บทที่ 2
วรรณกรรมและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช

แบบจำลอง (model) หมายถึง สิ่งที่ลอกเลียนแบบหรือจำลองระบบใดระบบหนึ่ง โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะให้ผู้ศึกษา ได้เข้าใจและเรียนรู้ถึงภาพรวมของระบบได้ง่ายกว่าการดูหรือศึกษาจากระบบจริง แบบจำลองพืช (crop model) หมายถึงสิ่งที่สร้างขึ้นเพื่อลอกเลียนระบบพืช โดยใช้ข้อมูลพื้นฐานของกระบวนการเจริญเติบโตของพืช และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความเข้มแสง ความชื้น และความอุดมสมบูรณ์ของดิน กับองค์ประกอบของระบบพืช เช่น ระบบการเจริญเติบโตและระบบการพัฒนาการของพืช ในปัจจุบันมีกลุ่มนักวิจัยได้นำแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช มาเป็นเครื่องมือที่ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจทางการเกษตรอย่างแพร่หลายเช่น การประเมินกลยุทธ์ในการจัดการเพื่อลดความเสี่ยง การวิเคราะห์ระบบการปลูกพืชในระยะยาวในแง่การให้ผลผลิต การประเมินศักยภาพของผลผลิตพืชและการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในดิน การกำหนดวันปลูกและการจัดการที่เหมาะสม (Egli and Bruening, 1992 ; Meinke et al., 1993 ; Aggawal and Kalra, 1994 ; Meinke and Hammer, 1995)

2.2 แบบจำลองการเจริญเติบโตของถั่วลิสง (CSM-CROPGRO-Peanut)

แบบจำลอง CSM- CROPGRO-Peanut เป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยกลุ่มของนักวิจัยจากหลายสาขาวิชาในมหาวิทยาลัยฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา แบบจำลองดังกล่าวและแบบจำลองพืชอีกหลายชนิด เช่น แบบจำลองการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น ได้ถูกบรรจุอยู่ในโปรแกรมระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีทางการเกษตร (Decision Support System for Agrotechnology Transfer, DSSAT) (Hoogenboom, et al., 1992 ; Hoogenboom et al., 2004) โปรแกรมดังกล่าวประกอบไปด้วย ระบบการจัดการข้อมูล การวิเคราะห์ประมวลผลและส่วนของการแสดงผล ซึ่งการวิเคราะห์และประมวลผลของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ดำเนินการโดยอาศัยแบบจำลองและการจำลองสถานการณ์ (modeling and simulation) (IBSNAT, 1988)

แบบจำลองการเจริญเติบโตของถั่วลิสง ถูกพัฒนาขึ้นมาจากสมการทางคณิตศาสตร์องค์ประกอบหลักของแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ประกอบด้วยสมการอธิบายพัฒนาการทางด้านการเจริญเติบโต (vegetative development) และพัฒนาการด้านการสืบพันธุ์ (reproductive development) สมดุลของคาร์บอน (carbon balance) สมดุลของไนโตรเจน (nitrogen balance) และสมดุลของน้ำ (water balance) (Hoogenboom et al., 1992) สำหรับสมดุล

คาร์บอนของพืช แบบจำลองคำนวณการสังเคราะห์แสงของทรงพุ่มรายวัน ผลที่ได้จากการคำนวณจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกใช้สำหรับการหายใจเพื่อการรักษาสภาพ (maintenance respiration) และส่วนที่สองใช้สำหรับการหายใจเพื่อการเจริญเติบโตของพืช (growth respiration) สำหรับการแบ่งส่วนของอาหาร (partitioning) เพื่อการเจริญเติบโตในช่วงก่อนและหลังการออกดอก จะถูกกำหนดโดยระยะพัฒนาการของถั่วลิสง แบบจำลองคำนวณคาร์โบไฮเดรตที่จำเป็นต้องใช้เพื่อเปลี่ยนผลลัพธ์ที่ได้จากการสังเคราะห์แสง ไปเป็นเนื้อเยื่อใหม่ และสัดส่วนของโปรตีน ไขมัน ลิกนิน โครงสร้างของคาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ และธาตุอาหารอื่นๆ นอกจากนี้แบบจำลองยังคำนวณการเพิ่มของใบ พื้นที่ใบ การหลุดร่วงของใบแก่ จำนวนและน้ำหนักของฝักและเมล็ดที่เพิ่มขึ้นในแต่ละวัน

