

นิพนธ์ต้นฉบับ

การประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ ด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกล
บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตืน จังหวัดตาก

Estimation of Above-Ground Carbon Sequestration of Forest Using Remote
Sensing Techniques in Mae Tuen Wildlife Sanctuary, Tak Province

สุจี บุญสร้าง¹
วันชัย อรุณประภารัตน์²

Sukee Boonsang¹
Wanchai Arunprapat²

¹ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

E-mail: happy.skb@hotmail.com

² คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Faculty of Forest, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

รับต้นฉบับ 29 เมษายน 2554

รับลงพิมพ์ 2 มิถุนายน 2554

ABSTRACT

This study aimed to estimate the above-ground carbon sequestration of forest at the Mae Tuen Wildlife Sanctuary, Tak Province using remote sensing techniques. The relationship was studied between above-ground carbon sequestration and the reflectance values of different wavebands of a LANDSAT 5 TM image captured in 2007. Band 2 (green; G), band 3 (red; R) and band 4 (near infrared; IR) were analyzed. Analysis involved the well-known vegetation indices of simple subtraction (IR-R), simple ratio (IR/R) and the normalized difference vegetation index (NDVI), the transformed vegetation index (TVI) and the green vegetation index (GVI). Regression analysis was employed to determine the relationships between these parameters and carbon sequestration in order to determine the best-fit model for estimating the above-ground carbon sequestration of each forest type in the Mae Tuen Wildlife Sanctuary, Tak province.

The best-fit model for estimation of the above-ground carbon sequestration (CS) of dry evergreen forest was $CS = 630.339 (R) - 74.019$ with a coefficient of determination (R^2) of 0.839. The best fit-model for hill evergreen forest, was $CS = 327.630 (IR) - 27.974 (IR/R) - 36.188$, with $R^2 = 0.854$; the best-fit model for mixed deciduous was $CS = 951.608 (IR-R) - 505.367 (IR) - 62.406 (IR/R) + 134.572$, with $R^2 = 0.741$; and for dry dipterocarp was $CS = 53.140 (IR) - 41.031 (TVI) - 194.004 (G) + 59.783$, with $R^2 = 0.745$. The above-ground carbon sequestration in the Mae Tuen Wildlife Sanctuary in 2007 was estimated to be 8,886,516.9 t of carbon. The rate of above-ground carbon sequestration of each forest type was different. The results showed that the maximum rate of above-ground carbon sequestration was found in dry evergreen forest, followed by hill evergreen forest, mixed deciduous forest, and dry dipterocarp forest, respectively. (129, 102.43, 80.16, and 54.68 t/ha carbon).

Keywords: Carbon sequestration, Remote sensing, Mae Tuen Wildlife Sanctuary, Tak province

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกลบริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก โดยการวิเคราะห์สมการถดถอยหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินกับค่าการสะท้อนช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM ใน ปี พ.ศ.2550 ได้แก่ แบนด์ 2 (G) แบนด์ 3 (R) และแบนด์ 4 (IR) รวมทั้งค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย : IR-R การหารแบบง่าย : IR/R NDVI TVI และ GVI เพื่อหาสมการที่เหมาะสมที่สุดในการประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก

การศึกษาในครั้งนี้ได้สร้างสมการที่เหมาะสมที่สุดในการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน (CS) ของป่าประเภทต่างๆ ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อนได้เป็นอย่างดี โดยสมการเพื่อประมาณการกักเก็บคาร์บอนป่าดิบแล้งมีสมการที่เหมาะสมที่สุด คือ $CS = 630.339 (R) - 74.019$ และมีค่าสัมประสิทธิ์กำหนด (R^2) เท่ากับ 0.839 ป่าดิบเขา มีสมการที่เหมาะสม คือ $CS = 327.630 (IR) - 27.974 (IR/R) - 36.188$ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.854 ป่าเบญจพรรณ มีสมการที่เหมาะสม คือ $CS = 951.608 (IR-R) - 505.367 (IR) - 62.406 (IR/R) + 134.572$ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.741 และป่าเต็งรัง มีสมการที่เหมาะสม คือ $CS = 53.140 (IR) - 41.031 (TVI) - 194.004 (G) + 59.783$ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.745 ในการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน ในปี พ.ศ. 2550 โดยใช้สมการที่เหมาะสมสำหรับป่าประเภทต่างๆ นั้น สามารถประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินได้ทั้งสิ้น 8,886,516.9 ตันคาร์บอน โดยป่าประเภทต่างๆ มีอัตราการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินแตกต่างกันไปโดยที่ป่าดิบแล้งมีอัตราการกักเก็บคาร์บอนมากที่สุด รองลงมาคือ ป่าดิบเขา ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง ตามลำดับ (129, 102.43, 80.16, และ 54.68 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์)

