



การตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลือง
เมื่อปลูกอยู่ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ
Physiological Responses of Soybean
when Grown in Saturated Soil Culture

ศิริพรรณ บรรหาร^{1*} อภิพรรณ พุกภักดี² และ สาวิตร์ มีชัย³

บทคัดย่อ

การศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 เมื่อปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติ ได้ดำเนินการทดลองที่สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อ.เมือง จ.ลำปาง โดยศึกษาจากลักษณะทางด้านการเจริญเติบโตในด้านการสะสมน้ำหนักแห้งและลักษณะทางด้านสรีรวิทยาต่าง ๆ ได้แก่ ความเขียวของใบ อัตราการสังเคราะห์แสง อัตราการคายน้ำ ค่าศักย์ของน้ำในใบ และการตรึงไนโตรเจน โดยวางแผนการทดลองแบบ factorial in completely randomized design (CRD) จากผลการทดลองพบว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำมีแนวโน้มของการเจริญเติบโตและการสะสมน้ำหนักแห้งที่ใกล้เคียงกับถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติ นอกจากนี้ยังพบว่า ความเขียวของใบ สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการปรับตัวเพื่อเข้าสู่สภาพปกติได้โดยใบมีสีเขียวสดกลับเป็นปกติเมื่อถั่วเหลืองอยู่ในระยะ V₅-V₆ และถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ยังมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติ รวมไปถึงอัตราการคายน้ำและค่าศักย์ของน้ำในใบ อีกด้วย เมื่อวัดระดับการตรึงไนโตรเจน พบว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ สามารถตรึงไนโตรเจนในอัตราที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติ ซึ่งจากค่าศักย์ของน้ำที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้น้ำและการตรึงไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีการปรับตัวให้สามารถเจริญอยู่ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำได้ นอกจากนี้ถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ยังมีอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงมากขึ้น รวมทั้งมีการสะสมน้ำหนักแห้งให้มีค่าใกล้เคียงกับถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติอีกด้วย

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

²ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

³สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อ.เมือง จ.ลำปาง 52000

*Corresponding Author, E-mail: bsiripan@hotmail.com

ABSTRACT

A study of the physiological responses in soybean cultivars “Chakkrabhanhu” No.1 when grown in saturated soil culture compared with the conventional irrigation soybeans was conducted at Lampang Agricultural Research and Training Institute, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang province. Study involved with recording and data gathering on growth characteristic in terms of dry matter and physiological characteristic such as the green of leaves, photosynthetic rate, transpiration rate, leaf water potential and nitrogen fixation. Experiments were conducted using factorial in Completely Randomized Design (CRD). Results of this study revealed that soybean 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 in soybean’s leaves could be used as 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 addition, saturated soybeans demonstrated the higher rate of photosynthesis than those grown in the conventional irrigation. The results also revealed that transpiration rate, leaf water potential and N_2 fixation of the saturated soybean were much greater than the control; the current data were correlated with the previous findings which indicated that the leaf 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 to the conventional irrigation.

คำสำคัญ: การตอบสนองทางสรีรวิทยา อัตราการสังเคราะห์แสง สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ถั่วเหลือง

Keywords: Physiological response, Photosynthetic rate, Saturated soil culture, Soybean

บทนำ

การศึกษาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ทั้งในประเทศไทยและประเทศออสเตรเลีย เป็นการศึกษาที่จะพยายามหาแนวทางในการใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองให้มากยิ่งขึ้น ในอดีต

งานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ได้ชี้ให้เห็นถึงข้อดีของการที่ถั่วเหลืองมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะที่มีน้ำหล่อเลี้ยงอย่างเต็มที่ ทำให้มีการเจริญเติบโตและการสร้างน้ำหนักแห้งที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปลูกในสภาพปกติ การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในสภาพ

ดินอ้อมตัวด้วยน้ำจากจุดที่มีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพดังกล่าว หรือที่เรียกว่า acclimatization นั้น ผลงานต่าง ๆ ในอดีตได้ชี้ให้เห็นว่า เกิดจากการที่ถั่วเหลืองเจริญเติบโตในสภาวะที่ไม่ขาดน้ำ และมีการตรึงไนโตรเจนในอัตราที่สูง ซึ่งหากเป็นเพราะสาเหตุสองประการนี้จริง ก็อาจจะส่งผลให้ลักษณะทางสรีรวิทยาหลายลักษณะของถั่วเหลือง มีการพัฒนาในรูปแบบที่แตกต่างจากการปลูกในสภาพปกติ ซึ่งลักษณะทางสรีรวิทยา ดังกล่าวยังไม่ได้รับการศึกษาและเข้าใจมาก่อน ดังนั้น หากมีการศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองทางสรีรวิทยา และลักษณะทางสรีระบางประการของถั่วเหลืองในสภาวะที่เจริญเติบโตอยู่ในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาในสิ่งที่เกิดขึ้นใกล้ ๆ กับระยะเวลาที่พืชมีการปรับตัว ความเข้าใจและองค์ความรู้ที่เกิดขึ้น อาจจะสามารถนำมาพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตในถั่วเหลืองหรือพืชล้มลุกอื่น ๆ ให้มีผลผลิตสูงในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำได้เช่นกัน

ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำ ในด้านการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปรับตัวของถั่วเหลือง (acclimatization) ที่เจริญเติบโตอยู่ในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำ เปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตอยู่ในสภาพปกติ รวมทั้งศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากความสามารถในการปรับตัวของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำ ในการเพิ่มผลผลิตของถั่วเหลือง โดยเฉพาะสภาพพื้นที่ดินนาหรือสภาวะที่มีน้ำท่วมขังตลอดเวลา

อุปกรณ์และวิธีการ

วางแผนการทดลองแบบ factorial in completely randomized design (CRD) จำนวน 3

ซ้ำ โดยปลูก ถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ตอบสนองต่อสภาพดินอ้อมดินอ้อมตัวด้วยน้ำได้เป็นอย่างดี (อภิพรธ, 2545) ในกระถางดินเผาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร โดยปลูกในสภาพปกติ (conventional irrigation, CI) และปลูกในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำ (saturated soil culture, SSC) ก่อนการปลูกผสมดินร่วนเหนียว (clay loam) 2 ส่วน กากถั่วลิสง 1 ส่วน และปุ๋ยคอก 1 ส่วน ลงในกระถาง แล้วปลูกถั่วเหลืองจำนวน 10-15 เมล็ดต่อกระถาง โดยก่อนการปลูก คลุกเมล็ดด้วยเชื้อ *Bradyrhizobium japonicum* ในส่วนของกระถางที่ปลูกในระบบดินอ้อมตัวด้วยน้ำ (SSC) นำกระถางไปวางไว้ในอ่างซีเมนต์ที่หล่อด้วยน้ำ โดยให้ระดับน้ำในอ่างซีเมนต์ต่ำกว่าขอบกระถาง 10 เซนติเมตร ส่วนกระถางถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติ (CI) ตั้งกระถางไว้ในที่ ๆ เหมาะสม ที่จะสามารถรดน้ำได้โดยสะดวก ซึ่งการให้น้ำในสภาพปกติ รดน้ำทุกวันในตอนเช้าและเย็น ในช่วงที่มีการเจริญเติบโตทางใบและลำต้น ส่วนการให้น้ำในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำ ให้น้ำหล่อในอ่างซีเมนต์ โดยรักษาระดับน้ำให้ต่ำกว่าขอบกระถาง 10 เซนติเมตร ตลอดช่วงที่ปลูก

การเก็บข้อมูลทดลอง

เริ่มเก็บตัวอย่างถั่วเหลืองทุกระยะตั้งแต่ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative growth) และการเจริญเติบโต

