การจำลองอินทรีย์คาร์บอนในดินปลูกพืชของงานทดลองระยะยาวในประเทศไทยโดยแบบจำลอง DSSAT4-CENTURY model

อรรถชัย จินตะเวช[1]

บทคัดย่อ

ความอุดมสมบูรณ์ของดินขึ้นกับระดับและปริมาณของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (Soil Organic Carbon: SOC) และการเพิ่มปริมาณ SOC ได้รับการยอมรับในระดับสากลว่าเป็นวิธีการหนึ่งในการดึงคาร์บอนออกจากชั้นบรรยากาศ ได้ทดสอบแบบจำลอง DSSAT4 ซึ่งมีโมดูลพลวัตของคาร์บอนในดินและในพืชสองโมดูลได้แก่ CERES-based และ CENTURY-based กับงานทดลองระยะยาวของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ดำเนินการโดยกรมวิชาการเกษตร ที่สถานีทดลองพืชไร่พระพุทธบาท ระหว่างปี 1980-2004 แบบจำลองทั้งสองคาดการณ์คาร์บอนในดินได้มากกว่าคาร์บอนในดินที่วัดได้จากแปลงทดลองทุกวิธีการ ซึ่งอาจจะเกิดจากสภาพแวดล้อมในดินของเขตร้อนและเขตหนาวมีความแตกต่างกันมาก จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมและขณะเดียวกันต้องมีการพัฒนางานทดลองระยะยาวเพื่อประกอบการศึกษา

คำสำคัญ: งานทดลองระยะยาว DSSAT4-CENTURY ข้าวโพด

บทนำ

ข้อตกลงเกียวโต (Kyoto Protocol) ยอมรับให้มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซค์ได้แต่ต้องมีหลักฐานแสดงว่าได้ทำการดึงคาร์บอนออกจากชั้นบรรยากาศด้วยวิธีการและกลยุทธ์ต่าง ๆ (IPCC, 2000) เช่น การปรับปรุงบำรุงดินที่ใช้ในการผลิตทางเกษตรให้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้น หรือ การเพิ่มพื้นที่ปลูกป่าหรือไม้ยืนต้น เป็นต้น การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซค์จากระบบดินและความอุดมสมบูรณ์ของดินนั้นขึ้นกับระดับและปริมาณของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (Soil Organic Carbon: SOC) ดังนั้นองค์ความรู้เกี่ยวกับวิธีการประเมินปริมาณของ SOC จึงมีความสำคัญต่อการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการผลิตทางเกษตร นอกจากนี้การติดตามการเปลี่ยนแปลงของ SOC ใช้เวลานานในการศึกษาทดลองกับระบบจริงให้ครอบคลุมระบบเกษตรหลากหลายระบบ ดังนั้นการใช้แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์วัตถุในดิน (Soil Organic Matter: SOM) ซึ่งเชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ SOC จึงเป็นวิธีการเดียวที่เหมาะสมต่อการศึกษาการหมุนเวียนของ SOC ในวงวิชาการและการกำหนดนโยบายทางเกษตรในปัจจุบัน (Smith *et al*., 1997 และ Shirato *et al*., 2005) วารสาร Geoderma (Vol. 81, 1997) ได้รวมรวบแบบจำลองหลายแบบจำลองที่ได้รับการพัฒนาและทดลอง ในปี 2002 Gijsman *et al*. ได้พัฒนาเสริมต่อแบบจำลอง DSSAT4 ให้เชื่อมโยงกับแบบจำลอง CENTURY เพื่อเอื้อให้มีจำลองสถานการณ์การผลิตได้หลากหลายมากขึ้น โดยมีพื้นฐานจากแบบจำลองพืชจำนวน 24 พืช และแบบจำลองพลวัตของคาร์บอนของ

[1] ภาควิชาปฐีพศาสตร์และอนุรักษศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

แบบจำลอง CENTURY ให้สามารถจำลองการอินทรีย์คาร์บอนในดินปลูกพืชของงานทดลองระยะยาวที่มีการใช้ปัจจัยการผลิตในระดับต่ำซึ่งมีแพร่หลายในประเทศไทย แบบจำลองนี้ยังไม่ได้รับการทดลองในประเทศไทย

เอกสารฉบับนี้ รายงานการศึกษาการจำลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนในดินโดยใช้แบบจำลอง DSSAT4-CENTURY กับการทดลองระยะยาวในจังหวัดสระบุรีในระหว่างปี 2518-2546

วิธีการศึกษา

ใช้แบบจำลอง DSSAT4-CENTURY ซึ่งได้บรรจุพลวัตของคาร์บอนในดินและในพืช ตามวิธีการของ CERES-based และแบบ CENTURY-based โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

แบบจำลอง CERES-based

แบบ CERES-based เมื่อมีการเติมซากพืชหรือสัตว์ (Residues) ลงในแปลงปลูกพืชหรือในดินจะมีการแบ่งซากออกเป็นส่วนย่อยสามส่วนได้แก่ ส่วนคาร์โบไฮเดรต ส่วนเซลลูโลส และส่วนลิกนินออกเป็นร้อยละ 20, 70, และ 10 ตามลำดับ อัตราการย่อยสะลายของแต่ละส่วนมีการคำนวณเป็นรายวันโดยคำนวณจากอัตราการย่อยสะลายสูงสุดคูณด้วยปัจจัยเกี่ยวกับอุณหภูมิ น้ำในดิน และสัดส่วนของคาร์บอนและไนโตรเจนในซากอินทรีย์ที่เติมลงไป ในกรณีที่ความเข้มข้นของไนโตรเจนในซากมีน้อยกว่าร้อยละ 2 อาจจะเกิดการตรึงไนโตรเจนไม่ให้เป็นประโยชน์ต่อพืชได้หรือเรียกว่า N immobilization การคำนวณอัตรายย่อยละลายของอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่แล้วในดิน (Humus pool) ใช้หลักการเดียวกันกับที่กล่าวมาแล้ว แต่มีสมมุติฐานว่าไม่ให้มีการตรึงไนโตรเจน (รูป1[ก])

นอกจากนี้ การตรึงไนโตรเจนจะเกิดขึ้นเมื่อซากพืชและสัตว์ที่เติมลงไปนั้นมีสัดส่วนของคาร์บอนและไนโตรเจนมากกว่า 20 อย่างไรก็ตาม แบบจำลองที่พัฒนาในระยะเริ่มแรกนั้นกำหนดให้การตรึงไนโตรเจนของซากนั้นถูกควบคุมโดยค่าเริ่มต้น C/N ของซาก (litter's initial C/N ratio) แต่เมื่อมีการผนวกสมการส่วนนี้เข้าในแบบจำลองพืชผู้พัฒนาแบบจำลองได้กำหนดให้การตรึงไนโตรเจนถูกควบคุมโดยค่า C/N ที่แท้จริงของซาก (litter's actual C/N ratio) ซึ่งเป็นความแตกต่างที่สำคัญ เนื่องจากกรณีแรกนั้นการตรึงไนโตรเจนมีลักษณะเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในอัตราคงที่ ส่วนแบบจำลองอันที่สองเกิดขึ้นตามลักษณะของซากที่ในระบบการเกษตรในแต่ละช่วงเวลา