คำสำคัญ: การกักเก็บคาร์บอน การสำรวจระยะไกล เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก

คำนำ

การพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ทำให้มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ มากเกินความสมดุลในธรรมชาติ เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) โลกต้องเผชิญปัญหาภัยพิบัติทางธรรมชาติมากขึ้น คุกคามต่อชีวิตและความเป็นอยู่ของมนุษย์ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโลกอย่างรวดเร็ว จนเกิดภาวะที่เรียกว่า “ ภาวะโลกร้อน ” (global warming) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gases) โดยเฉพาะ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีปริมาณมากที่สุดในบรรยากาศ จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil fueles) และกิจกรรมทางด้านป่าไม้ เป็นอีกกิจกรรมหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในบรรยากาศ

ป่าไม้ส่งผลได้ทั้งทางด้านการเพิ่มหรือปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ ได้แก่ การสูญเสียคาร์บอนที่กักเก็บในรูปเนื้อไม้ เนื่องจากการตัดไม้ทำลายป่า การสูญเสียคาร์บอนจากดินจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และด้านการลดหรือการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากบรรยากาศ มากักเก็บไว้ในรูปของมวลชีวภาพ การประเมินอย่างแม่นยำเกี่ยวกับการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของ

พื้นที่ป่าไม้ถือได้ว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะตามพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ได้มีการยอมรับเอาประเด็นของการใช้ประโยชน์ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและการป่าไม้ (land use, land - use change and forestry ; LULUCF) เป็นส่วนหนึ่งของการพิจารณาการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก ในปัจจุบันการประมาณการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ป่าไม้ทำได้ยากและต้องใช้งบประมาณสูง การนำเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลเข้ามาช่วยในการศึกษา จะทำให้สามารถประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในพื้นที่ป่าไม้ ได้สะดวก รวดเร็ว ใช้งบประมาณน้อยลง

การศึกษาในครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก โดยนำข้อมูลที่ได้จากการรับรู้ระยะไกลมาประยุกต์ใช้ร่วมกับข้อมูลปริมาณมวลชีวภาพ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากการสำรวจภาคสนามมาหาความสัมพันธ์ เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ในการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ให้มีความเหมาะสมมากที่สุด และสามารถนำประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในพื้นที่ที่มีสภาพป่าใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษาได้

อุปกรณ์และวิธีการ

การจัดการข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม

ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 5 TM ครอบคลุมพื้นที่บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 โดยมีขั้นตอน ดังนี้ 1) นำเข้าและตัดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ที่ได้รับการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตแล้วให้ครอบคลุมพื้นที่บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก 2) การแปลงค่าหลักเลข โดยทำการแปลงค่า หลักเลขของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไปเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงเพื่อ

ลดความผิดพลาดของพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุบนพื้นผิวโลกไปสู่เครื่องบันทึกข้อมูล จากสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบข้างในขณะที่ทำการบันทึกข้อมูล ได้แก่ สภาพอากาศ ภูมิประเทศ อุณหภูมิ มุมตกกระทบของแสง 3) นำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ได้รับการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิต และปรับแก้ให้อยู่ในรูปของค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริง บริเวณเดียวกับพื้นที่ทำการวางแผนตัวอย่างเก็บข้อมูล ซึ่งบันทึกจากเครื่อง GPS มาทำการวิเคราะห์ หาค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ แบนด์ 2 สีเขียว (Green; G), แบนด์ 3 สีแดง (Red; R), แบนด์ 4 อินฟราเรดใกล้ (Near infrared; IR) และค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ ได้แก่ การลบแบบง่าย (Simple Substraction; IR-R), การหารแบบง่าย (Simple Ratio; IR/R), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Transformed Vegetation Index (TVI) และ Green Vegetation Index (GVI)

การจัดการข้อมูลภาคสนาม

การศึกษาในครั้งนี้ใช้ข้อมูลภาคสนามจากโครงการสำรวจทรัพยากรป่าไม้และการประเมินความเสี่ยงต่อการบุกรุกทำลายป่าบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำปิง ในส่วนของพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน ซึ่งได้ทำการสำรวจข้อมูลภาคสนามเกี่ยวกับทรัพยากรป่าไม้และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยใช้การวางแผนตัวอย่างในการสำรวจแบบ Systematic Sampling ในแต่ละจุดจะอยู่ห่างกัน 5 x 5 กิโลเมตร รวมเป็นกลุ่มแปลงตัวอย่างทั้งสิ้น 1,356 กลุ่มแปลง (cluster) (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2547) และกลุ่มแปลงตัวอย่างที่เป็นพื้นที่ป่าไม้ ที่อยู่ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อนจำนวน 34 กลุ่มแปลง โดยแบ่งเป็นแปลงได้ จำนวน 147 แปลง (plot)

