

ผลและวิจารณ์

จากรายละเอียดในส่วนวิธีการต่าง ๆ ก่อนหน้านี้ สามารถจำแนกผลการศึกษาเป็น 4 หัวข้อหลัก ได้แก่

1. การทดสอบแบบจำลองภายใต้วิธีการปลูกที่แตกต่างกัน
2. การทดสอบแบบจำลองภายใต้การจัดการน้ำที่แตกต่างกัน
3. การเชื่อมโยง GIS เข้ากับแบบจำลองข้าว CERES-Rice
4. การทดสอบความถูกต้องของระบบ

การทดสอบแบบจำลองภายใต้วิธีการปลูกที่แตกต่างกัน

การทดสอบแบบจำลองภายใต้วิธีการปลูกที่แตกต่างกัน ได้ทดลองในแปลงเกษตรกรซึ่งตั้งอยู่เส้นรุ้งเหนือที่ $14^{\circ} 04'$ และเส้นแวงตะวันออกที่ $99^{\circ} 46'$ ระหว่างวันที่ 1 พ.ค.-1 ก.ย. พ.ศ. 2548 โดยการศึกษามุ่งเน้นการเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองและผลจากแปลงทดลอง ในส่วนของระยะพัฒนาการและผลผลิตข้าวเท่านั้น สำหรับข้อมูลทางด้านสภาพแวดล้อมและการจัดการต่าง ๆ ในช่วงดำเนินการทดลอง ได้ถูกแจกแจงอย่างละเอียดในภาคผนวกที่ ก.

อิทธิพลของวิธีการปลูกต่อการเจริญเติบโตของข้าว

สิ่งสำคัญที่มุ่งเน้นในส่วนนี้คือ พัฒนาการและการเจริญเติบโตของข้าวทั้งสองพันธุ์จากวิธีการปลูกข้าวสองวิธี ดังนั้นงานส่วนนี้จึงพิจารณาผลศึกษาเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ระยะพัฒนาการและผลผลิตมวลแห้งของข้าว โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ระยะพัฒนาการ จากการสังเกตจำนวนวันในแต่ละระยะพัฒนาการของข้าว 2 พันธุ์ คือ สุพรรณบุรี 1 และปทุมธานี 1 โดยพิจารณาระยะพัฒนาการ 3 ช่วง ได้แก่ ระยะรวงอ่อน (panicle initiation), ระยะออกรวง (heading) และระยะสุกแก่ (maturity) ซึ่งผลของจำนวนวันพัฒนาการจากตารางที่ 13 พบว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีอายุพัฒนาการที่สั้นกว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ทั้งสองวิธีการปลูก โดยวิธีการปลูกแบบปักดำจะส่งผลต่อการยืดอายุของข้าวอิทธิพลการปักดำ (transplant shock effect) ตามรายงานที่อ้างโดย จิรวัดน์ (2544)

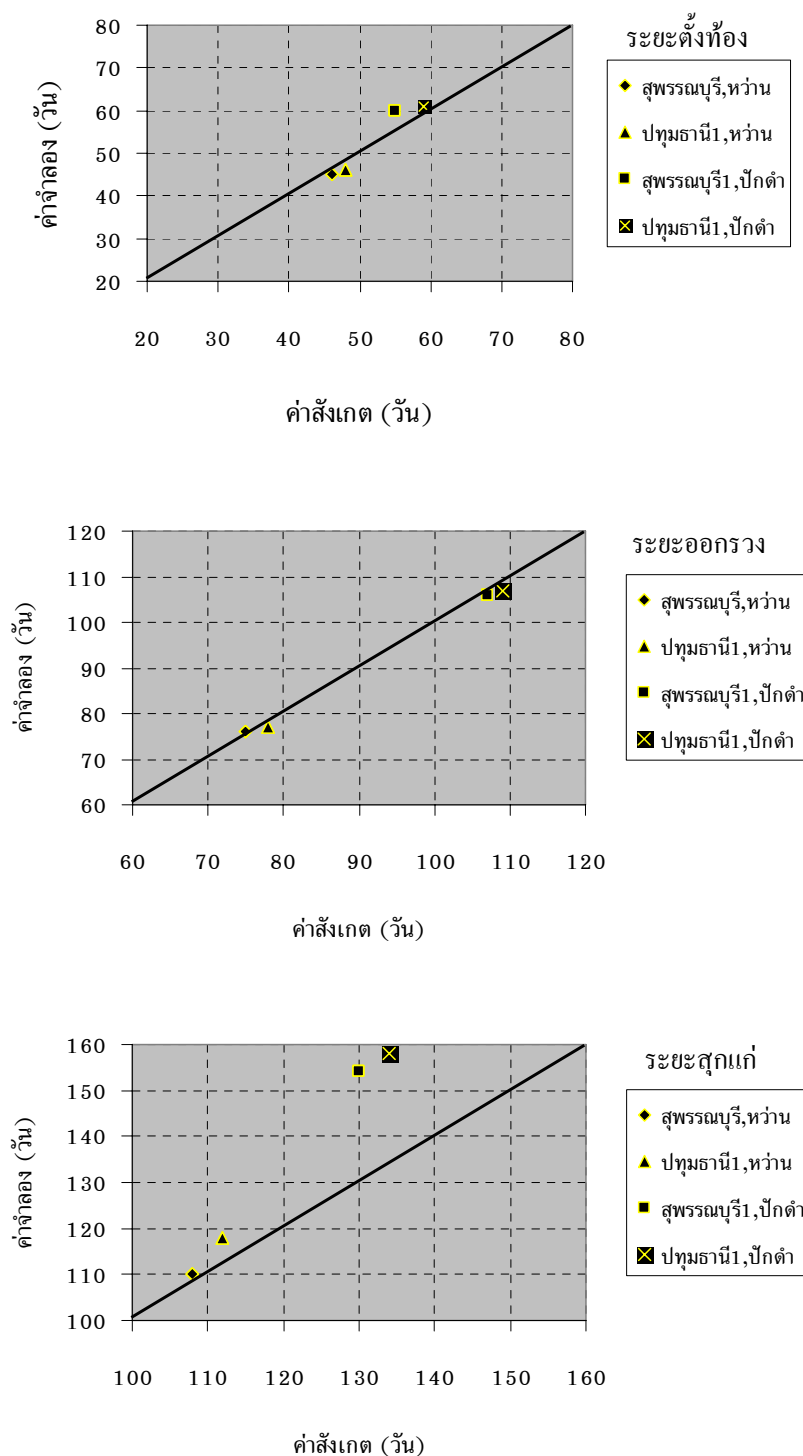
ตารางที่ 13 ระยะพัฒนาการของข้าวในวิธีการปลูกแบบนาหว่านน้ำตมและนาปักดำ

พันธุ์ข้าว/วิธีการปลูก	จำนวนวันหลังหว่าน/ปักดำ		
	ระยะรวงอ่อน (panicle initiation)	ระยะออกรวง (heading)	ระยะระยะสุกแก่ (maturity)
สพ.1 ¹ /หว่าน _(เฉลี่ย)	46	75	108
ปท.1 ² /หว่าน _(เฉลี่ย)	45	78	112
สพ.1 /ปักดำ _(เฉลี่ย)	55	107	130
ปท.1 /ปักดำ _(เฉลี่ย)	59	109	134

*หมายเหตุ: สพ.1¹ = ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และ ปท.1² = ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

ทั้งนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าสังเกตในแปลงทดลอง (observed data) กับค่าการจำลอง (simulated data) ในส่วนระยะพัฒนาการต่าง ๆ โดยใช้วิธีสร้างกราฟ 1:1 ดังแสดงในภาพที่ 19 พบว่า ส่วนใหญ่ค่าที่ได้จากการสังเกตและค่าที่ได้จากการจำลองทั้งสองวิธีการปลูกมีค่าใกล้เคียงกัน พิจารณาได้จากจุดทั้ง 4 จุดมีตำแหน่งใกล้เคียงกับกราฟ 1:1 ขณะที่ผลการจำลองสภาพการปลูกวิธีปักดำมีความคลาดเคลื่อนสูงในระยะสุกแก่ เนื่องจากจุดอยู่เหนือเส้น 1:1 ซึ่งแสดงถึงแบบจำลองคาดการณ์เกินสภาพความเป็นจริง (overestimation) ขณะเดียวกันการจำลองสภาพการปลูกวิธีหว่านน้ำตมของข้าวทั้งสองพันธุ์มีความถูกต้องสูงอย่างเห็นได้ชัด แต่ในช่วงระยะกำเนิดรวงและระยะออกรวงที่แบบจำลองมีค่าน้อยกว่าสังเกต (underestimation) เนื่องจากจุดอยู่ต่ำกว่าเส้น 1:1

จากตารางที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบค่าการจำลองและค่าสังเกตในแปลงทดลองทั้ง 3 พัฒนาการของข้าวด้วยวิธีหว่านน้ำตมพบว่า ข้าวสุพรรณบุรี 1 มีค่าความแตกต่าง (Bias) เท่ากับ -1, 1 และ 2 และมีค่าเบี่ยงเบน (RMSE) เท่ากับ 1, 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งค่า Bias ที่มีค่าเป็นลบหมายถึงแบบจำลองประเมินผลได้น้อยกว่าความเป็นจริง ทำนองเดียวกันข้าวปทุมธานี 1 มีค่า Bias เท่ากับ -2, -1 และ 6 ขณะที่ค่า RMSE เท่ากับ 2, 1 และ 6 ตามลำดับ ซึ่งผลการประเมินความแตกต่างระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าจากแบบจำลองแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองสามารถจำลองระบบการปลูกข้าวด้วยวิธีหว่านน้ำตมที่สอดคล้องกับความเป็นจริง



ภาพที่ 19 เปรียบเทียบค่าจำลองและค่าสังเกตระยะพัฒนาการของข้าวทั้งสองพันธุ์ภายใต้
อิทธิพลการปลูกวิธีหว่านน้ำตมและปักดำ

ตารางที่ 14 ค่าการจำลองและค่าสังเกตจำนวนวันระยะพัฒนาการของพันธุ์ สุพรรณบุรี 1 และ ปทุมธานี 1 ภายใต้การปลูกด้วยวิธีหว่านน้ำตม

พันธุ์ข้าว/พัฒนาการ	ค่าประเมินความถูกต้อง				Error (%)
	simulated	observed	RMSE	Bias	
สุพรรณบุรี 1 (เฉลี่ย)					
ระยะรวงอ่อน	45	46	1	-1	2.17
ระยะออกรวง	76	75	1	1	1.32
ระยะสุกแก่	110	108	2	2	1.80
ปทุมธานี 1 (เฉลี่ย)					
ระยะรวงอ่อน	46	48	2	-2	4.16
ระยะออกรวง	77	78	1	-1	1.28
ระยะสุกแก่	118	112	6	6	1.70

