

การประเมินการคายระเหยจากข้าวนาสวนอาศัยน้ำฝนโดยสมการแบบเรียบง่าย

Simple Model for Estimation of Evapotranspiration from Rainfed Lowland Rice

เกริก ปันหน่งเพ็ชร (Kirk Pannangpetch)¹

บทคัดย่อ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ แต่ผลผลิตยังต่ำซึ่งส่วนหนึ่งถูกจำกัดโดยน้ำ เนื่องจากความต้องการน้ำในด้านต่างๆ ได้ทวีเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน การเพิ่มผลผลิตข้าวจึงต้องพิจารณาควบคู่ไปกับการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ การวิเคราะห์หาทางเลือกในการเพิ่มผลผลิตและใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพนั้นจำเป็นที่จะต้องประเมินอัตราการคายระเหยน้ำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของดุลน้ำ วิธีการของ Penman-Monteith เป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้กันแพร่หลาย แต่ข้อมูลภูมิอากาศที่ต้องใช้ในการประเมินโดยวิธีดังกล่าว มักมีไม่ครบถ้วนในหลายๆพื้นที่ และเป็นข้อจำกัดของการใช้วิธีดังกล่าว จากการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพแวดล้อมของข้าวนาปีเบื้องต้น พบว่าสภาพแวดล้อมอื่นนอกเหนือจากรังสีดวงอาทิตย์จะค่อนข้างคงที่ จึงมีสมมุติฐานว่าอัตราการคายระเหยจะแปรผันแบบเส้นตรงกับรังสีดวงอาทิตย์ หากเป็นจริงจะสามารถประเมินอัตราการคายระเหยได้ครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น ดังนั้นจึงได้ทำการวัดอัตราการคายระเหยโดยวิธี Bowen Ratio Energy Balance รังสีดวงอาทิตย์ และสภาพแวดล้อมอื่นๆ ของนาข้าวที่จังหวัดขอนแก่น และ ร้อยเอ็ด ในปี พ.ศ. 2549 เพื่อใช้ตรวจสอบสมมุติฐานดังกล่าว ผลจากการวัดภาคสนามชี้ว่าสามารถใช้สมการเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายระเหยและรังสีดวงอาทิตย์ได้ และการประเมินโดยสมการเส้นตรงภายใต้สภาพนาปีจังหวัดขอนแก่นและร้อยเอ็ด มีความแม่นยำเท่าเทียมกับวิธีการของ Penman-Monteith

Abstract

Rice is an important crop for Thailand, but its yield is low partly due to limited water availability. As water demands by various sectors continually increase, any yield improvement has to be considered in parallel with that of water use efficiency. Analysis to find options for better yield and water use efficiency inevitably involves estimation of evapotranspiration for which the Penman-Monteith equation has been widely used. However, the unavailability of complete local weather data has largely restricted its application. Preliminary analysis of the paddy environment suggests that environmental variables other than solar radiation tend to be

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, e-mail: krirk@kku.ac.th

stable, and hence lead to the hypothesis that evapotranspiration could be related linearly to solar radiation. If true, it can be used to extend the estimation of evapotranspiration to cover a greater area. Therefore, measurements of evapotranspiration using Bowen Ratio Energy Balance, solar radiation and other environments of the paddy were made in Khon Kaen and Roiet Provinces during 2006 to obtain data to test the hypothesis. The results indicate that the evapotranspirational rate can be described as a linear function of solar radiation, and the linear approximation had accuracy comparable to that of the Penman-Monteith equation.

คำสำคัญ: ข้าว, การคายระเหย, รังสีดวงอาทิตย์

Keywords: rice, evapotranspiration, solar radiation

บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ แต่ผลผลิตโดยเฉลี่ยของประเทศยังค่อนข้างต่ำ ปัจจัยที่จำกัดผลผลิตของข้าวที่สำคัญประการหนึ่งคือน้ำ ซึ่งปัจจุบันเป็นทรัพยากรที่มีจำกัด และมีความต้องการใช้มากขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการขยายตัวของภาคการเกษตร อุตสาหกรรม และชุมชน การเพิ่มผลผลิตข้าวจึงจำเป็นต้องพิจารณาควบคู่ไปกับการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำของระบบการผลิตข้าว เพื่อให้ น้ำที่มีจำกัด เพียงพอกับความต้องการในด้านต่างๆ อย่างสมดุล

การจัดการน้ำในระบบการผลิตพืชต้องพิจารณาทั้งในแง่ผลผลิต ปริมาณน้ำที่มีอยู่ ประสิทธิภาพการใช้น้ำและการใช้ทรัพยากรอื่นๆในระบบการผลิตไปพร้อมๆกันอย่างบูรณาการ การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำโดยลดปริมาณน้ำที่พืชได้รับจะทำให้ได้ในระดับที่จำกัดเท่านั้น หากได้รับน้ำน้อยเกินไป แม้การใช้น้ำของพืชจะลดลง แต่ผลผลิตพืชก็จะลดลงเช่นกัน และในบางกรณีผลผลิตพืชอาจลดลงในสัดส่วนที่สูงกว่า ทำให้ประสิทธิภาพการใช้น้ำลดลงด้วย หากได้รับน้ำมากเกินไปก็เป็นการสูญเสียเปล่าและไม่สามารถเพิ่มผลผลิตได้ การประเมินความต้องการน้ำของระบบการผลิตพืชจึงซับซ้อน หลายมิติ โดยเฉพาะระบบการผลิตข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการผลิตโดยอาศัยน้ำฝน ที่มีความความแปรปรวนสูง (Patanothai, 1997) และมีความหลากหลายของดินและลักษณะทางสัณฐานของพื้นที่ (Wade และคณะ, 1999)

สภาพการณ์ดังกล่าว ทำให้จำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือช่วยวิเคราะห์หาวิธีการผลิตพืชและใช้ทรัพยากรให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

