การประมาณความต้องการน้ำของไม้ยืนต้นเศรษฐกิจเพื่อการให้น้ำที่เหมาะสม

Economic trees water requirement estimating for optimum watering

สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา[1*]

Supat Isarangkool Na Ayutthaya[1*]

บทนำ

การผลิตทางเกษตรในปัจจุบันปัจจัยที่เกษตรกรต้องคำนึงถึง คือ การจัดการน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการของพืช โดยเฉพาะในกลุ่มของไม้ผลและไม้ยืนต้นเศรษฐกิจซึ่งถือได้ว่าเกษตรกรต้องการผลผลิตทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ อย่างเช่นในกลุ่มไม้ผลระบบการค้าจะมีการจัดชั้นคุณภาพ (grading) ซึ่งถ้าผลผลิตมีคุณภาพที่ดีการจัดชั้นคุณภาพจะอยู่ในระดับบนหรือพิเศษ ราคาของผลผลิตในกลุ่มนี้จะสูงกว่ากลุ่มทั่วไป 1-2 เท่า เช่น ผลส้มโอพันธุ์ทองดีที่อยู่ในชั้นที่ 1 หรือเกรดเอ คือ เป็นผลส้มโอที่มีขนาดเส้นรอบวงมากกว่า 17.2 นิ้ว ราคาขายออกจากสวนประมาณผลละ 20-25 บาท/ผล แต่ผลที่มีขนาดเล็กลงกว่าขนาดดังกล่าวเล็กน้อยราคาจะลดลงครึ่งหนึ่งหรือในส้มสายน้ำผึ้งผลเบอร์ศูนย์ (ชั้นดีที่สุด) ราคาที่ขายให้แก่ผู้บริโภคเท่ากับ 80 บาท/กก. ถ้าผลที่อยู่ระดับชั้นรองลงมาราคาจะลดลงจนเหลือประมาณครึ่งหนึ่งของผลเบอร์ศูนย์ เป็นต้น การที่ผลมีขนาดเล็กลงหรือคุณภาพลดลงสาเหตุหนึ่งเกิดเนื่องจากการขาดน้ำ (Larson and Schaffer, 1989; Yakushiji et al., 1998; Spreer et al., 2007)

ส่วนในไม้ยืนต้นเศรษฐกิจอื่นๆ เช่น ยางพารา ในช่วงที่ประสบภาวะแล้งฝนทิ้งช่วง พบว่าปริมาณน้ำยางที่กรีดได้จะลดลง (Gururaja Rao et al., 1990; Sanjeeva Rao et al., 1998) ซึ่งถ้ามีการให้น้ำจะทำให้ผลผลิตของยางพาราเพิ่มขึ้น (จันทร์จิรา และสายัณห์, 2551) แต่ถ้ามีปริมาณน้ำในดินมากเกินไปในช่วงฤดูฝนเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง (Dry rubber content; DRC) อาจจะลดลง ดังนั้นการจัดการที่สำคัญอย่างหนึ่งเพื่อได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีในปริมาณที่สูง คือ การจัดการน้ำให้เหมาะสมตามความต้องการของพืช ซึ่งจำเป็นต้องทราบปริมาณการคายน้ำหรือการใช้น้ำของพืชแต่ละชนิด เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการจัดการน้ำของไม้ยืนต้นเศรษฐกิจให้เหมาะสมและแม่นยำมากยิ่งขึ้น ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของไม้ยืนต้นเศรษฐกิจต่อไป

เทคนิคการประมาณค่าการคายน้ำหรือการใช้น้ำของพืชในปัจจุบัน

ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้พัฒนาวิธีการประมาณหรือคำนวณการใช้น้ำของพืช (water use) จากการคายน้ำของพืช (transpiration) ด้วยวิธีต่างๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งได้ทำการสรุปปริมาณการคายน้ำ

[1] ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002
Department of Plant Science and Agricultural Resources, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

* Corresponding author: isupat@kku.ac.th

หรือการใช้น้ำในกลุ่มไม้ผลและไม้ยืนต้นเศรษฐกิจ 10 ชนิด จากรายงานการวิจัยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538-2554 (Table 1) โดยการคายน้ำหรือการใช้น้ำต่อต้นอยู่ในหน่วยมิลลิเมตรต่อวัน (มม./วัน) และกิโลกรัมต่อวัน (กก./วัน) หรือ ลิตรต่อวัน (ล./วัน)

เทคนิคการวัดการคายน้ำหรือการใช้น้ำทางตรง ได้แก่ ถังวัดปริมาณการใช้น้ำของพืช (lysimeter; Fritschen et al., 1973; Edwards, 1986) การวัดจากอัตราการสูญเสียน้ำจากต้นพืชหรือส่วนยอด (potometer; Roberts, 1977; Knight et al., 1981) การวัดในห้องที่ระบายอากาศได้ (ventilated chamber; Greenwood and Beresford; 1979) การใช้ไอโซโทปที่ให้รังสี (radioisotope; Calder et al., 1986; Dye et al., 1992) การวัดจากน้ำหนักที่หายไปจากกระถาง (weighing; Lu et al., 2002; Mcculloh et al. 2007) และการวัดด้วยหัวตรวจวัดที่ติดลำต้น (sap flow measurement) เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันการประมาณการคายน้ำของพืชด้วยหัวตรวจวัดที่ติดลำต้นได้รับความนิยมเป็นอย่างมากซึ่งมีอยู่หลายวิธี ได้แก่ การใช้หลักสมดุลความร้อน (heat balance; Sakuratani, 1981) การให้ความร้อนเป็นจังหวะ (heat-pulse; Green and Clothier, 1988) การแผ่กระจายของความร้อน (heat dissipation; Granier, 1985; 1987) และการแผ่กระจายความร้อนแบบเป็นช่วง (transient thermal dissipation method; Do and Rocheteau 2002; Isarangkool Na Ayutthaya et al., 2010)

ส่วนเทคนิคการวัดการคายน้ำหรือการใช้น้ำทางอ้อม ได้แก่ การหาความสมดุลของน้ำในดิน (soil water balance; de Azevedo et al., 2003) การลดลงของปริมาณน้ำในดินแต่ละช่วงเวลา (soil water depletion; Menzel et al., 1995; Nelson et al., 2006; Isarangkool Na Ayutthaya et al., 2010) การวัดด้วย Eddy covariance (Baldoccchi et al., 1988) สัดส่วนของ Bowen-สมดุลพลังงาน (Bowen ratio-energy balance; Mastrorilli et al., 1998; de Azevedo et al., 2003) ค่าการคายระเหยน้ำอ้างอิง (reference evapotranspiration) ตามวิธีของ Penman-Monteith (Allen et al., 1998) และค่าการระเหยของน้ำจากถาดระเหยมาตรฐาน (evaporation pan; Allen et al., 1998)

ทั้งนี้แต่ละวิธีในการประมาณการคายน้ำหรือการใช้น้ำของพืชมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ซึ่งมีรายละเอียดข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละวิธีดังนี้

1. lysimeter เป็นวิธีที่สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงได้แม้การคายน้ำมีปริมาณน้อย แต่ระบบรากของพืชที่วัดการคายน้ำด้วยวิธีนี้ถูกจำกัด เนื่องด้วยการปลูกพืชคล้ายลักษณะการปลูกพืชในกระถาง จึงถูกจำกัดปริมาตรของดิน และวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูงและยุ่งยากในการจัดการ (Wullschleger et al., 1998)