การสำรวจทรัพยากรป่าไม้ใช้วิธีการสำรวจแบบกลุ่มแปลงโดยแต่ละกลุ่มแปลง ประกอบด้วย

จุดเก็บตัวอย่างซึ่งใช้เป็นตำแหน่งวางแปลงตัวอย่าง จำนวน 5 แปลง โดยกำหนดให้ตำแหน่งที่ตั้งของ หน่วยตัวอย่างที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง เป็นตำแหน่ง จุดศูนย์กลางของกลุ่มแปลงตัวอย่าง (cluster centre) และเป็นตำแหน่งของแปลงตัวอย่างถาวร สำหรับ แปลงตัวอย่างอีก 4 แปลง กำหนดให้อยู่ห่างจากจุด ศูนย์กลางของกลุ่มแปลงตัวอย่างเป็นระยะทาง 50 เมตร ตามทิศเหนือ (north) ทิศตะวันออก (east) ทิศใต้ (south) และทิศตะวันตก (west) ดัง Figure 1

การเก็บข้อมูลภาคสนามจะเก็บข้อมูลไม้ต้น (tree) ของไม้ทุกชนิดในแปลงตัวอย่างรูปวงกลมรัศมี 17.84 เมตร ขนาดแปลงตัวอย่าง 1,000 ตารางเมตร โดยวัดต้นไม้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดที่ความสูงจากระดับพื้นดิน ขึ้นไป 1.30 เมตร ขนาดความโตตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตร ขึ้นไป และวัดความสูงของต้นไม้ทั้งหมด

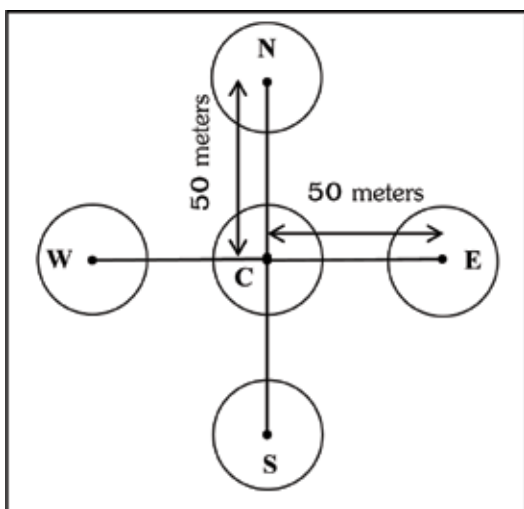


Figure 1 Plot sampling design.

Note: N: North; E: East; S: South; W: West

ทำการคำนวณหามวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดิน ของต้นไม้ในแต่ละส่วน (ลำต้น กิ่ง และใบ) โดยใช้ สมการแอลโลเมตรีของชนิดป่าต่างๆ ดังนี้ ป่าดิบเขา และป่าดิบแล้ง ใช้สมการของ Tsutsumi *et al.* (1983)

ป่าเบญจพรรณและป่าเต็งรัง ใช้สมการของ Ogawa *et al.* (1965) นำค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้มา ประเมินหาค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน ในมวลชีวภาพโดยมีค่าประมาณร้อยละ 50 ของมวล ชีวภาพเหนือพื้นดิน (Brown and Lugo, 1982) นำค่า ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่วิเคราะห์ได้จากภาคสนาม มาทำการเฉลี่ยให้ข้อมูลดังกล่าวอยู่ในรูปของแปลง ตัวอย่างขนาด 30 x 30 เมตร เพื่อให้สอดคล้องกับ ขนาดของจุดภาพที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM

การวิเคราะห์ข้อมูล

การประมาณหาค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ที่อยู่เหนือพื้นดินจากข้อมูลภาพถ่าย จากดาวเทียม LANDSAT 5 TM มีขั้นตอนการศึกษาดัง Figure 2 โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการ กักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (ตัวแปรตาม) กับ ค่าพลังงานที่สะท้อนจากผิวโลกที่แท้จริงช่วงคลื่นจาก ภาพถ่ายดาวเทียม ได้แก่ G R IR IR-R IR/R NDVI TVI และ GVI โดยใช้จุดภาพบริเวณเดียวกันกับตำแหน่ง แปลงตัวอย่างที่ทำการเก็บข้อมูลภาคสนามโดย การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อดูความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ เพื่อเป็นข้อมูล ในการตัดสินใจในการเลือกตัวแปรอิสระที่เหมาะสม ในการสร้างสมการ และเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน (stepwise multiple regression analysis)

