



วิทยานิพนธ์

การเจริญเติบโต การให้ผลผลิตและลักษณะทางสรีระของถั่วเหลืองที่ปลูกใน
สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำโดยได้รับปัจจัยต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับ การปลูก
ถั่วเหลืองในสภาพปกติ

**GROWTH, YIELD AND PHYSIOLOGICAL TRAITS OF SOYBEAN
GROWN UNDER SATURATED SOIL CULTURE RECEIVING
DIFFERENT MANAGEMENTAL FACTORS AS COMPARED WITH
THOSE GROWN UNDER CONVENTIONAL IRRIGATION**

นางสาวเกศสุดา มนตรีศรี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. ๒๕๔๕



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปริญญา

พืชไร่นา

สาขา

พืชไร่นา

ภาควิชา

เรื่อง การเจริญเติบโต การให้ผลผลิตและลักษณะทางสรีระของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดิน
อิ่มตัวด้วยน้ำโดยได้รับปัจจัยต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับ การปลูกถั่วเหลืองในสภาพปกติ

Growth, Yield and Physiological Traits of Soybean Grown under Saturated Soil Culture
Receiving Different Managemental Factors as Compared with those Grown under
Conventional Irrigation

نامผู้วิจัย นางสาวเกศสุดา มนต์ศรีศรี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์อภิพรหม พุกภักดี, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาวิตร มีชัย, Ph.D.)

กรรมการ

(อาจารย์ชวลิต สงประยูร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์รังสฤษฎ์ กาวิต๊ะ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจฉกหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเจริญเติบโต การให้ผลผลิตและลักษณะทางสรีระของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ
โดยได้รับปัจจัยต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับ การปลูกถั่วเหลืองในสภาพปกติ

Growth, Yield and Physiological Traits of Soybean Grown under Saturated Soil Culture
Receiving Different Managemental Factors as Compared with those Grown under
Conventional Irrigation

โดย

นางสาวเกศสุดา มนตรีศรี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-2877-3

เกศสุดา มนตรีศรี 2549: การเจริญเติบโต การให้ผลผลิตและลักษณะทางสรีระของถั่ว
เหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับปัจจัยต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับปลูก
ถั่วเหลืองในสภาพปกติ ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาพืชไร่นา
ภาควิชาพืชไร่นา ปรธานกรรมการที่ปรึกษา: ศาสตราจารย์อภิพรณ พุกภักดี, Ph.D.

93 หน้า

ISBN 974-16-2877-3

การศึกษาลักษณะการเจริญเติบโต การให้ผลผลิตและลักษณะทางสรีรวิทยาของถั่วเหลือง
พันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกในสภาพปกติเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วย
น้ำได้ดำเนินการโดยมีสิ่งทดลอง ได้แก่ การปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยไม่ได้รับปัจจัยเสริม
การห่มเมล็ด การให้ปุ๋ยยูเรียทางดินและการให้ปุ๋ยยูเรียทางใบ วางแผนการทดลองแบบ Randomize
Complete Block (RCB) ทดลองที่สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อ.เมือง จ.ลำปาง ระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม 2547 ผลการ
ทดลองพบว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงกว่า
ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติ โดยมีการเจริญเติบโตทางลำต้นที่ดีกว่า ซึ่งเห็นได้จากปริมาณของ
น้ำหนักแห้งของใบและลำต้น ปริมาณพื้นที่ใบ ตลอดจนค่าครรชนพื้นที่ใบ นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า
ความเขียวของใบที่วัดโดยใช้เครื่องมือ SPAD chlorophyll meter สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการปรับตัว
ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำได้ โดยใบที่มีอาการเหลืองซีดสามารถปรับตัวเข้าสู่
สภาพปกติได้โดยใบมีสีเขียวสดกลับเป็นปกติเมื่อถั่วเหลืองอยู่ในระยะ V_4 หรือ 29 วันหลังปลูก
ส่วนการชักนำปิดเปิดของปากใบ พบว่าถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำมีค่า conductivity สูง
กว่าถั่วเหลืองในสภาพปกติในระยะ V_3 และ V_4 ส่งผลให้กระบวนการทางสรีระ เช่น การ
สังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองเพิ่มมากขึ้น เมื่อวัดระดับการตรึงไนโตรเจน พบว่า ถึงแม้ว่าถั่วเหลืองที่
ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำกับที่ปลูกในสภาพปกติจะมีการตรึงไนโตรเจนที่ไม่แตกต่างกัน แต่
สำหรับถั่วเหลืองที่ปลูกในการศึกษาครั้งนี้ได้รับไนโตรเจนมาจากกระบวนการตรึงไนโตรเจน เห็น
ได้จากปริมาณยูรีโอไซด์ และค่า relative ureide index ซึ่งค่อนข้างสม่ำเสมอตั้งแต่ระยะ V_2 - V_4
ในทางตรงข้ามปริมาณไนเตรท มีค่าสูงในระยะแรกของการเจริญเติบโตระยะ V_2 จากนั้นจึงลดลง
ตามลำดับจนถึงระยะ R_4 ส่วนการเจริญเติบโตอื่น ๆ ไม่พบความแตกต่างระหว่างการปลูกในสภาพ
ปกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ

Kedsuda Montrisri 2006: Growth, Yield and Physiological Traits of Soybean Grown under Saturated Soil Culture Receiving Different Managemental Factors as Compared with those Grown under Conventional Irrigation. Master of Science (Agriculture), Major Field: Agronomy, Department of Agronomy. Thesis Advisor: Professor Aphi Phan Pookpakdi, Ph.D. 93 pages. ISBN 974-16-2877-3

Growth, yield and physiological traits of soybean grown in saturated soil culture (SSC) while receiving or not receiving additional factors was compared with soybean planted in the conventional irrigation condition (CI). In the SSC, treatments composed of soybean planted alone, seeds were pre-germinated prior to planting, and the application of nitrogen fertilizer through the soil and also through foliar application. Cultivars of soybean used was CM 60 and the trail was conducted at Lampang Agricultural Research and Training Centre, Rajamangala University of Technology at Lampang province between July – October 2004. Results of the experiment revealed that soybean grown in the SSC showed the trend of increasing yield over CI. Vegetative dry matter, leaf area per plant and leaf area index (LAI) in the SSC were greater than those of CI. When using SPAD chlorophyll meter to colorimetrically measured the greenery of leaves, it was found that at the beginning of SSC, the leave of soybean showed chlorotic symptom due to the lack of nitrogen. However, between the stage of $V_3 - V_4$, plants did acclimatized and gained the normal green leaf color. SSC plants showed higher stomatal conductivity than those of conventional planting which emphasized the higher CO_2 exchange in leaf result into the increase in photosynthetic rate. Subsequently, this study also showed that net assimilation rate of soybean grown under SSC was higher than those of CI. Although the results of this experiment did not showed the different in N_2 – fixation between the SSC and the CI, however, it was found that soybean grown in this study obtained their nitrogen pool from the process of N_2 -fixation as the ureide content and relative ureide index were uniformly maintained throughout the entire growth period while the nitrate content which was high during V_2 growth stage decreased drastically as growth of soybean was advanced due to the increase in the rate of N_2 -fixation.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ศ.ดร.อภิพรหม พุกภักดี ประธานกรรมการที่ปรึกษา ซึ่งให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน ตลอดจนให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.สาวิตร มีชัย กรรมการวิชาเอก ซึ่งให้ความช่วยเหลือ แนะนำและให้คำปรึกษาในด้านการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำวิทยานิพนธ์ที่สถาบันวิจัยและฝึกอบรม การเกษตรลำปางจนสำเร็จได้ด้วยดี นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณ ดร.ชวลิต สงประยูร กรรมการ วิชาการ และ รศ.ดร.อำไพวรรณ ภราคร์นุวัฒน์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่กรุณาให้คำแนะนำ ปรึกษา และตรวจแก้ไขเพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้โดยความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์ของคณาจารย์หลาย ท่าน โดยเฉพาะอาจารย์จารุณี มีชัย ที่ได้ให้ความกรุณาใช้ห้องปฏิบัติการ รวมถึงวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการสกัดคลอโรฟิลล์และการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน โดยวิธีสกัดเนื้อเยื่อ และ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาที่ได้ทำงาน วิจัย

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง ที่อนุญาตให้ใช้พื้นที่สำหรับการ ศึกษาภาคสนาม รวมถึงการให้ความช่วยเหลือทางการวิจัยในห้องปฏิบัติการของสถาบันฯ โดยเฉพาะคุณเดชา น่วมแหยม ที่ได้ช่วยในเรื่องของการใช้เครื่องมือ รวมถึงคุณศิริพรรณ บรรหาร และน้อง ๆ นักศึกษาภาควิชาพืชไร่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตลำปาง ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย

ในท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อชำนานูและคุณแม่พิสมัย มนตรีศรี ที่ได้สนับสนุนและเป็นกำลังใจ รวมทั้งญาติพี่น้อง รุ่นพี่ รุ่นน้องและเพื่อน ๆ ภาควิชาพืชไร่นาที่คอยให้ ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดมา จนสำเร็จการศึกษา

เกศสุดา มนตรีศรี

กันยายน 2549

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
1. การตอบสนองของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ	4
2. อิทธิพลของปุ๋ยทางใบต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง	12
3. อิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง	15
4. การแซมเมล็ดถั่วเหลืองในน้ำก่อนปลูก	16
อุปกรณ์และวิธีการ	19
ผลและวิจารณ์	25
ผล	25
วิจารณ์	61
สรุป	66
เอกสารอ้างอิง	68
ภาคผนวก	73

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ และสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรม การเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547	26
2 ระยะการพัฒนา (phenological characteristics) ของถั่วเหลืองที่ปลูก ในสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบัน วิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547	28
3 ความสูงของลำต้น จำนวนข้อต่อต้น จำนวนกิ่งต่อต้นที่ระยะสุกแก่ ทางสรีรวิทยา (R_s) และพื้นที่ใบต่อต้น (ระยะ R_o) ของถั่วเหลืองที่ ปลูกในสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547	30
4 น้ำหนักแห้งรวม (กรัม/ต้น) เมื่อเก็บเกี่ยวและตรวจการเก็บเกี่ยว ของถั่วเหลืองที่ปลูก ในสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ เมื่อปลูก ในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547	36
5 น้ำหนักแห้งใบ (กรัม/ต้น) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติและ สภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรม การเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547	39
6 น้ำหนักแห้งลำต้น (กรัม/ต้น) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติและ สภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรม การเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547	40
7 น้ำหนักแห้งฝักและเมล็ดและน้ำหนักแห้งเมล็ด (กรัม/ต้น) ของถั่วเหลือง ที่ปลูกในสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547	41

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
1 ผลการวิเคราะห์ดินในแปลงทดลองปลูกถั่วเหลืองในสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547	75
2 แสดงค่าความเขียวของใบถั่วเหลืองเมื่อปลูกในสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547	76
3 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัม/กรัม) ของใบถั่วเหลืองเมื่อปลูกในสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547	77
4 แสดงค่าการชักนำการปิดเปิดของปากใบ (stomatal conductance; ไมโครโมล/ตร.ม./วินาที) ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547	78
5 แสดงปริมาณยูรีโอไซด์ (ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักแห้ง) ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547	79
6 แสดงปริมาณไนเตรท (ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักแห้ง) ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547	80
7 แสดงดัชนียูรีโอไซด์สัมพัทธ์ (relative ureides index ; %) ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547	81

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
8 ครรชนิพื้นที่ใบ (leaf area index) ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547	82
9 อัตราการเจริญเติบโต (crop growth rate; กรัม/ตร.ม.) ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกในสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547	83
10 อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (net assimilation rate; กรัม/ตร.ม./วัน) ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547	84
11 Leaf area ratio (ตร.ซม./กรัม) ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547	85
12 Specific leaf weight (กรัม/ตร.ม.) ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547	86
13 Relative growth rate (กรัม/กรัม/วัน) ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547	87

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547	31
2 จำนวนข้อต่อต้นของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547	32
3 จำนวนกิ่งต่อต้นของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547	33
4 พื้นที่ใบต่อต้น (ตารางเซนติเมตร) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547	34
5 น้ำหนักแห้งรวม (กรัม/ต้น) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547	37
6 แสดงค่าเฉลี่ยค่าความเขียวของใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพปรกติและในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน	43
7 แสดงค่าเฉลี่ยค่าความเขียวของใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพปรกติ โดย ก. เปรียบเทียบกับการปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยไม่ได้รับปัจจัยเสริม ข. เปรียบเทียบกับการปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำและมีการห่มเมล็ด ค. เปรียบเทียบกับการปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำและให้ปุ๋ยในโตรเจนทางดิน และ ง. เปรียบเทียบกับการปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยให้ปุ๋ยทางใบ	44

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
8 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพปรกติและในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน	45
9 แสดงค่าเฉลี่ยค่าการชักนำการปิดเปิดปากใบ (Stomatal conductance) ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพปรกติและในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน	48
10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยูรีโอไซด์ (ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักแห้ง) ปริมาณไนเตรท (ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักแห้ง) และค่าดัชนียูรีโอไซด์สัมพัทธ์ (%) (ก) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ (CI) ตลอดจน (ข) ค่าเฉลี่ยของค่าต่าง ๆ ดังกล่าวของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับหรือไม่ได้รับปัจจัยต่าง ๆ เสริม	50
11 แสดงค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf area index) ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพปรกติและในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน	52
12 แสดงค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโต (Crop growth rate) ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพปรกติและในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน	54
13 แสดงค่าเฉลี่ยอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (Net assimilation rate) ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพปรกติและในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน	56
14 แสดงค่าเฉลี่ยของ Leaf area ratio ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพปรกติและในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
15 แสดงค่าเฉลี่ยของ Specific leaf weight ของถั่วเหลืองพันธุ์เซียงใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพปรกติและในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับ สิ่งทดลองที่แตกต่างกัน	59
16 แสดงค่าเฉลี่ยของ Relative growth rate ของถั่วเหลืองพันธุ์เซียงใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพปรกติและในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับ สิ่งทดลองที่แตกต่างกัน	60
ภาพผนวกที่	
1 แสดงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายสัปดาห์ (มิลลิเมตร) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2547 ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง อ. เมือง จ. ลำปาง	74

การเจริญเติบโต การให้ผลผลิตและลักษณะทางสรีระของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ
ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยได้รับปัจจัยต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับ การปลูกถั่วเหลือง
ในสภาพปกติ

**Growth, Yield and Physiological Traits of Soybean Grown under Saturated Soil
Culture Receiving Different Managemental Factors as Compared with those
Grown under Conventional Irrigation**

คำนำ

ถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merrill) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ เมล็ดถั่วเหลืองประกอบด้วยโปรตีน ร้อยละ 35 - 40 น้ำมัน ร้อยละ 15 - 20 และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 25 - 30 จึงเป็นพืชที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์มากมายในด้านอุตสาหกรรมต่อเนื่อง รวมทั้งการแปรรูปเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ เพื่อการบริโภค ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองทั้งหมดประมาณ 1.165 ล้านไร่ในปี 2546/47 แต่ผลผลิตที่ได้ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศที่สูงถึง 1,752,600 ตัน/ปี โดยพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งภาคกลางมีพื้นที่ปลูกสูงถึง 1,030,549 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 69.66 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2546) แต่สภาพพื้นที่ในภาคกลางที่ดินมีความชื้นสูง เนื่องจากยังมีฝนตกอยู่ทำให้เกิดน้ำท่วมขัง ไม่สามารถปลูกพืชไร่โดยทั่วไปได้ จึงได้เกิดแนวความคิดที่จะพัฒนาวิธีการเพิ่มผลผลิตถั่วเหลืองเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของประเทศลดจนการผลิตเพื่อให้เกิดความต้องการจนสามารถส่งจำหน่ายเป็นสินค้าออกที่สำคัญในอนาคตได้ กล่าวคือ การขยายพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองเข้าไปในแหล่งที่มีพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองมาก่อนอาจจะโดยการปลูกถั่วเหลืองเป็นพืชเดี่ยว ๆ หรือปลูกร่วมกับพืชหลักอื่น ๆ พื้นที่เป้าหมายที่น่าจะเป็นไปได้สำหรับการใช้ในการขยายพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง คือพื้นที่นา โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่นาในแถบภาคกลางของประเทศซึ่งมีเนื้อที่ประมาณ 15,702,000 ไร่ อาจนำมาปลูกถั่วเหลืองได้ในระบบที่มีข้าวเป็นหลัก โดยปลูกถั่วเหลืองก่อนปลูกข้าว หรือหลังเก็บเกี่ยวข้าวแล้ว (อภิพรหม, 2545) ซึ่งการปลูกถั่วเหลืองอย่างเดียวนั้นในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ หรือการปลูกร่วมกับข้าว พบว่าให้ผลผลิตค่อนข้างสูงเนื่องจากถั่วเหลืองเป็นพืชที่ค่อนข้างทนทานต่อสภาพน้ำท่วมขัง โดยถั่วเหลืองมีศักยภาพในการปรับตัว (acclimatization) เข้ากับสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ แต่ในระยะแรก ๆ นั้นการเจริญเติบโตของ

ถั่วเหลืองจะหยุดชะงัก มีลักษณะอาการใบเหลือง (chlorosis) และใช้เวลานานในการปรับตัวให้กับสภาพดินอืดด้วยน้ำ ทำให้ระยะการเจริญเติบโตในช่วง lag phase ยาวนานกว่าถั่วเหลืองจะถึงระยะ log phase ประกอบกับในขณะนั้นถั่วเหลืองยังไม่ตรึงไนโตรเจนได้เพียงพอที่จะทำให้ระยะ lag phase สั้นลง หลังจากผ่านพ้นระยะ lag phase แล้วถั่วเหลืองจึงสามารถฟื้นตัวกลับสภาพปกติสะสมน้ำหนักแห้งในอัตราสูง ซึ่งทำให้ผลผลิตสูงตามไปด้วย (Hunter *et al.*, 1980) ดังนั้น การทำให้ระยะ lag phase ของถั่วเหลืองสั้นลง อาจทำได้โดยการเพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนให้ถั่วเหลืองก่อนที่จะมีการตรึงไนโตรเจนได้โดยสมบูรณ์ วิธีการดังกล่าวอาจทำได้โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทางดินและฉีดพ่นทางใบ และการเพาะเมล็ดให้งอกก่อนปลูก (pre-germinated seed) ซึ่งอาจเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถย่อระยะ lag phase ของถั่วเหลืองในสภาพดินอืดด้วยน้ำได้ วิธีการเหล่านี้จะนำมาศึกษาพร้อม ๆ กับการศึกษาโดยละเอียดถึงการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในขณะที่มีการปรับตัว (acclimatization) องค์ความรู้ที่ได้รับอาจจะทำให้สามารถปรับปรุงวิธีการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอืดด้วยน้ำ เพื่อให้ถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงกว่าเดิม

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้เพื่อที่จะทำความเข้าใจถึงการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะเวลาที่ถั่วเหลืองมีการปรับตัว (acclimatization) ตลอดจนหาแนวทางที่จะทำให้สภาวะการปรับตัวของถั่วเหลืองดังกล่าว สามารถเกิดได้เร็วขึ้นกว่าปกติ และอาจส่งผลให้ถั่วเหลืองสะสมน้ำหนักแห้งและสร้างผลผลิตได้สูงขึ้นกว่าเดิมเมื่อปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ

การตรวจเอกสาร

1. การตอบสนองของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ

อิทธิพลของความชื้นสูงต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองนั้นจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับระยะการเจริญเติบโตของพืช ความยาวนานที่พืชได้รับสภาพของความชื้นสูง ตลอดจนสภาพแวดล้อมอื่น ๆ และพันธุ์พืช สภาพของดินที่มีระดับน้ำในดินสูง และมีความชื้นมากเกินไปก็จะทำอันตรายกับพืช โดยมีผลกระทบต่อการบวนการทางสรีรวิทยา เช่นทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงและการหายใจของพืชลดลง เนื่องจากสภาพความชื้นสูงเกินไป มีผลทำให้ปากใบปิด และลดปริมาณออกซิเจนในอาณาเขตของรากพืชลง ในสภาพดินที่มีออกซิเจนจำกัด จะทำให้เกิดผลเสียต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง โดยในสภาพดังกล่าวทำให้กระบวนการทางสรีระของพืชกระทบกระเทือนได้ โดยปกติปริมาณออกซิเจนจากบรรยากาศ จะแพร่กระจายสู่ดินในระดับที่เพียงพอต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ภายในดิน เช่น จุลินทรีย์ดิน รากพืช เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ในบางสภาวะ เช่น ในสภาพที่ฝนตกชุก สภาพที่ดินมีการระบายน้ำไม่ดี ปริมาณออกซิเจนในดินจะถูกจำกัดอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าความต้องการของรากพืช การเจริญเติบโตของรากพืชก็จะลดลงตามระดับที่ต่ำของออกซิเจน การยึดตัวของรากพืชก็จะลดลงอีกด้วย

Huck (1970) ได้รายงานถึงผลของออกซิเจนที่ระดับต่าง ๆ ต่ออัตราการยึดตัวของรากถั่วเหลืองพันธุ์ Biloxi ไว้ว่าการเจริญเติบโตของรากจะถูกจำกัดเมื่อระดับออกซิเจนในเขตรากพืชลดต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ระดับออกซิเจนต่ำเพียง 2.5 เปอร์เซ็นต์ การเจริญของรากถั่วเหลืองก็ยังสามารถดำเนินไปได้ตามปกติ และในสภาพที่ไร้ออกซิเจน รากถั่วเหลืองก็สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ คราบไคที่ส่วนของถั่วเหลืองอยู่ในสภาพที่รับอากาศ และออกซิเจนสามารถแพร่กระจายผ่านลำต้นไปยังรากที่อยู่ในสภาพที่ไม่มีอากาศ Stanley *et al.* (1980) ได้รายงานถึงการตอบสนองของถั่วเหลืองต่อสภาพระดับน้ำในดินสูงที่ระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกันสามระยะไว้ว่า ความทนทานของรากต่อระดับน้ำในดินสูงจะเปลี่ยนไปตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโต ในระยะออกดอกรากจะแสดงอาการทนทาน คือ สามารถเจริญเติบโตได้ดีมีเพียงเล็กน้อยที่แสดงอาการถูกทำลาย ส่วนในระยะหลังออกดอกพบว่า มีรากเพียงส่วนน้อยที่แสดงลักษณะการทนทาน แต่ระบบรากถั่วเหลืองก็สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพระดับน้ำในดินสูงได้ โดยมีรากเกิดขึ้นใหม่ใน

บริเวณที่อยู่เหนือระดับน้ำได้ดินขึ้นไป แต่ในระยะหลังจากถั่วเหลืองติดฝักแล้วรากจะอ่อนแอต่อสภาพระดับน้ำได้ดินสูง

แนวคิดเพื่อใช้ประโยชน์จากการวิจัยเกี่ยวกับดินอึดตัวด้วยน้ำ

การวิจัยเกี่ยวกับการตอบสนองของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำในประเทศไทยเกิดจากแนวความคิดที่จะพัฒนาวิธีการเพิ่มผลผลิตถั่วเหลืองเพื่อให้เพียงพอับความต้องการของประเทศตลอดจนการผลิตเพื่อให้เกิดความต้องการจนสามารถส่งจำหน่ายเป็นสินค้าออกที่สำคัญในอนาคตได้ กล่าวคือ การขยายพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองเข้าไปในแหล่งที่มีพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองมาก่อน อาจจะโดยการปลูกถั่วเหลืองเป็นพืชเดี่ยว ๆ หรือปลูกร่วมกับพืชหลักอื่น ๆ พื้นที่เป้าหมายที่น่าจะเป็นไปได้สำหรับการใช้ในการขยายพื้นที่ปลูกถั่วเหลือง คือ พื้นที่นา โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่นาในแถบภาคกลางของประเทศซึ่งมีเนื้อที่ประมาณ 15,702,000 ไร่ ซึ่งมีระบบการเกษตรหลายรูปแบบ แต่ส่วนใหญ่มักนิยมระบบพืชอย่างเดียว เช่นการปลูกข้าวอย่างเดียวในพื้นที่กว้าง ๆ เพราะง่ายต่อการปฏิบัติและดูแลรักษา แต่โอกาสเสี่ยงสูงเมื่อมีโรคและแมลงระบาดหรือราคาคต่ำ ดังนั้นเกษตรกรอาจปลูกถั่วเหลืองในระบบที่มีข้าวเป็นหลัก โดยปลูกถั่วเหลืองก่อนปลูกข้าว หรือหลังเก็บเกี่ยวข้าวแล้ว ซึ่งตามปกติในช่วงระยะเวลาดังกล่าว พื้นที่ปลูกแถบที่ลุ่มภาคกลางของประเทศส่วนใหญ่ยังอยู่ในสภาพที่ฝนตกอยู่ ซึ่งทำให้เกิดสภาพน้ำท่วมขัง หรือดินมีความชื้นสูงกว่าที่จะปลูกพืชไร่โดยทั่ว ๆ ไปได้ (อภิพรธ, 2545) เพื่อก่อให้เกิดศักยภาพในการผลิตให้สูงขึ้น

ความเป็นมาของการวิจัยเกี่ยวกับดินอึดตัวด้วยน้ำในระยะแรก

ถั่วเหลืองจัดเป็นพืชที่ค่อนข้างทนทานต่อสภาพดินน้ำท่วมขังชั่วคราว (Stanley *et al.*, 1980) และสามารถปรับตัวเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ (Nathanson *et al.*, 1984) ในประเทศออสเตรเลียได้มีการศึกษาเรื่องนี้อย่างจริงจัง และประสบผลสำเร็จในการนำวิธีดังกล่าวไปใช้ในไร่นาเกษตรกรในแถบใต้ของรัฐนิวเซาท์เวลส์ Troedson *et al.* (1984) ได้ให้ความคิดเห็นว่า สภาพพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ น่าจะเป็นประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยการปลูกถั่วเหลืองหมุนเวียนกับข้าว

ในถั่วเหลืองซึ่งจัดว่าเป็นพืชที่ค่อนข้างทนทานต่อสภาพดินน้ำท่วมขังชั่วคราว แต่ก็พบเสมอว่า สภาพดังกล่าวลดการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลือง อย่างไรก็ตาม ได้มีการค้นพบ

โดยบังเอิญว่าถั่วเหลืองสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำถาวรได้อย่างรวดเร็วในช่วงระหว่างการทดลองเพื่อการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน และการแสดงออกของการขาดธาตุสังกะสี ซึ่ง Hunter จากมหาวิทยาลัยควีนสแลนด์ได้ทำขึ้น Hunter ได้สังเกตเห็นว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในกระถางที่มีระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าผิวหน้าดินเพียง 1 เซนติเมตร สามารถเจริญเติบโตได้เป็นปกติ ต่อมา Hunter *et al.* 1980 ได้ศึกษาผลของการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำที่ระดับน้ำใต้ผิวดิน 3 และ 15 เซนติเมตรกับการให้น้ำของถั่วเหลือง จำนวน 9 พันธุ์ พบว่า ที่ระดับน้ำใต้ผิวดิน 15 เซนติเมตร จะมีน้ำหนักแห้งมากกว่าในสภาพการให้น้ำปกติ 37 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระดับน้ำใต้ผิวดิน 3 เซนติเมตร ถั่วเหลืองจะเริ่มมีอาการเหลือง (chlorosis) ในสัปดาห์แรกที่เริ่มให้น้ำ แต่สามารถฟื้นคืนกลับสภาพปกติ และสร้างน้ำหนักแห้งได้น้อยกว่าในสภาพปกติ 18 เปอร์เซ็นต์

จากการศึกษาถึงการตอบสนองของถั่วเหลืองในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ พบว่า ถั่วเหลืองมีศักยภาพในการปรับตัว (acclimatization) เข้ากับสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำได้ ที่ในช่วงแรก ๆ นั้นการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองจะหยุดชะงักมีลักษณะอาการใบเหลือง (chlorosis) เนื่องจากการขาดธาตุไนโตรเจน หลังจากนั้นถั่วเหลืองสามารถฟื้นตัวกลับสภาพปกติ สะสมน้ำหนักแห้งในอัตราสูง ซึ่งมีผลทำให้ผลผลิตของเมล็ดสูงตามไปด้วย เมื่อถั่วเหลืองปลูกในระบบดินอึดตัวด้วยน้ำ และน้ำท่วมรากในชุดแรก (primary root) จะทำให้พืชชะงักและใช้เวลานานกว่าจะปรับตัวได้กับสภาพดังกล่าว ทำให้ระยะการเจริญเติบโต เช่น ในระยะ lag phase ยาวนานกว่าถั่วเหลืองจะถึงระยะ log phase ประกอบกับในขณะนั้นถั่วเหลืองยังไม่ตรึงไนโตรเจนได้เพียงพอที่จะช่วยทำให้ระยะ lag phase สั้นลง

Nathanson *et al.* (1984) ได้ศึกษาถึงการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของถั่วเหลืองเมื่อปลูกด้วยสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำและให้น้ำปกติ โดยใช้ถั่วเหลืองอายุสั้น 2 พันธุ์ คือ Fiskerby V และ CPI 26671 ปลูกในสภาพระดับน้ำต่ำกว่าผิวหน้าดิน 3 และ 15 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับสภาพการให้น้ำปกติ พบว่าในช่วงแรก ๆ ของการเจริญเติบโตของลำต้น ราก จำนวนปมและน้ำหนักปมต่อต้านของถั่วเหลืองในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำจะลดต่ำลงกว่าในสภาพให้น้ำปกติ ถั่วเหลืองแสดงอาการใบเหลือง เนื่องจากการขาดธาตุไนโตรเจน แต่หลังจากนั้นถั่วเหลืองสามารถปรับตัวฟื้นคืนสู่สภาพปกติ มีการดำเนินกิจกรรมของปมสูงตามด้วยการเจริญเติบโตที่สูงกว่า ผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์ Fiskerby V ที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ ไม่แตกต่างจากสภาพให้น้ำปกติ ในขณะที่ถั่วเหลืองพันธุ์ CPI 26671 ซึ่งมีอายุเก็บเกี่ยวยาวนานกว่าสามารถสร้าง

ผลผลิตได้สูงกว่าปรกติถึง 71 และ 65 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพระดับน้ำต่ำกว่าผิวน้ำดิน 15 และ 3 เซนติเมตร ตามลำดับ

Troedson *et al.* (1984) พบว่า ถั่วเหลืองจะไวต่อการขาดอากาศในสภาพน้ำขังชั่วคราว และในดินที่มีการระบายน้ำดีก็จะทำให้การผลิตถั่วเหลืองได้ดี แต่ถั่วเหลืองก็สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพดินที่อึดตัวด้วยน้ำอย่างถาวร หรือมีระดับน้ำใกล้ผิวน้ำดิน ถึงแม้ว่าน้ำจะมีผลต่อการจำกัดเขตรากของถั่วเหลืองก็ตาม ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพอึดตัวด้วยน้ำให้ผลผลิตสูง เพราะมีการเพิ่มสถานะของน้ำในดินถั่วเหลือง การสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น การตรึงไนโตรเจนมีมากและมีระยะเวลาที่ยาวนาน ซึ่งลักษณะเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามชนิดและพันธุ์ของถั่วเหลือง Troedson *et al.* (1981) รายงานว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำจะเพิ่มผลผลิตเฉลี่ยมากกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพให้น้ำปกติประมาณ 20 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์

การศึกษาการตอบสนองของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำในประเทศไทย

ในประเทศไทยเริ่มศึกษาการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ ตั้งแต่ปี 2529 ในพื้นที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท จังหวัดชัยนาทและมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดยที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท จังหวัดชัยนาท Pookpakdi *et al.* (1989) ได้ศึกษาการตอบสนองทางด้านผลผลิตของถั่วเหลืองในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำเป็นหลัก จากการทดลองพบว่า พันธุ์ถั่วเหลืองของประเทศไทยสามารถปรับตัวหลังจากได้รับสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ (acclimatization) และเจริญได้ดีในสภาพดังกล่าว ในฤดูฝนถึงแม้ว่าถั่วเหลืองภายใต้สภาพดินอึดตัวด้วยน้ำจะให้ผลผลิตต่ำกว่าสภาพที่ให้น้ำปกติ แต่ผลผลิตที่ได้รับเกือบจะเท่ากับ 3 ต้นต่อเฮกตาร์ ซึ่งเท่ากับประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตที่ได้รับในสภาพให้น้ำปกติ แต่ในสภาพฤดูแล้ง ผลผลิตภายใต้สภาพดินอึดตัวด้วยน้ำสูงกว่าสภาพให้น้ำปกติ และพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงที่สุดได้แก่ พันธุ์ สจ. 4 ซึ่งให้ผลผลิตเท่ากับ 2,640 กิโลกรัม/เฮกตาร์

ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ได้มีการทดลองปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำเปรียบเทียบกับปลูกในสภาพการให้น้ำปกติ ทั้งในฤดูฝน พ.ศ. 2529 และในฤดูแล้ง พ.ศ. 2530 ในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ โดยมีการควบคุมให้ระดับของน้ำในแปลงต่ำกว่าระดับผิวน้ำดินบนสันร่องเพียง 10 เซนติเมตรเท่านั้น ปลูกถั่วเหลืองบนสันร่องกว้าง 1.50 เมตร และตั้งแต่ปลูกจนถั่วเหลืองสุกแก่ มีการให้น้ำหล่อสันร่องให้ชุ่มเพื่อให้อยู่ในสภาพดินอึดตัว

ด้วยน้ำตลอดเวลา ส่วนการปลูกถั่วเหลืองในสภาพการให้น้ำปรกตินั้น ปลูกบนสันร่องเช่นเดียวกัน แต่ไม่มีน้ำหล่อบนสันร่องให้ดินอึดตัว เพียงแต่ให้น้ำชลประทานทุกสัปดาห์ จากการทดลองพบว่า ผลผลิตถั่วเหลืองในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำสูงเกือบเท่ากับผลผลิตที่ได้รับในสภาพปรกติ ในฤดูแล้ง ผลผลิตเฉลี่ยของถั่วเหลืองในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำสูงกว่าการปลูกในสภาพปรกติโดยพันธุ์ A138 ซึ่งเป็นพันธุ์ถั่วเหลืองที่นำเข้าจากออสเตรเลียสามารถปรับตัวให้เจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงสุดในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำในประเทศไทย และในขณะเดียวกันพันธุ์ถั่วเหลืองของไทยหลายพันธุ์ เช่น พันธุ์ สจ. 4 และสจ. 5 ก็สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ แม้จะไม่ให้ผลผลิตสูงเท่ากับพันธุ์ A138 ก็ตาม (Pookpakdi, 1992) นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงการสะสม น้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองที่เจริญเติบโตในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำและในสภาพปรกติ ภายใต้สภาพ ดินอึดตัวด้วยน้ำ พบว่า การสะสมน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองในช่วง initial lag phase จะน้อยกว่าที่ พบในสภาพการให้น้ำปรกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 27-48 วันหลังออก เนื่องจากในช่วงดังกล่าว พืชเพิ่งพบกับสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ และอยู่ในช่วงปรับตัว ภายหลังจาก 48 วันหลังออก การสะสม น้ำหนักแห้งภายใต้สภาพดินอึดตัวด้วยน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในฤดูแล้ง ซึ่งเป็นผล จาก acclimatization process สำหรับการสร้างปมและการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองที่ปลูกใน สภาพที่มีการให้น้ำปรกติและในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ พบว่า ในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำถั่วเหลือง จะสร้างน้ำหนักปมและจำนวนปมได้สูงกว่าในสภาพการให้น้ำปรกติ และมีประสิทธิภาพของการ ตรึงไนโตรเจนที่สูงกว่าในสภาพการให้น้ำปรกติด้วย (Pookpakdi *et al.*, 1989 : Pookpakdi, 1992)

อภิพรธและคณะ (2533) เกิดแนวคิดนำระบบการปลูกพืชเข้าร่วมกับเทคนิคดินอึดตัว ด้วยน้ำ โดยใช้ข้าวปลูกร่วมกับถั่วเหลืองในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำเข้าทดสอบเบื้องต้นในไร่นา เกษตรกร อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี ซึ่งมีขนาดแปลงปลูกกว้าง 2 เมตร ร่องน้ำมีขนาดกว้าง 1.5 เมตร ลึก 20 เซนติเมตร โดยปลูกถั่วเหลืองบนแปลงปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ และปักดำข้าว ในร่องน้ำในสภาพดินนา พบว่า ถั่วเหลืองเดี่ยวให้ผลผลิตสูงกว่าระบบการปลูกถั่วเหลืองร่วมกับ ข้าวในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ ถั่วเหลืองพันธุ์ A138 ซึ่งมีอายุการสุกแก่ช้าจะให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ ถั่วเหลืองของไทยทุกพันธุ์ ส่วนการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและไม่ใส่ปุ๋ย ไม่ทำให้ผลผลิตของถั่วเหลือง แตกต่างกัน เมื่อคิดค่าสัดส่วนพื้นที่สมมูลย์ (LER) (อภิพรธ, 2528) ของถั่วเหลืองปลูกร่วมกับข้าว สูงกว่าการปลูกถั่วเหลืองเดี่ยวและปลูกข้าวเดี่ยว แสดงให้เห็นว่าการปลูกถั่วเหลืองร่วมกับข้าวใน สภาพดินอึดตัวด้วยน้ำให้ผลดีกว่าการปลูกพืชทั้งสองในสภาพเดี่ยวเมื่อพิจารณาถึงผลผลิตเป็นหลัก

อภิพรรณและคณะ (2539) ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของพันธุ์ถั่วเหลืองและอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ โดยทดลองทั้งฤดูฝน พ.ศ. 2536 และฤดูแล้ง พ.ศ. 2537 พบว่า การปลูกถั่วเหลืองเดี่ยวให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกถั่วเหลืองร่วมกับข้าวในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ซึ่งในฤดูฝนพันธุ์จักรพันธ์ 1 ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เชียงใหม่ 60 ส่วนฤดูแล้งผลผลิตของทั้งสองพันธุ์ไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ถั่วเหลืองสามารถตรึงไนโตรเจนได้สูงในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ซึ่งการตรึงไนโตรเจนที่สูงนี้เป็นสาเหตุที่การตอบสนองของปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราต่าง ๆ ไม่เกิดขึ้นกับถั่วเหลือง ส่วนพันธุ์ถั่วเหลืองที่ตรึงไนโตรเจนในอัตราที่สูงมาก คือ พันธุ์จักรพันธ์ 1

สาเหตุที่ทำให้การปลูกถั่วเหลืองในดินอิมตัวด้วยน้ำให้ผลผลิตสูง

การปรับตัวของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ประการ (Nathanson *et al.*, 1984) คือ

1. สถานะของน้ำในดิน และปมรากสูง

ดินในสภาพอิมตัวด้วยน้ำเป็นสภาพที่มีความชื้นสูงและสม่ำเสมอ มีผลทำให้สถานะของน้ำภายในดินพืชสูงและสม่ำเสมอเพราะถั่วเหลืองไม่เกิดสภาพขาดน้ำ (water stress) เมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำในสภาพปกติ มีผลทำให้ค่า water potential ของใบสูง ความต้านทานของปากใบต่ำต่อการแพร่กระจายของ CO_2 จากบรรยากาศเข้าสู่ใบทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงสูง เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพการให้น้ำปกติ 10-14 วันต่อครั้ง ซึ่งพืชได้รับสภาพน้ำท่วมขังในช่วงแรก และขาดน้ำในช่วงท้ายของการให้น้ำในแต่ละครั้ง ในช่วงแสงแดดจัด อุณหภูมิสูง สถานะของน้ำภายในดินพืชอาจลดต่ำกว่าจุดวิกฤติ ซึ่งเพียงเล็กน้อยก็มีผลในการลดประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง ซึ่งมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองอย่างเด่นชัด

2. สถานะของไนโตรเจนที่สูง และสม่ำเสมอ

ในสภาพที่ดินอิมตัวด้วยน้ำ ถั่วเหลืองสามารถสร้างรากใหม่ขึ้นทดแทนรากเก่าเป็น

จำนวนมาก ในบริเวณพื้นที่ที่ดินอ้อมตัวด้วยน้ำซึ่งอยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินขึ้นมา มีการสร้างปมขึ้นมาใหม่เป็นจำนวนมาก ถึงแม้จะมีขนาดเล็ก แต่ให้น้ำหนักปมต่อต้านมากกว่า ที่ผิวของปมมีการสร้างเนื้อเยื่อ aerenchyma และเนื่องจากปมมีขนาดเล็ก เป็นผลทำให้มีพื้นที่ผิวมาก ทำให้การแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างรากกับดินอ้อมตัวด้วยน้ำมีประสิทธิภาพดีขึ้น

ในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำนั้น ถั่วเหลืองสามารถสร้างปมได้มากมาย สถานะของน้ำภายในปมสูงและสม่ำเสมอ ประกอบกับประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองในสภาพดังกล่าวสูง จึงมีผลส่งเสริมทำให้กิจกรรมการตรึงไนโตรเจนเป็นไปได้ดีกว่าในสภาพให้น้ำตามปกติ นอกจากนี้ยังพบว่า ในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำ ทำให้ยืดอายุช่วงการตรึงไนโตรเจนของปมให้ยาวนานออกไปแม้แต่ช่วงการสะสมน้ำหนักแห้งของฝัก พบว่าการดำเนินกิจกรรมของปมและการสะสมไนโตรเจนสูงเป็นสองเท่าของสภาพให้น้ำตามปกติ ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการไนโตรเจนในปริมาณที่สูงในช่วงการสร้างฝักและสร้างเมล็ดของถั่วเหลือง ส่วนในสภาพการให้น้ำตามปกตินั้น นอกจากสถานะของน้ำภายในปม ปริมาณปม และประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสงที่น้อยกว่าในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสถานะของไนโตรเจนภายในต้นถั่วเหลืองแล้ว กิจกรรมของปมถั่วเหลืองยังลดต่ำลง เนื่องจากปมถั่วได้รับอันตรายโดยตรงจากการหุดและขยายตัวของดินที่เกิดขึ้น เนื่องจากความไม่คงที่ของความชื้นดิน และในบางช่วงเวลา ปมถั่วอาจสูญเสียน้ำในระดับสูงกว่าจุดวิกฤติซึ่งเกิดจากบริเวณดินแห้งซึ่งอยู่ล้อมรอบปมหรือสูญเสียน้ำสู่บรรยากาศโดยตรง ผ่านทางรอยแยกของเนื้อดินที่หุดตัวซึ่งเกิดจากการที่ดินสูญเสียน้ำมากเกินไป (อภิพรรณ, 2545) วรรณชลี (2524) รายงานว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพความชื้นในดินสูง (100% field capacity) จะมีการเจริญเติบโตและการเกิดปมสูงกว่าที่ระดับความชื้นในดินต่ำ (40% field capacity) และระยะเวลาการให้น้ำทุก ๆ วันจะทำให้การเจริญเติบโต การเกิดปม การตรึงไนโตรเจนและผลผลิตสูงที่สุด

แนวทางการวิจัยเพื่อให้ถั่วเหลืองในระบบดินอ้อมตัวด้วยน้ำให้ผลผลิตสูงขึ้น

การปลูกถั่วเหลืองในระบบดินอ้อมตัวด้วยน้ำนั้นในทางปฏิบัติแล้วใช้แรงงานและการลงทุนค่อนข้างสูงมาก เนื่องจากจะต้องยกแปลงปลูกให้สูงและกว้างขึ้นให้เหมาะสมกับการรักษาระดับน้ำให้อยู่ในระดับความสม่ำเสมออยู่ตลอดเวลา ตลอดจนเป็นการเกษตรกรรมที่ค่อนข้างประณีต ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำการวิจัยเพื่อหาแนวทางให้ถั่วเหลืองมีผลผลิตสูงและมีรายได้รวมสูงกว่าเงินทุน

1. การใช้พันธุ์ที่มีอายุการสุกแก่ยาวนานหรือพันธุ์หนักในระบบการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอึดด้วยน้ำ

อภิพรธและคณะ (2531) พบว่า การใช้พันธุ์ถั่วเหลืองที่มีอายุยาว เช่น พันธุ์ A138 ปลูกในสภาพปกติและสภาพดินอึดด้วยน้ำ ปรากฏว่า ลักษณะการตอบสนองของพันธุ์ที่มีอายุยาวคล้ายคลึงกับการสะสมน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของทุกพันธุ์ แต่ในช่วงหลังการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองภายใต้ดินอึดด้วยน้ำ ถั่วเหลืองที่มีอายุยาวสามารถสร้างน้ำหนักแห้งได้ใกล้เคียงกับสภาพการให้น้ำปกติมาก แสดงว่า หากใช้พันธุ์อายุยาวในสภาพดินอึดด้วยน้ำ โอกาสที่จะให้น้ำหนักแห้งสูงกว่ามีทางเป็นไปได้ซึ่งจะส่งผลให้ผลผลิตสูงขึ้นด้วย

2. การใช้อัตราปลูกสูงมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลือง

Pookpakdi (1992) พบว่าการเพิ่มศักยภาพในการพัฒนาถั่วเหลืองให้มีผลผลิตต่อพื้นที่สูงขึ้นกับการเพิ่มประชากรต่อพื้นที่เพาะปลูกจาก 200,000 เป็น 400,000 ต้นต่อเฮกตาร์ ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 1.9 ตันต่อเฮกตาร์เป็น 3.7 ตันต่อเฮกตาร์

3. การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเร่งให้ระยะ lag phase สั้นเพื่อเพิ่มผลผลิตของถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นพืชที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้โดยใช้กิจกรรมร่วมกับไรโซเบียมที่อยู่ในปมราก การสร้างปมของถั่วเหลืองจะเริ่มขึ้นเมื่อถั่วเหลืองอายุได้ประมาณ 7-9 วันหลังออกโผล่พื้นดิน และขบวนการตรึงไนโตรเจนจะเริ่มขึ้นหลังจากนั้นอีกประมาณ 10-14 วัน (อภิพรธ, 2533) โดยอัตราการตรึงไนโตรเจนของพืชตระกูลถั่ว มีลักษณะแบบ sigmoid (Hardy *et al.*, 1980) คือ

- ระยะแรก เรียกว่า lag phase ซึ่งระยะนี้อัตราการตรึงไนโตรเจนและอัตราการเจริญทางด้านลำต้น(vegetative) เป็นไปอย่างช้า ๆ

- ระยะที่สองเป็นแบบ exponential phase ระยะนี้อัตราการตรึงไนโตรเจนสูง การเคลื่อนย้ายสารประกอบอินทรีย์ที่ได้จากการตรึงไนโตรเจนจากปมให้แก่พืชตระกูลถั่วเกิดขึ้นมาก และมีอัตราการเจริญเติบโตของลำต้นมากกว่ารากและปม

- ระยะต่อมาอัตราการตรึงไนโตรเจนจะเริ่มลดลงตามลำดับจนกระทั่งถึงระยะสุกแก่

เมื่อมีการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ สภาพน้ำท่วมขังและสภาพการขาดออกซิเจนในรากทำให้การเจริญเติบโตของรากลดลง การเข้าสู่รากถั่วของเชื้อแบคทีเรีย *rhizobium* ตลอดจนการตรึงไนโตรเจนก็จะถูกจำกัดและเกิดขึ้นช้ากว่าปรกติ เป็นที่คาดกันว่าการตรึงไนโตรเจนในถั่วเหลืองในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำจะเกิดขึ้นโดยปรกติเมื่อพืชเริ่มสร้างราก secondary root แล้ว ก็อน่าจะเป็นช่วงที่ถั่วเหลืองผ่านพ้นจุดของการปรับตัว (acclimatization) แล้ว ดังนั้น แนวความคิดของการให้ปุ๋ยไนโตรเจนกับถั่วเหลืองในระยะก่อนการปรับตัวก็อาจทำได้โดยการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนในพืชให้สูงขึ้น ในขณะที่พืชยังไม่พร้อมที่จะมีการตรึงไนโตรเจนได้ประการหนึ่ง หรืออีกประการหนึ่งเป็นการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเพื่อเร่งกระบวนการสร้าง secondary root ในขณะที่รากถั่วของถั่วเหลืองเกิดความอ่อนแออันเนื่องมาจากการที่มีน้ำท่วมขัง

2. อิทธิพลของปุ๋ยทางใบต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

พืชสามารถดูดใช้อาหารทางใบได้โดยผ่านทางคิวติเคิล (cuticle) และแอคโตเดสมาตา (ectodesmata) จากการศึกษาพบว่า ช่องปากใบไม่ใช่ช่องทางที่แท้จริงที่สารประกอบไนโตรเจนจะเข้าสู่เซลล์ผิวใบ เพราะคิวติเคิลบนผิวใบกับคิวติเคิลในโพรงใต้ใบต่อเนื่องเป็นเนื้อเดียวกัน แต่คิวติเคิลในโพรงใต้ใบบางกว่าและเล็กกว่า จึงยอมให้สารละลายผ่านได้ดีกว่าคิวติเคิลบนผิวใบ (ขงยุทธ, 2543)

การดูดซึมปุ๋ยไนโตรเจนในรูปของยูเรียโดยใบพืช

แทบทุกส่วนของพืชเช่น ราก ต้น กิ่งและใบดูดปุ๋ยไนโตรเจนในรูปของยูเรียได้ ประกอบกับยูเรียเป็นสารที่ละลายน้ำได้ง่ายคือละลายได้ถึง 78 ส่วนต่อน้ำเย็น 100 ส่วน ดังนั้นในน้ำเย็น 1 ลิตร จะสามารถละลายยูเรียได้ถึง 780 กรัม และยูเรียยังใช้ผสมกับยาปราบศัตรูพืชส่วนใหญ่ได้ดีจึงทำให้ยูเรียเหมาะที่จะใช้เป็นปุ๋ยไนโตรเจนทางใบอย่างยิ่ง ความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายยูเรียมีอิทธิพลต่ออัตราการการดูดซึมทางใบอย่างยิ่ง จากการเตรียมสารละลายยูเรียใน buffer solution หลายชนิดพบว่า มีอัตราการดูดซึมสูงสุดเมื่อ pH 5 และ 8 และต่ำสุดที่ pH 6 และ 9 นอกจากนี้การผสมสารบางอย่างเช่น ซูโครส น้ำตาลอื่น ๆ และเกลือแมกนีเซียมจะช่วยป้องกันมิให้ใบพืชดูดยูเรียเร็วเกินไปจนใบไหม้ สารดังกล่าวเรียกว่า safening agents ยูเรียจะช่วยทำให้พืชดูดใช้

ฟอสเฟตที่ฉีดพ่นทางใบในรูปกรดฟอสฟอริกได้เร็วขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากยูเรียเป็นด่างอ่อนและทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริกได้ยูเรียฟอสเฟต, $\text{CO}(\text{NH})_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$ สารประกอบนี้จะตกผลึกเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นสูงมาก เชื่อกันว่าการจับกันระหว่างยูเรียกับกรดฟอสฟอริกจะช่วยให้การซึมซาบของกรดฟอสฟอริกเข้าสู่ใบสะดวกขึ้น (ขงยุทธ, 2524)

ความเข้มข้นของปุ๋ยที่ใช้ ถ้าใช้เกินอัตราพอดีจะทำให้อัตราการดูดซึมได้ช้า และเป็นอันตรายต่อพืช เช่น การใช้ปุ๋ยยูเรียควรมีความเข้มข้นของไบยูเรต (biuret) ต่ำกว่าร้อยละ 0.25 หากสูงกว่านี้จะทำให้ใบไหม้ นอกจากนี้พืชแต่ละชนิดจะมีความทนทานต่อความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ยแตกต่างกัน แม้พันธุ์พืชเดียวกันแต่ในใบอ่อนและอวบน้ำ จะไม่อาจทนต่อสารละลายที่มีความเข้มข้นได้เท่ากับใบแก่หรือใบที่หนาและแข็ง ทั้งนี้เนื่องจากใบอ่อนดูดยูเรียตลอดจนอนูมูลอื่น ๆ เช่น P, Mg, K, Zn และ Mn ได้เร็วกว่าใบแก่แม้จะใช้ความเข้มข้นเดียวกัน ขนาดของหยดหรือละอองที่พ่นจับผิวใบก็ให้ผลแตกต่างกัน กล่าวคือ ละอองของสารละลายที่ใหญ่จะก่อให้เกิดใบไหม้ได้ง่ายกว่าละอองเล็ก (มุกดา, 2543)

เวลาที่เหมาะสมแก่การฉีดพ่นปุ๋ยทางใบ

ขงยุทธ (2524) ได้รายงานว่าเวลาที่เหมาะสมแก่การฉีดพ่นปุ๋ยทางใบอาจแบ่งเป็น 3 ตอน คือ 1) ตอนเช้าหรือตอนฟ้าสาง 2) ตอนสายหรือตอนบ่าย และ 3) ตอนเย็น ตอนเช้าหรือตอนฟ้าสางนั้นอุณหภูมิของอากาศค่อนข้างต่ำและความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างสูง แต่อุณหภูมิจะสูงขึ้นและความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงเมื่อสายขึ้น ในทางตรงกันข้ามในตอนเย็นอุณหภูมิของอากาศยังคงสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ แต่เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงและความชื้นสัมพัทธ์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ทั้งอากาศจะชื้นและเย็นตลอดคืน สำหรับตอนสายหรือตอนบ่ายเป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และจะคงสภาพดังกล่าวไปอีกหลายชั่วโมง นอกจากนี้ควรพิจารณาว่าจะเริ่มฉีดพ่นเมื่อใด ละอองน้ำปุ๋ยบนผิวใบจึงจะคงสภาพเป็นสารละลายได้นานที่สุด เนื่องจากพืชจะได้รับปุ๋ยที่ให้ทางใบก็ต่อเมื่อ 1) ปุ๋ยนั้นอยู่ในรูปสารละลาย และสารละลายนั้นยังคงอยู่บนผิวใบไม่ร่วงหล่นหายไป 2) ตัวละลาย ไม่ว่าจะอยู่ในรูปโมเลกุลหรือไอออน ได้ผ่านเซลล์เมมเบรน (membrane cell) เข้าสู่โปรโตพลาส (protoplast) ของเซลล์ใดเซลล์หนึ่งของใบแล้ว ดังนั้นส่วนของปุ๋ยที่มีได้ละลายน้ำดีหรือยังอยู่นอกเซลล์ใบพืช เช่น เป็นกราบอยู่เป็นผิวใบ ย่อมไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ใด ๆ แก่พืชขณะนั้น เมื่อเป็นเช่นนี้การดูดซึมปุ๋ยทางใบจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เฉพาะเมื่อปุ๋ยยังอยู่บนผิวใบในรูปของสารละลาย ในทางตรงกันข้ามถ้าฉีดพ่นปุ๋ยแล้วไม่นานน้ำปุ๋ยก็แห้งเหลือ

คราบเกลือบนผิวใบ แสดงว่าปุ๋ยเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้นที่ดูดซึมลงสู่ส่วนลึกของผิวใบพืช ที่ยังเป็นคราบเกลือจะซึมลงไปได้ไม่ได้ แต่จะเริ่มดูดซึมได้อีกเมื่อความชื้นของอากาศสูงพอที่จะละลายคราบปุ๋ยนั้นอีกครั้ง ในด้านพลังงานที่พืชจะใช้เพื่อการดูดปุ๋ยทางใบ ในเวลากลางวันพืชผลิต ATP ได้จากการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ส่วนในเวลากลางคืน ATP ได้มาจากการหายใจเพียงอย่างเดียว แต่ตราบเท่าที่พืชยังสังเคราะห์ ATP ได้โดยทางหนึ่งใบพืชจะยังคงมีพลังงานบางส่วนสำหรับการดูดธาตุอาหาร โดยกลไกที่เรียกว่า active uptake แม้ในเวลากลางคืน สำหรับในเวลากลางวันใบพืชสังเคราะห์ ATP ได้ทั้งการสังเคราะห์แสงและการหายใจก็จริง แต่ถ้าละอองปุ๋ยแห้งอย่างรวดเร็ว การดูดซึมทางใบก็จะลดลงมากทีเดียว มูกดา (2543) กล่าวว่า ควรให้ปุ๋ยทางใบในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ แดดไม่จัดและความชื้นสัมพัทธ์สูงเพื่อให้สารละลายคงรูปอยู่ ไม่แห้งติดใบ ซึ่งเป็นการยากต่อการดูดซึมเข้าสู่ใบ

ชะลูด และคณะ (2530) ได้ศึกษาการให้ปุ๋ยทางใบเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของถั่วเหลือง พบว่า การใช้ปุ๋ยทางใบทั้งปุ๋ยแอมโมเนียม ไนโตรเจนหรือฮอร์โมน NAA ไม่ทำให้ผลผลิตสูงกว่าการใช้ปุ๋ยสูตร 12-24-12 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนการใช้ปุ๋ยทางใบรวมกับการให้ปุ๋ยทางดินก็ไม่ทำให้ผลผลิตสูงขึ้นมากกว่าการให้ปุ๋ยทางดิน นอกจากให้ผลผลิตสูงกว่าการให้ปุ๋ยทางใบเฉพาะอย่างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารทางใบของพืช

การดูดใช้ธาตุอาหารทางใบ จะมีปัจจัยต่าง ๆ อีกหลายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช ได้แก่

1) อุณหภูมิ ขณะที่ในบรรยากาศมีอุณหภูมิสูง จะมีผลทำให้อัตราการขยายขนาดของใบสูงขึ้น จึงมีการดูดใช้ธาตุอาหารได้มากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้สารละลายของธาตุอาหารพืชบนผิวใบแห้งเร็ว ซึ่งจะทำให้อัตราการดูดใช้ลดลง (ยางอุท, 2543)

2) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ จะมีผลต่อการระเหยน้ำของสารละลายที่ผิวใบพืช โดยถ้ามีความชื้นสัมพัทธ์สูงการระเหยน้ำจากสารละลายจะช้ามาก ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายภายนอกและภายในน้อยจะไม่ส่งเสริมการแพร่หรือการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารเข้าสู่ใบพืชจะน้อยลงเช่นกัน

3) อายุใบของพืช ใบที่มีอายุน้อย จะมีการสะสมของไข่และผิวเคลือบยังไม่หนาเต็มที่ธาตุอาหารจึงเคลื่อนที่เข้าไปได้เร็วกว่าใบแก่

4) ลักษณะผิวใบ ผิวใบล่างของพืชส่วนใหญ่จะดูดใช้ธาตุอาหารได้มากกว่าผิวใบบนเนื่องจากผิวใบล่างมีจำนวนปากใบและความถี่ของเอ็กโตเดสมาตา (ectodesmata) ต่อพื้นที่มากกว่าผิวใบบน นอกจากนี้ผิวใบที่มีขนจะมีอัตราการดูดใช้ธาตุอาหารสูงกว่าผิวใบเรียบ

ดังนั้น การให้ปุ๋ยทางใบจึงมีหลายปัจจัยที่มีความเป็นประโยชน์ได้ของธาตุอาหารพืช จึงมีผลทำให้ปุ๋ยที่พืชได้รับจะมีปริมาณน้อย เปลืองแรงงาน หากใช้ไม่เหมาะสมจะไม่คุ้มค่า จึงมีการเลือกใช้ปุ๋ยทางใบในพืชที่ตอบสนองต่อการให้ปุ๋ยทางใบในสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการดูดซับธาตุอาหารพืชของราก หรือในการเพิ่มเติมเสริมให้แก่พืชในช่วงที่เหมาะสม หรือการเร่งการเจริญเติบโตบางกรณีเท่านั้น (มุกดา, 2544)

3. อิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีความต้องการไนโตรเจนเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต เช่นเดียวกับพืชชนิดอื่น ๆ (Hardy *et al.*, 1980) แต่ผู้ปลูกถั่วเหลืองโดยทั่วไปก็ไม่ได้ให้ความสนใจเรื่องการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมากนัก เพราะเชื่อว่าถั่วเหลืองสามารถตรึงไนโตรเจนได้เพียงพอกับความต้องการ (Nelson and Weaver, 1980) อย่างไรก็ตาม การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนยังมีความจำเป็นในระยะแรกหรือระยะก่อนกระบวนการตรึงไนโตรเจนจะเริ่มขึ้น การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระยะนี้จะช่วยให้พืชมีการเจริญเติบโตดีขึ้น และส่งผลให้ผลผลิตสูงขึ้นในที่สุด (Harfield *et al.*, 1974) แต่ก็มีรายงานว่า การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนจะส่งผลลดกระบวนการตรึงไนโตรเจนได้ และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนระยะแรกของการเจริญให้ผลไม่แตกต่างจากที่ไม่ใส่ (Lamb *et al.*, 1990) เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วกันว่าไนโตรเจนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลสูงต่อการยับยั้งการตรึงไนโตรเจนของไรโซเบียม ด้วยเหตุนี้ ถั่วดินที่ปลูกถั่วเหลืองมีความอุดมสมบูรณ์ของไนโตรเจนอยู่สูงหรือถ้ามีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้ในปริมาณที่มาก ก็จะมีผลลดกระบวนการตรึงไนโตรเจน แต่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราและเวลาที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน

สุริพร (2529) ศึกษาเกี่ยวกับการให้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตแก่ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4 ในอัตราเท่ากับ 0, 20, 40 และ 60 กก./ไร่ รวมทั้งมีการคลุกเชื้อไรโซเบียมกับเมล็ดก่อนปลูก พบว่า ผลผลิต

ต่อต้านของถั่วเหลืองจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตเพิ่มขึ้น ส่วนอัตราการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดถั่วเหลืองนั้นไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าระยะเวลาการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดแตกต่างกัน โดยถั่วเหลืองที่ได้รับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตในอัตรา 60 กก. ในโตรเจน/ไร่ มีระยะเวลาการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดยาวที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อถั่วเหลืองได้รับปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณสูงจะมีผลทำให้ถั่วเหลืองเจริญเติบโตและสะสมน้ำหนักแห้ง รวมทั้งปริมาณไนโตรเจนในส่วนลำต้นและใบมากขึ้น ซึ่งเพียงพอสำหรับการสร้างฝักและเมล็ด ส่งผลให้ถั่วเหลืองมีจำนวนฝักต่อต้านเพิ่มขึ้น และนอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงจะทำให้ระยะเวลาการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดยาวขึ้น ผลผลิตต่อต้านก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ขณะเดียวกันการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงก็มีผลไปยังยังขบวนการสร้างปมของถั่วเหลืองได้ โดยทำให้จำนวนปมและน้ำหนักแห้งปมลดลง ซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองโดยถั่วเหลืองจะตรึงไนโตรเจนได้ลดลง เมื่อได้รับปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้น การตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองก็จะเพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโตและสูงสุดในระยะแรกของการติดฝัก หลังจากนั้นจะลดลง

4. การแช่เมล็ดถั่วเหลืองในน้ำก่อนปลูก

การงอกของเมล็ดพืชจำเป็นต้องอาศัยน้ำ ในถั่วเหลืองเมล็ดจะงอกได้ถ้ามีปริมาณน้ำในเมล็ดอยู่มากกว่า 50 % ซึ่งเมล็ดถั่วเหลืองจะสามารถดูดความชื้นจากดินที่มีปริมาณน้ำไม่น้อยกว่า - 6.6 bars โดยถั่วเหลืองจะใช้เวลา 5 วันในการงอก เมล็ดสามารถอยู่ได้ในดินแห้งโดยไม่สูญเสียความงอกได้เป็นเวลานาน (อภิพรธ, 2545) เนื่องจากถั่วเหลืองเป็นเมล็ดที่ต้องการความชื้นในการงอกสูงจึงได้มีผู้ศึกษาการแช่เมล็ดในน้ำก่อนปลูก การเพิ่มความชื้นแก่เมล็ดถั่วที่มีขนาดใหญ่สามารถช่วยให้เมล็ดงอกได้ดีขึ้นเนื่องจากลดความเสียหายจากการสำลักน้ำ นิตย์และคณะ (2539) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการปรับระดับความชื้นของเมล็ดถั่วเหลืองก่อนปลูกต่อคุณภาพการงอก โดยปรับความชื้นของเมล็ดถั่วให้อยู่ในระดับ 8, 12, 16 และ 20 % โดยเก็บเมล็ดไว้ในโถดูดความชื้นที่มี silica gel หรือวางเมล็ดบนตะแกรงเหนือน้ำในภาชนะปิด เมล็ดที่ปรับความชื้นแล้ว นำไปทดสอบความงอกมาตรฐานช้าละ 50 เมล็ด เปรียบเทียบระหว่างเมล็ดที่ไม่แช่น้ำและแช่น้ำ 2 ชั่วโมง ก่อนเพาะ ใช้เมล็ดถั่วเหลือง 13 ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า การเพิ่มความชื้นของเมล็ดจาก 8 เป็น 20 % สามารถเพิ่มความงอกมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญในทุก lot ที่ทดสอบ และการแช่น้ำ 2 ชั่วโมง ทำความเสียหายกับเมล็ดทุก lot แต่ความชื้นช่วยเพิ่มความงอกทั้งของเมล็ดที่เพาะโดยแช่น้ำและไม่แช่น้ำก่อนปลูกเป็นลำดับจาก 76 ถึง 91% เมื่อนำมาทดสอบความงอกในสภาพไร่

พบว่า การจุ่มเมล็ดในน้ำแล้วบ่มไว้ 1 คืนก่อนเพาะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง ในการปรับปรุงคุณภาพการงอกและสะดวกในการปฏิบัติ ซึ่งใช้ได้ผลดีที่สุดกับถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 ที่สามารถเพิ่มจำนวนต้นกล้าเป็นสองเท่าของเมล็ดที่ไม่ได้ปรับสภาพ (control) ได้สูงถึง 31-37 %

ถั่วเหลืองเป็นเมล็ดพันธุ์ที่มีเปลือกหุ้มเมล็ดบาง และมีองค์ประกอบทางเคมี เช่น โปรตีนสูง อัตราการดูดซึมน้ำจึงสูงกว่าเมล็ดที่เป็นแป้งและไขมัน โดยน้ำจะทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนนุ่ม เมล็ดมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากผนังเซลล์และโปรโตพลาสซึมขยายตัว เมล็ดสามารถดูดซึมน้ำออกซิเจนเข้าสู่ภายในเมล็ดสะดวกขึ้น กิจกรรมทางชีวเคมีต่าง ๆ ในเมล็ดซึ่งเคยหยุดนิ่งหรือเกิดช้านั้นมีกิจกรรม มากขึ้นและมีอัตราสูงขึ้น มีการย่อยและนำแร่ธาตุอาหารจากส่วนที่เก็บสะสมไปยังจุดเจริญ นอกจากนี้ยังเป็นพาหะและช่วยในการขนย้ายถ่ายเทอาหารต่าง ๆ ที่เมล็ดเก็บสะสมไว้ ทำให้สามารถถูกนำไปใช้รวดเร็วขึ้น (จวงจันทร, 2529) อย่างไรก็ตาม การงอกของเมล็ดถั่วเหลืองนอกจากจะขึ้นอยู่กับความชื้นแล้ว จะต้องอาศัยปัจจัยอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิที่เหมาะสม และลักษณะของดินที่เกื้อกูลต่อการงอกของเมล็ดด้วย ดังนั้นหากดินร่วนซุยและมีความชื้นเพียงพอก็จะทำให้การงอกของเมล็ดเป็นไปได้ด้วยดี

จากการตรวจเอกสารที่ปรากฏอยู่ในเล่มนี้จะเห็นได้ว่า การปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำนั้น ปริมาณน้ำที่ต่ำกว่าระดับผิวดินบนแปลงจะก่อให้เกิดสภาวะของการขาดออกซิเจนในรากแก้ว ทำให้รากแก้วชะงัก ลดการเจริญเติบโตและไม่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ ปรากฏอาการที่แสดงออกในลำต้นและใบในลักษณะของสีเขียว (chlorosis) ซึ่งเป็นอาการของการขาดธาตุไนโตรเจนด้วย ต่อเมื่อถั่วเหลืองสามารถปรับตัวกับสภาพดังกล่าวแล้ว ส่งผลให้พืชสร้างรากประเภท secondary roots และเริ่มตรึงไนโตรเจนได้จนทำให้พืชมีปริมาณของไนโตรเจนในลำต้นสูงขึ้นอีกครั้งหนึ่ง อาการเหลืองซีดหรือ chlorosis ก็จะหายไป ถั่วเหลืองก็จะเจริญเติบโตโดยปกติ และเนื่องจากสภาพของพืชที่เจริญเติบโตอยู่ในสภาพที่ไม่ขาดน้ำและมีการตรึงไนโตรเจนในปริมาณสูง ตลอดจนผ่านสภาวะการปรับตัวจากความเครียดอันเกิดจากดินอึดตัวด้วยน้ำมาแล้ว จึงทำให้ถั่วเหลืองสะสมน้ำหนักแห้งได้สูงกว่าเมื่อปลูกในสภาพปกติ และให้ผลผลิตที่สูงกว่าการปลูกในสภาพที่มีการให้น้ำปกติ (conventional irrigation)

ในระยะแรกของการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองหลังออกจวบจนถึงการปรับตัว (acclimatization) การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองเมื่อแสดงออกโดยกราฟ sigmoid curve น่าจะอยู่ในระยะ lag phase โดยการตรวจเอกสารที่ผ่านมา แม้ผู้วิจัยต่าง ๆ จะไม่ได้ทำการวัดระยะเวลาของ

lag phase โดยสมบูรณ์ แต่ก็ได้รายงานตรงกันว่าระยะเวลาดังกล่าวของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดิน อิ่มตัวด้วยน้ำยาวนานมาก กว่าถั่วเหลืองจะพัฒนาการเจริญเติบโตถึงระยะ log phase ก็ใช้เวลานาน มากเกินไป สภาพการปลูกแบบดินอิ่มตัวด้วยน้ำบางสภาพ เช่น การปลูกในฤดูฝนอาจจะควบคุม ระดับน้ำไม่ได้ หรือการใช้พันธุ์ที่มีอายุสั้นก็อาจจะไม่ช่วยให้พืชปรับตัวได้ดีนัก แนวความคิดใน การย่นระยะ lag phase ให้สั้นลงโดยการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ตลอดจนการหุ้มเมล็ดจึงเป็นแนวความคิด และสมมติฐานของการศึกษาในครั้งนี้

ในประการแรกการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนช่วยน่าจะสามารถย่นระยะ lag phase ให้สั้นลงและทำให้ พืชปรับตัวได้เร็วขึ้น เนื่องจากก่อนการปรับตัวของถั่วเหลืองในระบบดินอิ่มตัวด้วยน้ำนั้น ถั่ว เหลืองแสดงอาการขาดธาตุไนโตรเจน ดังนั้นการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในระยะแรก ๆ ของการ เจริญเติบโต (ระยะ lag phase) อาจจะทำให้ถั่วเหลืองรอดพ้นสภาพของการหิวไนโตรเจน (nitrogen hunger) ก่อนการตรึงไนโตรเจนที่จะเกิดขึ้นภายหลัง หรือไนโตรเจนอาจเป็นตัวช่วยให้พืชมีการ สร้าง secondary root ได้เร็วขึ้น และจะทำให้พืชสามารถตรึงไนโตรเจนโดยสมบูรณ์ ประกอบกับ การดูดซับแร่ธาตุอื่น ๆ เพื่อการเจริญเติบโตได้ภายหลัง ส่วนการหุ้มเมล็ดนั้นเป็นการช่วยให้พืช เริ่มต้นการเจริญเติบโตและพัฒนาการ จึงน่าจะทำให้ระยะ lag phase ของพืชลดลงได้ การหุ้ม เมล็ดนั้นให้อยู่ในพืชที่จำเป็นต้องมีการเจริญเติบโตในสภาพวิกฤติ อาทิเช่น การหุ้มเมล็ดของข้าว ก่อนการหว่านลงนา ซึ่งมีการทำเทือกปลูกข้าวในระบบบนน้ำตม จึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ช่วยให้พืช มีความพร้อมที่จะเจริญเติบโตได้ทันทีในสภาพที่ไม่ปรกติ การหุ้มเมล็ดให้กับถั่วเหลืองในสภาพดิน อิ่มตัวด้วยน้ำก็เช่นกัน เป็นวิธีการเตรียมพืชให้พร้อมในการที่จะต้องเจริญเติบโตในสภาพดินอิ่มตัว ด้วยน้ำ วิธีการดังกล่าวอาจช่วยให้ถั่วเหลืองย่นระยะ lag phase ให้สั้นลงได้

ในการศึกษาถึงความแตกต่างในการใช้ปุ๋ยยูเรียทั้งในสภาพที่ให้ปุ๋ยทางดินและให้ปุ๋ยทางใบ ก็เป็นแนวคิดในการนำมาสู่วิธีการจัดการของถั่วเหลืองที่จะปลูกในดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยผู้วิจัยได้ ตระหนักว่าการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำนั้น เป็นการง่ายที่ปุ๋ยไนโตรเจนจะสูญเสีย ไปจากการละลายลงไปในน้ำหรือ leaching ลงไปในดินได้โดยง่าย ดังนั้น การศึกษาถึงการให้ปุ๋ย ทางใบจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะทำให้ได้คำตอบถึงการจัดการปุ๋ยในถั่วเหลืองเมื่อปลูกในสภาพ ดินอิ่มตัวด้วยน้ำต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง พันธุ์เชียงใหม่ 60
2. ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต สูตร 0-46-0 และปุ๋ยยูเรีย สูตร 46-0-0
3. เชื้อไรโซเบียมสำหรับคลุกเมล็ดถั่วเหลือง (*Bradyrhizobium japonicum*)
4. เครื่องชั่งละเอียด
5. ตู้อบพืช
6. ถังเก็บตัวอย่างพืช
7. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างพืชโดยวิธีสกัดเนื้อเยื่อ
8. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช
9. สารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืช
10. Chlorophyll Meter รุ่น SPAD 502 ผลิตโดย Minolta Camera CO., LTD, Japan
11. Porometer รุ่น AP4 ผลิตโดย Delta-T Devices, Cambridge, U. K

วิธีการ

1. การวางแผนการทดลอง

ในการทดลองนี้ปลูกถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยปลูก 2 สภาพ คือ ปลูกถั่วเหลืองในสภาพการให้น้ำปกติ (conventional irrigation; CI) และการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated soil culture; SSC) โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomize Complete Block design ; RCB จำนวน 3 ซ้ำ ในแต่ละสภาพการปลูก ซึ่งประกอบด้วยดำรับการทดลอง 5 ดำรับ ดังนี้

1. การปลูกถั่วเหลืองในสภาพการให้น้ำแบบปกติ (conventional irrigation; CI)
2. การปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated soil culture; SSC)
3. การหุ้มเมล็ดก่อนปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (pre-germinated seeds on saturated soil)

4. การปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำและการให้ปุ๋ยในโตรเจนทางดินสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กก. N/ไร่ เมื่อถั่วเหลืองอายุ 18 และ 21 วันหลังปลูก
5. การปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำและการให้ปุ๋ยในโตรเจนทางใบสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กก. N/ไร่ เมื่อถั่วเหลืองอายุ 18 และ 21 วันหลังปลูก

2. การเตรียมดิน

เตรียมดินโดยการไถตะ 1 ครั้ง ไถแปร 1 ครั้ง แล้วพรวนเพื่อกำจัดเศษวัชพืช ตลอดจนทำให้ดินมีขนาดเล็กและร่วนซุย ก่อนพรวนใส่ปุ๋ย triple super phosphate (TSP) สูตร 0-46-0 ในอัตราเท่ากับ 10 กิโลกรัมต่อไร่ ในรูปของ P_2O_5 เป็นปุ๋ยรองพื้น

ในการปลูกถั่วเหลืองในสภาพการให้น้ำปกติ ใช้แปลงย่อย (individual plot) จำนวน 3 แปลงย่อยต่อการทดลอง โดยแต่ละแปลงย่อยเป็นตัวแทนของแต่ละซ้ำ (replication) ประกอบด้วยแปลงปลูก 2 แปลง จึงทำให้มีจำนวนหน่วยทดลองทั้งหมด 6 แปลงปลูก ซึ่งในแต่ละแปลงมีขนาดกว้าง 3 เมตร ยาว 4 เมตร ระยะห่างระหว่างแปลงปลูกกว้าง 1 เมตร คิดเป็นพื้นที่การทดลองเท่ากับ 150 ตารางเมตร

สำหรับการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ ใช้แปลงย่อย (individual plot) จำนวน 3 แปลงย่อยต่อการทดลอง โดยแต่ละแปลงย่อยเป็นตัวแทนของแต่ละซ้ำ (replication) ประกอบด้วยแปลงปลูก 2 แปลง จึงทำให้มีจำนวนหน่วยทดลองทั้งหมด 24 แปลงปลูก ซึ่งในแต่ละแปลงมีขนาดกว้าง 3 เมตร ยาว 4 เมตร ทำโดยยกแปลงดังกล่าวให้สูงขึ้นประมาณ 0.30 เมตร และในแต่ละแปลงปลูกคันด้วยร่องน้ำกว้าง 1 เมตร ลึก 0.30 เมตร โดยรอบแปลงทดลองการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำยกคันดินสูงประมาณ 0.50 เมตร คันน้ำล้อมรอบแปลงปลูกทั้งหมด เพื่อให้ดินเกิดสภาพน้ำท่วมขังทั่วทั้งแปลง เมื่อคิดเป็นพื้นที่การทดลองของการปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำทั้งหมดเท่ากับ 525 ตารางเมตร ดังนั้น พื้นที่การทดลองทั้งหมดทั้งการปลูกถั่วเหลืองในสภาพการให้น้ำปกติและการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ คิดเป็นพื้นที่รวมทั้งหมด 675 ตารางเมตร

3. การปลูก

ก่อนปลูกคลุกเมล็ดถั่วเหลืองด้วยเชื้อไรโซเบียม (*Bradyrhizobium japonicum*) ทุกตำรับการทดลอง หยอดเมล็ดตามตำรับการทดลองหลุมละ 5 เมล็ด โดยใช้ระยะห่างระหว่างแถว 50 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างหลุม 20 เซนติเมตร เมื่องอกแล้วถอนแยกและปลูกซ่อมให้เหลือ 2 ต้นต่อหลุม คิดเป็นอัตราปลูก 200,000 ต้นต่อเฮกตาร์ กำจัดวัชพืชโดยใช้แรงงานคนและพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืชตามความเหมาะสม

สำหรับตำรับการทดลองที่ 3 ซึ่งได้แก่ การหุ้มเมล็ดก่อนปลูกในสภาพดินอิมด้วยน้ำ (saturated pre-germinated) นำเมล็ดไปแช่ในน้ำสะอาดแล้วหุ้มด้วยผ้าสะอาดเพื่อให้เมล็ดงอกประมาณ 12 ชั่วโมง (1 คืน) ก่อนปลูก เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองก่อนปลูก

4. การให้น้ำ

การปลูกถั่วเหลืองในสภาพการให้น้ำปกติ ให้น้ำตามปกติ โดยรดน้ำให้ทั่วแปลงหลังปลูกด้วยสายยางรดน้ำ และรดน้ำติดต่อกันทุก ๆ 3 วัน จนกระทั่งถั่วเหลืองสุกแก่

การปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมด้วยน้ำ ปล่อน้ำตามร่องทันทีเมื่อถั่วเหลืองมีระยะการเจริญเติบโต V_1 โดยควบคุมระดับน้ำให้อยู่ต่ำกว่าผิวหน้าดินบนแปลงปลูก 10 เซนติเมตรตลอดฤดูปลูก เมื่อถั่วเหลืองเจริญเติบโตถึงระยะ R_8 จึงปล่อน้ำทิ้งทั้งหมดแล้วเก็บเกี่ยวแปลงทดลอง

5. การใส่ปุ๋ย

การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดิน ใส่ปุ๋ยวิทยาศาสตร์สูตร 46-0-0 อัตรา 10 กิโลกรัม N ต่อไร่เมื่อถั่วเหลืองอายุ 18 และ 21 วันหลังปลูก

การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางใบ ใส่ปุ๋ยวิทยาศาสตร์สูตร 46-0-0 อัตรา 10 กิโลกรัม N ต่อไร่ละลายน้ำฉีดพ่นบนทรงพุ่ม โดยฉีดพ่นเมื่อถั่วเหลืองอายุ 18 วัน และ 21 วันหลังปลูก

6. การเก็บเกี่ยว เก็บเกี่ยวถั่วเหลืองในระยะที่เมล็ดในฝักแก่เต็มที่แล้ว

7. การบันทึกข้อมูล

7.1 การเก็บตัวอย่าง

7.1.1 การสะสมน้ำหนักแห้ง เก็บตัวอย่างต้นถั่วเหลืองจากแถวที่ 2 และ 3 ในแต่ละแปลงย่อย โดยสุ่มถอนตัวอย่างต้นถั่วเหลือง 4 ต้นต่อแปลงย่อย ในการสุ่มแบบเป็นระบบ หรือ systematic sample (Pookpakdi, 1977) โดยสุ่มสลับระหว่างแปลงปลูกที่ 1 และแปลงปลูกที่ 2 ภายในแปลงย่อย (individual plot) เดียวกัน โดยเก็บตัวอย่างตามระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง (growth stage) (Fehr and Caviness, 1977) คือ ระยะ $V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, R_1, R_2, R_4, R_6$ และ R_8 รวมเก็บตัวอย่างทั้งหมด 10 ครั้ง นำมาวัดการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองโดยวัดความสูงของต้น จำนวนกิ่งต่อต้น จำนวนข้อต่อต้น และจำนวนฝักต่อต้น หลังจากนั้นแยกถั่วเหลืองออกเป็นส่วน ๆ นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80°C นาน 72 ชั่วโมง เพื่อหาการสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- น้ำหนักของใบ
- น้ำหนักของลำต้นและก้านใบ
- น้ำหนักของฝักและเมล็ด

7.1.2 การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของถั่วเหลือง (Growth analysis)

โดยนำค่าที่ได้จากการสะสมน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองในข้อ 7.1.1 มาวิเคราะห์การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองและองค์ประกอบทางสรีรวิทยาของการผลิตพืช เช่น พื้นที่ใบ ค่า Relative Growth Rate, RGR; Net Assimilation Rate, NAR; Leaf Area Ratio, LAR; Specific Leaf Weight, SLW; Leaf Area Index, LAI และ Crop Growth Rate, CGR (เอ็จ, 2546) ตามสูตรคำนวณดังต่อไปนี้

$$\text{Relative Growth Rate (RGR)} = \frac{1}{W} \cdot \frac{dW}{dt}$$

$$\text{Net Assimilation Rate (NAR)} = \frac{1}{A} \cdot \frac{dW}{dt}$$

$$\text{Leaf Area Ratio (LAR)} = \frac{A}{W}$$

$$\text{Specific Leaf Weight (SLW)} = \frac{W_L}{A}$$

$$\text{Leaf Area Index (LAI)} = \frac{A_L}{A_G}$$

$$\text{Crop Growth Rate (CGR)} = \frac{1}{A_G} \cdot \frac{dW}{dt}$$

กำหนดให้

- W = น้ำหนักพืชทั้งหมด (total plant weight)
- dW = ความแตกต่างของน้ำหนักพืช W_1 และ W_2
- dt = ช่วงเวลาระหว่าง t_1 และ t_2
- A, A_L = พื้นที่ใบทั้งหมด (total leaf area)
- W_L = น้ำหนักใบพืชทั้งหมด (total plant weight)
- A_G = พื้นที่ที่พืชขึ้นปกคลุม (ground area which supports A_L)

7.2 ข้อมูลทางสรีรวิทยา (Physiological data) โดยการวัดและวิเคราะห์โดยอาศัยใช้เครื่องมือประเภทต่าง ๆ ได้แก่

7.2.1 การวัดความเขียวของใบ โดยใช้เครื่องมือ Chlorophyll Meter รุ่น SPAD 502 ผลิตโดย Minolta Camera CO., LTD, Japan

7.2.2 การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบพืชโดยใช้สารเคมี DMSO (สาวิตร, 2545 และ Hiscox and Israelstam, 1979)

7.2.3 วัดการชักนำการปิดเปิดของปากใบ โดยใช้เครื่องมือ Porometer รุ่น AP4 ผลิตโดย Delta-T Devices, Cambridge, U. K

7.2.4 การวัดการตรึงไนโตรเจนในถั่วเหลืองโดยวิธีสกัดเนื้อเยื่อ (เบญจวรรณและคณะ, 2532 และ Peoples *et al.*, 1989)

7.3 ข้อมูลการพัฒนาการเจริญเติบโต (Phenological characteristic) ประกอบด้วย

- 7.3.1 วันงอกโผล่พื้นดิน 50 % (date of emergence)
- 7.3.2 วันออกดอก 50 % (days to flowering)
- 7.3.3 วันสิ้นสุดการออกดอก (days to complete flowering)
- 7.3.4 วันสุกแก่ (days to maturity)

7.4 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

เมื่อถั่วเหลืองสุกแก่ เก็บเกี่ยวถั่วเหลืองโดยใช้พื้นที่เก็บเกี่ยว 2 ตารางเมตร ในแต่ละแปลงย่อย โดยสุ่มเก็บจากแถวที่ 5 จากนั้นสุ่มตัวอย่างจากต้นถั่วเหลืองที่เก็บเกี่ยวทั้งหมด จำนวน 4 ต้น เพื่อวิเคราะห์หา ความสูง จำนวนฝักต่อต้น และ จำนวนเมล็ดต่อฝัก ถั่วเหลืองที่เก็บเกี่ยวแล้ว นำมากะเทาะเปลือก แล้วนำไปตากแดด 3 ครั้ง เพื่อลดความชื้นในเมล็ดให้มีความชื้นไม่เกิน 13 % สำหรับผลผลิตนำมาวิเคราะห์หาน้ำหนักเมล็ดจากต้นเก็บเกี่ยวทั้งหมด แล้วคำนวณเป็นน้ำหนัก กิโลกรัมต่อไร่ น้ำหนัก 100 เมล็ด (หน่วยเป็นกรัมต่อ 100 เมล็ด) และดัชนีการเก็บเกี่ยว (harvest index, HI) โดยคำนวณตามสูตร ดังนี้

$$\text{Harvest index (HI)} = \frac{\text{Economic yield}}{\text{Biological yield}} \times 100 \quad (\text{Nichiporovich, 1960})$$

7.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ของข้อมูลตามแผนการทดลอง และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสิ่งแวดล้อม (treatment) โดยใช้ค่า Least Significant Different Test (LSD)

8. สถานที่ทำการทดลอง

สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง

9. ระยะเวลาทำการทดลอง

การทดลองนี้เริ่มตั้งแต่เดือนกรกฎาคม สิ้นสุดการทดลองเดือนตุลาคม พ.ศ. 2547

ผลและวิจารณ์

ผล

1. การเจริญเติบโตและลักษณะการให้ผลผลิตของถั่วเหลือง

1.1 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตถั่วเหลือง

จากตารางที่ 1 แสดงถึงผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดิน อิ่มตัวด้วยน้ำและได้รับสิ่งทดลองต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับปลูกในสภาพปกติ จากตาราง ดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำและในสภาพปกติ ไม่ส่งผล ให้ผลผลิตของถั่วเหลืองในทุกสิ่งทดลองแตกต่างกันทางสถิติแต่อย่างใด เช่นเดียวกับจำนวนฝักต่อ ต้น จำนวนเมล็ดต่อฝักและขนาดของเมล็ดของถั่วเหลืองซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละ สิ่งทดลอง อย่างไรก็ตาม จะเห็นว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำทุกการทดลองมี แนวโน้มให้ผลผลิตสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติ โดยถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัว ด้วยน้ำมีค่าเฉลี่ยของผลผลิตเท่ากับ 1,636 กก./เฮกตาร์ ซึ่งสูงกว่าผลผลิตของถั่วเหลืองในสภาพ ปกติ ซึ่งเท่ากับ 1,332 กก./เฮกตาร์ และจากผลการทดลองดังกล่าวได้แสดงให้เห็นว่า ในบรรดาส่ง ทดลองต่าง ๆ ที่ถั่วเหลืองได้รับในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ การได้รับปุ๋ยไนโตรเจน ไม่ว่าจะเป็นทาง ดิน (SSC+N_u) หรือทางใบ (SSC+N_p) มีแนวโน้มที่จะทำให้ผลผลิตของถั่วเหลืองสูงกว่าการปลูกใน สภาพปกติ และสูงกว่าการปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำเมื่อไม่ได้รับสิ่งทดลองอื่น ๆ การที่ใน การศึกษาดังกล่าวไม่พบว่าการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกใน สภาพปกติโดยมีนัยสำคัญทางสถิติดังเช่นที่มีรายงานไว้ในการตรวจเอกสารนั้น น่าจะเป็นเพราะว่า การปลูกถั่วเหลืองในการทดลองนี้ทำขึ้นในฤดูฝน ซึ่งเป็นช่วงที่ปริมาณและความถี่ของฝนที่ตกใน เขตจังหวัดลำปางมีสูง (ภาพผนวกที่ 1) ดังนั้นจึงเป็นความยากลำบากในการที่จะรักษาระดับน้ำใน แปลงที่มีการปลูกถั่วเหลืองในรูปของดินอิ่มตัวด้วยน้ำให้คงที่มีให้เกิดสภาพน้ำท่วมขัง (water logging condition) และเนื่องจากปริมาณฝนที่ตกมากทำให้มีความยากลำบากที่จะสร้างความ แตกต่างระหว่างการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำกับสภาพปกติได้ อย่างไรก็ตาม ใน การทดลองดังกล่าวจะเห็นได้ว่าผลผลิตถั่วเหลืองในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำสูงกว่าในการปลูกใน สภาพปกติ ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของการปลูกถั่วเหลืองด้วยดินอิ่มตัวด้วยน้ำดังที่พบ มาในการศึกษาอื่น ๆ ที่ได้ตรวจเอกสารไว้ ถึงแม้ว่าความแตกต่างของผลผลิตจะไม่ถึงระดับของ ความแตกต่างทางสถิติก็ตาม

ตารางที่ 1 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติและสภาพดิน
 อิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง
 จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547

สิ่งทดลอง*	ผลผลิต (กก./เฮกตาร์)	จำนวนฝัก/ต้น	จำนวนเมล็ด/ฝัก	ขนาดของเมล็ด (กรัม/100 เมล็ด)
CI	1332.93	47.40	0.92	17.7
SSC	1531.22	56.00	1.07	17.67
SSC+ germinated seed	1429.68	61.33	1.28	16.44
SSC+N _s	1663.20	59.27	1.16	16.45
SSC+N _f	1922.58	60.80	1.02	18.17
ค่าเฉลี่ย SSC	1636.67	59.35	1.13	17.18
F-test	ns	ns	ns	ns
LSD _{0.05}	-	-	-	-
CV (%)	4.46	7.16	16.44	7.48

*/ CI = conventional irrigation (สภาพปรกติ)

SSC = saturated soil culture (สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ)

SSC+ germinated seed = saturated soil culture + การหุ้มเมล็ดก่อนปลูก

SSC + N_s = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดิน

SSC + N_f = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางใบ

สำหรับองค์ประกอบผลผลิตของถั่วเหลืองนั้น พบว่า จำนวนฝักต่อต้นของถั่วเหลืองทุกการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ รวมทั้งจำนวนเมล็ดต่อฝักและขนาดของเมล็ด ซึ่งค่อนข้างคงที่ อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของผลผลิตถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำมีแนวโน้มสูงกว่าการปลูกในสภาพปรกติเช่นเดียวกับผลผลิตถั่วเหลืองต่อไร่ การใส่ปุ๋ยในโตรเจนไม่ว่าจะเป็นการใส่ปุ๋ยทางดินหรือการใส่ปุ๋ยทางใบมักจะทำให้องค์ประกอบผลผลิตต่าง ๆ เช่น จำนวนฝัก จำนวนเมล็ดและขนาดของเมล็ดของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำมีแนวโน้มสูงกว่าการปลูกในสภาพปรกติ สำหรับสาเหตุที่การปลูกถั่วเหลืองในลักษณะการหุ้มเมล็ดทำให้จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อฝักและขนาดของเมล็ดสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ น่าจะเป็นเพราะการปลูกถั่วเหลืองในลักษณะเช่นนี้เป็นการปลูกที่ทำให้ถั่วเหลืองเจริญเติบโตและมีความพร้อมในการปรับตัวกับสภาพแวดล้อมของแปลงปลูกได้มากกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ

1.2 การเจริญเติบโตและการพัฒนาการต่าง ๆ ของถั่วเหลือง

1.2.1 ระยะพัฒนาการของถั่วเหลือง

ตารางที่ 2 แสดงถึง ระยะการพัฒนาการของถั่วเหลืองเมื่อปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ โดยได้รับสิ่งทดลองต่าง ๆ จากตารางดังกล่าว พบว่า ถั่วเหลืองที่หุ้มเมล็ดก่อนปลูกสามารถงอกโผล่พื้นดิน ออกดอก สิ้นสุดการออกดอกและถึงระยะสุกแก่ได้เร็วกว่าได้รับการทดลองอื่น ๆ คือ 4, 36, 42 และ 88 วัน ตามลำดับ ส่วนการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำนั้นสำหรับสิ่งทดลอง SSC + N_s และ SSC + N_f ไม่พบว่ามีระยะพัฒนาการที่แตกต่างกัน การปลูกในสภาพปรกติ (CI) นั้นทำให้ถั่วเหลืองมีอายุการพัฒนาการเจริญเติบโตที่ยาวนานกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำทุกการทดลอง โดยมีอายุการออกดอก สิ้นสุดการออกดอกและระยะสุกแก่ ที่นานกว่า คือ 44, 49 และ 94 วัน ตามลำดับ

การที่ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยหุ้มเมล็ดก่อนปลูก (SSC+ germinated seed) สามารถงอกได้เร็วที่สุดและมีอายุการสุกแก่เร็วกว่าได้รับการทดลองอื่นเนื่องจาก น้ำช่วยทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองอ่อนนุ่ม เมล็ดขยายตัวและมีขนาดใหญ่ขึ้น จึงสามารถดูดซึมน้ำออกซิเจนจากภายนอกเข้าสู่เมล็ดสะดวกขึ้น กิจกรรมทางชีวเคมีต่าง ๆ ของพืชมีโอกาสที่จะเริ่มต้นได้ก่อนและดำเนินไปโดยมีอัตราที่สูงขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นพาหะช่วยในการขนย้ายถ่ายเทแร่ธาตุอาหารที่เมล็ดเก็บสะสมไว้ถูกนำไปใช้อย่างรวดเร็ว (จวงจันทร, 2529) ดังนั้น

ตารางที่ 2 ระยะการพัฒนา (phenological characteristics) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติ และสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตร ลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547

สิ่งทดลอง*	Saturated Soil Culture				
	CI	SSC	germinated seed	N _s	N _f
Phenology (DAP)**					
วันออกโผล่พื้นดิน 50 %	6	6	4	6	6
วันออกดอก 50 %	44	39	36	39	39
วันออกดอกเต็มที่	49	46	42	46	46
วันสุกแก่ทางสรีรวิทยา	94	88	84	88	88

*/ CI = conventional irrigation (สภาพปกติ)

SSC = saturated soil culture (สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ)

SSC+ germinated seed = saturated soil culture + การหุ้มเมล็ดก่อนปลูก

SSC + N_s = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดิน

SSC + N_f = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางใบ

**/ DAP = days after planting (จำนวนวันหลังปลูก)

เมล็ดที่หุ้มก่อนปลูกจึงสามารถงอกได้เร็ว และมีการพัฒนาการเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่ได้หุ้มเมล็ดก่อนปลูก

1.2.2 การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองโดยทั่วไป

ความสูงของลำต้น จำนวนข้อต่อต้น จำนวนกิ่งต่อต้นและพื้นที่ใบต่อต้นได้แสดงไว้ในตารางที่ 3 และภาพที่ 1 จากผลการทดลองต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่าความสูงของลำต้น จำนวนข้อ จำนวนกิ่งและพื้นที่ใบต่อต้นของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำและได้รับสิ่งทดลองต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ไปจากถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติในทุกคำรับการทดลอง (ตารางที่ 3 และภาพที่ 1, 2, 3, 4) อย่างไรก็ตาม พบว่า ค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้น จำนวนข้อต่อต้น และพื้นที่ใบต่อต้นของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำทุกคำรับการทดลองมีแนวโน้มสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติ ส่วนค่าเฉลี่ยของจำนวนกิ่งต่อต้นของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำทุกคำรับการทดลองต่ำกว่าถั่วเหลืองในสภาพปกติ เนื่องจากถั่วเหลืองในสภาพปกติมีจำนวนข้อต่อต้นที่ต่ำกว่า ถั่วเหลืองจึงชดเชยและเพิ่มผลผลิตโดยการเพิ่มจำนวนกิ่งต่อต้นให้มากขึ้น

เป็นที่น่าสังเกตว่าการหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทั้งสองวิธี มีผลทำให้ถั่วเหลืองมีความสูงของลำต้น จำนวนข้อต่อต้นและพื้นที่ใบที่สูงกว่าการปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำและสภาพการให้น้ำปกติ ถึงแม้จะไม่แตกต่างกันทางสถิติก็ตาม ดังนั้นจากการทดลองเกี่ยวกับผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต (ตารางที่ 1) และผลการทดลองที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองโดยทั่วไป สิ่งหนึ่งที่น่าจะมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นก็คือ อิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนไม่ว่าจะเป็นการให้ปุ๋ยทางดิน ($SSC + N_s$) หรือการให้ปุ๋ยไนโตรเจนทางใบ ($SSC + N_p$) จะมีผลดีต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ ในทางตรงข้ามการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยไม่มีการให้ปุ๋ยไนโตรเจน อาจนำมาซึ่งการขาดธาตุไนโตรเจนในพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพที่รากขาดประสิทธิภาพของการดูดซึมธาตุอาหารอันเนื่องมาจากการเกิดดินอิมตัวด้วยน้ำหรือน้ำท่วมขัง จึงทำให้การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ และไม่ได้รับปุ๋ยไนโตรเจนลดลง เป็นผลทำให้ปริมาณพื้นที่ใบต่อต้น (ตารางที่ 3 และภาพที่ 1) และจำนวนฝักต่อต้น (ตารางที่ 1) ลดลง เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น ๆ ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ

ตารางที่ 3 ความสูงของลำต้น จำนวนข้อต่อต้น จำนวนกิ่งต่อต้นที่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา (R_8) และพื้นที่ใบต่อต้น (ระยะ R_6) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547

สิ่งทดลอง*	ความสูงของลำต้น (ซม.)	จำนวนข้อ/ต้น	จำนวนกิ่ง/ต้น	พื้นที่ใบ/ต้น (ตร.ซม.)
CI	37.7	13.15	4.17	1002.33
SSC	44.9	12.27	3.50	823.92
SSC+germinated seed	49.4	14.13	3.50	1129.00
SSC+N _s	47.4	13.80	4.08	1101.33
SSC+N _f	48.7	13.80	3.92	1305.42
ค่าเฉลี่ย SSC	47.6	13.50	3.75	1089.92
F-test	ns	ns	ns	ns
LSD _{0.05}	-	-	-	-
CV (%)	4.27	6.52	9.30	4.40

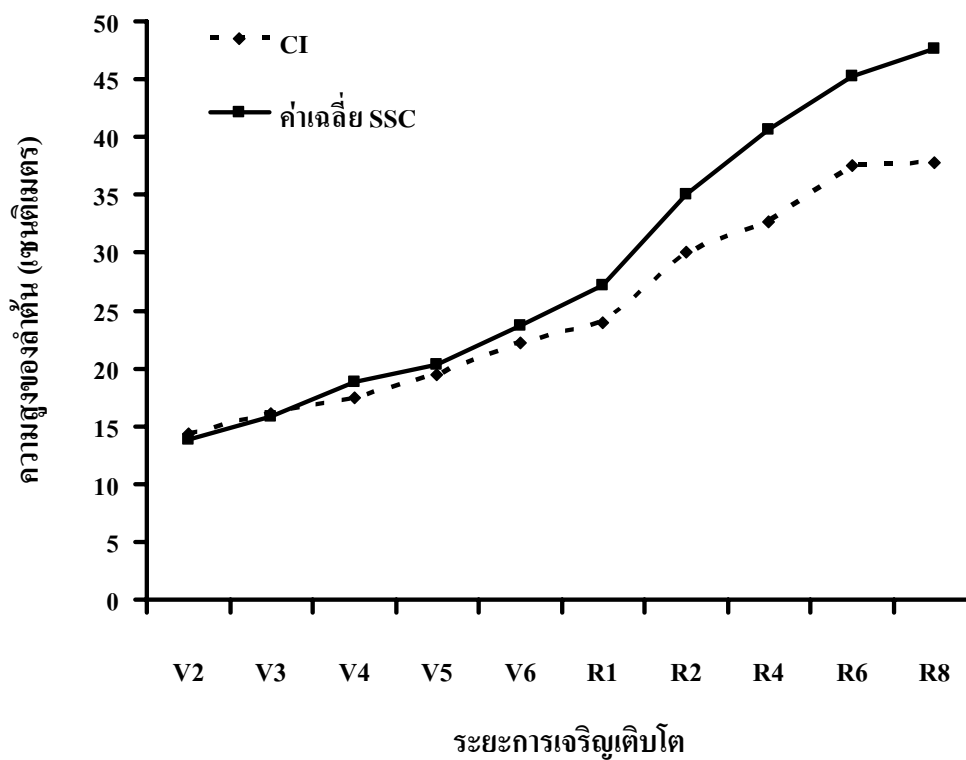
*/ CI = conventional irrigation (สภาพปรกติ)

SSC = saturated soil culture (สภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ)

SSC+ germinated seed = saturated soil culture + การหุ้มเมล็ดก่อนปลูก

SSC + N_s = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดิน

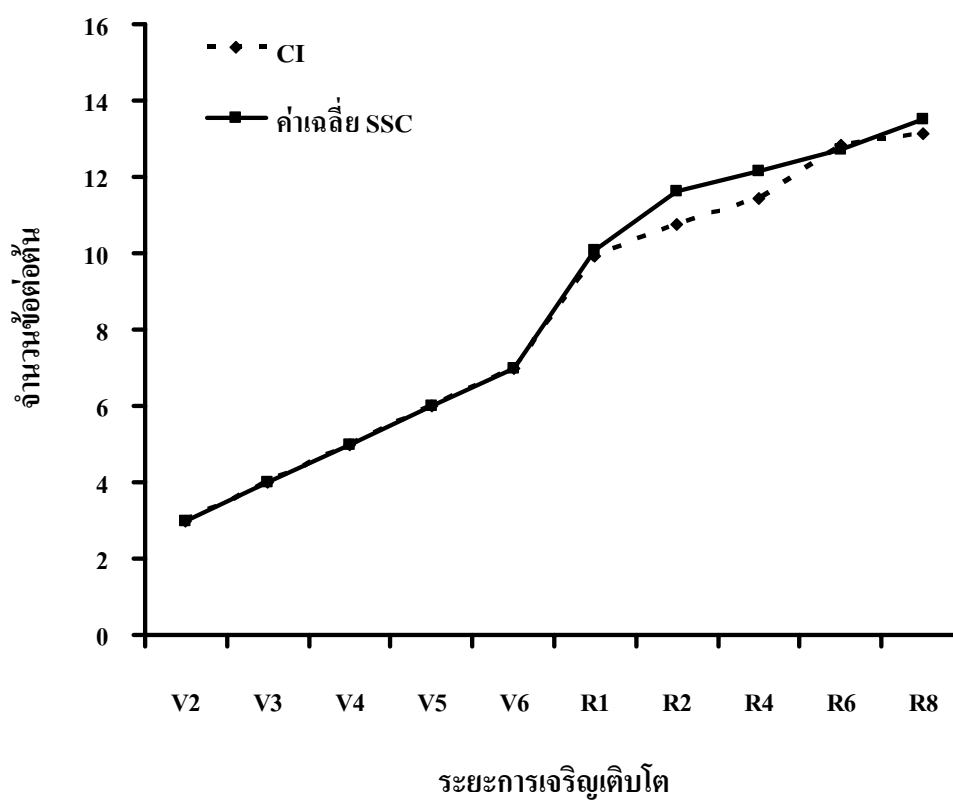
SSC + N_f = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางใบ



ภาพที่ 1 ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติและสภาพดินอืดด้วยน้ำ เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547

หมายเหตุ CI = conventional irrigation (สภาพปกติ)

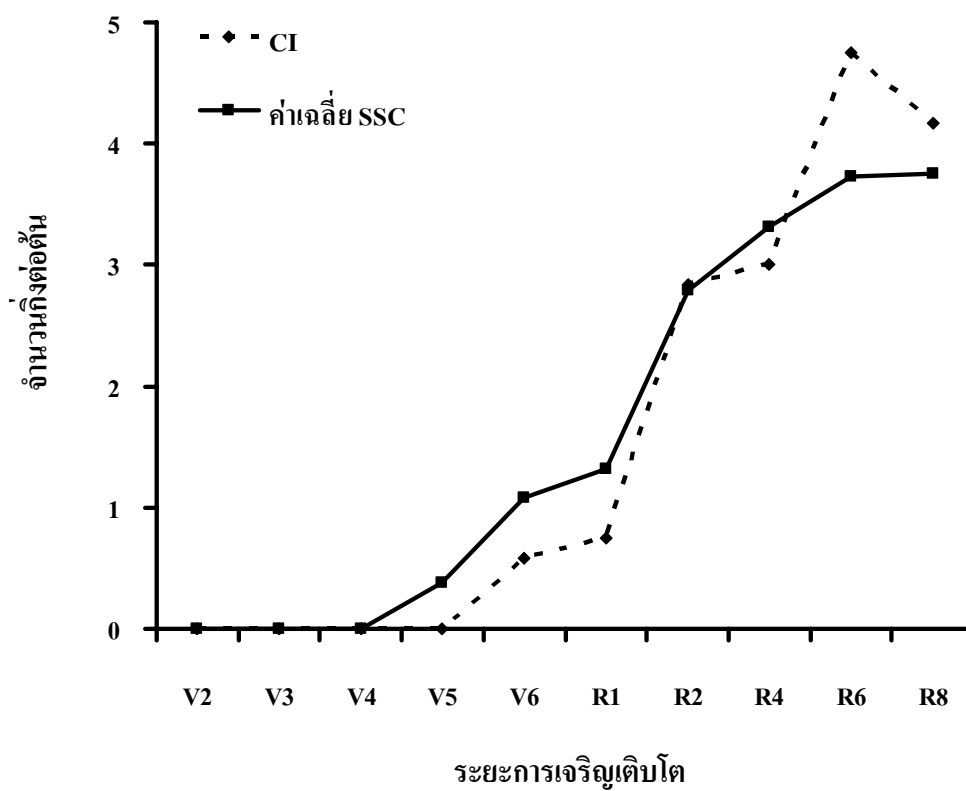
ค่าเฉลี่ย SSC = ค่าเฉลี่ยความสูงลำต้นของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอืดด้วยน้ำ เมื่อได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 2 จำนวนข้อต่อต้นของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติและสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547

หมายเหตุ CI = conventional irrigation (สภาพปกติ)

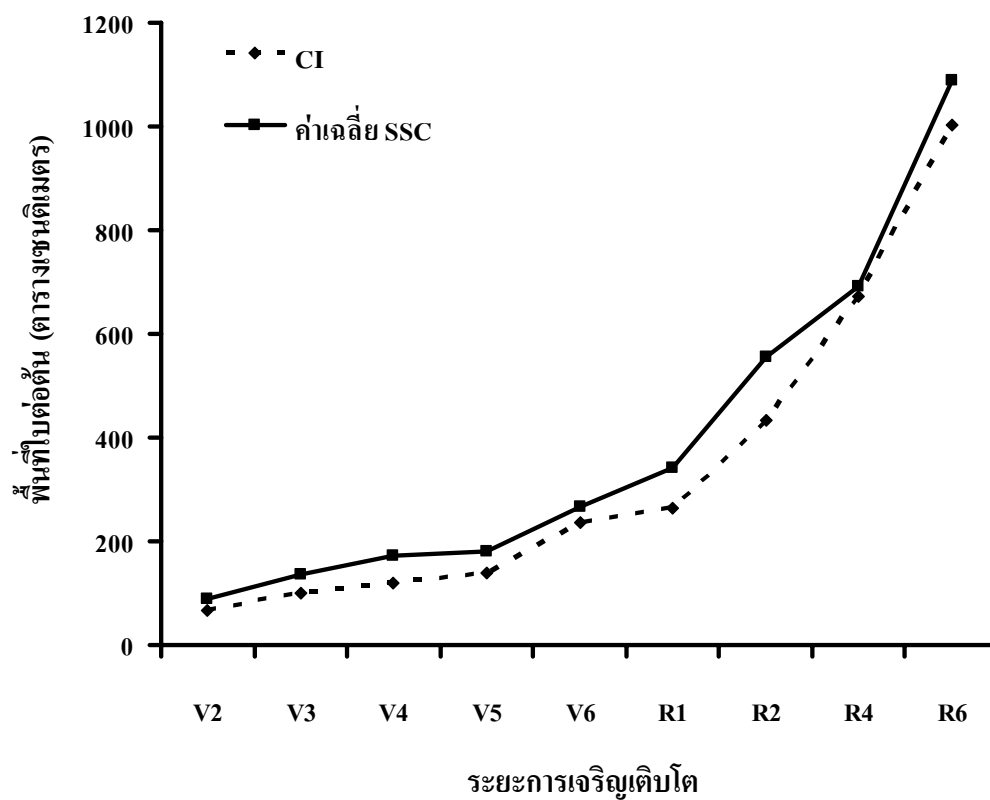
ค่าเฉลี่ย SSC = ค่าเฉลี่ยจำนวนข้อต่อต้นของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 3 จำนวนกิ่งต่อต้นของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติและสภาพดินอืดด้วยน้ำ เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547

หมายเหตุ CI = conventional irrigation (สภาพปกติ)

ค่าเฉลี่ย SSC = ค่าเฉลี่ยจำนวนกิ่งต่อต้นของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอืดด้วยน้ำ เมื่อได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4 พื้นที่ใบตอต้น (ตารางเซนติเมตร) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติและสภาพดิน
อิมตัวด้วยน้ำ เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัด
ลำปาง พ.ศ. 2547

หมายเหตุ CI = conventional irrigation (สภาพปกติ)

ค่าเฉลี่ย SSC = ค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบตอต้นของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ
เมื่อได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน

สำหรับการหุ้มเมล็ดนั้นผลการศึกษาในครั้งนี้ที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต (ตารางที่ 1) ระยะพัฒนาการของถั่วเหลือง (ตารางที่ 2) และการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองโดยทั่วไป (ตารางที่ 3) ได้แสดงให้เห็นได้ชัดว่าสิ่งทดลองดังกล่าวช่วยทำให้การปรับตัวของถั่วเหลืองในแปลงปลูกที่อยู่ในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำดีขึ้น และเป็นผลทำให้การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของถั่วเหลืองในสิ่งทดลองดังกล่าวสูงกว่าการปลูกถั่วเหลืองในสภาพปรกติ และสูงกว่าการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำโดยไม่ได้รับสิ่งทดลองอื่น ๆ เสริม

1.3 การสะสมน้ำหนักแห้งในถั่วเหลือง

1.3.1 การสะสมน้ำหนักแห้งรวมและกรณีการเก็บเกี่ยว

น้ำหนักแห้งรวมของถั่วเหลือง (ต่อต้นและต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร) ตลอดจนกรณีการเก็บเกี่ยวของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติและสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ โดยได้รับสิ่งทดลองต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4 และภาพที่ 5 จากผลการทดลอง พบว่า การปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำในฤดูฝน ซึ่งปริมาณน้ำฝนมีค่อนข้างมากและในช่วงที่มีฝนตกหนักทำให้เกิดความยากลำบากในการควบคุมระดับน้ำให้เป็นไปในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำได้บางครั้ง จึงทำให้ระดับน้ำที่ค่อนข้างมากในระบบ SSC กลายเป็นระดับน้ำท่วมขังในบางครั้งและส่งผลทำให้น้ำหนักแห้งรวมต่อต้น และน้ำหนักแห้งรวมต่อพื้นที่ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำไม่เพิ่มสูงขึ้นกว่าการให้น้ำแบบปรกติ อย่างไรก็ตาม ผลของการทดลองเกี่ยวกับการสะสมน้ำหนักแห้งในตารางที่ 4 ได้ยืนยันให้เห็นได้ว่าการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำนั้น ทำให้น้ำหนักแห้งรวมทั้งต่อพื้นที่และต่อต้นของถั่วเหลืองในสภาพ SSC ที่ไม่มีการให้ปุ๋ยไนโตรเจนเสริมต่ำกว่าการปลูกถั่วเหลืองในสภาพปรกติและต่ำที่สุดในบรรดาสิ่งทดลองต่าง ๆ ด้วยสาเหตุที่รากของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ SSC ขาดประสิทธิภาพในการดูดซับไนโตรเจนในช่วงแรกของการเจริญเติบโต เนื่องจากสภาวะดินอึดตัวด้วยน้ำ หรือในอีกสภาวะการที่ถั่วเหลืองไม่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ดีเนื่องจากสภาพของแปลงปลูกขึ้นและอีกด้วย

ส่วนการหุ้มเมล็ดนั้นผลการศึกษาเกี่ยวกับการสะสมน้ำหนักแห้งรวมได้แสดงให้เห็นได้ชัดว่า การหุ้มเมล็ด (pre-germinated seed) ทำให้ถั่วเหลืองสามารถปรับตัวต่อแปลง

ตารางที่ 4 น้ำหนักแห้งรวม (กรัม/ต้น) เมื่อเก็บเกี่ยวและดรชนีการเก็บเกี่ยวของถั่วเหลืองที่ปลูก
ในสภาพปรกติและสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและ
ฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547

สิ่งทดลอง*	น้ำหนักแห้งรวม (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้งรวม (กรัม/ตร.ม)	ดรชนีการเก็บเกี่ยว (%)
CI	28.33	1133.17	50
SSC	24.79	991.70	49
SSC+germinated seed	28.09	1123.73	52
SSC+N _s	27.28	1091.23	51
SSC+N _f	29.29	1171.43	48
ค่าเฉลี่ย SSC	27.36	1094.53	50
F-test	ns	ns	ns
LSD _{0.05}	-	-	-
CV (%)	2.72	1.83	12.61

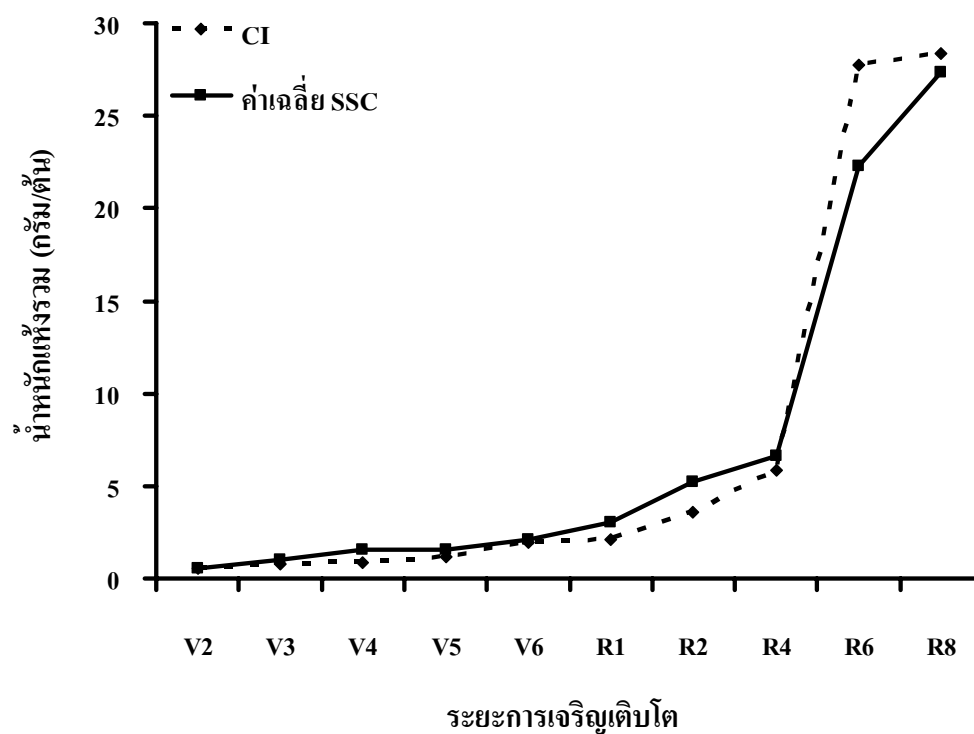
*/ CI = conventional irrigation (สภาพปรกติ)

SSC = saturated soil culture (สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ)

SSC+ germinated seed = saturated soil culture + การหุ้มเมล็ดก่อนปลูก

SSC + N_s = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดิน

SSC + N_f = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางใบ



ภาพที่ 5 น้ำหนักแห้งรวม (กรัม/ต้น) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำเมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547

หมายเหตุ CI = conventional irrigation (สภาพปกติ)

ค่าเฉลี่ย SSC = ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรวมของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ เมื่อได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน

ปลูกได้ดีกว่าการปลูกถั่วเหลืองในสภาพเมล็ดแห้งและการที่ถั่วเหลืองเริ่มมีพัฒนาการในการงอก ก่อนสิ่งทดลองอื่น ๆ ได้ส่งผลให้มีการปรับตัวได้ดีกว่า และทำให้สามารถสร้างน้ำหนักแห้งรวมได้ สูงกว่าการปลูกถั่วเหลืองในสภาพการณ์อื่น ๆ ในการศึกษาครั้งนี้ สำหรับกระบวนการเก็บเกี่ยวถั่วเหลือง ที่ได้รับอิทธิพลจากการปลูกในสภาพดินอืดด้วยน้ำ โดยได้รับสิ่งทดลองต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับปลูกแบบปรกติ ไม่พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติแต่ประการใด

1.3.2 การกระจายตัวของน้ำหนักแห้งในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง

การสะสมน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองในส่วนของใบและลำต้น เมื่อปลูกในสภาพปรกติและสภาพดินอืดด้วยน้ำ โดยได้รับสิ่งทดลองต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5 และ 6 พบว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอืดด้วยน้ำ มีการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนของใบและลำต้นในลักษณะเดียวกัน คือ ถั่วเหลืองสะสมน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโตจนกระทั่งถึงระยะ R_8 โดยเฉพาะเมื่อถั่วเหลืองเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะ reproductive ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอืดด้วยน้ำสามารถปรับตัวให้เจริญเติบโตได้ดีตลอดจนมีพัฒนาการและเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบอย่างชัดเจนและสูงกว่าในสภาพปรกติ และข้อสังเกตอีกประการหนึ่งที่พบคือ การสะสมน้ำหนักแห้งของใบและลำต้นของถั่วเหลืองในสภาพดินอืดด้วยน้ำในสิ่งทดลองที่มีการห่มเมล็ดก่อนปลูก การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดินและการใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางใบ มีแนวโน้มของการสะสมน้ำหนักแห้งของใบและต้นสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอืดด้วยน้ำ (SSC) ที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยในโตรเจนและห่มเมล็ดก่อนปลูก ซึ่งสิ่งที่เกิดขึ้นอาจจะเกิดจากอิทธิพลของสิ่งทดลองที่ใส่เพิ่มเข้าไป นั่นคือปุ๋ยในโตรเจนและการห่มเมล็ดก่อนปลูก ถึงแม้ว่าความแตกต่างดังกล่าวไม่ถึงระดับทางสถิติก็ตาม

การสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนของฝักและเมล็ดของถั่วเหลืองเมื่อปลูกในสภาพปรกติและในสภาพดินอืดด้วยน้ำ พบว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอืดด้วยน้ำที่มีการห่มเมล็ดก่อนปลูกและการใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดินมีการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนของฝักและเมล็ดค่อนข้างสูงกว่าการทดลองอื่น ๆ ซึ่งมีลักษณะเดียวกับการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนของใบและลำต้น ทั้งนี้เกิดจากอิทธิพลของการใส่ปุ๋ยในโตรเจนและการห่มเมล็ดก่อนปลูก แต่การสะสมน้ำหนักแห้งทุกการทดลองเมื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแล้ว พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 7

ตารางที่ 5 น้ำหนักแห้งใบ (กรัม/ต้น) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติและสภาพดินอุ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547

สิ่งทดลอง*	ระยะการเจริญเติบโต				
	V ₃	V ₅	R ₁	R ₄	R ₈
CI	0.42	0.66	1.25	2.96	5.70
SSC	0.46	0.71	1.16	2.86	4.63
SSC+germinated seed	0.58	0.98	2.09	3.57	4.85
SSC+N _s	0.61	0.88	1.88	3.34	4.58
SSC+N _f	0.51	0.76	1.44	3.21	5.83
ค่าเฉลี่ย SSC	0.54	0.83	1.64	3.24	4.97
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
LSD _{0.05}	-	-	-	-	-
CV (%)	15.92	17.21	20.83	19.70	9.61

*/ CI = conventional irrigation (สภาพปรกติ)

SSC = saturated soil culture (สภาพดินอุ่มตัวด้วยน้ำ)

SSC+ germinated seed = saturated soil culture + การหุ้มเมล็ดก่อนปลูก

SSC + N_s = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดิน

SSC + N_f = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางใบ

ตารางที่ 6 น้ำหนักแห้งลำต้น (กรัม/ต้น) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติและสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547

สิ่งทดลอง*	ระยะการเจริญเติบโต				
	V ₃	V ₅	R ₁	R ₄	R ₈
CI	0.38	0.52	0.88	2.54	34.14
SSC	0.41	0.59	1.00	2.37	25.49
SSC+germinated seed	0.48	0.98	1.81	3.82	34.90
SSC+N _s	0.52	0.83	1.63	3.11	34.74
SSC+N _f	0.48	0.70	1.26	3.07	37.52
ค่าเฉลี่ย SSC	0.47	0.78	1.43	3.09	33.16
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
LSD _{0.05}	-	-	-	-	-
CV (%)	18.17	19.15	9.89	23.43	9.44

*/ CI = conventional irrigation (สภาพปรกติ)

SSC = saturated soil culture (สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ)

SSC+ germinated seed = saturated soil culture + การหุ้มเมล็ดก่อนปลูก

SSC + N_s = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดิน

SSC + N_f = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางใบ

ตารางที่ 7 น้ำหนักแห้งฝักและเมล็ดและน้ำหนักแห้งเมล็ด (กรัม/ต้น) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติและสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำเมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง พ.ศ. 2547

สิ่งทดลอง*	น้ำหนักแห้งฝักและเมล็ด		น้ำหนักแห้งเมล็ด
	R ₄	R ₈	R ₈
CI	0.36	56.38	30.77
SSC	0.23	45.17	25.43
SSC+ germinated seed	0.30	58.09	34.87
SSC+N _s	0.23	56.07	34.70
SSC+N _f	0.27	46.29	34.13
ค่าเฉลี่ย SSC	0.26	51.41	32.28
F-test	ns	ns	ns
LSD _{0.05}	-	-	-
CV (%)	14.26	10.17	3.40

*/ CI = conventional irrigation (สภาพปรกติ)

SSC = saturated soil culture (สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ)

SSC+ germinated seed = saturated soil culture + การหุ้มเมล็ดก่อนปลูก

SSC + N_s = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดิน

SSC + N_f = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางใบ

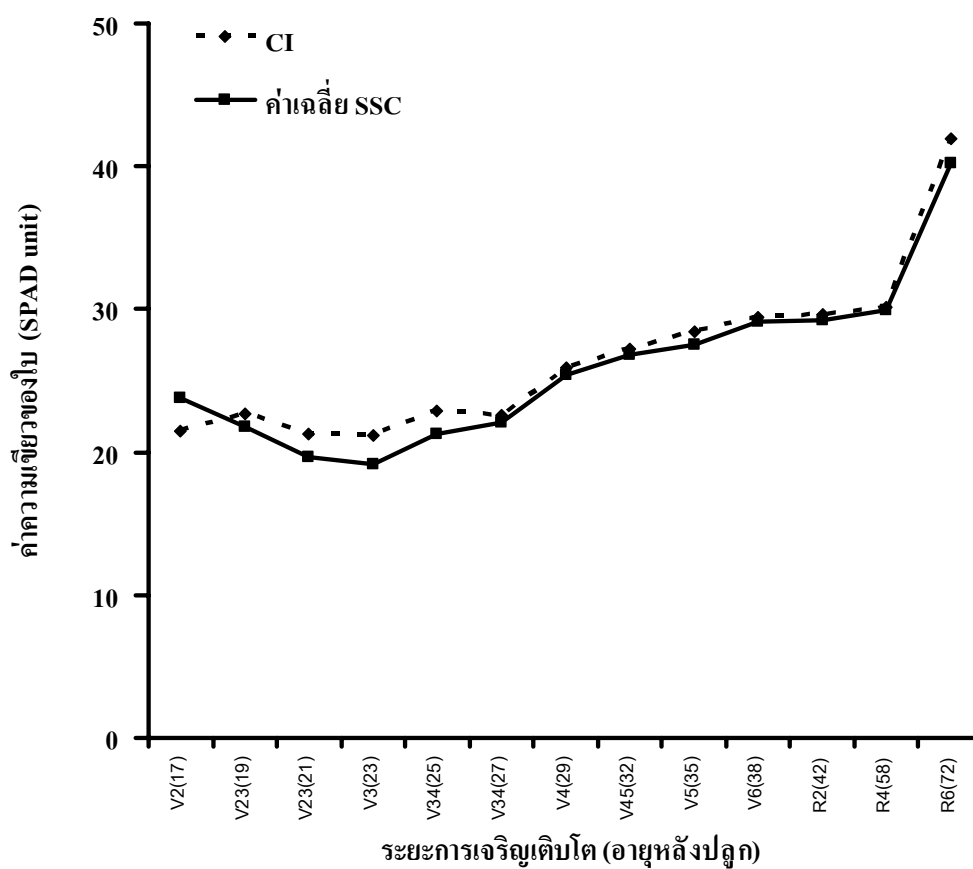
2. ลักษณะทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำเมื่อเทียบกับการเจริญเติบโตในสภาพปกติ

2.1 การวัดค่าความเขียวของใบและปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบถั่วเหลือง

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

จากภาพที่ 6 ซึ่งแสดงความแตกต่างระหว่างสภาพการปลูกแบบปกติกับสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำที่ถั่วเหลืองเจริญเติบโตอยู่ จะเห็นได้ว่าการปลูกถั่วเหลืองในสภาพปรกตินั้น ถั่วเหลืองไม่ได้แสดงอาการใบเหลืองซีด (chlorotic effect) ให้เห็น แต่ในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำในระยะแรกของการเจริญเติบโต เมื่อถั่วเหลืองงอกและพัฒนาในสภาพที่มีดินอิมตัวด้วยน้ำ ใบถั่วเหลืองจะซีดและเหลือง สังกเกตได้จากเส้นกราฟในช่วง 19-27 วันหลังปลูกหรือในระยะ V_{2-3} ถึง V_{3-4} แสดงให้เห็นว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ (chlorophyll content) ของใบจะลดลงและพืชแสดงออกโดยใบซีดเป็นสีเหลืองแทนที่จะเป็นสีเขียวสดเช่นในสภาพ CI ในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำต้นถั่วเหลืองจะปรับตัวกับสภาพดินอิมตัวและกลับคืนสู่การเจริญเติบโตตามปกติ เมื่อพัฒนาจนถึงระยะการเจริญเติบโต V_4 หรือประมาณ 29 วันหลังปลูก การปรับตัวของถั่วเหลืองต่อสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำจนสามารถเจริญเติบโตตามปกติได้นั้น เรียกกันว่า acclimatization (Troedson *et al.*, 1984; Nathanson *et al.*, 1984) และในการศึกษาครั้งนี้ ได้แสดงให้เห็นว่า ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 หลังจากที่ได้รับสภาพความเครียดจากสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำแล้วก็สามารถปรับตัว (acclimatize) เข้าสู่สภาพปกติได้เมื่ออายุ 29 วันหลังปลูกหรือเมื่อถึงระยะ V_4

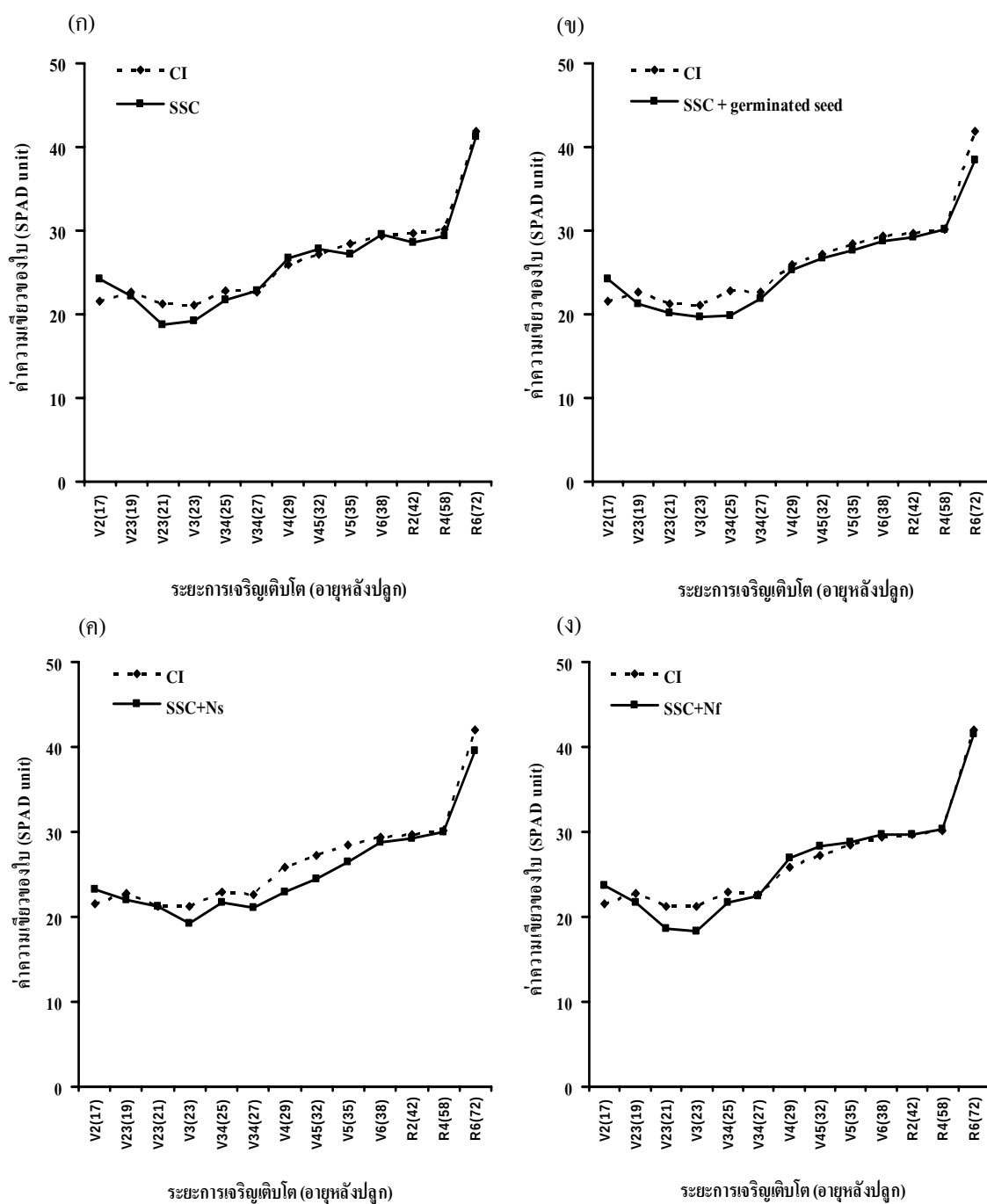
ภาพที่ 7 ก, ข, ค และ ง แสดงถึงความแตกต่างของความซีดในใบถั่วเหลือง เมื่อปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำและได้รับหรือไม่ได้รับปัจจัยต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน โดยเปรียบเทียบกับการปลูกในสภาพปกติ (CI) พบว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำในทุกสิ่งทดลองมีความซีดของใบ (chlorosis) เมื่ออายุ 19 – 29 วันหลังปลูก หรือระยะการเจริญเติบโต $V_2 - V_4$ โดยถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำที่หุ้มเมล็ดก่อนปลูก (ภาพที่ 7ข) มีค่าความเขียวของใบที่วัดด้วย SPAD chlorophyll meter ใกล้เคียงกับถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติ แสดงว่า ถั่วเหลืองที่หุ้มเมล็ดก่อนปลูกมีใบซีดน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยไม่ได้รับปัจจัยเสริม



ภาพที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยค่าความเขียวของใบ (SPAD unit) ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพปกติและในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ CI = conventional irrigation (สภาพปกติ)

ค่าเฉลี่ย SSC = ค่าเฉลี่ยของความเขียวของใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ



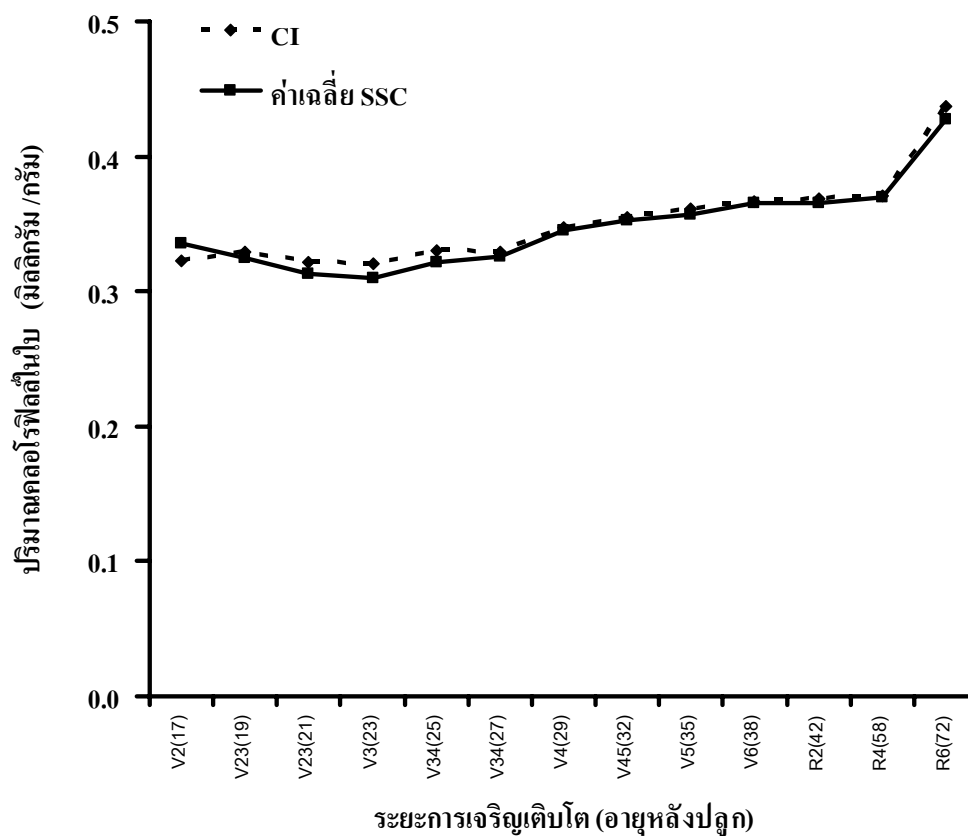
ภาพที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ยความเขียวของใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพปกติ โดย
 ก. เปรียบเทียบกับการปลูกในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำโดยไม่ได้รับปัจจัยเสริม
 ข. เปรียบเทียบกับการปลูกในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำและมีการหุ้มเมล็ด ค. เปรียบเทียบ
 กับการปลูกในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำและให้ปุ๋ยในโตรเจนทางดิน และ ง. เปรียบเทียบ
 กับการปลูกในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำโดยให้ปุ๋ยทางใบ

และการให้ปุ๋ยในโตรเจนทั้งสองวิธี ส่วนถั่วเหลืองที่ได้รับอิทธิพลของปุ๋ยในโตรเจนที่ใส่ในดิน ($SSC + N_s$) ซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 7c ไม่พบว่าถั่วเหลืองแสดงอาการใบเหลืองชัดเจนชัดใน ระยะ $V_2 - V_4$ และเป็นที่น่าสังเกตว่าถั่วเหลืองไม่ได้ปรับตัวโดยเปลี่ยนเป็นใบสีเขียวปกติเมื่อถึง ระยะ V_4 เช่นเดียวกับตำรับการทดลองอื่น ๆ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดินนั้นปุ๋ย ถูกชะล้าง (leaching) ออกไป โดยฝนที่ตกและความชื้นและของแปลงปลูกตลอดเวลา ส่วนในภาพ ที่ 7g ซึ่งเป็นการแสดงถึงความชื้นของใบในถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำแต่ได้รับปุ๋ย ในโตรเจนทางใบ พบว่า ถั่วเหลืองแสดงอาการใบเหลืองชัดในระยะ $V_2 - V_4$ เช่นเดียวกับถั่วเหลือง ที่ปลูกในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำโดยไม่ได้รับปัจจัยเสริมและการหุ้มเมล็ดก่อนปลูก แต่การให้ปุ๋ย ทางใบก็ไม่ได้ช่วยให้ถั่วเหลืองแสดงอาการเหลืองชด้น้อยไปกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ เนื่องจาก ปุ๋ยที่ฉีดพ่นทางใบอาจสูญเสียไปกับลมและฝนที่ตกในสภาพที่ปลูกเช่นเดียวกับการให้ปุ๋ยทางดิน

ตารางผนวกที่ 2 แสดงถึงค่า SPAD unit ของใบถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติและ สภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำ ซึ่งเป็นข้อมูลดิบของค่า SPAD unit ที่ใช้ในการวัดความเขียวหรือความชื้น ของใบถั่วเหลืองในการศึกษาครั้งนี้

2.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบถั่วเหลือง

ภาพที่ 8 และตารางผนวกที่ 3 แสดงถึงกราฟและข้อมูลของค่าเฉลี่ยปริมาณคลอโรฟิลล์ ในใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกในสภาพปกติและในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำ โดยได้รับสิ่ง ทดลองที่แตกต่างกัน ค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ ซึ่งมีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/กรัม (mg/g) นี้เป็นค่าที่วัดได้ จากการสกัดคลอโรฟิลล์ โดยสกัดด้วยสารไดเมทิลซัลไฟด์ (dimethyl sulfoxide: DMSO) (สาวิตร, 2545 และ Hiscox and Israelstam, 1979) จากตารางผนวกที่ 3 และภาพที่ 8 เห็นได้ว่าค่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ในระหว่างที่ปลูกในสภาพปกติ (CI) ไม่แตกต่างทางสถิติกับปริมาณของ คลอโรฟิลล์ในถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำ ในขณะที่หากพิจารณาถึงข้อมูลที่ แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 3 และกราฟที่แสดงในภาพที่ 8 ก็อาจจะเห็นได้ว่าปริมาณของคลอโรฟิลล์ ในสภาพที่ปลูกในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำในช่วง 19-27 วันหลังปลูก น้อยกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกใน สภาพปกติอยู่บ้าง และกราฟที่แสดงในภาพที่ 8 ได้ทำให้เห็นชัดเจนว่าเส้นกราฟของ SSC ลดต่ำลง มากกว่า CI เล็กน้อย ซึ่งการแสดงออกของปริมาณคลอโรฟิลล์นี้เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับค่า SPAD unit ที่ได้อธิบายไว้ในบทที่แล้ว จึงแสดงให้เห็นว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอ้อมตัวด้วย



ภาพที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพปกติและในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ CI = conventional irrigation (สภาพปกติ)

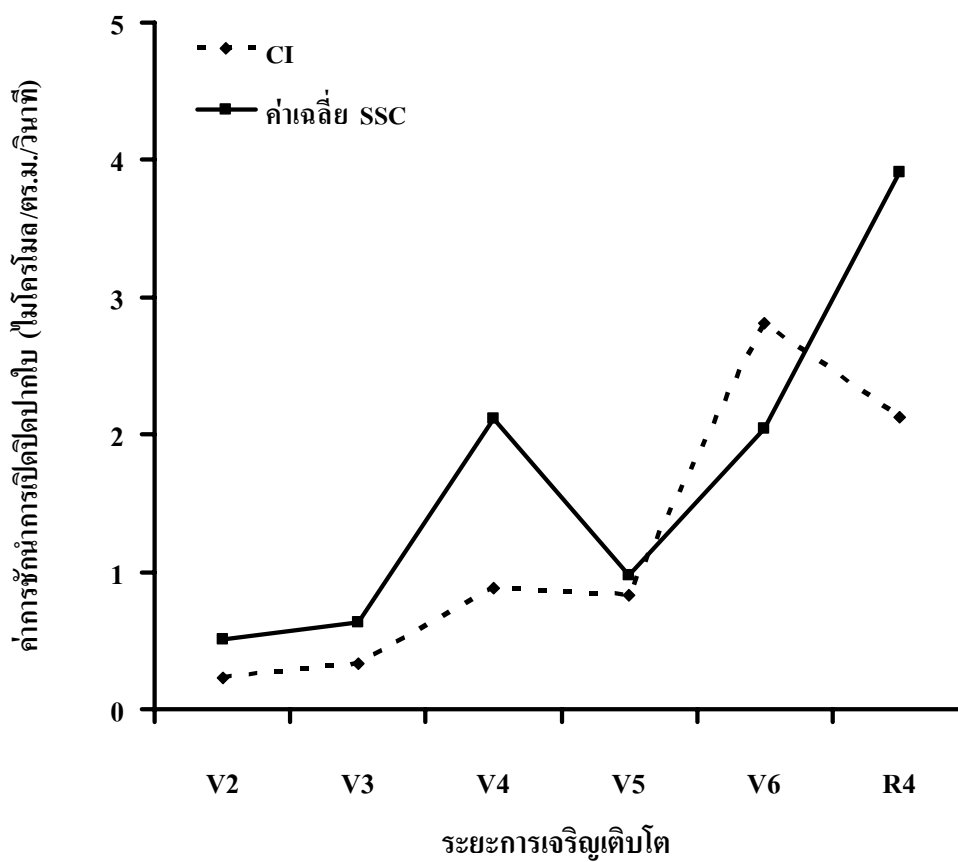
ค่าเฉลี่ย SSC = ค่าเฉลี่ยของปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำ

น้ำมีความเปลี่ยนแปลงด้านสรีรวิทยาในส่วนของเซลล์มีโซฟิลล์ในใบ อันเนื่องมาจากความเครียดที่เจริญเติบโตในสภาวะดินอึดตัวด้วยน้ำและเป็นความเปลี่ยนแปลงที่ต่างไปจากการปลูกในสภาพปกติถึงแม้ความแตกต่างจะไม่ถึงขั้นนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม

2.3 การชักนำการปิดเปิดปากใบ (Stomatal conductance)

ภาพที่ 9 และตารางผนวกที่ 4 แสดงค่าการชักนำการปิดเปิดปากใบ (stomatal conductance) ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพปกติและสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ โดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน จากภาพและตารางดังกล่าว พบว่า ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative) ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำมีค่า stomatal conductance สูงกว่าในสภาพปกติ แสดงให้เห็นว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำนั้นพืชได้ใช้กลไกของการปิดเปิดปากใบในการที่จะเร่งอัตราการคายน้ำให้สูงขึ้น เนื่องจากเจริญเติบโตอยู่ในสภาพที่มีความชื้นสูง การเพิ่ม conductivity ของปากใบ ทำให้การเข้าสู่ stomata ของคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อการสังเคราะห์แสงสูงขึ้น เมื่อเทียบกับถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติซึ่งมี stomata conductivity ต่ำ และมักจะพยายามปิดปากใบมากกว่าเพื่อสงวนปริมาณน้ำในลำต้นมิให้สูญเสียไปโดยง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเวลากลางวัน เมื่อผ่านพ้นจุดที่ถั่วเหลืองปรับตัวเข้าสู่การเจริญเติบโตตามปกติ (acclimatization) ค่า conductivity ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำก็ยังสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพ CI ตลอดเวลา ทั้งนี้เนื่องจากการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในสภาพ SSC นั้นมีการอึดตัวของดินด้วยน้ำอยู่ตลอดจนถึงระยะเก็บเกี่ยว

ตารางผนวกที่ 4 ได้แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างระหว่างค่า conductivity ของถั่วเหลืองในสภาพ CI และสภาพ SSC ที่ได้รับปัจจัยต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) ที่ระยะ V_3 , V_4 และ R_4 ในระยะ V_3 และ V_4 นั้นเป็นระยะที่ถั่วเหลืองกำลังปรับตัวเข้าสู่สภาพปกติ ดังนั้นกลไกของพืชในระยะนี้จึงจำเป็นต้องเร่งกระบวนการเจริญเติบโตต่าง ๆ อาทิเช่น กระบวนการสังเคราะห์แสงให้เกิดขึ้นสูง เพื่อที่จะได้นำเอา photosynthate ที่ได้ไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาต่อไป ดังนั้นกลไกของการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงอาจเกิดขึ้นได้โดยเพิ่มกิจกรรมการปิดเปิดปากใบเพื่อให้ได้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ให้เคลื่อนตัวเข้าสู่ใบให้มากขึ้น ในระยะ R_4 ก็เช่นกัน ในระยะดังกล่าวเป็นระยะที่เมล็ดในฝักกำลังเริ่มพัฒนาและสะสมน้ำหนักแห้งซึ่งเป็นระยะที่เรียกกันว่า mid-pod fill หรือการเจริญเติบโตของเมล็ดใกล้เคียงกับระยะ effective filling period duration (Egli and Leggett, 1973) จึงเป็นระยะที่ใบถั่วเหลืองเพิ่มอัตราการ



ภาพที่ ๑ แสดงค่าเฉลี่ยค่าการชักนำการเปิดปิดปากใบ (Stomatal conductance) ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพปกติและในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ CI = conventional irrigation (สภาพปกติ)

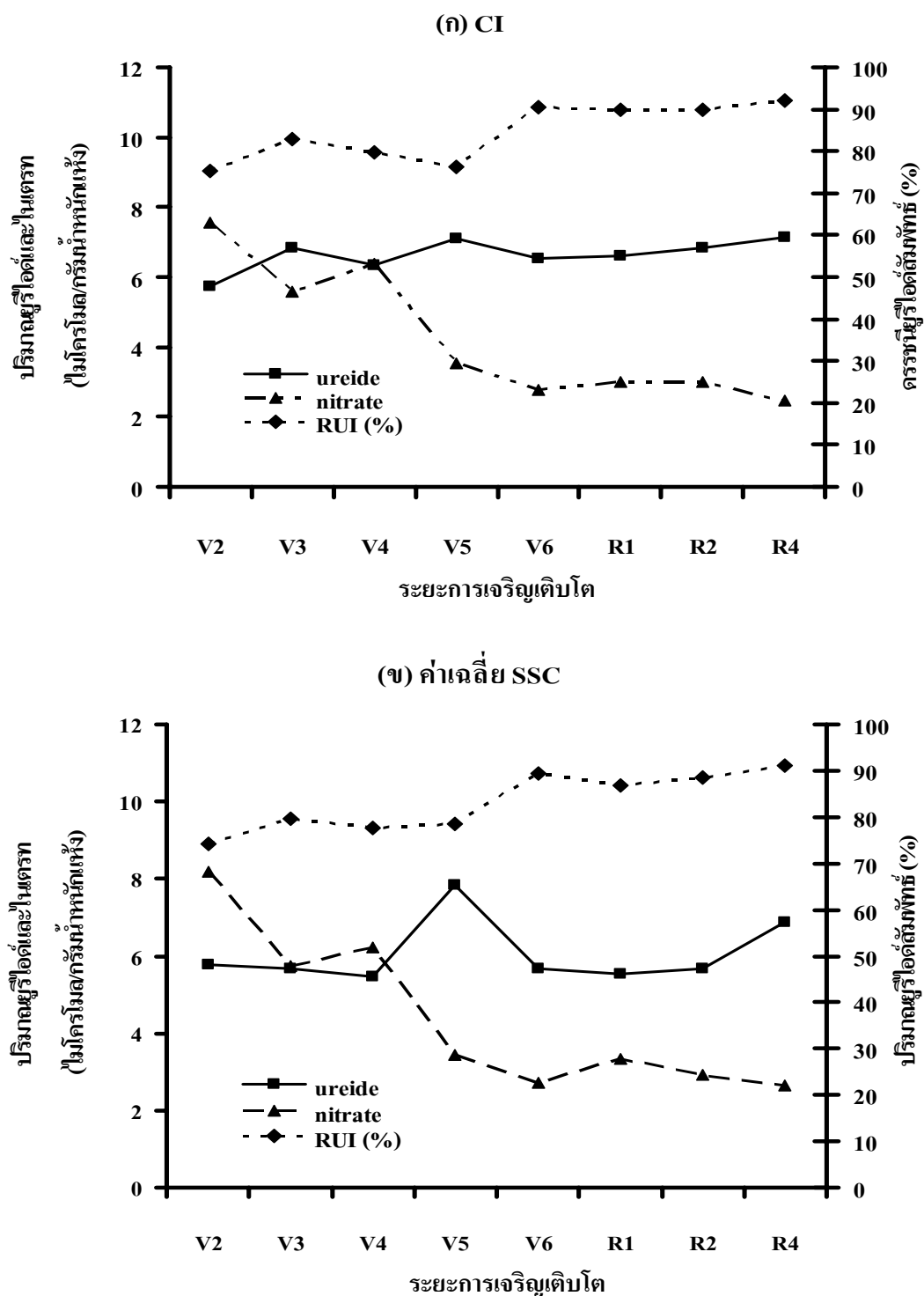
ค่าเฉลี่ย SSC = ค่าเฉลี่ยของค่าการชักนำการเปิดปิดของปากใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

สังเคราะห์แสง เพื่อนำเอาคาร์โบไฮเดรตให้สะสมในเมล็ดให้มากขึ้น การสังเคราะห์แสงที่เพิ่มในปริมาณที่สูงนั้น ย่อมเกี่ยวข้องกับการปิดเปิดปากใบให้สูงขึ้น เพื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ให้เข้าทำปฏิกิริยาในใบถั่วเหลืองต่อไป

2.4 การตรึงไนโตรเจนระหว่างการปลูกถั่วเหลืองในสภาพปกติและในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ

ตารางผนวกที่ 5, 6 และ 7 ได้แสดงถึงปริมาณยูรีโอด์ (ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักแห้ง; $\mu\text{mol g}^{-1}$ DM) ปริมาณไนเตรท (ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักแห้ง) และค่าดัชนียูรีโอด์สัมพัทธ์ (relative ureide index, %) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติและที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ โดยได้รับหรือไม่ได้รับปัจจัยต่าง ๆ เสริมเพื่อการเจริญเติบโต ส่วนภาพที่ 10 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยูรีโอด์ ปริมาณไนเตรทและค่า relative ureide index ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติ (CI) กับค่าเฉลี่ยของค่าดังกล่าวในถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำเฉลี่ยทุกสิ่งทดลอง จากตารางผนวกที่ 5, 6 และ 7 ได้แสดงให้เห็นว่า ความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองต่าง ๆ ทั้งการปลูกถั่วเหลืองในสภาพปกติและการปลูกถั่วเหลืองทุกวิธีในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำไม่ทำให้ปริมาณยูรีโอด์ ปริมาณไนเตรท และค่า relative ureide index แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาจากระยะเวลาการพัฒนาของถั่วเหลืองตั้งแต่ระยะ V_2 ถึง R_4 ปริมาณยูรีโอด์ของสิ่งทดลองทุกตัวรับไม่เปลี่ยนแปลงไป ส่วนค่า relative ureide index นั้นสูงขึ้นจากระยะการเจริญเติบโต V_2 ไปจนถึง V_4 เล็กน้อย ในทางตรงข้ามจะเห็นได้ว่าปริมาณไนเตรท (ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักแห้ง) จะค่อนข้างสูงในระยะแรกของการเจริญเติบโต เช่นในระยะ V_2 ถึง V_4 และจะค่อย ลดลงไปเรื่อย ๆ เมื่อถึงระยะการเจริญพันธุ์ เช่นที่ระยะ R_1 , R_2 และ R_4

ภาพที่ 10 แสดงให้เห็นชัดได้ว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในการศึกษาครั้งนี้ไม่ว่าจะเป็นการปลูกในสภาพปกติหรือในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ ล้วนมีกิจกรรมของการตรึงไนโตรเจนมากกว่าการอาศัยปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนจากดินเพื่อการเจริญเติบโต ค่าปริมาณยูรีโอด์เป็นค่าของสารประกอบไนโตรเจนที่พืชได้จากการตรึงไนโตรเจนที่สามารถพบได้โดยการวิเคราะห์ทางเคมีต่อ 1 กรัมของน้ำหนักแห้ง สำหรับค่าดังกล่าวสูงในระดับ 5-6 ไมโครโมลต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัมตลอดเวลา ในทุกสิ่งทดลองแต่สำหรับปริมาณไนเตรทที่บ่งชี้ว่าเป็นสัดส่วนของไนโตรเจนที่ได้จากการดูดซับของรากจากดิน จะอยู่ในระดับที่สูงในระยะ $V_2 - V_4$ คือเมื่อถั่วเหลืองยังไม่ได้มีความพร้อมในการตรึงไนโตรเจน ต่อเมื่อพืชถึงระยะ V_5 และต่อ ๆ ไปจนถึงระยะ R_1 , R_2 และ R_4



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยูรีไอด์ (ไมโครโมล/กรัม น้ำหนักแห้ง) ปริมาณไนเตรท (ไมโครโมล/กรัม น้ำหนักแห้ง) และค่าดัชนียูรีไอด์สัมพันธ์ (%) (ก) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติ (CI) ตลอดจน (ข) ค่าเฉลี่ยของค่าต่าง ๆ ดังกล่าวของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอ้อมด้วยน้ำโดยได้รับหรือไม่ได้รับปัจจัยต่าง ๆ เสริม

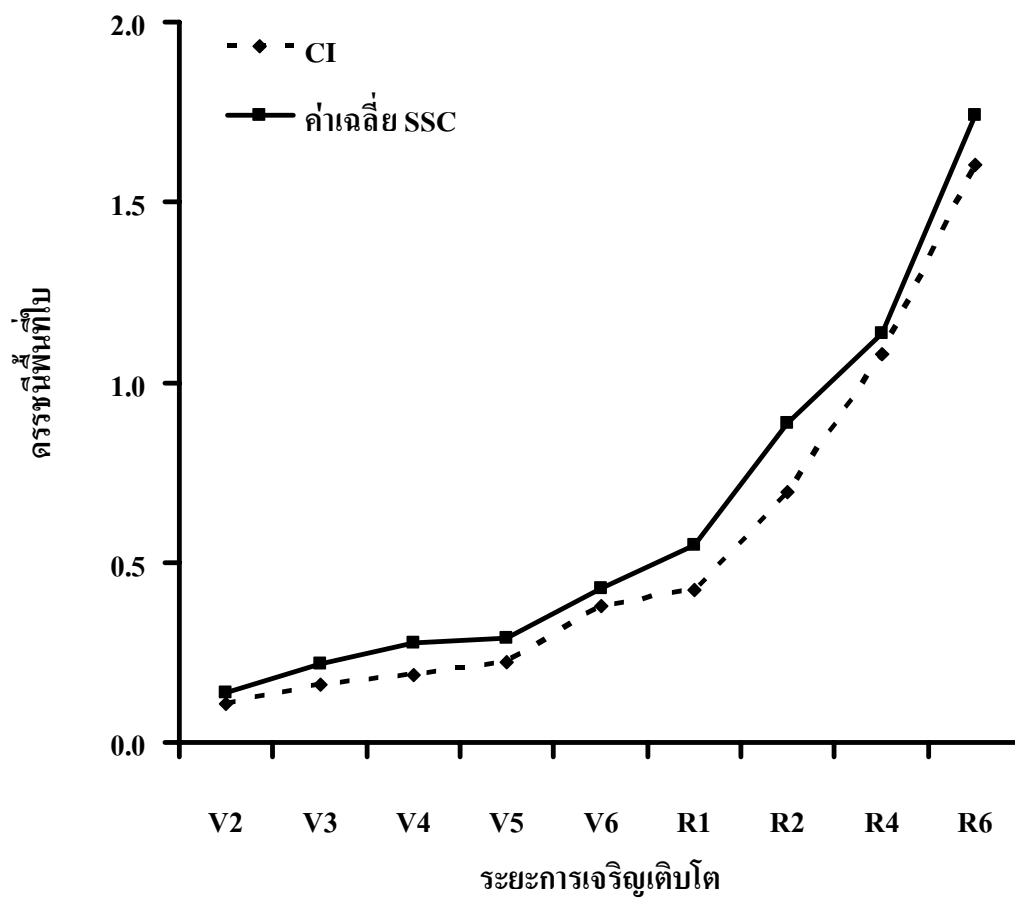
กิจกรรมการตรึงไนโตรเจนในถั่วเหลืองจะอยู่ในอัตราที่สูง ทำให้พืชสามารถใช้ไนโตรเจนจากการตรึงให้เป็นประโยชน์และลดปริมาณการดูดซับของไนโตรเจนจากดิน ข้อสันนิษฐานประการหนึ่งที่น่าจะได้รับความสนใจคือ เมื่อถั่วเหลืองถึงระยะ V_5 นั้นการเจริญเติบโตทางลำต้นใบและรากของถั่วเหลืองก็ตามจัดอยู่ในระยะกลางของการเจริญเติบโตทางลำต้น ดังนั้น พืชจึงมีศักยภาพสูงในการตรึงไนโตรเจน เนื่องมาจากความพร้อมของพืชที่เกิดจากระยะการเจริญเติบโตที่มากขึ้นพอสมควร และเมื่อถั่วเหลืองเข้าสู่ระยะการเจริญพันธุ์แล้วความต้องการปริมาณของไนโตรเจน เพื่อที่จะนำไปกักเก็บไว้ในเมล็ดก็จะสูง ดังนั้น พืชจึงจำเป็นต้องเพิ่มกิจกรรมของการตรึงไนโตรเจนและเป็นสาเหตุที่ปริมาณปุ๋ยในเตรทที่พืชได้รับจากการดูดซับจากดินลดลงจากเดิมเมื่อถึงระยะ V_5

ค่า relative ureide index นั้นเป็นค่าที่บอกให้เห็นถึงภาพรวมของไนโตรเจนในพืช (เบญจวรรณและคณะ, 2532 และ Peoples *et al.*, 1989) ในถั่วเหลืองที่มีการศึกษาในครั้งนี้ทุกสิ่งทดลอง ค่า relative ureide index ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อถึงระยะ $V_5 - V_6$ ในขณะที่ปริมาณยูรีโดล (ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักแห้ง) ก่อนข้างคงที่ แต่ปริมาณไนเตรทที่วัดได้เป็น (ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักแห้ง) ลดลงในระยะ V_5 เช่นกัน จึงแสดงให้เห็นว่า ปริมาณของไนโตรเจนที่ถั่วเหลืองใช้ในการเจริญเติบโตในการศึกษานี้มาจากการตรึงไนโตรเจนมากกว่าการดูดซับปุ๋ยจากดิน แต่ในการศึกษาดังกล่าวไม่พบความแตกต่างระหว่างการตรึงไนโตรเจนในถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติกับถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำ (ภาพที่ 10) ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณฝนที่ตกในช่วงการทดลองทำให้ความชื้นและของแปลงปลูกระหว่างการปลูกถั่วเหลืองปรกติกับการปลูกในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำไม่แตกต่างกันนัก และความชื้นของแปลงปลูกเป็นอุปสรรคทำให้การตรึงไนโตรเจนที่น่าจะสูงโคเคนในบางสิ่งทดลองถูกจำกัดด้วยความชื้นของแปลง

2.5 การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

2.5.1 ดรรชนีพื้นที่ใบ (Leaf area index : LAI)

ดรรชนีพื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกในสภาพปรกติและในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองแตกต่างกัน ได้แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 8 ส่วนภาพที่ 11 แสดงถึงความแตกต่างของดรรชนีพื้นที่ใบระหว่างถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติกับค่าเฉลี่ยของดรรชนีพื้นที่ใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำในทุกสิ่งทดลอง



ภาพที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ยของพรรณพื้นที่ใบ (Leaf area index) ของข้าวเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพปกติและในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน

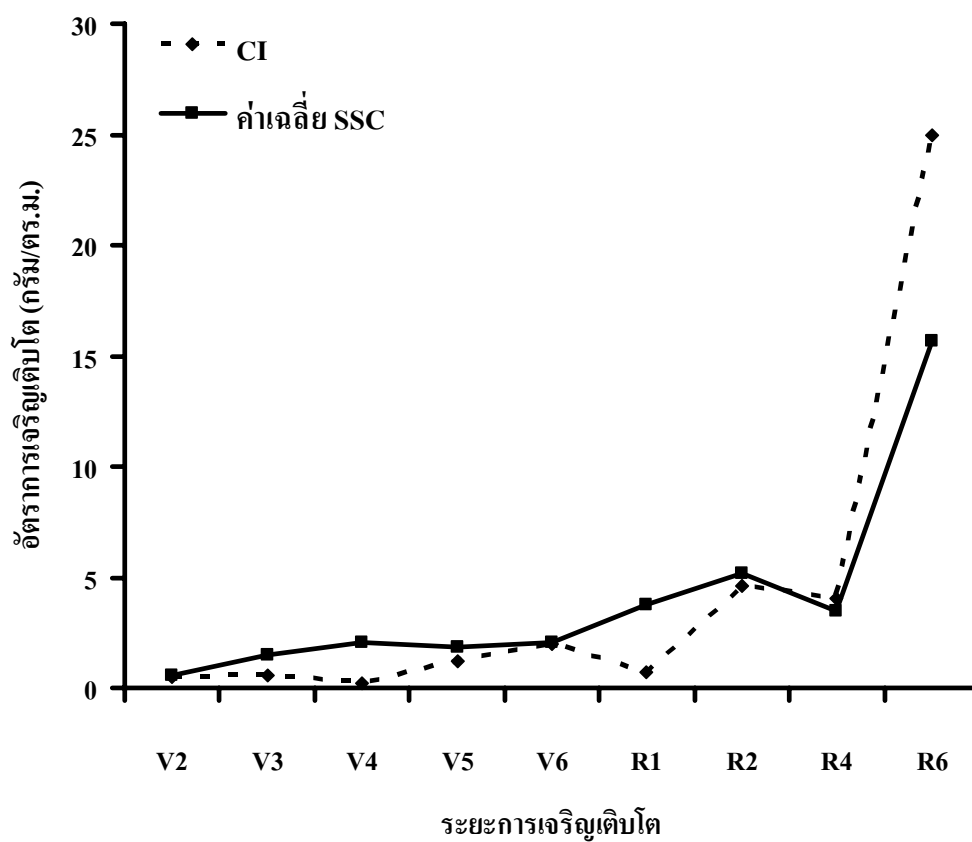
หมายเหตุ CI = conventional irrigation (สภาพปกติ)

ค่าเฉลี่ย SSC = ค่าเฉลี่ยของพรรณพื้นที่ใบของข้าวเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ

จากการทดลองที่ได้ทำขึ้นนี้แสดงให้เห็นว่า การสร้างพื้นที่ใบของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในระยะแรกเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ และใกล้เคียงกันในระยะการเจริญทางด้านลำต้น (vegetative) หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเข้าสู่ระยะการเจริญพันธุ์ (reproductive) จนกระทั่งถึงระยะการเจริญเติบโต R_0 ครรชนพื้นที่ใบของถั่วเหลืองยังคงสูงอยู่ในทุกตำรับการทดลอง และพบว่าการหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองก่อนปลูก การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดินและทางใบมีอิทธิพลต่อการสร้างพื้นที่ใบของถั่วเหลือง โดยถั่วเหลืองมีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ใบในทำนองเดียวกันกับการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งในส่วนของลำต้นและใบของถั่วเหลือง เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติแล้วพบว่า ครรชนพื้นที่ใบของถั่วเหลืองในระยะการเจริญเติบโต V_4 และระยะ R_2 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) โดยในระยะ V_4 ซึ่งเป็นระยะที่ถั่วเหลืองแสดงอาการใบเขียวซีด (chlorosis) ซึ่งเกิดจากถั่วเหลืองอยู่ในสภาวะดินอึดตัวด้วยน้ำนั้นพื้นที่ใบของถั่วเหลืองในแต่ละตำรับการทดลองแตกต่างกันทางสถิติ โดยเมื่อถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ ครรชนพื้นที่ใบของถั่วเหลืองเท่ากับ 0.19 ส่วนถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำมีค่าครรชนพื้นที่ใบเฉลี่ยเท่ากับ 0.27 จึงเห็นได้ว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำมีค่าครรชนพื้นที่ใบสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ แสดงว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำมีการปรับตัวโดยการเพิ่มพื้นที่ใบเมื่ออยู่ในสภาวะเครียด เพื่อให้สามารถสังเคราะห์แสงและเจริญเติบโตได้ดี เช่นเดียวกับถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ หลังจากถั่วเหลืองปรับตัวได้แล้วในระยะการเจริญเติบโต V_5 ถึง R_1 ถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตและสร้างพื้นที่ใบได้สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ และเมื่อถึงระยะ R_2 ซึ่งเป็นระยะที่ถั่วเหลืองสร้างดอกอย่างเต็มที่ จึงมีความต้องการอาหารในปริมาณมากเพื่อนำไปเก็บสะสมและสร้างเป็นฝักและเมล็ดต่อไป ก็พบว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำมีครรชนพื้นที่ใบเฉลี่ยสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติเป็นอย่างมาก และมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) จึงแสดงให้เห็นได้ว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำนั้นพยายามปรับตัวเพื่อให้มีผลผลิตที่สูงเทียบเท่าหรือสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ โดยการเพิ่มพื้นที่ใบเพื่อสังเคราะห์แสงและผลิตอาหารให้ได้มากขึ้น

2.5.2 อัตราการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง (Crop growth rate : CGR)

อัตราการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกในสภาพปรกติ และสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน ได้แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 9 ส่วนภาพที่ 12 ได้แสดงถึงความแตกต่างของอัตราการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของ CGR ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ



ภาพที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโต (Crop growth rate) ของถั่วเหลืองพันธุ์เขียวใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพปกติและในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ CI = conventional irrigation (สภาพปกติ)

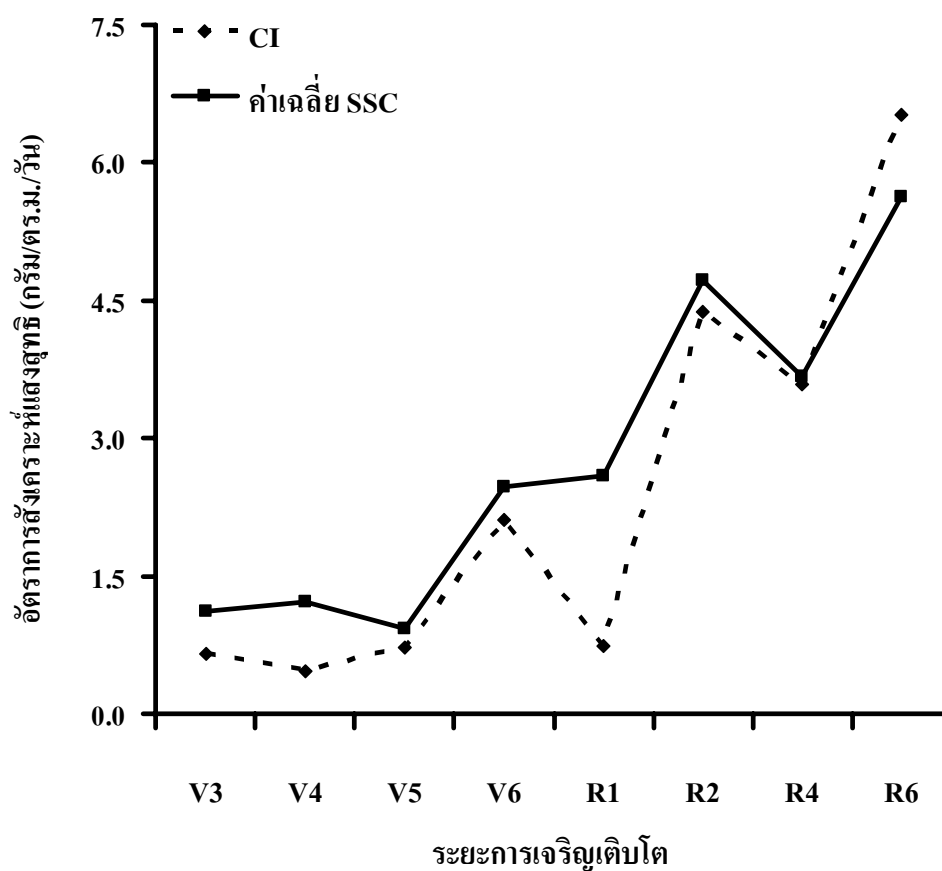
ค่าเฉลี่ย SSC = ค่าเฉลี่ยของอัตราการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลาเจริญเติบโต R_2 และสูงสุดในระยะ R_6 ในทุกตำรับการทดลอง โดยที่ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำเริ่มมีการเพิ่มค่า CGR สูงขึ้นตั้งแต่ระยะ R_1 แต่ในส่วนของปลูกถั่วเหลืองในสภาพปรกตินั้นค่า CGR เพิ่มขึ้นเมื่อถึงระยะ R_2 (ตารางผนวกที่ 9 และภาพที่ 12) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อถั่วเหลืองเริ่มติดฝักนั้นทำให้ถั่วเหลืองต้องการอาหารมากขึ้นสำหรับการเจริญเติบโตของฝักและเมล็ด ถั่วเหลืองจึงมีการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงมีผลทำให้หน้าหนักแห้งรวมของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ค่า CGR ก็เพิ่มขึ้นด้วย จากการทดลองนี้ไม่พบว่าค่า CGR ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกในสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยมีการให้สิ่งต่าง ๆ ทำให้ค่า CGR แตกต่างกันทางสถิติแต่ประการใด ยกเว้นที่ระยะเวลาเจริญเติบโต V_5 ที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อถั่วเหลืองเข้าสู่ระยะการเจริญพันธุ์ เมื่อปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ พบว่า อัตราการเจริญเติบโต (CGR) เพิ่มขึ้นเท่ากับหรือสูงกว่าอัตราการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ จนกระทั่งถึง R_6

2.5.3 อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (Net assimilation rate : NAR)

อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ปลูกในสภาพปรกติและในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน ได้แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 10 ส่วนภาพที่ 13 ได้แสดงถึงค่า NAR ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของถั่วเหลืองทุกสิ่งทดลองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ

จากการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของถั่วเหลืองไม่แตกต่างกันเกือบตลอดระยะเวลาเจริญเติบโต ยกเว้นที่ระยะ V_6 และจากภาพที่ 13 แสดงให้เห็นว่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของถั่วเหลืองที่ปลูกโดยสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำมีแนวโน้มที่สูงกว่าการปลูกถั่วเหลืองในสภาพปรกติ ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากอิทธิพลของสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำสำหรับถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ สิ่งทดลองต่าง ๆ ที่ให้ปัจจัยเสริมต่อถั่วเหลืองไม่ว่าจะเป็นการห่มเมล็ด การให้ปุ๋ยในโตรเจนทางดินและการให้ปุ๋ยในโตรเจนทางใบ ล้วนแต่มีอิทธิพลทำให้ค่า NAR ของถั่วเหลืองสูงกว่าการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ แต่ไม่มีการเสริมปัจจัยและสูงกว่าค่า NAR ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ ค่าเฉลี่ยของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำหรือที่ปลูกในสภาพปรกติจะสูงขึ้นโดยสม่ำเสมอไปเรื่อย ๆ จนถึงระยะการเจริญเติบโต R_6



ภาพที่ 13 แสดงค่าเฉลี่ยอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (Net assimilation rate) ของถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพปกติและในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำที่ได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน

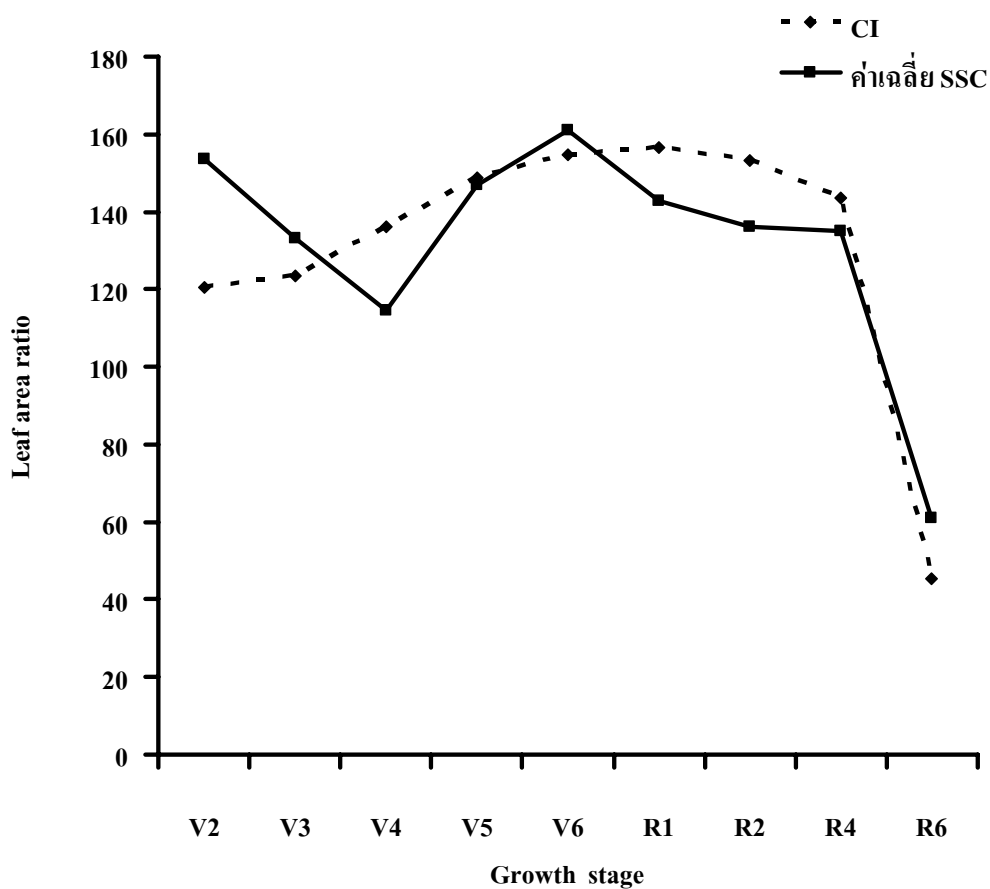
หมายเหตุ CI = conventional irrigation (สภาพปกติ)

ค่าเฉลี่ย SSC = ค่าเฉลี่ยของอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำ

2.5.4 องค์ประกอบอื่น ๆ ของการวิเคราะห์การเจริญเติบโต (Leaf area ratio, LAR; Specific leaf weight, SLW และ Relative growth rate, RGR)

ภาพที่ 14, 15 และ 16 แสดงถึงความแตกต่างระหว่างค่า LAR, SLW และ RGR ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติและค่าเฉลี่ยดังกล่าวของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำตามลำดับ ส่วนตารางแสดงค่า LAR, SLW และ RGR ที่เกิดขึ้นในถั่วเหลืองทุกสิ่งทดลอง ทั้งที่ปลูกในสภาพปกติและสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำ ในระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 11, 12 และ 13 ตามลำดับ

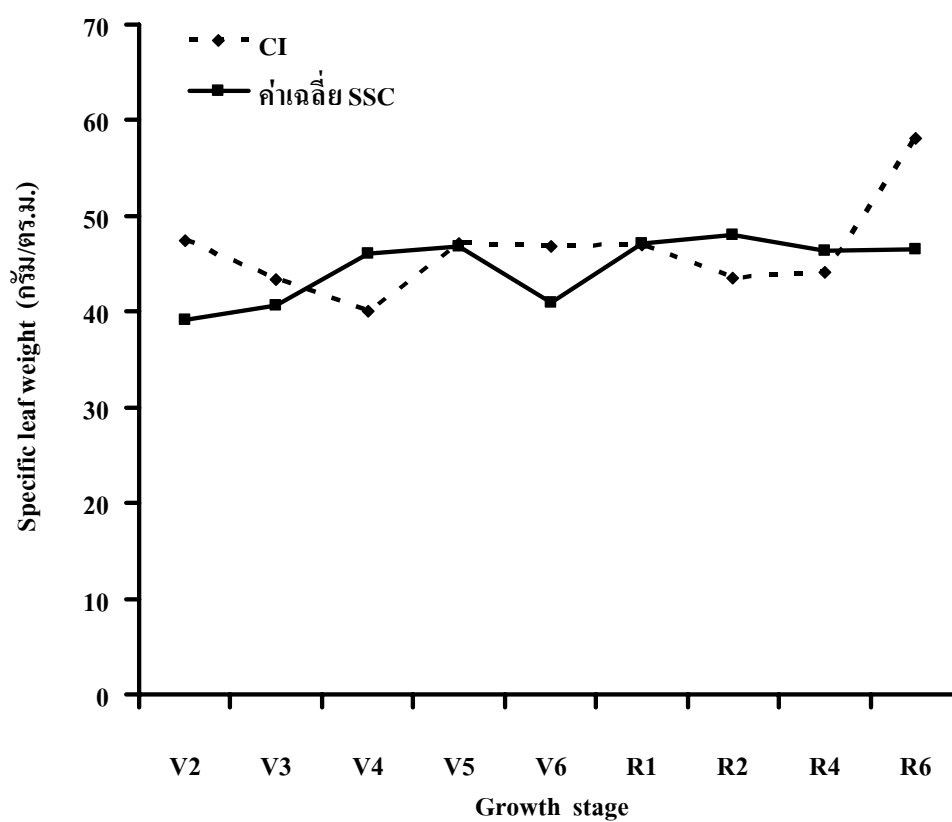
จากภาพที่ 14, 15 และ 16 ตลอดจนตารางผนวกที่ 11, 12 และ 13 พบว่าค่า LAR, SLW และ RGR ของถั่วเหลืองในการศึกษาครั้งนี้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ สัดส่วนของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งของต้น ซึ่งแสดงโดยค่า LAR ความหนาของใบซึ่งแสดงออกจากค่า SLW ตลอดจนอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นผลคูณจากค่า NAR และ LAR ของถั่วเหลืองนั้นไม่ได้รับผลกระทบใด ๆ จากการปลูกในสภาพปกติและในสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำ การหุ้มเมล็ดก็ตามหรือการให้ปุ๋ยในโตรเจนทางใบและทางดิน ($SSC + N_s$ และ $SSC + N_r$) ไม่ได้ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างองค์ประกอบของการวิเคราะห์การเจริญเติบโต (growth analysis) ของถั่วเหลืองในการศึกษาครั้งนี้แต่ประการใด



ภาพที่ 14 แสดงค่าเฉลี่ยของ Leaf area ratio ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพปกติและในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ CI = conventional irrigation (สภาพปกติ)

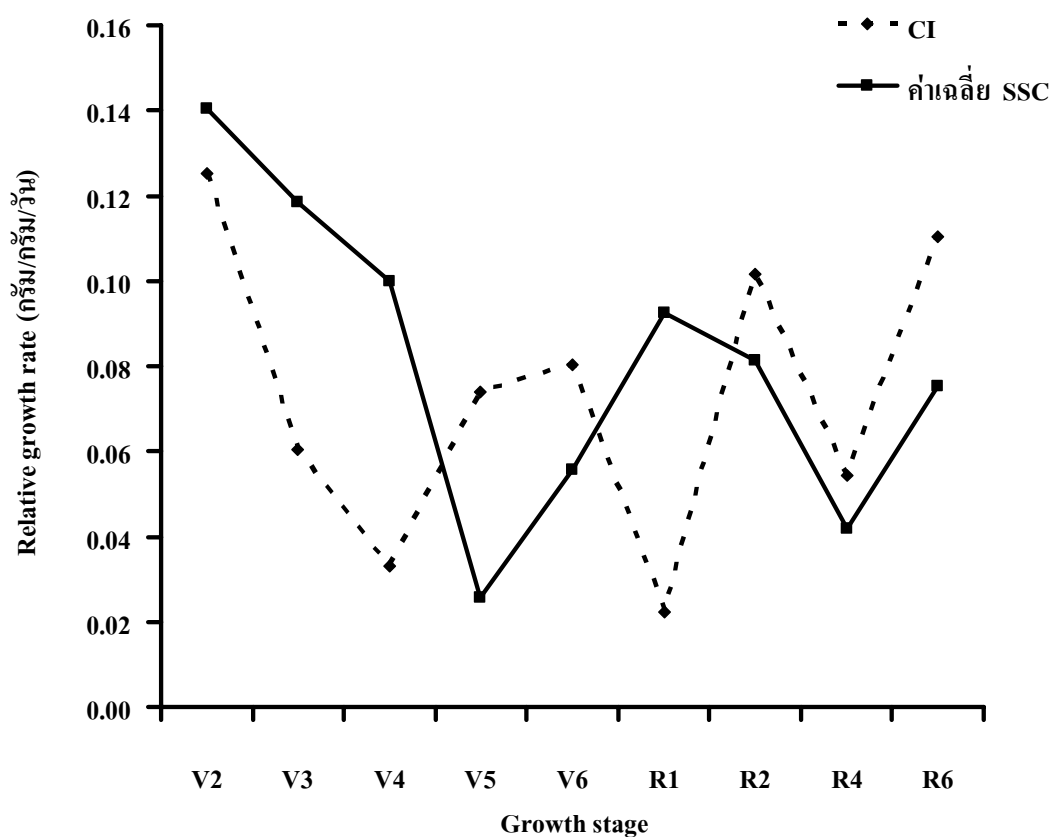
ค่าเฉลี่ย SSC = ค่าเฉลี่ยของ Leaf area ratio ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ



ภาพที่ 15 แสดงค่าเฉลี่ยของ Specific leaf weight ของถั่วเหลืองพันธุ์เซียงใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพปกติและในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ CI = conventional irrigation (สภาพปกติ)

ค่าเฉลี่ย SSC = ค่าเฉลี่ยของ Specific leaf weight ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ



ภาพที่ 16 แสดงค่าเฉลี่ยของ Relative growth rate ของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพปกติและในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ CI = conventional irrigation (สภาพปกติ)

ค่าเฉลี่ย SSC = ค่าเฉลี่ยของ Relative growth rate ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ

วิจารณ์

การศึกษาการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ โดยในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำมีสิ่งทดลองต่าง ๆ ได้แก่ การปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยไม่มีปัจจัยเสริม การหุ้มเมล็ด การให้ปุ๋ยในโตรเจนทางดินและการให้ปุ๋ยในโตรเจนทางใบ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำขึ้นที่สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง ในปี พ.ศ. 2547 ในการศึกษาดังกล่าวได้ทำขึ้นในฤดูฝน โดยปลูกและเก็บเกี่ยวระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2547 จากผลการทดลองพบว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำให้ผลผลิตที่มีแนวโน้มสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติถึงแม้จะไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับจำนวนฝักต่อต้นก็ไปในทิศทางเดียวกับผลผลิต และเป็นที่น่าสนใจว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยการให้ปุ๋ยในโตรเจนทางดินและทางใบให้ผลผลิตสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ และถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำจะมีอายุการสุกแก่เร็วกว่าถั่วเหลืองในสภาพปกติประมาณ 6-10 วัน โดยพันธุ์ที่ใช้ปลูกได้แก่พันธุ์เชียงใหม่ 60 ดังนั้นถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติในฤดูฝนจึงมีการเจริญเติบโตและอายุการสุกแก่ 94 วัน ส่วนถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำมีอายุสั้นประมาณ 84-88 วัน ความสูงของลำต้นเป็นอีกลักษณะหนึ่งที่แสดงให้เห็นว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำเจริญเติบโตได้ดีกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติ ในขณะเดียวกันพื้นที่ใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำก็สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติเช่นเดียวกัน และถึงแม้ว่าน้ำหนักแห้งเมื่อสุกแก่ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำไม่ว่าจะเป็นน้ำหนักแห้งต่อต้นหรือต่อพื้นที่ตลอดจนตรรกะการเก็บเกี่ยวจะไม่แตกต่างกันก็ตาม แต่ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าน้ำหนักแห้งของใบในระหว่างการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative) และน้ำหนักแห้งลำต้นในระยะเดียวกันของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำจะสูงกว่าน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติ จากการศึกษาถึงลักษณะการเจริญเติบโต รวมทั้งการให้ผลผลิต จะเห็นได้ว่า ในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำจะทำให้ถั่วเหลืองมีแนวโน้มที่จะเจริญเติบโตดีกว่าสภาพปกติ และความแตกต่างจะเห็นชัดในลักษณะการเจริญทางลำต้น เช่น พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งใบ น้ำหนักแห้งลำต้นมากกว่าลักษณะที่แสดงออกในระยะการเจริญพันธุ์ (reproductive) สำหรับตัวเลขที่ไม่แสดงให้เห็นชัดถึงความแตกต่างทางสถิติอาจเนื่องมาจากการศึกษาครั้งนี้ทำการทดลองในฤดูฝน ซึ่งปริมาณฝนที่ตกหนักในหลายครั้ง ทำให้เกิดสภาพชื้นและทั่วทั้งแปลง ทำให้ในบางครั้งถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติมีความชื้นไม่แตกต่างกับสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ

ในการศึกษารังนี้้นนอกเหนือจะเป็นการศึกษาถึงการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองแล้วยังได้มีการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะทางสรีรวิทยาของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพที่แตกต่างกันอีกด้วย จากการทดลองที่ผ่านมาในอดีต Huck (1970) และ Stanley *et al.* (1980) ได้พบว่า ในการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ เมื่อรากแก้วของถั่วเหลืองเจริญเติบโตถึงระดับที่มีน้ำขังในดิน รากแก้วจะเน่าเสียถูกทำลาย ผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะสะท้อนกลับมาให้เห็นถึงลักษณะของใบถั่วเหลือง ซึ่งแสดงอาการเหลืองซีด (chlorosis) ดังกล่าวเกิดเนื่องจากการขาดธาตุไนโตรเจน แต่เมื่อถั่วเหลืองเริ่มเจริญเติบโตในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำได้ระยะหนึ่ง ถั่วเหลืองก็จะปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีขึ้นด้วยการสร้างรากแขนงและรากฝอยออกมาสู่ผิวดินตอนบนพร้อม ๆ กับการดูดซับไนโตรเจนจากดินและเริ่มมีการตรึงไนโตรเจน ถั่วเหลืองจึงถึงจุดของการปรับตัวที่เรียกว่า acclimatization จนกระทั่งใบที่ซีดเหลืองกลับเป็นสีเขียวอีกครั้งหนึ่ง ในการทดลองครั้งนี้ ได้มีการใช้เครื่องมือ chlorophyll meter วัดค่าความเขียวของใบโดยให้หน่วยวัดเป็น SPAD unit พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์เขียวใหม่ 60 ที่ใช้ในการปลูกทดลองหลังจากที่ประสบกับภาวะเครียดจากดินอิมตัวด้วยน้ำและใบมีอาการซีดเหลืองก็สามารถปรับตัวเข้าสู่สภาพปกติได้ โดยใบมีสีเขียวสดกลับคืนมาแทนที่ เมื่อถึงระยะ V_4 หรือเมื่อถั่วเหลืองมีอายุ 29 วันหลังปลูก และเมื่อนำเอาค่าของ SPAD unit มา plot เป็นกราฟเปรียบเทียบกับระหว่างสภาพดินอิมตัวกับสภาพปกติ ก็จะพบว่าการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำนั้นเส้นกราฟในช่วง $V_2 - V_4$ จะลดต่ำลงมากกว่ากราฟของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติ ทั้งการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยไม่มีปัจจัยเสริมการหุ้มเมล็ดและการให้ปุ๋ยไนโตรเจนทางใบ แต่ในขณะเดียวกันการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยให้ปุ๋ยไนโตรเจนทางดิน ไม่พบว่าถั่วเหลืองแสดงอาการเหลืองซีดของใบมากนักในระยะแรก ($V_2 - V_3$) แต่ต่อมาอาการซีดเหลืองของใบก็เริ่มปรากฏขึ้นและไม่ปรับตัวกลับเป็นสีเขียวเช่นในการทดลองครั้งอื่น ๆ ในการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ ข้อเสนอแนะที่น่าจะเป็นไปได้ก็คือ ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ให้ทางดินมีส่วนช่วยทำให้ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำไม่ขาดปุ๋ยไนโตรเจนดังเช่นการทดลองอื่น ๆ ในการปลูกถั่วเหลืองแบบ SSC แต่สภาพน้ำท่วมขังทำให้ปุ๋ยไนโตรเจนในดินถูกชะล้างไปในภายหลัง จึงทำให้ถั่วเหลืองแสดงอาการซีดของใบหลังจากการเจริญเติบโตในระยะ V_4 ส่วนการให้ปุ๋ยทางใบ ถั่วเหลืองยังมีการเหลืองซีดอยู่ทั้ง ๆ ที่มีการฉีดปุ๋ยทางใบ เนื่องจากปริมาณของปุ๋ยไนโตรเจนที่ฉีดพ่นทางใบไม่ได้เข้าไปเพียงพอกับความต้องการของพืชเนื่องจากลมและฝน ดังนั้น การให้ปุ๋ยไนโตรเจนไม่ว่าจะโดยวิธีการให้ปุ๋ยทางดินและทางใบ ไม่มีอิทธิพลทำให้ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำเมื่อปลูกในฤดูฝนแสดงอาการเหลืองซีดและสามารถปรับตัวได้ดีกว่าการคลุมเชื้อโรโซเบียมก่อนปลูก ส่วนการหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองและคลุมเชื้อโรโซเบียมก่อนปลูก สามารถลดอาการเหลืองซีดได้ดีกว่า

คำรับการทดลองอื่น ๆ ที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ เนื่องจากเมื่อหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองก่อนปลูก radicle เริ่มงอก เมื่อนำไปปลูกถั่วเหลืองสามารถงอกได้ทันทีและเจริญเติบโตได้เร็วกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับสิ่งทดลองอื่น ๆ ทำให้ถั่วเหลืองใช้พลังงานในการงอกน้อยกว่าคำรับการทดลองอื่น ๆ ดังนั้น ถั่วเหลืองจึงมีการเจริญเติบโตเร็วกว่า สามารถสร้างปมได้เร็ว ถั่วเหลืองจึงแสดงอาการใบเหลืองซีดไม่เด่นชัดหรือน้อยกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำที่ได้รับปัจจัยอื่น ๆ ส่วนการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำโดยไม่ได้รับปัจจัยเสริม การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดินและทางใบ ถั่วเหลืองต้องการพลังงานในการงอกสูงกว่าถั่วเหลืองที่หุ้มเมล็ดก่อนปลูก จึงทำให้ถั่วเหลืองแสดงอาการใบเหลืองซีดได้เด่นชัดหรือมีค่าความเขียวของใบต่ำกว่าปรกติมากกว่าการหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองก่อนปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ ถึงแม้ว่าจะไม่สามารถลดระยะเวลาที่เกิดอาการใบเหลืองซีดได้ ซึ่งระยะเวลาที่ถั่วเหลืองแสดงอาการใบเหลืองซีด คือ ระยะการเจริญเติบโต $V_2 - V_4$ หรือ 19 – 29 วันหลังปลูก โดยในทุกคำรับการทดลองจะแสดงอาการในระยะการเจริญเติบโตดังกล่าวเท่ากัน ยกเว้นการให้ปุ๋ยในโตรเจนทางดินที่ไม่มีการปรับตัวเมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะ V_4 สำหรับปริมาณคลอโรฟิลล์ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติและสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ ไม่ค่อยเห็นความแตกต่างชัดเจนระหว่างการปลูกถั่วเหลืองทั้ง 2 ลักษณะ แต่จากกราฟที่แสดงไว้ในภาพที่ 8 ก็อาจเห็นได้ว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำในช่วง 19 – 29 วันหลังปลูกน้อยกว่าในสภาพปรกติอยู่บ้าง ซึ่งการแสดงออกของปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 19 - 29 วันหลังปลูก เป็นไปในทางเดียวกับค่า SPAD unit จึงแสดงให้เห็นว่าเมื่อปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำนั้นถั่วเหลืองจะแสดงอาการเครียดจากสภาพดังกล่าวจนสีของใบเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเนื่องจากการขาดธาตุไนโตรเจน แต่ต่อมาก็สามารถปรับตัวเข้าสู่สภาพปรกติได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะที่สร้างรากแขนงและรากฝอยในระยะ V_4 หรือ 29 วันหลังปลูก และเมื่อนำเอาเครื่องมือการวัดการปิดเปิดของปากใบมาวัดค่า stomatal conductance พบว่า ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำมีค่า conductivity สูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ และความแตกต่างของค่า conductivity ของ stomata เกิดขึ้นในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น เช่น ระยะ V_3 และ V_4 การเปิดปากใบที่มากกว่าของถั่วเหลืองในสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำย่อมนำมาซึ่งการเพิ่มขึ้นของการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะเข้าสู่ใบพืชในการสังเคราะห์แสงและในขณะเดียวกันเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของค่า transpiration ratio หรือการเพิ่ม consumptive use ของน้ำในพืช ซึ่งน่าจะส่งผลให้กระบวนการทางสรีรวิทยาอื่น ๆ ของพืช เช่น การสังเคราะห์แสงดีขึ้น ถึงแม้ในการทดลองนี้จะไม่ได้มีการวัดการสังเคราะห์แสงโดยใช้เครื่องมือ แต่ในขณะเดียวกันก็ใช้การคำนวณอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (net assimilation rate, NAR) ระหว่างถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ในสภาพปรกติและสภาพดินอึดตัวด้วยน้ำ และจากภาพที่ 14 ได้แสดงให้เห็นชัดว่าในสภาพดินอึดตัว

ด้วยน้ำถั่วเหลืองมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดดีกว่าสภาพปกติ และความแตกต่างของการปลูกใน 2 สภาพดังกล่าวมีถึงระดับนัยสำคัญทางสถิติเมื่อถึงระยะ V_6 ซึ่งเป็นระยะใกล้เคียงกับระยะที่พืชถึงจุดปรับตัวได้แล้ว แสดงว่าถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำมีการเพิ่มกระบวนการทางสรีรวิทยาเพื่อชดเชยกับช่วงเวลาที่มีการเจริญเติบโตอยู่ในสภาวะเครียด

ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการวัดระดับการตรึงไนโตรเจนของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ และถึงแม้ในการศึกษาดังกล่าวจะไม่พบการปลูกถั่วเหลืองในสภาพปกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับและไม่ได้รับปัจจัยต่าง ๆ มีความแตกต่างกันแต่อย่างใด สาเหตุที่ในการศึกษาครั้งนี้ไม่มีความแตกต่างของการตรึงไนโตรเจนในสิ่งทดลองต่าง ๆ อาจจะเป็นเหตุที่ว่าในสภาพการปลูกนั้นอยู่ในฤดูฝนที่ดินชื้นและเกินไปประการหนึ่ง และสภาพของดินที่ใช้ในการทดลองมีอินทรีย์วัตถุที่สูงพอสมควร (ตารางผนวกที่ 1) แต่ในการศึกษาครั้งนี้ที่แสดงในภาพที่ 10 แสดงให้เห็นชัดว่าถั่วเหลืองทั้งสภาพปกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำได้รับไนโตรเจนในการเจริญเติบโตส่วนใหญ่มาจากการตรึงไนโตรเจน ซึ่งแสดงให้เห็นจากปริมาณยูรีโอไซด์ (ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักแห้ง) และค่า relative ureide index (%) ซึ่งค่อนข้างจะเป็นเส้นตรงสม่ำเสมอตั้งแต่ระยะ $V_2 - R_4$ ทั้งสภาพปกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ ในทางตรงข้ามปริมาณไนเตรต (ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักแห้ง) ที่วัดได้จากวิธีการสกัดเนื้อเยื่อจะมีค่าสูงในระยะแรกของการเจริญเติบโต เช่น ในระยะ V_2 และหลังจากนั้นก็จะลดลงตามลำดับจนกระทั่งถึงระยะ R_4 แสดงให้เห็นชัดว่าเมื่อถั่วเหลืองมีการตรึงไนโตรเจนแล้วปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ถั่วเหลืองดูดซับโดยรากเข้าสู่ลำต้นก็จะลดน้อยลงตามลำดับ

ในการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของถั่วเหลือง โดยพิจารณาจาก leaf area index, LAI; crop growth rate, CGR; net assimilation rate, NAR; leaf area ratio, LAR; specific leaf weight, SLW; relative growth rate, RGR นั้น ค่า LAI เป็นค่าเดียวที่บอกให้เห็นชัดว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำมีค่า LAI สูงกว่าสภาพปกติ ค่า LAI ที่สูงขึ้นของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำนี้น่าจะเป็นเพราะพื้นที่ใบของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำมีมากกว่าพื้นที่ใบของถั่วเหลืองในสภาพปกติ ส่วนการเจริญเติบโตอื่น ๆ ที่วัดได้ไม่พบความแตกต่างระหว่างการปลูกในสภาพปกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ และไม่พบว่าปัจจัยเสริมต่าง ๆ ที่ให้กับถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำทำให้ค่าต่าง ๆ แตกต่างกันแต่อย่างใด

โดยสรุปการทดลองนี้จะเห็นได้ว่า ถึงแม้การศึกษาครั้งนี้จะทำในฤดูฝนที่สภาพดินมีความชื้นและสูง และยากต่อการควบคุมการปลูกถั่วเหลืองทั้ง 2 สภาพให้แตกต่างกันโดยชัดเจนได้ตลอดเวลา แต่การทดลองครั้งนี้ก็พบว่า การปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำมีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกถั่วเหลืองในสภาพปกติ การแสดงออกถึงข้อดีของการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำมักจะมาจากการเจริญเติบโตทางลำต้น เช่น ความสูงของลำต้น น้ำหนักแห้งใบและลำต้น ตลอดจนพื้นที่ใบและครรชนีพื้นที่ใบของถั่วเหลือง ในขณะเดียวกันความแตกต่างของการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองใน 2 สภาพได้แสดงออกชัดเจนขึ้นเมื่อมีการศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาของถั่วเหลือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเขียวเข้มของสีใบและปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สูงกว่าของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติ (CI) เมื่อเทียบกับใบที่เหลืองซีดของถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ (SSC) ถึงแม้ว่าการใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดินและทางใบไม่มีอิทธิพลทำให้ถั่วเหลืองแสดงอาการเหลืองซีดลดน้อยลงกว่าการคลุกเชื้อโซเบียมก่อนปลูกก็ตาม แต่การศึกษานี้ได้บ่งชี้ว่า ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เมื่อปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำจะปรับตัวได้สมบูรณ์เข้าสู่สภาพปกติเมื่อถึงระยะการเจริญเติบโต V_4 หรือ 29 วันหลังปลูก นอกจากนี้ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำยังมีค่า stomatal conductance ที่สูงกว่าในสภาพปกติ ซึ่งทำให้การเข้าสู่ใบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสงและเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงให้สูงขึ้น ซึ่งแสดงออกได้ชัดเจนเมื่อวัดค่า NAR และผลดีของกระบวนการดังกล่าวก็จะทำให้ถั่วเหลืองมีลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นตลอดจนการให้ผลผลิตที่ดีกว่าการปลูกถั่วเหลืองในสภาพการปลูกปกติ

สรุป

จากการศึกษาลักษณะการเจริญเติบโต การให้ผลผลิตและลักษณะทางสรีรวิทยาของ ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเหลืองที่ปลูกโดยสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ โดยมีการห่มเมล็ด การให้ปุ๋ยทางดิน การให้ปุ๋ยทางใบและการไม่ให้ปัจจัยเสริมต่าง ๆ นั้น การศึกษาครั้งนี้สามารถที่จะสรุปได้ดังนี้

1. ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำในทุกดำนับการทดลอง มีแนวโน้มของการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ ถึงแม้จะไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ
2. เมื่อถั่วเหลืองเข้าสู่ระยะ reproductive ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำทุกดำนับการทดลอง หลังจากปรับตัวจากสภาวะใบเหลืองซิดกลับเป็นใบเขียวสด ถั่วเหลืองได้ชดเชยการเจริญเติบโตในสภาวะเครียดโดยการเพิ่มความสูงของลำต้น จำนวนกิ่งต่อต้น จำนวนข้อต่อต้น และพื้นที่ใบต่อต้นให้สูงขึ้นเพื่อเพิ่มศักยภาพของการให้ผลผลิตให้สูงกว่าหรือเท่ากับถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ
3. การปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยการห่มเมล็ดก่อนปลูกนั้น ถั่วเหลืองสามารถปรับตัวต่อสภาพแปลงปลูกได้ดีกว่าดำนับการทดลองอื่น ๆ ทำให้สามารถสร้างน้ำหนักแห้งรวม (total dry matter) ได้สูงกว่าการปลูกถั่วเหลืองในดำนับการทดลองอื่น ๆ
4. ถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำในทุกสิ่งทดลองมีอายุการสุกแก่สั้นกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปรกติ เมื่อใช้ถั่วเหลืองพันธุ์เชิงใหม่ 60 ซึ่งเป็นพันธุ์อายุปานกลาง
5. เมื่อศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยา โดยวัดค่าความเขียวของใบโดยใช้เครื่องมือ SPAD chlorophyll meter สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการปรับตัว (acclimatization) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำได้ โดยใบถั่วเหลืองที่มีอาการใบเหลืองซิดสามารถปรับตัวเข้าสู่สภาพปรกติได้โดยใบมีสีเขียวสดกลับเป็นปรกติเมื่อถั่วเหลืองอยู่ในระยะการเจริญเติบโต V_4 หรือเมื่อถั่วเหลืองอายุ 29 วันหลังปลูก
6. ระยะที่แสดงอาการใบเหลืองซิด (chlorosis) ของถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำทุกดำนับการทดลองอยู่ในระยะเดียวกัน คือ $V_2 - V_4$ แต่ลักษณะความเหลืองซิดแตกต่างกัน เมื่อใช้ SPAD chlorophyll meter วัด พบว่า ถั่วเหลืองที่ห่มเมล็ดก่อนปลูก แสดงอาการเหลืองซิดน้อยกว่าดำนับการทดลองอื่น ๆ

7. ค่า stomatal conductance ของถั่วเหลืองในสภาพดินอุ่มตัวด้วยน้ำสูงกว่าถั่วเหลืองในสภาพปกติ ทำให้การเข้าสู่ใบของคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสงสูงขึ้นและอัตราการสังเคราะห์แสงของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นด้วย โดยสังเกตจาก NAR ที่สูงขึ้นโดยเฉพาะในระยะเวลาเจริญเติบโตทางลำต้น และจากกระบวนการดังกล่าวทำให้ถั่วเหลืองในสภาพดินอุ่มตัวด้วยน้ำมีลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นและให้ผลผลิตที่ดีกว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในสภาพปกติ

8. เมื่อปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอุ่มตัวด้วยน้ำโดยไม่ได้รับปัจจัยเสริม การหุ้มเมล็ด การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดินและทางใบ ไม่ส่งผลให้ถั่วเหลืองมีระดับการตรึงไนโตรเจน ซึ่งแสดงให้เห็นในรูปของปริมาณยูรีโอต์ (ไมโคร โมล/กรัม น้ำหนักแห้ง) และ RUI (%) มากกว่าการใช้เชื้อไรโซเบียมคลุกเมล็ด และไม่มีอิทธิพลทำให้ผลผลิตของถั่วเหลืองแตกต่างกันทางสถิติ

9. การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของถั่วเหลือง เช่น leaf area index, LAI; crop growth rate, CGR; net assimilation rate, NAR; leaf area ratio, LAR; specific leaf weight, SLW และ relative growth rate, RGR นั้น ไม่พบความแตกต่างกันแต่อย่างใดระหว่างการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอุ่มตัวด้วยน้ำและสภาพปกติ ยกเว้นค่า LAI ของถั่วเหลืองในสภาพดินอุ่มตัวด้วยน้ำสูงกว่าถั่วเหลืองในสภาพปกติ

เอกสารอ้างอิง

- จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ชะลูด ธารัตตพันธุ์, สมยศ วิไลศักดิ์ และวิจิตร ขจรมาลี. 2530. การศึกษาการใช้ปุ๋ยทางใบเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของถั่วเหลือง, หน้า 181-183 ใน รายงานการสัมมนาเชิงปฏิบัติการงานวิจัยถั่วเหลืองครั้งที่ 2, ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร.
- นิธย์ ศกุนรักษ์, ตระกูลพันธุ์ สุพาณิชน์ และกัลยา รัตนถาวร. 2539. ประสิทธิภาพของการปรับระดับความชื้นของเมล็ดถั่วเหลืองก่อนปลูกต่อคุณภาพการงอก, หน้า 286-295. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการถั่วเหลืองแห่งชาติ ครั้งที่ 6, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม, อำพรพรณ พรมศิริ และเฉลิมพล แซมเพชร. 2532. วิธีการวัดการตรึงไนโตรเจนในถั่วเหลืองโดยวิธีวิเคราะห์น้ำห่อเลี้ยงลำต้น ใน คู่มือการประชุมปฏิบัติการ หน้า 1-28. ณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- มุกดา สุขสวัสดิ์. 2543. ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1; โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 192 น.
- มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 368 น.
- วรรณชลี ศิริวิวัฒน์ไพฑูร. 2524. อิทธิพลของความชื้นของดินต่อการเกิดปมและประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนของไรโซเบียมและถั่วเหลือง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ขงยุทธ โอสดสภา. 2524. เอกสารวิชาการฉบับที่ 5 การให้ปุ๋ยทางใบ. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ขงยุทธ โอสดสภา. 2543. **ธาตุอาหารพืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 424 น.

สาวิตร มีชัย. 2545. การสกัดคลอโรฟิลล์ในใบพืชโดยใช้สารเคมี DMSO หรือ DMF ใน เอกสาร
ประกอบการฝึกงานสรีรวิทยาของพืช ระดับปริญญาตรีสาขาพืชศาสตร์. สถาบันวิจัยและ
ฝึกอบรมการเกษตรลำปาง. 3 หน้า

สุริพร เกตุงาม. 2529. **อิทธิพลของอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่อการเจริญของเมล็ดและผลผลิตถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 4**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2546. **สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปีการเพาะปลูก 2546/47**.
สำนักเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 121 น.

อภิพรรณ พุกภักดี. 2528. **ระบบการปลูกพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 2; กลุ่มหนังสือเกษตร, กรุงเทพฯ. 85 น.

อภิพรรณ พุกภักดี. 2533. **วิทยาศาสตร์การผลิตพืชตระกูลถั่ว**. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 538 น.

อภิพรรณ พุกภักดี. 2545. **ถั่วเหลือง: พืชทองของไทย**. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 325 น.

อภิพรรณ พุกภักดี, โกวิท ชีรวีโรจน์, ไสว พงษ์เก่าและโรเบิร์ต ลอน. 2531. การตอบสนองต่อ
สภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ. ว.เกษตรศาสตร์ (วิทย.) 25 : 275-281.

อภิพรรณ พุกภักดี, เจริญ ท่วมขำ, วิจิตร เบญจศีล และชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. 2539. อิทธิพลของ
พันธุ์และปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองที่ปลูกที่ปลูกในสภาพ
ดินอิมตัวด้วยน้ำ ใน รายงานการสัมมนาการวิจัยและพัฒนาพืชโปรตีนสูงครั้งที่ 4, หน้า 94-
105. วันที่ 19-21 มิถุนายน 2539. ณ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่ง

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จัดทำขึ้นที่สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5 จังหวัดสุพรรณบุรี.

อภิพรธ พุกภักดี, ปรัชญา รอดจากเชื้อ และผดุงสิทธิ์ อินทรชัยยะ. 2533. การทดสอบเบื้องต้นในไร่นาเกษตรกรถึงความเป็นไปได้ของการปลูกถั่วเหลืองในสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ โดยปลูกเดี่ยวและปลูกร่วมกับข้าว ใน รายงานผลการวิจัยโครงการ ป-น 3.1.22. “โครงการปรับปรุงผลผลิตและรายได้ในการปลูกถั่วเหลืองและถั่วเขียว โดยทางเขตรกรรมสรีรวิทยาและระบบการทำฟาร์ม” ประจำปี พ.ศ. 2533. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอ็จ สโรบล. 2546. เอกสารประกอบคำสอนวิชา สรีรวิทยาการผลิตพืชขั้นสูง (003551). ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Egli, D.B. and J.E. Legget. 1973. Dry matter accumulation patterns in determinate and indeterminate soybean. **Crop Sci.** 13: 220-222.

Fehr, W.R. and C.E. Caviness. 1977. **Stages of soybean development**, Iowa State, A.E.S. Special Report 30.

Halfield, J.L., D.B. Egli, J.E. Legget and D.E. Pleaselee. 1974. Effect of applied nitrogen on the nodulation and early growth of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). **Agron J.** 66 : 112-114.

Hardy, R.W.F., U.D. Havelka and P.G. Heytler. 1980. **Nitrogen input with emphasis on nitrogen fixation in soybean** In Frederick T.C. (ed). World Soybean Research Conference II. Proceeding Westview Press Inc. Colorado.

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.

- Huck, M.G. 1970. Variation in tap root elongation rate as influenced by composition of the soil air. **Agron. J.** 62 : 815-818.
- Hunter, M.N., P.L.M. de Jaburn 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.
- Lamb, J.A., G.W. Rehm, R.K. Severson and T.E. Cymbultuk. 1990. Impact of soybean production where growing seasons are short. **J.Prod. Agric.** 3 : 241-245.
- Nathason, K., R.J. Lawn., P.L.M. de Jaburn and D.E. Byth. 1984. Growth, noduration and nitrogen accumulation by soybean in saturated soil culture. **Field Crop Res.** 8 : 73-92.
- Nelson, A.N. and R.W. Weaver. 1980. Seasonal nitrogen accumulation and fixation by soybean grown at different densities. **Agron J.** 72: 613-616.
- Nichiporovich, A.A. 1960. Photosynthesis and the theory of obtaining high crop yield. **Field Crop Abstract.** 13 : 169 – 175.
- Peoples, M.B., A.W. Faizah, B. Rerkasem and D.F. Herridge. 1989. **Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated Legumes in the field.** Australian centre for International Agriculture Research (ACIAR). Canberra, Australia. 26 p.
- Pookpakdi, A. 1977. **The study of yield and yield component of soybean.** Ph. D. Dissertation, University of Missouri. U.S.A.
- Pookpakdi, A., S. Pongkao, A. Chinchest and K. Thiravirojana. 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.

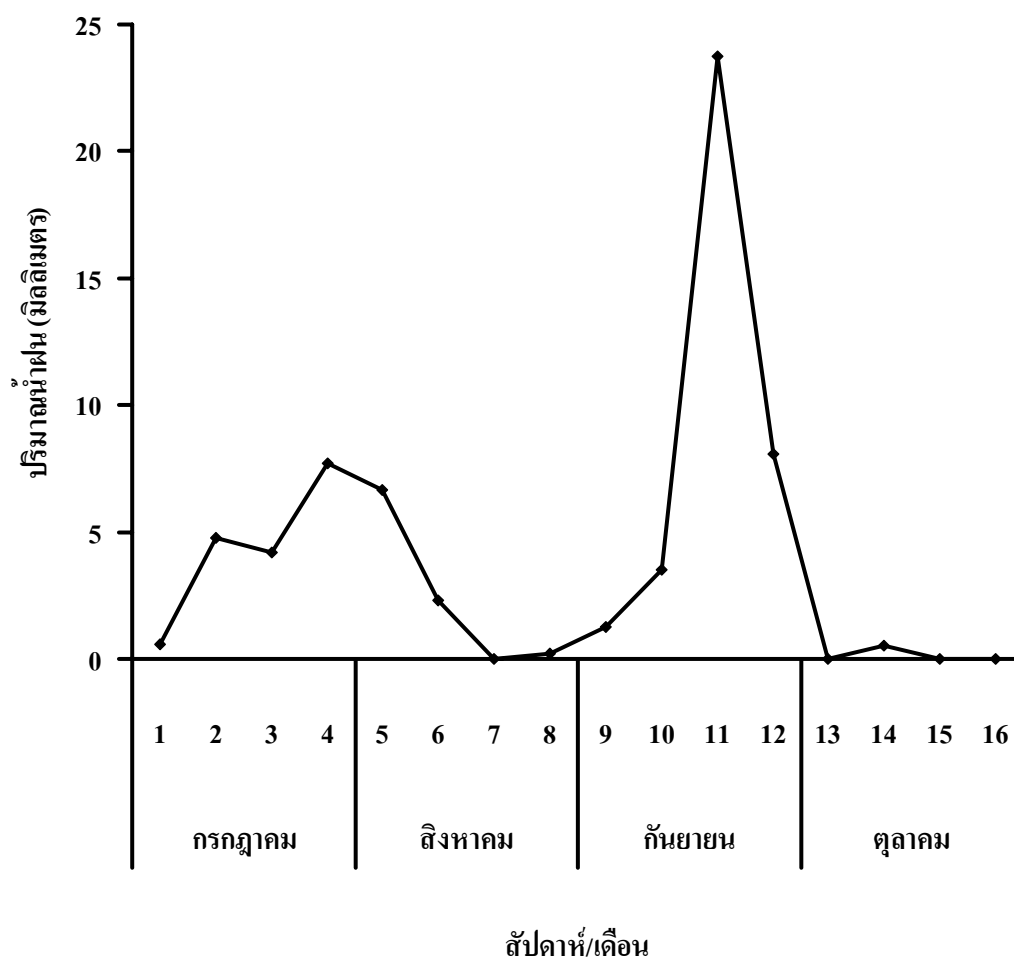
*In C. George Kuo (eds.). Adaptation of food crops to temperatue and water stress
proceeding of an international symposium Taiwan 13-18 August. 1992. Asian
Vegetable Research and Development Center.*

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

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 Perspectives in Nitrogen Fixation.* Aust. Acad Sci.,
Canberra.

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.

ภาคผนวก



ภาพผนวกที่ 1 แสดงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายสัปดาห์ (มิลลิเมตร) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม ถึงเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2547 ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง อ. เมือง จ. ลำปาง

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ดินในแปลงทดลองปลูกถั่วเหลืองในสภาพปรกติและสภาพดิน
 อิ่มตัวด้วยน้ำ ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง อำเภอเมือง จังหวัด
 ลำปาง พ.ศ. 2547

ลักษณะ	ค่าวิเคราะห์
เนื้อดิน (sand = 52 %, silt = 36 %, clay = 12 %)	sandy loam
pH	6.34
อินทรีย์วัตถุ	1.96 %
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ppm)	47
โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (ppm)	115

ตารางผนวกที่ 2 แสดงค่าความเขียวของใบ (SPAD unit) ถั่วเหลืองเมื่อปลูกสภาพปรกติและสภาพดินอุ่มตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547

สิ่งทดลอง*	ระยะการเจริญเติบโต												
	V ₂	V ₂₋₃	V ₂₋₃	V ₃	V ₃₋₄	V ₃₋₄	V ₄	V ₄₋₅	V ₅	V ₆	R ₂	R ₄	R ₆
CI	21.49	22.71	21.30	21.17	22.85	22.61	25.91	27.24	28.43	29.39	29.66	30.14	41.94
SSC	24.18	22.22	18.68	19.22	21.75	22.82	26.79	27.76	27.17	29.47	28.67	29.42	41.32
SSC + germinated seed	24.21	21.23	20.19	19.70	19.92	21.92	25.24	26.71	27.69	28.72	29.24	30.19	38.48
SSC+N _s	23.20	22.08	21.25	19.28	21.65	21.09	22.85	24.49	26.46	28.70	29.27	30.03	39.47
SSC+N _f	23.65	21.68	18.62	18.33	21.73	22.50	26.93	28.31	28.84	29.76	29.62	30.25	41.61
ค่าเฉลี่ย SSC	23.81	21.80	19.69	19.13	21.26	22.08	25.45	26.82	27.54	29.16	29.20	29.97	40.22
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
LSD _{0.05}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	7.13	8.66	10.93	8.41	7.56	3.03	6.39	9.07	5.07	5.67	4.92	2.66	4.74

*/ CI = conventional irrigation (สภาพปรกติ) SSC = saturated soil culture (สภาพดินอุ่มตัวด้วยน้ำ)

SSC+ germinated seed = saturated soil culture + การหุ้มเมล็ดก่อนปลูก SSC + N_s = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดิน

SSC + N_f = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางใบ

ตารางผนวกที่ 3 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัม/กรัม) ของใบแก้วเหลืองเมื่อปลูกสภาพปรกติและสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547

สิ่งทดลอง*	ระยะการเจริญเติบโต												
	V ₂	V ₂₋₃	V ₂₋₃	V ₃	V ₃₋₄	V ₃₋₄	V ₄	V ₄₋₅	V ₅	V ₆	R ₂	R ₄	R ₆
CI	0.323	0.329	0.322	0.321	0.330	0.329	0.347	0.355	0.361	0.367	0.368	0.371	0.437
SSC	0.338	0.327	0.307	0.310	0.324	0.330	0.352	0.358	0.354	0.367	0.363	0.367	0.434
SSC + germjnated seed	0.338	0.321	0.315	0.313	0.314	0.325	0.344	0.352	0.357	0.363	0.366	0.371	0.418
SSC+N _s	0.332	0.326	0.321	0.310	0.324	0.320	0.330	0.339	0.350	0.363	0.366	0.370	0.423
SSC+N _f	0.335	0.324	0.307	0.305	0.324	0.328	0.353	0.361	0.364	0.369	0.368	0.372	0.435
ค่าเฉลี่ย SSC	0.336	0.324	0.313	0.309	0.321	0.326	0.345	0.352	0.357	0.366	0.366	0.370	0.428
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
LSD _{0.05}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	2.93	3.31	4.66	3.45	3.37	1.75	2.7	4.04	2.25	2.37	2.57	1.27	2.62

*/ CI = conventional irrigation (สภาพปรกติ) SSC = saturated soil culture (สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ)

SSC+ germinated seed = saturated soil culture + การหุ้มเมล็ดก่อนปลูก SSC + N_s = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดิน

SSC + N_f = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางใบ

ตารางผนวกที่ 4 แสดงค่าการชักนำการปิดเปิดของปากใบ (stomatal conductance; ไมโครโมล/ตร.ม./วินาที) ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกสภาพปรกติและสภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547

สิ่งทดลอง*	ระยะการเจริญเติบโต					
	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	R ₄
CI	0.22	0.34	0.88	0.83	2.81	2.12
SSC	0.49	0.67	2.84	1.14	1.59	5.62
SSC+ germinated seed	0.57	0.68	1.70	0.95	2.49	2.47
SSC+N _s	0.37	0.48	1.54	1.05	2.48	3.74
SSC+N _f	0.60	0.73	2.37	0.76	1.63	3.80
ค่าเฉลี่ย SSC	0.50	0.64	2.11	0.98	2.05	3.91
F-test	ns	*	**	ns	ns	**
LSD _{0.05}	-	0.215	0.715	-	-	1.016
CV (%)	33.6	19.6	20.35	35.77	25.25	15.19

*/ CI = conventional irrigation (สภาพปรกติ) SSC = saturated soil culture (สภาพดินอ้อมตัวด้วยน้ำ)

SSC+ germinated seed = saturated soil culture + การหุ้มเมล็ดก่อนปลูก SSC + N_s = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดิน

SSC + N_f = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางใบ

ตารางผนวกที่ 5 แสดงปริมาณยูรีโอต์ (ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักแห้ง) ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกสภาพปรกติและสภาพดินอิมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547

สิ่งทดลอง*	ระยะการเจริญเติบโต							
	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	R ₁	R ₂	R ₄
CI	5.74	6.82	6.35	7.11	6.53	6.61	6.82	7.13
SSC	5.79	5.68	5.46	7.84	5.66	5.54	5.68	6.88
SSC+germinated seed	5.75	5.51	5.50	6.69	6.01	5.47	5.51	5.87
SSC+N _s	6.36	6.03	5.54	6.72	5.42	6.05	6.03	6.78
SSC+N _f	6.07	5.50	5.39	6.44	5.51	5.60	5.50	6.66
ค่าเฉลี่ย SSC	5.99	5.68	5.47	6.93	5.65	5.67	5.68	6.55
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
LSD _{0.05}	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	7.69	10.42	5.72	10.74	4.92	5.14	10.42	7.08

*/ CI = conventional irrigation (สภาพปรกติ) SSC = saturated soil culture (สภาพดินอิมตัวด้วยน้ำ)

SSC+ germinated seed = saturated soil culture + การหุ้มเมล็ดก่อนปลูก SSC + N_s = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดิน

SSC + N_f = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางใบ

ตารางผนวกที่ 6 แสดงปริมาณไนเตรท (ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักแห้ง) ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกสภาพปรกติและสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547

สิ่งทดลอง*	ระยะการเจริญเติบโต							
	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	R ₁	R ₂	R ₄
CI	7.55	5.58	6.40	3.54	2.77	2.98	2.99	2.45
SSC	8.17	5.75	6.23	3.42	2.71	3.34	2.91	2.63
SSC+germinated seed	9.65	6.04	6.24	3.28	2.84	2.52	3.09	2.66
SSC+N _s	9.36	7.27	5.80	3.17	2.82	2.93	2.93	2.53
SSC+N _f	10.40	5.57	5.80	3.34	2.70	2.69	2.79	2.56
ค่าเฉลี่ย SSC	9.39	6.16	6.02	3.30	2.77	2.87	2.93	2.59
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
LSD _{0.05}	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	25.04	11.37	2.44	10.09	3.06	11.75	3.02	4.33

*/ CI = conventional irrigation (สภาพปรกติ) SSC = saturated soil culture (สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ)

SSC+ germinated seed = saturated soil culture + การหุ้มเมล็ดก่อนปลูก SSC + N_s = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทางดิน

SSC + N_f = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทางใบ

ตารางผนวกที่ 7 แสดงดัชนียูรีไอด์สัมพัทธ์ (relative ureides index ; %) ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกสภาพปรกติและสภาพดินอุ่มตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่ง
ทดลองที่แตกต่างกัน เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547

สิ่งทดลอง*	ระยะการเจริญเติบโต							
	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	R ₁	R ₂	R ₄
CI	75.44	82.81	79.84	76.16	90.39	89.85	89.99	92.08
SSC	74.31	79.77	77.76	78.59	89.30	86.89	88.63	91.21
SSC+germinated seed	70.45	78.53	77.89	76.50	89.41	89.64	87.67	89.81
SSC+N _s	72.96	76.93	79.23	77.14	88.49	89.19	89.17	91.47
SSC+N _f	70.75	79.77	78.75	75.29	89.06	89.28	88.70	91.19
ค่าเฉลี่ย SSC	72.12	78.75	78.41	76.88	89.07	88.75	88.54	90.92
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
LSD _{0.05}	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	5.95	2.62	0.97	4.16	0.55	1.71	0.95	0.88

*/ CI = conventional irrigation (สภาพปรกติ) SSC = saturated soil culture (สภาพดินอุ่มตัวด้วยน้ำ)

SSC+ germinated seed = saturated soil culture + การหุ้มเมล็ดก่อนปลูก SSC + N_s = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดิน

SSC + N_f = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางใบ

ตารางผนวกที่ 8 ครรชนีพื้นที่ใบ (leaf area index) ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกสภาพปรกติและสภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน
เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547

สิ่งทดลอง*	ระยะการเจริญเติบโต								
	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	R ₁	R ₂	R ₄	R ₆
CI	0.10	0.16	0.19	0.22	0.38	0.42	0.70	1.08	1.60
SSC	0.13	0.17	0.26	0.31	0.35	0.42	0.67	0.99	1.32
SSC+germinated seed	0.15	0.23	0.24	0.26	0.49	0.67	1.10	1.34	1.81
SSC+N _s	0.14	0.24	0.31	0.30	0.50	0.59	0.89	1.13	1.76
SSC+N _r	0.14	0.22	0.29	0.28	0.37	0.51	0.90	1.08	2.09
ค่าเฉลี่ย SSC	0.14	0.22	0.27	0.29	0.43	0.55	0.89	1.14	1.74
F-test	ns	ns	**	ns	ns	ns	**	ns	ns
LSD _{0.05}	-	-	0.059	-	-	-	0.158	-	-

*/ CI = conventional irrigation (สภาพปรกติ) SSC = saturated soil culture (สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ)

SSC+ germinated seed = saturated soil culture + การหุ้มเมล็ดก่อนปลูก SSC + N_s = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดิน

SSC + N_r = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางใบ

ตารางผนวกที่ 9 อัตราการเจริญเติบโต (crop growth rate; กรัม/ตร.ม.) ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกสภาพปรกติและสภาพดินอุ่มตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกันเมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547

สิ่งทดลอง*	ระยะการเจริญเติบโต								
	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	R ₁	R ₂	R ₄	R ₆
CI	0.52	0.59	0.43	1.21	1.95	0.71	4.61	4.07	24.98
SSC	0.49	1.11	1.09	0.62	0.46	2.90	2.76	5.56	11.23
SSC+germinated seed	0.72	1.89	1.92	0.98	1.69	5.65	6.26	3.99	16.18
SSC+N _s	0.52	1.83	2.98	3.06	3.15	3.89	3.50	4.38	16.62
SSC+N _r	0.61	1.09	2.34	2.65	3.04	3.34	8.15	0.76	18.61
ค่าเฉลี่ย SSC	0.59	1.48	2.08	1.83	2.08	3.95	5.17	3.67	15.66
F-test	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
LSD _{0.05}	-	-	-	1.409	-	-	-	-	-

*/ CI = conventional irrigation (สภาพปรกติ) SSC = saturated soil culture (สภาพดินอุ่มตัวด้วยน้ำ)

SSC+ germinated seed = saturated soil culture + การหุ้มเมล็ดก่อนปลูก SSC + N_s = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดิน

SSC + N_r = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางใบ

ตารางผนวกที่ 10 อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (net assimilation rate; กรัม/ตร.ม./วัน) ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกสภาพปรกติและสภาพดินอุ่มตัวด้วยน้ำ โดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547

สิ่งทดลอง*	ระยะการเจริญเติบโต							
	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	R ₁	R ₂	R ₄
CI	0.65	0.47	0.71	2.11	0.74	4.38	3.59	6.51
SSC	0.53	1.67	0.93	0.52	1.33	2.82	4.52	3.34
SSC+germinated seed	1.41	0.12	0.33	4.50	4.02	6.69	3.13	4.23
SSC+N _s	1.38	1.47	1.81	3.53	2.18	3.92	3.99	5.82
SSC+N _r	1.13	1.60	0.64	1.34	2.82	5.46	3.04	9.10
ค่าเฉลี่ย SSC	1.11	1.21	0.93	2.47	2.59	4.72	3.67	5.62
F-test	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
LSD _{0.05}	-	-	-	1.201	-	-	-	-

*/ CI = conventional irrigation (สภาพปรกติ) SSC = saturated soil culture (สภาพดินอุ่มตัวด้วยน้ำ)

SSC+ germinated seed = saturated soil culture + การหุ้มเมล็ดก่อนปลูก SSC + N_s = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทางดิน

SSC + N_r = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทางใบ

ตารางผนวกที่ 11 Leaf area ratio (ตร.ซม./กรัม) ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกสภาพปรกติและสภาพดินอุ่มตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547

สิ่งทดลอง*	ระยะการเจริญเติบโต								
	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	R ₁	R ₂	R ₄	R ₆
CI	121	123	136	149	155	156	153	144	45
SSC	159	119	143	187	189	153	157	143	61
SSC+germinated seed	162	140	92	107	153	134	139	136	58
SSC+N _s	157	135	107	136	146	136	138	132	59
SSC+N _r	137	138	116	156	155	148	112	130	65
ค่าเฉลี่ย SSC	153	133	115	147	161	143	136	135	61
F-test	*	ns	*	**	ns	ns	*	ns	ns
LSD _{0.05}	27.22	-	33.79	31.8	-	-	9.76	-	-

*/ CI = conventional irrigation (สภาพปรกติ) SSC = saturated soil culture (สภาพดินอุ่มตัวด้วยน้ำ)

SSC+ germinated seed = saturated soil culture + การหุ้มเมล็ดก่อนปลูก SSC + N_s = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดิน

SSC + N_r = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางใบ

ตารางผนวกที่ 12 Specific leaf weight (กรัม/ตร.ม.) ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกสภาพปรกติและสภาพดินอุ่มตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน
เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547

สิ่งทดลอง*	ระยะการเจริญเติบโต								
	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	R ₁	R ₂	R ₄	R ₆
CI	47.4	43.3	40.0	47.2	46.9	46.9	43.5	44.1	58.0
SSC	36.8	44.5	37.8	36.4	36.4	43.7	43.8	45.8	50.5
SSC+germinated seed	38.2	39.8	56.7	60.9	42.4	49.6	46.0	43.3	46.3
SSC+N _s	38.5	40.6	48.6	47.3	43.9	50.2	45.5	47.8	45.3
SSC+N _r	43.4	37.9	41.1	42.6	40.9	45.3	57.1	48.4	44.3
ค่าเฉลี่ย SSC	39.2	40.7	46.1	46.8	40.9	47.2	48.1	46.3	46.6
F-test	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*
LSD _{0.05}	4.169	-	-	13.71	-	-	-	-	8.761

*/ CI = conventional irrigation (สภาพปรกติ) SSC = saturated soil culture (สภาพดินอุ่มตัวด้วยน้ำ)

SSC+ germinated seed = saturated soil culture + การหุ้มเมล็ดก่อนปลูก SSC + N_s = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดิน

SSC + N_r = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางใบ

ตารางผนวกที่ 13 Relative growth rate (กรัม/กรัม/วัน) ของถั่วเหลืองเมื่อปลูกสภาพปรกติและสภาพดินอึมตัวด้วยน้ำโดยได้รับสิ่งทดลองที่แตกต่างกัน
เมื่อปลูกในฤดูฝน ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง พ.ศ. 2547

สิ่งทดลอง*	ระยะการเจริญเติบโต								
	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	R ₁	R ₂	R ₄	R ₆
CI	0.125	0.060	0.033	0.074	0.080	0.022	0.102	0.054	0.110
SSC	0.124	0.101	0.069	0.031	0.022	0.097	0.065	0.080	0.070
SSC+germinated seed	0.172	0.149	0.089	0.031	0.051	0.110	0.079	0.034	0.069
SSC+N _s	0.128	0.141	0.121	0.012	0.095	0.074	0.060	0.047	0.077
SSC+N _r	0.137	0.082	0.121	0.028	0.055	0.089	0.121	0.007	0.084
ค่าเฉลี่ย SSC	0.140	0.118	0.100	0.026	0.056	0.092	0.081	0.042	0.075
F-test	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
LSD _{0.05}	2.32	-	-	-	-	-	-	-	-

*/ CI = conventional irrigation (สภาพปรกติ) SSC = saturated soil culture (สภาพดินอึมตัวด้วยน้ำ)

SSC+ germinated seed = saturated soil culture + การหุ้มเมล็ดก่อนปลูก SSC + N_s = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางดิน

SSC + N_r = saturated soil culture + การใส่ปุ๋ยในโตรเจนทางใบ

การสกัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชโดยใช้สารเคมี DMSO

(สาวิตร, 2545 และ Hiscox and Israelstam, 1979)

วิธีการสกัดด้วยสารไดเมทิลซัลโฟไซด์ (Dimehtyl sulfoxide: DMSO)

1. นำใบพืชตัวอย่างแต่ละชนิดมาทำความสะอาด ตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ประมาณ 100 มิลลิกรัม (โดยหลีกเลี่ยงการใช้เนื้อเยื่อบริเวณเส้นใบและขอบใบ) แล้วใส่ในหลอดทดลอง
2. เติมสาร DMSO ปริมาณ 7 ml ลงในหลอดทดลอง แล้วนำไปอุ่นใน water bath ที่ควบคุมอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส
3. รอจนกระทั่งเนื้อเยื่อพืชเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีขาวใส
4. แยกส่วนของกากพืชออกจากสารละลาย โดยการกรองด้วยกระดาษกรอง
5. ปรับปริมาตรสารละลายที่กรองได้ด้วยสาร DMSO ให้เป็น 10 ml
6. นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยวิธีวัดค่าการดูดซับแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ช่วงคลื่น 645, 652 และ 663 นาโนเมตร
7. นำค่าที่อ่านได้ไปคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์

การคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช

1. เจือจางส่วนที่สกัดได้ด้วยสารไดเมทิลซัลโฟไซด์ (ในกรณีที่ย่านค่า OD > 1 ต้องเจือจางโดยใช้ supernatant: 80 % acetone = 1 : 9 ซึ่งได้ total = 10 ml)
2. นำไปอ่านการดูดแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ช่วงคลื่น 645, 652 และ 663 นาโนเมตร โดยใช้เคมีที่สกัดนั้นเป็น blank
3. คำนวณเป็นค่า mg of chlorophyll / g fresh leaf weight ตามสูตร ดังนี้

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

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

$$\text{mg total chlorophyll / g fresh leaf wt.} = [20.2 (D_{645}) + 8.02(D_{663})] \times [V / (1000 \times W)]$$
หรือ $= 27.8(D_{652})$
โดยที่ D = OD ของคลอโรฟิลล์ในความยาวคลื่นนั้น
V = ปริมาตรสุดท้ายของสารเคมีที่ใช้สกัด (ml)
W = น้ำหนักใบพืชที่ใช้

วิธีการวัดการตรึงไนโตรเจนในลั่วโดยวิธีการสกัดเนื้อเยื่อ

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

1. วิธีเก็บตัวอย่าง

(ก) เก็บเกี่ยวต้นลั่ว แยกใบไว้ต่างหาก

(ข) นำตัวอย่างลำต้นใส่ถุงที่มีเครื่องหมายบอกที่มาอย่างชัดเจน อบที่ 75-80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

หมายเหตุ ถ้าจะต้องการปริมาณไนโตรเจนในดินด้วยอย่าลืมหาใบอบด้วย และชั่งน้ำหนักแห้งของทั้งดินและใบ

(ค) บดตัวอย่างให้ละเอียดให้ผ่านตะแกรงขนาด 60-mesh (1.0 mm) เก็บไว้ในที่แห้งจนกว่าจะทำการสกัด

2. วิธีสกัด

(ก) ชั่งตัวอย่างลำต้นที่บดแล้วตัวอย่างละ 0.5 กรัม ใส่ลงในกระบอกแก้วขนาด 100 มล หรือขวดแก้วรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flasks)

(ข) เติมน้ำกลั่นตัวอย่างละ 25 มล แล้วต้มให้เดือด 1-2 นาที

(ค) กรองทั้งที่ยังร้อนผ่านกรวยกรองที่กระดาษกรองขนาด 15 ซม. (Whatman No.40) ลงในขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flasks) ขนาด 50 มล ใช้น้ำกลั่นล้างตัวอย่างพืชทั้งหมดลงในกรวย แล้วชะล้างด้วยน้ำกลั่นอีกเล็กน้อย

(ง) เมื่อน้ำที่กรองได้ในขวดวัดปริมาตรเย็น เติมน้ำกลั่นลงไปจนครบ 50 มล

(จ) น้ำที่ได้นี้นำไปวิเคราะห์สารประกอบไนโตรเจนได้ หรือเก็บไว้ได้เป็นเวลานานในขวดหรือหลอดในสภาพแช่แข็ง จนกว่าจะถึงเวลาวิเคราะห์

3. การวิเคราะห์สารประกอบไนโตรเจนที่สกัดจากเนื้อเยื่อ

เครื่องมือ สิ่งต่อไปนี้จำเป็นในการวิเคราะห์

- เครื่องชั่งที่ชั่งได้แม่นยำถึง 0.1 มก.
- หลอดทดลอง (ขนาด 18 x 150 มม.) พร้อมที่ต้้ม

- ไมโครปิเปตต์พร้อมหัว (e.g. Gilson Pipetman, France) และ/หรือ dispensers (e.g. Wheaton Ziette, England) ที่มีขนาดต่อไปนี้
 - 2 – 20 ไมโครลิตร
 - 50-200 ไมโครลิตร
 - 0.2-1 มล
 - 1-5 มล
- Vortex mixer
- Boiling – water Bath
- อ่างน้ำแข็ง หรือ Refrigerated-water Bath
- Spectrophotometer หรือ Colorimeter

การวิเคราะห์ยูรีไอด์

รีเอเจนต์

A. 0.5 M NaOH

NaOH (Analytical grade)	20 กรัม
น้ำกลั่น	1 ลิตร

B. Phenylhydrazine hydrochloride

Phenylhydrazine hydrochloride*	0.33 กรัม
น้ำกลั่น	100 มล

ต้องผสมใหม่ทุกวันที่จะใช้ เมื่อผสมแล้วต้องเก็บไว้ในขวดหุ้มด้วย tin-foil

* เก็บไว้รวมกับสารดูดความชื้นในตู้แช่แข็ง

C. 0.65 M HCl

กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (32% w/w)	6.5 มล
เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้	100 มล

C. Potassium ferricyanide

Potassium ferricyanide	0.833 กรัม
น้ำกลั่น	50 มล

ต้องผสมใหม่ทุกวันที่จะใช้ เมื่อผสมแล้วต้องเก็บไว้ในขวดหุ้มด้วย tin-foil

E. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (32% w/w = 10 M) แช่เย็นไว้ที่ 0 องศาเซลเซียส

F. มาตรฐานอะลันโทอิน (Allantoin standards)

เตรียมใหม่สำหรับวันที่จะใช้ 1 ไมโครโมล/มล allantoin stock โดยผสม

Allantoin (เก็บไว้กับสารดูดความชื้น)	15.8 มก
น้ำกลั่น	100 มล

ทำ allantoin stock ให้เจือจาง ดังต่อไปนี้

- 1 มล ใน 100 มล ด้วยน้ำกลั่น (10 nmole/ml), ใช้ 2.5 มล = 25 nmole
- 2 มล ใน 100 มล ด้วยน้ำกลั่น (20 nmole/ml), ใช้ 2.5 มล = 50 nmole
- 3 มล ใน 100 มล ด้วยน้ำกลั่น (30 nmole/ml), ใช้ 2.5 มล = 75 nmole
- 5 มล ใน 100 มล ด้วยน้ำกลั่น (50 nmole/ml), ใช้ 2.5 มล = 125 nmole
- 10 มล ใน 100 มล ด้วยน้ำกลั่น (100 nmole/ml), ใช้ 2.5 มล = 250 nmole

หมายเหตุ ใช้น้ำกลั่น 2.5 มล เป็น Blank ร่วมไปกับ standard เสมอ

ก่อนจะดำเนินการไปถึงการวิเคราะห์ยูรีไนด์ ควรจะได้ลองวิเคราะห์ standard ดู 1 ชุด ตั้งแต่ 0-250 nmole เพื่อยืนยันลักษณะการตอบสนองว่าเป็นเส้นตรงจริง

วิธีการ

เนื่องจากสีที่เกิดขึ้นไม่มีความคงที่ จึงควรวเคราะห์ยูรีไนด์ที่ละ 20-30 ตัวอย่างเท่านั้น ซึ่งรวมทั้ง water blank 2 และอย่างน้อย 3 ureide standards (e.g. 10, 20 and 50 nmole/ml)

(ก) นำตัวอย่างน้ำหล่อเลี้ยงลำดับที่สกัดได้ 0.2 มล หรือ 0.05-0.1 มล ตัวอย่างที่ได้ดูดจากต้นหรือที่ชิมออกมาจากท่อใส่ลงในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่นให้ครบ 2.5 มล สำหรับ blank ใช้น้ำกลั่น 2.5 มล และ standard ใช้ 2.5 มล ของสารละลายที่ได้เจือจางไว้

(ข) เติมนิโคตินิกแอซิดที่มีความเข้มข้น 0.5 M ลงไป 0.5 มล

(ค) เขย่าเพื่อผสมให้เข้ากัน แล้วนำหลอดทดลองลงไปต้มในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 10-15 นาที

(ง) ยกหลอดทดลองออกจากอ่างน้ำเดือดแล้วทิ้งให้เย็น แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.65 M ลงไปหลอดละ 0.5 มล ตามด้วย Phenylhydrazine ที่เตรียมไว้ 0.5 มล

(จ) ผสมให้ทั่วกัน แล้วนำไปต้มใน boiling-water bath อีก 2-4 นาที

(ฉ) ยกออกจากน้ำร้อนแล้วจุ่มลงในอ่างน้ำเย็นจัด (ice-water bath) ทิ้งไว้ 15 นาที ในขั้นตอนนี้การเย็นลงทันทีของสารละลายในหลอดทดลองมีความจำเป็นมากต่อการทำ

ให้เกิดสีที่จะเป็นเครื่องบ่งความเข้มข้นของยูรีไอด์ ดังนั้นอาจจำเป็นต้องใช้เกลือผสมกับน้ำแข็งเพื่อให้เย็นจัดมากขึ้น

- (ข) เอาออกจากอ่างน้ำแข็ง เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นที่แช่เย็นไว้ 2 มล และ potassium ferricyanide 0.5 มล
- (ค) ผสมให้เข้ากันทันทีที่เติม potassium ferricyanide ทุกครั้ง
- (ง) ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที แล้วนำไปอ่านค่าความเข้มแสง (Optical Density หรือ Absorbance) ด้วย spectrophotometer ที่ 525 nm
- สีที่ใช้อ่านนี้ไม่อยู่ตัว ถ้าปล่อยไว้นาน 1 ชั่วโมง สีจะจางไป 10-15 % ดังนั้นจึงควรที่จะทำตัวอย่างทั้งหมดรวมทั้ง blanks และ standards ด้วยที่จะสามารถอ่านเสร็จได้ในเวลาประมาณ 20 นาที
- (จ) สร้างเส้นแสดงความสัมพันธ์ (Standard curve) ระหว่างความเข้มข้นของ allantoin standard 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 $2.5/0.05 = \times 50$) จะสามารถอ่านความเข้มข้นของยูรีไอด์ในตัวอย่างได้เป็น nmole/ml

การวิเคราะห์ไนเตรทโดยวิธีกรดซาลิไซลิก

รีเอเจนต์

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

กรดซาลิไซลิก 5 กรัม

กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc H_2SO_4) 100 มล

รีเอเจนต์ตัวนี้ควรเตรียมล่วงหน้าไว้หลาย ๆ วันก่อนใช้ เมื่อเตรียมแล้วสามารถเก็บไว้ได้หลายสัปดาห์

B. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 M (2 M NaOH)

NaOH (Analytical grade) 40 กรัม

น้ำกลั่น 500 มล

C. มาตรฐานไนเตรท (Nitrate standard)

เตรียมสารละลายโปแตสเซียมไนเตรท (KNO_3) เข้มข้น 25 ไมโครโมล/มล

KNO_3 0.253 กรัม

น้ำกลั่น

100 มล

(ถ้าไม่มี KNO_3 ใช้ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ แทนได้)

ละลายให้เจือจาง ดังต่อไปนี้

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

หมายเหตุ แทรก blanks (น้ำกลั่น 0.05 มล) ใน standard ด้วยทุกครั้งที่จะวิเคราะห์

วิธีการ

(ก) เอาตัวอย่าง 0.05 มล ใส่ลงในหลอดทดลอง (มาตรฐานไนเตรทที่เตรียมไว้อย่างละ 0.05 มล พร้อมทั้งน้ำกลั่น 0.05 มล 2 ซ้ำเป็น blanks)

(ข) เติมน้ำละลายซาลิไซลิก 0.2 ml ผสมให้เข้ากัน

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

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

(จ) สร้าง standard curve (1 ไมโครโมล standard ไนเตรท ควรอ่าน optical density ได้ ประมาณ 1.2) อ่านค่าความเข้มข้นไนเตรทในหลอดทดลองจาก standard curve

หมายเหตุ สำหรับตัวอย่างที่ได้จากวิธีการสกัดเนื้อเยื่อ ไม่มีการวิเคราะห์กรดอะมิโน โดยมีสูตรคำนวณ ดังนี้

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

* mole