2. potometer เป็นวิธีการวัดที่ต้องทำลายพืช คือ ทำการตัดส่วนยอดของต้นหรือเรียกว่า cut tree มาต่อเข้ากับท่อน้ำขนาดเล็กเพื่อวัดปริมาณน้ำที่ถูกดูดขึ้นไปผ่านทรงพุ่มของพืช ซึ่งการตัดส่วนยอดเป็นการทำลายพืชซึ่งอาจทำให้ศักย์ของน้ำในใบพืช (leaf water potential) และค่าชักนำการปากใบ (stomata conductance) เปลี่ยนแปลงไป (Wullschleger et al., 1998) ดังนั้นปริมาณน้ำที่วัดได้อาจไม่ตรงกับสภาพจริงในธรรมชาติ

3. ventilated chamber เป็นวิธีประมาณค่าไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่อยู่ภายในตู้ควบคุม (chamber) ซึ่งสภาพการขาดความดันไอน้ำ (water pressure deficit) สามารถทำให้ค่าที่วัดไอน้ำที่วัดได้ไม่ถูกต้อง (Wullschleger et al., 1998) เพราะสภาพการขาดความดันไอน้ำถ้ามีค่าสูงอาจส่งผลให้ปากใบพืชปิด ทำให้การแลกเปลี่ยนระหว่างการคายน้ำกับการนำเข้าคาร์บอนไดออกไซด์ถูกยับยั้ง

4. radioisotope เป็นวิธีที่สามารถประมาณค่าการใช้น้ำของพืชตลอดฤดูกาลได้ แต่เนื่องจากวิธีที่เกี่ยวข้องกับรังสี ทำให้เป็นวิธีที่ยากต่อการใช้งานโดยทั่วไป (Wullschleger et al., 1998)

5. weighing เป็นวิธีที่มีความแม่นยำสูงโดยการชั่งน้ำหนักที่หายไป สามารถเก็บข้อมูลตั้งแต่รายชั่วโมงและรายวันขึ้นไป แต่ระบบรากถูกจำกัด

(Wullschleger et al., 1998) คล้ายกับวิธี lysimeter และไม่สามารถใช้กับต้นไม้ขนาดใหญ่มากๆ ได้ เนื่องจากคล้ายเป็นการปลูกไม้ยืนต้นลงในกระถาง

6. sap flow measurement เป็นวิธีที่ประหยัด สะดวก และสามารถเก็บข้อมูลต่อเนื่องด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลหลายชนิด (data loggers) แต่วิธีนี้ต้องการสมการมาตรฐานของการไหลของน้ำในลำต้นพืชของหัวที่ใช้ตรวจวัด (Wullschleger et al., 1998) ซึ่งในต้นไม้บางชนิดต้องมีการพัฒนาสมการมาตรฐานการไหลของน้ำโดยเฉพาะ (Smith and Allen, 1996) แต่ในปัจจุบันถือได้ว่าวิธีการวัดโดยตรงด้วยหัว sap flow แบบต่างๆ (heat balance, heat-pulse, heat dissipation และ transient thermal dissipation method) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและถือได้ว่ามีความแม่นยำสูง แต่อย่างไรก็ตามการใช้หัวตรวจวัดที่ติดกับลำต้นพืช ยังไม่เหมาะสำหรับการนำไปปรับใช้วัดการใช้น้ำของพืชในระดับเกษตรกร

7. soil water balance และ soil water depletion ทั้งสองวิธีการนี้จำเป็นต้องใช้เครื่องมือสำหรับวัดความชื้นในดิน ซึ่งต้องสามารถวัดได้ลึกตลอดระดับความลึกของรากพืช ในไม้ยืนต้นบางชนิด เช่น ยางพารา และยูคาลิปตัส เป็นพืชที่สามารถมีรากลึกมากกว่า 20 ม. ดังนั้นการวัดความชื้นในดินตลอดระดับความลึกของรากจึงถูกจำกัด (Nelson et al., 2006; Isarangkool Na Ayutthaya et al., 2010) นอกจากนี้น้ำในดินสามารถอาจเกิดการซึมลงในดินที่ระดับลึกเกินกว่าเครื่องมือที่ติดตั้งไว้ ทำให้ไม่สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำในระดับที่ลึกได้

8. Eddy covariance เป็นการวัดการคายระเหยน้ำของพื้นที่เหนือทรงพุ่ม แต่การประมาณค่าการคายน้ำด้วยวิธีนี้ไม่สามารถทำการวัดในพื้นที่ที่ทรงพุ่มของไม้ที่ปลูกไม่ราบเรียบหรือพื้นที่ที่มีพันธุ์ไม้หลายชนิดได้ (Wilson et al., 2001)

9. Bowen ratio-energy balance, Penman-Monteith reference evapotranspiration และ evaporation pan เป็นการประมาณค่าจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพความชื้นอากาศ ซึ่งถ้าอากาศมีความแห้งมาก ค่าที่ได้จะสูงขึ้นมาก แต่สภาพจริงในธรรมชาติพืชหลายสามารถปิดปากใบเมื่อเกิดภาวะแล้งของบรรยากาศเพื่อลดการสูญเสียน้ำ (Bush et al., 2008; Isarangkool Na Ayutthaya et al., 2011) เช่น ยางพารา ค่าการคายระเหยอ้างอิงสูงกว่า 2.0-2.2 มม./วัน หรือค่าการขาดความดันไอน้ำของบรรยากาศสูงกว่า 1.6-1.8 กิโลปาสคาล ปากใบของยางพาราจะปิด (Isarangkool Na Ayutthaya et al., 2011) ดังนั้นการใช้วิธีประมาณการใช้น้ำเหล่านี้มีข้อจำกัดในบางพืชที่สามารถตอบสนองภาวะแล้งของบรรยากาศด้วยการปิดปากใบ ทำให้ค่าที่ประมาณได้สูงเกินกว่าความเป็นจริง

แนวทางงานวิจัยที่เกี่ยวกับการคายน้ำและการใช้น้ำของพืชในปัจจุบันที่สำคัญประเด็นหนึ่ง คือ การพัฒนาวิธีการตรวจวัดที่มีความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งการพัฒนาวิธีใหม่สำหรับตรวจวัดการคายน้ำหรือการใช้น้ำของพืชมักทำการเปรียบเทียบกับวิธีที่พัฒนามาก่อนหน้าเพื่อยืนยันว่าวิธีที่พัฒนาใหม่มีความแม่นยำ เช่น Dawson (1996) ได้ทำการเปรียบเทียบการวัดการคายน้ำของพืชด้วยวิธี sap flow เทียบกับวิธี Bowen ratio ของต้น sugar Maple (*Acer saccharum* Marsh.) พบว่าวิธีการประมาณการคายน้ำของทั้งสองวิธีค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน Wilson et al. (2001) ได้ทำการเปรียบเทียบการประมาณค่าการคายระเหยน้ำของพืชด้วยวิธีต่างๆ พบว่าการประมาณค่าการคายน้ำด้วย sap flow ตามวิธีของ Granier (1987) มีค่าต่ำกว่าการประมาณค่าด้วยวิธี Eddy covariance ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ้าเรียงลำดับการประมาณค่าการคายน้ำจากมากไปหาน้อย พบว่า Eddy covariance ได้ค่าการคายน้ำมากที่สุด รองลงมา คือ soil water budget หรือ soil water depletion ส่วนวิธีการที่ได้ค่าประมาณการคายน้ำน้อยที่สุด คือ การประมาณค่าด้วย sap flow ส่วน Mcculloh et al. (2007) พบว่าการประมาณค่าการคายน้ำด้วยการชั่งน้ำหนักของน้ำที่หายไปมีค่าการคายน้ำสูงกว่าการวัดด้วย sap flow ตามวิธีของ Granier (1987) นอกจากนี้ Isarangkool Na Ayutthaya et al. (2011) ทำการเปรียบเทียบ

การคายน้ำของยางพาราด้วยวิธี Transient thermal dissipation method กับการประมาณการคายน้ำด้วย reference evapotranspiration (ET_0) ตามวิธีของ Penman-Monteith พบว่าในช่วงที่อากาศมีความชื้นสูงจนกระทั่ง ET_0 เท่ากับ 2.2 มม./วัน การคายน้ำจากวิธีการทั้งสองมีความใกล้เคียงกัน แต่ถ้าค่า ET_0 มากกว่า 2.2 มม./วัน (ภาวะแล้งของบรรยากาศ) ค่าที่ประมาณการคายน้ำตามวิธีของ Penman-Monteith จะให้ค่าสูงกว่าความเป็นจริง ซึ่งในหลักการจริงๆ การวัดด้วย sap flow เป็นการวัดตรงที่ต้นพืช ดังนั้นวิธีการวัดด้วย sap flow ไม่ได้พิจารณาการระเหยน้ำจากดิน แต่การประมาณค่าการคายระเหยน้ำจากสภาพอากาศได้รวมทั้งการคายน้ำของต้นพืชและการระเหยน้ำของดินเข้าด้วยกัน แต่อย่างไรก็ตามในสภาพแปลงปลูกยางที่ให้ผลผลิตแล้ว (อายุมากกว่า 7 ปี) ทรงพุ่มของต้นยางพารามักชนกันเกือบร้อยเปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการระเหยน้ำของดินน่าจะมีสัดส่วนไม่สูงนัก ดังนั้นปัจจุบันการพัฒนาวิธีการประมาณค่าการคายน้ำของพืชหรือการใช้น้ำของพื้นที่ปลูกยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้วิธีการประมาณการคายน้ำที่แม่นยำและง่ายต่อผู้ใช้มากขึ้น

ประโยชน์ของการประมาณค่าการคายน้ำของพืชหรือการใช้น้ำของพืชด้วยวิธีต่างๆ นักสรีรวิทยาของพืชใช้ในการนำไปอธิบายปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงปริมาณการคายน้ำของพืชที่เกิดขึ้น หรือการตอบสนองของพืชเมื่อพืชประสบกับสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่ไม่เหมาะสม (environmental stress) ในเชิงสรีรวิทยาของพืช เช่น ภาวะขาดน้ำ ภาวะน้ำท่วม ภาวะดินเค็ม ภาวะแล้งของบรรยากาศ เป็นต้น เพื่อให้เข้าใจธรรมชาติของพืชนั้นๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการที่เหมาะสมต่อไป นอกจากนี้ค่าการใช้น้ำของพืชที่ประมาณได้ยังสามารถนำมาปรับใช้เพื่อให้การจัดการให้น้ำแก่พืชมีความแม่นยำตรงกับความต้องการของพืชในแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโตมากขึ้น ซึ่งวิธีการประมาณค่าการใช้น้ำของพืชอย่างง่ายและสามารถปรับใช้กับเกษตรกรโดยทั่วไป น่าจะเป็นการประมาณค่าการใช้น้ำจากถาดระเหยมาตรฐานแล้วนำไปคำนวณกับค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (crop coefficient) แต่ละชนิด

การประมาณความต้องการน้ำของพืชจากข้อมูลสภาพอากาศ

การประมาณความต้องการน้ำโดยทั่วไป คือ การคำนวณปริมาณน้ำที่มีโอกาสสูญเสียออกจากแปลงปลูก ซึ่งปัจจัยหลักที่ชักนำการสูญเสียของน้ำ คือ สภาพอากาศ ซึ่งถือได้ว่าเป็นแรงที่ชักนำให้พืชมีการคายน้ำ (Meinzer, 2003) โดยเมื่อสภาพอากาศแห้งพื้นที่ปลูกพืชจะมีการสูญเสียน้ำจากดินและพืชสูงกว่าสภาพอากาศชื้น ทั้งนี้การคำนวณความสามารถในการดึงน้ำของสภาพอากาศจากพืชมักจะพิจารณาในกรณีที่พืชปลูกอยู่ในสภาพที่ดินมีความชื้นสูง ซึ่งความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ง่าย (พืชไม่มีความเครียดเนื่องจากภาวะแล้งของดิน) โดยทั่วไปสภาพความชื้นของอากาศมักจะใช้ค่าสภาพการขาดความดันไอน้ำ (vapour pressure deficit; VPD) หรือค่าการคายระเหยน้ำอ้างอิง (evapotranspiration; ET_0) เป็นตัวชี้สถานะของความชื้นอากาศ ซึ่งค่าดังกล่าวนี้มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณแสงอาทิตย์ และความเร็วลมในระหว่างวัน ซึ่งโดยทั่วไปความต้องการน้ำของพืช (crop evapotranspiration; ET_C) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$ET_C = ET_0 \times K_C \quad (1)$$

โดยที่ K_C คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (crop coefficient) ซึ่งมีความต่างกันในพืชแต่ละชนิด เช่น ส้มมี K_C เท่ากับ 0.60-0.85 ส่วนสับปะรดมี K_C เท่ากับ 0.30-0.50 เป็นต้น (Allen et al., 1998) โดยความแตกต่างของค่า K_C ในพืชแต่ละชนิดเกี่ยวข้องกับลักษณะโครงสร้างของต้นพืชทั้งหมดตั้งแต่ส่วนราก ลำต้น กิ่ง และใบ หรือแม้แต่ลักษณะการปิดเปิดของปากใบเมื่อพืชประสบกับสภาวะที่ไม่เหมาะสม ซึ่งลักษณะเหล่านี้มีผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำภายในต้นพืชและการควบคุมการคายน้ำของพืชแต่ละชนิด

วิธีการประมาณค่า ET_0 ที่มีความแม่นยำสูง คือ การประมาณจากข้อมูลอากาศตามวิธีของ Penman-Monteith (Allen et al., 1998) แต่วิธีดังกล่าวมีความยุ่งยากในการคำนวณ อย่างไรก็ตามวิธีที่เทียบเคียงและง่ายต่อการนำไปใช้ประโยชน์ คือ การใช้ค่าการระเหยน้ำ (pan evaporation; E_{pan}) จากถาดระเหยมาตรฐาน (Class A pan) ซึ่งสามารถขอข้อมูลการระเหยน้ำได้จากสถานตรวจอากาศที่อยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่ปลูกพืชมากที่สุด ดังนั้นการประมาณค่า ET_0 สามารถหาได้จากสมการ

$$ET_0 = E_{pan} \times K_p \quad (2)$$

โดยค่า K_P คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของถาดระเหย (pan coefficient) ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.6-1.1 ขึ้นกับสภาพความเร็วลมและสภาพแวดล้อมของสถานที่ตั้งของ Class A pan ได้แก่ ชนิดของหญ้าที่ขึ้นในแถบนั้น เป็นต้น (Allen et al., 1998) แต่อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวกและง่ายในการคำนวณมักให้ค่า $K_P = 1$ แต่ถ้าต้องการความแม่นยำที่เพิ่มขึ้น สามารถประมาณค่า K_P จากข้อมูลสภาพอากาศอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพันธ์ ช่วงวัน และความเร็วลม เป็นต้น จากสถานตรวจอากาศแห่งเดียวกันแล้วทำการคำนวณข้อมูลสภาพอากาศในรูป ET_0 ดังนั้น K_P ของสถานีตรวจอากาศนั้นๆ สามารถหาได้จากสูตร

$$K_p = \frac{ET_0}{E_{pan}} \quad (3)$$

การประมาณค่าความต้องการน้ำในไม้ยืนต้นอย่างง่าย

จากการแนะนำการประมาณความต้องการน้ำของพืชทั่วไป ซึ่งมักให้ค่า $K_P = 1$ เช่น ในคำแนะนำการประมาณความต้องการของน้ำของลิ้นจี่และลำไยของ Menzel (2005) จึงทำการดัดแปลงสมการที่ 1 เพื่อใช้ในการประมาณค่า ET_C อย่างง่าย โดยทำการแทนค่า ET_0 ในสมการที่ 1 ด้วย E_{pan} ดังนั้น ET_C สามารถคำนวนได้ดังสมการ

$$ET_C = E_{pan} \times K_C \quad (4)$$

จากสมการที่ 4 E_{pan} จะมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศที่เกิดขึ้น โดย E_{pan} รายวันโดยทั่วไปสามารถมีค่าได้ตั้งแต่ 0-10 มม./วัน โดยสภาพอากาศที่ร้อนและแห้ง E_{pan} จะมีค่าสูง แต่ถ้าสภาพอากาศมีความชื้นสูง E_{pan} จะมีค่าเข้าใกล้ 0 โดยทั่วไป การประมาณค่าการใช้น้ำของพืชที่แม่นยำด้วยวิธีนี้จะนำค่าการระเหยน้ำของวันที่ก่อนหน้าที่จะทำการให้น้ำมาคำนวณปริมาณน้ำที่จะต้องให้แก่พืช แต่เพื่อความสะดวกในการคำนวณสำหรับแปลงเกษตรกรที่ไม่สามารถติดตั้งถาดระเหยมาตรฐานอาจใช้การนำข้อมูลย้อนหลัง 5-10 ปีจากสถานีตรวจอากาศที่ใกล้เคียงกับแปลงเพาะปลูกมาทำการประมาณค่า E_{pan} รายวัน หรือรายเดือนของพื้นที่นั้นๆ เพื่อใช้เป็นค่า E_{pan} ของแต่ละช่วงเวลาที่ดำเนินการปลูกพืชดัง **Figure 1** ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า E_{pan} เฉลี่ย 10 ปี (พ.ศ. 2543 - 2552) จากสถานีตรวจอากาศในหมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น E_{pan} มีการผันแปรในแต่ละเดือน โดย E_{pan} มีค่าสูงในช่วงฤดูร้อนในช่วงเดือนมีนาคมและเมษายน โดยมีค่าเฉลี่ย E_{pan} ในเดือนเมษายนเท่ากับ 6.53 มม./วัน และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนกันยายนเท่ากับ 3.98 มม./วัน ซึ่งค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนนี้สามารถใช้เป็นตัวแทน E_{pan} สำหรับการคำนวณความต้องการน้ำของพืชในเดือนนั้นๆ ได้

Table 1 Estimated tree transpiration or tree water requirement (E_T) of economic trees in well soil water condition, methods and crop coefficient (K_C)

Species	Method	Age / size	E_T (mm d^{-1})	E_T (kg d^{-1})	K_C	Reference
Fruit trees						
Banana	TDP and WL	3 months	-	7	1.00-1.20*	Lu et al., 2002
Citrus	ED	17 years	2.1	-	0.40-.051 (0.60-0.85*)	Villalobos et al., 2009
Grape	HB	20 years	-	2.8	0.45-0.85*	Braun and Schmid, 1999
Grape	WL	20 years	-	2.2	-	Braun and Schmid, 1999
Grape	HP และ PM	5 years	-	4.5	-	Pereira et al., 2006
Litchi	SWD	10 years	3.7	-	0.4-1.2	Menzel et al., 1995
Mango	BR and SWB	7 years	4.1-4.3	-	0.75	de Azevedo et al., 2003
Mango	TDP	5 years	-	65	-	González et al., 2004
papaya	คำนวณ E_T	3-7 months	-	36-37	1.00-1.50	Migliaccio et al., 2010
Pummelo	TDP	6 years (D = 15.5 cm)	-	22.5	0.60-0.70*	สุภัทร์ และคณะ, 2554
Other trees						
Eucalyptus	TDP	D = 30 cm	-	141	-	Dye, 1996
Eucalyptus	TDP	8 years	3.64	-	0.80-1.00	David et al., 1997
Oil palm	SWD	15 years	3.4-4.2	-	0.95-1.00*	Nelson et al., 2006
Oil palm	PM	-	2.0-5.5	-	-	Kallarackal et al., 2004
Rubber tree	TTD	13 years (D = 16.7 cm)	2.38	41.7	0.95-1.00*	Isarangkool Na Ayutthaya et al., 2011

* K_C from Allen et al. (1998)

BR = Bowen ratio-energy balance, D = เส้นผ่าศูนย์กลาง, ED = eddy covariance-energy balance,
HB = heat balance method, HP = heat-pulse technique, PM = Penman-Monteith reference evapotranspiration,
SWB = Soil water balance, SWD = Soil water depletion, TDP = Thermal dissipation method,
TTD = Transient thermal dissipation method, WL = weight loss method

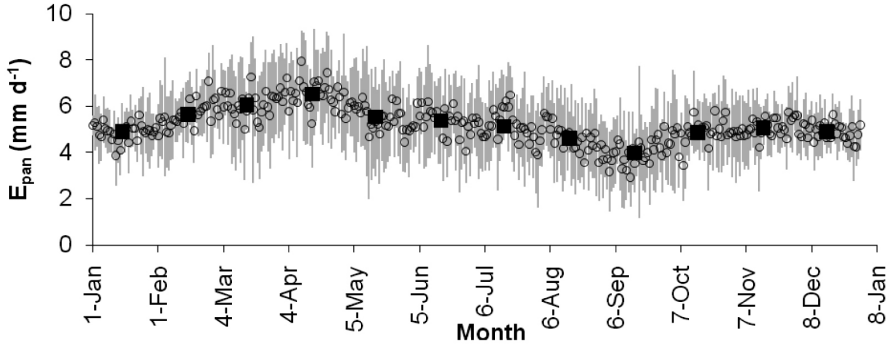

Figure 1 Average 10 years daily (opened circle) and monthly (closed square) pan evaporation (E_{pan}) during 2000-2009 from the meteorological station in Agronomy section, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University. The gray vertical bars indicate standard deviation (SD) of daily E_{pan}.

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชแต่ละชนิด

ค่า K_C ของพืชหลายชนิดทั้งที่เป็นพืชล้มลุกและไม้ยืนต้นมีรายงานอยู่ในเวปไซด์ของ Food and Agriculture organization (FAO; Allen et al., 1998) สำหรับ K_C ในกลุ่มไม้ผลและไม้ยืนต้นเศรษฐกิจทั้ง 10 ชนิดในรายงานนี้แสดงใน **Table 1** ซึ่งโดยทั่วไปวิธีการหา K_C ของพืชแต่ละชนิดสามารถหาได้จากสมการที่ดัดแปลงจากสมการที่ 1 (Menzel et al., 1995; Grattan et al., 1998) ดังนี้

$$K_C = \frac{E_T}{ET_0} \quad (5)$$

โดย E_T คือ ปริมาณการคายน้ำของพืชหรือปริมาณการสูญเสียน้ำออกจากพื้นที่ปลูก ซึ่งอาจวัดได้จากการวัดด้วยหัวตรวจวัดที่ติดตั้งกับลำต้นพืช หรือการสูญหายของน้ำออกจากดิน (soil water depletion) เป็นต้น ดังนั้นสามารถหา K_C ของพืชทุกชนิดได้จากสมการที่ 5 สำหรับพืชที่ยังไม่มีรายงานค่า K_C หรือแม้แต่การเปลี่ยนพื้นที่ปลูกอาจมีผลให้ค่า K_C ของพืชเปลี่ยนแปลงได้

อย่างไรก็ตาม K_C ในกลุ่มของไม้ยืนต้นในรอบปีอาจมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลหรือช่วงการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งสามารถแบ่งชนิดไม้ยืนต้นตามลักษณะของการร่วงของใบเป็นสองกลุ่ม คือ พืชเขียวตลอดปี (evergreen plant) และพืชที่มีการผลัดใบ (deciduous plant) ดังนั้นค่า K_C ในรอบปีของพืชทั้งสองกลุ่มนี้มีความแตกต่างกัน โดยที่พืชในกลุ่มเขียวตลอดปีมีค่า K_C คงที่ตลอดปี ส่วนพืชที่มีการผลัดใบ K_C ในช่วงที่ใบร่วงจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งหมายถึงในช่วงที่พืชใบร่วงไม่มีความต้องการการให้น้ำ (Allen et al., 1998) แต่ยางพาราซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มไม้ผลัดใบ ซึ่งโดยทั่วไปยางพาราใบร่วงในช่วงเดือนมกราคม และแตกใบใหม่ประมาณปลายเดือนมีนาคมหรือต้นเดือนเมษายน ดังนั้นค่า K_C ในช่วงที่ยางพาราทิ้งใบน่าจะใกล้ศูนย์หรือไม่จำเป็นต้องมีการให้น้ำ แต่ถ้ามีการให้น้ำในช่วงที่ยางพาราใบร่วงสามารถช่วยให้การแตกของใบใหม่เกิดขึ้นเร็วกว่าการไม่ให้น้ำ ซึ่งทำให้ระยะเวลาการกรีดต่อปีเพิ่มขึ้นจากเดิมอีกหนึ่งเดือนในช่วงต้นฤดู (สุเมธ และคณะ, 2550) ซึ่งทำให้เกษตรกรสวนยางพารามีรายได้เพิ่มขึ้น

ส่วนไม้ผลของไทยหลายชนิดจัดอยู่ในกลุ่มไม้ผลเมืองร้อน (tropical fruit) และมักเป็นพืชในกลุ่มพืชเขียวตลอดปี แต่เนื่องจากการชักนำการออกดอกมักเกี่ยวข้องกับการให้ภาวะแล้งเพื่อกระตุ้นการสร้างตาดอกของไม้ผล เช่น ในพืชตระกูลส้มเกษตรกรจะทำการให้น้ำเพื่อให้พืชตระกูลส้มออกดอกหลังจากทำการงดน้ำจนกระทั่งใบส้มเริ่มแสดงอาการเหี่ยวในเวลา 11.00 น. ดังนั้นในรอบปีการผลิตกลุ่มไม้ผลเมืองร้อนต้องการการจัดการน้ำที่เหมาะสมประมาณ 8-10 เดือน ในช่วงที่ไม้ผลเมืองร้อนมีการเจริญเติบโตทางกิ่งใบ (vegetative phase) และในช่วงหลังการพัฒนาตาดอกจนกระทั่งก่อนเก็บเกี่ยว (reproductive phase) ซึ่งในช่วงการเจริญเติบโตทางกิ่งใบการให้น้ำจะส่งผลให้พืชมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากการปิดเปิดปากใบมีความเหมาะสม ทำให้สามารถนำเข้าคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ด้วยแสงเข้าสู่ใบพืชได้เป็นอย่างดี ซึ่งถ้าไม้ผลหรือไม้ยืนต้นประสบภาวะขาดน้ำอัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลง (Menzel et al., 1995; Angelopoulos et al., 1996; Yakushiji et al., 1998; Arndt et al., 2001; Whitehead and Beadle, 2004) และในไม้ผลถ้ามีการขาดน้ำในช่วงที่ผลมีการพัฒนาจะทำให้ผลที่ได้มีขนาดเล็ก (Menzel et al., 1995; Yakushiji et al., 1998; Spreer et al., 2007) อย่างไรก็ตามการให้น้ำมากเกินความต้องการของพืชก็ส่งผลให้พืชลดการเจริญเติบโตได้ เนื่องจากมีการชะล้างธาตุอาหารบางชนิดลงไปในดินชั้นล่าง (ไชยรัตน์ และคณะ, 2551) ทำให้ธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อการพัฒนาของผล หรืออาจเกิดการขาดอากาศในดินเนื่องจากน้ำมากเกินไปในกรณีที่ดินระบายน้ำไม่ดี ดังนั้นการให้น้ำแก่พืชจึงควรให้ในระดับตามความต้องของพืชเพื่อทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและพัฒนาสูงที่สุด

อีกสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในการคำนวณปริมาณน้ำที่จะให้แก่พืชหลังจากได้ค่าประมาณการใช้น้ำของพืช (ET_C) ในหน่วยมิลลิเมตรต่อวัน คือ การหาปริมาณน้ำในหน่วยปริมาตร (water volume ในหน่วย ล. หรือ ลบ.ม.) ต่อพื้นที่ ซึ่งจะนำ ET_C ไปคูณกับพื้นที่ปลูก (A ในหน่วยตารางเมตร) ดังสมการ

$$water\ volume = ET_C \times A \quad (6)$$

แต่เนื่องด้วยลักษณะการปลูกพืชล้มลุกและไม้ยืนต้นหรือไม้ผลมีความแตกต่างกัน โดยพืชล้มลุกส่วนเหนือดินมักคลุมพื้นที่ปลูกทั้งหมดแต่ในไม้ผลมีพื้นที่ว่างระหว่างแถว ดังนั้นพืชล้มลุกสามารถใช้พื้นที่ปลูกทั้งหมดในการคำนวณปริมาณน้ำที่จะให้แก่พืช ส่วนการปลูกไม้ผลเนื่องจากมีพื้นที่ว่างระหว่างแถวประกอบกับการให้น้ำในปัจจุบันใช้ระบบการฉีดพ่นฝอยหรือระบบน้ำหยดใต้ต้น ทำให้การใช้พื้นที่ปลูกทั้งหมดในการคำนวณอาจเกิดการประมาณค่าปริมาณน้ำที่ให้แก่ไม้ผลสูงเกินกว่าความเป็นจริง ดังนั้นวิธีการที่น่าจะเหมาะสม คือ การใช้พื้นที่ใต้ทรงพุ่มในการคำนวณปริมาณน้ำที่จะให้ต่อต้น แล้วจึงทำการคูณด้วยจำนวนต้นทั้งหมด จะทำให้ได้ค่าการให้น้ำแก่ไม้ผลที่เหมาะสมมากขึ้น ส่วนในไม้ยืนต้น เช่น ยางพารา และยูคาลิปตัส ควรพิจารณาการชนกันของทรงพุ่มประกอบการคำนวณ ถ้าทรงพุ่มของพืชชนกันสมบูรณ์สามารถใช้พื้นที่ปลูกทั้งหมดในการคำนวณได้

นอกจากนี้ความถี่ของการให้น้ำ (จำนวนวัน/ครั้ง) ควรพิจารณาจากชนิดของดินซึ่งเกี่ยวข้องกับความสามารถในการซึมน้ำของดิน โดยปริมาณน้ำที่ให้ในแต่ละครั้งควรซึมลงไปในดินทั้งหมด ถ้าให้มากเกินจนเหลือไหลออกนอกแปลงจะเป็นการสูญเสียน้ำไปโดยเปล่าประโยชน์และในช่วงวันท้ายๆ ก่อนการให้น้ำอีกครั้งพืชอาจเกิดการขาดน้ำได้ ซึ่งระบบชลประทานในปัจจุบันเกษตรกรมีความสะดวกมากขึ้นทำให้สามารถให้น้ำในปริมาณที่น้อยแต่บ่อยครั้งมากขึ้น ซึ่งลดปัญหาการให้น้ำมากเกินความต้องการของพืชและความสามารถซึมน้ำของดินและสามารถประกันได้ว่าตลอดช่วงที่พืชต้องการน้ำจะไม่มีการขาดน้ำเกิดขึ้น

การจัดการน้ำอย่างง่ายด้วยวิธีการใช้เครื่องวัดแรงดึงน้ำในดิน

ในปัจจุบันสวนไม้ผลและไม้ยืนต้นมีการใช้เครื่องวัดแรงดึงน้ำในดิน (tensiometer) สำหรับบ่งชี้สภาพความชื้นของดินเพื่อการให้น้ำอย่างเพียงพอ ซึ่งเครื่องมือดังกล่าวสามารถวัดแรงดึงของน้ำในดินตั้งแต่ 0 ถึง -80 กิโลปาสคาลหรือเซนติบาร์ ซึ่งช่วงค่าที่วัดได้ดังกล่าวอยู่ในช่วงที่น้ำในดินอยู่ในระดับเป็นประโยชน์ต่อพืช (available water) ซึ่งคำแนะนำโดยทั่วไปเกษตรกรจะทำการติดตั้งเครื่องวัดแรงดึงน้ำในดิน 2 จุดต่อแปลงปลูกพืชที่มีความสม่ำเสมอกันหนึ่งแปลง และแต่ละจุดจะทำการติดตั้งเครื่องวัดแรงดึงน้ำในดิน 2 ระดับ คือ ระดับลึกจากพื้นดิน 25 ซม. และ 75 ซม. เกษตรกรจะพิจารณาทำการให้น้ำแก่พืชเมื่อเครื่องวัดแรงดึงน้ำในดินระดับลึกจากพื้นดิน 25 ซม. อ่านค่าได้ต่ำกว่า -40 กิโลปาสคาล และหยุดให้น้ำเมื่อเครื่องวัดแรงดึงน้ำในดินระดับลึกจากพื้นดิน 75 ซม. มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ (อิทธิสุทร และคณะ, 2542) ซึ่งจะถือได้ว่าขอบเขตรากของไม้ผลและไม้ยืนต้นได้รับน้ำอย่างเพียงพอ

อย่างไรก็ตามถ้าเปรียบเทียบการประมาณค่าความต้องการน้ำของพืชจากข้อมูลสภาพอากาศหรือถาดระเหยมาตรฐานกับวิธีการใช้เครื่องวัดแรงดึงน้ำในดิน ทั้ง 2 วิธีข้างต้นจะทำให้ทราบปริมาณน้ำที่พืชนำไปใช้แล้วทำการให้น้ำชดเชยตามที่พืชได้ใช้น้ำไปจริง ซึ่งในพื้นที่ที่มีน้ำจำกัดวิธีการนี้ช่วยให้สามารถประหยัดน้ำและพืชได้รับน้ำอย่างพอเพียงตามความต้องการของพืช ส่วนวิธีการใช้เครื่องวัดแรงดึงน้ำในดินเป็นการให้น้ำตามความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน ซึ่งตามคำแนะนำโดยทั่วไปวิธีการให้น้ำแบบนี้สูญเสียน้ำส่วนหนึ่งจากการซึมลงในดินชั้นล่าง ดังนั้นวิธีการนี้เหมาะสมกับพื้นที่ปลูกพืชที่มีแหล่งน้ำอย่างเพียงพอ และถ้าเทียบประสิทธิภาพการให้น้ำวิธีการประมาณค่าความต้องการของพืชจากข้อมูลอากาศหรือจากถาดระเหยมาตรฐานมีประสิทธิภาพดีกว่าการให้น้ำตามค่าของเครื่องวัดแรงดึงน้ำในดินเนื่องจากช่วยให้เกษตรกรประหยัดน้ำ แต่ถ้าพิจารณาความง่ายและ

สะดวกสำหรับเกษตรกร รวมทั้งราคาวัสดุอุปกรณ์ พบว่าการให้น้ำตามค่าของเครื่องวัดแรงดึงน้ำในดินมีความง่ายและสะดวกมากกว่าและราคาถูกกว่า (อิทธิสุนทร และคณะ, 2542) อย่างไรก็ตามเกษตรกรต้องมีความรู้ในการติดตั้งและดูแลรักษาเครื่องวัดความชื้นในดินให้สามารถวัดค่าแรงดึงน้ำในดินได้อย่างถูกต้อง

แนวทางการลดปริมาณน้ำที่ให้แก่ไม้ยืนต้น

เนื่องจากในปัจจุบันน้ำที่ใช้ในทางการเกษตรเริ่มมีปัญหาการขาดแคลนในหลายพื้นที่ทั่วโลก ดังนั้นจึงได้มีนักวิจัยที่สนใจพัฒนาวิธีการที่จะลดปริมาณน้ำที่จะให้แก่พืช โดยพัฒนารูปแบบการให้น้ำแบบประหยัดเพื่อลดการใช้น้ำต่อต้นของพืชลง ได้แก่ วิธีการให้น้ำแบบขาดน้ำ (regulated deficit irrigation; RDI) และการให้น้ำในขอบเขตรากบางส่วน (partial rootzone drying; PRD) โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ (water use efficiency) โดยการให้น้ำในลักษณะนี้สามารถลดปริมาณน้ำที่ให้แก่ต้นไม้ผลประมาณครึ่งหนึ่ง ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชประมาณ 0.5-1.0 เท่า ซึ่งขณะนี้ได้ทำการทดลองแล้วในหลายพืช ได้แก่ บ๊วย (Arzani et al., 2000), ลูกแพร (Kang et al., 2002), อัลมอนต์ (Romero et al., 2004), แอปเปิล (van Hooijdonk et al., 2004), องุ่น (Cifre et al., 2005), มะกอกโอลีฟ (Tognetti et al., 2005) และมะม่วง (Spreer et al., 2007) ซึ่งงานทดลองส่วนใหญ่เป็นงานวิจัยในไม้ผลเขตหนาว (temperate fruit) ดังนั้นในประเด็นการลดปริมาณการให้น้ำซึ่งมีผลต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจสำหรับงานวิจัยในกลุ่มไม้ผลเขตร้อน (tropical fruit) และไม้ยืนต้นเศรษฐกิจต่อไป ซึ่งจากผลงานการให้น้ำแบบ RDI และ PRD ในมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ พบว่าการให้น้ำทั้งแบบ RDI และ PRD ทำให้ปริมาณผลผลิตต่อต้นลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการให้น้ำแบบปกติ แต่การให้น้ำแบบ PRD ทำให้ผลมะม่วงโชคอนันต์มีขนาดใหญ่ขึ้น (Spreer et al., 2007) ซึ่งน่าจะเป็นประโยชน์อย่างมากเพราะผลผลิตทางพืชสวนมิได้คำนึงถึงปริมาณเพียงอย่างเดียว แต่ถ้าคุณภาพผลไม่ตรงต่อความต้องการของตลาดทำให้การขายยากและราคาที่ได้รับไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ หรือแม้แต่ในยางพารา จันทร์จิรา และสายัณห์ (2551) พบว่าการให้น้ำมีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง (dry rubber content) ลดลง ดังนั้นการให้น้ำในแบบเต็มจำนวนตามค่าประมาณการใช้น้ำของพืชอาจทำให้ประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชต่ำได้ ซึ่งงานวิจัยในอนาคตสำหรับไม้ผลเมืองร้อนและไม้ยืนต้นอื่นๆ ควรที่จะพัฒนาวิธีหรือระบบการให้น้ำที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชสูง และได้ผลผลิตที่มีคุณภาพตามความต้องการของตลาดในปริมาณที่เหมาะสม

สรุป

การหาความต้องการน้ำของไม้ยืนต้นเศรษฐกิจสามารถหาจากค่าประมาณการคายน้ำหรือการใช้น้ำของพืชซึ่งพืชแต่ละชนิดมีความต้องการน้ำที่แตกต่างกัน โดยมีวิธีการประมาณค่าความต้องการของน้ำของพืชได้หลายวิธีทั้งทางตรงและทางอ้อม อย่างไรก็ตามยังต้องการการพัฒนาวิธีตรวจวัดค่าการประมาณการคายน้ำหรือการใช้น้ำของพืชที่มีความถูกต้องแม่นยำ และง่ายต่อการใช้ตรวจวัดหรือประมาณค่าความต้องการน้ำของพืชอย่างต่อเนื่องต่อไป ซึ่งวิธีการที่ง่ายและสามารถนำไปใช้ได้ในระดับเกษตรกรในปัจจุบัน คือ การหาค่าความต้องการน้ำ (ET_C) จากค่าการระเหยของน้ำ (E_{pan}) แต่วิธีการดังกล่าวการคำนวนปริมาตรของน้ำสุดท้ายที่จะให้แก่พืชต้องคำนึงถึงลักษณะทรงพุ่มของพืชหรือลักษณะการคลุมพื้นที่ปลูกของส่วนเหนือดินด้วย นอกจากนี้ประเด็นการวิจัยที่น่าสนใจต่อไปในอนาคต คือ การลดปริมาณการให้น้ำแก่พืชลงโดยรักษาปริมาณและคุณภาพของผลผลิตในระดับที่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

คำขอบคุณ

ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณสาขาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และคุณธนพงศ์ ตุลา ในความอนุเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศ

เอกสารอ้างอิง

จันทร์จิรา สมจันทร์, และสายัณห์ สดุดี. 2551. ผลของการให้น้ำต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาและผลผลิตน้ำยางของยางพาราในช่วงรอบปี. ว. วิทย์. กษ. 39(พิเศษ):35-39.

ไชยรัตน์ทศคร, สุภัทร์อิศรางกูร ณ อยุธยา, สังคม เตชะวงค์เสถียร, พงษ์ศักดิ์ ยั่งยืน, และเกษสุดา เดชภิมล. 2551. วิธีการให้น้ำต่อคุณลักษณะของดิน ธาตุอาหาร และการเจริญเติบโตของส้มโอ. ว. วิทย์. กษ. 39(พิเศษ):134-137.

สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา, สมยศ มีทา, พงษศักดิ์ ยั่งยืน, พัชรน ส่งศรี, และสังคม เตชะวงค์เสถียร. 2554. อัตราการคายน้ำในรอบวันและต่อวันของต้นส้มโอพันธุ์ทองดี. ว. วิทย์. กษ. 42(พิเศษ):47-50.

สุเมธ ลิ่มมณีธร, สายัณห์ สดุดี, และอิบรอเฮม ยีดำ. 2550. ผลของการให้น้ำต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาและผลผลิตน้ำยางของยางพารา. ว. สงขลานครินทร์ วทท. 29:601-613.

อิทธิสุนทร นันทกิจ, ปัญจพร เลิศรัตน์, และสุรินทร์ ไวยเจริญ. 2542. การพัฒนาระบบการให้น้ำและปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับสวนทุเรียน. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.

Allen, R.G., L.S. Pereir, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO.

Angelopoulos, K., B. Dichio, and C. Xiloyannis. 1996. Inhibition of Photosynthesis in oilve trees (*Olea europaea* L.) during water stress and rewatering. J. Exp. Bot. 47:1093-1100.

Arndt, S.K., S.C. Clifford, W. Wanek, H.G. Jones, and M. Popp. 2001. Physiological and morphological adaptations of the fruit tree *Ziziphus rotundifolia* in response to progressive drought stress. Tree Physiol. 21:705-715.

Arzani, K., D. Wood, and G.S. Lawes. 2000. Influence of first season application of paclobutrazol, root-pruning and regulated deficit irrigation on second season flowering and fruiting of mature "Sundrop" apricot trees. Acta Hortic. 516:75-82.

Baldoccchi D.D., B.B. Hicks, and T.P. Meyers. 1988. Measuring biosphere-atmosphere exchanges of biologically related gases with micrometeorological methods. Ecology. 69:1331-1340.

Braun, P., and J. Schmid. Sap flow measurements in grapevines (*Vitis vinifera* L.) 1. Stem morphology and use of the heat balance method. Plant and Soil 215:39-45

Bush, S.E., D.E. Pataki, K.R. Hultine, A.G. West, J.S. Sperry, and J.R. Ehleringer. 2008. Wood anatomy constrains stomatal response to atmospheric vapor pressure deficit in irrigated urban trees. Oecologia. 156:13-20.

Calder, I.R., M.N. Narayanswamy, N.V. Srinivasalu, W.G. Darling, and A.J. Larder. 1986. Investigation into the use of deuterium as a tracer for measuring transpiration from eucalypts. J. Hydrol. 84:345-351.

Cifre, J., J. Bota, J.M. Escalona, H. Medrano, and J. Flexas. 2005. Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera*, L.)—an open gate to improve water-use efficiency? Agric. Ecosyst. Environ. 106:159-170.

David, T.S., M.I. Ferreira, J.S. David, and J.S. Pereira. 1997. Transpiration from a mature *Eucalyptus globulus* plantation in Portugal during a spring-summer period of progressively higher water deficit. Oecologia. 110:153-159.

Dawson, T.E. 1996. Determining water use by trees and forests from isotopic, energy balance and transpiration analyses: the roles of tree size and hydraulic lift. Tree Physiol. 16:263-272.

de Azevedo, P.V., B.B. da Silva, and V.P.R. da Silva. 2003. Water requirements of irrigated mango orchards in northeast Brazil. Agri. Water Manag. 58:241-254.

Do, F., and A. Rocheteau. 2002. Influence of natural temperature gradients on measurements of xylem sap flow with thermal dissipation probes. 2. Advantages and calibration of a non-continuous heating system. Tree Physiol. 22:649-654.

Dye, P.J. 1996. Response of *Eucalyptus grandis* trees to soil water deficit. Tree Physiol. 13:321-336.

Dye, P.J., B.W. Olbrich, and I.R. Calder. 1992. A comparison of the heat pulse method and deuterium tracing method for measuring transpiration from *Eucalyptus grandis* trees. J. Exp. Bot. 43:337-343.

Edwards, W.R.N. 1986. Precision weighing lysimetry for trees, using a simplified tared-balance design. Tree Physiol. 1: 127-144.

Fritschen, L.J., L. Cox, and R. Kinerson. 1973. A 28-meter Douglas-fir in weighing lysimeter. For. Sci. 19:256-261.

González A., P. Lu, and W. Müller. 2004. Effect of pre-flowering irrigation on leaf photosynthesis, whole tree water use and fruit yield of mango trees receiving two flowering treatments. Sci. Hortic. 102:189-211.

Granier, A. 1985. Une nouvelle méthode pour la mesure des flux de sève dans le tronc des arbres. Ann. For. Sci. 42:193-200.

Granier, A. 1987. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurement. Tree Physiol. 3:309-320.

Grattan, S.R., W. Bowers, A. Dong, R.L. Snyder, J.J. Carroll, and W. George. 1998. New crop coefficients estimate water use of vegetable, row crops. Calif. Agr. 52(1):16-21.

Green, S.R., and B.E. Clothier. 1988. Water use by kiwifruit vines and apple trees by heat-pulse technique. J. Exp. Bot. 39:115-233.

Greenwood, E.A.N., and J.D. Beresford. 1979. Evaporation from vegetation in landscapes developing secondary salinity using the ventilated-chamber technique I. Comparative transpiration from juvenile Eucalyptus above saline ground-water seeps. J. Hydrol. 42:369-382.

Gururaja Rao, G., P. Sanjeeva Rao, R. Rajagopal, A.S. Devakumar, A.S. Vijayakumar, and M.R. Sethuraj. 1990. Influence of soil, plant and meteorological factors on water relations and yield in *Hevea brasiliensis*. Int J Biometeorol. 34:175-180.

Yakushiji, H., K. Morinaga, and H. Nonami. 1998. Sugar accumulation and partitioning in Satsuma mandarin tree tissue and fruit in response to drought stress. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 123(4):719-726.

Isarangkool Na Ayutthaya, S., F.C. Do, K. Pannengpetch, J. Junjittakarn, J.-L. Maeght, A. Rocheteau, and H. Cochard. 2010. Transient thermal dissipation method of xylem sap flow measurement: multi-species calibration and field evaluation. Tree Physiol. 30:139-148.

Isarangkool Na Ayutthaya, S., F.C. Do, K. Pannangpetch, J. Junjittakarn, J.-L. Maeght, A. Rocheteau, and H. Cochard. 2011. Water loss regulation in mature *Hevea brasiliensis*: effects of intermittent drought in the rainy season and hydraulic regulation. Tree Physiol. 31:751-762.

Kallarackal, J., P. Jeyakumar, and S.J. George. 2004. Water use of irrigation oil palm at three different arid locations in Peninsular India. J. Oil Palm Res. 16:45-53.

Kang, S., X. Hu, I. Goodwin, and P. Jerie. 2002. Soil water distribution, water use and yield response to partial root zone drying under a shallow groundwater table condition in a pear orchard. Acta Hortic. 92:277-291.

Knight, D.H., T.J. Fahey, S.W. Running, A.T. Harrison, and L.L. Wallace. 1981. Transpiration from 100-year-old lodgepole pine forests estimated with whole tree potameters. Ecology. 62:717-726.

Larson K.D., and B. Schaffer. 1989. Effect of irrigation on leaf water potential, growth and yield of mango trees. Proc. Fla. State Hort. Soc. 102:226-228.

Lu, P., K. Woo, and Z. Liu. 2002. Estimation of whole-plant transpiration of bananas using sap flow measurement. J. Exp. Bot. 53:1771-1779.

Mastrorilli, M., N. Katerji, G. Rana, and B.N. Bechir. 1998. Daily actual evapotranspiration measured with TRD technique in Mediterranean conditions Agr. For. Meteorol. 90:81-89.

Mcculloh, K.A., K. Winter, F.C. Meinzer, G. Milton, J. Aranda, and B. Lachenbruch. 2007. A comparison of daily water used estimates derived from constant-heat sap flow probe values and gravimetric measurements in pot-grown saplings. Tree Physiol. 27:1355-1360.

Meinzer, F.C. 2003. Functional convergence in plant responses to the environment. Oecologia. 134:1-11.

Menzel, C.M. 2005. Plant water relation and irrigation. P.183-207. In: C.M Menzel, and G.K. Waite. Litchi and longan. Cromwell Press, Trowbridge.

Menzel, C.M., J.H. Oosthuzien, D.J. Roe, and V.J. Doogan. 1995. Water deficits at anthesis reduce CO2 assimilation and yield of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) tress. Tree Physiol. 15:611-617.

Migliaccio, K.W., B. Schaffer, J.H. Crane, and F.S. Davies. 2010. Plant response to evapotranspiration and soil water sensor irrigation scheduling methods for papaya production in south Florida. Agri. Water Manag. 97:1452-1460.

Nelson, P.N., M. Banabas, D.R. Scotter, and M.J. Webb. 2006. Using soil water depletion to measure spatial distribution of root activity in oil palm (*Elaeis quineensis* Jarq.) plantations. Plant Soil. 286:109-121.

Pereira, A.R., S. Green, and N.A.V. Nova. 2006. Penman-Monteith reference evapotranspiration adapted to estimated irrigated tree transpiration. Agri. Water Manag. 83:153-161.

Roberts, J. 1977. The use of tree-cuttingtechniques in the study of water relations of mature *Pinus sylvestris* L. J. Exp. Bot. 28:751-767.

Romero, P., P. Botia, and F. Garcia. 2004. Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on water relations of mature almond trees. Plant Soil. 260:155-168.

Sakuratani, T. 1981. A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. J. Agric. Meteorol. 37:9-17.

Smith, D.M., and S.J. Allen. 1996. Measurement of sap flow in plant stems. J. Exp. Bot. 47:1833-1844.

Spreer, W., M. Nagle, S. Neidhart, R. Carle, S. Ongprasert, and J. Muller. 2007. Effect of regulated deficit irrigation and partial rootzone drying on the quality of mango fruits (*Mangifera indi*ca L., cv. 'Chok Anan'). Agri. Water Manag. 88:173-180.

Sanjeeva Rao, P., C.K. Saraswathyamma, and M.R. Sethuraj. 1998. Studies on the relationship between yield and meteorological parameters of para rubber tree (*Hevea brasiliensis*). Agric. For. Meteorol. 90:235-245.

Tognetti, R., R. d'Andria, G. Morelli, and A. Alvino. 2005. The effect of deficit irrigation on seasonal variations of plant water use in *Olea europaea* L. Plant Soil. 273:139-155.

van Hooijdonk, B.M., K. Dorji, and M.H. Behboudian. 2004. Responses of 'Pacific Rose™' apple to partial rootzone drying and to deficit irrigation. Eur. J. Hortic. Sci. 69:104-110.

Villalobos, F.J, L.Testi, and M.F. Moreno-Perez. 2009. Evaporation and canopy conductance of citrus orchards. Agri. Water Manag. 96:565-573.

Whitehead D., and C. Beadle. 2004. Physiological regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: a review. Forest Ecol. Manag. 193:113-140.

Wilson, K.B., P.J. Hanson, P.J. Mulholland, D.D. Baldocchi, and S.D. Wullschleger. 2001. A comparison of methods for determining forest evapotranspiration and its components: sap-flow, soil water budget, eddy covariance and catchment water balance. Agr. For. Meteorol. 106:153-168.

Wullschleger, S.T., F.C. Meinzer, and R.A. Vertessy 1998. A review of whole-plant water use studies in tree. Tree Physiol. 18:499-512.