

ผลการทดลอง

ผลการทดลองภายใต้สภาพแปลง

1. ข้อมูลพืช

1.1 การพัฒนาการ (phenology)

จากการทดลองพบว่าถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ใช้เวลาในการงอกเท่า ๆ กัน คือ 4-5 วันหลังปลูก และพันธุ์เชียงใหม่ 60 จะออกดอกเร็วกว่าพันธุ์อื่น ๆ คือ 28 วันหลังงอก ส่วนพันธุ์ สจ.4 และ มข.35 ออกดอกในเวลาใกล้เคียงกันคือ 31 และ 32 วันตามลำดับ ในทำนองเดียวกันพันธุ์เชียงใหม่ 60 ก็มีอายุการสุกแก่สั้นที่สุด คือ 80 วันหลังงอก และพันธุ์ ม.ข.35 มีอายุการสุกแก่ยาวที่สุดคือ 95 วันหลังงอก (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 เวลาในการงอก การออกดอก สุกแก่ ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ที่ปลูกพร้อมกัน เมื่อวันที่ 28 ก.พ. 2536 ในแปลงทดลอง A4 หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พันธุ์	อายุ		
	งอก (วันหลังปลูก)	ออกดอก 50% (วันหลังงอก)	ฝักแก่ 95% (วันหลังงอก)
สจ.4	5	31	86
เชียงใหม่60	5	28	80
มข.35	5	32	95

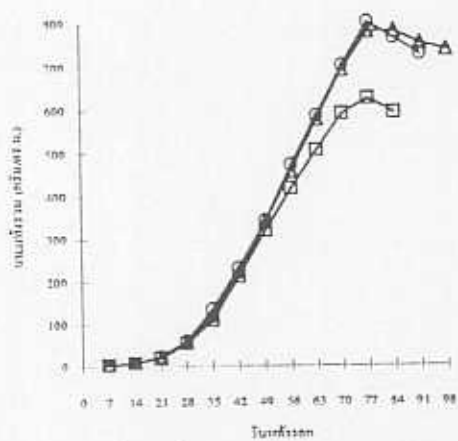
1.2 การเจริญเติบโต (Growth)

1.2.1 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักแห้ง

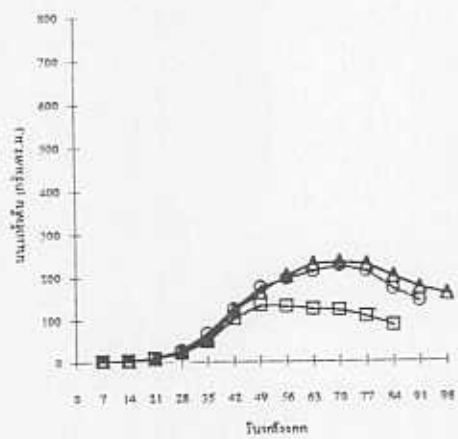
น้ำหนักแห้งของพืชในงานทดลองนี้แสดงเฉพาะ น้ำหนักรวมส่วนเหนือดิน จากงานทดลองพบว่าการสะสมน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ เพิ่มขึ้นในลักษณะ exponential growth ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตคืออายุ 7 ถึง 28 วันหลังออก และไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติ หลังการออกดอก การสะสมน้ำหนักแห้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (linear growth) โดยเฉพาะในช่วงที่ถั่วเหลืองเริ่มติดฝัก-สร้างเมล็ด คืออายุ 42 ถึง 56 37 ถึง 49 และ 48 ถึง 63 วันหลังออก ในพันธุ์ สจ.4 เชียงใหม่ 60 และ มข.35 ตามลำดับ (ภาพที่ 4 ก -ง)

เมื่ออายุ 35 วันหลังออกพบว่าน้ำหนักแห้งของพันธุ์ สจ.4 และ มข.35 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีค่ามากกว่า และแตกต่างกับพันธุ์ เชียงใหม่ 60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าพันธุ์ สจ.4 มีน้ำหนักแห้งรวมสูงสุดที่ 77 วันหลังออก ซึ่งเป็นช่วงที่เมล็ดมีการพัฒนาเต็มที่ และมีการสะสมอาหารในเมล็ด โดยพันธุ์ สจ.4 มีน้ำหนักแห้งรวมสูงสุดคือ 798.7 กรัม/ตารางเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับพันธุ์ มข.35 ซึ่งมีน้ำหนักแห้งรวมสูงสุดที่อายุ 84 วันหลังออกคือ 779.5 กรัม/ตารางเมตร แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์ เชียงใหม่ 60 ซึ่งมีน้ำหนักแห้งต่ำที่สุดคือ 623.4 กรัม/ตารางเมตร ที่อายุ 77 วันหลังออก หลังจากนั้นน้ำหนักแห้งของทุกพันธุ์เริ่มลดลงจนกระทั่งเก็บเกี่ยว (ภาพที่ 4 ก และ ตารางผนวกที่ 1)

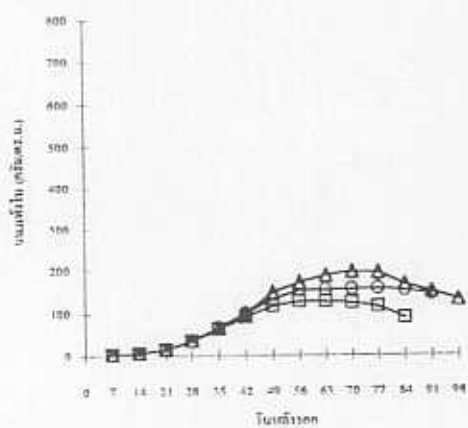
สำหรับการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วน ลำต้น ใบ ฝักและเมล็ด (ภาพที่ 4 ข ค และ ง) พบว่าน้ำหนักแห้งของส่วนลำต้นจะเพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโตของพืช และสูงสุดที่ช่วงอายุ 49 วันหลังออกในพันธุ์ เชียงใหม่ 60 ส่วนในพันธุ์ สจ.4 และ มข.35 มีการเจริญเติบโตทางลำต้นมากกว่าพันธุ์ เชียงใหม่ 60 โดยมีน้ำหนักแห้งลำต้นสูงสุดคือ 223.5 และ 231.6 กรัม/ตารางเมตร ตามลำดับที่อายุ 70 วันหลังออก ซึ่งเป็นระยะการพัฒนาของเมล็ด หลังจากนั้นน้ำหนักแห้งลำต้นจะเริ่มลดลง และพันธุ์ เชียงใหม่ 60 จะมีน้ำหนักแห้งลำต้นน้อยกว่า และแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์ สจ.4 และพันธุ์ มข.35 โดยเฉพาะช่วงหลังการสร้างฝักและเมล็ด (ตารางผนวกที่ 2) ทั้งนี้เพราะพันธุ์ เชียงใหม่ 60 ไม่ค่อยมีการแตกกิ่ง



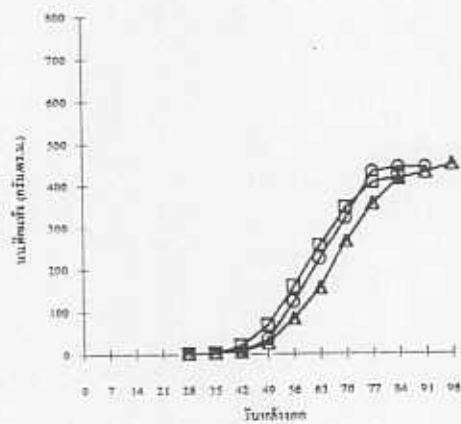
ภาพที่ 4ก. บึงน้ำหนักแห้งรวม (เฉพาะส่วนเหนือดิน)



ภาพที่ 4ข. บึงน้ำหนักแห้งลำต้น



ภาพที่ 4ค. บึงน้ำหนักแห้งใบทั้งหนวด



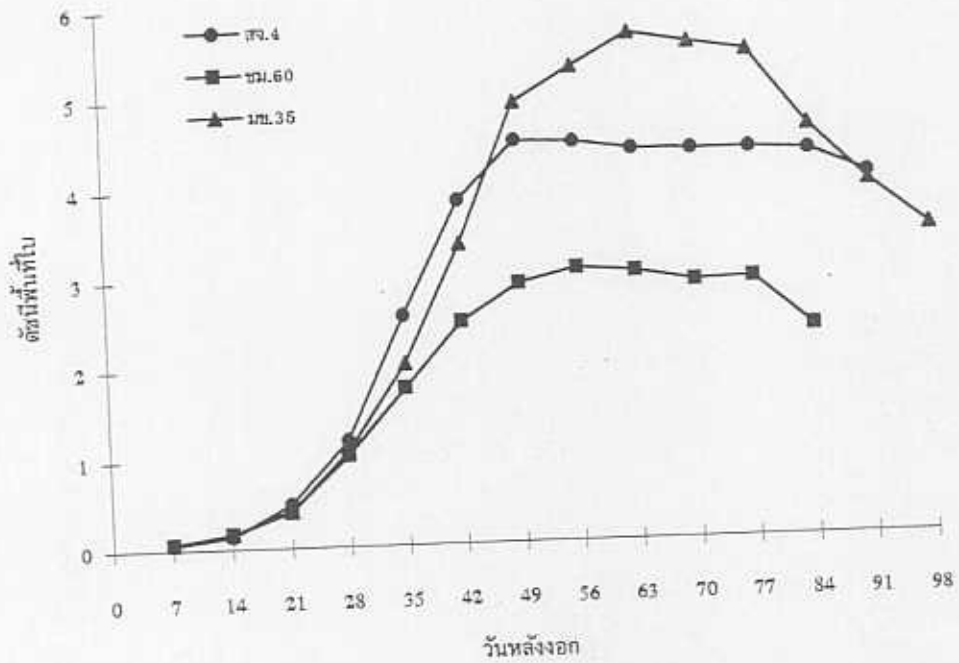
ภาพที่ 4ด. บึงน้ำหนักแห้งใบเล็ก

ภาพที่ 4ก-ด. น้ำหนักแห้ง (กรัม/ตารางเมตร) ตามระยะการเจริญเติบโต ในส่วนต่างๆ ของตัวเหนือ 3 พันธุ์ (—○— สจ.4, —□— ขม.60, —△— มข.35)

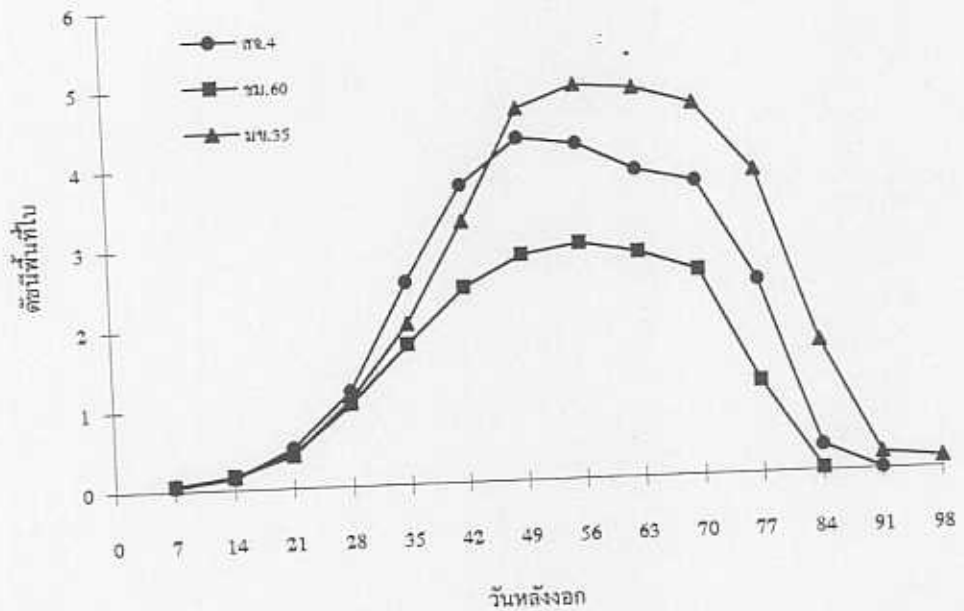
และมีการเจริญเติบโตแบบ ไม่ทอดยอด (determinate growth) ส่วนน้ำหนักแห้งของใบก็มีลักษณะเช่นเดียวกับลำต้น โดยพันธุ์มข.35 จะมีน้ำหนักแห้งใบสูงสุด รองลงมาเป็นพันธุ์ สจ.4 และเชียงใหม่60 ตามลำดับ โดยพันธุ์ มข.35 และสจ.4 มีน้ำหนักแห้งใบสูงสุดที่อายุ 70 วันหลังออก ส่วนพันธุ์เชียงใหม่60 สูงสุดที่อายุ 63 วันหลังออก ซึ่งเป็นระยะที่เมล็ดมีการพัฒนาเต็มที่ (R_6) เมื่อนำน้ำหนักแห้งที่ระยะดังกล่าวมาเปรียบเทียบกัน พบว่าพันธุ์ มข.35 และพันธุ์สจ.4 ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากพันธุ์เชียงใหม่60 หลังจากระยะการพัฒนาเมล็ดเต็มที่แล้วน้ำหนักแห้งของใบจะลดลงเช่นเดียวกับลำต้น ซึ่งจะตรงกับช่วงที่ถั่วเหลืองมีการสะสมน้ำหนักแห้งในฝักและเมล็ด สำหรับน้ำหนักแห้งฝักพบว่า น้ำหนักแห้งของฝักและเมล็ดจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตลอดช่วงการเจริญเติบโต และมีค่าสูงสุดที่ระยะเก็บเกี่ยว ซึ่งพันธุ์ มข.35 จะให้ผลผลิตฝักและเมล็ดสูงสุดคือ 446 กรัม/ตารางเมตร รองลงมาคือพันธุ์สจ.4 440 กรัม/ตารางเมตร และพันธุ์เชียงใหม่60 417 กรัม/ตารางเมตร โดยทั้ง 3 พันธุ์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ สำหรับน้ำหนักแห้งของราก (ตารางผนวกที่ 3) พันธุ์มข.35 มีน้ำหนักแห้งรากสูงที่สุดในถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์

1.2.2 ดัชนีพื้นที่ใบ (LAI)

จากการทดลองพบว่าในช่วงแรกของการเจริญเติบโตค่า LAI ของทั้ง 3 พันธุ์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และเพิ่มอย่างรวดเร็วหลังการออกดอกและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจนกระทั่งเก็บเกี่ยว โดยค่า LAI สูงสุดของแต่ละพันธุ์จะอยู่ในช่วงอายุที่แตกต่างกัน คือ พันธุ์เชียงใหม่60 ค่า LAI สูงสุดที่ 56 วันหลังออกคือ 3 และ พันธุ์สจ.4มีค่า 4.4 ที่อายุ 49 วัน ส่วนพันธุ์ มข.35 ค่า LAI สูงสุดเท่ากับ 5.6 ที่อายุ 63 วันหลังออก (ภาพที่ 5 และ 6 ตารางผนวกที่ 6 และ 7) ซึ่งเป็นระยะของการพัฒนาและสะสมอาหารในเมล็ด (R_5 - R_6) จากการทดลองจะเห็นว่าพันธุ์ มข.35 จะมีการพัฒนาของใบมากกว่าพันธุ์อื่น ๆ



ภาพที่ 5 คำนวณพื้นที่ใบ (จากน้ำหมักใบบนต้น และใบร่วง) ตามระยะการเจริญเติบโต



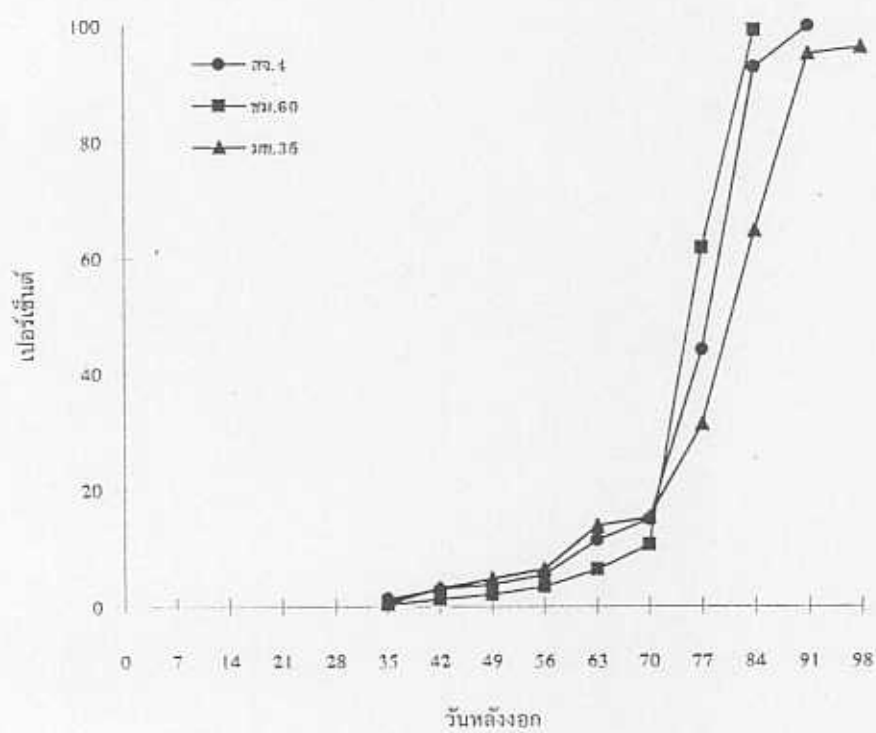
ภาพที่ 6 คำนวณพื้นที่ใบ (จากน้ำหมักใบบนต้น) ตามระยะการเจริญเติบโต