ทางการสืบพันธุ์ (reproductive growth) คือตั้งแต่ V₁ V₂ V₃ V₄ V₅ V₆ V₇ R₁ R₂ R₃ R₄ R₅ R₆ และ R₇ (Fehr and Carviness, 1977) การเก็บตัวอย่างดังกล่าว ใช้จำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ต้น โดยเก็บตัวอย่าง 3 ต้นต่อ 1 กระถาง แต่ละกระถางปลูก 7-8 ต้น ตัวอย่างดังกล่าวทั้งที่เป็นตัวอย่างที่ถอนออกมาจากกระถาง (destructive sample) และตัวอย่างที่เจริญ

อยู่ในกระถาง (non-destructive sample) นำมาวัดวิเคราะห์และเก็บข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

1. การสะสมน้ำหนักรากแห้ง (dry matter accumulation) นำต้นถั่วเหลืองไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 วัน เพื่อการสะสมน้ำหนักรากแห้งรวมต่อต้น

2. ข้อมูลด้านการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลือง (physiological responses)

2.1 ความเขียวของใบ โดยใช้เครื่องวัดความเข้มของสีใบหรือ SPAD รุ่น Minolta โดยวัดใบบนสุดที่แผ่ขยายเต็มที่ ในทุกระยะการเจริญเติบโต ในช่วงเวลาระหว่าง 9.00-11.00 น.

2.2 อัตราการสังเคราะห์แสง (photosynthesis rate) โดยใช้เครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสง Portable photosynthesis รุ่น LCA 4 โดยวัดใบบนสุดที่แผ่ขยายเต็มที่ ในทุกระยะการเจริญเติบโต ในช่วงเวลาระหว่าง 9.00 น.-11.00 น.

ทำการวัดในสภาพกลางแจ้งในบริเวณที่ตั้งกระถางถั่วเหลืองอยู่ โดยกำหนดสภาพให้กับหัววัดดังนี้ ปริมาณความเข้มแสงที่ผ่านหัววัด ประมาณ 1,000-1,500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ความดันบรรยากาศ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 983 mbar อุณหภูมิของหัววัดอยู่ระหว่าง 27-33 °C ค่าความต้านทานของพื้นผิวใบ (boundary layer resistance to H_2O) เท่ากับ 0.8 $\text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{mol}$ พื้นที่ใบที่วัดมีค่าเท่ากับ 6.25 cm^2

2.3 อัตราการคายน้ำ (transpiration rate) โดยใช้เครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสง portable photosynthesis รุ่น LCA 4 โดยวัดใบบนสุดที่แผ่ขยายเต็มที่ ในทุกระยะการเจริญเติบโต ในช่วงเวลาเดียวกันและสภาพเดียวกันกับการวัดอัตราการสังเคราะห์แสง

2.4 ความต้านทานการเปิดปากใบ (stomatal resistance; R_s) กระทำเช่นเดียวกันกับการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการคายน้ำ

2.5 ค่าศักย์ของน้ำในใบ (leaf water potential) โดยใช้เครื่อง pressure bomb วัดในช่วงเวลากลางคืนประมาณ 2.00-3.00 น. (predawn) ซึ่งเป็นช่วง minimum temperature และในช่วงเวลากลางวันคือ 15.00 น. (post-dawn) ซึ่งเป็นช่วง maximum temperature โดยวัดห่างกัน 12-13 ชั่วโมง ในช่วงวันเดียวกัน เปรียบเทียบกันไปในทุกระยะการเจริญเติบโต

3. การตรึงไนโตรเจนในถั่วเหลือง โดยวิธีการสกัดเนื้อเยื่อ (เบญจวรรณ และคณะ, 2532; Peoples et al., 1989)

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

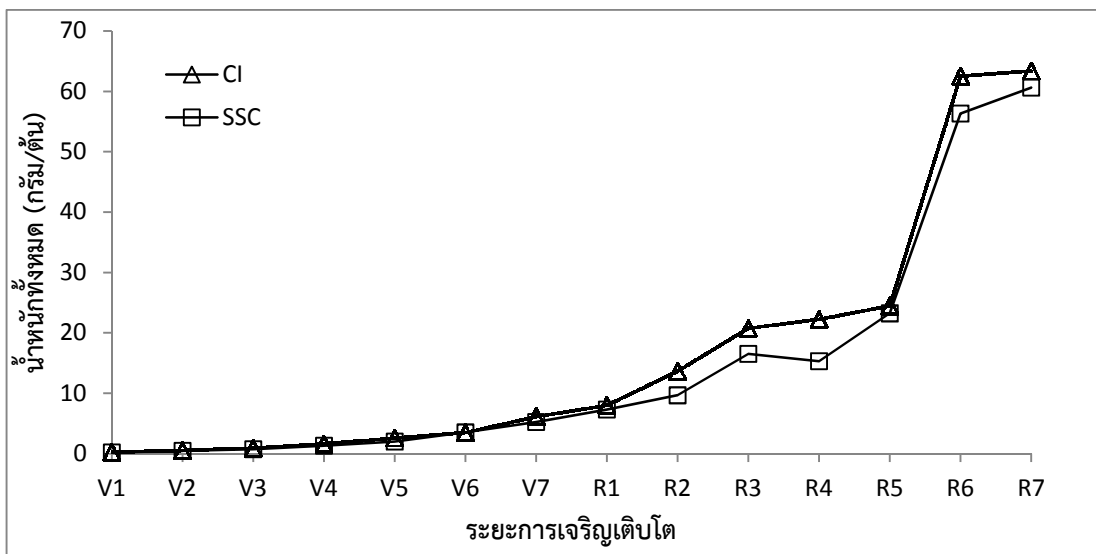
1. การตอบสนองด้านการเจริญเติบโต (agronomic responses)

1.1 การสะสมน้ำหนักรากแห้ง (dry matter accumulation)

ในแง่ของการสะสมน้ำหนักรากแห้ง โดยพิจารณาจากน้ำหนักรากแห้งทั้งหมด จากผลการทดลอง พบว่า การตอบสนองของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพการให้น้ำ 2 ประเภทคือ สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (SSC) และสภาพปรกติ (CI) นั้น จะเห็นได้ว่า การสะสมน้ำหนักรากแห้งของถั่วเหลืองตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโต ทั้งในถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC และ CI ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ตั้งแต่ระยะเวลาการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative growth) จนถึงระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ (reproductive growth) และจะเห็นได้ว่าน้ำหนักรากแห้งทั้งหมดต่อต้นของถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตอยู่ในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีค่า

ต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพปกติ จากผลการทดลองดังกล่าว แตกต่างจากผลการทดลองดังที่ได้เคยพบในการวิจัยต่าง ๆ ในอดีต (อภิพรธ และคณะ, 2533; อภิพรธ และคณะ, 2539; โกวิท, 2533; อำนาจ และคณะ, 2530; Hunter et al., 1980; Nathanson et al., 1984; Pookpakdi, 1992; Trodson et al., 1981; Trodson et al., 1983; Trodson et al., 1989) ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้ล้วนเป็น

การทดลองในแปลงปลูก ซึ่งการทดลองในกระถางนี้อาจเป็นเพราะการจำกัดการเจริญเติบโตของรากที่อัดแน่นอยู่ในกระถาง เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ ซึ่งถ้าหากเป็นการเจริญเติบโตในแปลงทดลองแล้ว การเจริญของรากในแปลงปลูกเป็นไปได้ อย่างมีอิสระมากกว่าและสามารถขนไชลงไปในดินได้มากกว่า



รูปที่ 1 การสะสมน้ำหนักแห้งทั้งหมดเฉลี่ย (กรัม/ต้น) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ (SSC) เปรียบเทียบกับสภาพปกติ (CI)

