โครงสร้างสังคมพืช ลักษณะเชิงหน้าที่ และความหลากหลายของพรรณไม้ต้น ในป่าเขาหินปูนเขตร้อน จังหวัดลพบุรี

พิทักษ์ไทย ประโมสี

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการป่าไม้
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2564

โครงสร้างสังคมพืช ลักษณะเชิงหน้าที่ และความหลากหลายของพรรณไม้ต้น ในป่าเขาหินปูนเขตร้อน จังหวัดลพบุรี

พิทักษ์ไทย ประโมสี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการป่าไม้
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

โครงสร้างสังคมพืช ลักษณะเชิงหน้าที่ และความหลากหลายของพรรณไม้ต้น ในป่าเขาหินปูนเขตร้อน จังหวัดลพบุรี

พิทักษ์ไทย ประโมสี

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการป่าไม้

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.แหลมไทย อาษานอก)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษดา พงษ์การัณยภาส)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(อาจารย์ ดร.มณฑล นอแสงศรี)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร ลัทธิ์ถีระสุวรรณ)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน
อธิการบดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง โครงสร้างสังคมพืช ลักษณะเชิงหน้าที่ และความหลากหลายของพรรณไม้ต้น ในป่าเขาหินปูนเขตร้อน จังหวัดลพบุรี
ชื่อผู้เขียน นายพิทักษ์ไทย ประโมสี
ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการป่าไม้
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รองศาสตราจารย์ ดร.แหลมไทย อาษานอก

บทคัดย่อ

การจัดการป่าเขาหินปูนเขตร้อนจำเป็นต้องเข้าใจถึงองค์ประกอบชนิดและลักษณะเชิงหน้าที่ของหมู่ไม้ เพื่อทำให้เข้าใจถึงการทำงานของระบบนิเวศเขาหินปูนได้มากขึ้น ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบชนิด ลักษณะเชิงหน้าที่ และความหลากหลายของไม้ต้นที่สัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมในป่าเขาหินปูนเขตร้อน ในพื้นที่วัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี ในระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 ถึง กันยายน พ.ศ. 2563 โดยทำการวางแปลงตัวอย่างแบบแถบในพื้นที่เขาหินปูนสองลูกเขา ได้แก่ เขาหินปูนล้วนและเขาหินปูนผสมแกรนิต โดยการวางแปลงในแต่ละลูกเขากำหนดให้กว้าง 10 เมตร และความยาวขึ้นอยู่กับความสูงจากตีนเขาถึงยอดเขาให้ครอบคลุมทั้งสี่ทิศคือ เหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก และในแต่ละแถบทำการแบ่งเป็นแปลงย่อยขนาด 10 เมตร x 10 เมตร รวมทั้งสิ้น 135 แปลง แบ่งเป็นเขาหินปูนล้วน 65 แปลง และเขาหินปูนผสมแกรนิต 70 แปลง เพื่อเก็บข้อมูลองค์ประกอบชนิดของไม้ต้น ลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช และปัจจัยสิ่งแวดล้อม แล้วทำการวิเคราะห์ลักษณะของสังคมพืช ความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่ และความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาพบว่า เขาหินปูนในพื้นที่วัดป่าภัทรปิยารามปรากฏพันธุ์ไม้ 61 ชนิด 52 สกุล 24 วงศ์ จากทั้งหมด 996 ต้น โดยแบ่งเป็นเขาหินปูนล้วน 45 ชนิด 41 สกุล 20 วงศ์ โดยพื้นที่แห่งนี้มีดัชนีความหลากชนิด เท่ากับ 3.08 มีขนาดพื้นที่หน้าตัดและความหนาแน่นของไม้ใหญ่ เท่ากับ 7.77 ตร.ม./เฮกแตร์ และ 807 ต้น/เฮกแตร์ ตามลำดับ โดยมีชนิดไม้สำคัญ เช่น ปอทง (*Sterculia guttata*) เสี้ยวเครือ (*Phanera bracteata*) และมะกา (*Bridelia ovata*) ส่วนเขาหินปูนผสมแกรนิตปรากฏพันธุ์ไม้ 43 ชนิด 40 สกุล 19 วงศ์ โดยพื้นที่แห่งนี้มีดัชนีความหลากชนิด เท่ากับ 2.89 มีขนาดพื้นที่หน้าตัดและความหนาแน่นของไม้ใหญ่ เท่ากับ 7.65 ตร.ม./เฮกแตร์ และ 672 ต้น/เฮกแตร์ ตามลำดับ โดยมีชนิดไม้สำคัญ เช่น งิ้วผา (*Bombax anceps*) ส้มกบ (*Hymenodictyon orixense*) และกางขี้มอด (*Albizia odoratissima*) และยังพบว่าองค์ประกอบไม้ใหญ่และลูกไม้/กล้าไม้ของชนิดไม้สำคัญ ประกอบด้วยชนิดที่ถูกกำหนดด้วยปัจจัยหินโผล่ เช่น ปอทง ขี้อ้าย (*Terminalia nigrovenulosa*) และมะกัก (*Spondias bipinnata*) ชนิดที่ถูก