1.2.3 เปอร์เซ็นต์การร่วงของใบ

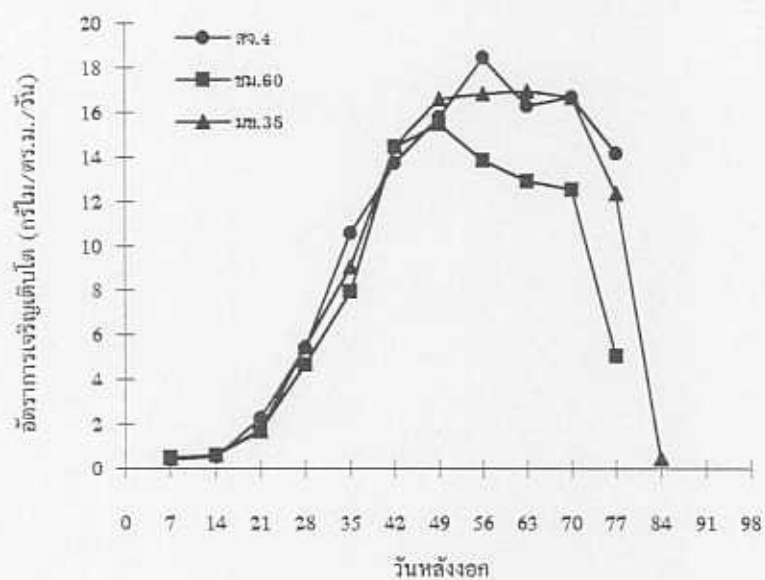
จากการทดลองพบว่าทั้ง 3 พันธุ์ใบเริ่มร่วงเมื่ออายุประมาณ 29 -30 วันหลังออก โดยเปอร์เซ็นต์การร่วงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ใบร่วงเร็วขึ้นเมื่อถั่วเหลืองเริ่มสร้างเมล็ด และที่ระยะการพัฒนาและสะสมอาหารในเมล็ดการร่วงของใบเพิ่มอย่างรวดเร็ว ไปจนกระทั่งเก็บเกี่ยว โดยแต่ละพันธุ์เมื่อถึงระยะเก็บเกี่ยวเปอร์เซ็นต์การร่วงของใบมีค่าประมาณ 96 -99 % (ภาพที่ 7) และสังเกตพบว่าพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีการร่วงของใบค่อนข้างช้ากว่าพันธุ์อื่นในระยะแรก แต่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะหลัง และเปอร์เซ็นต์การร่วงของใบในทุกพันธุ์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นที่อายุ 49-56 วันหลังออก และหลังจากอายุ 70 วันหลังออกลักษณะการร่วงของใบในทุกพันธุ์จะคล้ายคลึงกัน

1.2.4 อัตราการเจริญเติบโตของกลุ่มพืช (CGR)

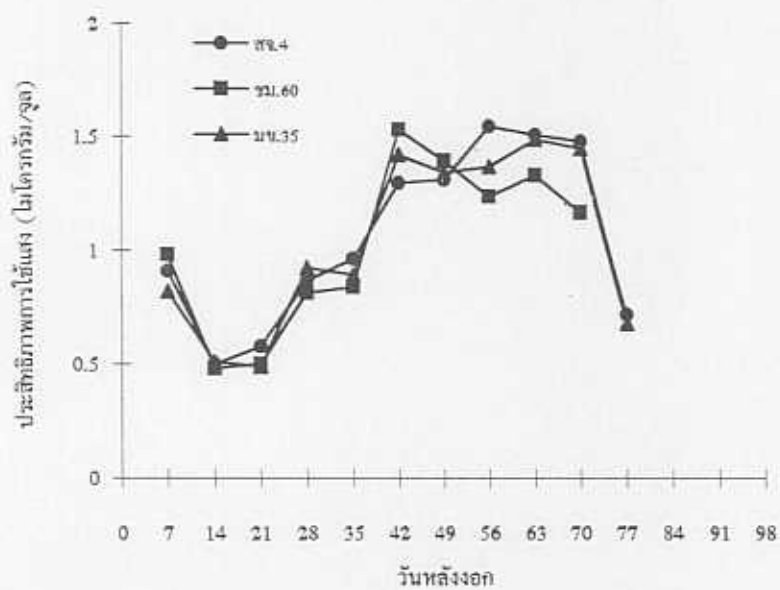
จากการทดลองพบว่าถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์มีค่า CGR สูงสุดในช่วงอายุแตกต่างกันคือ พันธุ์เชียงใหม่ 60 มีค่า CGR สูงสุดที่อายุ 49 วันหลังออก มีค่าเท่ากับ 15.4 กรัม/ตารางเมตร/วัน ส่วนพันธุ์ ส.จ.4 และ มข.35 มีค่า CGR สูงสุดที่อายุ 56 และ 63 วันหลังออกโดยมีค่าเท่ากับ 18.4 และ 16.9 กรัม/ตารางเมตร/วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 8 ตารางผนวกที่ 4) และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทั้ง 3 พันธุ์ แต่พันธุ์ ส.จ.4 มีค่า CGR สูงสุดคือ 18.44 กรัม/ตารางเมตร/วัน จากงานทดลองค่า CGR สอดคล้องกับค่าน้ำหนักแห้งรวม ซึ่งช่วงที่ค่า CGR สูงสุดเป็นช่วงที่พืชพัฒนา และสะสมอาหารในเมล็ด และจากการทดลองพันธุ์มข.35 มีค่า CGR สูงอยู่ในช่วงเวลานานกว่าพันธุ์อื่นๆ



ภาพที่ 7 เปอร์เซนต์การร่วงของใบของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ตามระยะการเจริญเติบโต



ภาพที่ 8 อัตราการผลิตไข่ของตัวเห็บ 3 พันธุ์ ตามระยะการเจริญเติบโต



ภาพที่ 9 ประสิทธิภาพในการใช้แสงของตัวเห็บ 3 พันธุ์ ตามระยะการเจริญเติบโต

1.2.5 ประสิทธิภาพการใช้แสงของพืช (RUE)

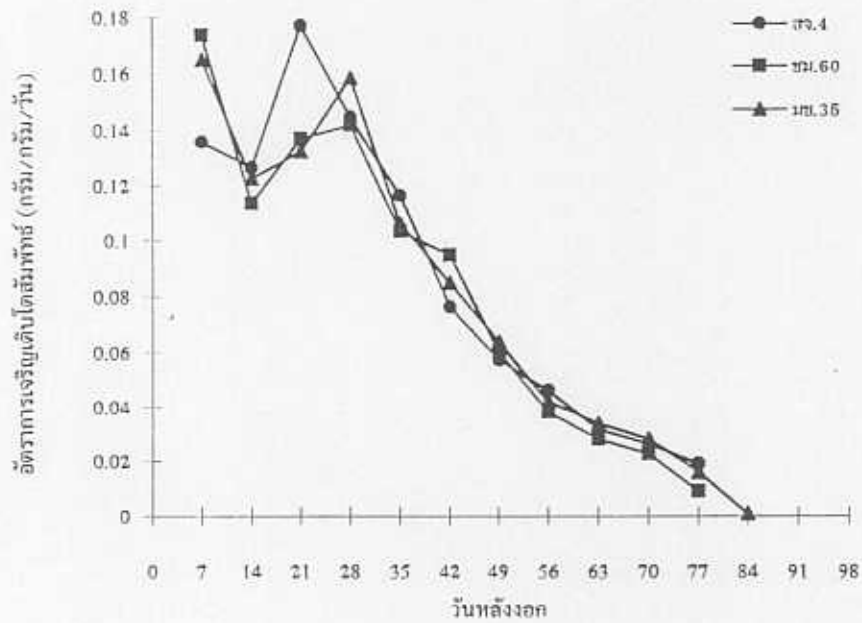
จากงานทดลองพบว่าพันธุ์เชียงใหม่ 60 มี RUE สูงสุดที่อายุ 42 วันหลังออกคือ $1.52 \mu\text{g}/\text{J}$ ซึ่งเป็นช่วงที่ ถั่วเหลืองมีการพัฒนาของใบมากแล้วโดยมี LAI 2.44 ส่วนส.จ.4 สูงสุดที่ 56 วันหลังออกคือ $1.54 \mu\text{g}/\text{J}$ LAI 4.2 และพันธุ์ ม.ข.35 สูงสุดที่ 63 วันหลังออก คือ $1.48 \mu\text{g}/\text{J}$ LAI 4.9 (ภาพที่ 9) เมื่อนำค่า RUE ในช่วงหลังออกดอก และเมล็ดมีการเจริญเติบโตของแต่ละพันธุ์นำมาหาค่าเฉลี่ยพบว่าพันธุ์ส.จ.4มีค่า $1.42 \mu\text{g}/\text{J}$ พันธุ์เชียงใหม่ 60 มีค่า $1.38 \mu\text{g}/\text{J}$ และพันธุ์ มข.35มีค่า $1.39 \mu\text{g}/\text{J}$

1.2.6 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR)

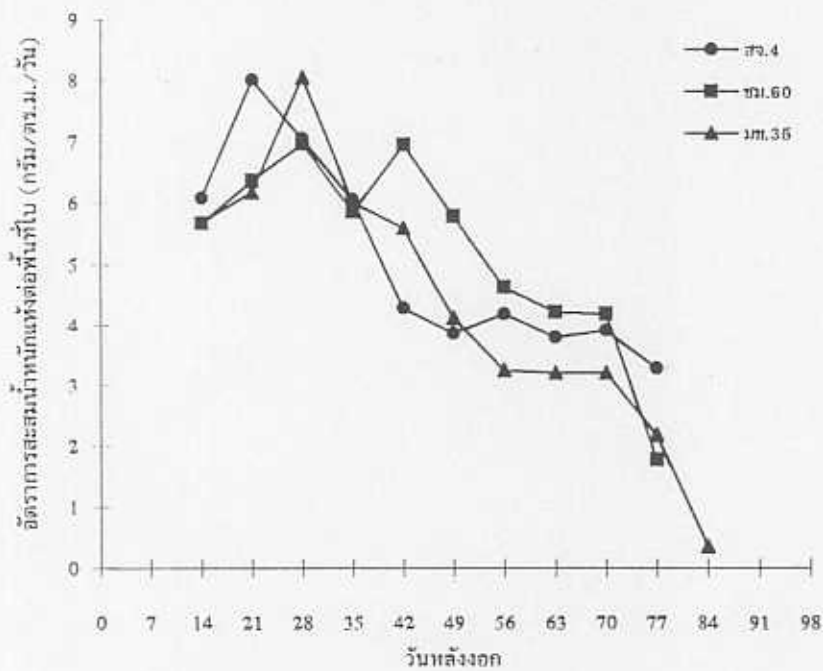
จากการทดลองพบว่าถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ เมื่ออายุตั้งแต่ประมาณ 30 วันหลังออกค่า RGR ของถั่วเหลืองทุกพันธุ์มีลักษณะลดลงเรื่อย ๆ ในรูปแบบเดียวกันและมีค่าใกล้เคียงกัน จนกระทั่งเก็บเกี่ยวซึ่งค่า RGR ของทั้ง 3 พันธุ์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 5 และ ภาพที่ 10)

1.2.7 อัตราการสะสมน้ำหนักแห้งต่อหน่วยพื้นที่ใบ (NAR)

จากการทดลองพบว่าค่า NAR ของถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ ในระยะแรกของการเจริญเติบโตจะลดลงอย่างช้า ๆ และไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นที่อายุ 49 วันหลังออกที่พันธุ์เชียงใหม่ 60 มีค่า NAR กลับสูงขึ้นมาอีกและมีค่าสูงกว่า และแตกต่างจากพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 11) และหลังจากอายุ 70 วันหลังออก ค่า NAR ของทุกพันธุ์จะลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้จะเห็นว่าเมื่อพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นค่า NAR จะลดลงเนื่องจากการบังแสงระหว่างใบในพุ่มใบ และการเสื่อมแก่ของใบในช่วงปลายของระยะการเจริญเติบโต



ภาพที่ 10 อัตราการเจริญเติบโตโคสัมพันธ์ของตัวเหลือง 3 พันธุ์ ตามระยะการเจริญเติบโต



ภาพที่ 11 อัตราการสะสมน้ำหนักแห้งต่อฟีดไบของตัวเหลือง 3 พันธุ์ ตามระยะการเจริญโต

1.2.8 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของถั่วเหลือง

จากการสุ่มตัวอย่างเพื่อเก็บผลผลิตพบว่าทั้ง 3 พันธุ์มีความสามารถให้ผลผลิตใกล้เคียงกันคือ 375 379 และ 390 กก./ไร่ ในพันธุ์เชียงใหม่ 60 สจ. 4 และ มข. 35 ตามลำดับ โดยพันธุ์ มข. 35 มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงสุด และมีขนาดเมล็ดใหญ่ที่สุดคือ น้ำหนัก 100 เมล็ด 18 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 องค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตของถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ ที่ปลูกในแปลงทดลอง A4

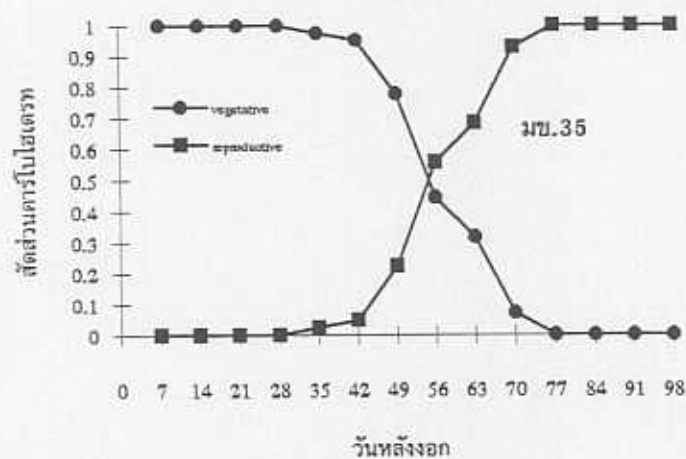
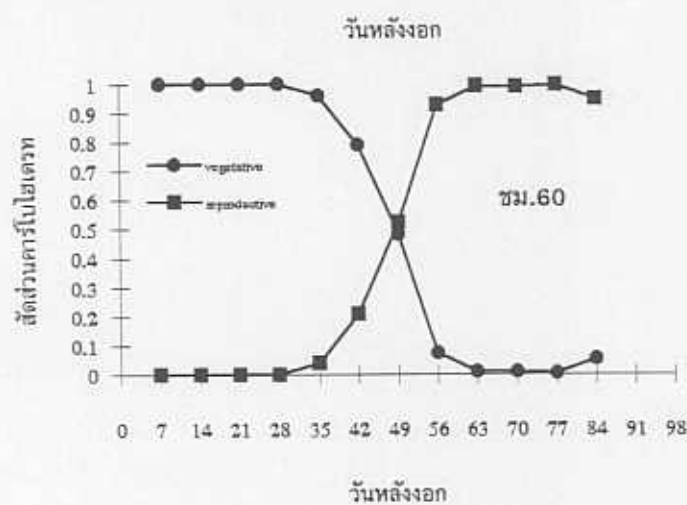
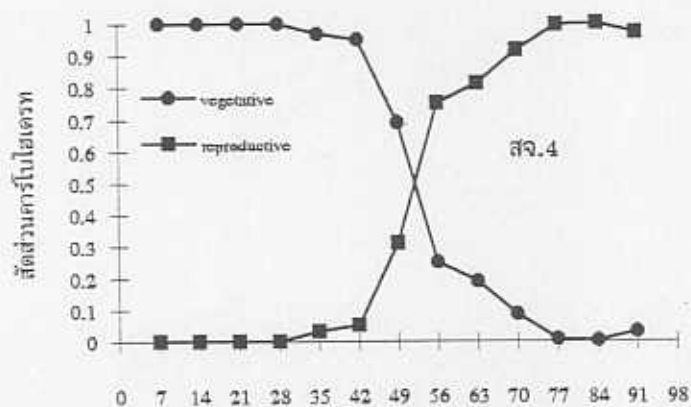
หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ทำการเก็บเกี่ยวในระหว่าง

28 เม.ย.-14 พ.ค. 2536

ลักษณะ	เชียงใหม่ 60	สจ. 4	มข. 35
จำนวนฝักต่อต้น	43.3	57.73	43.15
จำนวนเมล็ดต่อฝัก	2.5	1.855	2.44
น้ำหนัก 100 เมล็ด (กรัม)	17.5	15.2	18.31
ผลผลิต (กก./ไร่)	374.7	379.5	389.67

1.3 สัดส่วนการกระจายคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate partitioning) และสัดส่วนการกระจายน้ำหนักแห้งของถั่วเหลือง

จากผลการทดลองภาพที่ 12 ก-ค เป็นการคำนวณการกระจายคาร์โบไฮเดรตระหว่างส่วนการเจริญเติบโตทางต้น (vegetative part) และส่วนการเจริญพันธุ์ (reproductive part) พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีการกระจายอาหารไปยังเมล็ดเร็วที่สุดโดยที่อายุ 28 วันหลังออก ถั่วเหลืองพันธุ์นี้เริ่ม



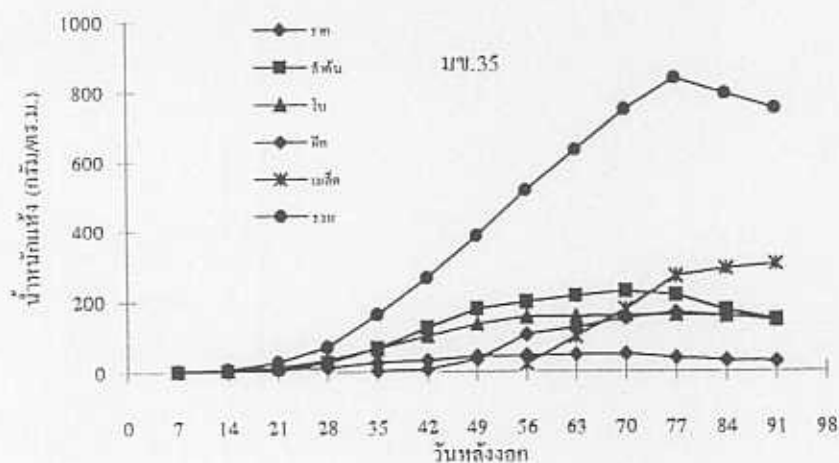
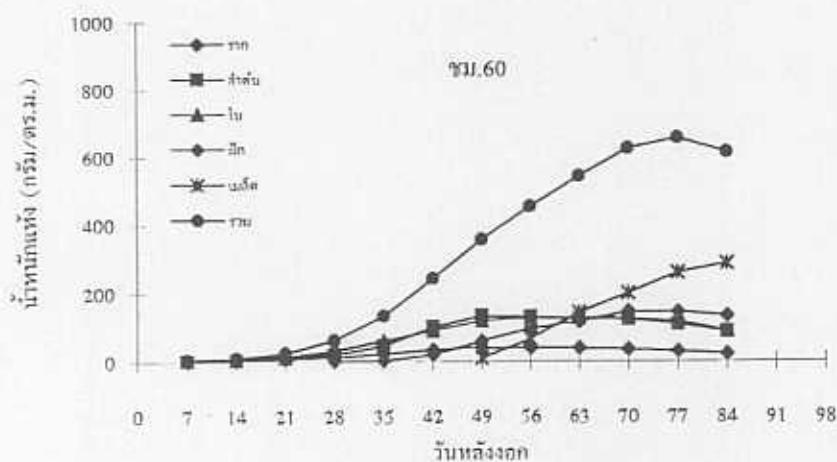
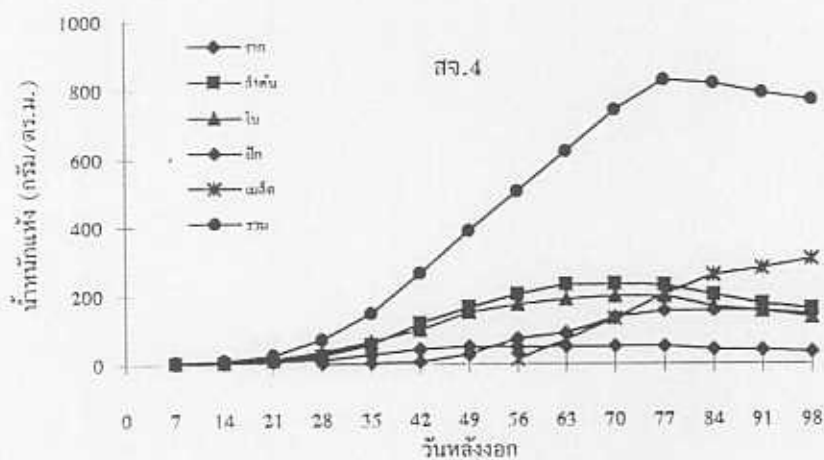
ภาพที่ 12 สัดส่วนของคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate fraction) ในส่วนการเจริญเติบโตทางต้น (vegetative) และส่วนการเจริญพันธุ์ (reproductive) ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ตามระยะการเจริญเติบโต

