นิพนธ์ต้นฉบับ

DOI: 10.14456/tjf.2022.7

การประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินในพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชดอยแง่ม มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย

Valuation of Carbon Stock in the Above Ground Biomass in Doi Ngaem Plant Genetic Protection Area, Mae Fah Luang University, Chiang Rai Province

ยงเกียรติ กุออ[1]
ปณนัญ สมใจอ้าย[1]
ศรายุธ ปงกันทา[1]
จันทรารักษ์ โตวรานนท์[1,2,*]

Yongkriat Ku-or[1]
Pananun Somjaiai[1]
Sarayut Pongkanta[1]
Jantrararuk Tovaranonte[1,2,*]

[1]สวนพฤกษศาสตร์มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง เฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา มหาราชา เชียงราย 57100
Mae Fah Luang University Botanical Garden, Chiang Rai 57100, Thailand
[2]สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง เชียงราย 57100
School of Science, Mae Fah Luang University, Chiang Rai 57100, Thailand
*Corresponding author, E-mail: Jantrararuk@mfu.ac.th

รับต้นฉบับ 20 มิถุนายน 2565 **รับแก้ไข** 20 กรกฎาคม 2565 **รับลงพิมพ์** 25 กรกฎาคม 2565

ABSTRACT

Doi Ngaem plant genetic protection area in Mae Fah Luang University is a mixed deciduous bamboo forest over an estimated land area of approximately 1,115 rai. In the past, this forest area was degraded due to farming. The forest area has been subsequently restored naturally, with the University providing plant genetic protection and conservation of biodiversity. This study aimed to investigate the plant community structure, species diversity, estimation of biomass, and carbon stock value evaluation. Ten temporary sample plots of size 20 meters x 50 meters each, were constructed and data were collected, which included a survey of the tree and bamboo species. The data were used to determine the importance value index (IVI) of plants, diversity index, above ground biomass, carbon stock and its valuation using allometric equations, and the carbon credit trading in 2022.

The forest had 55 species in 45 genera and 26 families, with a density of 128.96 tree/rai. The species with the most significant IVI were *Wrightia pubescens*, *Vitex canescens*, and *Gigantochloa hosseusii* of 29.23, 28.48, and 27.64, respectively. The Shannon-Wiener index (H') was 3.12, with a total biomass of 93.02 t/ha, and total carbon stock of 48.31 tC/ha (carbon credit), which was a relatively high value. This accounted for a traded value in the EU carbon market (EUA) of 156,542.18 baht and in the California market (CCA) of 52,396.16 baht, accounting for a total carbon dioxide absorption of 177.30 tCO_2e/ha. The results of this study can be used to study

the various approaches to manage the current climate change issues related to forest ecosystem restoration, and to study carbon stock to assess the traded economic value in the carbon market. This also includes pushing such areas to enter the greenhouse gas emission reduction project under the CDM (Clean Development Mechanism) of Thailand in the future.

Keywords: Doi Ngaem; Carbon credit; Allometric equation; Plant genetic conservation project

บทคัดย่อ

ดอยแง่ม มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง มีลักษณะสังคมพืชเป็นป่าเบญจพรรณผสมไผ่ คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 1,115 ไร่ เดิมเป็นพื้นที่ป่าเสื่อมโทรมที่ผ่านการทำเกษตรกรรมมาก่อน ซึ่งมีการปล่อยให้ฟื้นฟูเองตามธรรมชาติ และเป็นพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชและอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพของมหาวิทยาลัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมข้อมูลด้านโครงสร้างสังคมพืช ความหลากชนิด มวลชีวภาพและการประเมินการกักเก็บคาร์บอน โดยการวางแปลงตัวอย่างขนาด 20 x 50 เมตร จำนวน 10 แปลง เก็บข้อมูลไม้ต้นและไผ่ เพื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีความสำคัญของพรรณไม้ ดัชนีความหลากชนิด ปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินโดยสมการแอลโลเมตรี และการประเมินมูลค่าการซื้อขายคาร์บอนเครดิต ในปี 2565

ผลการศึกษาพบพรรณไม้ต้น 55 ชนิด 45 สกุล 26 วงศ์ ความหนาแน่นของพรรณไม้ 128.96 ต้น/ไร่ โดยพบโมกมัน (*Wrightia pubescens*) ผ่าเสี้ยน (*Vitex canescens*) และไผ่บงคาย (*Gigantochloa hosseusii*) มีค่าดัชนีความสำคัญมากที่สุด โดยมีค่าร้อยละ 29.23 28.48 และ 27.64 ตามลำดับ ค่าดัชนีความชนิด (H') เท่ากับ 3.12 ปริมาณมวลชีวภาพรวม 93.02 ตัน/เฮกตาร์ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนรวม 48.31 ตันคาร์บอน/เฮกตาร์ (คาร์บอนเครดิต) ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง คิดเป็นมูลค่าการซื้อขายตลาดคาร์บอนอียู (EUA) 156,542.18 บาท และตลาดแคลิฟอร์เนีย (CCA) 52,396.16 บาท และปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์รวมทั้งหมด 177.30 ตันคาร์บอนเทียบเท่า/เฮกตาร์ จากการศึกษาสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปศึกษาแนวทางในการจัดการปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันโดยการฟื้นฟูระบบนิเวศป่าไม้ และศึกษาการประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจของการซื้อขายตลาดคาร์บอน รวมถึงการผลักดันให้พื้นที่เข้าสู่โครงการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายใต้กลไกการพัฒนาที่สะอาดของประเทศไทยในอนาคตได้

คำสำคัญ: ดอยแง่ม คาร์บอนเครดิต สมการแอลโลเมตรี โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชฯ

คำนำ

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) เป็นต้นเหตุของภาวะโลกร้อน (global warming) ที่เป็นไปอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน เป็นปัญหาที่ส่งผลต่อระบบนิเวศของโลก ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากกิจกรรมของมนุษย์ ส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกเกิดจากการปล่อยแก๊สเรือนกระจก (greenhouse gas: GHGs) โดยเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์ (Vachnadze *et al*., 2016; IPCC, 2017) ปัญหาดังกล่าวยังส่งผลต่อถิ่นที่อยู่อาศัยของมนุษย์ เนื่องจากการละลายของน้ำแข็งในขั้วโลก ทำให้ปริมาณระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น (IPCC, 2017) ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศ ตลอดจนไปถึงการเกิดโรคอุบัติใหม่ (Hengpraprom, 2009) นอกจากนี้ยังเป็นผลมาจากการตัดไม้ทำลายป่า ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศประมาณร้อยละ 20 เกิดจากการที่แหล่งกักเก็บคาร์บอนหรือป่าถูกทำลายจนสูญเสียการกักเก็บคาร์บอนในรูปของเนื้อไม้ (Boonprakob, 1996) จากรายงานการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของโลก พบว่าประเทศไทยมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สูงเป็นลำดับที่ 20 ของโลก โดยมีปริมาณ

