แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช: ทางเลือกใหม่เพื่อช่วยงานวิจัยแบบดั้งเดิม

Crop growth modeling: a novel way to supplement conventional trial

นันทวุฒิ จงรั้งกลาง[1*]

Nuntawoot Jongrungklang[1*]

บทนำ

ในปัจจุบัน การเพิ่มจำนวนประชากรและการเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกพืชอาหารไม่สมดุลกัน ทำให้เกิดสภาวะความไม่มั่นคงทางอาหาร (food insecurity) การเพิ่มพื้นที่ทำการเกษตรเป็นวิธีการแก้ไขปัญหาที่ได้ผล แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้มีข้อจำกัดทางลักษณะพื้นที่ภูมิประเทศ และการแข่งขันการใช้พื้นที่การเกษตรกับการจัดสรรที่อยู่อาศัย การเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยแก้ไขปัญหาความไม่มั่นคงทางอาหารได้ซึ่งแนวทางนี้ ต้องพัฒนาทั้งด้านการเขตกรรมและการปรับปรุงพันธุ์พืช ความต้องการแก้ปัญหาดังกล่าวนักวิจัยได้ทำการศึกษารวบรวมและถ่ายทอดองค์ความรู้ไปสู่เกษตรกร เพื่อพัฒนาศักยภาพการผลิตพืชปลูกให้เหมาะสมกับความต้องการของประชากร อย่างไรก็ตาม งานวิจัยบางประเด็นมีข้อจำกัดมาก เช่น การศึกษาการเจริญเติบโตของรากพืชในพื้นที่ที่ประสบความแห้งแล้ง และการศึกษาการตอบสนองของพืชต่อการจัดการภายใต้เงื่อนไขของสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวปฏิบัติได้ยากและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง ต้องดำเนินการทดสอบในหลายๆ สถานที่ ดังนั้น เพื่อลดข้อจำกัดต่างๆ ของงานวิจัยเหล่านี้ จำเป็นอย่างยิ่งต้องมีเครื่องมือช่วยนักวิจัยให้สามารถศึกษาและพัฒนาพืชในแง่มุมที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น

แบบจำลองการเจริญเติบโตพืช (crop growth model) เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในงานวิจัยแบบจำลองสามารถจำลองสถานการณ์การเจริญเติบโตของพืชและผลผลิต ซึ่งจะลดแรงงานย่นระยะเวลา และลดค่าใช้จ่ายในงานวิจัยให้น้อยลง รวมถึงช่วยพัฒนาระบบการผลิตพืชทั้งในแง่ของการปรับปรุงพันธุ์ และการเขตกรรม (นิตยา, 2553ก) แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชเป็นแบบจำลองที่สามารถจำลองสมดุลของคาร์บอน น้ำและธาตุอาหาร โดยอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในต้นพืช เช่น การสังเคราะห์แสง การหายใจ การคายน้ำ การเจริญเติบโตและการแบ่งสันปันส่วนของอาหารที่ถูกสร้างขึ้น เชื่อมโยงกับปัจจัยสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น พลังงานรังสีดวงอาทิตย์ ความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินและอุณหภูมิรายวันเป็นต้น (Hunt and Boote, 1998)อย่างไรก็ตาม การใช้ประโยชน์จากแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเข้าใจอิทธิพลของปัจจัยสภาพ

[1] ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002
Department of Plant Science and Agricultural Resources, Faculty of Agriculture, KhonKaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

* Corresponding author: nuntjo@kku.ac.th

แวดล้อมภายนอกที่มีผลต่อการจำลองสถานการณ์ ข้อมูลตัวป้อน และกระบวนการทำงานของแบบจำลอง ซึ่งจะนำไปสู่การจำลองสถานการณ์ที่มีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช นันทวุฒิ และคณะ (2554) พัฒนาข้อมูลตัวป้อนปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางดินในสภาพดินทรายในถั่วลิสง 2 พันธุ์ที่มีกลุ่มพันธุ์ (Spanish type: Tainan 9 และ Virginia types: KK 60-3) แตกต่างกัน โดยปรับค่าปัจจัยการเจริญเติบโตของราก (root growth factor) ซึ่งมีความแปรปรวนสูง เนื่องมาจากสภาพแวดล้อมทางดิน ซึ่งในปัจจุบัน แบบจำลองการเจริญเติบโตของถั่วลิสงยังไม่สามารถกำหนดปัจจัยตัวป้อนที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของรากได้ครบทุกปัจจัย ทำให้การทำนายลักษณะบางลักษณะของรากไม่แม่นยำเพียงพอ การปรับปรุงข้อจำกัดด้านกระบวนการทำงานของแบบจำลองตามปัจจัยสภาพแวดล้อมภายนอกในแต่ละพื้นที่ให้เหมาะสม จะนำไปสู่การพัฒนาแบบจำลองให้ทำนายได้แม่นยำมากขึ้น (Bingham and Wu, 2011)

วัตถุประสงค์ของการรวบรวมข้อมูลครั้งนี้ เพื่อสร้างความเข้าใจกระบวนการทำงานของแบบจำลองโดยเชื่อมโยงอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมต่อสรีรวิทยาในแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช และกล่าวถึงองค์ประกอบและกระบวนการทำงานของแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ข้อมูลตัวป้อน ผลลัพธ์ และการประเมินแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชตลอดจน การประยุกต์ใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตพืช ซึ่งข้อมูลนี้จะเป็นประโยชน์ในการช่วยงานวิจัยแบบดั่งเดิมที่มีข้อจำกัดด้านเงื่อนไขของสภาพแวดล้อม สถานที่ และเวลาได้