2. การตอบสนองด้านสรีรวิทยา (physiological responses)

2.1 การวัดค่าความเขียวของใบ

จากรูปที่ 2 ซึ่งแสดงถึงความแตกต่างของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI กับสภาพ SSC จะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ไม่แสดงอาการใบซีดเหลือง (chlorosis) ให้เห็น แต่ในสภาพ SSC นั้น ในระยะแรกของการเจริญเติบโต

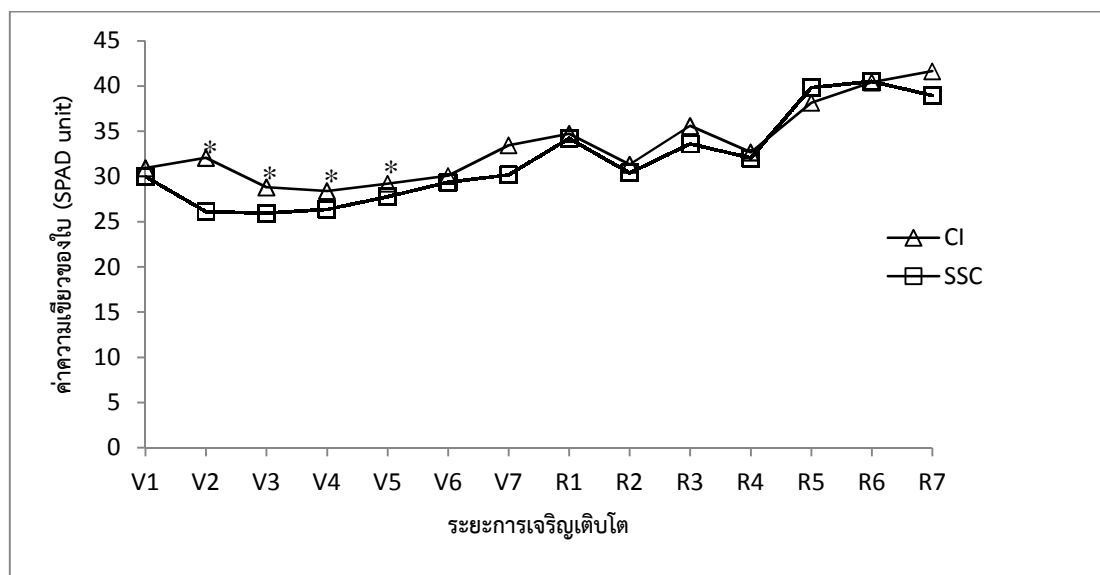
ถั่วเหลืองต้องเผชิญกับสภาพดินที่อิมตัวไปด้วยน้ำ จึงทำให้ถั่วเหลืองยังไม่สามารถปรับตัวได้ จึงมี

อาการใบซีดเหลือง ซึ่งสังเกตเห็นได้จากเส้นกราฟในช่วงระยะการเจริญเติบโต V_1 ถึง V_4 แสดงให้เห็นว่าค่าความเขียวของใบที่ลดลง และพืชแสดง ออกโดยใบซีดเป็นสีเหลืองแทนที่จะเป็นสีเขียวสด ดังเช่นในสภาพการปลูกแบบปกติหรือสภาพ CI ซึ่งในสภาวะที่ดินอิมตัวไปด้วยน้ำนั้น ถั่วเหลืองจะพยายามปรับตัวให้เข้ากับสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำและสามารถกลับคืนสู่สภาพปกติที่ระยะ V_6 เป็นต้นไป ซึ่งการปรับตัวของถั่วเหลืองให้เข้ากับสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ จนสามารถเจริญเติบโตได้ตามปรกตินั้น เรียกว่า acclimatization

(Troedson et al., 1984 ; Nathanson et al., 1984) และในการศึกษครั้งนี้ ได้แสดงให้เห็นว่า ถั่วเหลือง พันธุ์จักรพันธ์ 1 หลังจากທີ່ประสบกับภาวะเครียดจากสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำแล้ว สามารถปรับตัว (acclimatize) เข้าสู่สภาพปรกติได้เมื่อเข้าสู่ระยะ V_6

จากการศึกษาถึงการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาของถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC พบว่าเมื่อวัดความเขียวของใบ ถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพนี้แสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดถึงความชื้นของใบที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเผชิญกับสภาวะเครียดที่ต้องเจริญเติบโตอยู่ในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า สภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ ทำให้เกิดความกระทบกระเทือนต่อระบบรากแก้วของถั่ว

เหลือง โดยปลายรากแก้วจะเน่า และมีการสร้างรากแขนงเกิดขึ้นจำนวนมาก ซึ่งระบบรากแก้วที่ถูกทำลายส่งผลให้เกิดการขาดธาตุไนโตรเจนในระยะแรก ๆ ของการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งอาการดังกล่าวได้แสดงออกทางใบในลักษณะของอาการซีดของใบ และการลดปริมาณของคลอโรฟิลล์ของใบ ซึ่งถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ ต้องเผชิญกับภาวะเครียดและหลังจากนั้นก็สามารถปรับตัวให้เข้ากับภาวะเครียดได้ โดยมีจุดของการปรับตัวหรือ pint of acclimatization ในระยะ V_6 ภายหลังจากจุดของการปรับตัวดังกล่าว ความเขียวของใบถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ก็ไม่แตกต่างไปจากถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI แต่อย่างใด



รูปที่ 2 ค่าเฉลี่ยความเขียวของใบ (SPAD unit) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ (SSC) เปรียบเทียบกับสภาพปรกติ (CI) (สัญลักษณ์ * แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$)

2.2 อัตราการสังเคราะห์แสง (photosynthetic rate; A)

จากรูปที่ 3 ของการทดลอง จะเห็นว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC ในช่วงแรกของการเจริญเติบโต มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าถั่วเหลือง

ที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI โดยที่ระยะการเจริญเติบโต V_1 จนถึงระยะ V_7 ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากนั้นที่ระยะ R_1 และ R_3 ซึ่งเป็นช่วงระยะที่ถั่วเหลืองมีการสร้างดอกและฝัก จะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI มีอัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มสูงขึ้นจนมีแนวโน้มใกล้เคียงกับถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากถั่วเหลืองต้องเพิ่มกระบวนการสร้างอาหารให้มากขึ้นและมีการขนย้ายอาหารมายังฝักและเมล็ด ซึ่งจากการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงนี้ จะเห็นว่าถั่วเหลืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC จะมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ซึ่งเป็นช่วงที่ถั่วเหลืองได้รับสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำ และถั่วเหลืองต้องมีการปรับตัวให้ทนต่อสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำ ถั่วเหลืองจึงต้องเพิ่มกระบวนการเมตาบอลิซึมให้เพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสง เพื่อสร้างอาหารมาใช้ในการเจริญเติบโตและพัฒนา รวมทั้งนำมาเสริมสร้างและซ่อมแซมเซลล์ต่าง ๆ ที่เสียหายไปในช่วงที่พืชได้รับสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำที่ช่องว่างภายในดินเต็มไปด้วยน้ำ ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ไม่ค่อยดี จึงตอบสนองด้วยการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงให้มากขึ้น (รูปที่ 3)

เมื่อพิจารณาจากอัตราการสังเคราะห์แสง จะเห็นว่า ถั่วเหลืองที่ได้รับสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำ จะมีอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติ ตั้งแต่ระยะ V_1 จนถึงระยะ V_7 คือระยะที่ถั่วเหลืองเกิดความชืดของใบจนถึงระยะของจุดปรับตัวนั่นเอง อัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงนี้ เห็นได้ชัดว่า ในสภาพของความเครียด เช่น การที่ระดับรากของถั่วเหลืองถูกน้ำท่วมขังนั้น พืชพยายามที่จะเร่งกระบวนการทางสรีรวิทยา เพื่อมิให้การเจริญเติบโต

