

ความสัมพันธ์ของความชื้นดิน การคายระเหย การเจริญเติบโต และ ประสิทธิภาพการใช้น้ำของข้าวขาวดอกมะลิ 105

Relations of soil water, evapotranspiration, growth, and water use efficiency of KMDL 105 rice

เกริก ปั่นเหน่งเพชร (Krikk Pannangpetch)¹

นิมิตร วรสูต (Nimitr Vorasoot)²

บทคัดย่อ

การคายระเหยของน้ำจากดินที่ปลูกข้าวที่อิ่มตัวด้วยน้ำสูงกว่าการระเหยจากผิวดินอิ่มตัวด้วยน้ำแต่ไม่มีพืชถึง 4 เท่าตัว เมื่อความชื้นดินโดยปริมาตรลดลงอัตราการคายระเหยจะลดลง โดยมีความสัมพันธ์ที่สามารถบรรยายได้โดยใช้ asymptotic exponential ฟังก์ชัน และเมื่อแสดงค่าความชื้นดินเป็นค่า pF ความสัมพันธ์จะเป็นเส้นตรง เมื่อข้าวขาดน้ำเป็นเวลา 7 วัน จนค่า pF ดินต่ำกว่า 4.5 พืชจะฟื้นตัวจากภาวะขาดน้ำได้ช้ามาก การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งในช่วงเวลาดังกล่าวมีเพียง 30% ของข้าวที่ไม่ขาดน้ำ ทั้งนี้เนื่องมาจากพื้นที่ใบสีเขียวของข้าวที่ขาดน้ำนั้นลดลงเหลือแค่ 10% นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้น้ำของข้าวภายใต้สภาพการณ์ทั้ง 2 พบว่าประสิทธิภาพการใช้น้ำของข้าวที่ไม่ขาดน้ำมีค่า 2.4 กรัมของน้ำหนักแห้งต่อกิโลกรัมของน้ำที่คายจากใบข้าว ในขณะที่ต้นข้าวที่ประสบการขาดน้ำนั้นมีค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำเพียง 1.8 กรัมของน้ำหนักแห้งต่อกิโลกรัมของน้ำที่คายจากใบข้าว

Abstract

Evapotranspiration from rice grown under saturated soil was 4 times greater than evaporation from saturated bare soil. The rate of evapotranspiration decreased with the reduction in volumetric soil water content, and the relation could be described by an asymptotic exponential function. When soil water was expressed in terms of pF, the relation became linear. When water supply was withheld for 7 days and soil pF increased to above 4.5, rice recovered very slowly from the stress and did not attain complete recovery during the experimental period. Increase in dry weight of the stressed plants was only 30% of that of the unstressed plants, which could be contributed to the reduction in the green leaf area to only 10% of that of the unstressed plants. Water use efficiency of the stressed plants was also lower at 1.8 g DW kg⁻¹ transpired water, than for the unstressed plants at 2.4 g DW kg⁻¹ transpired water.

คำสำคัญ: ความชื้นดิน การคายระเหย การเจริญเติบโตของข้าว

Keywords: soil water, evapotranspiration, rice growth

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²รองศาสตราจารย์ ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

การผลิตข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่เป็นการผลิตโดยอาศัยน้ำฝน มีความเสี่ยงสูงอันเนื่องมาจากความแปรปรวนของฝนทั้งในแง่ของปริมาณและการกระจายตัว (Patanothai, 1997) เมื่อประกอบกับความหลากหลายของดินและลักษณะสัณฐานของพื้นที่จึงเป็นระบบการผลิตที่ซับซ้อน กระบวนการวิเคราะห์ปัญหาและสังเคราะห์แนวทางเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตจึงต้องประมวลข้อมูลเป็นจำนวนมาก หลากหลายมิติ ปัจจุบันได้มีการนำแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช (Crop model) และเทคโนโลยีสารสนเทศ (GIS) มาใช้เป็นเครื่องมือช่วย เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตของพื้นที่ วิเคราะห์หาปัญหาหลัก ประเมินความเสี่ยง ทดสอบสมมุติฐาน แนวทางการแก้ไข้ปัญหา ตลอดจนกำหนดเขตการผลิตได้อย่างเป็นระบบ

