ระดับชั้นของระบบการผลิตพืชกับการระบุปัญหาด้านเขตกรรม : กรณีถั่วเหลืองในเขตชลประทาน

Hierrachy in cropping systems and identification of problems in cultivation : soybean in irrigated areas

เมธี เอกะสิงห์, ชาญชัย แสงชโยสวัสดิ์ และ พฤกษ์ ยิบมันตะสิริ

ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Abstract

In farming systems, there are a number of interacting components which influence both quantity and quality of farm products. Although the components in farming systems are numerous and complex, they can be organized into hierrachical order. At any hierrachical level, there are inputs, processes, and outputs of the system. The objectives of the research or development study must be clearly specified before particular hierrachical level is chosen. The outputs of the system in that level should satisfy the objectives of the study. In addition, the study should include at least one hierrachical level above and below the selected level.

This paper reports the methodology used in the case of soybean production system. The objective is to identify the cultivation problems so that improvement can be made on the soybean yield through proper resource management in irrigated areas in Chiang Mai. Hierrachical levels of cropping system are considered together with information obtained for each level. However more emphasis is placed on the farmer's field level in this paper. Discussion is given on how to apply the result of study at such level to identify problems in the soybean production system at higher level.

บทคัดย่อ

ระบบการเกษตรมีองค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์กันและส่งผลถึงปริมาณและคุณภาพของผลผลิตของระบบนั้น ถึงแม้จำนวนองค์ประกอบในระบบจะมีมากมายและสลับซับซ้อน แต่สามารถจัดองค์ประกอบเหล่านั้นให้เป็นระดับชั้น โดยแต่ละระดับชั้นมีสิ่งที่เข้ามาในระบบ กระบวนการและผลลัพธ์ที่ชัดเจน ในการที่จะเลือกศึกษาระดับชั้นใด จะต้องทราบวัตถุประสงค์ของการวิจัยหรือพัฒนาให้แน่ชัดเสียก่อน จากนั้นจึงเน้นศึกษาระบบในระดับชั้นที่มีผลลัพธ์สอดคล้องกับวัตถุประสงค์มากที่สุดพร้อมทั้งศึกษาระดับชั้นที่สูงขึ้นไปและต่ำลงมาจากระดับชั้นที่เน้นอย่างน้อยอย่างละหนึ่งระดับชั้น รายงานนี้จะแสดงให้เห็นถึงวิธีการศึกษาระบบการผลิตถั่วเหลือง เพื่อระบุปัญหาด้านเขตกรรมอันจะนำไปสู่การเพิ่มผลผลิตให้สอดคล้องกับทรัพยากรในไร่นาในเขตชลประทานในจังหวัดเชียงใหม่ โดยพิจารณาระดับชั้นต่าง ๆ ของระบบการผลิต และแสดงให้เห็นถึงข้อมูลที่จะได้จากการศึกษาในแต่ละระดับชั้นเหล่านั้น อย่างไรก็ตาม รายงานนี้จะเน้นการศึกษาระดับแปลงเกษตรกรมากกว่าระดับอื่น รวมทั้งอภิปรายถึงการนำผลที่ได้จากการศึกษาระดับนี้ไปช่วยระบุปัญหาในการผลิตและปรับปรุงการผลิตถั่วเหลืองในระดับชั้นที่สูงขึ้น

คำนำ

งานวิจัยระบบการทำฟาร์ม เป็นงานวิจัยที่เน้นการแก้ปัญหาการผลิตที่เกิดขึ้นในฟาร์มของเกษตรกรอย่างมีระบบ โดยปัญหาเหล่านั้นควรเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในวงกว้างบนพื้นที่เป้าหมาย เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว การระบุปัญหาเพื่องานวิจัย ควรทำด้วยความรอบคอบเพื่อสืบสาวปัญหาที่แท้จริง ในขณะเดียวกันจะต้องประเมินให้ได้ว่า ปัญหาเหล่านั้นเกิดขึ้นกว้างขวางเพียงใด สมควรที่จะใช้ผลิตพืชและสามารถเชื่อมโยงปัญหาเหล่านั้นเข้ากับการปฏิบัติของเกษตรกรจำนวนมากในพื้นที่เป้าหมาย ทรัพยากรที่มีจำกัดเพื่อแก้ไขหรือไม่ ความต้องการทั้งสองประการบ่งให้เห็นว่า จำเป็นจะต้องมีวิธีการศึกษาที่สามารถชี้ชัดถึงกลไกของปัญหาในระดับต้นพืชหรือแปลงปลูกพืช ถ้ากิจกรรมหลักในฟาร์มเป็นการผลิตพืช และสามารถเชื่อมโยงปัญหาเหล่านั้นเข้ากับการปฏิบัติของเกษตรกรจำนวนมากในพื้นที่เป้าหมาย

วิธีการดังกล่าวอาจทำได้โดยการศึกษาองค์ประกอบในแต่ละระดับชั้นของระบบเกษตร โดยใช้วิธีการที่เหมาะสม รายงานนี้จะแสดงให้เห็นถึงวิธีการศึกษาระบบการผลิตถั่วเหลือง เพื่อระบุปัญหาด้านเขตกรรม อันจะนำไปสู่การเพิ่มผลผลิตให้สอดคล้องกับทรัพยากรในไร่นาในเขตชลประทานในจังหวัดเชียงใหม่ โดยพิจารณาระดับชั้นต่าง ๆ ของระบบการผลิต และแสดงให้เห็นถึงข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในแต่ละระดับชั้นเหล่านั้น เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลที่ได้รับจากการศึกษา ระดับแปลง ระดับฟาร์ม และระดับพื้นที่รับน้ำ อันจะนำไปสู่การแก้ไขข้อจำกัด การผลิตถั่วเหลืองอย่างมีระบบ อย่างไรก็ตามรายงานนี้จะเน้นการศึกษาระดับแปลงปลูกพืชมากกว่าระดับอื่น รวมทั้งอภิปรายถึงการนำผลที่ได้จากการศึกษาระดับนี้ไปช่วยระบุปัญหาในการผลิตและปรับปรุงการผลิตถั่วเหลืองในระดับชั้นที่สูงขึ้น

ระดับชั้นของระบบเกษตร

องค์ประกอบของระบบการเกษตรมิได้กระจายอยู่อย่างไร้ระเบียบ แต่มีการจัดตัวเป็นระดับชั้น (hierachical level) ตั้งแต่ระดับชั้นที่มีองค์ประกอบจำนวนน้อย จำกัดอยู่เฉพาะองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางชีววิทยา เช่น ระดับเซลล์ เนื้อเยื่อ และต้นพืช ไปจนถึงระดับที่มีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับคน และระบบเศรษฐกิจและสังคม เช่น ระดับฟาร์ม หรือ ระดับที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบการตลาด ข่าวสาร และการเมือง เช่น ระดับภาค หรือ ประเทศ

ในระบบที่มีระดับชั้นต่าง ๆ เหล่านี้ มีข้อเท็จจริงที่น่าสนใจบางประการคือ ประการแรก ระบบในระดับชั้นต่ำกว่า (มีองค์ประกอบจำนวนน้อยกว่า) จะเป็นระบบย่อยของระดับชั้นที่อยู่สูงขึ้น เช่น ระบบพืชเป็นส่วนหนึ่งของระบบฟาร์ม และระบบฟาร์มเป็นระบบย่อยของระบบชลประทาน เป็นต้น ประการที่สอง ในการศึกษาระบบในระดับชั้นที่สนใจนั้น ควรศึกษาระบบอย่างน้อย 3 ระดับชั้น กล่าวคือ ระดับชั้นที่สูงขึ้นหนึ่งระดับชั้นและที่ต่ำกว่าระดับชั้นที่สนใจอีกหนึ่งระดับชั้น ทั้งนี้เพราะว่าการตัดสินใจและการจัดการในระบบที่อยู่ในระดับชั้นสูงกว่า มีอิทธิพลเหนือระบบที่สนใจ ในขณะเดียวกันระบบในระดับชั้นต่ำกว่า จะช่วยอธิบายกลไกที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระบบที่เราสนใจได้