อิทธิพลของสิ่งแวดล้อมต่อสรีรวิทยาในแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช

แสงอุณหภูมิน้ำและความชื้นในอากาศ เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของพืชปลูก ซึ่งกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชมีความซับซ้อน พืชแต่ละชนิดมีการตอบสนองของกระบวนการทางสรีรวิทยาต่อสภาพแวดล้อมแตกต่างกันออกไป ในแบบจำลองก็เช่นเดียวกัน ปัจจัยสิ่งแวดล้อมเหล่านี้เกี่ยวข้องในระบบของแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชกล่าวคือ ปัจจัยแสงและอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลโดยตรงกับศักยภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงและการคายน้ำ ส่วนความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินและความชื้นในอากาศเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการคายน้ำของพืช เกี่ยวข้องกับการเปิด-ปิดของปากใบ ซึ่งส่งผลต่อการแพร่ CO_2 ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเข้าสู่ใบพืช ดังนั้นปัจจัยน้ำและความชื้น จึงมีผลเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงของพืชด้วย สารที่ได้จากการสังเคราะห์แสง (assimilates) จะถูกลำเลียงไปสำรองเพื่อใช้ในกระบวนการเจริญเติบโต หรือกระบวนการรักษาโครงสร้าง โดยสัดส่วนของสารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงที่นำไปสู่กระบวนการซ่อมแซมโครงสร้างขึ้นอยู่กับขนาดของโครงสร้างชีวภาพของพืช ซึ่งโครงสร้างชีวภาพนี้ถูกกำหนดด้วยระยะพัฒนาการของพืช ซึ่งมีอุณหภูมิเป็นปัจจัยควบคุมจากภายนอกการขยายโครงสร้างชีวภาพของใบจะมีผลกลับไปเกี่ยวข้องกับศักยภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงและการคายน้ำซึ่งความสัมพันธ์ของปัจจัยภายนอกและกระบวนการทางสรีรวิทยาดังแสดงใน Figure 1

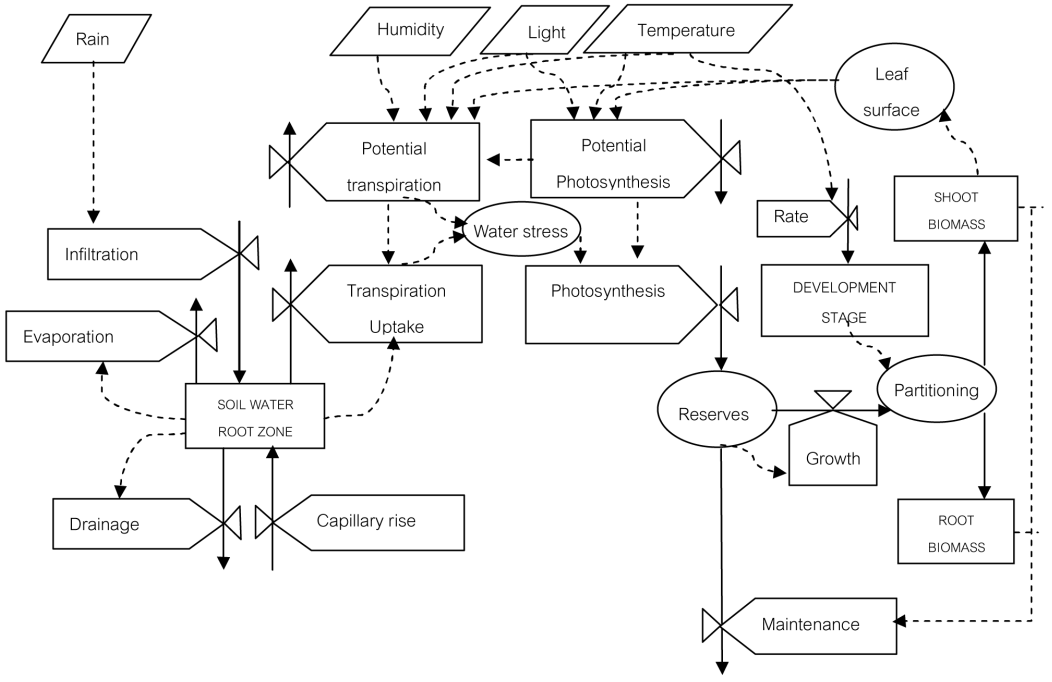


Figure 1 A relational diagram ofsoil water-limited routine, showing the connection between external variables and physiological function. Rectangles represent state variable (current status of the system); Valve symbols, rate variable (the rate or speed of change in a state variable); circle, auxiliary variable; parallelogram, driving or external variable; full lines, flows of material; dashed lines, information flow (symbols according to Forrester, 1961; Goudriaan and van Laar, 1994).