ตัวอย่างของการนำเครื่องมือดังกล่าวมาใช้ ได้แก่ Heinemann et al. (2002) ใช้ Crop model และ GIS ในการประเมินความต้องการน้ำในการผลิตข้าวโพด และถั่วเหลืองที่ระดับอำเภอ Homma et al. (2000); Pannangpetch (1993) และ Woperies et al. (1996) ใช้เครื่องมือทั้ง 2 ในการประเมินผลผลิตข้าวเพื่อทำการกำหนดเขตศักยภาพการผลิตของพื้นที่ Muchow และ Bellamy (1991) ได้รวบรวมและเสนอผลงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ Crop model ในการประเมินความเสี่ยงของการผลิตพืชภายใต้สภาพกึ่งแห้งแล้ง Pereira et al. (1995) ได้รวบรวมและเสนอเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ Crop model ในการจัดการน้ำ Tsuji et al. (1998) และ Penning de Vries et al. (1993) ได้จัดรวบรวมผลงานการประยุกต์ใช้ Crop model ในสาขาต่างๆ ของการผลิตพืช รวมถึงการประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ และระบบการปลูกพืชหมุนเวียน

ในการใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช สำหรับการปลูกข้าวในสภาพนาข้าวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำเป็นต้องใช้แบบจำลองที่สามารถวิเคราะห์การเจริญเติบโตของข้าวได้ในภาวะที่มีข้อจำกัดของน้ำ

แบบจำลองที่มีขีดความสามารถดังกล่าว ไม่ว่าจะเป็นแบบจำลองที่มีรายละเอียดสูง อย่างเช่น Campbell (1991); Goudriaan (1977); Thornley (1998); Feddes et al. (1978); Ritchie (1998); หรือแบบเรียบง่าย อย่างเช่น Keulen and Wolf (1986); Sinclair et al. (1987); Stroosnijder (1982) และวิธีการของ FAO (Allen et al. 1998) ต่างต้องอาศัยข้อมูลพื้นฐานความสัมพันธ์ของความชื้นดิน อัตราการคายน้ำของพืช และอัตราการเจริญเติบโตของพืชทั้งสิ้น ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวจะแตกต่างกันไปในพืชแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะของสรีระและสัณฐานของพืช หากข้อมูลที่ใช้เป็นตัวป้อนในแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อน ผลที่ได้จากการประเมินโดยใช้แบบจำลองก็จะผิดพลาดด้วย

จากการประยุกต์ใช้ Crop model ในการวิเคราะห์ระบบการผลิตข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่าข้อจำกัดที่สำคัญคือขาดข้อมูลพื้นฐานที่จะเป็นตัวป้อนในแบบจำลอง (Pannangpetch, 2001; โครงการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตข้าวชาวดอกมะลิ, 2542) โดยเฉพาะอย่างยิ่งขาดค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพันธุ์ข้าวไทย และความสัมพันธ์ระหว่างชลศักยภาพของน้ำในดิน และอัตราการคายระเหย จากการตรวจสอบเอกสารไม่พบรายงานความสัมพันธ์ดังกล่าวเกี่ยวกับพันธุ์ข้าวไทย แม้กระทั่งข้อมูลของข้าวพันธุ์ต่างประเทศก็ยังไม่ชัดเจนและไม่ตรงกับที่ต้องการสำหรับใช้กับแบบจำลอง เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ crop model simulation ในการวิเคราะห์ระบบการผลิตข้าวชาวดอกมะลิในสภาพอาศัยน้ำฝนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องทำการวิจัยเพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญนี้ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1. หาความสัมพันธ์เชิงปริมาณของอัตราการคายระเหยกับความชื้นดิน และ 2. หาความสัมพันธ์ของอัตราการคายน้ำและการเจริญเติบโตของข้าว

อุปกรณ์และวิธีการ

ได้วัดคุณสมบัติทางกายภาพของดินที่ใช้ในการทดลองคือ เนื้อดินโดยวิธี pipette ความหนาแน่นดิน

โดยวิธี core method ความหนาแน่นอนุภาคโดยใช้ pycnometer ในการหาปริมาตรอนุภาค และความชื้นดินที่ pF เท่ากับ 1, 2, 2.7, 3, และ 4 โดยวิธี hanging column และ pressure plate ผลที่ได้จากการวัดได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