2) ทำการหาสมการที่เหมาะสมที่สุดในการ ประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน และประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือ พื้นดินทั้งหมดคิดเฉพาะพื้นที่ป่าไม้ที่ศึกษา

3) นำสมการที่เหมาะสมที่สุดที่ผ่านการคัดเลือก ไปประมาณหาปริมาณการกักเก็บ คาร์บอนเหนือพื้นดิน คิดเฉพาะพื้นที่ป่าไม้บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก

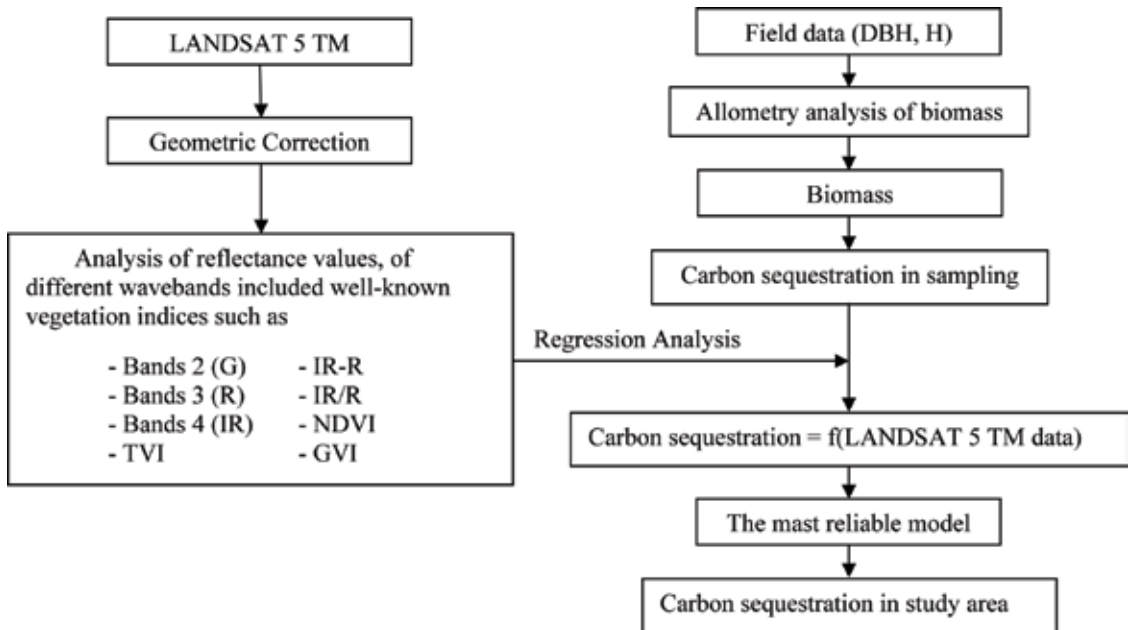


Figure 2 Flowchart of data analysis. Abbreviations: G: green; R: red; IR: near infrared; IR–R: simple subtraction, IR/R: simple ratio; NDVI: normalized difference vegetation index; TVI: transformed vegetation index; and GVI: green vegetation index.

ผลและวิจารณ์

การวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม

จากการศึกษาพบว่าเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋น จังหวัดตาก มีพื้นที่ประมาณ 783,474.70 ไร่ และจำแนกพื้นที่ตามประเภทต่างๆได้ดังนี้ ป่าดิบแล้ง มีพื้นที่ ประมาณ 4,265.50 ไร่ ป่าดิบเขา มีพื้นที่ ประมาณ 95,447.28 ไร่ ป่าเต็งรัง มีพื้นที่ ประมาณ 250,665.72 ไร่ ป่าเบญจพรรณ มีพื้นที่ ประมาณ 392,892.74 ไร่ และพื้นที่อื่นๆ มีพื้นที่ประมาณ 40,203.45 ไร่ รายละเอียดในการจำแนกแสดงดัง Figure 3

การวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนาม

ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนาม จำนวน 34 กลุ่มแปลง มีจำนวนแปลงตัวอย่างทั้งหมด 147 แปลง กระจายทั่วพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋น สามารถ

แบ่งแปลงตัวอย่างตามประเภทป่าต่างๆ ได้ดังนี้ ป่าดิบแล้ง จำนวน 13 แปลง ป่าดิบเขา จำนวน 7 แปลง ป่าเต็งรัง จำนวน 42 แปลง และป่าเบญจพรรณ จำนวน 85 แปลง จากการวัดขนาดไม้ยืนต้นที่มี DBH ตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตร ขึ้นไป พบว่า มีต้นไม้ทั้งหมด จำนวน 4,978 ต้น มีจำนวนต้นไม้เฉลี่ย 339 ต้นต่อเฮกตาร์ โดยจำแนกตามประเภทป่าต่างๆ ได้ดังนี้ ป่าดิบแล้ง มีต้นไม้ทั้งหมด จำนวน 409 ต้น มีจำนวนต้นไม้เฉลี่ย 315 ต้นต่อเฮกตาร์ มีความสูงเฉลี่ย 12.29 เมตร และมี DBH เฉลี่ย 21.46 เซนติเมตร ป่าดิบเขา มีต้นไม้ทั้งหมด จำนวน 147 ต้น มีจำนวนต้นไม้เฉลี่ย 210 ต้นต่อเฮกตาร์ มีความสูงเฉลี่ย 14.73 เมตร และมี DBH เฉลี่ย 24.25 เซนติเมตร ป่าเต็งรังมีต้นไม้ทั้งหมด จำนวน 2,120 ต้น มีจำนวนต้นไม้เฉลี่ย 505 ต้นต่อเฮกตาร์ มีความสูงเฉลี่ย 10.20 เมตร และมี DBH เฉลี่ย 16.23 เซนติเมตร และป่าเบญจพรรณ มีต้นไม้ทั้งหมด