ทำนองเดียวกันจากตารางที่ 15 ผลการเปรียบเทียบค่าการจำลองและค่าสังเกตในแปลงทดลองทั้ง 3 พัฒนาการของข้าวด้วยวิธีนาปักดำพบว่า ข้าวสุพรรณบุรี 1 มีค่า Bias เท่ากับ 5, -1 และ 24 (ระยะรวงอ่อน, ระยะออกรวง และระยะสุกแก่ ตามลำดับ) และ RMSE เท่ากับ 5, 1 และ 24 ตามลำดับ สำหรับข้าวปทุมธานี 1 มีค่า Bias เท่ากับ 2, -2 และ 24 ขณะที่ค่า RMSE เท่ากับ 2, 2 และ 24 ตามลำดับ จากค่าประเมินความถูกต้องในสภาพระบบการปลูกข้าววิธีปักดำมีจุดสังเกตว่าแบบจำลองคาดการณ์ระยะสุกแก่คลาดเคลื่อนออกไป 24 วัน สำหรับการทดลองนี้แบบจำลองสามารถคาดการณ์แนวโน้มระยะพัฒนาการของข้าวได้ใกล้เคียงกับสภาพการปลูกแบบปักดำ ในระยะกำเนิดจนถึงระยะออกรวงเท่านั้น สำหรับสาเหตุสำคัญที่ทำให้ค่าการจำลองในช่วงระยะสุกแก่ของวิธีปักดำมีความคลาดเคลื่อนสูงเนื่องจาก ข้อมูลนำเข้าในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมข้าวทั้งสองพันธุ์ที่อ้างอิงนั้น เป็นค่าที่ได้จากงานทดลองในสภาพแวดล้อมและวิธีการปลูกที่ต่างกัน ดังนั้นหากผู้ใช้ต้องการจำลองระยะพัฒนาการของข้าวที่ปลูกด้วยวิธีปลูกแบบปักดำนั้น ค่าสัมประสิทธิ์ระยะพัฒนาการ P1 และ P5 ควรมีค่าลดลงจากเดิม ซึ่งจะทำให้ค่าการจำลองระยะพัฒนาการมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ทั้งรายละเอียดการปรับเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์แสดงอยู่ในภาคผนวกที่ ๙

ตารางที่ 15 ค่าการจำลองและค่าสังเกตจำนวนวันระยะพัฒนาการของพันธุ์ สุพรรณบุรี 1 และ ปทุมธานี 1 ภายใต้การปลูกด้วยวิธีปักดำ

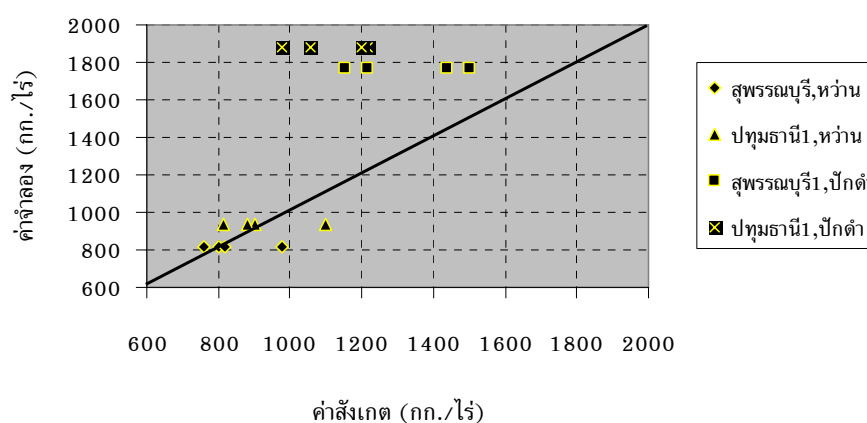
พันธุ์ข้าว/พัฒนาการ	ค่าประเมินความถูกต้อง				แตกต่าง (%)
	simulated	observed	RMSE	Bias	
สุพรรณบุรี 1 (เฉลี่ย)					
ระยะรวงอ่อน	60	55	5	5	8.33
ระยะออกรวง	106	107	1	-1	0.93
ระยะสุกแก่	154	130	24	24	15.58
ปทุมธานี 1 (เฉลี่ย)					
ระยะรวงอ่อน	61	59	2	2	3.27
ระยะออกรวง	107	109	2	-2	1.83
ระยะสุกแก่	158	134	24	24	15.18

2. ผลผลิต สำหรับการทดลองนี้วัดน้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าว ดังแสดงในตารางที่ 16 โดยส่วนใหญ่ข้าวสุพรรณ 1 มีผลผลิตที่น้อยกว่าข้าวปทุมธานี 1 ทั้งสองวิธีการปลูก ซึ่งสอดคล้องกับพัฒนาการของข้าวในช่วงต้น เนื่องจากจำนวนเริ่มปลูกถึงระยะสุกแก่ของข้าว ปทุมธานี 1 ยาวนานกว่าข้าวสุพรรณ 1 ส่งผลให้มีการสะสมน้ำหนักเมล็ดที่มากกว่า

ตารางที่ 16 ผลผลิตของข้าวพันธุ์ สุพรรณบุรี 1 และปทุมธานี 1 ภายใต้อิทธิพลการปลูกด้วยวิธี หว่านน้ำตมและปักดำ

พันธุ์ข้าว/วิธีการปลูก	ผลผลิต (กก./ไร่)			
	แปลง 1	แปลง 2	แปลง 3	แปลง 4
สพ.1 /หว่าน	976	800	816	758
ปท.1 /หว่าน	900	815	1,100	880
สพ.1 /ปักดำ	1,440	1,152	1,216	1,500
ปท.1 /ปักดำ	1,216	1,056	976	1,200

การประเมินความถูกต้องของแบบจำลองโดยวิธีกราฟ 1:1 พบว่าผลจากการประเมินผลผลิตข้าวของแบบจำลอง ส่วนใหญ่มีผลที่มากกว่าความเป็นจริง (overestimation) ดังแสดงในภาพที่ 20 โดยเฉพาะผลผลิตของข้าวทั้งสองพันธุ์ที่ปลูกด้วยวิธีปักดำ ซึ่งเป็นผลจากการจำลองพัฒนาการของข้าวด้วยวิธีปักดำนั้น แบบจำลองคาดการณ์ระยะสุกแก่เกินสภาพจากแปลงทดลองอยู่ถึง 24 วัน อันส่งผลต่อผลผลิตโดยตรง ทั้งนี้ตารางที่ 17 แสดงค่าประเมินความถูกต้องของแบบจำลองโดยวิธี RMSE และ Bias สำหรับสองวิธีการปลูก



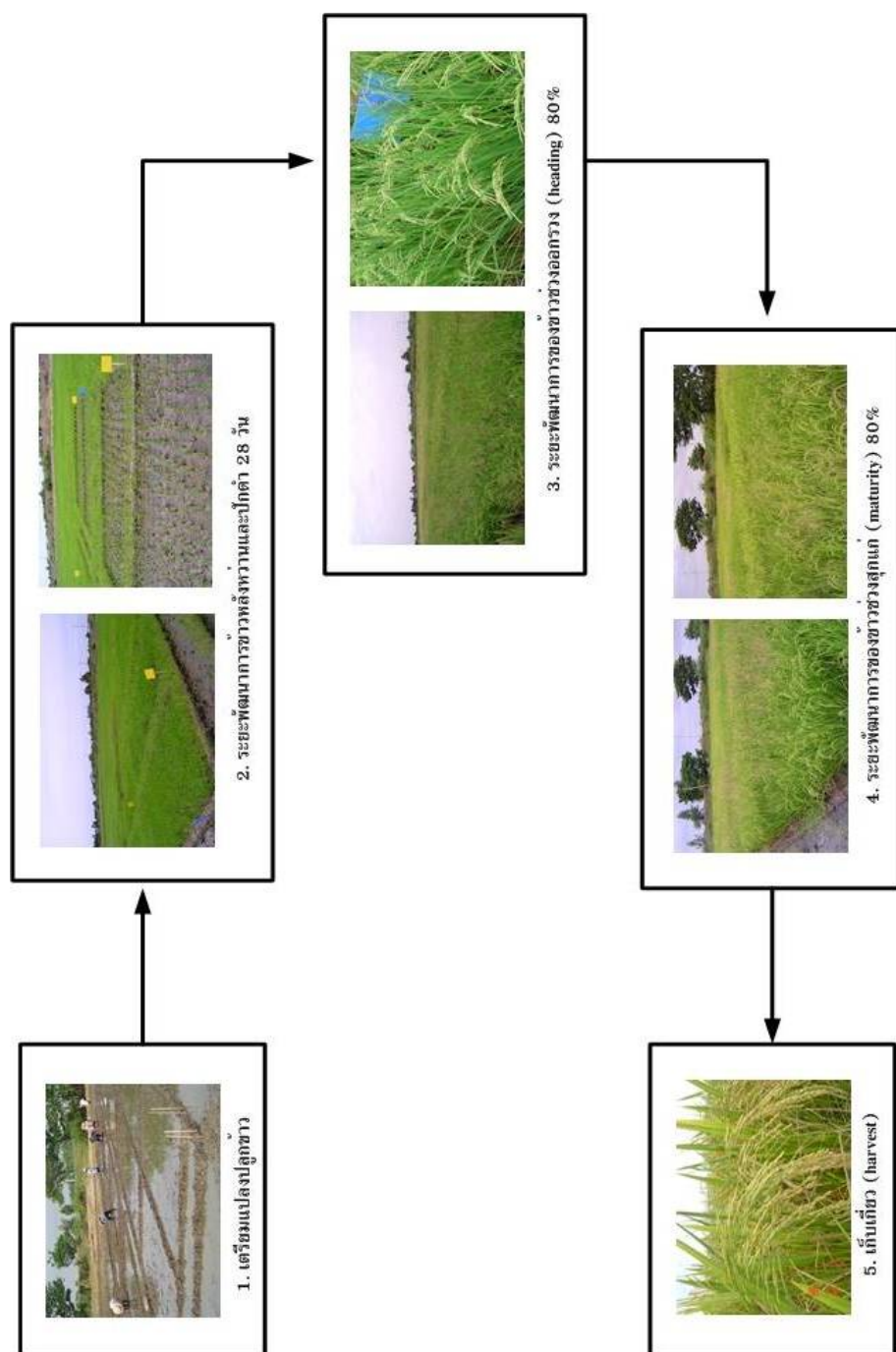
ภาพที่ 20 เปรียบเทียบค่าจำลองและค่าสังเกตผลผลิตของข้าวทั้งสองพันธุ์ภายใต้อิทธิพลการปลูกด้วยวิธีหว่านน้ำตมและปักดำ

ตารางที่ 17 ค่าการจำลองและค่าสังเกตผลผลิตของพันธุ์ สุพรรณบุรี 1 และปทุมธานี 1 ภายใต้วิธีการปลูกแบบวิธีนาหว่าน และปักดำ