ออกดอก (ตารางที่4) คาร์โบไฮเดรตบางส่วนเริ่มถูกแบ่งปันมายังส่วนดอก (reproductive part) คือ 0.08% และเพิ่มมากขึ้นเมื่อเริ่มมีการพัฒนาเมล็ด (อายุ 42 วันหลังออก) และการปันส่วนอาหารจะเพิ่มอย่างรวดเร็วเมื่อเมล็ดมีอัตราการสะสมน้ำหนักแห้งมากขึ้น และจะสูงสุดเมื่อถั่วเหลืองพันธุ์นี้มีอายุ 63-70 วันหลังออก คือมีการปันส่วนคาร์โบไฮเดรตมาประมาณ 99% ซึ่งระยะดังกล่าวเป็นระยะที่เมล็ดมีการเจริญเติบโตเต็มที่และเริ่มสุกแก่ ช่วงการเปลี่ยนแปลงการปันส่วนอาหาร (transition) ของพันธุ์เชียงใหม่60 มีระยะเวลาคิดเป็น 41 % (อายุ 28-63 วัน) ของอายุเก็บเกี่ยว จะเห็นว่าพันธุ์เชียงใหม่60 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรตไปยังส่วนเจริญพันธุ์สูง แต่มีช่วงเวลานั้น

สำหรับพันธุ์สจ. 4 และมข.35 ลักษณะการปันส่วนอาหารจะคล้ายกัน และการเปลี่ยนแปลงการปันส่วนอาหารเกิดขึ้นช้ากว่าพันธุ์เชียงใหม่60 เนื่องจากทั้งสองพันธุ์มีลักษณะการเจริญเติบโตค่อนข้างทอดยาว เมื่อเริ่มสร้างฝักและเมล็ด จะยังคงมีการเจริญเติบโตทางด้านต้นอยู่ด้วย ดังนั้นในระยะแรกจะพบว่าการปันส่วนอาหารมายังส่วนฝักและเมล็ดต่ำกว่าพันธุ์เชียงใหม่60 โดยมีอายุ 42 วันหลังออกมีสัดส่วนการแบ่งปันอาหารมายังส่วนการเจริญพันธุ์ 5.1 และ 4.7% ในพันธุ์สจ.4 และ มข.35 ตามลำดับ และที่ระยะเมล็ดโตเต็มที่จนเริ่มสุกแก่ คาร์โบไฮเดรตถูกแบ่งปันมาประมาณ 98% ช่วงการเปลี่ยนแปลงการปันส่วนของพันธุ์ สจ.4 คิดเป็น 53 % ของอายุเก็บเกี่ยว ส่วนในพันธุ์มข. 35 คิดเป็น 50%

การกระจายน้ำหนักแห้งในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4 เชียงใหม่60 และ มข.35 ได้แก่ ราก ลำต้น ใบ ฝัก และเมล็ด ได้แสดงไว้ในภาพ 13 ก-ค

ภาพที่ 13-ก แสดงให้เห็นการกระจายน้ำหนักแห้งในส่วน ราก ลำต้น ใบ ฝัก และเมล็ด ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4 ซึ่งพบว่า การสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนของ ราก ลำต้น และใบ ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโต และสูงสุดที่อายุประมาณ 70 วันหลังออก หลังจากนั้นจะเริ่มลดลง และที่ระยะ 42 วันหลังออกซึ่งถั่วเหลืองเริ่มติดฝัก พบว่าน้ำหนักฝัก และเมล็ดจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งใกล้เก็บเกี่ยว น้ำหนักฝักจะลดลง แต่น้ำหนักเมล็ดยังคงเพิ่มขึ้น จะเห็นว่าน้ำหนักแห้งรวมทั้งหมดลดลงในระยะใกล้เก็บเกี่ยว ทั้งนี้เพราะการลดลงของน้ำหนักแห้งในส่วน ราก ลำต้น ใบ และฝัก แม้ว่า



ภาพที่ 13 การกระจายน้ำหนักแห้งของตัวเหลือง 3 พันธุ์ ตามระยะการเจริญเติบโต

น้ำหนักเมล็ดจะเพิ่มขึ้นแต่เมื่อรวมแล้ว ยังคงส่งผลให้น้ำหนักแห้งรวมทั้งหมดต่อต้นลดลง และที่ระยะเก็บเกี่ยวน้ำหนักแห้งทั้งหมดประกอบด้วย ส่วน ราก ลำต้น ใบร่วง ฝัก และเมล็ด เป็นสัดส่วนคือ 3.38% 18.8% 19.02% 22.14% และ 36.65% ตามลำดับ

ส่วนในภาพที่ 13-ข เป็นการกระจายน้ำหนักแห้งของพันธุ์ เชียงใหม่ 60 ซึ่งรูปแบบการกระจายน้ำหนักแห้งจะคล้ายกับพันธุ์ สจ.4 แต่น้ำหนักแห้งของส่วนราก และลำต้นสูงสุดที่ 49 วันหลังออก ส่วนใบสูงสุดที่ 70 วันหลังออก สำหรับฝักและเมล็ดเริ่มสะสมน้ำหนักแห้งเมื่อ 35 วันหลังออก และเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนเก็บเกี่ยว ที่ระยะการเก็บเกี่ยว การกระจายน้ำหนักแห้งมีสัดส่วนเป็นดังนี้ คือ ราก 3.4% ลำต้น 13.9% ใบ 14.28% ฝัก 21.6% และเมล็ด 46.7%

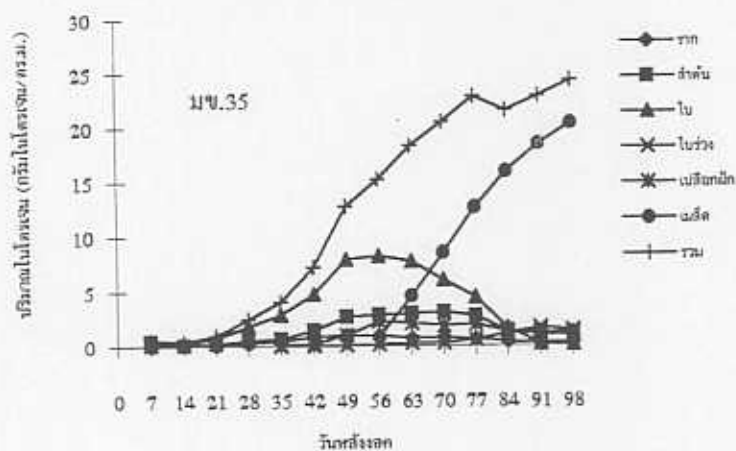
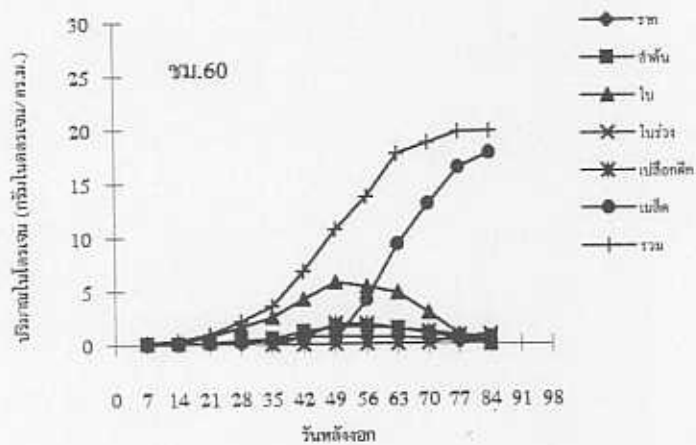
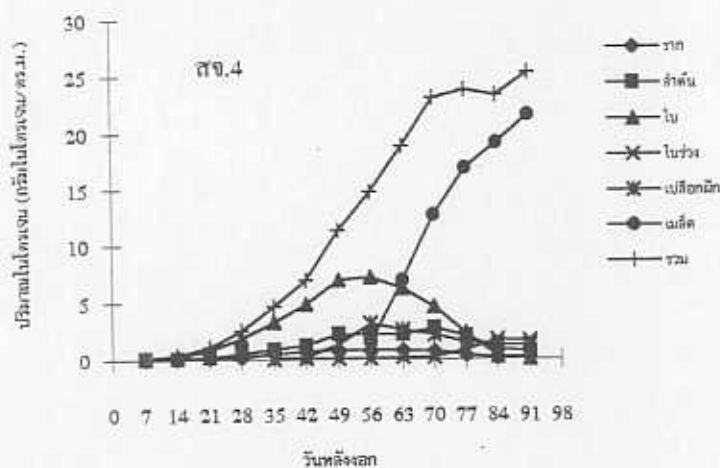
ภาพที่ 13-ค แสดงการกระจายน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองพันธุ์ มข.35 ซึ่งรูปแบบการกระจายน้ำหนักแห้งจะคล้ายกับพันธุ์ สจ.4 มาก โดยมีน้ำหนักแห้งรวมสูงสุดที่ 77 วันหลังออก ลำต้นและใบสูงสุดที่ 70 วันหลังออก และที่ระยะเก็บเกี่ยวสัดส่วนของการกระจายน้ำหนักแห้งเป็นดังนี้ ราก 4.1% ลำต้น 20.6% ใบ 17% ฝัก 18.7% และเมล็ด 39.4%

จากการทดลองพบว่า พันธุ์เชียงใหม่ 60 มีสัดส่วนการกระจายน้ำหนักแห้งไปยังเมล็ดสูงที่สุดคือ 46.7 % และพันธุ์ มข.35 มีสัดส่วนการกระจายน้ำหนักแห้งไปยังราก และลำต้นสูงที่สุดคือ 4.1% และ 20.68% ตามลำดับ และผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า รูปแบบของการปันส่วนคาร์โบไฮเดรตของถั่วเหลืองที่มีการเจริญเติบโตแบบทอดยอด และไม่ทอดยอดนี้มีรูปแบบเหมือนกัน เพียงแต่ต่างกันในเวลาเริ่มต้น และช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงการปันส่วนอาหารเท่านั้น

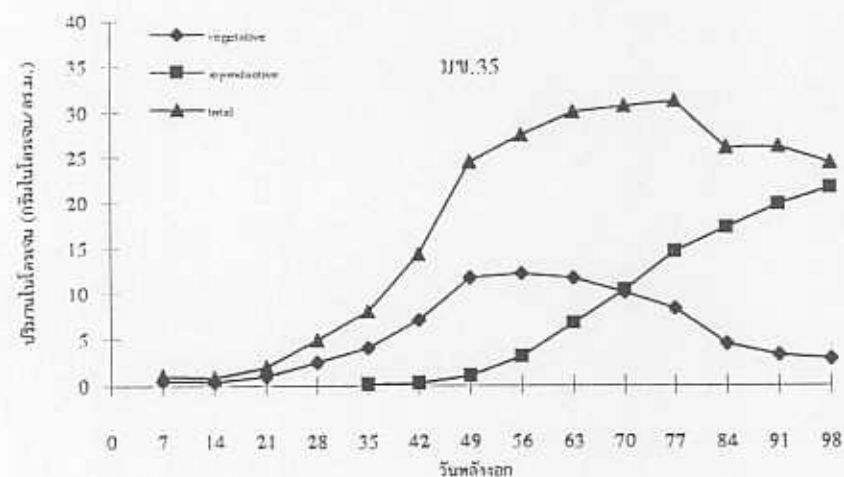
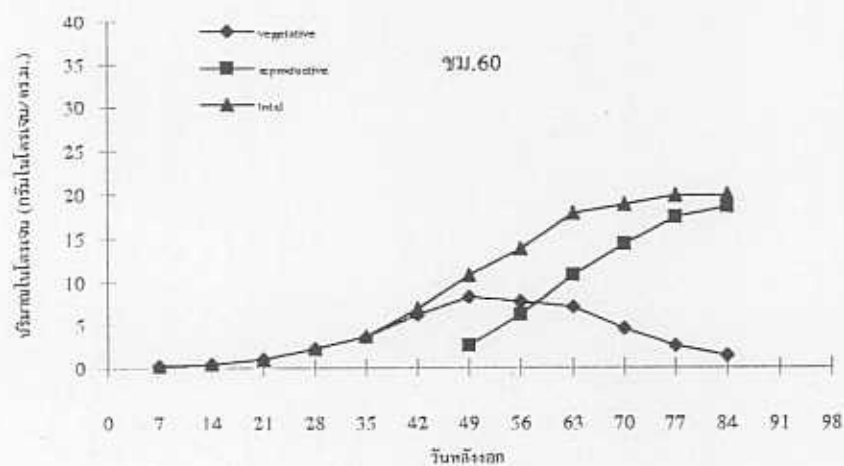
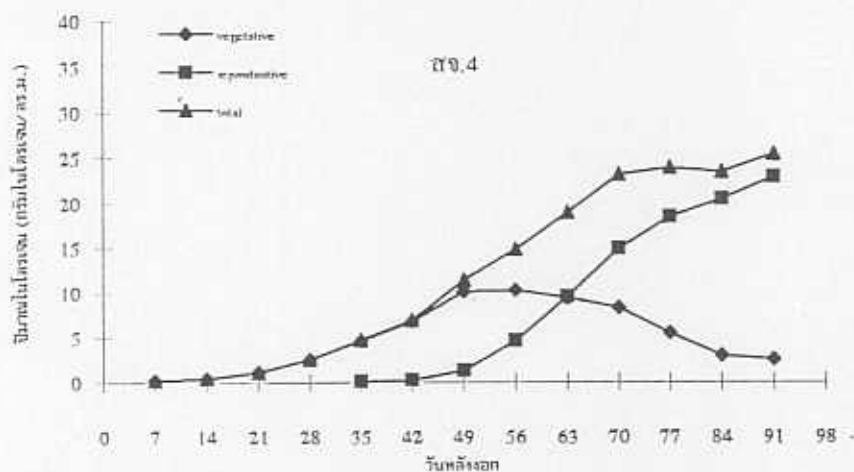
1.4 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนในใบ

1.4.1 การกระจายของไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของพืช

ในภาพที่ 14 ก-ค เป็นการแสดงการกระจายของไนโตรเจน ($g\ N/m^2$) โดยค่าที่นำมาสร้าง กราฟเป็นค่าเฉลี่ยจาก 4 ซ้ำ (replication) ของพันธุ์ สจ.4 เชียงใหม่ 60 และ มข.35 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าทุกพันธุ์มีรูปแบบของการกระจายของไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ คล้ายกันคือ มีการกระจายไนโตรเจนไปยัง



ภาพที่ 14 ปริมาณการกระจายของไนโตรเจน (กรัมไนโตรเจน/ตร.ม.)
ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ตามระยะการเจริญเติบโต



ภาพที่ 15 ปริมาณการกระจายของไนโตรเจน (กรัมไนโตรเจน/ตร.ม.) ระหว่างส่วนการเจริญเติบโต ส่วนต้น (ราก+ลำต้น+ใบ) ส่วนเจริญพันธุ์ (ฝัก+เมล็ด) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ตามระยะการเจริญเติบโต

ส่วนของเมล็ดมากที่สุด ลำดับต่อมาคือใบ ลำต้น ฝัก ใบร่วงและราก โดยเฉพาะในพันธุ์ม.ช.35 มีสัดส่วนของไนโตรเจนในใบ และลำต้นค่อนข้างสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ ที่ระยะ 49-70 วันหลังออกเพราะพันธุ์ม.ช.35 มีการพัฒนาใบและแตกกิ่งมากกว่าพันธุ์อื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับการกระจายของน้ำหนักแห้งและที่ระยะดังกล่าว แต่ละพันธุ์มีสัดส่วนการกระจายของไนโตรเจนในส่วนราก ลำต้น ใบร่วง เปลือกฝักและเมล็ด ตามลำดับโดยสัดส่วนการกระจายของไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของพืชแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปอร์เซ็นต์การกระจายของไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ที่ระยะเก็บเกี่ยวจากการปลูกในแปลงทดลอง A4 หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (ม.ค.-พ.ค.2536)

ส่วนต่าง ๆ ของพืช	สัดส่วนการกระจายของไนโตรเจน (%)		
	พันธุ์สจ.4	พันธุ์เชียงใหม่60	พันธุ์ม.ช.35
ราก	0.8	0.7	1.1
ลำต้น	2.8	1.6	4.2
ใบร่วง	6.4	4.5	5.7
เปลือกฝัก	4.8	4.5	4.7
เมล็ด	85.2	90.0	83.8

