บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

ระบบ แบบจำลองและการจำลองระบบ

ความหมายของคำว่า “ระบบ” ตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542 หมายถึง กลุ่มของสิ่ง ซึ่งมีลักษณะประสานเข้าเป็นสิ่งเดียวกันตามหลักแห่งความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกันด้วยระเบียบของธรรมชาติหรือหลักเหตุผลทางวิชาการ เช่น ระบบประสาท ระบบทางเดินอาหาร ระบบจักรวาล ระบบสังคม ระบบบริหารประเทศ ศักดิ์ดา (2548) กล่าวว่า ระบบเป็นสิ่งที่ประกอบไปด้วยองค์ประกอบ (component) หรือตัวแปร (variable) หลายๆตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน การทำงานร่วมกันขององค์ประกอบต่างๆ ที่ประกอบเข้าเป็นระบบจะเป็นไปตามหลักธรรมชาติ ส่งผลให้ระบบสามารถทำหน้าที่ของตนเองได้อย่างสมบูรณ์ แต่ถ้าจะขยายคำนิยามคำว่าระบบที่เพื่อให้เข้าใจยิ่งขึ้นสามารถที่กล่าวได้ว่า “ระบบเป็นส่วนหนึ่งของสภาพแห่งความเป็นจริง (reality) ที่ปรากฏอยู่ทั้งในโลกและจักรวาล ซึ่งระบบหนึ่งๆ จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหรือตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันอย่างซับซ้อนตามกลไกหรือระเบียบของธรรมชาติ หรือหลักเหตุผลทางวิชาการ เพื่อทำหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่ง ส่งผลให้สภาพแห่งความเป็นจริงนั้นๆสมบูรณ์และมีเอกลักษณ์ของตัวเองอยู่ได้ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ถ้าหากสภาพแห่งความเป็นจริงนั้นๆขาดระบบใดระบบหนึ่งที่เป็นองค์ประกอบไปแล้ว สภาพแห่งความเป็นจริงนั้นๆ ก็ไม่สามารถอยู่ได้ หรือขาดความสมบูรณ์หรือเอกลักษณ์ของตัวเองไป” และนอกจากนี้เรายังสามารถแบ่งประเภทของระบบได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) ระบบต่อเนื่อง (continuous process) เป็นระบบที่มีกระบวนการเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น การเจริญเติบโตของพืช การไหลเวียนของกระแสโลหิต การไหลเวียนของกระแสลม การไหลเวียนของน้ำในดิน เป็นต้น และ 2) ระบบไม่ต่อเนื่อง (discrete process) เป็นระบบที่มีกระบวนการเกิดขึ้นอย่างไม่ต่อเนื่องเช่น กระบวนการพัฒนาการของพืช การตกของฝน เป็นต้น

ระบบหนึ่งๆ จะมีคุณสมบัติที่เฉพาะตัว แต่โดยทั่วไปแล้วทุกระบบจะประกอบไปด้วยคุณสมบัติทั่วไป 5 ประการ (ศักดิ์ดา, 2548) ได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

1. ระบบมีขอบเขตหรือที่เรียกว่า System Boundary ในกรณีของพืช ขอบเขตของระบบนี้อาจจะกว้างที่ทำให้เราสามารถศึกษาได้ด้วยตาเปล่าได้ เช่น เซลล์ นอกจากนั้นขอบเขตของระบบเดียวกันอาจจะไม่เท่ากันทั้งนี้ ขอบเขตของระบบจะถูกกำหนดโดยผู้ที่ศึกษาหรือให้ความสนใจในระบบนั้นๆ เช่น การศึกษาระบบรากพืช ผู้ศึกษาอาจเห็นความสำคัญของระบบรากแก้ว โดยไม่รวมถึงรากฝอยของพืช ดังนั้นขอบเขตของระบบรากดังกล่าวจะครอบคลุมเฉพาะส่วนของรากแก้วเป็นต้น ในการศึกษาโดยเฉพาะการศึกษาวิจัยที่จะพัฒนาแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช จะต้องคำนึงหรือกำหนดขอบเขตของพืชที่ทำการศึกษาให้ชัดเจนว่า จะทำการพัฒนาแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชที่มีขอบเขตแคบกว้างเพียงใด ทั้งนี้เพื่อที่จะได้เป็นแนวทางในการค้นคว้าและรวบรวมข้อมูล เพื่อการพัฒนาแบจำลองการเจริญเติบโตของพืชได้ตรงตามความต้องการ

2. ระบบแต่ละระบบจะประกอบไปด้วยตัวแปร หรือองค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันไม่ว่าทางตรงหรือทางอ้อม จำนวนตัวแปรในระบบจะถูกกำหนดโดยวัตถุประสงค์ของผู้ที่ทำการศึกษาระบบนั้นๆ ซึ่งหมายความว่าการศึกษาระบบหนึ่งๆ ถ้าทำการวิเคราะห์โดยลงลึกถึงรายละเอียดมากๆ ก็จำเป็นต้องกำหนดตัวแปรในระบบที่จะทำการศึกษามากตามไปด้วย ในการกำหนดตัวแปรในระบบนั้นสามารถกำหนดจำนวนตัวแปรได้ตามความละเอียดของระบบที่ศึกษาอยู่ ซึ่งความละเอียดของระบบที่ศึกษานั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษาระบบนั้นๆ

3. ระบบเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ในสภาพความเป็นจริงนั้น ทุกสิ่งทุกอย่างที่เป็นองค์ประกอบของระบบต่างๆ ในโลกเราย่อมมีการเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา ไม่ว่าจะเป็นสิ่งมีชีวิต เช่นจำนวนประชากรโลก การเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตตามอายุขัย หรือการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิของบรรยากาศโลก คุณสมบัติของระบบข้อนี้เป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ผู้ศึกษาระบบต้องการที่จะทำนายการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของระบบในอนาคต ทั้งนี้เพื่อที่จะได้วางกลยุทธ์ในการจัดการระบบนั้นๆ เช่น การทำนายการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชภายใต้การจัดการน้ำและปุ๋ย รวมทั้งการกำหนดความหนาแน่นของประชากรพืชปลูก เพื่อหากลยุทธ์การจัดการการเพาะปลูกที่เหมาะสม

