

ถั่วเกษตร

Agricultural Legumes



เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



ศาสตราจารย์ ดร. เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม
ถั่วเป็นแหล่งอาหารโปรตีนสูงแต่ราคาถูก
สำหรับคนและสัตว์ การปลูกถั่วยังช่วย
ลดการใช้ปุ๋ยเคมีในการเพาะปลูกด้วย

เกิดที่จังหวัดเชียงราย จบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นที่เชียงราย มัธยมศึกษา
ตอนปลายที่โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา กรุงเทพมหานคร เข้าเป็นนิสิตคณะวนศาสตร์
ในโอกาสมาส่งตราศึกษาอยู่ในรูปกฟ่อน
รวมทั้งสมัครเข้าศึกษาต่อปริญญาโท สาขาวนศาสตร์
ที่สวนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร ได้ทุนไปศึกษาต่อ
ที่สวนดุสิตวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และสัตวศาสตร์
สละบุรีรัมย์ และปริญญาเอก สาขาวนศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ จบปริญญาเอก สาขาวนศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ ได้รับรางวัล
ชนะเลิศการแข่งขันปลูกถั่วเหลืองและส่วนอื่นๆ
ของต้นถั่วไปใช้ประโยชน์

พืชศาสตร์ การควบคุมงานวิจัยของนักศึกษาบัณฑิตศึกษา อาจารย์และ
นักวิจัยรุ่นเยาว์ และด้านการวิจัย ด้วยผลงานวิชาการที่เป็นที่ยอมรับทั้งใน
และต่างประเทศ เป็นเมธีวิจัยอาวุโส สาขาเกษตร และได้รับรางวัลผลงานวิจัย
เกียรติยศ ของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ได้รับเหรียญ
ครอว์ฟอร์ด จากงานสนับสนุนการวิจัยทางการเกษตรนานาชาติ และได้รับ
การคัดเลือกให้เป็นศิษย์เก่าดีเด่นของมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออสเตรเลีย



CHIANG MAI
UNIVERSITY PRESS

ISBN: 978-616-398-542-2



9 789786 163987

ถั่วเกษตร

Agricultural Legumes



เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ถั่วเกษตร

Agricultural Legumes

ISBN (E-Book):

978-616-398-542-2

ผู้แต่ง:

เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม

เจ้าของและผู้จัดพิมพ์:

สำนักงานบริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โทรศัพท์: 0 5394 3603-5

โทรสาร: 0 5394 3600

<https://cmupress.cmu.ac.th>

E-mail: cmupress.th@gmail.com

พิมพ์ครั้งที่ 1:

มีนาคม 2564

ราคา:

300 บาท

ออกแบบและพิมพ์:

บริษัท ดีไซน์ปริ้นท์ มีเดีย จำกัด

หนังสือเล่มนี้ผ่านการประเมินเพื่อตรวจสอบและรับรองการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการประเภท
หนังสือหรือตำรา ซึ่งจัดพิมพ์โดยสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่เรียบร้อยแล้ว

©สงวนลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ห้ามลอกเลียนแบบ ทำซ้ำ ดัดแปลง ส่วนหนึ่งส่วนใดของตำราเล่มนี้
รวมทั้งการจัดเก็บถ่ายทอดไม่ว่ารูปแบบหรือวิธีการใดๆ ด้วยกระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์
การถ่ายภาพ การบันทึกหรือวิธีการอื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาต

คำนำ

ถั่ว เป็นกลุ่มพืชที่มีความหลากหลาย สมาชิกส่วนใหญ่มีความสามารถพิเศษ ในการนำก๊าซไนโตรเจนในอากาศมาสังเคราะห์หรือตรึง ให้อยู่ในรูปที่พืชอื่นรวมทั้งสัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้ ถั่วมีบทบาทสำคัญต่อระบบนิเวศน์ ด้วยเป็นตัวการสำคัญในวัฏจักรไนโตรเจน และเป็นแหล่งอาหารโปรตีนสูงแต่ราคาถูกสำหรับคนและสัตว์ หนังสือนี้ได้รวบรวมความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับถั่วที่จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการในการเพาะปลูกและการนำส่วนต่างๆ ของถั่วไปใช้ประโยชน์

ถั่วในระบบนิเวศ (ตอนที่ 1) กล่าวถึงถั่วในระบบการเพาะปลูก ที่ครอบคลุม ถั่วอาหารและถั่วในระบบการเพาะปลูก (บทที่ 1) ถั่วในระบบปศุสัตว์ ปุ๋ยพืชสด พืชอนุรักษ์บำรุงดิน และไม้โตเร็วเอนกประสงค์ (บทที่ 2) และบทบาทของถั่วในวัฏจักรไนโตรเจน (บทที่ 3) โดยขยายความในรายละเอียดของการตรึงไนโตรเจนในถั่ว (ตอนที่ 2) ด้วยเรื่องราวของแบคทีเรียปมถั่วหรือไรโซเบียม (บทที่ 4) เงื่อนไขในภาวะแวดล้อมที่กำหนดการตรึงไนโตรเจน (บทที่ 5) การเพิ่มสมรรถนะการตรึงไนโตรเจนในถั่วด้วยเทคโนโลยีไรโซเบียม (บทที่ 6) และการประเมินปริมาณไนโตรเจนที่ถั่วตรึงได้จากอากาศ (บทที่ 7) ตามด้วยลักษณะของถั่วโดยทั่วไป (ตอนที่ 3) ตามรูปพรรณสัณฐานและพัฒนาการ (บทที่ 8) และเงื่อนไขในดินที่กำหนดการเจริญเติบโต และการสร้างผลผลิต (บทที่ 9) บทบาทของถั่วในโภชนาการของคนและสัตว์ (ตอนที่ 4) ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารอาหาร (บทที่ 10) แต่อาจถูกจำกัดด้วยสารที่ก่อให้เกิดทุโภชนาการ (บทที่ 11) ถั่วสำคัญในทางเศรษฐกิจ 5 ชนิด (ตอนที่ 5) ประกอบด้วย ถั่วเหลือง (บทที่ 12) ถั่วเมล็ดไร่ น้ำมันหรือถั่วแห้ง (Pulses) (บทที่ 13) ถั่วลิสง (บทที่ 14) และถั่วอาหารสัตว์สำหรับเขตร้อน กระถิน (บทที่ 15)

เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม

คณะเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ธันวาคม 2563

สารบัญ

คำนำ	I
สารบัญ	II
สารบัญภาพ	III
สารบัญตาราง	XIII
ตอนที่ 1 ถั่วในระบบนิเวศ	1
บทที่ 1 ถั่วในการเกษตร I: ถั่วอาหารและถั่วในระบบการเพาะปลูก	4
บทที่ 2 ถั่วในการเกษตร II: ถั่วในระบบปศุสัตว์ ปุ๋ยพืชสด พืชอนุรักษ์บำรุงดิน และไม้โตเร็วเอนกประสงค์	25
บทที่ 3 ถั่วกับวัฏจักรไนโตรเจน	42
ตอนที่ 2 ระบบชีวไบโอเคมีระหว่างถั่วกับแบคทีเรียปมถั่ว	52
บทที่ 4 แบคทีเรียปมถั่วกับการตรึงไนโตรเจน	54
บทที่ 5 เงื่อนไขในภาวะแวดล้อมที่กำหนดการตรึงไนโตรเจน	72
บทที่ 6 เทคโนโลยีไรโซเบียม	90
บทที่ 7 วิธีวัดไนโตรเจนที่ตรึงจากอากาศ	107
ตอนที่ 3 ลักษณะทางสัณฐาน และการปรับตัวต่อภาวะแวดล้อม	125
บทที่ 8 ลักษณะทางสัณฐาน พัฒนาการ และการสร้างผลผลิต	127
บทที่ 9 เงื่อนไขในดินที่กำหนดการเจริญเติบโต และผลผลิต	143
ตอนที่ 4 ถั่วในโภชนาการของคนและสัตว์	162
บทที่ 10 สารอาหารในถั่ว	164
บทที่ 11 ทุโภชนาการจากถั่ว	179
ตอนที่ 5 ถั่วสำคัญ	186
บทที่ 12 ถั่วเหลือง	188
บทที่ 13 ถั่วเมล็ดไร่น้ำมัน	205
บทที่ 14 ถั่วลิสง	222
บทที่ 15 กระถิน ถั่วอาหารสัตว์สำหรับเขตร้อน	232
อ้างอิง	242
ชื่อถั่วที่ปรากฏในหนังสือ	283
ดัชนี	289

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1.1	พื้นที่ปลูกถั่วอาหารชนิดหลักของโลก เทียบกับธัญพืชหลัก 3 ชนิด	5
ภาพที่ 1.2	ถั่วลันเตา (<i>Pisum sativum</i>) ผักชนิด เมล็ด (Garden pea, green pea) ถั่วลันเตาฝักแบน (Sugar pea, snow pea) ถั่วลันเตาฝักกลม หรือ ถั่วลันเตาหวาน (Snap pea, Sugar snap pea)	6
ภาพที่ 1.3	ความหลากหลายในถั่วคอมมอนบิน (<i>Phaseolus vulgaris</i>) จำแนกตามรูปร่าง ขนาด และสีของเมล็ดแห้ง	9
ภาพที่ 1.4	ฝักและดอกถั่วพู และรากกินได้(หัว) 2 ชนิดของถั่วพู ในตลาดมันทะเลย์ พม่า	10
ภาพที่ 1.5	รากกินได้ของมันแกว (Yam bean)	10
ภาพที่ 1.6	ถั่วปากอ้า ชื่อของ Broad bean ในภาษาไทย มาจากลักษณะหลังจากการปรุง โดยการทอด ที่เหลือเปลือกติดอยู่	11
ภาพที่ 1.7	ระบบพืชตามที่ (1) เชียงใหม่ (2) เพชรบูรณ์ (3) มณฑลยูนนาน ประเทศจีน (4) ข้าวสาลีฤดูหนาวใต้หิมะ ที่จะเก็บเกี่ยวในปลายฤดูใบไม้ผลิ และตามด้วยถั่วเหลืองในฤดูร้อนประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศแคนาดา	14
ภาพที่ 1.8	ซีเหล็กที่ปลูกไว้ทำไม้พืนที่สิบสองปันนา มณฑลยูนนาน สาธารณรัฐประชาชนจีน	15
ภาพที่ 1.9	ผลผลิตมวลชีวะ และผลผลิตเมล็ด กระบจากข้าวโพด (Z) ต่อการใช้ไนโตรเจนจากอากาศและดิน ในถั่วนางแดง (V) โดยการทดลอง ชุดทดแทน (Replacement series)	16
ภาพที่ 1.10	ลักษณะที่หลากหลายของใบทองหลาง	18
ภาพที่ 1.11	ผลผลิตข้าวโพดหมุนเวียนสลับกับถั่วเหลืองปีต่อปี และปลูกตามหลังถั่วเหลือง เปรียบเทียบกับผลผลิตข้าวโพดปลูกซ้ำที่ จากการทดลองระยะยาว 10 ปี ที่รัฐมินเนโซตา ประเทศสหรัฐอเมริกา อักษรต่างกันเนื้อแท่ง แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P<0.05$	20

ภาพที่ 1.12	ผลกระทบของถั่วคลุมดินชนิดต่างๆ ต่อวัชพืช เมื่อปลูกโดยลำพัง ที่ประเทศปารากวัย และปลูกแซมข้าวโพดที่โครงการหลวงปางตะ จ.เชียงใหม่	23
ภาพที่ 2.1	หญ้าแห้งสำหรับเลี้ยงสัตว์ (Hay) มัดเป็นแท่ง หรืออัดเม็ด	27
ภาพที่ 2.2	ไข่แดงสีเข้ม ได้จากแม่ไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารแคโรทีนสูง เช่น ใบกระถินหรือลูเซิร์นปั่น	27
ภาพที่ 2.3	การให้น้ำชลประทานอัลฟัลฟาด้วยระบบไซฟอน ที่รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา	29
ภาพที่ 2.4	Tagasaste - ลูเซิร์นต้น (Chamaecytisus palmensis) ถั่วอาหารสัตว์ทนแล้ง ที่ยังมีอาหารสดให้สัตว์ได้แทะเล็มในฤดูแล้ง ที่ร้อนจัดในภูมิภาคแบบเมดิเตอร์เรเนียน และภูมิประเทศเขตอบอุ่น	31
ภาพที่ 2.5	แพะปีนต้นไม้เพื่อแทะเล็มกินอาหารจากต้นไม้สูง ที่โมร็อกโก	32
ภาพที่ 2.6	ปมที่ลำต้น ในโสนแอฟริกัน (Sesbania rostrata)	36
ภาพที่ 2.7	ปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบสำคัญของกระบวนการชีวภาพในดิน ที่ขับเคลื่อนด้วยอินทรีย์วัตถุ และส่งผลในการ “การบำรุงดิน”	39
ภาพที่ 3.1	วัฏจักรไนโตรเจนในโลก แสดงบทบาทของแบคทีเรีย ที่มีหน้าที่จำเพาะ 3 กลุ่ม	43
ภาพที่ 3.2	ตำราการผลิตดินป็น จากตำราการสงครามจีน Wujing Zongyao พ.ศ. 1587	45
ภาพที่ 3.3	ปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงโดยวิธีทางอุตสาหกรรม และที่ใช้เป็นปุ๋ย และสัดส่วนไนโตรเจนในการเกษตรที่มาจากปุ๋ย และที่ตรึงในถั่ว	46
ภาพที่ 3.4	พื้นที่ปลูกถั่วเหลืองโลก แบ่งเป็นพื้นที่ใน อเมริกาใต้ (90% อยู่ในอาร์เจนตินา และบราซิล) อเมริกาเหนือ (90% อยู่ในสหรัฐอเมริกา) และอื่นๆ (70% อยู่ในสาธารณรัฐประชาชนจีนและอินเดีย)	49
ภาพที่ 4.1	ปมถั่วเหลือง และการอยู่ร่วมแบบพึ่งพา โดยการแลกเปลี่ยน คาร์โบไฮเดรต (ซูโครส มาเลต = Fixed C) จากต้นถั่ว และแอมโมเนีย (NH ₃ = Fixed N) จากแบคทีเรีย	55

