O)_n + nH_2O + nO_2$$

ในทางปฏิบัติ การวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของพืช (photosynthetic rate) สามารถทำได้โดยการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนกาซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างใบพืชหรือกลุ่มพืชกับบรรยากาศรอบๆ ใบพืช ดังนั้นจึงอาจเรียกว่า อัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide Exchange Rate : CER) หรือ CO_2 assimilation rate แทนการเรียกว่าอัตราการสังเคราะห์แสงก็ได้

ในถั่วเหลืองจะเริ่มมีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (net photosynthesis) ในวันที่ 9-12 หลังจากปลูก โดยเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงครั้งแรกในส่วนของใบเลี้ยง (cotelydon) การพัฒนาของต้นถั่วเหลืองตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงมีเริ่มกระบวนการสังเคราะห์แสงในใบเลี้ยง เกิดขึ้นในสภาพบรรยากาศที่มี CO_2และ O_2 (Green and Sudia, 1969) อัตราการสังเคราะห์แสงในใบของถั่วเหลืองมีค่าแตกต่างกันตั้งแต่ 3.4 มิลลิกรัมของ CO_2 ต่อพื้นที่ 1 ตารางเดซิเมตรของพื้นที่ใบ (mg CO_2 dm^{-2} leaf area hr^{-1}) (Wolf, 1965) จนถึง 65 mg CO_2 dm^{-2} leaf area hr^{-1} (Beuerlein and Pendleton, 1971) อัตราการสังเคราะห์แสงของใบจริงใบแรก (first trifoliate leaf) ของต้นถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ใน growth chamber จะอยู่ระหว่าง 12 ถึง 24 mg CO_2 dm^{-2} leaf area hr^{-1} (Curtis *et al*., 1969) ในขณะเดียวกันอัตราการสังเคราะห์แสงในใบอื่นๆ ก็อยู่ในอัตราเดียวกัน ในใบแก่ (older leaves) ของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ใน growth chamber รวมทั้งในใบบนสุด (top leaves) ของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในแปลง (field-grown) ก็พบว่ามีอัตราสังเคราะห์แสงที่คล้ายคลึงกับในใบจริงใบแรก (Johnston *et al*., 1969) ในถั่วเหลืองที่ปลูกในแปลง ใบที่อยู่ในตำแหน่งล่างๆ จะมีอัตราการสังเคราะห์แสงที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ต่ำกว่าใบที่อยู่ตำแหน่งบนๆ ชี้ให้เห็นว่าใบจะถึงจุดของ maximum rates เมื่อใบมีการแผ่ขยายอย่างเต็มที่ หลังจากนั้นอัตราการสังเคราะห์แสงลดลงเมื่อมีใบใหม่เกิดขึ้นเหนือใบเก่า (Johnston *et al*., 1969) ซึ่งการลดลงของอัตราการสังเคราะห์แสงนี้ อาจจะเป็นการตอบสนองต่อความเข้มแสง (light intensity) ที่ลดลง

โดยทั่วไปจะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในแปลง จะมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ใน growth chamber Dornhoff and Shibles (1970) พบว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในแปลงมีอัตราการสังเคราะห์แสงตั้งแต่ 29 ถึง 43 mg CO_2 dm^{-2} leaf area hr^{-1} และ Beuerlein and Pandleton (1971) พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกในแปลงมีค่าสูงถึง 65 mg CO_2 dm^{-2} leaf area hr^{-1} ซึ่งจากรายงานการวิจัยนี้ได้เสนอแนะว่าการที่ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในแปลงมีอัตราการสังเคราะห์แสงที่ค่อนข้างสูงนี้ เนื่องจากการปรับตัวให้เข้ากับสภาพที่มีความเข้มแสงสูงมากเมื่อปลูกในแปลง

Elmore *et al*. (1967) ได้วัดอัตราการสังเคราะห์แสงของใบถั่วเหลืองพันธุ์ Lee ที่ปลูกใน green house มีค่าเท่ากับ 20 mg CO_2 dm^{-2} leaf area hr^{-1} และถั่วเหลืองที่ปลูกในแปลงมีค่าเท่ากับ 37 mg CO_2 dm^{-2} leaf area hr^{-1} การปรับตัวให้เข้ากับสภาพความเข้มแสง (light acclimation) ของกระบวนการสังเคราะห์แสงนั้น ได้มีการทดลองโดย Bowes and Orgen (1970) ซึ่งพบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นสูงสุด (maximum rate) เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงถือว่าเป็นความแตกต่างในด้านปริมาณของกระบวนการสังเคราะห์แสงในถั่วเหลืองที่ปลูกในแปลงและที่ปลูกในgreen house หรือปลูกใน growth chamber และความแตกต่างนี้ก็เนื่องมาจากสภาวะแสง (light conditions) ที่แตกต่างกัน

7.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสง

ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสงแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือปัจจัยภายในต้นพืชและปัจจัยภายนอกที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม

7.2.1 ปัจจัยภายในต้นพืช ได้แก่ ชนิดของพืช สภาพทางสรีรวิทยาของต้นพืช สภาพทางพันธุกรรมตลอดจนอายุหรือวงจรชีวิตของพืช (สมบุญ, 2535) รวมทั้งอายุของใบ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการสังเคราะห์แสงของพืชทั้งสิ้น แต่จำเป็นต้องขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่พืชต้นนั้นๆ เจริญเติบโตอยู่ด้วย (Jone and Lazenby, 1988)

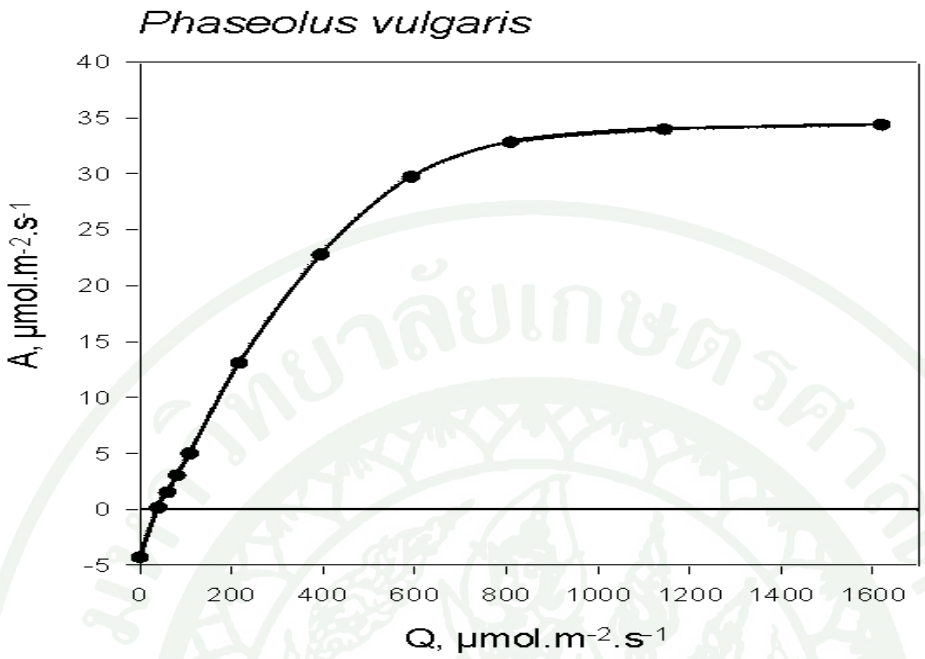
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7.2.2 ปัจจัยภายนอกที่เกี่ยวสิ่งแวดล้อมได้แก่ แสง ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิ

ก. แสง

แสงเป็นแหล่งพลังงานของพืชที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง จากการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการรายงานไว้ว่า แสงได้ถูกใช้ไปในการสังเคราะห์แสงโดยเฉลี่ยเพียง 1-5 % ของปริมาณแสงทั้งหมด (เฉลิม, 2535) การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสง (CO_2 assimilation rate ; A) ต่อปริมาณแสง (Quanta ; Q) เป็นไปดังภาพที่ 1.1 เรียกว่า light response curve ความสัมพันธ์ของ A กับ Q มีลักษณะเป็น curvilinear ประกอบด้วยระยะต่างๆ ดังนี้ เริ่มจากในสภาพมืดจะมีเฉพาะการหายใจ ค่า A จะติดลบ แต่เมื่อค่า Q เพิ่มขึ้น ค่า A จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ A เท่ากับ 0 เรียกว่า light compensation point โดยก่อนถึงจุดนี้ อาจพบ Kok effect ซึ่งเกิดขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของ A อย่างรวดเร็ว เมื่อ Q เพิ่ม และเมื่อเกินจากจุดนี้แล้ว A จะตอบสนองต่อ Q แบบเส้นตรง ในช่วงระหว่าง Q เท่ากับ 50-200 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ ค่า slope ของความสัมพันธ์ระหว่าง A กับ Q คือ quantum yield (QY หรือ ϕ) ของการสังเคราะห์แสงเมื่อ Q เกินจากจุดนี้แล้ว การตอบสนองของ A จะเป็นในแนวโค้ง (θ convexity) จนกระทั่งถึงบริเวณที่อัตราการสังเคราะห์แสงอิ่มตัว (A saturated) หรือเรียกแสงตรงนั้นว่า light saturation point ส่วนอัตราการสังเคราะห์แสงเรียกว่า Asat สำหรับค่า quantum yield (ϕ) จะหมายถึงจำนวนโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกตรึงโดยใบพืชต่อหนึ่งโมลของแสงที่ตกลงบนใบพืช (Hall *et al*., 1993) ซึ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการใช้แสงของพืชนั้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 แสดง Light response curve

ที่มา: ดัดแปลงจาก Hall *et al*., 1993

โดยทั่วไปการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มแสงที่มากขึ้น แต่พืชก็มีขีดจำกัดในการรับแสง เช่น ในเขตเมืองหนาว ค่า A จะถึงจุดอิ่มตัวที่ความเข้มแสงประมาณ 15,000-20,000 lux ในขณะที่หญ้าเขตร้อนมีจุดอิ่มตัวด้วยแสงสูงกว่าพืชพวกหญ้าในเขตหนาว (เฉลิมพล, 2535) จุดที่อัตราการสังเคราะห์แสงไม่เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของแสงเพิ่มมากขึ้นต่อไปอีกและปริมาณแสงที่ทำให้ใบมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดคงที่นี้ เรียกว่า light saturation point (ปิยะดา, 2542) ซึ่งทั้งนี้อาจแตกต่างกันออกไป ในตำแหน่งใบบนและใบล่าง (อภิพรรณ, 2533)

Sophanodora (1993) ได้ศึกษา light response curve ของหญ้าอาหารสัตว์ 4 ชนิดคือ *Brachiaria mutica*, *B. humidicola*, *Panicum maximum* cv Hamil และ *P. maximum* cv TD58 ซึ่งเป็นพืช C_4 กับ *Stenotaphrum secundatum* ซึ่งเป็นพืช C_3 ในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าหญ้า *Brachiaria* ทั้ง 2 ชนิด มีค่า quantum yield สูงกว่าหญ้า *Panicum* โดยที่ *B. mutica* มีค่า Asat เป็น 25.56 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ ซึ่งสูงกว่า *B. humidicola* และสูงกว่าหญ้าชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ light response curve ของ *Brachiaria* ทั้งสอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชนิด มีจุดอิ่มตัวด้วยแสงที่มากกว่า 600 μmolPPFDm^{-2}s^{-1} (PPFD คือPhotosynthetically Photon Flux Density) เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองในองุ่น ซึ่งเป็นพืช C_3

Intrieri *et al*. (1995) รายงานว่าใบขององุ่น มีจุดอิ่มตัวด้วยแสงที่ประมาณ 400 μmolPPFDm^{-2}s^{-1} จากรายงานการวิจัยเกี่ยวกับถั่วเหลือง ซึ่งเป็นพืช C_3 จะเห็นว่าเมื่อความเข้มของแสงเพิ่มขึ้นอย่างมาก ก็ไม่ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นเสมอไป กราฟของ light saturation ในกระบวน การสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองนั้น ได้มีการศึกษาอย่างมากมาย ในการทดลองในเรือนกระจกพบว่า ระดับของ light saturationในใบถั่วเหลืองเกิดขึ้นเมื่อความเข้มของแสงสูงถึง 20 k lux (Bohning and Burnside, 1956 ; Brun and Cooper, 1967) และระดับของ light saturation ในใบของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ใน growth chamber เกิดขึ้นเมื่อความเข้มแสงเท่ากับ 40 k lux (Curtis *et al*., 1969) ส่วนในใบบนสุดของถั่วเหลืองที่เป็นทรงพุ่ม (canopy) ระดับของ light saturation เกิดขึ้นเมื่อความเข้มแสงสูงเท่ากับ 100 k lux (Beuerlein and Pendleton, 1971) ในขณะเดียวกันเมื่อวัด light saturation ในสภาพไร่นา พบว่าความเข้มแสงที่สูงถึง 150 k lux ก็ยังไม่ทำให้เกิด light saturation ในถั่วเหลืองได้ และความเข้มแสงที่สูงถึง 150 k lux นี้ ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสูงได้ถึง 65 CO_2 dm^{-1} leaf area hr^{-1} (Beuerlein and Pendleton, 1971) ในพืชที่ปลูกในแปลง ถ้าตำแหน่งของใบอยู่สูงขึ้นไปมากเท่าไหร่ อัตราการสังเคราะห์แสงและระดับของ light saturation intensity ก็จะยิ่งสูงขึ้นตามไปด้วย (Kumura, 1969a) ดังนั้น light saturation ของกระบวนการสังเคราะห์แสงในใบจึงเป็นการทำหน้าที่ของ light intensity ภายใต้สภาวะที่พืชเจริญเติบโตอยู่

ในสภาพธรรมชาตินั้น เนื่องจากถั่วเหลืองสร้างใบมากมายและใบต่างๆ ก็อยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน จึงเป็นที่สันนิษฐานว่า light saturation จะเกิดขึ้นได้นั้น ก็ต่อเมื่อความเข้มของแสงจะต้องสูงขึ้นจริงๆ เพราะในขณะที่ใบบนเกิด light saturation ใบล่างๆ ก็จะไม่เกิด light saturation เพราะได้รับความเข้มแสงน้อยกว่าใบบน แต่ก็ยังคงทำการสังเคราะห์แสงได้สูงขึ้นไปอีก การสังเคราะห์แสงในใบบนและใบล่างจึงชดเชยกัน ทำให้ light saturation ในสภาพไร่นาเกิดขึ้นได้ค่อนข้างยาก (อภิพรรณ, 2533) ข้อมูลพื้นฐานในการปรับตัวของพืชต่อสภาวะความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นยังไม่เป็นที่ทราบมากนัก แต่อัตราการสังเคราะห์แสงที่เพิ่มสูงขึ้นเกี่ยวข้องกับการเพิ่มความหนาของใบ (leaf-density thickness) (Dornhoff and Shibles, 1970) และการเพิ่มปริมาณของ ribulose bisphosphate carboxylase (Bowes and Orgen, 1970)

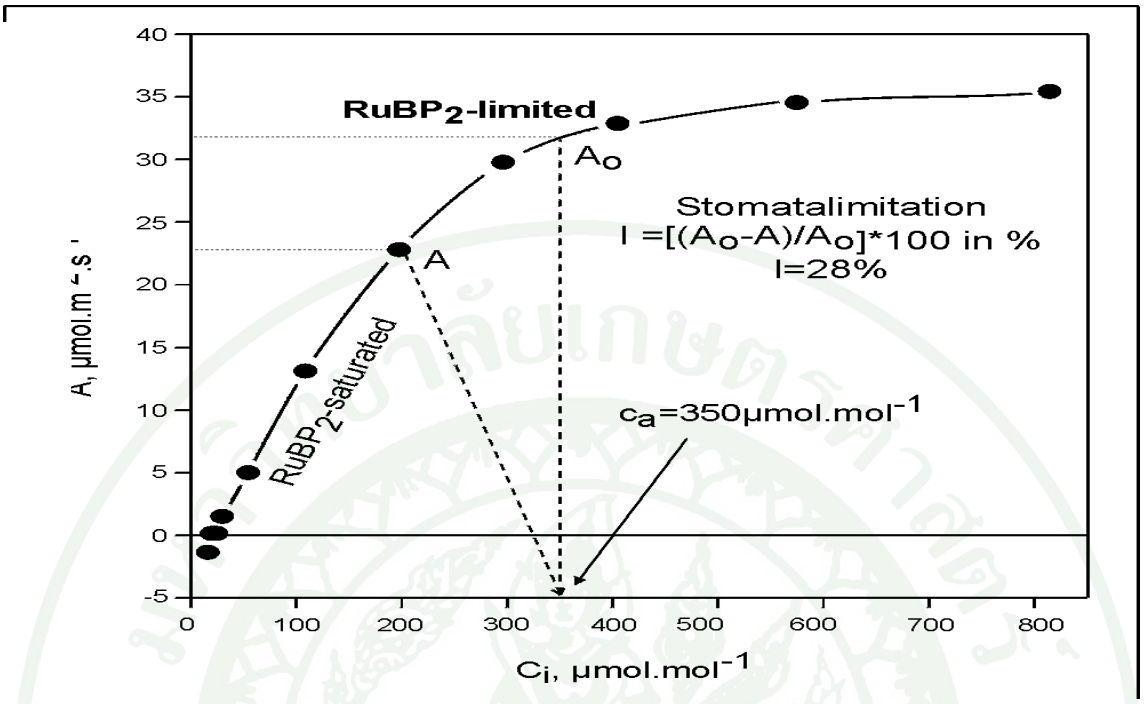
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข. ปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์

ในการสังเคราะห์แสงนั้น กาซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศแพร่ผ่านเข้าสู่พืชทางปากใบ ผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์เข้าสู่ผนังเซลล์มีโซฟิลล์ ไซโตพลาสซึมและคลอโรพลาสต์ในที่สุด อัตราการแพร่ผ่านนี้ขึ้นอยู่กับผลต่างของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศและในใบพืช ซึ่งอาจวัดความสามารถของคลอโรพลาสต์ในการที่จะลดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบ หรือใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสงได้ โดยหาจุดทดแทนคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 compensation point) ซึ่งหมายถึง สภาพสมดุลเมื่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชปล่อยออกมาเนื่องจากการหายใจเท่ากับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่แพร่ผ่านเข้าไป เพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง (อู่แก้ว, 2531) ในภาพที่ 2 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของอัตราการสังเคราะห์แสง (A) ต่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ปากใบพืช (internal CO_2 ; Ci) ที่มีการตอบสนองเป็นแบบ hyperbolic หรือ asymptotic จากกราฟ A/Ci ประกอบด้วยส่วนที่เป็น initial linear response ในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ค่า initial slope ของกราฟ A/Ci แสดงถึง carboxylation efficiency หรือประสิทธิภาพของเอนไซม์ Rubisco จากกราฟ A/Ci สามารถบอกได้ว่า A อาจถูกจำกัดด้วยปริมาณและประสิทธิภาพของ Rubisco ในกระบวนการ carboxylation และในบริเวณปลายของกราฟ A/Ci จะแสดงถึงความสามารถของใบพืชที่จะสร้างเอนไซม์ $RuBP_{ase}$ มาใช้ในกระบวนการตรึง CO_2 (Hall *et al*., 1993)

อัตราการเกิดกระบวนการ light reactions ในกระบวนการสังเคราะห์แสง (มีการผลิต ATP และ NADPH) อาจจะไม่ถูกจำกัดในถั่วเหลือง เพราะว่าสามารถทำให้เกิดในอัตราที่สูงได้ ภายใต้สภาวะการปลูกใน growth chamber โดยให้ CO_2 และปริมาณความเข้มแสง (light intensity) ที่พอเพียงในระหว่างที่ทำการทดลอง (Brun and Cooper, 1967) นอกจากแสงแล้ว CO_2 ก็เป็นปัจจัยอีกอันหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสง เมื่อเพิ่ม CO_2 ให้แก่ใบให้สูงกว่าระดับ CO_2 ในบรรยากาศปรกติ อัตราการสังเคราะห์แสงของใบจะเพิ่มขึ้น และการเพิ่มขึ้นนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณแสงด้วย ถ้าใบได้รับแสงน้อย (35 Wm^{-2}) อัตราการสังเคราะห์แสงจะสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ถ้าใบได้รับแสงมาก (135 และ 310 Wm^{-2}) อัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นมาก การที่ใบมีอัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นเมื่อบรรยากาศมี CO_2 สูง เนื่องมาจากกระบวนการ photorespiration ลดลง เนื่องจากสัดส่วนระหว่าง CO_2: O_2 เพิ่มขึ้นนั่นเอง (ปิยะดา, 2542)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 แสดง A/Ci response curve

ที่มา: ดัดแปลงจาก Hall *et al*., 1993

คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศปรกติมีประมาณ 0.034% (340 ppm) (Gardner et al., 1985) ภายใต้สภาพที่พลังงานแสงไม่เป็นตัวจำกัด อัตราการสังเคราะห์แสงของใบพืชสามารถเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 1,000-1,500 ppm (เฉลิมพล, 2535) พืชพวก C_4 สามารถตรึงคาร์บอนคาร์ไดออกไซด์เอาไว้ในกลุ่มเนื้อเยื่อ mesophyll cells แล้วนำไปใช้ในวัฏจักรคาลวินในส่วนของ bundle sheath cells ต่อไปได้ จึงทำให้หญ้าเขตร้อนมีประสิทธิภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีกว่าหญ้าในเขตหนาว นอกจากนี้พืช C_4 ยังสามารถสังเคราะห์แสงได้ในสภาพที่มีกาซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าพืช C_3 (เฉลิมพล, 535)

ค. อุณหภูม

ในปฏิกิริยามืดของกระบวนการสังเคราะห์แสง ขึ้นอยู่กับการทำงานของเอนไซม์ซึ่งมักจะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างมาก ซึ่งโดยทั่วไปพืชแต่ละชนิดมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสังเคราะห์แสงที่ต่างกันตั้งแต่ 5-40 องศาเซลเซียส ในสภาพอุณหภูมิสูง พืช C_4 จะมีการสังเคราะห์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แสงดีกว่าพืช C_3 (สมบุญ, 2536) พืช C_3 จะมีอัตราการสังเคราะห์แสงได้สูงสุดในช่วงอุณหภูมิ 10-25 องศาเซลเซียส ส่วนพืช C_4 จะมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดในช่วงอุณหภูมิ 30-45 องศาเซลเซียส (อารมย์, 2525)

ผลของอุณหภูมิต่อการสังเคราะห์แสงขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและสภาพแวดล้อม พืชทะเลทรายมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์แสงสูงกว่าพืชที่ขึ้นอยู่ในเขตหนาวพืชไร่ที่ชอบอากาศเขตร้อน เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ฝ้าย มีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสูงกว่าพืชไร่ในเขตอบอุ่น เช่น ข้าวสาลี มันฝรั่ง บาร์เล่ย์ เป็นต้น โดยทั่วไปๆ ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์แสงของพืชใดจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในเวลากลางวันในเขตที่พืชนั้นเจริญเติบโตอยู่ ยกเว้นในเขตหนาว ซึ่งช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์แสงมักจะสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศ (ปิยะดา, 2542)

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมีผลทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการถ่ายทอดอิเลคตรอนเกิดเร็วขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงขึ้นยังช่วยเร่งกิจกรรมของเอนไซม์ Rubisco และทำให้สัดส่วนระหว่าง CO_2: O_2 เพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่ออุณหภูมิสูงเกินไปอัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลงตามลำดับเนื่องจากโปรตีนเริ่มเสียสภาพ ในกรณีที่อุณหภูมิต่ำเกินไป การสังเคราะห์แสงจะถูกยับยั้ง เนื่องมาจากอัตราการสังเคราะห์น้ำตาลซูโครสในไซโทพลาสซึม (cytoplasm)ถูกยับยั้ง จะไม่มีการลำเลียง triose phosphate ออกจากคลอโรพลาสต์ เมื่อไม่มีการขนส่ง triose phosphate ออกไป ก็จะไม่มีการขนส่ง inorganic phosphate เข้าสู่คลอโรพลาสต์ เมื่อขาด inorganic phosphate ก็จะทำให้ปฏิกริยาแสง (light reaction) ถูกยับยั้ง (ปิยะดา, 2542) นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีบทบาทต่ออัตราการหายใจด้วยคือ อัตราการหายใจของใบพืชจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นหากอุณหภูมิสูงเกินช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์แสง จะทำให้อัตราการหายใจมีมากกว่าอัตราการสังเคราะห์แสง ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (net photosynthesis) ลดลง (เฉลิมพล, 2535)

อุณหภูมิที่เหมาะสม (optimum temperature) ในการเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงในใบถั่วเหลืองจะอยู่ที่ 35 °C และการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงให้มีค่าสูงสุด หากใบขาดออกซิเจนจะอยู่ที่ 40 °C (Hofstra and Hesheth, 1969) ในถั่วเหลืองพันธุ์ Lee พบว่ามีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศในแถบทางใต้ของสหรัฐอเมริกา ดังนั้นถั่วเหลืองพันธุ์ต่างๆ ที่มีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมในพื้นที่ที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นถึงการตอบสนองที่แตกต่างกันต่ออุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จะเห็นได้ว่าความเข้มแสงและอุณหภูมิเป็นปัจจัยจำกัดของอัตราการสังเคราะห์แสงและประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีระดับอุณหภูมิและความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์แสงต่างกัน พืชในเขตอบอุ่นมีระดับที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวต่ำกว่าพืชในเขตร้อน ถึงแม้ว่าความเข้มแสงต่ำๆ มักจะจำกัดอัตราการสังเคราะห์แสงของพืชเป็นส่วนใหญ่ แต่ถ้าพืชได้รับแสงที่มีความเข้มแสงสูงเป็นระยะเวลานาน กระบวนการสังเคราะห์แสงก็อาจหยุดได้เช่นเดียวกัน (อู่แก้ว, 2531) ทั้งนี้เพราะเกิดสภาวะ photoinhibition ซึ่งปริมาณแสงที่มากเกินไปนี้ จะทำให้การทำงานของรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงผิดปรกติไป ส่งผลกระทบถึงระบบศูนย์กลางการสังเคราะห์แสง (Krause and Weis, 1991)

ง. ความชื้นและปริมาณน้ำ

น้ำเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการสังเคราะห์แสง แต่พืชใช้น้ำในกระบวนการสังเคราะห์แสงประมาณ 0.1% ของน้ำที่รากพืชดูดไปใช้ทั้งหมดเท่านั้น น้ำเป็นแหล่งที่ให้อิเล็กตรอนที่ใช้ในกระบวน การสังเคราะห์แสง ถ้าพืชขาดน้ำจะทำให้ปากใบปิด คาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ การสังเคราะห์แสงจะลดลง ในสภาพน้ำท่วมดินชุ่มไปด้วยน้ำ ทำให้รากพืชขาดออกซิเจนที่ใช้ในการหายใจ ต้นพืชจึงขาดพลังงานในการดูดน้ำไปใช้และมีผลกระทบถึงอัตราการสังเคราะห์แสงด้วย (สมบุญ, 2536) จะเห็นได้ว่าระดับน้ำภายในต้นพืช มีความสำคัญต่อการควบคุมการปิด-เปิดปากใบของพืชเป็นอย่างมาก ซึ่งปากใบของพืชมีบทบาทต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ เช่น การสังเคราะห์แสงและการหายใจ การที่พืชปิดปากใบเพื่อลดการคายน้ำเมื่ออยู่ในภาวะขาดน้ำ จะมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงและการหายใจลดลง ดังนั้นกระบวนการหายใจ การสังเคราะห์แสง และการคายน้ำจะมีความสัมพันธ์กันไม่สามารถแยกจากกันได้ (ปิยะดา, 2542)

นงลักษณ์ (2530) อ้างถึง Troughton (1969) ที่ได้ศึกษาเปรียบเทียบการคายน้ำของข้าวสาลี (พืช C_3) และข้าวฟ่าง (พืช C_4) พบว่าอัตราการคายน้ำของข้าวฟ่างมีแนวโน้มต่ำกว่าข้าวสาลีแต่กลับมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าข้าวสาลี ซึ่งเป็นข้อยืนยันว่า พืช C_4 มีประสิทธิภาพการใช้น้ำ (water use efficiency) สูงกว่าพืช C_3

จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำที่เพียงพอ เป็นสิ่งจำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตของพืช หากปริมาณน้ำในใบลดลงจนถึง –11 bars จะมีผลไปยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง การยับยั้งการสังเคราะห์แสงนี้อาจเกิดจากการปิดปากใบ ในข้าวโพดจะมีความไวต่อสภาพขาดน้ำ (water stress) เป็นอย่างมาก โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงจะถูกยับยั้งเมื่อปริมาณน้ำในใบลดลงเท่ากับ –3.5 bars

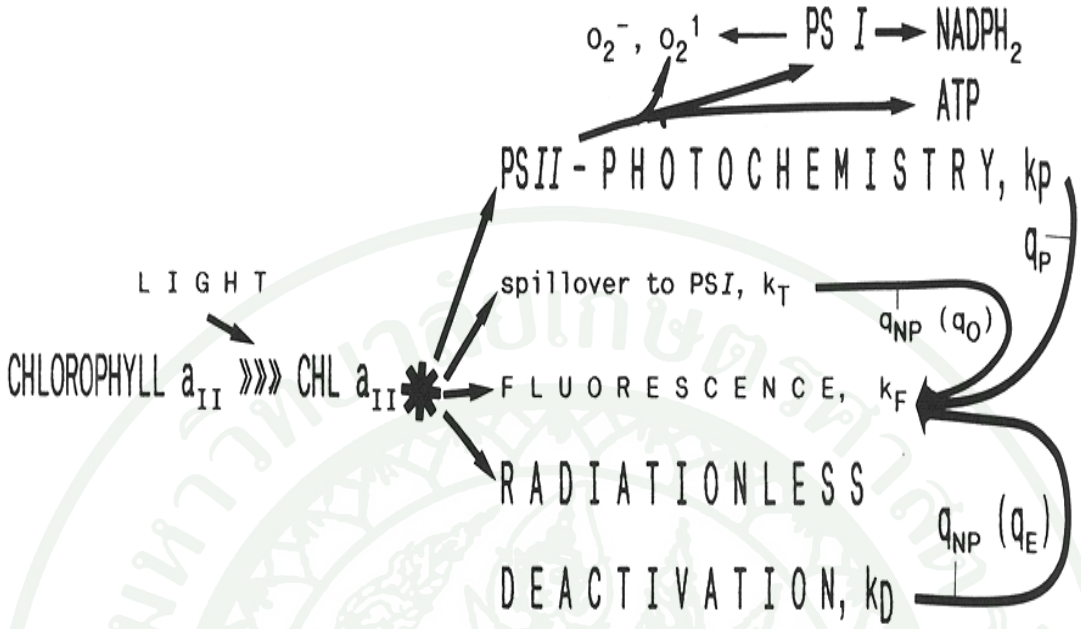
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(Boyer, 1970) ปริมาณน้ำที่เพียงพอและค่าของ water potential (ψ) มีความสำคัญยิ่งในกระบวนการสังเคราะห์แสง การขาดน้ำจะก่อให้เกิดความต้านทานที่สูงยิ่งต่อการเคลื่อนย้ายของ CO_2 เข้าสู่ใบ และการเคลื่อนย้ายของไอน้ำออกจากใบ ในขณะเดียวกันการขาดน้ำจะทำให้เกิดอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงของ CO_2 ไปเป็นคาร์โบไฮเดรต โดยปรกติอัตราการสังเคราะห์แสงจะค่อยๆ ลดลงเมื่อการขาดน้ำเกิดขึ้นและค่าของอัตราการสังเคราะห์แสงจะมีค่าเป็นลบเมื่อพืชขาดน้ำอย่างรุนแรง การที่อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงเมื่อมีการขาดน้ำอย่างรุนแรง เกิดขึ้นเนื่องจากการขาดน้ำมีผลทำให้ปากใบปิด ส่งผลให้ปริมาณ CO_2 ไม่สามารถเคลื่อนย้ายเข้าสู่ใบได้ และอีกสาเหตุหนึ่งคือการที่ปฏิกิริยาทางเคมีของการสังเคราะห์แสงถูกกระทบ กระเทือนเมื่อขาดน้ำ (อภิพรรณ, 2545)

7.3 คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Chlorophyll fluorescence) หรือกิจกรรมของคลอโรฟิลล์ในใบพืช

การดูดกลืนแสงของโมเลกุลของสารใดนั้นๆ จะขึ้นอยู่กับระดับพลังงานหรือช่วงคลื่นของแสงแต่ละชนิด แสงในช่วงที่ตามองเห็นจะมีความยาวช่วงคลื่นประมาณ 380-760 นาโนเมตร เมื่อโมเลกุลของสารดูดแสงช่วงคลื่นนี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของโมเลกุล ทำให้อิเล็กตรอนอยู่ในสภาพเร่งเร้า (excited state) ซึ่งในสภาพปรกติก่อนที่โมเลกุลจะดูดพลังงานแสงนั้น โมเลกุลจะอยู่ในสภาพเสถียรหรือคงตัว (ground state) พลังงานของอิเลกตรอนหรือโมเลกุลที่สูงขึ้นจากระดับปรกติและอยู่ในสภาพเร่งเร้านี้เรียกว่า พลังงานเร่งเร้า (excitation energy) ซึ่งเป็นพลังงานที่ไม่คงตัวและเกิดในสภาพสั้นมากเพียงเสี้ยววินาที ถ้าต้องการใช้พลังงานนี้ให้เป็นประโยชน์ จะต้องส่งถ่ายอิเลกตรอนหรือพลังงานผ่านโมเลกุลของรงควัตถุที่อยู่ติดกันเป็นทอดๆ โดยต่อเนื่องกัน จนถึงศูนย์กลางของปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง ถ้าพลังงานเร่งเร้านี้ไม่สามารถส่งถ่ายอิเลกตรอนไปยังสารอื่นได้ภายในระยะเวลา 10^{-9} วินาที พลังงานเร่งเร้านี้จะต้องขจัดออกไปจากระบบในรูปของความร้อน หรือเปลี่ยนเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่าเดิมหรือเกิดการเรืองแสงที่เรียกว่า ฟลูออเรสเซนต์ (fluorescence) (สมบุญ, 2536) สำหรับพืชโดยทั่วไปแล้วพลังงานแสงจะถูกดูดกลืนด้วยโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ เพื่อนำไปใช้ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง อย่างไรก็ตามจะมีพลังงานส่วนหนึ่งที่ไม่ได้ใช้ในปฏิกิริยานี้ พืชจึงมีกลไกในการปลดปล่อยพลังงานนี้ออกมาในลักษณะต่างๆ (ภาพที่ 3) เช่น การสะท้อนกลับของรังสีและการเปล่งรังสีฟลูออเรสเซนซ์ (Hall *et al*., 1993)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

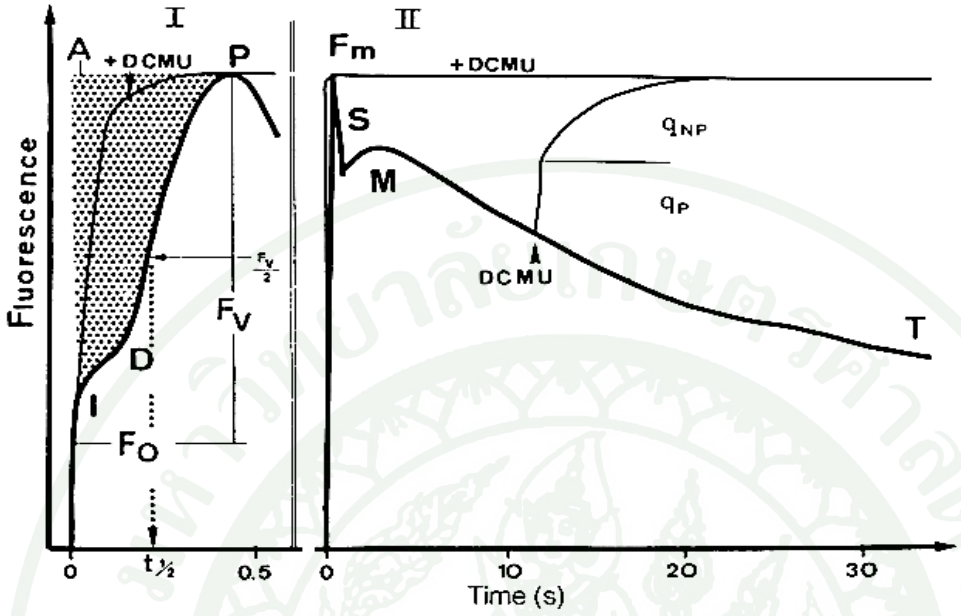


ภาพที่ 3 แสดงกลไกการปลดปล่อยพลังงานในส่วนที่ไม่ถูกใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยวิธีต่างๆ

ที่มา: Hall *et al*., 1993

ในสภาพปรกติเมื่อใบพืชได้รับความมืดประมาณ 30 นาที พบว่าส่วนของตัวรับอิเล็กตรอน (electron acceptor) ใน Photosystem II (PS II) จะอยู่ในสภาพ ground state และสามารถเปิดรับพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ได้สูงสุด แต่อย่างไรก็ตามในสภาพนี้คลอโรฟิลล์ก็สามารถเปล่งฟลูออเรสเซนซ์ ออกมาได้ต่ำสุดเรียกว่า Fo (minimum fluorescence) ในทันทีที่พืชได้รับรังสีดวงอาทิตย์ electron acceptor จะเปลี่ยนไปอยู่ในสภาพ excited state และการเปล่งรังสีฟลูออเรสเซนซ์จากคลอโรฟิลล์ก็จะเพิ่มไปสู่สภาพสูงสุด เรียกว่า Fm (minimum fluorescence) จากนั้นค่านี้ก็จะลดลงสู่ระดับ Fo อีก เมื่อพลังงานถูกส่งต่อไปยัง Photosystem I (PS I) ส่วนของ electron acceptor ก็จะสามารถรับพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ได้อีกต่อไป ปรากฏการณ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์นี้เรียกว่า Kautsky curve (ภาพที่ 1.4) ความแตกต่างระหว่างค่า Fm และ Fo เรียกว่า variable fluorescence (Fv) อัตราส่วนของ Fv/Fm แสดงถึงความสามารถของ PS II ในคลอโรฟิลล์พืช ในการรับพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ และถ่ายทอดไปสู่ PS I ค่านี้มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของปฏิกิริยาเคมีของการใช้แสงในกระบวนการสังเคราะห์แสงที่เรียกว่า quantum yield (Bjorkman and Demming, 1978)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 แสดงถึงลักษณะของ kautsky curve

ที่มา: Hall *et al*., 1993

ดังนั้นการวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (chlorophyll fluorescence) จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ ปัจจุบันนี้ได้มีการปรับปรุงเทคนิคนี้โดยการนำมาใช้เป็นเครื่องมือศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชต่อสภาพความเครียดของสิ่งแวดล้อม (Flagella *et al*., 1994) เทคนิคนี้เมื่อนำมาใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์จะสามารถวัดได้ง่าย รวดเร็ว ไม่รบกวนต้นพืช (Selmani and Wasson, 1993) ทั้งยังสามารถใช้ได้ทั้งภาคสนามและห้องปฏิบัติการ (Olaf and Snel, 1990)

Flagella และคณะ (1994) ได้ศึกษาคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในข้าวสาลี ซึ่งเป็นพืช C_4 พบว่าข้าวสาลีที่เจริญในสภาพน้ำมากจะให้ค่า Fv/Fm สูงและให้ผลผลิตสูงกว่าข้าวสาลีที่เจริญในสภาพน้ำน้อย Selmani และ Wasson (1993) รายงานว่า ในการทดลองวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ของข้าวสาลีในสภาพที่มีน้ำมาก จะมีค่า Fv/Fm สูงกว่าในสภาพที่มีน้ำน้อย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Hidekaza และคณะ (1994) ศึกษาคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในใบแตงกวาพบว่า ค่า Fv/Fm มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกับค่า quantum yield ของการสังเคราะห์แสง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ สามารถใช้อธิบายถึงประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของพืชได้

7.4 การเคลื่อนย้ายและการใช้ประโยชน์จากสารอาหารที่สังเคราะห์ขึ้น (translocation and utilization of photosynthate)

ใบของพืชตระกูลถั่วเป็นอวัยวะที่มีประโยชน์มากและทำหน้าที่ได้หลายอย่าง เช่น การสังเคราะห์แสง การใช้แป้ง การกักเก็บสารอาหารต่างๆ ตลอดจนการเคลื่อนย้ายสารอาหารไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืช ในถั่วเหลืองนั้น ผลิตภัณฑ์ (product) ของการสังเคราะห์แสงจะถูกแบ่งออกไปใช้ในกระบวนการต่างๆ 2 กระบวนการด้วยกันคือกระบวนการสร้างแป้งและกระบวนการสร้างน้ำตาล sucrose ซึ่งแป้งและน้ำตาล sucrose เป็นสารประเภท polysaccharide ที่สำคัญที่เคลื่อนย้ายไปในลำต้นของถั่วเหลือง ส่วนสารประเภท monosaccharide อื่นๆ เช่น glucose ,fructose และ hexose พบได้บ้างในปริมาณที่น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ในใบถั่วเหลืองยังมีสารประเภท sterol glucosides, esterified glucosides glycoprotein ตลอดจน serine ซึ่งมักจะพบมากในใบที่เพิ่งเริ่มเจริญเติบโต (อภิพรรณ, 2533) ผลิตภัณฑ์ตัวแรก (primary product) ที่ถูกผลิตขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์แสงและถูกส่งออกไปจากใบถั่วเหลืองคือน้ำตาล sucrose (ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์) (Vernon and Aronoff, 1952) แม้ว่าน้ำตาล sucrose จะเป็นผลิตภัณฑ์หลัก (predominant export) และมีการเคลื่อนย้ายไปสู่ส่วนต่างๆ มากที่สุด แต่กรดอะมิโน เช่น serine และ glycine ก็ถือว่าเป็นสารประกอบตัวแรกที่มีการเคลื่อนย้ายจากใบหนึ่งไปสู่อีกใบหนึ่ง (Clauss *et al*., 1964) สารอาหารต่างๆ มากมายที่นอกเหนือจากน้ำตาล sucroase จะถูกเคลื่อนย้ายจากใบถั่วเหลืองไปยังส่วนต่างๆ ภายในต้นถั่วเหลือง สารอาหารต่างๆ เหล่านี้ได้แก่ กรดอะมิโน alanine,glutamate,glyceric acid, glucose, raffinose, fructose, malic acid, triose,isocitric acid, succinic acid, aspartate และ citric acid (Vernon and Aronoff, 1952) นอกจากนี้ยังพบว่ามีสารประกอบอื่นๆ ที่ค่อนข้างมีปริมาณมากอยู่ด้วย คือ malate และยังพบว่ามี glutamine, asparagine, maltose และ sugar phosphate รวมทั้งสารประกอบอื่นๆ ที่ยังไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นสารชนิดใดอีกด้วย (Nelson *et al*., 1961 ; Clauss *et al*., 1964 and Fisher 1970a) การเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 ให้มีค่าเท่ากับ 1,500 และ 3,000 ppm พบว่าสามารถเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงได้ แต่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ของกระบวนการสังเคราะห์แสงเป็นสารอื่นได้หรือเปลี่ยนแปลง nature ของสารประกอบเหล่านี้ได้ (Nelson *et al*., 1961)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Giaquinta (1983) ได้รายงานว่า ในพืชตระกูลถั่วต่างๆ หรือในถั่วเหลือง ผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์แสง (assimilates) จะเคลื่อนย้ายจากใบเข้าสู่ท่ออาหาร (phloem) โดยผ่านทางเนื้อเยื่อที่มีชีวิต (symplast) ผ่าน plasmodesmata สารอาหารดังกล่าวจะถูกเคลื่อนย้ายออกจากส่วนของเซลล์หรือเนื้อเยื่อที่มีชีวิต (symplast) ที่ mesophyll เคลื่อนย้ายผ่านส่วนที่ไม่มีชีวิต (apoplast) เข้าสู่ท่ออาหาร โดยการปั๊มเข้าสู่ phloem โดย protomediated pump ในบรรดาสารอาหารที่เคลื่อนย้ายในถั่วเหลืองนั้น น้ำตาลซูโครสเคลื่อนย้ายในพืชในปริมาณที่มากกว่าสารประกอบอื่นๆ น้ำตาลซูโครสจะถูกปั๊มเข้าสู่ท่ออาหารโดยกลไก sucrose-proton cotransport โดยต้องอาศัยการแลกเปลี่ยน K^+ จาก phloem ออกสู่ภายนอก การเคลื่อนย้ายของซูโครสเข้าสู่ phloem นับว่าเป็นกระบวนการที่เฉพาะ เจาะจง เกิดขึ้นที่ seive tube ของ phloem แต่การปั๊มกรดอะมิโนประเภทต่างๆ เข้าสู่ phloem นั้น ไม่ได้เกิดขึ้นโดยกลไกเช่นเดียวกับการปั๊มน้ำตาลซูโครส ซึ่งการปั๊มกรดอะมิโนนั้น ไม่นับว่าเป็นกระบวนการที่เจาะจงเหมือนซูโครส

การเคลื่อนย้ายสารอาหารต่างๆ จากใบเข้าสู่ส่วนต่างๆ ของพืชนั้น ได้รับอิทธิพลจากอายุของพืชและสภาพแวดล้อมต่างๆ เป็นอย่างยิ่ง ในขณะเดียวกันปริมาณของสารอาหารต่างๆ จะเคลื่อนที่ไปสู่อวัยวะใดของพืชก็ตาม ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ข้างต้นด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามเป็นที่ยอมรับกันว่า อัตราการเคลื่อนที่ของซูโครสในท่ออาหารจะขึ้นอยู่กับอัตราการสังเคราะห์ซูโครสในใบ โดยปรกติคาร์บอนที่เคลื่อนย้ายจากใบที่โตเต็มที่จะเข้าสู่จุดเจริญที่อยู่ใกล้ที่สุดของต้น ในขณะที่พืชเจริญอยู่ในช่วง vegetative growth คาร์บอนจากใบตอนบนจะเคลื่อนที่เข้าสู่ใบอ่อนและจุดเจริญปลายยอดในขณะเดียวกัน คาร์บอนจากใบตอนล่างจะเคลื่อนเข้าสู่ราก ในขณะที่คาร์บอนจากใบตอนกลางของลำต้น เคลื่อนที่ไปที่ยอดและรากในเวลาเดียวกัน อย่างไรก็ตามการเคลื่อนย้ายของ assimilate ไปสู่ที่ต่างๆ ของพืชนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะและความสัมพันธ์ของ source และ sink (อภิพรรณ, 2533)

ใบอ่อนที่กำลังเจริญเติบโตถือว่าเป็น sink ที่สำคัญในการเคลื่อนย้ายสารอาหารขึ้นไปยังส่วนยอด และใบอ่อนไม่สามารถเคลื่อนย้ายสารอาหารด้วยตัวมันเองได้ จนกว่าจะมีขนาดของใบประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของขนาดใบสูงสุด (maximum size) เมื่อใบมีการขยายขนาดอย่างเต็มที่แล้ว (full size) ปริมาณของสารอาหารที่จะถูกเคลื่อนย้ายไปจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นจนถึงระดับสูงสุด และมีการขนถ่ายไปยังส่วนยอดและราก ซึ่งสัดส่วนของสารอาหารที่ถูกขนถ่ายไปจะขึ้นอยู่กับทิศทาง และตำแหน่งของใบในแต่ละข้อ (Thaine *et al*., 1959) ในถั่วเหลืองที่มีการสุกแก่ สารอาหารส่วนใหญ่จากใบจะถูกส่งไปยังฝัก (pod) ที่อยู่ตรงซอกใบ (Belikov, 1961a) ถ้าฝักถูกเด็ดออกไป สารอาหารจะถูกขนถ่ายลงไปยังฝักถัดไปที่อยู่ต่ำลงมามากกว่าที่จะขนถ่ายขึ้นไปยังฝักที่อยู่ด้านบน (Belikov and Pirskii, 1966) อย่างไรก็ตาม Johnston and Pendleton (1968) และ Hicks and Pendleton (1969) พบว่า บางฝักของถั่วเหลืองที่อยู่ในข้อที่ 3 บน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนยอดก็มีเมล็ดที่เต็มฝัก (pod filled) ได้ ถึงแม้ว่าใบที่อยู่ในข้อนั้นๆ จะถูกเด็ดทิ้งไป

ในถั่วเหลืองนั้น ได้มีการถกเถียงกันอย่างมากว่า ใบพืชและและลำต้นนั้น เป็นส่วนที่เก็บกักคาร์โบไฮเดรตของพืชและคาร์โบไฮเดรตเหล่านี้จะถูกใช้ในการพัฒนาของเมล็ดหรือไม่ จากงานทดลองต่างๆ ที่ผ่านมา (Dunphy and Hanway, 1976 ; Ciha and Brun, 1978) ได้รายงานว่าคาร์โบไฮเดรตในใบถั่วเหลืองนั้นมีปริมาณสูงอยู่เกือบตลอดเวลา จนกระทั่งถึงจุดที่ใบจะร่วงหล่น Egli *et al.* (1980) ได้อธิบายไว้ว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ใบถั่วเหลืองที่สูงขึ้นอยู่ตลอดเวลานี้ อาจเป็นเพราะว่าใบถั่วเหลืองมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงที่สูงอยู่เสมอ และโดยเฉพาะในเวลาที่เมล็ดกำลังสะสมน้ำหนักแห้ง เมื่อคาร์โบไฮเดรตถูกสร้างขึ้นที่ใบ ก็จะเคลื่อนย้ายเข้าสู่เมล็ดและในใบ คาร์โบไฮเดรตก็ถูกสร้างขึ้นใหม่แทนที่ความต้องการของเมล็ดนั้น ทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงในใบมีอัตราที่สูงและทำให้กระบวนการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตจากใบเข้าสู่เมล็ดมีอัตราสูงขึ้นด้วย

Egli *et al*. (1980) ได้เน้นว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เก็บกักไว้ในรากของพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วเหลืองนั้น มีอิทธิพลอย่างสูงต่อการเจริญเติบโตของเมล็ด ปริมาณอาหารสำรองที่เก็บไว้ในลำต้นส่วนล่างก็มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของเมล็ดเท่าๆ กัน และหากพืชเจริญเติบโตตามปรกติ และมีปริมาณอาหารสำรองพอเพียงที่จะทำให้เมล็ดเติบโตดีแล้ว การเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงที่ใบอีกในขณะที่เมล็ดสะสมน้ำหนักแห้ง ก็จะไม่ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นมากมายนัก การเคลื่อนย้ายสารอาหาร (assimilate) จากใบและส่วนต่างๆ ของพืชเข้าสู่เมล็ดนั้น ถ้าเป็นคาร์โบไฮเดรตก็จะอยู่ในรูปของน้ำตาลซูโครสเป็นส่วนใหญ่ น้ำตาลซูโครสจะถูกส่งผ่านท่อน้ำท่ออาหารของเปลือกฝัก เข้าสู่เมล็ดผ่านเปลือกเมล็ดและถูกสะสมไว้ในขอบใบเลี้ยงระหว่างเปลือกเมล็ดกับต้นอ่อนของเมล็ด เป็นที่น่าสงสัยว่า ฮอร์โมนหรือสารเร่งหรือชะลอการเจริญเติบโตบางชนิดเช่น abscisic acid (ABA) จะมีส่วนอย่างยิ่งในการสะสมซูโครสในเมล็ดหรือไม่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Schussler *et al*. (1984) ได้ตั้งข้อสันนิษฐานว่าการเคลื่อนย้ายของซูโครสจากท่ออาหารของฝักและเมล็ดเข้าสู่ใบเลี้ยงนั้น หรือที่เรียกว่า phloem loading นั้น น่าจะต้องใช้พลังงาน และ abscisic acid (ABA) ช่วยเป็นตัวกระตุ้นให้กระบวนการดังกล่าวเป็นไปด้วยดี ในส่วนของสารประกอบไนโตรเจนนั้น นักวิทยาศาสตร์พบว่า กรดอะมิโนบางชนิดเช่น glutamine และ asparagine ตลอดจนกรดอะมิโนอื่นๆ จะเคลื่อนย้ายจาก phloem มายังเมล็ดและสะสมไว้ในเมล็ดเช่นกัน ถึงแม้ว่านักวิทยาศาสตร์จะพบว่าผลของการตรึงไนโตรเจนที่รากถั่วเหลือง จะทำให้ปริมาณของ ureides ในท่อน้ำ (xylem) มีปริมาณมาก แต่ ureides ก็ไม่ใช่สารประกอบไนโตรเจนที่ถูกสะสมไว้ในเมล็ดเนื่องจากเป็นสารประกอบที่เคลื่อนที่เร็ว และไม่เหมาะสมที่จะเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ให้พลังงานสูงสำหรับการเจริญเติบโตของต้นพืช (อภิพรรณ, 2533)

7.5 การสะสมน้ำหนักแห้งในเมล็ด

ระยะการเจริญเติบโตของพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วเหลืองนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะคือ 1.การเจริญเติบโก่อนการออกดอก ซึ่งหมายถึง การแตกตกิ่งก้านสาขาและการสร้างใบ 2. การสร้างดอก ฝักและเมล็ด 3. การสะสมน้ำหนักแห้งในเมล็ดและการเคลื่อนย้ายสารอาหารหรือน้ำหนักแห้งจากส่วนอื่นๆ ของต้นเข้าสู่เมล็ด การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในระยะที่ 3 นี้ มีความสำคัญเกี่ยวกับผลผลิตเป็นอย่างมาก อัตราการสะสมน้ำหนักและระยะเวลาของการสะสมน้ำหนักในเมล็ด (rate and duration of seed filling) เป็นปัจจัยที่ควบคุมให้น้ำหนักเมล็ดมากหรือน้อยเพียงใดด้วย

ในการพัฒนาของฝักและเมล็ดในถั่วเหลืองนั้น ต้องพิจารณาในเรื่องของการพัฒนาองค์ประกอบผลผลิต เริ่มตั้งแต่การพัฒนาของตาดอก จนเป็นดอกที่สมบูรณ์ การผสมเกสร การพัฒนาของฝักและเมล็ด การสะสมน้ำหนักแห้งในเมล็ด และสิ้นสุดที่เมล็ดมีการเจริญเติบโตจนถึงจุดสุกแก่ทางสรีระ (physiological maturity) หรือจุดที่เมล็ดสะสมน้ำหนักแห้งสูงสุด ในถั่วเหลืองนั้นฝักจะเจริญเติบโตจนได้ขนาดเต็มที่ (full size) ก่อนที่เมล็ดจะสะสมน้ำหนักแห้งเสียอีก (Egli, 1981) การสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดถั่วเหลือง หากเขียนเป็นกราฟ จะได้กราฟรูป sigmoid curve เหมือนกับกราฟการเจริญเติบโตโดยทั่วไป (อภิพรรณและคณะ, 2529) ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตคือ ช่วง initial lag phase การสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดเพิ่งเริ่มต้นและไม่ค่อยสม่ำเสมอ เมื่อช่วง initial lag phase สิ้นสุดลงและเข้าสู่ช่วง log phase นั้น เมล็ดจะสะสมน้ำหนักแห้งมากขึ้นในอัตราที่คงที่ ซึ่งจะมีการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตจากใบหรือลำต้นมาสะสมไว้ในเมล็ด ระยะ log phase หรือระยะที่เมล็ดสะสมน้ำหนักในอัตราที่สม่ำเสมอนี้ บางครั้งเรียกว่า ระยะการสะสมน้ำหนักแห้งอย่างมีประสิทธิภาพ (effective filling period duration) จนกระทั่งถึงระยะ decreasing growth rate หรือระยะที่อัตราการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดลดลงและ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หยุดนิ่ง เมื่อถึงระยะสุกแก่ทางสรีระ

7.6 การตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixation)

การตรึงไนโตรเจนในถั่วเหลืองเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญที่สุดอีกกระบวนการหนึ่ง ที่ทำให้พืชตระกูลถั่วมีความเหมาะสมที่จะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของระบบการปลูกพืชโดยทั่วไป การตรึงไนโตรเจนเกิดจากกิจกรรมร่วม (symbiotic relationship) ระหว่างเชื้อไรโซเบียม (*Rhizobium japonicum*) กับพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วเหลือง กิจกรรมดังกล่าวเกิดขึ้นที่ปมราก (nodule) (อภิพรรณ, 2533) Burton (1965) ได้รายงานไว้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อไรโซเบียมกับพืชตระกูลนั้น สิ่งสำคัญที่สุดประกอบด้วยความสามารถของเชื้อไรโซเบียมที่จะทำให้เกิดปม และการตรึงไนโตรเจนในกลุ่มพืชเดียวกันมีความแตกต่างกันเป็นอันมาก โดยไรโซเบียมจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ กลุ่มที่เจริญเติบโตเร็ว (fast growing) เช่น *Rhizobium meliloti* ตรึงไนโตรเจนร่วมกับถั่วอัลฟาฟา (*Medicago sativa*) เป็นต้น และพวกเจริญเติบโตช้า (slow growing) เช่น *Bradyrhizobium japonicum* ซึ่งตรึงไนโตรเจนกับถั่วเหลือง (*Glycine max*) เป็นต้น