ระบบการผลิตถั่วเหลืองในเขตชลประทาน

การศึกษาในระดับพื้นที่รับน้ำชลประทาน

จากการวิเคราะห์พื้นที่การผลิตถั่วเหลืองในภาคเหนือ พบว่า แหล่งปลูกถั่วเหลืองในเขตชลประทาน

ที่ใหญ่ที่สุดคือ ที่ราบลุ่มเชียงใหม่ ลำพูน โดยมีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุดประมาณ 65,000 ไร่ ในพื้นที่รับน้ำชลประทานโครงการแม่แตง หรือประมาณ 85% ของพื้นที่รับน้ำชลประทานของโครงการนี้ในฤดูแล้ง เนื่องจากน้ำเป็นตัวกำหนดผลลัพธ์ในรูปของผลิตภาพในระดับชั้นนี้ การศึกษาอัตราการไหลของน้ำในคลองส่งน้ำ ตลอดจนกำหนดการส่งน้ำในระบบจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพราะการจัดการในระดับนี้จะส่งผลไปถึงการเขตกรรมในระดับแปลงเพาะปลูก จากการศึกษาพบว่า ในฤดูแล้งโครงการเริ่มส่งน้ำในอาทิตย์สุดท้ายของเดือนธันวาคมด้วยอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยในคลองส่งน้ำสายใหญ่ เท่ากับ 10.0 ลบ.ม.ต่อวินาที และลดลงเหลือเพียง 5.0 ลบ.ม.ต่อวินาที ประมาณเดือนมีนาคมถึงเมษายน และเมื่ออัตราส่งน้ำลดลงต่ำกว่า 8 ลบ.ม.ต่อวินาที โครงการจะส่งน้ำเป็นรอบเวร โดยส่งน้ำเป็นส่วนทั้งในคลองสายใหญ่และภายในคลองซอย (เมธี และคณะ 2526) ถึงแม้ข้อมูลในระดับนี้จะไม่สามารถระบุแน่ชัดถึงปัญหาการขาดน้ำในระดับฟาร์มแต่เป็นสิ่งที่บ่งชี้ว่า โอกาสที่ผลผลิตถั่วเหลืองจะถูกกระทบในช่วงเดือนมีนาคมและเมษายน ซึ่งเป็นช่วงวิกฤติในการพัฒนาเมล็ดมีมาก ซึ่งสามารถช่วยในการตั้งสมมติฐานและวางแผนการศึกษาถึงผลกระทบนี้ในระดับแปลงปลูกพืชได้

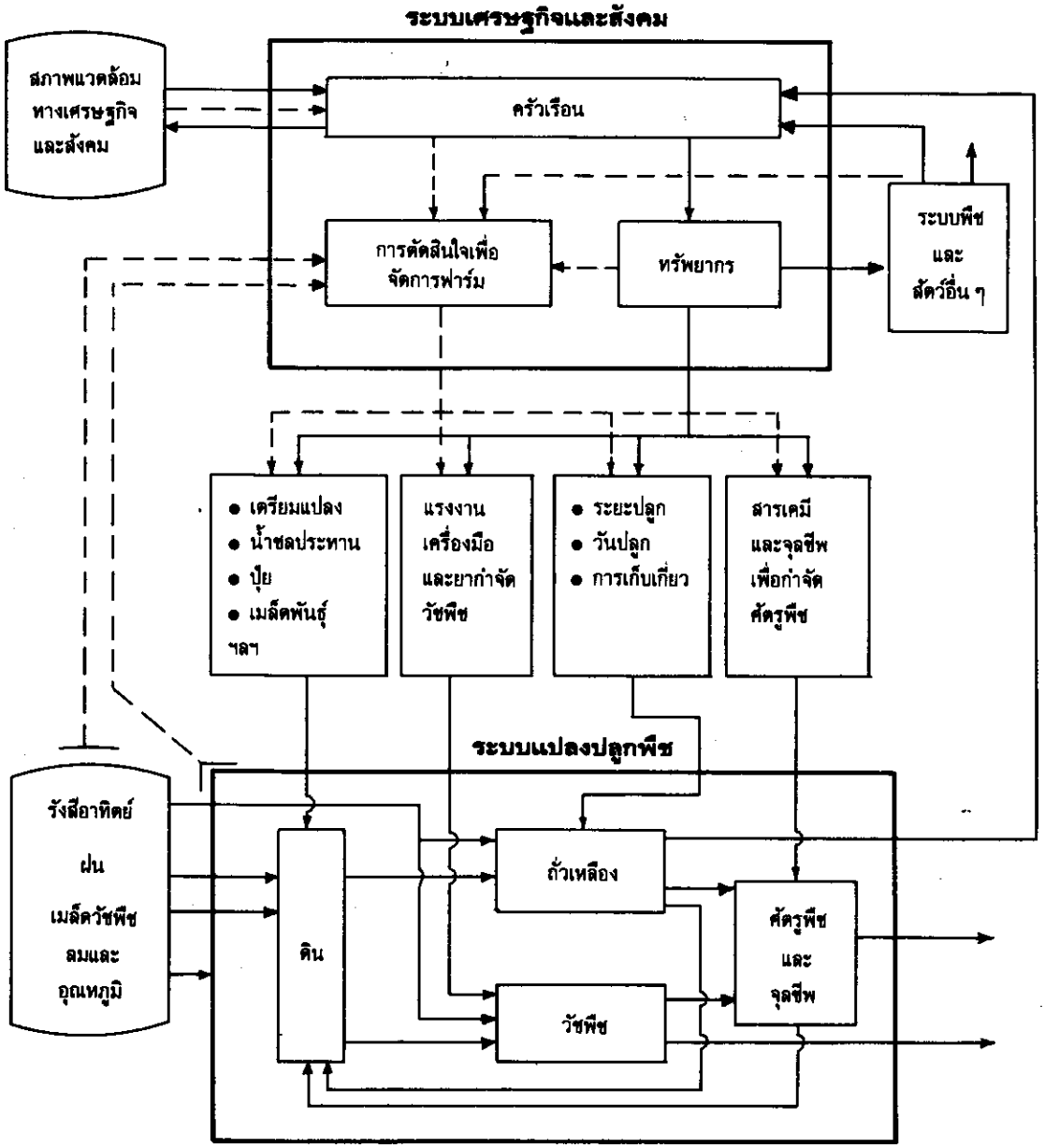
การศึกษาในระดับฟาร์ม

ระบบฟาร์มในพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองในเขตชลประทานที่ราบลุ่มเชียงใหม่ ประกอบด้วยระบบเศรษฐกิจและสังคม อันครอบคลุมเกษตรกรในครัวเรือน ซึ่งเป็นผู้ตัดสินใจในการจัดสรรทรัพยากรทางเกษตรได้แก่ ที่ดิน แรงงาน เงินทุน เพื่อเป็นปัจจัยสู่ระบบนิเวศน์ของแปลงปลูกถั่วเหลือง (รูปที่ 1) การเขตกรรมในส่วนที่จะกระทบต่อระบบดินในแปลงปลูก ได้แก่ วิธีการเตรียมแปลง ปริมาณและความถี่ของการให้น้ำชลประทาน ชนิด ปริมาณ และวิธีการใส่ปุ๋ย เป็นต้น สำหรับระยะปลูก วันปลูก วันและวิธีการเก็บเกี่ยวจะส่งผลถึงผลิตภาพของถั่วเหลือง ปริมาณวัชพืชจะมากหรือน้อยอยู่กับการตัดสินใจของเกษตรกรในการใช้แรงงาน เครื่องมือและยากำจัดวัชพืช ในทำนองเดียวกัน ปริมาณศัตรูพืช และจุลชีพทั้งที่เป็นประโยชน์และโทษต่อระบบพืชจะผันแปรตาม ชนิด และปริมาณของสารเคมี หรือจุลชีพที่ใช้ในกระบวนการควบคุมทางชีววิทยา เพื่อการกำจัดศัตรูพืช

สำหรับระบบพืชอื่นและสัตว์ในฟาร์มที่มีถั่วเหลืองเป็นกิจกรรมหลักนั้น พบว่ามีบทบาทต่อรายได้ของฟาร์มในพื้นที่ศึกษาน้อยมาก แต่รายได้ของเกษตรกรนอกฟาร์ม เช่น หัตถกรรม ก่อสร้าง ฯลฯ มีบทบาทรองจากรายได้จากการปลูกถั่วเหลือง

เนื่องจากทรัพยากร ระหว่างฟาร์มต่าง ๆ มีความแปรปรวนมาก การตัดสินใจในการใช้ปัจจัยการผลิต และวิธีการเขตกรรมของเกษตรกรในฟาร์มต่าง ๆ จึงมีความแปรปรวนตามไปด้วย ซึ่งกระทบไปถึงผลผลิตของถั่วเหลืองในที่สุด ดังนั้นการระบุชนิดและความมากน้อยของข้อจำกัดในการผลิตถั่วเหลืองของฟาร์ม ในพื้นที่เป้าหมายจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการให้คำแนะนำในการผลิตให้สอดคล้องกับทรัพยากรในฟาร์ม

การศึกษาดังกล่าวในระดับฟาร์มได้ใช้การสัมภาษณ์เกษตรกร ประกอบกับการออกแบบสอบถาม การสำรวจแปลงปลูกพืช และสุ่มเก็บตัวอย่างผลผลิตพืช โดยกลุ่มนักวิจัยหลายสาขาวิชา ผลการศึกษาข้อจำกัดในระดับชั้นนี้ปรากฏในรายงานของพฤกษ์ และคณะ (2531) ซึ่งสรุปได้ว่าการควบคุมวัชพืชชนิด ปริมาณและวิธีการใส่ปุ๋ย เป็นการเขตกรรมที่ยังมีข้อจำกัด ซึ่งทำให้ผลผลิตลดลงกว่าที่จะพึงมีได้ สำหรับ



รูปที่ 1 การไหลเวียนของวัสดุ (เส้นทึบ) และข่าวสาร (เส้นประ) ในระบบฟาร์มที่มีการปลูกถั่วเหลืองเป็นกิจกรรมหลัก (ดัดแปลงจาก Hart, 1984)

ความหนาแน่นของต้นถั่วเหลืองนั้นอยู่ในช่วงที่ไม่กระทบผลผลิต แต่อัตราที่เกษตรกรส่วนใหญ่ปฏิบัตินั้นสูงกว่าอัตราที่แนะนำ ข้อมูลจากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการตั้งสมมติฐานเพื่องานวิจัยในไร่นา โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการศึกษาบทบาทของปัจจัยต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดความเหลื่อมล้ำของผลผลิต (yield gap) ระหว่างแปลงเกษตรกร กับแปลงที่ปลูกถั่วเหลืองตามคำแนะนำอย่างครบถ้วน (พฤกษ์ และคณะ 2531) อย่างไรก็ตามงานวิจัยในลักษณะนี้เหมาะกับวัตถุประสงค์ ที่ต้องการปรับปรุงคำแนะนำในการใช้

ปัจจัยการผลิตพืชให้สอดคล้องกับทรัพยากรในฟาร์ม โดยใช้ระยะเวลาไม่นานนัก และทีมนักวิจัย ตลอดจนอุปกรณ์การวิจัย และทรัพยากรมีจำกัด แต่ถ้าสิ่งที่กล้าวข้างต้นไม่เป็นข้อจำกัด การศึกษาองค์ประกอบในลำดับชั้นที่ต่ำลงมาจากฟาร์มคือ ระดับแปลงปลูกพืชจะทำให้สามารถทราบถึงกลไกที่ทำให้เกิดความแปรปรวนในผลผลิตของถั่วเหลือง รวมทั้งสภาพแวดล้อมในระดับแปลงปลูกพืชที่ทำให้องค์ประกอบของผลผลิตเกิดความแปรปรวนได้ ผลจากการศึกษาประเภทหลังสามารถนำไปสู่การปรับปรุงการเขตกรรมและผลผลิตของถั่วเหลืองได้ถูกต้องยิ่งขึ้น ตัวอย่างต่อไปนี้อธิบายวิธีการศึกษาดังกล่าว

การศึกษาในระดับแปลงปลูกพืช

แปลงปลูกพืชประกอบด้วยระบบถั่วเหลือง ดิน วัชพืช แมลงและสัตว์ศัตรูพืช ตลอดจนจุลชีพที่ก่อให้เกิดโรคพืชและที่ช่วยในการตรึงไนโตรเจนสำหรับถั่วเหลือง (รูปที่ 1) ในการศึกษาเพื่อระบุปัญหาเกี่ยวกับการเพาะปลูกถั่วเหลืองในระดับแปลง ควรวิเคราะห์ให้ชัดเจนว่าผลผลิตในแปลงเกษตรกรต่ำกว่าที่ควรจะได้ในฤดูกาลนั้นหรือไม่ ในกรณีที่ต่ำกว่า ควรวิเคราะห์ให้เห็นว่าองค์ประกอบผลผลิตของถั่วเหลืองตัวใดที่เป็นตัวจำกัด หลังจากนั้นจึงหาสาเหตุต่อไปว่าข้อจำกัดนั้น เนื่องจากความไม่เหมาะสมด้านธาตุอาหารพืช น้ำ หรือการถ่ายเทอากาศในระบบดิน หรือเกิดจากการแก่งแย่งทรัพยากรในดินและรังสีอาทิตย์ของระบบวัชพืช หรือเนื่องจากผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตบางส่วนสูญเสียเนื่องจากระบบศัตรูพืชและจุลชีพ เมื่อทราบว่าระบบย่อยในแปลงระบบใดเป็นสาเหตุที่จำกัดผลผลิตแล้ว จะทำให้สามารถสืบสาวถึงการจัดสรรทรัพยากร และปัจจัยการผลิตของเกษตรกรในฟาร์มที่ทำให้เกิดปัญหาในแต่ละระบบย่อยเหล่านั้น ซึ่งจะนำไปสู่การปรับปรุงการเขตกรรมที่สามารถขจัดข้อจำกัดที่พบในระดับแปลงปลูกพืชได้ต่อไป

วิธีการศึกษา

ผลการศึกษาในระดับพื้นที่รับน้ำชลประทานและระดับฟาร์ม ดังที่กล่าวมาแล้ว ชี้ให้เห็นว่าความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินต่อพืช ชนิดและปริมาณปุ๋ยที่ให้แก่ถั่วเหลือง และวัชพืช อาจเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความแปรปรวนของผลผลิตในแปลงเกษตรกร ดังนั้นการเลือกแปลงเกษตรกรที่จะทำการศึกษาควรเลือกแปลงที่มีความแปรปรวนของปัจจัยดังกล่าว เพื่อจะได้ระดับของผลผลิตที่มีช่วงกว้างพอที่จะวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการศึกษานี้ได้เลือกแปลงเกษตรกรที่อยู่ต้น กลาง และปลายคลองชอย จำนวน 51 แปลง ในบริเวณ อ.หางดง และ อ.สันป่าตอง เพื่อครอบคลุมช่วงความแปรปรวนของปัจจัยดังกล่าว

ได้ติดตามการเขตกรรมของเกษตรกร ตลอดจนการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช บันทึกข้อมูลการคลุมดินของวัชพืช ตลอดจนดัชนีการขาดน้ำของพืช (crop water strees index, CWSI) ตามวิธีการของ Idso (1982) ทุก 7 วัน ข้อมูลนี้มีค่าตั้งแต่ 0-1.0 โดยที่ค่าเข้าใกล้ 1.0 จะบ่งว่าพืชนั้นอยู่ในสภาวะที่ขาดน้ำมาก นอกจากนี้ได้วัดปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ในใบพืชบนสุดที่คลี่เต็มที่ในระยะออกดอก เมื่อเก็บเกี่ยวทำการวัดผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตเพื่อนำไปประเมินความแปรปรวนของผลผลิต และองค์ประกอบของผลผลิตโดยวิธีการของ Sebillotte (1987) และ Pigeaire, (1986) แต่ได้ใช้วิธีการสร้างเส้นพรมแดน (frontier) มาใช้แทนการสร้าง envelope curve ดังที่ใช้ในการศึกษาความแปรปรวนของผลผลิตข้าว ตามรายงานของ Crozat and Chitapong (1987) การสร้างเส้นพรมแดน เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการวัดประสิทธิภาพการผลิตในงานวิจัยสาขาเศรษฐศาสตร์ (Russell and Young, 1983) หลังจาก

ระบุองค์ประกอบการผลิตที่เป็นข้อจำกัดสำคัญของผลผลิตแล้ว ได้ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสภาพแวดล้อมและการปฏิบัติของเกษตรกรในแปลงในระยะเวลาที่สัมพันธ์กับการสร้างองค์ประกอบของผลผลิตที่เป็นตัวจำกัดดังกล่าว โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์หลายตัวแปร (multiple regression) เพื่อระบุว่าปัจจัยตัวใดที่สามารถอธิบายความแปรปรวนขององค์ประกอบผลผลิตเหล่านั้น

แหล่งความแปรปรวนของผลผลิต

กระบวนการสร้างผลผลิตของถั่วเหลือง เป็นกระบวนการต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มปลูกจนกระทั่งเก็บเกี่ยว ซึ่งสามารถแยกแยะองค์ประกอบของผลผลิตได้ดังในรูปที่ 2 และอาจเขียนเป็นอนุกรมของสมการได้ดังนี้ :

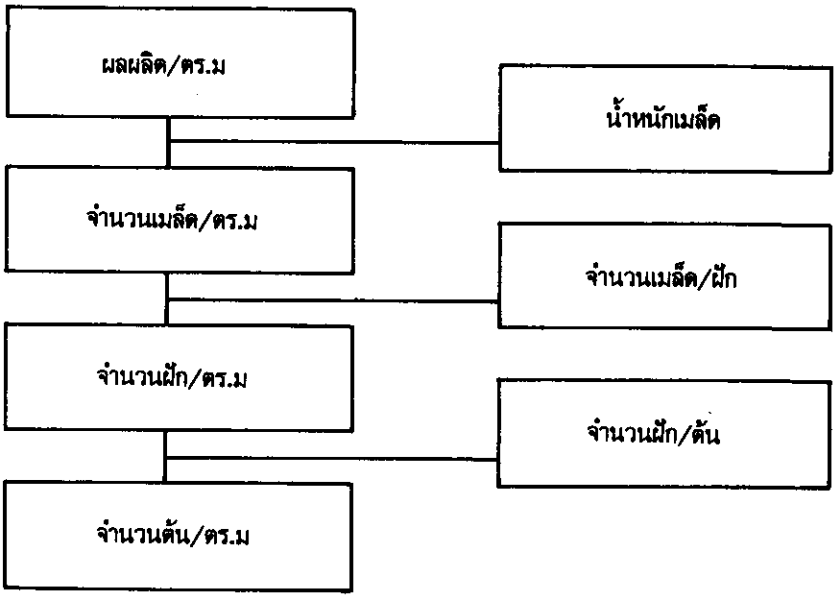
ผลผลิต/ตร.ม. = จำนวนเมล็ด/ตร.ม. × น้ำหนักเมล็ด .....(1)

จำนวนเมล็ด/ตร.ม. = จำนวนฝัก/ตร.ม. × จำนวนเมล็ด/ฝัก .....(2)

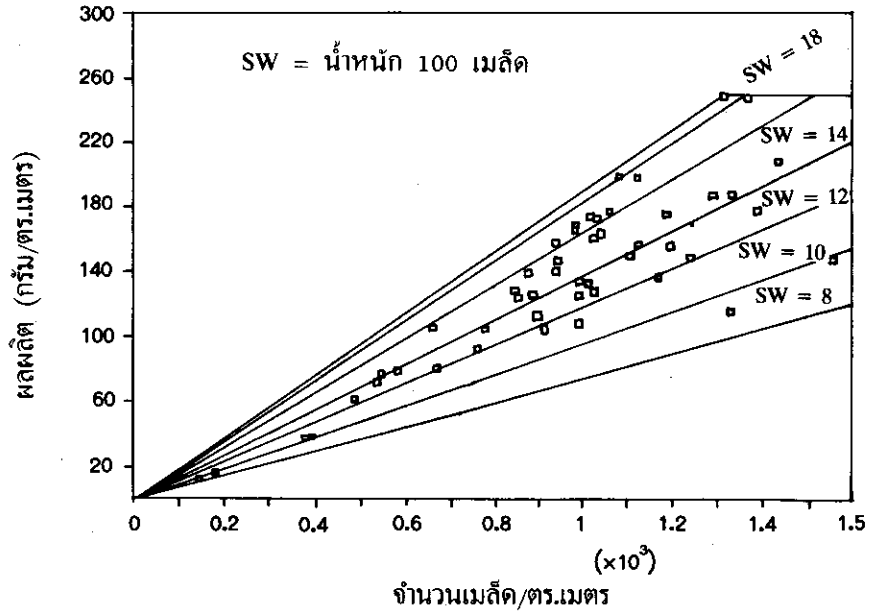
จำนวนฝัก/ตร.ม. = จำนวนต้น/ตร.ม. × จำนวนฝัก/ต้น .....(3)

เมื่อเขียนกราฟแสดงการกระจายตัวของผลผลิต/ตารางเมตร เมื่อจำนวนของเมล็ด/ตารางเมตรเพิ่มขึ้น (รูปที่ 3) พบว่า ผลผลิตของตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่ต่ำกว่าเส้นพรมแดน ลักษณะการกระจายของข้อมูลในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าผลผลิตถูกจำกัดโดยจำนวนเมล็ด/ตารางเมตร และน้ำหนักเมล็ดพบว่าประมาณ 68% ของตัวอย่างมีน้ำหนัก 100 เมล็ดอยู่ในช่วง 12-16 กรัม ในขณะที่มีประมาณ 4% ของแปลงตัวอย่างเท่านั้นที่มีน้ำหนักเมล็ดมากกว่า 18 กรัม ซึ่งใกล้เคียงกับค่าศักยภาพของพันธุ์ สจ.4 และ สจ.5 เนื่องจากจำนวนเมล็ด/ตารางเมตร เป็นองค์ประกอบของผลผลิตอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญ และตัวอย่างส่วนใหญ่มีค่านี้อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าค่าที่ได้จากถั่วเหลืองที่ปลูกในแปลงทดลองในสภาพที่มีปัจจัยสมบูรณ์ในเวลาเดียวกัน คือ 65 เมล็ด/ต้น ดังนั้นจึงควรวิเคราะห์ว่าการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในระยะก่อนสืบพันธุ์ หรือประสิทธิภาพในการสร้างเมล็ดอย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองอย่างที่เป็นข้อจำกัดที่ทำให้จำนวนเมล็ด/ตารางเมตร ไม่ถึงค่าศักยภาพ (Pigeaire, 1986) ประสิทธิภาพในการสร้างเมล็ดอาจแสดงได้โดยเขียนกราฟระหว่างน้ำหนักแห้งสูงสุด/ต้น และน้ำหนักเมล็ด/ต้น ดังแสดงในรูปที่ 4 การกระจายของข้อมูลในรูปนี้บ่งชี้ว่าถั่วเหลืองในแปลงส่วนใหญ่มีข้อจำกัด ทั้งในด้านการสะสมน้ำหนักแห้งสูงสุดของต้น และในด้านประสิทธิภาพในการสร้างเมล็ด ซึ่งจะเห็นได้จากการตอบสนองของจำนวนเมล็ด/ต้น บนเส้นพรมแดนเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงจนถึงจุดที่น้ำหนักแห้งของต้นประมาณ 9.0 กรัม/ต้น และข้อมูลส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ใต้เส้นพรมแดน สำหรับการสะสมน้ำหนักแห้งสูงสุดของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ในแปลงในสถานีทดลองที่ให้ปัจจัยการผลิตทุกอย่างบริบูรณ์ และปลูกในช่วงเวลาเดียวกันมีค่าเท่ากับ 21.5 กรัม/ต้น และมีจำนวนเมล็ด 65.3 เมล็ด/ต้น

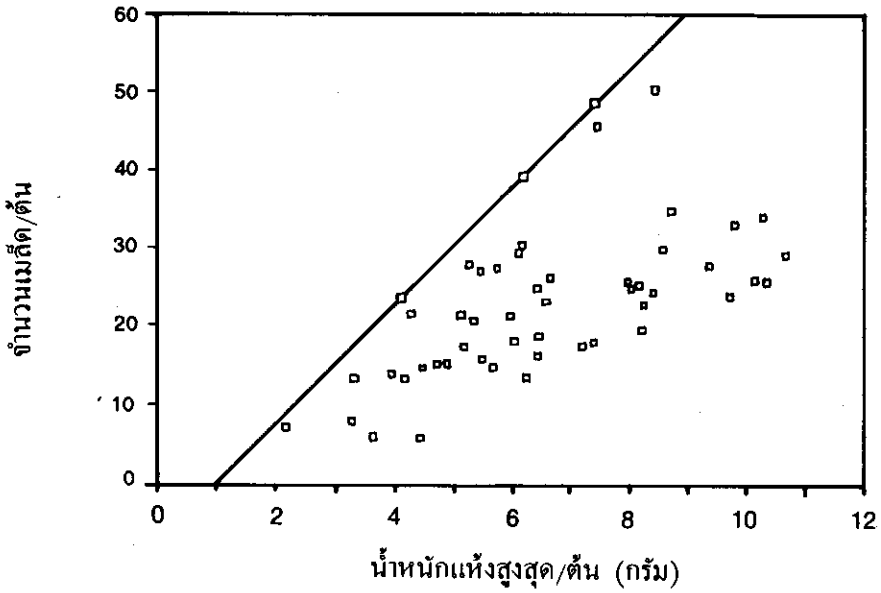
เมื่อพิจารณาขั้นตอนในการสร้างจำนวนเมล็ดดังแผนผังรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่า องค์ประกอบผลผลิตที่มีส่วนที่กำหนดจำนวนเมล็ด/ต้น ได้แก่ จำนวนเมล็ด/ฝัก และจำนวนฝัก/ต้น หลังจากที่วิเคราะห์กราฟแสดงการกระจายขององค์ประกอบเหล่านั้นพบว่า เฉพาะจำนวนฝัก/ต้น เท่านั้นที่แสดงความแปรปรวนระหว่างแปลงตัวอย่าง (รูปที่ 5) ส่วนจำนวนเมล็ด/ฝัก มีความแปรปรวนน้อยมาก ดังนั้นจำนวนฝัก/ต้นจึงเป็นองค์ประกอบผลผลิตที่สำคัญที่ก่อให้เกิดความแปรปรวนของจำนวนเมล็ด/ต้น



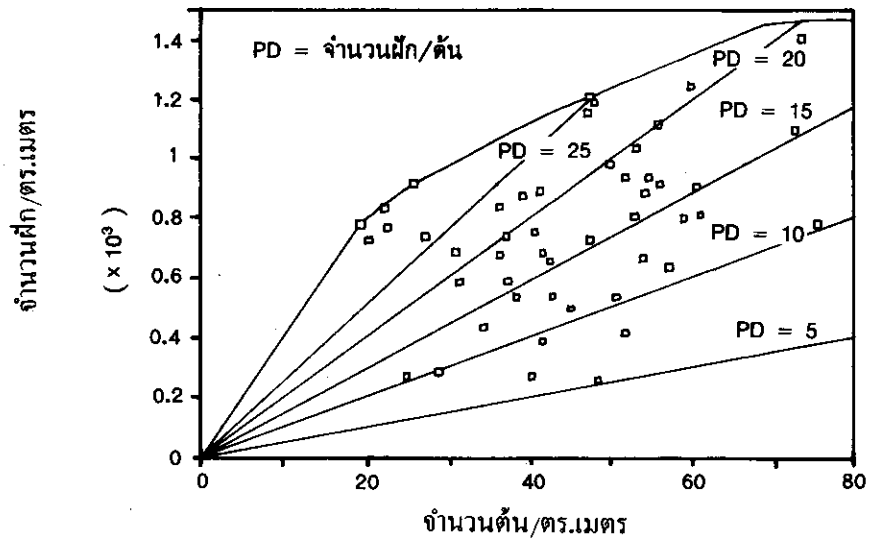
รูปที่ 2 ผังแสดงการพัฒนาองค์ประกอบผลผลิตของถั่วเหลือง



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเมล็ดต่อตารางเมตร และผลผลิตของถั่วเหลืองในแปลงเกษตรกร



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งสูงสุดต่อต้น และจำนวนเมล็ดต่อต้นของถั่วเหลืองในแปลงเกษตรกร



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของต้นถั่วเหลือง และจำนวนฝักต่อตารางเมตรในแปลงเกษตรกร

ผลการวิเคราะห์ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต อาจสรุปได้ว่ากลไกที่ทำให้ผลผลิตถั่วเหลืองในแปลงเกษตรกรแปรปรวน และต่ำกว่าระดับที่ได้รับจากถั่วเหลืองพันธุ์เดียวกันที่ปลูกในสถานีทดลองที่มีดินคล้ายกัน แต่ได้รับปัจจัยการผลิตอย่างสมบูรณ์ ได้แก่ การสะสมน้ำหนักแห้งสูงสุดของถั่วเหลืองและจำนวนฝัก/ต้น ซึ่งทำให้การสร้างจำนวนเมล็ด/ต้นต่ำกว่าระดับเหมาะสม นอกจากนี้น้ำหนักเมล็ดถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบอีกส่วนหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตของถั่วเหลืองมีความแปรปรวน ดังนั้นในการวิเคราะห์ขั้นต่อไปจึงควรวิเคราะห์ว่า สภาพแวดล้อมทางกายภาพและการเขตกรรมอะไรที่มีความสัมพันธ์กับการเจริญ-เติบโต ประสิทธิภาพในการสร้างเมล็ดและองค์ประกอบที่เป็นตัวกำหนดผลผลิตดังกล่าว เพื่อระบุปัญหาในการเขตกรรม และหาวิธีการแก้ไขต่อไป

ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพในการสร้างเมล็ด และสภาพแวดล้อมการสะสมน้ำหนักแห้ง

ถั่วเหลืองสะสมน้ำหนักแห้งของลำต้น สูงสุดในระยะระหว่างติดฝัก (R5) และระยะสร้างเมล็ด (R6) ตามคำจำกัดความระยะพัฒนาการของถั่วเหลืองของ Fehr et al. (1971) สารสังเคราะห์ที่สะสมเหล่านี้มีส่วนสำคัญในการกำหนดจำนวนเมล็ดต่อต้นในระยะสืบพันธุ์ของพืช พบว่าการสะสมน้ำหนักแห้งของถั่ว-เหลืองในแปลงเกษตรกรที่ศึกษามีข้อจำกัด (รูปที่ 2) สมการที่ (4) ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์หลายตัวแปร และสามารถอธิบายความแปรปรวนของน้ำหนักแห้งสูงสุดต่อต้นของถั่วเหลืองได้ 46% (ตารางที่ 1)

$$\ln TDM = 3.74 + 0.75 \ln P - 0.33 \ln NPLANT - 0.09\ CWSI_4 - 0.14\ CWSI_5 - 0.07\ CWSI_6 \quad \ldots\ldots(4)$$

เมื่อ TDM = น้ำหนักแห้งสูงสุดของต้น (กรัม/ต้น)

$CWSI_4$ = ดรรชนีการขาดน้ำที่ระยะออกดอก (R4)

$CWSI_5$ = ดรรชนีการขาดน้ำที่ระยะติดฝัก (R5)

$CWSI_6$ = ดรรชนีการขาดน้ำที่ระยะติดเมล็ด (R6)

P = ปริมาณฟอสฟอรัสในใบพืช (%)

NPLANT = จำนวนต้นต่อตารางเมตร

ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ln (น้ำหนักแห้งต่อต้น) และสภาพแวดล้อมในแปลงเกษตรกร

ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์	T−ratio	P
ค่าคงที่	3.743	8.37	0.000
ดัชนีการขาดน้ำระยะ R4	−0.219	−1.75	0.087
ดัชนีการขาดน้ำระยะ R5	−0.334	−2.41	0.020
ดัชนีการขาดน้ำระยะ R6	−0.157	−1.37	0.179
ln (ปริมาณ P ในใบพืช)	0.751	5.10	0.000
ln (จำนวนต้นต่อ ตร.ม.)	−0.239	−2.15	0.037

(จำนวนตัวอย่าง = 51 r^2 = 0.46)

ดังนั้นความแปรปรวนของน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองในแปลงเกษตรกรขึ้นอยู่กับ ปริมาณฟอสฟอรัส ความหนาแน่นของต้นถั่วเหลือง และการขาดน้ำโดยเฉพาะในระยะ R5 เป็นที่น่าสังเกตว่าถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ที่ปลูกในสถานีทดลองในช่วงเวลาเดียวกัน และได้รับปัจจัยการผลิตที่สมบูรณ์ สะสมน้ำหนักแห้งสูงสุดประมาณ 21.5 กรัม/ต้น ที่ความหนาแน่นของการปลูก 35 ต้น/ตร.เมตร ในขณะที่น้ำหนักแห้งสูงสุดของถั่วเหลืองในแปลงเกษตรกรไม่เกิน 10.8 กรัม/ต้น (รูปที่ 4)

จำนวนฝักต่อต้น

สภาพแวดล้อมและการเขตกรรมในแปลงเกษตรกร ในช่วงเตรียมแปลงจนถึงระยะ R5 เป็นสิ่งที่กำหนดจำนวนฝักต่อต้นของถั่วเหลือง ผลการวิเคราะห์ multiple regression พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในใบพืช และปฏิสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของต้นถั่วเหลือง และปริมาณฟอสฟอรัสในใบพืช มีความสัมพันธ์กับจำนวนฝักต่อต้น ที่ระดับ $P<.01$ (ตารางที่ 2) ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนฝักต่อต้น (PD) และตัวแปรดังกล่าวอาจเขียนได้ดังสมการต่อไปนี้ :

$$POD = -7.54 + 120.13\ P + 0.33\ NPLANT - 1.87\ P * NPLANT - 4.26\ CWSI_4 \quad \ldots\ldots(5)$$

สมการที่ (5) สามารถอธิบายความแปรปรวนของจำนวนฝัก/ต้น ของถั่วเหลืองในแปลงเกษตรกรที่ศึกษาได้ 57% ซึ่งฟอสฟอรัสในใบพืช จะมีบทบาทมากกว่าตัวแปรอื่นในการอธิบายความแปรปรวนของจำนวนฝัก/ต้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสเฟตในใบพืช มีผลทำให้อัตราส่วนระหว่าง แป้ง : น้ำตาลซูโคลสในใบถั่วเหลืองลดลง (Giaquinta et al., 1985) ดังนั้นการสังเคราะห์ในใบพืชที่สะสมในรูปของแป้งถูกเปลี่ยนเป็นซูโคลสมากขึ้น ทำให้พืชสามารถลำเลียงสารสังเคราะห์จากใบไปใช้ในการสร้างฝัก ซึ่งเป็นแหล่งรับสารสังเคราะห์ที่สำคัญในระยะสืบพันธุ์ของพืช ปริมาณฟอสฟอรัสในใบพืชจึงมีส่วนสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างเมล็ดของถั่วเหลือง

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนฝักต่อต้น และสภาพแวดล้อมในแปลงเกษตรกร

ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์	T-ratio	P
ค่าคงที่	-7.537	-0.74	0.461
ดรรชนีการขาดน้ำระยะ R4	-4.260	-1.89	0.065
ฟอสฟอรัสในใบพืช	120.130	4.30	0.000
จำนวนต้น/ตร.ม.	0.330	1.36	0.181
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสและจำนวนต้น/ตร.ม.	-1.868	2.72	0.009

(จำนวนตัวอย่าง = 51 r^2 = 0.57)

น้ำหนักเมล็ด

น้ำหนักเมล็ดของถั่วเหลืองถูกกำหนดโดยสภาพแวดล้อมและการดูแลรักษาพืชในระยะตั้งแต่ R5 ถึงระยะเก็บเกี่ยว สมการที่ (6) สามารถอธิบายความแปรปรวนของน้ำหนัก 100 เมล็ดของถั่วเหลืองในแปลงเกษตรกรที่ศึกษาได้ 45% (ตารางที่ 3)

$$SW = 13.66 - 2.75\,CWSI_5 - 3.52\,CWSI_6 - 0.01\,WEED + 7.63\,P \quad \text{.....(6)}$$

เมื่อ SW = น้ำหนัก 100 เมล็ด (กรัม)

WEED = เปอร์เซ็นต์การคลุมดินของวัชพืช

เห็นได้ว่า ปัจจัยตัวสำคัญที่อธิบายความแปรปรวนของน้ำหนักเมล็ดได้แก่ ดรรชนีการขาดน้ำในระยะ R6 ซึ่งเป็นระยะที่เมล็ดกำลังขยายตัวเต็มที่ การขาดน้ำในระยะนั้นนอกจากจะทำให้การเจริญเติบโตของเมล็ดลดลงแล้ว ยังมีผลทำให้การเคลื่อนย้ายสารสังเคราะห์มาสู่เมล็ดลดลงและจะทำให้ผลผลิตของถั่วเหลืองลดลงมากกว่า การขาดน้ำระยะอื่น (Sionit and Kramer, 1977)

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนัก 100 เมล็ด และสภาพแวดล้อมในแปลงเกษตรกร

ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์	T-ratio	P
ค่าคงที่	13.659	11.64	0.000
ดรรชนีการขาดน้ำระยะ R5	-2.745	-2.33	0.024
ดรรชนีการขาดน้ำระยะ R6	-3.521	-4.70	0.000
วัชพืช	-0.137	-1.24	0.221
ฟอสฟอรัสในใบพืช	7.628	2.28	0.027

(จำนวนตัวอย่าง = 51 r^2 = 0.45)

ความเชื่อมโยงของปัญหาระดับแปลง ระดับฟาร์ม และระดับพื้นที่รับน้ำ

การศึกษาระดับแปลงปลูกพืชข้างต้น แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดในด้านผลผลิตของถั่วเหลือง รวมทั้งกลไกและสาเหตุของข้อจำกัดเหล่านั้นซึ่งพอที่จะสรุปได้ว่า ในระบบต้นพืช การเจริญเติบโต (ประเมินจากการสะสมน้ำหนักแห้งสูงสุดของต้น) และประสิทธิภาพในการแบ่งปันสารสังเคราะห์ไปยังเมล็ด เป็นข้อจำกัดสำคัญที่ทำให้จำนวนเมล็ดต่อต้นต่ำกว่าระดับที่เป็นศักยภาพ ประกอบกับที่น้ำหนักเมล็ดต่ำด้วยแล้ว ทำให้ผลผลิตของถั่วเหลืองในแปลงเกษตรกรต่ำกว่าศักยภาพ

องค์ประกอบในระบบของดิน เป็นสาเหตุที่สำคัญที่จำกัดองค์ประกอบผลผลิตของพืช กล่าวคือ ดินมีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ (ตารางที่ 4) พืชดูดซับไปใช้และสะสมในใบพืชเป็นปริมาณต่ำกว่าค่าวิกฤติ ทำให้มีผลกระทบต่อการสะสมน้ำหนักแห้ง จำนวนฝักต่อต้น และน้ำหนักเมล็ด นอกจากนี้ความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินยังมีจำกัด โดยเฉพาะในระยะ R6 ซึ่งมีผลทำให้น้ำหนักเมล็ดของถั่วเหลืองถูกจำกัด

ตารางที่ 4 ปริมาณธาตุอาหารในดินและในใบพืช ในแปลงเกษตรกร

	Nในใบพืช %	P		K	
		ดิน (ppm)	ใบพืช (%)	ดิน (ppm)	ใบพืช (%)
ค่าสูงสุด	6.24	34.5	0.56	104	2.67
ค่าต่ำสุด	4.03	2.0	0.15	34	1.43
ค่าเฉลี่ย	5.11	8.6	0.32	64	2.12

เมื่อนำข้อมูลเกี่ยวกับการจัดสรรปัจจัยต่าง ๆ สำหรับการเขตกรรมของเกษตรกรในแปลงตัวอย่างมาพิจารณาพบว่ามีความสอดคล้องกับสาเหตุของข้อจำกัดเหล่านี้ กล่าวคือ. เกษตรกรทั้งหมดใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในอัตราที่ต่ำกว่า 6.0 กก. P_2O_5/ไร่ (ตารางที่ 5) ในขณะที่อัตราที่แนะนำคือ 9.0 กก. P_2O_5/ไร่ เนื่องจากดินมีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชค่อนข้างต่ำอยู่แล้ว การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในอัตราต่ำเช่นนี้ จึงทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในใบพืชอยู่ในระดับต่ำกว่าเหมาะสม (ตารางที่ 4) ธาตุ N และ K ในใบพืชนั้น อยู่ในระดับที่ไม่เป็นปัญหา เนื่องจากเกษตรกรใส่ปุ๋ย N ในรูปของปุ๋ยคอก และปุ๋ยเคมีในปริมาณที่เมื่อผนวกกับปริมาณที่ไรโซเบียมตรึงได้จากอากาศแล้ว จัดอยู่ในระดับที่เพียงพอและถึงแม้เกษตรกรใส่ปุ๋ยที่ให้ K_2O ในระดับที่ต่ำ แต่ปริมาณ K ในดินอยู่ในระดับที่ไม่ขาดแคลน

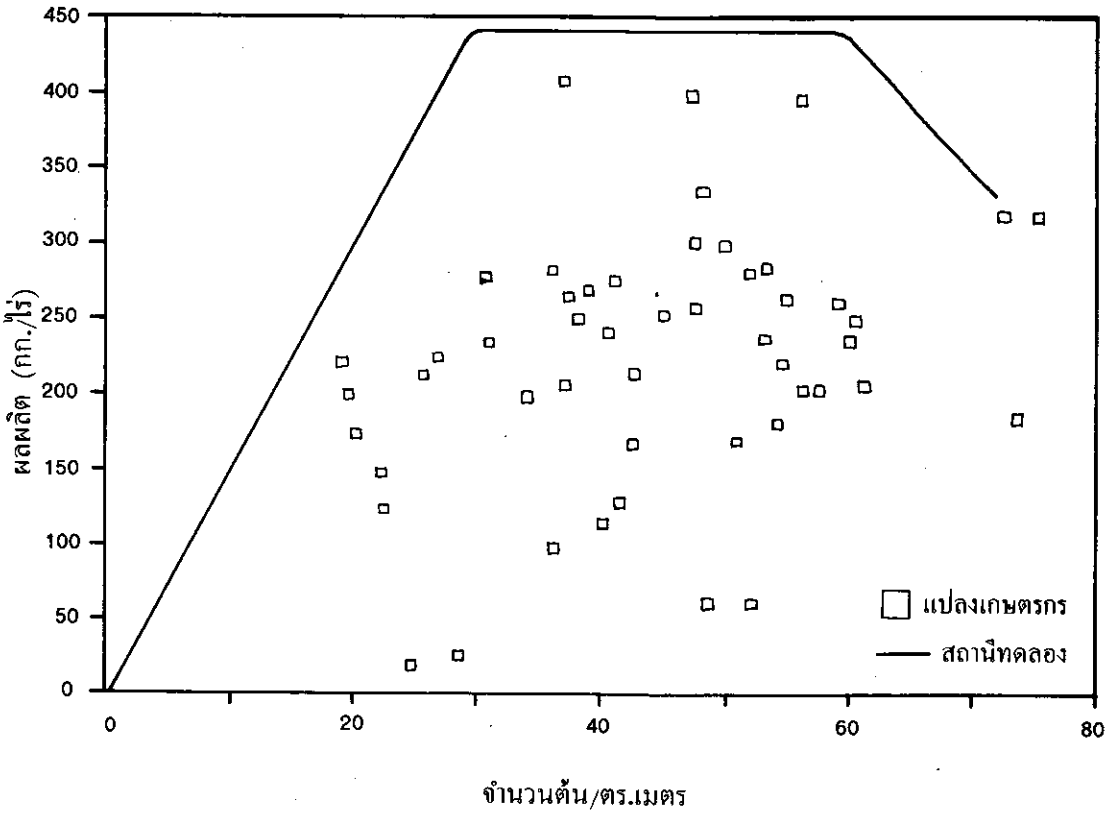
ตารางที่ 5 เปอร์เซ็นต์แปลงเกษตรกรที่ได้รับปุ๋ย คิดเป็นปริมาณ N, P_2O_5 K_2O ในระดับต่าง ๆ

ปริมาณปุ๋ย (กก./ไร่)	N	P_2O_5	K_2O
0–2	42.3	46.2	80.8
2–4	46.2	38.5	19.2
4–6	11.5	15.3	–

เนื่องจากเกษตรกรทุกคน ฉีดยาฆ่าแมลงมากกว่า 2 ครั้งในช่วงฤดูกาลเพาะปลูก โดยมีประมาณ 85% ฉีดยามากกว่า 3 ครั้ง ดังนั้นแมลงศัตรูพืชจึงไม่เป็นข้อจำกัดของผลผลิตในแปลงตัวอย่าง

การเขตกรรมอีกประการหนึ่งที่เป็นข้อจำกัดการสะสมน้ำหนักแห้งและการเพิ่มจำนวนฝักต่อต้นของถั่วเหลืองคือ ความหนาแน่นของต้นถั่วเหลือง ประมาณ 82% ของแปลงตัวอย่าง มีความหนาแน่นของต้นถั่วเหลืองสูงกว่า 30 ต้น/ตารางเมตร (รูปที่ 6) ซึ่งเป็นระดับที่แนะนำส่งเสริมให้เกษตรกรปลูก ถึงแม้ว่า

ความหนาแน่นของพืชในแปลงตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 30-60 ต้น/ตารางเมตร ซึ่งอาจไม่กระทบต่อผลผลิตคิดเป็นน้ำหนักเมล็ด/ไร่ ในสภาพที่มีปัจจัยต่าง ๆ ครบถ้วน แต่ในดินที่มีปริมาณธาตุอาหารบางชนิดต่ำ เช่น ฟอสฟอรัส ดังในกรณีนี้ ความหนาแน่นต้นพืชจะมีปฏิกิริยาร่วมกับฟอสฟอรัส ทำให้จำนวนฝักต่อต้นถูกจำกัด นอกเหนือไปจากที่มีผลกระทบต่อการสะสมน้ำหนักแห้งของต้น



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของต้นและผลผลิตถั่วเหลือง

สาเหตุประการสำคัญที่เกษตรกรใช้อัตราการปลูกสูงกว่าปกติ เนื่องจากเกษตรกรปลูกแบบหยอดเมล็ดลงในหลุมตื้น ๆ ซึ่งเตรียมโดยใช้ไม้หรือวัสดุอื่น เพื่อลดความเสี่ยงในด้านความงอกของเมล็ด ในสภาพที่ต้องวางเมล็ดบนดินในหลุมและเมล็ดคุณภาพไม่ดี เกษตรกรจึงใช้อัตราการปลูกสูง รวมทั้งซื้อหาวัสดุต่าง ๆ เช่น ปุ๋ยคอก ขี้เถ้าแกลบ ขี้เถ้าจากการเผาฟางมาคลุมเมล็ด ซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น การแนะนำให้เกษตรกรลดอัตราการปลูก จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงการหาเครื่องปลูกที่เหมาะสมกับสภาพการเตรียมแปลงแบบไม่ไถพรวนควบคู่ไปด้วย

ปัญหาการเขตกรรมที่พบในกรณีศึกษานี้ มิใช่เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นเฉพาะในแปลงตัวอย่าง แต่ผลจากการสำรวจการเขตกรรม และสุ่มเก็บตัวอย่างผลผลิตในระดับพื้นที่รับน้ำชลประทาน พฤกษ์ และคณะ (2531) ได้ผลสรุปออกมาในทำนองเดียวกัน ดังนั้นกลไกและสาเหตุของปัญหาที่ได้จากการศึกษาระดับแปลง

สามารถใช้อธิบายในระดับที่กว้างขวางขึ้น งานวิจัยเพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าวจึงสามารถนำไปใช้กับกลุ่มเป้าหมายที่ชัดเจนขึ้น

สำหรับการขาดน้ำของพืชในระยะพืชกำลังสร้างฝักและเมล็ด ถึงแม้จะเป็นข้อจำกัดที่สำคัญที่ทำให้น้ำหนักของเมล็ดถั่วเหลืองลดลง เกษตรกรมีโอกาสที่จะจัดการต่อปัญหานี้ได้น้อย เพราะการจัดรอบเวรน้ำชลประทาน และการจัดสรรน้ำไม่สามารถจัดการได้ในระดับแปลงเพาะปลูกหรือระดับฟาร์ม ปัญหาส่วนนี้เป็นปัญหาของระดับพื้นที่รับน้ำชลประทานโดยส่วนรวม การเลื่อนวันปลูกถั่วเหลืองให้เร็วขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงการขาดน้ำในระยะวิกฤติ หมายถึงการเปลี่ยนกำหนดการส่งน้ำของพื้นที่รับน้ำชลประทานทั้งหมด ซึ่งจะกระทบแผนการบำรุงรักษาคลองส่งน้ำ และการเก็บเกี่ยวข้าวนาปี (เมธี และคณะ, 2526) ทางเลือกที่มีความเป็นไปได้มากกว่าคือ ปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองที่ทนแล้ง หรือมีอายุสั้นลงเพื่อหลีกเลี่ยงการขาดน้ำในช่วงวิกฤติ

บทสรุป

การวิจัยเพื่อพัฒนาระบบฟาร์มที่มีพืชเป็นกิจกรรมหลัก นอกจากจะต้องทำความเข้าใจองค์ประกอบและกระบวนการที่กำหนดผลผลิตในระดับฟาร์มแล้ว ควรจะต้องศึกษากลไกและข้อจำกัดในระดับแปลงปลูกพืช เพื่อระบุสาเหตุของปัญหา และการจัดการเขตกรรมเพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านั้น นอกจากนี้ควรทำการศึกษาระดับชั้นที่สูงจากระบบฟาร์มอีกหนึ่งระดับ เพื่อเข้าใจการจัดการปัจจัยบางตัวที่มีผลกระทบมาถึงระดับฟาร์ม ในการศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดการเจริญเติบโต และผลผลิตของถั่วเหลืองในระดับแปลงเกษตร ซึ่งข้อจำกัดเหล่านี้สามารถเชื่อมโยงให้เห็นถึงความสอดคล้องกับการจัดการในระดับฟาร์มและความกว้างขวางของปัญหาที่คล้ายคลึงกันของฟาร์มต่าง ๆ ในระดับพื้นที่รับน้ำชลประทาน ข้อจำกัดบางประการที่เกี่ยวข้องกับการเขตกรรม เช่น การขาดฺธาตุฟอสฟอรัส และความหนาแน่นของต้นถั่วเหลืองสามารถจะขจัดได้ ถ้าปรับปรุงการจัดการระดับฟาร์มหรือแปลงปลูกพืช แต่ข้อจำกัดเกี่ยวกับการขาดน้ำในระยะวิกฤติของต้นพืช อาจต้องปรับปรุงแก้ไขในระดับพื้นที่รับน้ำชลประทาน ความเข้าใจเกี่ยวกับความเชื่อมโยงระหว่างระบบในระดับขั้นต่าง ๆ จึงมีความสำคัญยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

พฤกษ์ ยิบมันตะสิริ เมธี เอกะสิงห์ บันทึก วิชัยศรี อาคม กาญจนประโชติ สุนทร บูรณะวิริยะกุล และ *พิชิต ธานี.* 2531. การประเมินอุปสรรคในการผลิตพืชในไร่นาเกษตรกร. หน้า 117–134. ในรายงานการสัมมนาระบบการทำฟาร์ม ครั้งที่ 5 ระหว่างวันที่ 4–7 เมษายน 2531 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

เมธี เอกะสิงห์ พฤกษ์ ยิบมันตะสิริ กนก ฤกษ์เกษม เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม นคร ณ ลำปาง และ *ภัททนันท์ วุฒิการณ์.* 2526. งานวิจัยระบบการปลูกพืชและแนวทางการดำเนินงานโครงการศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 66–82. ใน รายงานการสัมมนาระบบการปลูกพืช ครั้งที่ 5 ระหว่างวันที่ 16–18 มีนาคม 2526. ณ เขื่อนจุฬาภรณ์ ชัยภูมิ.

Crozat, Y. and P. Chitapong. 1988. The on-farm agronomical survey : A tool for grading limiting factors of a crop and designing new technologies. In Farming Systems Research and Development in Thailand : Illustrated Methodological Considerations and Recent Advances, Prince of Songkla University, Thailand.

Fehr, W.R., C.E. Caveness, D.T. Burmood and J.S. Pennington. 1971. Stage of development description for soybeans, *Glycine max* (L). Merrill. Crop Sci. 11 : 929-931.

Giaquinta, R.T., B. Quebedeaux, N.L. Sadler and V.R. Franceschi. 1985. Assimilate partitioning in soybean leaves during seed filling. p.729-738. In R. Shibiles (ed). World Soybean Research Conference III : Proceedings. Westview Press, Boulder and London.

Hart, R. 1984. Agroecosystem determinants. In R. Lowrance et al (eds). Agricultural Ecosystems. Unifying Concepts. John Wiley & Sons.

Idso, S.B. 1982. Non-watering stressed baselines : A key to measuring and interpreting plant water stress. Agri. Meteorol. 27 : 59-70.

Pigeaire, A. 1986. Propositions pour le diagnostic cultural chez le soja de type indetermine. Infor. Techn. CETIOM. 94 : 3-15.

Russell, N.P. and T. Young. 1983. Frontier production functions and the measurement of technical efficiency. J. of Agri. Econ. 34 : 139-150.

Sebillotte, M. 1987. Approaches of the on-farm agronomists : Some methodological considerations. A paper presented to the 4th Thailand National Farming Systems Seminar. Prince of Songkla University, Haadyai. April 7-10, 1987.

Sionit, N. and P.J. Kramer. 1977. Effect of water stress during different stages of growth of soybean. Agron. J. 69 : 274-278.