

## แบบจำลองการผลิตพืชและการประยุกต์ใช้ในยางพารา

ระวี เจียรวิภา<sup>1</sup>

### Abstract

Chiarawipa, R.

#### Crop model and its application in para rubber

Songklanakar J. Sci. Technol., 2007, 29(3) : 685-695

Crop models are derived from quantitative models that comprise empirical models and mechanistic models. Four situations of crop production were used in crop modeling. 1) potential crop production, 2) water-limited crop production, 3) nitrogen-limited crop production and 4) other plant nutrient-limited crop production. Crop modeling can be used to predict the limiting factors of rubber trees. It was found that the estimated rubber yield is highly correlated with the actual yield. Moreover, this method may be used to assist in the rubber decision-making systems and rubber simulation model. Therefore, the crop model can be applied to predict the actual yield and enhance rubber production potential.

**Key words :** crop model, simulation model, rubber production

Department of Plant Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112 Thailand.

<sup>1</sup>วท.ม. (พืชศาสตร์) ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112  
Corresponding e-mail: rawee.c@psu.ac.th

รับต้นฉบับ 1 มิถุนายน 2549      รับลงพิมพ์ 29 สิงหาคม 2549

## บทคัดย่อ

ระวี เจียรวิภา

แบบจำลองการผลิตพืชและการประยุกต์ใช้ในยางพารา

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2550 29(3) : 685-695

แบบจำลองการผลิตพืชเป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองเชิงปริมาณ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ empirical model และ mechanistic model โดยใช้สภาวะการผลิตพืช 4 สภาวะ ในการทำแบบจำลองการผลิตพืช คือ สัณฐาน การผลิตพืช การผลิตพืชที่จำกัดน้ำ การผลิตพืชที่จำกัดธาตุไนโตรเจน และการผลิตพืชที่จำกัดธาตุอาหารที่จำเป็น อื่น ๆ การประยุกต์ใช้ในยางพารา ได้มีการใช้แบบจำลองการผลิตพืชที่ใช้ปัจจัยทางสภาพแวดล้อม ที่มีต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของยางพาราได้ ทำให้ได้ค่าการคาดคะเนผลผลิตน้ำยางใกล้เคียงกับในสภาพจริงของแต่ละพันธุ์ ซึ่งน่าจะมีการพัฒนาไปใช้สนับสนุนระบบการตัดสินใจ และแบบจำลองการผลิตยางพาราในด้านการจัดการ เศรษฐกิจ และสังคม เพื่อการคาดคะเนผลผลิตและเพิ่มศักยภาพการผลิตยางพาราได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2534 เป็นต้นมา ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก (ชูชาติ, 2545) ที่มีมูลค่าการส่งออกทั้งในรูปของยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง น้ำยางข้น ผลิตภัณฑ์ยางและไม้ยางพารา (สุภาพร, 2547) โดยในปี พ.ศ. 2546 มีมูลค่าส่งออกถึง 200,000 ล้านบาท (สถาบันวิจัยยาง, 2546) และในปี พ.ศ. 2547 ประเทศไทยผลิตยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นเป็น 2.98 ล้านตัน จากผลผลิตยางธรรมชาติทั่วโลก 8.75 ล้านตัน ทำให้เป็นประเทศผู้ผลิตส่งออกในตลาดโลกถึง 34% (LMC International Ltd., 2005) นอกจากนี้ในปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพารามากเป็นอันดับ 2 ของโลก หรือประมาณ 12.7 ล้านไร่ จากแหล่งผลิตสำคัญ 2 แหล่ง คือ ภาคใต้และภาคตะวันออก และมีการขยายพื้นที่เพาะปลูกยางพาราไปยังแหล่งปลูกใหม่ของประเทศ 2 แหล่ง คือ ภาคเหนือ 300,000 ไร่ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 700,000 ไร่ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2546) ด้วยนโยบายยุทธศาสตร์ด้านการผลิตยางพาราและเป้าหมายการเป็นศูนย์กลางยางพาราโลก (สุรพล, 2548) พร้อมกับการปรับเปลี่ยนพื้นที่ปลูกยางเดิมที่ไม่มีความเหมาะสมในการให้ผลผลิต หรือให้ผลผลิตต่ำไปเป็นพืชอื่นที่สามารถให้ผลผลิตคุ้มค่าหรือเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ และเพื่อให้มีปริมาณการผลิตยางธรรมชาติที่พอเหมาะกับความต้องการในตลาดโลก ประเทศไทยจึงได้กำหนดให้พื้นที่เพาะปลูกยางพาราทั่วประเทศไม่เกิน 12 ล้านไร่ ในอนาคต ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงได้นำ

เทคโนโลยีใหม่ๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อที่สามารถเพิ่มศักยภาพในการผลิตต่อพื้นที่สูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เทคโนโลยีระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic information system; GIS) ศึกษาหาพื้นที่ที่เหมาะสมและมีศักยภาพสำหรับการปลูกพืชและให้ผลผลิต เช่น ลำไย (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2547ก) ทูเรียน มังคุด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2546) และยางพารา (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2547ข) อย่างไรก็ตาม ในต่างประเทศได้มีการนำแบบจำลองการผลิตพืช (crop model) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีระบบภูมิสารสนเทศ ทำให้มีความน่าเชื่อถือและมีศักยภาพในการกำหนดพื้นที่ปลูกได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น (Hartkamp *et al.*, 1999) นอกจากนี้ยังสามารถใช้คาดคะเนการเจริญเติบโตและผลผลิตได้ จึงเป็นที่รู้จักและนำมาใช้กันในประเทศไทยมากขึ้น เช่น แบบจำลองการผลิตข้าว (พนมศักดิ์ และคณะ, 2543; รังสรรค์, 2544) แบบจำลองการผลิตอ้อย (อรรถชัย และคณะ, 2540ก; Promrit and Jintrawet, 2001) และแบบจำลองการผลิตถั่วลิสง (Banterng *et al.*, 2004) ประกอบกับความสำคัญในเชิงเศรษฐกิจของยางพาราซึ่งอยู่ในกลุ่มของพืชยืนต้น ยังมีการศึกษาในด้านแบบจำลองการผลิตน้อย จึงเรียบเรียงบทความนี้เพื่อเป็นการรวบรวมข้อมูลการศึกษาและงานวิจัยด้านแบบจำลองการผลิตพืช รวมถึงแนวทางการความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ประโยชน์และประยุกต์ใช้ เพื่อพัฒนาการผลิตยางพาราให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