4. ระบบมีความไวต่อสภาพแวดล้อมที่ตั้งอยู่ ซึ่งเรียกสภาพแวดล้อมนี้ว่าตัวแปรนอกระบบ (exogenous variables) โดยทั่วไปแล้วตัวแปรนอกระบบ หมายถึง สถาพแวดล้อมที่ระบบนั้นๆ ตั้งอยู่ เช่น ระบบการสังเคราะห์แสงของพืชที่มีความไวหรือตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ แสง ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และความชื้นที่อยู่รอบๆต้นพืชนั้นๆ ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งเกี่ยวกับตัวแปรนอกระบบได้แก่ ตัวระบบเองจะมีความไวต่อตัวแปรนอกระบบ แต่ในทางตรงกันข้าม ตัวแปรในระบบเองจะไม่มีอิทธิพลต่อตวแปรนอกระบบนั้นๆ ปกติแล้ว เช่น ถึงแม้ว่าการหายใจของต้นพืชจะผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่พืช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สร้างขึ้นนี้ถือว่ามีปริมาณเล็กน้อย ไม่สามารถส่งผลหรือทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าชคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศโลกได้ เป็นต้น ปกติแล้วตัวแปรนอกระบบถือว่าเป็นตัวแปรนำเข้า (input) สู่ระบบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ตัวแปรนอกระบบที่ควบคุมได้ (controllable input) และตัวแปรนอกระบบที่ไม่สามารถควบคุมได้ (uncontrollable input)

5. ระบบอาจประกอบไปด้วยระบบย่อย (sub-system) หรือเป็นระบบย่อยของระบบใหญ่ได้ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ระบบหนึ่งๆ สามารถประกอบไปด้วยระบบย่อยๆ ภายในตัวเองได้ เช่น ระบบนิเวศ (ecosystem) ก็จะประกอบไปด้วยระบบย่อยๆมากมาย ได้แก่ ระบบกลุ่มประชากรพืช (plant community system) ระบบกลุ่มประชากรสัตว์ (animal community system) และระบบสภาพแวดล้อมทางกายภาพ (physical environment) เช่น ดิน น้ำ อากาศ เป็นต้น

แบบจำลอง (model) เป็นการจำลองหรือลอกเลียนแบบระบบใดระบบหนึ่ง เพื่อที่จะสามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับระบบที่ศึกษาได้ง่ายและสะดวกกว่าต้องศึกษาจากระบบจริง แบบจำลองโดยทั่วไป แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบจำลองทางกายภาพ (physical model) เป็นแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อจำลองวัตถุสิ่งของ เช่น แบบจำลองบ้าน แบบจำลองรถยนต์ และแบบจำลองเครื่องบิน เป็นต้น และแบบจำลองทางสัญลักษณ์ (symbolic model) เป็นแบบจำลองที่แสดงถึงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของรูปแบบต่างๆในรูปแบบของสมการ หรือแผนภาพ แบบจำลองทางสัญลักษณ์ ยังแบ่งออกเป็น แบบจำลองเชิงคุณภาพ (qualitative model) เป็นแบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆภายในระบบ แต่ไม่มีการคำนวณค่าต่างๆ เช่น แผนภาพ หรือ flow diagram ส่วนแบบจำลองทางสัญลักษณ์ ที่สามารถคำนวณค่าความสัมพันธ์ขององค์ประกอบภายในระบบ และยังคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงล่วงหน้าได้ คือ แบบจำลองเชิงปริมาณ (quantitative model) แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นแบบจำลองเชิงคุณภาพ ชนิด mechanistic model (ศักดิ์ดา, 2536) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่สามารถแสดงถึงกลไกของระบบและสามารถวิเคราะห์ถึงเหตุและผลที่เกิดขึ้นในระบบได้ นอกจากนี้ยังสามารถแยกประเภทของแบบจำลองได้อีก 6 ประเภทคือ 1) Dynamic เป็นแบบจำลองที่สามารถบรรยายความเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วที่เกิดในระบบจริง เช่น การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝน การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของอนูไนโตรเจนหลังการเติมปุ๋ยเคมี เป็นต้น 2) Recursive แบบจำลองที่สามารถนำเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีตอันอาจจะมีผลต่อเหตุการณ์ในปัจจุบันและอนาคต เช่น การเกิดของฝนในรอบ 100 ปี เป็นต้น 3) Deterministic แบบจำลองที่สามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงตัวแปรหลักของระบบได้โดยใช้ข้อมูล หรือ ปัจจัยภายนอกเป็นกำลังขับดัน เช่น ใช้อุณหภูมิอากาศในการคาดการณ์พัฒนาการในระยะต่างๆของพืช 4) Stochastic แบบจำลองที่สามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของระบบที่เกิดขึ้นแบบ random เช่น การตกของฝน สภาพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อากาศ การระบาดของโรค-แมลง 5) Continuous แบบจำลองที่สามารถคาดการณ์การปลี่ยนแปลงของระบบอย่างต่อเนื่อง เช่น ระบบการเจริญเติบโตของพืช การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในดิน 6) Discontinuous แบบจำลองที่สามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของระบบที่เกิดอย่างไม่ต่อเนื่อง เช่น การระบาดของโรค-แมลง เป็นต้น

การจำลองระบบ (simulation) คือ การสร้างหรือนำแบบจำลอง (model) ไปใช้ในการลอกเลียนแบบระบบที่ต้องการศึกษา (Jintrawet *et al*., 1990) ทั้งนี้เพื่อศึกษาหรือทำนายการเปลี่ยนแปลงของระบบ เมื่อมีผลกระทบมาจากปัจจัยภายนอก (exogenous variables) ซึ่งในปัจจุบันการศึกษาระบบ หรือการจำลองระบบด้วยแบบจำลอง ได้ถูกนำไปใช้กับงานในหลายได้ เช่น การเกษตร วิทยาศาสตร์กายภาพ สังคมวิทยา และด้านเศรษฐศาสตร์ (Jongkaewwatana, 1995) การทำงานจำเป็นต้องอาศัยคอมพิวเตอร์ในการประมวลผล เนื่องจากระบบที่ทำการจำลองมีความสลับซับซ้อน มีตัวแปร และปัจจัยมากมายที่มีผลต่อระบบ อีกทั้งคอมพิวเตอร์ยังสามารถทำการประมวลผลซ้ำได้หลายครั้ง และแสดงผลการจำลองออกมาในเวลาอันรวดเร็ว

ขั้นตอนการจำลองระบบ

Dent and Blackie (1979) ได้เสนอ วิธีการจำลองระบบไว้ 6 ขั้นตอน โดยขั้นตอนตั้งแต่ 1-5 เป็นขั้นตอนของการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการจำลองระบบที่ต้องการศึกษา ส่วนขั้นตอนที่ 6 เป็นขั้นตอนของการนำเสนอแบบจำลองไปใช้ในการจำลองระบบ ซึ่งรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนประกอบไปด้วย

1. กำหนดวัตถุประสงค์ (define of the system and statement of objective) เป็นการทำความเข้าใจถึงระบบที่เป็นเป้าหมาย (understanding of a system) และการเรียนรู้ถึงปัญหาที่เกิดขึ้น (problem definition) รวมทั้งการกำหนดขอบเขตรายละเอียดของแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชที่จะทำการพัฒนา ศักดิ์ดา (2548) กล่าวว่า การสร้างแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชนั้นถ้าหากไม่มีการกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต และความชัดเจนของความละเอียดของแบบจำลองแล้ว แบบจำลองที่จะสร้างขึ้นก็จะไม่มีทิศทาง ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าผู้สร้างแบบจำลองที่มีรายละเอียดมาก หรือเป็นแบบจำลองที่ใหญ่ ต้องการข้อมูลนำเข้าจำนวนมาก จะทำให้ขาดความแม่นยำในการจำลองการเจริญเติบโตของพืช แต่ถ้าเป็นแบบจำลองที่มีรายละเอียดต่ำ ก็อาจเป็นไปได้ว่าไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานตามวัตถุประสงค์ที่มีไว้ก็ได้ ดังนั้นการนำปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อมาเป็นปัจจัยนำในการกำหนดทิศทางของแบบจำลองที่จะถูกพัฒนาขึ้น ซึ่งได้แก่วัตถุประสงค์ ขอบเขต และรายละเอียด จึงเป็นประเด็นสำคัญอันดับแรกๆ ที่ผู้สร้างแบบจำลองต้องคำนึงถึง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

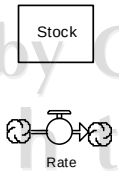
2. การรวบรวม คัดเลือก และวิเคราะห์ข้อมูล (analysis of data) ระบบหนึ่งๆที่ต้องการศึกษาประกอบด้วยข้อมูลต่างๆมากมายที่มีผลกระทบต่อระบบนั้นๆ ในการวิเคราะห์ระบบจึงควรคัดเลือกข้อมูลที่มีผลกับตัวแปรภายในระบบ และมีการตัดข้อมูลที่ไม่มีความสำคัญออก เพื่อไม่ให้เป็นการเสียเวลาและสับสนในการเลือกใช้ข้อมูล ซึ่งที่มาข้อมูลอาจมาจากการสัมภาษณ์ การทดลองค้นคว้าจากงานทดลองอื่น หรืออาจต้องสมมติขึ้นเองหากไม่สามารถหาจากหล่งอื่นได้ แต่ต้องอยู่ภายใต้สมมติฐานที่ตั้งไว้

3. การสร้างแบบจำลองขึ้นมาเพื่อทำการจำลองระบบ (model construction) ในที่นี้หมายถึงการรวบรวมแนวความคิดและความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในระบบที่ได้จากขั้นตอนแรก และใช้ข้อมูลเชิงตัวเลขที่รวบรวมได้จากขั้นตอนที่สอง นำมาผนวกกับการเขียนโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ที่เป็นแบบจำลอง mechanistic ศักดิ์ดา (2548) ได้สรุปขั้นตอนการสร้างแบบจำลองโดยทั่วไปได้ดังนี้

1.) สร้างแผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เป็นเหตุเป็นผล ที่เรียกว่า causal-loop diagram ซึ่งในการสร้างแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชนั้นแผนภาพเหตุและผลนี้จะแสดงการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างระบบต่างๆของต้นพืชและปัจจัยการผลิตต่างๆ ที่ได้จากการสรุปรายละเอียดของรับจากขั้นตอนที่ 1

2.) แปลงแผนภาพเหตุและผลที่ได้ให้เป็นแผนภาพที่สัมพันธ์กับภาษาคอมพิวเตอร์ ซึ่งแผนภาพดังกล่าวเรียกว่า Flow diagram ทั้งนี้การสร้าง Flow diagram ต้องใช้สัญลักษณ์เชิงระบบซึ่ง Forrester (1968) ได้กำหนดต้นแบบของสัญลักษณ์ของ Forrester เพื่อการใช้งานการสร้างแบบจำลองที่ง่ายขึ้นโดยเป็นสัญลักษณ์ของโปรแกรม STELLA (Isee System Inc, 2005) ปกติแล้วสัญลักษณ์หลักๆที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (ภาพที่ 2.1) ได้แก่

2.1 สัญลักษณ์ตัวแปรสะสม (stage variable หรือ stock variable) ซึ่งสัญลักษณ์นี้เป็นตัวแทนของตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงหรือระดับได้ เช่น ปริมาณสารสังเคราะห์ ผลผลิต และน้ำหนักมวลชีวภาพ โดยการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรสะสมนี้จะเปลี่ยนไปตามตัวแปรอัตรา



State Variable หรือ Stock Variable

Rate Variable

Converter หรือ Auxiliary Variable

Flow

ภาพที่ 2.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเขียน Flow diagram ของระบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 สัญลักษณ์ตัวแปรอัตรา (rate variable) เป็นตัวแทนของตัวแปรที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับตัวแปรสะสม เช่น น้ำหนักมวลชีวภาพของพืชสามารถเพิ่มขึ้นได้จากอัตราการสังเคราะห์แสง และสามารถลดลงจากอัตราการหายใจ (อัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการหายใจจัดว่าเป็นตัวแปรอัตรา) โดยสารสังเคราะห์ดังกล่าวจะลดลงช้าหรือเร็วอย่างไรขึ้นอยู่กับอัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการหายใจ เป็นต้น

2.3 สัญลักษณ์ตัวแปรเสริม (converter หรือ auxiliary variable) เป็นตัวแทนของตัวแปรที่กำหนดการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอัตรา ตัวอย่างเช่น อัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการหายใจนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งโดยปกติแล้วทั้งอัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอากาศที่สูงขึ้น ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิสูงขึ้นมีส่วนไปเร่งปฏิกิริยาทางเคมีและกิจกรรมเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงและการหายใจในต้นพืช ในกรณีนี้อุณหภูมิของอากาศจัดว่าเป็นตัวแปรเสริม

2.4 สัญลักษณ์ที่เชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ใน Flow diagram เรียกว่า information flow ซึ่งมีสัญลักษณ์เป็นลูกศรเดี่ยว information flow นี้จะเชื่อมโยงระหว่างตัวแปรเสริมด้วยกันเอง หรือระหว่างตัวแปรเสริมกับตัวแปรอัตรา หรือระหว่างตัวแปรอัตราไปสู่ตัวแปรสะสม ทั้งนี้เมื่อตัวแปรเชื่อมโยงด้วย information flow แล้วจะหมายถึงว่า ตัวแปรที่ถูกเชื่อมโยงนั้นจะมีความสัมพันธ์กันและจะต้องสามารถเขียนความสัมพันธ์ดังกล่าวออกมาในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ได้

3.) การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถือว่าเป็นตัวแบบจำลองใช้งาน ทั้งนี้โดยแผนภาพ Flow diagram ที่ได้จากกระบวนการข้างต้นผนวกกับข้อมูลเชิงตัวเลขและความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่างตัวแปรที่ได้จากขั้นตอนที่สองของการพัฒนาแบบจำลอง กล่าวโดยสรุปแล้วขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในแผนภาพ Flow diagram ให้เป็นความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ทั้งหมด ทั้งนี้โดยอาศัยภาษาคอมพิวเตอร์ในการเชื่อมโยงชุดของความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างตัวแปรที่พัฒนาขึ้นมาจาก Flow diagram อย่างเป็นระบบด้วยภาษาคอมพิวเตอร์นี้เรียกว่า แบบจำลอง mechanistic ภาษาคอมพิวเตอร์ที่นำมาสร้างแบบจำลองนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ 1) ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั่วไป (general-purpose language) เช่น ภาษา BASIC, FORTRAN, PASCAL และ C++ เป็นต้น ภาษาประเภทนี้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง และไม่มีข้อจำกัดมากนักในการเขียนโปรแกรมหรือแบบจำลอง แต่การใช้ภาษาประเภทนี้เขียนแบบจำลองนั้น ผู้พัฒนาแบบจำลองจะต้องมีความรู้ที่ลึกซึ้งเกี่ยวกับโครงสร้าง คำสั่ง และ 2) การเขียนภาษาที่จะใช้ และภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเขียนแบบจำลองเฉพาะ (special-purpose language) เช่น DYNAMO (DYNAmic MOdel พัฒนาขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดย Pugh-Robert Associates, Inc.), ACSL (Advanced Continuous Simulation Language พัฒนาโดย Mitchell and Gauthier, Assoc., Inc.) และโปรแกรม STELLA (พัฒนาโดย Isee System, Inc.) ภาษาประเภทนี้ค่อนข้างง่ายต่อการสร้างความเข้าใจโครงสร้างภาษาและการเขียนแบบจำลองโดยเฉพาะผู้ที่เริ่มศึกษาการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ นอกจากนั้นการนำเข้าข้อมูล (input) ที่เป็นตัวแปรนอกระบบ และการนำเสนอผลการจำลอง (simulation output) เช่น กราฟ และตารางข้อมูลที่ค่อนข้างง่ายต่อการกำหนด แต่ภาษาเหล่านั้นค่อนข้างมีข้อจำกัดในการใช้งานโดยเฉพาะการสร้างแบบจำลองที่ใหญ่และซับซ้อนมากๆ และไม่ค่อยจะยืดหยุ่นเหมือนภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเขียนหรือพัฒนาโปรแกรมทั่วไปดังกล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเขียนแบบจำลองโดยเฉพาะได้มีการพัฒนาและปรับปรุงให้สามารถสร้างแบบจำลองที่ซับซ้อนได้ และได้รับการแก้ไขให้สามารถมีความยืดหยุ่นต่อการนำข้อมูลเข้าและสะดวกต่อการใช้มากยิ่งขึ้น เช่น โปรแกรม STELLA version 9.0.3 เป็นต้น

4. การทดสอบแบบจำลอง (validation of the model) การตรวจสอบแบบจำลอง หมายถึงการตรวจเช็คความถูกต้องของข้อมูลและรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ภายในแบบจำลอง รวมถึงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่นำมาใช้ในแบบจำลอง ขั้นตอนนี้เป็นการสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้พัฒนาแบบจำลองในระดับหนึ่งว่า เมื่อนำแบบจำลองดังกล่าวไปให้ผู้ใช้นำไปประยุกต์ใช้งานแล้วแบบจำลองนี้สามารถที่จะทำการจำลองและเสนอผลได้อย่างถูกต้องตามเงื่อนไขหรือสมมติฐานที่ตั้งไว้ก่อนการพัฒนาแบบจำลอง ส่วนการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองเป็นขั้นตอนการทดสอบผลที่ได้จากการจำลองโดยการเปรียบเทียบผลจากการจำลองกับข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

5. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง (sensitivity analysis) โดยทดสอบความอ่อนไหวของแบบจำลองต่อสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เนื่องจากในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันตัวแปรบางตัวอาจมีผลต่อระบบสูงขึ้นหรือลดลงก็ได้ และเมื่อตัวแปรนั้นๆมีค่าเปลี่ยนไปย่อมทำให้การคำนวณในแบบจำลองมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งตัวแปรบางค่าภายในแบบจำลองเมื่อเปลี่ยนแปลงไปอาจทำให้การจำลองจากแบบจำลองผิดพลาดได้

6. การนำแบบจำลองไปใช้งาน (application of the model) หลังจากผ่านการทดสอบความถูกต้อง และความอ่อนไหวของแบบจำลองแล้ว ก็สามารถนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นไปทำการจำลองระบบตามที่ตั้งวัตถุประสงค์ในขั้นตอนแรกของการสร้างแบบจำลอง

Penning (1982) ได้เสนอให้แบ่งพัฒนาการของแบบจำลองออกเป็น 3 ระยะคือ 1) ระยะเบื้องต้น (preliminary) เป็นระยะที่การสร้างแบบจำลองมีพื้นฐานจากองค์ความรู้เบื้องต้น หรืออาจจะสร้างจากสมมุติฐานแบบจำลองที่สร้างในระยะนี้มีอายุการใช้งานสั้น เนื่องจากได้รับการปรับปรุงอยู่เสมอตามองค์ความรู้ใหม่เพิ่มขึ้นตลอดเวลา แบบจำลองดิน-พืช ที่อยู่ในระยะนี้ เป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แบบจำลองที่สามารถคำนวณการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักพืชบางส่วน อาจจะยังไม่สามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในดิน หรือการเปลี่ยนแปลงของระดับธาตุอาหารในดิน ได้อย่างแม่นยำ โปรแกรมของแบบจำลองที่เกิดในระนี้อาจจะมีเพียง 10-20 บรรทัด เท่านั้นเอง โปรแกรมแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในดินและในพืชมีพัฒนาการจัดอยู่ในระยะนี้เป็นส่วนใหญ่ รวมทั้งแบบจำลองด้านรูปทรงของพืช (morphological development) 2) ระยะสมบูรณ์ (comprehensive) เป็นแบบจำลองที่พัฒนาในระยะนี้ได้รับการปรับปรุงเพิ่มเติมจากแบบจำลองที่พัฒนาได้ในระยะแรก เนื่องจากความเข้าใจในระดับกระบวนการมีมากขึ้น ทำให้สามารถพัฒนาแบบจำลองถึงขั้นที่คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ได้ใกล้กับสภาพจริงมากที่สุดและประการสำคัญผู้ใช้งานสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงได้โดยใช้ความเข้าใจในระดับกระบวนการทางกายภาพและชีวภาพ ข้อจำกัดสำคัญของแบบจำลองที่พัฒนาได้ในระยะนี้คือ เป็นแบบจำลองที่มีขนาดใหญ่ต้องการข้อมูล input มาก ยากที่จะทำความเข้าใจ และค่อนข้างซับซ้อนในการใช้งาน โปรแกรมแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของธาตุคาร์บอนในต้นพืช C_3 และ C_4 เช่น แบบจำลอง BACROS ซึ่งพัฒนาโดยใช้ความรู้ในด้านสรีระวิทยาของพืชอย่างละเอียด หรือแบบจำลองพืชในกลุ่ม CERES และ GRO ในระบบ DSSAT เป็นต้น 3) ระยะใช้งาน (summary) ในระยะนี้แบบจำลองส่วนใหญ่จะได้รับการปรับปรุงเพื่อให้ผู้ใช้งานทั่วไปสามารถเข้าใจและนำไปใช้งานเพื่อสนับสนุนการจัดการทรัพยากรทางเกษตรให้มากขึ้น ในโลกแห่งความเป็นจริงแล้วแบบจำลองในระยะนี้ค่อนข้างจะหายาก เนื่องจากไม่ค่อยมีผู้สนใจพัฒนา โดยเฉพาะนักพัฒนาแบบจำลองที่ชำนาญแล้ว และเนื่องจากคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันที่ความรวดเร็วมากขึ้น รวมทั้งเอกสารวิชาการต่างๆมีมากขึ้นเลยไม่มีความจำเป็นในการพัฒนาแบบจำลองในรูปนี้

แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช (Crop Model)

Penning *et al*., (1989) ได้กล่าวว่า แบบจำลองพืช (Crop model) เป็นแบบจำลองที่เป็นตัวแทนของพืชในการศึกษาการเจริญเติบโตของพืช และการคำนวณหาผลกระทบของสภาพแวดล้อมที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งแบบจำลองที่สร้างขึ้นในระยะแรกๆ ใช้เพื่อการอธิบายถึงขบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นและเกี่ยวข้องกับพืช เช่น ขบวนการสูญสลายของธาตุอาหารไนโตรเจน การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในดิน เป็นต้น Jones et al., (1989) ได้กล่าวถึง แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชว่า มีการสร้างและพัฒนาโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่สามารถใช้ทำนายผลของปัจจัยทางด้าน ดิน ภูมิอากาศ และการจัดการต่างๆที่มีต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของพืช อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่า 20 ปี ในปัจจุบัน แบบจำลองที่มีการนำไปทดสอบอย่างกว้างขวางทั่วโลกรวมทั้งในประเทศไทย ได้แก่ DSSAT (Decision Support System

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

for Agrotechnology Transfer) ซึ่งเป็นความร่วมมือระหว่างนักวิจัยนานาชาติที่เข้าร่วมโครงการ International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer, IBSNAT (Uehara and Tsuiji, 1998) แบบจำลอง DSSAT ใช้แนวคิดเชิงระบบในการบูรณาการองค์ความรู้ด้าน ดิน พืช ภูมิอากาศ และการจัดการเพื่อตัดสินใจขยายผลการทดสอบเทคโนโลยีการผลิตพืชจากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่งที่มีลักษณะดินและภูมิอากาศที่คล้ายคลึงกัน แบบจำลอง DSSAT ได้รับการพัฒนาเป็นลำดับจนปัจจุบันครอบคลุมพืช 16 ชนิด และสามารถเชื่อมโยงกับระบบภูมิสารสนเทศ (Geographic Information System, GIS) เพื่อใช้งานในระดับภูมิภาค รายละเอียดของโครงสร้างของ DSSAT รวมทั้งระบบย่อยและการนำไปใช้ประโยชน์ล่าสุดปรากฏในรายงานของ Jones *et al*. (2003)

การใช้งานแบบจำลองพืชในประเทศไทยใน 10 ปีที่ผ่านมาเป็นการทดสอบแบบจำลองพืชในตระกูล DSSAT เป็นส่วนใหญ่ (เมธี, 2543) โดยเฉพาะการหาค่าสัมประสิทธิ์ของสายพันธุ์พืชเศรษฐกิจ เช่น ข้าว (Jintrawet, 1995; จิรวัฒน์ และคณะ, 2543) อ้อย (Promrit and Jintrawet, 2001) ถั่วเหลือง (สุนทร และเมธี, 2537) ถั่วลิสง (Banterng *et al*., 2004) ถั่วแดงหลวง (สุนทร และอรรถชัย, 2541) นอกจากนี้มีการทดสอบแบบจำลองถั่วเหลืองและการจัดการน้ำในสภาพการปลูกหลังนาข้าวในเขตชลประทาน (วิถี และเมธี, 2533) และมีการเชื่อมโยงแบบจำลองพืชเข้ากับระบบภูมิสารสนเทศเพื่อประมาณผลผลิตพืชในระดับจังหวัดกับหลายพืช เช่น ข้าว (เมธี และคณะ, 2543; พนมศักดิ์ และ คณะ, 2543) อ้อย (พนมศักดิ์ และคณะ, 2545) และมันสำปะหลัง (Sarawat *et al*, 2004) ในด้านทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมได้มีการใช้แบบจำลอง DSSAT ในการประมาณค่าก๊าซมีเทนที่ถูกปลดปล่อยจากการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ (Buddaboon *et al*., 2001) และผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าว (อรรถชัย และคิม, 2545)

Penning (1982) ได้จำแนกระบบการเจริญเติบโตของพืช ออกเป็น 4 ระดับ ตามปัจจัยจำกัด (limiting factor) ต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการจำลองการเจริญเติบโตของพืช ประกอบไปด้วย

การผลิตระดับ 1 : ระบบการผลิตพืชขั้นสูงสุด (Potential crop production system)

ในระบบการผลิตพืชระดับนี้ กระบวนการเจริญเติบโตและกระบวนการพัฒนาการของพืชได้รับปัจจัยการผลิตอย่างเต็มที่ หมายถึง มีปริมาณน้ำและระดับธาตุอาหารของพืชตามความต้องการ แต่ไม่เป็นพิษต่อพืชและสภาพแวดล้อม อรรถชัย และคณะ (2543) กล่าวว่า พืชมีอัตราการเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 24-56 กิโลกรัมแห้ง/ไร่/วัน เมื่อมีพื้นที่ใบครอบคลุมพื้นที่ดินเต็มพื้นที่ และเป็นอัตราที่ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศเกษตร โดยเฉพาะรังสีแสงอาทิตย์ และบางสถานการณ์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีอากาศหนาว การผลิตพืชในระบบนี้ มีองค์ประกอบพืชที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำคัญได้แก่ ต้น ราก และผลผลิต โดยมีกระบวนการสังเคราะห์แสง การบำรุงรักษาส่วนต่างๆ และการกระจายสารสังเคราะห์ เป็นกระบวนการสำคัญ กระบวนการสังเคราะห์แสงเป็นพื้นฐานเช่นเดียวกันหมดของพืชทุกชนิด