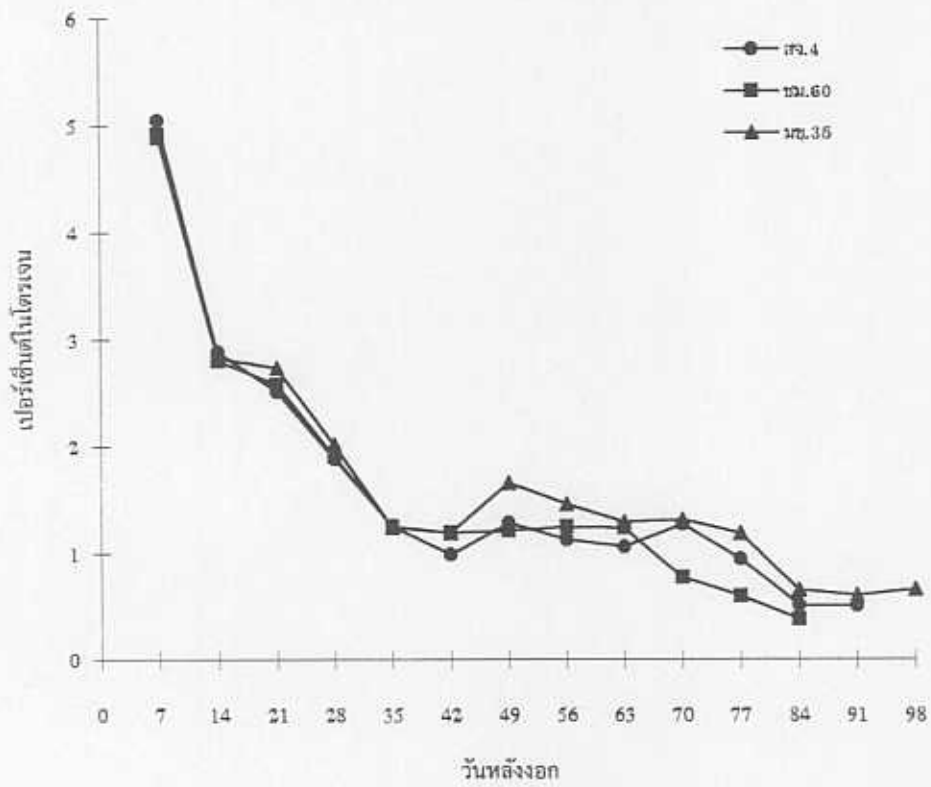
เป็นที่น่าสังเกตว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนในเมล็ดจะใกล้เคียงกับอัตราการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนทั้งต้นในช่วงการเปลี่ยนแปลงการเป็นส่วนอาหาร (transition) จากระยะการเจริญเติบโตส่วนต้น (vegetative) ถึงระยะการเจริญพันธุ์ (reproductive) ดังนั้นการ เคลื่อนย้าย ของไนโตรเจนในช่วงนี้ น่าจะต่ำโดยเฉพาะพันธุ์ มช.35

1.4.2 เปอร์เซ็นต์ (%) ไนโตรเจนในลำต้นพืช

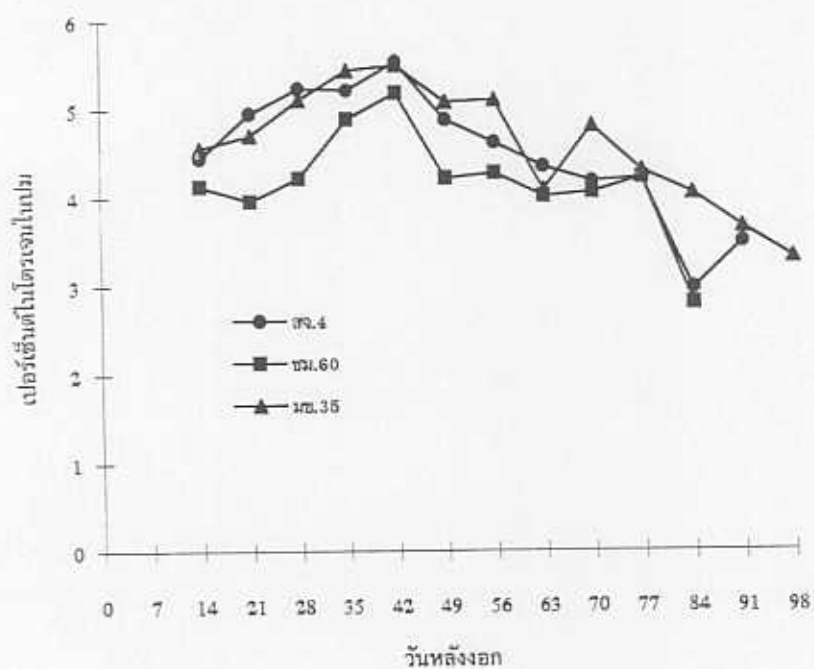
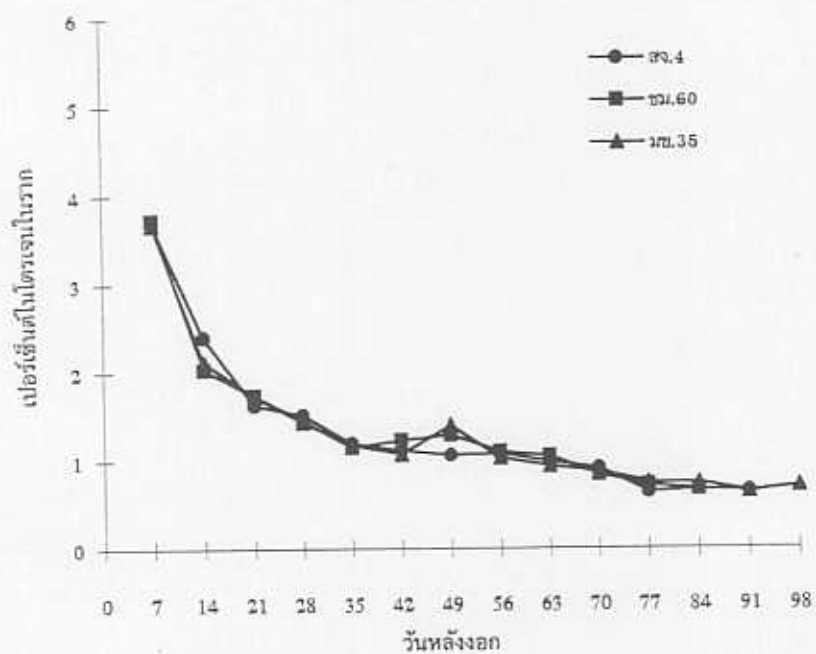
เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน (กรัมไนโตรเจน/กรัม) $\times 100$) ในต้นถั่วเหลืองพันธุ์ ส.จ.4 เชียงใหม่ 60 ม.ข.35 แสดงไว้ในภาพที่ 16 และตารางผนวกที่ 8 จากผลการทดลองพบว่า ในระยะแรกของการเจริญเติบโต โดยเฉพาะช่วงเป็นต้นกล้า (7 วันหลังออก) เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนค่อนข้างสูง และลดลงเมื่อลำต้นมีการเจริญเติบโตมากขึ้น (14-28 วันหลังออก) และหลังจากออกดอก (35 วันหลังออก) การลดลงของเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนเป็นไปอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งเก็บเกี่ยวซึ่งปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในลำต้นของถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์น้อยกว่า 1 % และปรากฏว่าไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ ยกเว้นเมื่ออายุ 49 77 และ 84 วันหลังออก ที่พันธุ์ ม.ข.35 มีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนสูงกว่า ซึ่งอาจสืบเนื่องมาจาก พันธุ์ม.ข.35 มีกิจกรรมการดูดซึมไนโตรเจน (uptake activity) นานกว่าพันธุ์อื่น ๆ และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับพันธุ์อื่น เพราะมีอายุยาวกว่า และออกดอกช้ากว่า (ตารางที่ 4) อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองก็พบว่า ลักษณะของปริมาณไนโตรเจนในลำต้นของทั้ง 3 พันธุ์มีรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงเหมือนกัน

1.4.3 เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน (%) ในราก และปม

เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในราก และปม ของถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ แสดงไว้ในภาพที่ 17 (ตารางผนวกที่ 9-10) ซึ่งปรากฏว่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในราก และปม ของถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ค่อยๆลดลงตามระยะการเจริญเติบโตจาก 5% จนกระทั่งเก็บเกี่ยวซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนน้อยกว่า 1 % และพบว่า ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นที่อายุ 42 วันหลังออก โดยพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนสูงสุดคือ 1.24% เช่นเดียวกับในส่วนปมซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนสูงกว่าในราก แต่ทั้ง 3 พันธุ์มีรูปแบบเหมือนกัน และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าสูงสุดที่อายุ 42 วันหลังออกทุกพันธุ์ ซึ่งระยะดังกล่าวเป็นระยะการพัฒนาของเมล็ด หลังจากนั้นจะลดลงจนกระทั่งเก็บเกี่ยว



ภาพที่ 16 เปอร์เซ็นต์ในดินในลำต้นของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ตามระยะเวลาเจริญเติบโต



ภาพที่ 17 เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำและพลาสมา ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์
ตามระยะการเจริญเติบโต

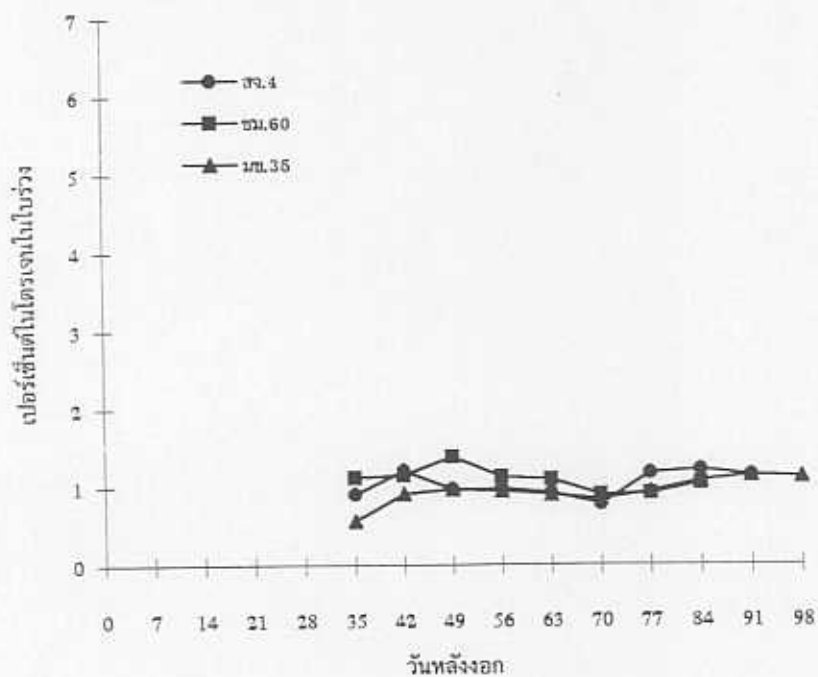
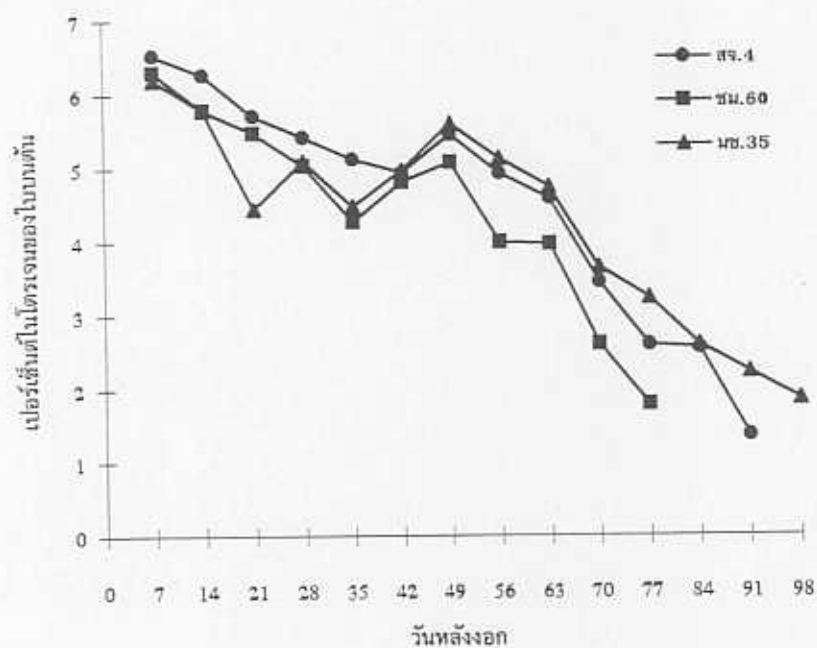
1.4.4 เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน (%) ในใบ และใบร่วง

จากการทดลองพบว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในใบจะคล้ายกันทั้ง 3 พันธุ์ คือ ในระยะแรกของการเจริญเติบโต (อายุ 7 ถึง 35 วันหลังออก) เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในใบค่อนข้างสูง(6.5%) และลดลงตามระยะการเจริญเติบโต และที่ 49 วันหลังออกเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในใบจะกลับสูงขึ้น (ภาพที่ 18) และมีความแตกต่างในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยพันธุ์ม.ช.35 จะมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนสูงสุด คือ 5.6 % และพันธุ์เชียงใหม่60 ต่ำที่สุด คือ 5.1 % หลังจากระยะดังกล่าวเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนจะลดลงจนกระทั่งเก็บเกี่ยว ซึ่งในระยะนี้เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนของใบในทุกพันธุ์จะมีค่าประมาณ 1.5 % เท่านั้น ดังกล่าวอาจเนื่องมาจากอัตราการดูดซึมไนโตรเจนสูงกว่าช่วงอื่นๆ

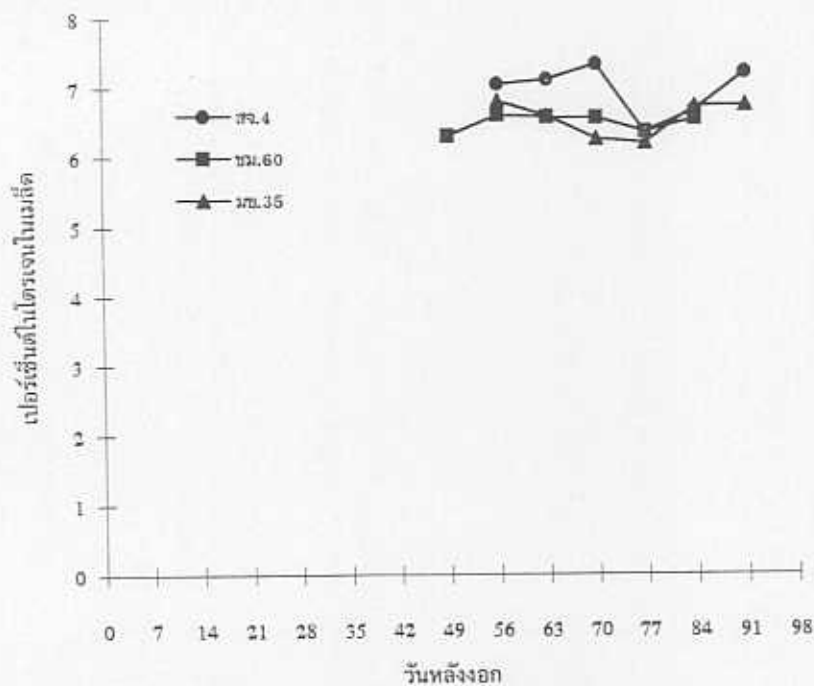
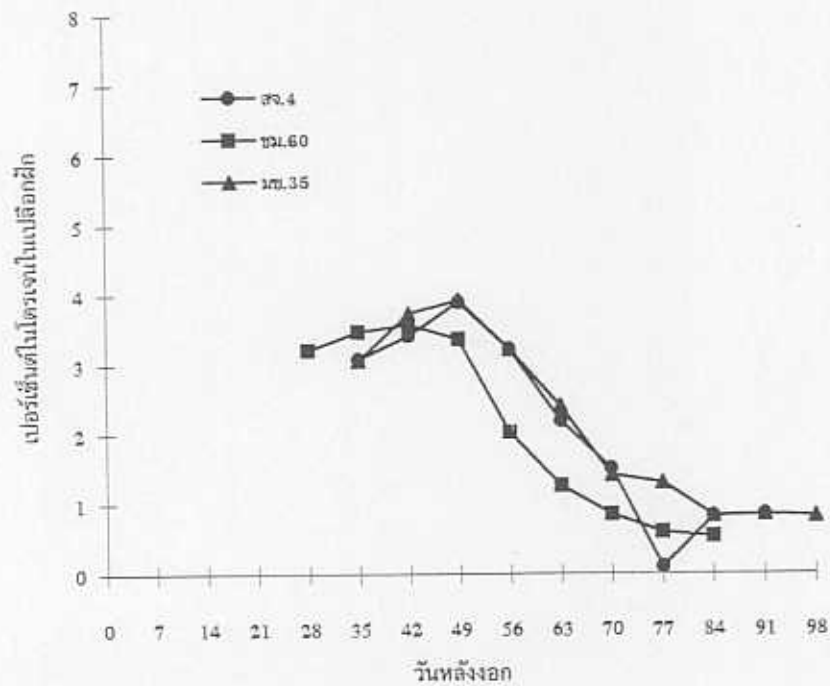
สำหรับใบร่วงเริ่มร่วงเห็นได้ชัดหลังจากการออกดอก พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนประมาณ 1.2% ในทุกพันธุ์และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจนกระทั่งเก็บเกี่ยว จากงานทดลองปรากฏว่าในช่วงปลายของระยะการเจริญเติบโตเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดในใบร่วงในพันธุ์ส.จ.4.และม.ช. 35 เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (77 วันหลังออกจนเก็บเกี่ยว)

1.4.5 เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน ในเปลือกฝักและเมล็ด

เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเปลือกฝัก และเมล็ดของถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์แสดงไว้ในภาพที่ 19 และตารางผนวกที่ 13-14 พบว่า เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเปลือกฝักของถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์มีลักษณะที่คล้ายกัน โดยเฉพาะพันธุ์ส.จ.4และ ม.ช.35 ซึ่งในระยะแรกของการสร้างเมล็ด (49 ถึง 56วันหลังออก) เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเปลือกฝักจะมีเปอร์เซ็นต์สูงและจะลดลงในระยะการพัฒนาและสะสมอาหารในเมล็ดและมีเปอร์เซ็นต์ต่ำสุดในระยะเก็บเกี่ยวและพบว่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในพันธุ์เชียงใหม่60 มีค่าน้อยกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพันธุ์ ส.จ.4และม.ช.35 โดยที่ระยะเก็บเกี่ยวพันธุ์เชียงใหม่60 เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดในเปลือกฝักมีค่าเท่ากับ 0.52% ส่วนในพันธุ์ ม.ช. 35 และส.จ.4มีค่า 0.80% และ 0.82 % ตามลำดับ



ภาพที่ 18 เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในใบบนต้น และใบร่วง ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์
ตามระยะการเจริญเติบโต

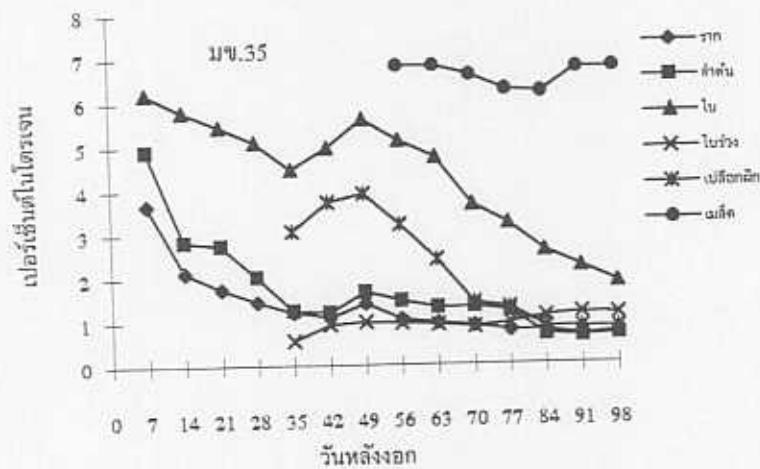
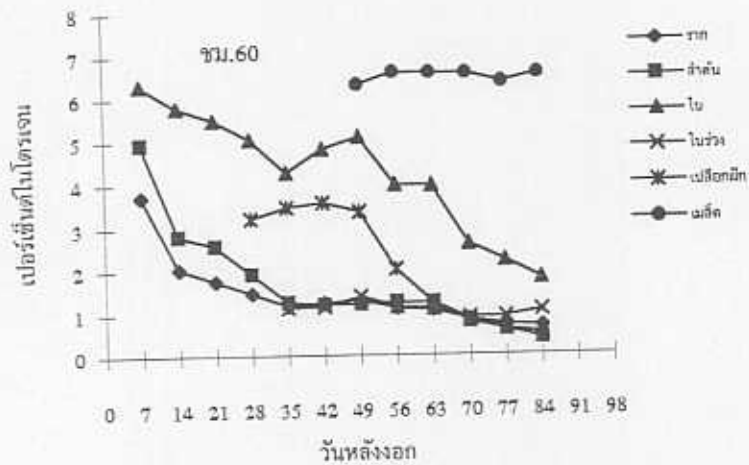
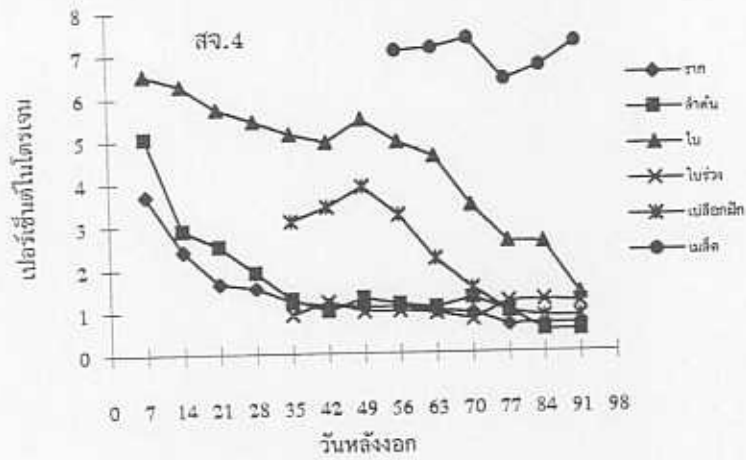


ภาพที่ 19 เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเปลือกฝัก และเมล็ด ของข้าวเหลือง 3 พันธุ์
ตามระยะการเจริญเติบโต

เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเมล็ดถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ พบว่าในช่วงแรกปริมาณไนโตรเจนไม่แตกต่างกันทางสถิติ (34-42 วันหลังออก) แต่เมื่ออายุ 49 วันหลังออกพันธุ์เชียงใหม่60 จะมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนเพิ่มอย่างรวดเร็วมีค่าสูงกว่าและแตกต่างกันทางสถิติกับถั่วเหลืองทั้ง 2 พันธุ์เนื่องจากระยะดังกล่าวเป็นระยะเริ่มสร้างเมล็ด (R4-R5) ของพันธุ์เชียงใหม่60 ซึ่งมีอายุเก็บเกี่ยวสั้นกว่าทั้ง 2 พันธุ์ (ตารางที่ 4) สำหรับพันธุ์ ส.จ.4 และ ม.ข.35เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนเพิ่มอย่างรวดเร็ว เมื่ออายุ56 วันหลังออก และหลังจากนั้นปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จนกระทั่งเก็บเกี่ยวปริมาณไนโตรเจนจะเหมือนกันทุกพันธุ์ ที่ระยะเก็บเกี่ยวพบว่าพันธุ์ ส.จ.4 มีปริมาณไนโตรเจนสูงสุด คือ 7.20 % ส่วนพันธุ์ ม.ข.35 และเชียงใหม่60 มี 6.75 % และ 6.24 %ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 14)

1.4.6 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน ในส่วนอวัยวะต่างๆของถั่วเหลือง

ในภาพที่ 20 ก-ค แสดงเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนในอวัยวะต่างๆของพันธุ์ ส.จ.4 เชียงใหม่ 60 และ ม.ข.35 ตามลำดับ พบว่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในรากลำต้นและใบมีปริมาณไนโตรเจนสูงในระยะแรกของการเจริญเติบโต และค่อยๆลดลงตามระยะการเจริญเติบโต โดยเฉพาะหลังการออกดอก (35 วันหลังออก) โดยปริมาณไนโตรเจนในรากและลำต้นของแต่ละพันธุ์มีปริมาณใกล้เคียงกัน และมีรูปแบบเหมือนกัน หลังการออกดอกพบว่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนของรากและลำต้นลดลงจนมีค่าเท่า ๆ กันกับเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในใบร่วง ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในใบกลับสูงขึ้นที่อายุ 49 วันหลังออกซึ่งเป็นระยะการสร้างฝักและเมล็ด (R_4-R_5) หลังจากนั้นจึงค่อยลดลงจนกระทั่งเก็บเกี่ยว เช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในส่วนของเปลือกฝัก ซึ่งจะค่อยๆลดลงจนกระทั่งเก็บเกี่ยว ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเมล็ดค่อนข้างคงที่ แสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนย้ายของไนโตรเจนจากส่วนต่างๆของต้นไปยังเมล็ดนั้นจะเป็นสัดส่วนกับอัตราการเจริญของเมล็ดเมื่ออัตราการดูดซึมธาตุอาหารของรากหยุดลง โดยจากงานทดลองพบว่าไนโตรเจนที่เคลื่อนย้ายจากส่วนรากและลำต้นทันทีที่มีการออกดอกและติดฝัก ส่วนการเคลื่อนย้ายของไนโตรเจนจากใบและฝักจะเกิดขึ้นเมื่อมีการพัฒนาและสะสมอาหารในเมล็ด และรูปแบบของการกระจายของไนโตรเจนเหมือนกันในทุกพันธุ์



ภาพที่ 20 เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์
ตามระยะการเจริญเติบโต

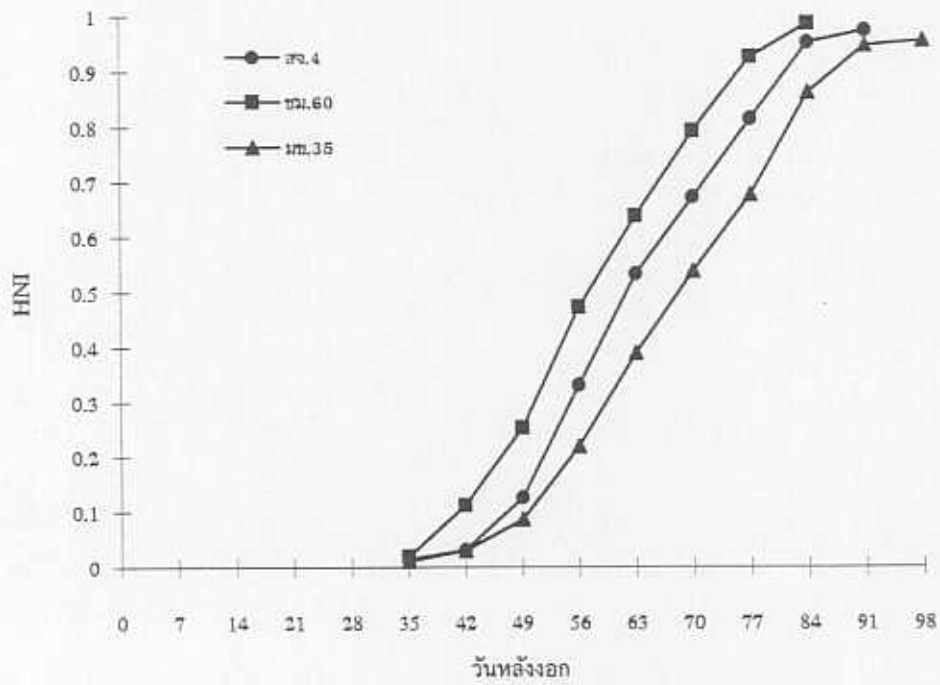
1.4.7 Harvesting Nitrogen Index (HNI)

HNI ในงานทดลองนี้ เป็นค่าที่ประเมินจากอัตราส่วนของน้ำหนักไนโตรเจนในเมล็ดต่อน้ำหนักไนโตรเจนทั้งหมด โดยไม่รวมใบร่วงต่อพื้นที่ การเปลี่ยนแปลงของ HNI จะชี้ให้เห็นถึงการป็นส่วน (partition) ไนโตรเจนไปยังเมล็ด ดังภาพที่ 21

จากการทดลองพบว่าพันธุ์เชียงใหม่60 มี HNI สูงกว่าพันธุ์อื่นและมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของ HNI ในช่วงการเจริญเติบโตของเมล็ดจนถึงเก็บเกี่ยวสูงกว่าพันธุ์อื่น (มีค่า 0.025, 0.23, 0.022 ในเชียงใหม่60 ส.จ4และม.ช.35 ตามลำดับ) ลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดการลดลงของไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ของถั่วเหลืองพบว่าพันธุ์เชียงใหม่60 เมื่ออายุ 49 วันหลังออกดอก (R_5) มีปริมาณไนโตรเจนในใบลดลงขณะที่พันธุ์อื่นเริ่มลดลงเมื่ออายุ 56 วัน ซึ่งเป็นระยะที่มีการพัฒนาเมล็ดเต็มที่ และเริ่มสะสมน้ำหนักแห้งอย่างรวดเร็ว พบว่า พันธุ์เชียงใหม่60 มีเปอร์เซ็นต์การร่วงของใบเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเร็วกว่าพันธุ์อื่นๆ และการร่วงของใบมีผลต่อช่วงเวลาการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดสิ้นสุดลงด้วย และส่งผลต่อการให้ผลผลิตในที่สุด

2.คุณสมบัติทางเคมีของดิน

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินพบว่าในดินปลูกมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในปริมาณต่ำซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของถั่วเหลืองการวิเคราะห์ไม่รวมซากพืชที่ตกค้างในดินก่อนปลูก และพบว่าหลังการปลูกปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย พื้นที่ที่ใช้ทำการทดลองก่อนหน้านี้มีการปลูกถั่วลิสงสลับกับนาข้าว เศษซากของถั่วลิสงอาจเป็นแหล่งไนโตรเจนอีกแหล่ง ทำให้ดินมีไนโตรเจนมากเพียงพอ รวมทั้งธาตุอาหารตัวอื่นๆ ด้วย ยกเว้นปริมาณของโปแตสเซียม และ pH ของดิน (ตารางที่ 7)



ภาพที่ 21 แสดง Harvesting Nitrogen Index ของข้าวเหลือง 3 พันธุ์ ตามระยะการเจริญเติบโต

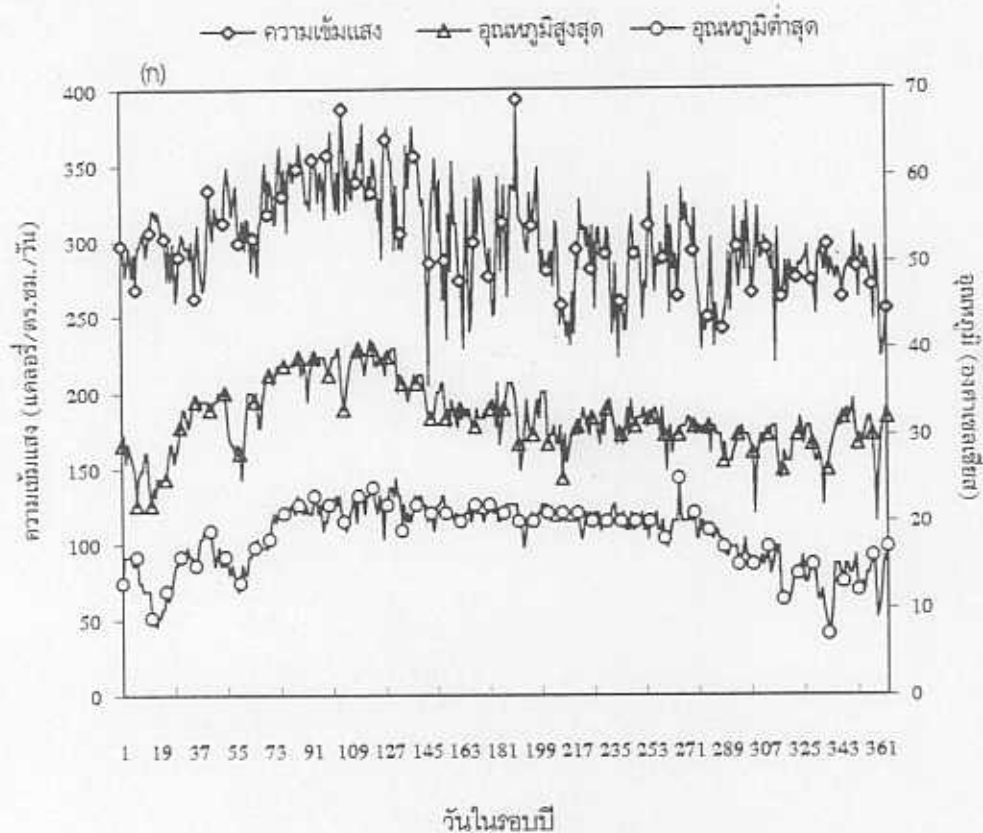
ตารางที่ 7 ลักษณะทางเคมีบางประการของดินปลูกในแปลง A4 หมวดพีชไร่ คณะเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น เก็บเมื่อ 27 มค. และ 15 พค. 36

ลักษณะทางเคมี	ก่อนปลูก	หลังปลูก
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(%)	0.032	0.054
ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์(ppm)	70.748	74.263
ปริมาณโปแตสเซียมที่เป็นประโยชน์(ppm)	41.26	28.65
ปริมาณแคลเซียม(ppm)	518.85	538.24
pH	6.57	6.35

3.ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

จากลักษณะอากาศพบว่าอุณหภูมิในช่วงปลูก (28 ก.พ. 36- 14 พ.ค. 36)มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 36 องศาเซลเซียส และต่ำสุด 20 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิตลอดช่วงปลูกพบว่าเป็นช่วงอุณหภูมิที่สามารถปลูกถั่วเหลืองได้ แต่ช่วงปลูกดังกล่าว ไม่ใช่ฤดูปลูก ถั่วเหลืองตามปกติ (Whigham, 1983) แต่ก็ยังจัดว่าเป็นช่วงอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง ซึ่งส่งผลให้ถั่วเหลืองมีการออกดอกเร็วขึ้น และอายุการสุกแก่เร็วขึ้นด้วย นอกจากนี้ช่วงปลายของการเจริญเติบโตปริมาณฝนค่อนข้างสูง (ต้น พ.ค.) มีผลกระทบกับฝักและเมล็ดของพันธุ์มข.35 ซึ่งมีอายุการเก็บเกี่ยวยาวที่สุด โดยฝักและเมล็ดบางส่วนเกิดการเน่าเสียหาย (ภาพที่ 22)



ภาพที่ 22 สภาพอากาศรายวัน ปี 2536 ของสถานีอุตุนิยมวิทยา หมวดพิชไร์
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประกอบด้วย ความเข้มแสง
(แคลอรี/ตร.ม./วัน) อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด (องศาเซลเซียส)

ผลการศึกษาการจำลองการเจริญเติบโตและการทดสอบแบบจำลอง

ผลการจำลอง (simulation) และการทดสอบระยะที่ 1

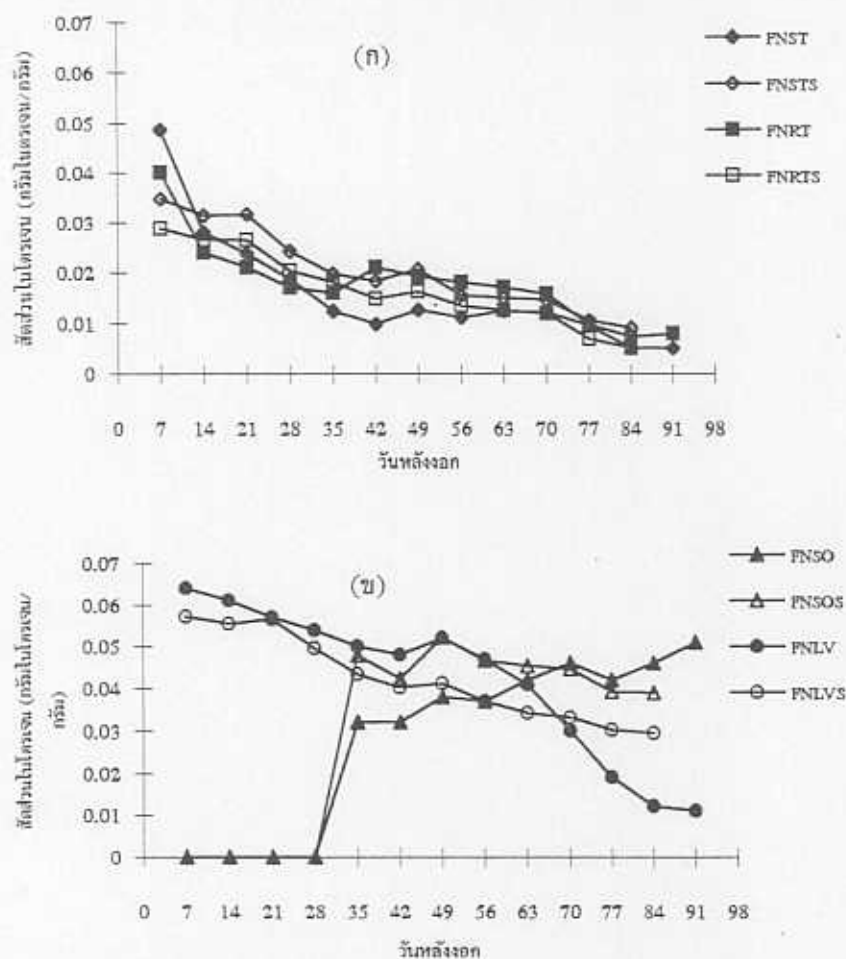
ผลการทดสอบแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของพืชกับเวลา ในพันธุ์ สจ.4 เชียงใหม่60 และ มข.35 ได้แสดงไว้ในภาพที่ 23 24 และ 25 ตามลำดับ พบว่าผลการจำลอง มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในลักษณะเดียวกัน กับผลการทดลองในสภาพแปลง (observe) ทุกพันธุ์

แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าระหว่างการทดลองและค่าจากการประเมินพบว่าในพันธุ์สจ.4 สัดส่วนของไนโตรเจน ในใบจากการประเมิน (FNLVS) ต่ำกว่าค่าจากการทดลอง (FNLV) ในขณะที่สัดส่วนของไนโตรเจนใน ลำต้นจากการประเมิน (FNSTS) สูงกว่าค่าจากการทดลอง (FNST) ส่วนการเปลี่ยนแปลงในเมล็ดมีค่า ใกล้เคียงกันโดยเฉพาะตั้งแต่อายุ 63 วันหลังงอกจนกระทั่งแก่

สำหรับพันธุ์เชียงใหม่60 พบว่าสัดส่วนของไนโตรเจนในใบจากการประเมิน มีค่าต่ำกว่าค่าจากการ ทดลอง จนเมื่ออายุ 63 วันหลังงอก ค่าจากการประเมินกลับมากกว่า ค่าจากการทดลอง

และในพันธุ์มข.35 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในส่วนต้นจากการประเมินต่ำกว่าค่าจาก การทดลองมากในช่วงแรก แต่หลังจากอายุ 28 วันหลังงอกค่าจากการประเมินกลับมีค่าสูงกว่า สำหรับ ไนโตรเจนในใบพบว่าค่าจากการทดลองสูงกว่าค่าจากการประเมิน

จะพบว่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจากการประเมิน และค่าจากการทดลอง มักจะสูงในช่วงเริ่มต้น การพัฒนาการของอวัยวะแต่ละส่วน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าจากการทดลอง และค่าจากการ ประเมินในลักษณะของกราฟ 1:1 ดังภาพที่ 26 พบว่าพันธุ์เชียงใหม่60 ซึ่งมีลักษณะการเจริญเติบโต แบบไม่ทอดยอดมีค่าจากการประเมินใกล้เคียงกับค่าจากการทดลองมากที่สุด เมื่อพิจารณาความ สัมพันธ์ในรูปของ correlation coefficient (r), standardize bias (R) และ standardize mean square error (V) ดังแสดงในตารางที่ 8 พบว่าค่าการประเมินการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของ พืชมีความสัมพันธ์ กับค่าจากการทดลอง ซึ่งให้เห็นว่าการประเมินการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนของ NASYM ที่ศึกษาในข้าว สามารถกำหนดการกระจายไนโตรเจนในถั่วเหลืองได้



ภาพที่ 23 เปรียบเทียบผลการประเมิน การปันส่วนไนโตรเจน

โดยแบบจำลอง กับค่าจากแปลงทดลองทดสอบแบบจำลอง

ในการกระจายน้ำหนักแห้งของพันธุ์ สจ.4

ก) สัดส่วนของไนโตรเจนในส่วนของลำต้น และราก

ข) สัดส่วนของไนโตรเจนในส่วนของใบ และเมล็ด

FNST - สัดส่วนของไนโตรเจนในต้นที่ได้จากการทดลอง

FNSTS - สัดส่วนของไนโตรเจนในต้นที่ได้จากจำลอง

FNRT - สัดส่วนของไนโตรเจนในรากที่ได้จากการทดลอง

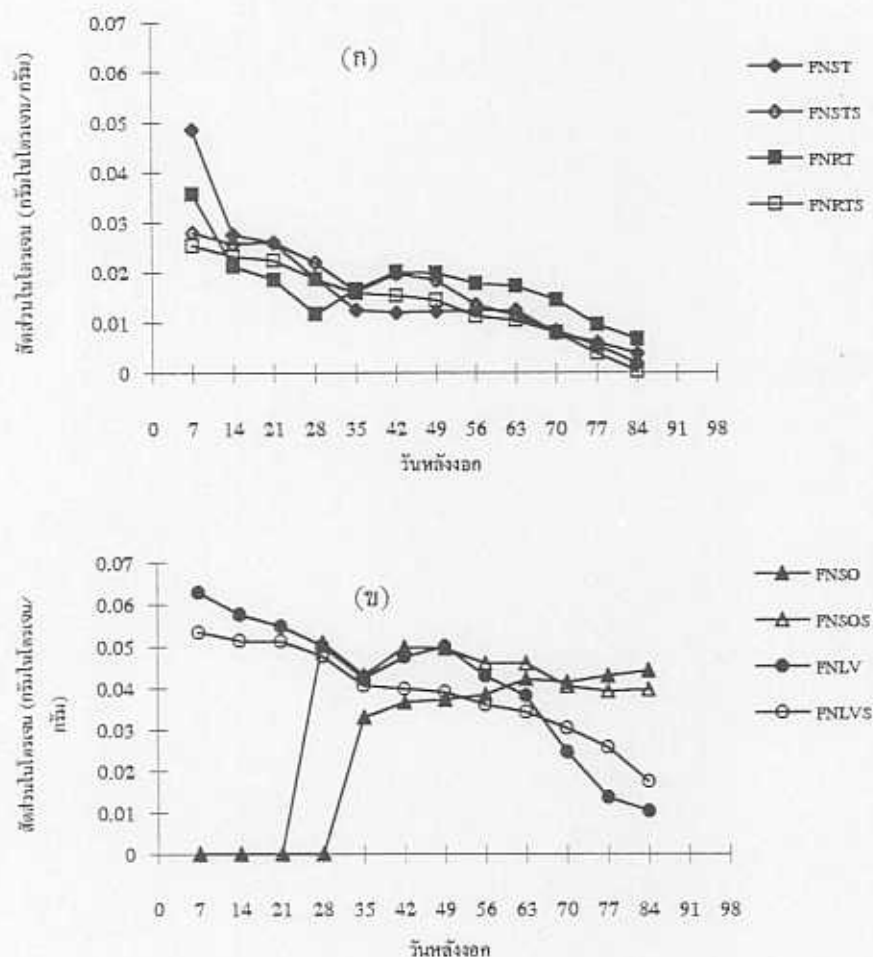
FNRTS - สัดส่วนของไนโตรเจนในรากที่ได้จากจำลอง

FNSO - สัดส่วนของไนโตรเจนในเมล็ดที่ได้จากการทดลอง

FNSOS - สัดส่วนของไนโตรเจนในเมล็ดที่ได้จากจำลอง

FNLV - สัดส่วนของไนโตรเจนในใบที่ได้จากการทดลอง

FNLVS - สัดส่วนของไนโตรเจนในใบที่ได้จากจำลอง



ภาพที่ 24 เปรียบเทียบผลการประเมิน การป็นส่วนไนโตรเจน

โดยแบบจำลอง กับค่าจากแปลงทดลองทดสอบแบบจำลอง

ในการกระจายน้ำหนักแห้งของพันธุ์ ชม.60

ก) สัดส่วนของไนโตรเจนในส่วนของลำต้น และราก

ข) สัดส่วนของไนโตรเจนในส่วนของใบ และเมล็ด

FNST - สัดส่วนของไนโตรเจนในต้นที่ได้จากการทดลอง

FNSTS - สัดส่วนของไนโตรเจนในต้นที่ได้จากจำลอง

FNRT - สัดส่วนของไนโตรเจนในรากที่ได้จากการทดลอง

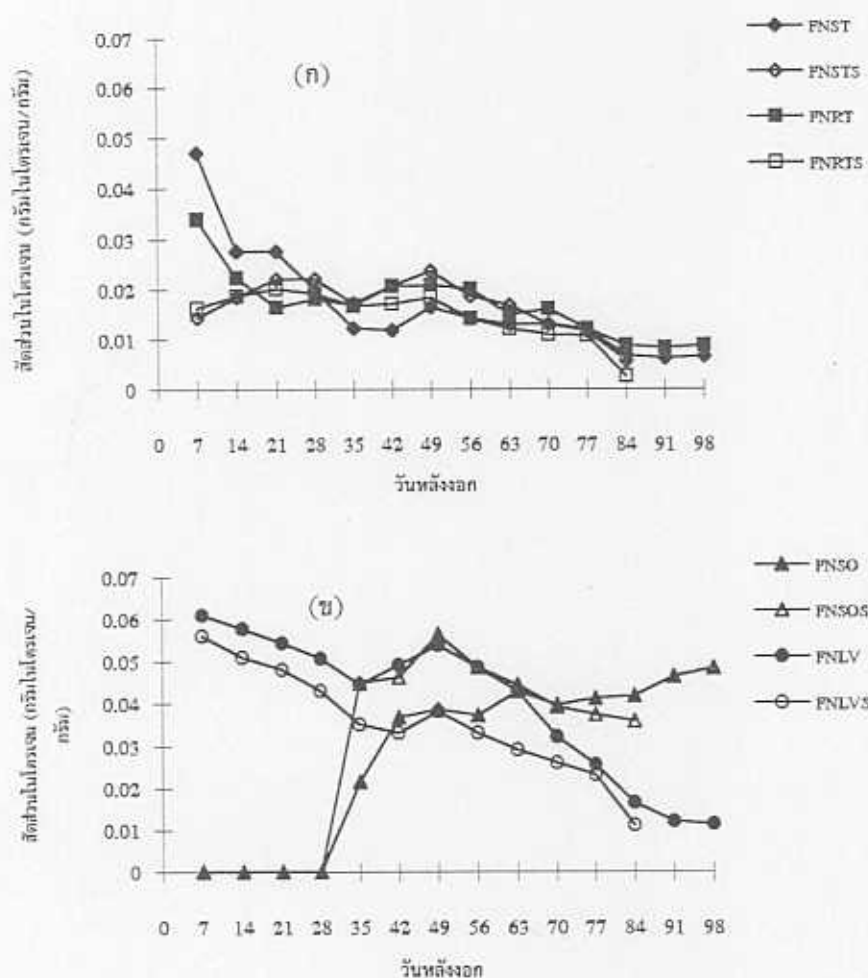
FNRTS - สัดส่วนของไนโตรเจนในรากที่ได้จากจำลอง

FNSO - สัดส่วนของไนโตรเจนในเมล็ดที่ได้จากการทดลอง

FNSOS - สัดส่วนของไนโตรเจนในเมล็ดที่ได้จากจำลอง

FNLV - สัดส่วนของไนโตรเจนในใบที่ได้จากการทดลอง

FNLVS - สัดส่วนของไนโตรเจนในใบที่ได้จากจำลอง



ภาพที่ 25 เปรียบเทียบผลการประเมิน การปนส่วนไนโตรเจน

โดยแบบจำลอง กับค่าจากแปลงทดลองทดสอบแบบจำลอง

ในการกระจายน้ำหนักแห้งของพันธุ์ นข.35

ก) สัดส่วนของไนโตรเจนในส่วนของลำต้น และราก

ข) สัดส่วนของไนโตรเจนในส่วนของใบ และเมล็ด

FNST - สัดส่วนของไนโตรเจนในต้นที่ได้จากการทดลอง

FNSTS - สัดส่วนของไนโตรเจนในต้นที่ได้จากจำลอง

FNRT - สัดส่วนของไนโตรเจนในรากที่ได้จากการทดลอง

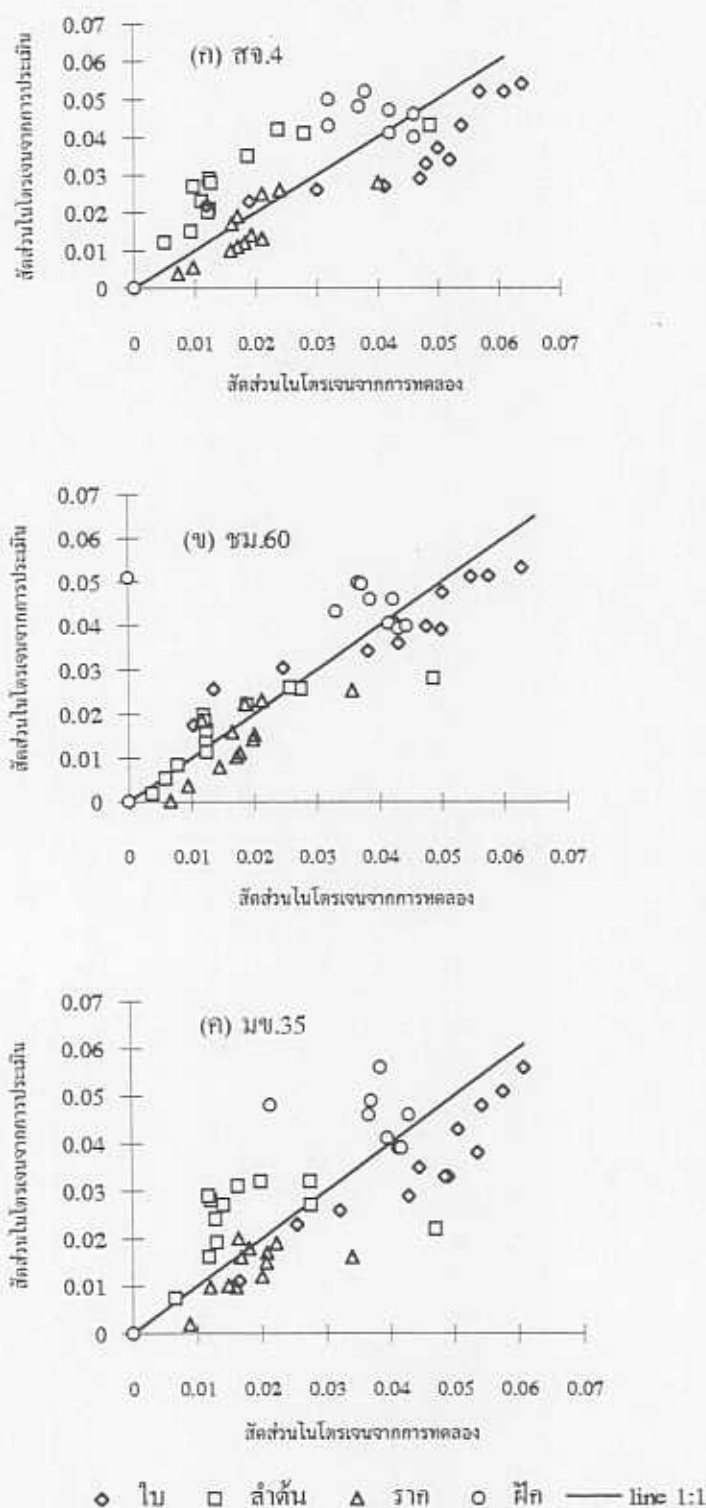
FNRTS - สัดส่วนของไนโตรเจนในรากที่ได้จากจำลอง

FNSO - สัดส่วนของไนโตรเจนในเมล็ดที่ได้จากการทดลอง

FNSOS - สัดส่วนของไนโตรเจนในเมล็ดที่ได้จากจำลอง

FNLV - สัดส่วนของไนโตรเจนในใบที่ได้จากการทดลอง

FNLVS - สัดส่วนของไนโตรเจนในใบที่ได้จากจำลอง



ภาพที่ 26 ก-ง เปรียบเทียบสัดส่วนไนโตรเจนของส่วนต่าง ๆ จากการประเมิน (simulated) และจากค่าทดลอง (observed) ในลักษณะ 1 : 1

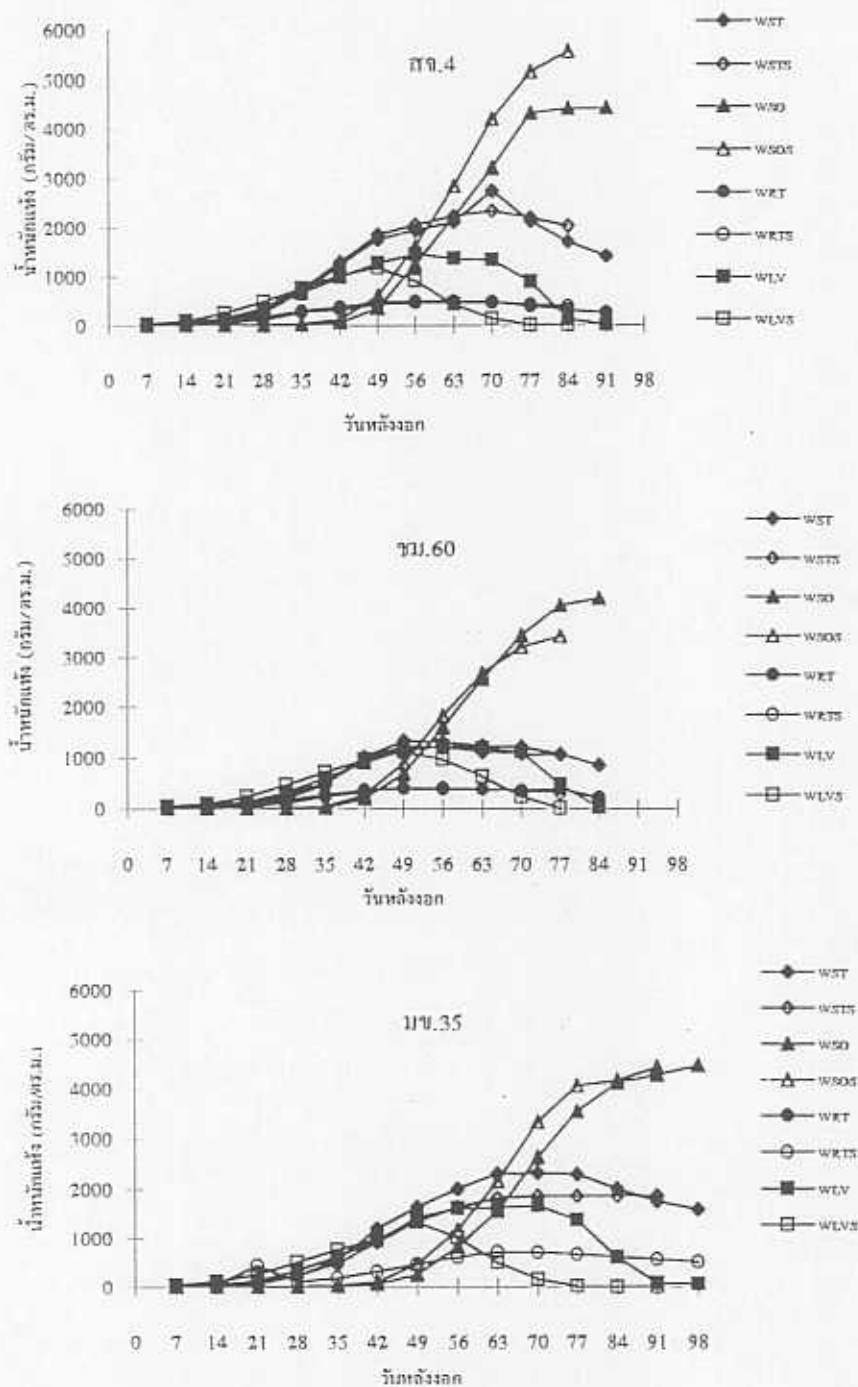
ตารางที่ 8 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ จากการประเมิน
และค่าจากการทดลอง ในรูปของ correlation coefficient (r), standardize bias (R),
และ standardized mean square error (V)

	ราก	ลำต้น	ใบ	ฝัก
พันธุ์สจ.4				
r	0.82	0.87	0.88	0.95
R	-0.11	0.20	-0.05	0.14
V	0.006	0.11	0.003	0.06
พันธุ์เชียงใหม่60				
r	0.74	0.91	0.95	0.65
R	-1.15	-0.53	-0.55	0.28
V	1.0	5.22	0.29	0.25
พันธุ์มข.35				
r	0.82	0.62	0.93	0.90
R	-0.12	-0.005	-0.21	0.18
V	0.05	0.19	0.01	0.09

ผลการจำลอง (simulation) จากการทดสอบระยะที่ 2

ผลการจำลองการเจริญเติบโตโดยใช้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่พืชดูดซึมไปใช้ (total N uptake) จากการทดลองในสภาพไร่เป็นข้อมูล แต่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (total CH_2O) มาจากการคำนวณโดย MACROS module L1D พบว่าเมื่อพืชถึงระยะสุกแก่ การสร้างน้ำหนักแห้งของฝัก และส่วนต่าง ๆ ของพืชจากการประเมินมีรูปแบบเดียวกัน และมีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดลองในแปลง โดยมีความแตกต่างกันประมาณ 10% ดังแสดงในภาพที่ 27 โดยในพันธุ์สจ.4 และ มข.35 ซึ่งมีการเจริญเติบโตแบบทอดยอด น้ำหนักแห้งฝักจากการประเมิน มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลองในแปลง ส่วนน้ำหนักแห้งใบค่าจากการทดลองสูงกว่าค่าจากการประเมิน ส่วนน้ำหนักแห้งรากและลำต้นมีค่าใกล้เคียงกัน พันธุ์เชียงใหม่ 60 ค่าน้ำหนักแห้งจากการประเมิน และค่าจากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน โดยน้ำหนักแห้งฝักจากการประเมิน มีค่าต่ำกว่าค่าจากการทดลองเล็กน้อย

เมื่อนำค่าน้ำหนักแห้งจากการประเมิน มาเปรียบเทียบกับ ค่าจากการทดลองกับกราฟเส้นตรง 1:1 (ภาพที่ 28) พบว่าในถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์มีรูปแบบของการกระจายน้ำหนักแห้งในส่วนต่าง ๆ ระหว่างค่าจากการประเมินและค่าจากการทดลอง แบบเดียวกัน โดยมีค่า r ประมาณ 0.9 ยกเว้นในส่วนใบของพันธุ์ สจ.4 และ มข.35 มีค่า r ค่อนข้างต่ำ แต่อย่างไรก็ตามทุกส่วนมีค่า R และ V มีค่าสูงแสดงให้เห็นว่าแม้รูปแบบของการกระจายน้ำหนักแห้งจะเป็นไปในทิศทางเดียวกันแต่ยังขาดความแม่นยำในการประเมินโดยเฉพาะน้ำหนักใบ ดังตารางที่ 9



ภาพที่ 27 เปรียบเทียบผลการทดสอบแบบจำลองในการกระจายน้ำหนักแก๊สของพันธุ์ สจ.4, ขม.60 และ ขข.35

WST = น้ำหนักแก๊สที่ได้จากการทดลอง

WST = น้ำหนักแก๊สที่ได้จากการทดลอง

WST = น้ำหนักแก๊สที่ได้จากการทดลอง

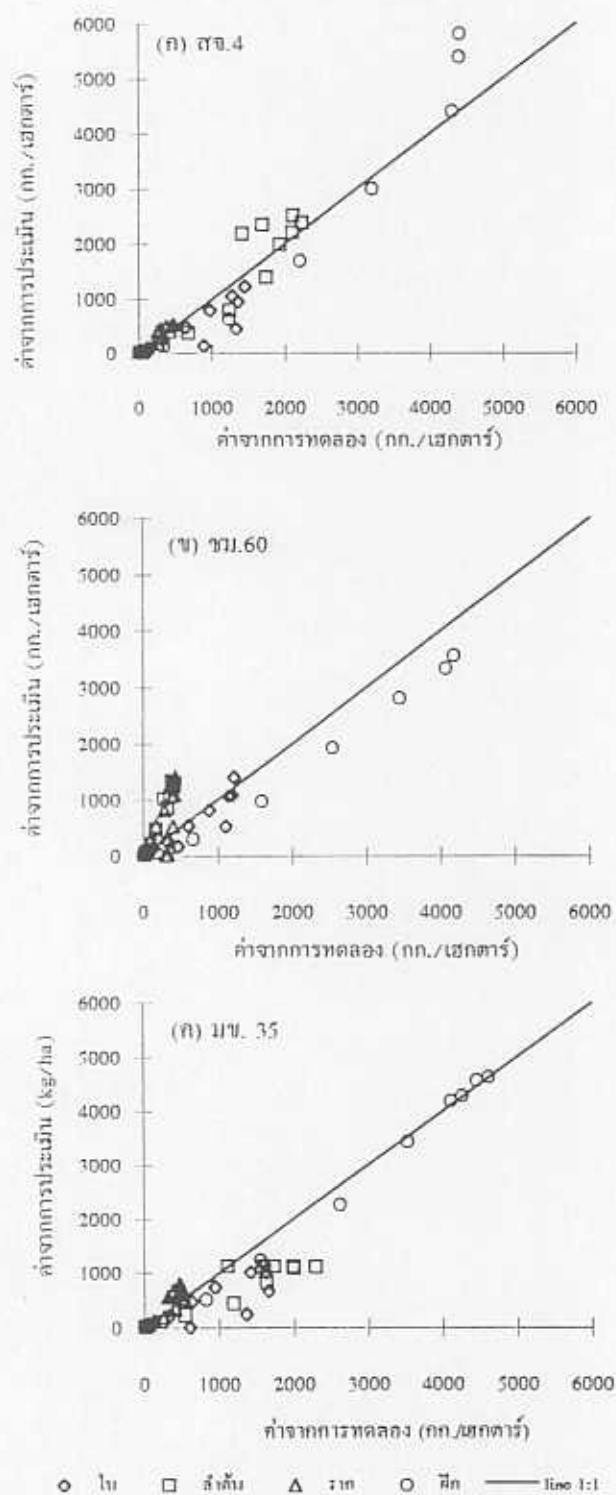
WST = น้ำหนักแก๊สที่ได้จากการทดลอง

WSTS = น้ำหนักแก๊สที่ได้จากแบบจำลอง

WSTS = น้ำหนักแก๊สที่ได้จากแบบจำลอง

WSTS = น้ำหนักแก๊สที่ได้จากแบบจำลอง

WSTS = น้ำหนักแก๊สที่ได้จากแบบจำลอง



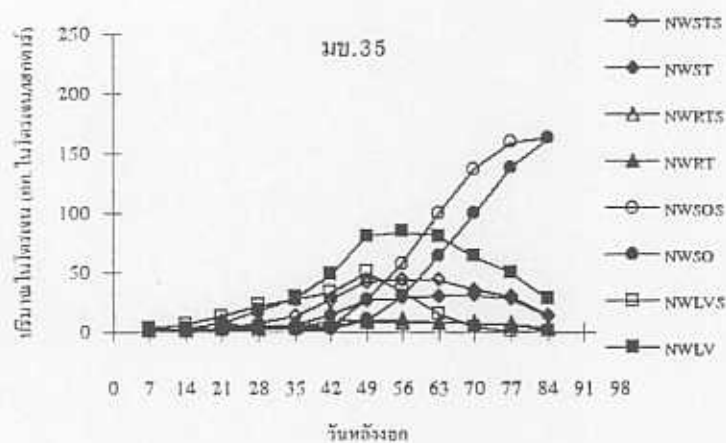
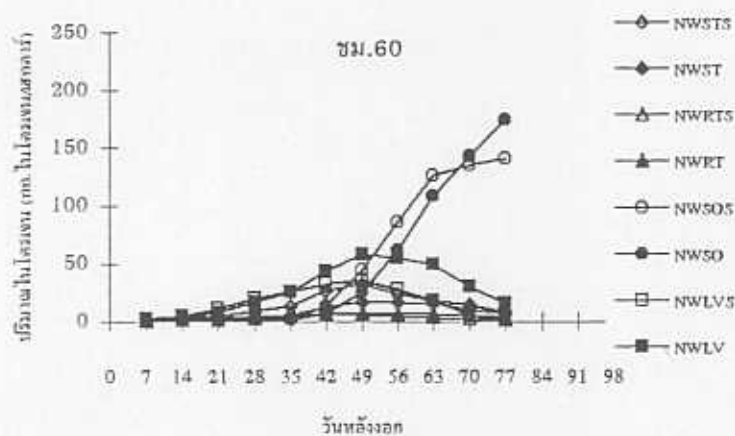
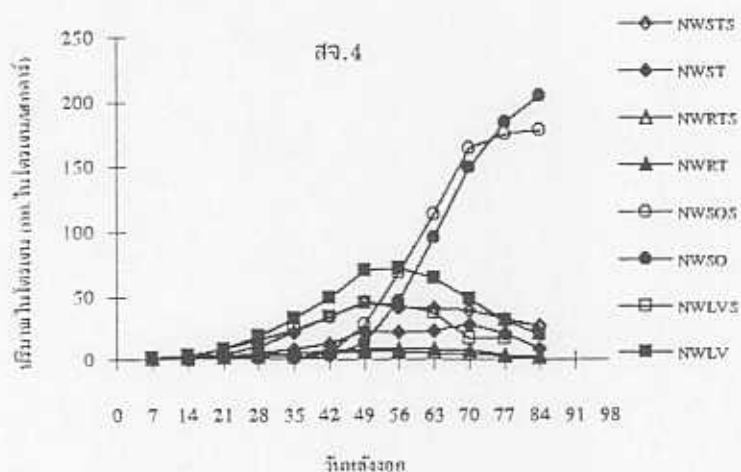
ภาพที่ 28 ก-ค เปรียบเทียบน้ำหนักแห้งส่วนต่างๆ ระหว่างผลการทดลอง (observed) และผลการประเมิน (simulated) ในอัตราส่วน 1:1

ตารางที่ 9 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้ง ในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์จากการประเมินโดย
แบบจำลองการเจริญเติบโต และค่าจากการทดลองในสภาพไร่ในรูปของ correlation coefficient (r),
standardize bias (R), และ standardized mean square error (V)

พันธุ์	ส่วนต่าง ๆ ของพืช			
	ราก	ลำต้น	ใบ	ฝัก
สจ.4				
r	0.99	0.98	0.55	0.99
R	0.14	0.04	-0.37	0.27
V	0.02	0.01	0.36	0.06
เชียงใหม่60				
r	0.98	0.99	0.72	0.99
R	-0.02	-0.13	-0.24	-0.26
V	0.06	0.08	0.20	0.32
มข.35				
r	0.76	0.98	0.41	0.92
R	0.35	-0.14	-0.46	0.15
V	0.24	0.03	0.45	0.02

และเมื่อพิจารณาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในแต่ส่วนของถั่วเหลือง ระหว่างค่าจากการประเมิน และค่าจากการทดลองของแต่ละพันธุ์เปรียบเทียบกับกัน (ภาพที่ 29 ก-ค) พบว่าปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลืองมีรูปแบบที่สอดคล้องกับการกระจายน้ำหนักแห้ง

ภาพที่ 29ก แสดงให้เห็นว่าปริมาณไนโตรเจนในส่วนของฝักของพันธุ์สจ.4 จากการประเมินต่ำกว่าค่าจากการทดลองเล็กน้อยในระยะแรกของการพัฒนาของฝัก แต่เมื่อถึงระยะสุกแก่กลับมีปริมาณสูงกว่า แต่ความแตกต่างไม่มากนัก และปริมาณไนโตรเจนในใบจากการประเมิน มีค่าต่ำกว่าค่าจากการทดลอง



ภาพที่ 29 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนต่างๆ ตามระยะการเจริญเติบโต ระหว่าง

ค่าจากการประเมิน และค่าจากการทดลอง ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, ชม.60 และ มข.35

NWSTS = ปริมาณไนโตรเจนในต้นที่ได้จากแบบจำลอง

NWST = ปริมาณไนโตรเจนในต้นที่ได้จากการทดลอง

NWRTS = ปริมาณไนโตรเจนในรากที่ได้จากแบบจำลอง

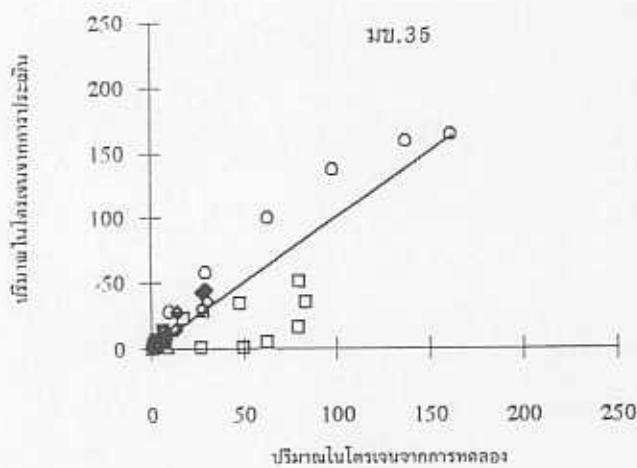
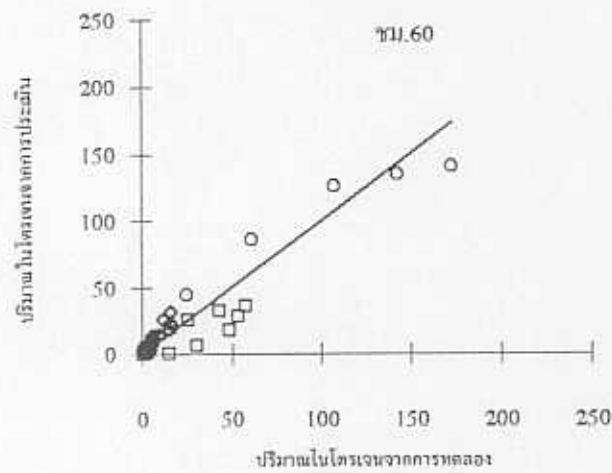
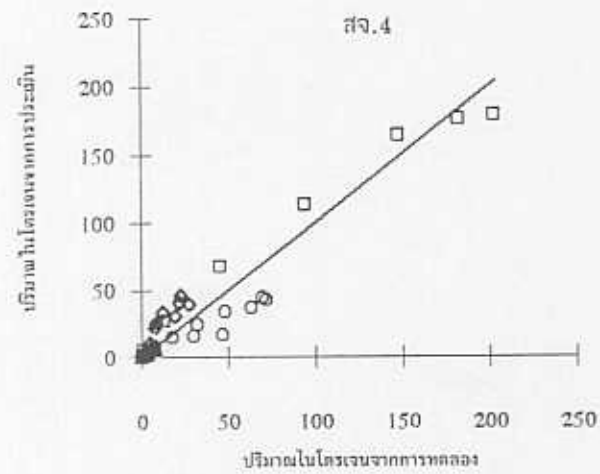
NWRT = ปริมาณไนโตรเจนในรากที่ได้จากการทดลอง

NWSOS = ปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดที่ได้จากแบบจำลอง

NWSO = ปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดที่ได้จากการทดลอง

NWLVS = ปริมาณไนโตรเจนในใบที่ได้จากแบบจำลอง

NWLV = ปริมาณไนโตรเจนในใบที่ได้จากการทดลอง



○ ลำต้น △ ราก ○ เมล็ด □ ใบ — 1:1

ภาพที่ 30 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนต่างๆ ตามระยะการเจริญเติบโต ระหว่าง ค่าจากการประเมิน และค่าจากการทดลอง ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4, ขบ.60 และ มข.35 ในอัตรา 1:1

สำหรับพันธุ์เชียงใหม่60 (ภาพที่ 29ข) และพันธุ์มข.35 (ภาพที่ 29ค) มีรูปแบบของปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ระหว่างการประเมินโดยแบบจำลอง กับค่าจากการทดลอง เช่นเดียวกันกับพันธุ์สจ.4 แต่พันธุ์มข.35 มีปริมาณไนโตรเจนในส่วนของผู้จากการประเมินสูงกว่าค่าจากการทดลองมาก ในขณะที่ไนโตรเจนในใบของค่าจากการทดลอง สูงกว่าค่าจากการประเมินมากเช่นกัน

เมื่อนำค่าจากการประเมิน และค่าจากการทดลองมาเปรียบเทียบกับกราฟเส้นตรง 1:1 (ภาพที่ 30ก-ค) พบว่าปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของพืชจากการประเมินมีความสัมพันธ์กับค่าจากการทดลอง ยกเว้นส่วนใบของพันธุ์มข.35 ซึ่งมีค่า correlation coefficient ต่ำ แต่ค่า standardize bias และค่า standardize means square error สูง ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ความสัมพันธ์ของปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของพืชจากการประเมินโดยการจำลองการเจริญเติบโต และค่าจากการทดลองในสภาพไร่ ในรูปของ correlation coefficient (r), standardize bias (R), และ standardized mean square error (V)

	ราก	ลำต้น	ใบ	ฝัก
พันธุ์สจ.4				
r	0.92	0.94	0.93	0.98
R	-0.19	0.96	-0.42	0.06
V	0.23	0.85	0.19	0.02
พันธุ์เชียงใหม่60				
r	0.82	0.92	0.78	0.97
R	-0.29	0.70	-0.41	0.05
V	0.18	0.58	0.25	0.04
พันธุ์มข.35				
r	0.62	0.96	0.48	0.98
R	-0.06	0.41	-0.58	0.28
V	0.22	0.19	0.50	0.07