จากนั้นทำการเลือกหาฟังก์ชันและหาค่าสัมประสิทธิ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นดินโดยปริมาตรและ matric potential ของน้ำในดิน ซึ่งพบว่าสมการของ van Genuchten (1980)

$$\theta = \theta_r - (\theta_s - \theta_r) [1 + (\alpha h)^n]^{-m}$$

สามารถบรรยายความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ดี h คือค่า matric potential (cm), θ_r และ θ_s คือ สัดส่วนของน้ำในดินโดยปริมาตรที่ระดับอิ่มตัว ที่ระดับ air dry และที่ matric potential เท่ากับ h ส่วน α , m และ n คือค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชัน จากการใช้ least square method สามารถหาค่าของสัมประสิทธิ์ทั้งสามได้ตามลำดับดังนี้ คือ 0.0953, 0.1780, และ 1.2166 และแสดงกราฟของ soil moisture characteristic curve ได้ดังภาพที่ 1ก ในวันที่ 18 สิงหาคม 2546 ได้ปักดำต้นกล้าข้าวชาวดอกมะลิ 105 อายุ 20 วันลงในกระถาง พลาสติกสีเงิน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 23 ซม. สูง 30 ซม. ที่บรรจุด้วยดินที่ได้รับการตรวจสอบคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้น น้ำหนักดินแห้งในแต่ละกระถางเท่ากับ 14.40 กก อัตราปักดำ 3 ต้นต่อกระถาง ใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 0.5 กรัม/กระถาง/สัปดาห์ ทั้งหมด 8 ครั้ง และรักษาความชื้นดินไว้ที่ระดับอิ่มตัวเสมอ จนเริ่มทำการวัดเปรียบเทียบอัตราการคายระเหยน้ำรายวันภายใต้ความชื้นดิน 3 สถานการณ์คือ 1) กระถางที่ปลูกข้าวที่ความชื้นดินลดลงอย่างต่อเนื่องจากระดับอิ่มตัวไปจนถึงระดับเหี่ยวถาวรโดยไม่มีน้ำ (ETc) 2) กระถางที่ปลูกข้าวที่ความชื้นดินถูกรักษาไว้ที่ระดับอิ่มตัวเสมอ (ETo) และ 3) กระถางที่ไม่มีต้นข้าวแต่ความชื้นดินถูกรักษาไว้ที่ระดับอิ่มตัวเสมอ (Eo) เริ่มทำการวัดในวันที่ 10 พฤศจิกายน 2546 และสิ้นสุดในวันที่ 24 พฤศจิกายน 2546 แผนการทดลองจัดแบบ randomized complete

block design จำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 78 กระถาง ประกอบด้วย 3 ตำรับทดลองดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว ทั้งการทดลองรวมได้ 234 กระถาง

เมื่อต้นข้าวเริ่มเข้าสู่ระยะสร้างเมล็ด ในวันที่ 10 พฤศจิกายน 2546 ก่อนเริ่มทำการวัดเปรียบเทียบอัตราการคายของน้ำ ได้เก็บตัวอย่างพืช 26 กระถาง/ซ้ำ แล้วนำตัวอย่างเหล่านั้นไปแยกเป็นใบ กาบใบและก้านรวง และรวบ จากนั้นจึงวัดหาพื้นที่ใบ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ก่อนทำการชั่งน้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆดังกล่าว กระถางที่ต้นข้าวถูกตัดไปแล้วนั้นได้ถูกใช้ในการวัดหาอัตราการคายระเหยของน้ำรายวันสำหรับตำรับทดลอง Eo ทำการเก็บตัวอย่างพืชอีกครั้งในวันที่ 24 พฤศจิกายน 2546 เมื่อสิ้นสุดการวัดการคายระเหย เพื่อหาน้ำหนักแห้งและพื้นที่ใบของต้นข้าวที่ได้ผ่านภาวะเครียดจากการขาดน้ำ ETc และของต้นข้าวที่ไม่ได้ผ่านภาวะเครียด ETo ตำรับละ 26 กระถาง/ซ้ำ

อัตราการคายระเหยของน้ำรายวันวัดโดยการชั่งน้ำหนักกระถาง ในช่วงเวลา 8.30-11.30 น. ทุกวัน เริ่มจากวันที่ 10 จนถึง 24 พฤศจิกายน 2546 โดยใช้เครื่องชั่งดิจิตอล มีความละเอียดของการวัดเท่ากับ 0.020 กิโลกรัม ในกรณีของตำรับ ETo และ Eo เมื่อชั่งน้ำหนักแต่ละกระถางเสร็จแล้วจะเติมน้ำให้น้ำหนักของกระถางเท่ากับน้ำหนักเดิมเมื่อเริ่มทำการวัดในวันที่ 10 พฤศจิกายน 2546 อัตราการคายระเหยของน้ำรายวันกำหนดให้เท่ากับน้ำหนักของน้ำในแต่ละกระถางที่ลดหายไปในช่วงเวลา 24 ชม. และความชื้นของดินในวันนั้นๆ จะเป็นค่าเฉลี่ยรายวัน