ภาพที่ 4.2	ประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจน โดยสายพันธุ์แบคทีเรียปมถั่วที่แยกจาก <i>Erythrina velutina</i> จากเขตกิ่งแล้งภาคเหนือของประเทศไทยบราซิล (ESA70, ESA71, ESA75) ในพืชตระกูลถั่วชนิดเดียวกัน เปรียบเทียบกับ <i>E. Velutina</i> ที่ปลูกเชื้อด้วย <i>Bradyrhizobium elkanii</i> B5609 และไม่ปลูกเชื้อ แต่ได้รับปุ๋ยไนโตรเจน (N^+) กับไปไม่ได้รับ ปุ๋ยไนโตรเจน (N^-)	61
ภาพที่ 4.3	รากถั่วเหลืองที่เปลี่ยนไปเป็นปม ภาพจำลองแสดงรูปแบบปม (ดูคำอธิบาย และถั่วชนิดอื่นๆที่มีปมในแต่ละแบบ ในตาราง 4.3)	62
ภาพที่ 4.4	ลักษณะภายในปมถั่ว แสดงให้เห็นสีแดงของ “เล็กฮีโมโกลบิน” (Leghaemoglobin) ที่มีหน้าที่ลำเลียงออกซิเจน และภาพขยายเซลล์ปมถั่วเต็มไปด้วยถุง “ซิมไบโอซอม” ที่บรรจุ “แบคทีเรียรอยด์” ที่มีรูปลักษณะและกิจกรรมทางชีวภาพ เปลี่ยนไปจากเดิม	64
ภาพที่ 4.5	การส่งสัญญาณ “สื่อสาร” ระหว่างต้นถั่ว กับแบคทีเรียปมถั่ว	65
ภาพที่ 4.6	ขั้นตอนการพัฒนาปม จาก (1) การโค้งงอของขนราก ที่ชักนำโดยแบคทีเรีย (2) การสร้างท่อนำเชื้อที่นำแบคทีเรีย เข้าสู่ภายในราก (3) ท่อนำเชื้อพาเอาแบคทีเรียเข้าสู่ภายในราก (4) ปมถั่วที่ขยายใหญ่จากการแบ่งเซลล์รากพืช บรรจุแบคทีเรียรอยด์	65
ภาพที่ 4.7	ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ถั่วลูกไก่กับสายพันธุ์ไรโซเบียม ที่มีผลต่อการเกิดปม และตรึงไนโตรเจน	68
ภาพที่ 4.8	ถั่วเหลืองพันธุ์ Enrei กับพันธุ์ En1282 Non-nod mutant	69
ภาพที่ 5.1	ความแตกต่างระหว่างอาการรากบวมที่เกิดจากไส้เดือนฝอย และปมถั่วที่เกิดจากไรโซเบียม	73
ภาพที่ 5.2	ผลกระทบจากไนโตรเจนประสมในดินและปุ๋ย ต่อปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในถั่วทั้งต้น	74
ภาพที่ 5.3	เปรียบเทียบผลกระทบจากการปลูกเชื้อไรโซเบียม และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนให้แก่ถั่วเหลือง	76

ภาพที่ 5.4	สหสัมพันธ์ในทุ่งหญ้าอาหารสัตว์ที่มีผลกระทบต่อการตรึงไนโตรเจนในถั่ว	78
ภาพที่ 5.5	ขั้นตอนพัฒนาการระบบซิมไบโอซิสระหว่างไรโซเบียมกับต้นถั่ว ตามลำดับก่อนหลัง ภายในเวลาประมาณ 4 วัน	79
ภาพที่ 5.6	ความแตกต่างในจำนวนไรโซเบียม และจำนวนปม ในถั่วเหลืองปลูกแบบไม่ไถ ที่มีอุณหภูมิหน้าดินต่ำกว่าถั่วเหลือง ปลูกแบบไถ 6° C	81
ภาพที่ 5.7	การมีชีวิตอยู่รอดของไรโซเบียมถั่วเหลือง 3 สายพันธุ์ ในดินแห้ง ดินชื้น และดินอิ่มน้ำที่ปลอดเชื้ออื่น ภายในเวลา 45 วัน	82
ภาพที่ 5.8	การเกิดปม และการสะสมไนโตรเจนในคอมมอนปิน โดยเชื้อไรโซเบียม ต่างสายพันธุ์ที่อุณหภูมิปกติ (กลางวัน/กลางคืน 28/23° C) และอุณหภูมิสูง (กลางวัน/กลางคืน 38/23° C) เปรียบเทียบกับที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ (-) ที่ได้รับ (+N) และไม่ได้รับ (-N) KNO ₃ ในอัตรา 30 มิลลิกรัม N/ต้น	84
ภาพที่ 5.9	การสำรวจเพื่อแยกเชื้อจากปมถั่วในท้องถิ่นในหมู่เกาะไซเคดส์ ของประเทศไทย ที่มีสภาพภูมิประเทศใกล้เคียงกับพื้นที่เป้าหมาย ในประเทศออสเตรเลียตอนใต้ (ดินกรดมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีฝนน้อยกว่า 400 มม./ปี)	85
ภาพที่ 5.10	ความแตกต่างในการตอบสนองต่อแคลเซียมในสารละลายอาหาร ระหว่างการเกิดปมกับการสะสมน้ำหนักราก ใน subterranean clover	86
ภาพที่ 5.11	ผลกระทบของการได้รับธาตุเหล็ก และไม่ได้รับธาตุเหล็ก ต่อการเกิดปมเริ่มต้น (Nodule initials) ในถั่วลิสงพันธุ์ ไทนาน 9 และโรบัต 33-1 ในดินขาดเหล็ก	87
ภาพที่ 5.12	ผลกระทบของปริมาณโมลิบดีนัมในเมล็ด และปุ๋ยโมลิบดีนัม ที่คลุกไปกับเมล็ด ต่อผลผลิตถั่วเหลือง และการเพิ่มปริมาณโมลิบดีนัม ในเมล็ดถั่วเหลือง โดยการให้ปุ๋ยโมลิบดีนัมที่ให้ทางใบ ในระยะเริ่มสร้างเมล็ด ที่ประเทศบราซิล	87