Source: Modified from Penning de Vries et al. (1989)

ระบบการทำงานของแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชที่ตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ นั้น เป็นระบบที่มีความซับซ้อน ซึ่งประกอบด้วย ระบบย่อย เช่น ระบบพัฒนาการของพืช การสร้างอาหาร การกระจายน้ำหนักแห้ง การพัฒนาพื้นที่ใบ และการสร้างผลผลิตน้ำหนักแห้ง เป็นต้น สำหรับระบบที่อธิบายอิทธิพลของอุณหภูมิต่อพัฒนาการของพืช ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิรายวัน (average daily temperature) อุณหภูมิต่ำสุดสำหรับการพัฒนาการ (base temperature for development) อุณหภูมิสูงสุดสำหรับการพัฒนาการ(ceiling temperature for development) อุณหภูมิต่ำสุดของช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาการ(lower optimum temperature for development) อุณหภูมิสูงสุดของช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาการ (upper optimum temperature for development) และtemperature function สำหรับการพัฒนาการ ซึ่งข้อมูลต่างๆ เหล่านี้จะมีความแตกต่างออกไปในแต่ละชนิดพืช (Soltani and Sinclair, 2012)

temperature function มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ตามเงื่อนไข 3 แบบ (**Figure 2**) คือ 1) ค่า temperature function เท่ากับ 0 ถ้าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิรายวันน้อยกว่าอุณหภูมิต่ำสุดสำหรับการพัฒนาการหรือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิรายวันสูงกว่าอุณหภูมิสูงสุดสำหรับการพัฒนาการ 2) ค่า temperature function เท่ากับ 1 ถ้าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิรายวันอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาการและ 3) ค่า temperature function อยู่ระหว่าง 0.1-0.9 ตามค่าคำนวณของกราฟ

มาตรฐาน ถ้าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิรายวันอยู่ระหว่างอุณหภูมิต่ำสุดสำหรับการพัฒนาการกับอุณหภูมิต่ำสุดของช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาการ หรือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิรายวัน อยู่ระหว่างอุณหภูมิสูงสุดของช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับอุณหภูมิสูงสุดสำหรับการพัฒนาการโดยค่า temperature function คำนวณได้จากสูตร

Temperature function (°C) =
(average daily temperature - base temperature)/
(lower optimum temperature - base temperature) (1)

ถ้า base temperature < average daily temperature < lower optimum temperature

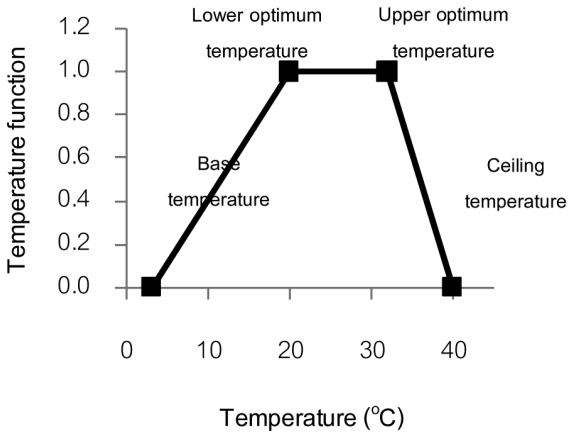


Figure 2 Response of temperature function to temperature, markers from left to right are base temperature (3°C), lower optimum temperature (20°C), upper optimum temperature (32°C) and ceiling temperature (40°C)
Source: Modified from Soltani and Sinclair (2012)

ค่า temperature function สำหรับการพัฒนาการเกี่ยวข้องกับtemperature unit ของพืชดังสูตรที่ 2 ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนระยะพัฒนาการ โดยพืชต้องมีค่า cumulative temperature unit ตามที่แต่ละระยะพัฒนาการของพืชนั้นๆ ต้องการพืชจึงจะเปลี่ยนระยะพัฒนาการ

Daily temperature unit (°C) =
(lower optimum temperature - base temperature) x
temperature function (2)

นอกจากนั้นแล้ว ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตหรือการสะสมน้ำหนักแห้งขึ้นอยู่กับ 1) คลื่นรังสีดวงอาทิตย์ที่พืชสามารถนำเอาพลังงาน (photon) ไปใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthetic active radiation; PAR) 2) สัดส่วนของการรับแสงของใบในช่วง PAR(fraction intercepted PAR; FINT) ซึ่งดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index; LAI) และค่าสัมประสิทธิ์ของ PAR (kPAR) เป็นปัจจัยกำหนดค่า FINT และ 3) ประสิทธิภาพการใช้รังสีดวงอาทิตย์ (radiation use efficiency; RUE) ซึ่งขึ้นอยู่กับศักยภาพของประสิทธิภาพการใช้รังสีดวงอาทิตย์ (potential RUE; pRUE) และความสัมพันธ์ของปัจจัยอุณหภูมิสำหรับประสิทธิภาพการใช้รังสีดวงอาทิตย์ (temperature correlation factor for RUE; TCFRUE) ซึ่งมีหลักการคำนวณทำนองเดียวกันกับ temperature function การสะสมน้ำหนักแห้งมีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องดัง **Figure 3**

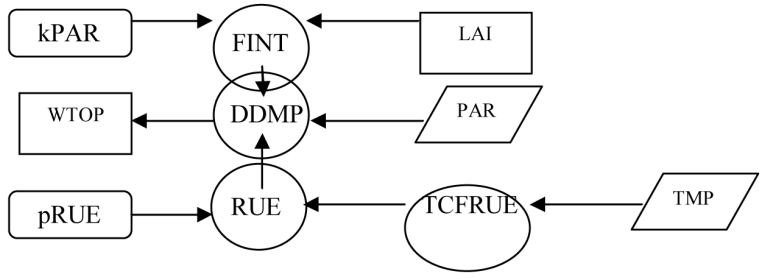


Figure 3 A relational diagram of dry matter production subroutine. Rectangles represent state variable, circle symbols; rate variable, rounded rectangle; crop parameter, parallelogram; driving or external variable; the leaf are index (LAI), photosynthetic active radiation (PAR), the fraction intercepted PAR (FINT)the extinction forPAR (kPAR), radiation use efficiency (RUE),the potential RUE(pRUE),the temperature correlation factor for RUE (TCFRUE), the daily dry matter production (DDMP) and the total aboveground crop mass (WTOP) (symbols according to Goudriaan and van Laar, 1994).

Source: Modified from Soltani and Sinclair (2012)

ข้อมูลตัวป้อนของแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช

โปรแกรมแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชที่รู้จักกันในปัจจุบัน เช่น Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) เป็นโปรแกรมแบบจำลอง ที่มีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์อย่าง FORTRAN และ BASIC มาจำลองสถานการณ์การเจริญเติบโตของพืชเพื่อใช้ในการพัฒนาและแก้ปัญหาทางการเกษตรที่เกิดขึ้นจริงในปัจจุบัน แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชที่ถูกบรรจุไว้ในโปรแกรม DSSAT ได้แก่ CROPGRO-Soybean, CROPGRO-Peanut, CERES-Rice, CERES-Maize, CSCRP-Cassava และCANEGRO-Sugarcane เป็นต้น ซึ่ง DSSAT ต้องการข้อมูลตัวป้อนสำหรับการปฏิบัติงานของแบบจำลอง(model operation) ได้แก่ ข้อมูลฟ้าอากาศ (weather data) ข้อมูลดิน (soil data) ข้อมูลการจัดการแปลงปลูกพืช (management data) และข้อมูลพืช (genetic coefficients; GC) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีผลต่อศักยภาพในการจำลองสถานการณ์การเจริญเติบโตของพืช (Hunt and Boote, 1998)

ข้อมูลฟ้าอากาศรายวันที่จำเป็นสำหรับการจำลองการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน (mm) พลังงานรังสีดวงอาทิตย์ ($MJ/m^2/day$) อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด (^0C) ซึ่งต้องครอบคลุมตลอดอายุการเจริญเติบโตของพืชที่ศึกษา นอกจากนี้ การสร้างไฟล์ข้อมูลฟ้าอากาศ จำเป็นต้องป้อนข้อมูลสถานที่ทำการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของแบบจำลองเช่น ข้อมูล ละติจูด ลองติจูด ความสูงจากระดับน้ำทะเล อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี และความกว้างของอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีเป็นต้น ไฟล์ข้อมูลฟ้าอากาศใน DSSAT คือ File W โดยส่วนใหญ่นิยมตั้งชื่อไฟล์ให้สื่อถึงสถานที่และปีที่เก็บข้อมูล เช่น THKK1201.WTH นั่นคือ ข้อมูลฟ้าอากาศประเทศไทย (TH) ที่สถานีตรวจวัดอากาศจังหวัดขอนแก่น (KK) ซึ่งปีที่บันทึกข้อมูล คือ 2012 (12) สถานีตรวจอากาศที่ 1 (01)

ข้อมูลดินประกอบด้วย ข้อมูลที่แสดงถึงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน ในแต่ละชั้นดิน โดยให้ครอบคลุมความลึกตามความต้องการที่จะศึกษาข้อมูลทางกายภาพของดิน ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ของ sand silt และ clay ความสามารถในการระบายน้ำ ความหนาแน่นของดิน (bulk density) รวมถึงความแตกต่างของโครงสร้างดินในแต่ละระดับความลึก ส่วนข้อมูลทางเคมีของดินนั้นประกอบด้วย ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม ค่าความเป็นกรดด่างของดิน และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (cations

exchange capacity; CEC) อีกทั้งสามารถใช้ข้อมูลที่กล่าวมาทั้งหมดนี้คำนวณข้อมูลดินอื่นๆ ในแบบจำลอง เช่น ปริมาณน้ำที่อิ่มตัวในดิน (saturated water content) ความชื้นระดับสนาม (field capacity/ drained upper limit of soil water content) และปริมาณน้ำต่ำที่สุดที่พืชนำไปใช้ (lower limit of plant extractable water) ใน DSSAT เรียกไฟล์นี้ว่า File S โดยการสร้างข้อมูลดินต้องสร้างต่อท้าย ข้อมูลชุดดินที่มีอยู่เดิมในไฟล์ soil.sol และควรตั้งชื่อให้สื่อถึงชุดดินและสถานที่เก็บข้อมูล