ข้อมูลฟ้าอากาศรายวันได้จากสถานีตรวจอากาศ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ความชื้นอากาศ ความเร็วลม และปริมาณน้ำฝน ภาพที่ 1ข

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

อัตราการคายระเหยน้ำ

ผลการทดลองพบว่าอัตราการคายระเหยของน้ำจาก E_{To} นั้นสูงกว่าการคายระเหยจาก E_o ถึงเกือบ 4 เท่าโดยเฉลี่ย (ภาพที่ 2 ก) การเปลี่ยนแปลงของสภาพฟ้าอากาศมีอิทธิพลอย่างชัดเจนต่อการคายระเหยของ E_{To} และลดลงตามสัดส่วนของอัตราการระเหย ในกรณีของ E_o และ E_{Tc} จากการตรวจสอบข้อมูลสภาพฟ้าอากาศพบว่าอัตราการคายระเหยที่ลดลงในวันที่ 13 พฤศจิกายน เกิดจากการลดลงของพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ และอุณหภูมิ แต่อัตราการคายระเหยที่ลดลงในวันที่ 18-19 พฤศจิกายน นั้นมีสาเหตุมาจากความเร็วลมที่ลดลง

การคายระเหยของ E_{Tc} อยู่ภายใต้อิทธิพลทั้งของสภาพฟ้าอากาศและความชื้นดิน และลดลงอย่างต่อเนื่องคู่ขนานไปกับการลดลงของความชื้นดินอย่างชัดเจน (ภาพที่ 2 ข) ต้นข้าวเริ่มม้วนใบแสดงให้เห็นถึงการขาดน้ำในวันที่ 16 และในวันที่ 17 ต้นข้าวแสดงการขาดน้ำอย่างรุนแรง หลังจากที่ได้ให้น้ำกับต้นข้าวใน E_{Tc} ในวันที่ 18 แม้ต้นข้าวจะแสดงอาการฟื้นตัวขึ้นบ้าง หลังจากนั้น แต่ก็ไม่สมบูรณ์เหมือนเดิม เห็นได้จากอัตราการคายระเหยของ E_{Tc} ในวันที่ 20-23 นั้นมีค่าสูงกว่าของ E_o เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายระเหยของต้นข้าว E_{Tc} และความชื้นดินโดยปริมาตร พบความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นโค้ง และสามารถแสดงได้โดยใช้ asymptotic exponential ฟังก์ชันดังแสดงในภาพที่ 3 ก อย่างไรก็ตามจะสังเกตเห็นว่ามีความแปรปรวนของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายระเหยและความชื้นดินค่อนข้างสูง เนื่องจากผลของความแปรปรวนของสภาพฟ้าอากาศรายวันได้แฝงอยู่ในความสัมพันธ์ดังกล่าว ซึ่งแสดงผลชัดเจนมากขึ้นเมื่ออัตราการคายระเหยเพิ่มขึ้นภายใต้ความชื้นดินที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงทำการ normalized อัตราการคายระเหยให้อยู่ในรูปเชิงสัมพันธ์ $Relative\ ET = E_{Tc}/E_{To}$ และตรวจสอบความสัมพันธ์อีกครั้ง พบว่าความแปรปรวนลดลงและมีความสม่ำเสมอของความสัมพันธ์ตลอดช่วงความชื้นดินเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 3 ข