7.6.1 การเกิดปมในพืชตระกูลถั่ว

หลังจากเชื้อไรโซเบียมสร้างเซลล์มากมายจนนับเป็น colony เจริญเติบโตอยู่ใกล้ๆ กับรากของพืชตระกูลถั่วแล้ว กระบวนการเข้าสู่ปมรากของแบคทีเรีย (infection process) และการเกิดปม (nodulation) เกิดขึ้นตามขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

(ก) การหงิกงอของรากขนอ่อน (root hair) ซึ่งเกิดจากการตอบสนองต่อออกซิน (IAA, indole acetic acid) ซึ่ง IAA ถูกสร้างขึ้นจากกรดอะมิโน tryptophan โดย tryptophan นี้เป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่งที่รากปลดปล่อยออกมา (root exudate) พร้อมๆ กับน้ำตาลหลายชนิด หลังจากนั้นเชื้อไรโซเบียมจะเปลี่ยน tryptophan ให้เป็น IAA และ IAA จะเป็นตัวกระตุ้นให้รากพืชหงิกงอ

(ข) ในช่วงที่รากพืชหงิกงอ พืชจะสร้างเอนไซม์ polygaractoronase ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์ cellulase และ pectinase ซึ่งจะย่อย cellulose และ pectin ตามลำดับ โดย cellulose และ pectin เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์รากขนอ่อน จนผนังเซลล์ของรากขนอ่อนเกิดช่องว่างขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(ค) เชื้อไรโซเบียมจะสร้าง infection thread เคลื่อนตัวจากภายนอกรากพืชเข้ามาในรากพืชและเจริญเติบโตอยู่ในเซลล์ cortex ของรากพืช

(ง) เชื้อไรโซเบียมจะเปลี่ยนรูปร่างเป็น bacteroid เจริญเติบโตอยู่ในเซลล์ cortex หลังจากนั้นเซลล์ cortex ก็จะขยายตัวนูนขึ้นจนกลายเป็นปมรากถั่ว (อภิพรรณ, 2545)

7.6.2 การตรึงไนโตรเจนของเชื้อไรโซเบียมในถั่วเหลือง

การตรึงไนโตรเจนประกอบไปด้วยปัจจัยสำคัญต่างๆ 4 ประการคือ

1) ธาตุไนโตรเจนที่จะเป็นตัวรับอิเลคตรอน ซึ่งได้แก่ไนโตรเจนจากอากาศ
2) พลังงานหรือสารประกอบ ATP
3) reductant หรือแหล่งของอิเลคตรอน (NADH, NADPH)
4) เอนไซม์ nitrogenase

สำหรับเอนไซม์ nitrogenase นี้เป็นเอนไซม์ที่พบภายในเซลล์ของแบคทีเรียที่เจริญเติบโตในปมรากถั่ว ที่ปมรากนี้เองที่กระบวนการตรึงไนโตรเจนเกิดขึ้นได้ (Bergersen and Turner, 1970)

การตรึงไนโตรเจนเป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนจากกาซไนโตรเจนในบรรยากาศหรือในดินและน้ำ ให้อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น กรดอะมิโน โดยที่การตรึงไนโตรเจนนั้นจะเกิดในปมรากถั่ว กรดอะมิโนที่สร้างขึ้นส่วนใหญ่ได้แก่ asparagine ซึ่งจะถูกส่งขึ้นไปยังส่วนของพืชที่อยู่เหนือดิน และถูกสร้างเป็นโปรตีนสะสมไว้ในส่วนต่างๆ ของพืช (Streeter, 1972)

ระยะการตรึงไนโตรเจนในถั่วเหลืองนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะ (Wilson and Umbreit, 1973) คือ ในช่วงแรกเป็นระยะสั้นซึ่งปมกักเก็บ 30-50 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนที่ตรึงได้ ในช่วงที่สอง ปมจะเคลื่อนย้าย 80-90 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนที่ตรึงได้ไปยังลำต้นและปริมาณไนโตรเจนในลำต้นเพิ่มขึ้นแบบ logarithmically increase ในระยะสุดท้าย การตรึงไนโตรเจนจะลดลงและไนโตรเจนจากส่วนต่างๆ ของลำต้นที่ถูกเก็บสะสมไว้ จะมีการเคลื่อนย้ายไปยังเมล็ด Hardy และคณะ (1971) ได้แบ่งช่วงเวลาของการตรึงไนโตรเจนออกเป็น 3 ช่วงดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ก. Initiation time เป็นช่วงที่เริ่มมีการตรึงไนโตรเจนครั้งแรก ซึ่งแตกต่างกันตามแต่ชนิดของและพันธุ์ของถั่วเหลือง มีการเจริญเติบโตทางด้าน vegetative อย่างช้าๆ

ข. Doubling time เป็นช่วงเวลาที่จัดอยู่ใน exponential phase มีอัตราการตรึงไนโตรเจนเพิ่มเป็สองเท่า และมีการเจริญเติบโตทางด้าน vegetative เพิ่มมากขึ้น

ค. Termination time ในระยะนี้มีการเจริญเติบโตทางด้าน reproductive มากขึ้น อัตราการตรึงไนโตรเจนลดลงตามลำดับจนกระทั่งถึงระยะสุกแก่

Sinclair and de Wit (1975) พบว่าในช่วง pod filling ของถั่วเหลืองนั้นมีอัตราการตรึงไนโตรเจนลดลง เพราะในการสร้างเมล็ดจะแย่งปริมาณ photosynthate ได้ดีกว่าปม ทำให้ให้ปมได้รับปริมาณ photosynthate น้อย และทำให้พลังงานที่จะใช้ในการ reduce กาซไนโตรเจนจากอากาศมีอยู่ในระดับต่ำ จึงทำให้การตรึงไนโตรเจนลดลง นอกจากนี้ ออมทรัพย์ และคณะ (2536) กล่าวไว้ว่า เชื้อไรโซเบียมและถั่วเหลืองจะตรึงไนโตรเจนได้มากน้อยเพียงไร ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญที่สุดอันหนึ่งคือ ระดับธาตุอาหารไนโตรเจนในดิน ถ้าดินขาดไนโตรเจนมาก การตรึงไนโตรเจนในปมรากจะมีมากที่สุด ดังนั้นถ้ามีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงไปในดินในปริมาณมาก จะทำให้เชื้อไรโซเบียมไม่เกิดการตรึงไนโตรเจน

จากการตรวจเอกสารทั้งหมดข้างต้น พบว่าทั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง การตรึงไนโตรเจน รวมทั้งค่า water potential ล้วนเกี่ยวข้องกับการปรับตัวของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำด้วยกันทั้งนั้น ซึ่งจากเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมา ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ แสดงให้เห็นว่าถั่วเหลืองมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้เป็นอย่างดี และพบว่ามีการตรึงไนโตรเจนได้ค่อนข้างดี นอกจากนี้ยังพบว่ามีชีวมวล (biomass) หรือผลผลิต (yield) ที่สูงกว่าการปลูกในสภาพการให้น้ำแบบปรกติ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากต้นถั่วเหลืองได้รับน้ำตลอดเวลาและมีค่า water potential ภายในต้นพืชที่ดี รวมทั้งมีกระบวนการสังเคราะห์แสงที่ดีกว่ากว่าต้นถั่วเหลืองในสภาพปรกติ จึงส่งผลให้ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำมีผลผลิตที่ดี

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยเน้นไปที่กระบวนการสังเคราะห์แสง เนื่องจากกระบวนการสังเคราะห์แสงนี้เป็นกระบวนการหลักที่สำคัญในบรรดากระบวนต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในต้นพืช เพื่อทำให้พืชมีการเจริญ เติบโตและพัฒนาได้ต่อไป และหลังจากที่พืชมีการเจริญเติบโต อวัยวะ (organ) ของพืชทั้งหมดที่ผลิตขึ้นนั้นถูกผลิตขึ้นมาจากกระบวนการสังเคราะห์แสงทั้งสิ้น ในทางสรีรวิทยานั้น ผลผลิตต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นส่วนใด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

46

ของพืชหรือทุกส่วนของพืช จะเรียกว่า ชีวมวล (biomass) หรือผลผลิตทางชีวภาพ (biological yield) ซึ่งผลผลิตทางชีวภาพดังกล่าว อาจวัดได้ด้วยการวิเคราะห์น้ำหนักแห้ง และน้ำหนักแห้งนี้เองเป็นผลผลิตขั้นต้นที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสง คือจากการเปลี่ยนรูปของพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมี และจากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่ผ่านๆ มา จะเห็นถั่วเหลืองมีการปรับตัวต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้ดี ซึ่งคุณสมบัตินี้น่าจะเกี่ยวข้องกับลักษณะทางสรีรวิทยาภายในต้นพืช คือน่าจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงด้วย จะเห็นว่าปัจจัยทางสรีรวิทยาภายในต้นพืชที่เกี่ยวข้องกับการปรับตัวของถั่วเหลืองมีอยู่หลายปัจจัย แต่ในการศึกษาครั้งนี้ได้เน้นหนักไปที่กระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการหลักและเป็นกระบวนการที่สำคัญภายในต้นพืช รวมทั้งยังไม่มีรายงานการวิจัยใดๆ ที่ศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองทางสรีรวิทยาในถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จึงทำให้มีการศึกษาครั้งนี้ขึ้นมา โดยเน้นการศึกษาไปทางด้านข้อมูลการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยา ได้แก่การวัดอัตราการสังเคราะห์แสง รวมทั้งข้อมูลทางสรีรวิทยาต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และการประเมินค่าน้ำหนักแห้งของพืช (total dry matter production) รวมทั้งผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตต่างๆ ในถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำมีดังนี้

1.1. เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง คือ พันธุ์จักรพันธ์ 1 (พันธุ์อายุยาว)

1.2. เชื้อไรโซเบียมสำหรับคลุกเมล็ด (*Bradyrhizobium japonicum)* ผลิตโดยกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

1.3. กระถางดินเผาที่ใช้ปลูกถั่วเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร

1.4. วงบ่อซีเมนต์ขนาดใหญ่เพื่อหล่อน้ำให้กระถางถั่วเหลืองเกิดสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (โดยจำลองสภาพของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ)

1.5. ดินผสมสำหรับปลูกถั่วเหลือง

1.6. สารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืช

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและข้อมูลทางสรีรวิทยาของพืช

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของผลผลิต

ก. เครื่องวัดพื้นที่ใบ (Leaf area measurement equipment รุ่น AMS/RLSComp,DELTA-T Ltd., UK)

ข. เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดหยาบทศนิยม 2 ตำแหน่งของกรัม

ค. เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่งของกรัม

ง. ตู้อบตัวอย่างพืช (hot air oven)

จ. ตู้ดูดความชื้น

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดข้อมูลทางสรีรวิทยา

ก. เครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสงอัตโนมัติและข้อมูลอื่นๆ โดยใช้ A portable automatic photosynthesis measuring equipment with a PLC-4 leaf chamber รุ่น LCA 4 (ADC Ltd., England)

ข. เครื่องวัดกิจกรรมของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll activity) ในใบพืชโดยใช้ Leaf chlorophyll fluorescence measurement equipment รุ่น FMS1 (Plant Efficiency Analyser) (Hansatech Ltd., UK)

ค. เครื่องวัดค่า leaf water potential โดยใช้ pressure bomb

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ง. เครื่องวัดความต้านทานปากใบ(stomatal resistance) หรือ Porometer รุ่น AP4 (Delta-T Devices-Cambridge, U.K.)

จ. เครื่องมือควบคุมและกำหนดสภาพอากาศของใบพืช (automatic leaf microclimate control measurement)

ฉ. เครื่องวัดความเข้มของสีใบโดยใช้ SPAD ยี่ห้อ Minolta

2.3. อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ในตัวอย่างพืช (สาวิตร, 2546)

วิธีการ

การศึกษาครั้งนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 การทดลองในกระถาง

เป็นการศึกษาขั้นพื้นฐาน (preliminary study) ที่สามารถศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองที่ปลูกในกระถางได้โดยละเอียดในแต่ละตัวแปรที่ต้องการศึกษา ภายใต้สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยไม่ต้องถอนทำลายตัวอย่างที่ศึกษา การทดลองในกระถางครั้งนี้ ประกอบด้วย 3 การทดลองย่อย โดยได้ดำเนินการทดลองที่สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดลำปาง ซึ่งแบ่งการการทดลองออกเป็น 3 การทดลองดังนี้

ก) การทดลองที่ 1

เป็นการศึกษาเบื้องต้นในด้านการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองในกระถาง ภายใต้สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ เพื่อให้ทราบถึงกระบวนการดำเนินการทดลองเกี่ยวกับการตอบสนองทางสรรีวิทยาของถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในกระถาง ภายใต้สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ และการใช้เครื่องมือทางสรีรวิทยาต่างๆ ในการวัดและวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละตัวแปรที่ทำการ ศึกษา รวมทั้งการดูแลรักษาถั่วเหลืองที่ปลูกตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทดลอง

เริ่มปลูกถั่วเหลืองในวันที่ 16 กรกฎาคม 2547 โดยใช้ถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ในการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. วิธีดำเนินการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำโดยปลูกถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ตอบสนองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้เป็นอย่างดี (อภิพรรณ, 2545) ในกระถางดินเผาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร โดยปลูกในสภาพปรกติ (conventional irrigation, CI) จำนวน 15 กระถาง และปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated soil culture, SSC) จำนวน 15 กระถาง ก่อนการปลูก ผสมดินร่วนเหนียว (clay loam) 2 ส่วน กากถั่วลิสง 1 ส่วน และปุ๋ยคอก 1 ส่วน ลงในกระถาง แล้วปลูกถั่วเหลืองจำนวน 10-15 เมล็ดต่อกระถาง โดยก่อนการปลูก คลุกเมล็ดด้วยเชื้อ *Bradyrhizobium japonicum* ในส่วนของกระถางที่ปลูกในระบบดินอิ่มตัวด้วยน้ำ นำกระถางไปวางไว้ในอ่างซีเมนต์ที่หล่อด้วยน้ำ โดยให้ระดับน้ำในอ่างซีเมนต์ต่ำกว่าขอบกระถาง 10 เซนติเมตร ส่วนกระถางถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ ตั้งกระถางไว้ในที่ๆ เหมาะสม ที่จะสามารถรดน้ำได้โดยสะดวก

2. การปฏิบัติดูแลรักษา

เมื่อต้นถั่วเหลืองงอกและมีอายุได้ประมาณ 7 วัน ถอนแยกให้เหลือ 7 ต้นต่อกระถาง ให้น้ำตามกรรมวิธีที่กำหนดทั้งในสภาพปรกติและในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ หากมีวัชพืชในกระถางก็ถอนทิ้งและฉีดยาป้องกันกำจัดโรคแมงศัตรูพืชตามความเหมาะสม

3. การให้น้ำ

3.1 การให้น้ำในสภาพปรกติ รดน้ำทุกวันในตอนเช้าและเย็น ในช่วงที่มีการเจริญเติบโตทางใบและลำต้น

3.2 การให้น้ำในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ให้น้ำหล่อในอ่างซีเมนต์ โดยรักษาระดับน้ำให้ต่ำกว่าขอบกระถาง 10 เซนติเมตร ตลอดช่วงที่ปลูก

4. การเก็บเกี่ยว เก็บเกี่ยวถั่วเหลืองในระยะที่เมล็ดในฝักแก่เต็มที่แล้ว (ในระยะ R_8)

5. การเก็บข้อมูลทางสถิต เริ่มเก็บตัวอย่างถั่วเหลืองทุกระยะตั้งแต่ระยะการเจริญเติบโตทาง vegetative growth และ reproductive growth คือตั้งแต่ V_1,V_2,V_3,V_4,V_5,V_6,V_7,R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6 และ R_7 ซึ่งรวมแล้วมีการเก็บตัวอย่างทั้งสิ้น 14 ครั้ง ในแต่ละประเภทของการปลูก การเก็บตัวอย่างดังกล่าว ใช้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จำนวน 1-2 ต้นต่อ 1 กระถาง ตัวอย่างดังกล่าวทั้งที่เป็นตัวอย่างที่ถอนออกมาจากกระถาง (destructive sample) และตัวอย่างที่เจริญอยู่ในกระถาง (non-destructive sample) นำมาวัด วิเคราะห์และเก็บข้อมูลต่างๆ ดังนี้

5.1 ข้อมูลพัฒนาการทางด้านการเจริญเติบโต (phenological development)

5.1.1 วันปลูก (planting date)

5.1.2 วันงอกโผล่พ้นผิวดิน (days of emergence,V_e)

5.1.3 วันออกดอกแรก (days to first flowering,R_1)

5.1.4 วันออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ (day to 50% flowering)

5.1.5 วันสิ้นสุดการออกดอก (day to complete flowering,R_2)

5.1.6 วันสุกแก่ (days to maturity,R_7) โดยใช้เกณฑ์วันสุกแก่ของฝัก 50 เปอร์เซ็นต์ นับเป็นวันสุกแก่

5.2 ข้อมูลการเจริญเติบโต (growth)

บันทึกข้อมูลต่างๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง (Fehr and Caviness, 1975) ดังนี้

5.2.1 ความสูงของลำต้นจากผิวดินถึงยอด (shoot apex) เฉลี่ยเป็นเซนติเมตร

5.2.2 จำนวนข้อของลำต้นเฉลี่ยต่อต้น

5.2.3 จำนวนกิ่งเฉลี่ยต่อต้น

5.2.4 พื้นที่ใบต่อต้น โดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ใบ (Portable area meter รุ่น LI 3000A)

5.2.5 การสะสมน้ำหนักแห้ง (dry matter accumulation) แยกตามส่วนต่างๆ ของถั่วเหลืองแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน เพื่อหาการสะสมน้ำหนักแห้งต่อต้นของส่วนต่างๆ ดังนี้

ก. น้ำหนักแห้งของใบ

ข. น้ำหนักแห้งของราก

ค. น้ำหนักแห้งของลำต้นและก้านใบ

ง. น้ำหนักแห้งของฝักรวมเมล็ด

5.3 ข้อมูลด้านการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลือง (physiological responses)

5.3.1 ความต้านทานการเปิดปากใบ (stomatal resistance) โดยใช้เครื่องวัดความต้านทานการเปิดปากใบหรือ Porometer รุ่น AP4 (Delta-T Devices-Cambridge, U.K.) โดยวัดใบที่สมบูรณ์ที่สุดใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตำแหน่งใบบนสุดที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ช่วงเวลาระหว่าง 9.00 –11.00 น.ในทุกระยะการเจริญเติบโต

5.3.2 กิจกรรมของคลอโรฟิลล์ในใบ (leaf chlorophyll fluorescence) โดยใช้ leaf chlorophyll fluorescence measurement equipment รุ่น FMS1 (Plant Efficiency Analyser) โดยวัดใบบนสุดที่แผ่ขยายเต็มที่เช่นเดียวกับการวัดความต้านทานการเปิดปากใบ ในทุกระยะการเจริญเติบโต ในช่วงเวลาระหว่าง 9.00 น.-11.00 น.

5.3.3 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ (leaf chlorophyll content) โดยใช้เครื่องวัดความเข้มของสีใบหรือ SPAD ยี่ห้อ Minolta โดยวัดใบบนสุดที่แผ่ขยายเต็มที่ ในทุกระยะการเจริญเติบโต ในช่วงเวลาเดียวกันกับการวัดกิจกรรมของคลอโรฟิลล์

5.4 ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต (economic yield)

เมื่อถั่วเหลืองเจริญเติบโตถึงระยะ R_8 เก็บเกี่ยวถั่วเหลืองจำนวน 10 ต้นในแต่ละประเภทของการให้น้ำ นำไปหาผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตดังรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

5.4.1 จำนวนฝักต่อต้น (pod/plant)

5.4.2 จำนวนเมล็ดต่อฝัก (seed/pod)

5.4.3 ขนาดเมล็ด (กรัม/100 เมล็ด) (seed size) โดยสุ่มเมล็ดที่ชั่งหาผลผลิตมา 100เมล็ด จำนวน 3 ครั้ง นำไปผึ่งแดดเป็นเวลา 3 วันนำไปชั่งเป็นกรัมให้ได้ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ปรับให้เป็นน้ำหนัก 100 เมล็ด ที่ความชื้น 13เปอร์เซ็นต์ แล้วหารด้วย 3

5.4.4 น้ำหนักเมล็ดต่อต้น (seed weight/plant) นำเมล็ดที่ได้จากการกะเทาะเปลือกทั้งหมดของถั่วเหลืองทั้ง 10 ต้น แล้วชั่งเมล็ดหลังจากที่ตากแดดให้ความชื้นลดลงเหลือ 13 เปอร์เซ็นต์ แล้วหารด้วย 10 เพื่อให้ได้น้ำหนักเมล็ดต่อต้น

ข) การทดลองที่ 2

เป็นการศึกษาที่ต่อเนื่องจากการทดลองที่ 1 เพื่อให้ทราบถึงการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองที่ปลูกในกระถางอย่างละเอียดถี่ถ้วนมากยิ่งขึ้น ในด้านการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาในด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนเมตาบอลิซึมของถั่วเหลืองที่ปลูกในกระถาง ภายใต้สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ รวมทั้งความสามารถในการปรับตัวของถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ภายใต้สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เริ่มปลูกถั่วเหลืองในวันที่ 15 พฤศจิกายน 2547 โดยใช้ถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกันกับการทดลองที่ 1 คือพันธุ์จักรพันธ์ 1 สำหรับวิธีการปลูกและการดูแลรักษากระทำเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 เช่นกัน

1. การเก็บข้อมูลทางสถิติ

เริ่มเก็บตัวอย่างถั่วเหลือง ในทุกๆ ระยะของการเจริญเติบโตตั้งแต่ระยะ V_1 จนถึงระยะ R_7 ตัวอย่างดังกล่าวทั้งที่เป็นตัวอย่างที่ถอนออกมาจากกระถาง (destructive sample) และตัวอย่างที่เจริญอยู่ในกระถาง (non-destructive sample) ซึ่งถูกนำมาวัดการเจริญเติบโต และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสรีรวิทยา

1.1 ข้อมูลการเจริญเติบโต บันทึกข้อมูลทางด้านพัฒนาการของการเจริญเติบโต (phenological development) รวมทั้งการเจริญเติบโตในด้านของความสูงของลำต้น จำนวนข้อเฉลี่ยต่อต้น จำนวนกิ่งเฉลี่ยต่อต้น การสะสมน้ำหนักแห้ง พื้นที่ใบต่อต้น ตลอดจนผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต ตามที่ได้กระทำในการทดลองที่ 1

1.2 ข้อมูลทางด้านการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลือง

1.2.1 กิจกรรมของคลอโรฟิลล์ในใบ (leaf chlorophyll fluorescence) วัดในช่วงเวลาระหว่าง 9.00-11.00 น. ในทุกระยะการเจริญเติบโตโดยใช้ leaf chlorophyll fluorescence measurement equipment รุ่น FMS1 (Plant Efficiency Analyser) โดยวัดใบบนสุดที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest fullly expanded-leaves) เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

1.2.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ (leaf chlorophyll content) โดยใช้เครื่องวัดความเข้มของสีใบหรือ SPAD ยี่ห้อ Minolta โดยวัดใบบนสุดที่แผ่ขยายเต็มที่ ในทุกระยะการเจริญเติบโต ในช่วงเวลา 9.00-11.00 น. โดยดำเนินการเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2.3 ค่าศักย์ของน้ำในใบ (leaf water potential) โดยใช้ pressure bomb วัดในช่วงเวลากลางคืน ประมาณ 2.00-3.00 น. (pre-dawn) ซึ่งเป็นช่วง minimum temperature และในช่วงเวลากลางวันคือ 15.00 น.(post-midday) ซึ่งเป็นช่วง maximum temperature โดยวัดห่างกัน 12-13 ชั่วโมง ในช่วงวันเดียวกัน เปรียบเทียบกันไปในทุกระยะการเจริญเติบโต

1.2.4 วิเคราะห์หาข้อมูลทางสรีรวิทยา โดยใช้เครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสง (Portable photosynthesis รุ่น LCA 4) โดยวิเคราะห์หาข้อมูลต่างๆ ดังนี้

ก. อัตราการสังเคราะห์แสง (photosynthesis rate)

ข. อัตราการคายน้ำ (transpiration rate)

ค. ความต้านทานของปากใบ (stomatal resistance)

1.2.5 ประสิทธิภาพการใช้แสงของพืชและประสิทธิภาพการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช โดยศึกษาจากค่า A/Q curve และ A/Ci curve ตามลำดับ (สาวิตร มีจุ้ย,2549) โดยใช้เครื่อง Leaf chamber automatic photosynthetic measurement equipment (LCA 4) ซึ่งการศึกษาในเรื่องของ A/Q curve ทำได้โดยใช้ศึกษาอัตราการตรึงกาซคาร์บอนไดออกไซด์หรืออัตราการสังเคราะห์แสงของพืช โดยกำหนดปริมาณความเข้มแสงที่แตกต่างกัน (แต่กำหนดให้ปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์คงที่) แล้วนำไปสร้าง A/Q curve ส่วนการศึกษาในเรื่องของ A/Ci curve ทำได้โดยวัดอัตราการตรึงกาซคาร์บอนไดออกไซด์หรืออัตราการสังเคราะห์แสงของพืช ภายใต้ปริมาณกาซคาร์บอนได ออกไซด์ที่แตกต่างกัน (แต่กำหนดให้ปริมาณแสงคงที่) แล้วนำไปสร้างกราฟของ A/Ci curve ซึ่งจากเทคนิคการศึกษา A/Q curve และ A/Ci curve นี้สามารถนำไปหาค่า light compensation point และ CO_2 compensation point ตลอดจนค่าอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้

1.3 ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต (economic yield)

เมื่อถั่วเหลืองเจริญเติบโตถึงระยะ R_8 เก็บเกี่ยวถั่วเหลืองจำนวน 10 ต้นในแต่ละประเภทของการให้น้ำ นำไปหาผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต โดยกระทำเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

ค) การทดลองที่ 3

เป็นการศึกษาที่ต่อเนื่องจากการทดลองที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ห่างจากการทดลองที่ 2 เป็นเวลานาน เนื่องจากอุปสรรคบางประการในการใช้เครื่องมือทางสรีรวิทยาและพื้นที่แปลงปลูก โดยทำการทดลองในกระถาง เพื่อใช้เปรียบเทียบกับการปลูกในแปลงภายใต้สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เริ่มปลูกถั่วเหลืองในวันที่ 5 กรกฎาคม 2549 โดยใช้ถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 สำหรับวิธีการปลูกและการดูแลรักษากระทำเช่นเดียวกับทุกการทดลองที่ผ่านมา

1. การเก็บข้อมูลทางสถิติ

เริ่มเก็บตัวอย่างถั่วเหลือง ในทุกๆ ระยะของการเจริญเติบโตตั้งแต่ระยะ V_1 จนถึงระยะ R_7 ตัวอย่างดังกล่าวทั้งที่เป็นตัวอย่างที่ถอนออกมาจากกระถาง (destructive sample) และตัวอย่างที่เจริญอยู่ในกระถาง (non-destructive sample) จะถูกนำมาวัดการเจริญเติบโต การวิเคราะห์ข้อมูลทางสรีรวิทยา และการตรึงไนโตรเจนโดยวิเคราะห์จากการสกัดเนื้อเยื่อลำต้น

1.1 ข้อมูลการเจริญเติบโต บันทึกข้อมูลทางด้านพัฒนาการของการเจริญเติบโต (phenological development) รวมทั้งการเจริญเติบโตในด้านของความสูงของลำต้น จำนวนข้อเฉลี่ยต่อต้น จำนวนกิ่งเฉลี่ยต่อต้น การสะสมน้ำหนักแห้ง พื้นที่ใบต่อต้น ตลอดจนผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตดังเช่นทุกๆ การทดลองที่ผ่านมา

1.2 ข้อมูลทางด้านการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลือง

1.2.1 กิจกรรมของคลอโรฟิลล์ในใบ (leaf chlorophyll fluorescence)

1.2.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ (leaf chlorophyll content)

1.2.3 วิเคราะห์หาข้อมูลทางสรีรวิทยา โดยใช้เครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสง Portable photosynthesis รุ่น LCA 4 โดยวิเคราะห์หาข้อมูลต่างๆ ดังนี้

ก. อัตราการสังเคราะห์แสง (photosynthesis rate)

ข. อัตราการคายน้ำ (transpiration rate)

ค. ความต้านทานของปากใบ (stomatal resistance)

1.2.4 ประสิทธิภาพการใช้แสงและประสิทธิภาพการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช โดยศึกษาจากค่า A/Q curve และ A/Ci curve ตามลำดับ ซึ่งการวัดและบันทึกข้อมูลกระทำเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2

1.3 การตรึงไนโตรเจนในถั่วเหลือง โดยวิธีการสกัดเนื้อเยื่อจากลำต้น ตามวิธีการของ Herridge (1982)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4 ปริมาณไนโตรเจนโดยรวม (total nitrogen) นำตัวอย่างเมล็ดถั่วเหลืองมาบดและวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl method แล้วดำเนินการทดลองตามวิธีการของสาวิตร มีจุ้ย (2546) นำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่อไป

1.5 ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต (economic yield)

เมื่อถั่วเหลืองเจริญเติบโตถึงระยะ R_8 เก็บเกี่ยวถั่วเหลืองจำนวน 10 ต้นในแต่ละประเภทของการให้น้ำ นำไปหาผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต โดยกระทำเช่นเดียวกับทุกๆ การทดลองที่ผ่านมา

ขั้นตอนที่ 2 การทดลองในแปลง

ง) การทดลองที่ 4

เป็นการทดลองที่เลียนแบบ (simulate) ลักษณะการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำตามสภาพความเป็นจริง ประกอบกับการศึกษาในด้านการปลูกพืชภายใต้สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำในอดีตที่ผ่านมา เป็นการทดลองในแปลงปลูก (field experiment) ทั้งสิ้น ดังนั้นผลการทดลองที่ได้จากการทดลองครั้งนี้อาจจะนำมาใช้เทียบเคียงหรือยืนยันกับผลการศึกษาที่เคยมีการศึกษามาแล้วในอดีต

ในการทดลองนี้ใช้ถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ปลูกในแปลงทดลอง โดยมีสิ่งทดลอง 2 ประเภทได้แก่ การปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated soil culture, SSC) เป็นสิ่งทดลองที่ 1 และการให้น้ำแบบปรกติ (conventional irrigation, CI) เป็นสิ่งทดลองที่ 2 วางแผนการทดลองเป็นแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) และมีจำนวน 3 ซ้ำในแต่ละสภาพของการปลูก

เริ่มปลูกถั่วเหลืองในวันที่ 5 กรกฎาคม 2549 โดยปลูกไปพร้อม ๆ กับการทดลองที่ 3 ซึ่งเป็นการทดลองในกระถาง สำหรับวิธีการปลูกและการดูแลรักษากระทำเช่นเดียวกับทุกการทดลองที่ผ่านมา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. การปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

ปลูกถั่วเหลืองบนแปลงปลูกขนาดกว้างคูณยาวเท่ากับ 3X4 ตารางเมตร หลังจากที่ได้มีการเตรียมดิน โดยการไถ 2 ครั้ง แล้วพรวน 1 ครั้งด้วยจอบหมุน ยกแปลงปลูกขนาด 3X4 ตารางเมตร ให้มีความสูงเท่ากับ 50 เซนติเมตรเหนือผิวดิน โดยใช้แปลงปลูก 2 แปลงต่อ 1 ระดับของสิ่งทดลอง แปลงปลูกแต่ละแปลงถูกคั่นด้วยคูน้ำ (furrow) กว้าง 1 เมตร และเนื่องจากการทดลองดังกล่าวมี 3 ซ้ำ ดังนั้นจำนวนแปลงปลูกในสิ่งทดลองของสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จึงมีทั้งสิ้น 6 แปลง บริเวณโดยรอบทุกๆ ด้านของแปลงปลูกในสิ่งทดลองของสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ถมแนวคันดินกั้นน้ำไว้โดยรอบสูงประมาณ 50 เซนติเมตร

ปลูกถั่วเหลืองบนแปลง โดยการปลูกเป็นแถว ความยาวของแถวเท่ากับ 4 เมตรและมีระยะระหว่างแถวเท่ากับ 50 เซนติเมตร ปลูกถั่วเหลืองจำนวน 3-5 เมล็ดลงในหลุม ซึ่งห่างกัน 30 เซนติเมตร โดยคลุกเมล็ดด้วยเชื้อ Brady*rhizobium japonicum* ก่อนปลูก เมื่อถั่วเหลืองงอกครบทุกหลุมแล้ว ถอนแยกให้เหลือ 3 ต้นต่อหลุม คิดเป็นอัตราประชากรเท่ากับ 200,000 ต้นต่อเฮกตาร์

หลังจากถอนแยกถั่วเหลืองเรียบร้อยแล้ว เปิดน้ำขังไว้ในบริเวณแปลงปลูกเพื่อให้แปลงอยู่ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำตั้งแต่ระยะ V_1 โดยให้ระดับน้ำต่ำกว่าระดับผิวดิน 10 เซนติเมตร ทำการขังน้ำและตรวจ สอบระดับน้ำให้อยู่ในระดับที่กำหนด จนถั่วเหลืองสุกแก่

2. การปลูกถั่วเหลืองในสภาพการให้น้ำปรกติ

หลังจากที่ได้มีการเตรียมดินเช่นเดียวกับการเตรียมดินในสภาพของการปลูกในดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว ปลูกถั่วเหลืองบนแปลงที่ไม่ได้มีการยกแปลงขึ้นมา โดยปลูกราบลงไปในดิน จำนวน 2 แปลงต่อหนึ่งสิ่งทดลอง โดยขนาดของแปลงเท่ากับ 3X4 ตารางเมตร และแต่ละแปลงปลูกจะคั่นด้วยช่องว่างห่างเท่ากับ 1 เมตร และเนื่องจากการทดลองดังกล่าวมีจำนวน 3 ซ้ำ จึงทำให้จำนวนแปลงปลูกถั่วเหลืองในระบบการปลูกแบบปรกติ เท่ากับ 6 แปลง

ปลูกถั่วเหลืองจำนวน 3-5 เมล็ดบนหลุม ซึ่งห่างกัน 30 เซนติเมตรในแต่ละแถว และมีระยะห่างระหว่างแถวเท่ากับ 50 เซนติเมตร หลังจากที่มีการคลุกเมล็ดด้วยเชื้อ *Bradyrhizobium japonicum* ก่อนปลูก หลังจากต้นถั่วเหลืองงอก ถอนแยกให้เหลือ 3 ต้นต่อหลุมเช่นเดียวกับการทดลองในระบบสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ หลังปลูกรดน้ำแปลงปลูกถั่วเหลืองในระบบการปลูกแบบปรกติให้ชุ่ม และรดน้ำติดต่อกันทุกๆ 3 วันจนกระทั่งถั่วเหลืองสุกแก่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในการทดลองดังกล่าว พื้นที่การทดลองทั้งสิ้นทั้งการปลูกในระบบดินอิ่มตัวด้วยน้ำ และ ระบบการปลูกแบบปรกติ รวมกันเท่ากับ 250 ตารางเมตร แปลงย่อย (individual plot) ประกอบด้วยแปลงปลูก 2 แปลง ซึ่งมีเนื้อที่โดยรวมของช่องว่างระหว่างแปลงและร่องน้ำเท่ากับ 10 ตารางเมตร การควบคุมวัชพืชตลอดจนการกำจัดโรคและแมลง กระทำตามความเหมาะสม

3. การเก็บข้อมูลของการทดลอง

เก็บตัวอย่างจากแปลงทดลอง ทั้งสิ้น 14 ครั้งในแต่ละประเภทการปลูก โดยสุ่มเก็บตัวอย่างแบบ systematic sampling ใช้ตัวอย่างจำนวน 8 ต้นต่อครั้งในพื้นที่ขนาด 4,000 ตารางเมตร โดยเก็บตัวอย่างถั่วเหลืองในทุกระยะการเจริญเติบโตตั้งแต่ V_1 จนถึง R_7 จากตัวอย่างของถั่วเหลืองที่ถอนเก็บมาจากแปลง (destructive sample) และจากตัวอย่างของถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตอยู่ในแปลง (non-destructive sample) โดยวิธีการวัดและวิเคราะห์ สรุปแล้วมีการเก็บข้อมูลประเภทต่างๆ ดังนี้

3.1 ข้อมูลพัฒนาการด้านการเจริญเติบโต (phenological development)

3.1.1 วันปลูก (planting date)

3.1.2 วันงอกโผล่พ้นผิวดิน (days of emergence,V_e)

3.1.3 วันออกดอกแรก (days to first flowering,R_1)

3.1.4 วันออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ (day to 50% flowering)

3.1.5 วันสิ้นสุดการออกดอก (day to complete flowering,R_2)

3.1.6 วันสุกแก่ (days to maturity,R_7) โดยใช้เกณฑ์วันสุกแก่ของฝัก 50 เปอร์เซ็นต์ นับเป็นวันสุกแก่

3.2 ข้อมูลการเจริญเติบโต (growth)

บันทึกข้อมูลต่างๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง (Fehr and Caviness, 1975) ดังนี้

3.2.1 ความสูงของลำต้นแกนกลางจากผิวดินถึงยอด (shoot apex)

3.2.2 จำนวนข้อของลำต้นแกนกลางเฉลี่ยต่อต้น

3.2.3 จำนวนกิ่งเฉลี่ยต่อต้น

3.2.4 พื้นที่ใบต่อต้น โดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ใบ (Portable area meter รุ่น LI 3000A)

3.2.5 การสะสมน้ำหนักแห้ง (dry matter accumulation) แยกส่วนต่างๆ ของถั่วเหลืองออกเป็นส่วนๆ นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 7 วัน เพื่อหาการสะสมน้ำหนักแห้งต่อต้นของส่วนต่างๆ ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ก. น้ำหนักแห้งของใบ

ข. น้ำหนักแห้งของราก

ค. น้ำหนักแห้งของลำต้นและก้านใบ

ง. น้ำหนักแห้งของฝักรวมเมล็ด

3.3 องค์ประกอบของการวิเคราะห์การเจริญเติบโต (Growth Analysis) ได้แก่ ค่า Net Assimilation Rate (NAR) Leaf Area Ratio (LAR) Relative Growth Rate (RGR) Specific Leaf Weight (SLW) Leaf Area Index (LAI) และ Crop Growth Rate (CGR) (เอ็จ, 2546)

3.4 ข้อมูลด้านการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลือง (physiological responses)

3.4.1 กิจกรรมของคลอโรฟิลล์ในใบ (leaf chlorophyll activity) โดยใช้ leaf chlorophyll fluorescence measurement equipment รุ่น FMS1 (Plant Efficiency Analyser) วัดใบบนสุดที่แผ่ขยายเต็มที่ ช่วงเวลาระหว่าง 9.00 น.-11.00 น.ในทุกระยะการเจริญเติบโต

3.4.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ (leaf chlorophyll content) โดยใช้เครื่องวัดความเข้มของสีใบหรือ SPAD รุ่น Minolta โดยวัดใบบนสุดที่แผ่ขยายเต็มที่ ในทุกระยะการเจริญเติบโต ในช่วงเวลาเดียวกันกับการวัดกิจกรรมของคลอโรฟิลล์

3.4.3 วิเคราะห์หาข้อมูลทางสรีรวิทยา โดยใช้เครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสง Portable photosynthesis รุ่น LCA 4 โดยวิเคราะห์หาข้อมูลต่างๆ ดังนี้

ก. อัตราการสังเคราะห์แสง (photosynthesis rate)

ข. อัตราการคายน้ำ (transpiration rate)

ค. ความต้านทานของปากใบ (stomatal resistance)

3.4.4 การตรึงไนโตรเจนในถั่วเหลือง โดยวิธีการสกัดเนื้อเยื่อจากลำต้น โดยกระทำเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3

3.4.5 ปริมาณไนโตรเจนโดยรวม (total nitrogen) นำตัวอย่างถั่วเหลืองมาบดและวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl method เช่นเดียวกับการทดลองที่ 3

3.4.6 การวิเคราะห์ดิน (soil analysis) วิเคราะห์ดินปลูกในแปลงทั้งในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและสภาพปรกติ โดยวิเคราะห์ค่าต่างๆ เหล่านี้ได้แก่ ค่า pH ในดิน (soil pH) อินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic matter) โครงสร้างของดิน (soil texture) ฟอสฟอรัส (Phosphorus) และโปแตสเซียม (Potassium)

3.5 ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต (economic yield)

เมื่อถั่วเหลืองเจริญเติบโตถึงระยะ R_8 เก็บเกี่ยวถั่วเหลืองจำนวน 10 ต้นในแต่ละ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประเภทของการให้น้ำ นำไปหาผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตดังรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

3.5.1 จำนวนฝักต่อต้น (pod/plant)

3.5.2 จำนวนเมล็ดต่อฝัก (seed/pod)

3.5.3 ขนาดเมล็ด (กรัม/100 เมล็ด) (seed size) โดยสุ่มเมล็ดที่ชั่งหาผลผลิตมา 100 เมล็ด จำนวน 3 ครั้ง นำไปผึ่งแดดเป็นเวลา 3 วันนำไปชั่งเป็นกรัมให้ได้ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ปรับให้เป็นน้ำหนัก 100 เมล็ด ที่ความชื้น 13เปอร์เซ็นต์ แล้วหารด้วย 3

3.5.4 น้ำหนักเมล็ดต่อต้น (seed weight/plant) นำเมล็ดที่ได้จากการนวดทั้งหมดของถั่วเหลืองทั้ง 10 ต้น แล้วชั่งเมล็ดหลังจากที่ตากแดดให้ความชื้นลดลงเหลือ 13 เปอร์เซ็นต์ ปรับเป็นน้ำหนักแล้วหารด้วย 10 เพื่อให้ได้น้ำหนักเมล็ดต่อต้น

3.5.5 ผลผลิตต่อพื้นที่ (yield/area) เก็บเกี่ยวถั่วเหลืองจำนวน 10 ต้น จากแต่ละแปลงปลูก โดยแปลงปลูกแต่ละแปลงมีขนาดท่ากับ 10,000 ตารางเซนติเมตร (100x100 ตารางเซนติเมตร) หรือ 1 ตารางเมตร ดังนั้นขนาดของ harvest plot รวมทั้งสิ้น 2 แปลงจึงมีขนาดท่ากับ 2 ตารางเมตรและมีจำนวนถั่วเหลืองทั้งสิ้น 20 ต้น กะเทาะเปลือกถั่วเหลืองทั้ง 20 ต้นที่เก็บได้ แล้วชั่งเมล็ดหลังจากที่ตากแดดให้ความชื้นลดลง 13 เปอร์เซ็นต์ แล้วคำนวณกลับเป็นผลผลิตต่อพื้นที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผล

1. การตอบสนองด้านการเจริญเติบโต (Agronomic responses)

1.1 การพัฒนาการเจริญเติบโต (phenological development)

จากลักษณะการพัฒนาการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ซึ่งปลูกภายใต้สภาพการให้น้ำที่แตกต่างกันคือ สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Soil Culture, SSC) และสภาพปรกติ (Conventional Irrigation, CI) ทั้งในกระถางและในแปลง พบว่าภายใต้สภาพการให้น้ำที่แตกต่างกัน มีผลต่อวันออกดอกแรก วันสิ้นสุดการออกดอก และวันสุกแก่ ซึ่งจะเห็นได้ว่า สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีผลต่อการยืดอายุวันออกดอกแรก วันสิ้นสุดการออกดอก และวันสุกแก่ ของถั่วเหลืองให้ยาวกว่าในสภาพการให้น้ำตามปรกติประมาณ 2-3 วัน ในทุกๆ การทดลอง กล่าวคือ ในสภาพ CI พบว่าวันออกดอกแรกเท่ากับ 39.2 วัน วันสิ้นสุดการออกดอก เท่ากับ 43.2 วัน และวันสุกแก่เท่ากับ 90.7 วัน แต่ในสภาพ SSC มีวันออกดอกแรกเท่ากับ 41 วัน วันสิ้นสุดการออกดอกเท่ากับ 44.5 วันและวันสุกแก่เท่ากับ 93.5 วัน (ตารางที่ 1)

การปลูกถั่วเหลืองในสภาพ SSC มีผลทำให้ยืดอายุการสุกแก่ของถั่วเหลืองออกไปอีก เนื่องจากถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพนี้ มีวันออกดอกแรกช้ากว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI จึงเป็นผลทำให้อายุสุกแก่ของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC ล่าช้าออกไปด้วย ส่วนระยะการออกดอก (R_1-R_2) และระยะเวลาของการสุกแก่ (R_7) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ระหว่างการปลูกในสภาพ CI และสภาพ SSC ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ในทุกๆ การทดลอง

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นถึงการพัฒนาการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธุ์ 1 ที่ปลูกในสภาพ SSC ในการทดลองในกระถาง (pot experiment) ทั้ง 3 การทดลอง และการทดลองในแปลงปลูก (field experiment) อีก 1 การทดลอง จากตารางดังกล่าว ถึงแม้ว่าระยะเวลาของการพัฒนาการเจริญเติบโตต่างๆ ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกอยู่ในสภาพ CI เปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC จะไม่แตกต่างกันทางสถิติก็ตาม แต่เห็นได้ว่า ถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 เมื่อปลูกอยู่ในสภาพ SSC จะมีการพัฒนาการเจริญเติบโตที่ช้ากว่าเมื่อปลูกอยู่ในสภาพ CI โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพิจารณาถึงวันออกดอกแรก (R_1) และวัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุกแก่ (R_7) ในทุกๆ การทดลอง ส่วนระยะเวลาการพัฒนาการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกันมากนักในการปลูกทั้ง 2 สภาพ คือ วันงอกโผล่พ้นดิน วันสิ้นสุดการออกดอก และระยะเวลาการออกดอก จากการที่ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC มีวันออกดอกแรกและวันสุกแก่ ยาวนานกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ในทุกๆ การทดลอง จึงน่าที่จะสรุปได้ว่า การสุกแก่ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ล่าช้ากว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI นั่นเอง

สิ่งที่ควรพิจาณาอีกประการหนึ่งเกี่ยวกับถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ การที่วันออกดอกแรกของถั่วเหลืองพันธุ์นี้ ออกดอกล่าช้าที่สุดในการทดลองที่ 2 (pot experiment) ซึ่งปลูกในวันที่ 15 พฤศจิกายน 2547 ในขณะที่การทดลองที่ 1 และ 3 (pot experiment) และการทดลองที่ 4 ซึ่งเป็นการทดลองในแปลงปลูก (field experiment) ปลูกในช่วงเดือนกรกฎาคมทั้งสิ้น แม้ว่าจะปลูกในคนละปีก็ตาม

การที่ถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ออกดอกล่าช้า เมื่อปลูกอยู่ในสภาพช่วงแสงสั้นในเดือนพฤศจิกายน เมื่อเปรียบเทียบกับการออกดอกที่เร็วขึ้นในสภาพช่วงแสงที่ยาวกว่าในเดือนกรกฎาคม ถึงแม้จะเป็นคนละปีก็ตาม เนื่องจากถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 เป็นพันธุ์ที่มีลักษณะของ long juvenile trait คือ เป็นพันธุ์ที่ออกดอกช้าเมื่อปลูกอยู่ในสภาพช่วงแสงสั้น ซึ่งต่างจากถั่วเหลืองพันธุ์อื่นๆ ที่ปลูกอยู่ในประเทศไทย และการที่จะปรับปรุงพันธุ์และคัดเลือกพันธุ์ถั่วเหลืองให้มีพัฒนาการและการเจริญเติบโตที่เหมาะสมกับสภาพของช่วงแสงในประเทศไทยที่ค่อนข้างสั้น เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งปลูกถั่วเหลืองในเขตอื่น ๆ เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นต้น ดังนั้นการใช้ลักษณะของ long juvenile trait จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งสำหรับการปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองให้มีการพัฒนาและการเจริญเติบโตเหมาะสมกับแหล่งปลูกที่มีสภาพช่วงแสงสั้น (de Toledo *et al.*, 1994 ; Hartwig and Kiihl, 1979)

1.2 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต (yield and yield component)

เมื่อพิจารณาถึงผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC และในสภาพ CI ในทั้ง 4 การทดลอง (ตารางที่ 2) แสดงให้เห็นว่าผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของถั่วเหลืองภายใต้สภาพ SSC ไม่สูงกว่าผลผลิตของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI โดยในการทดลองที่ 2 1 และ 3 ซึ่งเป็นการทดลองในกระถาง ผลผลิตที่ได้ในการทดลองทั้ง 3 การทดลองนี้ได้แก่ ผลผลิตต่อต้นหรือน้ำหนักเมล็ดต่อต้น โดยถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ สามารถสร้างจำนวนเมล็ดต่อฝักได้ใกล้เคียงกับสภาพปรกติ (สภาพการให้น้ำปรกติ มีจำนวนเมล็ด 1.28 เมล็ดต่อฝัก สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีจำนวนเมล็ด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.23 เมล็ดต่อฝัก (แต่จะเห็นว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีจำนวนฝักต่อต้น น้ำหนักเมล็ดต่อต้นและขนาดเมล็ด มีแนวโน้มต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพการให้น้ำแบบปรกติ

สำหรับถั่วเหลืองที่ปลูกในแปลง (การทดลองที่ 4) จะเห็นได้ว่าผลผลิตต่อพื้นที่ (กิโลกรัม/เฮกตาร์) ที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ให้ผลผลิตต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ ในสภาพการให้น้ำแบบปรกติให้ผลผลิต 8,484.31 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำให้ผลผลิต 4,334.87 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ การที่ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำให้ผลผลิตต่ำกว่าการปลูกในสภาพปรกติ เกิดขึ้นเนื่องมาจากปัญหาน้ำท่วมขังซึ่งเกิดจากปริมาณน้ำฝนที่มีค่อนข้างสูงในฤดูฝน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 ช่วงเวลาและจำนวนวันของการพัฒนาการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในการทดลองต่างๆ กัน ทั้งในกระถางและในแปลง ภายใต้สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและสภาพปรกติ

	วันงอกโผล่พ้นดิน (Ve)	วันออกดอกแรก (R_1)	วันสิ้นสุดการออกดอก (R_2)	ระยะออกดอก (R_1R_2)	วันสุกแก่ (R_7)
			ให้น้ำตามปรกติ (CI) 1/		
การทดลองที่ 1	3	37	43	6	89
การทดลองที่ 2	5	44	49	5	90
การทดลองที่ 3	3	37	40	3	91
การทดลองที่ 4	4	39	41	2	93
เฉลี่ย	3.7	39.2	43.2	4	90.7
			ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (SSC)		
การทดลองที่ 1	3	41	46	5	92
การทดลองที่ 2	5	45	50	5	95
การทดลองที่ 3	3	38	40	2	92
การทดลองที่ 4	4	40	42	2	95
เฉลี่ย	3.7	41	44.5	3.5	93.5
Sig 1/	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ 1/ = วิธีการให้น้ำ

CI การปลูกในสภาพการให้น้ำปรกติ

SSC การปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 %

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธุ์ 1 ที่ปลูกในช่วงต่าง ๆ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2549 ทั้งในกระถางและแปลง ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

	จำนวนฝัก/ต้น	จำนวนเมล็ด/ฝัก	น้ำหนักเมล็ด/ต้น	ขนาดเมล็ด (กรัม/100)	ผลผลิตต่อพื้นที่ (กก./เฮกตาร์)
			ให้น้ำตามปรกติ (CI) 1/		
การทดลองที่ 1	74.10	1.04	16.30	20.97	no
การทดลองที่ 2	40.00	1.15	8.66	18.87	no
การทดลองที่ 3	72.57	1.36	22.52	22.95	no
การทดลองที่ 4	124.97	1.57	42.20	21.59	8484.31
เฉลี่ย	77.91	1.28	22.42	21.09	8484.31
			ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (SSC)		
การทดลองที่ 1	45.60	1.18	9.21	17.15	no
การทดลองที่ 2	49.70	1.03	9.31	18.24	no
การทดลองที่ 3	67.03	1.45	21.84	22.47	no
การทดลองที่ 4	105.10	1.25	26.32	20.23	4334.87
เฉลี่ย	66.86	1.23	16.67	19.52	4334.87
Sig 1/	ns	ns	ns	ns	*

หมายเหตุ 1/ = วิธีการให้น้ำ

CI ให้น้ำในระดับปรกติ

SSC ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 %

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3 การเจริญเติบโต (growth)

การตอบสนองทางด้านการเจริญเติบโต มีการเก็บข้อมูลคือ ความสูงเฉลี่ยต่อต้น จำนวนข้อต่อต้น จำนวนกิ่งต่อต้น และพื้นที่ใบรวมต่อต้น

เมื่อพิจาณาถึงความสูงเฉลี่ยต่อต้นที่ปลูกในทุกการทดลอง ภายใต้สภาพการให้น้ำทั้ง 2 สภาพ พบว่า สภาพการให้น้ำที่แตกต่างกัน ไม่มีผลทำให้ความสูงเฉลี่ยของถั่วเหลืองที่ระยะ R_7 มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 3) แต่อย่างไรก็ตามปรากฏว่า ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ความสูงของถั่วเหลืองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพการให้น้ำแบบปรกติ ดังจะเห็นได้ชัดเจนในการทดลองที่ 3 และการทดลองที่ 4 ดังนี้คือ ในการทดลองที่ 3 จะเห็นว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพการให้น้ำแบบปรกติ มีความสูงเฉลี่ยต่อต้น 66.22 เซนติเมตร และถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำมีความสูงเฉลี่ยต่อต้น 72.27 เซนติเมตร และการทดลองที่ 4 จะเห็นว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพการให้น้ำแบบปรกติมีความสูงเฉลี่ยต่อต้น 89.62 เซนติเมตร และถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำมีความสูงเฉลี่ยต่อต้น 92.90 เซนติเมตร (ตารางที่ 3)

ในทำนองเดียวกัน จะเห็นว่าสภาพการให้น้ำที่แตกต่างกัน ไม่มีผลทำให้จำนวนข้อต่อต้นและจำนวนกิ่งต่อต้น ของการให้น้ำแบบปรกติและในสภาพดินอิ่มด้วยน้ำมีความแตกต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการทดลองที่ 1 2 และ 3 ซึ่งเป็นการทดลองในกระถาง สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำมีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อจำนวนข้อต่อต้นและจำนวนกิ่งต่อต้น โดยที่เมื่อปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีแนวโน้มทำให้จำนวนข้อต่อต้นและจำนวนกิ่งต่อต้นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพการให้น้ำแบบปรกติ (ในสภาพการให้น้ำแบบปรกติ มีจำนวนข้อต่อต้น 12.99 จำนวนกิ่งต่อต้น 10.11 ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีจำนวนข้อต่อต้น 12.16 จำนวนกิ่งต่อต้น 8.94) แต่เมื่อพิจาราณาในการทดลองที่ 4 ซึ่งเป็นการทดลองในแปลงปลูก จะให้ผลการทดลองที่ตรงข้ามกับการทดลองในกระถาง (การทดลองที่ 1 2 และ 3) ซึ่งพบว่า การทดลองในแปลงปลูกภายใต้สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จะมีจำนวนข้อต่อต้นและจำนวนกิ่งต่อต้นสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกภายใต้สภาพการให้น้ำแบบปรกติ กล่าวคือ ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีจำนวนข้อต่อต้น 15.50 และจำนวนกิ่งต่อต้น 12.83 แต่ในสภาพการให้น้ำแบบปรกติ มีจำนวนข้อต่อต้น 14.33 และจำนวนกิ่งต่อต้น 11.67 (ตารางที่ 3)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในทำนองตรงกันข้าม จะเห็นว่า สภาพการให้น้ำที่แตกต่างกันในทั้ง 2 สภาพ มีผลต่อพื้นที่ใบรวมต่อต้น โดยถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีพื้นที่ใบรวมต่อต้นน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพการให้น้ำแบบปรกติ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ ในสภาพการให้น้ำแบบปรกติ มีพื้นที่ใบรวมต่อต้น 1651.75 ตารางเซนติเมตร และในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีพื้นที่ใบรวมต่อต้น 1116.92 ตารางเซนติเมตร ซึ่งอาจจะมีสาเหตุเนื่องจากถั่วเหลืองที่ปลูกในฤดูฝน ภายใต้สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีการท่วมขังของน้ำฝนในปริมาณมาก เป็นผลทำให้โครงสร้างของดินแฉะเกินไป ทำให้การเจริญเติบโตลดลง มีผลทำให้การขยายขนาดของพื้นที่ใบลดลง

1.4 การสะสมน้ำหนักแห้ง (dry matter accumulation)