กำหนดด้วยปริมาณแสง เช่น ปอฝ้าย (*Firmiana colorata*) ผกากอง (Lantana camara) และประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus*) และชนิดที่ถูกกำหนดด้วยความลึกดิน เช่น มะกอก (*Spondias pinnata*) ส้มกบ (*Hymenodictyon orixense*) และงิ้วผา (*Bombax anceps*) ชนิดไม้ในพื้นที่ศึกษาสามารถแบ่งตามลักษณะเชิงหน้าที่ได้ 4 กลุ่ม ได้แก่ 1) ชนิดที่มีค่าสัดส่วนน้ำหนักแห้งต่อน้ำหนักสดของใบ และความหนาแน่นของเนื้อไม้มาก เช่น สะท้อน (*Archidendron clypearia*) ขี้หนอน (*Zollingeria dongnaiensis*) และขี้อ้าย เป็นต้น 2) ชนิดที่มีพื้นที่ใบจำเพาะมาก เช่น มะกา (*Bridelia ovata*) กระเจียน (*Hubera cerasoides*) และยมหิน (*Chukrasia tabularis*) เป็นต้น 3) ชนิดที่มีขนาดพื้นที่ใบมาก เช่น งิ้วผา ส้มกบ และมะกอก 4) ชนิดที่มีความหนาใบมาก คือ ขว้าว (*Haldina* cordifolia) ไทรย้อยใบทู่ (*Ficus microcarpa*) และปอหูช้าง (*Pterospermum* acerifolium) เป็นต้น และยังพบว่าเขาหินปูนล้วนมีค่าความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่สูงกว่าเขาหินปูนผสมแกรนิต ในขณะที่เขาหินปูนผสมแกรนิตปรากฏความเด่นของลักษณะเชิงหน้าที่มากกว่าเขาหินปูนล้วน โดยความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่ถูกกำหนดด้วยปัจจัยปริมาณหินโผล่ คือค่าเอนโทรปีกำลังสองของ Rao ในขณะที่ปัจจัยความลึกดินกำหนดปริมาณของค่าความเด่นของลักษณะเชิงหน้าที่ คือค่าถ่วงน้ำหนักลักษณะเชิงหน้าที่ของขนาดพื้นที่ใบ จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าปริมาณหินโผล่ถือว่าเป็นปัจจัยแวดล้อมที่สำคัญของป่าเขาหินปูนเขตร้อนเนื่องจากทำให้เกิดทั้งความหลากชนิดและความหลายของลักษณะเชิงหน้าที่ ดังนั้นในการจัดการพื้นที่ป่าเขาหินปูนจึงควรพิจารณาทั้งองค์ประกอบชนิดและลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชเพื่อให้เข้าใจถึงการทำงานของระบบนิเวศป่าเขาหินปูนมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : โครงสร้างสังคมพืช, ความหลากหลายลักษณะเชิงหน้าที่, ความเด่นลักษณะเชิงหน้าที่, ปัจจัยสิ่งแวดล้อม, การจัดการป่าเขาหินปูนเขตร้อน

Title VEGETATION STRUCTURE, FUNCTIONAL TRAIT AND DIVERSITY OF TREES SPECIES IN TROPICAL LIMESTONE HILL FOREST, LOP BURI PROVINCE

Author Mr. Pitakthai Pramosee

Degree Master of Science in Forest Management

Advisory Committee Chairperson Associate Professor Dr. Lamthai Asanog

ABSTRACT

Tropical limestone forest management needed understand species composition and plant functional trait of forest stand for emphasis the knowledge of limestone ecosystem functioning. This study investigated species composition plant functional trait and diversity of tree had related to environmental factors in tropical limestone forest on Wat Pa Pattarapiyaram, Lop Buri province. The study during on October 2019 to September 2020. The transect sampling plot were establish on two limestone hill included pure limestone (PLM) and limestone mixed with granite (LMG). In each limestone hill were establish sampling plot wide 10 m from lower to top of the hill along altitude gradient covered four directions (N, S, E, and W). In each transect divided into 10 m x 10 m plots were 135 plots in total, located in PLM 65 plot and 70 plots of LMG. Species composition and functional trait of tree and environmental factors were collected for analyzed forest species composition functional trait diversity and relationship with environmental factors of them. The results showing that 61 species 52 genus and 24 family from 996 stem of tree in total on study sites. The PLM forest show that 45 species 41 genus 20 family. This site had shown Shannon-Winer index, basal area, and stem density were 3.08, 7.77 m^2 ha^{-1} and 807 stem ha^{-1} respectively, the important species such as *Sterculia guttata*, *Phanera bracteate* and *Bridelia ovata* are show. The LMG forest show that 43 species 40 genus and 19 family. This site had shown Shannon-Winer index, basal area, and stem density were 2.89, 7.65 m^2 ha^{-1} and 672 stem ha^{-1} respectively, the important species such as *Bombax anceps, Hymenodictyon orixense* and *Albizia*

