

การปรับค่าสัมประสิทธิ์เพื่อปรับปรุงความแม่นยำของแบบจำลอง CSM-CROPGRO-Peanut ในการเจริญเติบโตของรากถั่วลิสง

Adjustment of coefficients for improving accurate prediction in root growth of peanut in CSM-CROPGRO-Peanut Model

นันทวุฒิ จรุงกลาง¹, บรรยง ทูมแสน¹, สันน จอกลอย^{1*}, นิมิตร วรสุต¹,
พัชริน ส่องศรี¹ และ อารันต์ พัฒนไทย¹

Nuntawoot Jongrunklang¹, Banyong Toomsan¹, Sanun Jogloy^{1*},
Nimitr Vorasoot¹ Patcharin Songsri¹ and Aran Patanothai¹

บทคัดย่อ: ในปัจจุบันแบบจำลองการเจริญเติบโตของถั่วลิสงยังไม่สามารถกำหนดปัจจัยตัวป้อนในแบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของรากได้ครบทุกปัจจัย ทำให้การทำนายลักษณะบางลักษณะของรากไม่แม่นยำเพียงพอ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การปรับค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของรากถั่วลิสงให้เหมาะสมกับพันธุ์และสภาพแวดล้อมที่ทำการศึกษา ในการทดลองนี้ ทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของรากถั่วลิสง 2 ส่วน ได้แก่ 1) ปรับค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งส่วนบนส่วนสารอาหารจากส่วนเหนือดินไปสู่ส่วนของรากในระยะเวลาการเจริญเติบโตของต้น (vegetative partitioning parameters; fraction partitioning to leaf (YLEAF)) และ 2) ปรับค่าการเจริญเติบโตของรากในดิน (soil root growth factor; SRGF) ในแต่ละชั้นความลึก พิจารณาความสอดคล้องระหว่างข้อมูลสังเกตและข้อมูลทำนาย โดยใช้ค่า root mean square error (RMSE) และ index of agreement (d) พบว่า การปรับค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของรากทั้ง YLEAF และ SRGF สามารถปรับปรุงความแม่นยำในการทำนายลักษณะราก ได้แก่ น้ำหนักแห้งราก และ ความหนาแน่นราก (root length density; RLD) ในแต่ละชั้นความลึกของดิน โดยทำให้ค่าความสอดคล้องระหว่างข้อมูลสังเกตและข้อมูลทำนายดีขึ้น คือ ค่า RMSE ต่ำลง และ ค่า d เข้าใกล้ 1 มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ การปรับค่า YLEAF ยังช่วยปรับค่าความสอดคล้องระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนายของน้ำหนักแห้งทั้งหมดได้ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงข้อมูลตัวป้อนในแบบจำลองให้สอดคล้องกับการเจริญเติบโตของรากของพันธุ์ถั่วลิสงในพื้นที่ต่างๆ ต่อไป

คำสำคัญ: น้ำหนักแห้งทั้งหมด, น้ำหนักแห้งราก, ความหนาแน่นราก, ความสอดคล้องทางสถิติ

ABSTRACT: The important input factors that affect root growth under field conditions have not been included in CSM-CROPGRO-Peanut model, resulting in poor simulation of some rooting traits. Hence, the objective of this study was to optimize root growth factors for obtaining the suitable value with particular genotypes and environments. Two root growth factors including 1) fraction partitioning to leaf (YLEAF) and 2) root growth factor in soil layers were adjusted. Root mean square error (RMSE) and index of agreement (d) that were the statistical agreement between observed data and simulated data were used for considering the best fit values of root growth factor. The statistical agreement between observed and simulated data of root dry weight and root length density (RLD) in soil profiles

¹ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

Department of Plant Science and Agricultural Resources, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

* Corresponding author: sanun@kku.ac.th

derived from modified values were better than default values, as lower RMSE and higher d . In addition, the adjustment of YLEAF also improved the statistical agreement of total dry matter. The information from this study can apply for improving input data to optimize the model performance with other genotypes and environments.

Keywords: total dry matter, root dry weight, root length density, statistical agreement

บทนำ

การปรับตัวของรากนับว่าเป็นกลไกที่สำคัญใน ถั่วลิสงที่ประสบสภาวะการขาดน้ำ ถั่วลิสงที่มีระบบราก เจริญเติบโตดีสามารถมีชีวิตรอดหรือทนต่อความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นได้ (Rucker et al., 1994) รากถั่วลิสงที่กระจายตัวหยั่งลึกลงในดินชั้นล่างเมื่อประสบสภาวะแห้งแล้งสามารถส่งผลต่อการเพิ่มและการรักษาระดับของผลผลิตฝักได้ ทั้งในสภาพแล้งในช่วงต้นของการเจริญเติบโต (Jongrunklang et al., 2011) และในสภาพขาดน้ำอย่างยาวนาน (Songsri et al., 2008) นิมิตร และคณะ (2531) รายงานว่าถั่วลิสงที่เจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีในสภาวะที่ขาดน้ำนั้น เป็นเพราะถั่วลิสงมีรากเจริญเติบโตได้เร็วและแผ่กระจายได้ดีทำให้ถั่วลิสงสามารถนำน้ำมาใช้ได้อย่างพอเพียง แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษาการเจริญเติบโตของรากพืช ทำได้ยาก ต้องใช้เวลานาน และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง บางวิธีการต้องใช้เครื่องมือจำเพาะและมีความสลับซับซ้อน (Bohm, 1979) ดังนั้น การพัฒนาแบบจำลองสำหรับทำนายลักษณะรากของถั่วลิสงจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

แบบจำลองการเจริญเติบโตของถั่วลิสง (CSM-CROPGRO-Peanut) เป็นแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นและบรรจุไว้ในระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีทางการเกษตร (Decision Support System for Agrotechnology Transfer, DSSAT) (Hoogenboom et al., 1988; Hoogenboom et al., 2004) แบบจำลองดังกล่าว สามารถนำมาใช้ในการศึกษาการตอบสนองของถั่วลิสง ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด เช่น การนำมาใช้เพื่อศึกษาการตอบสนองของถั่วลิสงต่อสภาพการจัดการและภายใต้เงื่อนไขของ

สภาพแวดล้อมที่ต่างกัน (Chapman et al., 2002; Phakamas et al., 2008; Putto et al., 2008) รวมถึงการปรับปรุงการให้ผลลัพธ์ของลักษณะรากจาก DSSAT เช่น น้ำหนักรากแห้ง และ RLD ในอ้อย (Singels et al., 2008) การพัฒนาแบบจำลองเพื่อทำนายข้อมูลรากมีความสำคัญสำหรับการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงให้ทนต่อความแห้งแล้ง โดยเฉพาะในขั้นตอนการประเมินพันธุ์ถั่วลิสงทนแล้ง ในระบบการปรับปรุงพันธุ์ต้องศึกษากับเชื้อพันธุกรรมที่มีจำนวนพันธุ์มาก แบบจำลองจะเป็นเครื่องมือหนึ่งที่จะช่วยในการคัดเลือกพันธุ์ถั่วลิสงที่มีการเจริญเติบโตของรากที่ดี ซึ่งจะลดแรงงาน ย่นระยะเวลา และค่าใช้จ่ายให้น้อยลงได้

อย่างไรก็ตาม ถั่วลิสงต่างพันธุ์ เมื่อปลูกในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ กัน จะมีขนาดและการกระจายตัวของรากแตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างกันทางพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะดินที่รากพืชนั้นเจริญอยู่ ในปัจจุบันแบบจำลองการเจริญเติบโตของถั่วลิสงยังไม่สามารถกำหนดปัจจัยตัวป้อนที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของรากได้ครบทุกปัจจัย ทำให้การทำนายลักษณะบางลักษณะของรากไม่แม่นยำเพียงพอ จึงจำเป็นต้องปรับค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของรากให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ปลูกทดสอบ (Bingham and Wu, 2011) ดังนั้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ หาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของรากถั่วลิสงที่เหมาะสมกับพันธุ์และสิ่งแวดล้อมที่ทำการศึกษา ซึ่งวิธีการปรับค่าและค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการวิจัยนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการทำนายปริมาณและการกระจายตัวของรากถั่วลิสงที่ศึกษาในสภาพแวดล้อมอื่นๆ ต่อไป

วิธีการศึกษา

พันธุ์ถั่วลิสงและแผนการทดลอง

การศึกษาครั้งนี้ ปลูกทดสอบพันธุ์ถั่วลิสง 2 พันธุ์ คือ ไทนาน 9 และ ขอนแก่น 60-3 ณ หอวศพืชไร่ สาขาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ ถึงเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2550 โดยใช้แผนการทดลองแบบ randomized complete block design มี 4 ซ้ำ ปลูกถั่วลิสงแปลงย่อยละ 7 แถว แต่ละแถวยาว 5 ม. ใช้ระยะปลูก 50 ซม. ระหว่างแถว และระหว่างต้น 20 ซม.

การปลูกและการดูแลรักษา

เตรียมแปลงปลูกโดยการไถดะ 1 ครั้ง ไถแปร 2 ครั้ง จากนั้นโรยปูนขาวในอัตรา 100 กก./ไร่ เพื่อปรับสภาพความเป็นกรดของดิน แล้วพรวนอีก 1 ครั้ง พร้อมคราดดินเพื่อปรับระดับให้สม่ำเสมอทั่วทั้งแปลง ก่อนปลูกคลุกเมล็ดถั่วลิสงด้วยแคปแทน (captan) อัตรา 5 กรัม ต่อ เมล็ด 1 กิโลกรัม เพื่อป้องกันโรคที่เกิดจากเชื้อรา สำหรับถั่วลิสงพันธุ์เมล็ดโตพรมเมล็ดด้วยสารอีเทรลความเข้มข้น 48% ในอัตรา 2 มล./น้ำ 1 ล. เพื่อทำลายการพักตัวของเมล็ด และรองกันหลุมด้วย คาร์โบฟูแรน (carbofuran) 3% G เพื่อป้องกันแมลง ปลูกถั่วลิสงหลุมละ 3 เมล็ด แล้วพ่นสารกำจัดวัชพืชอะลาคลอร์ (alachlor) ควบคุมวัชพืชก่อนงอก หลังจากถั่วลิสงงอก 14 วัน ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุมและกำจัดวัชพืชโดยใช้จอบ หลังจากนั้นใส่ปุ๋ยอัตรา 3–9–6 กก./ไร่ ของ $N-P_2O_5-K_2O$ ใส่ปุ๋ยซ้ำอัตรา 100 กก./ไร่ เมื่อถั่วลิสงมีอายุ 45 วันหลังปลูก ระหว่างการทดลองฉีดพ่นสารเคมีป้องกันโรคและแมลงตามความจำเป็น

วิธีการเก็บข้อมูลราก

เก็บข้อมูลน้ำหนักแห้งราก ด้วยวิธีการ monolith (Bohm, 1979) โดยเก็บตัวอย่างที่อายุ 25 วันหลังงอก ระยะส่วเมล็ดแรก (R5) และระยะเริ่มสุกแก่ (R7) (Boote, 1982) เก็บตัวอย่างหนึ่งต้นต่อแปลงย่อย

ขนาดของ monolith ยาว 50 กว้าง 20 และ ลึก 50 ซม. แยกดินออกจากตัวอย่างราก โดยแช่ตัวอย่างรากที่เก็บมาจากแปลงในน้ำ แล้วเทตัวอย่างรากที่แช่น้ำลงบนตะแกรงที่มีขนาดรู 0.5 ตร.มม. จากนั้นใช้ฝักบัวฉีดน้ำเพื่อเอาดินออกจนเหลือแต่ราก แล้วเก็บรากใส่ภาชนะอบ ทำการอบรากด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 80°C นาน 48 ชม. หรือจนกว่าน้ำหนักแห้งรากจะคงที่ และบันทึกน้ำหนักแห้งราก

ตรวจวัดความหนาแน่นราก (root length density; RLD) ด้วยวิธีการ augur โดยเก็บตัวอย่างที่อายุ 25 วัน หลังงอก R5 และ R7 augur มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.6 และยาว 115 ซม. เก็บตัวอย่างรากสองตำแหน่ง คือ ตำแหน่งต้น และ ตำแหน่งระหว่างแถว ที่ระดับความลึก 0-15 15-30 30-45 45-60 60-75 และ 75-90 ซม. แยกดินออกจากตัวอย่างราก ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับวิธีการเก็บรากจาก monolith นำตัวอย่างรากที่ได้หลังจากการแยกดินไปวิเคราะห์ค่า RLD โดยใช้โปรแกรม Winrhizo (Winrhizo Pro (s) V.2004a, Regent Instruments, Inc.) ตรวจวัด RLD ในแต่ละชั้น ความลึกดิน และคำนวณหาเฉลี่ย RLD ของตัวอย่างรากสองตำแหน่งในแต่ละชั้นความลึก จากสูตร

RLD เฉลี่ย = (ค่า RLD จากตำแหน่งต้น + ค่า RLD จากตำแหน่งระหว่างแถว)/2 (1)

เก็บข้อมูลน้ำหนักแห้งทั้งหมด ที่อายุ 25 วัน หลังงอก R5 และ R7 โดยเก็บตัวอย่าง 5 ต้นต่อแปลงย่อย ทำการแยกใบ ต้น และฝัก ออกจากกัน จากนั้นอบตัวอย่างต้นและใบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 80°C นาน 48 ชม. หรือจนกว่าน้ำหนักตัวอย่างจะคงที่ และบันทึกน้ำหนักแห้งใบและต้น ส่วนตัวอย่างฝักนำไปตากแดด จนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือประมาณ 8% และบันทึกน้ำหนักแห้งฝัก จากนั้น คำนวณน้ำหนักแห้งทั้งหมด จากผลรวมของน้ำหนักแห้งใบ ต้น ราก และ ฝัก

ป้อนข้อมูลน้ำหนักแห้งราก RLD และน้ำหนักแห้งทั้งหมด จากงานทดลองใน CSM-CROPGRO-Peanut Model เพื่อใช้เป็นค่าสังเกตเปรียบเทียบกับค่าทำนายจากแบบจำลอง

การปรับค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของราก ในแบบจำลอง

ในขั้นตอนการปรับค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของรากในแบบจำลอง ทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของราก โดยปรับค่าทุกๆ ค่าในช่วงที่มีความเป็นไปได้ของค่าสัมประสิทธิ์นั้นๆ จากนั้นพิจารณาหาค่าสัมประสิทธิ์ที่ให้ค่าความสอดคล้องทางสถิติระหว่างข้อมูลจากการทำนายและข้อมูลจากการสังเกตที่ดีที่สุด ในการทดลองนี้ ปรับค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของรากถั่วลิสงในส่วนข้อมูลลักษณะพื้นฐานของถั่วลิสง (species files; PNGRO45.SPE) โดยปรับค่าลักษณะการแบ่งสับปันส่วนของสารอาหารในช่วงต้นของการเจริญเติบโต (vegetative partitioning parameters) ซึ่งปรับค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งสับปันส่วนของใบ (YLEAF VALUES) ในช่วง 0.40 - 0.56 จากค่าตั้งต้นในแบบจำลอง (0.42) เนื่องจาก ค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งสับปันส่วนของอาหารใน species files พบเฉพาะค่า สัมประสิทธิ์การแบ่งสับปันส่วนของใบ และต้น อย่างไรก็ตาม ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวนี้เป็นสัดส่วนกัน ดังสูตรที่เสนอโดย Jone et al. (2003)

$$\text{Fraction partitioning to root (FRRT)} = 1.0 - \text{Fraction partitioning to leaf (YLEAF)} - \text{Fraction partitioning to stem (YSTEM)} \quad (2)$$

จากนั้น พิจารณาค่าที่เหมาะสมที่สุดจากค่าความสอดคล้องทางสถิติระหว่างค่าจากการทำนาย และค่าจากการสังเกตของน้ำหนักแห้งราก และน้ำหนักแห้งทั้งหมด

ส่วนขั้นตอนการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการปรับ (validation) ต้องใช้ข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องกับการปรับค่า (independent experiment) ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้ จึงใช้ข้อมูลจากแหล่งอื่นมาประเมินค่าสัมประสิทธิ์ โดยใช้ข้อมูลน้ำหนักแห้งทั้งหมดของถั่วลิสงจากงานทดลองของ Songsri et al. (2008) ซึ่งปลูกในช่วงเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2546 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2547

ส่วนลักษณะ RLD ในแต่ละระดับชั้นความลึกของดิน ทำการปรับค่าปัจจัยข้อมูลตัวป้อนดิน (soil file; soil.sol) โดยปรับค่าปัจจัยการเจริญเติบโตของรากในดิน (SRGF) ที่ระดับความลึกดิน 0-15 15-30 30-45 45-60 60-75 และ 75-90 ซม. ซึ่งค่าตั้งต้นของ SRGF ในแต่ละชั้นความลึกเท่ากับ 1.00 0.60 0.50 0.35 0.30 และ 0.20 ตามลำดับ ทำการปรับค่า SRGF ในช่วง 0-1 ในทุกระดับชั้น จากนั้น พิจารณาค่า SRGF ที่เหมาะสมที่สุดจากค่าความสอดคล้องทางสถิติระหว่างค่าจากการทำนาย และค่าจากการสังเกตของ RLD ในแต่ละชั้นความลึกของดิน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การพิจารณาความสอดคล้องทางสถิติของลักษณะรากจากการทำนายกับค่าสังเกตในการทดลองนี้ ใช้ค่าความสอดคล้อง คือ RMSE และ d (Willmott, 1982) โดยค่าความสอดคล้องระหว่างค่าทำนายกับค่าสังเกตที่ดีคือ มีค่า RMSE ต่ำ และมีค่า d เข้าใกล้ 1

รูปสมการการคำนวณหาค่า RMSE คือ

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

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

รูปสมการการคำนวณหาค่า d คือ

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

เมื่อ n = จำนวนหน่วยทดลอง P_i = ค่าทำนายหน่วยทดลองที่ i^{th} O_i = ค่าสังเกตหน่วยทดลองที่ i^{th} O = ค่าเฉลี่ย ของค่าสังเกต $P'_i = P_i - O$ and $O'_i = O_i - O$

ผลการศึกษาและวิจารณ์

น้ำหนักแห้งราก

จากการศึกษา พบว่า การปรับค่า YLEAF ทำให้ CSM-CROPGRO-Peanut Model ทำนายน้ำหนักแห้งรากของถั่วลิสงแม่นยำมากขึ้น ซึ่งค่าเริ่มต้นจาก CSM-CROPGRO-Peanut Model (0.42) ให้ค่า RMSE เท่ากับ 39.5 กก./เฮกตาร์ และ ค่า d เท่ากับ 0.985

ในถั่วลิสงพันธุ์ไต้หวัน 9 มีค่าความสอดคล้องดีที่สุดเมื่อปรับค่าดังกล่าวเท่ากับ 0.50 โดยให้ค่า RMSE ต่ำที่สุด (26.9 กก./เฮกตาร์) และให้ค่า d ใกล้เคียง 1 มากที่สุด (0.993) (Table 1) ส่วนพันธุ์ขอนแก่น 60-3 มีค่าความสอดคล้องดีที่สุด เมื่อปรับค่า YLEAF เท่ากับ 0.52 โดยให้ค่า RMSE ต่ำที่สุด (57.7 กก./เฮกตาร์) และให้ค่า d ใกล้เคียง 1 มากที่สุด (0.974) (Table 1)

ในปัจจุบัน ยังไม่มีการศึกษาการปรับค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของรากในแบบจำลองการเจริญเติบโตของถั่วลิสงมาก่อน อย่างไรก็ตามพบรายงานการศึกษาในแบบจำลองข้าวสาลี (SPACSYS) ที่เสนอโดย Bingham and Wu (2011) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า การปรับค่าสัมประสิทธิ์การปันส่วนสารอาหารจากต้นสู่รากใน

แบบจำลองดังกล่าว ทำให้การทำนายค่าน้ำหนักแห้งรากของข้าวสาลีมีความแม่นยำมากขึ้น

อย่างไรก็ตามปัจจุบัน CSM-CROPGRO-Peanut Model ยังไม่สามารถระบุค่า YLEAF ในแต่ละพันธุ์ได้ (Tsuji et al., 1998) ดังนั้นจึงต้องพิจารณาใช้ค่าที่มีความเหมาะสมกับทุกพันธุ์ การเพิ่มปัจจัยตัวบ่อนประจำพันธุ์ใน ecotype file ของ CSM-CROPGRO-Peanut Model น่าจะเป็นวิธีทางหนึ่ง ที่จะช่วยพัฒนาการทำนายลักษณะรากของแบบจำลองให้มีความแม่นยำเฉพาะกับแต่ละพันธุ์ได้ ข้อควรพิจารณาอีกประการหนึ่งคือ การเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักแห้งทั้งหมด เมื่อมีการปรับค่า YLEAF เพราะการปรับค่าดังกล่าวส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักทั้งหมด ดังนั้น การพิจารณาเลือกใช้ค่าที่เหมาะสมจำเป็นต้องพิจารณาลักษณะดังกล่าวด้วย

Table 1 Statistical agreement (root mean square error; RMSE & index of agreement; d) between observed and simulated values of root dry weight for varying partitioning values of Tainan 9 and KK60-3.

Genotype	Partitioning value (YLEAF)	Root dry weight observed value (Mean) kg/ha	Root dry weight simulated value (Mean) kg/ha	RMSE kg/ha	d
Tainan 9	0.40	262	287	44.7	0.981
	0.42	262	281	39.5	0.985
	0.44	262	276	34.8	0.988
	0.46	262	271	31.1	0.990
	0.48	262	266	27.9	0.992
	0.50	262	265	26.9	0.993
	0.52	262	265	27.7	0.992
	0.54	262	319	74.6	0.952
	0.56	262	311	66.5	0.961
KK60-3	0.40	263	344	87.8	0.945
	0.42	263	337	79.6	0.954
	0.44	263	329	71.3	0.962
	0.46	263	323	64.1	0.968
	0.48	263	318	58.4	0.973
	0.50	263	317	57.7	0.974
	0.52	263	316	57.0	0.974
	0.54	263	380	127.2	0.897
	0.56	263	370	115.4	0.912

น้ำหนักแห้งทั้งหมด

จากการปรับค่า YLEAF พบว่า ถั่วลิสงทั้ง 2 พันธุ์ มีค่าความสอดคล้องทางสถิติของน้ำหนักแห้งทั้งหมด ดีที่สุด เมื่อปรับค่า YLEAF เป็น 0.52 โดยถั่วลิสงพันธุ์ ไทนาน 9 ให้ค่า RMSE เท่ากับ 940 กก./เฮกตาร์ และให้ค่า d เท่ากับ 0.981 ส่วนพันธุ์ขอนแก่น 60-3 ให้ค่า RMSE เท่ากับ 1,255 กก./เฮกตาร์ และให้ค่า d เท่ากับ 0.980 (Table 2) จากผลการศึกษาพบว่า ค่า YLEAF ที่เหมาะสมมากที่สุด สำหรับข้อมูลน้ำหนักแห้งราก และน้ำหนักแห้งทั้งหมด คือ 0.52 การปรับค่าน้ำหนักแห้งรากให้เหมาะสมนั้น สามารถปรับปรุงการทำนายน้ำหนักแห้งทั้งหมดให้แม่นยำมากยิ่งขึ้นด้วย

Dangthaisong et al. (2006) ประเมินศักยภาพของ CSM-CROPGRO-Peanut Model ในการทำนายน้ำหนักแห้งทั้งหมด โดยใช้ค่าความสอดคล้องทางสถิติ RMSE และค่า d ของถั่วลิสงพันธุ์ ไทนาน 9 และขอนแก่น 60-3 ในสภาพไม่ขาดน้ำ พบว่า ถั่วลิสงพันธุ์ ไทนาน 9 ให้ค่า d อยู่ระหว่าง 0.94-0.96 และพันธุ์ขอนแก่น 60-3 ให้ค่า d อยู่ระหว่าง 0.83-0.90 เห็นได้ว่าค่า d จาก Dangthaisong et al. (2006) มีช่วงของค่าที่ต่ำกว่าค่า d ที่มีการปรับค่า YLEAF จากการศึกษาครั้งนี้ นั่นคือ ศักยภาพของแบบจำลองถั่วลิสงสามารถเพิ่มขึ้นได้ เมื่อปรับค่าสัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตในแบบจำลอง

Table 2 Statistical agreement (root mean square error; RMSE & index of agreement; d) between observed and simulated values of Biomass for varying partitioning values of Tainan 9 and KK60-3.

Genotype	Partitioning value (YLEAF)	Biomass observed value (Mean) kg/ha	Biomass Simulated value (Mean) kg/ha	RMSE kg/ha	d
Tainan 9	0.40	4,721	4,133	1,062	0.975
	0.42	4,721	4,185	1,030	0.976
	0.44	4,721	4,232	1,004	0.978
	0.46	4,721	4,274	983	0.979
	0.48	4,721	4,314	963	0.980
	0.50	4,721	4,345	949	0.980
	0.52	4,721	4,368	940	0.981
	0.54	4,721	4,198	1,026	0.977
	0.56	4,721	4,264	990	0.978
KK60-3	0.40	6,296	5,133	1,459	0.973
	0.42	6,296	5,187	1,407	0.975
	0.44	6,296	5,225	1,371	0.976
	0.46	6,296	5,261	1,338	0.977
	0.48	6,296	5,302	1,300	0.979
	0.50	6,296	5,331	1,274	0.979
	0.52	6,296	5,352	1,255	0.980
	0.54	6,296	5,204	1,388	0.975
	0.56	6,296	5,261	1,335	0.977

Table 3 Statistical agreement (root mean square error; RMSE & index of agreement; *d*) between observed and simulated data of initial and modified values of biomass in Tainan 9 and KK60-3.

Genotype	Biomass; Observed (mean) Kg/ha	Biomass; Simulated		RMSE		<i>d</i>	
		Initial	Modified	Initial	Modified	Initial	Modified
		(mean) Kg/ha	(mean) Kg/ha	(mean) Kg/ha	(mean) Kg/ha		
Tainan 9	2901	2084	2160	1079	1019	0.944	0.951
KK60-3	3421	2965	3058	1173	1144	0.958	0.961

การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตกับงานวิจัยอื่นที่ไม่ได้นำมาใช้ปรับค่าพบว่า เมื่อใช้ค่า YLEAF ที่ปรับ (modified value; 0.52) มาทำนายน้ำหนักแห้งทั้งหมด แบบจำลองสามารถให้ค่าความสอดคล้องทางสถิติที่ยอมรับได้ และเมื่อเทียบกับค่าเดิม (initial value; 0.42) การปรับค่า YLEAF ในการทดลองนี้ให้ค่าดีกว่าใช้ค่า YLEAF เดิม (Table 3) อย่างไรก็ตาม การปรับค่านี้ใช้ได้เฉพาะในสภาพจำเพาะ แต่ไม่สามารถนำมาใช้เป็นค่าทั่วไปได้ ซึ่งการพิจารณาปรับค่า YLEAF เพื่อใช้ในการทำนายทั่วไป ควรจะต้องพิจารณาปรับค่าโดยใช้ข้อมูลหลายฤดู และต้องใช้พันธุ์ถั่วลิสงจำนวนมาก เพื่อให้ครอบคลุมถั่วลิสงทุกชนิด ค่า YLEAF ที่ได้จากการปรับถึงจะเป็นค่าตัวแทนที่ดี

ความหนาแน่นราก (Root length density; RLD)

จากการปรับค่า SRGF พบว่า ชั้นดิน 0-15 15-30 30-45 45-60 60-75 และ 75-90 ซม. มีค่า SRGF ที่เหมาะสมเท่ากับ 1.00 0.90 0.80 0.60 0.50 และ 0.50 ตามลำดับ โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของ RMSE และ *d* stat จาก 6 ชั้นความลึกของดิน พบว่า เมื่อปรับค่า SRGF ให้เหมาะสมแล้ว มีค่าความสอดคล้องของข้อมูลสังเกตและข้อมูลทำนายดีขึ้น โดยพันธุ์ไทนาน 9 มีค่า RMSE และ *d* เฉลี่ย 6 ชั้น เท่ากับ 0.159 ซม/ซม³ และ 0.841 ตามลำดับ จากค่าเดิมคือ 0.169 ซม/ซม³ และ 0.758 ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ขอนแก่น 60-3 มีค่า

RMSE และ *d* stat เดิมเท่ากับ 0.135 ซม/ซม³ และ 0.799 ตามลำดับ เมื่อปรับค่า SRGF ทำให้ได้ค่า RMSE และ *d* stat เท่ากับ 0.131 และ 0.889 ซม/ซม³ ตามลำดับ (Table 4)

Bingham and Wu (2011) วิเคราะห์ความอ่อนไหว (sensitivity analysis) จากค่าสัมประสิทธิ์ที่ควบคุมการเจริญเติบโตของรากในข้อมูลตัวบ่อนดินต่อการทำนายการกระจายตัวของรากในแบบจำลองข้าวสาลี พบว่า การกระจายตัวของราก มีความอ่อนไหวสูงกับค่าสัมประสิทธิ์อัตราการยืดยาวของรากสูงสุด นอกจากนี้ ยังพบว่าการทำนาย RLD ในดินชั้น 0-30 ซม. ให้ค่าความสอดคล้องที่สามารถยอมรับได้ แต่การทำนาย RLD ของแบบจำลองข้าวสาลีในชั้น 30-60 ซม. ไม่แม่นยำ ควรมีการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของรากให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ที่แตกต่างกัน

การศึกษาในสภาพแวดล้อมหรือในพื้นที่ปลูกที่แตกต่างกัน จะมีค่า SRGF ที่เหมาะสมแตกต่างกันออกไป ดังนั้น ในการศึกษาการเจริญเติบโตของรากถั่วลิสงโดยใช้แบบจำลอง ควรพิจารณาปรับ SRGF ในส่วนข้อมูลตัวบ่อนดินให้เหมาะสมกับพื้นที่นั้นๆ โดยสามารถปรับค่า SRGF ให้จำเพาะกับพื้นที่ในแต่ละพื้นที่ เพื่อทำให้การทำนาย RLD ของแบบจำลองแม่นยำมากยิ่งขึ้น

Table 4 Statistical agreement (root mean square error; RMSE & index of agreement; *d*) between observed and simulated data of initial and modified values in root length density (RLD) with 6 soil depths within genotype (Tainan 9 and KK60-3)

Genotype	Soil layer	Soil root growth factor		RLD; observed value		RLD; simulate value		RMSE		<i>d</i>	
		initial	Modified	(mean) cm/cm ³		(mean) cm/cm ³		initial	modified	initial	modified
Tainan 9	0-15 cm	1.00	1.00	0.74		0.42		0.38	0.48	0.705	0.630
	15-30 cm	0.70	0.90	0.42		0.29		0.17	0.18	0.866	0.853
	30-45 cm	0.50	0.80	0.37		0.19		0.18	0.14	0.674	0.794
	45-60 cm	0.60	0.60	0.20		0.22		0.04	0.03	0.975	0.984
	60-75 cm	0.26	0.50	0.19		0.09		0.10	0.06	0.663	0.868
	75-90 cm	0.19	0.50	0.16		0.06		0.13	0.07	0.662	0.918
Mean				0.347		0.212		0.169	0.159	0.758	0.841
KK60-3	0-15 cm	1.00	1.00	0.74		0.57		0.36	0.25	0.852	0.697
	15-30 cm	0.70	0.90	0.42		0.39		0.12	0.12	0.868	0.874
	30-45 cm	0.50	0.80	0.37		0.25		0.19	0.13	0.586	0.820
	45-60 cm	0.60	0.60	0.20		0.29		0.03	0.07	0.960	0.991
	60-75 cm	0.26	0.50	0.19		0.12		0.06	0.09	0.806	0.941
	75-90 cm	0.19	0.50	0.16		0.09		0.05	0.11	0.721	0.962

สรุป

การปรับค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของราก ทั้ง YLEAF และ SRGF ใน CSM-CROPGRO-Peanut Model สามารถปรับปรุงความแม่นยำในการทำนาย ลักษณะราก ได้แก่ น้ำหนักแห้งราก และ RLD ในแต่ละชั้น โดยทำให้ค่าความสอดคล้องระหว่างข้อมูลสังเกต และข้อมูลทำนายดีขึ้น คือ ทำให้ค่า RMSE ต่ำลง และ ค่า d stat เข้าใกล้ 1 มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ การปรับค่า YLEAF ยังสามารถปรับปรุงค่าความสอดคล้องระหว่าง ข้อมูลสังเกตและข้อมูลทำนายของน้ำหนักแห้งทั้งหมด ให้ดีขึ้นได้ ในปัจจุบัน การปรับค่าปัจจัยการเจริญเติบโตของรากนั้น มีข้อจำกัดเรื่องลักษณะเฉพาะในแต่ละสถานที่ทดลอง เนื่องจากลักษณะรากได้รับ อิทธิพลจากสภาพแวดล้อมของดินในแต่ละพื้นที่อย่างมาก ทำให้การเจริญเติบโตของรากมีความแปรปรวนสูง อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงข้อมูลตัวป้อน ใน CSM-CROPGRO-Peanut Model ให้สอดคล้องกับการเจริญเติบโตของรากในพื้นที่ต่างๆ ต่อไป

คำขอบคุณ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (Grant no. PHD/0025/2548) โครงการเมธีวิจัยอาวุโสภายใต้ การนำของ ศ.ดร.อารันต์ พัฒนทิพย์ สำนักงานกองทุน สนับสนุนการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา และโครงการเมธีวิจัยอาวุโสของ รศ.ดร. สนั่น จอกลอย มหาวิทยาลัยขอนแก่น รวมถึงบุคลากรในสาขาพืชไร่ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะ เกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การ สนับสนุนและช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างราก ตลอดจน กระบวนการหลังเก็บตัวอย่างรากถั่วลิสง

เอกสารอ้างอิง

- นิมิตร วรสุต, บรรยง ทุมแสน, สมยศ เดชภิรัตนมงคล และ สุวัฒน์ บุญจันทร์. 2531. อิทธิพลของปริมาณน้ำและระยะเวลาการให้น้ำที่มีต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้น้ำของถั่วลิสง. น. 339-407. ในรายงานการสัมมนา ถั่วลิสงแห่งชาติ ครั้งที่ 6. 19-21 มีนาคม 2530. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา และอุทยานแห่งชาติ ทะเลบัน สตูล.
- Bingham, J. I., 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.
- Bohm, W. 1979. Method of Studying Root System. *Ecological studies* 33. Springer- Verlag Berlin Heidelberg, New York.
- Boote, K. J. 1982. Growth stage of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Peanut Sci*. 9:35-40.
- Chapman, S.C., G.L. Hammer, D.W. Podlich, and M. Cooper. 2002. Linking bio-physical and genetic models to integrate physiology, molecular biology and plant breeding, P.167-188. In: Kang, M.S. (Eds.), *Quantitative Genetics, Genomics, and Plant Breeding*. CABI Publishing, New York.
- Dangthaisong, P., P. Banterng, S. Jogloy, N. Vorasoot, A. Patanothai, and G. Hoogenboom. 2006. Evaluation of CSM-CROPGRO-Peanut model in simulation responses of two peanut cultivars to different moisture regimes. *Asian J. Plant Sci*. 5:913-922.
- Hoogenboom, G., J.W. Jones, P.W. Wilkens, C.H. Porter, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, K.J. Boote, U. Singh, O. Uryasev, W.T. Bowen, A.J. Gijsman, A.S. du Toit, J.W. White, and G.Y. Tsuji. 2004. Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0 [CD-ROM] University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- Hoogenboom, G., M. G. Huck, and C. M. Peterson. 1988. Predicting root growth and water uptake under different soil water regimes. *Agric. Syst*. 26:263-290.
- Jones, J.W., G. Hoogenboom, P.W. Wilkens, C.H. Porter, and G.Y. Tsuji. 2003. Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. Volume 4. DSSAT v4; crop model document. University of Hawaii, Honolulu, HI p.26.

- Jongrunklang, N., B. Toomsan, N. Vorasoot, S. Jogloy, K.J. Boote, G. Hoogenboom, and A. Patanothai. 2011. Rooting traits of peanut genotypes with different yield responses to pre-flowering drought stress. *Field Crops Res.* 120:262-270.
- Phakamas, N., A. Patanothai, K. Pannangpetch, S. Jogloy, and G. Hoogenboom. 2008. Dynamic patterns of components of genotype environment interaction for pod yield of peanut over multiple years: a simulation approach. *Field Crops Res.* 106:9-21.
- Putto, C., A. Patanothai, S. Jogloy, and G. Hoogenboom. 2008. Determination of mega-environments for peanut breeding using the CSM-CROPGRO-Peanut model. *Crop Sci.* 48:973-982.
- Rucker, K.S., C.K. Kvien, C.C. Holbrook, and J.E. Hook. 1994. Identification of peanut genotypes with improved drought avoidance traits. *Peanut Sci.* 24:14-18.
- Singels, A., M. Jones, and M. van den Berg. 2008. DSSAT v4.5 - Canegro Sugarcane Plant Module. Scientific documentation. ICSM report. South African Sugarcane Research Institute, Mount Edgecombe, South Africa.
- Songsri, P., S. Jogloy, N. Vorasoot, C. Akkasaeng, A. Patanothai, and C.C. Holbrook. 2008. Root distribution of drought-resistant peanut genotypes in response to drought. *J. Agron. Crop Sci.* 194:92-103.
- Tsuji, G.Y., G. Hoogenboom, and P.K. Thornton. 1998. *Understanding Options for Agricultural Production*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.
- Willmott, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 63:1309-1313.