แม้สามารถใช้ประโยชน์จากข้อมูลความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้นได้โดยตรง แต่การใช้ประโยชน์อาจยังจำกัด เนื่องจากเมื่อเนื้อดินเปลี่ยนไป แม้ความชื้นดินคงเดิม แต่อัตราการคายระเหยสัมพันธ์อาจเปลี่ยนแปลงได้ เพราะโดยพื้นฐานแล้วอัตราการคายระเหยสัมพันธ์จะถูกกำหนดโดยชลศาสตร์ของน้ำในดิน ดังนั้นจึงทำการแปลงค่าความชื้นดินโดยปริมาตรให้เป็นค่า matric potential โดยใช้ soil moisture characteristic ฟังก์ชันของ van Genuchten (1980) ดังที่ได้กล่าวไว้ในวิธีการทดลอง จากนั้นจึงเปลี่ยนค่าความดันให้อยู่ในรูปของ pF และหาความสัมพันธ์ของอัตราการคายระเหยสัมพันธ์กับค่า pF ดิน (ภาพที่ 4) ผลการศึกษาชี้ว่าสามารถบรรยายความสัมพันธ์ได้โดยการใช้ฟังก์ชันเส้นตรง แม้จะพอสังเกตเห็น การ concave ลงของเส้นได้

การใช้ค่า pF แม้จะมีรูปแบบของฟังก์ชันที่เรียบง่าย และสามารถใช้ได้กว้างขึ้น แต่ก็มีขั้นตอนในการดำเนินการเพิ่มขึ้น และต้องใช้ข้อมูลเนื้อดินและค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชัน ดังนั้นการใช้ค่า pF จึงขึ้นกับความเหมาะสมและความพร้อมของข้อมูล

การเจริญเติบโตพืช

ผลการเจริญเติบโตของต้นข้าวภายใต้สภาพการณ์ทั้ง 2 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 การเจริญเติบโตของข้าวในตำรับ E_{Tc} จากช่วง วันที่ 10 ถึง 24 พฤศจิกายน นั้นมีค่าเพียง 4.05 กรัม/กระถางเท่านั้น เมื่อเทียบกับข้าวในตำรับ E_{To} ซึ่งมีค่า 14.68 กรัม/กระถาง สาเหตุดังกล่าวเกิดจากการลดลงของพื้นที่ใบที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ถึง 10 เท่าอันเป็นผลมาจากการขาดน้ำ

เมื่อทำการประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำของข้าวเพื่อการเจริญเติบโต (WUE) ภายใต้สถานการณ์ทั้ง 2 โดยใช้สมการ

$$WUE = \frac{\Delta w / \Delta t}{\Delta ET / \Delta t}$$

ซึ่ง Δw คือน้ำหนักพืชที่เพิ่มขึ้นในช่วง Δt และ ΔET คือน้ำหนักของน้ำที่ถูกใช้ในการคายระเหยในช่วง Δt พบว่าประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) ของข้าวภายใต้สภาพ ET_0 มีค่าเท่ากับ 1.77 กรัมน้ำหนักแห้งของข้าว / กิโลกรัมของน้ำ และสูงกว่า ET_c ถึงเกือบ 2 เท่าตัว ดังแสดงในตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการใช้น้ำที่ต่ำของ ET_c อาจเนื่องมาจากสัดส่วนที่สูงขึ้นของการระเหยจากผิวดินเมื่อเทียบกับการคายน้ำจากผิวใบซึ่งมีผลโดยตรงกับการสังเคราะห์แสงของใบ ดังนั้นจึงได้ทำการประเมินอีกครั้งในรูปของ

$$WUE^* = \frac{\Delta w / \Delta t}{\Delta T / \Delta t}$$

โดยที่ ΔT คือน้ำหนักน้ำที่ใช้ในการคายน้ำของใบเท่านั้น ซึ่งคำนวณได้จาก $\Delta ET_0 - \Delta E_0$ และ $\Delta ET_c - \Delta E_0$ แม้ค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำจะเพิ่มขึ้นแต่ผลยังแสดงว่าประสิทธิภาพการใช้น้ำของข้าวภายใต้สภาพที่น้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการนั้นมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าภายใต้สภาพที่มีน้ำเพียงพอ เป็นที่น่าสังเกตว่าค่าประสิทธิภาพที่วัดได้นี้มีค่าต่ำกว่าค่าที่วัดใน phytotron glasshouse ดังที่รายงานโดย Cabuslay และคณะ (2002) ว่ามีค่า 3.85 กรัมของน้ำหนักแห้งพืชต่อกิโลกรัมของน้ำที่คายระเหยในกรณีที่ข้าวไม่เครียดจากการขาดน้ำ ค่าที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้อาจต่ำกว่าค่าเกิดขึ้นในสภาพแปลงนา เพราะค่าความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของไอน้ำจาก aerodynamic จะต่ำในสภาพแปลงนา

เอกสารอ้างอิง

โครงการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตข้าวหอมมะลิ.