เพิ่มขึ้นจาก 171 ล้านตัน (2542) เป็น 281 ล้านตัน (2561) ซึ่งคิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 2.69 ต่อปี (Knonema, 2020) ประเทศไทยยังถูกจัดให้เป็นประเทศที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศรุนแรงเป็นลำดับที่ 10 ของโลก (Eckstein *et al*., 2019) จากรายงานข้างต้นจึงอาจสรุปได้ว่าประเทศไทยกำลังจะเผชิญกับผลกระทบจากภาวะโลกร้อนที่รุนแรงในอนาคต นอกจากนี้ IPCC (2017) ได้ประเมินความสามารถในการดูดซับคาร์บอนของป่าไม้ว่าสามารถดูดซับคาร์บอนประมาณ 2.6 พันล้านตันต่อเฮกตาร์ แต่หากป่าถูกทำลายหรือการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่ป่าจะทำให้เกิดการปลดปล่อยคาร์บอนประมาณ 1.6 พันล้านตัน ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าการมีทรัพยากรป่าไม้ที่เพิ่มขึ้นเป็นวิธีการช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้ดี เนื่องจากป่าไม้ช่วยกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ในรูปของมวลชีวภาพ (biomass) ในเนื้อไม้และส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ใบ และราก โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) (Boonprakob, 1996; Redondo-Brenes and Montagnini., 2006; Zhu *et al*., 2008; Timilisina *et al*., 2014; Lakanaworakul *et al*., 2015) จากนั้นพืชจะนำมาเก็บไว้ในส่วนเหนือพื้นดิน (above-ground biomass) และใต้ดิน (below-ground biomass) ทำให้คาร์บอนถูกตรึงอยู่ในต้นไม้ได้นาน (Viriyabuncha, 2003) โดยประเทศไทยได้ลงนามต่ออนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เมื่อวันที่ 28 ธันวาคม 2537 และลงนามให้สัตยาบันในพิธีสารเกียวโต เมื่อวันที่ 28 สิงหาคม 2545 จากการให้สัตยาบันครั้งนั้นได้ส่งผลให้ประเทศไทยสามารถเข้าร่วมลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายใต้กลไกการพัฒนาที่สะอาด (clean development mechanism: CDM) (Department of Industrial Works, 2010) และได้รับหนังสือรับรองปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ (issuance of CERs) ซึ่งส่งผลให้สามารถนำคาร์บอนเครดิตไปทำการขายในตลาดคาร์บอนได้ โดยในปัจจุบันนี้สถานะของโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดในประเทศไทยมีจำนวน 66 โครงการที่ได้รับรองคาร์บอนเครดิต คิดเป็นปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ 14,170,000 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization), 2022) อย่างไรก็ตาม Office of the National Economic and Social Development Council (2017) ได้ให้ความสำคัญต่อมิติด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในเรื่องของการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังปรากฏในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560–2564) รวมไปถึงการฟื้นฟูรักษาฐานทรัพยากรธรรมชาติและป่าไม้ จากแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 ซึ่งได้กำหนดการเพิ่มพื้นที่ป่าไม้ร้อยละ 40 ของประเทศ กลับพบว่ายังไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดในแผนพัฒนาฯ ปัญหาการลดลงของพื้นที่ป่าในปี 2563 พบว่าพื้นที่ป่าลดลงเหลือร้อยละ 31.64 เมื่อเทียบกับพื้นที่ป่าในปี 2516 ที่มีมากถึงร้อยละ 43.21 ของพื้นที่ป่าทั้งประเทศ (Royal Forest Department, 2021) ดังนั้นการผลักดันในเรื่องของการเพิ่มพื้นที่ป่าตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติจึงเป็นเรื่องสำคัญในการนำประเทศไทยไปสู่สังคมคาร์บอนต่ำและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคต ดังนั้นพื้นที่ป่าที่การฟื้นฟูตัวเอง มีกำลังที่จะดูดซับคาร์บอนได้ดี

การศึกษาในครั้งนี้ผู้ศึกษาได้เลือกพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชดอยแง่ม มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง (อพ.สธ.-มฟล.) เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ศูนย์ประสานงานโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง (อพ.สธ.-มฟล.) เลือกเป็นพื้นที่ปกปักในการร่วมสนองพระราชดำริฯ ในงานของ อพ.สธ. ซึ่งตั้งอยู่ระหว่างพื้นที่ตำบลท่าสุด และตำบลแม่ข้าวต้ม อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย โดยมีลักษณะเป็นภูเขาสองลูกอยู่เคียงกัน ซึ่งสามารถมองเห็นได้อย่างเด่นชัดจากทางเข้ามหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง เป็น

ภูเขาสูงที่มีความลาดชันมากกว่าร้อยละ 35 ซึ่งพบว่าดอยที่ 1 (ฝั่งซ้าย) พิกัดละติจูด (latitude) 20°2’44" เหนือ ลองจิจูด (longitude) 99°54’14"ตะวันออก มีระดับความสูงที่สุด 609 เมตร และดอยที่ 2 (ฝั่งขวา) พิกัดละติจูด (latitude) 20°2’35"เหนือ ลองจิจูด (longitude) 99°54’13"ตะวันออก มีระดับความสูงที่สุด 610 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยพื้นที่ดอยแง่มตั้งอยู่ซ้อนทับกับพื้นที่เขตป่าสงวนแห่งชาติป่าดอยถ้ำผาตอง ป่าดอยสันป่าก๋อย และป่าน้ำแม่งาม ซึ่งจัดจำแนกเป็นพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ 1B หรือพื้นที่ป่าอนุรักษ์ (โซน C) โดยคิดเป็นพื้นที่ประมาณ 1,115 ไร่ พื้นที่ส่วนใหญ่ถูกปกคลุมด้วยสังคมป่าเบญจพรรณผสมป่าไผ่ (ไผ่บงใหญ่ ไผ่บงคาย และไผ่ซางนวล) เป็นชนิดพรรณไม้หลัก หรือประมาณร้อยละ 90 ของสังคมป่า โดยมีชนิดไม้ต่าง ๆ กระจายปะปนกันอยู่อย่างกระจัดกระจาย ซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้ว่าเป็นพื้นที่ป่าที่ผ่านการถูกรวบกวน และบุกรุกเพื่อทำไม้และการเกษตรกรรมมาก่อน อาจส่งผลให้ไผ่ซึ่งเป็นพืชที่สามารถเติบโตได้ดีและรวดเร็วในที่โล่งเข้ามาทดแทน (Office of the Permanent Secretary, 1998) และเปลี่ยนเป็นสังคมป่าไผ่บริเวณที่ไม่มีไผ่เติบโต ในเนื้อที่เล็ก ๆ มักจะพบหญ้าและวัชพืชใบกว้างเติบโตกระจายในพื้นที่ เช่นเดียวกันกับสังคมพืชพื้นล่างของป่าไผ่ที่มักจะพบหญ้าและวัชพืชขึ้นอยู่ แต่ค่อนข้างโล่ง เนื่องจากในฤดูฝนป่าไผ่เติบโตและแตกใบทำให้ชั้นเรือนยอดมีความหนาแน่น จึงปิดกั้นแสงไม่ให้ส่องลงไปถึงพื้นล่างของป่า จึงพบไม้พื้นล่างที่สามารถเจริญเติบโตภายใต้ร่มเงาได้ไม่มาก และในฤดูแล้งก็พบว่าต้นไผ่แห้งและมีการทิ้งใบทำให้ป่ามีสภาพโปร่งและแห้ง มักเกิดไฟป่าขึ้นประจำบนพื้นที่เขาทั้งสองลูก จึงทำให้พรรณไม้พื้นล่างของป่าแห้งและตาย

เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวมีความสำคัญต่อมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงเป็นอย่างมาก ทั้งในเรื่องของภูมิศาสตร์ที่ตั้งและความสวยงามของมหาวิทยาลัย รวมไปถึงความสำคัญในเรื่องของนิเวศวิทยาป่าไม้ และที่สำคัญการเป็นพื้นที่สีเขียวของมหาวิทยาลัย ด้วยมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงนั้นได้รับการจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียว โดยถูกจัดให้อยู่ลำดับที่ 7 ในประเทศไทย อันดับที่ 113 ของโลก ในปี 2564 (UI Green Metric World University Rankings, 2021) ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของพื้นที่เป็นอย่างมากในการอนุรักษ์เพื่อให้คงอยู่และควรได้รับการดูแลเป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามการศึกษาในเรื่องของมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน และความหลากหลายทางชีวภาพของพื้นที่ยังไม่การศึกษา การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณมวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน และความหลากหลายทางชีวภาพในพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชดอยแง่ม เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพ และการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพื้นที่ดอยแง่ม ซึ่งนอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ข้อมูลดังกล่าวในการเรียนการสอนของนักศึกษา หรือการพัฒนาพื้นที่เป็นแหล่งเรียนรู้ในด้านความหลากหลายทางชีวภาพให้กับผู้ที่สนใจ และที่สำคัญเพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้ในการจัดการทรัพยากรป่าไม้สำหรับการลดภาวะโลกร้อน และการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศของโลกในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชดอยแง่ม มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ตั้งอยู่ระหว่างพื้นที่ตำบลท่าสุด และตำบลแม่ข้าวต้ม อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย พื้นที่ประมาณ 1,115 ไร่ พิกัดทางภูมิศาสตร์ WGS84 (World Geodetic System 1984) โซน 47เหนือ: 20°20'45"เหนือ 99°54'18"ตะวันออก (Figure 1) ดำเนินการเก็บข้อมูลภาคสนามระหว่างเดือนธันวาคม 2564 – มีนาคม 2565

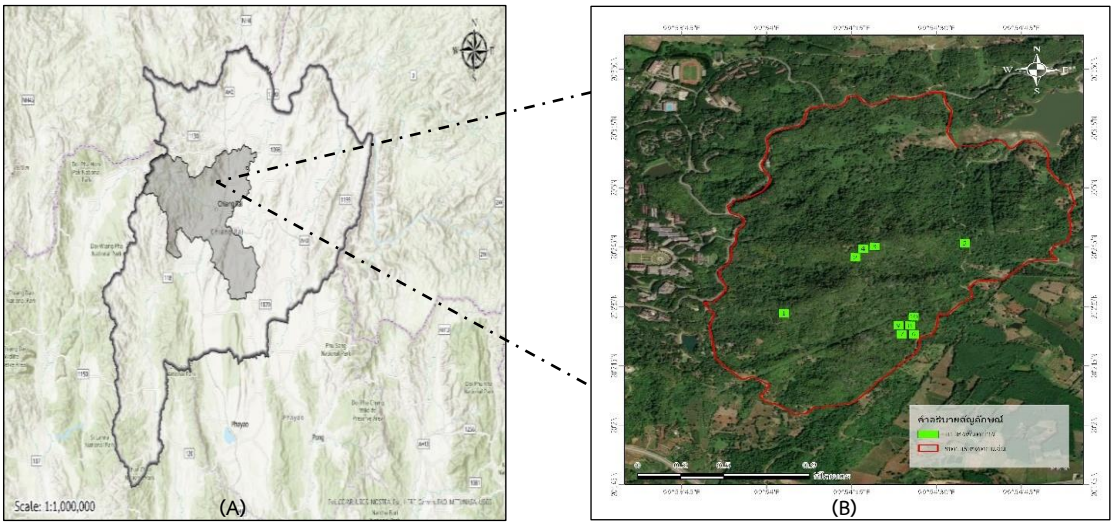

Figure 1 (A) Study area in the Mueang Chiang Rai District, Chiang Rai Province, Thailand. (B) Boundary of the Doi Ngam Plant Genetic Protection Area in the Mae Fah Luang University, Chiang Rai Province.

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลแบบการสำรวจป่าไม้แบบใช้แปลงสำรวจตัวอย่าง (quadrant method) โดยวิธีการสุ่มพื้นที่แบบเจาะจง และกำหนดขอบเขตแปลงสำรวจที่เหมาะสมทั่วทั้งพื้นที่ดอยแง่ม เนื่องจากพื้นที่มีความลาดชันสูงการเข้าถึงพื้นที่ค่อนข้างลำบาก จึงทำการเก็บข้อมูลตามจุดเก็บตัวอย่างที่กำหนดไว้ โดยใช้แปลงสำรวจตัวอย่างกึ่งถาวรขนาด 50x20 เมตร (1,000 ตารางเมตร) จำนวน 10 แปลง คิดเป็นร้อยละ 0.56 ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งแบ่งออกเป็นแปลงตัวอย่างขนาด 10x10 เมตร จำนวน 10 แปลงย่อย (เก็บตัวอย่างไม้ต้นและไผ่) แปลงขนาดย่อยขนาด 4x4 เมตร จำนวน 10 แปลงย่อย (เก็บตัวอย่างไม้รุ่น) และแปลงขนาดเล็กขนาด 1x1 เมตร จำนวน 10 แปลงย่อย (เก็บตัวอย่างกล้าไม้) (Kutintara, 1999) เก็บข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไม้ต้นที่ระดับความสูงเพียงอก 1.30 เมตร โดยเทปวัดเส้นผ่านศูนย์กลางและเส้นรอบวง (Diameter tape) ยี่ห้อ PROMA ETC. รุ่น LEO 250 และวัดความสูงโดยกล้องวัดระยะ (Laser rangefinder) ยี่ห้อ Nikon รุ่น Forestry Pro II ประเทศญี่ปุ่น จำแนกพรรณไม้โดยการเทียบตัวอย่างจากพิพิธภัณฑ์พืชของสวนพฤกษศาสตร์มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงและตรวจสอบชื่อพรรณไม้โดยใช้หนังสือชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย (Pooma and Suddee, 2014) และระบุชื่อทางพฤกษศาสตร์ศาสตร์ตามหนังสือพรรณพฤกษชาติแห่งประเทศไทย (Flora of Thailand)

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากชนิดของไม้ต้น ไม้รุ่น และกล้าไม้ (คำนวณจากแปลงตัวอย่างทุกแปลง) ดังสมการที่ 1-3 ดังนี้

1.1 Shannon–Wiener Index หรือ Shannon's Index (H') ตามวิธีการของ Shannon and Weaner (1949)

$$H' = \sum_{i=0}^{s} (\text{Pi } ln \text{ Pi}) \quad (1)$$

โดย H' = ค่าดัชนีความหลากหลายของ Shannon–Wiener

P_i = สัดส่วนระหว่างจำนวนต้นไม้ชนิดที่ i ต่อ จำนวนต้นไม้ทั้งหมดในแปลง

S = จำนวนชนิดไม้ทั้งหมดในแปลงที่ศึกษา

1.2 ความสม่ำเสมอของชนิดพันธุ์ (Evenness index) ตามวิธีการของ Pielou (1975) ดังนี้

$$E = \frac{H'}{\ln(S)} \quad (2)$$

โดย E = ค่าดัชนีความสม่ำเสมอ

H' = ค่าดัชนีความหลากหลาย

S = จำนวนชนิดไม้ทั้งหมดในแปลงที่ศึกษา

1.3 ความร่ำรวยของชนิดพันธุ์ (Richness index: R_1) ตามวิธีการของ Margaref (1958) ดังนี้

$$R_1 = \frac{S-1}{\ln(n)} \quad (3)$$

โดย S = จำนวนชนิดไม้ทั้งหมดในแปลงที่ศึกษา

n = จำนวนต้นไม้ทั้งหมดในแปลง

2. คำนวณค่าดัชนีความสำคัญของพรรณไม้ของพรรณไม้ (importance value index; IVI) เป็นผลรวมของค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ ค่าความเด่นสัมพัทธ์ และค่าความถี่สัมพัทธ์ (Marod and Kutintara, 2009) ดังสมการที่ 4 ดังนี้

$$IVI = RD + RF + RD \quad (4)$$

โดยที่ RD (%) = ความหนาแน่นสัมพัทธ์ ดังสมการที่ 5 ดังนี้

$$RD = \frac{\text{จำนวนความหนาแน่นของพืชชนิดนั้น}}{\text{ความหนาแน่นของไม้ทุกชนิด}} \times 100 \quad (5)$$

โดยที่ RF (%) = ความถี่สัมพัทธ์ ดังสมการที่ 6 ดังนี้

$$RF = \frac{\text{ความถี่ของพืชชนิดนั้น}}{\text{ผลรวมความถี่ของไม้ทุกชนิด}} \times 100 \quad (6)$$

โดยที่ RD_0 (%) = ความเด่นสัมพัทธ์ ดังสมการที่ 7 ดังนี้

$$RD_0 = \frac{\text{ความเด่นของพืชชนิดนั้น}}{\text{ผลรวมความเด่นของไม้ทุกชนิด}} \times 100 \quad (7)$$

3. การประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Above-ground biomass) ใช้หน่วย ตันต่อเฮกตาร์

3.1 คำนวณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินรายต้นของไม้ต้น โดยใช้สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณ ป่าเบญจพรรณของ Ogawa *et al*. (1965) ดังสมการที่ 8-10 ดังนี้

$$W_s = 0.0396 (D^2H)^{0.9326} \quad (8)$$

$$W_b = 0.003487 (D^2H)^{1.027} \quad (9)$$

$$W_l = (28.0/Wtc + 0.025)^{-1} \quad (10)$$

โดย W_s = มวลชีวภาพส่วนลำต้น

W_b = มวลชีวภาพส่วนกิ่ง

W_l = มวลชีวภาพส่วนใบ

D = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

3.2 คำนวณมวลชีวภาพของไผ่บงใหญ่ (*Dendrocalamus brandisii*) และไผ่บงคาย (*Gigantochloa hosseusii*) จากสมการแอลโลเมตรีของ Wannalangka *et al*. (2015) ดังสมการที่ 11-14 ดังนี้

$$W_c = 0.0136 (D^2H)^{0.9548} \quad (11)$$

$$W_b = 0.0184 (D^2H)^{0.9293} - W_c \quad (12)$$

$$W_l = 0.0174 (D^2H)^{0.9313} - W_c \quad (13)$$

$$AGB = 0.0222 (D^2H)^{0.9098} \quad (14)$$

โดย W_c = มวลชีวภาพส่วนลำของไผ่

W_b = มวลชีวภาพส่วนกิ่ง

W_l = มวลชีวภาพส่วนใบ

AGB = มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน

3.3 คำนวณมวลชีวภาพของไผ่ซางดอย (*Dendrocalamus membranaceus*) จากสมการแอลโลเมตรีของ Royampaeng (1990) ดังสมการที่ 15-18 ดังนี้

$$W_c = 0.3044 (D)^{1.7526} \quad (15)$$

$$W_b = 0.0795 (D^2H)^{2.0827} \quad (16)$$

$$W_l = 0.0088 (D)^{1.1385} \quad (17)$$

$$AGB = 0.3939 (D)^{1.8325} \quad (18)$$

โดย $W_{tc} = W_s + W_b$

3.4 คำนวณปริมาณคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้ต้นรายต้น และไผ่ นำมวลชีวภาพเหนือ

พื้นดินรายต้นของไม้ต้น และไผ่คูณด้วยร้อยละปริมาณคาร์บอน คือ ร้อยละ 50 (Girma *et al*., 2014; Community Forest Management Office, 2014; Haghdoost *et al*., 2013; Teerakunpisut *et al*., 2007; Brown, 2002; Margaret *et al*., 2002; Brown and Lugo, 1982) ใช้หน่วยตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ดังสมการที่ 19 ดังนี้

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน =
ปริมาณมวลชีวภาพ x 0.50 (ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์) (19)

3.5 การคำนวณปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของของระบบนิเวศเป็นการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 absorption) เป็นผลรวมของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของระบบนิเวศ (Ecosystem carbon stock: EC stock) คูณด้วยค่าสัดส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 : มวลโมเลกุล = 44) และคาร์บอน (C : มวลโมเลกุล = 12) คือ 44/12 หรือ 3.67 (Girma *et al*., 2014; Ounkerd *et al*., 2015; Community Forest Management Office, 2014) ดังสมการที่ 20 ดังนี้

$$CO_{2\ absorbtion} = EC_{stock} \times CO_2\ CF \quad (20)$$

โดย $CO_{2\ absorbtion}$ = ปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบนิเวศ (ตันคาร์บอนเทียบเท่า/ไร่)

EC_{stock} = ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของระบบนิเวศ (ตันคาร์บอน/ไร่)

CO_2 CF = ค่าสัดส่วนระหว่างคาร์บอน-ไดออกไซด์และคาร์บอน หรือ 3.67

4. คาร์บอนเครดิต (carbon credit) คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่กักเก็บในต้นไม้สามารถซื้อขายได้ เพื่อผู้ซื้อนำไปใช้หักลบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอันเกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การเผาผลาญน้ำมันดิบในโรงงาน หรือจากการยานพาหนะ การประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนโดยใช้ราคาอ้างอิงจากราคาตลาดการซื้อขายคาร์บอนรายสัปดาห์ (Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization), 2022) ได้แก่ ตลาดภาคทางการของสหภาพยุโรป หรือตลาดคาร์บอนอียู (EU Emission Trading Scheme, EU ETS) เมื่อวันที่ 30 เมษายน 2565 มีค่าเท่ากับ 88.60 ยูโร/ตันคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ 3,240.37 บาท/ตันคาร์บอนไดออกไซด์ (1 ยูโร มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 36.57 บาท) และตลาดภาคสมัครใจในรัฐแคลิฟอร์เนีย (U.S. California Carbon Market) เมื่อวันที่ 30 เมษายน 2565 มีค่าเท่ากับ 31.47 ดอลลาร์สหรัฐ/ตันคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ 1,084.58 บาท/ตันคาร์บอนไดออกไซด์ (1 ดอลลาร์สหรัฐ มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 34.464 บาท) ข้อมูลอัตราแลกเปลี่ยนเงินต่างประเทศโดยเฉลี่ยรายวัน วันที่ 3 พฤษภาคม 2565 (Bank of Thailand, 2022)

ผลและวิจารณ์

ลักษณะสังคมพืช

การศึกษาลักษณะสังคมพืชของพรรณไม้ป่าเบญจพรรณในพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชดอยแง่มมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย พบไม้ต้นจำนวน 806 ต้น 55 ชนิด 45 สกุล 26 วงศ์ โดยพบพรรณไม้วงศ์ถั่ว (Fabaceae) มากที่สุด คิดเป็นจำนวนความหนาแน่นของพรรณไม้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตรขึ้นไป มีค่าเท่ากับ 5,037.50 ต้น/เฮกตาร์ (128.96 ต้น/ไร่) ขนาดพื้นที่หน้าตัดรวม 78.13 ตารางเมตร/เฮกตาร์ (12.50 ตารางเมตร/ไร่) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 18.66±6.96 เซนติเมตร ความสูงเฉลี่ย 9.55±3.33 เมตร ค่าดัชนีความหลากชนิดเท่ากับ 3.12 ค่าความสม่ำเสมอของชนิดพันธุ์ (evenness index) เท่ากับ 0.78 และค่าความร่ำรวยของชนิดพันธุ์ (richness index) เท่ากับ 8.07 ซึ่งถือได้ว่าค่าดัชนีดังกล่าวค่อนข้างสูงและบ่งชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของพื้นที่ในเรื่องของความหลากชนิดที่สูง

ผลการศึกษาครั้งนี้มีความใกล้เคียงกับการศึกษาของ Maosew *et al*. (2019) ทำการศึกษาการประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนของป่า

ธรรมชาติและระบบวนเกษตรแบบสวนไม้ผลผสมที่ไม่ถูกรบกวนจากดินถล่มและที่มีการทดแทนตามธรรมชาติ โดยในระบบนิเวศป่าเบญจพรรณผสมไผ่พบพรรณไม้ต้น 64 ชนิด 53 สกุล 33 วงศ์ และค่าดัชนีความหลากหลายเท่ากับ 3.81 เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Tokeeree *et al*. (2020) ทำการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้ต้นในป่าชุมชนบ้านแสงตะวัน จังหวัดสุรินทร์ พบพรรณไม้ต้น 35 ชนิด 31 สกุล 25 วงศ์ และค่าดัชนีความหลากหลายเท่ากับ 2.15 และการศึกษาของ Temwut and Chaitieng (2021) ได้ศึกษามวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในพื้นที่โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชและคืนสัตว์สู่ป่าในมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ (พื้นที่นามน) ซึ่งพบพรรณไม้ 26 ชนิด 26 สกุล 16 วงศ์ นอกจากนี้ยังมีผลการศึกษาใกล้เคียงกับ Dumrongrojwatthana *et al*. (2018) ที่พบพรรณไม้ 56 ชนิด และมีค่าดัชนีความหลากหลายเท่ากับ 3.11 ในการศึกษาการสะสมธาตุคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของไม้ยืนต้นในพื้นที่ปกปักทรัพยากร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาพบว่าจำนวนชนิดพรรณไม้ที่พบขึ้นอยู่กับขนาดของแปลงสำรวจและสังคมของพืชในแต่ละที่ เนื่องจากความสมบูรณ์ของป่า ความหลากชนิด และสภาพทางภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกัน เช่น ป่าเสื่อมโทรมที่มีการฟื้นตัว ป่าธรรมชาติดั้งเดิม หรือป่าที่มีการจัดการ ย่อมส่งผลให้เกิดความหลากหลายของชนิดพรรณในพื้นที่นั้นแตกต่างกันตามไปด้วย

ค่าดัชนีความสำคัญ

ผลการศึกษาค่าดัชนีความสำคัญของพรรณไม้ ในการศึกษาครั้งนี้พบโมกมัน (*Wrightia pubescens*) เป็นไม้ที่มีดัชนีความสำคัญของพรรณไม้มากที่สุด รองลงมาได้แก่ ผ่าเสี้ยน (*Vitex canescens*) ไผ่บงคาย (*Gigantochloa hosseusii*) ไผ่ซางดอย (*Dendrocalamus membranaceus*) ตะคร้อ (*Schleichera oleosa*) ตะเคียนหนู (*Terminalia phillyreifolia*) ติ้วขน (*Cratoxylum formosum* subsp. *pruniflorum*) กางขี้มอด (*Albizia odoratissima*) เปล้าใหญ่ (*Croton persimilis*) และสมอพิเภก (*Terminalia bellirica*) ซึ่งไม้เด่นที่พบในครั้งนี้เนื่องมาจากพื้นที่เป็นป่าที่กำลังฟื้นตัว โดยโมกมันเป็นพรรณไม้เบิกนำที่ทนต่อสภาพแวดล้อม จึงโตได้เร็วและครอบครองพื้นที่ ในขณะเดียวกันก็พบไผ่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากเป็นพื้นที่เปิดโล่งมาก่อน (Table 1) จะเห็นว่าโมกมันมีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่สูง เนื่องจากมีการกระจายรวมไปถึงจำนวนต้นที่มาก จึงทำให้โมกมันเป็นชนิดที่มีค่าดัชนีความสำคัญที่สูงตามไปด้วย นอกจากนี้พบว่าผลการศึกษาของ Temwut and Chaitieng (2021) ที่ทำการศึกษาป่าเบญจพรรณที่มีไม้ใหญ่เหลือรอดจากการถางทำเกษตรกรรมในพื้นที่โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชและคืนสัตว์สู่ป่า มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ พบพรรณไม้ 26 ชนิด 26 สกุล 16 วงศ์ ซึ่งพบพรรณไม้วงศ์ตีนเป็ด (Apocynaceae) และวงศ์ถั่ว (Fabaceae) มากที่สุด เช่นเดียวกับผลการศึกษาครั้งนี้ที่พบพรรณไม้วงศ์ถั่วมากที่สุด

Table 1 Qualitative data of the dominant tree species in the Doi Ngaem plant genetic protection area at the Mae Fah Luang University, Chiang Rai province.

No.	Local name	Botanical name	Family name	Basal area (m^2/ha)	RD (%)	RDo (%)	RF (%)	IVI (%)
1	โมกมัน	*Wrightia pubescens*	Apocynaceae	1.03	12.90	5.85	10.48	29.23
2	ผ่าเสี้ยน	*Vittex canescens*	Lamiaceae	0.95	12.90	5.58	9.73	28.48
3	ไผ่บงคาย	*Gigantochloa hosseusii*	Poaceae	2.33	8.68	2.92	16.04	27.64
4	ไผ่ซางดอย	*Dendrocalamus membranaceus*	Poaceae	2.94	5.33	2.92	12.41	20.67
5	ตะคร้อ	*Schleichera oleosa*	Sapindaceae	1.08	7.57	5.26	6.46	19.29
6	ตะเคียนหนู	*Terminalia phillyreifolia*	Combretaceae	1.54	5.58	5.26	6.82	17.66
7	ติ้วขน	*Cratoxylum formosum* subsp. *pruniflorum*	Hypericaceae	0.77	8.19	2.92	5.00	16.11
8	กางขี้มอด	*Albizia odoratissima*	Fabaceae-Mimosoideae	1.48	2.48	4.09	2.91	9.48
9	เปล้าใหญ่	*Croton persimilis*	Euphorbiaceae	0.56	3.85	2.92	1.71	8.48
10	สมอพิเภก	*Terminalia bellirica*	Combretaceae	1.00	2.23	4.09	1.77	8.10
11	คำแสด	*Mallotus philippensis*	Euphorbiaceae	1.06	1.61	4.68	1.35	7.64
12	กระพี้นางนวล	*Dalbergia cana*	Fabaceae-Papilionoideae	0.85	4.09	0.58	2.76	7.43
13	พลับพลา	*Microcos tomentosa*	Malvaceae	0.62	2.36	3.51	1.16	7.03
14	มะเม่าสาย	*Antidesma sootepense*	Phyllanthaceae	0.61	2.73	2.92	1.31	6.96
15	แคบิด	*Fernandoa adenophylla*	Bignoniaceae	0.89	1.99	2.92	1.40	6.31
16	ทองหลางป่า	*Erythrina subumbrans*	Fabaceae-Papilionoideae	2.00	0.99	2.92	1.57	5.49
17	ตะครั้ำ	*Garuga pinnata*	Burseraceae	2.10	0.99	2.34	1.65	4.98
18	มะกล่ำต้น	*Adenanthera pavonina*	Fabaceae-Mimosoideae	1.46	1.12	1.75	1.29	4.16

Table 1 (continued)

No.	Local name	Botanical name	Family name	Basal area (m^2/ha)	RD (%)	RDo (%)	RF (%)	IVI (%)
19	กะเจียน	*Huberantha cerasoides*	Annonaceae	1.07	0.99	1.75	0.84	3.59
20	เสลาใบใหญ่	*Lagerstroemia loudonii*	Lythraceae	1.19	0.62	2.34	0.58	3.54
21	กาสามปีก	*Vitex peduncularis*	Malvaceae	1.80	0.62	1.75	0.88	3.26
22	มะกอกเกลื้อน	*Canarium subulatum*	Burseraceae	1.64	0.62	1.75	0.80	3.18
23	มะแฟน	*Protium serratum*	Burseraceae	0.93	1.12	1.17	0.82	3.11
24	พระเจ้าร้อยท่า	*Heteropanax fragrans*	Araliaceae	1.72	0.74	1.17	1.02	2.93
25	ลาย	*Microcos paniculata*	Malvaceae	1.11	0.87	1.17	0.76	2.80
26	ประดู่ป่า	*Pterocarpus macrocarpus*	Fabaceae-Papilionoideae	1.94	0.62	1.17	0.95	2.74
27	ปอแดง	*Sterculia guttata*	Malvaceae	0.65	0.99	1.17	0.51	2.68
28	ปอหู	*Hibiscus macrophyllus*	Malvaceae	0.59	0.50	1.75	0.23	2.48
29	มะดูก	*Siphonodon celastrineus*	Celastraceae	0.46	0.50	1.75	0.18	2.43
30	กอมขม	*Picrasma javanica*	Simaroubaceae	0.93	0.62	1.17	0.46	2.25
31	หมีเหม็น	*Litsea glutinosa*	Lauraceae	0.56	0.74	1.17	0.33	2.24
32	กางหลวง	*Albizia chinensis*	Fabaceae-Mimosoideae	2.31	0.37	1.17	0.68	2.22
33	แคนา	*Dolichandrone serrulata*	Bignoniaceae	1.25	0.50	1.17	0.49	2.16
34	มะหวด	*Lepisanthes rubiginosa*	Sapindaceae	0.37	0.50	1.17	0.15	1.81
35	เต้าหลวง	*Macaranga gigantea*	Euphorbiaceae	1.42	0.50	0.58	0.56	1.64
36	ตะแบกเกรียบ	*Lagerstroemia cochinchinensis*	Lythraceae	0.88	0.25	1.17	0.17	1.59
37	ส้านหิ่ง	*Dillenia pentagyna*	Dilleniaceae	0.88	0.25	1.17	0.17	1.59
38	ไผ่บงใหญ่	*Dendrocalamus brandisii*	Poaceae	2.56	0.25	0.58	0.50	1.34
39	ตะแบกแดง	*Lagerstroemia calyculata*	Lythraceae	5.76	0.12	0.58	0.57	1.27
40	พญาสัตบรรณ	*Alstonia scholaris*	Apocynaceae	4.73	0.12	0.58	0.46	1.17

Table 1 (continued)

No.	Local name	Botanical name	Family name	Basal area (m^2/ha)	RD (%)	RDo (%)	RF (%)	IVI (%)
41	มะก้อม	*Staphylea cochinchinensis*	Staphyleaceae	4.66	0.12	0.58	0.46	1.17
42	มะกอกป่า	*Spondias pinnata*	Anacardiaceae	4.60	0.12	0.58	0.45	1.16
43	ลำไยป่า	*Dimocarpus longan*	Sapindaceae	0.77	0.25	0.58	0.15	0.98
44	รักขาว	*Semecarpus cochinchinensis*	Anacardiaceae	2.00	0.12	0.58	0.20	0.91
45	มะเดื่อปล้อง	*Ficus hispida*	Moraceae	1.49	0.12	0.58	0.15	0.86
46	เก็ดแดง	*Dalbergia lanceolaria*	Fabaceae-Papilionoideae	1.40	0.12	0.58	0.14	0.85
47	กระพี้เขาควาย	*Dalbergia cultrata*	Fabaceae-Papilionoideae	1.05	0.12	0.58	0.10	0.81
48	มุ่นดอย	*Elaeocarpus floribundus*	Elaeocarpaceae	0.98	0.12	0.58	0.10	0.80
49	กล้วยฤาษี	*Diospyros glandulosa*	Ebenaceae	0.61	0.12	0.58	0.06	0.77
50	มะเกลือ	*Diospyros martabanica*	Ebenaceae	0.49	0.12	0.58	0.05	0.76
51	ชิงชัน	*Dalbergia oliveri*	Fabaceae-Papilionoideae	0.57	0.12	0.58	0.06	0.76
52	เน่าใน	*Ilex umbellulata*	Aquifoliaceae	0.37	0.25	0.58	0.15	0.75
53	เสี้ยวฟ่อม	*Bauhinia viridescens*	Fabaceae-Papilionoideae	0.39	0.12	0.58	0.04	0.75
54	พิลังกาสา	*Ardisia polycephala*	Primulaceae	0.39	0.12	0.58	0.04	0.75
55	ข่อย	*Streblus asper*	Moraceae	0.38	0.12	0.58	0.04	0.75
		Sum.		**78.13**	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**300.00**

Remarks: IVI = importance value index, RD = relative density, RF = relative frequency, RDo = relative dominance

ปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

1. มวลชีวภาพ

ผลการศึกษาปริมาณมวลชีวภาพในไม้ต้นพบว่าพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชดอยแง่ม มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง คิดเป็นมวลชีวภาพเฉลี่ย 9.30±5.39 ตัน/เฮกตาร์ และมีปริมาณมวลชีวภาพรวมทั้งหมด 93.02 ตัน/เฮกตาร์ โดยแบ่งเป็นส่วนลำต้น กิ่ง และใบ เท่ากับ 69.74, 25.27 และ 1.61 ตัน/เฮกตาร์ ตามลำดับ (Table 2)

2. การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ

ผลการศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชดอยแง่ม มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง คิดเป็นมวลชีวภาพเฉลี่ย 4.83±2.75 ตันคาร์บอน/เฮกตาร์ และมีการกักเก็บคาร์บอนรวมทั้งหมด 48.31 ตันคาร์บอน/เฮกตาร์ โดยส่วนของลำต้นมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนมากที่สุด 34.87 ตันคาร์บอน/เฮกตาร์ รองลงมาเป็นส่วนของกิ่ง 12.63 ตันคาร์บอน/เฮกตาร์ และส่วนของใบเท่ากับ 0.81 ตันคาร์บอน/เฮกตาร์ (Table 2)

3. การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์

ปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชดอยแง่ม มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง มีปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์รวมทั้งหมด 177.30 ตันคาร์บอนเทียบเท่า/เฮกตาร์

Table 2 Above-ground biomass and carbon stock in the Doi Ngaem plant genetic protection area at the Mae Fah Luang University, Chiang Rai Province.

Plot	Above-ground biomass (t/ha)				Carbon stock (tC/ha)			
	S	B	L	Total	S	B	L	Total
1	4.09	1.85	0.08	5.72	2.05	0.93	0.04	3.01
2	11.79	4.04	0.30	15.50	5.89	2.02	0.15	8.06
3	9.35	4.44	0.17	13.28	4.67	2.22	0.08	6.98
4	16.20	3.94	0.34	20.14	8.10	1.97	0.17	10.24
5	3.35	0.69	0.12	4.04	1.68	0.35	0.06	2.08
6	8.02	2.67	0.22	10.51	4.01	1.33	0.11	5.45
7	4.83	1.71	0.13	6.42	2.42	0.86	0.07	3.34
8	3.55	1.14	0.11	4.60	1.77	0.57	0.06	2.40
9	4.26	2.58	0.06	6.53	2.13	1.29	0.03	3.45
10	4.31	2.19	0.09	6.26	2.15	1.10	0.04	3.30
Sum.	**69.74**	**25.19**	**1.61**	**93.02**	**34.87**	**12.63**	**0.81**	**48.31**

Remarks: S = stem, B = branch, L = leaf

การศึกษาปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในครั้งนี้ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการศึกษารายแปลงจะเห็นได้ว่าโดยส่วนใหญ่ค่ามวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนใกล้เคียงกัน แต่พบว่าแปลงที่ 4 มีค่ามวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนที่สูงกว่าแปลงอื่น เนื่องจากแปลงศึกษาที่ 4 พบว่าโดยส่วนใหญ่ไม้ต้นในแปลงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่สูงจึงทำให้ค่ามวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนสูงตามไปด้วย โดยผลการศึกษาเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาในพื้นที่ป่าเบญจพรรณด้วยกับ พบว่า สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Teerakunpisut *et al*. (2007) พบว่าค่ามวลชีวภาพ

เหนือพื้นดินของป่าเบญจพรรณในอุทยานแห่งชาติทองผาภูมิมีค่าเท่ากับ 96.30 ตัน/เฮกตาร์ และการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 48.20 ตันคาร์บอน/เฮกตาร์ เช่นเดียวกันกับผลการศึกษาปริมาณมวลชีวภาพป่าเบญจพรรณบริเวณสถานีวิจัยและฝึกนิสิตวนศาสตร์วังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา มีค่าเท่ากับ 71.49 ตัน/เฮกตาร์ และมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 85.89 ตันคาร์บอน/เฮกตาร์ (Chandaeng *et al*., 2020) อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาครั้งนี้มีค่าน้อยกว่าผลการศึกษาของ Boontoon *et al*. (2020) ที่ศึกษาการประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนของพืชที่มีเนื้อไม้ในป่าเบญจพรรณในอุทยานแห่งชาติเอราวัณ จังหวัดกาญจนบุรี พบปริมาณมวลชีวภาพสูงสุดเท่ากับ 246.11 ตัน/เฮกตาร์ และการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 115.67 ตันคาร์บอน/เฮกตาร์ ในขณะที่ผลการศึกษาของ Nuanurai (2005) ที่พบปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าเบญจพรรณอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน มีค่าเท่ากับ 68.53 ตัน/เฮกตาร์ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 34.26 ตันคาร์บอน/เฮกตาร์ การศึกษาของ Temchai and Keawket (2013) พบปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงถาวรในเขตร้อนป่าเบญจพรรณ อุทยานแห่งชาติเฉลิมพระเกียรติไทยประจัน จังหวัดราชบุรี มีค่าเท่ากับ 51.75 ตัน/เฮกตาร์ และการศึกษาของ Tokeeree (2020) ซึ่งทำการศึกษามวลชีวภาพของไม้ต้นในป่าชุมชนบ้านแสงตะวัน จังหวัดสุรินทร์ พบว่ามีปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 26.130 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 12.281 ตัน/ไร่ และการศึกษามวลชีวภาพในพื้นที่โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชและคืนสัตว์สู่ป่าในมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ (พื้นที่นามน) ที่มีค่าเท่ากับ 12.375 ตัน/ไร่ (Temwut and Chaitieng, 2021) และนอกจากนี้ยังพบว่ามีค่ามากกว่าการศึกษาของ Maosew *et al*. (2019) ซึ่งศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพในระบบนิเวศป่าเบญจพรรณผสมไผ่ มีค่าเท่ากับ 9.36 ตันคาร์บอน/ไร่ จะเห็นได้ว่าจากผลการศึกษาครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาอื่นดังที่กล่าวมา บ่งชี้ให้เห็นว่าค่ามวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพที่มีค่าสูงนั้น เนื่องจากพื้นที่นั้นมีขนาดของไม้ต้นที่สูงใหญ่จึงมีปริมาณมวลชีวภาพที่มาก และจำนวนต้นในพื้นที่ที่มากก็ส่งผลให้ค่ามวลชีวภาพสูงเช่นเดียวกัน และยังพบว่าความสมบูรณ์ของสภาพป่าและความหลากชนิดยังส่งผลต่อการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่นั้น ๆ อีกด้วย เนื่องจากป่าที่มีความสมบูรณ์หรือป่าที่ไม่ถูกรบกวนย่อมมีความหนาแน่นของพรรณไม้ในพื้นที่นั้นสูง และส่วนใหญ่จะมีขนาดของต้นไม้ที่ใหญ่อยู่ จึงทำให้มีค่ามวลชีวภาพที่สูง และส่งผลให้มีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพที่สูงตามไปด้วย

การประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอน

การศึกษาการประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชดอยแง่มมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงในครั้งนี้ พบว่า มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 48.31 ตันคาร์บอน/เฮกตาร์ เมื่อนำมาประเมินมูลค่าการซื้อขายคาร์บอนในตลาดคาร์บอนอียู (EUA) 156,542.18 บาท และตลาดแคลิฟอร์เนีย (CCA) 52,396.16 บาท ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 3 และหากพิจารณาจากมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนจากพื้นที่แปลงศึกษาตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ เมื่อนำไปคิดเป็นค่าของพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชดอยแง่มทั้งหมด 1,115 ไร่ (178.40 เฮกตาร์) จะได้ค่าการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่เท่ากับ 8,618.50 ตันคาร์บอน/เฮกตาร์ หรือคิดเป็นมูลค่าการซื้อขายตลาดคาร์บอนอียู (EUA) 28,788,992.21 บาท และตลาดแคลิฟอร์เนีย (CCA) 9,345,647.18 บาท ซึ่งเป็นมูลค่าการซื้อขายที่สูงมาก อย่างไรก็ตามมูลค่าการซื้อขายค่าคาร์บอนนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณการซื้อขายในตลาดและอัตราการแลกเปลี่ยนค่าเงิน ณ ขณะนั้น

การซื้อขายคาร์บอนในปัจจุบันยังมีเงื่อนไขและข้อจำกัดสูง ทำให้การซื้อขายค่อนข้างยุ่งยาก ในอนาคตหากมีการซื้อขายค่าคาร์บอนในพื้นที่ได้จริง ควรจะมีการจัดการกับพื้นที่เพื่อให้ดีมากยิ่งขึ้น

เช่น การดูแลรักษาต้นไม้ในพื้นที่ให้ดี มีการจัดการตามวิธีการของรุกขกร รวมไปถึงการฟื้นฟูระบบนิเวศป่าไม้ที่เสื่อมโทรมรอบข้าง และป้องกันการลักลอบเข้าไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่ป่า เนื่องจากจำนวนเงินที่ได้จากการซื้อขายนั้นค่อนข้างสูงส่งผลให้การจัดการสามารถทำได้ง่ายมากขึ้น

Table 3 Estimation of carbon stock of Woody Plants in the Doi Ngaem Plant Genetic Protection Area at the Mae Fah Luang University, Chiang Rai Province.

Plot	Above-ground Biomass	Carbon stock	Carbon stock value (Baht)	
	(t/ha)	(tCO_2/ha)	EUA	CCA
1	5.72	3.01	9,753.508	3,264.592
2	15.50	8.06	26,117.366	8,741.731
3	13.28	6.98	22,617.769	7,570.382
4	20.14	10.24	33,181.368	11,106.120
5	4.04	2.08	6,739.965	2,255.931
6	10.51	5.45	17,660.006	5,910.972
7	6.42	3.34	10,822.829	3,622.504
8	4.60	2.40	7,776.883	2,602.997
9	6.53	3.45	11,179.270	3,741.808
10	6.26	3.30	10,693.214	3,579.121
Sum	**93.02**	**48.31**	**156,542.178**	**52,396.156**

Remarks: EUA is the official market of the European Union of May 3, 2022 equal to 3,340.37 Baht/tCO_2
CCA is voluntary market in California of May 3, 2022 equal to 1,084.58 Baht/tCO_2

สรุป

การศึกษาการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของพืชที่มีเนื้อไม้ในพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชดอยแง่ม มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย พบว่าโครงสร้างป่าในพื้นที่ศึกษาเป็นป่าเบญจพรรณผสมป่าไผ่ ซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นที่ป่าทุติยภูมิ (Secondary forest) ที่มีการใช้ประโยชน์มาก่อนในอดีต ส่งผลให้ไผ่ซึ่งเป็นไม้เบิกนำที่สามารถเข้าครองพื้นที่ได้รวดเร็วและกลายมาเป็นพรรณไม้หลักในพื้นที่ดังกล่าว โดยพรรณไม้ที่พบในแปลงสำรวจส่วนใหญ่เป็นไม้ดั้งเดิมและพรรณไม้ที่พบได้ทั่วไปในป่าเบญจพรรณ ได้แก่ โมกมัน ผ่าเสี้ยน ติ้วขน ตะคร้อ และตะเคียนหนู ประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ในครั้งนี้ พบปริมาณมวลชีวภาพรวมเฉลี่ย 93.02 ตัน/เฮกตาร์ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเฉลี่ย 48.31 ตันคาร์บอน/เฮกตาร์ ซึ่งคิดเป็นมูลค่าการซื้อขายตลาดคาร์บอนอียู (EUA) 156,542.18 บาท และตลาดแคลิฟอร์เนีย (CCA) 52,396.16 บาท เมื่อคิดเป็นมูลค่าการกักเก็บของพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชดอยแง่มทั้งหมด 1,115 ไร่ (178.40 เฮกตาร์) จะมีค่าเท่ากับ 8,618.50 ตันคาร์บอนเทียบเท่า หรือคิดเป็นมูลค่าการซื้อขายตลาดคาร์บอนอียู (EUA) 28,788,992.21 บาท และตลาดแคลิฟอร์เนีย (CCA) 9,345,647.18 บาท และคิดเป็นปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์รวมทั้งหมด 177.30 ตันคาร์บอนเทียบเท่า/เฮกตาร์ อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาดังกล่าวนั้นเป็นเพียงผลการศึกษาการประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนในส่วนของไม้ต้นและไผ่เท่านั้น ซึ่งเป็นการศึกษาในส่วนของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่านั้น จึงควรมีการศึกษาการประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนของมวลชีวภาพส่วน

อื่น ๆ เช่น ส่วนของไม้พื้นล่าง ไม้ตาย และส่วนของคาร์บอนใต้ดินเพิ่มเติม เพื่อให้ข้อมูลที่ได้นั้นมีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น การศึกษาครั้งนี้มีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. การศึกษาครั้งนี้มีการวางแปลงตัวอย่างในพื้นที่ป่าทั้งหมดจำนวน 10 แปลง ควรมีการเพิ่มจำนวนแปลงตัวอย่างให้มากขึ้น เนื่องจากยังไม่ครอบคลุมทั่วพื้นที่ และควรมีการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง เพื่อทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในแต่ละปี และเพื่อให้ข้อมูลนั้นมีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

2. ควรมีการศึกษามวลชีวภาพของไม้พื้นล่าง เศษซากพืช และหาปริมาณการกกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับไม้ต้น และเพื่อให้ได้ข้อมูลของปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนทั้งระบบนิเวศของพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชดอยแง่ม มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

3. หากการซื้อขายคาร์บอนเครดิตของพื้นที่ดังกล่าวได้จริง จะต้องมีการจัดการและการดูแลพื้นที่ให้มากขึ้น เนื่องจากตามนโยบายของตลาดจะต้องมีการทวนสอบพื้นที่และความสามารถในการคงอยู่ของคาร์บอนรายปีอย่างต่อเนื่อง

คำนิยม

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง (อพ.สธ.–มฟล.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565

REFERENCES

Bank of Thailand. 2022. **Rate of Exchange of Commercial Bank in Bangkok Metropolis**. Available Source:https://www.bot.or.th/Thai/FinancialMarkets/_layouts/Application/ExchangeRate/ExchangeRate.aspx#, 3 May 2022. (in Thai)

Boonprakob, K. 1996. **Land Use Change and Forestry**. Draft final report: Thailand's National Greenhouse Gas Inventory 1990. Office of Environmental Policy and Planning, Thailand. (In Thai)

Boontoon, P., Suanpaga, W., Maelim, S. 2020. Estimation of carbon stock value of Woody plants in mixed deciduous forest in Erawan National Park, Kanchanaburi province. **Thai Journal of Forestry,** 39(2): 27-40. (in Thai)

Brown, S., Lugo, A.E. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. **Biotropica,** 14: 161-187. doi: 10.2307/2388024.

Brown, S. 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. **Environmental Pollution**, 116(3): 363-372. Doi: 10.1016/S0269-7491(01)00212-3.

Chandang, W., Puangchit, L., Junkerd, N., Jumwong, N. 2020. Carbon stock of different forest communities at Wang Nam Khiao forestry research and student training station, Nakhon Ratchasima province. **Thai Journal of Forestry**, 39(1): 57-70. (in Thai)

Community Forest Management Office. 2014. **A Guide to Exploring Carbon Sequestration and Biodiversity in Community Forests.** Community Forest Management Office, Royal Forest Department, Bangkok. (in Thai)

Department of Industrial Works. 2010. **CDM-Programme of Activities: PoA**. Jarus

Business Printing Part., Ltd., Chiang Mai. (in Thai)

Dumrongrojwatthana, P., Phechtongkliang, P., Koonsuk, C. 2018. Carbon storage of trees in the resource conservation rorest, Rambhai Barni Rajabhat University. **Rajabhat Rambhai Barni Research Journal,** 12(3): 190-200. (in Thai)

Eckstein, D., Hutfils, M-L., Winges, M. 2019. **Global Climate Risk Index 2019**. Berlin: Germanwatch.

Girma, A., Soromessa, T., Bekele, T. 2014. Forest carbon stocks in woody plants of MOUNT Zequalla Monastery and it's variation along altitudinal gradient: Implication of managing forests for climate change mitigation. **Science, Technology and Arts Research Journal,** 3(2): 132-140. doi: 10.4314/star.v3i2.17.

Haghdoost, N., Akbarinia, M., Hosseini, S.M. 2013. Land-use change and carbon stocks: A case study, Noor County, Iran. **Journal of Forestry Research,** 24(32): 461-469. doi: 10.1007/s11676-013-0340-2.

Hengpraprom, S. 2009. Global warming and infectious diseases. **Research of Public Health System Journal,** 3: 363-369. (In Thai)

International Panel on Climate Change (IPCC). 2017. **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Available Source: https://www.ipcc.ch/report/ar4/syrl, 2 November 2017.

Knoema. 2020. **Thailand-CO2 Emissions**. Available Source: https://knoema. com/atlas/Thailand/CO2-emissions. 11 May 2020.

Kutintara, U. 1999. **Ecology Fundamental Basics in Forestry.** Kasetsart University, Bangkok (Thailand). (in Thai)

Lakanaworakul, R., Ladpala, P., Kaewrungrod, A., Chidsongsawad, P., Kaewpoonsri, K. 2015. **Climate Change and REDD Plus**. Department of National Park, Wildlife and Plant Conservation, Bangkok. (In Thai)

Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. **General Systems,** 3: 36-71.

Margaret, K., Alvaro, C., Tim, M. 2002. Carbon storage of harvest-age teak (*Tectona grandis*) plantation, Panama. **Forest Ecology and Management,** 5863: 1-13. doi: 10.1016/S0378-1127(02)00002-6.

Marod, D., Kutintara, U. 2009. **Forest Ecology.** Aksorn Siam Printing, Bangkok. (in Thai)

Maosew, K., Thanacharoenchanaphas, K., Boonyanuphap, J. 2019. Valuation of carbon stock in undisturbed natural forest and mixed fruit tree-based agroforestry system by landslide and under natural succession. **Thai Journal of Forestry,** 38(1): 81-95. (in Thai)

Nuanurai N. 2005. **Comparison of Leaf Area Index, Above-ground Biomass and Carbon Sequestration of Forest Ecosystem by Forest Inventory and Remote Sensing at Kaeng Krachan National Park, Thailand.** M.Sc. thesis, Faculty of Science, Chulalongkorn University. Bangkok, Thailand. (in Thai)

Office of the National Economic and Social Development Council. 2017. **National Economic and Social Development Plan Vol.12 (2018-2021).** Office of the Prime Minister. (in Thai)

Office of the Permanent Secretary. 1998. **Preliminary Environmental Impact Assessment Report Mae Fah Luang University Establishment Project.** Chiang Rai Provincial Office. (in Thai)

Ogawa, H., Yoda, K., Ogino, K., Kira, T. 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.

Ounkerd K., Sunthornhao, P., Puangchit, L. 2015. Valuation of carbon stock in trees at Khao Wong community forest, Chaiyaphum province**. Thai Journal of Forestry,** 34(1): 29-38. (in Thai)

Pielou, E.C. 1975. **Ecological Diversity.** Willey & Sons, New York.

Pooma, R., Suddee, S. 2014. **Thai Plant Names Tem Smitinand Revised Edition 2014.** Forest and Plant Conservation Research Office, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation. p. 828. (in Thai)

Rodondo-Brenes, A., Montagnini, R. 2006. Growth, productivity, aboveground biomass and carbon sequestration of pure and mixed native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica. **Forest Ecology and Management,** 232: 168-187. doi: 10.1016/j.foreco.2006.05.067.

Royal Forest Department. 2021. **Project for the Preparation of Information on the Condition of Forest Areas in 2021.** Forest Land Management Office, Royal Forest Department. (in Thai)

Royampaeng, S. 1990. **Biomass Productivity of Four Species of Bamboo.** Department of Silviculture, Faculty of Forestry, Kasetsart University. (in Thai)

Shannon, C.E., Weaner, W. 1949. **The Mathematical Theory of Communication**. Univ. Illinois Press, Urbana.

Teerakunpisut, J., Gajaseni, N., Ruankawe, N. 2007. Carbon sequestration potential in aboveground biomass of Thong Pha Phum national forest, Thailand. **Applied Ecology and Environment Research,** 5(2): 93-102.

Temchai, T., Keawket, C. 2013. The long age of forest ecology in national park: Permanent conversion network in tropical mixed deciduous forest, Chaloem Phrakiat National Park of Ratchaburi province. **Proceeding Research and Activity; in 2nd Academic Conference of the Thai Forest Ecology Research.** Mae Jo University, Chiang Mai. (in Thai)

Temwut, S., Chaitieng, T. 2021. Biomass and carbon stock of trees in the plant genetic conservation and returning of wild animals project in Kalasin University (Namon area). **Journal of Research Unit Science, Technology and Environment for Learning,** 12(1): 150-159. (in Thai)

Timilsina, N., Staudhammer, L.C., Escobedo, J., Escobedo, F.J., Lawrence, A. 2014. Tree biomass, wood waste yield, and carbon storage changes in an urban forest. **Landscape and Urban Planning,** 127: 18-27. doi: 10.1016/j.landurbplan.2014.04.003.

Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization).

2022. **Carbon Market Weekly April, 2022.** Available Source: http://carbonmarket.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=bmV3c2xldHRlcg==&action= ZGV0Ywls&param=MTU4. 3 May 2022. (in Thai)

Tokeeree, Y., Jarat, C., Novacek, D., Saraphi, N. 2020. Carbon storage in biomass of perennial plants at Ban Sangtawan community forest, Surin province. **PSRU Journal of Science and Technology,** 5(3): 23-36. (in Thai)

UI Green Metric World University Rankings. 2021. **UI Green Metric World University Rankings**. Available Source: https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/overall-rankings-2021, 14 December 2021.

Vachnadze, G.S., Tiginashvili, Z.T., Tsereteli, G.V., Aptsiauri, B.N., Nishnianidze, Q.G. 2016. Carbon stock sequestered from the atmosphere by coniferous forests of Eastern Georgia in conditions of global warming. **Agrarian Science**, 14: 127-132. doi:10.1016/j.aasci.2016.05.014.

Viriyabuncha, C. 2003. **Handbook of Stand Biomass Estimation**. Forestry and Botanical Research Division, Department of National Park, Wildlife and Plant Conservation. (in Thai)

Wannalangka, I., Poolsiri, R., Puangchit, L. 2015. Aboveground biomass of 4 bamboo plantations in different culm ages at Royal Agricultural Station Angkhang, Chiang Mai province. **Thai Journal of Forestry,** 34(1): 65-75. (in Thai)

Zhu, X.G., Long, S.P., Ort, D.R. 2008. What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass. **Current Opinion in Biotechnology,** 19(2): 153-159. doi:10.1016/j.copbio.2008.02.004.