ข้อมูลการจัดการที่จำเป็นสำหรับแบบจำลองในโปรแกรม DSSAT นั้น ประกอบด้วย วันปลูก ระยะปลูก ความลึกของการปลูก วันงอก ความหนาแน่นของประชากรพืชต่อตารางเมตร และวันเก็บเกี่ยวผลผลิต ในด้านการจัดการน้ำ ต้องมีรายละเอียดวิธีการ วันที่และปริมาณการให้น้ำในแต่ละครั้ง ส่วนการจัดการปุ๋ยปัจจุบันแบบจำลองส่วนใหญ่สามารถจำลองสมดุลของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในพืชและดิน ดังนั้นจำเป็นต้องมีข้อมูล ประเภทของปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัส จำนวนครั้งปริมาณการให้ปุ๋ย วิธีการให้และระดับความลึกของการให้ปุ๋ยข้อมูลการจัดการเก็บในรูป File X โดยนิยมตั้งชื่อไฟล์ให้สื่อถึงงานวิจัย เช่น KKNP1201.MZX นั่นคือ ข้อมูลการจัดการแปลงข้าวโพด (.MZX) ที่จังหวัดขอนแก่น (KK) อำเภอน้ำพอง (NP) ซึ่งปีที่วิจัย คือ 2012 (12) งานวิจัยหมายเลข 1 (01)

ข้อมูลแสดงลักษณะจำเพาะของพันธุ์พืช หรือค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม เป็นข้อมูลที่อธิบายการตอบสนองของพืชต่อสภาวะแวดล้อม ทั้งทางด้านพัฒนาการและการเจริญเติบโต พืชแต่ละพันธุ์จะมีค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่แตกต่างกัน ซึ่งค่าดังกล่าวได้มาจากการทดลองภายใต้สภาพเรือนทดลองที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้ หรือหากไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้ นักวิจัยต้องทำการประเมินจากข้อมูลการปลูกพืชในหลายๆ สภาพแวดล้อม (Boote et al., 1989; Hoogenboom et al., 1999) ในขั้นตอนการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมต้องทำในสภาพที่ไม่มีความเครียดจากสภาพแวดล้อม (IBSNAT, 1988) ในแบบจำลองการเจริญเติบโตของถั่วลิสง (CSM-CROPGRO-Peanut model) การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมต้องการข้อมูลเพื่อปรับค่า (model calibration) อย่างน้อย 2 ฤดูปลูกที่แตกต่างกัน (Banterng et al., 2004; Banterng et al., 2006 และ Suriharn et al., 2007) และเพื่อประเมินค่าที่ได้จากการปรับค่า (model validation/ model evaluation) อย่างน้อย 1 ฤดู โดยข้อมูลที่บันทึกสำหรับการปรับค่า ได้แก่ ข้อมูลพัฒนาการ ซึ่งอย่างน้อยประกอบด้วย ระยะออกดอก (R1) และ ระยะสุกแก่ (R8) และข้อมูลการเจริญเติบโต ประกอบด้วย มวลชีวภาพรวม น้ำหนักต้นแห้ง น้ำหนักใบแห้ง น้ำหนักฝักแห้งน้ำหนักเมล็ด ดัชนีเก็บเกี่ยวฝักและดัชนีเก็บเกี่ยวเมล็ด เป็นต้น (Anothai et al., 2008) ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมจัดเก็บในรูป File C ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมไม่เหมือนกัน เช่น ในข้าวโพดมีค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม 8 ค่า บรรจุในไฟล์ชื่อ MZCER045.CUL แต่ถั่วลิสงมีค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม 15 ค่า บรรจุในไฟล์ชื่อ PNGRO045.CULนอกจากนี้ ทั้ง model calibration และ evaluation จำเป็นต้องเตรียมไฟล์ข้อมูลระยะพัฒนาการและการเจริญเติบโตในแปลงทดลองจริง โดยใน DSSAT ไฟล์ข้อมูลค่าสังเกตระยะพัฒนาการและการเจริญเติบโตจากการทดลอง แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ 1) ข้อมูลพืชที่เก็บเป็นลำดับเวลาของชีพจักรพืช (time series data) ซึ่งเรียกว่า File T (KKNP1201.MZT อธิบายการระบุชื่อ file ดังเช่นfile X) 2) ข้อมูลพืชที่อายุเก็บเกี่ยว (end season data หรือ accumulated data) ซึ่งเรียกว่า File A (KKNP1201.MZA)

กระบวนการทำงาน ผลลัพธ์ และการประเมินแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช

ในระบบการทำงานของแบบจำลองในโปรแกรม DSSAT มีขั้นตอนการจำลองสถานการณ์พืชเป็นศูนย์กลางของระบบ ข้อมูลตัวป้อนเป็นส่วนเริ่มของกระบวนการซึ่งไฟล์การจัดการเป็นตัวป้อนหลักที่มีการ

ระบุรหัสเชื่อมโยงไปสู่ข้อมูลฟ้าอากาศ ข้อมูลดิน และข้อมูลพืชจากนั้น ระบบจะดึงข้อมูลตัวป้อนทั้งหมดไปใช้ในการจำลองสถานการณ์ ดังนั้น การสร้างไฟล์ข้อมูลตัวป้อนควรต้องสร้างข้อมูลฟ้าอากาศ ข้อมูลดิน และข้อมูลพืชให้เสร็จ แล้วจึงสร้างไฟล์การจัดการให้เชื่อมโยงไปสู่ไฟล์ตัวป้อนอื่นๆ หลังจากกระบวนการจำลองสถานการณ์เสร็จสิ้น ในบางวัตถุประสงค์ของการใช้แบบจำลองยังจำเป็นต้องตรวจสอบศักยภาพของแบบจำลองก่อนที่จะนำไปใช้ เช่น การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม หรือทดสอบศักยภาพของซอฟแวร์ตัวช่วยในการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม เป็นต้น ไฟล์ข้อมูลจากการทดลองจริงเข้าสู่ระบบเพื่อใช้เปรียบเทียบข้อมูลระยะพัฒนาการและการเจริญเติบโตของพืชระหว่างข้อมูลจากการทดลองจริงและข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ (Figure 4) ขั้นตอนนี้เป็นการประเมินศักยภาพของแบบจำลองว่ามีความแม่นยำพอหรือไม่