2542. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตข้าวหอมมะลิ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ร่วมกับ กรมส่งเสริมการเกษตร และกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สนับสนุนการวิจัยโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes. and M. Smith. 1998. **Crop evaporation: Guidelines for computing crop water requirement.** FAO irrigation and drainage paper, No. 56. Rome, Italy.

Cabuslay, G.S., O. Ito. and A.A. Alejar. 2002. Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza Sativa* L) to water deficit. **Plant Science**, 163: 815-827.

Campbell, G.S. 1991. Simulation of water uptake by plant roots. In J. Hanks and J.T. Ritchie (eds.) **Modelling plant and soil systems**, Number 31, Agronomy Series, American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., and Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Feddes, R.A., P.J. Kowalik. and H. Zaradny. 1978. **Simulation of field water use and crop yield.** Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen, The Netherlands.

Goudriaan, J. 1977. **Crop micrometeorology: A simulation study.** Simulation Monograph, Pudoc, Wageningen, The Netherlands.

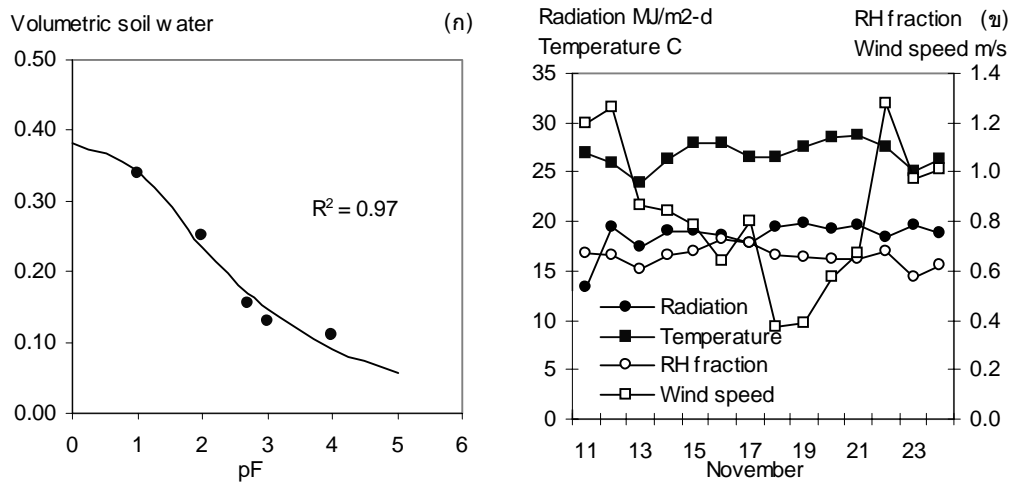
Heinemann A.B., G. Hoogenboom. and R.T. de Faria. 2002. Determination of spatial water requirements at county and regional levels using crop models and GIS: An example for the State of Parana, Brazil. **Agricultural Water Management**, 52, 177-196.

Homma, K., T. Horie, M. Ohnishi, T. Shiraiwa, N. Supapoj, N. Matsumoto. and N. Kabaki. 2000. Quantifying toposequential distribution of environmental resources and rice productivity on a small-scale area of rainfed lowland in Northeast Thailand. **Proc.**