ภาพที่ 6.1	ผลการทดสอบปลูกเชื้อให้แก่ <i>Vicia villosa</i> โดยการชุบเมล็ดในน้ำผสมดินจากแปลง <i>Vicia sativa</i> โดย JF Dugger, 1897	92
ภาพที่ 6.2	สรุปผลการปลูกเชื้อไรโซเบียมแก่ถั่วเมล็ดจาก 20 ประเทศ เลขในวงเล็บตามชื่อถั่ว คือจำนวนการทดลอง	93
ภาพที่ 6.3	ตราสัญลักษณ์ประกันคุณภาพหัวเชื้อไรโซเบียมของประเทศออสเตรเลีย	94
ภาพที่ 6.4	การทดสอบประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนของเชื้อไรโซเบียม กับถั่วเป้าหมายที่เลี้ยงด้วยสารละลายอาหารปราศจากไนโตรเจน บนกระดาษซับในถุงพลาสติกสำหรับถั่วเมล็ดเล็กในกระถาง และในแปลง	96
ภาพที่ 6.5	พาหะนำเชื้อไรโซเบียม (1) พีท (2) ดินเหนียว Bentonite (3) ดินเหนียว Attapulgit (4) หัวเชื้อเหลว (5) หัวเชื้อแห้งเยือกแข็ง	101
ภาพที่ 6.6	หัวเชื้อไรโซเบียมถั่วในประเทศไทย ผลิตโดยกรมวิชาการเกษตร	102
ภาพที่ 6.7	ผลกระทบต่อความเป็นกรดในดิน ของไรโซเบียมถั่วลิ้นเต่า และลูเซิร์น	102
ภาพที่ 6.8	การให้คะแนนปมในถั่วเมล็ดหรือถั่วอาหารสัตว์ที่ขึ้นในแปลง อายุประมาณ 12 สัปดาห์	106
ภาพที่ 7.1	ระดับการเกิดปม 0-1 ไม่พอง 2-3 พอง 4-5 ดี	109
ภาพที่ 7.2	ความแตกต่างระหว่างถั่วเหลืองที่มีปมตรึงไนโตรเจนได้ดี และถั่วเหลืองด้อยประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจน แสดงอาการขาดไนโตรเจนชัดเจน	110
ภาพที่ 7.3	สมดุลไนโตรเจน (N balance) ที่มีไนโตรเจนตรึงจากอากาศ เป็นส่วนหนึ่งการนำเข้า (N inputs)	111
ภาพที่ 7.4	สมดุลไนโตรเจน แสดงที่มาของไนโตรเจนที่นำเข้าสู่ดินในแปลง และที่ถูกนำออกจากแปลง โดยกระบวนการจัดการในการเกษตร และกระบวนการตามวัฏจักรไนโตรเจนตามธรรมชาติ	113
ภาพที่ 7.5	เปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนในดินและในถั่วลิสง กับ คาวพี	113
ภาพที่ 7.6	ถั่วเหลืองพันธุ์ไม่เกิดปม กับพันธุ์ธรรมดาที่มีปม และตรึงไนโตรเจนได้ ปลูกในดินขาดไนโตรเจน	114
ภาพที่ 7.7	การเก็บตัวอย่างก๊าซจากขวดปิดสนิท เพื่อวัดประสิทธิภาพ ของระบบเอนไซม์ไนโตรจีเนส ต้นถั่วด้วยวิธีอะเซทิลีนรีดักชัน	116

ภาพที่ 7.8	การลำเลียงไนโตรเจนออกจากปม และส่งขึ้นไปเลี้ยงส่วนต้น ใบ ฝัก เมล็ด ในท่อ Xylem	121
ภาพที่ 7.9	วิธีเก็บตัวอย่างน้ำหล่อเลี้ยงลำต้น (Xylem sap) ที่ไหลออกจากตอ และที่ตูตออกจากต้น	122
ภาพที่ 7.10	ผลกระทบต่อการตรึงไนโตรเจน	124
ภาพที่ 8.1	ฝักถั่ว	128
ภาพที่ 8.2	เมล็ดถั่ว	128
ภาพที่ 8.3	ขนาด Hilum ต่อความยาวเมล็ด	129
ภาพที่ 8.4	ตัวอย่างโครงสร้างต้นถั่ว	130
ภาพที่ 8.5	ใบถั่วแบบต่างๆ	131
ภาพที่ 8.6	ดอกแบบ Actinomorphic ของถั่วตระกูลย่อย Mimosoideae และดอกแบบ Zygomorphic ของถั่วตระกูลย่อย Caesalpinioideae	132
ภาพที่ 8.7	ดอกแบบผีเสื้อ (Papilionaceous) ของถั่วในตระกูลย่อย Papilionaceae	132
ภาพที่ 8.8	ปมถั่วเหลือง และลูเชิร์น	133
ภาพที่ 8.9	แบบจำลองการตอบสนองต่ออุณหภูมิของขบวนการชีวภาพ แสดง 3 จุดอ้างอิง และอิทธิพลของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ในการเร่ง (A) และชะลอ (B) อัตราของขบวนการ	136
ภาพที่ 8.10	ความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวัน ระหว่างฤดูฝน และฤดูหนาวที่จังหวัดเชียงใหม่	137
ภาพที่ 8.11	ความยาววันตามตำแหน่งเส้นรุ้งบนพื้นผิวโลก ในซีกโลกเหนือ เส้นศูนย์สูตร และความยาววันในพื้นที่ปลูกถั่วในภาคเหนือ ของประเทศไทย บนเส้นรุ้ง 18-19 °N	138
ภาพที่ 8.12	ความเข้มแสง และอัตราการมีเมฆปกคลุม	139
ภาพที่ 8.13	การผ่านทะลุของแสงในพุ่มถั่ว (clover) และหญ้า ที่สัมพันธ์กับ LAI และ การหาค่า k_L โดยการ plot $\ln(I/I_0)$ กับ LAI (วัดได้ k_L ถั่ว = 0.8; k_L หญ้า = 0.4)	140

ภาพที่ 9.1	ความแตกต่างในความทนทานต่อการถูกน้ำขังเป็นเวลา 14 วัน (ที่อายุ 56 ถึง 70 วัน) ในถั่ว lupin	145
ภาพที่ 9.2	แบบจำลองการปลูกถั่วเหลืองหรือถั่วฝักยาวบนร่องสวน	146
ภาพที่ 9.3	ความสูญเสียผลผลิตเมล็ดในถั่วลูกไก่ จากการถูกน้ำขังเป็นเวลา 10 วัน ที่ต่างระยะการเจริญเติบโต	147
ภาพที่ 9.4	ผลกระทบจากการปลูกถั่วเหลืองในดินอมน้ำ ต่ออาการขาดไนโตรเจน ที่ปรากฏในระดับความเข้มข้นของสีเขียวใบ	147
ภาพที่ 9.5	ความสัมพันธ์ระหว่างการตรึงไนโตรเจน	149
ภาพที่ 9.6	แบบจำลองแสดงผลของความเป็นกรด-ด่างของดิน ต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช ซึ่งด้วยความหนาของแต่ละธาตุ	151
ภาพที่ 9.7	ความเข้มข้นธาตุอาหารในระดับพอเพียงโดยเฉลี่ย ในถั่วเปรียบเทียบกับในข้าว	153
ภาพที่ 9.8	ถั่วแบบบารา และถั่วลิสง ที่มีผลอยู่ใต้ดิน มักจะแสดงอาการขาดธาตุอาหารที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ในโฟลเอ็มที่ผลหรือเมล็ด ต้องได้โดยตรงจากดิน	155
ภาพที่ 9.9	ความแตกต่างในการตอบสนองต่อ $Mo \times N$ ในถั่ว และพืชไม่ตรึงไนโตรเจน	156
ภาพที่ 9.10	ผลกระทบจากปริมาณฟอสฟอรัสและสังกะสีในสารละลายอาหาร ต่อปริมาณสังกะสีในเมล็ดถั่วเหลือง	157
ภาพที่ 9.11	ความแตกต่างในประสิทธิภาพการใช้โบรอน ในพืชต่างชนิด และต่างพันธุ์ในแต่ละชนิด	159
ภาพที่ 9.12	ความแตกต่างในถั่วอาหารสัตว์ Sub clover ที่ได้รับ ($Mo+$) และไม่ได้รับ ($Mo-0$) ปุ๋ยโมลิบดีนัม	160
ภาพที่ 9.13	การทดลองให้ปุ๋ยโบรอนเป็นแถบ ($+B$) ในแปลงทานตะวันขาดโบรอน ($-B$)	160
ภาพที่ 9.14	ผลกระทบจากสหสัมพันธ์ธาตุอาหารพืช	161
ภาพที่ 10.1	เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนในถั่วต่างชนิด	166

ภาพที่ 10.2	ปริมาณโปรตีนในถั่วเหลือง 4 พันธุ์ ปลูกในเวลา 6 ปี	166
ภาพที่ 10.3	ความต้องการกรดอะมิโนจำเป็นต่างชนิด ใน 3 กลุ่มอายุ	170
ภาพที่ 10.4	ใยอาหารจากเมล็ดถั่วและธัญพืช (ความชื้น 12%)	171
ภาพที่ 10.5	ผลผลิตน้ำมันถั่วเหลือง ถั่วลิสง และน้ำมันพืชอื่นๆ ของโลก	172
ภาพที่ 10.6	โมเลกุลกรดไขมันอิ่มตัว ไม่มีพันธะคู่ระหว่างอะตอมคาร์บอน (Palmitic acid - C16:0; Stearic acid - C18:0) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว มีพันธะคู่ 1 (Oleic acid - C18:1) พันธะคู่ 2 (Linoleic acid - C18:2)	172
ภาพที่ 10.7	เปรียบเทียบปริมาณโฟเลตในเมล็ดถั่วและธัญพืช (ความชื้น 12%)	174
ภาพที่ 11.1	ผลของการทำให้สุกต่อคุณภาพทางโภชนาการของถั่วชนิดต่างๆ	181
ภาพที่ 12.1	การเติบโตของการผลิตถั่วเหลืองโลก ในช่วงเวลา พ.ศ. 2504-2557	190
ภาพที่ 12.2	การกระจายพื้นที่ถั่วเหลืองโลก พ.ศ. 2557 (รวม 735 ล้านไร่)	190
ภาพที่ 12.3	เปรียบเทียบผลผลิตเมล็ดและผลผลิตโปรตีนของถั่วเหลือง กับถั่วแห้ง ถั่วเขียว และ Cowpea จากพื้นที่ 1 ไร่	191
ภาพที่ 12.4	ผลผลิตถั่วเหลืองในไทยและอินเดียเปรียบเทียบกับผลผลิตในอเมริกา (ข้อมูล 2553-2557 พร้อมด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	192
ภาพที่ 12.5	พื้นที่ถั่วเหลืองในประเทศไทย พ.ศ. 2504-2557	193
ภาพที่ 12.6	ใบชุด 3 ใบของถั่วเหลือง แบบใบกว้าง และใบแคบ	193
ภาพที่ 12.7	ระยะการเจริญเติบโตทางต้นและใบ (V) และการเจริญพันธุ์ (R) ในถั่วเหลือง	194
ภาพที่ 12.8	กลุ่มถั่วเหลือง (Maturity Group) ตามลักษณะการปรับตัวต่อฤดูปลูกในอเมริกา	197
ภาพที่ 12.9	การแพร่กระจายของถั่วเหลือง	198
ภาพที่ 13.1	ไตฟูกู (ขนมโมจิไส้ถั่วแดง)	208
ภาพที่ 13.2	แผงขายฟาลาเฟลที่ปารีส นิวยอร์ก และการทอดฟาลาเฟลที่รามัลล่า ในปาเลสไตน์	208
ภาพที่ 13.3	การนำเข้าถั่วลิ้นเตาเมล็ดแห้ง ในอินเดียกับสาธารณรัฐประชาชนจีน และถั่วเมล็ดแห้ง (คอมมอนปีน) ในบราซิล พ.ศ. 2526-2555	214

ภาพที่ 13.4	การเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ และสัดส่วน ของพืชไร่ที่ไม่ใช่ข้าวของประเทศไทย ในระหว่าง พ.ศ. 2504-2555	214
ภาพที่ 13.5	แปลงถั่วลิ้นเตาเมล็ด และถั่วเส้นทิล ที่มีทรงพุ่มสูงขึ้นด้วยมือเกาะที่พยุangkนเองระหว่างต้น	217
ภาพที่ 13.6	แปลงถั่วคอมมอนบินแซมข้าวโพดในระวันดา แบบมีไม้ค้ำในอุกันดา และถั่วแขกพืชผักในพื้นที่สูงของไทย	218
ภาพที่ 13.7	ส่วนแบ่งในตลาดโลก และมูลค่าการส่งออก ของถั่วเมล็ดไร่้ำมันในแคนาดา และออสเตรเลีย (เฉลี่ย พ.ศ. 2553-2557)	220
ภาพที่ 13.8	พื้นที่ และผลผลิตถั่วเมล็ดไร่้ำมัน ในแคนาดาและออสเตรเลีย พ.ศ. 2504-2557	220
ภาพที่ 13.9	ผลผลิตถั่วเมล็ดไร่้ำมัน ในแคนาดา ออสเตรเลีย และอินเดีย (เฉลี่ย พ.ศ. 2553-2557)	221
ภาพที่ 13.10	ราคาถั่วเมล็ดไร่้ำมัน ในประเทศผู้ส่งออกและนำเข้าหลัก (เฉลี่ย พ.ศ. 2553-2557)	221
ภาพที่ 14.1	พื้นที่และผลผลิตถั่วลิสงโลก ในช่วงระหว่าง พ.ศ. 2504-2557	223
ภาพที่ 14.2	การกระจายพื้นที่และผลผลิตถั่วลิสงโลก พ.ศ. 2557	223
ภาพที่ 14.3	เปรียบเทียบผลผลิตถั่วลิสง ในภูมิภาคต่างๆ ของโลก ใน พ.ศ. 2504-2508 และ พ.ศ. 2553-2557	224
ภาพที่ 14.4	พื้นที่ และผลผลิตถั่วลิสง ในประเทศผู้ผลิตหลัก ในทวีปเอเชีย (ข้อมูล พ.ศ. 2557)	224
ภาพที่ 14.5	พื้นที่และผลผลิตถั่วลิสงในประเทศไทย พ.ศ. 2504-2557	225
ภาพที่ 14.6	การหีบน้ำมันถั่วลิสง และน้ำมันพืชอื่นๆแบบโบราณในอินเดีย	226
ภาพที่ 14.7	เปรียบเทียบถั่วลิสงพันธุ์เมล็ดโตของอินเดีย TG39 กับเมล็ดขนาดทั่วไป	227
ภาพที่ 14.8	ขนาดเมล็ด และเปอร์เซ็นต์ฝักใหญ่พิเศษ ในถั่วลิสงในกลุ่มพันธุ์ “เวอร์จิเนีย จัมโบ” ของสหรัฐอเมริกา	228

ภาพที่ 14.9	ต้นถั่วลิสง แสดงดอกที่บานอยู่เหนือดิน และฝักที่ฝังอยู่ในดิน จาก“เข็ม” (ฐานซูรังไข่ที่ยืดขยาย) ที่แทงลงดินหลังจากการผสมเกสร และรายละเอียดของการแทงเข็มและติดฝักของถั่วลิสง	229
ภาพที่ 14.10	ในการสะสมความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 10° C ถั่วลิสงที่ต้องการ อุณหภูมิสะสม 2,000 degree-days	231
ภาพที่ 15.1	กระถิน (<i>Leucaena leucocephala</i>) แสดง ยอด ช่อดอก ใบ และฝัก	233
ภาพที่ 15.2	กระถินที่ยังเป็นอาหารสด ในทุ่งหญ้าเลี้ยงวัวเขตร้อนในฤดูแล้ง ในออสเตรเลีย	235
ภาพที่ 15.3	เปรียบเทียบคุณภาพโปรตีน ด้วยปริมาณกรดอะมิโน ในกระถินและอัลฟัลฟา	236
ภาพที่ 15.4	หัวเชื้อแบคทีเรียย่อย DHP แข็งแข็ง ขนาด 500 มล.	239

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	พื้นที่และผลผลิตถั่วอาหารชนิดหลักของโลก (เฉลี่ย พ.ศ. 2553-2557)	7
ตารางที่ 1.2	ถั่วอาหารที่ปลูกและบริโภคในประเทศไทย	11
ตารางที่ 1.3	ถั่วในระบบการเพาะปลูก	13
ตารางที่ 1.4	ไนโตรเจนในต้นถั่วที่มาจากอากาศ จากแหล่งปลูก ในหลายประเทศทั่วโลก	20
ตารางที่ 1.5	สมดุลไนโตรเจนหลังการปลูกถั่ว	21
ตารางที่ 1.6	ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในดิน และปฏิสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสัตว์ในดิน (Macrofauna) และไส้เดือน กับปริมาณมวลชีวะและไนโตรเจนในส่วนเหนือดิน ในระบบการปลูกข้าวโพดที่สูง 5 แบบ	23
ตารางที่ 1.7	ชนิดของสัตว์ในดิน (Soil macrofauna) ที่พบในแปลงข้าวโพด และข้าวโพดแซมถั่ว ที่โครงการหลวงปางตะ จ.เชียงใหม่	24
ตารางที่ 2.1	ปริมาณอาหารที่ใช้ในปศุสัตว์ในรูปแบบต่างๆ ในสหรัฐอเมริกา	26
ตารางที่ 2.2	ตัวอย่างถั่วพุ่มหญ้าและอาหารสัตว์สำหรับเขตภูมิอากาศต่างๆ ของโลก	28
ตารางที่ 2.3	ต้นไม้ตระกูลถั่ว (Tree and shrub legumes) ที่ใช้เป็นอาหารสัตว์	30
ตารางที่ 2.4	ตัวอย่างถั่วอาหารสัตว์ที่มีคอนเดนส์แทนนิน (Condensed tannins หรือ pro-anthocyanidins) ในปริมาณสูง	33
ตารางที่ 2.5	ถั่วที่ใช้หรือเคยใช้เป็นปุ๋ยพืชสดและถั่วบำรุงดิน ในญี่ปุ่น สาธารณรัฐประชาชนจีน และอินเดีย	34
ตารางที่ 2.6	ตัวอย่างระดับการใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ จากพืชตระกูลถั่วเอนกประสงค์	40
ตารางที่ 2.7	ผลผลิตและคุณภาพเชื้อเพลิงจากไม้โตเร็วตระกูลถั่ว	41
ตารางที่ 3.1	เปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงได้ในระบบต่างๆ	47
ตารางที่ 3.2	การตรึงไนโตรเจนในถั่วเมล็ดชนิดหลักของโลก	50
ตารางที่ 3.3	การตรึงไนโตรเจนในถั่วอาหารสัตว์และถั่วพุ่มหญ้า	51
ตารางที่ 4.1	อนุกรมวิธานของไรโซเบียม จาก พ.ศ. 2475-2555	57
ตารางที่ 4.2	ไรโซเบียม 15 สกุล ใน 7 ตระกูล ของ Proteobacteria	59

ตารางที่ 4.3	รูปแบบปมของถั่วต่างสกุล	63
ตารางที่ 4.4	การเกิดปมและการทำงานของปมโดยแบคทีเรียจากปมไมยราบยักษ์ ในถั่วเหลือง <i>Siratro (Macroptilium autropurpureum)</i> และ กระถิน	67
ตารางที่ 4.5	ตัวอย่างยีนควบคุมการเกิดและพัฒนาปมในถั่วเหลือง	68
ตารางที่ 5.1	ผลกระทบของโคบอลต์ต่อการพัฒนาการ และการทำงานในการตรึง ไนโตรเจน ของปมถั่วลู่ฟีน (<i>Lupinus angustifolius</i>) อายุ 6 สัปดาห์	88
ตารางที่ 5.2	ผลจากการใส่ปุ๋ย Co ในถั่วลิสง	89
ตารางที่ 6.1	มาตรฐานขั้นต่ำของหัวเชื้อไรโซเบียมในออสเตรเลีย	95
ตารางที่ 6.2	การเกิดปมในถั่วเหลืองโดยหัวเชื้อจากสหรัฐอเมริกา 6 ยี่ห้อ และไม่มีการปลูกเชื้อที่เอกวาดอร์	95
ตารางที่ 6.3	ตัวอย่างสายพันธุ์ไรโซเบียม ที่มีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนสูง กับถั่วเป้าหมายหลายพันธุ์หรือหลายชนิดในออสเตรเลีย	97
ตารางที่ 6.4	ผลของการปลูกเชื้อต่อการเกิดปมและความสามารถในการเกิดปม ของเชื้อที่ปลูกในถั่วเหลืองในสหรัฐอเมริกา	100
ตารางที่ 6.5	ตัวอย่างการปลูกเชื้อด้วยหัวเชื้อที่มีไรโซเบียม 1,000 ล้านเซลล์/กรัม (10^9 เซลล์/กรัม)	104
ตารางที่ 6.6	ผลการทดลอง 7 แบบของการทดสอบความจำเป็น ในการปลูกเชื้อไรโซเบียมแก่ถั่ว	105
ตารางที่ 7.1	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนในดิน การตรึงไนโตรเจน ผลผลิตถั่วและศักยภาพในการบำรุงดิน ในกรณีที่ดินถั่วกับไรโซเบียม มีความสมพงศ์เข้ากันได้ดี ระบบซิมไบโอซิสพัฒนาไปได้อย่างราบรื่น	109
ตารางที่ 7.2	ปริมาณไนโตรเจนที่ตรึงใน <i>Erythrina velutina</i> โดยสายพันธุ์ไรโซเบียมท้องถิ่น ในบราซิล 3 สายพันธุ์	112
ตารางที่ 7.3	ผลกระทบจากการปลูกพืชแซม และการใส่ปุ๋ย N ต่อการตรึงไนโตรเจน ในถั่วนางแดง วัดโดยวิธี ^{15}N จำนวน 2 แบบ	118
ตารางที่ 7.4	คำจำกัดความและคำอธิบายศัพท์เฉพาะ เกี่ยวกับวิธีการ ไอโซโทป ^{15}N	119

ตารางที่ 7.5	ตัวอย่าง $\delta^{15}\text{N}$ ในดินในรูป $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ (N ประสม หรือ Mineral N) ที่สอดคล้องกับ $\delta^{15}\text{N}$ ในพืชไม่ตรึง N และสูงกว่า $\delta^{15}\text{N}$ ในดินโดยรวม ที่ประกอบด้วย N ประสม ที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ บวกกับ N ในอินทรีย์วัตถุ ที่พืชไม่สามารถดูดไปใช้	120
ตารางที่ 7.6	กลุ่มถั่วที่ลำเลียงไนโตรเจนที่ตรึงจากอากาศออกปม ในรูปยูรีโอต์ และเอไมด์	122
ตารางที่ 7.7	ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่าง % N ในน้ำหล่อเลี้ยงลำต้น ในรูปยูรีโอต์ และ % N ที่ตรึงจากอากาศ ที่วัดด้วยวิธีไอโซโทป ^{15}N	124
ตารางที่ 8.1	อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการงอกของเมล็ดถั่วชนิดต่างๆ เทียบกับพืชเมืองหนาว 3 ชนิด	137
ตารางที่ 9.1	ความสูญเสียผลผลิตเมล็ดในถั่วเมล็ด และธัญพืชจากการขาดน้ำในระยะเจริญพันธุ์	148
ตารางที่ 9.2	ธาตุอาหารจำเป็นในกระบวนการสร้างผลผลิตในถั่วเกษตร	152
ตารางที่ 9.3	เปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหาร ที่ถูกเก็บเกี่ยวออกไปจากแปลง พร้อมกับผลผลิตเมล็ด 1 ตัน ในถั่วเหลืองและข้าว	156
ตารางที่ 9.4	ประสิทธิภาพการใช้โบรอนในถั่วเขียว 16 สายพันธุ์ และถั่วเขียวพิดดำ 10 สายพันธุ์ วัดด้วย ผลผลิตในดินโบรอนจำกัด (B_0) คิดเป็น % ในดินโบรอนพอเพียง (B_+)	159
ตารางที่ 10.1	องค์ประกอบเมล็ดถั่ว	167
ตารางที่ 10.2	ปริมาณกรดอะมิโนสำคัญในอาหารกลุ่มต่างๆ	168
ตารางที่ 10.3	คะแนนกรดอะมิโนจำกัด (LAA, Limiting amino acid score) ในเมล็ดถั่วและธัญพืช	169
ตารางที่ 10.4	ความต้องการโปรตีนและกรดอะมิโน	169
ตารางที่ 10.5	เปรียบเทียบองค์ประกอบน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันถั่วลิสง และน้ำมันปาล์ม	173
ตารางที่ 10.6	ธาตุอาหารจำเป็นในถั่ว ในเมล็ดถั่วและธัญพืช (ความชื้น 12%)	175

ตารางที่ 10.7	ตัวอย่างคุณภาพทางโภชนาการของอาหารสัตว์แบบต่างๆ	177
ตารางที่ 11.1	สารพิษจากการในเมล็ดถั่วชนิดสลายตัวในความร้อน (Heat-labile anti-nutrition factors)	180
ตารางที่ 11.2	สารพิษจากการในเมล็ดถั่วชนิดทนความร้อน (Heat-stable anti-nutrition factors)	182
ตารางที่ 11.3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอัลคาลอยด์ กับการถูกกิน และเข้าทำลาย โดยกระต่ายและแมลงศัตรูพืชในลูกพิน	183
ตารางที่ 12.1	ประเทศผู้ผลิตถั่วเหลืองรายใหญ่ในแต่ละภูมิภาค การผลิตในอาเซียน	191
ตารางที่ 12.2	การผลิตถั่วเหลืองในอาเซียน	191
ตารางที่ 12.3	ระยะพัฒนาการในถั่วเหลือง และข้อแนะนำในการจัดการ สำหรับรัฐไอโอวา (เส้นรุ้ง 42° N)	196
ตารางที่ 12.4	อายุถั่วเหลืองที่ปลูกในฤดูฝนและฤดูหนาว ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่	197
ตารางที่ 12.5	การประเมินการตรึงไนโตรเจนในถั่วเหลือง ในต่างประเทศของโลก	201
ตารางที่ 12.6	ข้อมูลการตัดต่อพันธุกรรมในถั่วเหลือง Intacta™ Roundup Ready™ 2 Pro (HT/IR MON87701 x MON89788) ของบริษัทมอนซานโต้ ได้รับการอนุมัติในบราซิล พ.ศ. 2553	203
ตารางที่ 13.1	ถั่วเมล็ดไร่ น้ำมัน (Pulses) ในโลก ระหว่าง พ.ศ. 2504-2557	206
ตารางที่ 13.2	ถั่วเมล็ดไร่ น้ำมัน (Pulses) ในโลก พ.ศ. 2557	210
ตารางที่ 13.3	การเปลี่ยนแปลงในการผลิตถั่วเมล็ดไร่ น้ำมันในประเทศผู้ผลิตหลัก (อินเดีย สาธารณรัฐประชาชนจีน และบราซิล) และส่งออก (แคนาดา และออสเตรเลีย) ในช่วง พ.ศ. 2504-2557	212
ตารางที่ 13.4	การส่งออกถั่วเมล็ดไร่ น้ำมัน พ.ศ. 2556	213
ตารางที่ 13.5	ผลผลิต ดัชนีการเก็บเกี่ยว ในถั่วเมล็ดไร่ น้ำมัน 4 ชนิด ที่ปลูกเหลือทิ้งที่ 30 วันก่อนเก็บเกี่ยวข้าวโพด และสมมูลไนโตรเจน หลังการเก็บเกี่ยวเมล็ดข้าวโพดและถั่ว	219
ตารางที่ 14.1	ระยะพัฒนาการในถั่วลิสง	230
ตารางที่ 15.1	เปรียบเทียบคุณภาพทางโภชนาการ จากใบกระถินและใบลูซิเิร์น	237

ตารางที่ 15.2	ผลของการเสริมโปรตีนในอาหารด้วยกระถิน ต่อผลผลิตในไก่ไข่	237
ตารางที่ 15.3	ผลของการเลี้ยงหมูด้วยอาหารสูตรมาตรฐาน และสูตรกระถิน 20% เป็นเวลา 42 วัน	237
ตารางที่ 15.4	การแพร่กระจายของ แบคทีเรียย่อย DHP ในประเทศต่างๆ	240

ตอนที่ 1



ถั่วในระบบ
นิเวศ

ถั่ว (Family: Leguminosae, Fabaceae หรือ Papilionaceae) เป็นวงศ์พืชที่มีความหลากหลาย เป็นที่ 3 รองจาก วงศ์กล้วยไม้ (Orchidaceae) and วงศ์ทานตะวัน (Asteraceae) ด้วยจำนวน 19,000 ชนิด (Species) ใน 751 สกุล (Genera) นับเป็นร้อยละ 7 ของชนิดพืชมีดอก แบ่งออกเป็น 3 ตระกูลย่อย ได้แก่

- 1) Papilionoideae หรือ Faboideae (กลุ่ม peas และ beans คือถั่วเกษตรเกือบทั้งหมด ในตารางที่ 1.1, 1.2 ยกเว้น กระถิน ชะอม กระเฉด ชีเหล็ก มะขาม)
- 2) Mimosoideae (กลุ่มกระถิน ชะอม กระเฉด จำปา)
- 3) Caesalpinioideae (กลุ่มชีเหล็ก มะขาม ลมแล้ง)

ดอกเป็นลักษณะเด่นที่ใช้ในการจำแนกชนิดถั่ว ลงในตระกูลย่อย เผ่า สกุล และ ชนิด (Sub-family, tribe, genus, species) มาตั้งแต่มีการเริ่มตั้งชื่อวิทยาศาสตร์ให้แก่พืช เป็นสกุล-ชนิด (*Genus species*) ในยุคสมัยของ Carl Linnaeus (ค.ศ. 1707-1778) ผู้เป็นต้นฉบับของอักษร “L.” ตามหลังชื่อพืชหลากหลายชนิด อาทิ *Glycine max* L., *Vigna radiata* L., *Orzya sativa* L., *Zea mays* L.

การจำแนกส่วนใหญ่ได้รับการยืนยันจากการวิเคราะห์ดีเอ็นเอ มีการปรับเปลี่ยนเพียงในบางกรณีเท่านั้น เช่น พืชในสกุล *Cassia* หลายชนิดได้ถูกย้ายไปอยู่ในสกุล *Senna* (Marazzi et al., 2006) ดังตัวอย่าง ชีเหล็กได้ถูกเปลี่ยนจาก *Cassia siamea* ไปเป็น *Senna siamea* ชะอม เปลี่ยนจาก *Acacia pennata* เป็น *Senegalia pennata* จามจุรี เปลี่ยนจาก *Samanea saman* เป็น *Albizzia saman* และ *Acacia albida* ถูกเปลี่ยนไปเป็น *Faidherbia albida*



- ดอกแบบ Papilionaceous: ① ถั่วฝักยาว ② แคน
 ดอกแบบ Mimosaceous: ③ ไมยราบ ④ จามจุรี/ก้ามปู/จำฉา
 ดอกแบบ Caesalpinaceous: ⑤ ชีเหล็ก ⑥ ชัยพฤกษ์/ลมแล้ง

ถั่วเป็นแหล่งโปรตีนที่มีต้นทุนการผลิตและราคาถูกกว่าโปรตีนจากสัตว์ จึงใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับทั้งคนและสัตว์ ที่เพิ่มคุณภาพทางโภชนาการ (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในบทที่ 9) ให้แก่อาหารหลักที่ประกอบด้วย ธัญพืช พืชหัว ตลอดจนหญ้าและฟางที่เป็นอาหารหยาบสำหรับสัตว์ การผลิตอาหารโปรตีนจากถั่วยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและความหลากหลายทางชีวภาพน้อยกว่าการประมงในทะเล ด้วยสกุลและชนิดที่หลากหลาย มีการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมทางภูมิอากาศและดินต่างแบบทั่วโลก จึงมีถั่วมากมายหลายชนิดที่ถูกนำมาปลูกในระบบการเพาะปลูกแบบต่างๆ เพื่อผลิตอาหารแก่ผู้คนที่มีความต้องการบริโภคในแบบต่างๆ (บทที่ 1) ใช้เป็นอาหารสัตว์ อนุรักษ์บำรุงดิน ตลอดจนไม้โตเร็ว เอนกประสงค์ (บทที่ 2) ความสามารถอยู่ร่วมแบบพึ่งพากับแบคทีเรียปมถั่ว ที่สามารถดึงเอาก๊าซไนโตรเจน (N_2) ในอากาศมาใช้ได้ เป็นเอกลักษณ์ที่ทำให้พืชตระกูลถั่วส่วนใหญ่มีบทบาทสำคัญในวัฏจักรไนโตรเจนในระบบนิเวศ (บทที่ 3)

บทที่ 1



ถั่วในการเกษตร I:

ถั่วอาหารและถั่วในระบบการเพาะปลูก

1. ถั่วอาหาร (Food legumes)
2. ถั่วในระบบการเพาะปลูก
3. วิธีการวัดผลผลิตพืชแซม
4. ผลกระทบต่อพืชร่วมระบบ

กรอบที่ 1.1

Pea หรือ Bean ความสับสนจากชื่อสามัญของถั่ว

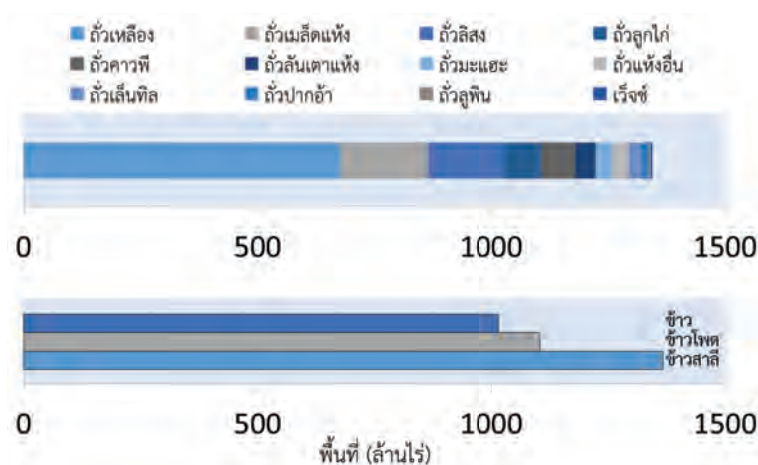
กรอบที่ 1.2

ทองหลางในสวนไม้ผลเมืองนนท์

ตัวอย่างของถั่วต้นไม้ในวนเกษตรไทย

1. ถั่วอาหาร (Food legumes)

ถั่วที่ใช้เป็นอาหารมีหลากหลายชนิด “ถั่วเมล็ด” (grain legumes) เป็นชนิดที่เก็บเกี่ยวเมื่อเมล็ดสุกแก่และแห้ง เป็นกลุ่มหลักที่มีพื้นที่ปลูกรวมกันทั้งโลกใน พ.ศ. 2557 ถึง 1,400 ล้านไร่ ถั่วเหลือง เป็นชนิดที่ปลูกมากที่สุดด้วยพื้นที่เก็บเกี่ยวร้อยละ 52 และผลผลิตร้อยละ 70 ของถั่วเมล็ด (ภาพที่ 1.1) นอกจากถั่วเมล็ดที่เก็บเกี่ยวเมื่อเมล็ดสุกแก่ ถั่วอีกกลุ่มหนึ่งที่เก็บเกี่ยวก่อนการสุกแก่ ใช้ฝักอ่อนและเมล็ดที่ยังไม่แก่เป็นผัก โดยมี 2 ชนิดหลักได้แก่ ถั่วลันเตา และถั่วแขก (ตารางที่ 1.1)



ภาพที่ 1.1 พื้นที่ปลูกถั่วอาหารชนิดหลักของโลก (บน) เทียบกับธัญพืชหลัก 3 ชนิด (ล่าง)
ข้อมูลเฉลี่ย 2553-2557
ที่มา: วาดจากข้อมูล FAOSTAT (2017)

ถั่วเป็นแหล่งโปรตีนสำคัญที่ช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของคาร์โบไฮเดรตจากอาหารหลักที่ประกอบด้วยธัญพืชเป็นส่วนใหญ่ ในแต่ละภูมิภาคมีการปลูกและบริโภคชนิดถั่วที่แตกต่างกัน อาทิ ถั่วเขียวและถั่วเหลืองในเอเชียตะวันออก ถั่วคาวพี (cowpea) ในแอฟริกา คอมมอนบีน (common bean) ในลาตินอเมริกาและแอฟริกา ถั่วมะแฮะ ถั่วเขียว ถั่วเขียวผิวดำ ในภูมิภาคเขตร้อนของชมพูทวีปทางภาคใต้ ถั่วลูกไก่ ถั่วเส้นทิล ในฤดูหนาวของเขตกึ่งร้อนและแล้งทางภาคใต้ และครอบคลุมไปถึงตะวันออกกลาง