ในแง่ของการสะสมน้ำหนักแห้ง โดยพิจาณาจากน้ำหนักแห้งทั้งหมด (total dry matter) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าน้ำหนักแห้งทั้งหมดต่อต้นของถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตอยู่ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตอยู่ในสภาพการให้น้ำแบบปรกติ ในการทดลองที่ 1 จะเห็นได้ว่า น้ำหนักแห้งทั้งหมดต่อต้นของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีแนวโน้มต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพการให้น้ำแบบปรกติ (ภาพที่ 5) แต่ในการทดลองที่ 2 3 และ 4 จะเห็นได้ว่า ในช่วงระยะหลังๆ ของการเจริญเติบโต น้ำหนักแห้งทั้งหมดต่อต้นของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีแนวโน้มใกล้เคียงกับถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพการให้น้ำแบบปรกติ ดังนี้ การทดลองที่ 2 ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีการสร้างน้ำหนักแห้งทั้งหมดต่อต้นเท่ากับ 0.742, 2.164, 3.304 และ 13. 247 กรัมต่อต้น ส่วนถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพการให้น้ำแบบปรกติมีการสร้างน้ำหนักแห้งทั้งหมดต่อต้น เท่ากับ 0.767, 1.865, 2.842 และ 13.707 กรัมต่อต้น ที่ระยะ 27, 34, 43 และ 62 วันหลังปลูก ตามลำดับ (ภาพที่ 5) ในการทดลองที่ 3 ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีการสร้างน้ำหนักแห้งทั้งหมดต่อต้น เท่ากับ 0.745, 1.988, 7.315, 23.231 และ 60.611 กรัมต่อต้น ส่วนถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพการให้น้ำแบบปรกติ มีการสร้างน้ำหนักแห้งทั้งหมดต่อต้น เท่ากับ 0.911, 2.58, 8.007, 24.449 และ 63.387 กรัมต่อต้น ที่ระยะ 19, 26, 37, 57 และ 92 วันหลังปลูก ตามลำดับ) ภาพที่ 7) ในการทดลองที่ 4 ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีการสร้างน้ำหนักแห้งทั้งหมดต่อต้น เท่ากับ 0.852, 2.597, 7.653, 35.537 และ 99.114 กรัมต่อต้น ส่วนถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพการให้น้ำแบบปรกติ มีการสร้างน้ำหนักแห้งทั้งหมดต่อต้น เท่ากับ 0.815, 2.878, 8.633, 46.446 และ 95.451 กรัมต่อต้น ที่ระยะ 19, 26, 37, 59 และ 93 วันหลังปลูก ตามลำดับ (ภาพที่ 8) จากข้อมูลข้างต้นนี้แสดงให้เห็นว่า ภายหลังจากที่ถั่วเหลืองได้รับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและชะงักการเจริญเติบโตในช่วงแรกๆ ต่อมาถั่วเหลืองสามารถฟื้นคืนสู่สภาพปรกติในช่วงหลังๆ ของการเจริญเติบโต และสามารถสร้างน้ำหนักแห้งได้ใกล้เคียงกับเมื่อได้รับน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในสภาพปรกติ ซึ่งน่าจะบ่งบอกถึงความสามารถของถั่วเหลืองในการปรับตัว (acclimatization) ให้เข้ากับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้

ตารางที่ 3 ข้อมูลการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในการทดลองต่างๆ กัน ทั้งในกระถางและในแปลง ภายใต้สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและสภาพปรกติ

	ความสูง) ซม.) (R_7)	จำนวนข้อต่อต้น (R_7)	จำนวนกิ่งต่อต้น (R_7)	พื้นที่ใบต่อ (R_2)
		ให้น้ำตามปรกติ (CI) 1/		
การทดลองที่ 1	60.20	13.33	10.38	1450.33
การทดลองที่ 2	53.83	11.83	9.50	1139.00
การทดลองที่ 3	66.22	13.83	10.00	1442.00
การทดลองที่ 4	89.62	14.33	11.67	2575.67
เฉลี่ย	67.47	13.33	10.50	1651.75
		ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (SSC)		
การทดลองที่ 1	52.68	12.00	8.50	930.50
การทดลองที่ 2	55.08	10.83	8.50	1139.67
การทดลองที่ 3	72.27	13.67	9.83	1042.83
การทดลองที่ 4	92.90	15.50	12.83	1354.67
เฉลี่ย	68.23	13.00	9.91	1116.92
Sig 1/	ns	ns	ns	*

หมายเหตุ 1/ = วิธีการให้น้ำ

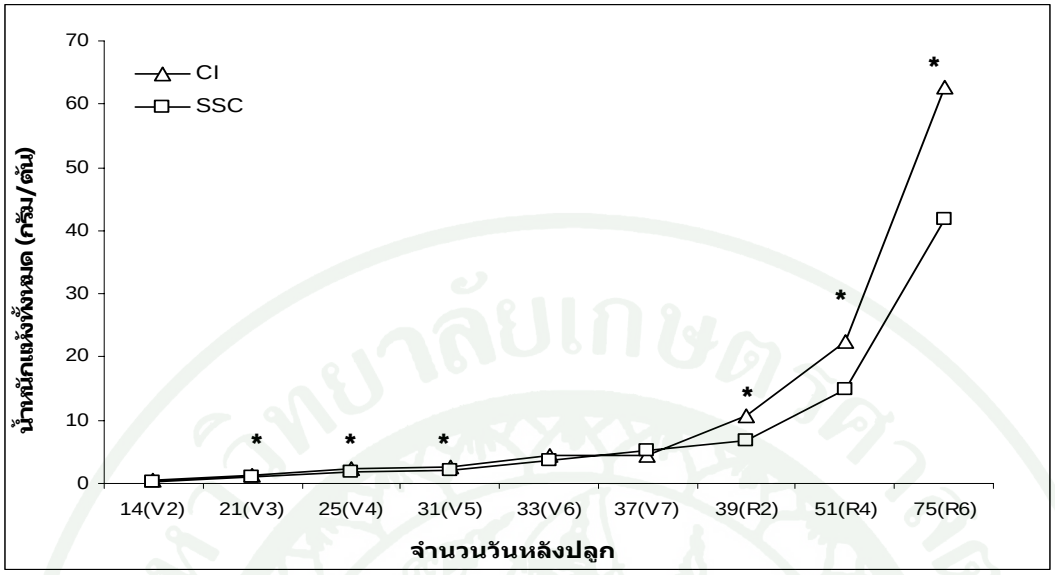
CI ให้น้ำในระดับปรกติ

SSC ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

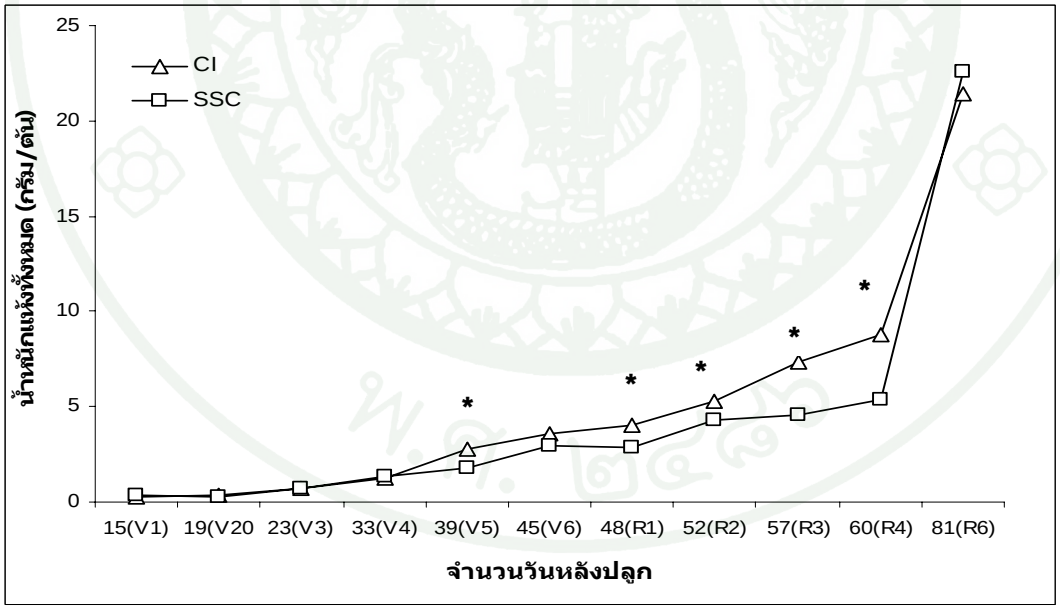
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 %

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

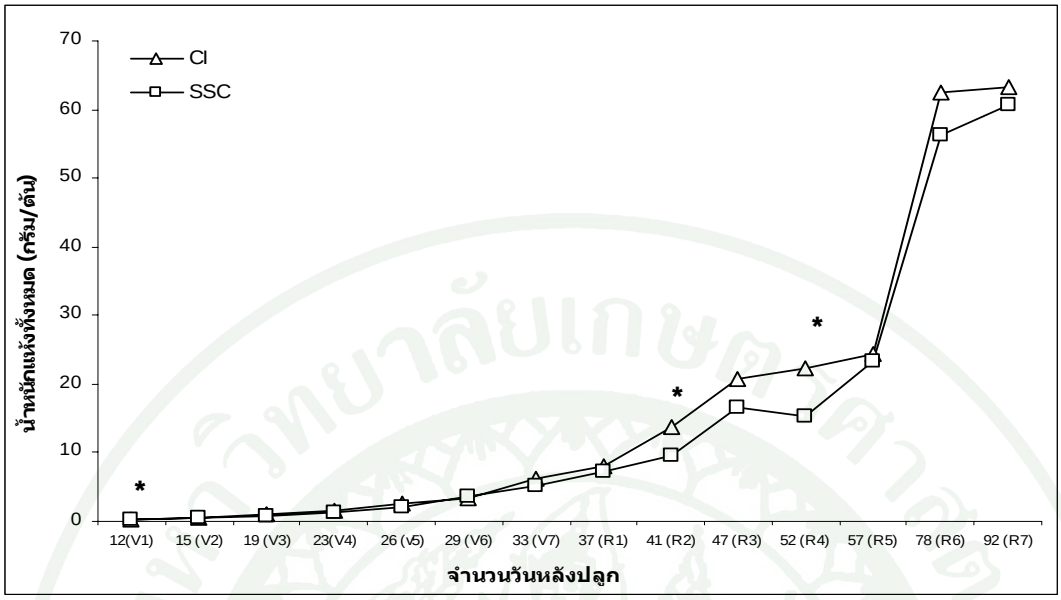


ภาพที่ 5 การสะสมน้ำหนักแห้งทั้งหมดเฉลี่ย (กรัม/ต้น) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

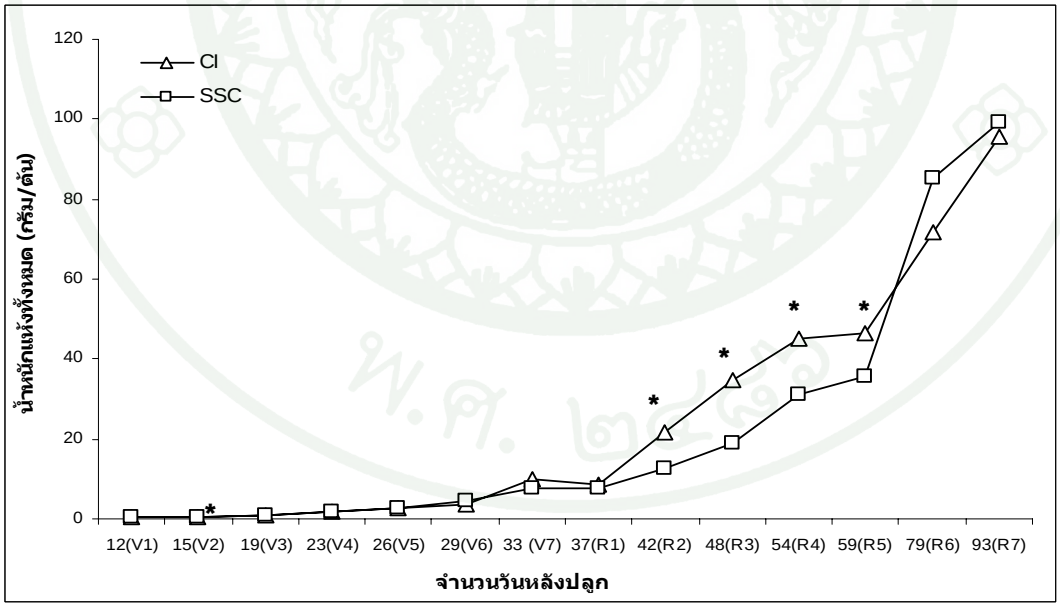


ภาพที่ 6 การสะสมน้ำหนักแห้งทั้งหมดเฉลี่ย (กรัม/ต้น) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 7 การสะสมน้ำหนักแห้งทั้งหมดเฉลี่ย (กรัม/ต้น) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ



ภาพที่ 8 การสะสมน้ำหนักแห้งทั้งหมดเฉลี่ย (กรัม/ต้น) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในการแปลงปลูกของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การตอบสนองด้านสรีรวิทยา (Physiological responses)

2.1 การวัดค่าความเขียวของใบ

การวัดค่าความเขียวของใบในการทดลองครั้งนี้ ใช้เครื่องมือ Chlorophyll Meter รุ่น SPAD 502 ผลิตโดย Minolta Camera., LTD, Japan ซึ่งอ่านค่าความเขียวของใบ โดยให้หน่วยเป็น SPAD unit

จากภาพที่ 9 ซึ่งแสดงถึงความแตกต่างของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI กับสภาพ SSC ที่ได้ดำเนินการในการทดลองที่ 1 จะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ไม่แสดงอาการใบซีดเหลือง (chlorosis) ให้เห็น แต่ในสภาพ SSC นั้น ในระยะแรกของการเจริญเติบโต ถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตอยู่ในสภาพที่ดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำ จึงทำให้ถั่วเหลืองยังไม่สามารถปรับตัวได้ จึงมีอาการใบซีดเหลือง ซึ่งสังเกตเห็นได้จากเส้นกราฟในช่วงระยะเวลาที่ 19-25 วันหลังปลูกหรือในระยะการเจริญเติบโต V_{2-3} ถึง V_{4-5} แสดงให้เห็นว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ (chlorophyll content) ของใบลดลง และพืชแสดงออกโดยใบซีดเป็นสีเหลืองแทนที่จะเป็นสีเขียวสด ดังเช่นในสภาพการปลูกแบบปรกติหรือสภาพ CI ซึ่งในสภาวะที่ดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำนั้น ถั่วเหลืองจะพยายามปรับตัวให้เข้ากับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและสามารถกลับคืนสู่สภาพปรกติ ที่ระยะเวลาตั้งแต่ 25 วันเป็นต้นไป

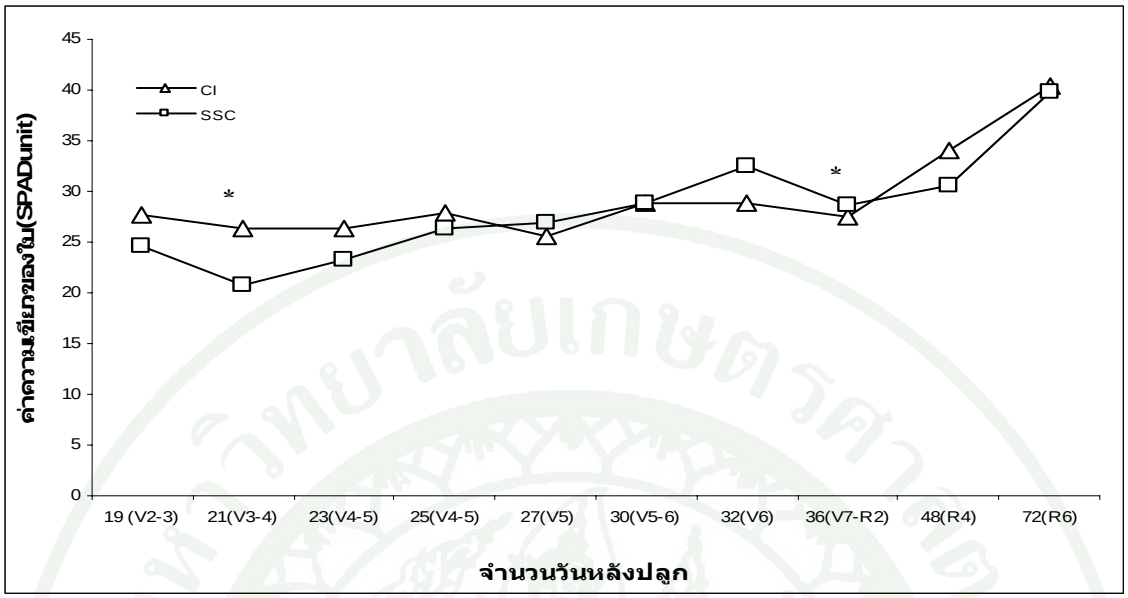
การปรับตัวของถั่วเหลืองให้เข้ากับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จนสามารถเจริญเติบโตได้ตามปรกตินั้นเรียกว่า acclimatization (Troedson *et al*., 1984 ; Nathanson *et al.*, 1984) และในการศึกษาครั้งนี้ ได้แสดงให้เห็นว่า ถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 หลังจากที่ประสบกับภาวะเครียดจากสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว สามารถปรับตัว (acclimatize) เข้าสู่สภาพปรกติได้เมื่ออายุ 25 วันหลังปลูกหรือที่ระยะ V_{4-5}

การตอบสนองในลักษณะนี้ สามารถพบได้ในการทดลองที่ 2 3 และ 4 ซึ่งจากภาพที่10 11 และ12 ตามลำดับ แสงดให้เห็นว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC นั้น ในช่วงแรกของการเจริญเติบโต ใบจะซีดเหลือง หลังจากนั้นถั่วเหลืองสามารถปรับตัวและฟื้นคืนสู่สภาพปรกติได้ ดังจะเห็นได้จากภาพที่10 ของการทดลองที่ 2 พบว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC สามารถฟื้นคืนสู่สภาพปรกติเมื่ออายุ 26 วันหรือที่ระยะปลูก V_2 และจากภาพที่ 11 ของการทดลองที่ 3 จะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC สามารถฟื้นคืนสู่สภาพปรกติที่อายุ 26 วันหรือที่ระยะ V_5 ส่วนภาพที่ 12 ของการทดลองที่4 จะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC สามารถฟื้นคืนสู่สภาพปรกติที่อายุ 30 วันหรือที่ระยะ V_6 แต่จากผลการทดลองจะเห็นว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในแปลงของการทดลองที่ 4 ที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC จะมีระยะเวลาของ

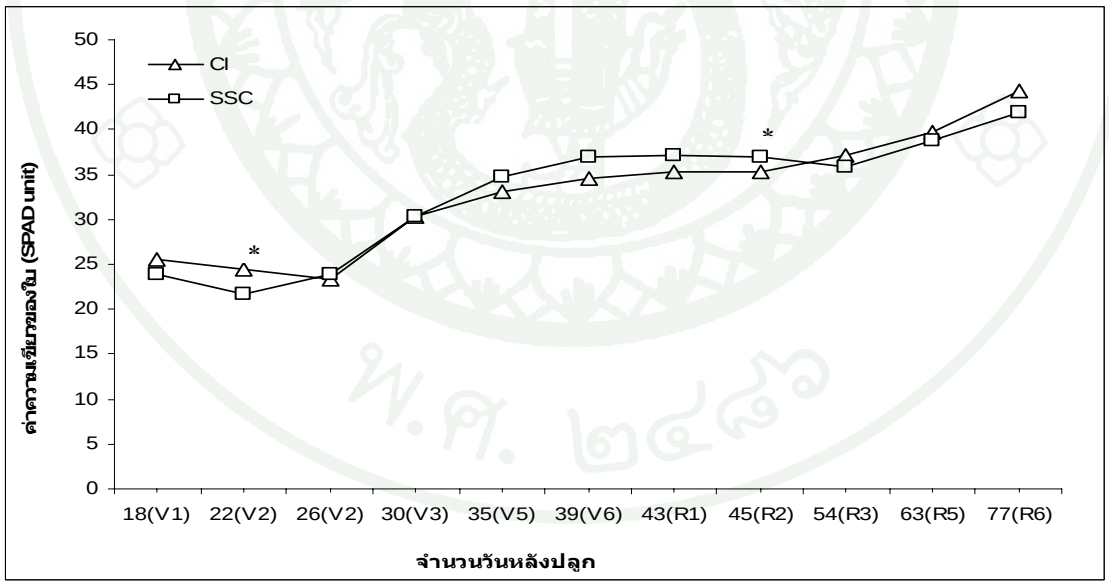
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การฟื้นคืนสู่สภาพปรกตินานกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในกระถาง (การทดลองที่ 1 2 และ 3) เนื่องจากถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในแปลง งอกช้ากว่าในกระถางหรือมี day of emergence ที่ช้ากว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

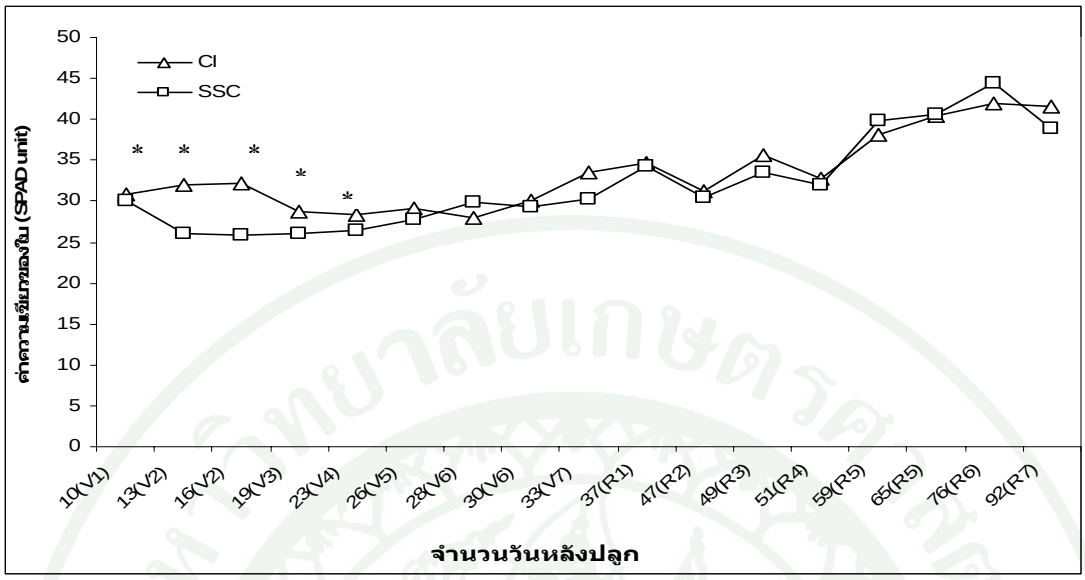


ภาพที่ 9 ค่าเฉลี่ยความเขียวของใบ (SPAD unit) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ 2547 .ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

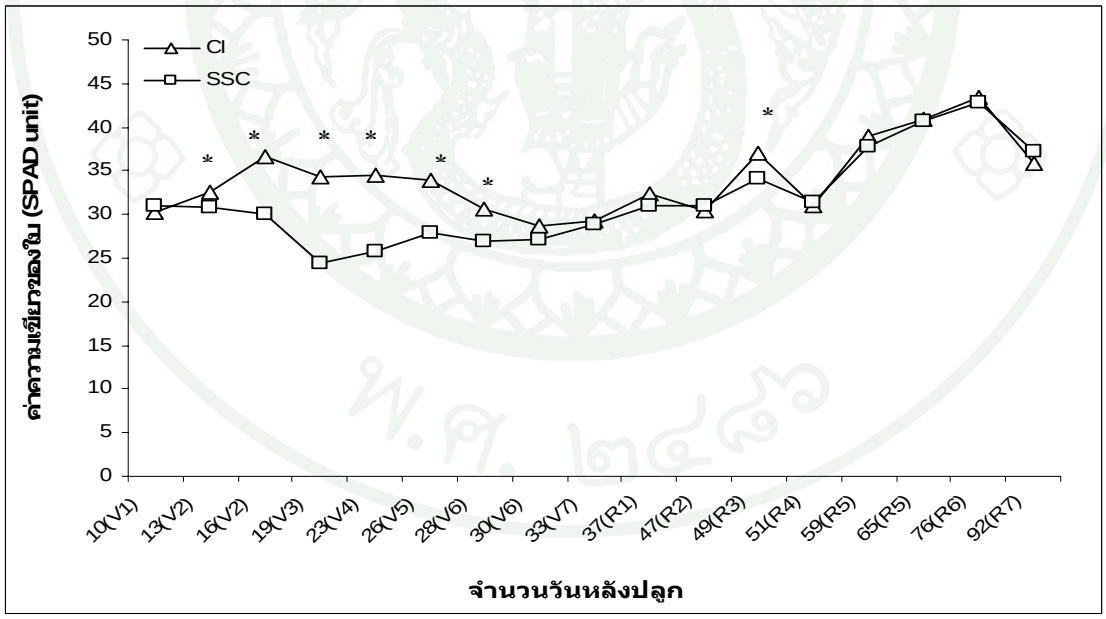


ภาพที่ 10 ค่าเฉลี่ยความเขียวของใบ (SPAD unit) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ 2547 .ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 11 ค่าเฉลี่ยความเขียวของใบ (SPAD unit) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ 2549 .ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ



ภาพที่ 12 ค่า เฉลี่ยความเขียวของใบ (SPAD unit) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ 2549 .ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

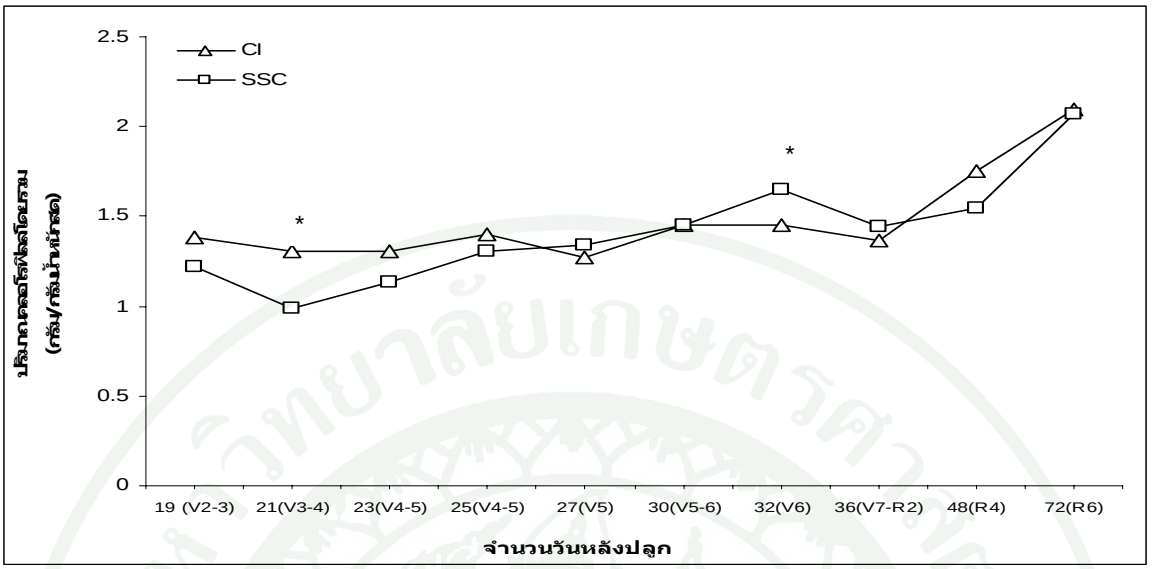
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบถั่วเหลือง

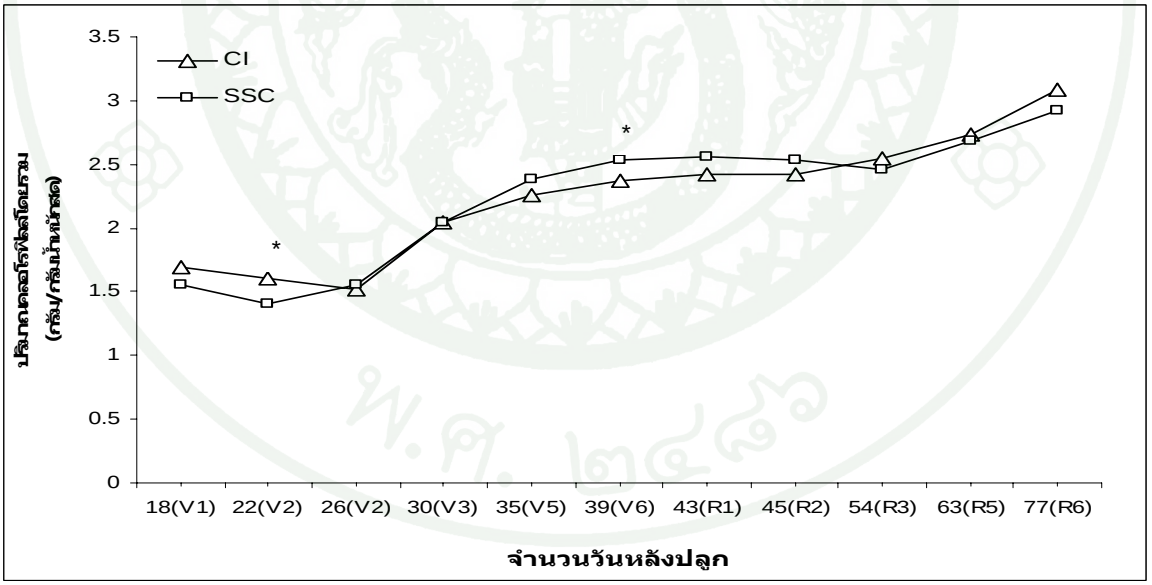
ภาพที่13 14 15 และ16 แสดงถึงปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC เปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ ซึ่งมีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด (mg/g fresh weight) โดยสกัดด้วยสารไดเมทิลซัลโฟไซด์ (dimethyl sulfoxide ; DMSO) (สาวิตร, 2545 และ Hiscox and Israelstam, 1979) จากภาพที่ 13 จะเห็นว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตที่ระยะเวลา 19-25 วันหลังปลูก ในการทดลองที่ 1 มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบลดลงและน้อยกว่าค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ของถั่วเหลืองที่ปลูกในการทดลองเดียวกัน เนื่องจากในช่วงแรกที่ถั่วเหลืองที่ได้รับสภาพ SSC ถั่วเหลืองจะหยุดชะงักการเจริญเติบโตและใบมีสีซีดลง จึงเป็นผลทำให้ค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบลดลง หลังจากนั้นเมื่อถั่วเหลืองสามารถปรับตัวและฟื้นคืนสู่สภาพปรกติได้ จึงเป็นผลทำให้ค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC เพิ่มขึ้นที่ระยะเวลา 25 วันหลังปลูกหรือที่ระยะ V_5 และมีแนวโน้มของค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ใกล้เคียงหรือมากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ดังจะเห็นได้จากที่ระยะเวลา 32 วันหลังปลูกหรือที่ระยะ V_6 ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

การตอบสนองในลักษณะดังกล่าวนี้ สามารถพบได้เช่นเดียวกันในการทดลองที่ 2 3 และ 4 ดังในภาพที่14 15 และ16 ซึ่งการตอบสนองของค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับค่า SPAD unit ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC นั้นมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาในส่วนของมีโซฟิลล์ (mesophyll) ในใบ อันเนื่องมาจากการปรับตัวซึ่งเป็นผลมาจากความเครียด ที่ต้องเจริญเติบโตในสภาวะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งต่างไปจากการปลูกในสภาพ CI

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

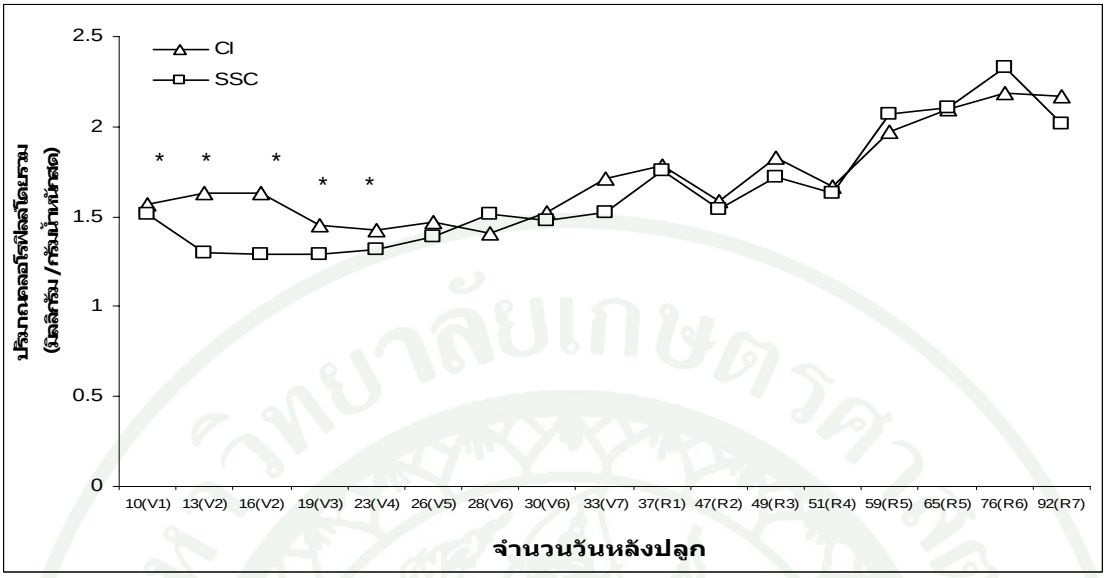


ภาพที่ 13 ปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวม (กรัม/กรัมน้ำหนักสด) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ 2547 .ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

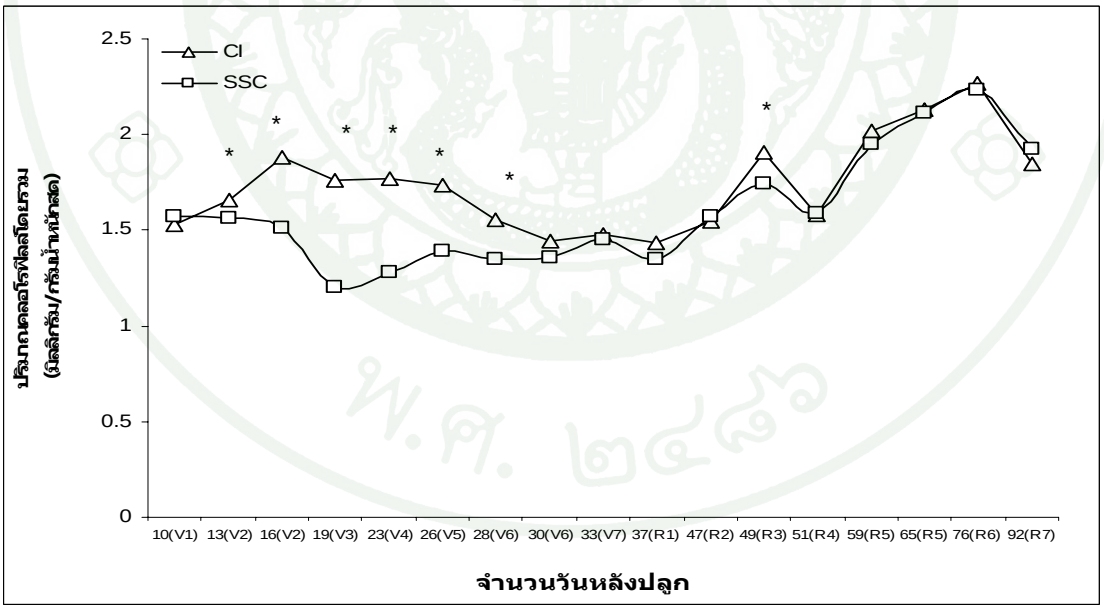


ภาพที่ 14 ปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวม (กรัม/กรัมน้ำหนักสด) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ .2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 15 ปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวม (กรัม/กรัมน้ำหนักสด) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ



ภาพที่ 16 ปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวม (กรัม/กรัมน้ำหนักสด) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 อัตราการสังเคราะห์แสง (photosynthetic rate ; A)

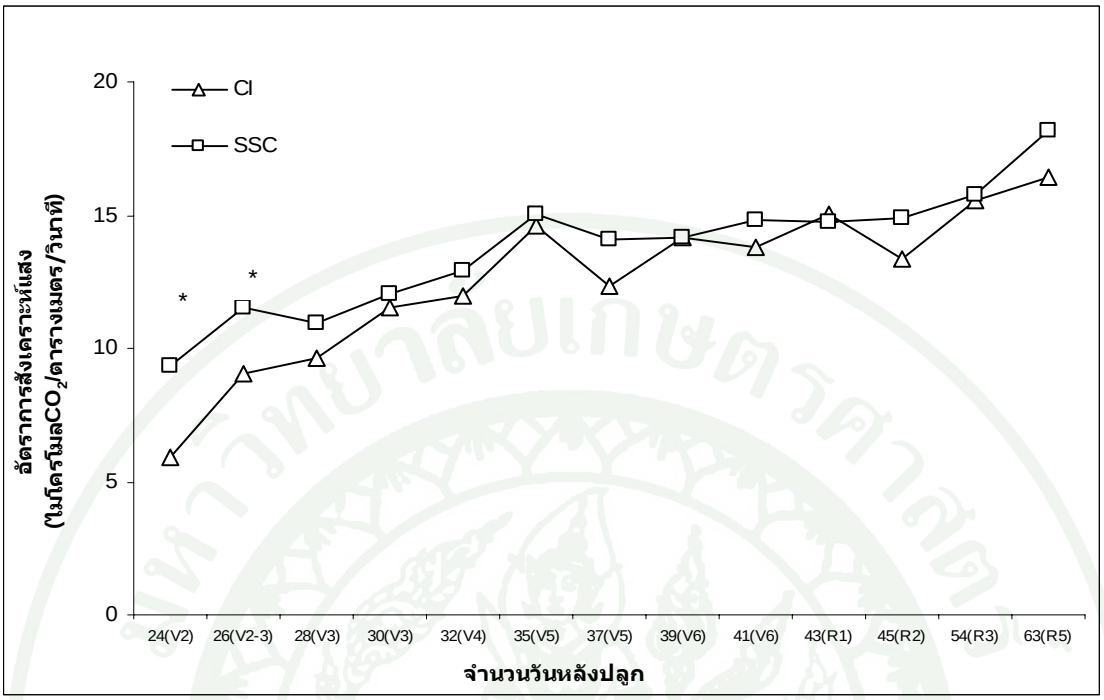
อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC และสภาพ CI สามารถศึกษาได้โดยใช้เครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสง รุ่น LCA 4 ซึ่งเครื่องมือดังกล่าวนี้ ประกอบด้วยหน่วยเก็บข้อมูลของอัตราการสังเคราะห์แสง (photosynthetic rate , A) อัตราการคายน้ำ (transpiration rate , E) ค่าความต้านการเปิดปากใบ (stomatal resistance , Rs) ซึ่งอัตราการสังเคราะห์แสงที่วัดได้ มีหน่วยเป็นไมโครโมล CO_2 ต่อตารางเมตรต่อวินาที (μmole CO_2 /m^{-2}/s^{-1}) โดยได้ศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงของการทดลองที่ 2 3 และ 4 ส่วนในการทดลองที่ 1 นั้นเป็นการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการสังเคราะห์แสง ประกอบกับเครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการสังเคราะห์แสงยังไม่อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน ซึ่งจากภาพที่ 17 ของการทดลองที่ 2 จะเห็นว่าในช่วงแรกของการเจริญเติบโต ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI และพบว่าที่ระยะเวลา 24 วันหลังปลูก(V_2) และที่ระยะเวลา 26 วันหลังปลูก (V_{2-3}) อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI จนถึงระยะเวลา 35 วันหลังปลูกหรือที่ระยะการเจริญเติบโต V_5 หลังจากนั้นจะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตอยู่ในสภาพการปลูกทั้ง 2 สภาพมีอัตราการสังเคราะห์แสงที่ใกล้เคียงกัน จากภาพที่ 18 ของการทดลองที่ 3 การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงไม่ค่อยเห็นความแตกต่างกันมากนักระหว่างถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC และสภาพ CI ซึ่งจะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI มีอัตราการสังเคราะห์แสงมากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC แต่จากแนวโน้มของเส้นกราฟการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสง ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีอัตราการสังเคราะห์แสงในบางระยะการเจริญเติบโต ที่มีค่าใกล้เคียงกับถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการปรับตัวของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC ที่พยายามเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ ภายในเซลล์ และเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงภายในใบให้มากขึ้น เพื่อสร้างอาหารมาให้เพียงพอต่อการปรับตัวให้ทนต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำของถั่วเหลือง และจากภาพที่ 19 ของการทดลองที่ 4 จะเห็นว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC ในช่วงแรกของการเจริญเติบโต มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI โดยที่ระยะเวลา 9 วันหลังปลูก (V_1) และที่ระยะเวลา 16 วันหลังปลูก (V_2) ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากนั้นที่ระยะเวลา 37 วันหลังปลูกหรือที่ระยะ R_1 ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI มีอัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มสูงขึ้นจนมีแนวโน้มเพิ่มมากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC

จากกการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงทั้งในการทดลองที่ 2 และการทดลองที่ 4 จะเห็นว่าในช่วงแรกของการเจริญเติบโต ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC จะมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าถั่ว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

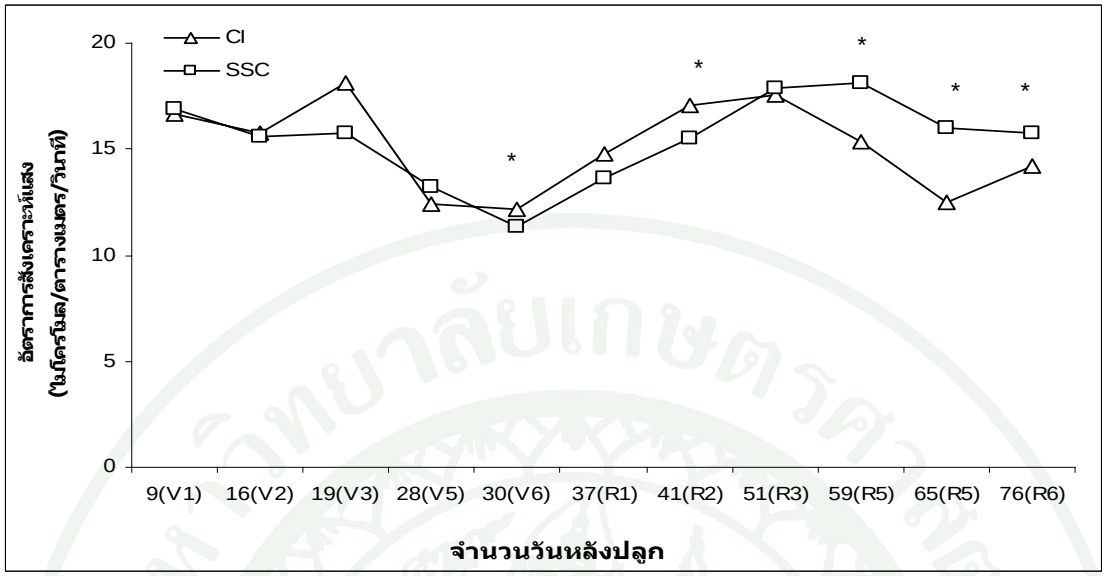
เหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ซึ่งเป็นช่วงที่ถั่วเหลืองได้รับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ และถั่วเหลืองต้องมีการปรับตัวให้ทนต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ถั่วเหลืองจึงต้องเพิ่มกระบวนการเมตาบอลิซึมให้เพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสง เพื่อสร้างอาหารมาใช้ในการเจริญเติบโตและพัฒนา รวมทั้งนำมาเสริมสร้างและซ่อมแซมเซลล์ต่างๆ ที่เสียหายไปในช่วงที่พืชได้รับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำที่ช่องว่างภายในดินเต็มไปด้วยน้ำ ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ไม่ค่อยดี จึงต้องเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงให้เพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

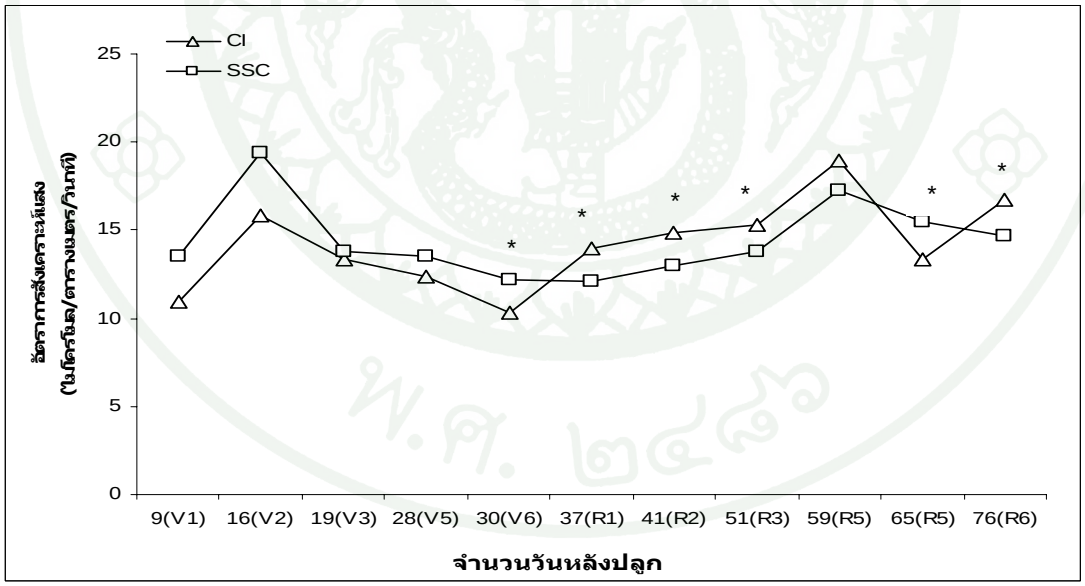


ภาพที่ 17 อัตราการสังเคราะห์แสง (ไมโครโมล CO_2/ตารางเมตร/วินาที) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงต้นฤดูหนาวพ.ศ .2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 18 อัตราการสังเคราะห์แสง (ไมโครโมลCO_2/ตารางเมตร/วินาที) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน ปีพ.ศ. 2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ



ภาพที่ 19 อัตราการสังเคราะห์แสง (ไมโครโมลCO_2/ตารางเมตร/วินาที) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน ปีพ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.4 ประสิทธิภาพการใช้แสง (A/Q curve) และประสิทธิภาพการตรึงกาซคาร์บอนไดออกไซด์ (A/Ci curve)

ในการทดลองครั้งนี้ ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพการใช้แสง (A/Q curve) และประสิทธิภาพการตรึงกาซคาร์บอนไดออกไซด์ (A/Ci curve) ของ 2 การทดลองคือ การทดลองที่ 2 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงปลายฤดูหนาว พ.ศ. 2547-2548 และการทดลองที่ 3 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ 2549.ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพคือ สภาพการให้น้ำแบบปรกติ (CI) และสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (SSC) โดยได้ศึกษาการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสง (ค่า A) ต่อปริมาณความเข้มแสง (ค่า Q) และปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์ (ค่า Ci) ในแต่ละระยะการเจริญเติบโต ซึ่งได้ดำเนินการทดลองและวิเคราะห์ในสภาพห้องปฏิบัติการ (การทดลองที่ 2) และในสภาพของพื้นที่ปลูกจริง (การทดลองที่ 3) ดำเนินการโดยวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของใบถั่วเหลืองที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ตามวิธีการของสาวิตร (2549) หลังจากนั้นจึงนำค่าอัตราการสังเคราะห์แสงที่วัดได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า A และ Q เรียกว่า A/Q curve หรือ light response curve และความสัมพันธ์ระหว่างค่า A กับ Ci เรียกว่า A/Ci curve หรือ CO_2 response curve

2.4.1 ผลการศึกษาของการทดลองที่ 2 ในช่วงปลายฤดูหนาว พ.ศ.2548

2.4.1.1 ประสิทธิภาพการใช้แสง (A/Q curve หรือ light response curve)

จากการทดลองที่ 2 ได้วัดอัตราการสังเคราะห์แสงของใบถั่วเหลือง โดยการแปรผันสภาพแสงเหนือ leaf chamber ด้วยการใช้แสงจากหลอดฮาโลเจน (ยี่ห้อ Osram 50W) และทำการบันทึกอัตราการสังเคราะห์แสงของใบพืช และปรับความเข้มแสงให้ได้ในช่วง 0 , 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000,2200, 2400, 2600, 2800 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ โดยกำหนดให้ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 330 ppm และอุณหภูมิห้องประมาณ 28 องศาเซลเซียส โดยวัดใน 2 ระยะคือ ในระยะ V_3 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ได้รับภาวะเครียด และระยะ V_7 เป็นระยะที่ถั่วเหลืองมีการปรับตัวต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้แล้ว และได้ผลการทดลองดังภาพที่ 20 และภาพที่ 21

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากภาพที่ 20 แสดงถึง light response curve ของใบถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในระยะ V_3 พบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มแสงสูงขึ้น ทั้งในถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI และ SSC แต่จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI มีอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC และจากตารางที่ 4 พบว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI มีค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (Amax) เท่ากับ 6.46 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ ที่ความเข้มแสงประมาณ2 , 279$\mu molm^{-2}s^{-1}$ ส่วนถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่า Amax เท่ากับ 1.85 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ ที่ความเข้มแสงประมาณ2 ,640 $\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$ ซึ่งจะเห็นว่า ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า Amax น้อยกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI สาเหตุที่ถั่วเหลืองในสภาพ SSC มีอัตราการสังเคราะห์แสงที่ต่ำกว่า อาจเนื่องมาจากถั่วเหลืองในสภาพ SSC ต้องเผชิญกับสภาพของดินที่อิ่มตัวไปด้วยน้ำ หรือดินอยู่ในสภาพที่ชื้นแฉะ ทำให้อัตราการเจริญเติบโตหยุดชะงัก ใบมีสีเหลืองซีด และทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงด้วย

เมื่อพิจารณาถึงค่า quantum yield (ϕ) และค่า quantum requirement ซึ่งค่า Quantum yield คือ ประสิทธิภาพการใช้แสงในกระบวนการสังเคราะห์แสง หรืออาจจะหมายถึง จำนวนโมลของกาซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกตรึงโดยใบพืชต่อหนึ่งโมลของแสงที่ตกกระทบใบพืช ค่า ϕ คำนวณจากค่า initial slope ของ light response curve ในช่วงปริมาณแสง 200-0 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ นอกจากนี้อาจพิจารณาในลักษณะของ Quantum requirement ซึ่งหมายถึง จำนวนโมลของแสงที่พืชต้องการเพื่อการตรึงกาซคาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมล นั่นก็คือ ส่วนกลับของ Quantum yield นั่นเอง

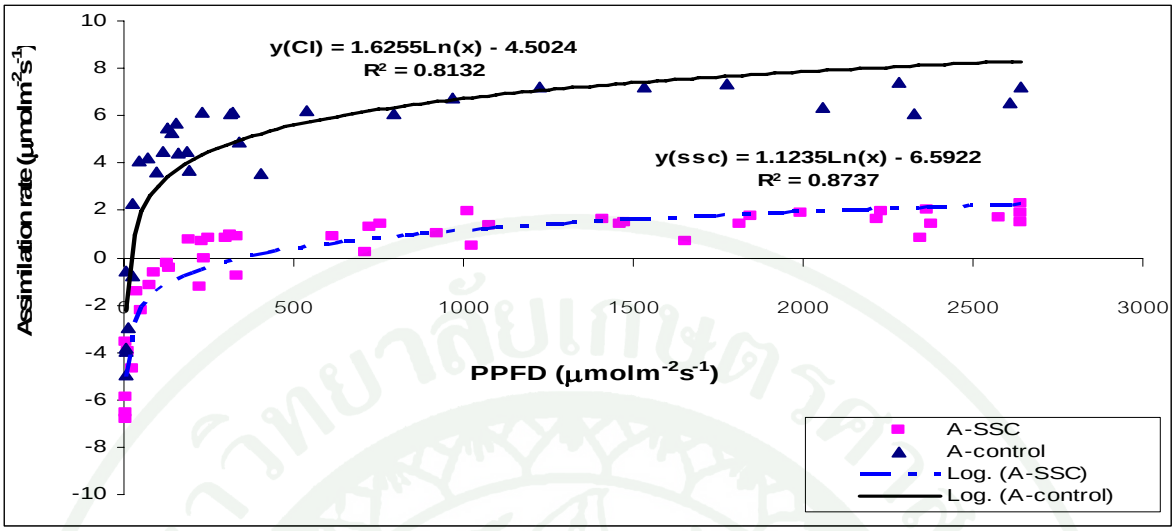
จากตารางที่ 5 จะเห็นว่า ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI ในระยะ V_3 มีค่า ϕ เท่ากับ 0.0075 $moleCO_2\ mole^{-1}$ photochemical photon flux density (PPFD) และมีค่า quantum requirement เท่ากับ1 33.33 $mole^{-1}$ photochemical photon flux density (PPFD) $moleCO_2$ ส่วนถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC ในระยะ V_3 มีค่า ϕ เท่ากับ0.00 54 $moleCO_2\ mole^{-1}$PPFD และมีค่า quantum requirement เท่ากับ 185.18 $mole^{-1}$PPFD$moleCO_2$ ซึ่งถั่วเหลืองในระยะ V_3 ที่เจริญอยู่ในสภาพ CI มีค่า ϕ สูงกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC แสดงให้เห็นว่า ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพปรกติหรือสภาพ CI มีการตรึงกาซคาร์บอนไดออกไซด์ในใบพืชได้มากกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC หรืออีกนัยหนึ่งคือ ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI มีอัตราการสังเคราะห์แสงมากกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC นั่นเอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

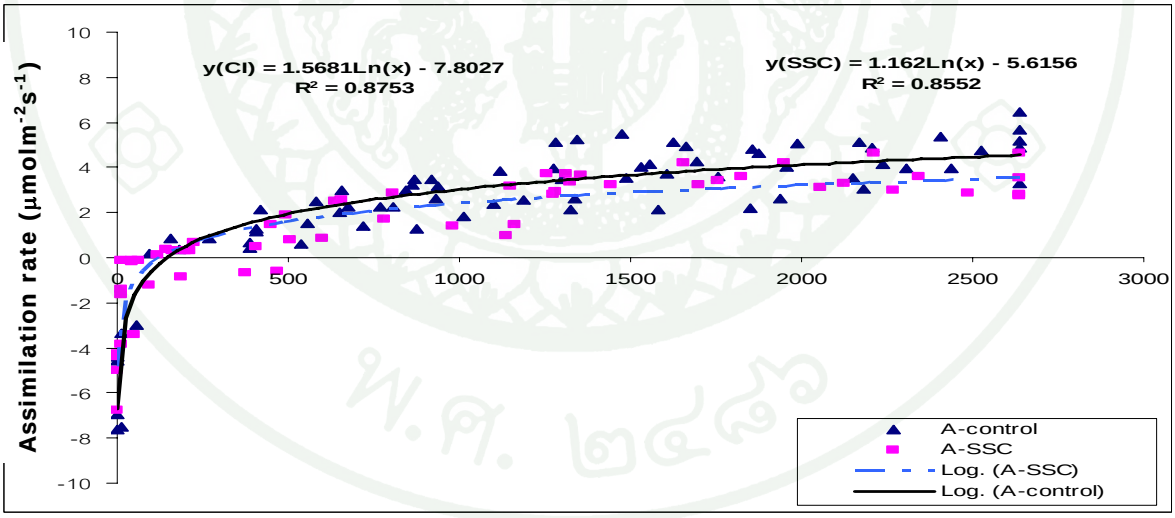
จากภาพที่ 21 แสดงถึง light response curve ของใบถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในระยะ V_7 ซึ่งเป็นระยะของถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC เริ่มมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้แล้ว และจะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองในทั้ง 2 สภาพการปลูก มีอัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มแสงสูงขึ้น แต่ในระยะ V_7 นี้ จะสังเกตเห็นได้ว่า อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองในทั้ง 2 สภาพ มีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นที่ใกล้เคียงกัน แม้ว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC จะมีอัตราการสังเคราะห์แสงที่ต่ำกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI เพียงเล็กน้อย และจากตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาถึงค่า Amax จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI ในระยะ V_7 มีค่า Amax เท่ากับ 5.65 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ ที่ความเข้มแสงประมาณ 2, 640$\mu molm^{-2}s^{-1}$ ส่วนถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC ในระยะ V_7 มีค่า Amax เท่ากับ 4.37 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ ที่ความเข้มแสงประมาณ2 , 640$\mu molm^{-2}s^{-1}$ และถึงแม้ว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่าอัตราการสังเคราะห์สูงสุดต่ำกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI แต่จะเห็นว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC พยายามปรับตัวให้เข้ากับสภาพดินที่อิ่มตัวไปด้วยน้ำและเพิ่มการสังเคราะห์แสงให้ใกล้เคียงกับถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพการปลูกแบบปรกติ

เมื่อพิจารณาถึงค่า quantum yield (ϕ) และค่า quantum requirement ของถั่วเหลือง จากตารางที่ 5 พบว่า ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI ในระยะ V_7 มีค่า ϕ เท่ากับ 0.0055 $moleCO_2 mole^{-1}$PPFD และมีค่า quantum requirement เท่ากับ 181.82 $mole^{-1}PPFDmoleCO_2$ ส่วนถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC ในระยะ V_7 มีค่า ϕ เท่ากับ 0.0059 $moleCO_2 mole^{-1}$PPFD และมีค่า quantum requirement เท่ากับ 169.49$mole^{-1}PPFDmoleCO_2$ ซึ่งจะเห็นถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC การตรึงกาซคาร์บอนไดออกไซด์ในใบพืชได้ใกล้เคียงกับถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI หรืออีกนัยหนึ่งคือ ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีอัตราการสังเคราะห์แสงที่ใกล้เคียงกับถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI นั่นเอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 20 แสดง light response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง (CO_2 assimilation rate ; µmolm^{-2}s^{-1}) ต่อปริมาณแสง (PPFD ; umolm^{-2}s^{-1}) ของใบถั่วเหลืองในระยะ V_3 ของการทดลองที่ 2 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ



ภาพที่ 21 แสดง light response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง (CO_2 assimilation rate ; µmolm^{-2}s^{-1}) ต่อปริมาณแสง (PPFD ; µmolm^{-2}s^{-1}) ของใบถั่วเหลืองในระยะ V_7 ของการทดลองที่ 2 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (Amax, $\mu molCO_2m^{-2}s^{-1}$) ที่ความเข้มแสงประมาณ2 ,000 $\mu molCO_2m^{-2}s^{-1}$ ขึ้นไป ของใบถั่วเหลืองที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ในระยะ V_3 และ V_7 ของการทดลองที่ 2 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ..2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ โดยนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ

ต้นที่	V3		V7	
	CI	SSC	CI	SSC
1	6.36	1.45	4.94	5.42
2	4.89	1.71	5.49	4.61
3	7.18	2.29	5.70	3.69
4	7.41	1.94	6.49	3.77
เฉลี่ย	6.46	1.85	5.65	4.37
F-test	*		ns	
CV) %)	18.47		14.98	

ตารางที่ 5 ค่า quantum yield ($molCO_2mol^{-1}PPFD$) และ quantum requirement (ตัวเลขในวงเล็บ) ของใบถั่วเหลืองที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ในระยะ V_3 และ V_7 ของการทดลองที่ 2 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ โดยนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ

ต้นที่	V3		V7	
	CI	SSC	CI	SSC
1	0.0089 (112.36)	0.0076 (131.58)	0.0046 (217.39)	0.0063 (158.73)
2	0.0060 (166.67)	0.0048 (208.33)	0.0057 (175.44)	0.0051 (196.08)
3	0.0082 (121.95)	0.0063 (158.73)	0.0062 (161.29)	0.0049 (204.08)
4	0.0069 (144.93)	0.0029 (344.83)	0.0056 (178.57)	0.0074 (135.13)
เฉลี่ย	0.0075 (133.33)	0.0054 (185.18)	0.0055 (181.82)	0.0059 (169.49)
F-test	ns		ns	
CV) %)	27.38		15.87	

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.4.1.2 ประสิทธิภาพการตรึงกาซคาร์บอนไดออกไซด์ (A/Ci curve หรือ A/Ci response curve)

จากการทดลองที่ 2 ได้ศึกษาการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงของใบถั่วเหลืองต่อปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการปั๊มกาซคาร์บอนไดออกไซด์จากเครื่อง microclimate และทำการแปรผันปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วง 0 , 200, 400, 600, 800, 1000 $\mu molmol^{-1}$ โดยกำหนดให้ปริมาณความเข้มแสงมีค่าคงที่เท่ากับ2 , 138 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ และอุณหภูมิห้องประมาณ 28 องศาเซลเซียส โดยวัดใน 2 ระยะคือ ในระยะ V_3 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ได้รับภาวะเครียด และระยะ V_7 เป็นระยะที่ถั่วเหลืองมีการปรับตัวต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้แล้ว และได้ผลการทดลองดังภาพที่ 22 และภาพที่ 23

จากภาพที่ 22 แสดงถึง CO_2 response curve ของใบถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในระยะ V_3 พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงของใบถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกาซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า ที่ปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์ตั้งแต่ 200-20 ppm ($\mu molmol^{-2}$) ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI มีอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC แต่ที่ระดับปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์ตั้งแต่ 600 $\mu molmol^{-2}$ ขึ้นไป พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่เจริญในสภาพ SSC มีค่าใกล้เคียงกับถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI และมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มสูงขึ้นกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI แสดงให้เห็นว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีการตรึงกาซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อนำมาใช้ในการสังเคราะห์แสงได้ดีกว่าถั่วเหลืองที่เจริญในสภาพ CI และจากตารางที่ 6 พบว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI ในระยะ V_3 มีค่า Amax เท่ากับ 7.13 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ ที่ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 611.9 $\mu molmol^{-1}$ ส่วนถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า Amax เท่ากับ 6.74 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ ที่ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 904.2 $\mu molmol^{-1}$ จากค่า Amax ของถั่วเหลืองทั้ง 2 สภาพการปลูก จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า Amax ต่ำกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI เนื่องจากถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC นั้น ดินอยู่ในสภาพที่ชื้นแฉะ ทำให้อัตราการเจริญเติบโตหยุดชะงัก จึงมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง ซึ่งทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดมีค่าต่ำลงด้วย

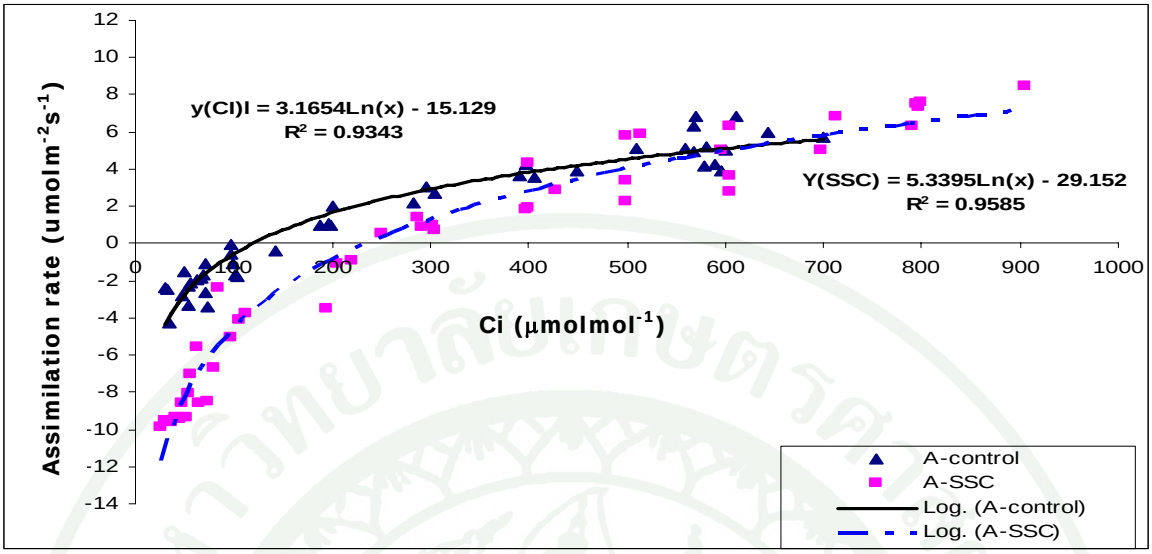
เมื่อพิจารณาถึงค่า Rubisco activity ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพการตรึงกาซคาร์บอนไดออกไซด์ในปฏิกิริยา carboxylation ของกระบวนการสังเคราะห์แสง ที่แสดงในหน่วยของ $molm^{-2}s^{-1}$ โดยคำนวณจาก initial slope ของ A/Ci response curve จากตารางที่ 7 จะเห็นว่า ถั่วเหลืองที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

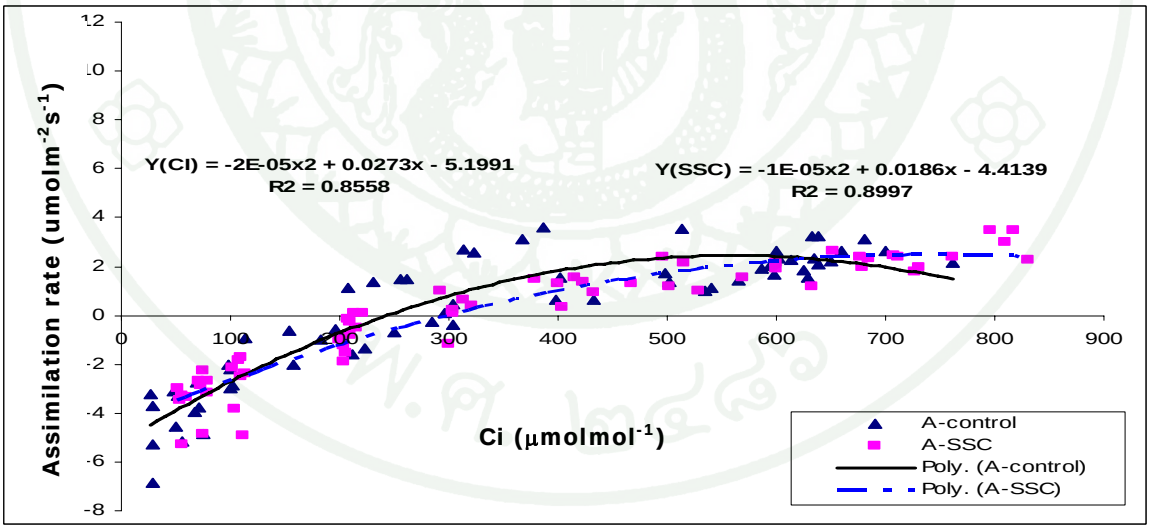
เจริญอยู่ในสภาพ CI ในระยะ V_3 มีค่า Rubisco activity เท่ากับ0.0 336 $molm^{-2}s^{-1}$ ส่วนถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC ในระยะ V_3 มีค่า Rubisco activity เท่ากับ0.0 317 $molm^{-2}s^{-1}$ โดยจะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า Rubisco activity ที่ต่ำกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

จากภาพที่ 23 แสดง CO_2 response curve ของใบถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในระยะ V_7 พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงของใบถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกาซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น เช่นเดียวกับการเจริญในระยะ V_3 ซึ่งจะเห็นได้ว่า อัตราการสังเคราะห์แสงของใบถั่วเหลืองทั้งในสภาพ CI และในสภาพ SSC มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองในสภาพ SSC มีค่าต่ำกว่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และเมื่อพิจาณาจากค่า Amax จากตารางที่ 6 จะเห็นว่า ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI ในระยะ V_7 มีค่า Amax เท่ากับ 3.32 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ที่ปริมาณความเข้มของคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 633.2 $\mu molmol^{-1}$ ส่วนถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC ในระยะ V_7 มีค่า Amax เท่ากับ 2.70 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ที่ปริมาณความเข้มของคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 797 $\mu molmol^{-1}$ จากผลการทดลองดังกล่าวนี้ จะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า Amax ที่ต่ำกว่า ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC ต้องมีการปรับตัวให้เจริญอยู่ได้ในสภาพดินที่อิ่มตัวไปด้วยน้ำ จึงต้องมีการตรึงกาซคาร์บอน ไดออกไซด์ในปริมาณที่มากขึ้น เพื่อเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงให้สูงขึ้น และสามารถเจริญเติบโตต่อไปในสภาวะเช่นนี้ได้ และเมื่อพิจารณาถึงค่า Rubisco activity จากตารางที่ 4.7 พบว่า ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI ในระยะ V_7 มีค่า Rubisco activity เท่ากับ 0.0226 $molm^{-2}s^{-1}$ ส่วนถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC ในระยะ V_7 มีค่า Rubisco activity เท่ากับ 0.0171 $molm^{-2}s^{-1}$ ซึ่งจากผลการทดลองนี้ จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า Rubisco activity ต่ำกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การที่ถั่วเหลืองในสภาพ SSC มีค่า Rubisco activity ที่ต่ำ จึงเป็นผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองในสภาพ SSC มีค่าต่ำด้วยเช่นกัน แต่จะเห็นว่าอัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองในสภาพ SSC มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับอัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองในสภาพ CI มาก (ภาพที่ 23) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC ที่พยายามปรับตัวเพื่อให้สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ภายใต้ภาวะเครียดที่เกิดจากสภาพดินที่อิ่มไปด้วยน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 22 แสดง CO_2 response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง (CO_2 assimilation rate ; µmolm^{-2}s^{-1}) ต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ปากใบพืช (Ci ; µmolmol^{-1}) ของใบถั่วเหลืองในระยะ V_3 ของการทดลองที่ 2 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ



ภาพที่ 23 แสดง CO_2 response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง (CO_2 assimilation rate ; µmolm^{-2}s^{-1}) ต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ปากใบพืช (Ci ; µmolmol^{-1}) ของใบถั่วเหลืองในระยะ V_7 ของการทดลองที่ 2 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (Amax, $\mu molCO_2m^{-2}s^{-1}$) ที่ความเข้มข้นของกาซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 500 $\mu molmol^{-1}$ ขึ้นไป ของใบถั่วเหลืองที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ในระยะ V_3 และ V_7 ของการทดลองที่ 2 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ โดยนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ

ต้นที่	V3		V7	
	CI	SSC	CI	SSC
1	5.75	7.38	4.08	2.62
2	5.18	3.43	2.63	2.30
3	6.84	8.50	2.34	3.47
4	10.75	7.64	4.24	2.41
เฉลี่ย	7.13	6.74	3.32	2.70
F-test	ns		ns	
CV) %)	34.34		24.51	

ตารางที่ 7 Rubisco activity ($molm^{-2}s^{-1}$) ของใบถั่วเหลืองที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ในระยะ V_3 และ V_7 ของการทดลองที่ 2 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ โดยนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ

ต้นที่	V3		V7	
	CI	SSC	CI	SSC
1	0.0236	0.0285	0.0441	0.0231
2	0.0412	0.0185	0.0141	0.0188
3	0.0202	0.0339	0.0254	0.0126
4	0.0495	0.0459	0.0070	0.0138
เฉลี่ย	0.0336	0.0317	0.0226	0.0171
F-test	ns		*	
CV) %)	38.86		24.87	

2.4.2 ผลการศึกษาของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ2549.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.4.2.1 ประสิทธิภาพการใช้แสง (A/Q curve หรือ light response curve)

จากการทดลองที่ 3 ได้วัดอัตราการสังเคราะห์แสงของใบถั่วเหลือง โดยการแปรผันสภาพแสงเหนือ leaf chamber ด้วยการใช้แสงจากหลอดฮาโลเจน (ยี่ห้อ Osram 50W) และทำการบันทึกอัตราการสังเคราะห์แสงของใบพืช และปรับความเข้มแสงให้อยู่ในช่วง 0 , 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ โดยกำหนดให้ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 330ppm และอุณหภูมิห้องประมาณ 27 องศาเซลเซียส โดยวัดใน 2 ระยะคือ ในระยะ V_3 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ได้รับภาวะเครียด และระยะ V_7 เป็นระยะที่ถั่วเหลืองมีการปรับตัวต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้แล้ว และได้ผลการทดลองดังภาพที่ 24 และ 25

จากภาพที่ 24 แสดงถึง light response curve ของใบถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในระยะ V_3 ซึ่งพบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มแสงสูงขึ้น ทั้งในถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI และ SSC แต่จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI มีอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC และจากตารางที่ 8 พบว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI มีค่า Amax เท่ากับ 5.38 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ ที่ความเข้มแสงประมาณ1 , 797$\mu molm^{-2}s^{-1}$ ส่วนถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่า Amax เท่ากับ 5.79 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ ที่ความเข้มแสงประมาณ1 ,614 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงกว่าถั่วเหลืองในสภาพ CI แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

เมื่อพิจารณาถึงค่า quantum yield (ϕ) และค่า quantum requirement ของถั่วเหลืองในระยะ V_3 จากตารางที่ 9 พบว่า ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI มีค่า ϕ เท่ากับ 0.0093 $moleCO_2 mole^{-1}$PPFD และมีค่า quantum requirement เท่ากับ 107.53 $mole^{-1}$PPFD$moleCO_2$ ส่วนถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า ϕ เท่ากับ 0.0101 $moleCO_2 mole^{-1}$PPFD และมีค่า quantum requirement เท่ากับ 99.01 $mole^{-1}$ PPFD$moleCO_2$ ซึ่งจะเห็นว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า quantum yield ที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การที่ถั่วเหลืองในสภาพ SSC มีค่า quantum yield ที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการตรึงกาซคาร์บอนไดออกไซด์ของถั่วเหลืองในสภาพ SSC ที่ดีกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI แต่ประสิทธิภาพการตรึงกาซคาร์บอนไดออกไซด์ของถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC นี้อาจจะมีไม่มากพอที่จะส่งผลให้ถั่วเหลืองมีอัตราการสังเคราะห์แสงที่เพิ่มสูงขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกับถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพปรกติได้ (ภาพที่ 26) ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากการที่ถั่วเหลืองได้รับภาวะเครียดจากการเจริญเติบโตอยู่ภายใต้สภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จึงทำให้กระบวนการทางชีวเคมีต่างๆ รวมทั้งกระบวนการสังเคราะห์แสงถูกยับยั้ง และเป็นผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลงด้วย

จากภาพที่ 25 แสดงถึง light response curve ของใบถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในระยะ V_7 ซึ่งเป็นระยะของถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC เริ่มมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้แล้ว และจะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI และในสภาพ SSC มีอัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มแสงสูงขึ้น แต่ในระยะ V_7 นี้ จะพบว่า ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI ในทุกๆ ปริมาณความเข้มแสง และเมื่อพิจารณาถึงค่า Amax จากตารางที่ 8 จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI มีค่า Amax เท่ากับ 6.25 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ ที่ความเข้มแสงประมาณ 1,400 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ ส่วนถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า Amax เท่ากับ 6.41 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ ที่ความเข้มแสงประมาณ 1,432 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ ซึ่งจะเห็นว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า Amax ที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

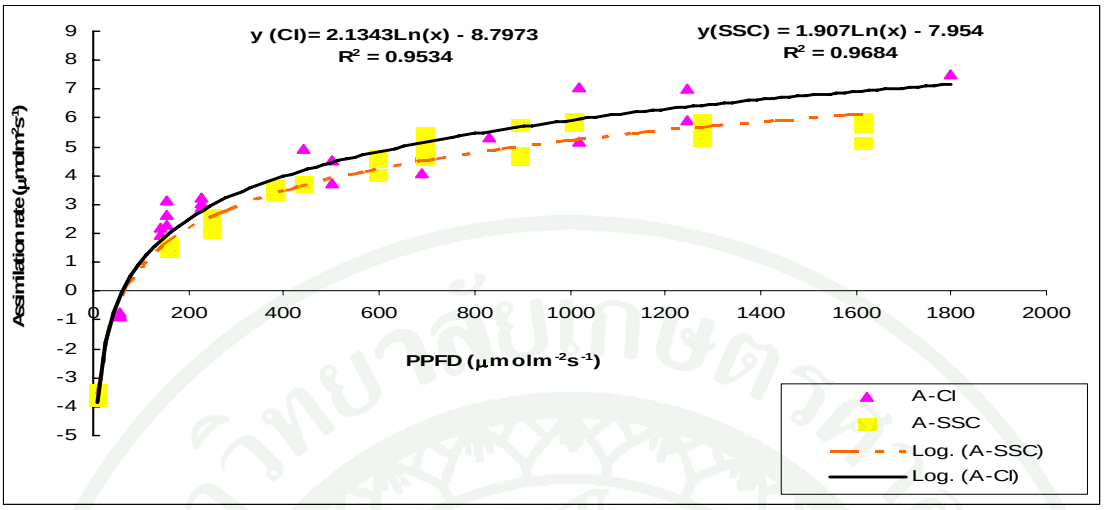
จะเห็นได้ว่า ในการทดลองที่ 3 นี้ ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI อย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นถึงการปรับตัวของถั่วเหลืองให้เข้ากับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้เป็นอย่างดี และมีการเพิ่มกระบวนการทางสรีรวิทยาภายในต้นพืชให้มากขึ้น เพื่อชดเชยกับช่วงเวลาที่มีการเจริญเติบโตอยู่ในสภาวะเครียด จึงส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมาก และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI

เมื่อพิจารณาถึงค่า quantum yield (ϕ) และค่า quantum requirement ของถั่วเหลืองในระยะ V_7 จากตารางที่ 9 พบว่า ถั่วเหลืองที่เจริญในสภาพ CI มีค่า ϕ เท่ากับ 0.0053 $moleCO_2\,mole^{-1}PPFD$ และมีค่า quantum requirement เท่ากับ 188.68 $mole^{-1}PPFDmoleCO_2$ ส่วนถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า ϕ เท่ากับ 0.0078 $moleCO_2\,mole^{-1}PPFD$ และมีค่า quantum requirement เท่ากับ 128.20 $mole^{-1}PPFDmoleCO_2$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า quantum yield สูงกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI แต่มีค่า quantum requirement ที่ต่ำกว่าถั่วเหลืองในสภาพ CI เนื่องจากค่า quantum

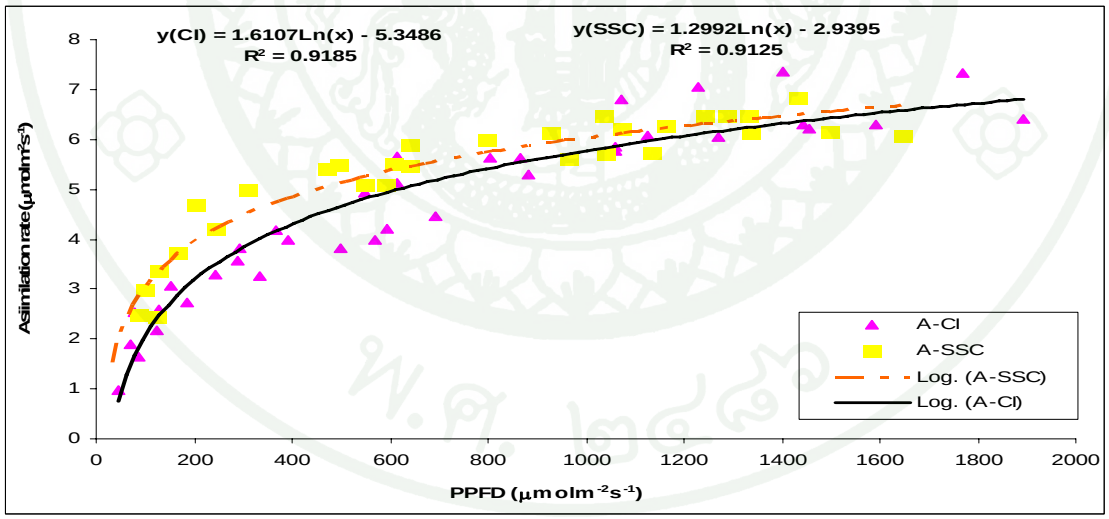
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

yield เป็นส่วนกลับของค่า quantum requirement นั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับค่า Amax ของถั่วเหลืองในสภาพ SSC ที่มีระดับปริมาณความเข้มแสงในจุด Amax ที่สูงกว่าถั่วเหลืองในสภาพ CI (ตารางที่ 9)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 24 แสดง light response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง (CO_2 assimilation rate ; $\mu molm^{-2}s^{-1}$) ต่อปริมาณแสง (PPFD ; $\mu molm^{-2}s^{-1}$) ของใบถั่วเหลืองในระยะ V_3 ของการทดลองที่ 3 ที่ปลูกในกระถางช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ



ภาพที่ 25 แสดง light response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง (CO_2 assimilation rate ; $\mu molm^{-2}s^{-1}$) ต่อปริมาณแสง (PPFD ; $\mu molm^{-2}s^{-1}$) ของใบถั่วเหลืองในระยะ V_7 ของการทดลองที่ 3 ที่ปลูกในกระถางช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (Amax, $\mu molCO_2m^{-2}s^{-1}$) ที่ความเข้มแสงประมาณ 1,000 $\mu molCO_2m^{-2}s^{-1}$ ขึ้นไป ของใบถั่วเหลืองที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ในระยะ V_3 และ V_7 ของการทดลองที่ 3 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ยายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ โดยนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ

ต้นที่	V3		V7	
	CI	SSC	CI	SSC
1	5.87	5.48	4.93	6.48
2	5.94	5.79	6.30	5.55
3	4.74	5.99	6.42	6.14
4	4.97	5.92	7.35	7.49
เฉลี่ย	5.38	5.79	6.25	6.41
F-test	ns		ns	
CV) %)	7.65		14.32	

ตารางที่ 9 ค่า quantum yield ($molCO_2mol^{-1}PPFD$) และ quantum requirement (ตัวเลขในวงเล็บ) ของใบถั่วเหลืองที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ในระยะ V_3 และ V_7 ของการทดลองที่ 3 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ โดยนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ

ต้นที่	V3		V7	
	CI	SSC	CI	SSC
1	0.0146 (68.49)	0.0144 (69.44)	0.0030 (333.33)	0.0059 (169.49)
2	0.0071 (140.84)	0.0098 (102.04)	0.0054 (185.18)	0.0061 (163.93)
3	0.0069 (144.93)	0.0091 (109.89)	0.0068 (147.06)	0.0071 (140.84)
4	0.0085 (117.65)	0.0070 (142.85)	0.0061 (163.93)	0.0123 (81.30)
เฉลี่ย	0.0093 (107.53)	0.0101 (99.01)	0.0053 (188.68)	0.0078 (128.20)
F-test	ns		ns	
CV) %)	35.00		34.70	

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.4.2.2 ประสิทธิภาพการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (A/Ci curve หรือ light response curve)

การทดลองที่ 3 ได้ศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงของใบถั่วเหลือง โดยศึกษาการตอบสนองของใบถั่วเหลืองในการสังเคราะห์แสงของต่อปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้ใช้ไป โดยการปั๊มกาซคาร์บอนไดออกไซด์จากเครื่อง microclimate และทำการแปรผันปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วง 0 , 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600 $\mu molmol^{-1}$ โดยกำหนดให้ปริมาณความเข้มแสงมีค่าคงที่เท่ากับ 1,035 $\mu molm^{-2}s^{-}$ และอุณหภูมิห้องประมาณ 28 องศาเซลเซียส โดยวัดใน 2 ระยะคือ ในระยะ V_3 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ได้รับภาวะเครียด และระยะ V_7 เป็นระยะที่ถั่วเหลืองมีการปรับตัวต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้แล้ว และได้ผลการทดลองดังภาพที่ 26 และภาพที่ 27

จากภาพที่26 แสดงถึง CO_2 response curve ของใบถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในระยะ V_3 พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงของใบถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกาซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC ในทุก ๆ ปริมาณความเข้มข้นของกาซคาร์บอนไดออกไซด์ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไปเรื่อยๆ อัตราการสังเคราะห์แสงก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อพิจาณาจากค่า Amax จากตารางที่ 10 จะเห็นว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI มีค่า Amax เท่ากับ 12. 26$\mu molm^{-2}s^{-1}$ที่ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 1,203 $\mu molmol^{-1}$ ส่วนถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า Amax เท่ากับ 1 1.85$\mu molm^{-2}s^{-1}$ที่ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 1,187.7 $\mu molmol^{-1}$ ซึ่งถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า Amax ที่ต่ำกว่าและมีปริมาณการตรึงกาซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

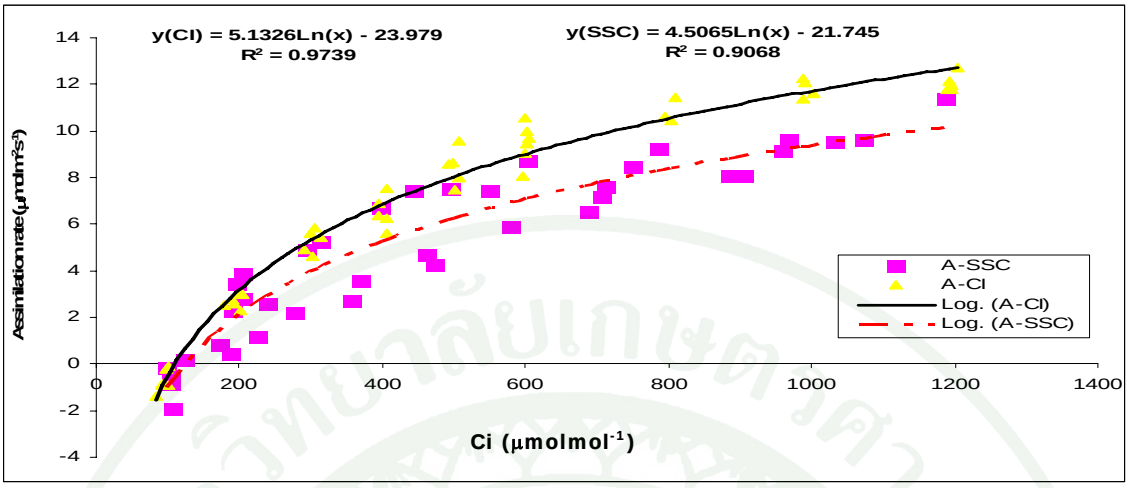
เมื่อพิจารณาถึงค่า Rubisco activity จากตารางที่ 11 พบว่า ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในระยะ V_3 ในสภาพ CI มีค่า Rubisco activity เท่ากับ 0.0426 $molm^{-2}s^{-1}$ ส่วนถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า Rubisco activity เท่ากับ 0.0223 $molm^{-2}s^{-1}$ จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า Rubisco activity ที่ต่ำกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การที่ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า Rubisco activity ต่ำกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI จึงเป็นผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองในสภาพ SSC มีค่าลดต่ำลงตามไปด้วย เนื่องจากถั่วเหลืองในสภาพ SSC ต้องเจริญเติบโตอยู่ในดินที่ชื้นแฉะ ทำให้กระบวนการเจริญเติบโตหยุดชะงัก จึงทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

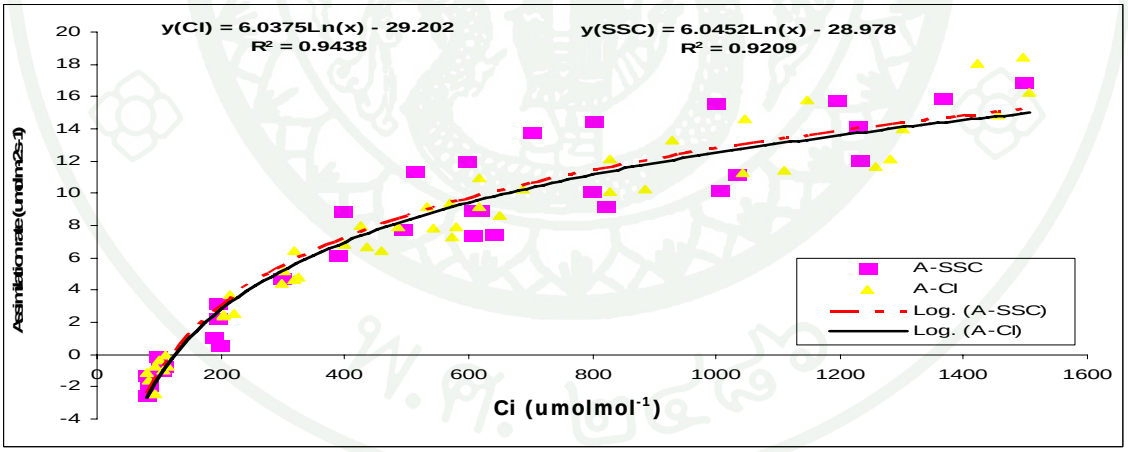
จากภาพที่ 27 แสดง CO_2 response curve ของใบถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในระยะ V_7 พบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงของใบถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกาซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองในระยะ V_3 ซึ่งในระยะ V_7 นี้จะเห็นว่า อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองในทั้ง 2 สภาพการปลูก มีอัตราการสังเคราะห์แสงที่ใกล้เคียงกัน แต่ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC มีอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI เล็กน้อย และจากตารางที่ 10 จะเห็นว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI มีค่า Amax เท่ากับ 13.97 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ที่ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ1 ,506 $\mu molmol^{-1}$ ส่วนถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า Amax เท่ากับ 15.73 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ที่ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 1,496 $\mu molmol^{-1}$ ซึ่งถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า Amax ที่มากกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

เมื่อพิจารณาถึงค่า Rubisco activity จากตารางที่ 11 พบว่า ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI ในระยะ V_7 มีค่า Rubisco activity เท่ากับ 0.0274 $molm^{-2}s^{-1}$ ส่วนถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC ในระยะ V_7 มีค่า Rubisco activity เท่ากับ 0.0291 $molm^{-2}s^{-1}$ ซึ่งถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC นั้น มีประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ Rubisco ที่สูงกว่า และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การที่ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า Rubisco activity ที่สูงกว่า จึงทำให้มีอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ CI ซึ่งถั่วเหลืองในสภาพ SSC ในระยะ V_7 นี้เป็นระยะที่มีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพดินที่อิ่มตัวไปด้วยน้ำแล้ว และมีการเพิ่มกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ ภายในเซลล์ให้มากขึ้น เพื่อชดเชยกับช่วงเวลาที่ต้องเผชิญกับสภาวะเครียด จึงส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มสูงขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 26 แสดง CO_2 response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง (CO_2 assimilation rate ; µmolm^{-2}s^{-1}) ต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ปากใบพืช (Ci ; µmolmol^{-1}) ของใบถั่วเหลืองในระยะ V_3 ของการทดลองที่ 3 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ



ภาพที่ 27 แสดง CO_2 response curve ของอัตราการสังเคราะห์แสง (CO_2 assimilation rate ; µmolm^{-2}s^{-1}) ต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ปากใบพืช (Ci ; µmolmol^{-1}) ของใบถั่วเหลืองในระยะ V_7 ของการทดลองที่ 3 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (Amax, μmol$CO_2$$m^{-2}$$s^{-1}$) ที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ1 ,0 00 μmolmol^{-1} ขึ้นไป ของใบถั่วเหลืองที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ในระยะ V_3 และ V_7 ของการทดลองที่ 3 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ โดยนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ

ต้นที่	V3		V7	
	CI	SSC	CI	SSC
1	12.24	12.83	15.85	14.19
2	12.73	9.63	16.92	16.24
3	11.80	12.65	12.05	18.45
4	12.28	12.28	11.05	14.03
เฉลี่ย	12.26	11.85	13.97	15.73
F-test	*		ns	
CV) %)	10.32		17.98	

ตารางที่ 11 Rubisco activity (molm^{-2}s^{-1}) ของใบถั่วเหลืองที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ในระยะ V_3 และ V_7 ของการทดลองที่ 3 ที่ปลูกในกระถาง ช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ โดยนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ

ต้นที่	V3		V7	
	CI	SSC	CI	SSC
1	0.0361	0.0223	0.0301	0.0419
2	0.0912	0.0184	0.0269	0.0154
3	0.0244	0.0220	0.0280	0.0361
4	0.0187	0.0265	0.0248	0.0229
เฉลี่ย	0.0426	0.0223	0.0274	0.0291
F-test	*		*	
CV) %)	8.32		8.96	

2.5 อัตราการคายน้ำ (transpiration rate ; E)

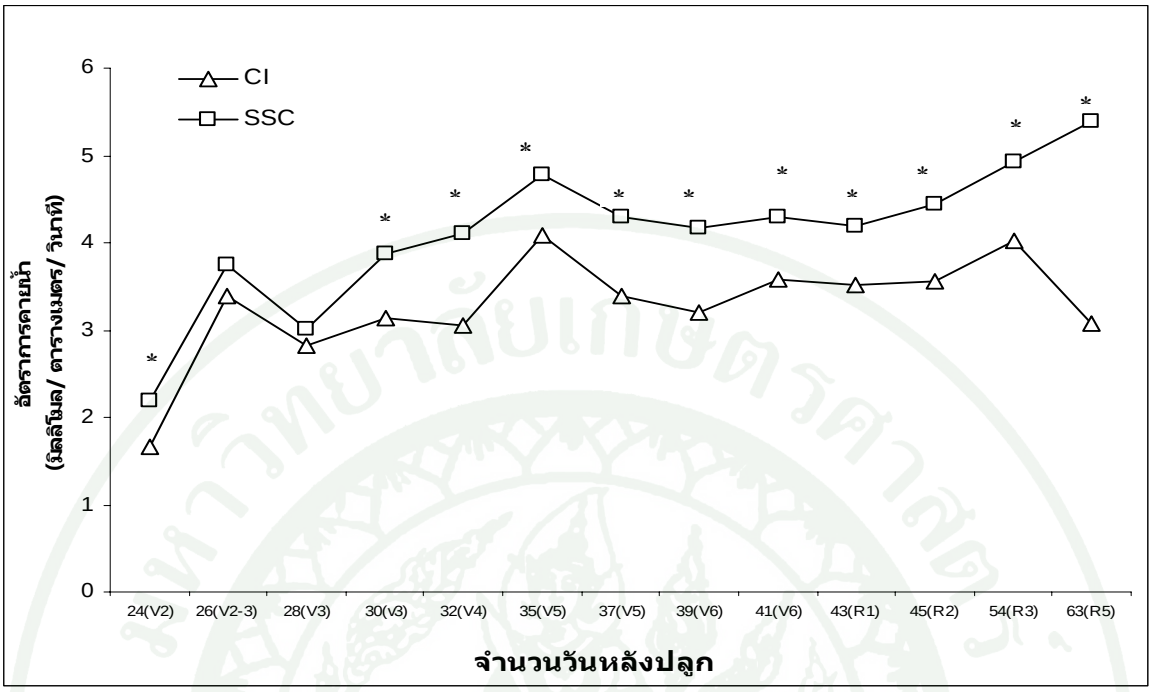
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การศึกษาเกี่ยวกับอัตราการคายน้ำ ได้ใช้เครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสงรุ่น LCA 4 ในการทดลองที่ 3 2 และ 4 โดยจากภาพที่28 ของการทดลองที่ 2 จะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีอัตราการคายน้ำสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ในทุกระยะของการเจริญเติบโต และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่ที่ระยะเวลา 24 วันหลังปลูกหรือระยะ V_2 และมีความแตกต่างกันมากยิ่งขึ้นที่ระยะ 30 วันหลังปลูกหรือที่ระยะ V_3 จนถึงที่ระยะเวลา 63 วันหลังปลูกหรือที่ระยะ R_5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่าความเข้มข้นของโมเลกุลของน้ำในใบมากกว่าอากาศภายนอก และทำให้โมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในใบบริเวณปากใบ มีการเคลื่อนที่ออกมาสู่บรรยากาศภายนอก ทำให้ต้นถั่วเหลืองมีอัตราการคายน้ำที่มากขึ้นกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI

จากภาพที่29 ของการทดลองที่ 3 จะเห็นว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีอัตราการคายน้ำที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 โดยพบว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีอัตราการคายน้ำที่สูงกว่าและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ซึ่งจะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีอัตราการคายน้ำที่สูงกว่าตั้งแต่ที่ระยะเวลา 9 วันหลังปลูกหรือที่ระยะ V_1 หลังจากนั้น อัตราการคายน้ำของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC จะสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI โดยตลอด และเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนตั้งแต่ที่ระยะเวลา 19 วันหลังปลูกหรือที่ระยะ V_3 จนถึงระยะเวลา 76 วันหลังปลูกหรือที่ระยะ R_6

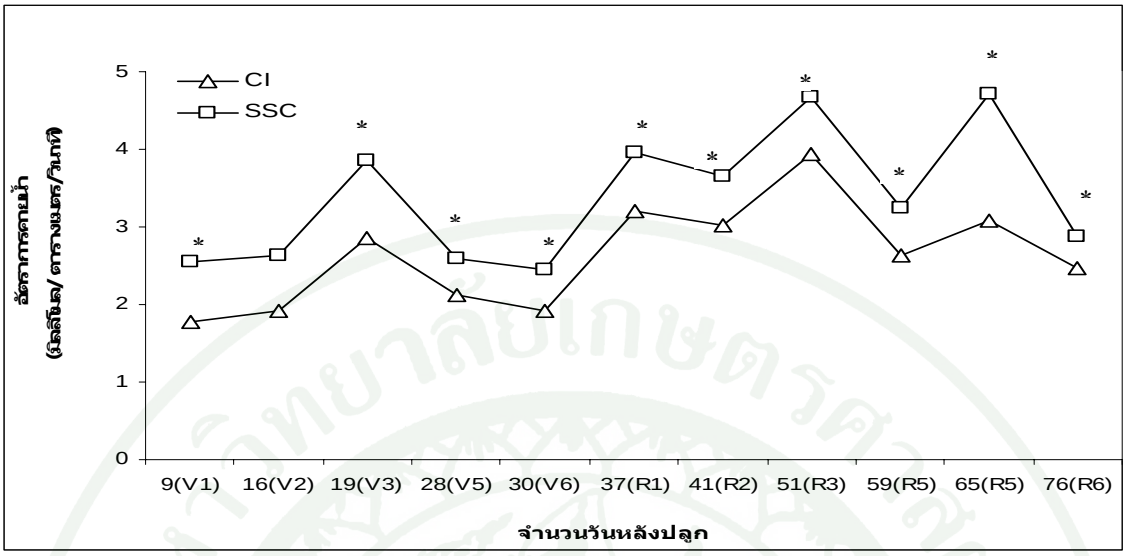
จากภาพที่ 30 ของการทดลองที่ 4 จะเห็นได้ว่า การตอบสนองของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC มีอัตราการคายน้ำที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 โดยจะเห็นได้ว่า ที่ระยะเวลาตั้งแต่ 9 วันหลังปลูกหรือที่ระยะ V_1 จนถึงที่ระยะเวลา 76 วันหลังปลูกหรือที่ระยะ R_6 ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC มีอัตราการคายน้ำสูงกว่าและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระยะเวลา 16 วันหลังปลูก (V_2) , 28 วันหลังปลูก (V_5) , 30 วันหลังปลูก (V_6) , 37 วันหลังปลูก (R_1) , 41 วันหลังปลูก (R_2) , 59 วันหลังปลูก (R_5) , 65 วันหลังปลูก (R_5) และที่ระยะเวลา 76 วันหลังปลูก (R_6) ซึ่งแนวโน้มการตอบสนองของอัตราการคายน้ำต่อการปลูกในสภาพ SSC ให้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงกับการทดลองที่ผ่านมาในข้างต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

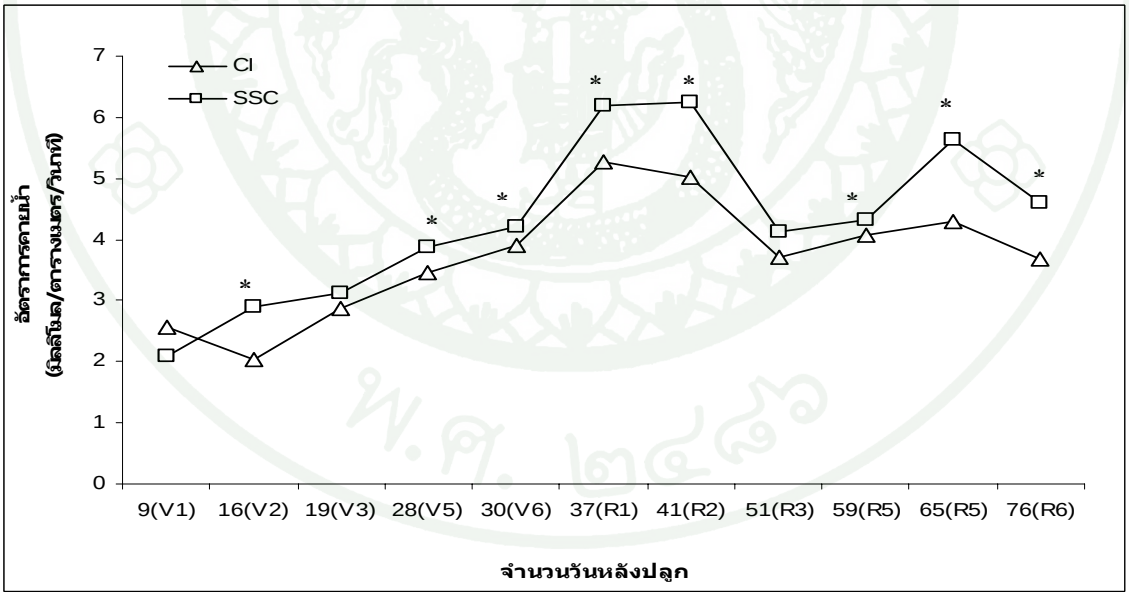


ภาพที่ 28 อัตราการคายน้ำ (มิลลิโมล/ตารางเมตร/วินาที) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 29 อัตราการคายน้ำ (มิลลิโมล/ตารางเมตร/วินาที) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน ปีพ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ



ภาพที่ 30 อัตราการคายน้ำ (มิลลิโมล/ตารางเมตร/วินาที) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน ปีพ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.6 ความต้านทานการเปิดปากใบ (stomatal resistance ; Rs)

ในการศึกษาความต้านการเปิดปากใบ ได้ใช้เครื่องมือ 2 ชนิด คือ Porometer รุ่น AP4 ซึ่งใช้ศึกษาในการทดลองที่ 1 โดยสามารถวัดได้เพียงข้อมูลของความต้านการเปิดปากใบ (stomatal resistance ; Rs) เท่านั้น แต่สำหรับการทดลองที่ 2 3 และ 4 ได้ใช้เครื่องมือวัดอัตราการสังเคราะห์แสงรุ่น AP4 วัดค่าความต้านทานการปิดเปิดปากใบ (stomatal resistance, Rs) แทน Porometer รุ่น AP4 ซึ่งในการทดลองที่ 1 นั้น เครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสงรุ่น LCA 4 อยู่ในระยะที่ต้องส่งไปตรวจสอบและซ่อมแซม จึงต้องใช้เครื่อง Porometer รุ่น AP4 ในการทดลองที่ 1 แทน

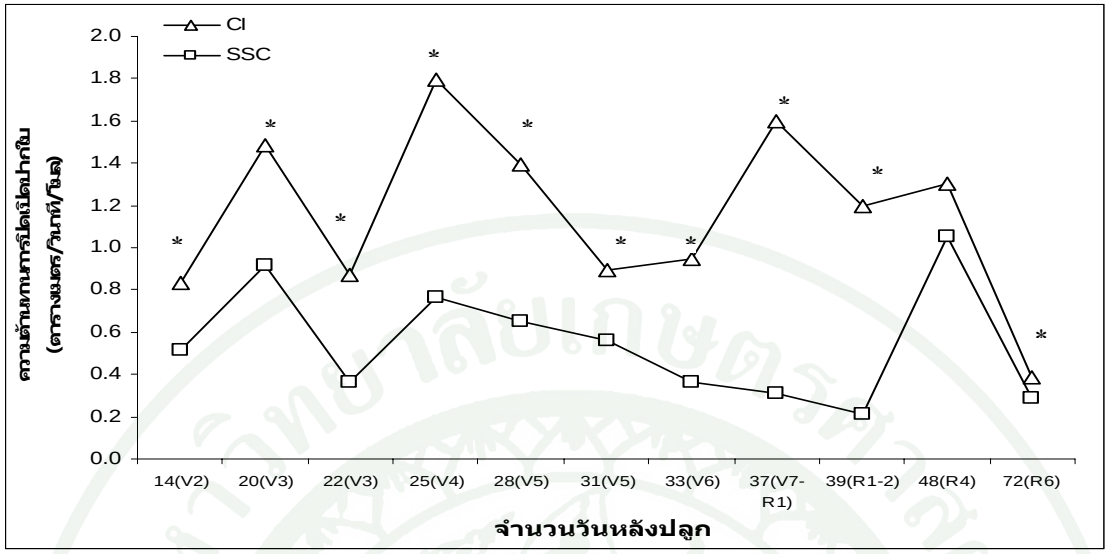
จากภาพที่ 31 แสดงให้เห็นถึงค่าความต้านทานการเปิดปากใบที่วัดโดย Porometer ซึ่งมีหน่วยเป็นตารางเมตร/วินาที/โมล ($m^{-2}s^{-1}$ mol) ของการทดลองที่ 1 จากภาพดังกล่าว จะเห็นว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่าความต้านทานการเปิดปากใบที่น้อยกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ในทุกระยะการเจริญเติบโต และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระยะเวลา 14 วันหลังปลูก (V_2), 22 วันหลังปลูก (V_3), 25 วันหลังปลูก (V_4), 28 วันหลังปลูก (V_5) , 31 วันหลังปลูก (V_5), 33 วันหลังปลูก) V_6), 37 วันหลังปลูก (V_7-R_1) , 39 วันหลังปลูก (R_{1-2}) และที่ระยะเวลา 72 วันหลังปลูก (R_6) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีการเปิดปากใบมากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ซึ่งถั่วเหลืองได้ใช้กลไกของการเปิดปากใบให้มากขึ้น เพื่อที่จะเร่งอัตราการคายน้ำให้มากขึ้น เนื่องจากถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตอยู่ในสภาพที่มีความชื้นสูง การเพิ่มการเปิดปากใบให้มากขึ้น และลดค่าความต้านทานการเปิดปากใบให้น้อยลง ทำให้อัตราการตรึงของ CO_2 เข้าสู่ปากใบ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงมีมากขึ้นด้วย และเมื่อเปรียบเทียบถับถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพปรกติหรือสภาพ CI ซึ่งมีค่า stomatal resistance ที่สูงกว่า ทำให้มีการเปิดปากใบที่น้อยกว่า และมักจะพยายามปิดปากใบเพื่อสงวนน้ำเอาไว้ในลำต้น ไม่ให้สูญเสียไปโดยการคายน้ำผ่านปากใบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตอนกลางวัน

จากภาพที่ 32 ของการทดลองที่ 2 ในช่วงปลายฤดูหนาว เดือนพฤศจิกายน พ.ศ 2547. โดยใช้เครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสงรุ่น LCA 4ศึกษาหาความต้านทานการเปิดปากใบ (stomatal resistance, Rs) พบว่า แนวโน้มของการตอบสนองของค่าความต้านทานการเปิดปากใบของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่าต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI โดยรวมจะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตอยู่ในสภาพ SSC มีค่า Rs ต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ทุกระยะการเจริญเติบโต และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระยะเวลา 30 วันหลังปลูก (V_3) , 32 วันหลังปลูก (V_4) , 39วันหลังปลูก (V_6) , 45วันหลังปลูก (R_2) และที่ระยะเวลา 63 วันหลังปลูก (R_5)

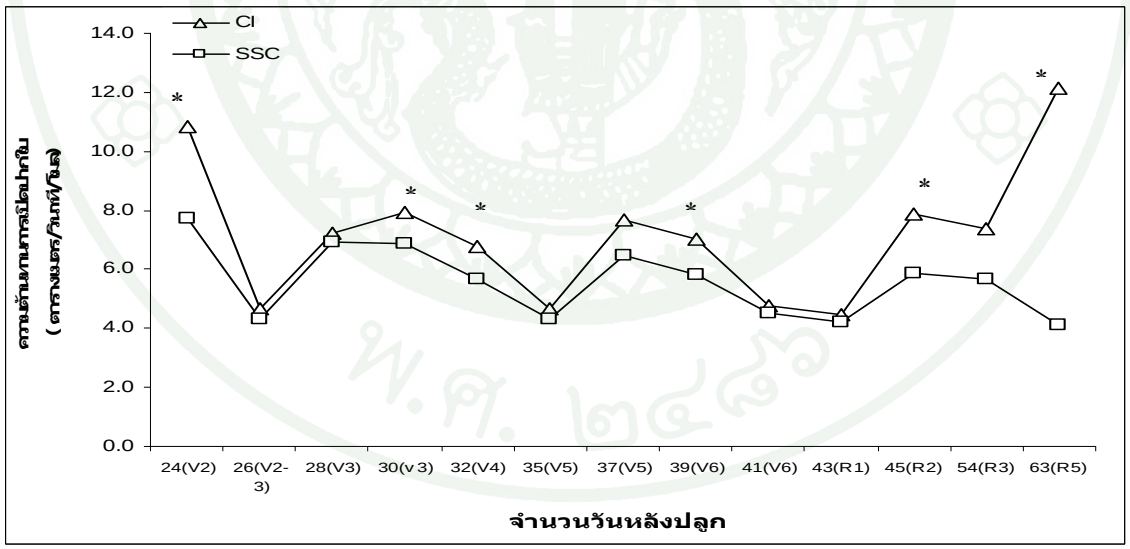
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตอบสนองของค่าความต้านทานการเปิดปากใบในลักษณะเช่นนี้ สามารถพบได้ในการทดลองที่ 3 และ 4 ของการทดลองในปี พ.ศ.2549 โดยมีการตอบสนองดังนี้ คือ จากภาพที่ 33 ของการทดลองที่ 3 ที่เป็นการทดลองในกระถาง จะเห็นว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่าความต้านทานการเปิดปากใบที่ต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ในทุกระยะการเจริญเติบโต และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระยะเวลา 19 วันหลังปลูก (V_3), 30 วันหลังปลู (V_6), 37 วันหลังปลูก (R_1) เช่นเดียวกับการทดลองที่ 4 จากภาพที่ 34 นั้น จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่าความต้านทานการเปิดปากใบต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ในทุกระยะการเจริญเติบโตและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระยะเวลา 16 วันหลังปลูก (V_2) , 28วันหลังปลูก (V_5), 30วันหลังปลูก (V_6), 41วันหลังปลูก (R_2), 51วันหลังปลูก (R_3), 59วันหลังปลูก (R_5), 65 วันหลังปลูก (R_5) และที่ระยะเวลา 76 วันหลังปลูก (R_6)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

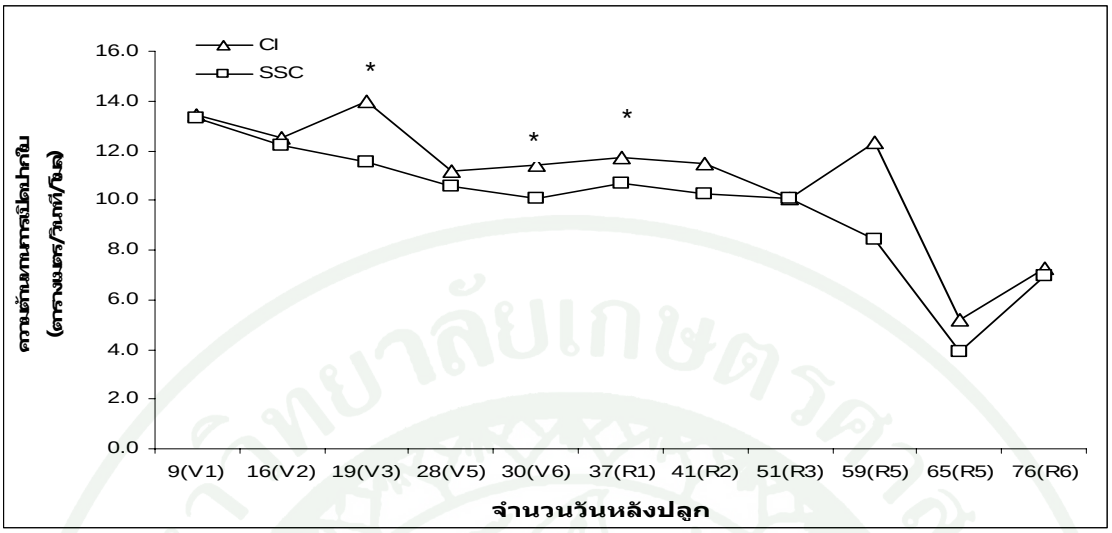


ภาพที่ 31 ความต้านทานการปิดเปิดปากใบ (ตารางเมตร/วินาที/โมล) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

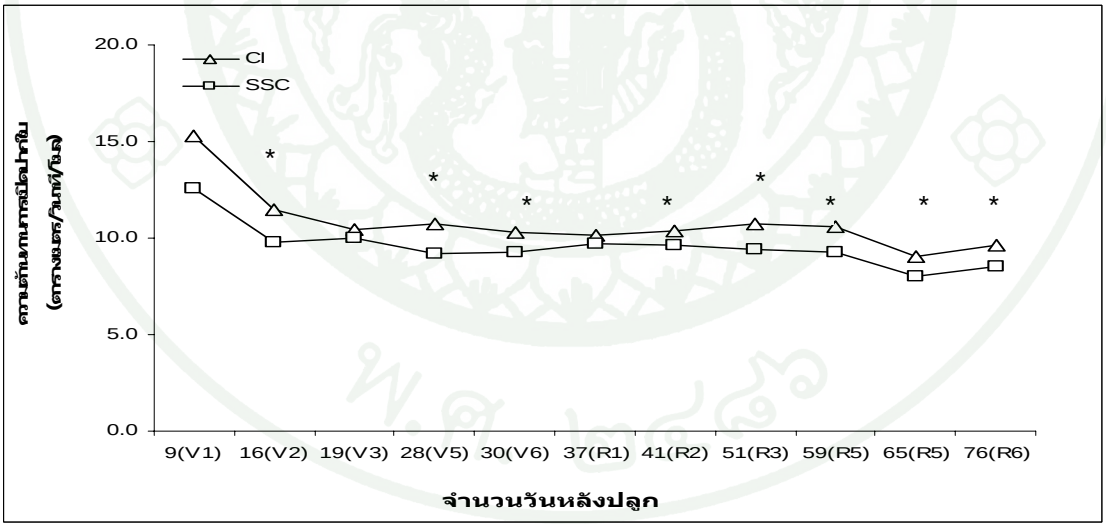


ภาพที่ 32 ความต้านทานการปิดเปิดปากใบ (ตารางเมตร/วินาที/โมล) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงต้นฤดูหนาวพ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 33 ความต้านทานการปิดเปิดปากใบ (ตารางเมตร/วินาที/โมล) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ



ภาพที่ 34 ความต้านทานการปิดเปิดปากใบ (ตารางเมตร/วินาที/โมล) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

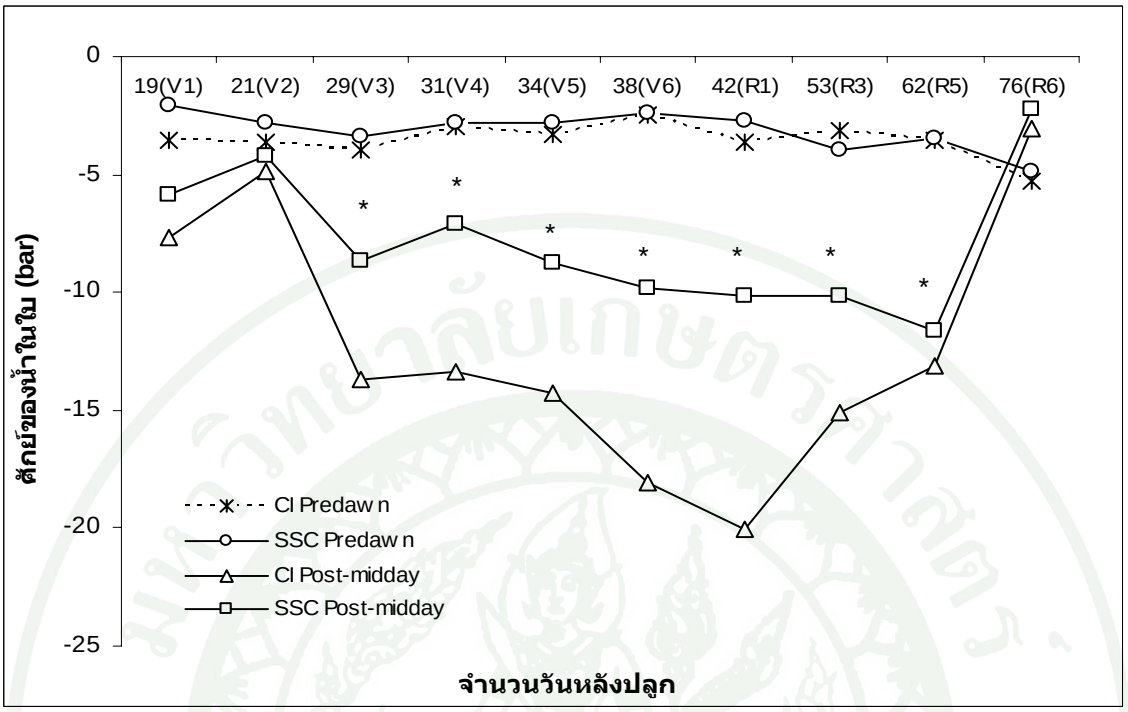
2.7 ค่าศักย์ของน้ำในใบ (Leaf water potential , LWP)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การศึกษาเกี่ยวกับค่าศักย์ของน้ำในใบหรือค่า leaf water potential ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงระดับพลังงานหรือศักย์ของน้ำภายในใบ มีหน่วยเป็น bar โดยใช้ Pressure bomb เป็นเครื่องมือในการวัด ซึ่งได้ศึกษาในการทดลองที่ 2 เท่านั้น โดยเป็นการศึกษาเพิ่มเติมในด้านการตอบสนองทางสรีรวิทยาให้ละเอียดยิ่งขึ้น และได้ทำการวัดใน 2 ช่วงเวลา คือ ในช่วงเวลา 03.00 น ซึ่งเป็นช่วงเวลาก่อนพระอาทิตย์ขึ้น (predawn) และในช่วงเวลา 15.00 น .ซึ่งเป็นเวลาบ่าย (post-midday) และวัดเปรียบเทียบกันทั้งในถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC และในสภาพ CI

จากการศึกษาในครั้งนี้ จากภาพที่35 จะเห็นได้ว่า ในช่วง predawn ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่าศักย์ของน้ำในใบสูงกว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI แต่ไม่ค่อยเห็นความแตกต่างกันมากนัก ส่วนในช่วงเวลา post-midday นั้น จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่าศักย์ของน้ำในใบสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI และมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยจะเห็นว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่าศักย์ของน้ำภายในใบที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI อย่างมากที่ระยะเวลาตั้งแต่ 21 วันหลังปลูก (V_2) จนถึงที่ระยะเวลา 62 วันหลังปลูก (R_5) ซึ่งจากการตอบสนองในลักษณะนี้ สามารถกล่าวได้ว่า การที่ถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตอยู่ในสภาพ SSC หรือในสภาพที่ดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำนั้น ถั่วเหลืองสามารถดูดและลำเลียงน้ำจากดินเข้าสู่ต้นพืชได้มาก จึงเป็นผลทำให้ค่า water potential ภายในใบสูงไปด้วย ซึ่งตรงข้ามกับถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI หรือในสภาพปรกติ ถึงแม้จะมีการให้น้ำตามปรกติและสม่ำเสมอ แต่ในช่วง post-midday อากาศร้อนและความเข้มแสงสูง ส่งผลให้น้ำในดินระเหยออกไป จึงทำให้น้ำในดินมีน้อย และถั่วเหลืองเกิดการขาดน้ำ จึงทำให้ถั่วเหลืองต้องมีการตอบสนองต่อการขาดน้ำ โดยมีการปิดปากใบมากขึ้น เพื่อสงวนน้ำในต้นพืชเอาไว้ จึงทำให้มีค่า Rs สูงกว่าต้นถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC แต่ปรากฏการณ์ของการขาดน้ำในต้นถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI นั้น เกิดขึ้นเพียงช่วงระยะเวลาสั้นๆ หลังจากที่ได้รับน้ำตามปรกติ ถั่วเหลืองในสภาพ CI ก็จะมีค่า Rs ที่ใกล้เคียงกับต้นถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 35 ค่าศักย์ของน้ำในใบ (Leaf water potential , bar) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.8 ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นต์ (chlorophyll fluorescence) ในใบของถั่วเหลืองหรือกิจกรรมของคลอโรฟิลล์ในใบถั่วเหลือง

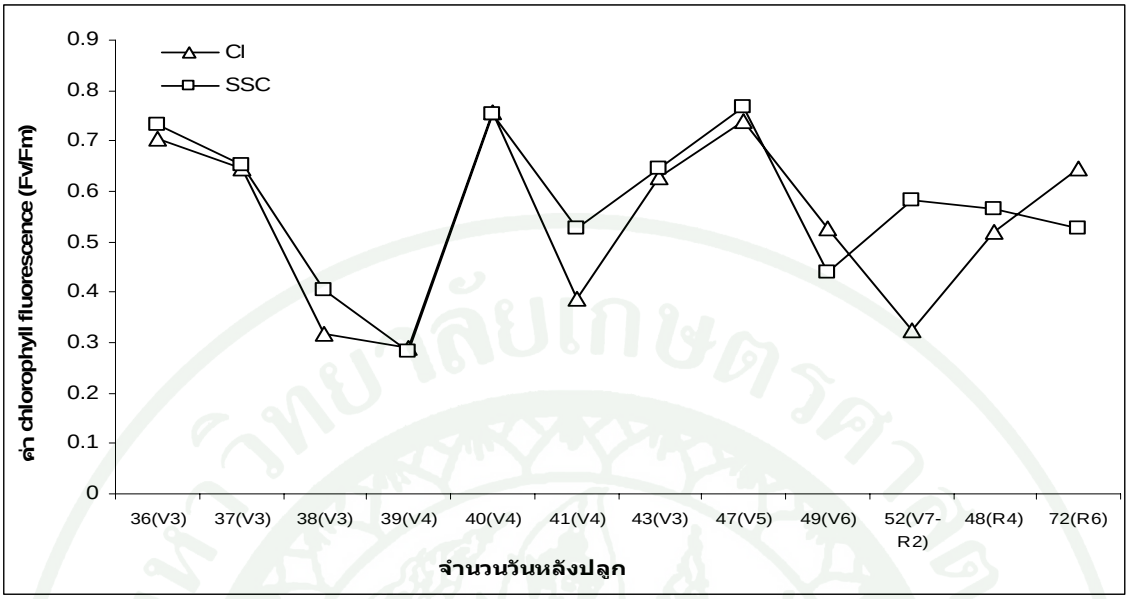
การศึกษาในเรื่องของ chlorophyll fluorescence เพื่อวัดถึงกิจกรรม (activity) ของคลอโรฟิลล์ภายในใบของการทดลองที่ 1 2 3 และ 4 โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Chlorophyll Fluorometer หรือ Leaf Chlorophyll Fluorescence รุ่น FMS1 (Plant Efficiency Analyser ; PAM) ซึ่งจากภาพที่ 36 ของการทดลองที่ 1 จะเห็นว่าในช่วงแรกของการเจริญเติบโตตั้งแต่ที่ระยะเวลา 36 วันหลังปลูก (V_3) จนถึงที่ระยะเวลา 47 วันหลังปลูก (V_5) ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่า chlorophyll fluorescence ในใบสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI จากนั้นจะเห็นว่าหลังจากที่ระยะเวลา 49 วันหลังปลูก (V_6) เป็นต้นไป ค่า chlorophyll fluorescence ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC จะมีค่า chlorophyll fluorescence ต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI แต่จากการตอบสนองดังกล่าว พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับภาพที่ 4. 33 ของการทดลองที่ 2 จะเห็นว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่า chlorophyll fluorescence ที่ไม่แตกต่างกันจากถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI การตอบสนองในลักษณะที่คล้ายคลึงกันนี้ สามารถพบได้ในการทดลองที่ 3 และ 4 ในปีพ.ศ 2549.โดยในการทดลองทั้งในกระถางคือการทดลองที่ 3 (ภาพที่ 37) และการทดลองในแปลงคือการทดลองที่ 4 (ภาพที่ 39) ให้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงกันคือ ค่า chlorophyll fluorescence ของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC ไม่มีความแตกต่างกันกับถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI

โดยสรุป จะเห็นได้ว่า ทั้ง 4 การทดลอง ค่า chlorophyll fluorescence ของต้นถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI และ SSC ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า สภาพ SSC ไม่มีผลลกระทบต่อค่า chlorophyll fluorescence ซึ่งปรากฏการณ์ของการปล่อยรังสีฟลูออเรสเซนซ์ออกมาจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์นั้น เกิดขึ้นในช่วงของปฏิกิริยาแสง (light reaction) เท่านั้น (Taiz and Zeiger, 1999) โดย light reaction เป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นขั้นตอนที่คลอโรพลาสต์ดูดพลังงานแสงเพื่อนำมาสร้าง NADPH และ ATP ที่จะนำไปใช้ในปฏิกิริยามืด (dark reaction) ต่อไป ซึ่งคลอโรฟิลล์ที่อยู่ในคลอโรพลาสต์ ซึ่งเป็นสารโมเลกุลใหญ่มีอิเลคตรอนจำนวนมาก สามารถดูดพลังงานแสงได้มาก และสามารถดูดแสงได้หลายๆ ช่วงคลื่น (ปิยะดา, 2542) เมื่อโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ดูดแสงในช่วงคลื่นต่างๆ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของโมเลกุล ทำให้อิเล็กตรอนอยู่ในสภาพเร่งเร้า (excited state) ซึ่งในสภาพปรกติก่อนที่โมเลกุลจะดูดพลังงานแสงนั้น โมเลกุลจะอยู่ในสภาพเสถียรหรือคงตัว (ground state) พลังงานของอิเลกตรอนหรือโมเลกุลที่สูงขึ้นจากระดับปรกติและอยู่ในสภาพเร่งเร้านี้รียกว่า พลังงานเร่งเร้า (excitation energy) ซึ่งเป็นพลังงานที่ไม่คงตัวและเกิดในสภาพสั้นมากเพียงเสี้ยววินาที ถ้าต้องการใช้

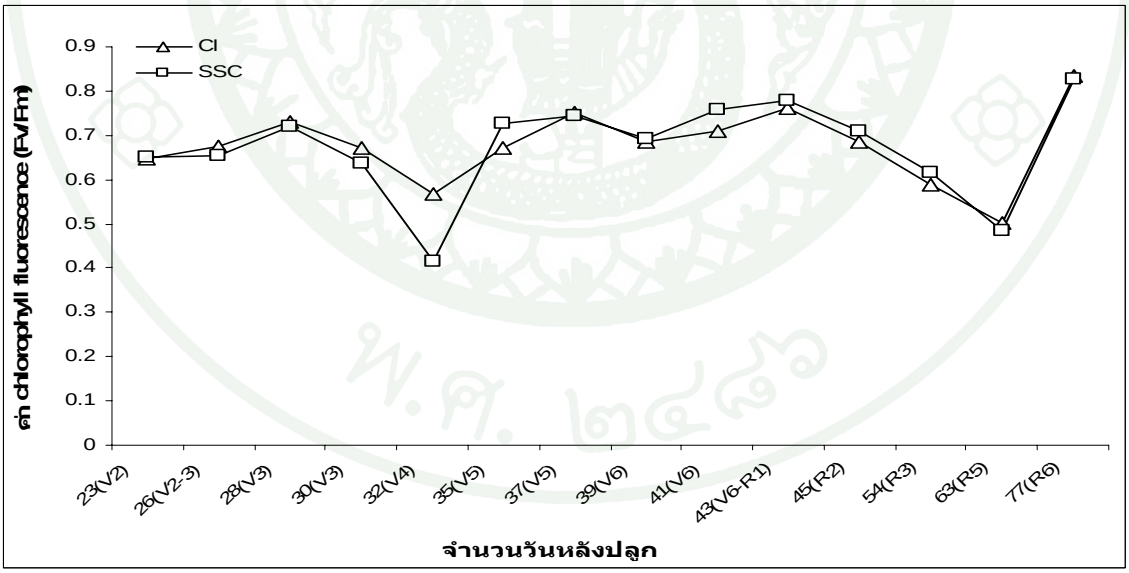
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พลังงานนี้ให้เป็นประโยชน์ จะต้องส่งถ่ายอิเลกตรอนหรือพลังงานผ่านโมเลกุลของรงควัตถุที่อยู่ติดกันเป็นทอดๆ โดยต่อเนื่องกัน จนถึงศูนย์กลางของปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง ถ้าพลังงานเร่งเร้านี้ไม่สามารถส่งถ่ายอิเลกตรอนไปยังสารอื่นได้ภายในระยะเวลา 10^{-9} วินาที พลังงานเร่งเร้านี้จะต้องขจัดออกไปจากระบบในรูปของความร้อน หรือเปลี่ยนเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่าเดิมหรือเกิดการเรืองแสงที่เรียกว่า ฟลูออเรสเซนต์ (fluorescence) (สมบุญ, 2536) สำหรับพืชโดยทั่วไปแล้ว พลังงานแสงจะถูกดูดกลืนด้วยโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ เพื่อนำไปใช้ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง อย่างไรก็ตามจะมีพลังงานส่วนหนึ่งที่ไม่ได้ใช้ในปฏิกิริยานี้ พืชจึงมีกลไกในการปลดปล่อยพลังงานนี้ออกมาในลักษณะต่างๆ เช่น การสะท้อนกลับของรังสีและการเปล่งรังสีฟลูออเรสเซนซ์ (Hall *et al*., 1993) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ากิจกรรม (activity) ของคลอโรฟิลล์ที่อยู่บน thylakoid membrane ไม่ได้รับผลกระทบจากการเจริญเติบโตที่ถั่วเหลืองต้องเจริญอยู่ในสภาพ SSC หรือสภาพที่ดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำ ทำให้คลอโรฟิลล์ที่อยู่ใน chloroplast บริเวณ thylakoid membrane สามารถมีกิจกรรมหรือดำเนินกระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์ไปได้ โดยไม่ได้รับผลกระทบจากสภาพของดินที่อิ่มตัวไปด้วยน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

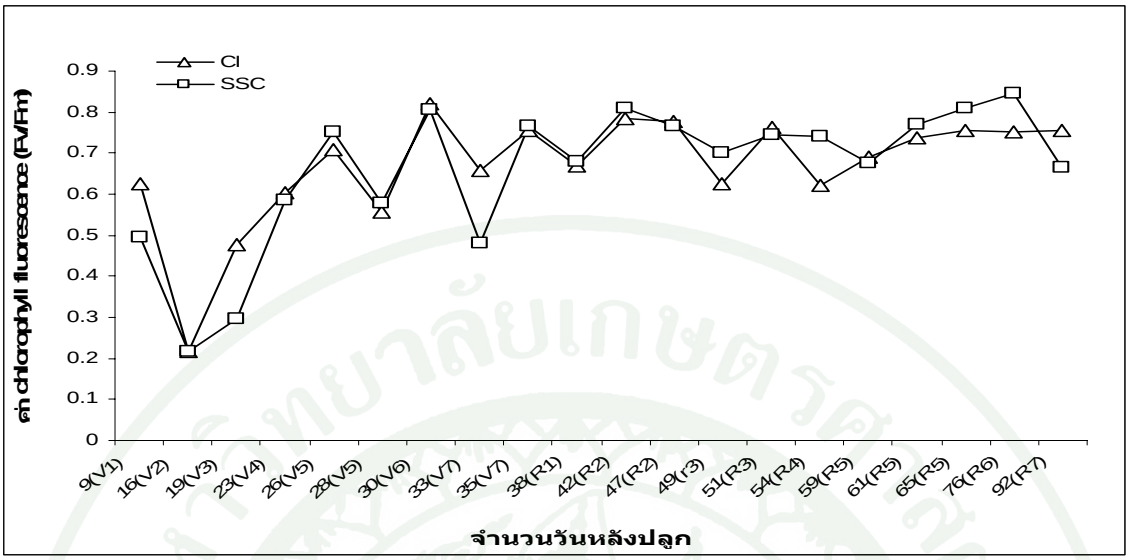


ภาพที่ 36 ค่า chlorophyll flluorescence (Fv/Fm) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถาง ของการทดลองที่ 1 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ .2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

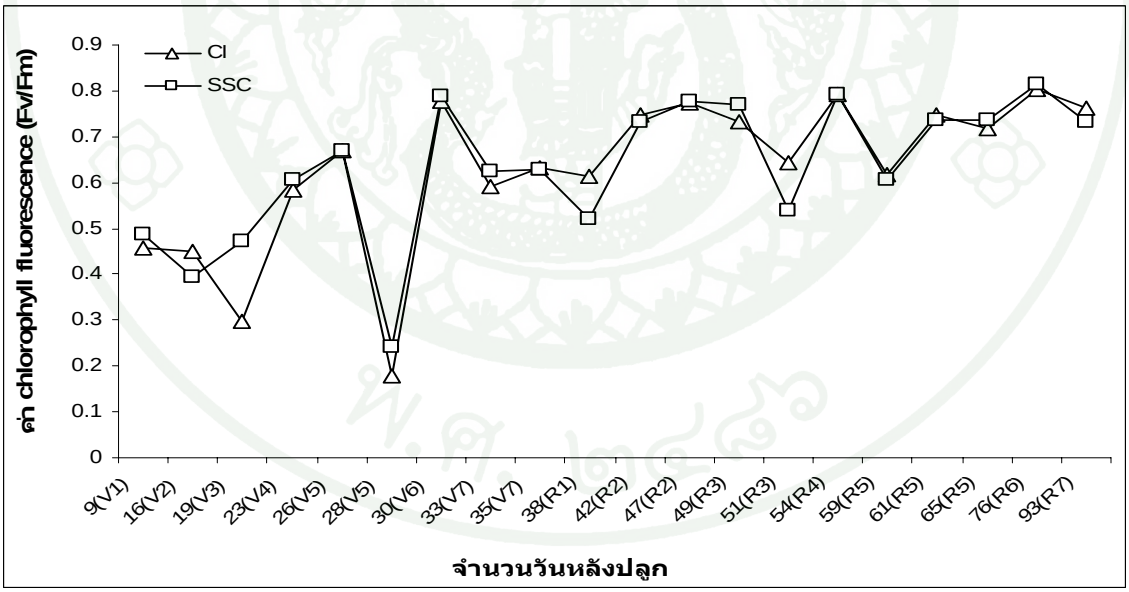


ภาพที่ 37 ค่า chlorophyll flluorescence (Fv/Fm) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถาง ของการทดลองที่ 2 ในช่วงต้นฤดูหนาว พ.ศ .2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 38 ค่า chlorophyll flluorescence (Fv/Fm) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ



ภาพที่ 39 ค่า chlorophyll flluorescence (Fv/Fm) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ .2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.9 การตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixation)

จากการศึกษาถึงอิทธิพลของดินอิ่มตัวด้วยน้ำที่มีต่อการตรึงไนโตรเจน โดยใช้วิธีการสกัดเนื้อเยื่อจากลำต้นของถั่วเหลืองและวิเคราะห์ออกมาเป็นค่าดรรชนียูรีไอด์สัมพัทธ์ (Relative Ureides Index ; RUI) โดยมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ซึ่งค่า RUI นี้เป็นค่าที่บอกให้เห็นถึงภาพรวมของปริมาณไนโตรเจนในพืช (เบญจวรรณและคณะ, 2532 และ Peoples *et al*., 1989) ในการทดลองดังกล่าวได้ทำการศึกษาในการทดลองที่ 3 และ 4 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบปริมาณการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองที่ปลูกในกระถางและในแปลง ในช่วงฤดูฝน ปี พ.ศ. 2549

จากภาพที่ 40 ซึ่งเป็นการทดลองในกระถางของการทดลองที่ 3 จะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC ที่ระยะเวลา 23 วันหลังปลูก (V_4) จนถึงที่ระยะเวลา 78 วันหลังปลูก (R_6) มีค่า RUI สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI และจะเห็นได้ชัดเจนว่าที่ระยะเวลา 23 วันหลังปลูก (V_4) , 29วันหลังปลูก (V_6), 41 วันหลังปลูก (R_2) , 57 วันหลังปลูก (R_5) และที่ระยะเวลา 78 วันหลังปลูก (R_6) ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า RUI มากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI อย่างเห็นได้ชัด

จากภาพที่ 41 ซึ่งเป็นการปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 จะเห็นว่า ถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตอยู่ในการปลูกทั้ง 2 สภาพคือ ในสภาพ SSC และในสภาพ CI มีการตอบสนองที่คล้ายคลึงกันกับในการทดลองที่ 3 โดยจะเห็นว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่า RUI สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ที่ระยะเวลา 19 วันหลังปลูก (V_3) , 42วันหลังปลูก (R_2) และที่ระยะเวลา 48 วันหลังปลูก (R_3) จากนั้นค่า RUI มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ แต่ก็ยังคงมีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI จนถึงที่ระยะเวลา 93 วันหลังปลูก (R_7) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่า RUI มากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI แต่ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ซึ่งจากการตอบสนองในลักษณะเช่นนี้ สามารถกล่าวได้ว่า ที่ระยะการเจริญเติบโตในช่วงลำต้น (vegetative growth) ทั้งที่ระยะ V_4 ของการทดลองที่ 3 และที่ระยะ V_3 ของการทดลองที่ 4 ซึ่งเป็นระยะที่ถั่วเหลืองอยู่ในระยะของการเจริญเติบโตทางลำต้น ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC จะมีศักยภาพในการตรึงไนโตรเจนที่มากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI เพื่อนำไนโตรเจนที่ตรึงได้ไปใช้ในการเจริญเติบโตของลำต้นและใบ และเมื่อถั่วเหลืองเข้าสู่ระยะการเจริญพันธุ์ (reproductive growth) จะเห็นว่าค่า RUI ของถั่วเหลืองในการทดลองที่ 3 จะเพิ่มขึ้นอีกในช่วงระยะ R_2 และ R_6 ส่วนในการทดลองที่ 4 จะเห็นว่าค่า RUI จะเพิ่มขึ้นที่ระยะ R_3 , R_4 และ R_5 ซึ่งในระยะการเจริญ R_1-R_2 นั้นเป็นระยะที่ถั่วเหลืองมีการสร้างดอก ทำให้ต้นถั่วเหลืองลดการตรึงไนโตรเจนลง เนื่องจากมีปริมาณแอมโมเนียในดินค่อนข้างมาก จากนั้นจะเริ่มการตรึงไนโตรเจนอีกครั้งที่ระยะ R_3-R_4 ซึ่งเป็นระยะของการสร้างฝัก จึง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จำเป็นต้องเพิ่มการตรึงไนโตรเจนให้มากขึ้น เพื่อนำมาสร้างฝัก หลังจากนั้นจะเข้าสู่ระยะ R_5-R_6 ซึ่งเป็นระยะของการสะสมอาหารในเมล็ด ถั่วเหลืองจำเป็นต้องตรึงไนโตรเจนในปริมาณที่มากขึ้นกว่าเดิม เพื่อขนย้ายอาหารและนำไนโตรเจนที่ตรึงได้ไปกักเก็บไว้ที่เมล็ด จึงทำให้การตรึงไนโตรเจนที่ระยะ R_6 เพิ่มมากขึ้นในทั้ง 2 การทดลอง

2.10 ปริมาณไนโตรเจนโดยรวมในเมล็ด (total nitrogen in seed) และปริมาณโปรตีนโดยรวมในเมล็ด (total protein in seed)

จากการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนโดยรวมและปริมาณโปรตีนโดยรวมในเมล็ด ด้วยวิธี Kjeldahl method ตามวิธีการของสาวิตร (2545) ซึ่งได้วิเคราะห์ในการทดลองที่ 3 และ 4 ปี พ.ศ 2549. ได้ผลการทดลองดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 12 ดังนี้

ตารางที่ 12 แสดงเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนโดยรวมในเมล็ด (total nitrogen in seed) และปริมาณโปรตีนโดยรวมในเมล็ด (total protein in seed) ของการทดลองที่ 3 และการทดลองที่ 4 ในปี พ.ศ 2549. ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ (mean ± standard error)

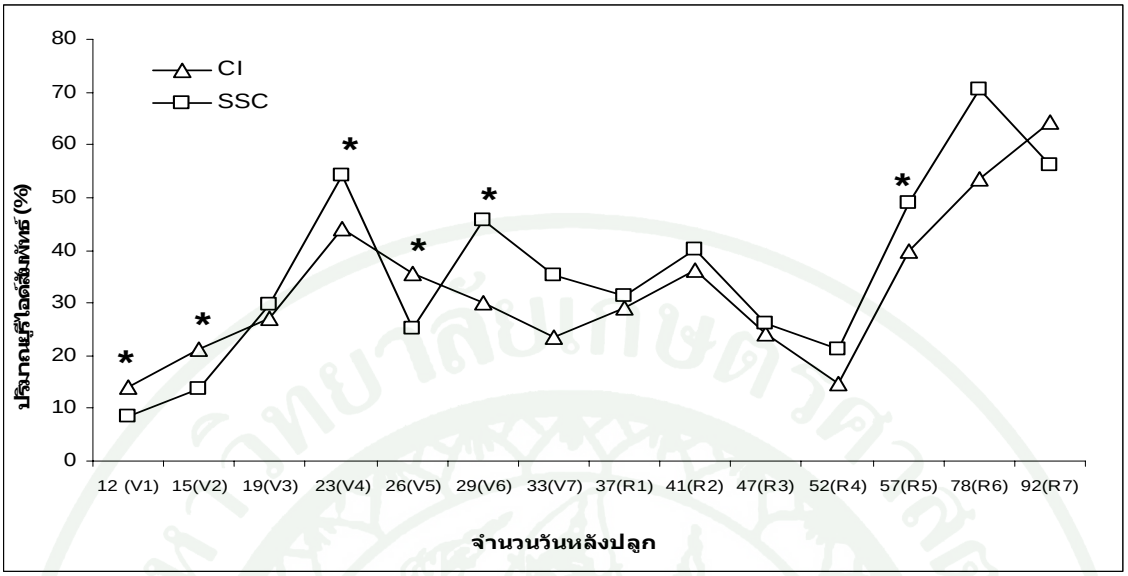
	การทดลองที่ 3			
	ระยะ R7		ระยะ R8	
	CI	SSC	CI	SSC
% ไนโตรเจนในเมล็ด	5.61±0.36	5.90±0.13	5.52±0.11	5.57±0.17
% โปรตีนในเมล็ด	35.08±2.26	36.86±0.83	34.53±0.71	34.80±1.07

	การทดลองที่ 4			
	ระยะ R7		ระยะ R8	
	CI	SSC	CI	SSC
% ไนโตรเจนในเมล็ด	5.98±0.15	5.40±0.07	5.02±0.11	4.91±0.16
% โปรตีนในเมล็ด	37.36±0.96	33.74±0.43	31.36±0.69	30.70±1.03

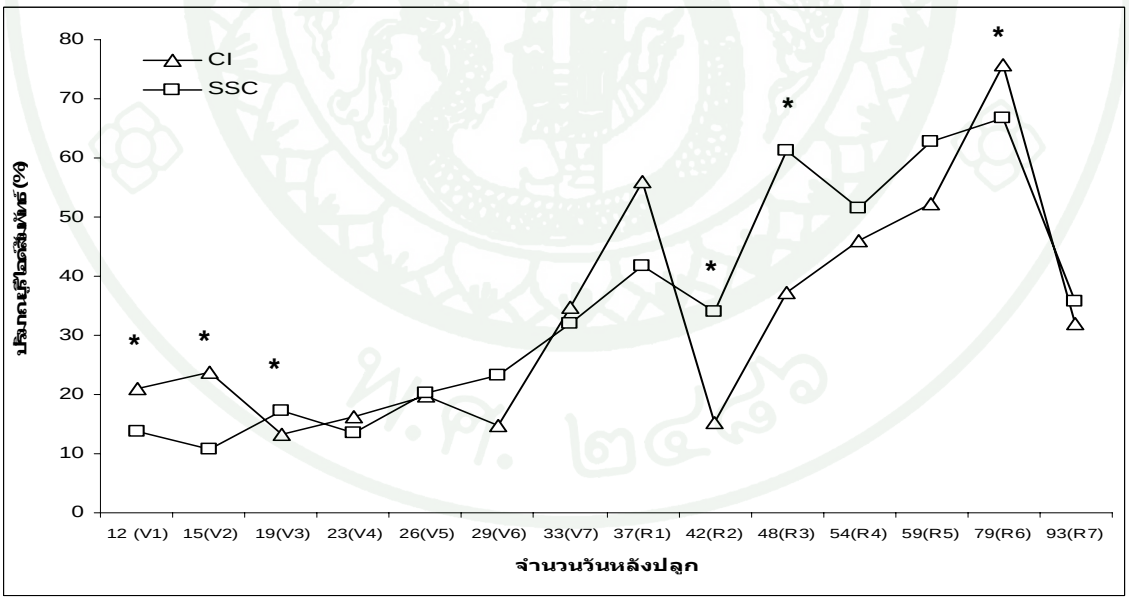
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากตารางจะเห็นได้ว่าในการทดลองที่ 3 ของการปลูกในกระถางทั้งที่ระยะ R_7 และที่ระยะ R_8 ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC มีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเมล็ด (total nitrogen in seed) สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนในการทดลองที่ 4 ที่เป็นการปลูกในแปลง จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเมล็ดต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน ส่วนการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์โปรตีนในเมล็ด (total protein in seed) พบว่าให้ผลการทดลองที่เป็นไปในทำนองเดียวกันกับเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเมล็ด โดยพบว่า ในการทดลองที่ 3 ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC ทั้งในระยะ R_7 และ R_8 มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนในการทดลองที่ 4 จะเห็นว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนในเมล็ดต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ทั้งที่ระยะ R_7 และ R_8 แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน อาจกล่าวได้ว่า ในการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองเพื่อที่จะนำไนโตรเจนที่ตรึงได้ ไปใช้ในการสร้างดอก ฝักและเมล็ด ซึ่งถือว่าเป็นการแบ่งสัดส่วนปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้ ไปใช้ในการเจริญเติบโตของอวัยวะสืบพันธ์ต่างๆ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด อาจจะไม่ได้ลำเลียงไปเก็บไว้ที่เมล็ดทั้งหมด จึงไม่ค่อยเห็นความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีนในเมล็ดของถั่วเหลืองในการปลูกภายใต้สภาพ SSC มากนัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 40 ปริมาณยูรีไอด์สัมพัทธ์ (relative ureides index, %) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ



ภาพที่ 41 ปริมาณยูรีไอด์สัมพัทธ์ (relative ureides index, %) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

2.8 การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

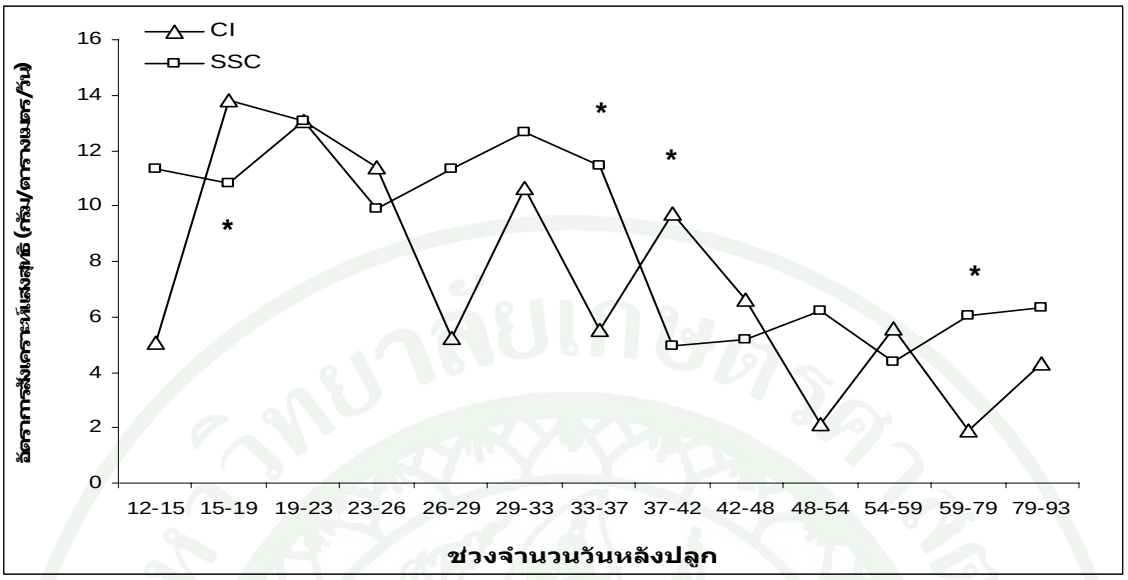
2.8.1 อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (Net assimilation rate : NAR)

อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ของการทดลองที่ 4 ที่ปลูกในแปลงภายใต้สภาพ SSC และสภาพ CI ได้แสดงไว้ในภาพที่ 42 ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้ จะเห็นได้ว่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (NAR) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตที่ระยะเวลา 19-15 วัน ถึง 26-23 วัน ค่า NAR ของถั่วเหลืองในสภาพ SSC มีค่าต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI และเมื่อถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตในระยะเวลาที่มากขึ้น จะเห็นว่าค่า NAR ของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีแนวโน้มสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ซึ่งในช่วงสุดท้ายของการเจริญเติบโตจะเห็นว่าที่ระยะเวลา 93-59 วันหลังปลูก ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC มีค่า NAR สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจเกิดจากอิทธิพลของสภาพดินที่อิ่มตัวไปด้วยน้ำ จึงทำให้ค่า NAR มีค่าสูงกว่า

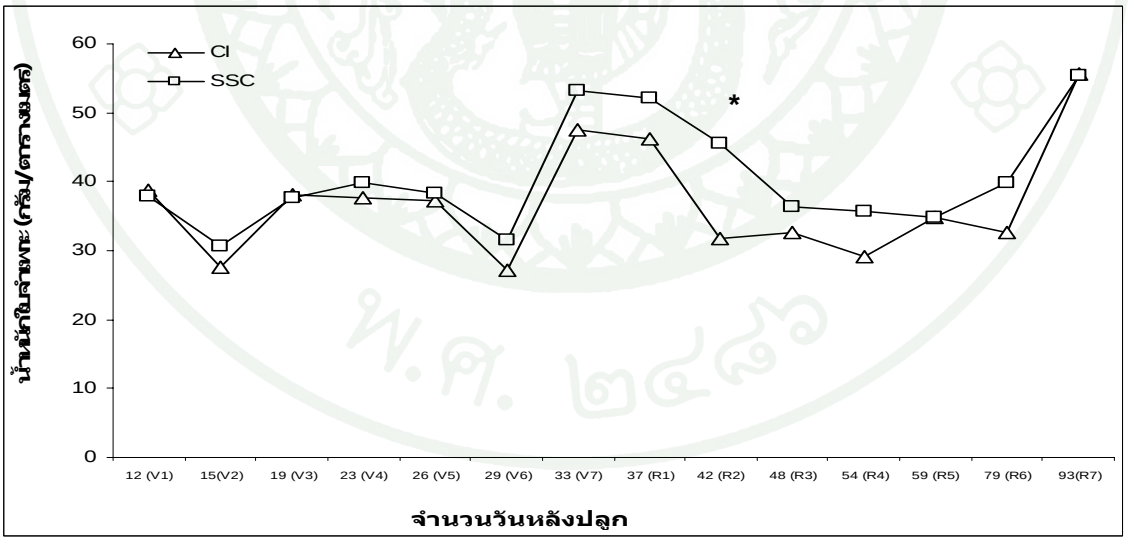
2.8.2 น้ำหนักใบจำเพาะ (Specific leaf weight : SLW)

น้ำหนักใบจำเพาะของถั่วเหลืองที่ปลูกภายใต้สภาพ SSC และสภาพ CI ของการทดลองที่ 4 ที่ปลูกในแปลง ได้แสดงไว้ในภาพที่ 43 ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการเจริญเติบโต ค่า SLW ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC มีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI และมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงที่ระยะเวลา 42 วันหลังปลูก (R_2) ค่า SLW ของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI จากนั้นจะเห็นว่าค่า SLW ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC มีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งค่า SLW นี้แสดงให้เห็นถึงความหนาของใบ โดยในการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC นี้ มีความหนาของใบมากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI เป็นอย่างมาก ลักษณะเช่นนี้แสดงให้เห็นถึงการปรับตัวของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC เพื่อให้ใบมีความหนามากขึ้น และจากการที่ใบหนามากขึ้นนี้ ความหนาของชั้น mesophyll ในใบก็เพิ่มมากขึ้นด้วย ทำให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงมีมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากในชั้น mesophyll ของใบนั้นมีคลอโรพลาสต์อยู่เป็นจำนวนมาก (ปิยะดา, 2542)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 42 อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (Net assimilation rate, g/m^{-2}/day) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลง การทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ



ภาพที่ 43 น้ำหนักใบจำเพาะ (Specific leaf weight, g/m^{-2}) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

2.8.3 อัตราการสะสมน้ำหนักแห้งต่อพื้นที่ (Crop growth rate : CGR)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อัตราการสะสมน้ำหนักแห้งต่อพื้นที่ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC และสภาพ CI ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ได้แสดงไว้ในภาพที่ 44 ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้จะเห็นว่าค่า CGR ของถั่วเหลืองภายใต้การปลูกทั้ง 2 สภาพเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะการเจริญเติบโตในช่วงแรกที่ระยะเวลา 33-29 วันหรือที่ระยะ V_6-V_7 ซึ่งเป็นระยะที่ถั่วเหลืองจะเริ่มเข้าสู่การเจริญพันธุ์ (reproductive growth) ซึ่งในช่วงระยะนี้ถั่วเหลืองต้องการอาหารมากขึ้นเพื่อใช้ในการเจริญของดอก การติดฝักและเมล็ด ถั่วเหลืองจึงต้องมีการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงมีผลทำให้น้ำหนักแห้งรวมของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ค่า CGR ก็เพิ่มสูงขึ้นด้วย แต่จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI มีค่า CGR สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC ในช่วงหลังของการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC นั้น ดินอยู่ในสภาพอิ่มตัวไปด้วยน้ำ และเนื่องจากมีฝนตกชุก จึงทำให้ดินมีการระบายน้ำได้ไม่ค่อยดี จึงทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง และส่งผลให้อัตราการสะสมน้ำหนักแห้งลดลงตามไปด้วย

2.8.4 องค์ประกอบอื่นๆ ของการวิเคราะห์การเจริญเติบโต เช่น Relative growth rate (RGR) Leaf area ratio (LAR) และ Leaf area index (LAI)

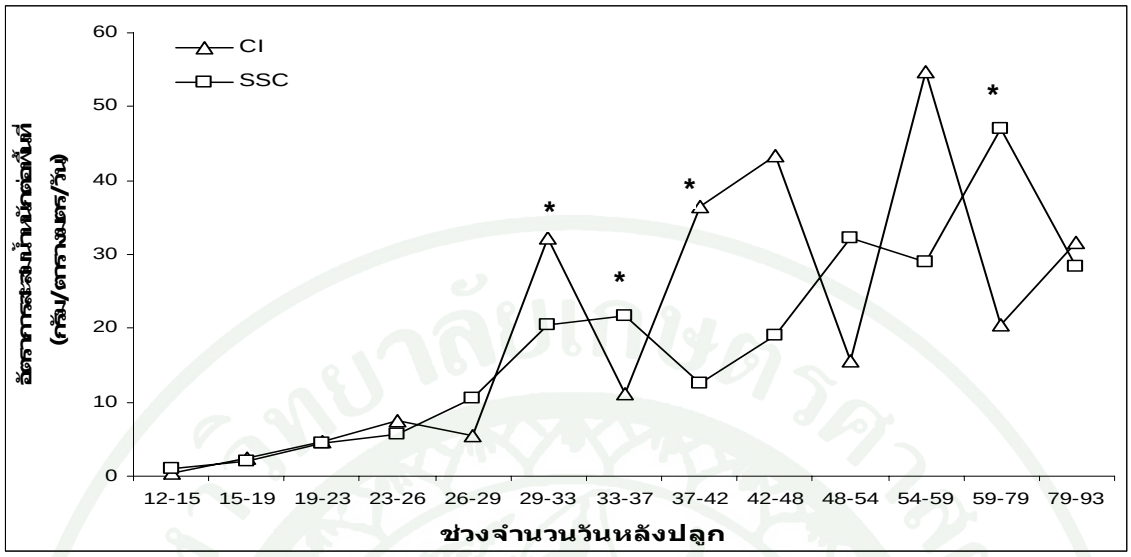
จากภาพที่ 45, 46 และ 47 แสดงให้เห็นถึงค่า RGR, LAR และ LAI ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC และสภาพ CI ซึ่งจากภาพที่4 5 แสดงถึงค่า RGR ของถั่วเหลืองภายใต้การปลูกทั้ง 2 สภาพ จะเห็นได้ว่า ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตที่ระยะเวลา 26-15 วันหลังปลูก (V_2-V_5) ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI มีค่า RGR สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC หลังจากนั้นค่า RGR ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI ที่ระยะเวลา 29-26 วันหลังปลูก (V_6-V_7) มีค่าลดลง และกลับสูงขึ้นมาอีกครั้งในช่วงหลังของการเจริญ เติบโต ส่วนถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC นั้น จะเห็นว่าที่ระยะเวลา 29-26 วันหลังปลูก (V_6-V_7) มีค่า RGR สูงกว่าแต่ไม่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI หลังจากนั้นที่ระยะเวลา 37-33วันหลังปลูก (V_7-R_1) , 48-54 วันหลังปลูก (R_3-R_4) และที่ระยะเวลา 79-59 วันหลังปลูก (R_5-R_6) ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่า RGR สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งค่า RGR แสดงให้เห็นถึงอัตราการเพิ่มน้ำหนักแห้งต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของพืชต่อหนึ่งหน่วยเวลา จากค่า RGR ของถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC แสดงให้เห็นว่าถั่วเหลืองมีการสะสมน้ำหนักแห้งมากขึ้นในช่วงการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ เพื่อใช้อาหารที่สร้างมาจากกระบวนการสังเคราะห์แสงไปสร้างดอก สร้างฝัก

และเมล็ด ดังจะเห็นได้จากค่า RGR ที่เพิ่มมากขึ้นในระยะ reproductive growth ของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC

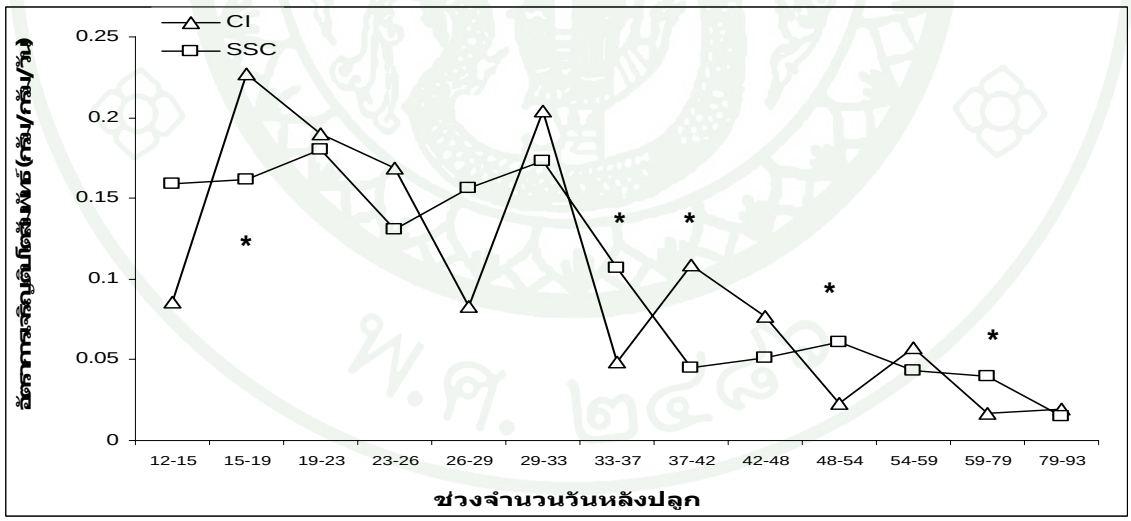
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนในภาพที่ 46 ซึ่งแสดงถึงค่า LAR ของถั่วเหลืองภายใต้การปลูกทั้ง 2 สภาพ และภาพที่ 47 แสดงถึงค่า LAI ของถั่วเหลืองภายใต้การปลูกทั้ง 2 สภาพเช่นกัน จากผลการทดลองครั้งนี้ พบว่า ค่า LAR และค่า LAI ของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่าต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ซึ่งค่า LAR เป็นดรรชนีบ่งบอกถึงพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งต้น เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการมีใบมากหรือน้อย และค่า LAI บ่งบอกถึงปริมาณพื้นที่ใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ดิน ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC อยู่ในสภาพดินที่อิ่มตัวไปด้วยน้ำและบางครั้งมีฝนตกชุกแทบทุกวัน ทำให้น้ำระบายออกจากแปลงปลูกไม่ทันจึงทำให้เกิดสภาพน้ำท่วมขัง (water logging) ในบางช่วงเวลา ต้นถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC จึงหยุดชะงักการเจริญเติบโตและไม่สามารถสร้างใบขึ้นมาใหม่ได้เทียบเท่ากับการปลูกในสภาพปรกติ จึงทำให้ค่า LAR และค่า LAI มีค่าต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

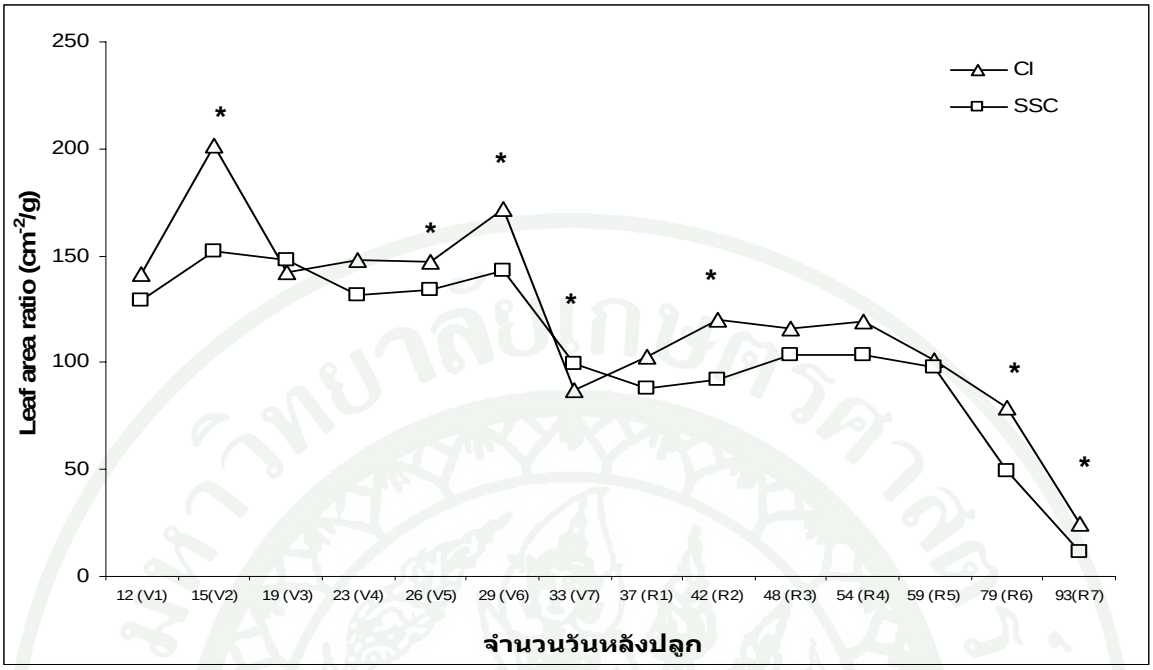


ภาพที่ 44 อัตราการสะสมน้ำหนักต่อพื้นที่ (Crop growth rate, g/m^{-2}/day) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลง การทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ



ภาพที่ 45 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative growth rate, g/g/day) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลง การทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝนพ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 46 Leaf area ratio (LAR, cm^{-2}/g) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิจารณ์

1. การศึกษาถึงการตอบสนองของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำในสภาพกระถาง

การทดลองเกี่ยวกับอิทธิพลของดินอิ่มตัวด้วยน้ำต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ได้ทำขึ้นนี้ การทดลองในขั้นแรก ได้ดำเนินการโดยมีวัตถุประสงค์ที่จะทดสอบการตอบสนองของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยการปลูกถั่วเหลืองในสภาพของกระถางที่วางไว้ในบ่อซีเมนต์ที่หล่อด้วยน้ำ เปรียบเทียบกับการปลูกถั่วเหลืองในสภาพปรกติ คือ ปลูกในกระถางและวางบนพื้นดิน เพื่อเป็นการเปรียบเทียบระหว่างสิ่งทดลอง 2 ประเภท ได้แก่ ลักษณะการเจริญเติบโตในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (SSC) กับการเจริญเติบโตในสภาพปรกติ (CI) การทดลองในกระถางนี้มุ่งหวังที่จะศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองโดยละเอียด เนื่องจากในการทดลองเกี่ยวกับการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำในอดีตนั้น ได้ทำขึ้นในสภาพของแปลงทดลอง และเนื่องจากเป็นการปลูกถั่วเหลืองในสภาพไร่ จึงมีข้อจำกัดในการวัดลักษณะทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองได้โดยละเอียด

ในการทดลองในกระถางดังกล่าวได้ดำเนินการในขั้นแรก เมื่อปีพ.ศ. 2547 ซึ่งได้แก่ การทดลองที่1 (ปลูกวันที่ 16 กรกฎาคม 2547) และการทดลองที่ 2 (ปลูกวันที่ 15 พฤศจิกายน 2547) สำหรับการทดลองที่ 1 นั้นผู้ทดลองเจตนาใช้การทดลองนี้เป็นการศึกษาขั้นพื้นฐานที่สามารถดำเนินการในการวิจัยถึงการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลือง ทั้งความคุ้นเคยต่อเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองและเทคนิคต่างๆ ของการวัดและวิเคราะห์โดยการใช้เครื่องมือดังกล่าว ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการเก็บข้อมูลบางประการจึงยังไม่มีการดำเนินการในการทดลองนี้ อาทิเช่น การวัดอัตราการสังเคราะห์แสง เป็นต้น

ในการทดลองที่ 1 และที่ 2 นั้น ผู้วิจัยได้มุ่งที่จะพิจารณาถึงลักษณะที่สำคัญของอาการตอบสนองของถั่วเหลืองที่เกิดจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำ เช่น อาการซีดเหลือง (chlorosis) ที่เนื่องมาจากถั่วเหลืองถูกแช่ไว้ในน้ำระยะหนึ่งแล้วมีผลทำให้รากแก้วถูกทำลายลงไป (Hartley *et al*., 1993) และเนื่องจากระบบรากส่วนใหญ่ไม่สามารถดูดซับน้ำและธาตุอาหาร โดยเฉพาะไนโตรเจน และไม่สามารถลำเลียงเข้าสู่ลำต้นต่างๆ ของต้นพืชได้ (Hunter *et al*., 1980 ; Nathanson *et al*., 1984) จึงได้แสดงออกถึงอาการซีดเหลืองในใบพืช ลักษณะที่สองที่ผู้วิจัยมุ่งพิจารณา ได้แก่ การปรับตัวของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (acclimatization) ในลักษณะที่ถั่วเหลืองได้พัฒนาระบบรากแขนง (หรือระบบรากชุดที่สอง ; secondary root system) ออกมา ณ จุดดังกล่าวนี้ อาการซีดเหลืองของใบก็จะหายไป รากแขนงที่เกิดขึ้นก็จะดูดซับธาตุอาหารจากผิวดินส่วนบนและมีการสร้างปมราก (nodules) และตรึงไนโตรเจนในอัตราที่มีประสิทธิภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มากกว่าเดิม ประสิทธิภาพของการตรึงไนโตรเจนหลังการปรับตัวต่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำของถั่วเหลืองเช่นนี้ ประกอบกับการเจริญเติบโตของระบบรากในสภาพที่ถั่วเหลืองเจริญเติบโตอยู่ในดินที่มีน้ำอย่างบริบูรณ์ (fully turgid) ทำให้ถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ สามารถเกิดการปรับตัวได้ (acclimatize) และเพิ่มปริมาณน้ำหนักแห้งต่อต้นได้สูงกว่าต้นถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตในสภาพปรกติ (conventional irrigation ; CI) และส่งผลให้ผลผลิตเมล็ดของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพปรกติ (Guafa *et al*., 2003)

การทดลองในอดีต ไม่ว่าจะเป็นการทดลองที่ดำเนินการในประเทศออสเตรเลีย (Hunter *et al*., 1980 ; Nathanson *et al*., 1984 ; Troedson *et al*., 1989) หรือในประเทศไทย (อภิพรรณ , 2533 ; โกวิท , 2533) ก็ตาม งานวิจัยทั้งหมดที่กล่าวมานี้เป็นการทดลองในสภาพไร่นา ซึ่งได้แสดงให้เห็นได้ชัดว่า เมื่อถั่วเหลืองเริ่มเจริญเติบโตในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จะมีอาการซีดเหลือง ระบบรากแก้วจะถูกทำลายลงไป และเมื่อถั่วเหลืองปรับตัวได้แล้ว จะมีการพัฒนาระบบรากแขนง แผ่ลงไปบนผิวดินมากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งมีการสร้างปมรากที่เพิ่มมากขึ้นด้วย ตามด้วยการตรึงไนโตรเจนในถั่วเหลืองที่เพิ่มตามขึ้นมา (เกศสุดา, 2549) ซึ่งงานทดลองในอดีตที่ผ่านมาทุกการทดลอง ได้แสดงถึงปริมาณของน้ำหนักแห้งต้น อัตราการสะสมน้ำหนักแห้ง (crop growth rate) และผลผลิตเมล็ดของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำที่สูงกว่าการปลูกในสภาพปรกติ

การวัดอัตราการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลือง เป็นข้อมูลด้านสรีรวิทยาประการเดียวที่ได้ทำขึ้นโดยนักวิจัยหลายท่าน และได้ให้คำอธิบายว่า เมื่อถั่วเหลืองเจริญเติบโตในสภาพที่มีน้ำในดินอย่างบริบูรณ์ (fully turgid) และตรึงไนโตรเจนได้ในปริมาณที่สูง ดังนั้นผลของการที่ถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำมีปริมาณและอัตราการสะสมน้ำหนักแห้งที่สูงและมีผลผลิตเมล็ดที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกตินั้น กระบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ ย่อมเป็นไปในลักษณะที่เกื้อกูลต่อการเจริญเติบโตที่ดีของถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำทั้งสิ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.1 การตอบสนองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำต่อการเจริญเติบโตโดยทั่วไปและการให้ผลผลิต

สำหรับการตอบสนองของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพการให้น้ำ 2 ประเภทคือ สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated soil culture ; SSC) และสภาพปรกติ (conventional irrigation ; CI) ในการทดลองที่ 1 และ2 นั้น ถั่วเหลืองที่ปลูกในการทดลองที่ 2 มีการเจริญเติบโตโดยทั่วไปดีกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในการทดลองที่ 1 เนื่องจากถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีลักษณะของ long juvenile trait (de Toledo *et al*., 1994 ; Hartwig and Kihe, 1979) คือ เป็นพันธุ์ที่ออกดอกช้าเมื่อปลูกในสภาพช่วงแสงสั้น ดังนั้นเมื่อปลูกในเดือนพฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงที่พื้นที่ปลูกมีช่วงแสงที่สั้นกว่าในเดือนกรกฎาคม ถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 จึงออกดอกล่าช้ากว่าเมื่อปลูกในเดือนกรกฎาคม การออกดอกล่าช้านี้เองเป็นผลทำให้ถั่วเหลืองมีอายุการเก็บเกี่ยวยาวนานกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในเดือนกรกฎาคม พ.ศ 2547.และเดือนกรกฎาคม พ.ศ 2549. ตามลำดับ

ในระหว่างสภาพการให้น้ำทั้ง 2 สภาพคือ ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (SSC) และสภาพการปลูกปรกติ (CI) ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำจะส่งผลให้อายุการสุกแก่ของถั่วเหลืองยาวกว่าการปลูกในสภาพปรกติ ทั้งในการทดลองที่ 1 และ 2 (ตารางที่ 1) สำหรับการให้ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต เช่น จำนวนฝักต่อต้นและน้ำหนักเมล็ดต่อต้นนั้น ในการทดลองที่ 1 พบว่า จำนวนฝักต่อต้นและน้ำหนักเมล็ดต่อต้น ในสภาพ CI สูงกว่าในสภาพ SSC แต่ในการทดลองที่ 2 นั้นพบว่าจำนวนฝักต่อต้นและน้ำหนักเมล็ดต่อต้นของการปลูกในสภาพ SSC นั้น สูงกว่าในสภาพ CI (ตารางที่ 2)

สำหรับข้อมูลการเจริญเติบโตในด้านความสูงและพื้นที่ใบต่อต้นนั้น ในการทดลองที่ 1 จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI มีความสูงและพื้นที่ใบต่อต้นมากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ซึ่งจะเห็นว่ามีการตอบสนองเป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามกับการทดลองที่ 2 โดยในการทดลองที่ 2 นั้น จะเห็นได้ว่าความสูงของต้นถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC มีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI แต่พื้นที่ใบต่อต้นของถั่วเหลืองในสภาพ SSC และ CI ไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก (ตารางที่ 3) ความแตกต่างกันระหว่างอายุการสุกแก่ ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต ตลอดจนลักษณะการเจริญเติบโต เช่น ความสูงและพื้นที่ใบต่อต้น ที่แตกต่างกันในการทดลองที่ 1 และ 2 นั้น น่าจะเกิดขึ้นจากการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองที่ปลูกในการทดลองที่ 2 ดีกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในการทดลองที่ 1 เนื่องจากถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นพันธุ์ที่เป็น long juvenile trait ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ที่มีการเจริญเติบโตในช่วงเดือนพฤศจิกายน ในสภาพวันสั้น (short day) จะมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าในช่วงเดือนกรกฎาคม ในสภาพวันยาว (long day)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อย่างไรก็ตาม สำหรับการทดลองทั้งสองนั้น ไม่พบความแตกต่างของการสะสมน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองในสภาพ SSC และ CI ดังเช่นการทดลองต่างๆ ที่ได้ทำมาในอดีตแต่ประการใด

1.2 การตอบสนองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำต่อลักษณะทางสรีรวิทยาของถั่วเหลือง

1.2.1 ความซีดของใบและการพิจาณาถึงจุดปรับตัวของถั่วเหลือง

จากการศึกษาถึงการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาของถั่วเหลือง พบว่า เมื่อวัดค่าความเขียวของใบ โดยใช้ Chlorophyll meter รุ่น SPAD Minolta นั้น พบว่า เกิดอาการใบซีดหรือความเขียวของใบลดลง อันเกิดจากการขาดธาตุไนโตรเจนในพืช ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ระบบรากแก้วของถั่วเหลืองถูกทำลาย ซึ่งในการทดลองที่ 1 นั้น พบว่าในช่วงแรกของการเจริญเติบโต ค่าความเขียวของใบถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC เริ่มลดลงระหว่างที่ถั่วเหลืองมีอายุ 27-19 วัน และหลังจากนั้นค่าความเขียวของใบมีแนวโน้มลดน้อยลงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI เป็นอย่างมาก (ภาพที่ 9) สำหรับในการทดลองที่ 2 ถึงแม้ว่าค่าความเขียวของใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC จะเป็นไปในทำนองเดียวกันกับการทดลองที่ 1 แต่การตอบสนองของถั่วเหลืองในสภาพ SSC ดังที่แสดงในภาพที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า ความเขียวของใบจะลดลง หรือใบเกิดอาการซีด น้อยกว่าในการทดลองที่ 1 และความซีดของใบเกิดขึ้นในช่วงที่พืชมีอายุระหว่าง 26-18 วัน หลังปลูก

จากการพิจารณาถึงเส้นกราฟของการตอบสนองในเรื่องความเขียวของใบในภาพที่ 9 และภาพที่ 10 สามารถสรุปได้ว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ทั้งในการทดลองที่ 1 และ 2 จะถึงจุดของการปรับตัวหรือ acclimatization เมื่ออายุ 26 วัน ในทำนองเดียวกันปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวม (total chlorophyll content) ของถั่วเหลืองที่สกัดโดยสาร ไดเมทิลซัลโฟไซด์ (dimethyl sulfoxide) ที่แสดงไว้ในภาพที่ 13 และ 14 ของการทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ก็แสดงถึงการตอบสนองของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพการให้น้ำทั้ง 2 สภาพ เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับค่าความเขียวของใบอีกด้วย และโดยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองที่ปลูกในการทดลองที่ 2 น่าจะดีกว่าในการทดลองที่ 1 จึงแสดงให้เห็นได้ว่าอาการซีดของใบที่เกิดขึ้นในการทดลองที่ 2 นั้น ไม่ได้รุนแรงเท่ากับการทดลองที่ 1 และเนื่องจากในการทดลองที่ 2 นี้เองที่ถั่วเหลืองมิได้กระทบกับสภาวะเครียดอันเกิดจากความซีด (chlorosis) มากเหมือนเช่นในการทดลองที่ 1 ดังนั้นเมื่อพืชถึงจุดปรับตัว (acclimatization) ให้เข้ากับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว ความเขียวของใบที่วัดได้จากเครื่อง Chlorophyll meter และจากการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวม ภายหลังจากจุดปรับตัว จึงมีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI อย่างชัดเจน ดังจะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เห็นได้จากภาพที่ 10 และภาพที่ 14 โดยที่ค่าความเขียวของใบและปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวมของถั่วเหลืองในสภาพ SSC ในช่วงที่ถั่วเหลืองมีอายุ 39 วันหลังปลูก มีค่าสูงกว่าค่าความเขียวของใบและปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวมของถั่วเหลืองในสภาพ CI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

1.2.2 การสังเคราะห์แสงในถั่วเหลือง

สำหรับอัตราการสังเคราะห์แสงที่ใช้วัดโดยเครื่อง Portable photosynthesis รุ่น LCA 4 นั้น ผลของอัตราการสังเคราะห์แสงที่แสดงไว้ในภาพที่ 17 ของการทดลองที่ 2 แสดงให้เห็นว่า อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองในสภาพ SSC สูงกว่าในสภาพ CI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่ใบซีดเหลืองหรือเกิด chlorosis ในช่วง 26-24 หลังปลูก และหลังจากนั้นอัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ก็จะสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI โดยตลอด ถึงแม้ว่าความแตกต่างระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงระหว่าง SSC และ CI จะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติก็ตาม จึงแสดงให้เห็นว่า กระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชย่อมดำเนินไปได้ในอัตราที่สูง ในสภาพที่พืชเผชิญกับความเครียด เพื่อป้องกันและรักษาระดับของการเจริญเติบโตของพืช มิให้ถูกกระทบกระเทือนต่อปัจจัยภายนอกด้านลบได้โดยง่าย

เมื่อได้พิจารณาถึงค่า chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 36 และ 37 นั้น แสดงให้เห็นว่าค่า Fv/Fm ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC และ CI ไม่ได้มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่ประการใด ทั้งการทดลองที่ 1 และ 2 และเนื่องจากค่า Fv/Fm นั้นแสดงถึงประสิทธิภาพการรับแสงของคลอโรฟิลล์ที่อยู่ในระบบแสง 1 และระบบแสง 2 (photosystem I and Photosystem II) ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาแสง (light reaction) ดังนั้นจึงน่าจะเป็นไปได้ว่า อัตราการสังเคราะห์แสงที่เพิ่มขึ้น เกิดขึ้นเนื่องมาจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของการสังเคราะห์แสงในปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง (dark reaction) นั่นเอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2.3 ประสิทธิภาพการใช้แสง (Light response curve) และประสิทธิภาพของการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 response curve)

การศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการใช้แสง (Light response curve ; A/Q curve) และประสิทธิภาพของการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 response curve ; A/Ci curve) นั้น เป็นการศึกษาที่จัดว่า เป็นการจำลอง (simulate) การสังเคราะห์แสงของใบที่แผ่กางเต็มที่แล้ว (youngest fully expanded leaf) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ และที่ปลูกในสภาพปรกติ โดยวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของใบถั่วเหลืองดังกล่าว ในสภาพที่ผันแปรความเข้มของแสง และปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์ การศึกษาดังกล่าวเป็นเพียงความต้องการที่จะวัดประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของใบถั่วเหลือง (เพียง 1 ใบ) เมื่อถั่วเหลืองเจริญเติบโตอยู่ในสภาพการให้น้ำที่แตกต่างกัน ซึ่งค่าที่วัดออกมาได้ มิได้แสดงถึงอัตราการสังเคราะห์แสงที่เกิดขึ้นตามความเป็นจริง แต่แสดงให้เห็นถึงสภาวะของใบพืชที่ทำการสังเคราะห์แสงหรือตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาพนั้นๆ ระหว่างใบของถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตในสภาพ SSC และ CI

การศึกษาดังกล่าวนี้ ทำขึ้นเฉพาะในการทดลองที่ 2 (ที่ปลูกในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2547) และในการทดลองที่ 3 (ที่ปลูกในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2549) ซึ่งดำเนินการในปีดังกล่าวเพื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 4 ซึ่งเป็นการทดลองการปลูกถั่วเหลืองในสภาพไร่นา) ซึ่งทั้ง 2 การทดลอง เป็นการทดลองในสภาพการปลูกในกระถาง การศึกษาดังกล่าวนี้ไม่ได้ทำขึ้นในการทดลองที่ 1 เนื่องจากความยังไม่พร้อมของเครื่องมือและของผู้วิจัยเอง และไม่ได้ทำการทดลองในการทดลองที่ 4 ซึ่งเป็นการทดลองในสภาพแปลง
ไร่นา

การแสดงถึง Light response curve ที่ปรากฏในภาพที่ 20 และ 21 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของใบพืชในการสังเคราะห์แสง ระหว่างถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC และ CI และเห็นได้ชัดเจนเมื่ออยู่ในสภาพที่ยังไม่ปรับตัว หรือในระยะ V_3 ซึ่งมีอายุระหว่าง 21-19 วันหลังปลูก ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสงที่ต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ซึ่งแสดงโดยลักษณะของ light response curve ของ SSC ที่ต่ำกว่าของ CI (ภาพที่ 20) อย่างไรก็ตามเมื่อพ้นจากสภาพดังกล่าว เนื่องจากถั่วเหลืองมีการปรับตัวจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (acclimatization) แล้ว ซึ่งประสิทธิภาพของถั่วเหลืองในการสังเคราะห์แสง จะเพิ่มขึ้นจนเกือบถึงเส้นกราฟที่แสดงถึงการตอบสนองต่อแสงในการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพปรกติ (CI) (ภาพที่ 21) โดยที่ light response curve ในภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่ 17 นั้น ถั่วเหลืองอยู่ในระยะ V_7 หรือเมื่ออายุประมาณ 38 วันหลังปลูก หรือเมื่อเลยจุดของการปรับตัวของถั่วเหลือง (V5 หรืออายุ 26 วันหลังปลูกไปแล้ว)

ถึงแม้การตอบสนองของถั่วเหลืองในภาพที่ 20 และ 21 จะเป็นการแสดงถึง light response curve จากการจำลองดังที่ได้กล่าวมาแล้วก็ตาม แต่การเปลี่ยนแปลงอัตราการสังเคราะห์แสงของใบถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตในสภาพ SSC ซึ่งแต่เดิมแตกต่างจากอัตราการสังเคราะห์แสงของใบถั่วเหลืองที่อยู่ในสภาพ CI มาอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันนั้น ถือได้ว่าเป็นการตอบสนองของพืช หลังจุดของการปรับตัวได้เช่นกัน ดังที่ได้พบในการศึกษาเกี่ยวกับดินอิ่มตัวด้วยน้ำที่ได้แสดงในอดีต (Troedson *et al*., 1989)

กราฟของ CO_2 response curve (A/Ci curve) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติและในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ที่แสดงไว้ในภาพที่ 22 และภาพที่ 23 นั้น ก็เป็นไปดังเช่นที่ได้อธิบายไว้ สำหรับ light response curve เช่นเดียวกัน ถึงแม้กราฟของ light response curve (A/Q curve) และ CO_2 response curve (A/Ci curve) จะได้มาจากการกำหนดค่าความเข้มของแสง หรือการแปรผันปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์ก็ตาม กราฟที่ได้ก็แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของใบถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อยังไม่ถึงจุดของการปรับตัวว่ามีขีดความสามารถในการมีศักยภาพของการสังเคราะห์แสงที่ต่ำกว่าใบถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI เมื่อเลยจากจุดของการปรับตัวมาแล้ว ประสิทธิภาพของใบถั่วเหลืองในสภาพ SSC ก็เพิ่มขึ้นจนเกือบๆ คล้ายกับประสิทธิภาพของใบถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI

จากผลการจำลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพของอัตราการสังเคราะห์แสงทั้งจาก light response curve และ CO_2 response curve ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว การคำนวณหาค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (Amax) ค่า Quantum yield และค่า Quantum requirement)ตารางที่ 4 และ (5 ก็เป็นไปในลักษณะที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของใบถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตอยู่ในสภาพปรกติที่สูงกว่าในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพของใบพืชที่เจริญเติบโตในสภาพ SSC ภายหลังการปรับตัวของพืชในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ในทำนองเดียวกันจากการจำลองให้ใบพืชสังเคราะห์ด้วยแสงภายใต้การผันแปรของปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์ ก็ได้พบว่า ใบถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (Amax) มากกว่าใบถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC)ตารางที่ (6 แต่เมื่อได้พิจารณาถึงความสามารถของเอนไซม์ Rubisco แล้วจะเห็นได้ว่าในช่วงที่ถั่วเหลืองเกิดความเครียด อันเนื่องมาจากสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและใบมีความชีดเกิดขึ้นนั้น ค่าของ Rubisco activity ทั้งในถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI และ SSC สูงกว่าเมื่อวัดในช่วงหลังการปรับตัวหรือเมื่ออยู่ในระยะ V_7 หรือเมื่ออายุ 38 วันหลังปลูก แสดงให้เห็นถึง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความจริง 2 ประการเกี่ยวกับการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลือง เมื่อเจริญเติบโตในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ดังนี้

1) พืชจะเพิ่มอัตราของกระบวนการสังเคราะห์แสงให้สูงขึ้น ในช่วงที่เกิดความเครียดเช่นในช่วงที่ใบพืชซีด (chlorosis) และเป็นช่วงที่ระบบรากแก้วถูกทำลาย เนื่องจากสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ เพื่อคงไว้ซึ่งการเจริญเติบโตตามปรกติ ดังจะเห็นได้จากอัตราการสังเคราะห์แสงของใบถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตในสภาพ SSC ที่สูงกว่าในสภาพ CI (ภาพที่ 17) และค่า Rubisco activity ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI และ SSC ในช่วงระยะV3 มีค่าสูงกว่าใบถั่วเหลืองที่ปลูกในช่วงระยะ V7 (ตารางที่ 7)

2) สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงนั้น เกิดขึ้นจากกระบวนการของปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงหรือปฏิกริยามืด (dark reaction) เนื่องจากค่าของ Rubisco activity ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น (ตารางที่ 7) และค่าของ Fv/Fm ที่ไม่ได้แตกต่างกันระหว่างถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI และ SSC ที่แสดงไว้ในภาพที่ 36 และ 37 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า กระบวนการของปฏิกิริยาใช้แสง (light reaction) ไม่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องแต่อย่างใด

1.2.4 การตอบสนองของลักษณะทางสรีรวิทยาอื่นๆ

1.2.4.1 กลไกของการคายน้ำ (transpiration mechanism)

ในการทดลองที่ 2 ได้มีการวัดค่าศักย์ของน้ำในใบพืช (leaf water potential) จากสารละลายภายในท่อ xylem (xylem sap) ด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า pressure bomb การวัดค่าศักย์ของน้ำในครั้งนี้ทำขึ้นเพื่อใช้ประเมินระดับค่าศักย์ของน้ำในถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC และ CI การวัดค่า leaf water potential นั้นวัดในช่วง 2 เวลาในหนึ่งวัน คือ ช่วง03 :00 น .(predawn) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่รากพืชดูดซึมน้ำในดินอย่างเต็มที่และเป็นระยะเวลาที่พืชมีปริมาณน้ำในต้นมากที่สุด อีกช่วงหนึ่งของวันที่ทำการวัดได้แก่ ช่วงเวลา 15:00 น. (post-midday) ซึ่งเป็นช่วงที่พืชขาดน้ำมากที่สุด

จากภาพที่ 35 ได้แสดงให้เห็นว่า ในช่วง predawn นั้น ไม่มีความแตกต่างระหว่างถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC และ CI และโดยปรกติถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตอยู่ในกระถางในสภาพ CI จะไม่ได้อยู่ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำคือ ไม่มีการแช่กระถางในอ่างซีเมนต์ ซึ่งตรงข้ามกับสภาพ SSC ที่จำลองสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยการแช่กระถางลงในอ่างซีเมนต์ แต่การรดน้ำอย่างสม่ำเสมอในแต่ละวัน รวมทั้งสภาพอากาศในช่วงกลางคืน ก็มีผลทำให้ค่าศักย์ของน้ำ ในช่วง predawn ของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

CI ไม่ได้มีความแตกต่างจากถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC แต่อย่างใด ส่วนในช่วง post-midday ค่าศักย์ของน้ำของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI จะมีค่าน้อยกว่า (มีค่าติดลบมากกว่า) ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC เนื่องมาจากการที่น้ำถูกใช้ไปในกระบวนการเจริญเติบโตต่างๆ และในช่วงที่มีการใช้น้ำมากในตอนกลางวัน รากของถั่วเหลืองไม่ได้มีโอกาสที่จะดูดซับน้ำจากระดับน้ำในดินที่ชุ่มชื้น เหมือนดังที่เกิดขึ้นในถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ดังนั้นจากภาพที่ 35 จึงเห็นได้ว่า ในช่วงเวลากลางวัน ที่น้ำในพืชถูกใช้ไปในกระบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ ความเครียดอันเกิดจากการขาดน้ำ (water deficit) ได้เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาสำหรับถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC

เมื่อมีการวัดอัตราการคายน้ำ (มิลลิโมล/ตารางเมตร/วินาที) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในการทดลองที่ 2 ในช่วงต้นฤดูหนาวในปีพ.ศ.2547 เห็นได้ว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC มีอัตราการคายน้ำที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI ตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโต (ภาพที่ 28) อัตราการคายน้ำที่สูงนั้นแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของน้ำในต้นถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ว่ามีความเครียดจากการขาดน้ำน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI การคายน้ำที่อยู่ในอัตราที่สูง หมายถึง การมีประสิทธิภาพของการใช้น้ำในระดับที่สูง (higher water use efficiency) ซึ่งส่งผลไปยังกระบวนการต่างๆ ของการเจริญเติบโต นอกจากนี้การคายน้ำในอัตราที่สูง หมายถึง การเปิดปิดปากใบ (stomatal resistance) ที่ก่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนกาซ CO_2 และไอน้ำในอากาศ ส่งผลให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสงได้

เมื่อพิจาณาถึงความต้านทานการเปิดปากใบ (stomatal resistance ; Rs) ที่วัดได้ในถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ในการทดลองที่ 1 และ 2 ถึงแม้ว่าในการทดลองทั้งสองนี้ จะใช้เครื่องมือวัดค่าความต้านทานการเปิดปากใบที่แตกต่างกัน (การทดลองที่ 1 ใช้ Porometer ส่วนในการทดลองที่ 2 ใช้ Portable automatic photosynthetic equipment ซึ่งสามารถวัดได้ทั้งค่าอัตราการสังเคราะห์แสง อัตราการคายน้ำ และความต้านทานของปากใบ) ในภาพที่ 31 และ 32 จะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC จะมีค่าของ stomatal resistance ต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI และมีศักยภาพในการเปิดปากใบได้มากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI เมื่อเป็นดังนี้จึงเห็นได้ว่า การที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำนั้น เป็นสภาพที่เกื้อกูลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการสังเคราะห์แสงจากกลไกของการคายน้ำ (transpiration mechanism) ซึ่งเริ่มต้นจากถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำไม่พบกับความเครียดจากการขาดน้ำ และเมื่อเจริญเติบโตในสภาวะที่น้ำสมบูรณ์ จึงมีอัตราการคายน้ำที่สูง มีประสิทธิภาพการใช้น้ำในระดับสูง การไหลเวียนของน้ำจากสภาวะดิน-พืช-และบรรยากาศ (soil-plant-atmosphere stratum) เป็นไปได้โดยสะดวก ก่อให้เกิดการใช้น้ำที่มีประสิทธิภาพ การแลกเปลี่ยนกาซ CO_2 และไอน้ำ และการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงในที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2.5 ภาพรวมของการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในการทดลองที่ 1 และ2

จากการวิเคราะห์และเชื่อมโยงข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 เห็นได้ว่าเมื่อมีการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำนั้น ได้มีการแสดงออกถึงลักษณะทางสรีรวิทยาหลายประการที่บ่งชี้ให้เห็นอาการของพืชที่ได้รับอิทธิพลจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ไม่ว่าจะเป็นช่วงที่พืชเครียดจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งได้แก่ ช่วงเวลาระหว่าง 26-19 วันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโตในช่วง V_3-V_5) ช่วงปรับตัวจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (acclimatization) ซึ่งอยู่ประมาณระยะ V_5 หรือ 26 วันหลังปลูก ในช่วงดังกล่าวกระบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ เช่น ความเขียวของใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบลดน้อยลงในช่วงที่เผชิญกับภาวะเครียด และค่าต่างๆ เหล่านี้จะเพิ่มขึ้นหลังจากมีการปรับตัว อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC เพิ่มขึ้นและสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI อย่างชัดเจน นอกจากนี้ศักยภาพของน้ำในพืชและกลไกของการคายน้ำก็เป็นไปในลักษณะที่เกื้อกูลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการสังเคราะห์แสงทั้งสิ้น

เมื่อพิจารณาจากการตอบสนองของการเจริญเติบโตหรือข้อมูลทาง agronomic สิ่งที่ยังไม่ปรากฏชัดเจนก็คือ การเจริญเติบโตของพืชตลอดจนผลผลิตของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ไม่สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI มากนัก การสะสมน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองในสองสภาวะการปลูกทั้งในการทดลองที่ 1 และ 2 (ภาพที่ 5 และ 6) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่ประการใด ส่วนผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตของถั่วเหลือง เช่น น้ำหนักเมล็ดต่อต้น และจำนวนฝักต่อต้นที่แสดงไว้ในตารางที่ 2ก็ยังไม่แตกต่างกันโดยชัดเจน จึงมีข้อสงสัยว่า หากกระบวนการทางสรีรวิทยาเกื้อกูลต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว การเจริญเติบโต เช่น การสะสมน้ำหนักแห้งและการให้ผลผลิตในถั่วเหลืองที่ปลูกในการทดลองที่ 1 และ 2 เหตุใดยังไม่ปรากฏชัดเจน และจะสามารถกำหนดเป็นมาตรฐานต่อไปได้หรือไม่ว่า การปลูกถั่วเหลืองในสภาพกระถาง จะสามารถนำมาใช้ในการศึกษาโดยละเอียดและลึกซึ้ง สำหรับการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้หรือไม่

ข้อสงสัยประการหนึ่งที่ผู้วิจัยสังเกตเห็นได้โดยชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายหลังจากเสร็จสิ้นการทดลองที่ 2 คือประมาณเดือนมีนาคม พ.ศ.2548 ได้แก่ การทดลองในกระถางในทุกการทดลองที่ได้ดำเนินการมานั้น จะมีปริมาณรากแก้วอัดแน่นอยู่ในกระถางเป็นจำนวนมาก ข้อสงสัยดังกล่าวนำมาซึ่งข้อพิจารณาว่า การอัดแน่นของรากถั่วเหลืองในกระถาง จะเป็นข้อจำกัดในการที่ถั่วเหลืองจะไม่สามารถแสดงออกถึงลักษณะการเจริญเติบโต เช่น การสะสมน้ำหนักแห้ง และการพิจารณาองค์ประกอบของผลผลิตได้เต็มที่ ทั้งๆ ที่มีการตอบสนองโดยชัดเจนจากลักษณะทางสรีรวิทยา เนื่องจากการเจริญเติบโตที่ไม่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมบูรณ์ อันเนื่องมาจากข้อจำกัดของการเจริญเติบโตในกระถาง สิ่งเหล่านี้เป็นสาเหตุของการศึกษาการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยเปรียบเทียบกับการเจริญเติบโตโดยปรกติ ซึ่งทำขึ้นในปี พ.ศ.2549 และเป็นการทดลองที่เปรียบเทียบระหว่างการเจริญเติบโตในกระถางและการเจริญเติบโตในสภาพแปลงทดลอง

2. การศึกษาถึงการตอบสนองของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยเปรียบเทียบระหว่างการทดลองในกระถางและการทดลองในแปลงทดลอง

2.1 ภาพรวมของการทดลองในกระถาง เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงทดลองและข้อจำกัดของการวิจัยบางประการ

การทดลองถึงการตอบสนองของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งเป็นการศึกษาระหว่างการทดลองในกระถางและการทดลองในแปลงปลูก ได้ทำขึ้นในเดือนกรฎาคม พ.ศ.2549 เป็นเวลากว่า 1 ปี หลังจากเสร็จสิ้นการทดลองที่ 2 ในเดือนมีนาคม พ.ศ.2548 สาเหตุของการเว้นช่วงการทดลองของการทดลองที่ 2 มาถึงการทดลองที่ 3 (การศึกษาการปลูกถั่วเหลืองในสภาพกระถาง) และการทดลองที่ 4 (การศึกษาการปลูกถั่วเหลืองในสภาพแปลงทดลอง) มีหลายประการ ประการแรกคือ ผู้วิจัยจำเป็นต้องวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 โดยละเอียด ทั้งการวิเคราะห์ในส่วนของการเขตกรรม เช่น การชั่ง นับ และวัด การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทางเคมี และการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านสถิติ ซึ่งจะทำให้สามารถวางแผนการทดลองให้เหมาะสมและรัดกุมกว่าเดิมได้ แต่สาเหตุใหญ่อีกประการหนึ่งที่ทำให้การทดลองหยุดชะงักไปเป็นเวลานานได้แก่ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างการบริหารงานของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตลำปาง มาเป็นมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตลำปาง ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งด้านสถานะของสถาบันฯ บุคลากร งบประมาณ ตลอดจนการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงสิ่งก่อสร้างและเครื่องมือทางด้านวิทยาศาสตร์ต่างๆ จนไม่สามารถที่จะดำเนินงานวิจัยให้ติดต่อกันได้ จนกระทั่งเมื่อการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตลำปาง มาเป็นมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตลำปาง แล้วเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงได้รับการอนุมัติให้ดำเนินการวิจัยต่อจากที่ได้ดำเนินการมาแล้วได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองเกี่ยวกับถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำในการทดลองที่ 3 และ 4 นี้ มีข้อจำกัด 2 ประการที่จำเป็นจะต้องกล่าวถึง ข้อแรกได้แก่ การทดลองดังกล่าวจะต้องดำเนินการในฤดูฝน แทนที่จะเป็นฤดูแล้ง สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำที่ได้ดำเนินการในอดีต เป็นการศึกษาในสภาพฤดูแล้งทั้งสิ้น เนื่องจากในฤดูแล้งเป็นช่วงระยะเวลาที่สามารถควบคุมปริมาณน้ำในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้การทดลองในประเทศไทยที่ทำขึ้นก่อนหน้านี้ที่จังหวัดชัยนาท ในปีพ.ศ.2539 (อภิพรรณและคณะ, 2539) ซึ่งเป็นการทดลองการตอบสนองของถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำตลอดปี ก็ต้องหลีกเลี่ยงการปลูกถั่วเหลืองในช่วงกลางฤดูฝน และดำเนินการก่อนฤดูทำนาคือ ในช่วงเริ่มต้นของฤดูฝนและในช่วงฤดูแล้งเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากความยุ่งยากในการควบคุมระดับน้ำในแปลงในช่วงฝนตก การศึกษาด้านการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำในครั้งแรกๆ ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในงานวิจัยของโกวิท (2533) ก็ประสบปัญหาการควบคุมระดับน้ำในการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จนไม่พบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองในการทดลองในฤดูฝนที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางแสน หากแต่พบความแตกต่างระหว่างการปลูกในสภาพ SSC และ CI อย่างชัดเจนในการศึกษาในฤดูแล้ง Pookpakdi (1992) ได้อธิบายถึงเทคนิคต่างๆ ในการศึกษาเกี่ยวกับการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งรวมถึงการทดสอบในฤดูฝนและฤดูแล้ง รวมทั้งการปลูกถั่วเหลืองเดี่ยวในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ และการปลูกถั่วเหลืองสลับกับข้าว โดยปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำเช่นกัน

ในการทดลองที่ 3 และ 4 ที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการนั้น สภาพพื้นที่แปลงทดลองที่ใช้อยู่ยังไม่พร้อมที่จะให้การชลประทานในฤดูแล้งอย่างสมบูรณ์ได้ การให้น้ำในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำในฤดูแล้งจำเป็นจะต้องใช้ปริมาณน้ำอย่างมากจากคลองหรือท่อส่งน้ำที่จะต้องให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ การดำเนินการเพื่อที่จะให้สภาพแปลงปลูกมีน้ำอย่างพอเพียงดังที่กล่าวมา จำเป็นจะต้องใช้เวลาและงบประมาณ ซึ่งผู้วิจัยไม่สามารถจัดหาได้ ดังนั้นสิ่งที่ดีที่สุดในสภาพการวิจัยดังกล่าว ได้แก่การวิจัยในฤดูฝน เนื่องจากปริมาณน้ำฝน สามารถช่วยเติมปริมาณน้ำในสิ่งทดลองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ทดแทนน้ำชลประทานได้ด้วย ข้อจำกัดข้อที่สองได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ในปีพ.ศ.2549 นั้นจัดว่าชุกมาก ทั้งช่วงของการตกของฝน และมีปริมาณน้ำฝนมากกว่าในฤดูอื่นๆ (ภาพภาคผนวกที่ 2) หรือแตกต่างอย่างมากจากปีพ.ศ.2547 (ภาพภาคผนวกที่ 1) ถึงแม้จะไม่มีการปลูกถั่วเหลืองในแปลงทดลองก็ตาม ปริมาณฝนที่ตกอย่างหนัก ก็เป็นอุปสรรคต่อการดำเนินการวิจัยในแปลงทดลอง (หรือแม้แต่ในสภาพกระถาง) ตั้งแต่เริ่มการเตรียมดิน การยกแปลงทดลอง การปลูกถั่วเหลืองจนกระทั่งถึงการเก็บเกี่ยว ในสภาพแปลงทดลองนั้น บางครั้งจำเป็นจะต้องมีการระบายน้ำออก เพื่อให้มีการคงระดับของน้ำในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มากกว่าที่จะเป็นระดับน้ำท่วมขัง (water logging) ซึ่งต้องทำขึ้นทั้งในสภาพ SSC และ CI รวมถึงในสภาพกระถางด้วย บ่อยครั้งที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณน้ำฝนที่ตกชุก ก็มีผลทำให้ระดับความชื้นของกระถางในสิ่งทดลอง CI เกือบจะไม่แตกต่างไปจาก SSC ในบางช่วงที่ฝนตกไม่หยุด อย่างไรก็ตามเพื่อเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างระหว่างการตอบสนองของถั่วเหลืองในสภาพกระถางและสภาพแปลงทดลอง จึงไม่ได้มีการนำกระถางถั่วเหลืองเข้าร่มแต่ประการใด คงตั้งทิ้งไว้ในที่โล่งแจ้ง เพื่อให้พบกับสภาพบรรยากาศเช่นเดียวกับที่เป็นอยู่ในสภาพแปลงทดลอง

2.2 การตอบสนองของถั่วเหลืองด้านการเจริญเติบโต

จากข้อมูลในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า การปลูกถั่วเหลืองในสภาพแปลงทดลองนั้น ถั่วเหลืองมีการพัฒนาการเจริญเติบโตช้ากว่าที่ปลูกในกระถางบ้างเล็กน้อย ถึงแม้จะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติก็ตาม เช่น วันสุกแก่เฉลี่ยของถั่วเหลืองที่ปลูกในแปลงทดลองเท่ากับ 94 วันหลังปลูก ในขณะที่เมื่อปลูกในกระถาง ถั่วเหลืองจะถึงจุดสุกแก่ทางสรีรวิทยาเมื่อ 91 วันหลังปลูก ส่วนวันเริ่มการออกดอกนั้น ถั่วเหลืองที่ปลูกในแปลง มีวันออกดอกช้ากว่าที่ปลูกในกระถางเพียง 1 วัน ซึ่งน่าจะเกิดจากการงอกในแปลงที่ใช้เวลาโผล่พ้นดินได้ช้ากว่าการงอกในกระถาง และสาเหตุที่น่าจะใช้ในการอธิบายได้ว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในแปลงสุกแก่ช้ากว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในกระถางได้แก่ การสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ด ตลอดจนการสุกแก่ของเมล็ด ที่มีการเจริญเติบโตในดินที่ชุ่มชื้นมากกว่าในกระถางทำให้มีระยะการสุกแก่ที่ล่าช้ากว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในกระถาง

ถั่วเหลืองที่ปลูกในแปลงทดลองและกระถาง ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำจะมีวันออกดอกและวันสุกแก่ช้ากว่าการปลูกในสภาพปรกติเล็กน้อย ซึ่งเป็นไปเช่นเดียวกันกับในการทดลองที่ 1 และ 2 ที่ได้ทำขึ้นในปีพ.ศ 2547.ถึงแม้จะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติก็ตาม ทั้งการปลูกถั่วเหลืองในกระถางและในแปลงทดลอง ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต เช่น จำนวนฝักต่อต้น น้ำหนักเมล็ดต่อต้น (ผลผลิตต่อต้น) ตลอดจนผลผลิตต่อพื้นที่ (กิโลกรัม/เฮกตาร์) ของการทดลองที่ 4 โดยรวมแล้วเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI มีค่าผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตที่สูงกว่าในสภาพ SSC (ตารางที่ 2) ซึ่งเป็นไปเช่นเดียวกันกับในการทดลองที่ 1 ซึ่งแม้จะมีการดำเนินการการทดลองในปีที่แตกต่างกัน แต่ก็มีวันปลูกที่ใกล้เคียงกันคือ เดือนกรฎาคม เหมือนกัน แต่ในการทดลองที่ 3 และ 4 มีสภาพของฝนที่ตกลงมา ซึ่งสร้างปัญหาของสภาพน้ำขังอยู่เป็นช่วงๆ สำหรับการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ สำหรับการเจริญเติบโตโดยทั่วไปนั้น การปลูกถั่วเหลืองในแปลงทดลอง (การทดลองที่ 4) ทำให้ถั่วเหลืองมีความสูงต่อต้นและพื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้น มากกว่าการปลูกถั่วเหลืองในกระถาง (ตารางที่ 3) แต่ทั้งการปลูกในกระถาง (การทดลองที่ 3) และการปลูกในแปลงทดลอง (การทดลองที่ 4) โดยสรุปจะเห็นได้ว่า การปลูกถั่วเหลืองในสภาพ SSC ทำให้ถั่วเหลืองมีความสูงต่อต้น มากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI แต่ไม่มีความแตกต่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กันทางสถิติ ในทางตรงข้าม พื้นที่ใบต่อต้นของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC โดยที่จำนวนข้อและจำนวนกิ่งต่อต้นของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพของการให้น้ำ 2 สภาพ ไม่มีความแตกต่างกันแต่ประการใด

จากภาพที่ 7 และ 8 ซึ่งแสดงถึงการสะสมน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโต เห็นได้ว่า ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างการปลูกถั่วเหลืองในสภาพ SSC และ CI ทั้งการปลูกในกระถางและการปลูกในแปลงทดลอง โดยที่น้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองทั้งสองสภาพการให้น้ำ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ตั้งแต่ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative growth) จนถึงการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ (reproductive growth) ซึ่งคล้ายคลึงกับการทดลองที่ 1 และ 2 เป็นอย่างมาก เพียงแต่ในการทดลองที่ 4 นั้น แสดงความแตกต่างของการปลูกถั่วเหลืองในแปลงทดลองที่ต่างจากการทดลองในกระถางประการหนึ่ง กล่าวคือ การสะสมน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองในสภาพ SSC ซึ่งไม่แตกต่างไปจากในสภาพ CI ตั้งแต่ระยะการเจริญเติบโต V_1 และลดลงจากน้ำหนักแห้งในสภาพการปลูก CI ในช่วงเริ่มออกดอกและติดเมล็ด คือในระยะการเจริญระหว่าง 59-37 วันหลังปลูก หลังจากนั้นจึงเพิ่มการสะสมน้ำหนักแห้งจนสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI ระหว่าง 59 วัน จนถึงการสุกแก่ทางสรีระ (R_7) คือ เมื่ออายุได้ 93 วัน ลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงการปรับตัวของถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำดังที่ได้เคยพบในการวิจัยต่างๆ ในอดีต (อภิพรรณและคณะ, 2533 ; อภิพรรณและคณะ, 2539 ; โกวิท, 2533 ; อำนาจและคณะ, 2530 ; Hunter et al., 1980 ; Nathanson et al., 1984 ; Pookpakdi, 1992 ; Trodson et al., 1981 ; Trodson et al., 1983 ; Trodson et al., 1989) ผลการทดลองดังกล่าว ชี้ให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ที่ไม่ปรากฏว่าเกิดขึ้นในอัตราที่สูงกว่าในสภาพ CI ของการทดลองต่างๆ ในกระถางนั้นอาจเป็นเพราะการจำกัดการเจริญเติบโตของรากที่อัดแน่นอยู่ในกระถาง หากเป็นการเจริญเติบโตแปลงทดลองแล้ว การเจริญของรากในแปลงปลูกเป็นไปได้อย่างมีอิสระมากกว่า สามารถชอนไชลงไปในดินได้มากกว่า ดังนั้นจึงทำให้การสะสมน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะหลังของการเจริญเติบโต เช่นในระยะการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ด (R_5-R_7) มีการสะสมน้ำหนักแห้งมากกว่า

คำอธิบายที่ว่า เหตุใดการสะสมน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองในสภาพ SSC มีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองในสภาพ CI จึงไม่ส่งผลทำให้ผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตถั่วเหลืองในสภาพ SSC สูงกว่าถั่วเหลืองในสภาพ CI ไปด้วย เหตุที่เป็นดังนี้ ก็เนื่องมาจากการที่ถั่วเหลืองที่ปลูกในการทดลองที่ 4 นั้น มีข้อจำกัดของการเจริญเติบโตบางประการ ซึ่งได้แก่ ประการที่ 1 คือ การเจริญเติบโตในสภาพวันยาว ซึ่งทำให้อายุการสุกแก่สั้นลง เพราะพันธุ์จักรพันธ์ 1 เป็นพันธุ์ที่มีลักษณะของ long juvenile trait จึงสุกแก่เสียก่อนที่น้ำหนักแห้งจากส่วนต่างๆ ของลำต้นและใบจะเคลื่อนย้ายไปสะสมในเมล็ดให้มากขึ้น และประการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่ 2 คือ ถั่วเหลืองในแปลงปลูก ต้องพบกับข้อจำกัดด้านความชื้นและอาจเกิดจากสภาพน้ำขัง ก็เป็นได้

2.3 การตอบสนองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำต่อลักษณะทางสรีรวิทยาของถั่วเหลือง : ความแตกต่างระหว่างถั่วเหลืองที่ปลูกในกระถางและในแปลงทดลอง

2.3.1 ความซีดของใบและปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวม

การทดลองที่ 3 ซึ่งเป็นการทดลองในกระถางและการทดลองที่ 4 ซึ่งเป็นการทดลองในแปลง แสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดถึงความซีดของใบ ที่พิจาณาจากค่าความเขียวของใบที่วัดโดยเครื่อง SPAD รุ่น Minolta ที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากการเผชิญกับสภาวะเครียดที่ต้องเจริญเติบโตอยู่ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (ภาพที่ 11 และ 12) หรือที่แสดงออกโดยพิจาณาจากปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวม (ภาพที่ 15 และ 16) ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าว แสดงให้เห็นได้ว่า สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ทำให้เกิดความกระทบกระเทือนต่อระบบรากแก้วของถั่วเหลือง การถูกทำลายของระบบรากแก้ว ส่งผลให้เกิดการขาดธาตุไนโตรเจนในระยะแรกๆ ของการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งอาการดังกล่าวได้แสดงออกทางใบในลักษณะของอาการซีดของใบ และการลดปริมาณของคลอโรฟิลล์ของใบ จากภาพที่ 11 และ 12 ตลอดจนภาพที่ 15 และ 16 สามารถสรุปได้ว่า ทั้งถั่วเหลืองในกระถางและในแปลง ได้รับความกระทบกระเทือนจากสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำคล้ายคลึงกัน แต่สิ่งที่แตกต่างกันระหว่างถั่วเหลืองที่ปลูกในกระถางและในแปลง ก็คือ จุดของการปรับตัวหรือ pint of acclimatization ซึ่งแตกต่างกันเป็นอย่างยิ่งระหว่างการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในกระถางและในแปลงทดลอง ถั่วเหลืองที่ปลูกในกระถางจะมีจุดของการปรับตัวที่ 28 วันหลังปลูกหรือในระยะ V_5 ซึ่งผลการทดลองนี้ ใกล้เคียงกับการทดลองที่ 1 และ 2 ที่ได้ทำขึ้นในกระถางในปีพ.ศ.2547 ในทางตรงข้ามสำหรับการทดลองในแปลงนั้น จุดปรับตัวของถั่วเหลืองจากสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำอยู่ที่ประมาณ 33 วันหลังปลูกหรือที่ระยะ V_7 การปรับตัวของถั่วเหลืองที่ปลูกในแปลง เมื่อถึงระยะท้ายๆ ของการเจริญเติบโ 136
ทางลำต้นหรือเมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์นั้น ได้มีการรายงานไว้ในการศึกษาเกี่ยวกับดินอิ่มตัวด้วยน้ำในอดีต เช่น โกวิท (2533) , Nathanson *et al*., (1984), Trodson et al. , (1981), Trodson *et al.,* (1983) เป็นต้น ภายหลังจากจุดของการปรับตัว (acclimatization) ดังกล่าว ทั้งความเขียวของใบที่สามารถวัดได้จากเครื่อง SPAD ตลอดจนปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวม ของใบถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ก็ไม่ได้แตกต่างไปจากลักษณะต่างๆ ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI แต่อย่างใด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3.2 อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลือง

จากภาพที่ 18 และ 19 ที่ได้แสดงถึงอัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกในกระถาง (การทดลองที่ 3) และในแปลง (การทดลองที่ 4) จะเห็นได้ว่า มีความแตกต่างกันเล็กน้อยระหว่างสภาพการปลูกสองประเภท โดยจะเห็นได้ว่า สำหรับการปลูกในแปลงนั้น ถั่วเหลืองที่ได้รับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จะมีอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ ตั้งแต่ 9 วันหลังปลูก (ระยะ V_1) จนถึง 33 วันหลังปลูก (ระยะ V_7) คือระยะที่ถั่วเหลือง เกิดความซีดของใบจนถึงระยะของจุดปรับตัวนั่นเอง อัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงนี้ คล้ายคลึงกับอัตราการสังเคราะห์แสงในการทดลองที่ 1 และ 2 ที่เห็นได้ชัดว่า ในสภาพของความเครียด เช่น การที่ระดับรากของถั่วเหลืองถูกน้ำท่วมขังนั้น พืชพยายามที่จะเร่งกระบวนการทางสรีรวิทยา เพื่อมิให้การเจริญเติบโตโดยรวมถูกกระทบ และในการทดลองที่ 4 เช่นเดียว กัน จะเห็นได้ว่าเมื่อถึงจุดของการปรับตัวแล้ว อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำก็ลดต่ำลงกว่าในสภาพ CI ซึ่งความแตกต่างระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงของทั้ง SSC และ CI มีความแตกต่างกันทางสถิติ สาเหตุที่เป็นดังนี้อาจเป็นเพราะว่า ความเครียดที่พืชได้รับเป็นเวลายาวนานจากการที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ และถึงแม้พืชจะถึงจุดของการปรับตัวก็ตาม แต่กระบวนการสังเคราะห์แสงที่เร่งอัตราของกระบวนการมาตั้งแต่ต้น อาจจะสูญเสียพลังงานลงและทำให้อัตราของกระบวนการดังกล่าวลดต่ำลงกว่าที่เป็นอยู่ในสภาพที่ถั่วเหลืองเจริญเติบโตอยู่ในสภาพที่ได้รับน้ำตามปรกติ

อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่แสดงไว้ในการทดลองที่ 3 ไม่ได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่าง SSC และ CI แต่ประการใด ในช่วงที่ถั่วเหลืองเกิดความซีด คือตั้งแต่อายุ 28-9 วันหลังปลูก (ระยะ V_1-V_5) แต่ภายหลังจากจุดของการปรับตัวไประยะหนึ่ง อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองในสภาพ SSC ก็มีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองในสภาพ CI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือตั้งแต่ระยะ R_3-R_6 ซึ่งเป็นระยะการเจริญเติบโตของเมล็ด ซึ่งค่าของอัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ที่แตกต่างไปจากสภาพ CI ในช่วงระยะเวลาดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงลักษณะของ acclimatization โดยชัดเจนว่า ความเครียดอันเกิดจากสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ได้ส่งผลให้ถั่วเหลืองชดเชยความสูญเสียอันเนื่องมาจากความเครียดดังกล่าว โดยการสะสมน้ำหนักแห้งในเมล็ดให้เพิ่มขึ้น การเจริญเติบโตของเมล็ด ตลอดจนความต้องการอาหาร (assimilate) เพื่อใช้ในการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดนั้น เป็นสาเหตุสำคัญของการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงที่ใบ ซึ่งทำให้เห็นได้ถึงความแตกต่างระหว่างการปลูกในสภาพ SSC และ CI

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สาเหตุที่น่าจะสามารถใช้เป็นข้ออธิบายว่า ในการทดลองที่ 3 นี้ อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ไม่แตกต่างจากในสภาพ CI ดังเช่น ที่พบในการทดลองที่ 2 สาเหตุอาจจะมาจากถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ได้รับผลกระทบจากสภาพการ 2 ประการคือ 1) จากสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและ 2) จากสภาพการที่ฝนตกหนัก ซึ่งทำให้ผิวของดินเปียกแฉะอยู่บ่อยๆ ลักษณะดังกล่าวทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในกระถาง เช่นในการทดลองที่ 3 นี้ไม่สามารถเพิ่มสูงกว่าการปลูกถั่วเหลืองในสภาพ CI ได้ดังเช่นในการทดลองที่ 2 (ซึ่งปลูกในสภาพที่ไร้ฝน) และการทดลองที่ 4 (ซึ่งเป็นการปลูกในแปลงทดลอง) ซึ่งปริมาณน้ำสามารถระบายออกจากผิวดินบนแปลงได้โดยง่าย ดังนั้นในช่วงของความเครียด เนื่องจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งแสดงออกโดยพิจาณาจากความซีดของใบ และทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC ไม่สูงกว่าในสภาพ CI และไม่ได้มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ประการใด

ในการทดลองที่ 3 และ 4 นั้น ค่าของคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นต์ (chlorophyll fluorescence) ที่แสดงไว้ในภาพที่ 38 และ 39 ไม่ได้มีความแตกต่างกันระหว่างถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและในสภาพการให้น้ำตามปรกติ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และ 2 จึงเห็นได้ว่า อิทธิพลของสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำนั้น มิได้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง ในส่วนของปฏิกิริยาที่ใช้แสง (light reaction) และอัตราการสังเคราะห์แสงที่ผันแปรไป อันเกิดจากสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำนั้น เกิดขึ้นจากกระบวนการทางเมตาบอลิซึม หรือปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง (dark reaction) นั่นเอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3.3 กลไกของการคายน้ำ (transpiration mechanism)

การทดลองที่ 3 และ 4 ซึ่งเป็นการทดลองในกระถางและในแปลงทดลองตามลำดับนั้น ไม่ได้มีการวัดศักย์ของน้ำ ดังเช่นในการทดลองที่ 2 เนื่องจากความยากลำบากและความไม่ปลอดภัยของผู้วิจัย สำหรับการวัดค่าศักย์ของน้ำในถั่วเหลือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเวลาดึก คือ เวลา 03.00 น .หรือในช่วง predawn โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแปลงทดลอง และในกระถางที่ปลูกถั่วเหลืองในการทดลองดังกล่าว ตั้งอยู่ในไร่นา จึงเป็นการยากลำบากในการสุ่มเก็บตัวอย่าง เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าศักย์ของน้ำในช่วงเวลาดึกสงัดเช่นนี้ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงนำเสนอเพียงผลการทดลองที่ 2 ดังปรากฏดังในภาพที่ 35 เป็นแนวทางของการวิจัย และคาดว่าการทดลองที่ 3 และ 4 นั้น ค่าศักย์ของน้ำของต้นถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC และ CI ก็คงจะเป็นไปในลักษณะดังเช่นที่ปรากฏในการทดลองที่ 2

อัตราการคายน้ำของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC สูงกว่าในสภาพ CI ทั้งในการทดลองที่ 3 และ 4 (ภาพที่ 29 และ 30) และเนื่องจากอัตราการคายน้ำของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC สูงกว่าในถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI จึงเป็นผลทำให้ความต้านทานของปากใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ต่ำกว่าที่ปลูกในสภาพ CI ด้วย (ภาพที่ 33 และ 34) ผลการทดลองดังกล่าวสามารถยืนยันได้ว่า การปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำนั้น ค่าศักย์ของน้ำในใบถั่วเหลืองจะมีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI ในเวลากลางวัน ปริมาณของน้ำที่มีมากเช่นนี้ ส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพของการไหลเวียนของน้ำในพืชจากดินเข้าสู่พืช และออกไปยังบรรยากาศ ก่อให้เกิดการใช้น้ำที่มีประโยชน์ (higher water use efficiency) และก่อให้เกิดการดูดซับของธาตุอาหารและกระบวนการเมตาบอลิซึม ซึ่งส่งผลให้ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีการเจริญเติบโตที่ดี การคายน้ำทำให้มีการเปิดปากใบ ซึ่งทำให้เกิดกระบวนการแลกเปลี่ยนกาซ CO_2 และไอน้ำ ส่งผลให้พืชมีปริมาณ CO_2 เพื่อนำมาแลกเปลี่ยนแปลงเป็นผลิตภัณฑ์ของการสังเคราะห์แสง (photosynthate) ได้ในที่สุด

2.3.4 การตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixation)

การทดลองที่ 3 ซึ่งเป็นการทดลองในกระถาง และการทดลองที่ 4 ซึ่งเป็นการทดลองในแปลง ได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ สามารถตรึงไนโตรเจนในอัตราที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI ตั้งแต่ระยะการเจริญเติบโตในระยะ V_3 หรือ 19 วันหลังปลูก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จนกระทั่งตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืช โดยวัดได้จากปริมาณยูรีไอด์สัมพัทธ์ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 38 และ 39 การตอบสนองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำของถั่วเหลือง โดยเพิ่มอัตราการตรึงไนโตรเจนที่พบได้ในการทดลองนี้ สอดคล้องกับการศึกษาถึงการตอบสนองของถั่วเหลืองในสภาพการปลูกของดินอิ่มตัวด้วยน้ำแทบทุกการทดลองที่ผ่านมาในอดีต (Pookpakdi *et al*., 1989, 1992 ; Troedson *et al* ., 1989 ; Guafa, 1993 ; อภิพรรณและคณะ, 2540) เพียงแต่ในการทดลองครั้งนี้ได้แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณยูรีไอด์สัมพัทธ์ ซึ่งเป็นค่าบอกถึงการเพิ่มอัตราการตรึงไนโตรเจนนั้น ไม่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับระดับของโปรตีนในเมล็ดและระดับของไนโตรเจนในเมล็ด เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ อัตราการเพิ่มขึ้นของกระบวนการตรึงไนโตรเจน มิได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนหรือเปอร์เซ็นต์โปรตีนในเมล็ดแต่ประการใด (ตารางที่ 12) อาจเป็นไปได้ว่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนหรือเปอร์เซ็นต์โปรตีนในเมล็ดนั้นถูกควบคุมโดยลักษณะของพันธุกรรมและการเปลี่ยนแปลงระดับของสิ่งแวดล้อมต่างๆ ดังเช่น การตรึงไนโตรเจนนั้นไม่สามารถก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับไนโตรเจนหรือระดับของโปรตีนในเมล็ดได้

2.3.5 กระบวนการทางสรีระที่ทำการศึกษาโดยมิได้มีการเปรียบเทียบระหว่างการทดลองในกระถางและในแปลงปลูก

2.3.5.1 ประสิทธิภาพของใบในการใช้แสงและการตรึงกาซคาร์บอนไดออกไซด์ : การจำลองการสังเคราะห์แสงของใบพืช

การวัดประสิทธิภาพของใบในการใช้แสงและการตรึงกาซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ทำการวิจัยในการทดลองที่ 2 และ 3 ซึ่งได้กล่าวมาแล้วว่า การศึกษาดังกล่าวเป็นเพียงการจำลอง (simulate) การสังเคราะห์แสงของใบถั่วเหลือง ในสภาพที่ผันแปรความเข้มของแสงและปริมาณของกาซคาร์บอนไดออกไซด์ และในการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงจะต้องใช้ถั่วเหลืองทั้งต้นที่ปลูกอยู่ในกระถาง โดยต้องนำกระถางที่มีถั่วเหลืองไปวัดค่าของการสังเคราะห์แสงในห้องปฏิบัติการ จึงทำให้ไม่สามารถดำเนินการได้ในถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพไร่นาหรือในสภาพแปลง

ค่า light response curve ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพการให้น้ำ 2 สภาพของการทดลองที่ 3 เมื่อวัดในระยะการเจริญเติบโต V_3 (ภาพที่ 24) และ V_7 (ภาพที่ 25) โดยวัดใบถั่วเหลืองที่แผ่ขยายเต็มที่ (youngest fully expanded leaf) ในระยะ V_3 แสดงให้เห็นชัดว่า ประสิทธิภาพของใบในการสังเคราะห์แสงระหว่างใบถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ไม่แตกต่างไปจากถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และเมื่อประสิทธิภาพของใบถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC และ CI ไม่ได้แตกต่างกันในระยะ V_3 จึงส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองในช่วงระยะเวลาดังกล่าว (ระยะ $V_1 – V_5$) ของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC และ CI ไม่แตกต่างกันด้วย (ภาพที่ 18) ต่อมาเมื่อได้จำลองการสังเคราะห์แสงของใบถั่วเหลืองในระยะ V_7เพื่อสร้าง light response curve (ภาพที่25) ทำให้เห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของใบถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ได้เพิ่มขึ้นจากเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับระยะ V_3 จนสูงกว่าประสิทธิภาพของใบถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI ในระยะ V_7และผลการทดลองดังที่แสดงไว้ในภาพที่ 25 ก็สอดคล้องกับอัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองในช่วงหลังจากผ่านการปรับตัว ดังปรากฏในภาพที่ 18 ประสิทธิภาพของใบถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำที่เพิ่มขึ้นจากระยะ V_3 จนถึงระยะ V_7 ได้แสดงให้เห็นชัดถึงลักษณะของ acclimatization อันเกิดจากการปรับตัวต่อลักษณะของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ และจากประสิทธิภาพของใบถั่วเหลืองในสภาพ SSC ที่สูงกว่าในสภาพ CI ในระยะ V_7 นั่นเอง ที่ทำให้การสังเคราะห์แสงโดยรวมของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ สูงกว่าที่ปลูกในสภาพปรกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงการพัฒนาของเมล็ด