พันธุ์ข้าว/วิธีการปลูก	ค่าประเมินความถูกต้อง			
	simulated	RMSE	Bias	Error (%)
สพ.1 /หว่าน	820	84.55	-17.55	2.0
ปท.1 /หว่าน	960	107.73	16.25	1.7
สพ.1 /ปักดำ	1,770	466.54	428.00	25.0
ปท.1 /ปักดำ	1,880	774.51	768.00	40.0

เหตุผลหนึ่งที่แบบจำลองประเมินผลผลิตข้าวได้มากกว่าข้อมูลที่สังเกตได้จริงจากแปลงทดลอง เพราะแบบจำลองมีข้อสมมุติฐานที่ว่า การจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตนั้น จะไม่มีปัจจัยภายนอกบางประการที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าว เช่น ผลจากการเข้าทำลายโดยศัตรูพืชหรือ

วัชพืช และการหักล้มหรือการสูญเสียผลผลิตข้าวเนื่องจากเก็บเกี่ยว ซึ่งในสภาพจริงปัจจัยเหล่านี้มีส่วนเกี่ยวข้องกับผลผลิตระดับหนึ่ง ดังนั้นผลผลิตจากการจำลองจึงเป็นผลผลิตที่ควรได้รับ (attainable yield) ดังที่กล่าวไว้ในรายงานของ เมธี และคณะ (2543) อย่างไรก็ตามผลการจำลองผลผลิตข้าวทั้งสองพันธุ์ด้วยวิธีการปลูกแบบหว่านน้ำตม มีแนวโน้มที่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงตามที่สังเกตในแปลงทดลอง สำหรับภาพที่ 21 แสดงภาพการดำเนินงานทดลองปลูกข้าวในแปลงทดลอง เพื่อรวบรวมข้อมูลระยะพัฒนาการและการเจริญเติบโตของข้าว จนถึงปัจจัยต่าง ๆ ตลอดช่วงการเพาะปลูก



ภาพที่ 21 แผนผังการดำเนินงานทดลองปลูกข้าวในแปลงทดลอง เพื่อรวบรวมข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวในระยะต่าง ๆ

การทดสอบแบบจำลองภายใต้วิธีการจัดการน้ำที่ต่างกัน

การทดสอบแบบจำลองภายใต้วิธีการจัดการน้ำที่ต่างกัน ได้ทดลอง ณ แปลงทดลอง การใช้น้ำชลประทานแม่กลองใหญ่ ตั้งอยู่ที่เส้นรุ้งเหนือที่ $13^{\circ} 57'$ และเส้นแวงตะวันออกที่ $99^{\circ} 58'$ ระหว่างวันที่ 20 ก.ค.-15 ธ.ค. พ.ศ. 2548 โดยการศึกษามุ่งเน้นการเปรียบเทียบผลจากแบบจำลอง และผลจากแปลงทดลอง ในส่วนของระยะพัฒนาการและผลผลิตข้าวเท่านั้น สำหรับข้อมูลทางด้าน สภาพแวดล้อมและการจัดการต่าง ๆ ในช่วงดำเนินการทดลองได้ถูกแจกแจงอย่างละเอียดใน ภาคผนวกที่ ข.

อิทธิพลของการจัดการน้ำต่อการเจริญเติบโตของข้าว

1. ระยะพัฒนาการ จากการสังเกตจำนวนวันในแต่ละระยะพัฒนาการของข้าว 2 พันธุ์ คือ สุพรรณบุรี 1 และปทุมธานี 1 โดยพิจารณาระยะพัฒนาการทั้งสามช่วง ซึ่งผลจากตารางที่ 18 พบว่า ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีอายุพัฒนาการในทุกระยะที่สั้นกว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ทั้งสองวิธีการจัดการน้ำ

ตารางที่ 18 ระยะพัฒนาการของข้าวในวิธีการจัดการน้ำแบบต่าง ๆ

พันธุ์ข้าว/วิธีการให้น้ำ	จำนวนวันหลังหว่าน		
	ระยะรวงอ่อน (panicle initiation)	ระยะออกรวง (heading)	ระยะระยะสุกแก่ (maturity)
สป.1/ชลประทาน _(เฉลี่ย)	51	75	107
ปท.1 /ชลประทาน _(เฉลี่ย)	53	76	107
สป.1 /น้ำฝน _(เฉลี่ย)	53	78	110
ปท.1 /น้ำฝน _(เฉลี่ย)	54	80	112

ตารางที่ 19 ค่าการจำลองและค่าสังเกตจำนวนวันระยะพัฒนาการของพันธุ์ สุพรรณบุรี 1 และ ปทุมธานี 1 ภายใต้วิธีการให้น้ำแบบนาชลประทาน

พันธุ์ข้าว/พัฒนาการ	ค่าประเมินความถูกต้อง				แตกต่าง (%)
	simulated	observed	RMSE	Bias	
สุพรรณบุรี 1 (เฉลี่ย)					
ระยะรวงอ่อน	42	51	9	-9	17.60
ระยะออกรวง	76	75	1	1	1.30
ระยะสุกแก่	97	107	10	-10	9.34
ปทุมธานี 1 (เฉลี่ย)					
ระยะรวงอ่อน	43	53	10	-10	18.86
ระยะออกรวง	77	76	1	1	1.30
ระยะสุกแก่	101	107	6	-6	5.60

จากตารางที่ 19 พบว่า ระยะพัฒนาการของข้าวสุพรรณบุรี 1 (นาชลประทาน) ทั้งสามระยะ มีค่าความแตกต่างเฉลี่ย -7 วัน (Bias) และมีค่าเบี่ยงเบนการวัด (RMSE) ประมาณ 7 วัน ทำนองเดียวกันข้าวปทุมธานี 1 (นาชลประทาน) ผลการจำลองจากแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสังเกต มีความแตกต่างกันอยู่ระหว่าง -6 ถึง -10 วัน (Bias = -13 วัน) และมีค่าเบี่ยงเบนการวัดเท่ากับ 13 วันตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากค่า Bias ที่มีค่าเป็นลบแสดงว่า แบบจำลองประเมินระยะพัฒนาการได้น้อยกว่าความเป็นจริง สำหรับผลการตรวจสอบในตารางที่ 20 พบว่า ผลที่ได้จากการประเมินโดยแบบจำลองของข้าวทั้งสองพันธุ์ที่มีจัดการน้ำในสภาวะน่าน้ำฝนนั้น มีค่าไม่แตกต่างจากนาชลประทานมากนัก โดยส่วนใหญ่แบบจำลองประเมินค่าได้น้อยกว่าความเป็นจริง โดยระยะพัฒนาการของข้าวสุพรรณบุรี 1 ทั้งสามระยะ มีค่าความแตกต่างเฉลี่ย -13 วัน (Bias) และมีค่าเบี่ยงเบนการวัด (RMSE) ประมาณ 13 วัน ขณะที่ข้าวปทุมธานี 1 มีค่าความแตกต่างเฉลี่ย -12 วัน (Bias = -12 วัน) และมีค่าเบี่ยงเบนการวัดเท่ากับ 12 วัน ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุของความคลาดเคลื่อนเรื่องระยะพัฒนาการที่สูงกว่างานทดลองแรกคือ ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมข้าวที่ไม่ได้สอบเทียบตัวแปรต่าง ๆ ก่อนนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมนั้น ทั้งนี้ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมทั้ง 8 ค่าเหล่านี้ โดยใช้โปรแกรม GENCALC ซึ่งเป็นโมดูลหนึ่งในโปรแกรม DSSAT

ตารางที่ 20 ค่าการจำลองและค่าสังเกตจำนวนวันระยะพัฒนาการของพันธุ์ สุพรรณบุรี 1 และ ปทุมธานี 1 ภายใต้วิธีการให้น้ำแบบน่าน้ำฝน

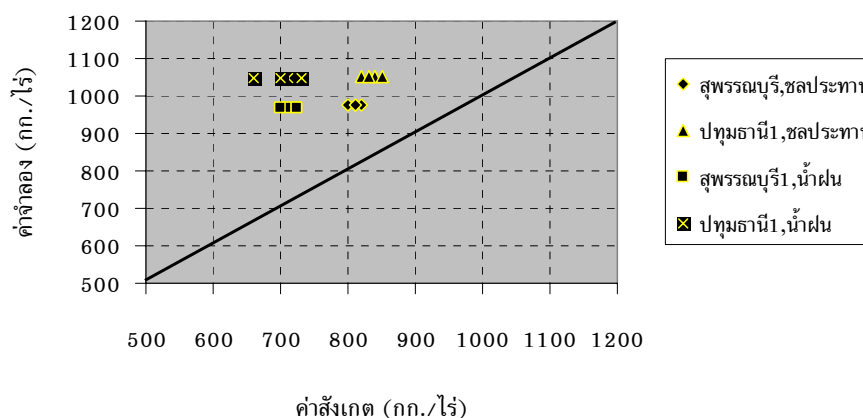
พันธุ์ข้าว/พัฒนาการ	ค่าประเมินความถูกต้อง				แตกต่าง (%)
	simulated	observed	RMSE	Bias	
สุพรรณบุรี 1 (เฉลี่ย)					
ระยะรวงอ่อน	42	53	18	-11	20.75
ระยะออกรวง	76	78	16	-2	2.50
ระยะสุกแก่	97	110	31	-13	11.80
ปทุมธานี 1 (เฉลี่ย)					
ระยะรวงอ่อน	43	54	11	-11	20.37
ระยะออกรวง	77	80	3	-3	3.75
ระยะสุกแก่	101	112	11	-11	9.82

2. ผลผลิต ผลจากการเก็บข้อมูลเรื่องผลผลิตในตารางที่ 21 พบว่าผลผลิตจากสภาพธรรมชาติ (น่าน้ำฝน) กลับมีค่าใกล้เคียงกับผลผลิตที่ปลูกในแปลงที่มีการให้น้ำชลประทาน สำหรับข้าวทั้งสองพันธุ์ เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ มีปริมาณน้ำฝนอยู่ในเกณฑ์ดี (มากกว่า 800 มิลลิเมตร) ซึ่งจะไม่ส่งผลให้ข้าวเกิดสภาวะเครียดเพราะขาดน้ำ

ตารางที่ 21 ผลผลิตของข้าวพันธุ์ สุพรรณบุรี 1 และปทุมธานี 1 ภายใต้วิธีการให้น้ำแบบนาชลประทาน และน่าน้ำฝน

พันธุ์ข้าว/การให้น้ำ	ผลผลิต (กก./ไร่)			
	แปลง 1	แปลง 2	แปลง 3	แปลง 4
สพ.1 /ชลประทาน	810	821	800	810
ปท.1 /ชลประทาน	840	821	830	850
สพ.1 /น้ำฝน	710	725	700	725
ปท.1 /น้ำฝน	730	710	660	750

ทั้งนี้ในการประเมินความถูกต้องของแบบจำลองโดยวิธีกราฟ 1:1 พบว่า ผลจากการประเมินผลผลิตข้าวของแบบจำลอง มีมากกว่าความเป็นจริง (ภาพที่ 22) หรือมีมากกว่าผลผลิตที่เก็บข้อมูลจากแปลงทดลอง



ภาพที่ 22 เปรียบเทียบค่าจำลองและค่าสังเกตผลผลิตของข้าวทั้งสองพันธุ์ภายใต้วิธีการจัดการน้ำแบบนาชลประทาน และน่าน้ำฝน

การประมาณผลผลิตข้าวในสภาวะนาชลประทาน มีค่าใกล้เคียงกับผลผลิตข้าวจากสภานาธรรมชาติ (ตารางที่ 21 และ 22) โดยแนวโน้มของผลผลิตข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีค่าสูงกว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 โดยค่า Bias ของข้าวทั้งสองพันธุ์ในสภาวะนาชลประทาน และน่าน้ำฝน คือ 164.75, 218.75, 251.25 และ 350 กก./ไร่ ตามลำดับ ส่วนค่า RMSE ของข้าวทั้งสองพันธุ์ในสภาวะนาชลประทาน และน่าน้ำฝน คือ 164.92, 218.02, 251.22 และ 350.93 กก./ไร่ ตามลำดับ

ตารางที่ 22 ค่าการจำลองและค่าสังเกตผลผลิตของพันธุ์ สุพรรณบุรี 1 และปทุมธานี 1 ภายใต้วิธีการจัดการน้ำแบบนาชลประทานและน่าน้ำฝน

พันธุ์ข้าว/วิธีการปลูก	ค่าประเมินความถูกต้อง			
	simulated	RMSE	Bias	Error (%)
สพ.1 /ชลประทาน	975	164.92	164.75	17.0
ปท.1 /ชลประทาน	1,054	219.02	218.75	20.0
สพ.1 /น้ำฝน	970	255.22	251.25	27.0
ปท.1 /น้ำฝน	1,050	350.93	350.00	33.0

การเชื่อมโยง GIS เข้ากับแบบจำลอง CERES-Rice

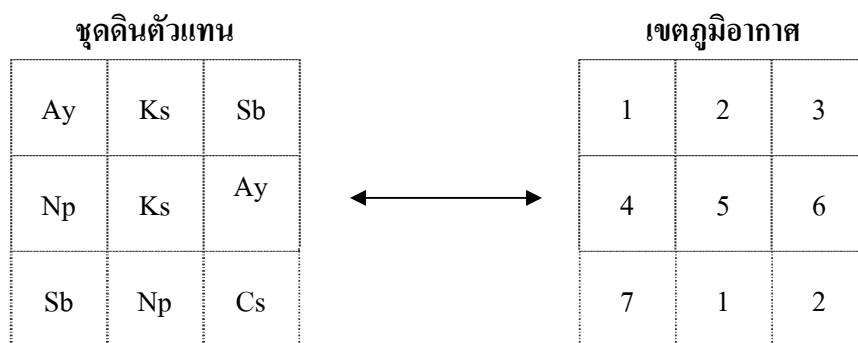
การเชื่อมโยงระบบ GIS เข้ากับแบบจำลอง CERES-Rice มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเชื่อมโยงหรือแลกเปลี่ยนข้อมูลบางส่วนทั้งสองระบบเข้าด้วยกัน และพัฒนาเป็นระบบประเมินผลผลิตและปริมาณการใช้น้ำของอ้อยข้าวในโครงการฯ สองพี่น้อง ดังนั้นจากรายละเอียดของวิธีการที่กล่าวมาในข้างต้น จึงสามารถแบ่งผลการศึกษออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1. หน่วยแผนที่การจำลองระบบการผลิตข้าว
2. โครงสร้างระบบเชื่อมโยงข้อมูลเพื่อการจำลองการผลิตข้าว
3. ระบบประเมินผลผลิตและปริมาณการใช้น้ำอ้อยของข้าว

ทั้งนี้ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพและคุณภาพของชุดดินตัวแทนที่อยู่ในเขตพื้นที่โครงการฯ สองพี่น้องแสดงในภาคผนวกที่ ค ขณะที่ข้อมูลสถิติภูมิอากาศรายเดือนเฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537-2547 ของสถานีตรวจวัดอากาศที่ครอบคลุมพื้นที่โครงการแสดงในภาคผนวกที่ ง

หน่วยแผนที่การจำลองระบบการผลิตข้าว

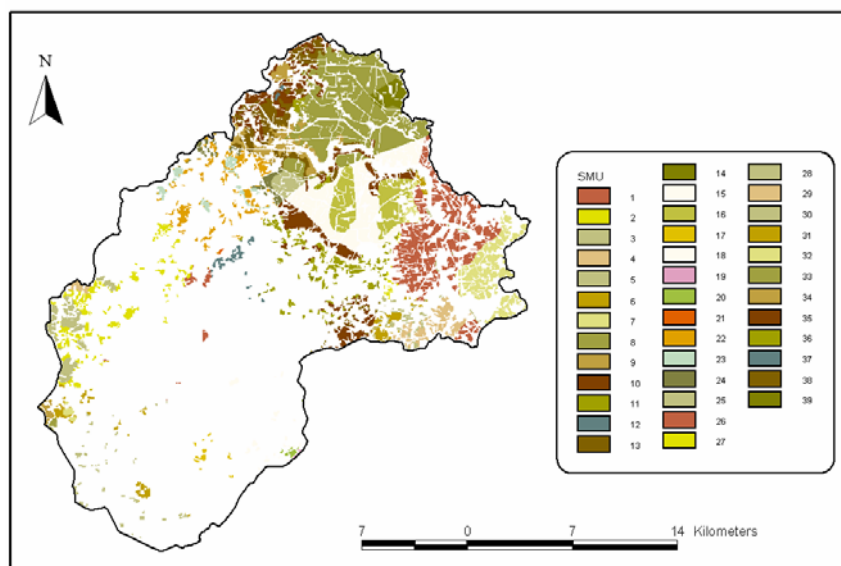
เมื่อนำข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปีและนาปรัง (พ.ศ. 2547) มาวิเคราะห์ร่วมกับฐานข้อมูลชุดดิน (17 ชุดดิน) และฐานข้อมูลเขตภูมิอากาศ (7 เขต) โดยวิธีการวิเคราะห์แบบเชิงซ้อนทาง GIS สามารถสร้างหน่วยแผนที่การจำลองระบบการผลิตข้าว (SMU) ซึ่งหมายถึงพื้นที่ปลูกข้าวในโครงการฯ ในปี พ.ศ. 2547 ได้ทั้งสิ้น 1,916 และ 680 หน่วย สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวนาปีและนาปรังตามลำดับ แต่หากพิจารณา SMU ที่ไม่ซ้ำกันระหว่างชั้นข้อมูลเขตภูมิอากาศและชุดดินพบว่า พื้นที่ปลูกข้าวนาปีและนาปรังมี SMU เพียง 39 หน่วย ทั้งนี้ภาพที่ 23 แสดงรูปแบบตัวอย่างการจัดกลุ่ม SMU โดยใช้เกณฑ์ของชุดดินตัวแทนและเขตภูมิอากาศ และภาพที่ 24 แสดง SMU ที่ไม่ซ้ำกันของพื้นที่ปลูกข้าวนาปีโครงการฯ สองพี่น้อง



หน่วยแผนที่การจำลองระบบการผลิตข้าว

1Ay	2Ks	3Sb
4Np	5Ks	6Ay
7Sb	1Np	2Cs

ภาพที่ 23 รูปแบบการจัดกลุ่ม SMU โดยใช้เกณฑ์ของชุดดิน และเขตภูมิอากาศ



ภาพที่ 24 หน่วยแผนที่การจำลองระบบการผลิตข้าวนาปี (39 หน่วย)

โครงสร้างระบบเชื่อมโยงข้อมูลเพื่อการจำลองการผลิตข้าว

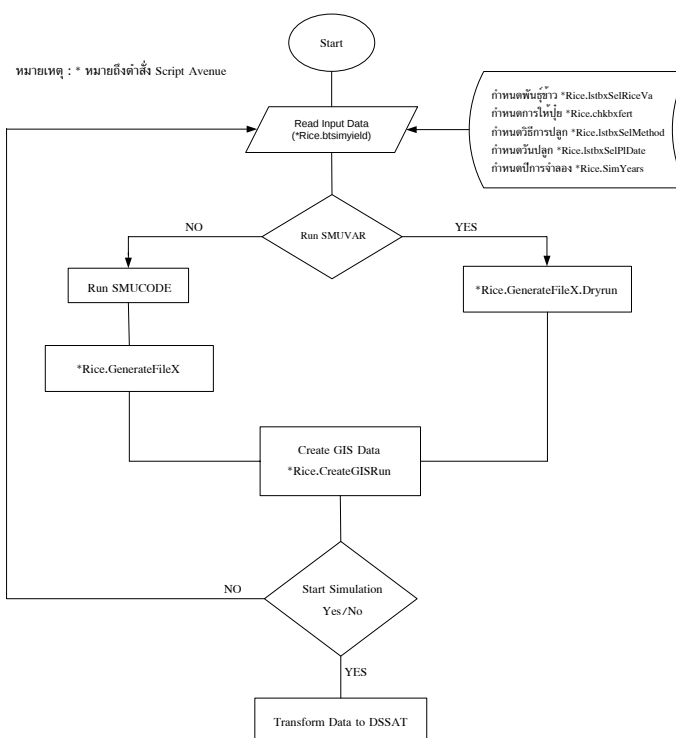
โครงสร้างระบบข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมปัจจัยการผลิตของข้าวในแต่ละ SMU ได้จัดแสดงอยู่ในตารางที่ 23 ทั้งนี้เพื่ออำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้สามารถกำหนดหรือเลือกพื้นที่เป้าหมายตามขอบเขตตำบลและอำเภอในพื้นที่โครงการฯ สองพี่น้อง โดยใช้วิธี identity ในโปรแกรม ArcView จึงต้องมีชั้นข้อมูลเลขรหัสตำบล อำเภอ และจังหวัดในโครงสร้างข้อมูลทุก SMU

ตารางที่ 23 โครงสร้างตารางอธิบายของชั้นข้อมูลในหน่วยแผนที่การจำลองระบบการผลิตข้าว

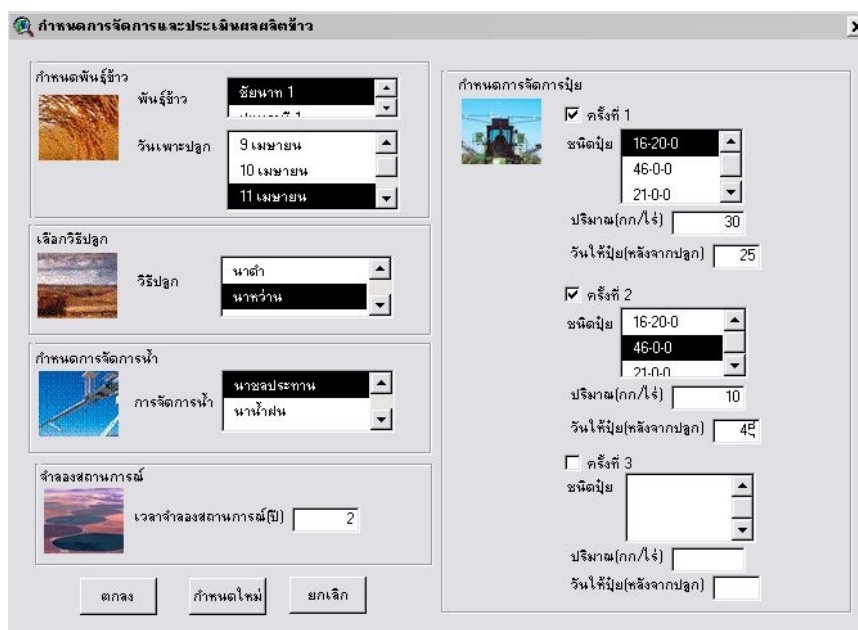
หัวข้อตาราง	คำอธิบายตาราง	ตัวอย่าง
AREA	พื้นที่ปลูกข้าวของ SMU (m ²)	872,000
RAI	พื้นที่ปลูกข้าวของ SMU (rai)	545
WSTA	รายชื่อสถานีตรวจอากาศ	2624
SNJJ	เขตภูมิอากาศ	02
SOILSN_ID	เลขรหัสชุดดิน	0042
SYMBOL	รหัสตัวอักษรของชุดดิน	Ks
NAME	ชื่อชุดดินตัว	ชุดดินกำแพงแสน
TAM_CODE	เลขรหัสตำบล	630613
TAM_NAME	ชื่อตำบล	บัวสุพรรณ
AMP_CODE	เลขรหัสอำเภอ	6306
AMP_NAME	ชื่ออำเภอ	สองพี่น้อง
PROV_CODE	เลขรหัสจังหวัด	63
PRV_NAME	ชื่อจังหวัด	สุพรรณบุรี
PROV_NAME	ชื่อโครงการชลประทาน	โครงการฯ สองพี่น้อง
RICE_VARTHAI	ชื่อพันธุ์ข้าวภาษาไทย	สุพรรณบุรี 1
RICE	อักษรย่อพันธุ์ข้าวภาษาอังกฤษ	SUPAN1
SMUCODE	รหัสเชื่อมโยงของ SMU	I1004202
SMUVAR	รหัสเชื่อมโยงของ SMU ที่แจกแจงตามพันธุ์ข้าวหลัก	I1004202SUPHAN1

ตารางที่ 24 คำอธิบายเลขรหัสของชั้นข้อมูล SMUCODE และ SMUVAR

ชั้นข้อมูล/รูปแบบชุดข้อมูล	คำอธิบาย	ลักษณะการใช้งาน
SMUCODE		
<u>I1004202</u>	เลขรหัสพื้นที่ปลูกข้าวในเขตชลประทานนาปี	กรณีจำลองผลผลิตข้าวตามที่ใช้กำหนด ชั้นข้อมูล SMUCODE จะถูกนำมาใช้
I1 <u>004202</u>	เลขรหัสชุดดินตัวแทนที่ 42	
I10042 <u>02</u>	เลขรหัสเขตภูมิอากาศที่ 2	
SMUVAR		
<u>I2007904CHAINAT1</u>	เลขรหัสพื้นที่ปลูกข้าวในเขตชลประทานนาปรัง	กรณีจำลองผลผลิตข้าวตามพื้นที่หลักของเกษตร ชั้นข้อมูล SMUVAR จะถูกนำมาใช้
I2 <u>007904</u> CHAINAT1	เลขรหัสชุดดินตัวแทนที่ 79	
I20079 <u>04</u> CHAINAT1	เลขรหัสเขตภูมิอากาศที่ 4	
I2007904 <u>CHAINAT1</u>	พันธุ์ข้าวชยันนาท1	



ภาพที่ 26 แผนผังแสดงระบบการทำงานของชั้นข้อมูล SMUCODE และ SMUVAR



ภาพที่ 27 ระบบติดต่อกับผู้ใช้งาน (graphic user interface, GUI) ของระบบ

จากภาพที่ 26 เป็นแผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบตั้งแต่กำหนดพื้นที่การจำลองสถานการณ์ของ SMU จนถึงขั้นตอนการสร้างเพิ่มข้อมูลการผลิตข้าว หรือเพิ่ม FILEX ให้กับโปรแกรม DSSAT ซึ่งมีลำดับขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. เลือกขอบเขตพื้นที่สำหรับการจำลองสถานการณ์

ระบบประเมินนี้สามารถเลือกรูปแบบขนาดพื้นที่ในการจำลองระบบการผลิตข้าวได้ 3 ระดับ ได้แก่ ระดับโครงการ ระดับอำเภอ และระดับตำบล ซึ่งระดับพื้นที่ที่กล่าวมานี้จะถูกนำไปกำหนดขอบเขตของพื้นที่ปลูกข้าว หรือ SMU สำหรับหน้าจอนี้แสดงในภาพที่ 28

3. กำหนดข้อมูลการจัดการผลิตข้าว

การกำหนดการจัดการในแปลงข้าว (ตารางที่ 25) ผ่าน GUI (ภาพที่ 27) ที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้อย่างยิ่ง เนื่องจากระบบข้อมูลการจัดการในโปรแกรม DSSAT จำเป็นต้องระบุข้อมูลจำนวนมากในแต่ละแปลง หรือ SMU ทว่าการระบุข้อมูลการจัดการผ่าน GUI ในโปรแกรม ArcView สามารถกำหนดข้อมูลได้ทุก SMU ตามที่เราเลือกในขั้นตอนแรก หากแต่แปรเปลี่ยนเฉพาะสภาพภูมิอากาศและชุดดินตามแต่ละพื้นที่เท่านั้น

ตารางที่ 25 รูปแบบการทำงานของแต่ละเมนูของระบบประเมินผล

เมนูการทำงาน	ผลการดำเนินงานและเงื่อนไขการปฏิบัติการ
การจัดการในแปลงข้าว	
- พันธุ์ข้าว	สามารถเลือกพันธุ์ข้าวเพื่อการจำลองได้ 4 ชนิด ได้แก่ ชัยนาท1 ปทุมธานี1 สุพรรณบุรี1 และพันธุ์ข้าวหลักที่เกษตรกรปลูก โดยชนิดสุดท้ายหมายถึง เป็นพันธุ์ข้าวที่เกษตรกรในพื้นที่นั้นปลูกเป็นส่วนใหญ่
- วันปลูก	สามารถกำหนดวันปลูกในระหว่างวันที่ 1 ม.ค. – 31 ธ.ค.
- วิธีการปลูก	สามารถกำหนดวิธีการปลูกได้ 2 วิธี ได้แก่ นาหว่านน้ำตมและนาปักดำ
- การจัดการน้ำชลประทาน	ระบบจำลองสถานการณ์ให้น้ำอัตโนมัติ เมื่อปริมาณความชื้นในดินลดลง 50% ที่ปริมาณความชื้นในดินที่พืชนำไปใช้ได้ ณ จุดนี้ระบบได้จัดสรรน้ำด้วยวิธีท่วมขังในแปลงด้วยความสูง 10 ซม. โดยที่ความสูงของคันนากำหนดอยู่ที่ 20 ซม. สำหรับระบบให้น้ำชลประทานอัตโนมัติจะหยุดทำการ เมื่อถึงเวลาข้าวอยู่ในช่วงพัฒนาการเจริญเติบโตทางเมล็ดสูงสุด
- การจัดการปุ๋ย	สามารถกำหนดการจัดการปุ๋ย 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งสามารถเลือกชนิดปุ๋ย (16-20-0,46-0-0) ปริมาณที่ใช้ (กก./ไร่) และวันที่ให้ปุ๋ยหลังจากวันปลูก ทั้งนี้จะไม่สามารถกำหนดให้ปุ๋ยก่อนครั้งที่ 1 รวมทั้งระบบจะไม่ทำงานเมื่อวันให้ปุ๋ยครั้งที่ 1 มากกว่าครั้งที่ 2 และ 3
- ระยะเวลาการจำลอง	สามารถเลือกเวลาในการจำลองสถานการณ์ปลูกข้าวได้ไม่น้อยกว่า 1 ปี แต่ไม่เกิน 10 ปี

```

*GENERAL
@PEOPLE
KASSETS&ART&ROYAL IRRIGATION DEPARTMENT Project (KURID)
@ADDRESS
IRRIGATION ENGINEERING,KU
@SITE
SN,SONG PHI NONG O&M IRRIGATION PROJECT
!Irrigated IR SN, CMKIP
!ESTIMATION RICE YIELD IN SN
!Broadcasted is used,
!Planted on 04061
!SUPHAN1 Cultivar

*TREATMENTS
-----FACTOR LEVELS-----
@N R O C TNAME..... CU FL SA IC MP MI MF MR MC MT ME MH SM
1 1 0 0 SN03 SN IR B 61 1 1 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 1

*CULTIVARS
@C CR INGENO CNAME
1 RI TH0005 SUPHAN1

*FIELDS
@L ID_FIELD WSTA.... FLSA FLOB FLDT FLDD FLDS FLST SLTX SLDP ID_SOIL
1 SN20021a SN03 -99.0 0 DR000 0 0 0 -99 0 MKSN050021

*INITIAL CONDITIONS
@C PCR ICDAT ICRT ICND ICRN ICRE ICWD ICRES ICREN ICREP ICRIPI ICRID
1 RI 04056 100 0 1.00 1.00 1.0 0 0.00 0.00 100 15
@C ICBL SH20 SMH4 SN03

*PLANTING DETAILS
@P PDATE EDATE PPOP PPOE PLME PLDS PLRS PLRD PLDP PLWT PAGE PENV PLPH SPRL
1 04061 -99 300.0 300.0 P E 1 0 0.1 -99 1 30.0 1.0 0.0

*IRRIGATION AND WATERMANAGEMENT
@I EFIR IDEP ITHR IEPT IOFF IAME IANT
1 0.90 30 50 100 GS005 IR003 10

@I IDATE IROP IRVAL IIRV
! give flood water at 50 mm
1 04061 IR003 50 0
! rais bund height to 20 cm for TPR automatic irrigation
1 04061 IR009 200 7
! allow percolation rate at 2 mm/day
1 04061 IR008 2 0
! puddling the soil to allow the CERES rice water balance
1 04061 IR010 0 0

*FERTILIZERS (INORGANIC)
@I FDATE FMCD FADC FDEP FAMN FAMP FAMK FAMC FAMO FOCD
1 04086 FE002 AP001 1 274 -99 -99 -99 -99 -99
1 04106 FE005 AP001 1 118 -99 -99 -99 -99 -99
1 04121 FE005 AP001 1 63 -99 -99 -99 -99 -99

*SIMULATION CONTROLS
@N GENERAL NYERS NREPS START SDATE RSEED SNAME.....
1 GE 2 1 S 04061 2150 SN IR B 61
@N OPTIONS WATER NITRO SYMBI PHOSP POTAS DISES CHEM TILL
1 OP Y N N N N N N N
@N METHODS WTHR INCON LIGHT EVAPO INFIL PHOTO HYDRO
1 ME S M E R S C R
@N MANAGEMENT PLANT IRRIG FERTI RESID HARVS
1 MA R A R N M
@N OUTPUTS FNAME OVVIEW SUMRY FROPT GROUT CAOUT WAOUT NIOUT MIOUT DIOUT LONG CHOUT OPOUT
1 OU Y Y Y 30 N N N N N N N N N
@ AUTOMATIC MANAGEMENT
@N PLANTING PFRST PLAST PH20L PH20U PH20D PSTMX PSTMN
1 PL 09288 09360 40 100 30 40 10
@N IRRIGATION IMDEP ITHRL ITHRU IROFF IMETH IRAMT IREFF
1 IR 30 50 100 GS005 IR003 10 1.00
@N NITROGEN NMDEP NMTHR NAMNT NCODE NAOFF
1 NI 15 15 12 FE005 GS005
@N RESIDUES RIPCN RTIME RIDEP
1 RE 100 1 20
@N HARVEST HFRST HLAST HPCNP HPCNR
1 HA 0 09365 100 0

```

ภาพที่ 30 รายละเอียด FILEX (SN20021a.SNX) สำหรับระบบผลิตข้าวนาหว่านในเขต
สองพี่น้อง ในเขตชุดดินที่ 21 (ชุดดินนครปฐม) พันธุ์ข้าวชัยนาท1

สำหรับข้อมูลที่ได้มาแต่ละขั้นตอน สามารถสร้าง FILEX ขึ้นตามจำนวน SMU (โดยผ่านโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเรียกว่า Rice.GenerateFileX) ซึ่งมีนามสกุล *.SNX อาทิ SN20021a.SNX หมายถึง FILEX สำหรับหน่วยการจำลองผลผลิตข้าวในเขตนาชลประทานของโครงการฯ สองพี่น้อง ที่มีรหัสชุดดินที่ 21 ทั้งนี้รายละเอียดและตัวอย่าง FILEX นี้แสดงอยู่ในภาพที่ 30

ระบบประมาณค่าผลผลิตและปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงของข้าว

ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นระบบประมาณผลผลิตข้าวและปริมาณการใช้น้ำของอ้างอิงข้าว ที่คำนวณด้วยวิธี Priestley-Taylor (ET_{p-T}) ภายใต้เงื่อนไขการผลิตที่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมและการจัดการในแปลงนาที่สามารถกำหนดได้ ผลการศึกษาส่วนนี้เป็นการประยุกต์ใช้งานระบบกับพื้นที่โครงการ ในเขต อ.สองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี ดังนี้

1. การประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงของข้าว

การประมาณปริมาณการใช้น้ำของอ้างอิงของข้าวจากระบบนี้ คำนวณด้วยวิธีของ Priestley-Taylor (ET_{p-T}) โดยผลการประเมินอยู่ในช่วงเริ่มหว่านข้าวจนถึงวันเริ่มเก็บเกี่ยว (ไม่รวมปริมาณน้ำเตรียมแปลง) ซึ่งจะนำเสนอตัวอย่างผลการจำลองในเขตภูมิอากาศที่ 3 และ 6 ดังนี้ (นาปี) สำหรับปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงเฉลี่ยตลอดระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าวทั้งสองเขตภูมิอากาศมีค่าประมาณ 5.75 และ 5.32 มิลลิเมตร/วัน ตามลำดับ ทั้งนี้ผลจากในตารางที่ 26 และ 27 พบว่าปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าพันธุ์ข้าวชัยนาท 1 ประมาณ 7-15 มิลลิเมตรตลอดระยะเวลาเจริญเติบโต (ภาพที่ 31 และ 32) ทำนองเดียวกันปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงของข้าวในเขตภูมิอากาศที่ 3 มีปริมาณมากกว่าพื้นที่ปลูกข้าวในเขตภูมิอากาศที่ 6 สำหรับทุกชุดดิน โดยปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงเฉลี่ยในเขตภูมิอากาศที่ 3 และ 6 มีค่าประมาณ 586 และ 547 มิลลิเมตรตลอดระยะเวลาเจริญเติบโต ตามลำดับ

ตารางที่ 26 ปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงของข้าวในเขตภูมิอากาศที่ 3 แยกตามชุดดินและพันธุ์ข้าว

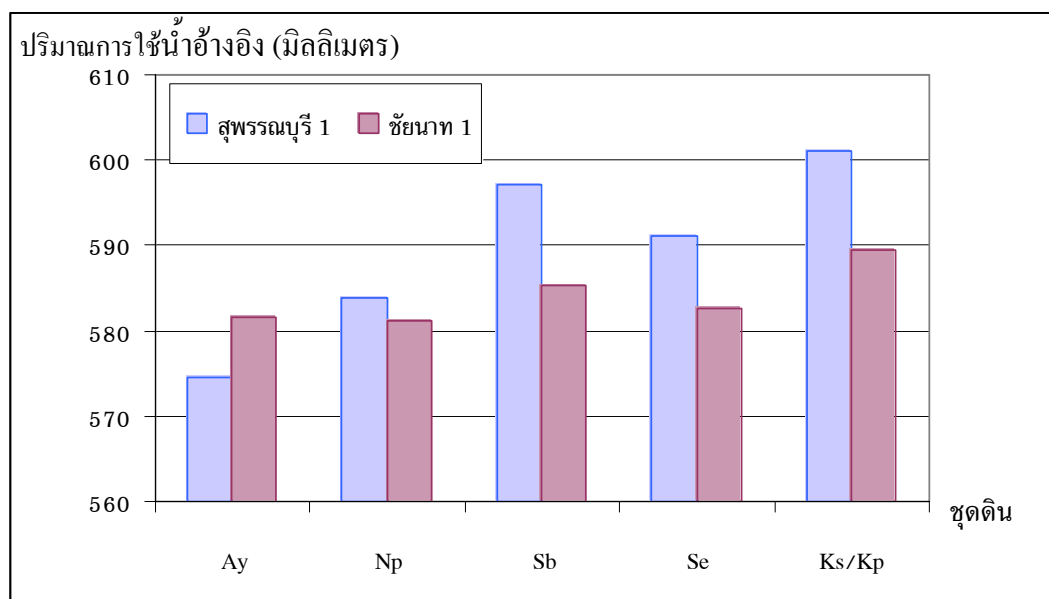
หน่วย:มิลลิเมตร/วัน

วันที่	อายุ ข้าว	ชุดดินและพันธุ์ข้าว									
		Ay		Np		Sb		Se		Ks/Kp	
		ส.พ. 1	ช.ท. 1	ส.พ. 1	ช.ท. 1	ส.พ. 1	ช.ท. 1	ส.พ. 1	ช.ท. 1	ส.พ. 1	ช.ท. 1
13 พ.ค. 47	12	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51
20 พ.ค. 47	19	8.14	8.15	8.13	8.15	8.15	8.15	8.15	8.15	8.15	8.15
26 พ.ค. 47	25	5.05	5.08	5.04	5.08	5.08	5.08	5.07	5.09	5.09	5.09
1 มิ.ย. 47	31	6.95	7.07	6.93	7.07	7.07	7.09	7.04	7.08	7.08	7.10
7 มิ.ย. 47	37	5.42	5.57	5.40	5.57	5.57	5.60	5.52	5.58	5.58	5.61
13 มิ.ย. 47	43	4.76	4.97	4.73	4.97	4.97	5.03	4.88	4.90	4.90	5.04
19 มิ.ย. 47	49	3.53	3.71	3.52	3.72	3.71	3.78	3.62	3.73	3.73	3.80
25 มิ.ย. 47	55	6.85	7.17	6.82	7.18	7.16	7.28	7.00	7.21	7.21	7.32
1 ก.ค. 47	51	7.39	7.67	7.38	7.68	7.64	7.69	7.50	7.70	7.70	7.80
7 ก.ค. 47	57	4.31	4.43	4.30	4.44	4.42	4.49	4.35	4.45	4.44	4.53
13 ก.ค. 47	73	4.26	4.35	4.26	4.35	4.33	4.39	4.29	4.36	4.35	4.42
19 ก.ค. 47	79	4.14	4.21	4.14	4.21	4.19	4.24	4.16	4.22	4.20	4.26
26 ก.ค. 47	85	3.76	3.85	3.76	3.85	3.81	3.88	3.78	3.86	3.82	3.90
1 ส.ค. 47	92	8.38	8.60	8.38	8.60	8.51	8.68	8.43	8.63	8.54	8.70
7 ส.ค. 47	98	5.47	5.63	5.46	5.64	5.57	5.66	5.51	5.65	5.59	5.68
11 ส.ค. 47	102	2.61	2.69	2.61	2.69	2.66	2.70	2.63	2.70	2.61	2.72
15 ส.ค. 47 *(เก็บเกี่ยว)	106	2.80	0.00	2.80	0.00	2.86	0.00	2.83	0.00	2.87	0.00

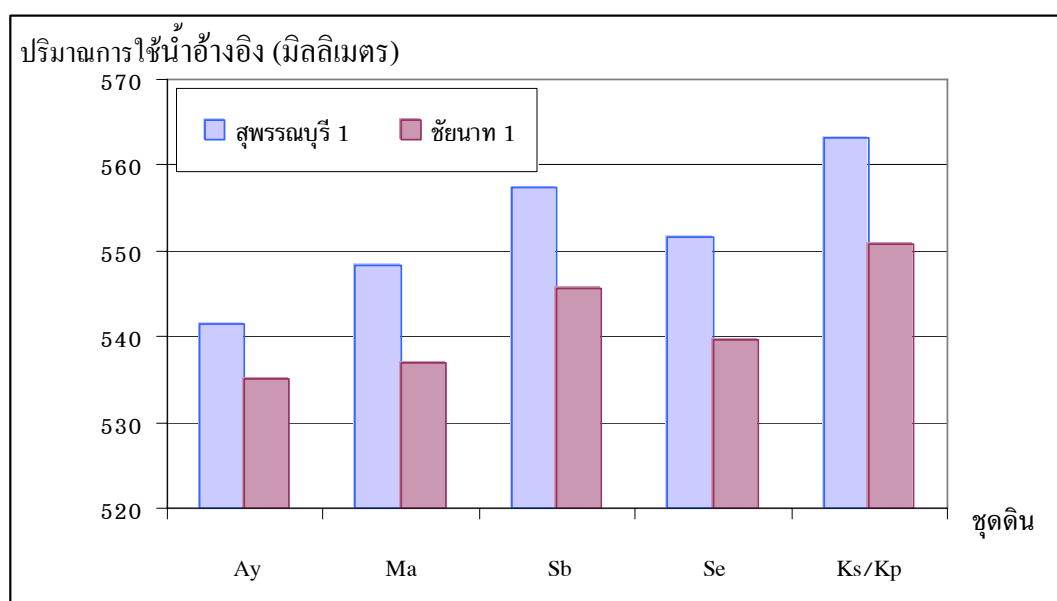
ตารางที่ 27 ปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงของข้าวในเขตภูมิอากาศที่ 6 แยกตามชุดดินและพันธุ์ข้าว

หน่วย:มิลลิเมตร/วัน

วันที่	อายุ ข้าว	ชุดดินและพันธุ์ข้าว									
		Ay		Ma		Sb		Se		Ks/Kp	
		ส.พ. 1	ช.ท. 1	ส.พ. 1	ช.ท. 1	ส.พ. 1	ช.ท. 1	ส.พ. 1	ช.ท. 1	ส.พ. 1	ช.ท. 1
13 พ.ค. 47	12	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25
20 พ.ค. 47	19	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71
26 พ.ค. 47	25	6.08	6.10	6.11	6.11	6.14	6.14	6.13	6.13	6.14	6.14
1 มิ.ย. 47	31	8.07	8.13	8.14	8.15	8.21	8.21	8.21	8.21	8.17	8.21
7 มิ.ย. 47	37	6.70	5.78	6.79	6.81	6.92	6.92	6.86	6.86	6.93	6.93
13 มิ.ย. 47	43	2.32	2.36	2.37	2.37	2.44	2.44	2.40	2.40	2.44	2.44
19 มิ.ย. 47	49	5.40	5.47	5.49	5.51	5.70	5.70	5.57	5.72	5.72	5.72
25 มิ.ย. 47	55	5.19	5.24	5.26	5.27	5.45	5.46	5.32	5.33	5.51	5.51
1 ก.ค. 47	61	5.85	5.89	5.90	5.92	6.09	6.11	5.96	5.97	6.23	6.24
7 ก.ค. 47	67	2.27	2.29	2.29	2.29	2.34	2.35	2.30	2.31	2.41	2.42
13 ก.ค. 47	73	6.54	6.57	6.57	6.58	6.69	6.70	6.60	6.60	6.80	6.82
19 ก.ค. 47	79	5.69	5.71	5.71	5.72	5.78	5.81	5.73	5.74	5.90	5.93
26 ก.ค. 47	85	3.32	3.33	3.33	3.34	3.37	3.39	3.35	3.35	3.45	3.45
1 ส.ค. 47	92	4.53	4.56	4.55	4.57	4.62	4.65	4.57	4.59	4.70	4.71
7 ส.ค. 47	98	2.96	2.98	2.97	2.98	3.02	3.04	3.98	3.00	3.07	3.07
11 ส.ค. 47	102	6.00	6.05	6.03	6.07	6.14	6.20	6.06	6.10	6.21	6.23
16 ส.ค. 47 * (เก็บเกี่ยว)	107	4.72	0.00	4.74	0.00	4.84	0.00	4.77	0.00	4.88	0.00



ภาพที่ 31 ปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงของข้าวในเขตภูมิอากาศที่ 3 แยกตามชุดดิน



ภาพที่ 32 ปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงของข้าวในเขตภูมิอากาศที่ 6 แยกตามชุดดิน

2. การประเมินผลผลิตข้าวตามพันธุ์ข้าวหลักที่เกษตรกรปลูก

เขต อ.สองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี ในพื้นที่ศึกษานี้ สามารถสร้างชั้นข้อมูล SMU ที่ไม่ซ้ำกันเท่ากับ 30 หน่วย (พื้นที่ปลูกข้าวนาปี) สำหรับผลการจำลองโดยเงื่อนไขการผลิตดังที่กล่าวในข้างต้นพบว่า (ตารางที่ 28) ผลผลิตเฉลี่ยในทุก SMU มีค่าประมาณ 947 กก./ไร่ ทั้งนี้ผลผลิตข้าวสูงสุด (1,126 กก./ไร่) พบในพันธุ์ข้าวชัยนาท 1 ที่ปลูกอยู่ในเขตชุดดินผสมกำแพงแสน/กำแพงเพชร (Ks/Kp) บริเวณเขตภูมิอากาศที่ 6 ขณะที่ผลผลิตข้าวต่ำสุด (709 กก./ไร่) พบในพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกอยู่ในเขตชุดดินผสมกำแพงแสน/กำแพงเพชร (Ks/Kp) และชุดดินกรปรุ่ม (Np) บริเวณเขตภูมิอากาศที่ 3

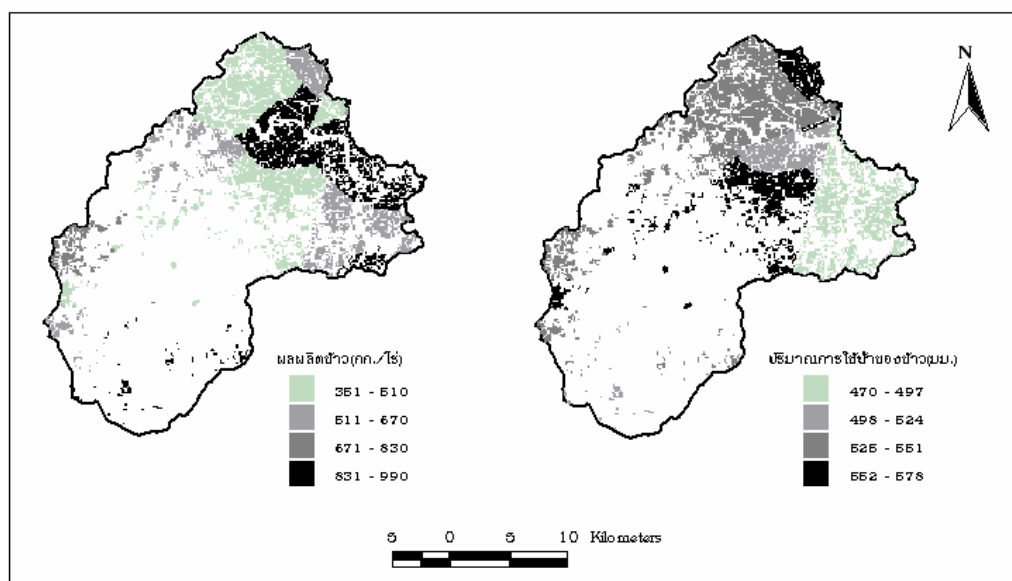
ตารางที่ 28 ผลการประเมินผลผลิตข้าวในพื้นที่อ.สองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี

SMUVAR	ชุดดิน	เขตภูมิอากาศ	พันธุ์ข้าว	ผลผลิต (กก./ไร่)
I000103CHAINAT1	Ay	3	ชัยนาท 1	1,190
I000106CHAINAT1	Ay	6	ชัยนาท 1	1,108
I000103SUPHAN1	Ay	3	สุพรรณบุรี 1	832
I001202SUPHAN1	Cs	2	สุพรรณบุรี 1	969
I001806CHAINAT1	Ma	6	ชัยนาท 1	1,088
I001806SUPHAN1	Ma	6	สุพรรณบุรี 1	832
I002103SUPHAN1	Np	3	สุพรรณบุรี 1	709
I002104CHAINAT1	Np	4	ชัยนาท 1	1,221
I002104SUPHAN1	Np	4	สุพรรณบุรี 1	832
I002902SUPHAN1	Sb	2	สุพรรณบุรี 1	969
I002903CHAINAT1	Sb	3	ชัยนาท 1	1,190
I002903SUPHAN1	Sb	3	สุพรรณบุรี 1	709
I002904CHAINAT1	Sb	4	ชัยนาท 1	1,221
I002904SUPHAN1	Sb	4	สุพรรณบุรี 1	790
I002906CHAINAT1	Sb	6	ชัยนาท 1	1,088
I002906SUPHAN1	Sb	6	สุพรรณบุรี 1	832
I003003CHAINAT1	Se	3	ชัยนาท 1	1,190

ตารางที่ 28 (ต่อ)

SMUVAR	ชุดดิน	เขตภูมิอากาศ	พันธุ์ข้าว	ผลผลิต (กก./ไร่)
I003006CHAINAT1	Se	6	ชัยนาท 1	1,088
I003006SUPHAN1	Se	6	สุพรรณบุรี 1	832
I004003SUPHAN1	Ks/Np	3	สุพรรณบุรี 1	709
I004006SUPHAN1	Ks/Np	6	สุพรรณบุรี 1	832
I004201CHAINAT1	Ks/Kp	1	ชัยนาท 1	1,126
I004201SUPHAN1	Ks/Kp	1	สุพรรณบุรี 1	783
I004204CHAINAT1	Ks/Kp	4	ชัยนาท 1	1,224
I004204SUPHAN1	Ks/Kp	4	สุพรรณบุรี 1	790
I007904CHAINAT1	Ks	4	ชัยนาท 1	1,224
I007904SUPHAN1	Ks	4	สุพรรณบุรี 1	790
I005101SUPHAN1	Ac	1	สุพรรณบุรี 1	783

อย่างไรก็ตามผลจากวิธีประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่ยอมรับในประเทศไทยคือ FAO Penman-Monteith ดังนั้นระบบอาจความคลาดเคลื่อนในการประเมินค่าปริมาณการใช้น้ำของข้าว แต่เนื่องด้วยข้อมูลทางอุตุนิคมวิทยาในพื้นที่ศึกษามีจำกัด ดังนั้นวิธีของ Priestley-Taylor จึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการประเมินค่าการใช้น้ำเบื้องต้นสำหรับโครงการฯนี้ ทั้งนี้ภาพที่ 33 แสดงแผนที่ประเมินผลผลิตและปริมาณการใช้น้ำของข้าวตามสภาพปัจจัยการผลิตที่ควรจะเป็นในพื้นที่ทั้งโครงการฯ สองพี่น้อง



ภาพที่ 33 ผลการประเมินผลผลิตและปริมาณการใช้น้ำของข้าวในพื้นที่โครงการฯ สองพี่น้อง

การทดสอบความถูกต้องของระบบ

สำหรับการประเมินความถูกต้องได้พิจารณาในเทอมของผลผลิต และปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงของพืชเป็นหลัก ตามรายละเอียดที่กล่าวไว้ในส่วนของวิธีการ สำหรับผลการศึกษามีดังนี้

การทดสอบเรื่องการประเมินผลผลิตข้าว

จากข้อมูลจากโครงการฯ สองพี่น้อง พบว่าพันธุ์ข้าวหลักที่เกษตรกรนิยมปลูกตามตำบลต่าง ๆ ในพื้นที่โครงการได้แก่ สุพรรณบุรี 1 ปทุมธานี 1 และชัยนาท 1 ซึ่งผลการจำลองผลผลิตของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ (ตารางที่ 29) ตามเงื่อนไขที่กล่าวข้างต้นพบว่า ระบบสามารถประมาณค่าผลผลิตเฉลี่ยของพันธุ์ข้าวหลักที่ปลูกในพื้นที่ศึกษาปี พ.ศ. 2546 ได้ประมาณ 980 และ 800 กก./ไร่ สำหรับฤดูปลูกข้าวนาปีและนาปรัง ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าผลสำรวจตามที่อ้างอิงไว้ในการศึกษาของ Mainuddin *et al.* (2003b) ระบุว่าผลผลิตข้าวทั้งนาปีและนาปรังในพื้นที่โครงการฯ มีประมาณ 750 และ 850 กก./ไร่ หรือมีความแตกต่างจากค่าการจำลองของระบบประมาณ 23% และ 5% ตามลำดับ

ตารางที่ 29 ผลผลิตเฉลี่ยของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษาทั้งนาปีและนาปรังที่ได้จากระบบ

พันธุ์ข้าว	นาปี (กก./ไร่)			นาปรัง (กก./ไร่)		
	สูงสุด	ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย
สุพรรณบุรี 1	975	673	850	830	525	733
ปทุมธานี 1	1,135	975	1,020	1,030	837	980
ชัยนาท 1	1,230	1,112	1,150	1,170	978	1,050
พันธุ์ข้าวหลัก	1,303	706	980	1,100	463	800

ทั้งนี้สาเหตุหลักที่ผลการจำลองมีค่ามากกว่าผลการสำรวจเนื่องจาก ระบบไม่สามารถจำลองสถานการณ์ทางธรรมชาติบางประการ อันส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว อาทิ การระบาดของแมลงและศัตรูพืช รวมทั้งผลพวงจากสภาวะน้ำท่วมในช่วงฤดูฝน ซึ่งส่งผลให้ผลผลิตข้าวนาปีมีปริมาณน้อยกว่านาปรัง ที่สำคัญผลผลิตเฉลี่ยนี้ประเมินได้จากการเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักเชิงพื้นที่ คือ นำผลผลิตแต่ละ SMU คูณกับเนื้อที่เพาะปลูกของแต่ละ SMU แล้วจึงหาผลผลิตเฉลี่ยทั้งพื้นที่ศึกษา จึงส่งผลให้ค่าที่ได้จากการจำลองสูงกว่าค่าผลผลิตที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างในแปลงนา หรือจากการสอบถามจากเกษตรกรตัวอย่างที่มีจำนวนจำกัด

การทดสอบเรื่องประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงของข้าว

การทดสอบการประเมินปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงของข้าวที่ประมวลผลจากแบบจำลอง CERES-Rice โดยวิธี Priestley-Taylor (สมการที่ 5 และ 6) เปรียบเทียบกับปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงที่คำนวณโดยวิธี FAO Penman-Monteith ซึ่งเป็นวิธีที่มาตรฐานต่อการคำนวณความต้องการน้ำของพืช ที่ถูกต้องมากกว่าวิธีอื่นที่ผ่านมา (De Bruin and Stricker, 2000) ขณะที่วิธี Priestley-Taylor ได้ถูกยอมรับและนำมาใช้อย่างกว้างขวางจากนักแบบจำลองพืช ในการประมาณปริมาณการใช้น้ำเพื่อการเกษตร ที่ประมวลผลด้วยแบบจำลองพืช ในกรณีพื้นที่ศึกษามีข้อมูลภูมิอากาศที่จำกัด แต่ให้ความถูกต้องที่ยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ เช่นกัน

$$EO_{P-T} = \alpha \times EEQ \quad (5)$$

โดย EO_{P-T} = ปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงโดยวิธี Priestley-Taylor (มิลลิเมตร/วัน)
 α = ค่าคงที่ของสมการ Priestley-Taylor ประมาณ 1.1
 EEQ = อัตราการระเหยสมดุ (มิลลิเมตร/วัน)

$$EEQ = SR \times 2.04 \times 10^{-4} - 1.83 \times 10^{-4} \times albedo \times (0.6T_{max} + 0.4T_{min} + 29.0) \quad (6)$$

โดย EEQ = อัตราการระเหยสมดุ (มิลลิเมตร/วัน)
 SR = รังสีแสงอาทิตย์สุทธิ ($MJ/m^2.d$)
 $albedo$ = ค่าสะท้อนแสงที่พื้นผิว ประมาณ 0.23
 T_{max} = อุณหภูมิสูงสุด ($^{\circ}C$)
 T_{min} = อุณหภูมิต่ำสุด ($^{\circ}C$)

สำหรับการศึกษาในส่วนนี้ได้เลือกพื้นที่ในบริเวณสถานีตรวจอากาศตัวแทน คือ สถานีตรวจอากาศเกษตรอุททอง เนื่องจากมีข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดที่เพียงพอทั้งสองวิธีการ โดยปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงของข้าวตลอดระยะเวลาการเพาะปลูก (1 ส.ค.-22 พ.ย. 2547) จากวิธี Priestley-Taylor มีค่าน้อยกว่าประมาณ 17% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี FAO Penman-Monteith หรือประมาณ 376 มิลลิเมตร และ 453 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ไม่รวมน้ำเตรียมแปลง) และทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาจากภาพที่ 34 จะพบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงของทั้งสองวิธี มีทิศทางเดียวกัน โดย

ค่าปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงเฉลี่ยแปรผันอยู่ที่ 3.29-3.97 มิลลิเมตร/วัน นอกจากนี้ผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงแบบถดถอย (ภาพที่ 35) สำหรับสองวิธีการ พบว่ามีความสอดคล้องซึ่งกันและกัน ($R^2 = 0.88$) แต่อย่างไรก็ตาม มีหลายปัจจัยที่ค่าจากวิธี Priestley-Taylor มีค่าต่ำกว่าวิธี FAO Penman-Monteith อาทิ วิธีของ FAO Penman-Monteith เป็นวิธีผสม (combination methods) โดยคำนึงถึงปัจจัยทั้งด้านพลังงานรังสีแสงอาทิตย์และพลังงานการเคลื่อนที่ของลม ขณะที่วิธี Priestley-Taylor พิจารณาเพียงพลังงานรังสีแสงอาทิตย์เป็นหลัก และค่าคงที่ α ซึ่งอ้างอิงจากสภาพแวดล้อมอื่น ซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับสภาพเป็นจริงในพื้นที่ศึกษา (Xiaoying and Erda, 2004)

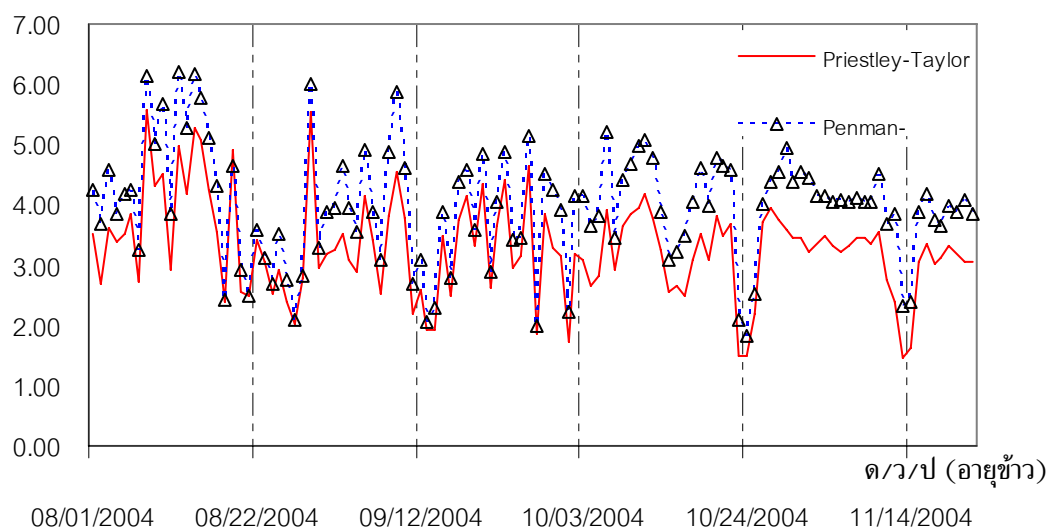
ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่จะเพิ่มประสิทธิภาพและความถูกต้อง ในการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำอ้างอิง หรือปริมาณการใช้น้ำส่วนอื่น ๆ ของวิธี Priestley-Taylor จึงจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์นี้ ให้มีความเหมาะสมกับระบบนิเวศของประเทศไทย

อนึ่งในปัจจุบันแบบจำลอง CERES-Rice ได้เพิ่มทางเลือกของวิธีการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงของพืช ให้มีความหลากหลายและเหมาะสมกับเทคโนโลยีปัจจุบันมากขึ้น โดยวิธีที่เพิ่มเติมเข้ามา ได้แก่ FAO Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998) แต่ขณะนี้ยังอยู่ในช่วงการปรับปรุงและทดสอบความถูกต้องอยู่

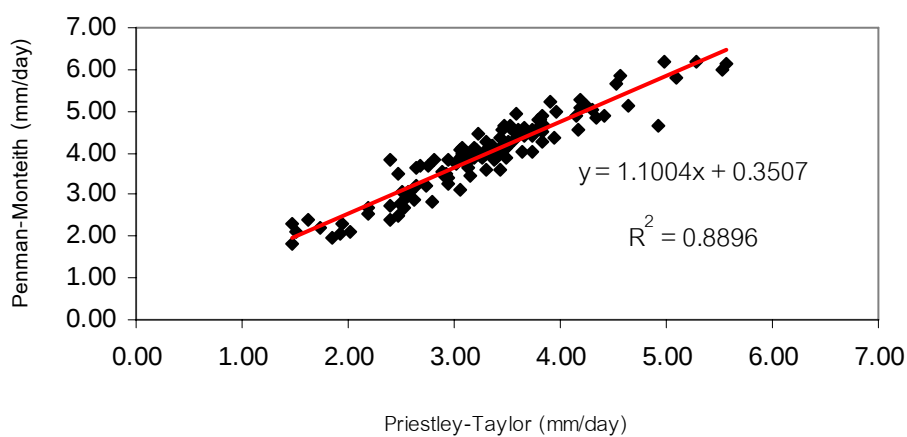
ตารางที่ 30 ผลเปรียบเทียบการประมาณปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงระหว่างวิธี Priestley-Taylor และวิธี FAO Penman-Monteith ระหว่างวันที่ 1 ต.ค.-22 พ.ย. 2547

รายละเอียด	วิธีการคำนวณ		เปอร์เซ็นต์ต่าง
	ET _{p-T} (มม./วัน)	ET _{PEN} (มม./วัน)	(%)
ค่าเฉลี่ย	3.29	3.97	17.14
ค่าสูงสุด	5.57	6.20	10.20
ค่าต่ำสุด	1.48	1.83	19.20
ปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงตลอด ระยะการเจริญเติบโต (มิลลิเมตร)	376	453	17.00

ปริมาณการใช้น้ำอ้างอิง (มิลลิเมตร)



ภาพที่ 34 การผันแปรของปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงของข้าวรายวันเปรียบเทียบระหว่างวิธี Priestley-Taylor และวิธี FAO Penman-Monteith



ภาพที่ 35 ความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบถดถอยระหว่างวิธี Priestley-Taylor และวิธี FAO Penman-Monteith