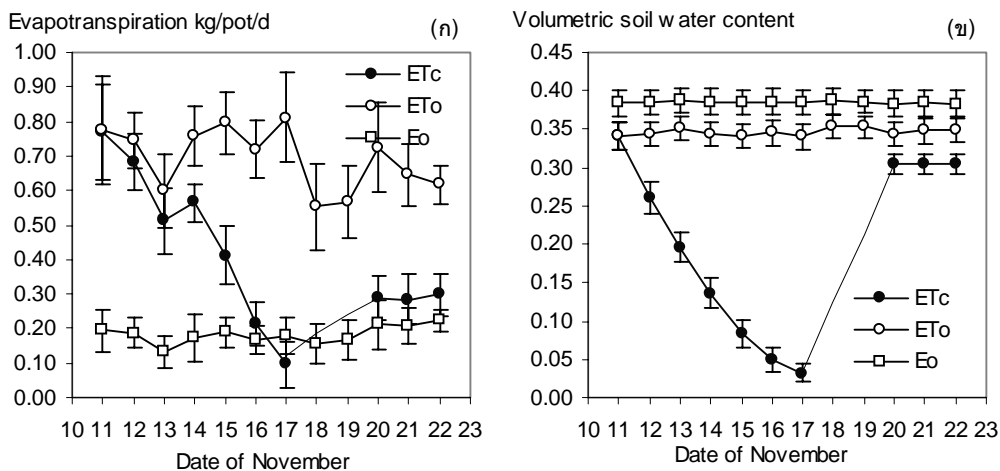
- Australia Center for International Agriculture Research (ACIAR).**
- Keulen, H. van. and J. Wolf (Eds). 1986. Modeling of agricultural production: weather, soils and crops. Simulation Monographs. Pudoc, Wageningen, The Netherlands.
- Muchow, R.C. and J.A. Bellamy. 1991. **Climatic risk in crop production: Models and management for the Semiarid Tropics and Subtropics.** CAB International, Wallingford, UK.
- Pannangpetch, K. 1993. Application of model simulation to evaluate rice production at the district level. In B.A.M. Bouman, H.H. van Laar. and W. Zhaoqian (eds.), **Agro-ecological zonation of rice**, SARP resends proceeding. IRRI, Philippines, and DLO-CABO, Wageningen, The Netherlands.
- Pannangpetch, K. 2001. Limitations to the estimation of variability in rice production in central Northeast Thailand. **Regeneration ecology and management for degraded landscapes and forest ecosystems**, A workshop held at MCP, Chiang Mai University, Chiang Mai, on 10-16 February, 2001.
- Patanothai, A. 1997. System approaches to farm management in variable environments. In P.S. Teng, M.J. Kropff, H.F.H. ten Berg, J.B. Dent, F.P. Lansigan. and H.H. van Laar (eds.) **Applications of systems approaches at the farm and regional levels**, Vol.1. Kluwer Academic Press, Dordrecht.
- Penning de Vries, P. Teng. and K. Metselaar. 1993. **Systems approaches for agricultural development.** Kluwer Academic Press, Dordrecht.
- Pereira, L.S., B.J. van den Broek, P. Kabat. and R.G. Allen. 1995. **Crop-water simulation models in practice.** Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands.
- Ritchie, J.T. 1998. Soil water balance and plant water stress. In G.Y. Tsuji, G. Hoogenboom. and P.K. Thornton (eds), **Understanding options for agricultural production.** Kluwer Academic Press, Dordrecht.
- Sinclair, T.R., R.C. Michow, M.M. Ludlow, G.J. Leach, R.J. Lawn. and M.A. Foale. 1987. Field and model analysis of the effect of water deficits on carbon and nitrogen accumulation by soybean, cowpea and black gram. **Field Crops Res.**, 17, 121-140.
- Stroosnijder, L. 1982. Simulation of soil water balance. In Penning de Vries and H.H. Laar (eds.), **Simulation of plant growth and crop production.** Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen, The Netherlands.
- Thornley, J.H.M. 1998. **Grassland dynamics: An Ecosystem simulation model.** CAB International, Wallingford, Oxon, UK.
- Tsuji G.Y., G. Hoogenboom. and P.K. Thornton. 1998. **Understanding options for agricultural production.** Kluwer Academic Press, Dordrecht.
- van Genuchten, M. Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 44, 892-898.
- Wopereis, M.C.S., B.A.M. Bouman, T.P. Tuong, H. F.M. Berge. and M.J. Kropff. 1996. **ORYZA_W : Rice growth model for irrigated and rainfed environments.** SARP Research Proceedings, February 1996, IRRI, Los Banos, Philippines.

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของดินที่ใช้ในการทดลอง

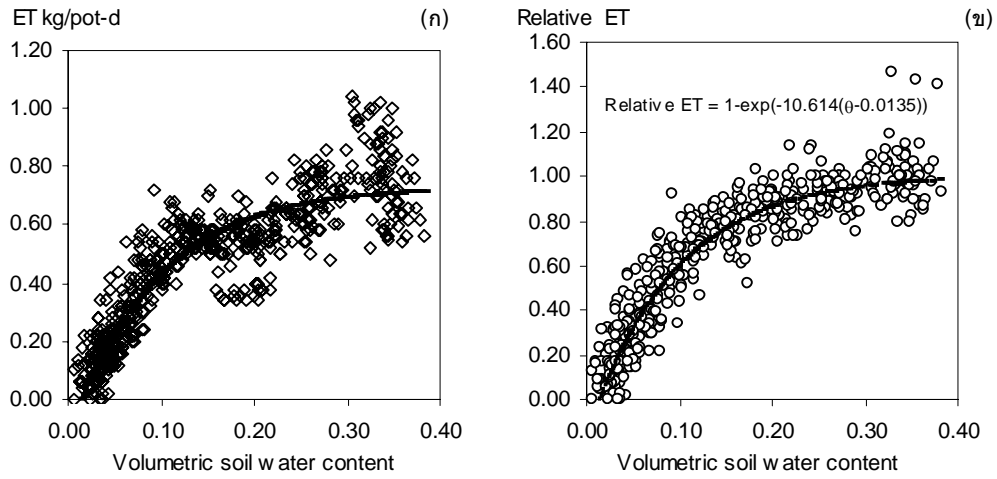
% Texture			Density g/cm ³		Volumetric soil water content %				
Sand	Silt	Clay	Bulk	Particle	pF1	pF2	pF2.7	pF3	pF4
57.55	23.28	19.17	1.58	2.48	33.98	25.10	15.59	13.04	11.11
Loam									



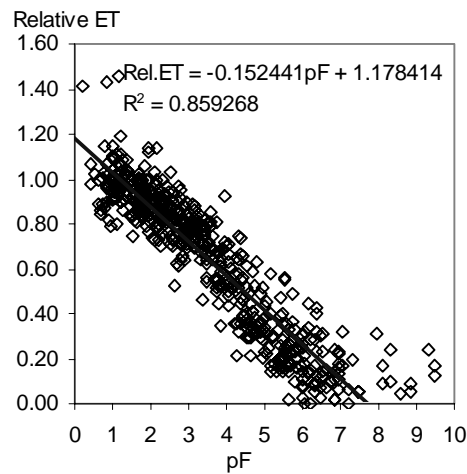
ภาพที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า pF และสัดส่วนความชื้นดิน (ก) และสภาพฟ้าอากาศในระยะทำการวัดอัตราการคายระเหย 11-24 พฤศจิกายน 2546 (ข)



ภาพที่ 2 อัตราการคายระเหยรายวัน กก/กระถาง/วัน จากกระถางที่ปลูกข้าวที่ความชื้นดินลดลงอย่างต่อเนื่อง จากระดับอิมตัวไปจนถึงระดับเหี่ยวถาวรโดยไม่มีน้ำ (ETc) จากกระถางที่ปลูกข้าวที่ความชื้นดินถูกรักษาไว้ที่ระดับอิมตัวเสมอ (ETo) และจากกระถางที่ไม่มีต้นข้าวแต่ความชื้นดินถูกรักษาไว้ที่ระดับอิมตัวเสมอ (Eo) (ก) และการเปลี่ยนแปลงของความชื้นดินโดยปริมาตร (ข)



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายระเหยรายวัน กก/กระถาง/วัน และความชื้นดินโดยปริมาตร (ก) และ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายระเหยรายวันสัมพัทธ์และความชื้นดินโดยปริมาตร (ข)



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ของอัตราการคายระเหยสัมพัทธ์กับค่า pF ดิน

ตารางที่ 2 น้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆและรวมทั้งหมดของต้นข้าว (กรัม/กระถาง) และพื้นที่ใบของใบสีเขียว (ตารางเมตร/กระถาง)

	Active Leaf Area	Total Leaves	Stems	Panicles	Shoots ^{1/}
10 พย 46	0.219	11.503	25.217	7.099	43.820
24 พย 46 ETo	0.103	10.615	25.086	22.802	58.503
24 พย 46 Etc	0.008	10.332	20.387	17.146	47.865

^{1/} ผลรวมของ total leaves, stems และ panicles

ตารางที่ 3 น้ำหนักข้าวที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักของน้ำที่ถูกใช้ในการคายระเหยในช่วง วันที่ 10 ถึง 24 พฤศจิกายน และค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำที่ประเมินจากน้ำหนักน้ำที่ใช้ในการคายระเหยทั้งหมด WUE และที่ประเมินจากน้ำหนักน้ำที่ใช้ในการคายน้ำของใบเท่านั้น WUE*

	Δw	ΔET	WUE	WUE*
ETo	14.683	8.310	1.7669	2.403
ETc	4.045	4.450	0.909	1.798
Eo	-	2.20	-	-