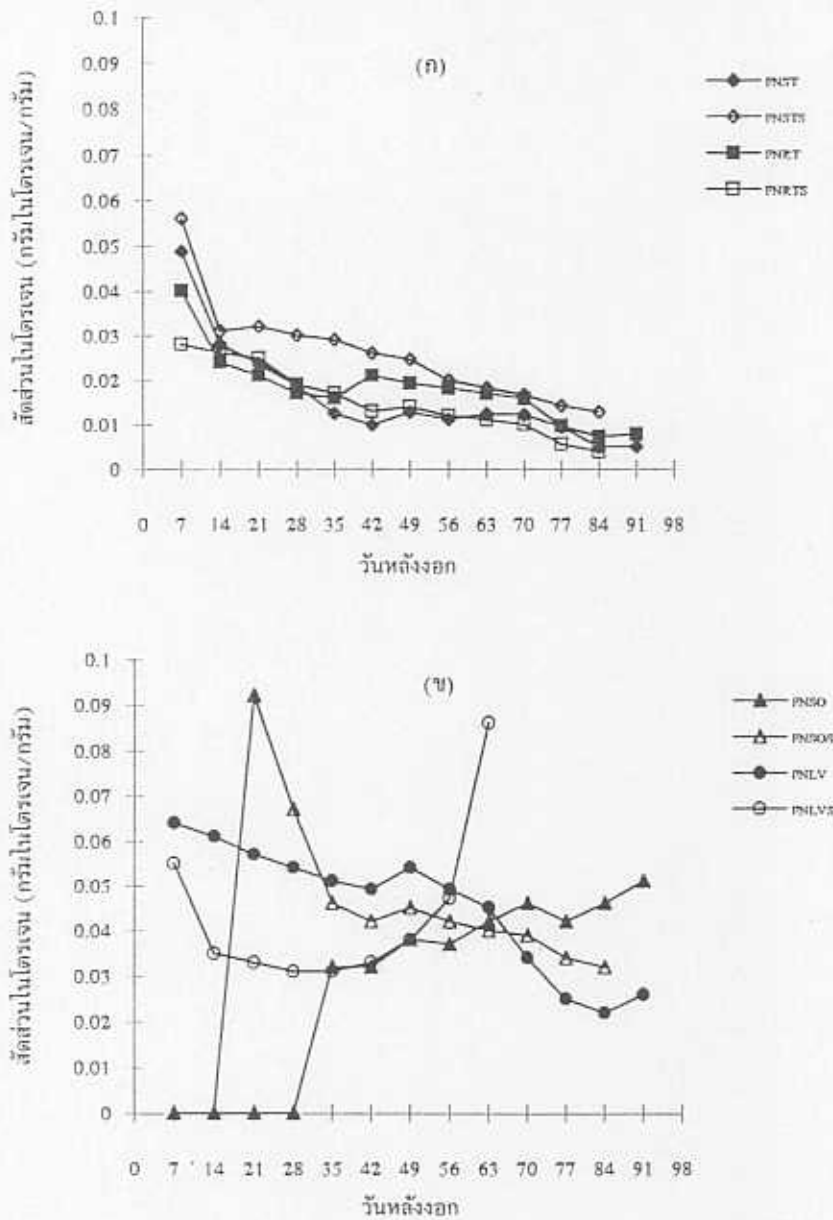
สำหรับการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ พบว่าค่าจากการประเมิน มีค่าแตกต่างจากค่าที่ได้จากการทดลองในสภาพไร่ โดยพบว่าสัดส่วนไนโตรเจนในใบ และในฝักมีความแตกต่างกันในทุกพันธุ์ โดยสัดส่วนของไนโตรเจนในฝักจากการประเมินมีค่าสูงกว่า ค่าจากการทดลอง ในระยะแรกของการพัฒนาการของฝักสูงมาก แต่ขณะเดียวกันสัดส่วนไนโตรเจนในใบจากการประเมินมีค่าต่ำกว่า ค่าจากการทดลอง (ภาพที่ 31-33)

เมื่อเปรียบเทียบค่าจากการทดลอง และค่าจากการประเมินกับกราฟเส้นตรง 1:1 (ภาพที่ 34) พบว่าค่าจากการประเมินและการทดลองในทุกพันธุ์ มีรูปแบบคล้ายกันยกเว้นส่วนใบ และฝักของพันธุ์ สจ.4 มีค่า r ต่ำ = -0.32 และ -0.2 ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนของไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของข้าวเหลืองจากการประเมินโดยการจำลองการเจริญเติบโต และค่าจากการทดลองในสภาพไร่ ในรูปของ correlation coefficient (r), standardized bias (R), และ standardized mean square error (V)

พันธุ์	ส่วนต่าง ๆ ของพืช			
	ราก	ลำต้น	ใบ	ฝัก
พันธุ์สจ.4				
r	0.82	0.92	-0.32	-0.02
R	-0.17	0.52	-0.17	0.52
V	0.08	0.22	0.15	1.08
พันธุ์เชียงใหม่60				
r	0.70	0.77	0.94	0.72
R	-0.26	0.41	-0.19	0.32
V	0.12	0.25	0.06	0.28
พันธุ์มข.35				
r	0.77	0.63	0.59	0.91
R	-0.20	-0.54	-0.24	0.18
V	0.08	0.39	0.08	0.11

การทดลองชี้ให้เห็นว่าเมื่อนำ MACROS มารวมกับ NASYM แบบจำลองสามารถประเมินการกระจายน้ำหนักแห้ง และปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ได้ แต่การประเมินสัดส่วนของไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลืองยังมีข้อบกพร่องต้องแก้ไข และปรับปรุงเพิ่มเติม



ภาพที่ 31 เปรียบเทียบผลการทดสอบแบบจำลองในการกระจายสัดส่วนไนโตรเจนของพันธุ์ สจ.4

ก) สัดส่วนของไนโตรเจนในส่วนของลำต้น และราก

ข) สัดส่วนของไนโตรเจนในส่วนของใบ และเมล็ด

FNST = สัดส่วนของไนโตรเจนในต้นที่ได้จากการทดลอง

FNSTS = สัดส่วนของไนโตรเจนในต้นที่ได้จากจำลอง

FNRT = สัดส่วนของไนโตรเจนในรากที่ได้จากการทดลอง

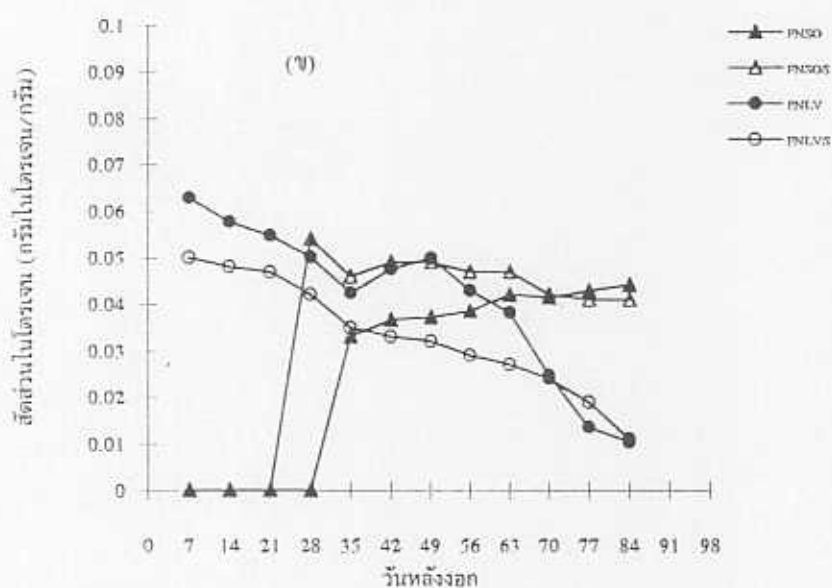
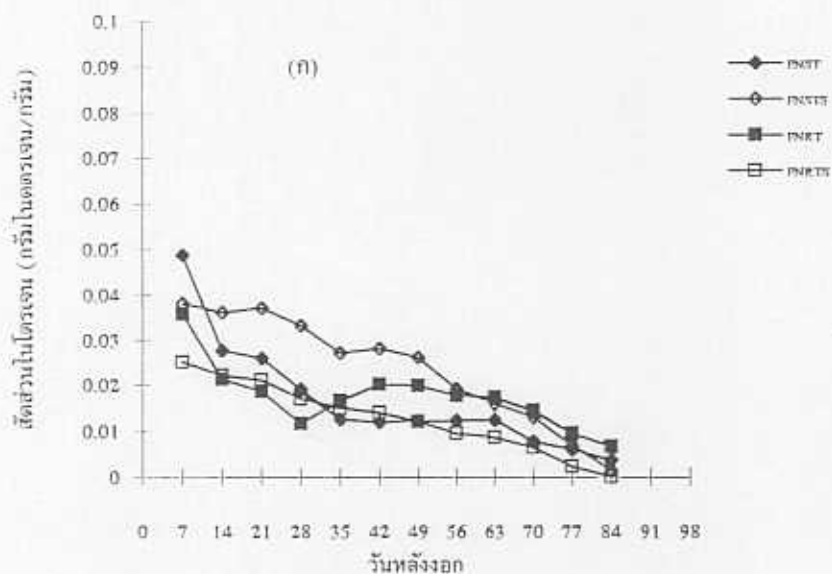
FNRTS = สัดส่วนของไนโตรเจนในรากที่ได้จากจำลอง

FNSTO = สัดส่วนของไนโตรเจนในเมล็ดที่ได้จากการทดลอง

FNSTOS = สัดส่วนของไนโตรเจนในเมล็ดที่ได้จากจำลอง

FNLV = สัดส่วนของไนโตรเจนในใบที่ได้จากการทดลอง

FNLVS = สัดส่วนของไนโตรเจนในใบที่ได้จากจำลอง



ภาพที่ 32 เปรียบเทียบผลการทดสอบแบบจำลองในการกระจายสัดส่วนไนโตรเจนของพันธุ์ ขม.60

ก) สัดส่วนของไนโตรเจนในส่วนของลำต้น และราก

ข) สัดส่วนของไนโตรเจนในส่วนของใบ และเมล็ด

FNST - สัดส่วนของไนโตรเจนในต้นที่ได้จากการทดลอง

FNSTS - สัดส่วนของไนโตรเจนในต้นที่ได้จากจำลอง

FNRT - สัดส่วนของไนโตรเจนในรากที่ได้จากการทดลอง

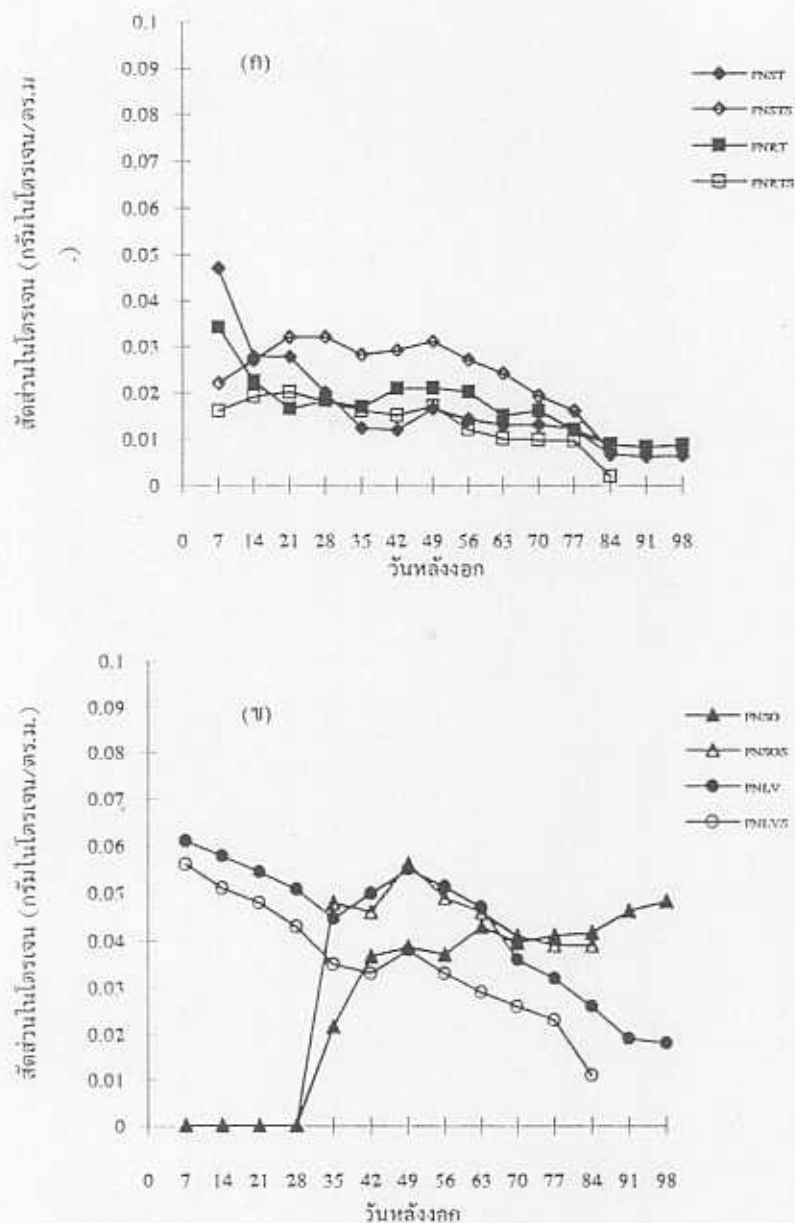
FNRTS - สัดส่วนของไนโตรเจนในรากที่ได้จากจำลอง

FNLSO - สัดส่วนของไนโตรเจนในเมล็ดที่ได้จากการทดลอง

FNLSOS - สัดส่วนของไนโตรเจนในเมล็ดที่ได้จากจำลอง

FNLV - สัดส่วนของไนโตรเจนในใบที่ได้จากการทดลอง

FNLVs - สัดส่วนของไนโตรเจนในใบที่ได้จากจำลอง



ภาพที่ 33 เปรียบเทียบผลการทดสอบแบบจำลองในการกระจายสัดส่วนไนโตรเจนของพันธุ์ มข.35

ก) สัดส่วนของไนโตรเจนในส่วนของลำต้น และราก

ข) สัดส่วนของไนโตรเจนในส่วนของใบ และเมล็ด

FNST = สัดส่วนของไนโตรเจนในต้นที่ได้จากการทดลอง

FNSTS = สัดส่วนของไนโตรเจนในต้นที่ได้จากจำลอง

FNRT = สัดส่วนของไนโตรเจนในรากที่ได้จากการทดลอง

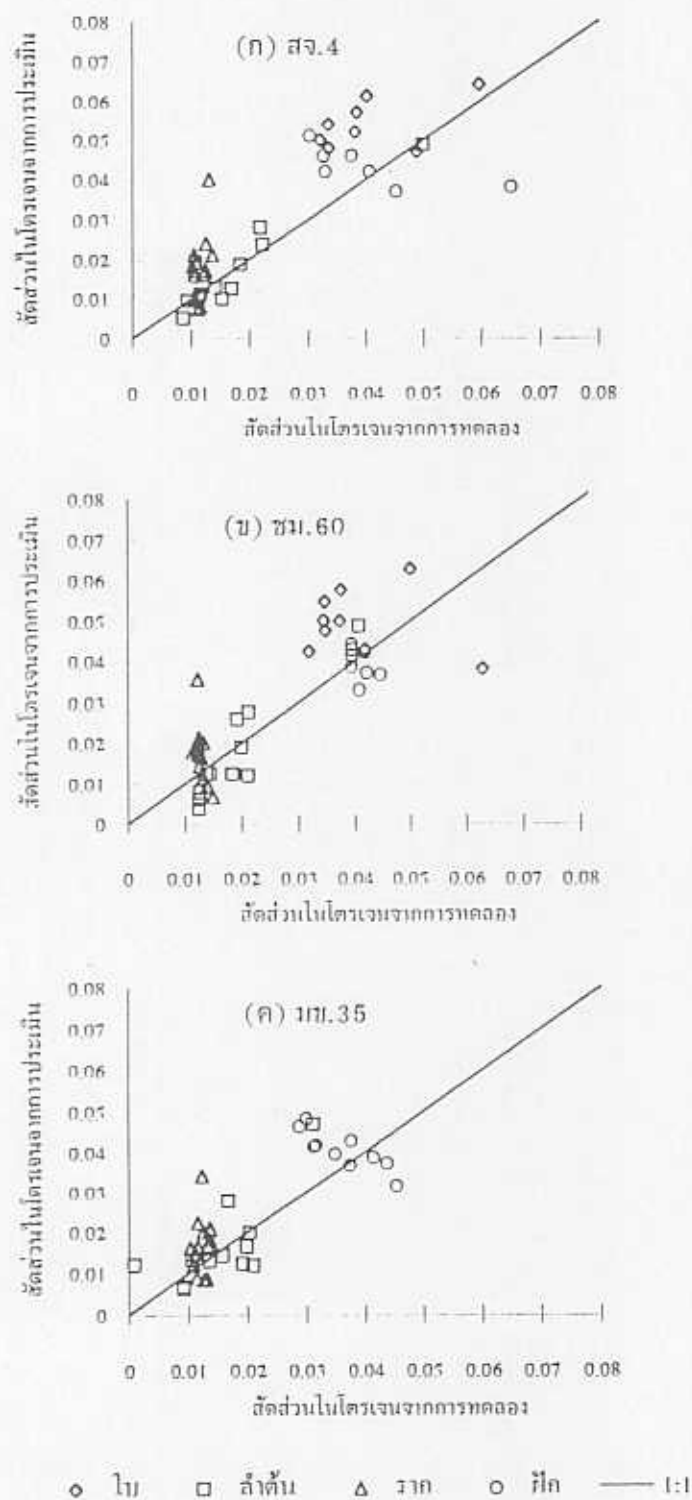
FNRTS = สัดส่วนของไนโตรเจนในรากที่ได้จากจำลอง

FNSO = สัดส่วนของไนโตรเจนในเมล็ดที่ได้จากการทดลอง

FNSOS = สัดส่วนของไนโตรเจนในเมล็ดที่ได้จากจำลอง

FNLV = สัดส่วนของไนโตรเจนในใบที่ได้จากการทดลอง

FNLVs = สัดส่วนของไนโตรเจนในใบที่ได้จากจำลอง



ภาพที่ 34ก-ค เปรียบเทียบสัดส่วนไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของฟิชจากการประเมิน (simulate) และจากการทดลอง (observed) ในอัตราส่วน 1:1