แบบจำลองการผลิตพืช ไม่ว่าจะเป็นแบบจำลองที่มีรายละเอียดสูง อย่างเช่น แบบจำลองของ Bouman (2001), Richie (1998), Penning de Vries (1989), Campbell (1991), Belmans (1983) หรือแบบจำลองที่เรียบง่าย อย่างเช่น Sinclair (1987) Keulen and Wolf (1986) และวิธีการของ FAO (Allen และคณะ, 1998) ต่างต้องประเมินอัตราการคายระเหยน้ำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของสมดุลน้ำ วิธีการมาตรฐานที่ใช้ประเมินอัตราการคายระเหยคือ วิธีการของ Penman ซึ่งต้องใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวันที่ประกอบด้วยพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นอากาศ และความเร็วลม แต่ข้อมูลเหล่านี้มีจำกัดมีในบางพื้นที่เท่านั้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้วิธีการอื่นที่ใช้ข้อมูลน้อยกว่า เช่นวิธีการของ Priestley และ Taylor เป็นต้น จากการทดสอบเบื้องต้นภายใต้สภาพ นาปี พบว่าที่จังหวัดขอนแก่น วิธีการของ Priestley และ Taylor ให้ผลใกล้เคียงกับวิธีการของ Penman (เกริก และ นิมิตร, 2548) แต่ที่ทุ่งกุลาร้องไห้ มีความคลาดเคลื่อนที่เห็นได้ชัด (เกริก และคณะ, 2548) ซึ่งคาดว่าเกิดจากสภาพอุณหภูมิและความชื้นอากาศไม่ได้แปรผันอย่างใกล้ชิดกับการเปลี่ยนแปลงของพลังงานรังสีสุทธิตั้งที่แนะไว้ในสมการของ Priestley และ Taylor หากสมมุติฐานดังกล่าวเป็นจริง นั่นคือหากสภาพ

แวดล้อมอื่น นอกเหนือจากรังสีดวงอาทิตย์ ก่อนข้างคงที่ในช่วงการทำงานปี ก็จะสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของอัตราการคายระเหยกับรังสีดวงอาทิตย์ได้ โดยสมการเส้นตรง ซึ่งค่า intercept จะสะท้อนถึงผลโดยรวมของสภาพแวดล้อมที่ค่อนข้างคงที่เหล่านั้น ดังนั้นจึงได้ดำเนินการวิจัยเพื่อทดสอบสมมุติฐานดังกล่าว เพื่อช่วยให้สามารถประยุกต์ใช้แบบจำลองช่วยเพิ่มผลผลิตและประสิทธิภาพการใช้น้ำของข้าวได้ครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น

วิธีการวิจัย

ได้วัดอัตราการคายระเหยจากแปลงข้าวนาปีที่อำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด และที่อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น ในปี 2549 โดยวิธี Bowen Ratio Energy Balance โดยกำหนดการทำงานของระบบและการเก็บข้อมูลดังนี้

วัดความต่างของอุณหภูมิอากาศ ΔT และความต่างความดันไอน้ำ Δe ในอากาศ ที่ระดับความสูง 10 และ 110 ซม. จากยอดพืชโดยใช้ thermister และ Intercap[®] humidity probe การวัดได้ใช้ sensor ชุดเดียวเพื่อขจัด systematic sensor errors แต่ใช้พัดลมเป่าอากาศจากตำแหน่งทั้ง 2 ผ่าน sensor สลับกัน ตำแหน่งละ 2 นาทีหมุนเวียนตลอด 24 ชั่วโมง ในช่วงเวลา 2 นาทีนั้น 40 วินาทีแรกเป็นช่วงที่ปล่อยให้ระบบปรับตัว จึงยังไม่ทำการเก็บข้อมูล หลังจากนั้นจะเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นทุกๆวินาทีไปจนครบ 80 วินาที ก่อนที่จะทำการสลับการ sample อากาศจากอีกตำแหน่งหนึ่ง เมื่อครบ 10 รอบของการวัด (20 นาที) จึงหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความดันไอน้ำที่ตำแหน่งทั้ง 2 และบันทึกค่าดังกล่าว ดังนั้นจะมีค่าเฉลี่ยราย 20 นาทีรวม 72 ค่าต่อวัน

ตรวจวัดค่าพลังงานรังสีสุทธิ (R_n) โดยใช้ net radiator ซึ่งวัดรังสีสุทธิทั้ง short wave และ longwave ทุกวินาที และเมื่อครบ 20 นาทีจะนำค่าที่วัดทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยราย 20 นาที และบันทึกในแต่ละวันจะมีค่าเฉลี่ยราย 20 นาที 72 ค่า ในการวัดค่าพลังงานรังสีสุทธิได้ปรับแก้ความเบี่ยงเบน

เนื่องจากลมตามคู่มือการใช้งาน ความเร็วลมที่วัดโดย anemometer ส่วนรังสีดวงอาทิตย์นั้นได้ทำการวัดโดยใช้ Quantum sensor ที่ติดตั้งที่ระดับเดียวกันกับ net radiator และแปลงค่า Photosynthetically Photon Flux Density ให้เป็นค่า solar radiation โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ $2.3 \mu\text{Mole m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{PPFD} = 1 \text{ W m}^{-2} \text{ solar radiation}$ (Biggs, 1984)

วัดอัตราการถ่ายเทพลังงานความร้อนที่ความลึก 8 ซม. จากผิวดิน 2 ตำแหน่ง โดยใช้ soil heat flux plate และหาค่าเฉลี่ยราย 20 นาที เช่นเดียวกับการวัดค่าอื่นๆ สำหรับการวัดค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวดินที่ความลึก 0-8 ซม.นั้นได้ใช้ thermocouple type E (chromel constantan) วัด 3 ตำแหน่ง และเชื่อมต่อสายเข้าด้วยกันแบบขนาน ในช่วง 20 นาทีนั้น จะทำการวัดอุณหภูมิผิวดินทุกๆวินาทีเฉพาะช่วง 5 นาทีสุดท้ายเท่านั้น จากนั้นนำค่าดังกล่าวไปหาเป็นค่าเฉลี่ยและนำไปประเมินหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวดินราย 20 นาที สำหรับความชื้นดินในช่วงความลึก 0-8 ซม. ทำการวัดโดยใช้ Time Domain Reflectometer (TDR) ทุกๆ 20 นาทีเช่นเดียวกับการวัดอุณหภูมิผิวดิน ส่วนระดับน้ำเหนือผิวดินนั้นได้ทำการวัดรายสัปดาห์

นำค่าที่ได้จากการตรวจวัดภาคสนามมาคำนวณหาอัตราการคายระเหย ET ตามสมการของ energy balance

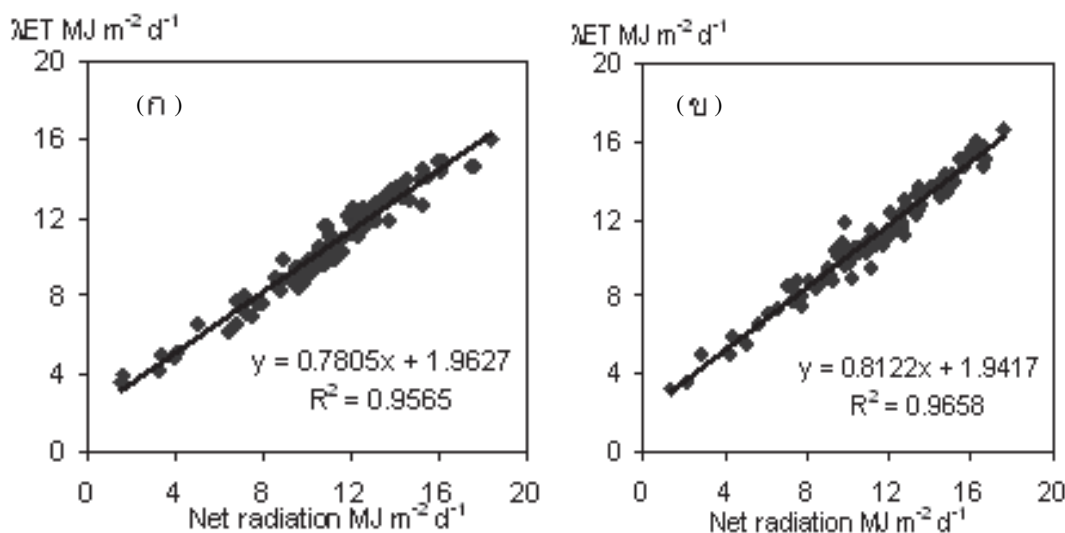
$$\lambda ET = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \quad \text{และ} \quad \beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e}$$

ซึ่ง λ คือสัมประสิทธิ์ความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำ β คือ Bowen ratio γ คือ psychrometer constant และ G คือผลรวมของการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่สะสมในน้ำเหนือผิวดิน ที่สะสมในดินที่ระดับความลึก 0-8 ซม. และอัตราการถ่ายเทพลังงานความร้อนผ่านชั้นดินที่ความลึก 8 ซม. ความจุพลังงานความร้อน heat capacity ของดินจะขึ้นกับความชื้นดินในขณะนั้นๆ และความจุพลังงานความร้อนของดินแห้ง ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ $840 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ R_n คือพลังงานรังสีสุทธิ ΔT คือความต่างของอุณหภูมิอากาศ และ Δe คือความต่างความดันไอน้ำในอากาศ

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายระเหยและพลังงานรังสีสุทธิ

ผลจากการวัดที่ จ. ขอนแก่น และ ร้อยเอ็ด ในปี 2549 ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างและ สามารถบรรยายได้โดยสมการเส้นตรง และมีค่า determination coefficient เท่ากับ 0.96 และ 0.97 ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1. ความสัมพันธ์ของอัตราการถ่ายเทความร้อนในรูปของความร้อนแฝงกับความร้อนแฝงกับพลังงานรังสีสุทธิ ที่ (ก) จ.ขอนแก่น และที่ (ข) จ.ร้อยเอ็ด

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ของสมการเส้นตรงทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันจึงรวมสมการทั้งสองเข้าด้วยกันและใช้ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยดังนี้

$$\lambda ET = 0.8R_n + 2.0 \quad (1)$$

slope ของสมการเส้นตรง ($\lambda ET / R_n$) ซึ่งว่า 80 % ของพลังงานรังสีสุทธิถูกใช้ในกระบวนการคายระเหยน้ำ และจะมีอัตราการคายระเหยน้ำจากนาข้าวประมาณ 0.8 มม. ต่อวัน ($2.0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1} / 2.45 \text{ MJ kg}^{-1}$) ซึ่งเกิดจากความแห้งของอากาศและลม ซึ่งเป็นอิสระจากพลังงานรังสีสุทธิรายวัน

เมื่อเปรียบเทียบสมการเส้นตรงกับสมการของ Penman-Monteith (Allen และคณะ 1998) ซึ่งได้เขียนแยกเป็น radiative และ adiabatic เทอม

$$\lambda ET = \frac{\Delta}{\gamma^* + \Delta} (R_n - G) + \frac{\gamma^*}{\gamma^* + \Delta} \frac{\rho \alpha_p}{\gamma(r_a + r_c)} (e_s(T_s) - e_a)$$

(Δ คือ slope ของ saturation vapor curve γ^* คือ modified psychrometer constant โดยที่ $\gamma^* = \gamma(1 + r_c/r_a)$ r_c เป็นความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของไอน้ำจากพืชและความต้านทานที่ขึ้นกับความเร็วมวล และ $G = 0$ ในระดับรายวัน) จะเห็นได้ว่า

$$b = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma(1 + r_c/r_a)} \text{ และ } a = \frac{\gamma^*}{\gamma^* + \Delta} \frac{\rho \alpha_p}{\gamma(r_a + r_c)} (e_s(T_s) - e_a)$$

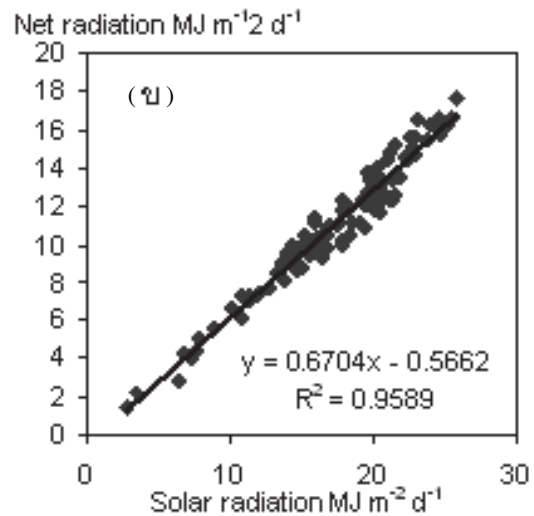
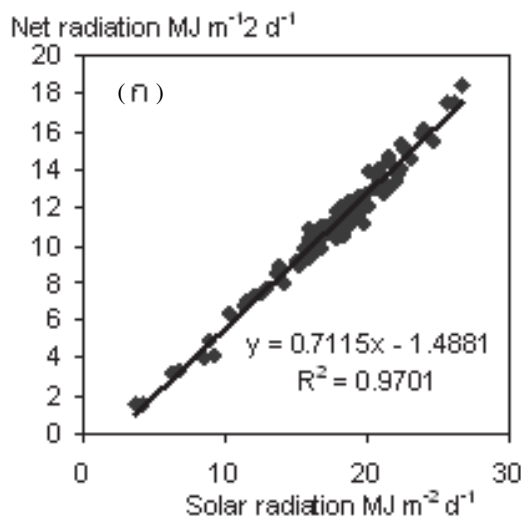
จากการประเมินโดยใช้ค่าอุณหภูมิช่วงกลางวันเฉลี่ยตลอดช่วงฤดูปลูก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 30°C และ $r_c/r_a \sim 0$ โดยอนุโลมว่าการคายระเหยจากนาที่มีน้ำยังมีลักษณะคล้ายกับการคายระเหยจากผิวดิน และได้รับผลกระทบจาก r_c น้อยมากเมื่อเทียบกับ r_a จะพบว่า $\Delta/(\Delta + \gamma(1 + r_c/r_a))$ มีค่าเท่ากับ 0.78 ใกล้เคียงกับค่า slope ของสมการเส้นตรงซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.8

เมื่อประเมินหาค่า a โดยใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดตลอดช่วงฤดูปลูกของอุณหภูมิช่วงกลางวัน (30°C) vapour pressure deficit (0.70 kPa) ความเร็วลม (0.87 m s^{-1}) และความสูงข้าว (1 เมตร) จะประเมินได้ว่า $a = 2.97\text{ MJ m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ ค่าที่ได้จากการประเมินจะสูงกว่าค่า intercept ของสมการเส้นตรงซึ่งมีค่าประมาณ $2\text{ MJ m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ ความคลาดเคลื่อนนี้อาจเกิดจากค่าประเมิน r_a ต่ำกว่าเป็นจริง (76.36 s m^{-1}) เนื่องมาจากการใช้ความสูงของต้นข้าวเฉลี่ยตลอดช่วงฤดูปลูกเท่ากับ 1 เมตร

หากใช้ความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 0.6 เมตรจะให้ค่า r_a เท่ากับ 113.15 s m^{-1} และ $a = 2$

ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานรังสีสุทธิและพลังงานรังสีดวงอาทิตย์

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างรังสีสุทธิ R_n และพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ S ก็สามารถแสดงได้ในรูปสมการเส้นตรงเช่นกัน ดังรูปที่ 2 โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.97 ที่ จ. ขอนแก่น และ 0.96 ที่ จ. ร้อยเอ็ด



รูปที่ 2. ความสัมพันธ์ของพลังงานรังสีสุทธิกับพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ที่ (ก) จ.ขอนแก่น และที่ (ข) จ.ร้อยเอ็ด

เมื่อเฉลี่ยค่าสัมประสิทธิ์ของสมการทั้งสองเข้าด้วยกัน ดังเช่นกรณีแรก จะสามารถแสดงความความสัมพันธ์โดยรวมดังนี้

$$R_n = 0.7s - 1.0 \quad (2)$$

จากสมการดุลของรังสี $R_n = (1 - \text{albedo})s - l_n$ slope ของสมการเส้นตรงชี้ให้เห็นว่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ของนาข้าว albedo มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.3 สูงกว่าค่าที่ใช้ทั่วไปคือ 0.25 เล็กน้อย แต่เท่ากับค่าประมาณของ earth-atmosphere (Andrews, 2000) และใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย 0.62 ที่ Yoshida (1981) ได้รายงานไว้ ส่วนค่า intercept = -1 มีค่าใกล้เคียงกับค่าพลังงานรังสีสุทธิของ longwave l_n

ที่ได้จากการประเมินโดยใช้กฎของ Stefan-Boltzman

$$l_n = \varepsilon\sigma(T_c^4 - T_a^4) = -1.0$$

เมื่อ σ คือค่าคงที่ของ Stefan-Boltzman ε emissivity ของพื้นผิวเท่ากับ 0.94 T_a คืออุณหภูมิรายวันของอากาศ ซึ่งจากการวัดมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 27°C และ T_c คืออุณหภูมิด้านล่างของเมฆ ซึ่งต่ำกว่า โดยประมาณ 2°C (Monteith และ Unsworth, 1990; และ Jones, 1992)

แม้สัมประสิทธิ์ของสมการ (1) และ (2) เสมือนเป็นค่าเชิง empirical แต่สามารถวิเคราะห์ได้ว่าค่าของสัมประสิทธิ์ดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับลักษณะแวดล้อมของพื้นที่ ดังนั้นทำให้สามารถ

ประเมินหรือทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 4 ดังกล่าวได้ จากข้อมูลภูมิอากาศที่มีอยู่รอบๆ พื้นที่เป้าหมาย

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายระเหยและ พลังงานรังสีดวงอาทิตย์

เมื่อรวมสมการ (1) และ (2) เข้าด้วยกันจะสามารถเขียนความสัมพันธ์ของอัตราการคายระเหย (mm d^{-1}) และพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ s ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) ได้โดย

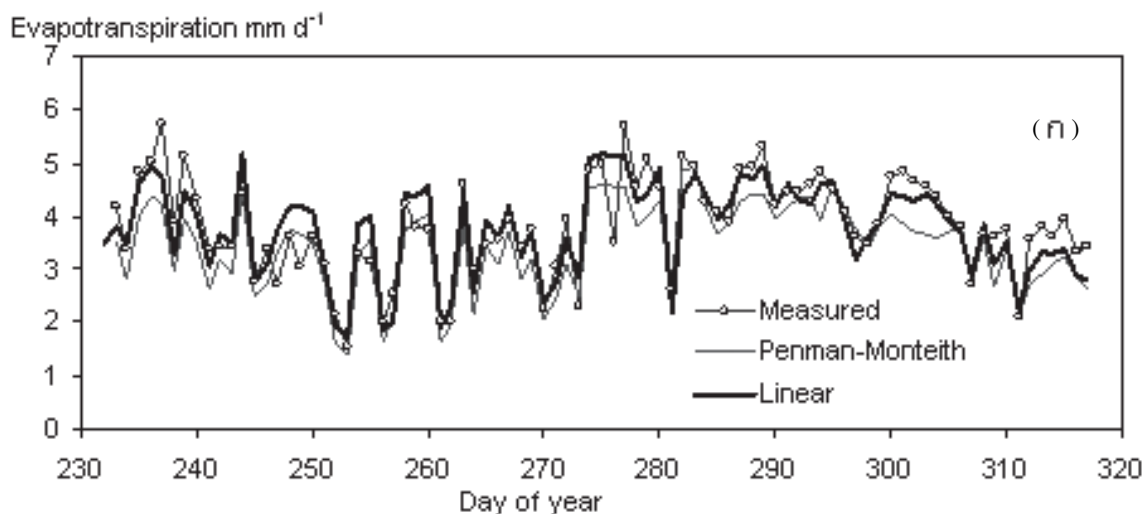
$$ET = \frac{1}{\lambda} [0.8(0.7s - 1.0) + 2.0] \quad (3)$$

และเมื่อ $\lambda \sim 2.45 \text{ MJ kg}^{-1}$ จะเขียนใหม่ได้ดังนี้

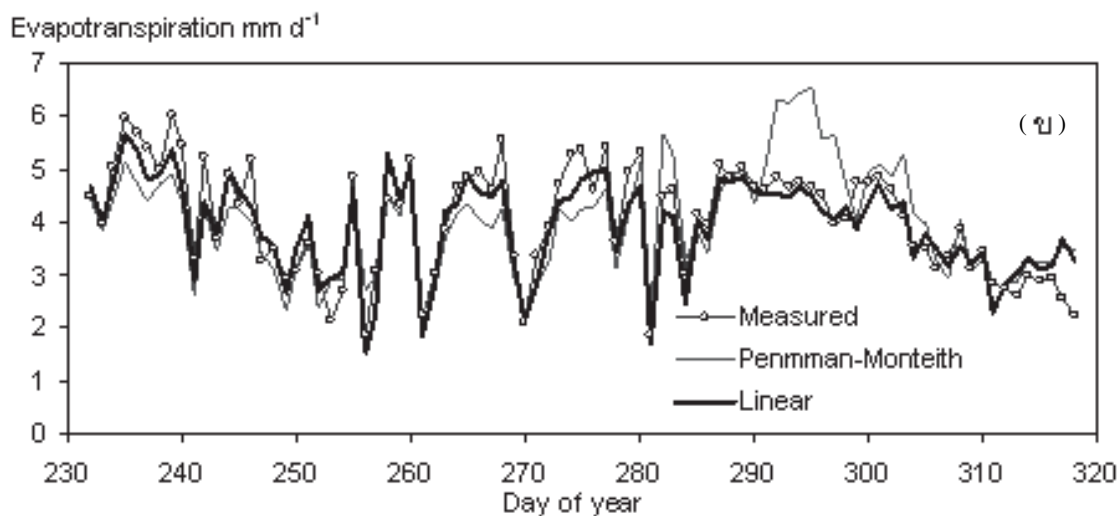
$$ET = 0.23s + 0.49$$

การตรวจสอบการประเมินผลของ สมการเส้นตรงและเปรียบเทียบกับวิธีการของ Penman วิธีการของ Priestley Taylor และวิธีการของ Hargreaves

ได้ตรวจสอบผลการประเมินอัตราการคายระเหยของสมการ (3) โดยเปรียบเทียบกับผลจากการวัดภาคสนามในแปลงนาโดยวิธี Bowen Ratio Energy Balance ซึ่งได้ทำการวัดที่ อ.เมือง จ.ขอนแก่น และ อ.สุวรรณภูมิ จ.ร้อยเอ็ด ในปี 2548 และที่ อ.ชุมแพ จ.ขอนแก่น และ อ.สุวรรณภูมิ จ.ร้อยเอ็ด ในปี 2549 พร้อมกับเปรียบเทียบกับวิธีการของ Penman-Monteith ผลการเปรียบเทียบปี 2548 ซึ่งการประเมินโดยสมการเส้นตรงให้ผลที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดภาคสนามมากกว่าการประเมินโดยใช้สมการ Penman-Monteith โดยเฉพาะในช่วง เดือนสุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยว ทั้งที่ จ.ขอนแก่น (รูปที่ 3 (ก)) และที่ จ.ร้อยเอ็ด (รูปที่ 3 (ข))



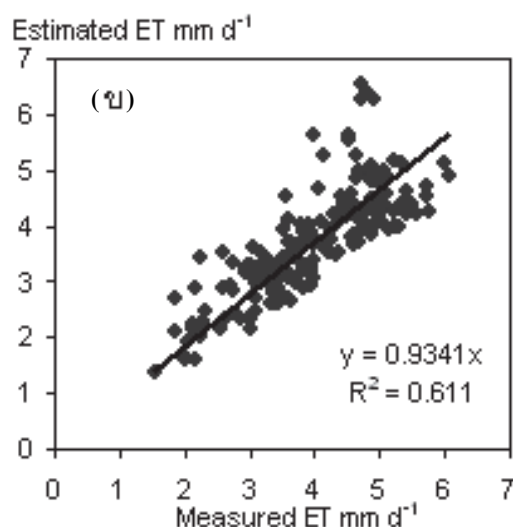
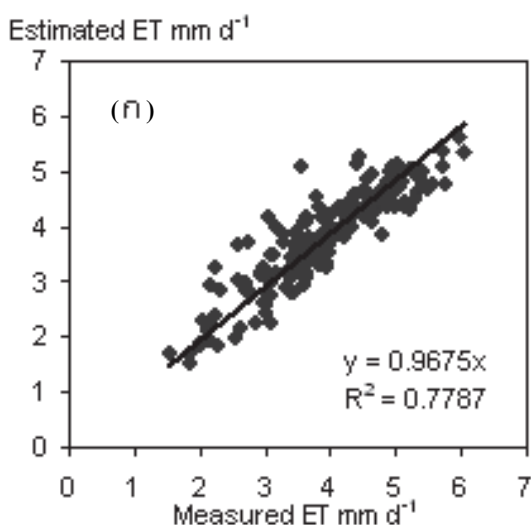
รูปที่ 3 (ก). การเปรียบเทียบค่าประเมินอัตราการคายระเหยจากแปลงนา โดยสมการเส้นตรงกับค่าจากการวัด ภาคสนามโดยวิธี Bowen Ratio Energy Balance และค่าประเมินโดยวิธี Penman-Monteith ที่ อ.เมือง จ.ขอนแก่น ปี 2548



รูปที่ 3 (ข). การเปรียบเทียบค่าประเมินอัตราการคายระเหยจากแปลงนา
โดยสมการเส้นตรงกับค่าจากการวัดภาคสนามโดยวิธี Bowen Ratio Energy Balance
และค่าประเมินโดยวิธี Penman-Monteith ที่ อ.สุวรรณภูมิ จ.ร้อยเอ็ด ปี 2548

เมื่อรวมข้อมูลของทั้งสองสถานที่เข้าด้วยกัน เพื่อทดสอบความแม่นยำโดยรวมของการประเมินโดยใช้สมการเส้นตรงและวิธีการของ Penman-Monteith

พบว่า R^2 ของการประเมินโดยสมการเส้นตรง (รูปที่ 4 (ก)) มีค่าเท่ากับ 0.77 สูงกว่าวิธีการของ Penman-Monteith (รูปที่ 4 (ข)) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.61

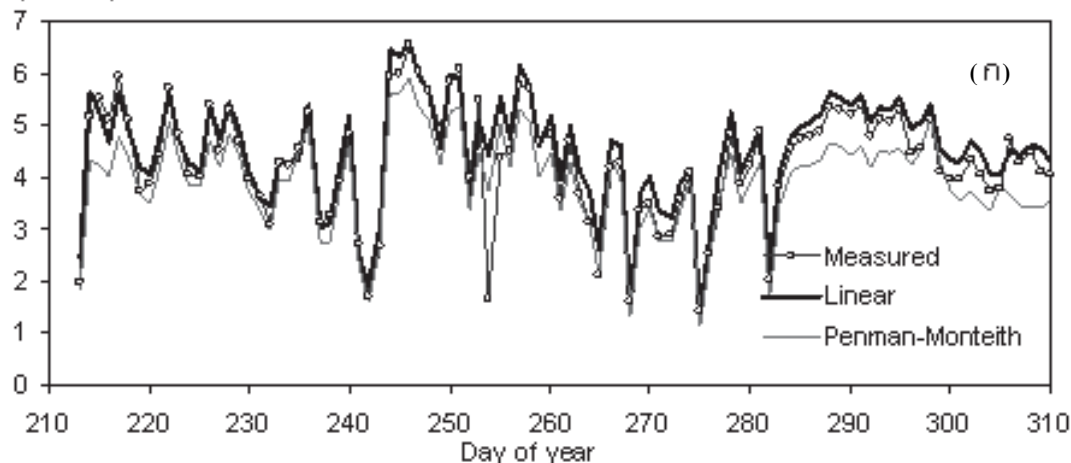


รูปที่ 4. การเปรียบเทียบผลโดยรวมของการประเมินอัตราการคายระเหยโดย (ก) สมการเส้นตรงและโดย (ข) วิธีการของ Penman-Monteith กับข้อมูลจากการวัดภาคสนามโดยวิธี Bowen Ratio Energy Balance ที่ จ.ขอนแก่น และ จ.ร้อยเอ็ด ปี 2548

ผลการเปรียบเทียบระหว่างการประเมินและค่าที่ได้จากการวัดภาคสนามในปี 2549 ที่ อ.ชุมแพ จ.ขอนแก่น ผลการประเมินอัตราการคายระเหยโดยสมการเส้นตรง สอดคล้องกับค่าจากการวัดภาค

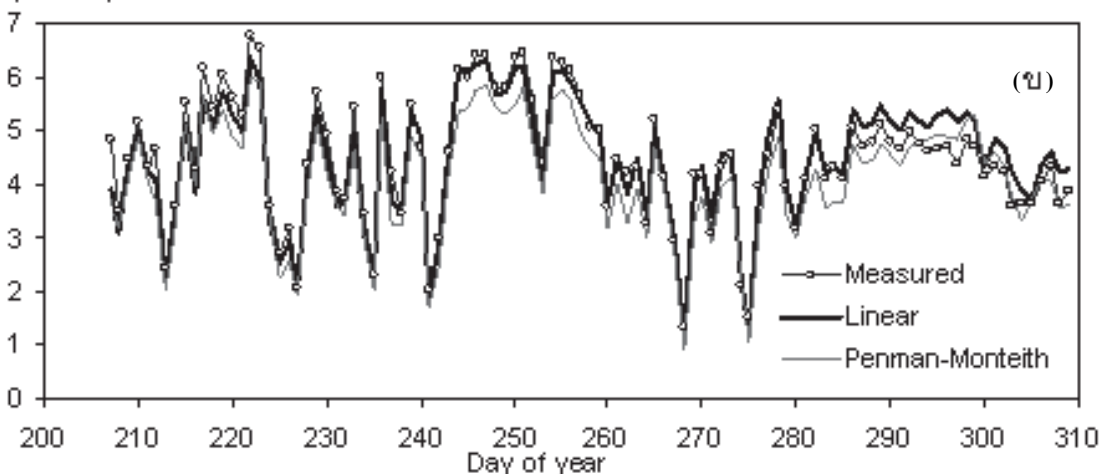
สนามมากกว่าการใช้วิธีการ Penman-Monteith โดยเฉพาะช่วงปลายฤดูปลูก (รูปที่ 5 (ก)) แต่ที่ อ.สุวรรณภูมิ จ.ร้อยเอ็ด วิธีการทั้งสองให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน (รูปที่ 5 (ข))

Evapotranspiration mm d⁻¹



รูปที่ 5 (ก). การเปรียบเทียบค่าประเมินอัตราการคายระเหยจากแปลงนา โดยสมการเส้นตรงกับค่าจากการวัดภาคสนามโดยวิธี Bowen Ratio Energy Balance และค่าประเมินโดยวิธี Penman-Monteith ที่ อ.ชุมแพ จ.ขอนแก่น ปี 2549

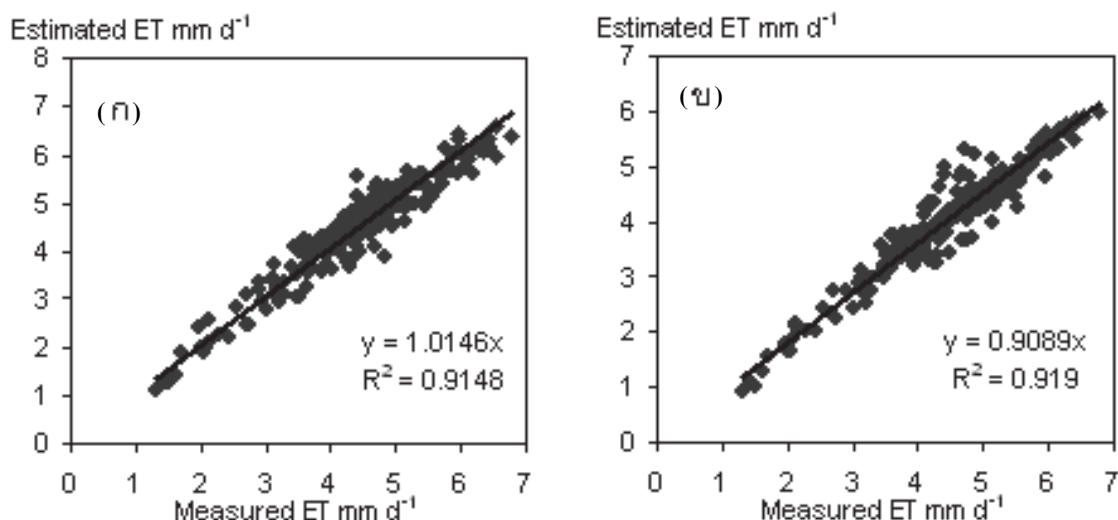
Evapotranspiration mm d⁻¹



รูปที่ 5 (ข). การเปรียบเทียบค่าประเมินอัตราการคายระเหยจากแปลงนา โดยสมการเส้นตรงกับค่าจากการวัดภาคสนามโดยวิธี Bowen Ratio Energy Balance และค่าประเมินโดยวิธี Penman-Monteith ที่ อ.สุวรรณภูมิ จ.ร้อยเอ็ด ปี 2549

เมื่อทดสอบความแม่นยำโดยรวมของการประเมินโดยใช้สมการเส้นตรงและวิธีการของ Penman-Monteith เช่นเดียวกับปี 2548 พบว่า R^2 ของการ

ประเมินโดยวิธีทั้ง 2 มีค่าที่สูง ($R^2 = 0.92$) และมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก (รูปที่ 6 (ก) และ 6 (ข))



รูปที่ 6. การเปรียบเทียบผลโดยรวมของการประเมินอัตราการคายระเหย

(ก) โดยสมการเส้นตรง และ (ข) โดยวิธีการของ Penman-Monteith กับข้อมูลจากการวัดภาคสนาม โดยวิธี Bowen Ratio Energy Balance ที่ จ.ขอนแก่น และ จ.ร้อยเอ็ด ปี 2549

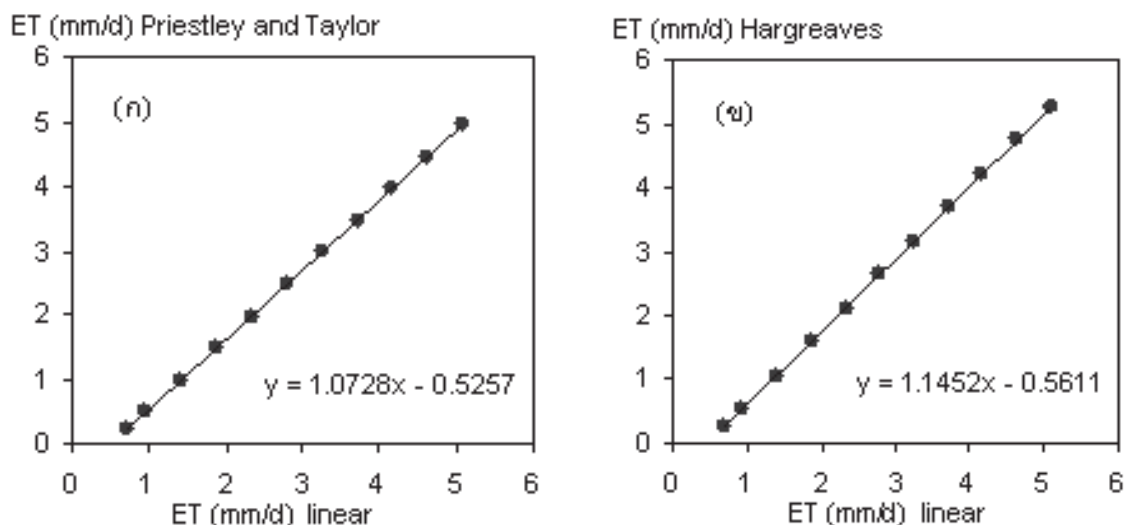
จากการเปรียบเทียบผลของการใช้สมการเส้นตรงกับวิธีการของ Priestley และ Taylor

$$ET = \frac{1}{\lambda} \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} R_n$$

ซึ่งกำหนดให้ $\alpha = 1.25$ (Monteith และ Unsworth, 1990, และ Campbell, 1977) $R_n = 0.62s$ (Yoshida 1981) และ $\Delta / (\Delta + \gamma) = 0.78$ ตามที่ได้กล่าวไว้แล้ว พบว่าค่าประเมินโดยวิธีการของ Priestley และ Taylor จะให้ค่าที่ต่ำกว่าวิธีการแบบเส้นตรงเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 7 (ก) เช่นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการของ Hargreaves

$$ET = 0.0135(T_{max} + 17.8)s / \lambda$$

ซึ่ง Watanabe และคณะ (2004) ได้รายงานไว้ว่า ได้ผลดีในการประเมินอัตราการคายระเหยจากแปลงอ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด เมื่อกำหนดให้ค่า $T = 30^\circ\text{C}$ ดังที่ได้กล่าวไว้ จะให้ผลการประเมินที่เท่ากับผลจากสมการเส้นตรงที่ระดับรังสีดวงอาทิตย์เท่ากับ $15 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ แต่เมื่อรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้นค่าประเมินจาก Hargreaves จะมากกว่าเล็กน้อย ในทางตรงกันข้ามเมื่อรังสีดวงอาทิตย์ลดลงค่าประเมินจาก Hargreaves จะต่ำกว่าสมการเส้นตรง



รูปที่ 7. การเปรียบเทียบผลการประเมินอัตราการคายระเหยโดยสมการเส้นตรงกับวิธีการของ Priestley และ Taylor (ก) และการเปรียบเทียบวิธีการของ Hargreaves (ข)

สรุป

ในกรณีที่มีข้อมูลเพียงพลังงานแสงอาทิตย์ หรือต้องการวิธีการประเมินที่เรียบง่ายไม่ซับซ้อน ก็สามารถใช้สมการเส้นตรงได้ แต่หากมีข้อมูลครบก็สามารถใช้วิธีการของ Penman-Monteith FAO ได้เช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

เกริก ปั่นแห่งเพชร และ นิมิตร วรสุด 2548 อัตราการคายระเหย และการเจริญเติบโต ภายใต้สภาพแปลงนาในระยะเต็มเต็มเมล็ดของข้าวขาวดอกมะลิ 105 วารสารวิจัย มข 10(3), 224-232.

เกริก ปั่นแห่งเพชร กษาโชค สกุลสุแก้ว และ สุชาดา จันทร์สมศรี 2548 รายงานความก้าวหน้าโครงการครั้งที่ 2 โครงการพัฒนาแบบจำลองข้าวที่เรียบง่ายสำหรับสภาพการผลิตในทุกฤดูร้อนให้ คณะเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น สนับสนุนการวิจัย
โดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

Allen R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. **Crop evaporation: Guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome.

Andrews, D.G. 2000. **An introduction to atmospheric physics**. Cambridge, New York.

Biggs, W. 1984. Principles of radiation measurement. LiCor Inc. Excerpted from: Advanced Agricultural Instrumentation. **Proceedings from the NATO Advanced Study Institute on Advanced Agricultural Instrumentation**, W.G. Gensler (ed.), Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

- Bouman, B.A.M., M.J. Kropff, T.P. Tuong, M.C.S. Wopereis, H.F.M. ten Berg, and H.H. van Laar. 2001. **ORYZA2000: modeling lowland rice**. Los Banos(Philippines): International Rice Research Institute, and Wageningen: Wageningen University and Research Centre.
- Belmans, C., J.G. Wesseling, and R.A. Feddes. 1983. Simulation of water balance of a cropped soil: SWATRE. **Journal of Hydrology**, 63: 271-286.
- Campbell, G.S. 1977. **An introduction to environmental biophysics**. Springer Verlag, New York, Berlin.
- Campbell, G.S. 1991. Simulation of water uptake by plant roots. p. 273-286. In J. Hanks and J.T. Richie (eds.) **Modelling plant and soil systems**, No. 31, Agronomy Series, American Society of Agronomy Inc., Crop Science Society of America Inc., and Soil Science Society of America Inc., Madison, Wisconsin, U.S.A.
- Jones, H.G. 1992. Plants and microclimates: **A quantitative approach to environmental plant physiology**. 2nd Edition. Cambridge University Press, Cambridge, New York.
- Keulen, H. van, and J. Wolf (eds). 1986. **Modelling of agricultural production: weather, soil, and crops**. Simulation Monographs. Pudoc, Wageningen, The Netherlands.
- Monteith, J.L., and M.H. Unsworth. 1990. **Principles of environmental physics**. 2nd Edition, Edward Arnold, London, New York.
- Patanothai, A. 1997. System approaches to farm management in variable environments. p. 19-29. In P.S. Teng, M.J. Kropff, H.F.H. ten Berg, J.B. Dent, F.P. Lansigan, H.H. van Laar (ed.) **Applications of system approaches at the farm and regional levels**, Vol.1, Kluwer, Academic Press, Dordrecht, Netherlands.
- Penning de Vries, F.W.T., D.M. Jansen, H.F.M. ten Berge, and A. Bakema. 1989. **Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops**. Simulation Monographs 29, Pudoc, Wageningen, Netherlands.
- Richie, J.T. 1998. Soil water balance and plant water stress. p. 41-54. In G.Y. Tsuji, G. Hoogenboom, and P.K. Thornton (ed.), **Understanding options for agricultural production**. Kluwer Academic Press, Dordrecht.
- Sinclair, T.R., R.C. Muchow, 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, cowbean, and black gram. **Field crop Research**. 17: 121-140.
- Wade, L.J., S. Fukai, B.K. Samson, A. Ali, and M.A. Mazid. 1999. Rainfed lowland rice: physical environment and cultivar requirements. **Field Crops Research**. 64: 3-12.
- Watanabe, K., Takashi Yamamoto, Takashi Yamada, Tetsuo Sakuratani, Eiji Nawata, Chairat Noichana, Akadet Sributta, Hirokazu Higuchi. 2004. Changes in seasonal evapotranspiration, soil water content, and crop coefficients in sugarcane, cassava, and maize fields in Northeast Thailand. **Agricultural Water Management**, 67: 133-143.
- Yoshida, S. 1981. **Fundamental of rice plant**. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines