วารสารวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้เมืองไทย 3 (1): 15-27 (2562)

นิพนธ์ต้นฉบับ

การประยุกต์ใช้เทคนิคความแปรปรวนร่วมแบบหมุนวนเพื่อประเมินการคายระเหยน้ำรายฤดูกาล ในป่าเต็งรังภาคเหนือ ประเทศไทย

Application of Eddy Covariance Technique on Estimation of Seasonal Evapotranspiration in Dry Dipterocarp Forest, Northern Thailand

เพ็ญฤดี คำสอน[1] รุ่งนภา แก้วทองราช[2] พิมพ์ศิริ สุวรรณพัฒน์[1,2] และ มนตรี แสนวังสี[1,2*]

รับต้นฉบับ: 20 พฤศจิกายน 2561 ฉบับแก้ไข: 15 มกราคม 2562 รับลงพิมพ์: 20 กุมภาพันธ์ 2562

ABSTRACT

Evapotranspiration (ET) play an important role for water and energy balance in the ecosystem. Understanding of ET pattern and precise estimation are needed for supporting decision-making in water resource and forested watershed management. This study aims to estimate seasonal ET in dry dipterocarp forest catchment, northern Thailand during January to December 2017 by eddy covariance technique. Results reveal the ET was 954.7 mm accounting for 90% of annual rainfall. The ET in wet and dry seasons were 54% and 36% of annual rainfall, respectively. The daily ET in wet and dry seasons were 3.1±0.6 and 2.1±0.5 mm day^{-1}. The soil water content and rainfall were the main factors regulating ET in the dry dipterocarp forest ecosystem.

Keyword: Ecosystem evapotranspiration, Eddy covariance method, Dipterocarp forest

บทคัดย่อ

การคายระเหยน้ำ (Evapotranspiration) เป็นรูปแบบหนึ่งของการไหลเวียนน้ำในระบบนิเวศซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อสมดุลน้ำและสมดุลพลังงาน การเข้าใจรูปแบบการคายระเหยน้ำและการประเมินที่ถูกต้องจึงมีความสำคัญ สำหรับใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจด้านการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำและป่าต้นน้ำ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการคายระเหยน้ำในพื้นที่ป่าเต็งรัง ซึ่งเป็นป่าต้นน้ำในภาคเหนือของประเทศไทย โดยศึกษาตั้งแต่เดือนมกราคมถึงธันวาคมในปี พ.ศ. 2560 ด้วยเทคนิคความแปรปรวนร่วมแบบหมุนวน (Eddy covariance technique) จากผลการศึกษาพบว่าการคายระเหยน้ำรายปีอยู่ที่ 954.7 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 89.5 ของปริมาณน้ำฝน โดยค่าการคายระเหยน้ำในช่วงฤดูฝนกับฤดูแล้ง คิดเป็นร้อยละ 54 และ 36 ของปริมาณน้ำฝน ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยรายวันในฤดูฝนและฤดูแล้งอยู่ที่ 3.1±0.6 และ 2.1±0.5 มิลลิเมตรต่อวัน ทั้งนี้ความชื้นในดินและปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมการคายระเหยน้ำในระบบนิเวศป่าเต็งรัง

คำสำคัญ: การคายระเหยน้ำของระบบนิเวศ วิธีความแปรปรวนร่วมแบบหมุนวน ป่าเต็งรัง

[1]วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000

[2]หน่วยวิจัยมลพิษบรรยากาศและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา 56000

*Corresponding author: E-mail: montri.sa@up.ac.th

บทนำ

การคายระเหยน้ำ (evapotranspiration; ET) มีความสำคัญยิ่งต่อสภาพอากาศและวัฏจักรอุทกวิทยา (hydrological cycles) (Mölders and Raabe, 1996) เนื่องจากเป็นองค์ประกอบสำคัญในสมดุลน้ำ (water balance) และสมดุลพลังงาน (energy balance) การคายระเหยน้ำประกอบด้วย 2 ส่วนประกอบหลัก คือ การระเหยน้ำ (evaporation) และการคายน้ำของพืช (transpiration) (Mölders and Raabe, 1996) ทั้งนี้การคายระเหยน้ำจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำและพลังงานแสงที่เข้ามาในระบบนิเวศ จากการศึกษาวิจัยในเขตแห้งแล้งพบว่าปริมาณการคายระเหยน้ำคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 95 ของปริมาณน้ำฝน (Branson et al., 1981; Huxman et al., 2005; Wilcox et al., 2003 ; Williams et al., 2004) ในขณะที่พื้นที่ป่าเขตร้อนในแถบอเมซอนมีค่าการคายระเหยน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 50 ถึง 90 ของปริมาณน้ำฝน (Carawell et al., 2002; da Rocha et al., 2004; Jipp et al., 1998; Malhi et al., 2002; Juárez et al., 2007) จากการศึกษาในข้างต้นแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของการคายระเหยน้ำในแต่ละพื้นที่ อีกทั้งการศึกษาส่วนใหญ่มาจากบริเวณแถบอเมซอน ในขณะที่พื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีระบบนิเวศที่หลากหลายและสภาพภูมิอากาศค่อนข้างแปรปรวนส่งผลให้กลไกการควบคุมการคายระเหยน้ำมีความซับซ้อน (Li et al., 2010) โดยเฉพาะในแถบอินโดเมียนมาร์ (Indo-Burma) ที่มีระบบนิเวศป่าเต็งรังเป็นแหล่งพื้นที่ต้นน้ำ หากแต่ยังมีการศึกษาไม่มากนัก

ดังนั้นการตรวจวัดการคายระเหยน้ำที่ถูกต้องจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการประเมินสภาพอากาศและอุทกวิทยาในระบบนิเวศ ซึ่งหากการตรวจวัดผิดพลาดจะส่งผลให้การประเมินสมดุลน้ำคลาดเคลื่อนได้ ด้วยเหตุนี้ที่ผ่านมาจึงได้มีการพัฒนาวิธีการตรวจวัดการคายระเหยน้ำแบบต่าง ๆ เช่น 1) วิธีถังวัดการใช้น้ำ (lysimeter) ซึ่งต้องชั่งน้ำหนักน้ำเป็นประจำทุกวัน 2) วิธีสมดุลน้ำในดิน (soil water balance) ซึ่งทำให้ทราบการระเหยน้ำของดินและข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับการสูญเสียน้ำในดิน (Eastham et al., 1988; Jaeger and Kessler, 1997; Jeevananda Reddy, 1983) 3) วิธีสมดุลน้ำ (catchment water balance) ประเมินจากองค์ประกอบของสมดุลน้ำ ค่าที่ได้จะเป็นเพียงข้อมูลเฉพาะรายปีและมีความคลาดเคลื่อนสูง (Bosch and Hewlett, 1982; Schellekens et al., 2000) 4) สัดส่วนของโบเวน (Bowen ratio) วิธีนี้จะไม่สามารถประเมินได้กรณีค่าการคายระเหยน้ำเข้าใกล้หนึ่ง และ 5) เทคนิคความแปรปรวนร่วมแบบหมุนวน (Eddy covariance technique) (Oliveira et al., 2015; Yaseef et al., 2009) จากวิธีทั้งหมดข้างต้นพบว่าเทคนิคความแปรปรวนร่วมแบบหมุนวนเป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อประเมินการคายระเหยน้ำที่มีความแม่นยำสูงเหมาะสำหรับใช้ในการบริหารจัดการน้ำ (Baldocchi, 2003; Foken and Wichura, 1996; Zhao et al., 2007) เนื่องจากสามารถศึกษาการคายระเหยน้ำได้แบบ real-time ทำให้ได้ข้อมูลที่มีความละเอียดสูง (da Rocha et al., 2009; Giambelluca et al., 2009; Santos et al., 2003)

ป่าเต็งรัง (Dry dipterocarp forest) เป็นหนึ่งในป่าต้นน้ำซึ่งพบได้เฉพาะทางตอนใต้ของจีน เวียดนาม ลาว กัมพูชา พม่าและไทย (Bunyavejchewin et al., 2011) ป่าเต็งรังส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ลักษณะภูมิประเทศค่อนข้างเป็นภูเขาซับซ้อน ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดินกักเก็บน้ำได้ไม่ดีนัก แต่ป่าเต็งรังกลับมีการหมุนเวียนธาตุอาหารและพลังงานอย่างรวดเร็วเมื่อมีความชื้นในดินเพียงพอ (Thaiutsa and Puangchit, 2004) ป่าเต็งรังมีการผลัดใบในช่วงฤดูแล้งเพื่อรักษาน้ำในลำต้นและจะผลิใบในช่วงเริ่มฤดูฝนจึงมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลและสภาพอากาศชัดเจน ซึ่งเป็นไปได้ว่าในอนาคตหากเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) การทำความเข้าใจและเรียนรู้การปรับตัวของระบบนิเวศป่าเต็งรัง รวมถึงบทบาทสำคัญในการช่วยรักษาสมดุล

ของน้ำในระบบนิเวศและการให้น้ำท่า (runoff) ผ่านการประเมินการคายระเหยน้ำด้วยเทคนิคที่ทันสมัยจึงเป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยคาดการณ์การสูญเสียน้ำในระบบนิเวศรวมถึงการปรับตัวของมนุษย์ให้สามารถอยู่อย่างสมดุลร่วมกับระบบนิเวศป่าไม้ได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการคายระเหยน้ำรายฤดูกาลและปัจจัยอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อการคายระเหยน้ำในระบบนิเวศป่าเต็งรัง โดยประยุกต์ใช้เทคนิคความแปรปรวนร่วมแบบหมุนวนตั้งแต่มกราคมถึงธันวาคมในปี พ.ศ. 2560

อุปกรณ์และวิธีการ

1. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาเป็นระบบนิเวศป่าเต็งรังในจังหวัดพะเยา ทางภาคเหนือของประเทศไทย (พิกัด 19°02' 14.38" N, 99°54' 10.96" E ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 512 เมตร) (Figure 1) พันธุ์ไม้เด่นที่พบ คือ เต็ง รัง พลวง และเหียง ตามลำดับ ความหนาแน่นของไม้หนุ่ม (เส้นผ่าศูนย์กลางระดับอก < 4.5 เซนติเมตร) และไม้ใหญ่ (เส้นผ่าศูนย์กลางระดับอก ≥ 4.5 เซนติเมตร) อยู่ที่ 600 และ1,821 ต้นต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ (Intanil et al., 2018) ข้อมูลพื้นฐานของสภาพอากาศในพื้นที่ศึกษาช่วงเวลา 4 ปี (พ.ศ. 2557-2560) มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 985 มิลลิเมตรต่อปี อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินเฉลี่ย 25 องศาเซลเซียส ความชื้นในดินเฉลี่ยร้อยละ 15 ของปริมาณน้ำในดินโดยปริมาตร (% volumetric water content; %VWC)

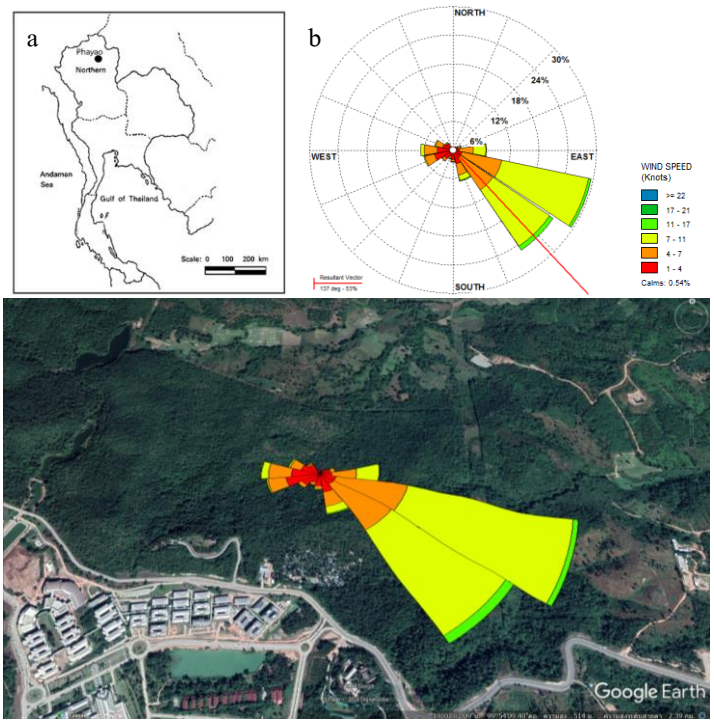

Figure 1. (a) Site location and (b) wind direction over eddy covariance tower is divided into 8 secondary-intercardinal directions and 5 radial wind data (i.e., 6%, 12%, 18%, 24% and 30%). Almost wind direction moved from South-East to North-West with average wind speed at 3 m s^{-1} (Data analyzed by WRPLOT view freeware version 7.0.0: Lakes Environmental Software)

2. การตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยา

2.1 สภาพอากาศ

ข้อมูลสภาพอากาศเก็บข้อมูลโดยติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดที่ระดับความสูง 36 เมตรจากพื้นดิน ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ (WXT520 weather transmitter; Campbell Scientific Inc. , USA) ปริมาณรังสีสุทธิ (NR01 net radiometer sensor; Campbell Scientific Inc., USA) และแรงดึงระเหยน้ำ (vapor pressure deficit; VPD) ในอากาศซึ่งบ่งชี้ความแห้งของอากาศ คำนวณโดยวิธี Allen et al. (1998) นอกจากนี้ได้เก็บข้อมูลดิน ได้แก่ อุณหภูมิดินและความชื้นในดินที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร ใต้ผิวดิน ซึ่งตรวจวัดด้วย soil thermocouple probe และ soil water content reflectometer รุ่น CS616 (Campbell Scientific Inc., USA) ข้อมูลทั้งหมดจะบันทึกทุก 10 นาที โดยอุปกรณ์เก็บข้อมูล (data logger รุ่น CR1000; Campbell Scientific Inc., USA)

2.2 การตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมินการคายระเหยน้ำด้วยเทคนิคความแปรปรวนร่วมแบบหมุนวน

เทคนิคการตรวจวัดความแปรปรวนร่วมแบบหมุนวน (eddy covariance) ประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดการแลกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ (EC150 open-path CO_2/H_2O analyzer; Campbell Scientific Inc., USA) ระหว่างบรรยากาศกับระบบนิเวศป่าเต็งรัง ติดตั้งควบคู่กับอุปกรณ์วัดความเร็วลม 3 ทิศทาง (3D-sonic anemometer CSAT3; Campbell Scientific Inc., USA) บนเสาตรวจวัดที่ระดับความสูง 42 เมตร จากพื้นดิน ข้อมูลตรวจวัดบันทึกที่ความถี่ 10 เฮิรตซ์ หรือ 10 ค่า ต่อ 1 วินาที ข้อมูลที่ตรวจวัดได้จะนำมาวิเคราะห์ค่าความร้อนแฝง (Latent heat; LE) ด้วยโปรแกรม EddyPro (version 6.2.1, LI-COR Bioscience) โดยในส่วนของ EddyPro ข้อมูลจะผ่านการวิเคราะห์และปรับแก้ไขทิศทางลมตามทฤษฎีด้วยการหมุนแกนทิศทางลม 2 ครั้ง (double rotation) และกำจัดข้อมูลที่ถูกรบกวน (despike) ด้วยวิธีการทางสถิติของ Vickers and Mahrt (1997) และปรับตั้งค่าความถูกต้องของความหนาแน่นอากาศด้วยวิธีของ Webb (1980) ถัดมาข้อมูลความร้อนแฝงเฉลี่ยทุก 30 นาที จากการวิเคราะห์ด้วย EddyPro จะถูกนำมาตัดข้อมูลขณะที่ผ่านการปรับแก้ร่วมกับคุณสมบัติของลมที่เหมาะสม (friction velocity (u*) มากน้อยกว่า 0.05 เมตรต่อวินาที) และข้อมูลขณะฝนตกออกไป ส่วนข้อมูลที่ขาดหายจะถูกเติมเต็มข้อมูล โดยในการศึกษานี้ค่าความร้อนแฝงที่หายไปคิดเป็นร้อยละ 42 จากข้อมูลที่ควรจะได้ในช่วง 1 ปี ซึ่งข้อมูลที่ขาดหายไปจะได้รับการเติมเต็มข้อมูล (gap filling) โดยกรณีที่ข้อมูลหายเล็กน้อย (2-3 ชั่วโมง) เติมข้อมูลจากค่าเฉลี่ยในรอบวัน กรณีที่ข้อมูลหายมากกว่า 1 สัปดาห์ เติมข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ยในรอบ 7 วัน สำหรับช่วงกลางวัน และ 14 วัน ในตอนกลางคืน (Wolf et al., 2011) ท้ายที่สุดค่าการคายระเหยน้ำจะประเมินจากค่าคงที่ของพลังงานความร้อนแฝงที่ทำให้น้ำความสูง 1 มิลลิเมตร พื้นที่ 1 ตารางเมตร ระเหยกลายเป็นไอใน 1 วัน โดยอ้างอิงจากค่าพลังงาน 2.45 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (Novák, 2012; Jones, 2013) และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยากับค่าการคายระเหยน้ำโดยใช้ความสัมพันธ์แบบ Pearson correlation และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม R (R core team 2017)

ผลและวิจารณ์

1. ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

ปริมาณน้ำฝนที่ประเมินได้ในปี พ.ศ 2560 เท่ากับ 1067.0 มิลลิเมตร โดยปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝนคิดเป็นร้อยละ 85.6 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี การศึกษานี้กำหนดช่วงฤดูฝนและ ฤดูแล้ง โดยอ้างอิงตาม Tanaka et al. (2008) ซึ่งแบ่งฤดูกาลโดยใช้ความแตกต่างของปริมาณและการกระจายตัวของน้ำฝนในหลายพื้นที่ของประเทศไทย พบว่าการกระจายตัวของฝนตามฤดูกาลมีความคล้ายคลึงกัน กล่าวคือฝนตก

ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม จึงกำหนดให้เป็นช่วงฤดูฝน ในขณะที่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายนซึ่งเป็นฤดูร้อน พบว่ามีปริมาณฝนน้อยอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับความชื้นในดินมีแนวโน้มสอดคล้องตามรูปแบบของฝน โดยมีค่าเฉลี่ยในรอบปีเท่ากับร้อยละ 17.9 ± 5.5 ของปริมาณน้ำในดินโดยปริมาตร ความชื้นดินในฤดูแล้งและฤดูฝนคิดเป็นร้อยละ 13.0±2.4 และ 22.7±2.0 ของปริมาณน้ำในดินโดยปริมาตร ตามลำดับ อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันที่ 24.4±2.2 และ 24.7±2.4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศสูงสุดและต่ำสุดรายวันเท่ากับ 30.96 และ 15.80 องศาเซลเซียส (Figure 2a และ Table 1) ปริมาณรังสีสุทธิอยู่ระหว่าง 74.5 ถึง 147.2 วัตต์ต่อตารางเมตรโดยรังสีสุทธิในฤดูแล้งน้อยกว่าฤดูฝนซึ่งมีค่า 98.8±21.1 และ 134.4±9.9 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ แรงดึงระเหยน้ำในฤดูฝนและฤดูแล้งทีค่าเท่ากับ 0.9±0.2 และ 1.4±0.5 กิโลปาสคาล (kilopascal; kPa) โดยที่ค่าเฉลี่ยรายวันอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 2.9 กิโลปาสคาลล (Figure 2a และ Table 1)

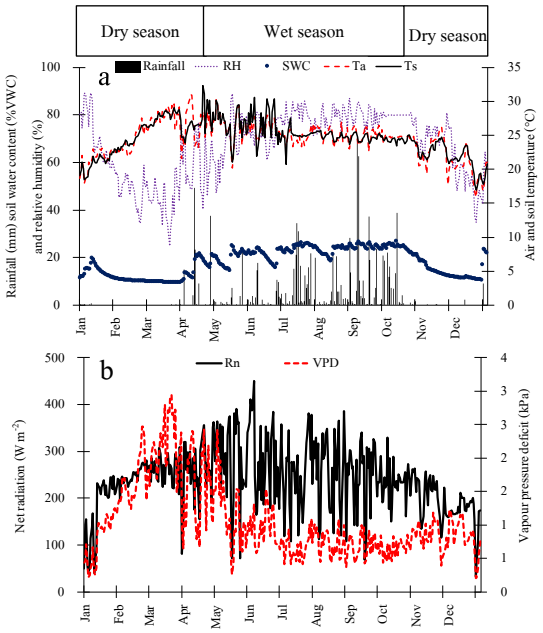

Figure 2. Daily microclimate variables in dipterocarp forest including (a) sum of rainfall (black bar graph) and average relative humidity (purple dotted line), soil water content (opaque circle), air and soil temperature (red dashed and black solid lines, respectively), and (b) average net radiation (blank solid lines) and vapor pressure deficit (red dashed line).

2. รูปแบบการคายระเหยน้ำในป่าเต็งรัง

การคายระเหยน้ำในพื้นที่ป่าเต็งรังในปี พ.ศ. 2560 เท่ากับ 954.7 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 89.5 ของปริมาณน้ำฝน โดยมีค่าการคายระเหยน้ำในช่วงฤดูฝนมากกว่าช่วงฤดูแล้งประมาณร้อยละ 20 เนื่องมาจากในฤดูแล้งป่าเต็งรังมักเกิดไฟป่า ต้นไม้ทิ้งใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำ และมีช่วงฤดูกาลเจริญเติบโต (growing season) ค่อนข้างสั้น การคายระเหยน้ำส่วนใหญ่ของป่าเต็งรังจึงมักเกิดขึ้นในช่วงฤดูฝนเมื่อมีความชื้นในดินที่เพียงพอ (Thaiutsa and Puangchit, 2004) อีกทั้ง Shi et al. (2008) รายงานว่าฝนตกในช่วงมรสุมทำให้ใบไม้จะมีการขยายตัวเต็มที่ประกอบกับอุณหภูมิอากาศเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการคายน้ำของต้นไม้ ดังนั้นการระเหยน้ำและการคายน้ำจึงน่าจะ

เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้การคายระเหยน้ำในฤดูฝนสูงกว่าฤดูแล้ง โดยการคายระเหยมีค่าต่ำสุดในเดือนมีนาคม และมีค่าสูงสุดในเดือนกรกฎาคม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 44.9±0.2 และ 104.2±0.6 มิลลิเมตร ตามลำดับ รูปแบบการคายระเหยน้ำรายวันแสดงดัง Figure 3a ซึ่งพบว่าเริ่มลดลงตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนและต่ำสุดในเดือนเมษายน เนื่องจากปริมาณน้ำฝนและความชื้นในดินค่อยๆลดลงจนถึงต่ำสุด (9.5 %VWC เดือนเมษายน) นอกจากนี้ยังพบว่าแรงดึงระเหยน้ำค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม (2.9 kPa) แปรผกผันกับความชื้นสัมพัทธ์ (Figure 2a-2b) ซึ่งสอดคล้องกับค่าการคายระเหยน้ำที่พบค่าต่ำสุดในเดือนมีนาคม (0.9 มิลลิเมตรต่อวัน) ในช่วงฤดูฝนเมื่อปริมาณน้ำฝนและความชื้นในดินเพิ่มขึ้นมีผลทำให้การคายระเหยน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนในช่วงรอบวันการคายระเหยน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 8.00 น. และสูงที่สุดเวลา 12.00 - 13.00 น. โดยมีอัตราการคายระเหยน้ำรายวันอยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 8.8 มิลลิเมตรต่อวัน คิดเป็นค่าเฉลี่ยรายปีอยู่ที่ 2.6±0.8 มิลลิเมตรต่อวัน ส่วนในฤดูฝนและฤดูแล้งค่าอยู่ที่ 3.1±0.6 และ 2.1±0.5 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ (Figure 3b) ใกล้เคียงกับการคายระเหยน้ำรายฤดูกาลของ Sanwangsri et al. (2017) ที่พบว่าในฤดูฝนและฤดูแล้งอยู่ที่ 3.6±0.4 และ 1.2±1.2 มิลลิเมตรต่อวัน

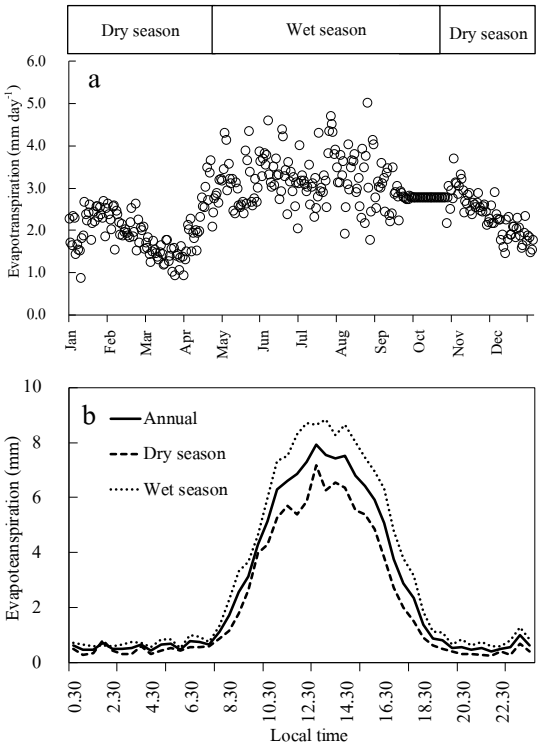

Figure 3. Evapotranspiration patterns in 2017 was estimated and showed as (a) daliy evapotranspiration during wet season (May to October) and dry season (November to Apil) and (b) diurnal evapotranspiration in 24 hours where evapotranspiration during wet season, dry season and annual representsed by dashed line, solid dashed line and solid line, respectively.

Table 1. Seasonal and annual microclimate variables consisting of sum of rainfall (P), average air temperature (Ta), soil temperature (Ts), soil water content (SWC), net radiation (Rn), vapor pressure deficit (VPD) and evapotranspiration (ET) (Mean ± standard variation (SD)

Climate variables	Season		Annual
	Wet season	Dry season	
P (mm)	913.7	153.4	1,067.1
Ta (ºC)	25.2±0.7	23.6±3.0	24.4±2.2
Ts (ºC)	24.7±1.4	23.8±3.0	24.2±2.4
SWC (%VWC)	22.7±2.0	13.0±2.4	17.9±5.5
Rn (W m^{-2})	134.4±9.9	98.8±21.1	116.6±24.2
VPD (kPa)	0.9±0.2	1.4±0.5	1.1±0.5
Total ET (mm)	573.4	381.3	954.7
Daily ET (mm day^{-1})	3.1±0.6	2.1±0.5	2.6±0.8

3. ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีบทบาทต่อการคายระเหยน้ำของป่าเต็งรัง

จากความสัมพันธ์ระหว่างการคายระเหยน้ำกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา พบว่าในฤดูแล้งความชื้นในดินมีอิทธิพลเชิงบวกกับค่าการคายระเหยน้ำโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.87 ($p < 0.05$) ในทางกลับกันค่าการคายระเหยน้ำแปรผกผันกับค่าแรงดึงระเหยน้ำ ในขณะที่ค่าการคายระเหยน้ำและปัจจัยอุตุนิยมวิทยาในช่วงฤดูฝนมีความสัมพันธ์ไม่ชัดเจน (Figure 4a-4c) โดย Li and Fu (2004) กล่าวว่าความสามารถของการคายระเหยน้ำของป่าในช่วงฤดูแล้งนั้นเป็นตัวขับเคลื่อนสำคัญต่อการเปลี่ยนฤดูกาลจากฤดูแล้งไปเป็นฤดูฝน ซึ่งได้รับการยืนยันจากการศึกษาการคายระเหยน้ำที่ป่าอเมซอนจำนวน 3 พื้นที่ของ Li and Fu (2004) และ Fu and Li (2004) ที่พบว่าการคายระเหยน้ำเพิ่มขึ้นก่อนเข้าสู่ฤดูฝน ในฤดูแล้งจึงเห็นการตอบสนองของการคายระเหยน้ำกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมอย่างชัดเจน อย่างไรตามเนื่องด้วยความชื้นดินขึ้นกับปริมาณน้ำฝน (Figure 2a) อีกทั้งการคายระเหยน้ำในป่าเต็งรังคิดเป็นร้อยละ 89.5 ของปริมาณน้ำฝนรวมทั้งปี ในปี พ.ศ. 2560 ดังนั้นในการศึกษานี้ความชื้นในดินและปริมาณน้ำฝนจึงเป็นปัจจัยที่มีบทบาทสำคัญต่อการคายระเหยน้ำในระบบนิเวศป่าเต็งรัง

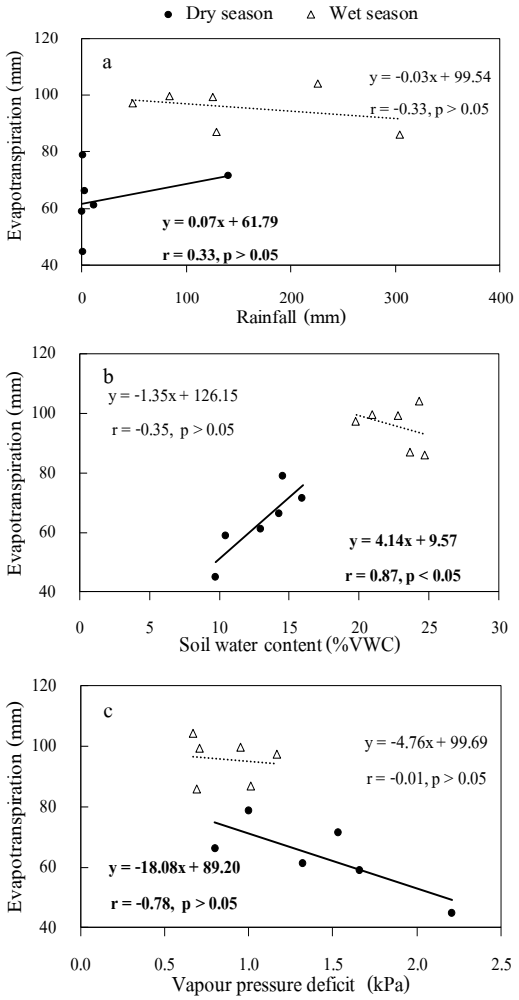

Figure 4. Relationship between monthly evapotranspiration of wet (triangle) and dry season (circles) with (a) rainfall (b) soil water content (c) vapor pressure deficit

โดยทั่วไปป่าเต็งรังผลัดใบในช่วงฤดูแล้งทำให้แสงส่องถึงพื้นดินได้โดยตรง ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการคายระเหยน้ำที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ในพื้นที่ศึกษามีการสูญเสียน้ำจากกระบวนการคายระเหยน้ำถึงร้อยละ 89.5 ของปริมาณน้ำฝน พบว่าสูงกว่าป่าชนิดอื่นๆ เมื่อเทียบจากการศึกษาการคายระเหยน้ำป่าดิบเขาซึ่งอยู่ที่ร้อยละ 54 (Tanaka et al., 2003) และร้อยละ 50 (Chunkao et al., 1982) ป่าฝนเขตร้อนร้อยละ 78 (Li et al., 2010) ป่าเบญจพรรณร้อยละ 65 (Tatsuhiko et al., 2007) และร้อยละ 64 ป่ามรสุมเขตร้อน (Kuricheva et al., 2015)

การที่ค่าการคายระเหยน้ำในฤดูฝนสูงกว่าในฤดูแล้ง ซึ่งนอกเหนือจากค่าการระเหยน้ำและการคายน้ำแล้ว ยังมีปริมาณน้ำพืชยึดเนื่องจากต้นไม้บางชนิดมีใบขนาดใหญ่ เช่น พลวง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในพื้นที่ศึกษา ซึ่งพบว่าพลวงมีดัชนีความสำคัญ (importance value index) มากที่สุด ถึงประมาณร้อยละ 80.5 (ข้อมูลยังไม่ได้ตีพิมพ์) อีกทั้งชนิดต้นไม้ในป่าเต็งรังมีเปลือกค่อนข้างหนา ทำให้มีโอกาสดูดยึดน้ำไว้ได้มาก (Chunkao et al., 1971) จากการศึกษาน้ำพืชยึดในป่าเต็งรังของ Chunkao et al. (1971) พบว่าสามารถสกัดกั้นน้ำไว้ได้มากกว่าร้อยละ 60 ของปริมาณน้ำฝน ป่าเต็งรังที่แม่หวด จ.ลำปาง น้ำ

พืชยึดอยู่ที่ร้อยละ 61 ของปริมาณน้ำฝน ในขณะที่ป่าชนิดอื่น เช่น ป่าดิบเขา ป่าดิบแล้ง อยู่ที่ร้อยละ 9 และ 4 ของปริมาณน้ำฝนตามลำดับ (นิพนธ์ ตั้งธรรม และคณะ, 2545) ซึ่งน้ำส่วนนี้ท้ายที่สุดจะถูกระเหยขึ้นไปบนบรรยากาศ ผลการศึกษายังมีความสอดคล้องกับการศึกษาในป่าเต็งรังที่กำลังฟื้นตัว (secondary forest) จังหวัดราชบุรี ซึ่งพบว่าการคายระเหยน้ำสูงถึงร้อยละ 95 ของปริมาณน้ำฝน (พ.ศ. 2552-2554) และค่าการคายระเหยน้ำในช่วงฤดูฝนสูงกว่าช่วงฤดูแล้งชัดเจน (Sanwangsri et al., 2017) อย่างไรก็ตามพบว่าค่าค่าการคายระเหยน้ำในป่าเต็งรังที่ราชบุรีสูงกว่าที่พะเยา ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะป่าที่ราชบุรีมีความหนาแน่นของต้นไม้สูงกว่า กล่าวคือ พื้นที่ศึกษามีไม้หนุ่มและไม้ใหญ่อยู่ที่ 600 และ 1,821 ต้นต่อเฮการ์ ตามลำดับ (Intanil et al., 2018) ขณะที่ป่าเต็งรัง จ. ราชบุรี มีความหนาแน่นของไม้หนุ่มและไม้ใหญ่ อยู่ที่ 2,586 และ 1,724 ต้นต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ (Hanpattankit et al., 2015) นอกจากนี้การศึกษาของ Yaseef et al. (2009) ยังพบว่าความหนักเบาและขนาดของเม็ดฝนมีผลต่อปริมาณการคายระเหยน้ำเช่นกัน โดยฝนที่มีขนาดเล็กสามารถค้างบนเรือนยอดได้มากกว่า และเมื่อผ่านชั้นเรือนยอดลงดินส่วนมากก็จะสะสมอยู่ในดินชั้นบน (top soil) เนื่องจากป่าเต็งรังมีชั้นดินที่ตื้น ดังนั้นน้ำฝนที่ตกลงมาส่วนใหญ่อาจเข้าสู่กระบวนการคายระเหยน้ำอย่างรวดเร็ว แตกต่างกับป่าดิบเขาที่มีชั้นดินที่ลึก มีซากพืชทับถมกันบนพื้นดินที่หนา รวมถึงมีเรือนยอดปกคลุมตลอดปีจึงสามารถกักเก็บน้ำในดินไว้ได้มากกว่าป่าเต็งรัง อย่างไรก็ตาม รายงานนี้ ได้นำเสนอข้อมูลการตรวจวัดระยะสั้นในช่วงเวลา 1 ปี ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ทราบการคายระเหยน้ำของป่าเต็งรังในเบื้องต้น นอกจากนี้ ทางทีมผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มความเข้าใจวงรอบการเปลี่ยนแปลงทางอุทกวิทยาในป่าเต็งรังให้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น

สรุปผล

การศึกษาการคายระเหยน้ำโดยเทคนิคความแปรปรวนร่วมแบบหมุนวนป่าเต็งรังปีในปี พ.ศ. 2560 พบว่าการคายระเหยน้ำรายปีอยู่ที่ 954.7 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 90 ของปริมาณน้ำฝน ในช่วงฤดูฝนกับฤดูแล้งการคายระเหยน้ำอยู่ที่ 573.4±7.4 และ 381.3±11.7 มิลลิเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 54 และ 36 ของปริมาณน้ำฝน ตามลำดับ โดยพบว่าปัจจัยสภาพอากาศที่มีอิทธิพลกับการคายระเหยน้ำคือ ความชื้นในดินและปริมาณน้ำฝน ซึ่งผลจากการตรวจวัดการคายระเหยน้ำโดยเทคนิคความแปรปรวนร่วมแบบหมุนวน การศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นรูปแบบการคายระเหยน้ำในรอบปี รายฤดูกาล และในรอบวันของระบบนิเวศป่าเต็งรังได้ โดยข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้ประกอบการศึกษาสมดุลน้ำและอุทกวิทยาเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการวางแผนบริหารจัดการทรัพยากรป่าไม้และน้ำได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสมาชิกกลุ่มวิจัยจุลอุตุนิยมวิทยา (Micrometeorology Laboratory; MiLab) วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา และขอบคุณงบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. 2562 มหาวิทยาลัยพะเยา ภายใต้โครงการ “การประเมินองค์ประกอบของสมดุลน้ำ (water balance) สมดุลพลังงาน (energy balance) และสมดุลคาร์บอน (carbon balance) ในระบบนิเวศป่าต้นน้ำลุ่มน้ำอิงตอนบน” ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

นิพนธ์ ตั้งธรรม ชัชชัย ตันตสิรินทร์ กุลธิดา แพทย์พันธุ์ และสมาน ณ ลำปาง. 2545. **รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่อง ปริมาณน้ำพืชยึดในสวนป่า ไม้โตเร็วต่างถิ่น บริเวณสถานีเกษตรหลวงอ่างขาง**. ฝ่ายวิจัย มูลนิธิโครงการหลวง.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. 1998. **Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements**-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO. Rome. 300(9): D05109.

Baldocchi, D. D. 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past. present and future. **Global change biology**. 9(4): 479-492.

Bosch, J. M., Hewlett, J. D. 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration**. J. Hydrol**., 55: 2-23.

Branson, F., Gifford, G., Renard, K. and Hadley, R. 1981. **Rangeland hydrology**. Society of Range Management. Range Science Series No. 1. In: Kendall/Hunt Publ. Co., Dubuque. Iowa.

Bunyavejchewin, S., Baker, P. and Davis, S. J. 2011. **Seasonally dry tropical forests in continental Southeast Asia – Structure. composition and dynamics**. Washington. DC: Smithsonian Institution Scholarly Press.

Carawell, F. E., Costa, A. L., Palheta, M., Malhi, Y., Meir, P., Costa, J. P. R., Ruivo, M. L., Leal, L. S. M., Costa, J. M. N., Clement, R. J. and Grace, J. 2002. Seasonality in CO_2 and H_2O flux at an eastern Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research**. 107(D20): 8076.

Chunkao, K., Tangtham, N., Boonywat, S., Niyom, W. and Suwannarat, R. 1982. **Watershed management research on mountainous land: Water balance in the hill evergreen forest Doi-Pui Chiangmai**. Research reports. Kasetsart University. Bangkok.

Chunkao, K., Thangtham, N. and Angkulpuldeekul, S. 1971. **Measurements of rainfall in carly wet season under hill- and dry-evergreen, natural teak and dry dipterocarp forests of Thailand**. Kog-Ma watershed Research 10. Kasetsart University. Bangkok.

da Rocha, H. R., Goulden, M. L., Miller, S. D., Menton, M. C., Pinto, L. D. V. O., Freitas, H. C. and Figueira, A. M. S. 2004. Seasonality of water and heat fluxes over a tropical forest in eastern Amazonia. **Ecological Applications**. 14: S22-S32.

da Rocha, H. R., Manzi, A. O., Cabral, O. M., Miller, S. D., Goulden, M. L., Saleska, S. R., R.-Coupe, N., Wofsy, S. C., Borma, L. S., Artaxo, P., Vourlitis, G., Nogueira, J. S., Cardoso, F. L., Nobre, A. D., Kruijt, B., Freitas, H. C., von Randow, C., Aguiar, R. G. and Maia, J. F. 2009. Patterns of water and heat flux across a biome gradient from tropical forest to savanna in Brazil**. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**. 114(G1).

Eastham, J., Rose, C. W., Cameron, D. M., Rance, S. J. and Talsma, T. 1988. The effect of tree spacing on evaporation from an agroforestry experiment. **Agricultural and Forest Meteorology**. 42: 355-368.

Foken, T. and Wichura, B. 1996. Tools for quality assessment of surface-based flux measurements. **Agricultural and Forest Meteorology**. 78(1-2): 83-105.

Fu, R., Li, W. 2004. The influence of the land surface on the transition from dry to wet season in Amazonia. **Theoretical and applied climatology**, 78(1-3): 97-110.

Giambelluca, T. W., Scholz, F. G., Bucci, S. J., Meinzer, F. C., Goldstein, G., Hoffmann, W. A., Franco, A. C. and Buchert, M. P. 2009. Evapotranspiration and energy balance of Brazilian savannas with

contrasting tree density. **Agricultural and Forest Meteorology**. 149(8): 1365-1376.

Hanpattanakit, P., Leclerc, M.Y., Mcmil-lan, A.M.S., Limtong, P., Maeght, J., Panuthai, S., Inubushi, K., Chidthaisong, A. 2015. Multiple timescale variations and con-trols of soil respiration in a tropical dry dipterocarp forest, western Thailand. **Plant Soil**, 390(1), 167-181

Huxman, T. E., Wilcox, B. P., Breshears, D. D., Scott, R. L., Snyder, K. A., Small, E. E., Hultine, K., Pockman, W. T. and Jackson, R. B. 2005. Ecohydrological implications of woody plant encroachment. **Ecology**. 86(2): 308-319.

Intanil, P., Sanwangsri, M., Boonpoke and A., Hanpattanakit, P. 2018. Contribution of Root Respiration to Soil Respiration during Rainy Season in Dry Dipterocarp Forest. Northern Thailand. **Applied Environmental Research**. 40(3): 19-27.

Jaeger, L. and Kessler, A. 1997. Twenty years of heat and water balance climatology at the Hartheim pine forest Germany. **Agricultural and Forest Meteorology**. 84(25-36).

Jeevananda Reddy, S. 1983. A simple method of estimating the soil water balance. **Agricultural Meteorology**. 28(1): 1-17.

Jipp, P. H., Nepstad, D. C., Cassel, D. K. and Carvalho, C. R. 1998. Deep soil moisture storage and transpiration in forests and pastures of seasonallydry Amazonia. **Climatic Change**. 39: 395-412.

Jones, H. G. (2013). **Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology**: Cambridge university press.

Juárez, R. I. N., Hodnett, M. G., Fu, R., Goulden, M. L., Von Randow, C. 2007. Control of dry season evapotranspiration over the Amazonian forest as inferred from observations at a southern Amazon forest site. **Journal of Climate**, 20(12): 2827-2839.

Kuricheva, O. A., Avilov, V. C., Dinh, D. B. and Kurbatova, J. A. 2015. Water cycle of a seasonally dry tropical forest (Southern Vietnam). **Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics**. 51(7): 693-711.

Li, W., Fu, R. 2004. Transition of the large-scale atmospheric and land surface conditions from the dry to the wet season over Amazonia as diagnosed by the ECMWF re-analysis. **Journal of Climate**, 17(13): 2637-2651.

Li, Z., Zhang, Y., Wang, S., Yuan, G., Yang, Y. and Cao, M. 2010. Evapotranspiration of a tropical rain forest in Xishuangbanna, southwest China. **Hydrological processes**. 24(17): 2405-2416.

Malhi, Y., Pegoraro, E., Nobre, A. D., Pereira, M. G. P., Grace, J., Culf, A. D. and Clement, R. 2002. Energy and water dynamics of a central Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research**. 107(D20): 8061.

Mölders, N., Raabe, A. 1996. Numerical investigations on the influence of subgrid-scale surface heterogeneity on evapotranspiration and cloud processes. **Journal of Applied Meteorology**. 35(6): 782-795.

Novák, V. 2012. **Evapotranspiration in the Soil-plant-atmosphere System**: Springer Science & Business Media.

Oliveira, P. T. S., Wendland, E., Nearing, M. A., Scott, R. L., Rosolem, R. and da Rocha, H. R. 2015. The water balance components of undisturbed tropical woodlands in the Brazilian cerrado. **Hydrology and Earth System Sciences**. 19(6): 2899-2910.

R core team. 2017. A Language and environment for statistical computing.

Santos, A., Silva, G., Miranda, H., Miranda, A. and Lloyd, J. 2003. Effects of fire on surface carbon, energy and water vapour fluxes over campo sujo savanna in central Brazil. **Functional Ecology**. 17(6): 711-719.

Sanwangsri, M., Hanpattanakit, P. and Chidthaisong, A. 2017. Variations of Energy Fluxes and Ecosystem Evapotranspiration in a Young Secondary Dry Dipterocarp Forest in Western Thailand. **Atmosphere**. 8(8): 152.

Shi, T. T., Guan, D. X., Wu, J. B., Wang, A. Z., Jin, C. J., Han, S. J. 2008. Comparison of methods for estimating evapotranspiration rate of dry forest canopy: Eddy covariance, Bowen ratio energy balance, and Penman-Monteith equation. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, 113(D19).

Tanaka, K., Takizawa, H., Tanaka, N., Kosaka, I., Yoshifuji, N., Tantasirin, C., Piman, S., Suzuki, M. and Tangtham, N. 2003. Transpiration peak over a hill evergreen forest in northern Thailand in the late dry season: Assessing the seasonal changes in evapotranspiration using a multilayer model. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**. 108(D17).

Tanaka, N., Kume, T., Yoshifuji, N., Tanaka, K., Takizawa, H., Shiraki, K., Tantasirin, C., Tangtham, N., Suzuki, M. 2008. A review of evapotranspiration estimates from tropical forests in Thailand and adjacent regions. **Agricultural and Forest Meteorology**, 148(5): 807-819.

Tatsuhiko, N., Akira, S., Naoki, K., Yoshio, T., Tayoko, K., Toshio, A., Makoto, A., Koji Tamai, Sophal, C. and Nang, K. 2007. Year-Round Observation of Evapotranspiration in an Evergreen Broadleaf Forest in Cambodia. **Springer**. Vo.1 No.5.

Thaiutsa, B. and Puangchit, L. 2004. **Management of Integrated Tropical Forest Ecosystems: experience from Mae Klong Watershed Research Station**. National Research Council of Thailand. Bangkok.

Vickers, D., Mahrt, L. Quality control and flux sampling problems for tower and aircraft data. **Journal of the Atmospheric Sciences**. Ocean Technol. 1997, 14, 512–526.

Webb, E.K., Pearman, G.I. and Leuning, R. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapor transfer. Q. **J. R. Meteorol. Soc**. 1980, 106, 85–100.

Wilcox, B., Breshears, D. and Seyfried, M. 2003. The water balance on rangelands, Encyclopedia of Water Science, edited by: Stewart, BA and Howell, TA. **Encyclopedia of water science**: 791-802.

Williams, D., Cable, W., Hultine, K., Hoedjes, J., Yepez, E., Simonneaux, V., Er-Raki, S., Boulet, G., De Bruin, H. and Chehbouni, A. 2004. Evapotranspiration components determined by stable isotope sap flow and eddy covariance techniques. **Agricultural and Forest Meteorology** 125(3-4): 241-258.

Wolf, S., Eugster, W., Potvin, C. and Buchmann, N. 2011. Strong seasonal variations in net ecosystem CO_2 exchange of a tropical pasture and afforestation in Panama. **Agricultural and Forest Meteorology**. 151(8): 1139-1151.

Yaseef, N. R., Yakir, D., Rotenberg, E., Schiller, G. and Cohen, S. 2009. Ecohydrology of a semi-arid forest: partitioning among water balance components and its implications for predicted

precipitation changes. **Ecohydrology and Hydrobiology**. 3: 143-154.

Zhao, F.-H., Yu, G.-R., Li, S.-G., Ren, C.-Y., Sun, X.-M., Mi, N., Li, J. and Ouyang, Z. 2007. Canopy water use efficiency of winter wheat in the North China Plain. **Agricultural water management**. 93(3): 99-108.