แบบจำลอง CENTURY-based

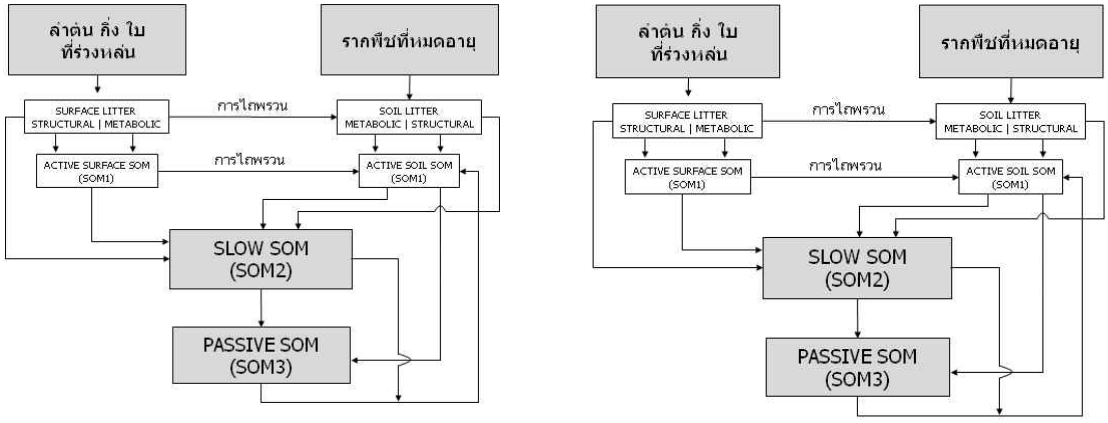
ในแบบจำลอง CENTURY-based (รูป1[ข]) ซากพืชหรือสัตว์ (Residues) ถูกพิจารณาแยกเป็นสองส่วนได้แก่ ส่วนเหนือดินและส่วนในดิน และแบ่งเพิ่มเติมเป็นส่วนที่ย่อยสะลายง่าย (Metabolic litter) และส่วนที่เป็นโครงสร้าง (Structural litter) การแบ่งระหว่างสองส่วนหลังนี้ขึ้นกับสัดส่วนระหว่าง Lignin/N และส่วนที่ย่อยสะลายง่าย มีค่าเท่ากับ = 0.85 – 0.013(Lignin/N) นอกจากนี้ส่วนที่เป็นโครงสร้างถูกกำหนดให้มีสัดส่วนของ C/N เท่ากับ 200 และส่วนที่ย่อยสะลายง่ายนั้นมีสัดส่วนของ C/N ผันแปรตามความเข้มข้นของไนโตรเจนในซาก

เมื่อซากผ่านกระบวนการย่อยสะลายแล้ว ซากส่วนที่ย่อยสะลายง่ายจะเข้าสู่ส่วนที่เรียกว่า SOM1 เป็นส่วนของซากซึ่งจุลรินทรีย์ในดินสามารถใช้งานได้ทันทีซึ่งจะแบ่งออกเป็นส่วนเหนือดิน (Surface SOM1) และส่วนในดิน (Soil SOM1)

ในขณะเดียวกัน ซากส่วนที่เป็นโครงสร้างถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนที่ย่อยสะลายได้ง่ายก็จะถูกส่งเข้าไปยัง SOM1 ส่วนที่เป็นโครงสร้างและย่อยละลายยากจะถูกส่งเข้าเก็บสะสมใน SOM2 ซึ่งมีอยู่เฉพาะในดิน

ซากในส่วนเหนือดิน (Surface SOM1) และส่วนในดิน (Soil SOM1) ถูกย่อยสะลายต่อเข้าสู่ส่วนที่เรียกว่า SOM2 และต่อไปเป็น SOM3 ซึ่งสามารถถูกย่อยสะลายกลับเป็น SOM1 ได้

กระบวนย่อยสะลายซากมีการปลดปล่อย CO2 และการปลดปล่อยหรือการตรึงไนโตรเจน ขึ้นกับสัดส่วนของ C/N ของซากและความเข้มข้นของไนโตรเจนที่จะเป็นประโยชน์ต่อกระบวนย่อยสะลายของซาก



[ก] [ข]

รูปที่ 1: ตัวแปรหลักของแบบจำลองคาร์บอนตามวิธีการของ CERES [ก] และ CENTURY [ข]

แหล่ง: Gijsman *et al*. (2002)

อัตราการย่อยสะลายซากได้รับผลโดยตรงจากเนื้อดินและปริมาณของเนื้อดินเหนียว (Clay) โดยสามารถกล่าวสรุป ว่าในกรณีที่ดินมีเนื้อดินเหนียวเพิ่มขึ้น อัตราการย่อยสะลายจะเป็นดังนี้

- การย่อยสะลายของ SOM1 มีอัตราลดลง
- ซากพืชจะถูกเปลี่ยนจาก SOM1 เป็น SOM3 มากกว่า SOM2
- สัดส่วนของ SOM ที่ถูกเปลี่ยนเป็น CO2 ลดลง และ
- กำหนดค่าคงที่เพื่อนำปัจจัยเกี่ยวกับน้ำในดินที่มีต่ออัตราการย่อยสะลาย

งานทดลองระยะยาว

การทดสอบแบบจำลองพลวัตของคาร์บอนทั้งสองแบบใช้ข้อมูลงานทดลองระยะยาวที่ดำเนินการโดยกรมวิชาการเกษตรและ JIRCAS (Japan International Research Center in Agricultural Sciences) ตาราง 1 สรุปภาพรวมงานทดลอง (Shirato et al., 2005) เป็นงานทดลองข้าวโพดที่สถานีทดลองพืชไร่พระพุทธบาท ลพบุรี เริ่มต้นในปี 1976 บนดินชุดปากช่อง จัดอยู่ใน Typic Paleustults มีการปลูกข้าวโพดทุกวันที่ 20 พฤษภาคม ของทุกปี ปุ๋ยเคมี NKP ใส่ในอัตรา 11.7-4.8-4.8 N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ต่อปี เก็บเกี่ยวข้าวโพดในเดือนพฤศจิกายนทุกปี เก็บเฉพาะเมล็ดข้าวโพดออกจากแปลงทดลอง และไถกลบส่วนที่เหลือทุกปี น้ำหนักแห้งรวมทั้งหมดคำนวณจากสมการน้ำหนักเมล็ด x 3.53 ซึ่งเป็นค่าคงที่ จากการศึกษาพบว่า เมล็ด ฝัก ใบและลำต้น และรากมีสัดส่วนเท่ากับ 22, 16, 53, และ 9 ตามลำดับ และจากนั้นปริมาณคาร์บอนที่ได้จากการปลูกข้าวโพดและไถกลบลงในดินคำนวณจากน้ำหนักแห้งรวมทั้งหมดคูณด้วย 0.40

อนึ่ง แบบจำลอง DSSAT4 นี้สามารถใช้จำลองพลวัตของคาร์บอนได้กับพืชมากกว่า 20 ชนิด ยกเว้นอ้อย โรงงาน มันสำปะหลัง และปาล์มน้ำมัน อย่างไรก็ตาม มีความพยายามในการพัฒนาเพิ่มเติมสำหรับแบบจำลองอ้อย โรงงานและมันสำปะหลัง

ตารางที่ 1: ปริมาณคาร์บอน (กิโลกรัมต่อไร่) ที่ได้จากการปลูกข้าวโพดและไถกลบลงในดินของระบบการผลิตข้าวโพด

สถานที่	ระบบการผลิตข้าวโพด	นน. ซาก ข้าวโพด	นน. ซาก ข้าว	รวม
พระพุทธบาท	ไม่มีการเติมอะไรเลย	400	0	400
	NKP	611	0	611
	ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี + ซากข้าวโพด	557	256	813
	NKP + ซากข้าวโพด	1,034	256	1,290

