

ความสัมพันธ์ของลักษณะโครงสร้างสังคมพืชกับปัจจัยดินบางประการและการเก็บกักคาร์บอน
บริเวณป่านันทนาการน้ำตกหินตั่ง จังหวัดอุดรธานี

Vegetation Structure Characteristics Related to Edaphic Factors and Carbon Stock
in Hin Tang Waterfall Recreational Forest, Udon Thani Province, Thailand

พัชรพล ชาหว้า¹, มณฑล นอแสงศรี², เพ็ญพิลัย เปี้ยนคิด¹, ฤชดา พงษ์การัญญาส³ และแหลมไทย อาษานอก^{3,4*}
Patcharaphon Chawa¹, Monthon Nosaengsri², Penpilai Piankhit¹, Kritsada Phongkaranyapas³
and Lamthai Asanok^{3,4*}

¹สาขาวิชาการจัดการป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ – แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จ.แพร่ 54140

¹ Department of Forest Management, Maejo University Phrae Campus, Phrae, 54140 Thailand

²สาขาวิชาการป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จ.แพร่ 54140

² Department of Forestry, Maejo University Phrae Campus, Phrae, 54140 Thailand

³สาขาวิชาเกษตรป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จ.แพร่ 54140

³ Department of Agroforestry, Maejo University Phrae Campus, Phrae, 54140 Thailand

⁴ศูนย์บริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก มหาวิทยาลัยแม่โจ้ – แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จ.แพร่ 54140

⁴ Greenhouse Gas Management Centre, Maejo University Phrae Campus, Phrae 54140, Thailand.

*Corresponding author, E-mail: lamthainii@gmail.com

รับต้นฉบับ 25 กรกฎาคม 2567

Received: 25 July 2024

รับแก้ไข 5 กันยายน 2567

Revised: 5 September 2024

รับลงพิมพ์ 13 กันยายน 2567

Accepted: 13 September 2024

ABSTRACT

Databases of vegetation structure characteristics related to edaphic factors and carbon stock can support management for forest protection. This study characterized the plant community structure, soil factor gradient, and carbon storage in the Hin Tang Waterfall Recreational Forest area, Nong Wu So district, Udon Thani province, Thailand. Fifteen purposive sampling plots of 20 m x 20 m were established in the study area. Data on species composition and soil factors were collected for use in determining vegetation characteristics related to soil properties, as well as for evaluating carbon storage in each plant community. Based on the results, there were 636 trees, consisting of 51 tree species, 51 genera, and 26 families. The study sites could be divided into two sub-communities. The first consisted of mixed deciduous forest (MDF) containing 39 species, 34 genera, and 21 families, having a Shannon index (H') of 3.03. The stem density and basal area were 1,164.29 trees ha^{-1} and 18.50 $m^3 ha^{-1}$, respectively, with the dominant species in this forest type determined based on bulk density. The second sub-community was dry evergreen forest (DEF), with 32 species, 29 genera, and 22 families, having an H' value of 2.60. The stem density and basal area were 968.75 trees ha^{-1} and 30.05 $m^3 ha^{-1}$, respectively, with the dominant species determined by the amounts of organic matter, phosphorus, and potassium, and the pH. The biomass and carbon storage in DDF ($57.78 \pm 29.37 t ha^{-1}$ and $99.58 \pm 50.62 t C ha^{-1}$, respectively) were higher than in MDF. Based on the results, plant community and soil factor relationships could provide important information for forest area management. Therefore, the data could be applied in guidelines for managing reforested areas, as well as playing an important role in protected areas to achieve more efficient carbon sequestration.

Keywords: Tree species composition; Limiting factors; Soil properties; Recreational forest management

บทคัดย่อ

ฐานข้อมูลด้านลักษณะสังคมพืชที่สัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมและการกักเก็บคาร์บอน สามารถยกระดับการจัดการพื้นที่ป่าคุ้มครอง การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรากฏสังคมพืชตามปัจจัยดิน และการกักเก็บคาร์บอน ในพื้นที่ป่านันทนาการน้ำตกหินตั้ง อำเภอหนองวัวซอ จังหวัดอุดรธานี ทำการวางแผนตัวอย่างแบบสุ่มเจาะจง (purposive sampling) ขนาด 20 เมตร x 20 เมตร จำนวน 15 แปลง พร้อมเก็บข้อมูลองค์ประกอบชนิดของพรรณไม้ต้นและปัจจัยดิน เพื่อใช้วิเคราะห์ลักษณะสังคมพืชตามการแปรผันของปัจจัยดิน พร้อมกับประเมินการกักเก็บคาร์บอนในแต่ละหมู่ไม้ ผลการศึกษาพบไม้ต้น 51 ชนิด 51 สกุล 26 วงศ์ จากต้นไม้ทั้งหมด 636 ต้น สามารถจำแนกสังคมพืชย่อยได้ 2 สังคมได้แก่ 1) สังคมพืชป่าเบญจพรรณ พบชนิดไม้ทั้งหมด 39 ชนิด 34 สกุล 21 วงศ์ มีค่าดัชนีความหลากหลายชนิด เท่ากับ 3.03 มีความหนาแน่นของไม้ต้นและขนาดพื้นที่หน้าตัด เท่ากับ 1,164.29 ต้นต่อเฮกตาร์ และ 18.50 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ โดยชนิดไม้เด่นถูกกำหนดด้วยความหนาแน่นรวมของดิน 2) สังคมพืชป่าดิบแล้ง พบชนิดไม้ทั้งหมด 32 ชนิด 29 สกุล 22 วงศ์ มีค่าดัชนีความหลากหลายชนิด เท่ากับ 2.60 มีความหนาแน่นของไม้ต้นและขนาดพื้นที่หน้าตัด เท่ากับ 968.75 ต้นต่อเฮกตาร์ และ 30.05 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ โดยชนิดไม้เด่นถูกกำหนดด้วยปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และค่าความเป็นกรด-ด่าง นอกจากนี้พบว่าสังคมพืชป่าดิบแล้งมีปริมาณมวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสูงกว่าสังคมป่าเบญจพรรณ มีค่าเท่ากับ 57.78 ± 29.37 ต้นต่อเฮกตาร์ และ 99.58 ± 50.62 ต้นคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ผลการศึกษาบ่งชี้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างสังคมพืชกับปัจจัยดินมีความสำคัญต่อการจัดการพื้นที่ป่า ดังนั้นข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการจัดการด้านการปลูกป่าทดแทน และเพิ่มบทบาทสำคัญของพื้นที่คุ้มครองในการดูดซับคาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: องค์ประกอบชนิดไม้ต้น ปัจจัยจำกัด คุณสมบัติดิน การจัดการป่านันทนาการ

คำนำ

ปัจจุบันโลกได้ประสบปัญหาเกี่ยวกับทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม รวมถึงสภาพภูมิอากาศของโลกที่เปลี่ยนแปลงไป จนก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนและปัญหามลพิษทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ผ่านมา อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกมีแนวโน้มสูงขึ้นมาก อันเนื่องมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสะสมในชั้นบรรยากาศมากเกินไปกว่าที่เคย ซึ่งส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ คือการตัดไม้ทำลายป่า เพราะต้นไม้มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมาเก็บไว้ในทุกส่วนของต้นไม้ อันจะส่งผลให้ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสามารถช่วยบรรเทาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ (Climate Center, 2020) ขณะเดียวกันการมีต้นไม้มากพอสามารถเพิ่มความหลากหลายของระบบนิเวศป่าไม้ได้ โดยเฉพาะประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนถือว่าเป็นเขตที่มีความหลากหลายของพรรณพืชจนก่อให้เกิดสังคมพืชที่หลากหลายซึ่งมักมีการกระจายไปตามการลดหลั่นของปัจจัยแวดล้อม (Planning and Information Office, 2020) และการปรากฏสังคมพืชที่แตกต่างกันย่อมส่งผลต่อความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนแตกต่างกันตามไปด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตของชนิดไม้เด่นในแต่ละสังคมพืช ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยปัจจัยแวดล้อมที่เหมาะสมเพื่อช่วยส่งเสริมช่วยให้มีการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น เช่น ป่าเต็งรังขึ้นอยู่ในพื้นที่แห้งแล้ง ดินมีธาตุอาหารต่ำทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างช้า

ส่งผลให้มีความสามารถในการเก็บกักคาร์บอนได้ประมาณ 8.29 ต้นต่อไร่ (Planning and Information Office, 2022) ในขณะที่ป่าดิบแล้งมากขึ้นในที่ที่มีอากาศชื้นดินมีธาตุอาหารสูง ส่งผลให้สามารถเก็บกักคาร์บอนได้สูงถึง 53.48 ต้นต่อไร่ เป็นต้น (Planning and Information Office, 2023) ดังนั้น การศึกษาลักษณะโครงสร้างสังคมพืชตามปัจจัยแวดล้อม และการประเมินความสามารถในการเก็บกักคาร์บอน ในระบบนิเวศป่าไม้จึงเป็นกุญแจสำคัญสำหรับใช้เพื่อบริหารจัดการความหลากหลายทางชีวภาพและเป็นการสนับสนุนข้อมูลด้านความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนเพื่อช่วยบรรเทาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หากแต่ในประเทศไทยยังขาดการศึกษาอย่างครอบคลุมในทุกระบบนิเวศป่าไม้ ดังนั้นจึงควรเร่งศึกษาในประเด็นดังกล่าวให้เกิดกว้างขวางต่อไป

ป่านันทนาการ คือ ป่าที่ตั้งอยู่ในเขตป่าสงวนแห่งชาติ ซึ่งเป็นป่าที่มีความอุดมสมบูรณ์ เหมาะแก่การใช้เป็นแหล่งท่องเที่ยวพักผ่อนหย่อนใจ และศึกษาเรียนรู้ด้านการอนุรักษ์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (Hammit, 2004) ซึ่งเป็นการแบ่งเขตบริหารจัดการป่าไม้ที่ดำเนินการโดยกรมป่าไม้ เนื่องจากในปัจจุบันหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนร่วมมือกันฟื้นฟูป่าและเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับประเทศ รวมถึงยุทธศาสตร์การเพิ่มพื้นที่ป่าของภาครัฐนอกจากการประกาศพื้นที่อนุรักษ์เพิ่มเติมจึงมีการเพิ่มพื้นที่โดยการเข้าไปบริหารจัดการในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ เพื่อประโยชน์ ด้านการท่องเที่ยว และด้านการอนุรักษ์ โดยการมีส่วนร่วม (Planning and Information Office, 2022) อย่างไรก็ตามการบริหารจัดการ ทั้งในด้านการอนุรักษ์ และการท่องเที่ยวให้เกิดประสิทธิภาพ จำเป็นต้องอาศัย

องค์ความรู้ด้านความหลากหลายและลักษณะโครงสร้างสังคมพืช รวมถึงประสิทธิภาพในการกักเก็บคาร์บอน เนื่องจากการศึกษาลักษณะโครงสร้างสังคมพืชแนวทางการใช้ในการอธิบายนิเวศวิทยาป่าไม้ในเชิงปริมาณอย่างชัดเจน ทำให้ทราบถึงองค์ประกอบของชนิดพรรณไม้ รวมถึงลักษณะของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อสังคมพืชนั้น ๆ (Marod and Kutintara, 2009) นอกจากการศึกษาลักษณะโครงสร้างสังคมพืชแล้วการศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อสังคมพืชนั้น ๆ ถือว่าเป็นเรื่องจำเป็นเพราะสามารถทำให้ทราบถึงลักษณะทางนิเวศวิทยาของแต่ละสังคมพืชอย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น (Ruangpanit, 2005) หากแต่ในปัจจุบันพื้นที่ป่าวนนันทนาการที่ถูกจัดตั้งขึ้น ยังขาดองค์ความรู้ด้านความหลากหลายของสังคมพืชรวมถึงปริมาณการเก็บกักคาร์บอน เนื่องมาจากเป็นพื้นที่ที่ถูกจัดตั้งขึ้นใหม่ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาวิจัยในประเด็นดังกล่าวอย่างเร่งด่วน ซึ่งจะเป็ข้อมูลสำคัญในการสร้างความรู้ให้แก่ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียได้ตระหนักถึงความสำคัญของพื้นที่ป่าวนนันทนาการทั้งในด้านการอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพและการให้บริการทางนิเวศ โดยเฉพาะในแง่ของการช่วยบรรเทาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งจะก่อให้เกิดการใช้ประโยชน์อย่างระมัดระวัง และสร้างความคุ้มค่าจากการใช้บริการป่าวนนันทนาการอย่างมากที่สุด

ป่าวนนันทนาการน้ำตกหินต้ง ได้รับประกาศจัดตั้ง เมื่อวันที่ 29 กันยายน พ.ศ. 2565 บริเวณพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติป่าหามกหญ้า ในท้องที่ตำบลกุดหมากไฟ อำเภอหนองวัวซอ จังหวัดอุดรธานี มีพื้นที่ 591 ไร่ 2 งาน 41 ตารางวา ในปัจจุบัน

เป็นพื้นที่ป่าวนนันทนาการที่มีปริมาณนักท่องเที่ยวเข้ามาเยี่ยมชมเป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีน้ำตกหินต้ง และสภาพภูมิทัศน์ที่สวยงาม ซึ่งจนถึงปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาลักษณะสังคมพืชในพื้นที่แต่อย่างใด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะโครงสร้างสังคมพืช ปัจจัยดิน และการกักเก็บคาร์บอน ในพื้นที่ป่าวนนันทนาการน้ำตกหินต้ง เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับประโยชน์ในการบริหารจัดการป่าวนนันทนาการ เช่น การจัดทำฐานข้อมูลพรรณไม้ท้องถิ่น เพื่อให้เข้าใจสภาวะแวดล้อมและนิเวศวิทยาของป่าไม้ นอกเหนือจากนั้นมีการจัดการเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศภายใต้ขีดจำกัดความสามารถของธรรมชาติที่จะรับรองได้ และการมีส่วนร่วมของชุมชนในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดประโยชน์ต่อประชาชนในท้องถิ่นทั้งในด้านสังคม วัฒนธรรม และสิ่งแวดล้อม อย่างยั่งยืนโดยไม่เสื่อมโทรมลงไป

อุปกรณ์และวิธีการ

สถานที่ศึกษา

ป่าวนนันทนาการน้ำตกหินต้ง ตั้งอยู่ พิกัด UTM 48Q X: 250759 Y: 1890497 ท้องที่บ้านกุดหมากไฟ ตำบลกุดหมากไฟ อำเภอหนองวัวซอ จังหวัดอุดรธานี มีเนื้อที่ประมาณ 591 ไร่ 2 งาน 41 ตารางวา (Figure 1) ลักษณะทางธรณีวิทยา ดิน น้ำ แร่ธาตุ มีลักษณะทางธรณีสัณฐาน มีสภาพพื้นที่เนินเขา ความลาดชันของพื้นที่ส่วนใหญ่มากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ บางพื้นที่เป็นที่ราบลุ่ม มีความลาดชันอยู่ที่ 1.12 องศา ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง 390–395 เมตร (Climate Center, 2020)

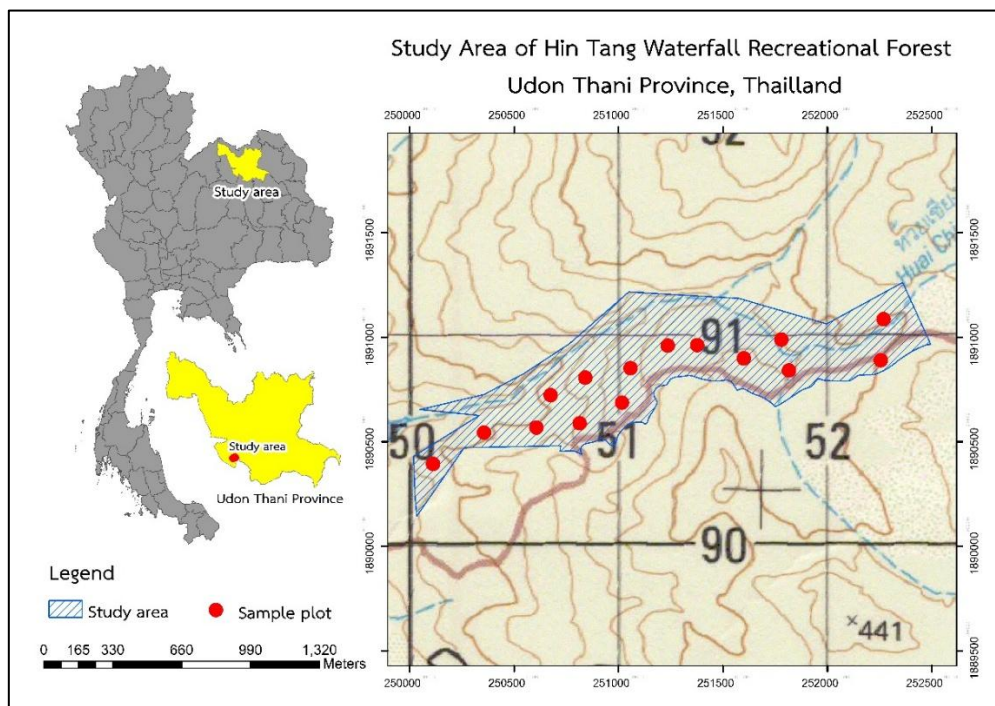


Figure 1 Location and sampling plots in Hin Tang Waterfall Recreational Forest, Udon Thani province, Thailand

การวางแผนตัวอย่างและการเก็บข้อมูล

การวางแผนตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง (purposive sampling) ขนาด 20 เมตร x 20 เมตร ตามวิธีการของ Laing *et al.* (2019) จำนวน 15 แปลง ให้กระจายทั่วพื้นที่ (Figure 1) และบริเวณกลางแปลงของแต่ละแปลงขนาด 20 เมตร x 20 เมตร ทำการวางแผนย่อยขนาด 5 เมตร x 5 เมตร พร้อมกับบันทึกพิกัดทางภูมิศาสตร์ด้วยเครื่องกำหนดตำแหน่งพิกัดด้วยสัญญาณดาวเทียม (GPS)

การเก็บข้อมูลองค์ประกอบของพรรณพืชที่ปรากฏในทุก ๆ แปลงตัวอย่าง แบ่งเป็น (1) ไม้ต้น (tree) คือ ไม้ที่มีขนาดความโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกที่ 1.30 เมตร (diameter at breast height, DBH) มากกว่าหรือเท่ากับ 4.5 เซนติเมตร โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกที่ 1.30 เมตร และความสูงทั้งหมด ภายในแปลงขนาด 20 เมตร x 20 เมตร (2) ลูกไม้ (sapling) คือ ไม้ที่มีขนาดความโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกที่ 1.30 เมตร น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร สูงมากกว่า 1.3 เมตร และ (3) กล้าไม้ (seedling) คือ ไม้ที่มีขนาดความโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกที่ 1.30 เมตร น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร สูงน้อยกว่า 1.3 เมตร ทำการนับจำนวนลูกไม้และกล้าไม้ ภายในแปลงขนาด 5 เมตร x 5 เมตร พร้อมกับระบุชื่อวิทยาศาสตร์ อ้างตาม Phuma and Suddee (2014)

การเก็บข้อมูลสมบัติดินโดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนโครงสร้างโดยใช้กระบอกลูกดิน (soil core) ภายในแปลงตัวอย่างขนาด 20 เมตร x 20 เมตร ทุกแปลง จำนวน 5 จุดต่อแปลง ได้แก่ ตรงจุดศูนย์กลาง และมุมทั้ง 4 เพื่อวิเคราะห์หาคุณสมบัติดินพื้นฐาน ได้แก่ ค่าความหนาแน่นรวม (bulk density) ด้วยวิธี Core method (Blake and Hartge, 1986) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ณ ห้องปฏิบัติการดินศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์ข้อมูล

การจัดกลุ่มหมู่ไม้ (cluster analysis) เพื่อหาสังคมย่อยของสังคมพืชที่เข้ามาทดแทนในพื้นที่ป่านันทนาการน้ำตกหินตั้งจังหวัดอุดรธานี โดยใช้ค่าความหนาแน่นของชนิดไม้ในแต่ละแปลงตัวอย่างขนาด มาใช้จำแนกสังคม (community classification) โดยประยุกต์ใช้หลักความคล้ายคลึงของ Sorensen (1948) ในการหาค่าความแตกต่างของสังคมพืช (dissimilarity) และใช้หลักการรวมกลุ่มตามวิธีของ Ward (Kent and Coker, 1994) วิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรม PCOR Version 6 (McCune and Mefford, 2011)

การวิเคราะห์ค่าเชิงปริมาณทางสังคมของไม้ต้น วิเคราะห์ตามแนวทางของ Marod and Kutintara (2009) โดยค่าดัชนีความสำคัญของชนิดไม้ (importance value

index, IVI) จากการหาความหนาแน่น (density, D: ต้นต่อเฮกตาร์) ความเด่นด้านพื้นที่หน้าตัด (dominance, Do: ตารางเมตรต่อเฮกตาร์) และความถี่ (frequency, F: เปอร์เซ็นต์) เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ทั้งสามค่าดังกล่าว ซึ่งผลรวมของค่าสัมพันธ์ทั้งสามค่าจะเท่ากับค่าดัชนีความสำคัญของไม้ต้น และหาค่าดัชนีความหลากหลายชนิด (species diversity index) ตามสมการ Shannon–Wiener index (Magurran, 1988)

การจัดลำดับ (ordination) เพื่อหาความสัมพันธ์ของหมู่ไม้กับคุณสมบัติดิน โดยใช้ค่าความหนาแน่นของไม้ต้นแต่ละชนิดในแต่ละแปลงขนาด 20 เมตร x 20 เมตร เป็นเมทริกซ์หลัก (main matrix) กับคุณสมบัติดิน ได้แก่ ค่าความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density, g cm⁻³) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH, 1:1) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM, %) ฟอสฟอรัส (P, mg kg⁻¹) และโพแทสเซียม (K, mg kg⁻¹) ให้เป็นเมทริกซ์รอง (second matrix) โดยใช้วิธี Canonical Correspondence Analysis (CCA) ด้วยโปรแกรม PC-ORD version 6 (McCune and Mefford, 2011)

การประเมินมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอน ดังนี้

1) ประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (above ground biomass, ABG) การเลือกใช้สมการแอลโลเมตรีเพื่อคำนวณหามวลชีวภาพของไม้กะยาเลยขนาดใหญ่ (DBH ≥ 4.5 cm) ใช้สมการของ Ogawa *et al.* (1965) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ประเมินมวลชีวภาพของไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ในป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณ ดังนี้

$$\begin{aligned}W_S &= 0.0396 (D^2H)^{0.933} \\W_B &= 0.00349 (D^2H)^{1.030} \\W_L &= ((28/(W_S+W_B)) + 0.025)^{-1} \\W_T &= W_S + W_B + W_L\end{aligned}$$

ส่วนป่าดิบแล้ง ใช้สมการของ Tsutsumi *et al.* (1983) ดังนี้

$$\begin{aligned}W_S &= 0.0509 (D^2H)^{0.919} \\W_B &= 0.00893 (D^2H)^{0.977} \\W_L &= 0.0140 (D^2H)^{0.669} \\W_R &= 0.0313 (D^2H)^{0.805}\end{aligned}$$

เมื่อ W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

W_T = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น + กิ่ง + ใบ (กิโลกรัม)

W_R = มวลชีวภาพส่วนของราก (กิโลกรัม)

D หรือ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

2) ประเมินมวลชีวภาพใต้ดิน (below ground (root) biomass, BLG) คิดเป็นร้อยละ 27 ของมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (IPCC, 2006)

$$BLG = ABG \times 0.27 \text{ (ตัน)}$$

3) คำนวณส่วนการกักเก็บคาร์บอน (carbon fraction: CF) ของไม้ยืนต้นทุกชนิด กำหนดว่าประมาณร้อยละ 47 ของมวลชีวภาพของต้นไม้เป็นคาร์บอน (IPCC, 2006)

$$CF = (ABG + BLG) \times 0.47 \text{ (ตันคาร์บอน)}$$

4) คำนวณส่วนการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นสัดส่วนระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอน คือ 44/12 (IPCC, 2006)

$$CO_2 = CF \times (44/12) \text{ (ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)}$$

ผลและวิจารณ์

ความหลากหลายชนิดและองค์ประกอบชนิดไม้ต้น

พื้นที่บริเวณน้ำตกหินตั้งจากการวิเคราะห์จำแนกการจัดกลุ่มสังคมพืชสามารถแบ่งออกเป็น 2 สังคมย่อย ได้แก่ สังคมพืชป่าเบญจพรรณ (MDF) และสังคมพืชป่าดิบแล้ง (Figure 2) และเมื่อพิจารณาลักษณะสังคมพืชตามสังคมย่อย ทั้ง 2 สังคมปรากฏลักษณะสังคมมีรายละเอียด ดังนี้

สังคมพืชป่าเบญจพรรณ พบชนิดไม้ทั้งหมด 39 ชนิด 34 สกุล 21 วงศ์ มีความหนาแน่นของจำนวนต้นไม้และขนาดพื้นที่หน้าตัดรวมของไม้ต้น เท่ากับ 1,164.29 ต้นต่อเฮกตาร์ และ 18.50 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ มีค่าดัชนีความหลากหลายชนิด (Shannon index, H') เท่ากับ 3.03 (Table 1) ชนิดไม้เด่นเมื่อพิจารณาค่าดัชนีความสำคัญ 5 ลำดับแรกคือ เชลง (*Dialium cochinchinense*) อะราง (*Peltophorum dasyrrhachis*) ยางเหียง (*Dipterocarpus obtusifolius*) ประดู่ป่า (*Pterocarpus macrocarpus*) และติ้วขน (*Cratogeomys formosumi*) (Table 2) ในระดับไม้รุ่นพบชนิด

ไม้ทั้งหมด 30 ชนิด 27 สกุล 17 วงศ์ มีความหนาแน่นของจำนวนไม้รุ่น เท่ากับ 13,142.86 ต้นต่อเฮกตาร์ และมีค่าดัชนีความหลากหลายชนิด เท่ากับ 2.62 (Table 1) ชนิดไม้เด่นเมื่อพิจารณาค่าดัชนีความสำคัญ 5 ลำดับแรกคือ ตะเคียนหิน (*Hopea ferrea*) เหมือดแอ (*Memecylon edulae*) ติ้วขน (*Cratogeomys formosum*) พลับพลา (*Microcos tomentosa*) และอะราง (*Peltophorum pterocarpum*) (Table 2) ในระดับกล้าไม้พบ 30 ชนิด 26 สกุล 18 วงศ์ มีความหนาแน่นของจำนวนกล้าไม้เท่ากับ 28171.43 ต้นต่อเฮกตาร์ และมีค่าดัชนีความหลากหลายชนิด เท่ากับ 2.74 (Table 1) ชนิดไม้เด่นเมื่อพิจารณาค่าดัชนีความสำคัญ 5 ลำดับแรกคือ (Table 2) เหมือดแอ อะราง ติ้วขน มะค่าแต้ (*Sindora siamensis*) และตะเคียนหิน

สังคมพืชป่าดิบแล้ง พบชนิดไม้ทั้งหมด 32 ชนิด 29 สกุล 22 วงศ์ มีความหนาแน่นของจำนวนต้นไม้ และขนาดพื้นที่หน้าตัดรวมของไม้ต้น เท่ากับ 968.75 ต้นต่อเฮกตาร์ และ 30.05 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ มีค่าดัชนีความหลากหลายชนิด เท่ากับ 2.60 (Table 1) ชนิดไม้เด่นเมื่อพิจารณาค่าดัชนีความสำคัญ 5 ลำดับแรก คือ ตะเคียนหิน กระบากลัก (*Hydnocarpus ilicifolia*) หว้าซี่แพะ (*Syzygium cumini*) กระบก (*Irvingia malayana*) และเหมือดดง (*Symplocos macrophylla*) (Table 2) ในระดับไม้รุ่น 23 ชนิด 22 สกุล 16 วงศ์ มีความหนาแน่นของจำนวนไม้รุ่น เท่ากับ 14,400 ต้นต่อเฮกตาร์ และมีค่าดัชนีความหลากหลายชนิด เท่ากับ 2.31 (Table 1) ชนิดไม้เด่นเมื่อพิจารณาค่าดัชนีความสำคัญ 5 ลำดับแรกคือ ตะเคียนหิน มะกอกเกลื่อน (*Canarium subulatum*) กระบากลัก หว้าซี่แพะ และเหมือดดง (Table 2) ในระดับกล้าไม้พบ 22 ชนิด 20 สกุล 16 วงศ์ มีความหนาแน่นของจำนวนกล้าไม้เท่ากับ 40,250 ต้นต่อเฮกตาร์ และมีค่าดัชนีความหลากหลายชนิด เท่ากับ 2.08 (Table 1) ชนิดไม้เด่นเมื่อพิจารณาค่าดัชนีความสำคัญ 5 ลำดับแรกคือ ตะเคียนหิน กระบากลัก อะราง มะค่าแต้ และหว้าซี่แพะ (Table 2)

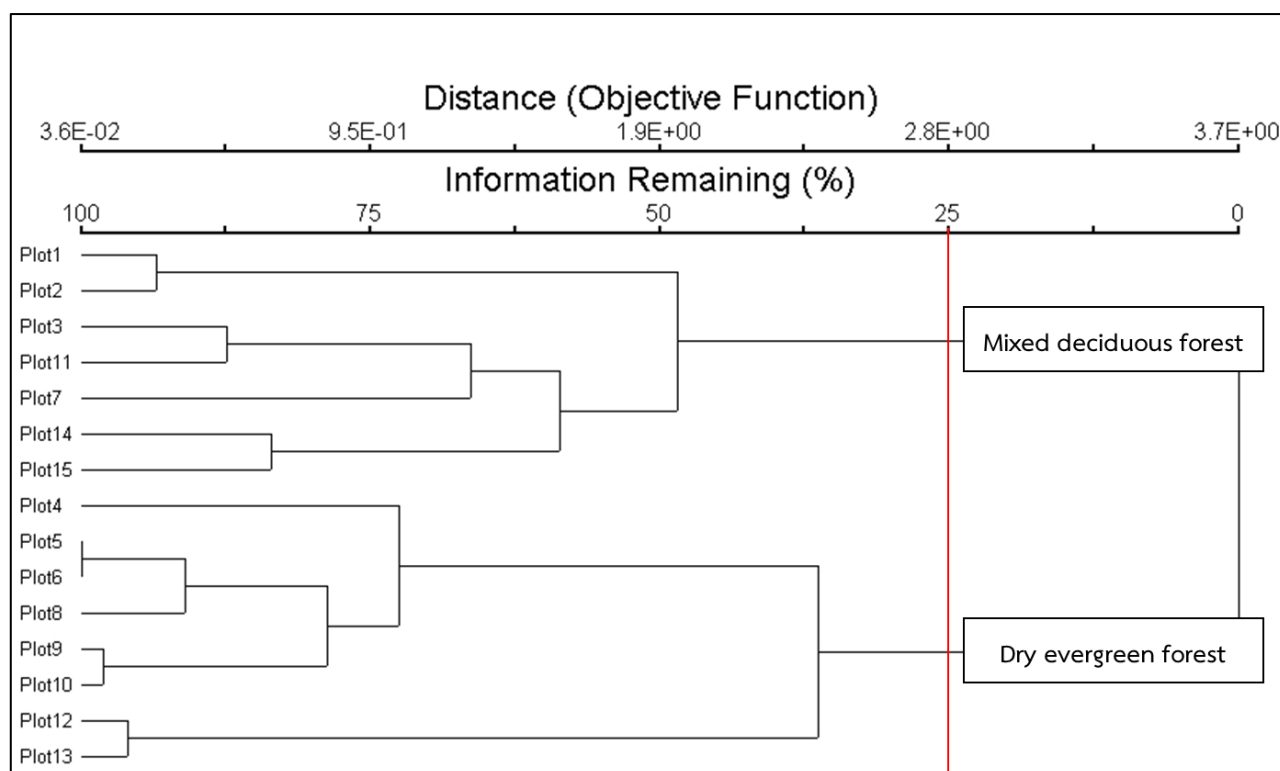


Figure 2 Dendrogram of stand clustering in Hin Tang Waterfall Recreational Forest, Nong Wua district, Udon Thani province, Thailand

Table 1 Ecological characteristics of plant communities in Hin Tang Waterfall Recreational Forest, Nong Wua So district, Udon Thani province, Thailand

Community characteristic	Mixed deciduous forest			Dry evergreen forest		
	Tree	Sapling	Seedling	Tree	Sapling	Seedling
Number of species	39	30	30	32	23	22
Shannon–Weiner index	3.03	2.62	2.74	2.60	2.31	2.08
Basal area ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)	18.50	–	–	30.05	–	–
Stem density (stems ha^{-1})	1,164.29	13,142.86	28,171.43	968.75	14,400	40,250

Table 2 Top-five ranked species based on Importance Value Index of tree in each sub-community in Hin Tang Waterfall Recreational Forest, Nong Wua district, Udon Thani province., Thailand, including relative dominance (RDo), relative density (RD), and relative frequency (RF)

Plant community	Scientific name	RDo (%)	RD (%)	RF (%)	IVI
Mixed deciduous forest					
Tree	<i>Dialium cochinchinense</i> Pierre	17.05	13.80	6.25	37.11
	<i>Peltophorum dasyrrhachis</i> (Miq.) Kurz	14.33	11.35	5.21	30.88
	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i> Teijsm. ex Miq.	11.87	8.90	3.13	23.89
	<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz	8.72	5.52	7.29	21.54
	<i>Cratoxylum formosum</i> (Jacq.) Benth. & Hook. f. ex Dyer subsp. <i>formosum</i>	4.48	8.90	6.25	19.63
Sapling	<i>Hopea ferrea</i> Laness.	–	24.35	7.41	31.76
	<i>Memecylon edule</i> Roxb.	–	20.87	9.26	30.13
	<i>Cratoxylum formosum</i> (Jacq.) Benth. & Hook. f. ex Dyer subsp. <i>formosum</i>	–	7.39	7.41	14.80
	<i>Microcos tomentosa</i> Sm.	–	7.39	7.41	14.80
	<i>Peltophorum dasyrrhachis</i> (Miq.) Kurz	–	3.48	7.41	10.89
Seedling	<i>Memecylon edule</i> Roxb.	–	19.68	11.67	31.34
	<i>Peltophorum dasyrrhachis</i> (Miq.) Kurz	–	15.21	11.67	26.88
	<i>Cratoxylum formosum</i> (Jacq.) Benth. & Hook. f. ex Dyer subsp. <i>formosum</i>	–	13.59	8.33	21.92
	<i>Sindora siamensis</i>	–	4.87	5.00	9.87
	<i>Hopea ferrea</i> Laness.	–	5.88	3.33	9.22
Dry evergreen forest					
Tree	<i>Hopea ferrea</i> Laness.	23.63	20.00	9.30	52.93
	<i>Hydnocarpus ilicifolia</i> King	8.92	22.26	8.14	39.32
	<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	10.27	10.32	9.30	29.89
	<i>Irvingia malayana</i> Oliv. ex A. W. Benn.	20.66	1.61	2.33	24.60
	<i>Symplocos sulcata</i> Kurz	3.66	10.65	5.81	20.12
Sapling	<i>Hopea ferrea</i> Laness.	–	29.86	14.55	44.41
	<i>Canarium subulatum</i> Guillaumin	–	22.22	3.64	25.86
	<i>Hydnocarpus ilicifolia</i> King	–	7.64	10.91	18.55
	<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	–	6.25	9.09	15.34
	<i>Symplocos sulcata</i> Kurz	–	7.99	7.27	15.26
Seedling	<i>Hopea ferrea</i> Laness	–	41.49	17.39	58.88
	<i>Hydnocarpus ilicifolia</i> King	–	17.39	15.22	32.61
	<i>Peltophorum dasyrrhachis</i> (Miq.) Kurz	–	10.31	4.35	14.66
	<i>Sindora siamensis</i> Teijsm. ex Miq. var. <i>siamensis</i>	–	4.97	6.52	11.49
	<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	–	2.24	8.70	10.93

จากผลการศึกษาข้างต้นเมื่อพิจารณาจากชนิดไม้เด่นของป่าเบญจพรรณ พบว่า มีไม้ดัดชนิดในชั้นเรือนยอดระดับบนของสังคมพืชป่าดิบแล้ง เช่น เอลง (*Dialium cochinchinense*) อะราง และสังคมป่าเต็งรัง เช่น เหียง (*Dipterocarpus obtusifolius*) ขึ้นปะปนกับพรรณไม้เด่นของป่าเบญจพรรณ เช่น ประดู่ป่า เป็นต้น บ่งชี้ว่าสังคมพืชป่าเบญจพรรณ ในพื้นที่ศึกษามีลักษณะเป็นแนวเชื่อมต่อระหว่างป่า (ecotone) เนื่องจากสังคมป่าเบญจพรรณ มักขึ้นสลับกันกับป่าชนิดอื่น ๆ (Marod, 2012) ส่งผลให้รอยต่อระหว่างช่วงป่ามักพบพรรณไม้ของสังคมพืชอื่น โดยดัชนีความหลากหลายชนิด และความหนาแน่นในสังคมพืชแห่งนี้ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสังคมป่าดิบแล้ง เมื่อพิจารณาในระดับไม้หนุ่มพบว่าพรรณไม้ที่มีดัชนีความสำคัญมากที่สุดเป็นไม้ดัดชนิดในสังคมพืชป่าดิบแล้ง และชนิดไม้เรือนยอดชั้นรองตัวในสังคมพืชนี้ เช่น ตะเคียนหิน ตั้วขน พลับพลา เป็นต้น แสดงให้เห็นว่าสังคมย่อยในลักษณะนี้มีการรบกวนทำให้ไม้เด่น หรือไม้ดัดชนิดเดิมไม่สามารถทดแทนในพื้นที่ได้ ส่งผลให้ไม้เรือนยอดชั้นรองมีการทดแทนเป็นไม้เด่นเนื่องจากเกิดช่องว่างระหว่างเรือนยอดจำนวนมาก (canopy gap) (Asanok et al., 2017) และในระดับกล้าไม้พบว่า การทดแทนเข้ามาตั้งตัวของพรรณพืชในระดับกล้าไม้เป็นไม้เรือนยอดชั้นรอง และไม้เรือนยอดระดับล่าง เช่น ตั้วขน อะราง มะค่าแต้ เป็นต้น ในขณะที่สังคมย่อยป่าดิบแล้งพบไม้ดัดชนิดในชั้นเรือนยอดชั้นบน คือ ตะเคียนหิน มีค่าดัชนีความสำคัญมากที่สุด และพบว่าสังคมพืชแห่งนี้มีขนาดพื้นที่หน้าตัดรวมสูงถึง 30.05 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ ในขณะที่มีความหนาแน่นเพียง 968.75 ต้นต่อเฮกตาร์ แสดงว่าในสังคมพืชแห่งนี้ประกอบด้วยไม้ที่มีลำต้นขนาดใหญ่ และกระจายตัวอยู่ห่าง ๆ ซึ่งเป็นลักษณะสังคมพืชที่มีการรบกวนน้อย จากการศึกษาของ Thipayasak (1984)

ที่การศึกษาสังคมป่าดิบแล้งในอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่พบว่าปรากฏไม้เด่นในสังคมได้แก่ ตะเคียนหิน สอดคล้องกับการศึกษาของ Marod et al. (2018) ที่ศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบของพรรณพืชป่าดิบแล้งในเทือกเขาภูพานพบว่าไม้เด่นเรือนยอดชั้นบนได้แก่ ตะเคียนหิน กระบก เป็นต้น เมื่อพิจารณาในระดับไม้หนุ่มและกล้าไม้ พบว่าโดยมากมีการทดแทนเป็นไม้ในเรือนยอดชั้นบนและแนวโน้มการสืบต่อพันธุ์เป็นพรรณไม้ดัดชนิดในสังคมพืชป่าดิบแล้งต่อไป

การเปรียบเทียบสมบัติดิน

ค่าคุณสมบัติดินในพื้นที่ป่าเบญจพรรณและป่าดิบแล้งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยค่าคุณสมบัติดิน ได้แก่ อินทรีย์วัตถุ ธาตุอาหารหลัก (P, K) ค่า pH และความหนาแน่นรวมของดิน มีแนวโน้มมีค่าสูงในสังคมป่าดิบแล้งซึ่งมากกว่าป่าเบญจพรรณ (Table 3) เนื่องจากอินทรีย์วัตถุเป็นแหล่งกำเนิดธาตุอาหารของพืช โดยเฉพาะ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน ควบคุม สมบัติทางกายภาพของดิน เช่น โครงสร้างดิน ความร่วนซุย การระบายน้ำ และการแลกเปลี่ยนอากาศของดิน (Plant Protection Promotion and Soil-Fertilizer Management Division, 2015) ส่งผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ ในส่วนของค่า pH ความเป็นกรด-ด่างพบว่าในป่าเบญจพรรณและป่าดิบแล้งมีค่าเป็นกรดจัดมาก เนื่องจากอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราเร่งปฏิกิริยาทางเคมีก็สูงขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้เบสถูกละลายออกไปจากดินได้ง่าย ทำให้มีไฮโดรเจนไอออนสะสมปริมาณมาก สอดคล้องกับการศึกษาของ Sonkanha et al. (2012) ที่พบว่าดินภายใต้ป่าดิบแล้งมีความเป็นกรดรุนแรงมากที่สุด แต่เมื่อพิจารณาในด้านความหนาแน่นรวมของดินของทั้งสองสังคมพืชมีค่าใกล้เคียงกัน

Table 3 Soil properties (mean $\pm$ standard deviation, SD) of plant communities in Hin Tang Waterfall Recreational Forest, Nong Wua district, Udon Thani province, Thailand

Soil property	Mixed deciduous forest			Dry evergreen forest			p-Value
	Mean $\pm$ SD	Min	Max	Mean $\pm$ SD	Min	Max	
Organic matter (%)	2.96 $\pm$ 1.08	2.18	5.31	3.18 $\pm$ 1.36	1.31	5.21	0.37 ^{ns}
P (mg kg ⁻¹)	2.26 $\pm$ 1.00	0.80	3.85	5.48 $\pm$ 7.10	1.85	22.50	0.06 ^{ns}
K (mg kg ⁻¹)	49.71 $\pm$ 30.85	28	110	79.13 $\pm$ 42.37	28	130	0.08 ^{ns}
pH	4.61 $\pm$ 0.48	3.96	5.41	4.82 $\pm$ 0.69	4.13	5.98	0.28 ^{ns}
Bulk density (g cm ³)	1.11 $\pm$ 0.09	0.95	1.25	1.10 $\pm$ 0.05	0.95	1.19	0.30 ^{ns}

Remark: ^{ns} (not significant) is used to indicate a p-value greater than the predetermined significance level ($p > 0.05$)

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดินและองค์ประกอบของชนิดไม้

จากการจัดลำดับสังคมพืชตามแนวการลดหลั่นของ
ปัจจัยดินด้วยวิธี CCA พบว่า eigenvalue บนแกนที่ 1
(axis 1) แกนที่ 2 (axis 2) และแกนที่ 3 (axis 3) มีค่าเท่ากับ
3.473, 2.797 และ 2.103 ตามลำดับ ดังนั้นการใช้แกนที่ 1
และ 2 ในการอธิบายผลความสัมพันธ์ระหว่างสังคมพืชและ
สมบัติดินจึงความถูกต้องมากที่สุด โดยสามารถจัดลำดับสังคม
และรวมถึงชนิดไม้เด่นของแต่ละสังคมย่อยตามแนวลดหลั่น
ของสมบัติดินได้ 3 กลุ่ม (Figure 3) ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ถูกกำหนดด้วยความหนาแน่นรวม (Bulk, $p < 0.01$) พบชนิดไม้สำคัญ ได้แก่ เชลง (DALCOC) ตีนนก (VITPIN) ยางโอน (POLVIR) ยมหิน (CHUVEL) และเปล้าหลวง (CROOBL) เป็นต้น ส่งผลให้พรรณไม้ในกลุ่มนี้สามารถตั้งตัวได้ดีในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นดินสูง เนื่องจากดินในบริเวณดังกล่าวมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินน้อยส่งผลให้การปรากฏความหนาแน่นรวมของดินมาก (Wiriyakitjanatekul and Kerdchana, 2016) โดยความหนาแน่นของดินมักจะมีความสัมพันธ์ในทางกลับกันกับปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Srithawat na Ayudhya *et al.*, 1995) ซึ่งพรรณไม้ที่สามารถตั้งตัวในปัจจุบันแวดล้อมเช่นนี้ได้จึงต้องเป็นกลุ่มพืชที่สามารถปรับตัวอยู่

ได้ในสภาพที่มีความแห้งแล้ง (drought) เช่น กลุ่มของ
พรรณไม้แฝดใบ (Marod *et al.*, 1999) เป็นต้น

กลุ่มที่ 2 กำหนดด้วยปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM, $p < 0.05$) โพแทสเซียม (K, $p < 0.05$) ฟอสฟอรัส (P, $p < 0.05$) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH, $p < 0.05$) พบชนิดพรรณไม้ที่สำคัญได้ได้แก่ ตะเคียนหิน (HOPFER) กระบากหลัก (HYDILI) สารภีป่า (ANNFRA) เหมือดคง (SYMMAC) และตะแบกเปลือกบาง (LAGDUP) เป็นต้น ส่งผลให้พรรณไม้มีความต้องการธาตุอาหารสูง ซึ่งในทางนิเวศวิทยาถือว่าชนิดไม้มีปัจจัยจำกัดมาก มักจะมีความทนทานทางนิเวศต่ำ เนื่องจากมีความอ่อนไหวต่อปัจจัยแวดล้อมหลายปัจจัย (Craine *et al.*, 2012)

กลุ่มที่ 3 ไม่ปรากฏปัจจัยกำหนดที่ชัดเจน พบพรรณไม้เด่น เช่น ประดู่ป่า (PETMAC) แดง (XYLXYL) น้ำเกลี้ยง (GLURAC) อะราง (PELDAS) และ พลับพลึง (MACTOM) เป็นต้น โดยพรรณไม้ในกลุ่มนี้สามารถปรากฏได้ทั่วไปเพราะมีความทนทานทางนิเวศวิทยา (amplitude of tolerance) ค่อนข้างสูง (Kongdam *et al.*, 2016) สามารถทนต่อปัจจัยแวดล้อมได้หลากหลาย ซึ่งจากการศึกษาของ Asanok *et al.*, (2020) ที่รายงานว่าพืชที่มีความทนทานต่อสภาพปัจจัยแวดล้อมส่วนใหญ่เป็นชนิดทั่วไป (generalist species) ที่สามารถกระจายอยู่ได้ในหลาย ๆ พื้นที่ เป็นต้น

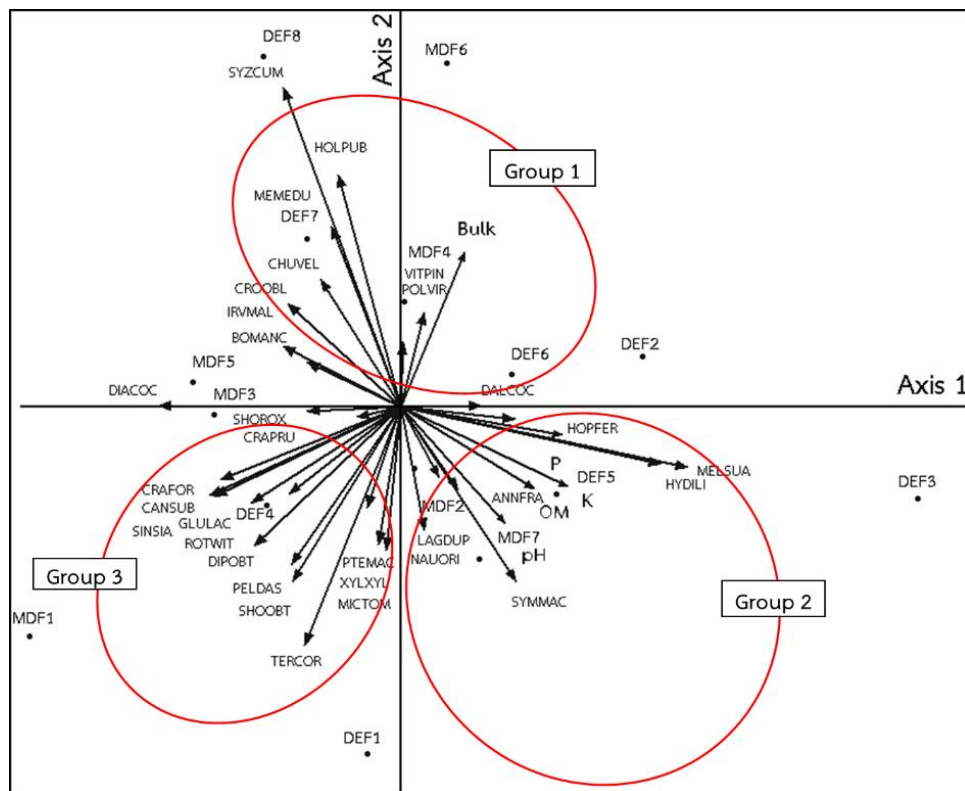


Figure 3 CCA ordination diagram representing relationship between vegetation (tree species) and edaphic factors, with species codes shown in Appendix 1

มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอน

จากการศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอน พบว่า สังคมพืชป่าดิบแล้ง มีปริมาณมวลชีวภาพรวมและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนมากกว่าสังคมย่อยป่าเบญจพรรณ โดยการกักเก็บปริมาณคาร์บอนในไม้ใหญ่มีค่าเท่ากับ 57.78 ± 29.37 ตันต่อเฮกตาร์ และ 27.15 ± 13.80 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ และสามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 99.58 ± 50.62 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ (Table 4) ในขณะที่ สังคมย่อยป่าเบญจพรรณ มีปริมาณมวลชีวภาพรวมของไม้ใหญ่และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 21.67 ± 9.85 ตันต่อเฮกตาร์ และ 10.18 ± 4.62 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ และสามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 37.36 ± 16.97 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ในพื้นที่ของป่าดิบแล้งมีการกักเก็บปริมาณคาร์บอนได้สูงกว่าป่าผสมผลัดใบ เนื่องจากประกอบไปด้วยพรรณไม้ทั้งที่ผลัดใบ และไม่ผลัดใบ (Santisuk, 2005) เมื่อเปรียบเทียบกับสังคมพืชอื่น ๆ พบว่า ป่าดิบแล้ง มีปริมาณมวลชีวภาพ

น้อยกว่าป่าดิบแล้งของสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราชที่มีปริมาณมวลชีวภาพเท่ากับ 358.53 ตันต่อเฮกตาร์ (Dhamanitayakul, 1979) อย่างไรก็ตามพบว่าใกล้เคียงกับพื้นที่อุทยานแห่งชาติแก่งกระจานที่มีการกักเก็บปริมาณคาร์บอนในไม้ต้นเท่ากับ 67.65 ± 40.64 ตันต่อเฮกตาร์ (Phetchaburi National Park Research and Development Center, 2019) ในส่วนของป่าผสมผลัดใบในป่านันทนาการแห่งนี้มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนมากกว่า จากรายงานของ Nuanurai (2005) ในบริเวณอุทยานแห่งชาติแก่งกระจานประเทศไทย พบว่ามีปริมาณมวลชีวภาพเท่ากับ 68.53 ตันต่อเฮกตาร์หรือ 10.965 ตันต่อไร่ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 34.26 ตันต่อคาร์บอนเฮกตาร์หรือ 5.482 ตันคาร์บอนต่อไร่ เนื่องจากโครงสร้างสังคมพืชที่แตกต่างกันส่งผลให้ศักยภาพปริมาณการเก็บคาร์บอนนั้นมีความแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ส่งผลให้ขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมบางประการอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น สภาพดิน ปริมาณฝนป่า ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง อุณหภูมิ เป็นต้น

Table 4 Biomass and carbon stock of mixed deciduous forest and dry evergreen forest in Hin Tang Waterfall Recreational Forest, Nong Wua district, Udon Thani province, Thailand

Component	Plant community	Mixed deciduous forest			Dry evergreen forest		
		Mean $\pm$ SD	Min	Max	Mean $\pm$ SD	Min	Max
Biomass	AGB (t ha ⁻¹)	17.07 $\pm$ 7.75	8.13	28.17	45.50 $\pm$ 23.12	24.37	93.87
	BLG (t ha ⁻¹)	4.60 $\pm$ 2.09	2.19	7.61	12.28 $\pm$ 6.24	6.58	25.34
	Total (t ha ⁻¹)	21.67 $\pm$ 9.85	10.32	35.77	57.78 $\pm$ 29.37	30.95	119.21
Carbon stock	C (t _{eq} ha ⁻¹)	10.18 $\pm$ 4.62	4.85	16.81	27.15 $\pm$ 13.80	14.54	56.03
	CO ₂ (t _{eq} ha ⁻¹)	37.36 $\pm$ 16.97	17.79	61.65	99.58 $\pm$ 50.62	53.34	205.45

สรุปและข้อเสนอแนะ

พื้นที่ป่านันทนาการน้ำตกหินตั้งสามารถจำแนกสังคมย่อยตามชนิดไม้เด่น ประกอบไปด้วย 2 สังคมพืช ได้แก่ สังคมพืชป่าเบญจพรรณ และสังคมพืชป่าดิบแล้ง เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบชนิดไม้กับปัจจัยแวดล้อมสมบัติดิน พบว่า ในสังคมป่าเบญจพรรณ ถูกกำหนดด้วยความหนาแน่นรวม และสังคมป่าดิบแล้ง ถูกกำหนดด้วยปริมาณอินทรีย์วัตถุ ธาตุอาหารฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และค่าความเป็นกรด-ด่าง ในส่วนของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในสังคมพืชป่าดิบแล้งมากที่สุด ดังนั้นในการจัดการควรพิจารณาถึงปัจจัยแวดล้อมบางประการด้วย เนื่องจากป่าแต่ละประเภทมีความต้องการถึงปัจจัยแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะปัจจัยแวดล้อมของสมบัติดินเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอาจทำให้โครงสร้างสังคมพืชเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ดังนั้นควรมีการสำรวจและติดตามถึงลักษณะทางพลวัตต่อไปเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการจัดการพื้นที่

คำนิยาม

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ต้องขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ป่านันทนาการน้ำตกหินตั้ง เจ้าหน้าที่หน่วยป้องกันรักษาป่าที่ อต.2 (หนองวัวซอ) อำเภอนองหนองวัวซอ จังหวัดอุดรธานี ที่อำนวยความสะดวกสนับสนุนข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย อีกทั้งลงพื้นที่เก็บข้อมูล สุดท้ายนี้ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำในการวิจัยครั้งนี้

REFERENCES

- Asanok, L., Kotkangphon, J., Rodkongrai, S., Chanduang, D., Ketdee, P., Khasuk, M. 2017. The influencing of canopy gap and conspecific adult tree determined the characteristic of dominant species in Ban Se Pa La freshwater swamp forest, Umphang district, Tak province. **Thai**

- Forest Ecological Research Journal**. 1(1): 19–26. (in Thai)
- Asanok, L., Taweek, R., Papakjan, N. 2020. Woody species colonization along edge- interior gradients of deciduous forest remnants in the Mae Khum Mee Watershed, Northern Thailand. **International Journal of Forestry Research**, 2020(1): 5867376. <https://doi.org/10.1155/2020/5867376>
- Blake, G.R., Hartge, K.H. 1986. **Bulk Density**. In A. Klute (ed.) **Methods of Soil Analysis. Part 1 – Physical and Mineralogical Methods Second Edition**. American Society of Agronomy, Madison WI, USA.
- Climate Center. 2020. **Climate of Udon Thani Province**. Development-tmd: Climate Center of Thailand. Bangkok. (in Thai)
- Craine, J.M., Ocheltree, T.W., Nippert, J.B., Towne, E. G., Skibbe, A.M., Kembel, S.W., Fargione, J.E. 2012. Global diversity of drought tolerance and grassland climate-change resilience. **Nature Climate Change**. 3(1): 63–67. doi:10.1038/nclimate1634
- Dhamanitayakul, P. 1979. **The Phenology of Trees in Dry Evergreen Forest and its Application to Timing for Logging Operation: Forest Research Bulletin Number 64**. Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok (in Thai).
- Hammit, W.E. 2004. Recreation: user needs and preferences. **Encyclopedia of Forest Sciences**. 949–958. doi.org/10.1016/B0-12-145160-700164-2
- IPCC. 2006. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Chapter 4 Forest Land**. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf, 28 May 2022.
- Kent, M., Coker, P. 1994. Vegetation description and analysis: A practical approach. **The Geographical Journal**, 159(2), 237. doi.org/10.2307/3451427
- Kongdam, P., Pimprasit, S., Vacharinrat, C., Marod, D. 2016. Forest structure and species composition in restoration by Teak plantation at Jedkhod-Pongkhonsao Natural Study and Ecotourism Center, Kheang Khoi district, Saraburi province. **Thai Journal of Forestry**, 35(1): 11–23.
- Krishna, M.P., Mohan, M. 2017. Litter decomposition in forest ecosystems: a review. **Energy, Ecology and Environment**, 236–249. doi.org/10.1007/s40974-017-0064-9
- Laing, R.S., Ong, K.H., Kueh, R.J.H., Mang, N.G., King, P.J.H., Sait, M. 2019. Stand structure, floristic composition and species diversity along altitudinal gradients of a Bornean Mountain range 30 years after selective logging. **Journal of Mountain Science**, 16(6): 1419–1434.
- Magurran, A.E. 1988. **Ecological Diversity and its Measurement**. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. USA.
- Marod, D. 2012. **Integrated Forest Restoration for Soil and Water Conservation**. Department of Biology, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Marod, D., Kutintara, U. 2009. **Forest Ecology**. Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok, Thailand (in Thai)
- Marod, D., Kutintara, U., Tanaka, H., Nakashizuka, T. 1999. Structural dynamics in a mixed deciduous forest western Thailand. **Journal of Vegetation Science**, 10: 777–786.
- Marod, D., Thinkamphaeng, S., Thongsawi, J., Phumphant, W., Kokoet, T., Hermhuk, S., Nakthanom, A. 2018. Forest structure and species composition in the dry evergreen forest at Wang Nam Khiao Forestry Student Training and Research Station, Nakhon Ratchasima province. **Thai Forest Ecological Research Journal**, 2(1): 45–54. (in Thai)
- McCune, B., Mefford, M.J. 2011. **PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data**. Version 6.0 for Windows. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.
- 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)

- Ogawa, H., Yoda, K., Kira, T. 1965. A preliminary survey on the vegetation of Thailand. **Nature and Life in SE Asia**, 1: 21–157.
- Phetchaburi National Park Research and Development Center. 2019. **The Study of Carbon Accumulation in the ASEAN Heritage Area, Kaeng Krachan National Park**. Research of National Park. Department of National parks Wildlife and Plant Conservation, Bangkok, Thailand. (in Thai).
- Phuma, P., Suddee, S. 2014. **Plant Name of Thailand Tem Smitinan, Edition 2014**. Forest Herbarium BKF. Department of National Park, Bangkok, Thailand (in Thai)
- Planning and Information Office. 2017. **5-year Action Plan of Royal Forest Department (2017–2022)**. Royal Forest Department, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Planning and Information Office. 2020. **National Forest Policy Drafting and National Forest Development Master Plan Subcommittee**. Royal Forest Department, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Planning and Information Office. 2022. **Annual Report 2022**. Royal Forest Department. Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Planning and Information Office. 2023. **Annual Report 2023**. Royal Forest Department. Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Plant Protection Promotion and Soil–Fertilizer Management Division. 2015. **Soil and Fertilizer**. Department of Agricultural Extension: Ministry of Agriculture and Cooperatives. Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Ruangpanit, N. 2005. **Forests and Forestry in Thailand**. Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Santisuk, T. 2005. **Forest of Thailand**. Thai Forest Bulletin, Department of National parks Wildlife and Plant Conservation, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Sonkanha, W., Anusontpornperm, S., Thanachit, S., Kheoruenromne, I., Artchawakom, T. 2012. Soil Characteristics under Various Types of Forest in Sakaerat Environmental Research Station. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 40: 7–18. (in Thai)
- Sorensen, T. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content. **Biologiske Skrifter**, 5(4): 1–34.
- Strithawat na Ayudhya, S., Nilphan, S., Pittanon, J. 1995. **Comparative Study of Bulk Density of Different Soil Series According to Soil Series Groups**. Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Thipayasak, T. 1984. **Classification of Soil Use. and Assessing Suitability by Physical Methods for the Benefit of Planning the Management of Khao Yai National Park and Nearby Areas**. Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Tsutsumi, T., Yoda, K., Sahunalu, P., Dhan–manonda, P., Prachaiyo, B. 1983. **Forest: Felling, Burning and Regeneration**. In *Shifting Cultivation, and Experiment at Nam Phrom, Noreast Thailand and it's Implication for Upland Farming in the Monsoon Tropics* (K. Kyuma and C. Pairintra Eds.). Tokyo University, Japan. pp. 13–62.
- Wiriyakitjanateekul, W., Kerdchana, C. 2016. **Methods of Soil Analysis and Interpretation for Soil Survey and Classification: Physical Properties**. Land development department: Ministry of Agriculture and Cooperatives. Bangkok, Thailand. (in Thai)

APPENDIX

Appendix 1 Species list of woody trees in mixed deciduous forest (MDF) and dry evergreen forest (DDF) in Hin Tang Waterfall Recreational Forest, Udon Thani province, Thailand

Scientific name	Family	Code	MDF	DDF
<i>Anneslea fragrans</i> Wall.	Theaceae	ANNFRA		/
<i>Bombax anceps</i> Pierre	Malvaceae	BOMANC		/
<i>Canarium subulatum</i> Guillaumin	Burseraceae	CANSUB		/
<i>Chukrasia tabularis</i> A. Juss.	Meliaceae	CHUTAB		/
<i>Cratogeomys formosum</i> (Jacq.) Benth. & Hook. f. ex Dyer subsp. <i>formosum</i>	Hypericaceae	CRAFOR	/	
<i>Croton oblongifolius</i> Roxb.	Euphorbiaceae	CROOBL		/
<i>Dalbergia cochinchinensis</i> Pierre	Fabaceae	DALCOC		/
<i>Dialium cochinchinense</i> Pierre	Fabaceae	DIACOC	/	/
<i>Dipterocarpus obtusifolius</i> Teijsm. ex Miq.	Dipterocarpaceae	DIPOBT	/	
<i>Gluta laccifera</i> (Pierre) Ding Hou	Anacardiaceae	GLULAC	/	/
<i>Holarrhena pubescens</i> Wall. ex G. Don	Apocynaceae	HOLPUB	/	/
<i>Hopea ferrea</i> Laness.	Dipterocarpaceae	HOPFER	/	/
<i>Hydnocarpus ilicifolia</i> King	Flacourtiaceae	HYDILI	/	/
<i>Irvingia malayana</i> Oliv. ex A. W. Benn.	Irvingiaceae	IRVMAL	/	/
<i>Lagerstroemia duperreana</i> Pierre ex Gagnep. var. <i>duperreana</i>	Lythraceae	LAGDUP	/	
<i>Melientha suavis</i> Pierre	Opiliaceae	MELSUA		/
<i>Memecylon edule</i> Roxb.	Melastomataceae	MEMEDU		/
<i>Microcos tomentosa</i> Sm.	Tiliaceae	MICTOM	/	/
<i>Monoon viride</i> (Craib) B. Xue & R. M. K. Saunders	Annonaceae.	MONVIR		/
<i>Nauclea orientalis</i> (L.) L.	Rubiaceae	NAUORI	/	
<i>Peltophorum dasyrrhachis</i> (Miq.) Kurz	Fabaceae	PELDAS	/	/
<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz	Fabaceae	PTEMAC	/	/
<i>Rothmannia wittii</i> (Craib) Bremek.	Rubiaceae	ROTWIT	/	/
<i>Shorea obtusa</i> Wall. ex Blume	Dipterocarpaceae	SHOOBT	/	
<i>Shorea roxburghii</i> G. Don	Dipterocarpaceae	SHOROX	/	
<i>Sindora siamensis</i> Teijsm. ex Miq. var. <i>siamensis</i>	Fabaceae	SINSIA	/	/
<i>Symplocos sulcata</i> Kurz	Symplocaceae	SYMSUL		/
<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	Myrtaceae	SYZCUM	/	/
<i>Terminalia mucronata</i> Craib & Hutch.	Combretaceae	TERMUC		/
<i>Vitex pinnata</i> L.	Lamiaceae	VITPIN	/	/
<i>Xylia xylocarpa</i> (Roxb.) W. Theob. var. <i>kerrii</i> (Craib & Hutch.) I. C. Nielsen	Fabaceae	XYLXYL	/	