ส่วนสมดุลของไนโตรเจนนั้น แบบจำลองคำนวณการนำไนโตรเจนมาใช้ของพืช การตรึงไนโตรเจน (N_2-fixation) การใช้ไนโตรเจนเพื่อสร้างเนื้อเยื่อใหม่ การใช้ประโยชน์ไนโตรเจนจากเนื้อเยื่อพืช และการสูญเสียไนโตรเจนจากการหลุดร่วงของใบแก่ สำหรับสมดุลของน้ำและพืชนั้น แบบจำลองคำนวณการซึมผ่านของทั้งน้ำฝนและน้ำจากการชลประทาน การระเหยของน้ำจากดิน การนำน้ำมาใช้ของรากพืช การระบายของน้ำตลอดพื้นที่ที่รากพืชเจริญเติบโต และการคายน้ำของพืช แบบจำลองได้อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นในต้นพืช เช่น พัฒนาการของพืช การสังเคราะห์แสง การหายใจ การใช้น้ำ การเจริญเติบโต และการปันส่วนของอาหารที่ถูกสร้างขึ้น กับปัจจัยสภาพแวดล้อม เช่นความเข้มแสง ความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน และอุณหภูมิรายวัน นอกจากนี้แล้ว แบบจำลองยังใช้ลักษณะจำเพาะพันธุ์ของถั่วลิสงแต่ละพันธุ์ เพื่อจำลองการเจริญเติบโตและพัฒนาการรายวัน ที่ตอบสนองต่อสภาพอากาศ ดิน และการจัดการที่แตกต่างกัน ซึ่งเรียกลักษณะจำเพาะพันธุ์ดังกล่าวนี้ว่า สัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของพืช (crop genetic coefficients) (Boote et al., 1998)

2.3 ข้อมูลตัวป้อนสำหรับแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut เป็นแบบจำลองที่อธิบายการเจริญเติบโตของพืชที่ตอบสนองต่อ สภาพแวดล้อม เช่น สภาพฟ้าอากาศ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน สภาพการจัดการของแต่ละที่ที่แตกต่างกัน และลักษณะประจำของถั่วลิสงแต่ละพันธุ์ ดังนั้นชุดของข้อมูลตัวป้อนที่จำเป็นในการจำลองสถานการณ์ ได้แก่ ข้อมูลอากาศ ข้อมูลชุดดิน ข้อมูลการจัดการถั่วลิสง และข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของถั่วลิสงแต่ละพันธุ์ ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดของข้อมูลตัวป้อนได้ดังต่อไปนี้

2.3.1 ข้อมูลฟ้าอากาศ (weather data)

ข้อมูลอากาศที่จำเป็นสำหรับการจำลองสถานการณ์โดยแบบจำลองนั้น ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) ปริมาณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (เมกาจูล/ตารางเมตร) อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส) ข้อมูลฟ้าอากาศนี้ต้องมีการเก็บให้ครอบคลุมมากที่สุด อย่างน้อยให้ตลอดอายุการเจริญเติบโตของถั่วลิสงที่เราทำการศึกษาอยู่ ณ ช่วงเวลานั้น

2.3.2 ข้อมูลดิน (soil data)

ข้อมูลดินเป็นข้อมูลที่แสดงถึงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของชุดดิน ในแต่ละชั้นโดยให้ครอบคลุมการเจริญของรากพืชที่ต้องการศึกษา ซึ่งข้อมูลทางด้านเคมีของดินได้แก่ เปอร์เซ็นต์ของ sand silt และ clay ความสามารถในการระบายน้ำ ความหนาแน่นของดิน (bulk density) รวมถึงความแตกต่างเกี่ยวกับโครงสร้างของชั้นดินในแต่ละระดับความลึก ซึ่งข้อมูลทางกายภาพของดินนี้จะมีประโยชน์ ในการคำนวณหาการเคลื่อนย้ายของน้ำใต้ดินว่ามีรูปแบบการเคลื่อนย้ายอย่างไร ส่วนข้อมูลทางเคมีของดินนั้นประกอบด้วย ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) ปริมาณ ไนโตรเจนทั้งหมด ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (cations exchange capacity ; CEC) และสามารถใช้ข้อมูลที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เพื่อคำนวณข้อมูลอื่น ๆ ที่ใช้สำหรับแบบจำลอง เช่น ปริมาณน้ำที่อิ่มตัว (saturated water content ; SAT) ปริมาณน้ำสูงสุดที่มีการระบาย (drained upper limit of soil water content ; DUL) หรือความชื้นระดับสนาม (field capacity) และ ปริมาณน้ำต่ำที่สุดที่พืชนำไปใช้ (lower limit of plant extractable water ; LL) หรือจุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point) เป็นต้น

2.3.3 ข้อมูลการจัดการพืช (management data)

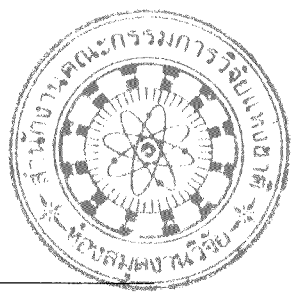
ในทุกงานทดลองนั้นการจัดการเป็นส่วนที่สำคัญมากอย่างหนึ่ง เพราะจะมีผลต่อผลผลิตของพืช ข้อมูลการจัดการที่จำเป็นในการป้อนแก่แบบจำลองในกลุ่ม DSSAT นั้นประกอบด้วย วันปลูก ระยะปลูก ความลึกของการปลูก วันงอก ความหนาแน่นของประชากรพืชต่อตารางเมตร และวันเก็บเกี่ยวผลผลิต ในกรณีการจำลองการเจริญเติบโตของพืชภายใต้การจัดการน้ำ รายละเอียดของวันที่และปริมาณการให้น้ำก็มีความสำคัญมากเช่นกัน นอกจากนี้ในปัจจุบัน แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut สามารถจำลองสมดุลของไนโตรเจนในพืชและดิน และจำลองการตอบสนองของถั่วลิสงต่อการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันได้ ดังนั้นหากต้องการจำลองการเจริญเติบโตของถั่วลิสงภายใต้เงื่อนไขดังกล่าวจำเป็นต้องมีข้อมูลเพิ่มเติมคือ ประเภทของปุ๋ยไนโตรเจน จำนวนครั้งและปริมาณการให้ปุ๋ยวิธีการให้ และระดับความลึกของการให้ปุ๋ย เป็นต้น

2.3.4 ข้อมูลแสดงลักษณะจำเพาะพันธุ์ (genetic coefficient data)

ข้อมูลแสดงลักษณะจำเพาะของถั่วลิสงแต่ละพันธุ์ หรือค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม เป็นข้อมูลพื้นฐานหนึ่งที่มีความจำเป็นต่อการจำลองสถานการณ์โดยแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut เพื่ออธิบายการตอบสนองของถั่วลิสงต่อสภาพแวดล้อม ทั้งทางด้านการพัฒนาการ และด้านการเจริญเติบโต ถั่วลิสงแต่ละพันธุ์จะมีค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่แตกต่างกันไป ซึ่งค่าดังกล่าวได้มาจากการทดลองภายใต้สภาพเรือนทดลองที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้ หรือหากไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้จะต้องทำการประเมินจากข้อมูลของการปลูกถั่วลิสงในหลาย ๆ สภาพแวดล้อม (model calibration) (Hoogenboom et al., 1999) ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ใช้ในแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut นั้น มีทั้งหมด 15 ลักษณะ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ใช้สำหรับแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut

ลักษณะ- ช่วงพัฒนาการที่กำหนด	สัญลักษณ์	หน่วย
ค่าวันวิกฤตวันสั้น	CSDL	ชั่วโมง
ลักษณะความชันของพัฒนาการที่ตอบสนองต่อวันสั้น	PPSEN	1/ ชั่วโมง
ระยะเวลางอกถึงออกดอกแรก (VE-R1)	EMFL	Photothermal day
ระยะเวลาออกดอกแรกถึงเกิดเข็มแรก (R1-R2)	FLSH	Photothermal day
ระยะเวลาจากออกดอกแรกถึงเริ่มสร้างเมล็ด (R1-R5)	FLSD	Photothermal day
ระยะเวลาจากเริ่มสร้างเมล็ดถึงระยะสุกแก่ทางสรีระวิทยา	SDPM	Photothermal day
ระยะเวลาจากออกดอกแรกถึงระยะที่มีพื้นที่ใบสูงสุด	FLLF	Photothermal day
ระยะเวลาในการสร้างเมล็ด	SFDUR	Photothermal day
ระยะเวลาในการสร้างฝัก	PODUR	Photothermal day
อัตราการสังเคราะห์แสงสุงสุด	LFMAX	mg CO_2 /m^2/s
พื้นที่ใบจำเพาะ (specific leaf area ; SLA)	SLAVR	cm^2 / g
ขนาดใบสูงสุด	SIZIF	cm^2
น้ำหนักเมล็ด	WTPSD	g
จำนวนเมล็ดต่อฝัก	SDPDV	no.
การกระจายน้ำหนักแห้งไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช	XERT	-



2.4 ผลลัพธ์ (out put) จากการจำลองสถานการณ์ด้วยแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut

แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut จำลองช่วงระยะเวลาของพัฒนาการทางลำต้นและฝักของถั่วลิสง โดยเริ่มตั้งแต่ถั่วลิสงงอก จนกระทั่งถึงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา รวมถึงการจำลองการเจริญเติบโตรายวันขององค์ประกอบต้นพืช เช่น ใบ ลำต้น ฝัก และราก พร้อมทั้งคำนวณ ดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index, LAI) และพื้นที่ใบจำเพาะ (specific leaf area, SLA) นอกจากนี้แบบจำลองยังจำลองผลผลิตสุดท้าย องค์ประกอบผลผลิต การเปลี่ยนแปลงของน้ำและไนโตรเจนในดิน เป็นต้น (Hoogenboom et al., 1992)

2.5 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut

แนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยสนับสนุนการตัดสินใจทางการเกษตรนั้นมีหลายแนวทาง ตัวอย่างเช่น การใช้แบบจำลองช่วยประเมินการจัดการที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ประเมินศักยภาพการผลิตในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ประเมินความเสี่ยงในการผลิตภายใต้สภาพอากาศที่มีความแปรปรวน และการใช้แบบจำลองช่วยจำแนกสภาพแวดล้อมและกำหนดพื้นที่การผลิต เป็นต้น (Egli and Bruening, 1992; Meinke et al., 1993; Aggarwal and Kalra, 1994; Meinke and Hammer, 1995) นอกจากนี้ยังมีแนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut สำหรับงานปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสง เช่น การใช้แบบจำลองช่วยกำหนดลักษณะของถั่วลิสงที่มีศักยภาพการให้ผลผลิตสูง (plant-type design) สร้างความเข้าใจของการเกิดปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม (G X E) กำหนดสภาพแวดล้อมสำหรับปลูกทดสอบสายพันธุ์ถั่วลิสง (Aggarwal et al., 1995; White, 1998; White and Hoogenboom, 1996; Banterng et al., 2004; Suriharn et al., 2006; Phakamas et al., 2007; Anothai et al., 2009; Putto et al., 2009) และช่วยประเมินการแสดงออกของพันธุ์ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีน้ำและไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัด เป็นต้น

นอกจากนั้นแล้วแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ยังเป็นเครื่องมือที่เพิ่มทางเลือกในการประเมินช่องว่างของผลผลิตของถั่วลิสง ซึ่งปรีชา และคณะ (2548) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองดังกล่าวเพื่อประเมินขนาดของช่องว่างของผลผลิต และสาเหตุที่ทำให้เกิดช่องว่างของผลผลิตในพื้นที่ผลิตถั่วลิสงของเกษตรกรบ้านหนองแวงเดิด และบ้านเกษตรสมบูรณ์ตำบลน้ำพ่น อำเภอหนองวัวซอ จังหวัดอุดรธานี เพื่อช่วยกำหนดแนวทางการยกระดับผลผลิตของเกษตรกรในพื้นที่นั้นๆ ได้ และผลการศึกษาพบว่า ช่องว่างของผลผลิตมีค่าค่อนข้างมาก เฉลี่ย 2,489 กก./เฮกตาร์ในฤดูฝน และ 1,357 กก./เฮกตาร์ในฤดูแล้ง ในแต่ละเขตการผลิต ความแตกต่างของผลผลิตระหว่างแปลงเกษตรกรก็มีสูงจากการสังเกตแปลง พบว่า สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดช่องว่างของผลผลิตของถั่วลิสงในฤดูแล้งได้แก่การขาดน้ำ ขณะที่การมีน้ำขังเนื่องจากการเตรียมดินไม่ดีเป็นข้อจำกัดที่สำคัญ

ในฤดูฝน การวิเคราะห์ความอ่อนไหวโดยใช้แบบจำลองชี้ให้เห็นว่า การใช้พันธุ์ วันปลูก และอัตราปลูก ที่ไม่เหมาะสม ก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดช่องว่างของผลผลิตในทั้ง 2 ฤดู และทำให้ผลผลิตลดลง 29 % ในฤดูแล้ง และ 21 % ในฤดูฝน การขาดธาตุอาหารบางอย่าง โดยเฉพาะแคลเซี่ยมและฟอสฟอรัส อาจจะเป็นปัญหาในฤดูฝน แต่ไม่สามารถบอกได้ชัดเจนในการศึกษานี้ และต้องการการยืนยันจากการทดลองในแปลง

ถึงแม้ว่าจะมีตัวอย่างของการใช้แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยประเมินช่องว่างของผลผลิตของถั่วลิสง และสาเหตุของการเกิดช่องว่างของผลผลิตแล้ว แต่ในปัจจุบันนี้หลักฐานการศึกษาในลักษณะดังกล่าวยังมีน้อย อีกทั้งหากมีการนำแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ไปศึกษาในพื้นที่อื่น อาจให้ผลที่แตกต่างออกไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพื่อเพิ่มตัวอย่างของการประยุกต์ใช้แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ในการประเมินช่องว่างของผลผลิตของถั่วลิสง และสาเหตุของการเกิดช่องว่างผลผลิต และเพื่อสร้างความมั่นใจในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ในวัตถุประสงค์ดังกล่าว