โดยรวมถูกระทบ และเมื่อถึงจุดของการปรับตัวแล้ว อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำก็มีค่าใกล้เคียงกับหรือมีค่ามากกว่าถั่วเหลืองในสภาพ CI เล็กน้อยแต่ไม่ได้มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งค่าของอัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ที่มีค่ามากกว่าถั่วเหลืองในสภาพ CI ในช่วงระยะเวลาดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงลักษณะของ acclimatization โดยชัดเจนว่า ความเครียดอันเกิดจากสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำ ส่งผลให้ถั่วเหลืองชดเชยความสูญเสียอันเนื่องมาจากความเครียดดังกล่าว โดยการสะสมน้ำหนักรักษาในเมล็ดให้เพิ่มขึ้น การเจริญเติบโตของเมล็ด ตลอดจนความต้องการอาหาร (assimilate) เพื่อใช้ในการสะสมน้ำหนักรักษาของเมล็ดนั้น เป็นสาเหตุสำคัญของการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงที่ใบ ซึ่งทำให้เห็นได้ถึงความแตกต่างระหว่างการปลูกในสภาพ SSC และ CI

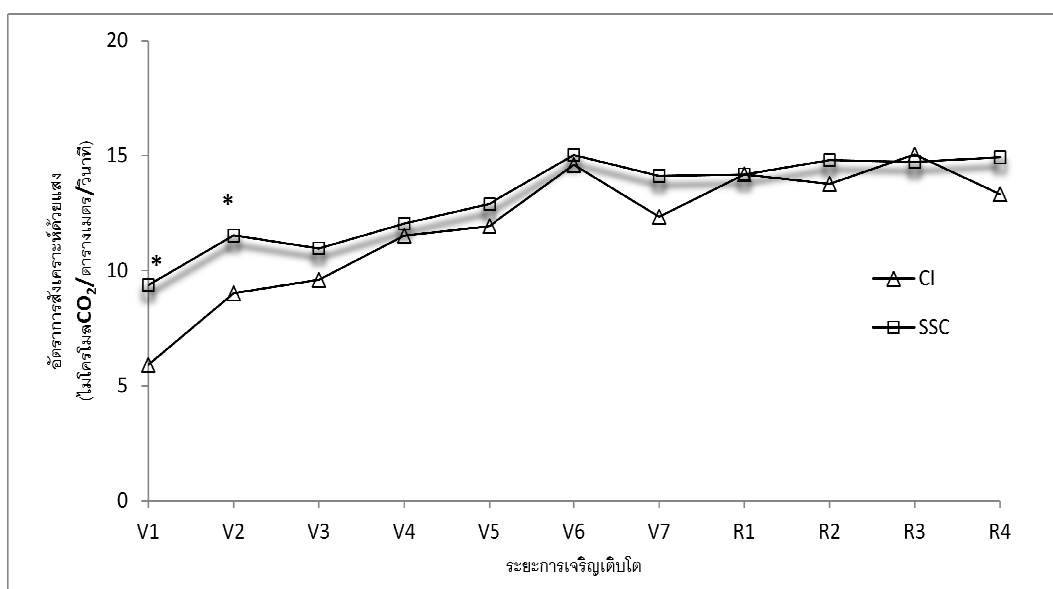
2.3 อัตราการคายน้ำ (transpiration rate; E)

การศึกษาเกี่ยวกับอัตราการคายน้ำ ได้ใช้เครื่องวัดอัตราการสังเคราะห์แสงรุ่น LCA 4 เช่นเดียวกับการวัดอัตราการสังเคราะห์แสง โดยจากรูปที่ 4 ของการทดลอง จะเห็นว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีอัตราการคายน้ำที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI โดยพบว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีอัตราการคายน้ำที่สูงกว่าและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ซึ่งจะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีอัตราการคายน้ำที่สูงกว่าตั้งแต่ที่ระยะเวลา 9 วันหลังปลูกหรือที่ระยะ V_1 หลังจากนั้น อัตราการคายน้ำของถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC จะสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI โดยตลอด และเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนตั้งแต่ที่ระยะ V_3 จนถึงระยะ R_6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ถั่ว

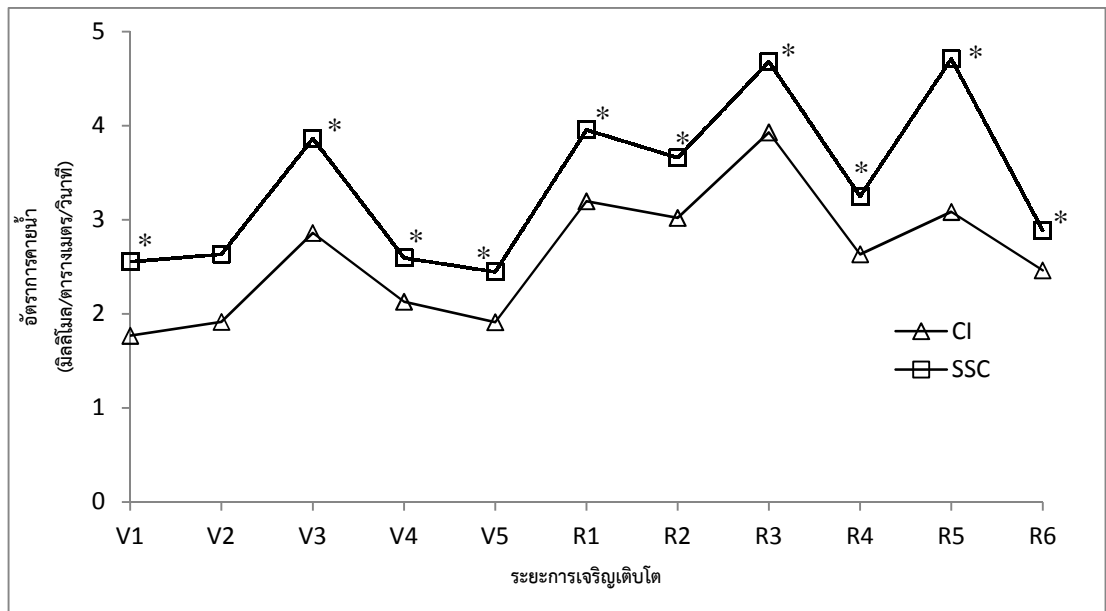
เหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่าความเข้มข้นของโมเลกุลของน้ำในใบมากกว่าอากาศภายนอก และทำให้โมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในใบบริเวณปากใบ มีการเคลื่อนที่ออกมาสู่บรรยากาศภายนอก ทำให้ต้นกล้วยเหลืองมีอัตราการคายน้ำที่มากขึ้นกว่ากล้วยเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI

สำหรับอัตราการคายน้ำ จะเห็นได้ว่า อัตราการคายน้ำของกล้วยเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC สูงกว่าในสภาพ CI เนื่องจากความต้านทานของปากใบของกล้วยเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ต่ำกว่าที่ปลูกในสภาพ CI ผลการทดลองดังกล่าวสามารถยืนยันได้ว่า การปลูกกล้วยเหลืองในสภาพดินอัมตั่วด้วยน้ำนั้น ค่าศักย์ของน้ำในใบ

กล้วยเหลืองจะมีค่าสูงกว่ากล้วยเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI ในเวลากลางวัน ปริมาณของน้ำที่มีมากขึ้นนี้ ส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพของการไหลเวียนของน้ำในพืชจากดินเข้าสู่พืช และออกไปยังบรรยากาศ ก่อให้เกิดการใช้น้ำที่มีประโยชน์ (higher water use efficiency) และก่อให้เกิดการดูดซับของธาตุอาหารและกระบวนการเมตาบอลิซึม ซึ่งส่งผลให้กล้วยเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอัมตั่วด้วยน้ำ มีการเจริญเติบโตที่ดี ซึ่งการคายน้ำทำให้มีการเปิดปากใบ ซึ่งทำให้เกิดกระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 และไอน้ำ ส่งผลให้พืชมีปริมาณ CO_2 เพื่อนำมาแลกเปลี่ยนแปลงเป็นผลิตภัณฑ์ของการสังเคราะห์แสง (photosynthate) ได้ในที่สุด



รูปที่ 3 อัตราการสังเคราะห์แสง (ไมโครโมล/ตารางเมตร/วินาที) ของกล้วยพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในสภาพดินอัมตั่วด้วยน้ำ (SSC) เปรียบเทียบกับสภาพปกติ (CI) (สัญลักษณ์ * แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$)



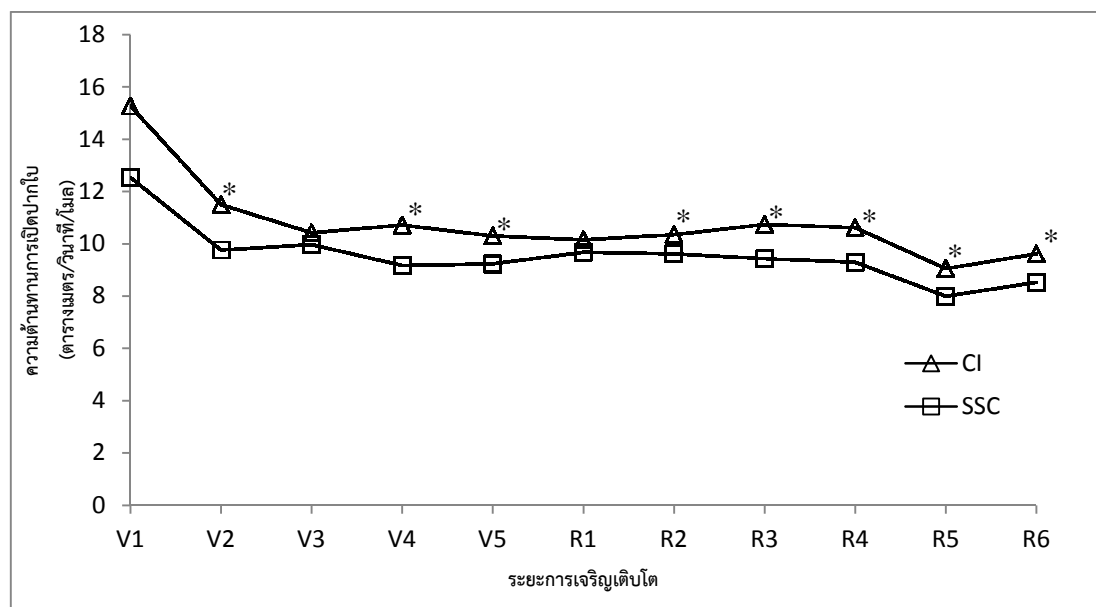
รูปที่ 4 อัตราการคายน้ำ (มิลลิโมล/ตารางเมตร/วินาที) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ (SSC) เปรียบเทียบกับสภาพปกติ (CI) (สัญลักษณ์ * แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$)

2.4 ความต้านทานการเปิดปากใบ (stomatal resistance; R_s)

ในการศึกษาความต้านทานการเปิดปากใบ ได้ใช้เครื่องมือวัดอัตราการสังเคราะห์แสงรุ่น LCA4 วัดค่าความต้านทานการปิดเปิดปากใบ ซึ่งมีหน่วยเป็นตารางเมตร/วินาที/โมล ($\text{m}^2\text{s}^{-1}\text{mol}$) จากการทดลอง จะเห็นว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่าความต้านทานการเปิดปากใบต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ในทุกระยะการเจริญเติบโตและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระยะการเจริญเติบโต V_2 V_4 R_2 R_3 R_4 R_5 และ R_6

เมื่อพิจารณาถึงความต้านทานการเปิดปากใบ จะเห็นว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC จะมีค่าของ stomatal resistance ต่ำกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ใน

สภาพ CI และมีศักยภาพในการเปิดปากใบได้มากกว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI เมื่อเป็นดังนี้จึงเห็นได้ว่าการที่ดินอึดตัวด้วยน้ำนั้น เป็นสรุปที่เกื้อกูลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการสังเคราะห์แสงจากกลไกของการคายน้ำ (transpiration mechanism) ซึ่งเริ่มต้นจากถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำไม่พบกับความเครียดจากการขาดน้ำ และเมื่อเจริญเติบโตในสภาวะที่น้ำสมบูรณ์ จึงมีอัตราการคายน้ำที่สูง มีประสิทธิภาพการใช้น้ำในระดับสูง การไหลเวียนของน้ำจากสภาวะดิน-พืช-และบรรยากาศ (soil-plant-atmosphere stratum) เป็นไปได้โดยสะดวก ก่อให้เกิดการใช้น้ำที่มีประสิทธิภาพ การแลกเปลี่ยนก๊าซ CO_2 และไอน้ำ และการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงในที่สุด



รูปที่ 5 ค่าความต้านทานการปิดเปิดปากใบ (ตารางเมตร/วินาที/โมล) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในสภาพดินอิมด้วยน้ำ (SSC) เปรียบเทียบกับสภาพปกติ (CI) (สัญลักษณ์ * แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$)

2.5 ค่าศักย์ของน้ำในใบ (leaf water potential, LWP)

การศึกษาเกี่ยวกับค่าศักย์ของน้ำในใบ ได้ทำการวัดใน 2 ช่วงเวลา คือ ในช่วงเวลา 03.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาก่อนพระอาทิตย์ขึ้น (predawn) และในช่วงเวลา 15.00 น. ซึ่งเป็นเวลาบ่าย (post-midday) และวัดเปรียบเทียบกันทั้งในถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC และในสภาพ CI

จากการศึกษาในครั้งนี้ จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่า ในช่วง predawn ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่าศักย์ของน้ำในใบสูงกว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI แต่ไม่ค่อยเห็นความแตกต่างกันมากนัก ส่วนในช่วงเวลา post-midday นั้น จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่าศักย์ของน้ำในใบสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI และมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยจะเห็นว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC มีค่าศักย์ของน้ำภายในใบที่สูงกว่าถั่วเหลือง

ที่ปลูกในสภาพ CI อย่างมากที่ระยะการเจริญเติบโต V_2 จนถึงระยะ R_5 ซึ่งจากการตอบสนองในลักษณะนี้สามารถกล่าวได้ว่า การที่ถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตอยู่ในสภาพ SSC หรือในสภาวะที่ดินอิมด้วยน้ำนั้น ถั่วเหลืองสามารถดูดและลำเลียงน้ำจากดินเข้าสู่ต้นพืชได้มาก จึงเป็นผลทำให้ค่า water potential ภายในใบสูงไปด้วย ซึ่งตรงข้ามกับถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI หรือในสภาพปกติ ถึงแม้จะมีการให้น้ำตามปกติและสม่ำเสมอ แต่ในช่วง post-midday อากาศร้อนและความเข้มแสงสูง ส่งผลให้น้ำในดินระเหยออกไป จึงทำให้น้ำในดินมีน้อย และถั่วเหลืองเกิดการขาดน้ำ จึงทำให้ถั่วเหลืองต้องมีการตอบสนองต่อการขาดน้ำ โดยมีการปิดปากใบมากขึ้น เพื่อสงวนน้ำในต้นพืชเอาไว้ จึงทำให้มีค่าความต้านทานการเปิดปากใบ (R_s) สูงกว่าต้นถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC แต่ปรากฏการณ์ของการขาดน้ำในต้นถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI นั้นเกิดขึ้นเพียงช่วงระยะเวลาสั้น ๆ หลังจากที่ได้รับน้ำ

ตามปกติ ถ้าเหืองในสภาพ CI ก็จะมีค่า R_s ที่ใกล้เคียงกับต้นเหืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC

จากการวัดค่าศักย์ของน้ำในใบพืช จากสารละลายภายในท่อ xylem (xylem sap) ในครั้งนี้ ทำขึ้นเพื่อใช้ประเมินระดับค่าศักย์ของน้ำในเหืองที่ปลูกในสภาพ SSC และ CI การวัดค่า leaf water potential นั้นวัดในช่วง 2 เวลาในหนึ่งวัน คือ ช่วง 03:00 น. (predawn) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่รากพืชดูดซึมน้ำในดินอย่างเต็มที่และเป็นระยะเวลาที่พืชมีปริมาณน้ำในต้นมากที่สุด อีกช่วงหนึ่งของวันที่ทำการวัดได้แก่ ช่วงเวลา 15:00 น. (post-midday) ซึ่งเป็นช่วงที่พืชขาดน้ำมากที่สุด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ในช่วง predawn นั้น ไม่มีความแตกต่างระหว่างเหืองที่ปลูกในสภาพ SSC และ CI แม้ว่าเหืองที่เจริญเติบโตอยู่ในกระถางในสภาพ CI จะไม่ได้อยู่ในสภาพดินอ้อมด้วยน้ำคือ ไม่มีการแช่กระถางในอ่างซีเมนต์ ซึ่งตรงข้ามกับสภาพ SSC ที่จำลองสภาพดินอ้อมด้วยน้ำ โดยการแช่กระถางลงในอ่างซีเมนต์ แต่การรดน้ำอย่างสม่ำเสมอในแต่ละวัน รวมทั้งสภาพอากาศในช่วงกลางวัน ก็มีผลทำให้ค่าศักย์ของน้ำในช่วง predawn ของเหืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ไม่ได้มีความแตกต่างจากเหืองที่ปลูกในสภาพ SSC แต่อย่างใด ส่วนในช่วง post-midday ค่าศักย์ของน้ำของเหืองที่ปลูกในสภาพ CI จะมีค่าน้อยกว่า (มีค่าติดลบมากกว่า) เหืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC เนื่องมาจากการที่น้ำถูกใช้ไปในกระบวนการเจริญเติบโตต่าง ๆ และในช่วงที่มีการใช้น้ำมากในตอนกลางวัน รากของเหืองไม่ได้มีโอกาสที่จะดูดซึมน้ำจากระดับน้ำในดินที่ชุ่มชื้น เหมือนดังที่เกิดขึ้นในเหืองที่ปลูกในสภาพ SSC ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า ในช่วงเวลากลางวัน ที่น้ำในพืชถูกใช้ไปในกระบวนการทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ความเครียดอันเกิดจากการขาดน้ำ

(water deficit) ได้เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา สำหรับเหืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI เมื่อเปรียบเทียบกับเหืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC

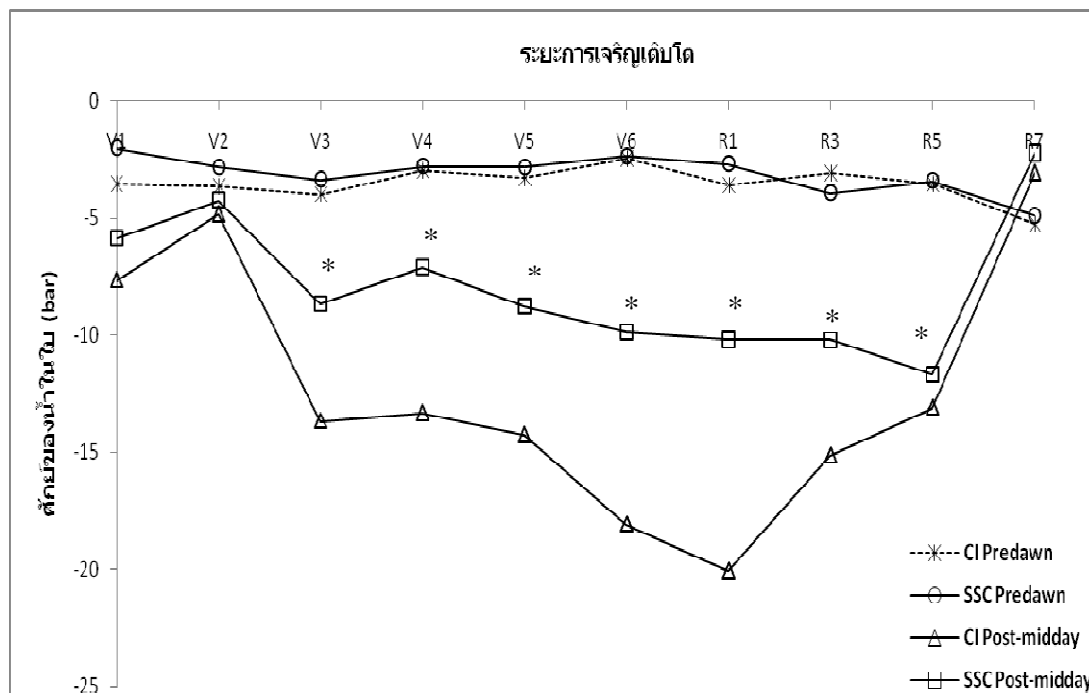
2.6 การตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixation)

จากการศึกษาถึงอิทธิพลของดินอ้อมด้วยน้ำที่มีต่อการตรึงไนโตรเจน โดยใช้วิธีการสกัดเนื้อเยื่อจากลำต้นของเหืองและวิเคราะห์ออกมาเป็นค่าดัชนียูรีโดอ์สัมพัทธ์ (relative ureides index; RUI) โดยมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ซึ่งค่า RUI นี้เป็นค่าที่บอกให้เห็นถึงภาพรวมของปริมาณไนโตรเจนในพืช (เบญจวรรณ และคณะ, 2532; Peoples et al., 1989) จากรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าเหืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC ที่ระยะการเจริญเติบโต V_4 จนถึงระยะ R_6 มีค่า RUI สูงกว่าเหืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI และจะเห็นได้ชัดเจนว่าที่ระยะ V_4 V_6 R_2 R_5 และที่ระยะ R_6 เหืองที่เจริญอยู่ในสภาพ SSC มีค่า RUI มากกว่าเหืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งจากการตอบสนองในลักษณะเช่นนี้ สามารถกล่าวได้ว่า ที่ระยะการเจริญเติบโตในช่วงลำต้น (vegetative growth) ซึ่งเป็นระยะที่เหืองอยู่ในระยะของการเจริญเติบโตทางลำต้น เหืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ SSC จะมีศักยภาพในการตรึงไนโตรเจนที่มากกว่าเหืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI เพื่อนำไนโตรเจนที่ตรึงได้ไปใช้ในการเจริญเติบโตของลำต้นและใบ และเมื่อเหืองเข้าสู่ระยะการเจริญพันธุ์ (reproductive growth) จะเห็นว่าค่า RUI ของเหืองจะเพิ่มขึ้นอีกในช่วงระยะ R_2 และ R_6 ซึ่งในระยะการเจริญ R_1 - R_2 นั้นเป็นระยะที่เหืองมีการสร้างดอก ทำให้ต้นเหืองลดการตรึงไนโตรเจนลง เนื่องจากมีปริมาณแอมโมเนียในดินค่อนข้างมาก จากนั้นจะเริ่มการตรึงไนโตรเจนอีกครั้งที่ระยะ R_3 - R_4 ซึ่งเป็นระยะของการสร้างฝัก จึง

จำเป็นต้องเพิ่มการตรึงไนโตรเจนให้มากขึ้น เพื่อนำมาสร้างฝัก หลังจากนั้นจะเข้าสู่ระยะ R_5 - R_6 ซึ่งเป็นระยะของการสะสมอาหารในเมล็ด ถั่วเหลืองจำเป็นต้องตรึงไนโตรเจนในปริมาณที่มากขึ้นกว่าเดิม เพื่อขนย้ายอาหารและนำไนโตรเจนที่ตรึงได้ไปกักเก็บไว้ในเมล็ด จึงทำให้การตรึงไนโตรเจนที่ระยะ R_6 เพิ่มขึ้น

สำหรับการตรึงไนโตรเจน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพดินอึดด้วยน้ำ สามารถตรึงไนโตรเจนในอัตราที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI ตั้งแต่ระยะการเจริญเติบโตใน ระยะ V_3 หรือ 19 วันหลังปลูก จนกระทั่งตลอด

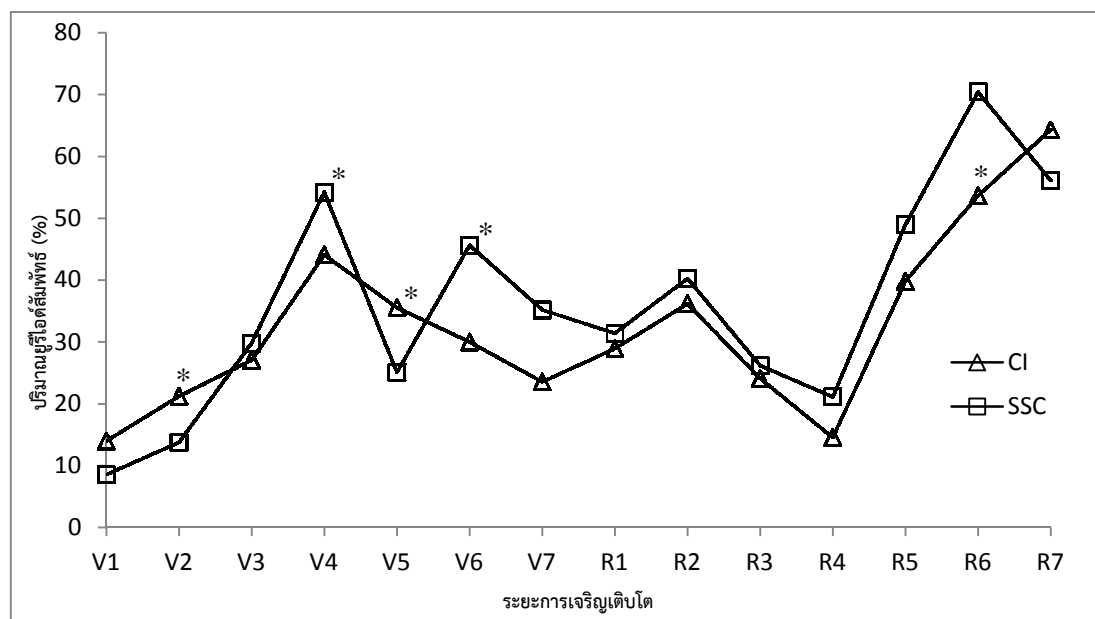
ระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืช โดยวัดได้จากปริมาณยูรีโอไซด์สัมพัทธ์ การตอบสนองต่อสภาพดินอึดด้วยน้ำของถั่วเหลือง โดยเพิ่มอัตราการตรึงไนโตรเจนที่พบได้ในการทดลองนี้ สอดคล้องกับการศึกษาถึงการตอบสนองของถั่วเหลืองในสภาพการปลูกของดินอึดด้วยน้ำแทบทุกการทดลองที่ผ่านมาในอดีต (Pookpakdi et al., 1989; Pookpakdi 1992 ; Troedson et al., 1989; Guang, 1993; อภิพรหม และคณะ, 2540)



รูปที่ 6 ค่าศักย์ของน้ำในใบ (leaf water potential, bar) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในสภาพดินอึดด้วยน้ำ (SSC) เปรียบเทียบกับสภาพปรกติ (CI) (สัญลักษณ์ * แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$)

การทดลองเกี่ยวกับถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำในการทดลองนี้มีข้อจำกัด 2 ประการ ข้อแรกคือการทดลองดังกล่าวจะต้องดำเนินการในฤดูฝน แทนที่จะเป็นฤดูแล้ง สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำที่ได้ดำเนินการในอดีต เป็นการศึกษาในสภาพฤดูแล้งทั้งสิ้น เนื่องจากในฤดูแล้งเป็นช่วงระยะเวลาที่สามารถควบคุมปริมาณน้ำในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้การทดลองในประเทศไทยที่ทำการขึ้นก่อนหน้านี้นี้ที่จังหวัดชัยนาท ในปี พ.ศ. 2539 (อภิพรหม และคณะ, 2539) ซึ่งเป็นการทดลองการตอบสนองของถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำตลอดปี ก็ต้องหลีกเลี่ยงการปลูกถั่วเหลืองในช่วงกลางฤดูฝน และดำเนินการก่อนฤดูทำนา คือ ในช่วงเริ่มต้นของฤดูฝนและในช่วงฤดูแล้งเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากความยุ่งยากในการควบคุมระดับน้ำในแปลงในช่วงฝนตก การศึกษาด้านการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดิน อิม ตัว ด้วย น้ำ ใน ครั้ง แรก ๆ ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในงานวิจัยของโกวิท (2533) ก็ประสบปัญหาการควบคุมระดับน้ำในการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ จนไม่พบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองในการทดลองในฤดูฝนที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางแสน หากแต่พบความแตกต่างระหว่างการปลูกในสภาพ SSC และ CI อย่างชัดเจนในการศึกษาในฤดูแล้ง Pookpakdi (1992) ได้อธิบายถึงเทคนิคต่าง ๆ ในการศึกษาเกี่ยวกับการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ ซึ่งรวมถึงการทดสอบในฤดูฝนและฤดูแล้ง รวมทั้งการปลูก

ถั่วเหลืองเดียวในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ และการปลูกถั่วเหลืองสลับกับข้าว โดยปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำเช่นกัน ข้อจำกัดข้อที่สองได้แก่ ปริมาณน้ำฝนในช่วงที่ทำการทดลองในปี พ.ศ. 2553 จัดว่าชุกมาก ทั้งช่วงของการตกของฝน และมีปริมาณน้ำฝนมากกว่าในฤดูอื่น ๆ ปริมาณฝนที่ตกอย่างหนัก ก็เป็นอุปสรรคต่อการดำเนินการวิจัย บางครั้งจำเป็นจะต้องมีการระบายน้ำออก เพื่อให้มีการคงระดับของน้ำในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ มากกว่าที่จะเป็นระดับน้ำท่วมขัง (water logging) ซึ่งต้องทำขึ้นทั้งในสภาพ SSC และ CI บ่อยครั้งที่ปริมาณน้ำฝนที่ตกชุก ก็มีผลทำให้ระดับความชื้นของกระถางในสิ่งทดลอง CI เกือบจะไม่แตกต่างไปจาก SSC ในบางช่วงที่ฝนตกไม่หยุด จึงอาจมีผลทำให้การเจริญเติบโตและการตอบสนองทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองในสภาพ CI มีค่าต่ำกว่าสภาพการปลูกโดยทั่วไปในช่วงของการเจริญเติบโต ซึ่งการศึกษานี้เป็นการศึกษาครั้งแรกที่มุ่งเน้นที่การตอบสนองด้านสรีรวิทยาของถั่วเหลือง ซึ่งยังไม่เคยมีการดำเนินการมาเช่นนี้มาก่อนและการทดลองในครั้งนี้ได้ใช้เครื่องมือในการวัดและการวิเคราะห์ด้านสรีรวิทยาหลายด้าน ตลอดจนเทคนิคต่าง ๆ ในการศึกษาครั้งนี้ ดังนั้นสมควรที่จะได้มีการศึกษาในลักษณะเช่นนี้ซ้ำอีกต่อไปในอนาคต โดยใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ชนิดอื่นๆ โดยอาจจะเปลี่ยนวิธีวิเคราะห์และเทคนิคต่าง ๆ ตลอดจนการเปลี่ยนพันธุ์ถั่วเหลือง ให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 7 ปริมาณยูรีโอไซด์สัมพัทธ์ (relative ureides index, %) ของถั่วเหลืองพันธุ์จักรพันธ์ 1 ที่ปลูกในสภาพดิน อิ่มตัวด้วยน้ำ (SSC) เปรียบเทียบกับสภาพปกติ (CI) (สัญลักษณ์ * แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$)

สรุปผลการทดลอง

ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีแนวโน้มของการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ใกล้เคียงกับถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติ และเมื่อถั่วเหลืองเข้าสู่ระยะ reproductive growth ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ได้แสดงถึงการปรับตัวในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จากสภาวะที่ใบมีอาการขีดเหลืองกลับมาเป็นใบเขียวสด โดยพิจารณาจากลักษณะทางสรีรวิทยา ในด้านความเขียวของใบ ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการปรับตัว (acclimatization) ได้อีกประการหนึ่ง พบว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อเผชิญกับสภาวะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ใบจะมีอาการขีดเหลือง และหลังจากผ่านการปรับตัวจากสภาวะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ใบกลับมาเขียวอีกครั้ง โดยพิจารณาจากค่าความเขียวของใบ ซึ่งถั่วเหลืองที่มีอาการใบขีดเหลือง สามารถปรับตัวเข้าสู่สภาพปกติได้

โดยใบมีสีเขียวสด กลับเป็นปกติเมื่อถั่วเหลืองอยู่ในระยะการเจริญเติบโต V_6 และในช่วงที่ได้รับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ อัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีค่าสูงกว่าถั่วเหลืองในสภาพปกติ และถั่วเหลืองต้องมีการปรับตัวให้ทนต่อสภาวะเครียด จึงต้องเพิ่มกระบวนการเมตาบอลิซึมให้สูงขึ้นหลังจากที่ได้รับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จะเห็นว่าอัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีค่ามากกว่าอัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติ โดยถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำมีค่าความต้านทานการเปิดปากใบที่น้อยกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกอยู่ในสภาพ CI ส่วนในการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาเกี่ยวกับการคายน้ำ จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ มีอัตราการคายน้ำที่มากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติ และนอกจากนี้ยังมีค่าศักย์

ของน้ำในใบ (leaf water potential) ที่มากกว่าใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติอีกด้วย สำหรับการตรึงไนโตรเจน ของถั่วเหลือง ซึ่งแสดงให้เห็นในรูปของปริมาณยูรีไอด์สัมพัทธ์ (relative ureides index) จะเห็นได้ว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำสามารถตรึงไนโตรเจนในอัตราที่สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ ตั้งแต่ระยะ V_3 จนกระทั่งตลอดเวลาระยะเวลาของการเจริญเติบโต

เอกสารอ้างอิง

- โกวิท สีรวีโรจน์. (2533). การตอบสนองของถั่วเหลืองพันธุ์ต่าง ๆ ต่อสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม, อำพรพร พรมศิริ และเฉลิมพล แหมเพชร. (2532). วิธีการวัดการตรึงไนโตรเจนในถั่วเหลืองโดยวิธีวิเคราะห์น้ำหล่อเลี้ยงต้น ใน คู่มือการประชุมปฏิบัติการ หน้า 1-28. ณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อภิพรหม พุกภักดี. (2545). ถั่วเหลือง: พืชของไทย. ภา ค วิ ษ า พื ช ไ ร ่ น ำ ค ณ ะ เก ช ต ร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. หน้า 206-207.
- อภิพรหม พุกภักดี, ปรัชญา รอดจากเขี้ยว และผดุงสิทธิ์ อินทรชัยยะ. (2533). การทดสอบเบื้องต้นในไร่เกษตรกรถึงความเป็นไปได้ของการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ โดยปลูกเดี่ยวและปลูกร่วมกับข้าว ใน รายงานผลการวิจัยโครงการ ป-น 3.1.22. “โครงการปรับปรุงผลผลิตและรายได้ในการปลูกถั่วเหลืองและถั่วเขียว โดยทางเขตรกรรม สรีรวิทยา และระบบการทำฟาร์ม” ประจำปี พ.ศ. 2533. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อภิพรหม พุกภักดี, เจริญ ท้วมขำ, วิจิตร เบญจศีล และชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. (2539). อิทธิพลของพันธุ์และปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ ใน รายงานการสัมมนาการวิจัยและพัฒนาพืชโปรตีนสูงครั้งที่ 4 หน้า 94-105. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จัดทำขึ้นที่สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5 จังหวัดสุพรรณบุรี 19-21 มิถุนายน 2539.
- อภิพรหม พุกภักดี, เจริญ ท้วมขำ, วิจิตร เบญจศีล และชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. (2540). อิทธิพลของพันธุ์และปุ๋ยไนโตรเจนต่อ การเจริญเติบโตและผลผลิตถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ. วิทยาศาสตร์เกษตรศาสตร์. 31: 271-281.
- อำนาจ ชินเศรษฐ์, วันชัย ถนอมทรัพย์ และเฉลิม ไหลรุ่งเรือง. (2530). การศึกษาการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ ในฤดูแล้ง, น.130-140. ใน รายงานผลงานทดลองฤดูแล้ง พ.ศ.2530. ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท, ชัยนาท.
- Guang, W. (1993). Evaluation of Soybean in Saturated Soil Culture Related to Its Adaptation and Nitrogen Fixation. M.S.Thesis, Chiang Mai University.
- Hunter, M.N., De Jabrun, P.L.M. and Byth, D.E. (1980). Response of nine soybean lines to soil moisture conditions close to saturation. Aust. J. Exp. Agri. Anim. Husb. 20: 339-345.
- Nathanson, K., Lawn, R.J., Jabrun, P.L.M. and Byth, D.E. (1984). Growth, nodulation and nitrogen accumulation by soybean in saturated soil culture. Field Crop Res. 8: 73-92.
- Peoples, M.B., Faizath, A.W., Rerkasem, B. and Herridge, D.F. (1989). Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated Legumes in the field. Australian center for International Agricultural Research (ACIAR). Canberra, Australia. 26 p.
- Pookpakdi, A., Pongkao, S., Chinchest, A. and Thiraviojana, K. (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.
- Troedson, R.J., Lawn, R.J. and Byth, D.E. (1981). Growth and nodulation of soybean in high water table culture, p. 464. *In* Current perspective in nitrogen fixation. Aust. Acad. Sci., Canberra.
- Troedson, A.L., Garside, R.J., Lawn, R.J., Byth, D.E. and Wilson, G.L. (1983). Saturated soil culture-an innovative water management option for soybean in the tropics and subtropics, pp. 171-180. *In* Proc. 1st Intern. Symposium on soybean in tropical and subtropical cropping system, Tsukuba, Japan.
- Troedson, R.J., Lawn, R.J., Byth, D.E. and Wilson, G.L. (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., Lawn, R.J., Byth, D.E. and Wilson, G.L. (1989). Response of field grown soybean to saturated soil culture. I. Pattern of biomass and nitrogen accumulation. *Field Crop Res.* 21: 171-178.

