

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
คำอุทิศ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญ	ซ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญตารางผนวก	ฎ
สารบัญภาพ	ฏ
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	5
การสังเคราะห์แสงของทรงพุ่ม	5
ไนโตรเจนกับการสังเคราะห์แสงของทรงพุ่ม	9
แหล่งของไนโตรเจนที่ถั่วเหลืองได้รับ	10
ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนย้ายไนโตรเจน (N redistribution)	
และผลผลิตถั่วเหลือง	12
แนวทางในการเพิ่มไนโตรเจนในพืชเพื่อเพิ่มผลผลิต	15
แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีปริมาณน้ำ	
และธาตุอาหารอย่างเหมาะสม	16
การจำลองผลของไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของพืช	18
อุปกรณ์วิธีการ	22
การทดลองภายใต้สภาพไร่	22
วิธีการจำลองการเจริญเติบโต และการทดสอบแบบจำลอง	29
ผลการทดลอง	37
ผลการทดลองภายใต้สภาพไร่	37
1. ข้อมูลพืช	37
1.1 การพัฒนาการ	37
1.2 การเจริญเติบโต	38
1.2.1 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักแห้ง	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
1.2.2 ดัชนีพื้นที่ใบ	40
1.2.3 เปอร์เซ็นต์การร่วงของใบ	42
1.2.4 อัตราการเจริญเติบโตของพืช	42
1.2.5 ประสิทธิภาพการให้แสงของพืช	45
1.2.6 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์	45
1.2.7 อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ	45
1.2.8 ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต	47
1.3 สัดส่วนการแบ่งปันคาร์บอนไฮโดรเจนและสัดส่วน การกระจายน้ำหนักแห้งของถั่วเหลือง	47
1.4 ปริมาณและสัดส่วนของไนโตรเจนในใบ	51
1.4.1 การกระจายของไนโตรเจนในส่วนต่างๆของพืช	51
1.4.2 เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในต้นพืช	55
1.4.3 เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในรากและปม	55
1.4.4 เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในใบและใบร่วง	57
1.4.5 เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเปลือกฝัก และเมล็ด	58
1.4.6 การเปรียบเทียบไนโตรเจนในอวัยวะต่างๆของถั่วเหลือง	61
1.4.7 Harvesting Nitrogen Index	63
2. คุณสมบัติทางเคมีของดิน	65
3. ข้อมูลทางอณูนิยมนวิทยา	65
ผลการศึกษาการจำลองการเจริญเติบโตและการทดสอบแบบจำลอง	67
1. ผลการจำลอง (simulation) และการทดสอบระยะที่ 1	67
2. ศึกษาและการทดสอบระยะที่ 2	73
วิจารณ์และสรุป	85
วิจารณ์สรุปผลการทดลองในสภาพไร่และทดสอบแบบจำลอง	85
วิจารณ์สรุปผลการจำลองและทดสอบแบบจำลอง	89
เอกสารอ้างอิง	92
ภาคผนวก	103
ประวัติผู้เขียน	167

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	ข้อมูลคุณสมบัติของพืช (Crop parameter input) ในรูป Artificial function	32
ตารางที่ 2	Crop parameter inputs ที่ใช้ใน MACROS module L1D ที่นำมาใช้ในแบบจำลอง	33
ตารางที่ 3	ข้อมูลไนโตรเจนทั้งหมดที่พืชดูดเข้าไปใช้ตามระยะการเจริญเติบโตในรูปของ Artificial function	34
ตารางที่ 4	เวลาในการออก การออกดอก สุกแก่ และวันเก็บเกี่ยวของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ที่ปลูกพร้อมกัน เมื่อ 28 กุมภาพันธ์.2536 ในแปลงทดลอง A4 หนวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.	37
ตารางที่ 5	องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิตพืชของถั่วเหลืองทั้ง 3 พันธุ์ ที่ปลูกในแปลงทดลอง A4 หนวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ทำการเก็บเกี่ยวระหว่าง 28 เมษายน.-14 พฤษภาคม. 2536	47
ตารางที่ 6	เปอร์เซ็นต์การกระจายของไนโตรเจนในส่วนต่างๆของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ที่ระยะเก็บเกี่ยวจากการปลูกในแปลงทดลอง A4 หนวดพืชไร่ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (มกราคม-พฤษภาคม. 2536)	54
ตารางที่ 7	ลักษณะทางเคมีบางประการของดินปลูกในแปลงทดลอง A4 หนวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เก็บเมื่อวันที่ 27 มค. และ 15 พค.36	65
ตารางที่ 8	ความสัมพันธ์ของสัดส่วนไนโตรเจนในส่วนต่างๆของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ จากการประเมิน และค่าจากการทดลองในรูปของ correlation coefficient (r), standardized bias (R) และ standardized mean square error (V)	72
ตารางที่ 9	ความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้ง ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ จากการประเมิน โดยแบบจำลองการเจริญเติบโตและค่าจากการทดลองในสภาพไร่ ในรูป ของcorrelation coefficient (r), standardized bias (R) และ standardized mean square error (V)	76
ตารางที่ 10	ความสัมพันธ์ของปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ จากการประเมิน โดยการจำลองการเจริญเติบโต และค่าจากการทดลองในสภาพไร่ ในรูปของ correlation coefficient (r), standardized bias (R) และ standardized mean square error (V)	89
ตารางที่ 11	ความสัมพันธ์ของสัดส่วนของไนโตรเจนในส่วนต่างๆของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ จากการประเมิน โดยการจำลองการเจริญเติบโต และค่าจากการทดลองในสภาพไร่ ในรูปของ correlation coefficient (r), standardized bias (R) และ standardized mean square error (V)	80

สารบัญตารางผนวก

	หน้า
ตารางผนวกที่ 1 น้ำหนักแห้งเหนื่อดินรวมใบร่วง(กรัม/ตารางเมตร)ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ที่ปลูกในแปลงทดลอง A4 หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างวันที่ 28 กุมภาพันธ์-14 พฤษภาคม. 2536	103
ตารางผนวกที่ 2 น้ำหนักแห้งของต้น(กรัม/ตารางเมตร)ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ที่ปลูกในแปลงทดลอง A4 หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างวันที่ 28 กุมภาพันธ์-14 พฤษภาคม. 2536	104
ตารางผนวกที่ 3 น้ำหนักแห้งรากและปม(กรัม/ตารางเมตร)ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ที่ปลูกในแปลงทดลอง A4 หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างวันที่ 28 กุมภาพันธ์-14 พฤษภาคม. 2536	105
ตารางผนวกที่ 4 อัตราการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง(กรัม/ตารางเมตร/วัน)ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ที่ปลูกในแปลงทดลอง A4 หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างวันที่ 28 กุมภาพันธ์-14 พฤษภาคม. 2536	106
ตารางผนวกที่ 5 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์(กรัม/วัน)ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ที่ปลูกในแปลงทดลอง A4 หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างวันที่ 28 กุมภาพันธ์-14 พฤษภาคม. 2536	107
ตารางผนวกที่ 6 ดัชนีพื้นที่ใบ(เฉพาะใบบนต้น)ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ที่ปลูกในแปลงทดลอง A4 หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างวันที่ 28 กุมภาพันธ์-14 พฤษภาคม. 2536	108
ตารางผนวกที่ 7 ดัชนีพื้นที่ใบ(ใบบนต้นและใบร่วง)ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ที่ปลูกในแปลงทดลอง A4 หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างวันที่ 28 กุมภาพันธ์-14 พฤษภาคม. 2536	109
ตารางผนวกที่ 8 เปอร์เซนต์ไนโตรเจนทั้งหมดในลำต้นของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ที่ปลูกในแปลงทดลอง A4 หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างวันที่ 28 กุมภาพันธ์-14 พฤษภาคม. 2536	110
ตารางผนวกที่ 9 เปอร์เซนต์ไนโตรเจนทั้งหมดในรากของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ที่ปลูกในแปลงทดลอง A4 หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างวันที่ 28 กุมภาพันธ์-14 พฤษภาคม. 2536	111

สารบัญตารางผนวก (ต่อ)

หน้า

ตารางผนวกที่ 10	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดในปมของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ที่ปลูกในแปลงทดลอง A4 หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างวันที่ 28 กุมภาพันธ์-14 พฤษภาคม. 2536	112
ตารางผนวกที่ 11	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ที่ปลูกในแปลงทดลอง A4 หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างวันที่ 28 กุมภาพันธ์-14 พฤษภาคม. 2536	113
ตารางผนวกที่ 12	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดในใบร่วงของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ที่ปลูกในแปลงทดลอง A4 หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างวันที่ 28 กุมภาพันธ์-14 พฤษภาคม. 2536	114
ตารางผนวกที่ 13	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดในเปลือกฝักของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ที่ปลูกในแปลงทดลอง A4 หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างวันที่ 28 กุมภาพันธ์-14 พฤษภาคม. 2536	115
ตารางผนวกที่ 14	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดในเมล็ดของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ที่ปลูกในแปลงทดลอง A4 หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างวันที่ 28 กุมภาพันธ์-14 พฤษภาคม. 2536	116
ตารางผนวกที่ 15	แบบจำลองการป็นส่วนไนโตรเจนของถั่วเหลืองในการทดสอบระยะที่ 1	117
ตารางผนวกที่ 16	subroutine ใน NASYM modules	121
ตารางผนวกที่ 17	ข้อมูลลักษณะถั่วเหลือง 3 พันธุ์ที่ใช้ในการจำลองการเจริญเติบโต (simulation)	129
ตารางผนวกที่ 18	แบบจำลองเพื่อประเมินศักยภาพการให้ผลผลิตพืช และการป็นส่วนไนโตรเจนโดยใช้ MACROS ร่วมกับ NASYM	135
ตารางผนวกที่ 19	ข้อมูลลักษณะพันธุ์ถั่วเหลืองที่ใช้ใน model simulation โดย MACROS ร่วมกับ NASYM modules	138
ตารางผนวกที่ 20	สภาพอากาศ(ปริมาณแสง อุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุด)ปี 2536 ของหมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น	142
ตารางผนวกที่ 21	แบบคำอธิบายตัวแปรในจำลอง MACROS	147
ตารางผนวกที่ 22	แบบคำอธิบายตัวแปร (variable names) ใน subroutine	151

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ของไนโตรเจนกับคาร์โบไฮเดรตใน NASYM module	21
ภาพที่ 2 การปันส่วนของคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate partition) ในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ตามระยะการเจริญเติบโต	31
ภาพที่ 3 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (กก.ไนโตรเจน/เฮกตาร์) ที่พืชดูดไปใช้ ตามระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง 3 พันธุ์	35
ภาพที่ 4ก-ง น้ำหนักแห้ง(กรัม/ตารางเมตร) ในส่วนต่าง ๆ ตามระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง 3 พันธุ์	39
ภาพที่ 5 ดัชนีพื้นที่ใบ(จากน้ำหนักใบบนต้นและน้ำหนักใบร่วง)ตามระยะการเจริญเติบโต	41
ภาพที่ 6 ดัชนีพื้นที่ใบ(จากน้ำหนักใบบนต้น)ตามระยะการเจริญเติบโต	41
ภาพที่ 7 เปอร์เซ็นต์การร่วงของใบของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ตามระยะการเจริญเติบโต	43
ภาพที่ 8 อัตราการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ตามระยะการเจริญเติบโต	44
ภาพที่ 9 ประสิทธิภาพการใช้แสงของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ตามระยะการเจริญเติบโต	44
ภาพที่ 10 อัตราการเจริญเติบโตสัมพันธ์ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ตามระยะการเจริญเติบโต	46
ภาพที่ 11 อัตราการสะสมน้ำหนักแห้งต่อพื้นที่ใบของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ตามระยะการเจริญเติบโต	46
ภาพที่ 12 สัดส่วนของคาร์โบไฮเดรต(carbohydrate fraction) ในส่วนการเจริญเติบโตทางต้น(vegetative) และส่วนเจริญพันธุ์(reproductive) ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ตามระยะการเจริญเติบโต	48
ภาพที่ 13 การกระจายน้ำหนักแห้งของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ตามระยะการเจริญเติบโต	50
ภาพที่ 14 ปริมาณการกระจายของไนโตรเจนทั้งหมด (กรัมไนโตรเจน/ตร.ม.) ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ตามระยะการเจริญเติบโต	52
ภาพที่ 15 ปริมาณการกระจายของไนโตรเจนทั้งหมด (กรัมไนโตรเจน/ตร.ม.) ระหว่างส่วนการเจริญเติบโต ส่วนต้น(ราก+ลำต้น+ใบ) ส่วนเจริญพันธุ์(ฝัก+เมล็ด) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ตามระยะการเจริญเติบโต	53
ภาพที่ 16 เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในลำต้น ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ตามระยะการเจริญเติบโต	56
ภาพที่ 17 เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในรากและปม ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ตามระยะการเจริญเติบโต	57
ภาพที่ 18 เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในใบบนต้นและใบร่วง ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ตามระยะการเจริญเติบโต	59

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 19 เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเปลือกฝัก และเมล็ด ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ตามระยะการเจริญเติบโต	60
ภาพที่ 20 เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในส่วนต่างๆของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ตามระยะการเจริญเติบโต	62
ภาพที่ 21 แสดง Harvesting Nitrogen Index ของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ ตามระยะการเจริญเติบโต	64
ภาพที่ 22 สภาพอากาศรายวัน ปี 2536 ของสถานีอุตุนิยมวิทยา หมวดยะลา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประกอบด้วย ความเข้มแสง(แคลอรี่/ตร.ม./วัน) อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด(องศาเซลเซียส)	66
ภาพที่ 23 เปรียบเทียบผลการประเมิน การป้อนส่วนไนโตรเจนโดยแบบจำลอง กับค่าจากแปลงทดลอง ทดสอบ แบบจำลองในการกระจายน้ำหนักแห้งของพันธุ์ สจ.4(ก) สัตส่วนของไนโตรเจน ในส่วนของลำต้น และราก (ข) สัตส่วนของไนโตรเจนในส่วนของใบและเมล็ด	68
ภาพที่ 24 เปรียบเทียบผลการประเมิน การป้อนส่วนไนโตรเจนโดยแบบจำลอง กับค่าจากแปลงทดลอง ทดสอบ แบบจำลองในการกระจายน้ำหนักแห้งของพันธุ์ ซม.60 (ก) สัตส่วนของไนโตรเจน ในส่วนของลำต้น และราก (ข) สัตส่วนของไนโตรเจนในส่วนของใบและเมล็ด	69
ภาพที่ 25 เปรียบเทียบผลการประเมิน การป้อนส่วนไนโตรเจนโดยแบบจำลอง กับค่าจากแปลงทดลอง ทดสอบ แบบจำลองในการกระจายน้ำหนักแห้งของพันธุ์ มข.35 (ก) สัตส่วนของไนโตรเจน ในส่วนของลำต้น และราก (ข) สัตส่วนของไนโตรเจนในส่วนของใบและเมล็ด	70
ภาพที่ 26 ก-ง เปรียบเทียบสัตส่วนของไนโตรเจนของส่วนต่างๆจากการประเมิน(simulated) และจากค่าทดลอง (observed)ในลักษณะ 1 : 1	71
ภาพที่ 27 เปรียบเทียบผลการทดลองแบบจำลองในการกระจายน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4 ซม.60 และมข.35	74
ภาพที่ 28 ก-ค เปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆจากการประเมิน(simulated) และจากค่าทดลอง (observed)ในอัตราส่วน 1 : 1	75
ภาพที่ 29 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนต่างๆตามระยะการเจริญเติบโต ระหว่างค่าจากการ ประเมินและค่าจากการทดลองของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4 ซม.60 และมข.35	77
ภาพที่ 30 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในส่วนต่างๆตามระยะการเจริญเติบโต ระหว่างค่าจากการ ประเมินและค่าจากการทดลองของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.4 ซม.60 และมข.35 ในอัตราส่วน 1:1	78
ภาพที่ 31 ก-ข เปรียบเทียบผลการทดลองแบบจำลองในการกระจายสัตส่วนไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของพันธุ์ สจ.4 (ก) สัตส่วนของไนโตรเจนในส่วนของลำต้นและราก (ข) สัตส่วนของไนโตรเจนในส่วนของใบและเมล็ด	82

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 32 ก-ข เปรียบเทียบผลการทดสอบแบบจำลองในการกระจายสัดส่วนของไนโตรเจน ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60(ก) สัดส่วนของไนโตรเจนในส่วนของลำต้นและราก (ข) สัดส่วนของไนโตรเจนในส่วนของใบและเมล็ด	83
ภาพที่ 33 ก-ข เปรียบเทียบผลการทดสอบแบบจำลองในการกระจายสัดส่วนของไนโตรเจน ของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม.60(ก) สัดส่วนของไนโตรเจนในส่วนของลำต้นและราก (ข) สัดส่วนของไนโตรเจนในส่วนของใบและเมล็ด	84
ภาพที่ 34 ก-ค เปรียบเทียบผลสัดส่วนไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของพืชจากการประเมิน(simulated) และจากค่าทดลอง (observed)	85