ส่วนใหญ่แบบจำลองพืชในระดับของการผลิตพืชระดับนี้ ประกอบไปด้วยกระบวนการพัฒนาการ และกระบวนการเจริญเติบโต เป็นองค์ประกอบหลัก ไม่มีกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับพลวัตรของน้ำในดิน และพลวัตของธาตุอาหารพืชในดินและในพืช ตัวอย่างของระบบการผลิตนี้สามารถสร้างได้ในห้องปฏิบัติการ ในสภาพการผลิตจริงก็มีเช่นกัน เช่น ระบบการผลิตข้าวในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย การผลิตข้าวสาลีและมันฝรั่งในประเทศเนเธอร์แลนด์ เป็นต้น แบบจำลองข้าวของระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี (Decision Support System for Agrotechnology Transfer: DSSAT) สามารถคำนวณผลผลิตของพืชในระดับนี้ได้อย่างใกล้เคียงกับผลผลิตที่วัดไปในสภาพแปลงผลิตจริงของเกษตรกร

การผลิตระดับ 2 : ระบบการผลิตพืชที่มีน้ำเป็นปัจจัยจำกัด (Water limited crop production system)

อัตราการเจริญเติบโตของพืชในระบบการผลิตนี้ มีข้อจำกัดเรื่องน้ำในบางช่วงของการพัฒนาการของพืช แต่อัตราการเจริญเติบโตสามารถดำเนินได้อย่างเต็มที่เหมือนในระบบการผลิตที่ 1 เมื่อมีปริมาณน้ำเพียงพอต่อความต้องการของพืช กระบวนการเพิ่มเติมในระบบการผลิตนี้ ได้แก่ พลวัตของน้ำในดินและพืช การสูญเสียน้ำในกระบวนการ runoff และ drainage และที่ต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษในระบบการผลิตนี้ ได้แก่ การถ่ายเทพลังงานความร้อนระหว่างอากาศ พืช และดิน

ส่วนใหญ่แบบจำลองพืชในระดับของการผลิตพืชระดับนี้ ประกอบไปด้วยกระบวนการพัฒนาการ กระบวนการเจริญเติบโต เป็นองค์ประกอบหลัก และกระบวนการพลวัตของน้ำในดิน แต่ยังไม่มีกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับพลวัตของธาตุอาหารพืชในดิน โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนและธาตุฟอสฟอรัส ตัวอย่างของระบบการผลิตนี้มีมากมายในพื้นที่เขตร้อนอย่างเช่นประเทศไทย และการผลิตในเขตกึ่งร้อนกึ่งหนาว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การผลิตระดับ 3 : ระบบการผลิตพืชที่มีไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัด (Nitrogen limited crop production system)

อัตราการเจริญเติบโตของพืชในระบบการผลิตนี้ มีข้อจำกัดเพิ่มเติมจากเรื่องน้ำในบางช่วงของการพัฒนาการของพืช คือระดับของธาตุไนโตรเจนต่ำกว่าความต้องการของพืช ในบางช่วงของพัฒนาการ โดยเฉพาะในช่วงปลายฤดูการผลิตพืช กระบวนการเพิ่มเติมในระบบการผลิตนี้ ได้แก่ พลวัตของธาตุไนโตรเจนในดินและในพืช การสูญเสียของธาตุไนโตรเจนในกระบวนการ

Leaching และ Denitrification การตอบสนองของพืชต่อธาตุไนโตรเจน และการเคลื่อนย้ายธาตุไนโตรเจนจากส่วนที่มีอายุมากไปยังส่วนของพืชที่เกิดใหม่

แบบจำลองพืชในระดับของการผลิตพืชระดับนี้ ประกอบไปด้วยกระบวนการพัฒนาการ กระบวนการเจริญเติบโตเป็นองค์ประกอบหลัก พลวัตของน้ำในดิน และพลวัตของธาตุอาหารไนโตรเจนในดินและในพืช แต่ยังไม่มีกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับธาตุฟอสฟอรัสและธาตุอาหารอื่นๆ ตัวอย่างของระบบการผลิตนี้มีมากมายในพื้นที่เขตร้อนอย่างเช่นประเทศไทย และการผลิตในเขตกึ่งร้อนกึ่งหนาว

การผลิตระดับ 4 : ระบบการผลิตพืชที่มีธาตุอาหารอื่นๆ ศัตรูพืช และปัจจัยสังคม เป็นปัจจัยจำกัด (Other plant nutrients, pest, and social factors limited crop production system)

อัตราการเจริญเติบโตของพืชในระบบการผลิตนี้ มีข้อจำกัดเพิ่มเติมจากเรื่องน้ำและเรื่องธาตุไนโตรเจน คือการขาดธาตุฟอสฟอรัส (phosphorus) ธาตุโพแตสเซียม (potassium) ในบางช่วงของการพัฒนาการของพืช การขาดธาตุฟอสฟอรัสมีความเกี่ยวข้องการ metabolism ของธาตุไนโตรเจน อัตราการเจริญเติบโตของพืชมีเพียง 1.6-8.0 กิโลกรัมแห้ง/ไร่/วัน ในช่วงการเจริญเติบโตน้อยกว่า 100 วัน นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดด้านสังคมเศรษฐกิจเข้ามาเกี่ยวข้องเป็นอย่างมาก (whole farm model) ตัวอย่างของระบบการผลิตนี้มีมากมายในพื้นที่เขตร้อนอย่างเช่นในประเทศไทย และการผลิตในเขตกึ่งร้อนกึ่งหนาว

กรอบการวิจัยที่เสนอโดย Penning de Vries and van Laar (1982) เป็นกรอบงานที่ยอมรับอย่างกว้างขวางในหมู่นักพัฒนาแบบจำลองระบบการผลิตพืชทั้งในยุโรปและอเมริกา ทำให้การพัฒนาแบบจำลองในแต่ละระดับสามารถเชื่อมต่อได้อย่างเป็นระบบ

นอกจากนี้ การแบ่งระบบการผลิตพืชออกเป็นลำดับชั้นทั้ง 4 ที่กล่าวมาแล้วนั้น มีประโยชน์ในงานพัฒนาแบบจำลอง 4 ประเด็น ได้แก่

1. ในขั้นตอนการวางแผนงานทดลองเพื่อพัฒนาความเข้าใจและนำสู่การสร้างแบบจำลอง นักวิชาการที่ชำนาญในแต่ละสาขาวิชาการ สามารถร่วมปฏิบัติงานโดยใช้กรอบแนวคิดเดียวกันได้ แม้ว่าการดำเนินงานวิจัยจะมีความเฉพาะของแต่ละสาขาวิชาการ และยังสามารถใช้กรอบแนวคิดนี้ในการจัดสรรทรัพยากรของหน่วยงานเพื่อพัฒนาแบบจำลองตามระบบการผลิตได้ เน้นการสร้างความชำนาญของแต่ละสาขาวิชาการโดยเฉพาะในเชิงปริมาณ

2. ในขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมแบบจำลองพืช สามารถพัฒนาเป็นชิ้นส่วน (module) ได้ง่ายขึ้น สามารถพัฒนาชิ้นส่วนเกี่ยวกับกระบวนการพัฒนาการ กระบวนการเจริญเติบโต กระบวนการพลวัตของน้ำในดิน กระบวนการพลวัตของน้ำในพืช กระบวนการพลวัตของธาตุ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไนโตรเจน และธาตุอื่น ๆ ทั้งนี้ สามารถพัฒนาตามความสมบูรณ์ขององค์ความรู้ในด้านนั้น ๆ อย่างเป็นขั้นเป็นตอน

3. ในขั้นตอนการทดสอบแบบจำลองที่พัฒนาได้ สามารถดำเนินการได้อย่างเป็นระบบ สามารถใช้แบบจัดเก็บข้อมูลที่มีมาตรฐานเดียวกันได้ การออกแบบงานทดลองเพื่อสนับสนุนการจัดเก็บข้อมูล สามารถออกแบบให้ใกล้เคียงกับระบบการผลิตจริง นอกจากนี้ เมื่อผ่านการทดลองในแต่ละช่วงการปรับปรุงแบบจำลอง สามารถกำหนดได้อย่างชัดเจน

4. ในขั้นตอนการนำแบบจำลองไปใช้งานในสภาพจริง ผู้ใช้งานแบบจำลองก็ทราบข้อจำกัดของแบบจำลองแต่ละประเภท ทำให้การใช้งานแบบจำลองพืชแต่ละแบบจำลองแต่ละลำดับขั้นตรงตามจุดประสงค์ของการพัฒนาแบบจำลอง

การพัฒนาแบบจำลองระบบการผลิตพืช ในระยะเริ่มแรกมีจุดประสงค์เน้นหนักในด้านช่วยเหลือให้นักวิจัยทำงานวิจัยให้ดีขึ้น เนื่องจากองค์ความรู้ในระดับกระบวนการ ยังมีไม่มากเพียงพอต่อการสร้างแบบจำลอง เมื่อการพัฒนาองค์ความรู้ในสาขาวิชาการต่าง ๆ ก้าวหน้าเพิ่มขึ้นตามลำดับ การพัฒนาแบบจำลองและการใช้งานด้านต่าง ๆ ในวงการเกษตร ก็มีมากขึ้นตามองค์ความรู้ของระบบ ตั้งแต่ระดับโลก ระดับลุ่มน้ำ และระดับไร่นา และมีตัวอย่างมากมายตามจุดประสงค์เพื่อการใช้งานของผู้วิจัยพัฒนา Boote *et al*. (1996) ได้สรุปความเห็นของ Whisler *et al*. (1986) และเสนอความเห็นเพิ่มเติมเกี่ยวกับการพัฒนาแบบจำลองไว้ 3 ประเด็นได้แก่ 1) เพื่อการสังเคราะห์องค์ความรู้การวิจัยในแต่ละสาขาวิชาการ ให้เกิดการสร้างความเข้าใจใหม่ 2) เพื่อช่วยการตัดสินใจในการจัดการผลิตพืช สิ่งแวดล้อม 3) เพื่อการวิเคราะห์นโยบาย

การจำลองระยะพัฒนาการ

จิรวัฒน์ (2544) ได้ทำการศึกษา แบบจำลอง CERES-Rice เพื่อศึกษาอิทธิพลของภูมิอากาศและพันธุกรรมที่มีต่อผลผลิตข้าว โดยทำการเปรียบเทียบอิทธิพลของวันปลูก 12 วันปลูกที่ห่างกัน 1 เดือน ของข้าว 4 พันธุ์คือ ขาวดอกมะลิ 105 เหนียวสันป่าตอง ชัยนาท 1 และข้าวญี่ปุ่น ก.วก1 พบว่าการจำลองการเจริญเติบโตในระยะแรก (vegetative phase) การเจริญเติบโตของต้นข้าวเป็นแบบที่ sink เป็นตัวจำกัด การคำนวณพื้นที่ใบจากจำนวนใบที่เกิดตามระยะการเจริญ อาศัยจากความสัมพันธ์ของจำนวนใบกับอุณหภูมิสะสม พืชโดยปรกติแล้วจะมีการพัฒนาการและการเจริญเติบโตขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิสะสมที่พืชได้รับจำนวนหนึ่งที่แน่นอนแม้สภาพแวดล้อมจะแปรผันไปอย่างไร ค่าอุณหภูมิสะสมที่พืชต้องการเพื่อพัฒนาการระยะยังคงมีค่าคงที่ นั่นหมายถึงระยะพัฒนาการของพืชถูกกำหนดโดยค่าอุณหภูมิสะสม ซึ่งพืชต้องมีค่าอุณหภูมิสะสมตามจำนวนที่กำหนดพืชจึงจะเกิดการพัฒนาการ และถ้าระยะที่พืชเจริญนั้นเติบโตอยู่มีสภาพภูมิอากาศหนาวเย็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มากกว่าปกติ พืชก็ต้องใช้ระยะเวลาที่นานขึ้นเพื่อรวมอุณหภูมิสะสมให้ได้ตามจำนวนที่กำหนด (เฉลิมพล, 2542)

สมเจตต์ (2544) ได้ทำการศึกษาทดลองโดยการเปรียบเทียบแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวระหว่างแบบจำลอง CERES-Rice และแบบจำลอง SIMRIW โดยทำการปลูกข้าวทดสอบและเปรียบเทียบแบบจำลองภายใต้สภาพวันปลูกที่แตกต่างกัน พบว่า ระยะเวลาที่ข้าวได้รับแสงในแต่ละวัน หรือความยาวของเวลากลางวัน มีส่วนสำคัญในการกระตุ้นให้ข้าวเข้าสู่ระยะกำเนิดรวง (panicle initiation) จากการสังเกตพบว่าทั้งข้าวขาวดอกมะลิ105 และก่ำดอยสะเก็ดจะเข้าสู่ระยะกำเนิดรวงในช่วงเดือนกันยายน ไม่ว่าจะปลูกในช่วงเดือนไหนก็ตาม ยกเว้นข้าวที่ปลูกในเดือนกันยายนข้าวจะเข้าสู่ระยะกำเนิดรวงเดือนตุลาคม ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ต้องการช่วงแสง 11 ชั่วโมง 52 นาที เพื่อกระตุ้นการกำเนิดรวง (อัมมาร และวิโรจน์, 2533) จำรัส (2534) ได้อธิบายถึงการเจริญเติบโตทางลำต้นของข้าวที่มีความสัมพันธ์กับช่วงแสงว่า พันธุ์ข้าวที่ไวต่อช่วงแสงเมื่อเจริญเติบโตจนถึงระยะแตกกอสูงสุดแล้วยังไม่สามารถให้กำเนิดช่อดอกได้ หากช่วงแสงของวันไม่สั้นพอ ดังนั้น ข้าวจะรอจนถึงเวลาที่มีช่วงแสงของวันสั้นที่กระตุ้นให้ก่อกำเนิดช่อดอก

การจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิต

จิรวัฒน์ (2544) กล่าวว่า จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ กับปริมาณน้ำหนักต้นที่สร้างได้ต่อวันจากสมการของแบบจำลอง CERES-Rice3.5 แสดงให้เห็นว่าอัตราการสร้างน้ำหนักแห้งต้นข้าวต่อต้นต่อวัน เพิ่มขึ้นตามพลังงานแสง อย่างเป็นเส้นตรง และเพิ่มตามพื้นที่ใบ อีกทั้ง De Datta (1981) ยังได้พบว่า จุดวิกฤตที่ข้าวจะต้องได้รับพลังงานแสงอย่างเพียงพอ อยู่ในระยะกำเนิดช่อรวง (panicle initiation) จนถึงก่อนระยะสุกแก่ 10 วัน หรือประมาณ 45 วัน ก่อนการเก็บเกี่ยว ฉะนั้นถ้าน้ำไม่เป็นปัจจัยจำกัดในการเจริญเติบโต ข้าวที่ปลูกในฤดูร้อน จะให้ผลผลิตสูงกว่าข้าวที่ปลูกในฤดูฝน เนื่องจากในฤดูร้อนข้าวได้รับพลังงานแสงในช่วงวิกฤตได้อย่างเต็มที่

การให้ปุ๋ยไนโตรเจนก็เป็นวิธีการจัดการวิธีการหนึ่งที่จำเป็นในการปลูกข้าว ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารในดินที่สำคัญที่สุดต่อการเจริญเติบโตของพืช และเป็นธาตุอาหารที่มีอยู่ในข้าวในปริมาณสูง โดยข้าวต้องมีไนโตรเจนอย่างเพียงพอโดยเฉพาะในช่วงการแตกหน่อ หน้าที่สำคัญของไนโตรเจนในข้าวได้แก่ เพิ่มการเจริญเติบโต และจำนวนหน่อ เพิ่มขนาดใบและเมล็ด เพิ่มจำนวนดอกย่อยต่อรวง เพิ่มจำนวนเมล็ดดีต่อรวง และเพิ่มปริมาณโปรตีนในเมล็ด (De Datta, 1981) ในงานทดลองของ จิรวัฒน์ (2544) ซึ่งได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจน กับพันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ คือขาวดอกมะลิ 105 และ ชัยนาท 1 และได้ทำการจำลองในแบบจำลอง CERES-Rice พบว่า ข้าวมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับผลที่วัดได้จริง Jones et al.,(1988) กล่าวว่า ความเครียดเนื่องจากการขาดไนโตรเจนของข้าว มีผลต่อข้าวต่างกันตามกระบวนการทางสรีรวิทยา โดยมีผลกระทบต่อการสังเคราะห์แสง การเจริญเติบโตที่มีการขยายขนาดไป การแก่ของใบ และการถ่ายเทสารสังเคราะห์ และปริมาณไนโตรเจนในเมล็ด โดยทั่วไปเมื่อพืชเริ่มขาดไนโตรเจน การเพิ่มพื้นที่ใบจะถูกกระทบรุนแรงกว่า การสังเคราะห์แสง

แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวภายใต้ระบบ FARMSIM

Schaber (1996) ได้ทำการทดลองและทำการทดสอบแบบจำลองภายใต้ระบบ FARMSIM ซึ่งภายในการทดลองครั้งนี้ประกอบไปด้วย แบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับ ข้าว ปลา สุกร ไก่ กระบือ และหญ้าเลี้ยงสัตว์ ซึ่งในแบบจำลองต่างๆนั้นมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และในหนึ่งแบบจำลองนั้นได้มีแบบจำลองข้าว ได้มีการพัฒนาโดยมีแนวคิดมาจากแบบจำลอง ORYZA_0 ซึ่งอาศัยข้อมูลด้าน ศักยภาพการใช้แสงเป็นพื้นฐานหลัก และ บทบาทของไนโตรเจนในพืช และจากการทดสอบแบบจำลองสำหรับฟาร์มขนาดเล็ก โดยจำลองที่พื้นที่ต่างกัน 4 แห่งและที่ระดับไนโตรเจนต่างๆกัน พบว่าค่าจำลองและค่าสังเกตที่ได้มีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยการเพิ่มปริมาณธาตุไนโตรเจนมีผลทำให้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้นด้วย และนอกจากนี้ จากการทดสอบในความควบคุมของ IRRI ได้สนับสนุนความเข้าใจระหว่างความสัมพันธุ์ในทางบวกของปริมาณไนโตรเจนที่เติมเข้าไปกับผลผลิต และสามารถที่จะเอาไปประยุกต์ใช้งานในการจำลองเรื่องอื่นๆได้ โดยการสร้างแบบจำลองย่อยขึ้นมาทำงานร่วมกับแบบจำลองนี้ได้

โปรแกรมสำหรับการพัฒนาแบบจำลองระบบ “STELLA”

โปรแกรม STELLA (Isee System Inc, 2005) ได้ถูกพัฒนาขึ้นในบริษัทเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับสร้างแบบจำลองแบบ dynamic simulation ที่มีการกำหนดการเปลี่ยนแปลงตัวแปรเป็นรายวันโดยการรวบรวมทฤษฎี สมมติฐาน และความรู้ที่เกี่ยวข้อง สร้างเป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาตร์ในรูปแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อจำลองการทำนายปรากฏการณ์ของระบบ และใช้ชุดสมการการจำลองแบบ Mechanistic model ที่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงระดับตัวแปรในระบบแต่ละเวลา (France and Thornley, 1984) วิธีการในขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง และนำเสนอสมมติฐานในงานวิจัยนี้ อาศัยหลักการใช้ข้อมูลที่จำเป็นต้องมี (minimum data set) แบบที่ใช้ในแบบจำลอง ORYZA_0 และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆตามสมมติฐานหรือข้อสรุปที่ได้จากงานทดลอง หรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แล้วจึงกำหนดและแยกชนิดของตัวแปรในระบบ โดยโปรแกรม STELLA ที่ประกอบด้วย ตัวแปร 3 ประเภทคือ 1) stock variable หรือ state variable ที่เป็นตัวแปรที่มีระดับการสะสมที่ระยะเวลาหนึ่งๆ (t) ที่เป็นผลรวมของการไหลของข้อมูลที่เป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณ 2) rate variable ที่เป็นอัตราการเพิ่มหรือลดการสะสมของ stock variable ต่อระยะเวลา (dt) และ 3) converter หรือ auxiliary variable เป็นตัวแปรขยายเกี่ยวข้องกับ rate variable ที่มีความสัมพันธ์หลัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved