J 4446

Thai J. For. 32 (3) : 74-85 (2013) วารสารวนศาสตร์ 32 (3) : 74-85 (255

นิพนธ์ต้นฉบับ

แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อประมาณค่าการคายระเหยน้ำของป่าดิบเขา บริเวณลุ่มน้ำห้วยคอกม้า ดอยปุย จังหวัดเชียงใหม่; 2. การประเมินผลกระทบที่เป็นไปได้จากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

Mathematical Models for Estimating Evapotranspiration of a Hill Evergreen Forest at Kog Ma Watershed, Doi Pui, Chiang Mai Province; 2. Determining Probable Effects of Land Use Change

วิภารัตน์ ทองเด็จ
ชัชชัย ตันตสิรินทร์
สคาร ทีจันทึก

Wiparat Thongdet
Chatchai Tantasirin
Sakhan Teejuntuk

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand
E-mail: talparat@hotmail.com

รับต้นฉบับ 7 สิงหาคม 2555 รับลงพิมพ์ 20 กันยายน 2555

ABSTRACT

An application was studied of a mathematical model coupling the Penman, Penman-Monteith and Rutter's models to estimate the probable effect on the evapotranspiration process of converting a hill evergreen forest in Huai Kog Ma, Doi Pui, Chiang Mai province, northern Thailand to agricultural area. Related model parameters including the maximum stomatal conductance (C^*_{leaf}), leaf area index (LAI), initial canopy drainage rate (Ds), canopy drainage coefficient (b), maximum canopy storage (S), vegetation height (Z) and crown cover (p) were adjusted based on an assigned scenario. It was found that C^*_{leaf}, LAI, and p were more sensitive to a change in evapotranspiration than the other parameters. When either C^*_{leaf} or LAI were increased, the transpiration increased, resulting in higher evapotranspiration. The average rate of change of both parameters was similar (2.44%). The opposite result was found if C^*_{leaf} and LAI were decreased, which resulted in an average rate of change equal to 2.71 and 2.54 percent, respectively. Increasing Ds or b resulted in higher evapotranspiration with an average rate of change of 0.42 and 0.41 percent, respectively and a decrease resulted in average rates of change of 0.94 and 0.62 percent, respectively. When S was increased, the average rate of evapotranspiration change was equal to 0.36 while when S was decreased the value was 0.46 percent. Evapotranspiration decreased if the vegetation height and crown cover were reduced, with the average rate of change being 0.38 and 1.97 percent, respectively. Based on the previous results, if a hill evergreen forest is changed

to an agricultural area where C^*_{leaf} is higher while the LAI, vegetation height and crown cover are lower, then evapotranspiration will decrease.

Keywords: evapotranspiration, mathematic model, Huai Kog Ma watershad, hill evergreen forest, land use change

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่รวมแบบจำลองของ Penman, Penman - Monteith และ Rutter ประเมินผลกระทบต่อกระบวนการคายระเหยน้ำที่อาจจะเกิดขึ้นได้จากการเปลี่ยนแปลงป่าดิบเขาบริเวณลุ่มน้ำห้วยคอกม้า ดอยปุย จังหวัดเชียงใหม่ไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรม โดยทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้แก่ สภาพนำของปากใบสูงสุด (C^*_{leaf}) ดัชนีพื้นที่ผิวใบ (LAI) การระบายน้ำจากเรือนยอดเริ่มแรก (Ds) สัมประสิทธิ์การระบายน้ำจากเรือนยอด (b) สมรรถนะการกักเก็บน้ำของเรือนยอด (S) ความสูงของเรือนยอด (Z) และการปกคลุมของเรือนยอด (p) ตามภาพเหตุการณ์ที่กำหนดขึ้น ผลการศึกษาพบว่า พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณการคายระเหยน้ำมาก คือ C^*_{leaf} LAI และ p โดยเมื่อ C^*_{leaf} และ LAI เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการคายน้ำของพืชมีค่าสูงขึ้น และทำให้การคายระเหยน้ำเพิ่มขึ้น มีอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันคือร้อยละ 2.44 และมีผลในลักษณะตรงข้าม คือเฉลี่ยลดลงร้อยละ 2.71 และ 2.54 ตามลำดับ ส่วนการเพิ่มขึ้นของค่า Ds และ b มีผลทำให้การคายระเหยน้ำเพิ่มขึ้นในอัตราเฉลี่ยร้อยละ 0.42 และ 0.41 ตามลำดับ และมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.94 และ 0.62 ตามลำดับในลักษณะตรงกันข้าม การเพิ่มขึ้นของค่า S ทำให้การคายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นคิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ย เท่ากับร้อยละ 0.36 และ 0.46 ในลักษณะตรงกันข้าม พื้นที่ที่มีความสูงและการปกคลุมของเรือนยอดน้อยลง การคายระเหยจะน้ำลดลง คิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.38 และ 1.97 ตามลำดับ และเมื่อนำผลการศึกษาดังกล่าวมาพิจารณาความเป็นไปได้ของการเปลี่ยนป่าดิบเขาไปเป็นพื้นที่เกษตร ซึ่งโดยทั่วไปพื้นที่เกษตรมีค่า C^*_{leaf} ที่มากกว่า และมีค่า LAI ความสูงและการปกคลุมของเรือนยอดน้อยกว่า ส่งผลให้ปริมาณการคายระเหยน้ำของพื้นที่เกษตรมีน้อยกว่าพื้นที่ป่าดิบเขา

คำสำคัญ: การคายระเหยน้ำ แบบจำลองคณิตศาสตร์ ลุ่มน้ำห้วยคอกม้า ป่าดิบเขา การเปลี่ยนแปลงใช้ที่ดิน

คำนำ

พื้นป่าดิบเขาเป็นพื้นที่ที่ต้นน้ำลำธารที่สำคัญทางภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นที่ภูเขาสูงชัน มีลักษณะพิเศษคือเป็นแหล่งเก็บกักน้ำตามธรรมชาติและปลดปล่อยน้ำลงสู่พื้นที่ทางตอนล่างให้ใช้ได้ตลอดทั้งปี ในอดีตที่ผ่านมาป่าดิบเขาถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรมเป็นจำนวนมาก และมีแนวโน้มที่จะถูกบุกรุกต่อไป ทั้งนี้เนื่องจากประชากรในพื้นที่ต้นน้ำยังคงมีความต้องการขยายพื้นที่ทำกินเพื่อทำการเกษตรในเชิงพานิชย์มากยิ่งขึ้น และใช้พื้นที่อย่างผิดวิธีต่อไป ซึ่งเป็นการส่งผลกระทบต่อกระบวนการทางอุทกวิทยา โดยเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียน้ำจากกระบวนการคายระเหยน้ำ ที่ผ่านมาในอดีตการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อกระบวนการดังกล่าวโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ยังมีน้อย หากได้มีการดำเนินการศึกษาวิจัยดังกล่าว จะทำให้เกิดความเข้าใจถึงกลไกของผลกระทบได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น ดังนั้นการศึกษาวิจัยนี้จึงนำแบบจำลองที่ชัชชัย และวิภารัตน์ (2556) ได้พัฒนาขึ้น

มาทดลองใช้ประเมินผลกระทบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อการคายระเหยน้ำ ทั้งนี้เพื่อแสดงให้เห็นถึงแนวทางในการนำแบบจำลองการคายระเหยน้ำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น และสามารถนำวิธีการดังกล่าวไปใช้เป็นเครื่องมือในการกำหนดนโยบายในการจัดการลุ่มน้ำในอนาคตได้ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

การศึกษาวิจัยนี้เลือกพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยคอกม้า ดอยปุย ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่องมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2508 โดยปัจจุบันมีการดำเนินการภายใต้โครงการวิจัยร่วมระหว่างคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กับคณะวิทยาศาสตร์การเกษตรและชีวิต มหาวิทยาลัยโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น

การเก็บรวบรวมข้อมูล

รวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่ตรวจวัดระหว่างปี พ.ศ. 2551 เพื่อนำมาศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อการคายระเหยน้ำ โดยใช้แบบจำลองที่ได้จากผลการศึกษาของ ชัชชัยและวิภารัตน์ (2556) ดังนี้

1. ข้อมูลการตกของฝน (rainfall) จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดน้ำฝนมาตรฐานแบบบันทึกอัตโนมัติชนิดถ้วยกระดก (tipping bucket) ขนาด 8 นิ้ว จำนวน 1 เครื่อง ที่ติดตั้งไว้บริเวณเหนือเรือนยอดพืชในพื้นที่ศึกษา บนหอคอยตรวจวัดอากาศสูงประมาณ 50 เมตร

2. ข้อมูลปัจจัยแวดล้อม ที่ตรวจวัดและบันทึกด้วยเครื่องอัตโนมัติ บริเวณหอคอยตรวจวัดอากาศ ได้แก่ ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ความดันบรรยากาศ รังสีดวงอาทิตย์คลื่นสั้นและรังสีดวงอาทิตย์สุทธิ

การวิเคราะห์ข้อมูล

การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อการคายระเหยน้ำ มีรายละเอียดดังนี้

1. นำข้อมูลต่างๆ ราย 30 นาที ดังกล่าวข้างต้น ของแต่ละเดือนที่มีข้อมูลสมบูรณ์ครบถ้วน ตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงกันยายน เข้าสู่แบบจำลอง

2. ประมาณค่าปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอด น้ำพืชยึด การคายน้ำ และการคายระเหยน้ำ โดยใช้พารามิเตอร์ที่ได้จากผลการศึกษาของชัชชัยและวิภารัตน์ (2556)

3. กำหนดค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองตามลักษณะของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่จำลองภาพเหตุการณ์ (scenario) ขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากยังไม่มีผลการศึกษาที่ชัดเจนในประเทศไทยว่า พืชเกษตรต่างๆ มีค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษานี้อย่างไร จึงทดลองกำหนดค่า 2 ลักษณะคือ เมื่อเปลี่ยนเป็นพื้นเกษตรที่มีค่าพารามิเตอร์สูงกว่าและต่ำกว่าของป่าดิบเขา ดังนี้

3.1 กรณีพื้นที่ป่าดิบเขาถูกเปลี่ยนเป็นพื้นที่เกษตรที่มีค่าสภาพนำของปากใบสูงสุด (maximum stomatal conductance; C^{*}_{leaf}) จากเดิมเท่ากับ 0.4168 เพิ่มขึ้นและลดลงร้อยละ 5 10 15 และ 20 ตามลำดับ

3.2 กรณีพื้นที่ป่าดิบเขาถูกเปลี่ยนเป็นพื้นที่เกษตรที่มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ (leaf area index; LAI) จากเดิมเท่ากับ 5.2 เพิ่มขึ้นและลดลงร้อยละ 5 10 15 และ 20 ตามลำดับ

3.3 กรณีพื้นที่ป่าดิบเขาถูกเปลี่ยนเป็นพื้นที่เกษตรที่มีค่าการระบายน้ำจากเรือนยอดเริ่มแรก (Ds) จากเดิมเท่ากับ 0.9607 เพิ่มขึ้นและลดลงร้อยละ 5 10 15 และ 20 ตามลำดับ

3.4 กรณีพื้นที่ป่าดิบเขาถูกเปลี่ยนเป็นพื้นที่เกษตรที่มีค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำจากเรือนยอด (b) จากเดิมเท่ากับ 0.1607 เพิ่มขึ้นและลดลงร้อยละ 5 10 15 และ 20 ตามลำดับ

3.5 กรณีพื้นที่ป่าดิบเขาถูกเปลี่ยนเป็นพื้นที่เกษตรที่มีค่าสมรรถนะการกักเก็บน้ำของเรือนยอด (S) จากเดิมเท่ากับ 0.7179 เพิ่มขึ้นและลดลงร้อยละ 5 10 15 และ 20 ตามลำดับ

3.6 กรณีพื้นที่ป่าดิบเขาถูกเปลี่ยนเป็นพื้นที่เกษตรที่มีความสูงของเรือนยอด (Z) จากเดิมเท่ากับ 33 เมตร ลดลงร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 ตามลำดับ

3.7 กรณีพื้นที่ป่าดิบเขาถูกเปลี่ยนเป็นพื้นที่เกษตรที่มีการปกคลุมของเรือนยอด (p) จากเดิมเท่ากับร้อยละ 80 ลดลงเหลือร้อยละ 70 60 50 40 และ 30 ตามลำดับ

4. ประมาณค่าการคายระเหยน้ำ และค่าอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยใช้แบบจำลองตามภาพเหตุการณ์ตามภาพเหตุการณ์ที่กำหนด

ผลและวิจารณ์

ปริมาณการคายระเหยน้ำจากแบบจำลอง

การประมาณค่าการคายระเหยน้ำจากแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลราย 30 นาที ปีพ.ศ. 2551 ของแต่ละเดือนได้ผลดัง Figure 1 และ Table 1 พบว่า ปริมาณการคายระเหยน้ำมีค่าสูง 2 ช่วง คือ เดือนพฤษภาคม มีค่าประมาณ 129 มิลลิเมตร และเดือนสิงหาคม มีประมาณ 119 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำจากแต่ละกระบวนการพบว่า ช่วงปลายฤดูแล้งคือเดือนมีนาคม และต้นฤดูฝนคือเดือนเมษายน ปริมาณการคายน้ำสูง คือมีค่าประมาณ 100 และ 95 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณน้ำพืชยืดมีค่าต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณฝนที่ตกยังมีน้อย แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงกลางฤดูฝนปริมาณน้ำพืชยืดมีค่าสูงขึ้นแต่ปริมาณการคายน้ำลดลงเพราะสภาพท้องฟ้าปกคลุมด้วยเมฆ

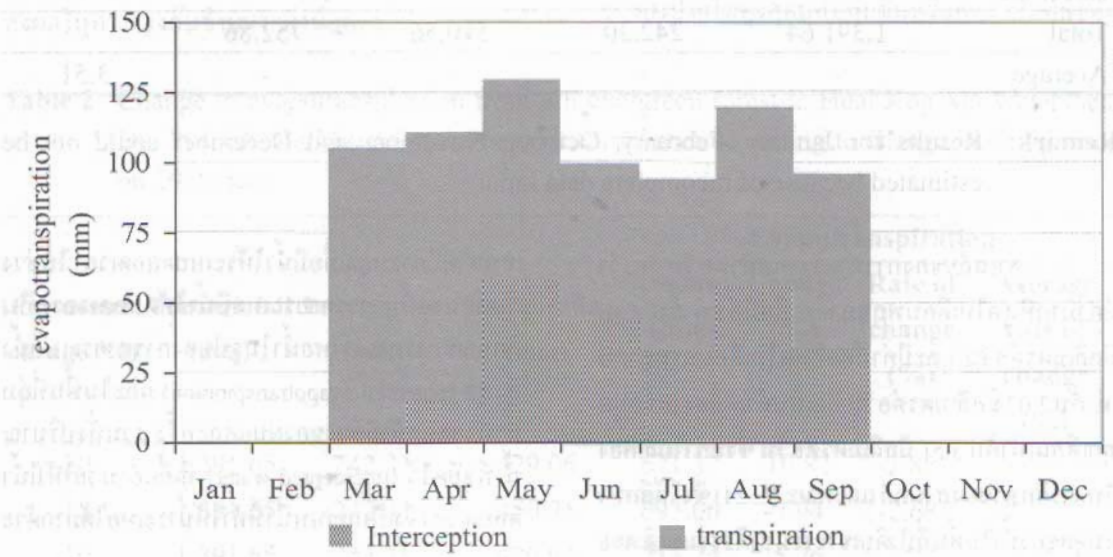

Figure 1 Evapotranspiration derived from developed model in Huai Kog Ma Watershed, Doi Pui, Chiang Mai province based on 2008 data.

Table 1 Evapotranspiration derived from developed model in Huai Kog Ma Watershed, Doi Pui, Chiang Mai province based on 2008 data.

Month	Through fall	Intercepted water	Transpiration	Evapotranspiration (Intercepted water+Transpiration)	
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm/day)
January	-	-	-	-	-
February	-	-	-	-	-
March	24.19	4.31	100.57	104.88	3.38
April	96.57	15.49	95.14	110.63	3.69
May	294.37	57.76	71.23	128.99	4.16
June	115.71	43.01	56.01	99.02	3.30
July	142.29	32.44	61.31	93.75	3.02
August	394.02	55.81	63.64	119.45	3.85
September	324.49	33.48	62.66	96.14	3.20
October	-	-	-	-	-
November	-	-	-	-	-
December	-	-	-	-	-
Total	1,391.64	242.30	510.56	752.86	-
Average	-	-	-	-	3.51

Remark: Results for January, February, October, November and December could not be estimated because of incomplete data input

ค่าเฉลี่ยของการคายระเหยน้ำต่อวัน พบว่ามีค่ามากที่สุดในเดือนพฤษภาคม คือมีค่าเท่ากับ 4.16 มิลลิเมตรต่อวัน และมีค่าน้อยที่สุดในเดือนกรกฎาคม เท่ากับ 3.02 มิลลิเมตรต่อวัน คิดเป็นค่าเฉลี่ยจากข้อมูลทุกเดือนเท่ากับ 3.51 มิลลิเมตรต่อวัน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของสามัคคี และคณะ (2524) ซึ่งได้ศึกษาสมดุลของน้ำในพื้นที่ป่าดิบเขาธรรมชาติธรรมชาติ ดอยปุย เชียงใหม่ พบว่า การคายระเหยน้ำเฉลี่ย 1,036.60 มิลลิเมตรต่อปี หรือเท่ากับ 86.40 มิลลิเมตรต่อเดือนหรือมีค่าเท่ากับ 2.80 มิลลิเมตรต่อวัน โดยมีการแปรผันอยู่ระหว่าง 0.72-4.84 มิลลิเมตรต่อวัน สามัคคี และคณะ (2524) ยังพบว่าการคายระเหยน้ำมีมากที่สุดในเดือนกันยายน ซึ่งเป็นเดือนที่ฝนตกมากที่สุด ซึ่งผู้ศึกษาได้อธิบายว่า อาจเป็นไปได้ว่าการคายระเหยน้ำจะเกิดขึ้นเสมอไม่มีการหยุดเมื่อมีน้ำให้ระเหยตลอดเวลา ในช่วงฝนตกมากนั้น การคายระเหยมีน้ำให้ตลอดเวลา เป็นลักษณะการคายระเหยน้ำในรูปของการคายระเหยน้ำสูงสุด (potential evapotranspiration) และในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยคอกม้ามีช่วงของฝนแต่ละครั้ง รวมทั้งปริมาณน้ำพืชยึดไว้ (intercepted water) ที่เอื้ออำนวยให้มีน้ำตลอดเวลา จึงเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้น้ำระเหยได้มากด้วย

การประยุกต์แบบจำลองประเมินผลกระทบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อการคายระเหยน้ำ

การศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อการคายระเหยน้ำ กรณีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากป่าดิบเขาเป็นพื้นที่เกษตร โดยใช้ข้อมูลราย 30 นาที ปี พ.ศ. 2551 ได้ผลการศึกษาดัง Table 2 ถึง Table 8 มีรายละเอียดดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากป่าดิบเขาเป็นพื้นที่เกษตรที่มีค่าสภาพนำของปากใบสูงสุดจากเดิมเท่ากับ 0.4168 เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 10 15 และ 20 ดัง Table 2 ส่งผลต่อการคายน้ำของพืชมีค่าสูงขึ้น และทำให้การคายระเหยน้ำโดยรวมเพิ่มขึ้น ซึ่งจากเดิมมีค่ารวมตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงกันยายนเท่ากับ 752.86 มิลลิเมตร เพิ่มเป็น 772.32 790.41 808.99 และ 826.39 มิลลิเมตร ตามลำดับ หรือเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 2.59 4.90 7.46 และ 9.77 ตามลำดับ หรือคิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.44 ส่วนการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่เกษตรที่มีค่าสภาพนำของปากใบสูงสุดลดลงร้อยละ 5 10 15 และ 20 ส่งผลต่อการคายน้ำของพืชมีค่าลดลง และทำให้การคายระเหยน้ำโดยรวมลดลง เป็น 733.84 713.24 693.06 และ 671.37 มิลลิเมตร ตามลำดับ หรือคิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยลดลงร้อยละ 2.71 ทั้งนี้เนื่องจากค่าสภาพนำของปากใบสูงสุดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการคายน้ำผ่านปากใบได้มากยิ่งขึ้น และส่งผลในทางตรงกันข้ามหากค่านี้ลดลง

2. การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากป่าดิบเขาเป็นพื้นที่เกษตรที่มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจากเดิมเท่ากับ 5.20 เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 10 15 และ 20 ดัง Table 3 ส่งผลต่อการคายน้ำของพืชมีค่าสูงขึ้น และทำให้การคายระเหยน้ำโดยรวมเพิ่มขึ้น เป็น 772.16 790.41 808.87 และ 826.39 มิลลิเมตร ตามลำดับ หรือเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 2.56 4.99 7.44 และ 9.77 ตามลำดับ หรือคิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.44 ส่วนการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่เกษตรที่มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบลดลงร้อยละ 5 10 15 และ 20 ส่งผลต่อการคายน้ำของพืชมีค่าลดลง และทำให้การคายระเหยน้ำโดยรวมลดลง เป็น 733.69 713.24 692.93 และ 676.46 มิลลิเมตร ตามลำดับ หรือคิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยลดลงร้อยละ 2.54 ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มของพื้นที่ใบมีผลทำให้ค่าสภาพนำของเรือนยอดซึ่งคำนวณจากค่าสภาพนำของปากใบสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงสัมพันธ์กัน

Table 2 Change in evapotranspiration from hill evergreen forest in Huai Kog Ma Watershed, Doi Pui, Chiang Mai province to agricultural area according to change in C^*_{leaf} based on 2008 data.

Parameter change (%)	Through fall (mm)	Interception (mm)	Transpiration (mm)	Evapotranspiration Amount (mm)	Change (%)	Rate of change (%)	Average rate of change (%)
-20	1,391.65	242.31	429.06	671.37	-10.82	-2.88	
-15	1,391.65	242.31	450.75	693.06	-7.94	-2.68	
-10	1,391.65	242.31	470.93	713.24	-5.26	-2.74	
-5	1,391.65	242.31	491.53	733.84	-2.53	-2.53	-2.71
0	1,391.65	242.31	510.56	752.86	0.00	-	
5	1,391.65	242.31	530.01	772.32	2.59	2.59	
10	1,391.65	242.31	548.10	790.41	4.99	2.40	
15	1,391.65	242.31	566.68	808.99	7.46	2.47	
20	1,391.65	242.31	584.08	826.39	9.77	2.31	2.44

Table 3 Percentage change in evapotranspiration from hill evergreen forest in Huai Kog Ma Watershed, Doi Pui, Chiang Mai province to agricultural area according to change in LAI based on 2008 data.

Parameter change (%)	Through fall (mm)	Interception (mm)	Transpiration (mm)	Evapotranspiration			
				Amount (mm)	Change (%)	Rate of change (%)	Average rate of change (%)
-20	1,391.65	242.31	434.15	676.46	-10.15	-2.19	
-15	1,391.65	242.31	450.62	692.93	-7.96	-2.70	
-10	1,391.65	242.31	470.93	713.24	-5.26	-2.72	
-5	1,391.65	242.31	491.38	733.69	-2.55	-2.55	-2.54
0	1,391.65	242.31	510.56	752.86	0.00	-	
5	1,391.65	242.31	529.86	772.16	2.56	2.56	
10	1,391.65	242.31	548.10	790.41	4.99	2.42	
15	1,391.65	242.31	566.56	808.87	7.44	2.45	
20	1,391.65	242.31	584.08	826.39	9.77	2.33	2.44

3. การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากป่าดิบเขาเป็นพื้นที่เกษตรที่มีค่าการระบายน้ำจากเรือนยอดเริ่มแรกจากเดิมเท่ากับ 0.9607 เพิ่มขึ้นร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ดัง Table 4 ส่งผลต่อปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอดที่เพิ่มขึ้นและปริมาณน้ำพืชยืดลดลง ทำให้การคายระเหยน้ำโดยรวมลดลง เป็น 748.09 745.90 741.22 และ 740.13 มิลลิเมตร ตามลำดับ หรือลดลงประมาณร้อยละ 0.63 0.92 1.55 และ 1.69 ตามลำดับ หรือคิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.42 ส่วนการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่เกษตรที่มีค่าการระบายน้ำจากเรือนยอดเริ่มแรกลดลงร้อยละ 5 10 15 และ 20 ส่งผลต่อปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอดที่ลดลงและปริมาณน้ำ

Table 4 Percentage change in evapotranspiration from hill evergreen forest in Huai Kog Ma Watershed, Doi Pui, Chiang Mai province to agricultural area according to change in Ds based on 2008 data.

Parameter change (%)	Through fall (mm)	Interception (mm)	Transpiration (mm)	Evapotranspiration			
				Amount (mm)	Change (%)	Rate of change (%)	Average rate of change (%)
-20	1,324.72	270.70	510.56	781.26	3.77	1.03	
-15	1,340.94	262.96	510.56	773.51	2.74	1.32	
-10	1,359.80	252.98	510.56	763.54	1.42	0.12	
-5	1,369.53	252.10	510.56	762.65	1.30	1.30	0.94
0	1,391.65	242.31	510.56	752.86	0.00	-	
5	1,405.55	237.53	510.56	748.09	-0.63	-0.63	
10	1,416.23	235.35	510.56	745.90	-0.92	-0.29	
15	1,432.82	230.66	510.56	741.22	-1.55	-0.62	
20	1,446.83	229.58	510.56	740.13	-1.69	-0.14	-0.42

พืชยึดเพิ่มขึ้น และทำให้การคายระเหยน้ำโดยรวมเพิ่มขึ้นเป็น 762.65 763.54 773.51 และ 781.26 มิลลิเมตร ตามลำดับ หรือคิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.94 ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มของค่าการระบายน้ำจากเรือนยอดเริ่มแรก คือลักษณะที่ผิวใบมีความต้านทานน้อยลง เช่น มีใบเรียบและลื่นมากขึ้น มีผลทำให้การระบายน้ำจากเรือนยอดมีอัตราสูงขึ้น ปริมาณน้ำที่เหลือค้างบนเรือนยอดลดลง ทำให้มีน้ำที่ระเหยจากเรือนยอดลดลง ส่งผลให้การคายระเหยน้ำลดลง และส่งผลในทางตรงกันข้ามหากค่านี้ลดลง ซึ่งเป็นลักษณะที่พืชมีผิวใบที่ขรุขระหรือมีขนมากขึ้น อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลต่อปริมาณการคายระเหยน้ำไม่มากนักเมื่อเทียบกับพารามิเตอร์อื่นๆ

4. การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากป่าดิบเขาเป็นพื้นที่เกษตรที่มีค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำจากเรือนยอดจากเดิมเท่ากับ 0.1607 เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 10 15 และ 20 ดัง Table 5 ส่งผลในลักษณะเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงค่าการระบายน้ำจากเรือนยอดเริ่มแรก คือ ปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอดเพิ่มขึ้นและปริมาณน้ำพืชยึดลดลง ทำให้การคายระเหยน้ำโดยรวมลดลงเป็น 747.58 745.29 742.01 และ 740.40 มิลลิเมตร ตามลำดับ หรือลดลงประมาณร้อยละ 0.70 1.01 1.44 และ 1.66 ตามลำดับ หรือคิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.41 ส่วนการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่เกษตรที่มีค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำจากเรือนยอดลดลงร้อยละ 5 10 15 และ 20 ดัง ส่งผลต่อปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอดที่ลดลงและปริมาณน้ำพืชยึดเพิ่มขึ้น และทำให้การคายระเหยน้ำโดยรวมเพิ่มขึ้น เป็น 757.46 761.18 765.50 และ 771.40 มิลลิเมตร ตามลำดับ หรือคิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.62

5. การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากป่าดิบเขาเป็นพื้นที่เกษตรที่มีค่าสมรรถนะการกักเก็บน้ำของเรือนยอดจากเดิมเท่ากับ 0.7179 เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 10 15 และ 20 ดัง Table 6 ส่งผลต่อปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอดลดลง และมีปริมาณน้ำติดค้างบนเรือนยอดมากขึ้น ทำให้การระเหยน้ำมีสูงขึ้น และส่งผลให้การคายระเหยน้ำโดยรวมเพิ่มขึ้น เป็น 755.29 759.05 760.98 และ 763.64 มิลลิเมตร ตามลำดับ หรือเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 0.32 0.82 1.08 และ 1.43 ตามลำดับ หรือคิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.3

Table 5 Percentage change in evapotranspiration from hill evergreen forest in Huai Kog Ma Watershed, Doi Pui, Chiang Mai province to agricultural area according to change in b based on 2008 data.

Parameter change (%)	Through fall (mm)	Interception (mm)	Transpiration (mm)	Evapotranspiration			
				Amount (mm)	Change (%)	Rate of change (%)	Average rate of change (%)
-20	1,340.77	260.84	510.56	771.40	2.46	0.78	
-15	1,350.39	254.95	510.56	765.50	1.68	0.57	
-10	1,358.75	250.62	510.56	761.18	1.10	0.49	
-5	1,372.03	246.90	510.56	757.46	0.61	0.61	0.62
0	1,391.65	242.31	510.56	752.86	0.00	-	
5	1,424.70	237.03	510.56	747.58	-0.70	-0.70	
10	1,460.06	234.73	510.56	745.29	-1.01	-0.30	
15	1,511.43	231.45	510.56	742.01	-1.44	-0.44	
20	1,569.28	229.84	510.56	740.40	-1.66	-0.21	-0.41

Table 6 Percentage change in evapotranspiration from hill evergreen forest in Huai Kog Ma Watershed, Doi Pui, Chiang Mai Province to agricultural area according to change in S based on 2008 data.

Parameter change (%)	Through fall (mm)	Interception (mm)	Transpiration (mm)	Evapotranspiration			
				Amount (mm)	Change (%)	Rate of change (%)	Average rate of change (%)
-20	1,441.46	228.43	510.56	738.99	-1.84	-0.22	
-15	1,435.83	230.09	510.56	740.64	-1.62	-0.35	
-10	1,429.11	232.69	510.56	743.25	-1.28	-0.69	
-5	1,407.65	237.89	510.56	748.45	-0.59	-0.59	-0.46
0	1,391.65	242.31	510.56	752.86	0.00	-	
5	1,385.93	244.74	510.56	755.29	0.32	0.32	
10	1,378.01	248.49	510.56	759.05	0.82	0.50	
15	1,373.15	250.42	510.56	760.98	1.08	0.26	
20	1,368.08	253.08	510.56	763.64	1.43	0.35	0.36

ส่วนการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่เกษตรที่มีค่าสมรรถนะการกักเก็บน้ำของเรือนยอดลดลงร้อยละ 5 10 15 และ 20 ส่งผลต่อปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอดและปริมาณน้ำพืชยืดในทางตรงข้ามกับที่กล่าวข้างต้น ทำให้การคายระเหยน้ำโดยรวมลดลง เป็น 748.45 743.25 740.64 และ 738.99 มิลลิเมตร ตามลำดับ หรือคิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.46 การเพิ่มขึ้นของค่าสมรรถนะการกักเก็บน้ำของเรือนยอดเป็นไปได้เนื่องจากพื้นที่ผิวใบที่เพิ่มขึ้น หรืออาจเนื่องจากลักษณะของผิวใบที่มีลักษณะเป็นขน ซึ่งส่งผลต่อสมรรถนะในการยึดเกาะอนุภาคของน้ำไว้กับเรือนยอดได้มากยิ่งขึ้น เมื่อมีน้ำยึดเกาะค้างบนเรือนยอดมากยิ่งขึ้น น้ำส่วนนี้ก็มีโอกาสระเหยสู่ชั้นบรรยากาศมากยิ่งขึ้น ผลที่ได้จะเป็นไปในลักษณะตรงกันข้ามหากผิวใบมีความเรียบและมันมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์นี้ส่งผลไม่สูงมากนัก

6. การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากป่าดิบเขาเป็นพื้นที่เกษตรที่มีความสูงของเรือนยอดลดลงจากเดิมเท่ากับ 33 เมตร ลดลงร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 ดัง Table 7 ส่งผลต่อปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอดเพิ่มขึ้น

ปริมาณน้ำติดค้างบนเรือนยอดน้อยลง การคายน้ำมีปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้การคายระเหยน้ำโดยรวมลดลง เป็น 750.91 748.99 746.58 743.33 และ 739.55 มิลลิเมตร ตามลำดับ หรือลดลงประมาณร้อยละ 0.20 6 0.51 0.83 1.27 และ 1.77 ตามลำดับ หรือคิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.38 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ไม่สูงมากนัก การเปลี่ยนแปลงของปริมาณการคายระเหยน้ำดังกล่าวเป็นผลเนื่องจากความสูงมีผลต่อค่าสภาพนำของอากาศ (aerodynamic conductance) ที่มีค่าลดลง ทำให้การระเหยน้ำสูงสุด (potential evaporation) มีค่าน้อยลง น้ำที่ติดค้างบนเรือนยอดก็ระเหยได้น้อยลงด้วยเช่นกัน ถึงแม้การคายน้ำมีปริมาณมากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วการคายระเหยน้ำมีค่าน้อยลง

Table 7 Percentage change in evapotranspiration from hill evergreen forest in Huai Kog Ma Watershed, Doi Pui, Chiang Mai province to agricultural area according to change in Z based on 2008 data.

Parameter change (%)	Through fall (mm)	Interception (mm)	Transpiration (mm)	Evapotranspiration			
				Amount (mm)	Change (%)	Rate of change (%)	Average rate of change (%)
0	1,391.65	242.31	510.56	752.86	-	-	
-10	1,393.66	238.76	512.15	750.91	-0.26	-0.26	
-20	1,396.21	234.88	514.11	748.99	-0.51	-0.26	
-30	1,399.38	230.07	516.51	746.58	-0.83	-0.32	
-40	1,404.13	223.62	519.70	743.33	-1.27	-0.44	
-50	1,411.72	215.63	523.92	739.55	-1.77	-0.51	
-60	1,419.30	205.91	529.75	735.65	-2.29	-0.53	-0.38

7. การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากป่าดิบเขาเป็นพื้นที่เกษตรที่มีการปกคลุมของเรือนยอดลดลงจากเดิมร้อยละ 80 ลดลงเหลือเท่ากับร้อยละ 70 60 50 40 และ 30 ดัง Table 8 ส่งผลต่อปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอดเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำติดค้างบนเรือนยอดน้อยลง ทำให้การคายระเหยน้ำโดยรวมลดลง เป็น 745.31 734.04 724.82 701.20 และ 681.58 มิลลิเมตร ตามลำดับ หรือลดลงประมาณร้อยละ 1.00 2.50 3.72 6.86 และ 9.47 ตามลำดับ หรือคิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยลดลงร้อยละ 1.97

ผลการศึกษาดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณการคายระเหยน้ำมาก คือ ค่าสภาพนำของปากใบสูงสุด ดัชนีพื้นที่ผิวใบ และสัดส่วนการปกคลุมของเรือนยอด ส่วนค่าพารามิเตอร์อื่นๆ มีผลไม่มากนัก ซึ่งโดยทั่วไปแล้วพืชเกษตรมักมีค่าสภาพนำของปากใบสูงสุด ดัชนีพื้นที่ผิวใบ สัดส่วนการปกคลุมของเรือนยอดและความสูงน้อยกว่าพื้นที่ป่า (Ferderer *et al*., 1996) ดังนั้นปริมาณน้ำที่สูญเสียจากระบบลุ่มน้ำในจากกระบวนการคายระเหยน้ำน้อยลง หรือมีปริมาณน้ำในลำธารมากขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนพื้นที่ป่าไปเป็นพื้นที่เกษตร ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยหลายเรื่อง (Lal, 1983; Edwards, 1979; Fritsch, 1992; Jipp *et al*, 1998) อย่างไรก็ตามผลการศึกษาดังกล่าวและจากแบบจำลองของการศึกษานี้หมายถึงปริมาณน้ำรวมตลอดทั้งปีที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาเป็นรายฤดูกาลแล้ว ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นคือน้ำที่เพิ่มในช่วงฤดูฝน (Giambelluca and Ziegler, 1996) ซึ่งอาจส่งผลการไหลบ่าของน้ำที่รุนแรงขึ้นและส่งผลต่อการขาดแคลนปริมาณน้ำในฤดูแล้งได้

อย่างไรก็ตามผลการประมาณค่าการคายระเหยน้ำด้วยแบบจำลองเมื่อปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ที่ตามลักษณะของภาพเหตุการณ์ที่กำหนด ดังกล่าวในข้อ 1 ถึง 7 ข้างต้น เป็นเพียงค่าที่ประมาณได้จากแบบจำลองซึ่งเป็นการศึกษาเบื้องต้นเพื่อเป็นแนวทางการนำแบบจำลองมาประยุกต์ใช้ เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้เป็นตัวแทนพืชนั้นไม่ได้มาจากการตรวจวัดโดยตรง หากต้องการความถูกต้องของการประยุกต์ใช้แบบจำลองดังกล่าว ผู้ที่สนใจต้องทำการศึกษาพารามิเตอร์ของแบบจำลองดังกล่าวข้างต้นของพืชแต่ละชนิดเพิ่มเติม

Table 8 Percentage change in evapotranspiration from hill evergreen forest in Huai Kog Ma Watershed, Doi Pui, Chiang Mai province to agricultural area according to change in p based on 2008 data.

Crown Cover (%)	Through fall (mm)	Interception (mm)	Transpiration (mm)	Evapotranspiration			
				Amount (mm)	Change (%)	Rate of change (%)	Average rate of change (%)
80	1,391.65	242.31	510.56	752.86	-	-	
70	1,381.18	234.76	510.56	745.31	-1.00	-1.00	
60	1,388.10	223.48	510.56	734.04	-2.50	-1.51	
50	1,393.75	214.26	510.56	724.82	-3.72	-1.26	
40	1,419.46	190.64	510.56	701.20	-6.86	-3.26	
30	1,437.65	171.02	510.56	681.58	-9.47	-2.80	-1.97

สรุป

1. การประมาณค่าการคายระเหยน้ำด้วยแบบจำลอง Penman, Penman-Monteith และ Rutter จากข้อมูลปี พ.ศ. 2551 ราย 30 นาทีมีค่าเฉลี่ยรายวันอยู่ระหว่าง 3.02-4.16 มิลลิเมตรต่อวัน หรือเฉลี่ยเท่ากับ 3.51 มิลลิเมตรต่อวัน

2. การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากพื้นที่ป่าดิบเขาเป็นพื้นที่เกษตรที่มีค่าสภาพนำของใบพืชสูงสุดเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการคายน้ำของพืชมีค่าสูงขึ้น และทำให้การคายระเหยน้ำโดยรวมเพิ่มขึ้น โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.44 และมีผลในทางตรงข้าม คิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยลดลงร้อยละ 2.71

3. การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากพื้นที่ป่าดิบเขาเป็นพื้นที่เกษตรที่มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการคายน้ำของพืชมีค่าสูงขึ้น และทำให้การคายระเหยน้ำโดยรวมเพิ่มขึ้น โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.44 และมีผลในทางตรงข้าม คิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยลดลงร้อยละ 2.54

4. การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากพื้นที่ป่าดิบเขาเป็นพื้นที่เกษตรที่มีค่าการระบายน้ำจากเรือนยอดเริ่มแรกเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอดที่เพิ่มขึ้นและปริมาณน้ำพืชยืดลดลง ทำให้การคายระเหยน้ำโดยรวมลดลง โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.42 และมีผลในทางตรงข้าม คิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.94

5. การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากพื้นที่ป่าดิบเขาเป็นพื้นที่เกษตรที่มีค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำจากเรือนยอดเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอดที่เพิ่มขึ้นและปริมาณน้ำพืชยืดลดลง ทำให้การคายระเหยน้ำโดยรวมลดลง โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.41 และมีผลในทางตรงข้าม คิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.62

6. การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากป่าดิบเขาเป็นพื้นที่เกษตรที่มีค่าสมรรถนะการกักเก็บน้ำของเรือนยอด ส่งผลต่อปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอดลดลง และมีปริมาณน้ำติดค้างบนเรือนยอดมากขึ้น ทำให้การระเหยน้ำมีสูงขึ้น และส่งผลให้การคายระเหยน้ำโดยรวมเพิ่มขึ้น หรือคิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.36 และมีผลในทางตรงข้าม คิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.46

7. การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากป่าดิบเขาเป็นพื้นที่เกษตรที่มีความสูงของเรือนยอดลดลง ส่งผล

ต่อปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอดเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำติดค้างบนเรือนยอดน้อยลง การคายน้ำมีปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้การคายระเหยน้ำโดยรวมลดลง หรือคิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยลดลงร้อยละ 0.38

8. การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากป่าดิบเขาเป็นพื้นที่เกษตรที่มีการปกคลุมของเรือนยอดลดลง ส่งผลต่อปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอดเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำติดค้างบนเรือนยอดน้อยลง ทำให้การคายระเหยน้ำโดยรวมลดลง หรือคิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยลดลงร้อยละ 1.97

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ชัชชัย ตันตสิรินทร์ และวิภารัตน์ ทองเด็จ. 2556. แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อประมาณค่าการคายระเหยน้ำของป่าดิบเขา บริเวณลุ่มน้ำห้วยคอกม้า ดอยปุย จังหวัดเชียงใหม่; 1. การจำลองแบบการปรับเทียบและการทวนสอบ. **วารสารวนศาสตร์** 32 (3) 2013: 64-73.

สามัคคี บุณยะวัฒน์, เกษม จันทร์แก้ว, นิพนธ์ ตั้งธรรม, เรณู สุวรรณรัตน์ และวิชา นิยม. 2524. สมดุลของน้ำในป่าดิบเขาธรรมชาติ ดอยปุย เชียงใหม่. **การวิจัยลุ่มน้ำห้วยคอกม้า เล่มที่ 36**. ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

Edward, K.A. 1979. The water balance of the Mbeya experimental catchments. **East African Agricultural and Forestry Journal** 43: 231-247.

Ferderer, C. A., C. Vorosmarty and B. Feket. 1996. Intercomparison of methods for calculating evaporation in regional and global water balance models. **Water Resources Research** 32:2315-2321.

Fritsch, J.M. 1992. Les Effects du Deferichement de la Forest Amazonienne at de la Mise and Culture's Hydrology de Petite Bassins Versant: Operation Ecerex and Guyane Francaise. Paris: **ORSTOM.**

Giambelluca, T.W. and A.D. Ziegler. 1996. Influence of long-term land cover change on river flow in northern Thailand. **Paper read at FORTROP'96:** Tropical Forestry in the 21st Century, 25-28 November, Kasetsart University, Bangkok.

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

Lal, R. 1983. Soil erosion in the humid tropics with particular reference to agricultural land development and soil management. **International Association of Hydrological Science and Development** 7:19-45.