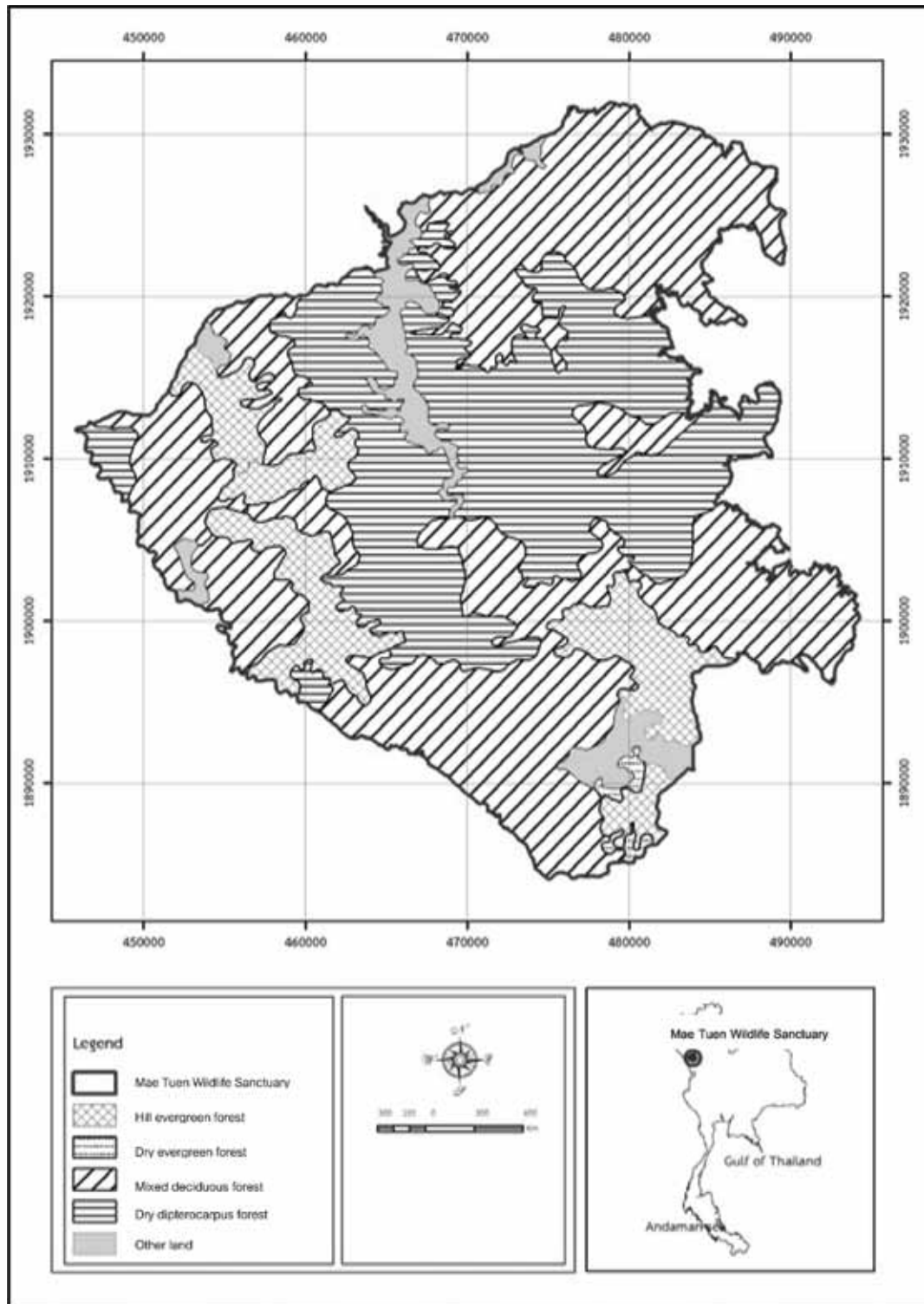


Figure 3 Land use classification in Mae Tuen Wildlife Sanctuary, Tak province.

จำนวน 2,302 ต้น มีจำนวนต้นไม้เฉลี่ย 271 ต้นต่อเฮกแตร์ มีความสูงเฉลี่ย 12.93 เมตร และมี DBH เฉลี่ย 24.31 เซนติเมตร

การวิเคราะห์หาสมการที่เหมาะสมในการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้

เมื่อนำค่าประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่คำนวณได้จากภาคสนาม มาหาค่าความสัมพันธ์กับข้อมูลดาวเทียม ได้แก่ ค่า G R IR IR-R IR/R NDVI TVI และ GVI โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน เพื่อคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการความสัมพันธ์ ผลการวิเคราะห์ มีดังนี้

1) ป่าดิบแล้งมีตัวแปรอิสระเพียงหนึ่งตัว คือ ค่า R ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการและให้รูปแบบสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุด คือ ค่าประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน = $630.339 (R) - 74.019 (R^2 = 0.839)$ นำค่าประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับค่า R มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการที่ได้ พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$) ($F = 57.292$) มีช่วงวิกฤติ $CR : F \neq F_{0.05} (1,11) = 4.84$

2) ป่าดิบเขามีตัวแปรอิสระเพียงสองตัว คือ ค่า IR และ IR/R ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการและให้รูปแบบสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุด คือ ค่าประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน = $327.630 (IR) - 27.974 (IR/R) - 36.188 (R^2 = 0.854)$ นำค่าประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับ ค่า IR และ IR/R มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการที่ได้ พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$) ($F = 11.686$) มีช่วงวิกฤติ $CR : F \neq F_{0.05} (2,4) = 6.94$

3) ป่าเต็งรัง มีตัวแปรอิสระเพียงสามตัวคือ ค่า TVI G และ IR ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการและให้รูปแบบสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุด คือ ค่าประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน = $53.140 (IR) - 41.031 (TVI) - 194.004 (G) + 59.783 (R^2 = 0.745)$ นำค่าประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับ ค่า TVI G และ IR มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการที่ได้ พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$) ($F = 90.389$) มีช่วงวิกฤติ $CR : F \neq F_{0.05} (2,39) = 3.24$

4) ป่าเบญจพรรณ มีตัวแปรอิสระเพียงสามตัว คือ ค่า IR IR/R และ IR-R ที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการและให้รูปแบบสมการความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด คือ ค่าประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน = $951.608 (IR-R) - 505.367 (IR) - 62.406 (IR/R) + 134.572 (R^2 = 0.741)$ นำค่าประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับ ค่า IR IR/R และ IR-R มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติของสมการที่ได้ พบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$) ($F = 27.147$) มีช่วงวิกฤติ $CR : F \neq F_{0.05} (3,81) = 2.72$

การประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้

นำสมการที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละประเภทป่า มาคำนวณหาค่าประมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM โดยใช้ค่าตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าแต่ละประเภท ได้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน จำแนกตามประเภทป่า ดัง Table 1

Table 1 Above-ground carbon sequestration of forest area in Mae Tuen Wildlife Sanctuary, Tak province.

Forest Type	Carbon Sequestration at Forest Area	
	Carbon (t)	Carbon (t/ha)
Dry Evergreen Forest	87 997.2	129.00
Hill Evergreen Forest	1 564 380.9	102.43
Dry Dipterocarp Forest	2 193 325.0	54.68
Mix Deciduous Forest	5 040 813.8	80.16
Total	8 886 516.9	-

เมื่อพิจารณาค่า R^2 ที่ได้ จากสมการที่เหมาะสมที่สุดของป่าแต่ละประเภท พบว่า ป่าดิบเขา มีค่า R^2 สูงสุด รองลงมา คือ ป่าดิบแล้ง ค่า R^2 ที่ได้ เท่ากับ 0.854 และ 0.839 ตามลำดับ ซึ่งค่า R^2 ที่ได้ มีค่าสูงกว่าค่า R^2 ของป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณที่มีค่า R^2 เท่ากับ 0.745 และ 0.741 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ค่าการสะท้อนแสงที่ได้รับจากภาพถ่ายดาวเทียมของป่าดิบเขาและป่าดิบแล้ง เป็นค่าการสะท้อนแสงของเรือนยอดไม้ยืนต้นที่มีขนาด DBH ตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตรขึ้นไป ซึ่งเป็นขนาดของต้นไม้ที่ใช้ในการคำนวณหาค่ามวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของภาคสนามเพื่อใช้ในการหาค่าความสัมพันธ์ของสมการ เพราะความหนาแน่นของเรือนยอดของต้นไม้ในป่าดิบเขาและป่าดิบแล้ง มีค่ามากกว่าความหนาแน่นของเรือนยอดของต้นไม้ในป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณ ส่วนค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมในป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณ อาจเป็นค่าการสะท้อนแสงของลูกไม้ กิ่งไม้ ไม้พื้นล่าง หรือไม้ไผ่ ซึ่งไม่ได้นำมาคำนวณค่ามวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของภาคสนามเพื่อใช้ในการหาค่าความสัมพันธ์ของสมการ จึงทำให้ค่า R^2 ของป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณ มีค่าน้อยกว่า R^2 ของป่าดิบเขาและป่าดิบแล้ง

เมื่อนำค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้จากข้อมูลภาคสนามมาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM แล้วนำสมการที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละประเภทป่ามาคำนวณหาค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอน พบว่า ป่าดิบแล้ง

มีค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินประมาณ 129.00 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ ซึ่งมีค่ามากที่สุดทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพื้นที่ป่าดิบแล้งในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตื่นจะส่วนใหญ่จะอยู่ในพื้นที่หุบเขาที่มีความชันสูงทำให้ต้นไม้มีขนาดใหญ่และมีปริมาณมวลชีวภาพสูง และได้รับผลกระทบจากไฟป่าน้อยกว่าป่าประเภทอื่น ป่าดิบเขามีค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินอันดับรองลงมา คือ ประมาณ 102.43 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่จะอยู่ในพื้นที่ที่มีดินลึกและมีความอุดมสมบูรณ์สูง ป่าเบญจพรรณมีค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินประมาณ 80.16 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่ผ่านการสัมปทานทำไม้มาแล้วแต่ก็ยังมีค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสูงกว่าป่าเต็งรังที่มีค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินประมาณ 54.68 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ เพราะเป็นป่าที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และความชันมีน้อยและทำให้มีไฟป่าเกือบทุกปี

ผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีความสอดคล้องกับผลการศึกษานักวิจัยหลายท่าน เช่น วิษณุ (2544) พบว่า ป่าดิบแล้งมีค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินมากที่สุดคือ 373.84 ตันต่อเฮกแตร์ รองลงมา คือ ป่าดิบเขามีค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 195.70 ตันต่อเฮกแตร์ ป่าเบญจพรรณมีค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 174.26 ตันต่อเฮกแตร์ และป่าเต็งรังมีค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 70.65 ตันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ อภินันท์ (2545) ศึกษาพบว่า ป่าดิบแล้งมีค่ามวลชีวภาพ เท่ากับ 267.52 ตันต่อเฮกแตร์ และ

ป่าเบญจพรรณ มีค่ามวลชีวภาพ เท่ากับ 186.49 ต้นต่อเฮกตาร์ และนวลปราง (2548) ศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในพื้นที่อุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน พบว่า ป่าดิบแล้งมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอน เท่ากับ 103.85 ต้นต่อเฮกตาร์ ป่าเบญจพรรณมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอน เท่ากับ 34.26 ต้นต่อเฮกตาร์ และป่าเต็งรัง มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอน เท่ากับ 29.31 ต้นต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากผลของการศึกษาวิจัยแล้วพบว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ได้โดยไม่ต้องเข้าไปสำรวจภาคสนามทั้งหมด เพื่อลดงบประมาณค่าใช้จ่าย และเวลาในการวิจัย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ทันสมัยสนองตอบความต้องการใช้ข้อมูลที่เร่งด่วนได้

สรุป

1. การศึกษาการประมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินของป่าไม้ บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตั้น จังหวัดตาก โดยใช้เทคนิคการรับรู้ระยะไกล ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (ตัวแปรตาม) กับค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ และค่าดัชนีความเป็นพืชพรรณที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 TM (ตัวแปรอิสระ) มาทำการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย ได้สมการที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละประเภทป่า ดังนี้ ป่าดิบแล้ง สมการที่เหมาะสมที่สุดคือ $CS = 630.339 (R) - 74.019 (R^2 = 0.839)$ ป่าดิบเขา สมการที่เหมาะสมที่สุด คือ $CS = 327.630 (IR) - 27.974 (IR/R) - 36.188 (R^2 = 0.854)$ ป่าเต็งรังสมการที่เหมาะสมที่สุดคือ $CS = 53.140 (IR) - 41.031 (TVI) - 194.004 (G) + 59.783 (R^2 = 0.745)$ ป่าเบญจพรรณสมการที่เหมาะสมที่สุด คือ $CS = 951.608 (IR-R) - 505.367 (IR) - 62.406 (IR/R) + 134.572 (R^2 = 0.741)$ เมื่อ $CS =$ ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

2. การประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตั้น จังหวัดตาก ด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกล ได้ตั้งนี้ป่าดิบแล้งมีค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินประมาณ 129.00 ต้นคาร์บอนต่อเฮกตาร์ คิดเฉพาะพื้นที่ป่าดิบแล้งได้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าดิบแล้ง เท่ากับ 87,997.28 ต้นคาร์บอน ป่าดิบเขามีค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินประมาณ 102.43 ต้นคาร์บอนต่อเฮกตาร์ คิดเฉพาะพื้นที่ป่าดิบเขา ได้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าดิบเขา เท่ากับ 1,564,380.9 ต้นคาร์บอน ป่าเต็งรังมีค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินประมาณ 54.68 ต้นคาร์บอนต่อเฮกตาร์ คิดเฉพาะพื้นที่ป่าเต็งรัง ได้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าเต็งรัง เท่ากับ 2,193,325 ต้นคาร์บอน และป่าเบญจพรรณมีค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินประมาณ 80.16 ต้นคาร์บอนต่อ เฮกตาร์ คิดเฉพาะพื้นที่ป่าเบญจพรรณ ได้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าเบญจพรรณ เท่ากับ 5,040,813.8 ต้นคาร์บอน และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ บริเวณพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตั้น จังหวัดตาก ได้ทั้งหมด ประมาณ 8,886,516.9 ต้นคาร์บอน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. 2547. การสำรวจทรัพยากรป่าไม้และการประเมินความเสี่ยงต่อการบุกรุกทำลายป่า. ใน โครงการบริหารจัดการความหลากหลายทางชีวภาพด้านป่าไม้และสัตว์ป่า แบบบูรณาการ เพื่อการอนุรักษ์และพัฒนการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน. กรุงเทพฯ.
- นวลปราง นวลอุไร. 2548. การเปรียบเทียบดัชนีพื้นที่มวลชีวภาพและปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่

- เหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่าไม้จากการสำรวจด้านป่าไม้และการรับรู้จากระยะไกล บริเวณอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน ประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิษณุ ดำรงศักดิ์ศิริ. 2544. การประยุกต์ใช้การสำรวจจากระยะไกลเพื่อประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ และมวลชีวภาพของป่าที่อยู่เหนือพื้นดิน บริเวณอุทยานแห่งชาติภูกระดึง จังหวัดเลย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อภิรักษ์ ชันธิราช. 2545. การประยุกต์ใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกลในการจำแนกพื้นที่ป่าไม้ และการประมาณมวลชีวภาพป่าไม้ ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยทับทัน-ห้วยสำราญ จังหวัดสุรินทร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Brown, S., and A. E. Lugo. 1982. The storage and production of organic matter in Tropical forest and their role in the global cycle. **Biotropical 14**: 167-187.
- Ogawa, H., K. Yoda, K. Ogino and T. Kira 1965. Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand. II. Plant biomass. **Nature and Life in Southeast Asia 4** : 49 - 80.
- Tsutsumi, T., K.Yoda, P. Sahunalu, P. Dhanmanonda and B. Prachaiyo. 1983. Forest : felling, burning and regeneration., pp. 13-62. *In* K. Kyuma and C. Pairintra, eds. **Shifting Cultivation. An Experiment at Nam Phrom. Thailand and Its Implication for Upland Farming in the Monsoon Tropics.**
-