### แนวคิดและโครงสร้างของแบบจำลองการผลิตพืช

แบบจำลองการผลิตพืชได้มีการพัฒนาและนำมาใช้ใน ช่วง ค.ศ. 1960 โดยนักวิจัยจากประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การจำลองการผลิตพืชทางด้านสรีรวิทยา (simulation in crop physiology) เพื่ออธิบายกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ของต้นพืชได้ใกล้เคียงกับสภาพจริง (Goudriaan and van Laar, 1990) แบบจำลองที่ใช้ได้ใช้ สภาวะที่เกี่ยวกับการผลิตพืช 4 สภาวะ ตามสถานการณ์ที่ จำลองขึ้น และถือเป็นความรู้พื้นฐานของการพัฒนาแบบ จำลองการผลิตพืชมาจนถึงปัจจุบัน (Penning de Vries, 1982 อ้างโดย อรรถชัย และคณะ, 2540ข; Bouman *et al.*, 1996; van Ittersum *et al.*, 2003) ประกอบด้วย

#### 1. ศักยภาพการผลิตของพืช (potential crop production situation)

เป็นสภาวะที่ให้ความสำคัญกับอัตราการเจริญเติบโตของพืช จากประสิทธิภาพของกระบวนการสังเคราะห์แสงและปัจจัยการผลิตพืชอื่นๆ เช่น น้ำและธาตุอาหาร ให้เหมาะสมที่ไม่เป็นข้อจำกัดต่อการเจริญเติบโตของพืช แบบจำลองนี้จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมเป็นสำคัญ ได้แก่ แบบจำลอง SUCROS (Simple and Universal CROP growth Simulator) เพื่อคาดคะเนผลผลิต sugar beet (Launay and Guerif, 2003) และแบบจำลอง WOFOST (World Food Studies) เพื่อใช้ในการประเมินพื้นที่ปลูกข้าวบาร์เลย์ (barley) (Dubrovsky *et al.*, 2002)

#### 2. สภาวะการผลิตพืชที่จำกัดน้ำ (water-limited crop production situation)

แบบจำลองนี้มีแนวคิดจากข้อจำกัดของน้ำในบางช่วงของพัฒนาการทางลำต้นพืช ที่มักมีความแตกต่างกันในแต่ละสภาพพื้นที่ เช่น การเปลี่ยนแปลงของน้ำในดินที่มีผลต่อการดูดซึมน้ำและการคายระเหยน้ำของพืช โดยถือว่าปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องมีปริมาณเพียงพอ แบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นในระยะแรก คือ แบบจำลอง ARID CROP สามารถจำลองการใช้น้ำของพืชตั้งแต่ในระยะงอกจนถึงพัฒนาการในช่วงต่างๆ ในรอบปี ซึ่งมีการนำมาประยุกต์ศึกษาความสัมพันธ์และสมดุลของน้ำในดิน พืช และบรรยากาศ ในข้าว ทานตะวัน และอ้อย (Sperry *et al.*, 2003; Thornley, 1996)

#### 3. สภาวะการผลิตพืชที่จำกัดธาตุไนโตรเจน (nitrogen-limited crop production situation)

ปัจจัยนี้ได้รับแนวคิดจากการเจริญเติบโตของพืชที่มีข้อจำกัดจากน้ำ ที่ส่งผลต่อการสร้างพื้นที่ใบในทรงพุ่ม ซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณธาตุไนโตรเจนในดินและใบ ได้นำไปสู่การจำลองปริมาณธาตุไนโตรเจนที่สูงหรือต่ำเกินกว่าความต้องการของพืชในระยะต่อมา ทั้งในรูปของการเคลื่อนย้ายเพื่อนำไปใช้ประโยชน์หรือการสูญเสียจากลำต้น การให้ความสำคัญกับธาตุไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัดเพียงธาตุเดียว เนื่องจากเป็นธาตุที่พืชใช้เพื่อการสังเคราะห์แสงมากที่สุด โดยกว่าครึ่งหนึ่งของปริมาณไนโตรเจนในใบจะถูกนำไปใช้เพื่อการสังเคราะห์แสง (Hikosaka and Terashima, 1996) พืชจึงได้รับผลกระทบจากธาตุไนโตรเจนเสมอ (Aerts and Chapin III, 2000) ฉะนั้นการเพิ่มขึ้นของอัตราการสังเคราะห์แสงในทรงพุ่มจึงมีความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นโดยตรง (Hirose and Werger, 1987) โดยถือว่ามีปริมาณน้ำและสภาพอากาศอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม สำหรับแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นในระยะแรก คือ แบบจำลอง PAPRAN (Production of Arid Pastures limited by RAInfall and Nitrogen) ปัจจุบัน มีการนำมาจำลองกลไกการดูดซึมและเคลื่อนย้ายธาตุไนโตรเจนและการเจริญเติบโตของ oilseed rape (*Brassica napus*) (Malagoli *et al.*, 2005)

#### 4. สภาวะการผลิตพืชที่จำกัดธาตุอาหารอื่น ๆ (other plant nutrient-limited crop production situation)

เป็นแนวคิดที่ถือว่ามีความจำกัดจากธาตุอาหารที่จำเป็นอื่นๆ เช่น ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม แต่ในปัจจุบันได้ให้ความสำคัญถึงข้อจำกัดอื่นๆ เพิ่มขึ้น เช่น โรคแมลง วัชพืช รวมถึงปัจจัยทางสังคมซึ่งจะมีผลต่อการตัดสินใจหรือการจัดการการผลิตพืช ขณะเดียวกันถือว่าเป็นสภาวะที่ต้นพืชมีปริมาณธาตุไนโตรเจน สมดุลของน้ำ และสภาพอากาศ เหมาะสมเพียงพอต่อการเจริญเติบโต ตัวอย่างแบบจำลองที่ใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ INTERCOM เพื่อประเมินผลกระทบจากวัชพืชของพืชปลูก (Kropff and van Laar, 1993)

ด้วยประโยชน์และประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้แบบจำลองการผลิตพืชเป็นที่ยอมรับ และมีการ

ศึกษากันอย่างแพร่หลายมากขึ้นทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ เนื่องจากสามารถนำผลการจำลองที่ได้มาวิเคราะห์ผลกระทบหรือขีดจำกัดที่มีต่อการเจริญเติบโต หรือผลผลิตของพืชได้ใกล้เคียงกับสภาพที่ปลูกในแปลงจริง ดังเช่น การศึกษาในกลุ่มพืชผัก และไม้ดอกไม้ประดับ (Gary *et al.*, 1998; Kage *et al.*, 2003) การผลิตพืชไร่ เช่น แบบจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว (พนมศักดิ์ และคณะ, 2543; รั้งสรณ์, 2544; Bouman *et al.*, 2001) แบบจำลองการออกดอกและการเจริญเติบโตของอ้อย (อรรถชัย และคณะ, 2540ก; Promrit and Jintrawet, 2001) แบบจำลองการผลิตถั่วลิสง (Banterng *et al.*, 2004) แบบจำลองการเจริญเติบโตข้าวโพด (Jones *et al.*, 1986) กลุ่มไม้ผลและไม้ยืนต้น เช่น แบบจำลองประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงและโครงสร้างทรงพุ่มของแอปเปิ้ล (Costes *et al.*, 1999; Green *et al.*, 2003)

### ประเภทของแบบจำลอง

แบบจำลองที่ใช้กันอยู่ แบ่งออกเป็นหลายประเภท ขึ้นอยู่กับระบบงานที่ต้องการศึกษา โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

#### 1. แบบจำลองทางกายภาพ (physical model หรือ iconic model)

เป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อจำลองลักษณะโครงสร้างหรือรูปร่างวัตถุ แบบจำลองที่ได้อาจมีขนาดใหญ่หรือเล็กกว่าของจริง (scaled models) เช่น การจำลองเครื่องมือต้นแบบ (prototype) หรือโครงสร้างอาคารก่อนที่จะมีการผลิตหรือเผยแพร่จริง (ศิริจันทร์, 2542; Jongkaewwattana, 1995; Mangel *et al.*, 2001)

#### 2. แบบจำลองทางสัญลักษณ์ (symbolic model)

เป็นแบบจำลองที่ไม่มีขนาดของวัตถุมาเกี่ยวข้อง แต่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ในระบบที่ต้องการศึกษา เป็นการกำหนดสัญลักษณ์แทนกระบวนการ รวมถึงขั้นตอนต่างๆ ในการทำงานของระบบ อาจได้แบบจำลองประเภทนี้จากองค์ความรู้ ผลการวิจัย หรือแนวความคิด ที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นในระบบ (conceptual model) สามารถแบ่งออกเป็นแบบจำลองเชิงคุณภาพ (qualitative model) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของสัญลักษณ์หรือรูปประกอบเพื่อทำให้เกิดความเข้าใจถึงขั้นตอนหรือกระบวนการต่างๆ

ที่เกิดขึ้นในระบบ โดยไม่มีผลลัพธ์ในเชิงตัวเลข และแบบจำลองเชิงปริมาณ (quantitative model) ซึ่งได้จากการกำหนดสัญลักษณ์ตัวแปรเพื่อแสดงความสัมพันธ์เชิงตัวเลขระหว่างตัวแปรที่กำหนดขึ้นในระบบ (ศิริจันทร์, 2542; Jongkaewwattana, 1995; Mangel *et al.*, 2001) สำหรับแบบจำลองการผลิตพืช จึงใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical models) แสดงสัญลักษณ์และฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์มาแทนในระบบ เช่น สมการ allometric สมการ exponential สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (linear regression) (Goudriaan and van Laar, 1990; Thornley and Johnson, 1990) ทั้งนี้แบบจำลองที่ใช้ในการผลิตพืชยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ 1) empirical model จัดเป็นแบบจำลองที่ใช้คาดการณ์การเจริญเติบโตหรือผลผลิตพืช โดยมีความสัมพันธ์ในเชิงคณิตศาสตร์ที่ไม่ซับซ้อนและเข้าใจง่าย แต่ไม่สามารถอธิบายถึงเหตุผลของความสัมพันธ์ดังกล่าว สมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลจึงไม่ซับซ้อน และ 2) mechanistic model จัดเป็นแบบจำลองที่ใช้สร้างความเข้าใจและอธิบายความสัมพันธ์ของปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในระบบ มักมีผลกระทบจากหลายๆ ปัจจัย ซึ่งทำให้ทราบเหตุผลและคาดการณ์การตอบสนองของพืชที่แตกต่างกัน ในแต่ละช่วงเวลาของการเจริญเติบโตหรือให้ผลผลิตได้ สมการทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้เพื่อแสดงความสัมพันธ์จึงประกอบด้วยหลายๆ empirical model ที่มีความซับซ้อนในการวิเคราะห์และคาดการณ์สูง (Goudriaan and van Laar, 1990; Mangel *et al.*, 2001; Thornley and Johnson, 1990) อย่างไรก็ตาม การคาดการณ์โดยใช้แบบจำลองมักขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ซึ่งทำให้ผลการคาดการณ์มีทั้งโอกาสที่มีความเป็นไปได้และเป็นไปไม่ได้ การใช้แบบจำลองจึงจำเป็นต้องอาศัยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่ออธิบายความสัมพันธ์หรือนำข้อมูลมาวิเคราะห์ โดยใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์และนำไปสู่การตัดสินใจเพื่อสร้างความเข้าใจและอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสมและมีความคลาดเคลื่อนให้น้อยที่สุด (Nichols, 2001; White, 2001) โดยที่สมการทางคณิตศาสตร์จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อการเจริญเติบโตหรือผลผลิตพืช จะถูกนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าจริงที่เกิดขึ้นในแปลงทดลอง อย่างไรก็ตาม การศึกษาและการใช้ประโยชน์จากแบบจำลอง

การผลิตพืชให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จำเป็นต้องนำไปใช้ควบคู่กับแบบจำลองอื่นๆ ในการอธิบายหรือวิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบ และสามารถคำนวณสมการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนหรือมีจำนวนมากได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ซึ่งนิยมใช้ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์หรือจำลองสถานการณ์จริง เช่น Microsoft Excel (สมเจตน์ และคณะ, 2545) STELLA v.9 (Mayer, 2006) นอกจากนี้ มีการพัฒนาแบบจำลองโดยรวมปัจจัยด้านต่างๆ เข้าด้วยกัน เป็นโปรแกรมแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (computer simulation model) ที่ทำให้สะดวกเร็วขึ้นจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์บางประการและอาจจำลองเป็นรูป 2 มิติ หรือ 3 มิติ สำหรับโปรแกรมสำเร็จรูปที่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ เช่น โปรแกรมสำหรับคาดคะเนการเจริญเติบโตของไม้ยืนต้น SEI-FS model (World Agroforestry Centre, 2005) โปรแกรมประเมินการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในดินที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช Soil-C Carbon dynamics simulation model (Ponce-Hernandez *et al.*, 2004) โปรแกรมแบบจำลองการผลิตพืช SWAP หรือ Soil-Water-Atmosphere-Plant environment model (Huygen *et al.*, 2000) โปรแกรมศึกษาพัฒนาโครงสร้างทรงพุ่ม (L-systems) (Prusinkiewicz, 1998) โปรแกรมจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช APSIM หรือ Agricultural Production Systems Simulator (Wang *et al.*, 2002) โปรแกรมจำลองพัฒนาการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว ที่เรียกว่า ORYZA (Bouman *et al.*, 2001) แบบจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อย ThaiCane 1.0 (อรรถชัย และคณะ, 2540ก) และโปรแกรมจำลองพัฒนาการเจริญเติบโตของข้าวโพด ที่เรียกว่า CERES-Maize (Jones *et al.*, 1986)

#### การพัฒนาแบบจำลองการผลิตยางพารา

การคาดคะเนผลผลิตยางพาราในประเทศไทย เริ่มมีการศึกษาโดยประเมินจากสภาพพื้นที่ปลูกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของยางพารา ซึ่งใช้วิธีการประเมินศักยภาพที่ดิน (land evaluation) ร่วมกับการสำรวจข้อมูลระยะไกล (remote sensing) และระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) จำแนกความเหมาะสมของพื้นที่ในการปลูกยางพารา และแบ่งเขตพื้นที่ปลูกที่มีศักยภาพในภาคใต้ ภาคตะวันออก ภาคตะวันออก

เฉียงเหนือ และภาคเหนือ ของประเทศไทยได้ (สมเจตน์ และคณะ, 2546; สุทัศน์ และสมยศ, 2544) ต่อมา สมเจตน์ และคณะ (2545) ได้นำแบบจำลองการผลิตพืชวิเคราะห์ร่วมกับการประเมินสภาพพื้นที่ปลูกยางพารา ทำให้สามารถคาดคะเนผลผลิตน้ำยางได้ใกล้เคียงกับในสภาพแปลงปลูกจริง ซึ่งแบบจำลองได้ใช้ 2 ปัจจัยที่สำคัญ คือ

#### 1. ปัจจัยด้านพันธุกรรม

ยางแต่ละพันธุ์ให้ผลผลิตแตกต่างกัน ตามความแตกต่างทางพันธุกรรม (Simmonds, 1989) พันธุ์ยางที่เจริญเติบโตดีหรือมีศักยภาพในการสังเคราะห์แสงสูง มีความสามารถในการสร้างมวลชีวภาพได้ดี เช่น พันธุ์ RRIT 251 ที่เจริญเติบโตได้เร็วกว่าพันธุ์ RRIM 600 ในระยะก่อนเปิดกรีต และมีผลผลิตน้ำยางเฉลี่ย 10 ปีกรีต สูงกว่าถึง 60% (สถาบันวิจัยยาง, 2546ก) เช่นเดียวกับการสะสมน้ำหนักรูปร่างในลำต้น ซึ่งพบว่า พันธุ์ RRIT 402 สามารถให้ปริมาตรเนื้อไม้ในส่วนท่อนซุง (clear bole volume) สูงกว่าพันธุ์ RRIM 600 ถึง 97% (สถาบันวิจัยยาง, 2546ก) นอกจากนี้ ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (rubber characteristics morphology) เช่น ขนาดทรงพุ่ม รูปทรงฉัตร และการจัดเรียงตัวของใบ (สุทัศน์, 2543) มีผลต่อประสิทธิภาพในการรับแสงและการสังเคราะห์แสงของยางพาราด้วย (ศรปราชญ์ และคณะ, 2544)

#### 2. ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม

เนื่องจากสภาพแวดล้อมมีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาด้วย อันได้แก่ การเปลี่ยนแปลงในรอบวันของสภาพอากาศ เช่น ปริมาณแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และแรงดูดซึมน้ำในบรรยากาศ ที่ส่งผลต่อการเปิดปากใบ ศักย์ของน้ำในใบ การแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ และการสังเคราะห์แสงในแต่ละวันของยางพารา (กฤษดา และคณะ, 2546; ศรปราชญ์ และคณะ, 2544; Watson, 1989) รวมถึงความชื้นในดิน ความเป็นกรดต่างของดิน ธาตุอาหารในดิน โครงสร้างและลักษณะเนื้อดิน ความลาดชัน และความสูงต่ำของพื้นที่หรือพิกัดตำแหน่งบนพื้นโลก นอกจากนี้ ผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตแล้ว ยังมีผลต่อความอยู่รอดของยางพาราด้วย (สมเจตน์ และคณะ, 2531) นอกจากนี้ พลวัตของน้ำในดิน เช่น การไหลบ่า การระบายน้ำ การระเหยน้ำ ระดับน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช มีผลต่อการดูดซึมน้ำของต้นยางพาราแตกต่างกันในรอบปีอีกด้วย

(Pratummintra *et al.*, 2002b) ซึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกการไหลของน้ำในดินสุรอก จากรากส่วนต่างๆ ของต้น และการคายน้ำจากใบสู่บรรยากาศ (Thornley, 1996) จากปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ จึงส่งผลต่อการสร้างพื้นที่ใบ การสร้างมวลของกิ่งก้าน ลำต้น ราก ปริมาณน้ำยาง และการสะสมธาตุอาหารที่จำเป็นในต้นยางพารา (จินตนา และสุนทร, 2544) เพราะพืชที่มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง มีการสะสมน้ำแห้งหรือสร้างมวลชีวภาพได้ดี รวมถึงกระบวนการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชที่ดีในระยะต่อมา (Asaeda *et al.*, 2005)

สำหรับการนำแบบจำลองการผลิตพืชมาประยุกต์ใช้ในการผลิตยางพารานั้น หากนำข้อมูลพื้นฐานจากปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตเหล่านี้ และใช้สมการทางคณิตศาสตร์อธิบายการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา สามารถคาดคะเนการให้ผลผลิตยางได้โดยอาศัยสมการพื้นฐานและแบบจำลอง 3 ชนิด (สมเจตน์ และคณะ, 2545; Pratummintra *et al.*, 2002a; Pratummintra *et al.*, 2002b) ดังนี้

สมการพื้นฐาน

$$Bn = \frac{0.36(bgm \times KLAI)}{\frac{1}{L} + (0.25ct)}$$

เมื่อ  $Bn$  = ผลผลิตมวลรวม ( $kg DM ha^{-1}$ )  
 $bgm$  = อัตราการผลิตมวลชีวภาพรวมสูงสุด ( $kg DM ha^{-1} d^{-1}$ )  
 $KLAI$  = อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดที่ดัชนีพื้นที่ใบสูงสุด  
 $L$  = ช่วงระยะเวลาการเก็บผลผลิต (30 วัน)  
 $ct$  = อัตราการสูญเสียของมวลชีวภาพเนื่องจากการหายใจ ( $kg DM ha^{-1} d^{-1}$ )

1) แบบจำลองศักยภาพการผลิตจากพลังงานแสงและความร้อน (Radiation-thermal production potential simulation model; RPP)

แบบจำลองนี้ใช้หลักสมมติฐานจากสมการพื้นฐานความสมบูรณ์ของต้นพืช โดยไม่มีข้อจำกัดจากปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการเจริญเติบโต เช่น ความสมบูรณ์ของปริมาณธาตุอาหาร โรคแมลง หรือปริมาณน้ำ ในการประยุกต์

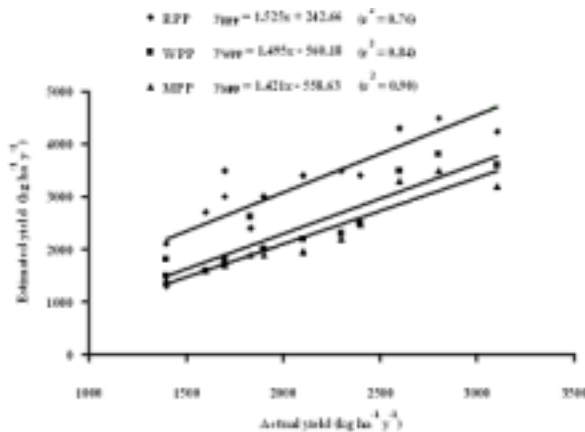
ใช้สร้างเป็นแบบจำลอง RPP ของยางพารา ถือว่าต้นยางพารามีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงสูงสุด ผลผลิตหรือมวลชีวะสังเคราะห์ที่สามารถสังเคราะห์ได้ในแต่ละวัน จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลผลิตยางในสภาพแปลงจริง ทั้งนี้แบบจำลองจะมีความผันแปรจากสภาพภูมิอากาศ เป็นปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์ผลผลิต เช่น ปริมาณแสงแดดที่ต้นยางพาราได้รับในแต่ละวัน อัตราการดูดซึมน้ำและแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ในทรงพุ่ม ซึ่งมีผลต่ออัตราการผลิตมวลชีวภาพสูงสุดของยางพารา (สรปราชญ์ และคณะ, 2544)

2) แบบจำลองศักยภาพการผลิตที่จำกัดน้ำ (Water limited production potential simulation model; WPP)

แบบจำลองนี้พัฒนาจากการนำแบบจำลอง RPP มาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลความอุดมสมบูรณ์เชิงพื้นที่ปลูกที่เหมาะสมต่อการปลูกยางพารา โดยใช้หลักสมมูลของน้ำในดินเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนา สามารถคาดคะเนระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน และการใช้น้ำของยางพาราในแต่ละช่วงของฤดูกาลได้ โดยอาศัยปัจจัยพื้นฐานจากอัตราการระเหย และคายน้ำทั้งในสภาพแปลงจริงและการประเมินทางทฤษฎี ทำให้สามารถประเมินค่าดัชนีพื้นที่ใบสูงสุดของต้นยางพารา และอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดในรอบวันได้แม่นยำขึ้น จึงทำให้แบบจำลอง WPP สามารถประเมินผลผลิตยางพาราใกล้เคียงกับผลผลิตในแปลงจริงสูงขึ้น

3) แบบจำลองศักยภาพการผลิตให้ผลผลิตสูงสุด (Maximum production potential simulation model; MPP)

จากผลการประเมินผลผลิตยางที่ได้จากแบบจำลอง RPP และ WPP พบว่ามีความแม่นยำในการเปรียบเทียบผลผลิตจริงในแปลงค่อนข้างสูง คือ  $y_{RPP} = 1.525x - 242.66$  ( $r^2 = 0.76$ ) และ  $y_{WPP} = 1.495x - 560.18$  ( $r^2 = 0.84$ ) ตามลำดับ (Figure 1) อย่างไรก็ตาม เมื่อนำปัจจัยบางประการที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตยางพารามาวิเคราะห์เพิ่มเติม ได้แก่ ระบบกรีด และดัชนีจำนวนวันกรีดยางที่ต้องสูญเสียเนื่องจากวันฝนตก เนื่องจากจำนวนวันฝนตกมีผลต่อช่วงเวลาในการกรีดและการเก็บน้ำยาง ทำให้ผลผลิตน้ำยางรวมคลาดเคลื่อนได้ (Watson, 1989) ทำให้ได้ค่าการประเมินผลผลิตยาง และผลผลิตยางในแปลงจริงมีความแม่นยำสูงขึ้น คือ  $y_{MPP} = 1.421x - 558.63$  ( $r^2 = 0.90$ ) จึงแสดงให้เห็นว่าการใช้สมการพื้นฐานในการประเมินประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและผลผลิตมวลรวมของพืช สามารถนำไปประเมินการ



**Figure 1. The relationship between the estimated and actual rubber yield. (Redrawn with modification from Pratummintra et al., 2002b)**

ให้ผลผลิตของยางพาราได้ อย่างไรก็ตามการประเมินผลผลิต ยางจากทั้ง 3 แบบจำลอง ให้มีความแม่นยำสูงขึ้น จำเป็น ต้องมีการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการตอบสนองต่อผลผลิต ยางพาราเพิ่มเติม ซึ่งในปัจจุบันการศึกษาแบบจำลองในยาง พารา ยังคงเป็นการวิเคราะห์ปัจจัยสำคัญบางประการเท่านั้น เช่น สมดุลของน้ำในดิน รวมถึงระบบกรีดและจำนวนวันกรีด ทั้งที่ในสภาพปกติแล้ว ยางพาราจะได้รับผลกระทบจากปัจจัย อื่นๆ ที่มีผลต่อการให้ผลผลิตน้ำยางและไม้ทั้งทางตรงและ ทางอ้อมด้วย ได้แก่ การจัดการในสวน การเข้าทำลายของ โรคที่สำคัญบางชนิด เช่น โรคใบร่วงจากเชื้อ *Phytophthora* spp. โรคราแป้ง โรคเส้นดำ (สถาบันวิจัยยาง, 2544) รวมถึงอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาเกี่ยวกับการไหลของน้ำยาง เช่น อาการหน้ายางแห้ง (tapping panel dryness; TPD) และเปลือกแห้ง (bark necrosis; BN) (Nandris et al., 2004) ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการสร้างเนื้อไม้ เช่น แคลเซียม (จินตนา และสุนทร, 2544) รวมถึงปัจจัยทางสังคมที่อาจ ส่งผลต่อกระบวนการตัดสินใจและระบบการผลิตยางพารา (rubber-based farming systems) (Somboonsuke et al., 2002) ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาหรือพัฒนาให้ครอบคลุมเพิ่ม ขึ้น เพื่อให้ได้แบบจำลองที่สามารถคาดคะเนผลผลิตน้ำยาง และไม้ยางได้ใกล้เคียงกับสภาพจริงมากที่สุด และนำไปสู่การ พัฒนาเป็นแบบจำลองการผลิตยางพารา (rubber simulation model) ที่มีประสิทธิภาพในอนาคตได้ (Figure 2)

### ประโยชน์จากการใช้แบบจำลองการผลิตพืชในยางพารา

1. สามารถคาดคะเนปริมาณผลผลิตได้ใกล้เคียงกับผลผลิตจริงในแปลง
2. สามารถพัฒนาเป็นฐานข้อมูลยางพาราหรือโปรแกรมแบบจำลองด้านยางพารา ที่คาดการณ์การเจริญเติบโตและผลผลิตได้
3. สามารถวิเคราะห์ร่วมกับระบบข้อมูลสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ เพื่อจำแนกพื้นที่ที่มีศักยภาพในการปลูกและให้ผลผลิตของยางพารา
4. สามารถพยากรณ์ผลผลิตล่วงหน้า ทำให้มีศักยภาพด้านการแข่งขันในตลาดยางพาราโลก
5. สามารถประยุกต์ใช้กับการผลิตพืชยืนต้นที่สำคัญทางเศรษฐกิจอื่นๆ ได้ เช่น ปาล์มน้ำมัน ลำไย ทุเรียน มังคุด

### สรุป

แบบจำลองการผลิตพืชสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตยางพาราได้ โดยจำลองสถานการณ์จากปัจจัยด้านการสังเคราะห์แสง การใช้น้ำ ธาตุอาหาร และปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของต้นยางพารา ทำให้สามารถคาดคะเนการให้ผลผลิตของยางพาราได้ใกล้เคียงกับผลผลิตในแปลงจริงของพันธุ์ยางแต่ละพันธุ์ อย่างไรก็ตาม เพื่อพัฒนาเป็นแบบจำลองการผลิตยางพาราที่มีประสิทธิภาพทั้งในด้านระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (decision-making systems) และการคาดคะเนผลผลิตน้ำยางและไม้ยางพาราให้ดียิ่งขึ้น ควรศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลกระทบเพิ่มเติม เช่น ปัจจัยด้านการจัดการสวนต่างๆ และปัจจัยด้านเศรษฐกิจและสังคม

### เอกสารอ้างอิง

- กฤษดา สังข์สิงห์ กรรณิการ์ ธีระวัฒน์สุข อารักษ์ จันทุมมาศพรราชญ์ ธนเศรษฐรงค์กูร กุมุท สังข์ศิลา และ พูนพิภพ เกษมทรัพย์. 2546. การศึกษาค่า stomatal conductance ในใบยางพารา. ว. วิชาการเกษตร 21: 248-258.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2546. การใช้รูปถ่ายทางอากาศและภูมิสารสนเทศเพื่อสำรวจและประเมินผลผลิตเบื้องต้นสำหรับ ทุเรียนและมังคุดทั่วประเทศ ปีการผลิต 2545/46.

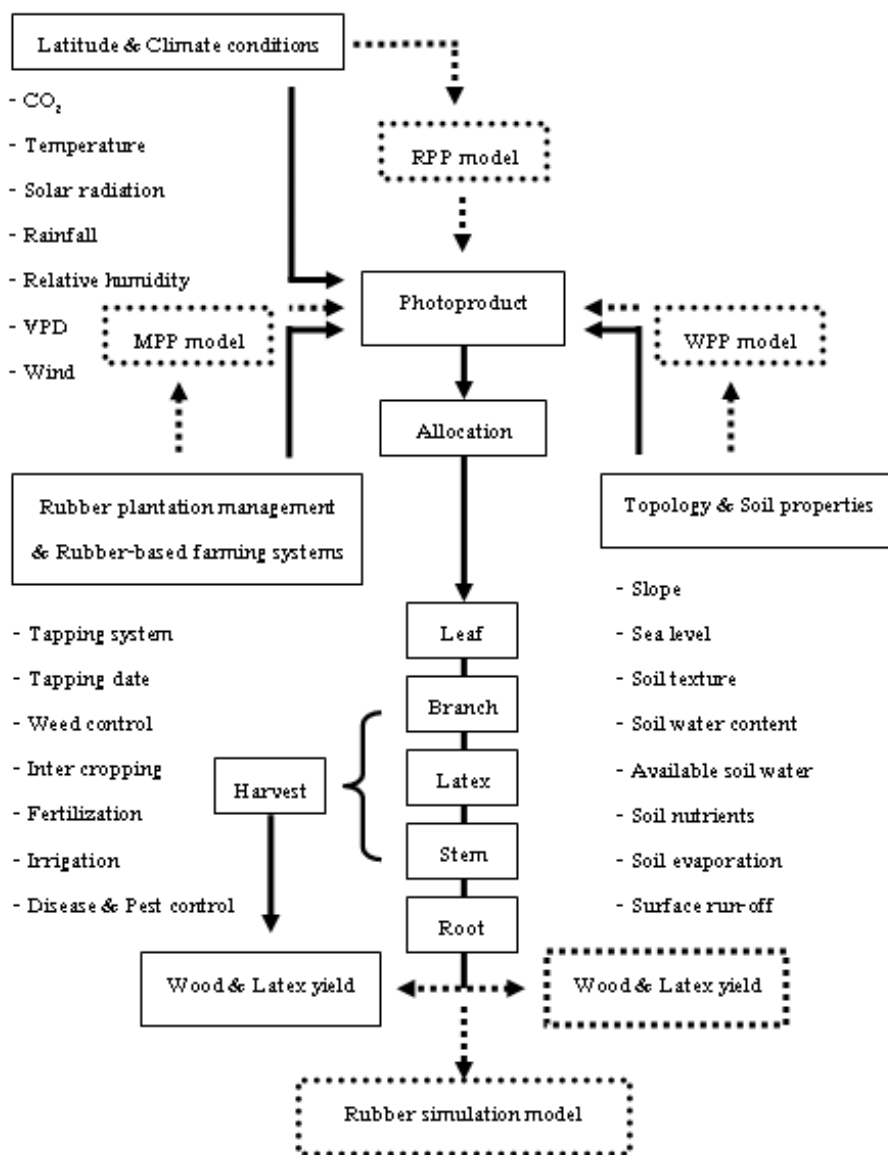


Figure 2. A schematic representation of the development of rubber production model. (Data from Bouman *et al.*, 1996; Pratummintra *et al.*, 2002a; Pratummintra *et al.*, 2002b; Pretzsch, 2001; Somboonsuke *et al.*, 2002; van Ittersum *et al.*, 2003; Watson, 1989)

รายงานวิจัย: กรมพัฒนาที่ดิน กรุงเทพฯ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2546. หลักเกณฑ์การเข้าร่วมโครงการปลูกยางเพื่อยกระดับรายได้และความมั่นคงให้แก่เกษตรกรในแหล่งปลูกยางใหม่ ระยะที่ 1 (2547-2549). เอกสารประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

จินตนา บางจั่น และสุนทรี ยิ่งชัชวาลย์. 2544. มวลชีวภาพและปริมาณธาตุอาหารหลักของต้นยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ใน: รายงานวิจัย สรีรวิทยาการผลิตยางพารา ปีงบประมาณ 2543 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม หน้า 1-40. ชูชาติ ถนอมกุลบุตร. 2545. ตลาดแลกเปลี่ยนยางไทย. ใน:



- การประชุมวิชาการยางพาราครั้งที่ 1 ประจำปี 2545 จังหวัดหนองคาย วันที่ 20-22 กุมภาพันธ์ 2545 สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ หน้า 254-257.
- พนมศักดิ์ พรหมบุรุษย์ อรรถชัย จินตะเวช และเมธี เอกะสิงห์. 2543. โครงสร้างของระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตข้าว: โฟสพ 1.0. ใน: รายงานวิจัย ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตพืช: ข้าวในภาคเหนือ ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ หน้า 213-217.
- รังสรรค์ อากาศพะกุล. 2544. แบบจำลองกระบวนการสร้างผลผลิตข้าวในภาคใต้. รายงานวิจัย: ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา.
- ศรปราชญ์ ธนสุวรรณรงค์กูร พูนพิภพ เกษมทรัพย์ และ กฤษดา สังข์สิงห์. 2544. ลักษณะเรือนฟุ้งกับการรับแสง กระบวนการสร้างและสลายสารประกอบคาร์บอนของยางพารา. ใน: รายงานวิจัย สรีรวิทยาการผลิตยางพารา ปังบประมาณ 2543 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม หน้า 75-87.
- ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. 2542. การจำลองแบบปัญหา (simulation). ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ.
- สถาบันวิจัยยาง. 2544. โรคยางพาราที่พบในประเทศไทย. กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ.
- สถาบันวิจัยยาง. 2546ก. คำแนะนำพันธุ์ยางปี 2546. กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ.
- สถาบันวิจัยยาง. 2546ข. รายงานประจำปี 2546. กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ.
- สถาบันวิจัยยาง. 2546ค. พันธุ์ยางเนื้อไม้สูง ปี 2545. กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ.
- สมเจตน์ ประทุมมินทร์ จำนงค์ คงศิลป์ van Ranst, E. และ Verplancke, H. 2545. การประยุกต์ใช้ระบบภูมิสารสนเทศและแบบจำลองการผลิตจัดทำแผนที่ศักยภาพการผลิตยางพารา กรณีศึกษา: จังหวัดจันทบุรี. ว. เทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ 1: 59-66.
- สมเจตน์ ประทุมมินทร์ ประสาท เกศพิทักษ์ และประพาส รมเย็น. 2546. แผนที่ศักยภาพการผลิตยางพาราเพื่อ การขยายพื้นที่ปลูกยางปี พ.ศ. 2547-2549 ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ.
- สมเจตน์ ประทุมมินทร์ ปราโมทย์ สุวรรณมงคล ประเทือง ดลกิจ เสมอ สมานค และ Ninane, F. 2531. การประเมินศักยภาพที่ดินสำหรับปลูกยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. รายงานวิจัย: ศูนย์วิจัยยาง ฉะเชิงเทรา สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ฉะเชิงเทรา.
- สุทัศน์ ด้านสกุลผล. 2543. ลักษณะประจำพันธุ์ยาง (ตอน 2). ว. ยางพารา 20: 87-108.
- สุทัศน์ ด้านสกุลผล และสมยศ สันธูหัต. 2544. การกำหนดเขตปลูกยางของประเทศไทย (ในแหล่งปลูกยางเดิม) โดยอาศัยเทคนิคการสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศทางภูมิศาสตร์. ว. ยางพารา 21: 42-66.
- สุภาพร บัวแก้ว. 2547. สถานการณ์การผลิตและการตลาดยาง. ใน: เอกสารวิชาการ ยางพารา กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ หน้า 5-9.
- สุรพล มุละดา. 2548. ก้าวอย่าง...สู่ศูนย์กลางยางพาราโลก. รายงาน: การสัมมนาวันยางพาราแห่งชาติ ประจำปี 2548. สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง (สทย.) กรุงเทพฯ.
- สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. 2547ก. การใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำรวจและประเมินผลผลิตลำไย ปีการผลิต 2546/47. รายงานวิจัย: กรมพัฒนาที่ดิน กรุงเทพฯ.
- สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. 2547ข. การใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำรวจและประเมินผลผลิตยางพาราปีการผลิต 2547. รายงานวิจัย: กรมพัฒนาที่ดิน กรุงเทพฯ.
- อรรถชัย จินตะเวช ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา และ Inman-Bamber, N.G. 2540ก. แบบจำลองอ้อย ThaiCane 1.0. ใน: รายงานวิจัย การพัฒนาและการทดสอบแบบจำลองการเจริญเติบโตของอ้อยในประเทศไทย ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ หน้า 102-112.
- อรรถชัย จินตะเวช สุวิทย์ เลหาศิริวงศ์ เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง และ ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา. 2540ข. แนวคิดและหลัก

- การ (principles & concepts). ใน: รายงานวิจัย การพัฒนาและการทดสอบแบบจำลองการเจริญเติบโตของอ้อยในประเทศไทย ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ หน้า 2-15.
- Aerts, R. and Chapin III, F.S. 2000. The mineral nutrition of wild plants revisited: A re-evaluation of processes and patterns. *Adv. Ecol. Res.* 30: 1-67.
- Asaeda, T., Hai, D.N., Manatunge, J., Williams, D. and Roberts, J. 2005. Latitudinal characteristics of below-and above-ground biomass of Typha: A modelling approach. *Ann. Bot.* 96: 299-312.
- Bantern, P., Patanothai, A., Pannangpetch, K., Jogloy, S. and Hoogenboom, G. 2004. Determination and evaluation of genetic coefficients of peanut lines for breeding applications. *Europ. J. Agron.* 21: 297-310.
- Bouman, B.A.M., Kropff, M.J., Tuong, T.P., Wopereis, M.C.S., Ten Berge, H.F.M. and van Laar, H.H. 2001. ORYZA2000: Modeling lowland rice. International Rice Research Institute, Wageningen University and Research Centre, Los Banos.
- Bouman, B.A.M., van Keulen, H., van Laar, H.H. and Rabbinge, R. 1996. The "School of de Wit" crop growth simulation models: A pedigree and historical overview. *Agri. Sys.* 52: 171-198.
- Costes, E., Sinoquet, H., Godin, C. and Kelner, J.J. 1999. 3D digitizing based on tree topology: Application to study the variability of apple quality within the canopy. *Acta Hort.* 499: 271-280.
- Dubrovsky, M., Žalud, Z., Trnka, M., Pešice, P. and Haberle, J. 2002. PERUN-the system for the crop yield forecasting. In: XIV Česko - Slovenka Bioklimatologická Konference (eds., Rožnovsky, J. and Litschmann, T.), Lednice, Czech Republic, Sep. 2-4, 2002: 64-74.
- Gary, C., Jones, J.W. and Tchamitchian, M. 1998. Crop modelling in horticulture: State of the art. *Scientia Hort.* 74: 3-20.
- Goudriaan, J. and van Laar, H.H. 1990. Current issue in production ecology (Volume 2): Modelling potential crop growth processes, textbook with exercises. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Green, S., McNaughton, K., W?nsche, J.N. and Clothier, B. 2003. Modeling light interception and transpiration of apple tree canopies. *Agron. J.* 95: 1380-1387.
- Hartkamp, A.D., White, J.W. and Hoogenboom, G. 1999. Simulation & modeling: Interfacing geographic information systems with agronomic modeling: A review. *Agron. J.* 91: 761-772.
- Hikosaka, K. and Terashima, I. 1996. Nitrogen partitioning among photosynthetic components and its consequence in sun and shade plants. *Func. Ecol.* 10: 335-343.
- Hirose, T. and Werger, M.J.A. 1987. Maximizing daily canopy photosynthesis with respect to the leaf nitrogen allocation pattern in the canopy. *Oecologia* 72: 520-526.
- Huygen, J., van Dam, J.C. and Kroes, J.G. 2000. SWAP graphical user interface, user manual. Alterra, Wageningen.
- Jones, C.A., Kiniry, J.R., Dyke, P.T., Farmer, D.B., Godwin, D.C., Parker, S.H., Ritchie, J.T. and Spanel, D.A. 1986. CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development (eds., Jones, C.A. and Kiniry, J.R.). Texas A&M University Press.
- Jongkaewwattana, S. 1995. Systems simulation and modeling. Multiple Cropping Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai.
- Kage, H., Kochler, M., Alt, C. and St?tzl, H. 2003. Predicting dry-matter partitioning between individual cauliflower leaves using a source limitation/sink hierarchy model. *J. Hort. Sci. & Biotech.* 78: 537-548.
- Kropff, M.J. and van Laar, H.H. 1993. Modelling Crop/Weed Interactions. CAB International, Wallingford, Oxon.
- Launay, M. and Gu?rif, M. 2003. Ability for a model to predict crop production variability at the regional scale: An evaluation for sugar beet. *Agron. J.* 23: 135-146.
- LMC International Ltd. 2005. Rubber: Natural rubber (August, 2005). LMC International Ltd., Oxford and New York, pp. 1-4.
- Malagoli, P., Laine, P., Rossato, L. and Ourry, A. 2005. Dynamics of nitrogen uptake and mobilization in field-grown winter oilseed rape (*Brassica*

- napus*) from stem extension to harvest. II. An 15N-labelling-based simulation model of N partitioning between vegetative and reproductive tissues. *Ann. Bot.* 95: 1187-1198.
- Mangel, M., Fiksen, ? and Giske, J. 2001. Theoretical and statistical models in natural resource management and research. **In:** Modeling in natural resource management (eds., Shenk, T.M. and Franklin, A.B.), Island Press, Washington, DC, pp. 57-72.
- Mayer, J.C. 2006. How to build a Stella model. *Introduction to Mathematical Modeling MA 261/419/519:* 1-6.
- Nandris, D., Pellegrin, F. and Chrestin, H. 2004. No evidence of polymorphism for rubber tree bark necrosis & early symptoms for its discrimination from TPD. IRD Centre, Montpellier.
- Nichols, J.D. 2001. Using models in the conduct of science and management of natural resources. **In:** Modeling in natural resource management (eds., Shenk, T.M. and Franklin, A.B.), Island Press, Washington, DC, pp. 11-34.
- Ponce-Hernandez, R., Koothakan, P. and Antoine, J. 2004. Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes. FAO, Rome.
- Pratummintra, S., van Ranst, E., Verplancke, H., Kungphisdarn, N. and Kesawapitak, P. 2002a. GIS and Hevea growth model for production potential map on land quality in Chanthaburi province, Thailand. *World Congress of Soil Science*, paper no. 665: 1578.
- Pratummintra, S., van Ranst, E., Verplancke, H., Shamshuddin, J., Zauyah, S. and Yew, F.K. 2002b. The maximum production potential model for rubber in East Thailand. *Malaysian Society of Soil Science:* 413-427.
- Pretzsch, H. 2001. Models for pure and mixed forests. **In:** The forests handbook (Volume 1): An overview of forest science (ed., Evans, J.), Blackwell Science, Oxford, pp. 210-228.
- Promrit, S. and Jintrawet, A. 2001. A sugarcane flowering model. *Thai J. Agri. Sci.* 34: 111-122.
- Prusinkiewicz, P. 1998. Modeling of spatial structure and development of plants: A review. *Scientia Hort.* 74: 113-149.
- Simmonds, N.W. 1989. Rubber breeding. **In:** Rubber (eds., Webster, C.C. and Baulkwill, W.J.), Longman Group, pp. 85-124.
- Somboonsuke, B., Shivakoti, G.P. and Demaine, H. 2002. Rubber-based farming systems in Thailand: Problems, potential, solutions and constraints. *J. Rural Development* 21: 85-113.
- Sperry, J.S., Stiller, V. and Hacke, U.G. 2003. Xylem hydraulics and the soil-plant-atmosphere continuum: Opportunities and unresolved issues. *Agron. J.* 95: 1362-1370.
- Thornley, J.H.M. 1996. Modelling water in crops and plant ecosystems. *Ann. Bot.* 77: 261-275.
- Thornley, J.H.M. and Johnson, I.R. 1990. Plant and crop modelling: A mathematical approach to plant and crop physiology. Oxford University Press, New York.
- van Ittersum, M.K., Leffelaar, P.A., van Keulen, H., Kropff, M.J., Bastiaans, L. and Goudriaan, J. 2003. On approaches and applications of the Wageningen crop models. *Europ. J. Agron.* 18: 201-234.
- Wang, E., Robertson, M.J., Hammer, G.L., Carberry, P.S., Holzworth, D., Meinke, H., Chapman, S.C., Hargreaves, J.N.G., Huth, N.I. and McLean, G. 2002. Development of a generic crop model template in the cropping system model APSIM. *Europ. J. Agron.* 18: 121-140.
- Watson, G.A. 1989. Climate and soil. **In:** Rubber (eds., Webster, C.C. and Baulkwill, W.J.), Longman Group, pp. 125-164.
- White, G.C. 2001. Statistical models: Keys to understanding the natural world. **In:** Modeling in natural resource management (eds., Shenk, T.M. and Franklin, A.B.), Island Press, Washington, DC, pp. 35-56.
- World Agroforestry Centre. 2005. Spatially explicit individual-based forest simulator user guide v. 1.0.0. SExI-FS training workshop, Sembawa, May 10-12, 2005.