เมื่อพิจารณาจาก CO_2 response curve คือ เส้นกราฟที่แสดงถึงอัตราการสังเคราะห์แสงของใบถั่วเหลือง 1 ใบที่เพิ่มขึ้น โดยการผันแปรของปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์ จากภาพที่ 26 และ 27 ได้แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของใบถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ในระยะ V_3 มีอัตราการตรึงกาซคาร์บอนไดดอกไซด์ที่ต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI เมื่อพิจาณาจากปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้เป็นตัวแปร แต่ประสิทธิภาพของใบถั่วเหลืองในสภาพ SSC ก็สูงเพิ่มขึ้น เมื่อถั่วเหลืองผ่านจุดของการปรับตัวจนถึงระยะ V_7 ซึ่งในระยะดังกล่าว ประสิทธิภาพของใบถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC สูงขึ้นกว่าเดิมจนกระทั่งไม่แตกต่างไปจากประสิทธิภาพของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI เมื่อพิจาณาถึงการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพของใบในการสังเคราะห์แสงจากระยะการเจริญเติบโต V_3 มาเป็น V_7 แล้ว การเปลี่ยนแปลงในทางบวกของความสามารถของใบในการสังเคราะห์แสงหลังจากที่ถั่วเหลืองผ่านพ้นจุดของการปรับตัวแล้ว ก็สามารถนับว่าเป็นลักษณะของ acclimatization ได้ด้วยเช่นกัน

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การศึกษาถึงประสิทธิภาพของใบ โดยการผันแปรความเข้มแสงหรือปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์ ถือได้ว่าเป็นการจำลองการสังเคราะห์แสงและผลที่ได้นั้น ช่วยทำให้เราสามารถเข้าใจการตอบสนองของถั่วเหลืองจากสิ่งทดลองที่ให้ได้ดีขึ้น ค่า Amax ($\mu moleCO_2m^{-2}s^{-1}$) ที่ความเข้มของแสง ณ จุดหนึ่ง หรือค่า Amax ที่ความเข้มข้นของกาซคาร์บอนไดออกไซด์ ณ ระดับหนึ่งก็ตาม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 8 และ 10 ได้แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของค่า Amax ของใบถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC จากระยะ V_3 จนถึงระยะ V_7 ซึ่งถึงแม้จะไม่แตกต่างกันทางสถิติจากค่า Amax ของใบถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI ก็ตาม แต่ก็เป็นการยืนยันได้ว่า ถั่วเหลืองสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสงให้สูงขึ้นได้ เมื่อผ่านจุดของการปรับตัวจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

สำหรับค่าของ Rubisco activity ซึ่งคำนวณได้จาก initial slope ของ A/Ci response curve นั้น เห็นได้ว่า ในระยะ V_3 นั้น ค่า Rubisco activity ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำนั้น น้อยกว่าที่ปลูกในสภาพ CI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อถั่วเหลืองผ่านจุดของการปรับตัวจากสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว ค่า Rubisco activity ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ก็เพิ่มขึ้นจาก0.0223 $molem^{-2}s^{-1}$ เมื่อระยะ V_3 เป็น 0.0291 $molem^{-2}s^{-1}$ ในระยะ V_7 ซึ่งในระยะ V_7 นั้น ค่า Rubisco activity ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI สูงเท่ากับ 0.0274 $molem^{-2}s^{-1}$ ซึ่งน้อยกว่าค่า Rubisco activity ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC จะเห็นได้ว่า การศึกษาถึงประสิทธิภาพของใบในการสังเคราะห์แสง จากการผันแปรระดับความเข้มของแสง (light response curve) และการผันแปรระดับของปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 response curve) นั้น ถึงแม้ว่าจะเป็นเพียงการจำลองกระบวนการสังเคราะห์แสง แต่ผลที่ปรากฏก็แสดงให้เห็นว่า อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำนั้น ถึงแม้จะถูกกระทบกระเทือนจากสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ในช่วงแรกที่มีการเจริญเติบโต ความเครียดที่พืชได้รับ ส่งผลให้พืชเร่งอัตราการสังเคราะห์แสงให้เพิ่มขึ้น และเมื่อผ่านพ้นจุดปรับตัวของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชก็เพิ่มสูงขึ้นกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติได้ในที่สุด

2.3.5.2 การวิเคราะห์การเจริญเติบโต (growth analysis)

ในการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของดินอิ่มตัวด้วยน้ำนั้น เฉพาะการทดลองที่ 4 ที่ได้มีการสุ่มเก็บตัวอย่างของถั่วเหลืองในช่วงต่างๆ ของการเจริญเติบโต เพื่อวัด นับ ชั่ง เพื่อวิเคราะห์หาความสูงต่อต้น จำนวนข้อต่อต้น จำนวนกิ่งต่อต้น พื้นที่ใบรวมต่อต้น ตลอดจนน้ำหนักแห้งรวมต่อต้น และพื้นที่ของใบสามารถนำมาใช้ในการคำนวณเพื่อวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช (เอ็จ, 2546)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากค่าต่างๆ ของการวิเคราะห์การเจริญเติบโต ได้แก่ อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (net assimilation rate ; NAR) อัตราการสะสมน้ำหนักแห้งต่อพื้นที่ (crop growth rate ; CGR) น้ำหนักใบจำเพาะ (specific leaf weight ; SLW) , Relative Growth Rate (RGR) และ Leaf Area Ratio (LAR) ตลอดจน ดรรชนีพื้นที่ใบ (LAI) นั้น ค่าของการวิเคราะห์การเจริญเติบโตที่ควรกล่าวถึงมากที่สุดได้แก่ ค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิหรือค่า NAR เนื่องจากค่า NAR เป็นค่าที่ใช้ประเมินความสามารถของพืชในการสังเคราะห์แสง เมื่อพิจารณาจากพื้นที่ของใบพืชที่รับแสงต่อพื้นที่ๆ กำหนด และน้ำหนักแห้งของพืชที่เพิ่มขึ้นจากหน่วยของพื้นที่ใบที่เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาต่างๆ ในอดีตการศึกษาทางด้านสรีรวิทยา ยังไม่มีเครื่องมือที่ใช้วัดการสังเคราะห์แสง เพื่อใช้ศึกษาถึงประสิทธิภาพของใบพืชในการตรึงกาซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งค่า NAR ก็ถูกใช้ในการประเมินถึงความสามารถของการสังเคราะห์แสงได้เช่นกัน

142

ภาพที่ 40 ซึ่งแสดงถึงค่า NAR ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกในสภาพปรกติ จากภาพจะเห็นได้ว่า ค่า NAR ของถั่วเหลืองในช่วงที่พืชเริ่มได้รับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำหรืออายุประมาณ 26-15 วันหลังปลูกนั้น ไม่ได้มีความแตกต่างกันระหว่าง SSC และ CI แต่อย่างใด ซึ่งคล้ายๆ กับการตอบสนองของถั่วเหลืองในสภาพ SSC เมื่อเทียบกับในสภาพ CI ในการทดลองที่ 3 (ภาพที่ 18) แต่แตกต่างจากอัตราการสังเคราะห์แสงที่วัดได้ของการทดลองที่ 4 (ภาพที่ 19) ซึ่งในการทดลองดังกล่าว อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI ในช่วงเวลาที่พืชได้รับความเครียดอันเนื่องมาจากสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ความแตกต่างระหว่างค่าของอัตราการสังเคราะห์แสงที่วัดได้จากเครื่องมือกับการคำนวณหาค่า NAR นั้น แตกต่างกันพอสมควร เนื่องจากการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงจากเครื่องมือได้วิเคราะห์จากจำนวนโมลของแสงที่ทำปฏิกิริยา ปริมาณของกาซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกใช้ไป รวมทั้งประสิทธิภาพของใบที่ทำการสังเคราะห์แสง ซึ่งรวมไปถึงประสิทธิภาพของเอนไซม์ ส่วนค่า NAR นั้น พิจารณาจากปริมาณน้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากที่หักเอาส่วนที่สูญเสียไปจากกระบวนการหายใจออกไปแล้ว ดังนั้นค่าของการสังเคราะห์แสงทั้งสองค่า จึงไม่จำเป็นต้องสอดคล้องกันเสมอไป แต่จากค่าของ NAR ที่แสดงไว้ในภาพที่ 34 แสดงให้เห็นได้ว่า ภายหลังจากที่พืชได้รับความเครียดในระยะหนึ่ง และใกล้จะถึงจุดของการปรับตัว ค่า NAR ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ก็สูงขึ้นกว่าในสภาพ CI ในช่วงระหว่าง 37-26 วันหลังปลูก หลังจากนั้นค่า NAR ของการปลูกในทั้ง 2 สภาพไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จนสิ้นสุดระยะการเจริญเติบโต

นอกจากค่า NAR แล้ว ค่าน้ำหนักใบจำเพาะ (SLW) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ก็ยังมีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI (ภาพที่ 35) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่ถั่วเหลืองเริ่มมีการปรับตัวตลอดจนสามารถปรับตัวได้แล้วจากสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ค่า SLW หมายถึงความหนาของใบพืช ซึ่งแสดง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ถึงขนาดของเซลล์มีโซฟิลล์ (mesophyll cells) ในใบพืชที่ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสง ซึ่งถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC มีค่าของ SLW สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI ความหนาของใบพืชที่ปลูกในสภาพ SSC เกิดขึ้นจากการเจริญเติบโตของพืชที่มีน้ำอย่างพอเพียง ไม่มีสภาพของการขาดน้ำ ทั้งความเต่งของใบ (leaf turgidity) ตลอดจนจำนวนเซลล์และขนาดของเซลล์ที่เพิ่มสูงขึ้นจากประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสงและการตรึงไนโตรเจน การเพิ่มขึ้นของค่า SLW นั้น สามารถถือได้ว่าเป็นลักษณะของ acclimatization ได้เช่นกัน

องค์ประกอบอื่นๆ ของการวิเคราะห์การเจริญเติบโต เช่น ค่าของ CGR, RGR และ LAR นั้น ไม่พบว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC มีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI แต่ประการใด และส่วนมากค่าดังกล่าวของค่า CGR, RGR และ LAR นั้น ความแตกต่างระหว่างถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC และ CI มักจะไม่มีความแตกต่างมากกันจนถึงระดับทางสถิติ เนื่องจากการคำนวณหาค่า CGR, RGR และ LAR นั้นเกี่ยวข้องกับค่าของน้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อการสะสมน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC และ CI ไม่มีความแตกต่างกัน ยกเว้นในระยะที่ 93-59 วันหลังปลูก (R_5-R_7) ค่าของ CGR, RGR และ LAR ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและในสภาพปรกติ จึงไม่แตกต่างกันไปด้วย

สำหรับค่าดรรชนีพื้นที่ใบนั้น เนื่องจากค่า LAI เป็นสัดส่วนระหว่างพื้นที่ของใบและพื้นที่ๆ พืชปกคลุมอยู่ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า ในระยะแรกๆ ของการเจริญเติบโต ซึ่งเป็นระยะที่ใบพืชยังไม่ได้มีการพัฒนาเต็มที่ ค่า LAI ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC จึงไม่แตกต่างไปจากที่ปลูกในสภาพ CI แต่เมื่อถั่วเหลืองเจริญเติบโตเข้าสู่ช่วงการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ ตั้งแต่ระยะ R_1 ถึงระยะ R_5-R_6 ซึ่งเป็นช่วงใกล้ๆ กับจุดสูงสุดของการพัฒนาค่าดรรชนีพื้นที่ใบ (maximum LAI) แล้ว ถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตในสภาพ CI ซึ่งมีพื้นที่ใบต่อต้นมากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC (ตารางที่ 3) จึงมีการพัฒนาค่าดรรชนีพื้นที่ใบที่สูงกว่าถั่วเหลืองในสภาพ SSC และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอีกด้วย

3. ภาพรวมของการศึกษาถึงการตอบสนองของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

โดยสรุปของผลการศึกษาเกี่ยวกับการปลูกถั่วเหลืองทั้งในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและในสภาพปรกติในครั้งนี้ ได้ยืนยันผลการศึกษาในอดีตที่ได้แสดงให้เห็นว่า การะสมน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ตลอดจนผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ เนื่องจากสถานะภาพของน้ำในต้นถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC สูงกว่าต้นถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI ซึ่งนอกจากจะทำให้กลไกของการคายน้ำสูงขึ้นด้วยแล้ว ยังเพิ่ม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (water use efficiency) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ให้สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI และเพิ่มศักยภาพของการแลกเปลี่ยนกาซคาร์บอนไดออกไซด์กับไอน้ำที่บริเวณปากใบให้สูงขึ้น ทำให้เพิ่มศักยภาพของการสังเคราะห์แสงในถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ให้สูงกว่าที่เป็นอยู่ เมื่อเทียบกับถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI

นอกจากนี้การศึกษาดังกล่าว ยังสามารถยืนยันผลของการทดลองเกี่ยวกับประสิทธิภาพของการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตในสภาพ SSC ซึ่งสูงกว่าในสภาพ CI ดังเช่นที่ได้มีการรายงานไว้ในอดีต ทั้งสถานะของน้ำในถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC หรือประสิทธิภาพของการตรึงไนโตรเจน ซึ่งเป็นปัจจัย 2 ประการในอีกหลายประการที่ส่งผลทำให้ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC มีการเจริญเติบโตที่ดีและให้ผลผลิตที่สูงกว่าในสภาพ CI ซึ่งได้มีการยืนยันโดยการทดลองในอดีตแล้วเช่นกัน

ทั้งการศึกษาที่ทำขึ้นในครั้งนี้ ไม่ว่าจะเป็นการทดลองในกระถางหรือการทดลองในแปลงปลูก การวิจัยได้เน้นไปที่การตอบสนองของถั่วเหลืองในช่วงที่ได้รับความเครียดอันเนื่องมาจากการได้รับสภาพน้ำท่วมขัง ซึ่งจุดปรับตัว (acclimatization point) ของถั่วเหลืองจากสภาพน้ำท่วมขัง และการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองภายหลังจากน้ำท่วมขัง ในการทดลองในกระถางนั้น ช่วงที่ถั่วเหลืองพบกับสภาพของความเครียดอันเกิดจากน้ำท่วมขังอยู่ที่ระหว่าง 28-19 วันหลังปลูก ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ใบเกิดอาการซีด และเกิดการปรับตัว (acclimatization) ในช่วง 28-27 วันหลังปลูก ส่วนถั่วเหลืองที่ปลูกในแปลงทดลองนั้น จุดปรับตัวจากสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำอยู่ที่ 33 วันหลังปลูก

หลังการปรับตัวแล้ว ทั้งถั่วเหลืองที่ปลูกในกระถางและในแปลงปลูก ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้เพิ่มความเขียวของใบมากขึ้นและจากการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ พบว่ามีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ ซึ่งถือว่าเป็นลักษณะของความชดเชยต่อความเครียดในการปรับตัวให้ทนต่อภาวะเครียดให้มากยิ่งขึ้นกว่าเดิม ซึ่งการจำลองประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสง จากการสร้าง light response curve และ CO_2 response curve พบว่า ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของใบของถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำเพิ่มขึ้นจากระยะ V_3 (ระยะที่เกิดความเครียด) ถึงระยะ V_7 (ระยะที่ผ่านจุดปรับตัว) ซึ่งถือว่าเป็นลักษณะของการปรับตัว (acclimatization) ได้เช่นกัน ในสภาพแปลงปลูกนั้น การสะสมของน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI ในช่วงระยะเวลา 93-59 วันหลังปลูก ซึ่งก็เป็นข้อยืนยันตรงกับผลการวิจัยที่ผ่านมาในอดีต นอกจากนั้นค่า specific leaf weight ของถั่วเหลืองในแปลงปลูก ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ยังมีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ หลังจากพืชมีการปรับตัวจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในการทดลองดังกล่าว สิ่งที่พบในการทดลองทั้งในกระถางและในแปลงปลูกได้แก่ อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองในช่วงที่พืชได้รับความเครียด ซึ่งมีค่าสูงในถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC และมีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI จึงแสดงให้เห็นว่า พืชมีการเร่งการเจริญเติบโตและกระบวนการทางสรีรวิทยาให้เพิ่มมากขึ้นในช่วงวิกฤต เพื่อที่จะได้ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่พึงประสงค์ได้

ในการจำลองประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสง ในการทดลองที่ 2 และ 3 นั้น ค่าของ Rubisco activity ของถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตในสภาพ SSC มีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI ในช่วงระยะ V_3 มากกว่าในระยะ V_7 ซึ่งผลการทดลองดังกล่าว สามารถสนับสนุนสมมุติฐานดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นได้ ในการทดลองที่ 2 และ 3 ก็ได้พบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตในสภาพ SSC มีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI ภายหลังจากที่ผ่านจุดของการปรับตัวมาแล้ว

ถึงแม้ทั้ง 4 การทดลองนี้ อาจจะมีปัจจัยบางประการที่ทำให้เกิดความแปรปรวนของข้อมูลอยู่บ้าง เช่น ลักษณะของการทดลองในกระถาง น่าจะเกิดจากการอัดแน่นของราก ซึ่งน่าจะทำให้เกิดขีดจำกัดที่ทำให้ไม่สามารถเกิดความแตกต่างของการสะสมน้ำหนักแห้งและผลผลิตของถั่วเหลืองได้ ตลอดจนปริมาณน้ำฝนที่ตกหนักในช่วงฤดูฝน ปีพ.ศ.2549 ซึ่งอาจจะจะทำให้ข้อมูลด้านเขตกรรมคือ องค์ประกอบผลผลิตในถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำไม่สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ แต่ในการศึกษาครั้งนี้ผลของการศึกษาได้ชี้ให้เห็นถึงการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาของถั่วเหลืองในหลายประการอย่างชัดเจน จนสามารถเข้าใจได้ว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำนั้น จะปรับตัวโดยการแสดงออกด้วยกระบวนการทางสรีรวิทยาเช่นใด ที่สามารถทำให้ชดเชยความเสียหายอันเกิดจากภาวะเครียดของการเจริญเติบโต ภายใต้สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จนสามารถสะสมน้ำหนักแห้งและให้ผลผลิตได้สูงขึ้นในที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

สำหรับการศึกษาถึงลักษณะการเจริญเติบโต การให้ผลผลิตและการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ จากการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า

1. ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีแนวโน้มของการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ใกล้เคียงกับถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ แม้ในบางทดลองจะมีการให้ผลผลิตที่น้อยกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ อาจเป็นผลเนื่องมาจากสภาพการปลูกในช่วงฤดูฝน

2. เมื่อถั่วเหลืองเข้าสู่ระยะ reproductive ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาวะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ได้แสดงถึงการปรับตัวในสภาวะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จากสภาวะที่ใบมีอาการซีดเหลืองกลับมาเป็นใบเขียวสด และถั่วเหลืองมีการชดเชยการเจริญเติบโตในสภาวะเครียด โดยการเพิ่มความสูงของลำต้น จำนวนข้อต่อต้น จำนวนกิ่งต่อต้น ให้มากขึ้น เพื่อเพิ่มศักยภาพของการให้ผลผลิตให้สูงกว่าหรือเท่ากับถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ

3. ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำในทุกๆ การทดลอง มีอายุสุกแก่ที่มากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ เนื่องจากพันธุ์ถั่วเหลืองที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แก่ พันธุ์จักรพันธ์ 1 ซึ่งมีลักษณะเป็น long juvenile trait จึงสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพวันสั้น (short day) มากกว่าในสภาพวันยาว (long day) รวมทั้งการที่ถั่วเหลืองเผชิญกับสภาวะเครียด จึงต้องยืดอายุการสุกแก่ออกไปอีก

4. เมื่อได้ศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยา ในด้านความเขียวของใบ โดยวัดค่าความเขียวของใบโดยใช้เครื่องมือ SPAD chlorophyll meter ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการปรับตัว (acclimatization) ได้อีกประการหนึ่ง พบว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อเผชิญกับสภาวะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ใบจะมีอาการซีดเหลือง และหลังจากผ่านการปรับตัวจากสภาวะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ใบกลับมามีสีเขียวอีกครั้ง โดยพิจารณาจากค่าความเขียวของใบและปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวมของใบ ซึ่งถั่วเหลืองที่มีอาการใบซีดเหลือง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สามารถปรับตัวเข้าสู่สภาพปรกติได้ โดยใบมีสีเขียวสด กลับเป็นปรกติเมื่อถั่วเหลืองอยู่ในระยะการเจริญเติบโต ประมาณ V_5-V_6 หรือเมื่อถั่วเหลืองมีอายุ 26-28 วันหลังปลูก

5. ในช่วงที่ได้รับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองในสภาพปรกติ และถั่วเหลืองต้องมีการปรับตัวให้ทนต่อต่อสภาวะเครียด จึงต้องเพิ่มกระบวนการเมตาบอลิซึมให้สูงขึ้น และหลังจากผ่านจุดของการปรับตัวไปแล้ว จะเห็นว่าอัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีค่ามากกว่าอัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติโดยตลอด ถึงแม้จะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติก็ตาม แต่สำหรับค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนต์ (chlorophyll fluorescence) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ

6. การศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการใช้แสง (light response curve) และประสิทธิภาพของการตรึงกาซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 response curve) พบว่า ในช่วงระยะ V_3 หรือในช่วงที่ได้รับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ประสิทธิภาพการใช้แสงของใบถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีค่าต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ และเมื่อหลังจากผ่านจุดของการปรับตัวไปแล้ว ในระยะ V_7 จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำมีประสิทธิภาพการใช้แสงที่ใกล้เคียงกับถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพปรกติ ซึ่งคล้ายคลึงกับการตอบสนองในเรื่องประสิทธิภาพการตรึงกาซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยพบว่า ประสิทธิภาพของการตรึงกาซคาร์บอนไดออกไซด์ของใบถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำเมื่อยังไม่ถึงจุดการปรับตัว มีค่าต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ แต่เมื่อผ่านจุดของการปรับตัวมาแล้ว ประสิทธิภาพของการตรึงกาซคาร์บอนไดออกไซด์ของใบถั่วเหลือง ก็จะเพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพปรกติ

7. ในการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาเกี่ยวกับการคายน้ำ จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีอัตราการคายน้ำที่มากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ และนอกจากนี้ยังมีค่าศักย์ของน้ำในใบ (leaf water potential) ที่มากกว่าใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติอีกด้วย

8. การตรึงไนโตรเจน ของถั่วเหลือง ซึ่งแสดงให้เห็นในรูปของปริมาณยูรีไอด์สัมพัทธ์ (relative ureides index) จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ สามารถตรึงไนโตรเจนในอัตราที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ ตั้งแต่ระยะ V_3 จนกระทั่งตลอดเวลาระยะเวลาของการเจริญเติบโตแต่จะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เห็นว่า เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและเปอร์เซ็นต์โปรตีนในเมล็ด ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและในสภาพปรกติ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

9. การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของถั่วเหลือง เช่น Net Assimilate Rate (NAR) , Crop Growth Rate (CGR) , Specific Leaf Weight (SLW) , Relative Growth Rate (RGR) , Leaf Area Ratio (LAR) และ Leaf Area Index (LAI) นั้น พบว่า ค่า NAR และ SLW ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำมีค่ามากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ ส่วนค่า CGR, RGR, LAR และ LAI นั้น ไม่พบความแตกต่างแต่อย่างใดระหว่างการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและในสภาพปรกติ

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาถึงการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลือง ณ จุดของการปรับตัว เมื่อปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกในสภาพปรกติ ทั้งการศึกษาในสภาพกระถางและสภาพแปลงทดลองในไร่นานั้น ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะบางประการ เพื่อประโยชน์ของการศึกษาในลักษณะเช่นนี้ในอนาคต ดังต่อไปนี้

1. การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาครั้งแรกที่มุ่งเน้นที่การตอบสนองด้านสรีรวิทยาของถั่วเหลือง ซึ่งยังไม่เคยมีการดำเนินการมาเช่นนี้มาก่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทย และการทดลองดังกล่าวนี้ได้ใช้เครื่องมือการวัดและการวิเคราะห์ด้านสรีรวิทยาหลายประเภท ตลอดจนได้ใช้เทคนิคต่างๆ ในการศึกษาครั้งนี้ ดังนั้นสมควรที่จะได้มีการศึกษาในลักษณะเช่นนี้ซ้ำอีกต่อไปในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ชนิดอื่นๆ ในการศึกษา โดยอาจจะเปลี่ยนวิธีวิเคราะห์และเทคนิคต่างๆ ตลอดจนการเปลี่ยนพันธุ์ถั่วเหลือง ให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น

2. จากการศึกษาดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า การศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองของถั่วเหลืองในด้านสรีรวิทยา เมื่อเจริญเติบโตในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำนั้นสามารถทำได้ และข้อมูลที่แสดงออกมานั้น นับว่าเป็นการตอบสนองอย่างมีเหตุมีผล การทดสอบในสภาพกระถางนั้น ทำให้ผู้วิจัยสามารถวัดลักษณะทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตอยู่ในกระถางจริงๆ โดยไม่ทำลายส่วนของใบหรือต้น (non-destructive sample) แต่มีข้อเสียคือ ทำให้เกิดคำถามที่จะต้องตอบให้ได้ว่า ถั่วเหลืองต้นนั้นเป็นตัวแทนของต้นถั่วเหลืองทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองได้หรือไม่ ข้อเสียอีกประการหนึ่งของการปลูกในสภาพกระถางคือ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การจำลองสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำในการปลูกถั่วเหลืองในกระถาง โดยการนำกระถางไปแช่น้ำไว้ตลอดเวลาในอ่างซีเมนต์ จะมีผลทำให้ระดับของน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับของผิวดินตามที่กำหนดไว้ได้หรือไม่ เพราะดินในกระถางนั้นเป็นดินผสม การซึมของน้ำเข้าสู่ผิวดินจึงไม่สามารถทำได้ในลักษณะของ capillary rise ดังเช่นในสภาพแปลง และปัญหาอีกประการหนึ่งของการปลูกถั่วเหลืองในกระถาง ซึ่งได้แก่ สภาพของรากพืชที่อัดแน่นอยู่ในกระถางอีกด้วย

3. ตามความเป็นจริงแล้ว การปลูกถั่วเหลืองในสภาพแปลงทดลองนั้น เป็นสภาพของดินอิ่มตัวด้วยน้ำที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติที่สุด แต่การปลูกในสภาพแปลงทดลองนั้น เป็นสภาพที่ศึกษาทางด้านสรีรวิทยาได้อย่างจำกัด เนื่องจากมีเครื่องมือทางสรีรวิทยาเพียงไม่กี่ชนิด ที่สามารถนำไปใช้ในสภาพแปลงทดลองได้ ดังนั้นข้อมูลที่ได้ส่วนใหญ่ จึงต้องมาจากการเก็บตัวอย่างโดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่าง อย่างเป็นระบบ (systematic sampling) ซึ่งหากไม่ระมัดระวัง ก็จะทำให้ข้อมูลผิดพลาดได้โดยง่าย ข้อพิจารณาที่สำคัญของการศึกษาของถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำที่ปลูกในสภาพแปลงทดลองนอกเหนือจากการสุ่มเก็บตัวอย่างแล้ว สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่ง ได้แก่ ขนาดของแปลงทดลอง เพราะหากใช้ขนาดแปลงทดลองที่ใหญ่มากเกินไป (แปลงย่อยที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เท่ากับ 344 ตารางเมตร) ก็จะทำให้เกิดความแปรปรวนของสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำบนแปลงเดียวกันได้โดยง่าย และย่อมทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้เช่นกัน

4. ผู้วิจัยมีความเห็นว่า ลักษณะทางสรีรวิทยาที่ได้มีการศึกษาในถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำในครั้งนี้ เป็นลักษณะที่ไม่แสดงออกอย่างชัดเจน ดังเช่น ลักษณะการเจริญเติบโต อาทิ เช่น การสะสมน้ำหนักแห้ง จำนวนกิ่ง หรือองค์ประกอบผลผลิต และบ่อยครั้งที่ลักษณะทางสรีรวิทยาหนึ่งย่อมผันแปรไปตามลักษณะทางสรีรวิทยาอื่นๆ อาทิเช่น อัตราการสังเคราะห์แสงกับอัตราการคายน้ำและการปิดเปิดปากใบ ดังนั้นในการศึกษาและการแปรข้อมูลต่างๆ เพื่อสรุปให้เห็นชัดว่า การตอบสนองของพืชชนิดนี้จะเป็นเช่นใด จำเป็นจะต้องเก็บข้อมูลในหลายๆ ด้านด้วยกัน ทั้งในด้าน การเจริญเติบโตของพืช ลักษณะทางสรีรวิทยาต่างๆ ตลอดจนการพัฒนาการเจริญเติบโตของพืช และการปรับตัวของพืชกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ปลูกและวันปลูก และนำข้อมูลต่างๆ เหล่านี้มาวิเคราะห์เพื่อสรุปให้เห็นถึงการตอบสนองที่แท้จริงของพืชชนิดต่างๆ ดังเช่นที่ได้ศึกษาในถั่วเหลืองครั้งนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตรและกรมส่งเสริมการเกษตร. 2529. **แผนพัฒนาพืชในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 6 พ.ศ.2530-2534**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

โกวิท ธีรวิโรจน์. 2533**. การตอบสนองของถั่วเหลืองพันธุ์ต่างๆ ต่อสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เกศสุดา มนตรีศรี. 2549. **การเจริญเติบโต การให้ผลผลิตและลักษณะทางสรีระของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำโดยได้รับปัจจัยต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกถั่วเหลืองในสภาพปกติ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เจริญ ท้วมขำ. 2539. **อิทธิพลของพันธุ์และอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและ ผลผลิตของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินอิ่มตัวด้วยน้ำ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เฉลิมพล แซมเพชร. 2535. **สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่**. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

นงลักษณ์ เกียรติเลขากุล. 2530**. การศึกษาการปรับตัวเพื่อตอบสนองต่อความเครียดน้ำของพืชชนิดต่างๆ ในระบบนิเวศน์ธรรมชาติ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

นิวัติ เรืองพานิช. 2535. **วิทยาศาสตร์ทุ่งหญ้า**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม, อำพรรณ พรมศิริ และเฉลิมพล แซมเพชร. 2532. วิธีการวัดการตรึงไนโตรเจนในถั่วเหลืองโดยวิธีวิเคราะห์น้ำหล่อเลี้ยงต้น *ใน* **คู่มือการประชุมปฏิบัติการ หน้า 1-28**. ณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปิยะดา ธีระกุลพิศุทธิ์. 2537. **สรีรวิทยาของพืช**. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

วรรณชลี ศิริวัฒนไพฑูรย์. 2529. **อิทธิพลของความชื้นของดินต่อการเกิดปมและประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนของไรโซบียมและถั่วเหลือง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2552. **พันธุ์พืชที่พัฒนาโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2536. **สรีรวิทยาของพืช**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมศักดิ์ วังใน. 2516. **การตรึงไนโตรเจน : ไรโซเบียม-พืชตระกูลถั่ว**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สาวิตร มีจุ้ย. 2546. **เอกสารประกอบการฝึกงานสรีรวิทยาของพืช ระดับปริญญาตรี สาขาพืชศาสตร์**. สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง, ลำปาง.

สุทัศน์ จุลศรีไกรวัล. 2516. **ความสัมพันธ์ของระยะปลูกที่มีต่อการหักล้ม ผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดถั่วเหลือง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2529ก. **สถานการณ์ถั่วเหลือง ปี 2528/2529 และแนวโน้มปี 2529/2530**. เอกสารเศรษฐกิจการเกษตรเลขที่ 52/2529. ฝ่ายวิจัยสินค้าเกษตรกรรมที่ 5, กองวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2529ข. **สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2528/2529**. เอกสารสถิติการเกษตร เลขที่ 328, กรุงเทพฯ.

_____ . 2546. **สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีการเพาะปลูก 2546/2547**. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. 2529. **รายงานประจำปี 2529**. สำนักนายกรัฐมนตรี, กรุงเทพฯ.

อภินันท์ กำนัลรัตน์, ประวิตร โสภโณดร และสายัณห์ สดุดี. 2535. **เอกสารคำสอนสรีรวิทยาการผลิตพืช**. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

อภิพรรณ พุกภักดี. 2528. **ระบบการปลูกพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กลุ่มหนังสือเกษตร, กรุงเทพฯ.

อภิพรรณ พุกภักดี. 2533. **สรีรวิทยาการผลิตพืชตระกูลถั่ว**. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อภิพรรณ พุกภักดี. 2545. **ถั่วเหลือง : พืชทองของไทย**. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อภิพรรณ พุกภักดี, ปรัชญา รอดจากเข็ญ และผดุงสิทธิ์ อินทรชัยญะ. 2533. การทดสอบเบื้องต้นในไร่นาเกษตรถึงความเป็นไปได้ของการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยปลูกเดี่ยวและปลูกร่วมกับข้าว *ใน* **รายงานผลการวิจัยโครงการ ป-น 3.1.22. "โครงการปรับปรุงผลผลิตและรายได้ในการปลูกถั่วเหลืองและถั่วเขียว โดยทางเขตกรรม สรีรวิทยา และระบบการทำฟาร์ม" ประจำปี พ.ศ. 2533**. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อภิพรรณ พุกภักดี, เจริญ ท้วมขำ, วิจิตร เบญจศีล และชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. 2539. อิทธิพลของพันธุ์และปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ *ใน* **รายงานการสัมมนาการวิจัยและพัฒนาพืชโปรตีนสูงครั้งที่ 4 หน้า 94-105**. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จัดทำขึ้นที่สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5 จังหวัดสุพรรณบุรี 19-21 มิถุนายน 2539.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อภิพรรณ พุกภักดี, เจริญ ท้วมขำ, วิจิตร เบญจศีล และชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. 2540. อิทธิพลของพันธุ์และปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ. **วิทยาสารเกษตรศาสตร์**. 31 : 271-281.

อภิพรรณ พุกภักดี, หฤษฎี ภัทรดิลก, สุวิทย์ เหล่าศิริวงศ์ และอดิศักดิ์ สุวิทวัช. 2535. ความแตกต่างของผลผลิต การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองพันธุ์สจ.4 เมื่อปลูกในพื้นที่ปลูก จังหวัดขอนแก่น และกำแพงแสน โดยให้มีฤดูปลูกและอัตราปลูกต่างกัน, o.97-110. *ใน* **รายงานการสัมมนาทางวิชาการถั่วเหลือง ครั้งที่ 4. 19-21 สิงหาคม 2535**. มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น.

อารมย์ ศรีพิจิตต์. 2525. ข้อแตกต่างระหว่างพืช C_3 และพืช C_4. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรศาสตร์**. 6 : 425-432.

อู่แก้ว ประกอบไวทยกิจ บีเวอร์. 2531. **นิเวศวิทยา**. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

เอ็จ สโรบล. 2521. **อิทธิพลของอัตราปลูกที่ดีต่อผลผลิตและลักษณะบางประการที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อำนาจ ชินเศรษฐ์, วันชัย ถนอมทรัพย์ และเฉลิม ไหลรุ่งเรือง. 2530. การศึกษาการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ในฤดูแล้ง, น.130-140. *ใน* **รายงานผลงานทดลองฤดูแล้ง พ.ศ.2530**. ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท, ชัยนาท.

Allen, L.H.Jr. 1976. Soil water and root development. **Soil Crop Sci**. 36 : 1-9.

Belikov, I.F. and L.I. Pirskii. 1966. Violation of the local distribution of assimilates in soybean. **Sov. Plant Physiol**. (Eng. Trans.). 13 : 406-410.

Besnett, J.M. and S.L. Albrecht. 1984. Drought and flooding effects on N_2 fixation, water relations and diffusive resistance of soybean. **Agron. J**. 76 : 735-740.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Beuerlein, J.E. and J.W. Pendleton. 1971. Photosynthesis rates and light saturation curves of individual soybean leaves under field conditions. **Crop Sci**. 11 : 217-219.

Bjorkman, O., and B. Demming. 1978. Photon yield of O2 evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plant of diverse origin. **Planta**. 170 : 489-504.

Board,J.E., B.G. Harille and A.M. Saxtox. 1990. Narrow-row seed yield enhancement in determinate soybean. **Argon. J**. 82 : 64-68.

Bohning, R.H. and C.A. Burnside. 1956. The effect of light intensity on rate of apparent photosynthesis in leaves of sun and shade plants. **Amer. J. Bot**. 43 : 557-561.

Bond, G. 1936. Ann. Botany (London). Cited by R.W. Howell. Physiology of soybean. **Adv. In Agron**. 12 : 265-310.

Bowes, G. and W.L. Orgen. 1970. The effect of light intensity on ribulose diphosphate carboxylase activity. **Plant Physiol**. 46 (Suppl.) : 7.

Boyer, J. S. 1970. Differing sensitivity of photosynthesis to low leaf water potential in corn and soybean**.** **Plant Physiol**. 46 : 236-239.

Boyer, J. S., R.R. Johnston and S.G. Sape. 1980. Afternoon water deficit and grain yield in old and new soybean cultivars. **Agron. J**. 72 : 981-985.

Bradford , K.J. and S.F. Yang. 1981. Physiological response of plants to water logging. **Hort. Sci**. 16 : 25-30.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Brun, W.A. and R.L. Cooper. 1967. Effects of light intensity and carbon dioxide concentration on photosynthetic rate of soybean. **Crop Sci**. 7 : 451-454.

Ciha, A.J. and W.A. Brun. 1978. Effect of pod removal on non-structural carbohydrate concentration in soybean tissue. **Crop Sci**. 18 : 776-779.

Clauss, H., D.C. Mortimer and P.R. Gorham. 1964. Time-course study of translocation of products of photosynthesis on soybean plants. **Plant Physiol**. 39 : 269-273.

Curtis, P.E., W.L. Orgen and R.H. Hageman. 1969. Varietal effects in soybean photosynthesis and photorespiration. **Crop Sci**. 9 : 323-327.

de Toledo, J.F.F., L.A. de Almedia, R.A.S. Kiihl, M.C. Carrao Panizzi, M.Kaster, L.C. Miranda and O.G. Mennosso. 1994. Genetics and breeding *In* **Tropical Soybean Improvement and Production.** Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Iatly.

Dornhoff, G.M. and R.M. Shibles. 1970. Varietal differences in net photosynthesis of soybean leaves. **Crop Sci**. 10 : 42-45.

Dunply, E.J. and J.J. Hanway. 1976. Water-soluble carbohydrate accumulation in soybean plants. **Agron. J**. 68 : 698-700.

Egli, D.B., J.E. Legget and A. Cheniae. 1980. Carbohydrate levels in soybean leaves during reproductive growth. **Crop Sci**. 20 : 468-473.

Elmore, C.D., J.D. Hesketh and H. Muramoto. 1967. A survey of rates of leaf growth, leaf aging and leaf photosynthetic rates among and within species. **J. Arizona Acad. Sci**. 4 : 215-219.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Finn, G.A. and W.A. Brun. 1980. Water stress effects on CO_2 assimilation, photosynthate partitioning, stomatal resistance and nodule activity in soybean. **Crop Sci**. 20 : 431-435.

Fisher, D.B. 1970a. Kinetic of C-14 translocation in soybean. I. Kinetics in the stem. **Plant Physiol**. 45 : 107-113.

Flagella, Z., D. Pastore, R.G. Campanile and N.D. Fonzo. 1994. Photochemical quenching of chlorophyll fluorescence and drought tolerance in different durum wheat (*Triticum durum*) cultivars. **Journal of Agricultural Science**. 122 : 183-192.

Fontes, L.A.W. and A.J. Ohlrogge. 1977. **Stages of soybean development**. Special Report 80, Iowa Stage Univ., Ames, Los Angeles, USA. 23 p.

Fukui,J. 1956. **Crop Sci**. Soc. Japan Proc ; Cited by R.W. Howell. Physiology of soybean. **Adv. In agron**. 12 : 265-310.

Gardner, F.P., R.B. Pearce and L.R. Michell. 1985. **Physiology of Crop Plants**. Ames : Iowa State University.

Giaquinta, R.T. 1983. Phloem loading of sucrose. **Ann. Rev. Plant Physiol**. 34 : 347-387.

Glinka, Z. and L. Reinhold. 1962. Rapid changes in permeability of cell membranes to water drought about by CO_2 and O_2. **Plant Physiol**. 37 : 481-486.

Grable, A.R. 1966. Soil aeration and plant growth. **Adv. In Agron**. 18 : 57-106.

Green, D.G. and T.W. Sudia. 1969. Germination and seedling development of soybean in a carbon dioxide-deficient atmosphere. **Amer. J. Bot**.. 56 : 1018-1022.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Guang, W. 1993. **Evaluation of Soybean in Saturated Soil Culture Related to Its Adaptation and Nitrogen Fixation**. M.S.Thesis, Chiang Mai University.

Guang, W., M.B. Peoples, D.F. Herridge and B. Rekasem. 2003. Nitrogen fixation and yield of soybean grown under saturated soil culture and conventional irrigation. **Field Crop Research**. 32 : 257-268.

Hall, D.O., J.M.O. Scurlock, H.R. Bolhar-Nordenkampf, R.C. Leegood and S.P. 1993. **Photosynthesis and Production in a Changing Environment " A Field and Laboratory Manual"**. London : Clays Ltd.

Hardy, R.W.F., R.C. Burns, R.R. Hebert, R.D. Holsten and E.K. Jackson. 1971. Biological nitrogen fixation : A Key to world protein**. Plant Soil**. Special Vol. : 561-590.

Hartley, R.A., R.J. Lawn and D.E. Byth. 1993. Genotypic variation among *Glycine* spp. for ability to acclimate to saturated soil. **Aust. J. Agric**. Res. 44 : 703-712.

Hartwig, E.E. and R.A.S. Kiihl. 1979. Identification and utilization of a delay flowering characteristic in soybean short day conditions. **Field Crop Res**. 2 : 145-151.

Hicks,D.R. and J. W. Pendleton. 1969. Effect of floral bud removal on performance of soybean. **Crop Sci**. 9 : 435-437.

Hidekaza, S., Zhijun, L.I., Kenkou, T., and Masayuki, O.D.A. 1994. Factors affecting the measurement of chlorophyll fluorescence in cucumber leaves. **Japan Agricultural Research Quarterly**. 28 : 242-246.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Hiscox , J.D., and G.F. Isrealstam. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Can.J.Bot**. 57 : 1332-1334.

Hofstra, G. and J.D. Hesketh. 1969. Effects of temperature on the gas exchange of leaves in light and dark. **Planta**. 85 : 228-237.

Howell, R.W. 1960. Physiology of soybean. **Adv. in Agron**. 12 : 265-310.

Huang, Chiying, J.S. Boyer and L. N. Vanderhoef. 1975a. acetylene reduction (nitrogen fixation) and metabolic activities of soybean having various leaf and nodule water potentials. **Plant Physiol**. 56 : 222-227.

_____ . 1975b. Limitation of acetylene reduction (nitrogen fixation) by photosynthesis in soybean having low water potentials. **Plant Physiol**. 56 : 228-232.

Huck, M.G. 1970. Variation in tap root elongation rate as influenced by compositions of the soil air. **Agron. J**. 62 : 815-818.

Hunter, M.N., P.L.M. De Jabrun and D.E. Byth. 1980. Response of nine soybean lines to soil moisture conditions close to saturation. **Aust. J. Exp. Agri**. Anim. Husb. 20 : 339-345.

Intrieri, C., G.Zerbi, L. Marchiol, S. Poni and T.Caido. 1995. Physiological response of grapevine leaves to lightflecks. **Scintia Horticulture**. 61 : 47-59.

Jackson, M. B. and D.J. Campbell. 1976. Water-logging and petiole epinasty in tomato : The role of ethylene and low oxygen. **New Phytol**. 76 : 21-29.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Johnston, T.J. and J.W. Pendleton. 1968. Contribution of leaves at different canopy levels to seed production of upright and lodged soybeans (*Glycine max* L. Merrill). **Crop Sci**. 8 : 291-292.

Johnston, T.J., J.W. Pendleton, D.B. Peters and D.R. Hicks. 1969. Influence of supplemental light on apparent photosynthesis, yield and yield components of soybeans (*Glycine max* L.). **Crop Sci**. 9 : 577-581.

Jone, R.M. 1969. Mortality of some tropical grasses and legumes following frosting in the first winter after sowing. **Tropical Grasslands**. 3 : 57-63.

Kamnalrut, A. 1973. **Studies on growth analysis of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) grown under previously puddled and upland soil condition**. M.S. Thesis, University of the Philippines, Los Banos.

Kumura, A. 1969a. Studies on dry matter production of soybean plant. V. Photosynthetic system of soybean plant population. Proc. **Crop Sci**. Japan. 38 : 74-90.

Krause, G.H. and E. Weis. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis : The basics. **Plant Molecular Biology**. 42 : 313-349.

Lawn, R.J. 1982. Response of four grain legumes to water stress in South-eastern Queensland. I. Physiological response mechanisms. **Aust. J. Agric. Res**. 33 : 481-496.

Lawn, R.J. and D.E. Byth. 1973. Response of soybean to planting date in South-eastern Queensland. I. Influence of photoperiod and temperature on phasic development patterns. **Aust. J. Agri. Res**. 24 : 67-80.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Letey, J., O.R. Lunt, L. H. Stolzy and T. E. Szuszkiewicz. 1961. Plant growth, water use and nutritional response to rhizosphere differentials of oygen concentration. **Soil Sci**. Soc. Amer. Proc. 25 : 183-186

Nathanson,K., R.J. Lawn, P.L.M. Jabrun and D.E. Byth. 1984. Growth, nodulation and nitrogen accumulation by soybean in saturated soil culture. **Field Crop Res**. 8 : 73-92.

Nelson,C.D., H. Clauss. D.C. Mortimer and P.R. Gorham. 1961. Selective translocation of products of photosynthesis in soybean. **Plant Physiol**. 36 : 581-588.

Olaf, V.K. and J. F.H. Snel. 1990. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. **Photosynthesis Research**. 25 : 147-150.

Pankhurst, C.E. and J.I. Sprent. 1975. Effect of water stress on the respiratory and nitrogen-fixing activity of soybean root nodules. **J. Exp. Bot**. 26 : 287-304.

Pate, J.S. B.E.S. Gunning and L.G. Briarty. 1969. Ultrastructure and functioning of the transport system of the leguminous root nodule. **Planta**. 85 : 11-34.

Patterson, R.P., C.D. Raper, Jr. and H.D. Gross. 1979. Growth and specific nodule activity of soybean during application and recovery of a leaf moisture stress. **Plant Physiol**. 64 : 551-556.

Pendleton, J.W. 1976. **Crop management**. The key to maximum soybean production. ASPAC. Ext. Bull. 82 : 1-12.

Peoples, M.B., A.W. Faizath, B. Rerkasem and D.F. Herridge. 1989. **Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated Legumes in the field**. Australian center for International Agricultural Research (ACIAR). Canbera, Australia.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Pookpakdi, A., S. Pongkao, A. Chinchest and K. Thiraviojana. 1989. Saturated soil culture of soybean in Thailand. Thai J. **Agric. Sci**. 22 : 271-283.

Pookpakdi, A. 1992. Soybean production under saturated soil condition In Thailand, pp. 479-485. *In* **C. George Kuo (eds.). Adaptation of food crops to temperature and water stress proceeding of an international symposium Taiwan 13-18 August. 1992**. Asian Vegetable Research and Development Center.

Purcell, L.C., E.D. Vories, P.A. Counce and C. Andy King. 1997. Soybean growth and yield response to saturated soil culture in a temperature environment. **Field Crops Research**. 49 : 205-213.

Ralph, W. 1983. **Soybean respond to controlled water-logging**. Rural Research in CSIRO. 120 : 4-8.

Ralston, E.J. and J.J. Imsande. 1982. Entry of oxygen and nitrogen into intact soybean nodules. **J. Expt. Bot**. 33 : 208-214.

Russell, R.S. 1977. **Plant root system : Their function and interaction with the soil**. McGraw Hill, London. 298 p.

Schussler, J.R., M.L. Brenner and W.A. Brun. 1984. Abscisic acid and its relationship to seed filling in soybean. **Plant Physiol**. 76 : 301-306.

Selmani, A. and C.E. wassom. 1993. Daytime chlorophyll fluorescence measurement in field grown maize and its genetic variability under well watered and water stresses conditions. **Field Crops Research**. 31 : 173-184.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Smith, D.L. and D.J. Hume. 1983. The effect of high soil water potential on nitrogen fixation and tissue N content of *Phaseolus vulgaris* and *Glycine max*, p.3. *In* Proc**. 9th American Rhizobium Cornell Univ**., Ithaca, New York.

Sophandora, P. 1993. Light response curve : A criteria for species selection under plantation crop. *In* **Khon Kaen : Proc. of 3 rd Meeting on Forage Regional Working Group of South-east Asia.** 31 January-6 Febuary 1993 : 175-178.

Sprent, J. 1971. Effects of water stress on nitrogen fixation in root nodules. **Plant Soil**. Special Vol. : 225-228.

———. 1972. The effects of water stress on nitrogen fixing root nodules. IV. Effect on whole plants of Vicia faba and Glycine max. **New Phytol**. 71 : 603-611.

Stanley, C.D., T.C. Kasper and H.M. Taylor. 1980. Soybean top and root response to temporary water tables imposed at three different stages of growth. **Agron. J**. 72 : 341-346.

Sumarno, R. 1986. Response of soybean (Glycine max (L.) Merr.) genotypes to continuous saturated soil culture. Indonesia J. **Crop Sci**. 2 : 71-78.

Taiz, L. and E. Zeiger. 1991. **Plant physiology**. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. Canada.

Thaine, R., S.L. Ovenden and J.S. Turner. 1959. Translocation of labelled assimilates in the soybean. **Aust. J. Biol. Sci**. 12 : 349-372.

Troedson, R.J., R.J. Lawn and D.E.Byth. 1981. Growth and nodulation of soybean in high water table culture, p. 464. *In* **Current perspective in nitrogen fixation**. Aust. Acad. Sci., Canbera.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Troedson, A.L., R.J. Garside, R.J. Lawn, D.E. Byth and G.L. Wilson. 1983. Saturated soil culture-an innovative water management option for soybean in the tropics and subtropics, pp. 171-180. *In* **Proc. 1st In tern. Symposium on soybean in tropical and subtropical cropping system**, Tsukuba, Japan.

Troedson, R.J., R.J. Lawn, D.E. Byth and G.L. Wilson. 1984. Saturated soil culture-an innovative water management option for soybean in the tropics and subtropics, p. 171-180. *In* **Proc. 1st Intern. Symposium on soybeans in Tropical and Sub-tropical Cropping systems**. Tsukuba, Japan.

Troedson, R.J., R.J. Lawn, D.E. Byth and G.L. Wilson. 1989. Response of field grown soybean to saturated soil cuoture. I. Pattern of biomass and nitrogen accumulation. **Field Crop Res**. 21 : 171-178.

Turner, F.T., J.W. Sij, G.N.Mc. Cauley and C.C. Chen. 1983. Soybean seedling response to anaerobiosis.
Crop Sci. 23 : 40-44.

Vernon, L.P. and S. Aronoff. 1952. Metabolism of soybean leaves. IV. Translocation from soybean leaves. **Arch. Biochem. Biophys**. 36 : 383-398.

Weber, C.R., R.M. Shible and D.E. Byth. 1966. Effect of plant population and rows spacing on soybean development and production**. Agron.J**. 58 : 99-102.

White, J.W. and C.H. Molano. 1994. Production of common bean under saturated soil culture. **Field Crops Research**. 36 : 53-58.

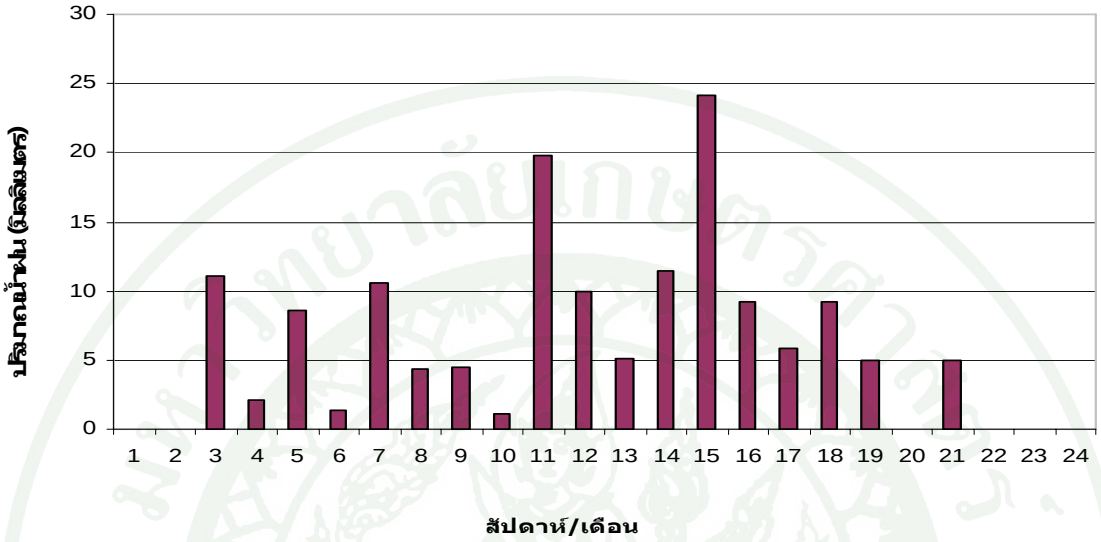
Wjgham, D.K. 1983. Soybean, pp. 205-225. *In* **Symposium on potential productivity of field crops under different environments**. IRRI, Los Banos.

Yentur, S. and A.C. Leopold. 1976. Respiration transition during seed germination. **Plant Physiol**. 57 : 274-276

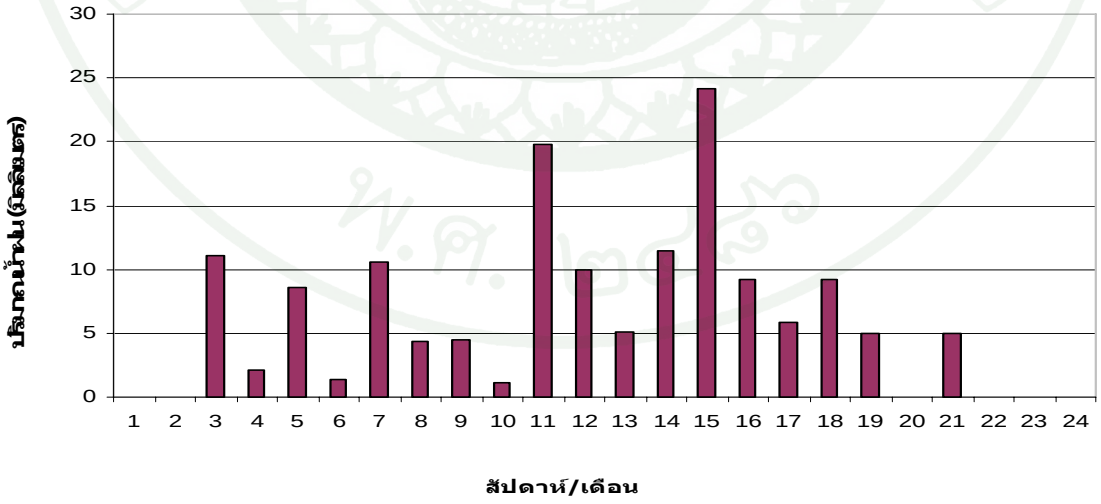
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ 1 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายสัปดาห์ (มิลลิเมตร) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2547 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ.2548 ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง อ.เมือง จ.ลำปาง



ภาพผนวกที่ 2 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายสัปดาห์ (มิลลิเมตร) ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือน พฤศจิกายน พ.ศ.2549 ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง อ.เมือง จ.ลำปาง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ดินในแปลงทดลองปลูกถั่วเหลืองในสภาพปกติและสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง พ.ศ.2549

ลักษณะ	ค่าการวิเคราะห์
<u>ดินจากแปลงปลูกในสภาพปกติ</u>	
เนื้อดิน	clay loam
(sand = 30.1%, silt = 41.5%, clay = 28.4%)	
pH	5.61
อินทรียวัตถุ (g/100g)	3.03
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	21.16
โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	145.14
<u>ดินจากแปลงปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ</u>	
เนื้อดิน	loam
(sand = 32.7%, silt = 40.6%, clay = 26.7%)	
pH	5.55
อินทรียวัตถุ (g/100g)	2.76
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	20.95
โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	109.66

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 น้ำหนักแห้งทั้งหมดเฉลี่ย) total dry matter) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(								
	14(V_2)	21(V_3)	25(V_4)	31(V_5)	33(V_6)	37(V_7)	39(R_2)	51(R_4)	75(R_6)
CI	0.423	1.406	2.399	2.553	4.316	4.49	10.737	22.452	62.793
SSC	0.370	1.006	1.698	2.057	3.633	5.287	6.772	14.979	41.828
t-test	ns	*	*	*	ns	ns	*	*	*
CV(%)	14.39	13.99	20.32	18.91	24.19	17.03	35.94	41.93	31.11

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation (การปลูกในสภาพปกติ)

SSC = Saturated Soil Culture (การปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ)

ns = not significance

* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 น้ำหนักแห้งทั้งหมดเฉลี่ย) total dry matter) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงปลายฤดูหนาว พ.ศ.2548 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(									
	19(V_1)	21(V_2)	27(V_3)	31(V_4)	34(V_5)	38(V_6)	43(R_1)	52(R_3)	62(R_5)	76(R_6)
CI	0.284	0.525	0.767	1.16	1.865	2.842	2.211	8.928	13.707	28.229
SSC	0.317	0.504	0.742	1.127	2.164	3.304	2.646	9.673	13.247	26.246
t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	17.30	13.00	16.48	11.99	19.69	29.18	19.43	31.84	28.40	23.21

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation (การปลูกในสภาพปกติ(

SSC = Saturated Soil Culture (การปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ(

ns = not significance

* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 น้ำหนักแห้งทั้งหมดเฉลี่ย) total dry matter) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(									
	12(V_1)	15(V_2)	19(V_3)	23(V_4)	26(V_5)	29(V_6)	33(V_7)	37(R_1)	41(R_2)	47(R_3)
CI	0.267	0.497	0.911	1.607	2.58	3.457	6.129	8.007	13.634	20.745
SSC	0.197	0.452	0.745	1.325	1.988	3.513	5.238	7.315	9.662	16.511
t-test	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
CV(%)	16.24	11.34	23.16	9.60	19.66	8.64	18.46	11.08	20.45	8.97

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(			
	52(R_4)	57(R_5)	78(R_6)	92(R_7)
CI	22.247	24.449	62.539	63.387
SSC	15.325	23.231	56.322	60.611
t-test	*	ns	ns	ns
CV(%)	9.52	18.12	12.06	22.52

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation

SSC = Saturated Soil Culture

ns = not significance

* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 น้ำหนักแห้งทั้งหมดเฉลี่ย) total dry matter) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(									
	12(V_1)	15(V_2)	19(V_3)	23(V_4)	26(V_5)	29(V_6)	33(V_7)	37(R_1)	42(R_2)	48(R_3)
CI	0.254	0.326	0.815	1.763	2.878	3.58	9.72	8.633	21.524	34.542
SSC	0.28	0.439	0.852	1.742	2.597	4.713	7.756	7.653	12.628	18.99
t-test	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
CV(%)	18.60	8.04	14.08	14.35	12.48	16.19	9.19	10.35	12.70	15.40

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(			
	54(R_4)	59(R_5)	79(R_6)	93(R_7)
CI	44.933	46.446	71.832	95.451
SSC	31.155	35.537	85.424	99.114
t-test	ns	*	ns	ns
CV(%)	18.46	16.76	18.07	15.46

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation

SSC = Saturated Soil Culture

ns = not significance

* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 6 ค่าเฉลี่ยความเขียวของใบ) SPAD unit) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(									
	19(V_{2-3})	21(V_{3-4})	23(V_{4-5})	25(V_{4-5})	27(V_5)	30(V_{5-6})	32(V_6)	36(V_7-R_2)	48(R_4)	72(R_6)
CI	27.60	20.75	26.27	27.98	25.57	28.78	28.80	27.48	34.10	41.00
SSC	24.68	26.32	23.20	26.64	26.83	28.88	32.43	28.73	30.63	36.50
t-test	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
CV(%)	12.68	10.91	13.76	8.09	8.74	9.82	6.34	5.79	11.07	4.77

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation (การปลูกในสภาพปกติ(

SSC = Saturated Soil Culture (การปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ(

ns = not significance

* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 7 ค่าเฉลี่ยความเขียวของใบ) SPAD unit) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงปลายฤดูหนาว พ.ศ.2548 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(										
	18(V_1)	22(V_2)	26(V_2)	30(V_3)	35(V_5)	39(V_6)	43(R_1)	45(R_2)	54(R_3)	63(R_5)	77(R_6)
CI	25.61	24.41	23.30	30.29	33.13	34.65	35.31	35.35	37.10	39.65	44.28
SSC	23.88	21.69	23.84	30.34	34.74	36.95	37.19	36.91	35.86	38.81	42.00
t-test	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
CV(%)	7.41	10.39	18.33	6.04	6.62	5.54	5.46	5.33	3.68	6.24	4.64

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation (การปลูกในสภาพปกติ(

SSC = Saturated Soil Culture (การปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ(

ns = not significance

* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 8 ค่าเฉลี่ยความเขียวของใบ) SPAD unit) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ 2549. ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(									
	10(V_1)	13(V_2)	16(V_2)	19(V_3)	23(V_4)	26(V_5)	28(V_6)	30(V_6)	33(V_7)	37(R_1)
CI	30.933	32.075	32.1	28.8	28.392	29.208	28.058	30.075	33.456	34.722
SSC	30.017	26.125	25.942	25.975	26.367	27.8	29.942	29.358	30.189	34.244
t-test	*	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	3.85	8.24	7.50	8.72	7.46	10.52	8.48	10.82	7.93	8.04

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(						
	47(R_2)	49(R_3)	51(R_4)	59(R_5)	65(R_5)	76(R_6)	92(R_7)
CI	31.322	35.600	32.667	38.156	40.422	41.989	41.644
SSC	30.422	33.622	32.056	39.856	40.533	44.511	38.967
t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	6.39	6.67	4.90	4.95	5.51	4.48	7.74

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 9 ค่าเฉลี่ยความเขียวของใบ) SPAD unit) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(									
	10(V_1)	13(V_2)	16(V_2)	19(V_3)	23(V_4)	26(V_5)	28(V_6)	30(V_6)	33(V_7)	37(R_1)
CI	30.283	32.558	36.567	34.317	34.558	33.983	30.656	28.744	29.3	32.389
SSC	30.992	30.842	29.983	24.408	25.858	27.825	27.033	27.144	28.844	31.089
t-test	ns	*	*	*	*	*	*	ns	ns	ns
CV(%)	8.44	11.28	7.79	7.75	10.09	7.65	8.74	8.18	10.20	6.47

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(						
	47(R_2)	49(R_3)	51(R_4)	59(R_5)	65(R_5)	76(R_6)	92(R_7)
CI	30.467	36.956	31.089	38.989	40.956	43.5	35.944
SSC	31.011	34.133	31.3	37.722	40.622	42.822	37.278
t-test	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	7.23	5.30	7.13	5.75	5.12	3.71	8.75

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 10 ปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวม) total chlorophyll, mg/g fresh weight) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(									
	19(V_{2-3})	21(V_{3-4})	23(V_{4-5})	25(V_{4-5})	27(V_5)	30(V_{5-6})	32(V_6)	36(V_7-R_2)	48(R_4)	72(R_6)
CI	1.382	1.310	1.307	1.403	1.268	1.448	1.449	1.375	1.746	2.099
SSC	1.219	0.998	1.136	1.313	1.339	1.454	1.653	1.445	1.552	2.070
t-test	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
CV(%)	14.29	12.56	15.64	9.08	9.84	10.92	7.04	6.46	12.17	5.14

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation (การปลูกในสภาพปกติ(

SSC = Saturated Soil Culture (การปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ(

ns = not significance

* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 11 ปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวม) total chlorophyll, mg/g fresh weight) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงปลายฤดูหนาว พ.ศ.2548 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(										
	18(V_1)	22(V_2)	26(V_2)	30(V_3)	35(V_5)	39(V_6)	43(R_1)	45(R_2)	54(R_3)	63(R_5)	77(R_6)
CI	1.694	1.605	1.522	2.043	2.255	2.369	2.419	2.421	2.552	2.742	3.088
SSC	1.57	1.401	1.562	2.047	2.376	2.541	2.559	2.538	2.460	2.680	2.918
t-test	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
CV(%)	6.31	8.94	15.70	5.01	5.43	4.52	4.46	4.35	3.00	5.21	3.73

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation (การปลูกในสภาพปกติ(

SSC = Saturated Soil Culture (การปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ(

ns = not significance

* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 12 ปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวม) total chlorophyll, mg/g fresh weight) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(									
	10(V_1)	13(V_2)	16(V_2)	19(V_3)	23(V_4)	26(V_5)	28(V_6)	30(V_6)	33(V_7)	37(R_1)
CI	1.569	1.633	1.634	1.449	1.426	1.472	1.408	1.521	1.71	1.781
SSC	1.517	1.299	1.289	1.291	1.313	1.393	1.513	1.48	1.527	1.754
t-test	*	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	4.26	9.23	8.37	9.79	8.34	11.72	9.44	11.99	8.73	8.79

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(						
	47(R_2)	49(R_3)	51(R_4)	59(R_5)	65(R_5)	76(R_6)	92(R_7)
CI	1.59	1.83	1.666	1.973	2.1	2.188	2.168
SSC	1.54	1.719	1.632	2.068	2.106	2.329	2.019
t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	7.06	7.28	5.40	5.36	5.94	4.81	8.36

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 13 ปริมาณคลอโรฟิลล์โดยรวม) total chlorophyll, mg/g fresh weight) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(									
	10(V_1)	13(V_2)	16(V_2)	19(V_3)	23(V_4)	26(V_5)	28(V_6)	30(V_6)	33(V_7)	37(R_1)
CI	1.532	1.66	1.884	1.758	1.772	1.739	1.553	1.446	1.477	1.65
SSC	1.572	1.564	1.515	1.203	1.284	1.395	1.35	1.356	1.452	1.577
t-test	ns	*	*	*	*	*	*	ns	ns	ns
CV(%)	9.33	12.43	8.54	8.63	11.24	8.41	9.75	9.14	11.34	7.13

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(						
	47(R_2)	49(R_3)	51(R_4)	59(R_5)	65(R_5)	76(R_6)	92(R_7)
CI	1.543	1.906	1.577	2.02	2.13	2.272	1.849
SSC	1.573	1.748	1.589	1.949	2.111	2.234	1.924
t-test	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	8.00	5.76	7.88	6.23	5.52	3.98	9.51

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 14 อัตราการสังเคราะห์แสง) ไมโครโมล/ตารางเมตร/วินาที(ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงปลายฤดูหนาว พ.ศ.2548 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(								
	24(V_2)	26(V_{2-3})	28(V_3)	30(V_3)	32(V_4)	35(V_5)	37(V_5)	39(V_6)	41(V_6)
CI	5.908	9.027	9.601	11.521	11.936	14.601	12.343	14.174	13.768
SSC	9.370	11.533	10.966	12.048	12.896	15.021	14.118	14.183	14.797
t-test	*	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
CV(%)	24.41	18.39	17.52	12.00	14.90	13.17	15.11	12.18	8.29

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(			
	43(R_1)	45(R_2)	54(R_3)	63(R_5)
CI	15.043	13.328	15.550	16.444
SSC	14.721	14.920	15.748	18.193
t-test	ns	*	ns	ns
CV(%)	11.48	9.99	13.62	12.70

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation

SSC = Saturated Soil Culture

ns = not significance

* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 15 อัตราการสังเคราะห์แสง) ไมโครโมล/ตารางเมตร/วินาที(ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(										
	9(V_1)	16(V_2)	19(V_3)	28(V_5)	30(V_6)	37(R_1)	41(R_2)	51(R_3)	59(R_5)	65(R_5)	76(R_6)
CI	16.684	15.759	18.121	12.383	12.157	14.778	17.052	17.541	15.368	12.503	14.216
SSC	16.938	15.571	15.723	13.184	11.35	13.624	15.48	17.876	18.097	16.028	15.768
t-test	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	*	*	*
CV(%)	12.14	14.87	12.49	11.32	6.40	14.14	9.97	8.13	12.49	8.89	10.79

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation (การปลูกในสภาพปกติ(

SSC = Saturated Soil Culture (การปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ(

ns = not significance

* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 16 อัตราการสังเคราะห์แสง (ไมโครโมล/ตารางเมตร/วินาที (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(										
	9(V_1)	16(V_2)	19(V_3)	28(V_5)	30(V_6)	37(R_1)	41(R_2)	51(R_3)	59(R_5)	65(R_5)	76(R_6)
CI	10.938	15.800	13.342	12.393	10.281	13.939	14.890	15.274	18.936	13.351	16.700
SSC	13.520	19.366	13.813	13.559	12.221	12.111	13.001	13.797	17.228	15.476	14.683
t-test	*	*	ns	ns	*	*	*	*	ns	*	*
CV(%)	16.57	13.96	10.64	11.04	9.06	11.81	9.90	8.45	9.09	10.25	9.89

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation (การปลูกในสภาพปกติ(

SSC = Saturated Soil Culture (การปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ(

ns = not significance

* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 17 อัตราการคายน้ำ) มิลลิโมล/ตารางเมตร/วินาที (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงปลายฤดูหนาว พ.ศ.2548 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(								
	24(V_2)	26(V_{2-3})	28(V_3)	30(V_3)	32(V_4)	35(V_5)	37(V_5)	39(V_6)	41(V_6)
CI	1.658	3.386	2.826	3.144	3.049	4.086	3.394	3.207	3.573
SSC	2.193	3.738	3.013	3.879	4.114	4.772	4.291	4.168	4.299
t-test	*	ns	ns	*	*	*	*	*	*
CV(%)	25.01	12.18	15.83	10.33	10.06	8.47	9.23	7.41	7.33

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(			
	43(R_1)	45(R_2)	54(R_3)	63(R_5)
CI	3.526	3.551	4.023	3.074
SSC	4.190	4.450	4.917	5.398
t-test	*	*	*	*
CV(%)	6.07	9.27	10.10	10.79

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation
SSC = Saturated Soil Culture
ns = not significance
* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 18 อัตราการคายน้ำ) มิลลิโมล/ตารางเมตร/วินาที (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(										
	9(V_1)	16(V_2)	19(V_3)	28(V_5)	30(V_6)	37(R_1)	41(R_2)	51(R_3)	59(R_5)	65(R_5)	76(R_6)
CI	1.768	1.916	2.860	2.129	1.912	3.197	3.020	3.930	2.634	3.084	2.462
SSC	2.556	2.634	3.864	2.596	2.446	3.957	3.660	4.681	3.249	4.710	2.887
t-test	*	ns	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CV(%)	23.04	17.07	12.75	6.37	6.91	5.60	6.97	5.07	9.64	6.01	5.85

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation (การปลูกในสภาพปกติ(

SSC = Saturated Soil Culture (การปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ(

ns = not significance

* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 19 อัตราการคายน้ำ (มิลลิโมล/ตารางเมตร/วินาที (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(										
	9(V_1)	16(V_2)	19(V_3)	28(V_5)	30(V_6)	37(R_1)	41(R_2)	51(R_3)	59(R_5)	65(R_5)	76(R_6)
CI	2.574	2.044	2.864	3.459	3.909	5.281	5.032	3.711	4.066	4.299	3.686
SSC	2.104	2.893	3.121	3.873	4.201	6.188	6.256	4.124	4.322	5.639	4.604
t-test	ns	*	ns	*	*	*	*	ns	*	*	*
CV(%)	25.59	12.66	12.75	3.76	5.78	6.25	7.12	12.18	8.30	8.98	6.63

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation (การปลูกในสภาพปกติ(

SSC = Saturated Soil Culture (การปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ(

ns = not significance

* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 20 ความต้านทานการเปิดปากใบ) ตารางเมตร/วินาที/โมล (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(										
	14(V_2)	20(V_3)	22(V_3)	25(V_4)	28(V_5)	31(V_5)	33(V_6)	37(V_7-R_1)	39(R_{1-2})	48(R_4)	72(R_6)
CI	0.837	1.482	0.872	1.797	1.393	0.893	0.945	1.602	1.198	1.303	0.388
SSC	0.515	0.915	0.363	0.767	0.648	0.560	0.363	0.310	0.212	1.057	0.292
t-test	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ns	*
CV(%)	21.21	25.69	24.14	41.73	13.19	6.23	22.27	62.90	78.27	18.81	19.51

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation

SSC = Saturated Soil Culture

ns = not significance

* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 21 ความต้านทานการเปิดปากใบ) ตารางเมตร/วินาที/โมล (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงปลายฤดูหนาว พ.ศ.2548 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(								
	24(V_2)	26(V_{2-3})	28(V_3)	30(V_3)	32(V_4)	35(V_5)	37(V_5)	39(V_6)	41(V_6)
CI	10.855	4.337	7.232	7.939	6.791	4.667	7.657	7.009	4.769
SSC	7.709	4.686	9.540	6.861	5.679	4.311	6.473	5.833	4.506
t-test	*	ns	*	*	*	ns	ns	*	ns
CV(%)	10.68	22.18	17.34	12.65	9.24	23.57	18.26	14.54	12.96

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(			
	43(R_1)	45(R_2)	54(R_3)	63(R_5)
CI	4.487	7.873	7.357	12.168
SSC	4.203	5.870	5.692	4.121
t-test	ns	*	ns	*
CV(%)	15.08	17.46	21.70	17.16

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation

SSC = Saturated Soil Culture

ns = not significance

* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 22 ความต้านทานการเปิดปากใบ) ตารางเมตร/วินาที/โมล (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(										
	9(V_1)	16(V_2)	19(V_3)	28(V_5)	30(V_6)	37(R_1)	41(R_2)	51(R_3)	59(R_5)	65(R_5)	76(R_6)
CI	13.446	12.510	13.967	11.196	11.433	11.730	11.511	10.049	12.306	5.173	7.268
SSC	13.286	12.217	11.530	10.555	10.049	10.693	10.235	10.050	8.421	3.912	6.951
t-test	ns	ns	*	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	9.03	11.72	10.80	10.97	7.39	11.21	13.82	8.44	37.77	20.83	14.18

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation (การปลูกในสภาพปกติ(

SSC = Saturated Soil Culture (การปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ(

ns = not significance

* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 23 ความต้านทานการเปิดปากใบ) ตารางเมตร/วินาที/โมล (ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(										
	9(V_1)	16(V_2)	19(V_3)	28(V_5)	30(V_6)	37(R_1)	41(R_2)	51(R_3)	59(R_5)	65(R_5)	76(R_6)
CI	15.274	11.499	10.424	10.722	10.303	10.158	10.353	10.745	10.622	9.051	9.616
SSC	12.545	9.768	9.968	9.181	9.232	9.681	9.616	9.433	9.300	7.996	8.521
t-test	ns	*	ns	*	*	ns	*	*	*	*	*
CV(%)	16.91	16.82	2.98	12.70	8.02	3.78	5.84	4.79	5.34	11.37	4.73

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation (การปลูกในสภาพปกติ(

SSC = Saturated Soil Culture (การปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ(

ns = not significance

* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 24 ค่าศักย์ของน้ำในใบ (Leaf water potential ; bar) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงปลายฤดูหนาว พ.ศ.2548 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(									
	19(V_1)	21(V_2)	29(V_3)	31(V_4)	34(V_5)	38(V_6)	42(R_1)	53(R_3)	62(R_5)	76(R_6)
CI-predawn	-3.567	-3.667	-4.000	-3.000	-3.300	-2.467	-3.600	-3.100	-3.567	-5.267
SSC-predawn	-2.033	-2.833	-3.367	-2.800	-2.833	-2.367	-2.700	-3.933	-3.433	-4.900
t-test	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	22.53	37.28	21.60	20.64	30.69	14.87	33.88	30.3	23.36	51.00
CI-postdawn	-7.667	-4.833	-13.667	-13.333	-14.267	-18.067	-20.067	-15.133	-13.100	-3.067
SSC-postdawn	-5.833	-4.233	-8.633	-7.083	-8.733	-9.833	-10.167	-10.167	-11.667	-2.233
t-test	ns	ns	*	*	*	*	*	*	ns	ns
CV(%)	26.75	36.29	48.28	36.04	61.00	55.35	48.58	41.78	31.78	74.78

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation

SSC = Saturated Soil Culture

ns = not significance

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 25 ค่า chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2547 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(											
	36(V_3)	37(V_3)	38(V_3)	39(V_4)	40(V_4)	41(V_4)	43(V_3)	47(V_5)	49(V_6)	52(V_7-R_2)	48(R_4)	72(R_6)
CI	0.703	0.644	0.319	0.290	0.758	0.387	0.627	0.738	0.525	0.324	0.521	0.644
SSC	0.731	0.653	0.404	0.284	0.753	0.526	0.647	0.767	0.440	0.584	0.565	0.528
t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	5.34	12.25	35.93	74.60	4.76	55.66	12.48	8.29	54.61	42.67	20.54	19.14

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation

SSC = Saturated Soil Culture

ns = not significance

* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 26 ค่า chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 2 ในช่วงปลายฤดูหนาว พ.ศ.2548 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(									
	23(V_2)	26(V_{2-3})	28(V_3)	30(V_3)	32(V_4)	35(V_5)	37(V_5)	39(V_6)	41(V_6)	43(V_6-R_1)
CI	0.648	0.675	0.729	0.672	0.568	0.67	0.751	0.687	0.708	0.763
SSC	0.65	0.654	0.719	0.638	0.416	0.727	0.744	0.691	0.758	0.779
t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	11.99	6.36	7.54	13.34	23.21	9.62	5.10	10.22	5.88	3.44

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(			
	45(R_2)	54(R_3)	63(R_5)	77(R_6)
CI	0.687	0.587	0.503	0.833
SSC	0.709	0.617	0.486	0.826
t-test	ns	ns	ns	ns
CV(%)	12.53	15.85	34.38	8.77

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation

SSC = Saturated Soil Culture

ns = not significance

* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 27 ค่า chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(									
	9(V_1)	16(V_2)	19(V_3)	23(V_4)	26(V_5)	28(V_5)	30(V_6)	33(V_7)	35(V_7)	38(R_1)
CI	0.624	0.217	0.476	0.602	0.707	0.557	0.822	0.659	0.757	0.669
SSC	0.496	0.218	0.297	0.586	0.751	0.58	0.806	0.481	0.765	0.679
t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
CV(%)	24.30	44.34	50.23	6.04	9.01	16.65	1.75	21.07	4.61	11.52

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(									
	42(R_2)	47(R_2)	49(R_3)	51(R_3)	54(R_4)	59(R_5)	61(R_5)	65(R_5)	76(R_6)	93(R_7)
CI	0.785	0.776	0.625	0.764	0.622	0.689	0.737	0.755	0.752	0.754
SSC	0.808	0.765	0.703	0.744	0.74	0.677	0.77	0.808	0.845	0.666
t-test	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*
CV(%)	3.32	12.22	16.62	5.44	16.14	12.85	9.85	6.64	8.81	7.94

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 28 ค่า chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(									
	9(V_1)	16(V_2)	19(V_3)	23(V_4)	26(V_5)	28(V_5)	30(V_6)	33(V_7)	35(V_7)	38(R_1)
CI	0.458	0.449	0.299	0.585	0.67	0.18	0.778	0.593	0.632	0.612
SSC	0.486	0.394	0.472	0.608	0.669	0.24	0.79	0.625	0.63	0.522
t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	20.16	32.22	55.29	9.41	5.97	33.10	2.45	12.82	10.87	24.84

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(									
	42(R_2)	47(R_2)	49(R_3)	51(R_3)	54(R_4)	59(R_5)	61(R_5)	65(R_5)	76(R_6)	93(R_7)
CI	0.746	0.772	0.734	0.644	0.791	0.617	0.748	0.719	0.803	0.763
SSC	0.734	0.779	0.768	0.538	0.792	0.608	0.738	0.736	0.813	0.733
t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	6.96	6.26	17.46	26.81	8.93	18.57	9.81	12.45	10.50	6.68

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 29 ปริมาณยูรีไอด์สัมพัทธ์) relative ureides index, %) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในกระถางของการทดลองที่ 3 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(									
	12 (V_1)	15(V_2)	19(V_3)	23(V_4)	26(V_5)	29(V_6)	33(V_7)	37(R_1)	41(R_2)	47(R_3)
CI	14.015	21.252	27.064	44.098	35.577	30.005	23.560	28.928	36.203	24.134
SSC	8.568	13.774	29.793	54.227	25.130	45.626	35.175	31.412	40.253	26.175
t-test	*	*	ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns
CV(%)	26.78	14.58	6.97	5.22	8.95	17.77	27.98	15.21	28.06	21.82

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(			
	52(R_4)	57(R_5)	78(R_6)	92(R_7)
CI	14.571	39.841	53.650	64.299
SSC	21.131	48.974	70.416	56.077
t-test	ns	*	ns	ns
CV(%)	32.61	15.94	20.14	15.10

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation
SSC = Saturated Soil Culture
ns = not significance
* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 30 ปริมาณยูรีไอด์สัมพัทธ์) relative ureides index, %) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(									
	12 (V_1)	15(V_2)	19(V_3)	23(V_4)	26(V_5)	29(V_6)	33(V_7)	37(R_1)	42(R_2)	48(R_3)
CI	21.025	23.681	13.232	16.201	19.649	14.625	34.761	56.070	15.200	37.164
SSC	13.832	10.847	17.350	13.482	20.337	23.370	31.906	41.669	34.052	61.262
t-test	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
CV(%)	10.58	7.78	9.37	35.08	46.54	43.19	24.01	20.12	24.55	16.74

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(			
	54(R_4)	59(R_5)	79(R_6)	93(R_7)
CI	45.885	52.148	75.644	32.017
SSC	51.541	62.683	66.819	35.647
t-test	ns	ns	*	ns
CV(%)	26.55	20.98	7.82	32.62

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation
SSC = Saturated Soil Culture
ns = not significance
* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 31 อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ) Net assimilation rate ; g/m^{-2}/day) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	ช่วงจำนวนวันหลังปลูก (วัน(									
	12-15	15-19	19-23	23-26	26-29	29-33	33-37	37-42	42-48	48-54
CI	5.057	13.813	13.045	11.393	5.221	21.635	5.533	9.735	6.617	2.101
SSC	11.315	10.805	13.088	9.874	11.313	14.681	11.432	4.955	5.193	6.196
t-test	ns	ns	ns	*	ns	*	*	*	ns	ns
CV(%)	58.12	30.78	31.33	38.46	46.47	17.41	38.20	17.07	43.11	58.80

ชุดทดลอง	ช่วงจำนวนวันหลังปลูก (วัน(		
	54-59	59-79	79-93
CI	5.591	1.874	4.302
SSC	4.355	6.020	6.348
t-test	ns	*	ns
CV(%)	84.48	56.49	82.00

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation
SSC = Saturated Soil Culture
ns = not significance
* = significance at P < 0.05

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 32 น้ำหนักใบจำเพาะ (Specific leaf weight ; g/m^{-2}) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(									
	12 (V_1)	15(V_2)	19 (V_3)	23 (V_4)	26 (V_5)	29 (V_6)	33 (V_7)	37 (R_1)	42 (R_2)	48 (R_3)
CI	38.789	27.554	38.077	37.649	37.330	27.154	47.624	46.196	31.702	32.661
SSC	37.863	30.596	37.586	39.771	38.387	31.444	53.298	52.099	45.503	36.292
t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
CV(%)	14.84	8.83	5.68	8.30	3.57	15.05	7.14	18.23	7.61	8.98

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(			
	54 (R_4)	59 (R_5)	79 (R_6)	93(R_7)
CI	29.031	34.811	32.623	55.685
SSC	35.730	34.727	39.770	55.366
t-test	ns	ns	ns	ns
CV(%)	14.09	24.40	22.40	9.31

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation
SSC = Saturated Soil Culture
ns = not significance
* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 33 อัตราการสะสมน้ำหนักต่อพื้นที่) Crop growth rate ; g/m^{-2}/day) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	ช่วงจำนวนวันหลังปลูก (วัน(									
	12-15	15-19	19-23	23-26	26-29	29-33	33-37	37-42	42-48	48-54
CI	0.478	2.440	4.739	7.430	5.486	32.151	11.236	36.542	43.373	15.564
SSC	1.099	2.032	4.448	5.697	10.506	20.573	21.714	12.574	19.029	32.195
t-test	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*	ns	ns
CV(%)	53.04	32.74	33.94	39.00	49.93	18.03	35.56	23.54	47.07	57.88

ชุดทดลอง	ช่วงจำนวนวันหลังปลูก (วัน(		
	54-59	59-79	79-93
CI	54.753	20.413	31.584
SSC	28.946	47.006	28.350
t-test	ns	*	ns
CV(%)	83.02	56.46	82.76

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation
SSC = Saturated Soil Culture
ns = not significance
* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 34 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์) Relative growth rate ; g/g/day) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	ช่วงจำนวนวันหลังปลูก (วัน(									
	12-15	15-19	19-23	23-26	26-29	29-33	33-37	37-42	42-48	48-54
CI	0.085	0.227	0.190	0.168	0.083	0.254	0.049	0.109	0.077	0.023
SSC	0.159	0.161	0.181	0.131	0.156	0.173	0.107	0.045	0.051	0.061
t-test	ns	*	ns	ns	ns	*	*	*	ns	*
CV(%)	56.15	29.07	31.87	38.45	44.39	18.32	36.93	21.87	42.04	51.46

ชุดทดลอง	ช่วงจำนวนวันหลังปลูก (วัน(		
	54-59	59-79	79-93
CI	0.057	0.017	0.020
SSC	0.043	0.040	0.015
t-test	ns	*	ns
CV(%)	79.74	51.09	78.61

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation
SSC = Saturated Soil Culture
ns = not significance
* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 35 Leaf area ratio (LAR ; cm^{-2}/g) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(									
	12 (V_1)	15(V_2)	19 (V_3)	23 (V_4)	26 (V_5)	29 (V_6)	33 (V_7)	37 (R_1)	42 (R_2)	48 (R_3)
CI	141.440	201.505	142.417	147.747	146.850	171.682	86.806	102.442	119.801	115.791
SSC	129.134	151.866	148.086	131.369	134.094	143.276	99.866	87.756	92.310	103.517
t-test	ns	*	ns	ns	*	*	*	ns	*	ns
CV(%)	13.44	11.11	8.91	7.94	3.20	9.35	7.03	21.46	7.28	8.78

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(			
	54 (R_4)	59 (R_5)	79 (R_6)	93(R_7)
CI	118.839	100.846	79.328	25.042
SSC	103.292	98.078	49.200	11.338
t-test	ns	ns	*	*
CV(%)	16.18	20.92	14.54	21.32

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation
SSC = Saturated Soil Culture
ns = not significance
* = significance at $P < 0.05$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 36 ดรรชนีพื้นที่ใบ) Leaf area index) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในแปลงของการทดลองที่ 4 ในช่วงต้นฤดูฝน พ.ศ.2549 ภายใต้การให้น้ำทั้ง 2 สภาพ

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(									
	12 (V_1)	15(V_2)	19 (V_3)	23 (V_4)	26 (V_5)	29 (V_6)	33 (V_7)	37 (R_1)	42 (R_2)	48 (R_3)
CI	0.072	0.131	0.229	0.518	0.845	1.258	1.762	2.486	5.149	7.904
SSC	0.071	0.135	0.252	0.456	0.695	1.195	1.652	2.204	2.908	4.457
t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
CV(%)	14.98	12.97	11.34	13.56	11.84	15.06	13.06	15.39	13.16	14.70

ชุดทดลอง	จำนวนวันหลังปลูก (ระยะการเจริญเติบโต(			
	54 (R_4)	59 (R_5)	79 (R_6)	93(R_7)
CI	9.080	10.186	11.434	4.790
SSC	6.365	7.483	8.320	2.368
t-test	*	*	*	*
CV(%)	9.00	12.52	14.19	25.57

หมายเหตุ CI = Conventional Irrigation
SSC = Saturated Soil Culture
ns = not significance
* = significance at $P < 0.05$

-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การสกัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชโดยใช้สาร DMSO

(สาวิตร, 2546 และ Hiscox and Israelstam, 1979)

วิธีการสกัดด้วยสารไดเมทิลซัลโฟไซด์ (Dimethyl sulfoxide : DMSO)

1. นำตัวอย่างใบพืชมาทำความสะอาด และตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ชั่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 100 มิลลิกรัม (โดยหลีกเลี่ยงการใช้เนื้อเยื่อบริเวณเส้นใบและขอบใบ) แล้วใส่ในหลอดทดลอง

2. เติมสาร DMSO ปริมาณ 7 ml ลงในหลอดทดลอง แล้วนำไปอุ่นใน water bath ที่ควบคุมอุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียส

3. รอจนกระทั่งเนื้อเยื่อพืชเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีขาวใส

4. แยกส่วนของกากพืชออกจากสารละลาย โดยการกรองด้วยกระดาษกรอง

5. ปรับปริมาตรสารละลายที่กรองได้ด้วยสาร DMSO ให้เป็น 10 ml

6. นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยใช้วิธีวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ช่วงคลื่น 645, 652 และ 663 นาโนเมตร

7. นำค่าที่อ่านได้ไปคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์

การคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช

1. เจือจางส่วนที่สกัดได้ด้วยสารไดเมทิลซัลโฟไซด์ (ในกรณีที่อ่านค่า OD $>$ 1 ต้องเจือจาง โดยใช้ supernatant : Dimethyl sulfoxide = 1 : 9 ซึ่งได้ปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 10 ml)

2. นำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ช่วงคลื่น 645, 652 และ 663 นาโนเมตร โดยใช้สารเคมีที่ใช้สกัดนั้นเป็น blank

3. คำนวณเป็นค่า mg of chlorophyll/ g fresh leaf weight ตามสูตร ดังนี้

$$\text{mg of chlorophyll a / g fresh leaf weight} = \left[12.7\ (D_{663}) - 2.69\ (D_{645})\right] \times \left[V/\ (1000 \times W)\right]$$

$$\text{mg of chlorophyll b / g fresh leaf weight} = \left[22.9\ (D_{643}) - 4.68\ (D_{663})\right] \times \left[V/\ (1000 \times W)\right]$$

$$\text{mg of total chlorophyll / g fresh leaf weight} = \left[20.2\ (D_{645}) - 8.02\ (D_{663})\right] \times \left[V/\ (1000 \times W)\right]$$

หรือ $= 27.8\ (D_{652})$

โดยที่ D = OD ของคลอโรฟิลล์ในความยาวคลื่นนั้น

V = ปริมาตรสุดท้ายของสารเคมีที่ใช้สกัด (ml)

W = น้ำหนักใบพืชที่ใช้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการวัดการตรึงไนโตรเจนในถั่วเหลืองโดยวิธีการสกัดเนื้อเยื่อ

(เบญจวรรณและคณะ, 2532 และ People *et al*., 1989)

1. วิธีเก็บตัวอย่าง

1.1 เก็บเกี่ยวต้นถั่วเหลืองแยกใบไว้ต่างหาก

1.2 นำตัวอย่างลำต้นใส่ถุงที่มีเครื่องหมายบอกที่มาอย่างชัดเจน นำมาอบที่อุณหภูมิ 75-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

1.3 บดตัวอย่างด้วยให้ละเอียดให้ผ่านตระแกรงขนาด 60 mesh (1.0 mm) เก็บไว้ในที่แห้งจนกว่าจะทำการสกัด

2. วิธีการสกัด

2.1 ชั่งตัวอย่างลำต้นที่บดแล้วตัวอย่างละ 0.5 กรัม ใส่ลงในกระบอกแก้วขนาด 100 มล. หรือขวดแก้วรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flask)

2.2 เติมน้ำกลั่นตัวอย่างละ 25 มล. แล้วต้มให้เดือด 1-2 นาที

2.3 กรองทั้งที่ยังร้อนผ่านกรวยกรองที่กระดาษกรองขนาด 15 ซม. (Whatman No.4) ลงในขวดวัดปริมาตร (volume flask) ขนาด 50 มล. ใช้น้ำกลั่นล้างตัวอย่างพืชทั้งหมดลงในกรวย แล้วชะล้างด้วยน้ำกลั่นอีกเล็กน้อย

2.4 เมื่อน้ำที่กรองได้ในขวด เริ่มเย็นลง เติมน้ำกลั่นลงไปในจนครบ 50 มล.

2.5 น้ำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาสารประกอบไนโตรเจนได้ทันทีหรือเก็บไว้ในขวดพลาสติกในสภาพแช่แข็ง จนกว่าจะถึงเวลาวิเคราะห์

3. การวิเคราะห์สารประกอบไนโตรเจนที่สกัดจากเนื้อเยื่อ

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

- เครื่องชั่งที่ชั่งได้แม่นยำถึง 0.1 มิลลิกรัม
- ขวดแก้วรูปชมพู่ขนาดต่างๆ
- หลอดทดลอง (ขนาด 18 x 150 มม.) พร้อมที่ตั้ง
- ไมโครปิเปตพร้อมหัว (e.g. Gilson Pipetman, France) และ/หรือ dispensers (e.g. Wheaton Zillette, England) ที่มีขนาดต่อไปนี้

2-20 ไมโครลิตร

50-200 ไมโครลิตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

0.2-1 มิลลิลิตร

1-5 มิลลิลิตร

- Vortex mixer
- Boiling-water bath
- อ่างน้ำแข็ง หรือ Refrigerated-water bath
- Spectrophotometer หรือ Colorimeter

3.2 วิธีการวิเคราะห์หาสารประกอบไนโตรเจน

3.2.1 การวิเคราะห์ยูรีไอด์

<u>รีเอเจนต์ (reagent)</u>

A. 0.5 M NaOH

-NaOH (Analytical grade)	20 กรัม
-น้ำกลั่น	1 ลิตร

B. Phenylhydrazine hydrochloride

-Phenylhydrazine hydrochloride*	0.33 กรัม
-น้ำกลั่น	100 มิลลิลิตร

ต้องผสมใหม่ทุกวันที่จะใช้ เทื่อผสมแล้วต้องเก็บไว้ในขวดหุ้มด้วย tin-foil

* เก็บไว้รวมกับสารดูดความชื้นในตู้แช่แข็ง

C. 0.65 M HCl

-กรดไฮโดรคลอริคเข้มข้น (32 % w/w)	6.5 มิลลิลิตร
เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้	100 มิลลิลิตร

D. Potassium ferricyanide

-Potassium ferricyanide	0.833 กรัม
-น้ำกลั่น	50 มิลลิลิตร

ต้องผสมใหม่ทุกวันที่จะใช้ เมื่อผสมแล้วต้องเก็บไว้ในขวดหุ้มด้วย tin-foil

E. กรดไฮโดรคลอริคเข้มข้น (32 % w/w = 10 M) แช่เย็นไว้ที่ 0 °C

F. มาตรฐานอะลันโทอิน (Allantoin standards)

เตรียมใหม่สำหรับวันที่จะใช้ 1 ไมโครโมล/มล. Allantoin stock โดยผสม

-Allantoin (เก็บไว้กับสารดูดความชื้น)	15.8 มิลลิกรัม
-น้ำกลั่น	100 มิลลิลิตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทำ allantoin stock ให้เจือจางดังต่อไปนี้

1 มล. ใน 100 มล. ด้วยน้ำกลั่น (10 nmole/ml), ใช้ 2.5 มล. = 25 mole

2 มล. ใน 100 มล. ด้วยน้ำกลั่น (20 nmole/ml), ใช้ 2.5 มล. = 50 mole

3 มล. ใน 100 มล. ด้วยน้ำกลั่น (30 nmole/ml), ใช้ 2.5 มล. = 75 mole

5 มล. ใน 100 มล. ด้วยน้ำกลั่น (50 nmole/ml), ใช้ 2.5 มล. = 125 mole

10 มล. ใน 100 มล. ด้วยน้ำกลั่น (100 nmole/ml),ใช้ 2.5มล.= 250 mole

หมายเหตุ ใช้น้ำกลั่น 2.5 มล. เป็น Blank ร่วมไปกับ standard เสมอ

ก่อนจะดำเนินไปถึงการวิเคราะห์ยูรีไอด์ ควรจะได้ลองวิเคราะห์ standard ดู 1 ชุด ตั้งแต่ 0-250 nmole/ml เพื่อยืนยันลักษณะการตอบสนองว่าเป็นเส้นตรงจริง

วิธีการ

เนื่องจากสีที่เกิดขึ้นไม่มีความคงที่ จึงควรวิเคราะห์ยูรีไอด์ทีละ 20-30 ตัวอย่างเท่านั้น รวมทั้ง water blank 2 ตัวอย่างและอย่างน้อย 3 standard ureides (e.g. 10, 20 and 50 nmole/ml)

(ก) นำตัวอย่างน้ำสกัดจากเนื้อเยื่อมาประมาณ 0.2 มิลลิลิตร แล้วนำมาเติมน้ำกลั่นให้ครบ 2.5 มิลลิลิตร สำหรับ blank ใช้น้ำกลั่น 2.5 มิลลิลิตรของสารละลายที่ได้เจือจางไว้

(ข) เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.5 Molar (M) ลงไป 0.5 มิลลิลิตร

(ค) เขย่าเพื่อผสมให้เข้ากัน แล้วนำหลอดทดลองไปต้มในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 10-15 นาที

(ง) ยกหลอดทดลองออกจากอ่างน้ำเดือดแล้วทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริค (HCl) ความเข้มข้น 0.65 M ลงไปหลอดละ 0.5 มล. ตามด้วย phenylhydrazine ที่เตรียมไว้ 0.5 มิลลิลิตร

(จ) ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปต้มใน boiling-water bath อีก 2-4 นาที

(ฉ) ยกออกจากน้ำร้อนแล้วจุ่มลงในอ่างน้ำเย็นจัด (ice-water bath) ทิ้งไว้ 15 นาที ในขั้นตอนนี้การเย็นลงทันทีของสารละลายในหลอดทดลองมีความจำเป็นมากต่อการทำให้เกิดสี ที่จะเป็นเครื่องบ่งความเข้มข้นของยูรีไอด์ ดังนั้นอาจจำเป็นต้องใช้เกลือผสมกับน้ำแข็งเพื่อให้เย็นจัดมากขึ้น

(ช) เอาออกจากน้ำแข็ง เติมกรดไฮโดรคลอริคเข้มข้นที่แช่เย็นไว้ 2 มล. และ potassium ferriccyanide 0.5 มล.

(ซ) ผสมให้เข้ากันทันทีหลังจากที่เติม potassium ferriccyanide ทุกครั้ง

(ฌ) ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาทีแล้วนำไปอ่านค่าความเข้มแสง (optical density หรือ absorbance) ด้วย Spectrophotometer ที่ 525 nm สีที่ใช้อ่านนี้ไม่อยู่ตัว ถ้าปล่อยไว้นาน 1 ชั่วโมงสีจะจางลงไป 10-15 % ดังนั้นจึงควรที่จะทำตัวอย่างทั้งหมดรวมทั้ง blanks และ standards ด้วยที่จะสามารถอ่านเสร็จได้ในเวลาประมาณ 20 นาที

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(ญ) สร้างเส้นแสดงความสัมพันธ์ (standards curve) ระหว่างความเข้มข้นของ allantoin standards และค่าที่อ่านได้ (250 mole standard ควรจะอ่านค่า optical density ได้ 1.0-1.4) จาก standard curve และการใช้ correction factor (ต.ย. ถ้าใช้ตัวอย่าง 0.05 มล. Correction factor เป็น 2.5/0.05 =x50) จะสามารถอ่านความเข้มข้นของยูรีไอด์ในตัวอย่างได้เป็น nmole/ml

3.2.2 การวิเคราะห์กรดอะมิโนโดยวิธีนินไฮดริน

<u>รีเอเจนต์ (reagent)</u>

A. 0.2 M Citrate buffer

-กรดซิตริก	21 กรัม
-NaOH (Analytic grade)	8 กรัม
-น้ำกลั่น	500 มิลลิลิตร

ปรับ pH ให้ได้ 5.0

B. นินไฮดรินรีเอเจนต์

-0.01 M potassium cyanide	10 มิลลิลิตร

(65 มก. ในน้ำกลั่น 100 มล. เก็บไว้ได้ 3 เดือนที่ 20 °C)

-Methoxy-ethanol (Analytic grade)	590 มิลลิลิตร
-นินไฮดริน (Ninhydrin)	5 กรัม

ควรเตรียมนินไฮดรินรีเอเจนต์อย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนใช้ รีเอเจนต์นี้ทำปฏิกริยาต่อแสงไวมาก ควรเก็บในที่มืดขวนแก้วสีน้ำตาล สามารถเก็บไว้ได้ประมาณ 2 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง ถ้าเก็บไว้ที่ 4°C จะเก็บไว้ได้นานขึ้น

C. มาตรฐานกรดอะมิโน (Amino acid standards)

เตรียมใหม่ทุกวันที่ใช้สารละลายแอสปาราจีนผสมกลูตามีน (Asparagine : Glutamine) ในอัตราส่วน 50 : 50 ความเข้มข้น 2.5 ไมโครโมล/มล. โดยใช้

-Asparagine (เก็บไว้กับสารดูดความชื้น)	16.5 มิลลิกรัม
-Glutamine (เก็บไว้กับสารดูดความชื้น)	18.2 มิลลิกรัม
-น้ำกลั่น	100 มิลลิลิตร

นำมาละลายให้เจือจางดังต่อไปนี้

- 0.1 มล. ใน 10 มล. ด้วยน้ำกลั่น (25 nmole/ml), ใช้ 0.5 มล. = 12.5 nmole
- 0.2 มล. ใน 10 มล. ด้วยน้ำกลั่น (50 nmole/ml), ใช้ 0.5 มล. = 25 nmole

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- 0.4 มล. ใน 10 มล. ด้วยน้ำกลั่น (100 nmole/ml), ใช้ 0.5 มล. = 50 nmole
- 1.0 มล. ใน 10 มล. ด้วยน้ำกลั่น (250 nmole/ml), ใช้ 0.5 มล. =125 nmole
- 2.0 มล. ใน 10 มล. ด้วยน้ำกลั่น (500 nmole/ml), ใช้ 0.5 มล. =250 nmole

<u>หมายเหตุ</u> ใช้น้ำกลั่น 0.5 มล. เป็น Blank ร่วมไปกับ standards เสมอ

วิธีการ

(ก) ใส่ตัวอย่างน้ำหล่อเลี้ยงลำต้น 0.5 มล. (น้ำหล่อเลี้ยงลำต้น 20-50 ไมโครลิตร ผสมน้ำกลั่น 450-180 ไมโครลิตร) ลงในหลอดทดลอง สำหรับ standards curve ใช้สารละลายมาตรฐานกรดอะมิโนอย่างละ 0.5 มล. ส่วน balnk (2 ซ้ำ) ใช้น้ำกลั่น 0.5 มล.

(ข) เติม citrate buffer (pH 5) ความเข้มข้น 0.2 M 1.0 มล.

(ค) เติมนินไฮดรินรีเอเจนต์ 1.2 มล.

(ง) ผสมให้เข้ากันแล้วนำหลอดไปตั้งในอ่างน้ำเดือด ปล่อยให้เย็นตามอุณหภูมิห้อง

(จ) อ่าน optical density (absorbance) ด้วย Spectrophotometer ที่ 570 nm

(ฉ) สร้าง standards curve แล้วอ่านค่าความเข้มข้นกรดอะมิโนในหลอดทดลองจาก standards curve (standard 250 nmole ควรจะอ่านค่า optical density ได้ประมาณ 1.2) ใช้ corecction factor (ต.ย.ถ้าใช้ตัวอย่าง 50 ไมโครลิตร หรือ 0.05 มล. Correction factor คือ 1.0/0.05 = X20) เปลี่ยนเป็นความเข้มข้น nmole/ml ในตัวอย่างที่เก็บมาจากพืช

3.2.3 การวิเคราะห์ไนเตรทโดยวิธีกรดซาลิไซลิก

<u>รีเอเจนต์ (reagent)</u>

A. กรดซาลิไซลิก (Salicylic acid) (5 % w/v)

-กรดซาลิไซลิก	5 กรัม
-กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4)	100 มิลลิลิตร

รีเอเจนต์ตัวนี้ควรจะเตรียมล่วงหน้าไว้หลายๆวัน ก่อนใช้ เมื่อเตรียมแล้วสามารถเก็บไว้ได้หลายสัปดาห์

B. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 M (2 M NaOH)

-NaOH (Analytic grade)	40 กรัม
-น้ำกลั่น	500 มิลลิลิตร

C. มาตรฐานไนเตรท (Nitrate standard)

เตรียมสารละลายโปแตสเซียมไนเตรท (KNO_3) เข้มข้น 25 ไมโครโมล/มล.

- KNO_3	0.253 กรัม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

-น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

(ถ้าไม่มี KNO_3 ใช้ $Ca(NO_3)_2$ แทนได้)

ละลายให้เจือจางดังต่อไปนี้

1 มล. ใน 10 มล. ด้วยน้ำกลั่น (2.5 nmole/ml) ใช้ 0.05 มล. = 0.125 micromole

2 มล. ใน 10 มล. ด้วยน้ำกลั่น (5 nmole/ml) ใช้ 0.05 มล. = 0.25 micromole

4 มล. ใน 10 มล. ด้วยน้ำกลั่น (10 nmole/ml) ใช้ 0.05 มล. = 0.5 micromole

6 มล. ใน 10 มล. ด้วยน้ำกลั่น (15 nmole/ml) ใช้ 0.05 มล. = 0.75 micromole

8 มล. ใน 10 มล. ด้วยน้ำกลั่น (20 nmole/ml) ใช้ 0.05 มล. = 1 micromole

<u>หมายเหตุ</u> แทรก blanks (น้ำกลั่น 0.05 มล.) ใน standards ด้วยทุกครั้งที่วิเคราะห์

วิธีการ

(ก) นำตัวอย่างน้ำที่สกัดจากเนื้อเยื่อหรือน้ำหล่อเลี้ยงลำต้น 0.05 มล. ใส่ลงในหลอดทดลอง (มาตรฐานไนเตรทที่เตรียมไว้ใช้อย่างละ 0.05 มล. พร้อมทั้งน้ำกลั่น 0.05 มล. 2 ซ้ำเป็น blank)

(ข) เติมสารละลายซาลิไซลิก 0.2 มล. ผสมให้เข้ากัน

(ค) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 20 นาที แล้วเติม 2 M NaOH 4.75 มล. (เพื่อเพิ่ม pH > 12)

(ง) ปล่อยให้เย็นตามอุณหภูมิห้อง อ่าน optical density (absorbance) ที่ 410 nm

(จ) สร้าง standards curve (1 ไมโครโมล standard ไนเตรท ควรอ่าน optical density ได้ประมาณ 1.2) อ่านค่าความเข้มข้นไนเตรทในหลอดทดลองจาก standard curve

<u>หมายเหตุ</u> สำหรับตัวอย่างที่ได้จากวิธีการสกัดเนื้อเยื่อ ไม่มีการวิเคราะห์กรดอะมิโน โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{Relative ureides index (\%)} = \frac{4 \times \text{ureide}^*}{(4 \times \text{ureide} + \text{nitrate})} \times 100$$

* mole

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดโดยรวม (total nitrogen)

(สาวิตร, 2546)

1. วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1.1 อุปกรณ์

ก. เครื่องบดตัวอย่างพืช

ข. เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

ค. หลอดย่อยตัวอย่างขนาด 35X250 มิลลิเมตร

ง. เตาย่อยและ digest hood สำหรับย่อยสลายตัวอย่างพืช

จ. volume metric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร

ฉ.กระบอกตวงขนาด 1000 มิลลิลิตร

ช. กระดาษกรองเบอร์ 2

ซ.. ขวดสีชาและขวดพลาสติกขนาดเล็ก

ฌ. หลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร

ญ. เครื่อง Spectrophotometer

1.2 สารเคมี

ก. กรดซัลฟูริกเข้มข้น

ข. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ค. โซเดียมซาลิไซเลท (sodium salicylate)

ง. โซเดียมซิเตรท (sodium citrate)

จ. โซเดียมทาร์เทต (sodium tartrate)

ฉ. โซเดียมไนโตรพรัสไซด์ (sodium nitroprusside)

ช. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide)

ซ. โซเดียมไฮโปรคลอไรด์ (sodium hypochloride)

ฌ. น้ำดีอิออนไนซ์ (Deionized water)

2. วิธีการวิเคราะห์

นำตัวอย่างถั่วเหลืองมาบดและวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl method โดยดำเนินการดังนี้

ก. ชั่งตัวอย่างพืชที่บดละเอียดแล้ว 0.2 กรัม ใส่ในหลอดทดลองขนาด 35X250 มิลลิเมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข. เติมกรดซัลฟูริคเข้มข้น ปริมาตร 3 มิลลิลิตรลงในหลอดย่อยตัวอย่างภายใต้ตู้ digest hood แล้วทิ้งไว้ 1 คืน

ค. หลังจากนั้นเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จำนวน 2 มิลลิลิตร จากนั้นย่อยตัวอย่างจนสารละลายที่ได้ใส โดยเริ่มจากนำหลอดไปใส่ในเตาย่อยภายใต้ตู้ดูดควัน แล้วปรับอุณหภูมิเตาย่อยไปที่ 50 องศาเซลเซียส

ง. หลังจากผ่านไป 1 ชั่วโมง ให้ปรับอุณหภูมิไปที่ 100 องศาเซลเซียส (ทั้งนี้จะปรับอุณหภูมิขึ้นทุกๆ 50 องศาเซลเซียส ในทุกๆ 30 นาที ไปจนถึง 350 องศาเซลเซียส)

จ. เมื่อปรับอุณหภูมิไปจนถึง 350 องศาเซลเซียส และได้สารละลายที่ใสแล้ว ให้ตะแคงหลอดเพื่อล้างส่วนที่ค้างข้างๆ หลอดให้ละลายมาอยู่รวมกัน

ฉ. หลังจากนั้นปิดเตาย่อยและทิ้งไว้จนกระทั่งเย็น จึงเติมน้ำกลั่นลงไปในหลอดประมาณ ¼ ของหลอด

ช. เทสารละลายทั้งหมดลงใน volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วใช้น้ำกลั่นปรับปริมาตรทั้งหมดให้เป็น 50 มิลลิลิตร และนำไปเทเก็บใส่ในขวดพลาสติกเพื่อนำไปวิเคราะห์หาไนโตรเจนต่อไป โดยวิธีการทำให้สารละลายที่ย่อยเกิดสี

วิธีการทำให้สารละลายที่ย่อยเกิดสี

การเตรียมสารละลาย N1

ละลาย sodium salicylate 34 กรัม sodium citrate 25 กรัม sodium tartrate 25 กรัม ในน้ำ deionized 750 มิลลิลิตร เติม sodium nitroprusside 0.12 กรัม เมื่อละลายเข้ากันดีแล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำ deionized เทใส่ลงในขวดสีชาและเก็บไว้ในตู้เย็น

การเตรียมสารละลาย N2

ละลาย sodium hydroxide 30 กรัม ในน้ำ deionized 750 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติม sodium hypochloride 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำ deionized เทใส่ลงในขวดสีชาและเก็บไว้ในตู้เย็น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

ในการวัดปริมานไนโตรเจนหรือ NH_4-N ในสารละลายที่ได้จากการย่อย จะต้องเตรียม NH_4-stock solution ความเข้มข้น 1000 ppm ไว้สำหรับเตรียม working standard solution โดยละลาย $(NH_4)_2SO4$ (อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาใช้) 4.714 กรัม ด้วยน้ำ deionized 1000 มิลลิลิตร ใน volumetric flask เก็บไว้ในตู้เย็น เตรียม working standard solution ให้มีความเข้มข้นของ NH_4-N เท่ากับ 0 5 10 15 และ 25 ppm หลังจากนั้นนำ working standard solution ที่เตรียมไว้ไปทำให้เกิดสีเพื่อสร้างกราฟมาตรฐานหรือ standard curve

ขั้นตอนทำให้สารละลายที่ย่อยเกิดสี

ก. ดูดสารละลายที่ย่อยแล้วในขวดพลาสติกมา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก

ข. เติมน้ำกลั่นลงในหลอดทดลอง 5 มิลลิลิตร แล้วเขย่าหลอดให้สารละลายผสมกัน

ค. ดูดสารละลายจากหลอดทดลอง 0.2 มิลลิลิตรไปใส่ในหลอดทดลองใหม่ขนาดเล็ก

ง. เติมสารละลาย N1 จำนวน 5 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 15 นาที

จ. หลังจากนั้นเติมสารละลาย N2 จำนวน 5 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งสีเขียวครามที่เกิดขึ้นมีความคงที่

ฉ. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 625 nm แล้วนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวศิริพรรณ บรรหาร
วัน เดือน ปี ที่เกิด	2518 สิงหาคม 17
สถานที่เกิด	อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา
ประวัติการศึกษา	วท.ม) .พฤกษศาสตร์ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	พนักงานมหาวิทยาลัย ตำแหน่งอาจารย์ระดับ 4
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนในโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความรู้ความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)พสวท (.ตั้งแต่ปีพ.ศ 2538 .ในระดับปริญญาตรี และได้รับทุนนี้ต่อเนื่องมาทั้งในระดับปริญญาโทและปริญญาเอก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์