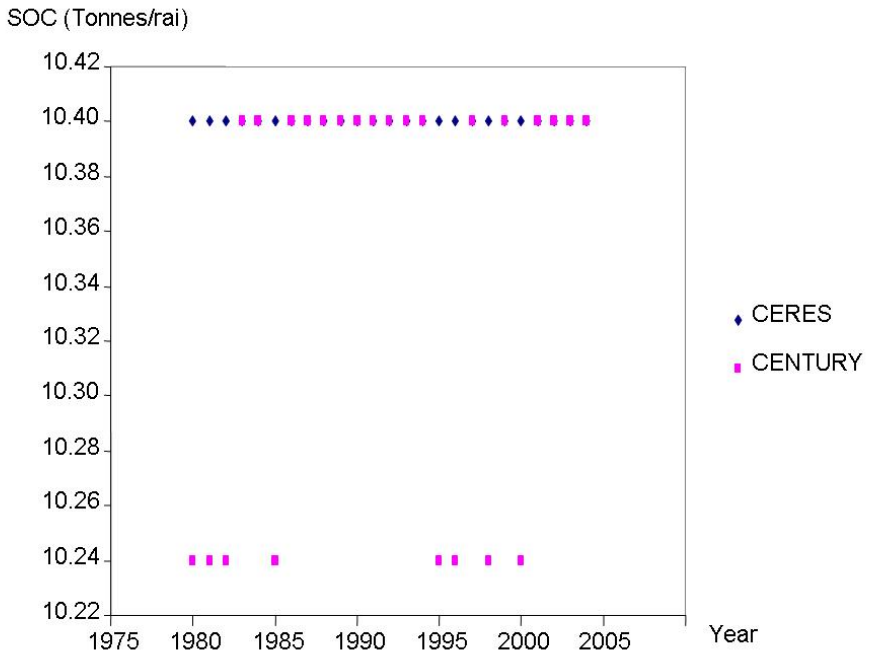
แหล่ง: Shirato *et al*., 2005

ผลการศึกษา

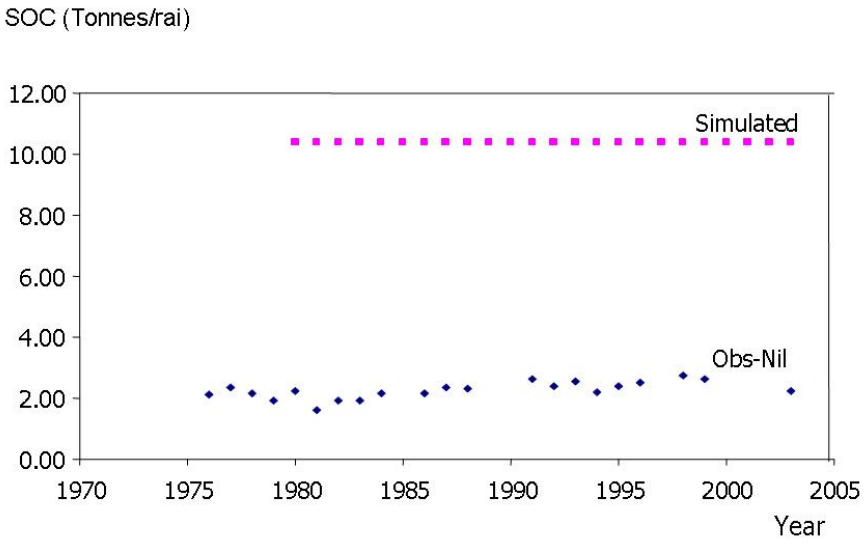
แบบจำลองทั้งสองได้แก่ CERES-based และ CENTURY-based คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในดินระหว่างปี 1980-2004 ได้ในช่วงใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 10.24-10.40 ตันต่อไร่ (รูปที่ 2) แบบจำลอง CERES-based คาดการณ์คาร์บอนในดินในระดับเดียว 10.40 ตันต่อไร่ ส่วนแบบจำลอง CENTURY-based คาดการณ์คาร์บอนในดินอยู่ในช่วง 10.24-10.40 ตันต่อไร่ และมีค่าเท่ากันทั้งสี่การจัดการผลิต และมากกว่าค่าที่วัดได้จากแปลงทดลอง (Observed) ของทั้งสี่การจัดการ (รูปที่ 3) ค่าที่วัดได้จากแปลงทดลองอยู่ในช่วงระหว่าง 1.4 - 4.0 ตันต่อไร่ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดเวลาที่ทำการทดลอง

แบบจำลองทั้งสองคาดการณ์ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ระหว่างปี 1980-2004 ในช่วง 0-900 กิโลกรัมต่อไร่ (รูปที่ 4) แบบจำลอง CERES-based และ CENTURY-based คาดการณ์ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในการจัดการผลิตแบบไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและซากข้าวโพดได้ผลผลิตข้าวโพดอยู่ในช่วงไม่เกิน 200 และ 300 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ได้ผลผลิตน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการจัดการอีกสามแบบ

การจัดการผลิตแบบใส่ปุ๋ยเคมีและซากข้าวโพดได้ผลผลิตข้าวโพดอยู่ในช่วงไม่เกิน 900 กิโลกรัมต่อไร่จากการคาดการณ์ของทั้งสองแบบจำลอง



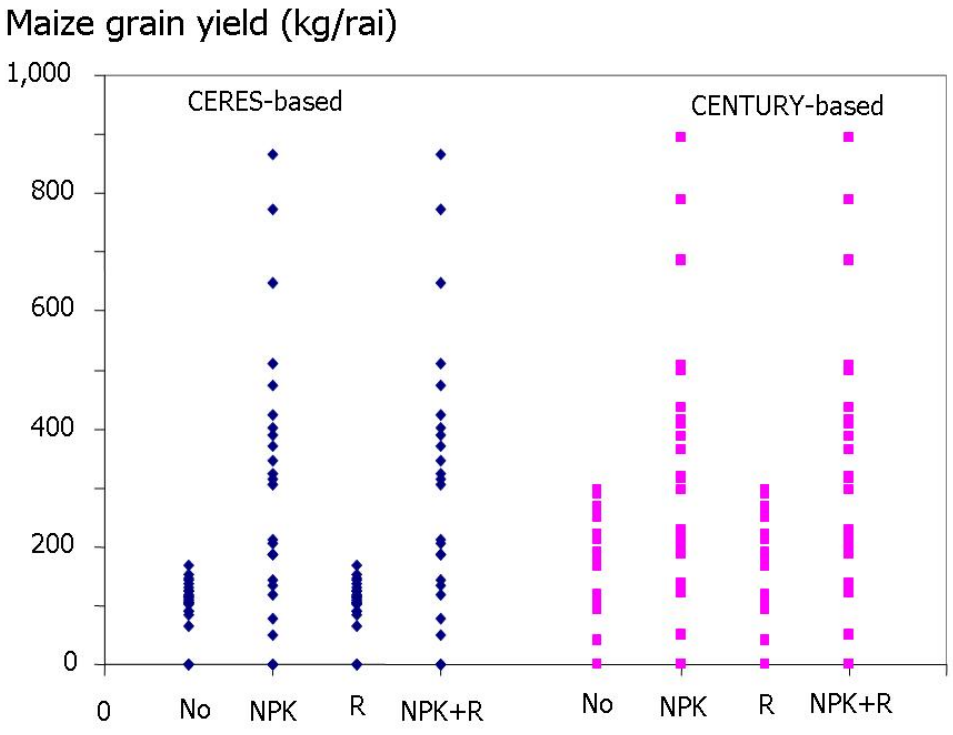
รูปที่ 2: ค่าคาดการณ์ (simulated) ของคาร์บอนในดินจากแบบจำลอง CERES และ แบบจำลอง CENTURY ในระหว่างปี 1980-2004



รูปที่ 3: เปรียบเทียบผลการคาดการณ์ (simulated) ของคาร์บอนในดินจากแบบจำลอง CERES กับค่าที่วัดจากแปลงทดลองที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีและซากข้าวโพด (Obs-Nil)

วิจารณ์และสรุป

แบบจำลองทั้งสองได้แก่ CERES-based และ CENTURY-based คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในดินระหว่างปี 1980-2004 ได้มากกว่าค่าที่วัดได้จากแปลงทดลองเป็นอย่างมาก ซึ่งมีหลายท่านพยายามอธิบายความแตกต่างนี้ เช่น Shirato et al. (2005) ให้ความเห็นว่าแบบจำลองทั้งสองอาจจะยังต้องพัฒนาเพิ่มเติมการคำนวณผลของการขาดน้ำต่ออัตราการย่อยสะลายของอินทรีย์วัตถุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้งหรือช่วงที่ฝนทิ้งช่วงซึ่งเป็นสภาพธรรมชาติของเขตร้อนชื้นของเอเชีย นอกจากนี้ยังสามารถเชื่อมโยงกับปัจจัยอื่นซึ่งสามารถปรับปรุงเพิ่มเติมได้อีกได้แก่ 1) อิทธิพลของเนื้อดิน 2) การแบ่งแยกส่วนของอินทรีย์วัตถุในดินให้เป็น SOM1, SOM2, และ SOM3 3) อิทธิพลของความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของ SOM และ 4) การชะล้างของสารอินทรีย์คาร์บอนในฤดูฝน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การที่แบบจำลองคาดการณ์ปริมาณคาร์บอนได้มากกว่า (overestimation) ค่าที่วัดได้ในแปลงทดลองนั้นส่วนหนึ่งอาจจะมีสาเหตุจากการที่แบบจำลองยังไม่มีความสามารถเพียงพอในการนำปัจจัยที่เกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตในดิน เช่น ปลวก เป็นต้น เข้ามาประกอบการคำนวณการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนในดิน ปลวกเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความสามารถในการย่อยสารอินทรีย์ซึ่งมีโครงสร้างซับซ้อนได้อย่างง่ายดาย นอกจากนี้ปลวกเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีอยู่อย่างมากมายในเขตร้อนเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อมในเขตหนาวซึ่งมีปริมาณและจำนวนปลวกน้อยกว่าในเขตร้อน



รูปที่ 4: ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จากแบบจำลอง (simulated) ของแบบจำลอง CERES-based & CENTURY-based ในระหว่างปี 1980-2004

จากการสังเกตุ พบว่าเศษซากพืชหรืออินทรีย์วัตถุที่ถูกทิ้งในดินจะมีการเปลี่ยนรูปหรือย่อยสะลายอย่างรวดเร็วก่อนที่จะถูกไถกลบและคลุกเคล้าให้เข้ากับดิน ดังนั้นแบบจำลองย่อมจะคาดการณ์ได้มากกว่าที่วัดได้จริงใน

แปลงทดลองหรือสภาพจริงเนื่องจากแบบจำลองมีการคลุกเคล้าเศษซากเข้าในดินและสู่กระบวนการย่อยสะลายอย่างสมบูรณ์ ในขณะที่ระบบจริงนั้นเศษซากพืชหรืออินทรีย์วัตถุจำนวนมากไม่ได้ถูกคลุกเคล้าเข้ากับดินและย่อมหลุดออกจากระบบการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในดิน สรุปว่า จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาแบบจำลองและการสร้างงานทดลองระยะยาวเพื่อการสร้างฐานข้อมูลที่มีความแม่นยำและถูกต้องเพื่อประกอบการใช้งานแบบจำลองในอนาคต

คำนิยม

ขอขอบคุณ คุณประพิด แสงทอง กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร และ Mr. Satoru Miyata ผู้ประสานงานสำนักงาน JIRCAS Bangkok office ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลจากแปลงทดลองของสถานีพระพุทธบาท

เอกสารอ้างอิง

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2000. ***Land use, Land-use change, and Forestry***. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Gijsman, A.J., G. Hoogenboom, W.J. Parton, and P.C. Kerridge. 2002. Modifying DSSAT Crop Models for Low-Input Agricultural Systems Using a Soil Organic Matte-Residue Module from CENTURY. ***Agronomy Journal*** 94: 462-474.

Kelly, R.H., W.J. Parton, G.J. Crocker, P.R. Grace, J. Klfr, M. KiSrschens, P.R. Poulton, D.D. Richte. 1997. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the century model. ***Geoderma*** 81: 75-90.

Shirato, Y., K. Paisancharoen, P. Sangtong, C. Nakviro, M. Yokozawa, and N. Matsumoto. 2005. Testing the Rothamsted Carbon model against data from long-term experiments on upland soils in Thailand. ***European Journal of Soil Science***. 56: 179-188.

Smith, P., J.U. Smith, D.S. Powlson, W.B. McGill, J.R.M. Arah, O.G. Chertov, K. Coleman, U. Franko, S. Frolking, D.S. Jenkinson, L.S. Jensen, R.H. Kelly, H. Klein-Gunnewiek, A.S. Komarov, C. Li, J.A.E. Molina, T. Mueller, W.J. Parton, J.H.M. Thornley, and A.P. Whitmore, 1997. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. ***Geoderma*** 81: 153-225.