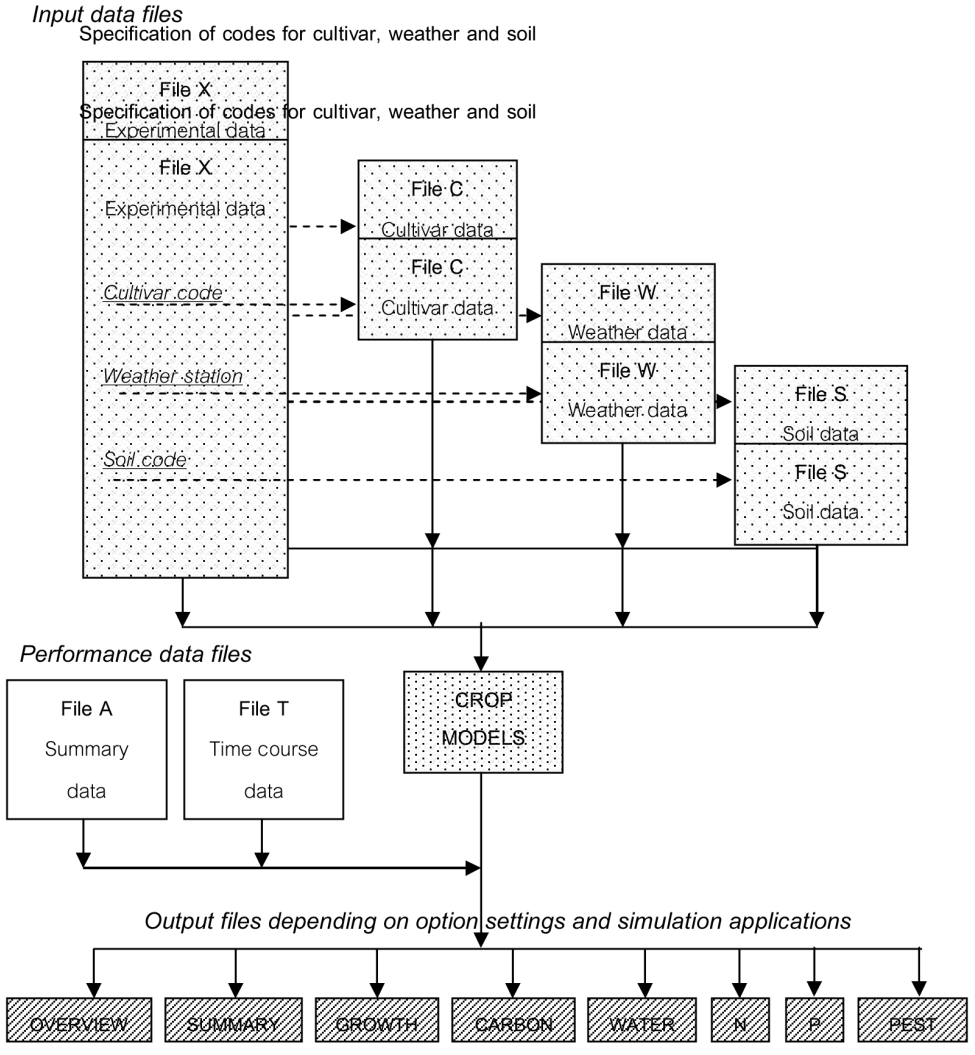


Figure 4 Schematic of the main components of DSSAT.

Source: modified from Jones et al., (1998)

ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ ได้แก่ สมดุลของคาร์บอน น้ำ ธาตุอาหาร และผลจากการเข้าทำลายของศัตรูพืช ซึ่งเกี่ยวข้องกับการพัฒนาการและการเจริญเติบโตของพืชไฟล์ผลลัพธ์หลักที่แสดงข้อมูลต่างๆเหล่านี้ได้แก่ 1) overview output เป็นไฟล์สรุปข้อมูลตัวป้อน สภาพแวดล้อมและความเครียดที่เกิดขึ้น การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชจากการจำลองสถานการณ์ รวมถึงข้อมูลเปรียบเทียบระยะพัฒนาการและผลผลิตระหว่างข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์และข้อมูลจริงจากแปลงทดลอง 2) summary output เป็นไฟล์แสดงข้อมูลคล้ายกับ overview output แต่ไฟล์นี้เน้นการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างทรีตเมนต์ที่จำลองสถานการณ์ เช่น วันพัฒนาการ การเจริญเติบโต ผลผลิต ปัจจัยน้ำและธาตุอาหาร 3) growth output เป็นไฟล์ที่แสดงผลการเจริญเติบโตของพืชแบบรายวันตั้งแต่เริ่มต้นปลูกจนถึงวันเก็บเกี่ยว ซึ่งลักษณะการเจริญเติบโตที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ของ DSSAT ได้แก่ ระยะพัฒนาการ น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งใบ น้ำหนักแห้งราก ความหนาแน่นราก พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และดัชนีเก็บเกี่ยว เป็นต้น

สำหรับการประเมินศักยภาพของแบบจำลองจะพิจารณาจากค่าความสอดคล้องระหว่างข้อมูลจากการทดลองจริงและข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ด้วยค่า root mean squares error (RMSE), Normalized root mean square error (RMSEn) และ agreement index (*d*) โดยค่าแสดงความสอดคล้องที่ดีคือ มีค่า RMSE ต่ำ และมีค่า *d* เข้าใกล้ 1 ซึ่งคำนวณได้ดังสูตร (Willmott, 1982; Rinal di et al., 2003)

สมการการคำนวณหาค่า RMSE คือ

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \quad (3)$$

เมื่อ P_i = ค่าจำลองสถานการณ์หน่วยทดลองที่ i^{th} O_i = ค่าสังเกตหน่วยทดลองที่ i^{th}และ n = จำนวนหน่วยทดลอง

สมการการคำนวณหาค่า RMSEn คือ

$$RMSEn = \frac{RMSE \times 100}{\bar{O}}$$

เมื่อ $\bar{O}$ = ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกต

สมการการคำนวณหาค่า *d* คือ

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P'_i| + |O'_i|)^2}\right], 0 \leq d \leq 1 \quad (4)$$

เมื่อ n = จำนวนหน่วยทดลอง P_i = ค่าจำลองสถานการณ์หน่วยทดลองที่ i^{th} O_i = ค่าสังเกตหน่วยทดลองที่ i^{th} $\bar{O}$ = ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกต $P'_i = P_i - \bar{O}$ และ $O'_i = O_i - \bar{O}$

การประยุกต์ใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตพืช

การประยุกต์ใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตพืชแบ่งออกเป็น 3 แนวทาง (Soltani and Sinclair, 2012) ได้แก่ 1) การประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในงานวิจัย 2) การประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการจัดการพืชปลูก และ 3) การประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการเรียนการสอน ดังสรุปไว้ใน Table 1

Table 1 The different types of model's application

Using crop models in research
Integration of research knowledge
Integration of knowledge across discipline
Improvement in experiment documentation
Crop genetic improvement
Crop management improvement
Yield analysis
Response to climate variability and change
Environmental impact of crop production
Using crop models as a tool in crop management
Best management practices
Pre-sowing and in-season decision aid for framers
Site-specific or precision framing
Pre-harvest yield forecasting
Using crop models in education
Student education
Farmer education

Source: Soltani and Sinclair (2012)

นิตยา (2553ข) รายงานการประยุกต์ใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตพืชทางการเกษตร ทั้งทางด้านการปรับปรุงพันธุ์ การผลิตพืช และระบบการปลูกพืช

ซึ่งในงานวิจัยด้านต่างๆเหล่านี้ มีชนิดของงานวิจัยต้องใช้ระยะเวลาในการศึกษานานหลายปี ศึกษาหลายสถานที่ สิ้นเปลืองเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายมาก ดังเช่น การศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตของรากพืช ซึ่งเป็นการศึกษาที่ต้องใช้เครื่องมือจำเพาะ อีกทั้งการเก็บข้อมูลในสภาพแปลงทดลองยังสิ้นเปลืองแรงงานและเวลามาก ข้อจำกัดของการศึกษารากพืชนี้ ทำให้ไม่สามารถศึกษารากพืชในงานวิจัยที่มีจำนวนพันธุ์มาก เช่น ในการประเมินพันธุ์ทนแล้งในเชื้อพันธุกรรมขนาดใหญ่ เพราะจะทำให้เกิดความคาดเคลื่อนของข้อมูลสูง Bingham and Wu (2011) รายงานการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อช่วยศึกษาลักษณะที่ตรวจวัดได้ยากอย่างรากข้าวสาลี ซึ่งศึกษาการจำลองสถานการณ์น้ำหนักแห้งราก ความยาวราก และการกระจายตัวของรากของข้าวสาลีในแบบจำลอง SPACSYS การศึกษาการตอบสนองของพืชต่อการจัดการภายใต้เงื่อนไขของสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวปฏิบัติได้ยากและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง ต้องดำเนินการทดสอบในหลายๆ สถานที่ ดังเช่นการทดสอบ เช่น การนำแบบประเมินการเจริญเติบโตของพืชมาใช้ในงานวิจัยด้านการเกษตรมีมากมาย เช่นการประเมินความดีเด่น และเสถียรภาพของสายพันธุ์ซึ่ง Banterng et al. (2003, 2006) และ Suriharn et al. (2008) ศึกษาการนำแบบจำลอง CSM-Peanut-Model มาใช้ประเมินความดีเด่นและเสถียรภาพของถั่วลิสงสายพันธุ์ต่างๆ ในหลายสภาพแวดล้อมการศึกษาปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม โดย Phakamas et al. (2008, 2010) ใช้แบบจำลอง CSM-Peanut-Model ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมและรูปแบบการตอบสนองของปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชสามารถนำมาช่วยในการวิจัยทางการเกษตรได้อย่างหลากหลาย การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการวิจัยจะเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับงานวิจัยในยุคปัจจุบัน โดยจะช่วยขจัดข้อจำกัดทางการวิจัยให้น้อยลง และจะนำไปสู่การวิจัยในแง่มุมที่กว้างขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

นิตยา ผกามาศ. 2553ก. การประยุกต์ใช้แบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut สำหรับการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงในประเทศไทย. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 28 (3): 107-113.

นิตยา ผกามาศ. 2553ข.การพัฒนาแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชเพื่องานวิจัยทางการเกษตร. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 28 (3): 107-113.

นันทวุฒิ จงรั้งกลาง, บรรยง ทุมแสน, สนั่น จอกลอย, นิมิตร วรสูต, พัชริน ส่งศรี และ อารันต์ พัฒโนทัย. 2554. การปรับค่าสัมประสิทธิ์เพื่อปรับปรุงความแม่นยำของแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ในการเจริญเติบโตของรากถั่วลิสง. แก่นเกษตร. 39 ฉบับพิเศษ 3: 28-37.

Anothai, J., A. Patanothai, K. Pannangpetch, S. Jogloy, K.J. Boote, and G. Hoogenboom.2008. Reduction in data collection for determination of cultivar coefficients for breeding application. Agric. Syst. 96: 195-206.

Banterng, P., A. Patanothai, K. Pannangpetch, S. Jogloy, and G. Hoogenboom. 2003. Applicability of the CROPGRO-Peanutmodel in assisting multi-location evaluation of peanut breeding lines. Thai J. Agric. Sci. 37:407-418.

Banterng, P., A. Patanothai, K. Pannangpetch, S. Jogloy, and G. Hoogenboom. 2004. Determination and evaluation of genetic coefficients of peanut lines for breeding applications. Europ. J. Agronomy. 21: 297-310.

Banterng, P., A. Patanothai, K. Pannangpetch, S. Jogloy, and G. Hoogenboom. 2006. Yield stability evaluation of peanut breeding lines: A comparison of an experimental versus a simulation approach. Field Crops Res. 96:168-175.

Bingham, I. J., and L. Wu. 2011. Simulation of wheat growth using the 3D root architecture model SPACSYS: Validation and sensitivity analysis. Europ. J. Agronomy. 34: 181-189.

Boote, K.J., J.W. Jones, and G. Hoogenboom. 1998. Simulationof crop growth: CROPGRO Model. pp. 651-692. *In* R.M.Peart and R.B. Curry (Eds.) Agricultural systems modelingand simulation. Marcel Dekker, New York.

Forrester, J.W. 1961. Industrial dynamics. MIT Press, Boston.

Goudriaan, J., and H.H. van Laar.1994. Modeling Potential crop growth processes. Kluwer Academic Press, Dordrecht, the Netherlands.

Hoogenboom, G., P.W. Wilkens, and G.Y. Tsuji. 1999. DSSAT v3,Vol. 4. University of Hawaii, Honolulu, HI.

Hunt, L.A. and K.J. Boote. 1998. Data formodel operation, calibration and evaluation, pp. 9-39. *In*G.Y.Tsuji, G. Hoogenboom, and P.K. Thornton (Eds.), Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.

IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer Project). 1988. Technical report 1. Experimental design and data collection procedure for IBSNAT. The minimum data sets for systems analysis and crop simulation, 3rd (Eds.). University of Hawaii, Honolulu, HI.

Jones, J.W., G.Y. Tsuji, G. Hoogenboom, L.A. Hunt, P.K. Thornton, P.W.Wilkens, D.T. Imamura, W.T. Bowen, and U. Singh. 1998. Decision support system for agrotechnology transfer: DSSAT v3. pp. 157-177. *In*G.Y. Tsuji, G. Hoogenboom, and P.K. Thornton (Eds.), Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.

Phakamas, N., A. Patanothai, K. Pannangpetch, S. Jogloy, and G. Hoogenboom. 2008. Dynamic patterns of components ofgenotype x environment interaction for pod yield of peanut over multiple years: a simulation approach. Field CropsRes.106: 9-21.

Phakamas, N., A. Patanothai, K. Pannangpetch, S. Jogloy, and G. Hoogenboom. 2010. Determinatjon of adaptiveresponses of peanut genotypes and patterns of genotype x location interaction using the CSM-CROPGRO-Peanutmodel. Int. J. Plant Production. 4: 223-234.

Penning de Vries, F.W.T., D.M. Jansen, H.F.M. ten Berge, and A. Bakema. 1989. Simulation of ecophysiological processes ofgrowth in several annual crops. Centre of Agricultural Publishing and Documentation (Pudoc), Wageningen, the Netherland.

Rinaldi, M., N. Losavio, and Z. Flagella. 2003. Evaluation and application of the OILCROP-SUN model for sunflower in southern Italy. Agric. Syst. 78: 17-30.

Soltani, A.and T.R. Sinclair. 2012. Modelling physiology of crop development, growth and yield. CAB International, British Library, London, UK.

Suriharn, B., A. Patanothai, K. Pannangpetch, S. Jogloy, and G. Hoogenboom. 2007. Determination of cultivar coefficients of peanut lines for breeding applications of the CSM-CROPGRO-Peanut Model. Crop Sci. 47: 605 - 619.

Suriharn, B., A. Patanothai, K. Pannangpetch, S. Jogloy, and G. Hoogenboom. 2008. Yield performance and stabilityevaluation of peanut breeding lines with the CSM-CROPGRO- Peanut model. Crop Sci. 48: 1365 - 1372.

Willmott, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bull. Amer. Meteor. Soc. 63:1309-1313.