odoratissima are show. Species composition of tree and seedling/sapling in study sites were prevented by rocky outcrop such as *Sterculia guttata*, *Terminalia nigrovenulosa* and *Spondias bipinnata*. Species was prevented by sun light such as *Firmiana colorata*, *Lantana camara* and *Pterocarpus macrocarpus*and species was prevented by soil depth such as *Spondias pinnata*, *Hymenodictyon orixense* and *Bombax anceps*. The dominant species in study sites are show function trait syndrome into 4 group; 1) species with high leaf dry matter content and wood density such as *Archidendron clypearia*, *Zollingeria dongnaiensis* and *Sterculia guttata*, 2) species with high specific leaf area such as *Bridelia ovata*, *Hubera cerasoides* and *Chukrasia tabularis* 3) species with larger leaf such as *Spondias pinnata*, *Hymenodictyon orixense* and *Bombax anceps*, and 4) species with leaf thickness such as *Haldina cordifolia*, *Ficus microcarpa* and *Pterospermum acerifolium*. The PLM forest are show higher functional trait diversity than LMG forest, but LMG had higher trait dominant than PLM forest. The functional trait diversity such as Rao's quadratic entropy value had prevented by rocky outcrop, and trait dominant such community-weight mean of leaf area had limited by soil depth. The results suggesting that rocky outcrop is important factor of lime stone forest because of it was affected on both species diversity and functional trait diversity. So, tropical limestone forest management should consider species composition and functional trait to better understand the functioning of the limestone forest ecosystem.

Keywords : Vegetation structure, Functional trait diversity, Trait dominant, Environmental factors, Tropical limestone forest management

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง โครงสร้างสังคมพืช ลักษณะเชิงหน้าที่และความหลากหลายของพรรณไม้ต้นในป่าเขาหินปูนเขตร้อน จังหวัดลพบุรี ซึ่งจะสำเร็จลงไม่ได้ถ้าหากไม่ได้รับจากอนุเคราะห์ พระครูสังฆรักษ์ณริชธันร์ อรุโณ (ศรีอิทธิมนต์) เจ้าอาวาสวัดป่าภัทรปิยาราม ที่อำนวยความสะดวก และอนุเคราะห์สถานที่สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ สำหรับการทำวิจัยและสนับสนุนทุนในการศึกษาสำจวรและเก็บรวบรวมข้อมูลในครั้งนี้ รวมทั้งนักศึกษาระดับปริญญาโทสาขาวิชาการจัดการป่าไม้ และระดับปริญญาตรีสาขาวิชาเกษตรป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ ที่เป็นกำลังสำคัญในการเก็บข้อมูลภาคสนาม และขอขอบพระคุณท่านรองศาสตราจารย์ ดร. แหลมไทย อาษานอก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษาในการทำงานวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และสุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา-มารดา ที่เป็นกำลังใจ รวมทั้งให้คำปรึกษาตลอดมา

พิทักษ์ไทย ประโมสี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ช
สารบัญ ..... ซ
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฎ
สารบัญตารางผนวก ..... ฏ
บทที่ 1 บทนำ 1
ความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์ 3
ขอบเขตงานวิจัย 3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร 5
โครงสร้างสังคมพืช 5
การศึกษาโครงสร้างสังคมพืช 6
ปัจจัยแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อสังคมพืช 7
การจัดลำดับสังคมพืช (Plant community ordination) 10
ลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช (Plant functional traits) 11
ความหลากหลายลักษณะเชิงหน้าที่ (Functional diversity) 15
ระบบนิเวศเขาหินปูน 16
ป่าเขาหินปูนในประเทศไทย 18

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 20
บทที่ 3 อุปกรณ์ และวิธีการ 25
อุปกรณ์ 25
วิธีการ 25
การเก็บข้อมูลภาคสนาม 27
การวิเคราะห์ข้อมูล 30
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ 36
องค์ประกอบสังคมพืช 36
ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแต่ละสังคมพืช 46
ความสัมพันธ์ของสังคมพืชกับปัจจัยแวดล้อม 48
ความสัมพันธ์ของสังคมพืชกับลักษณะเชิงหน้าที่พรรณพืช 52
ความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช 55
ความสัมพันธ์ของลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชกับปัจจัยแวดล้อม 57
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 59
สรุป59
ข้อเสนอแนะ 60
บรรณานุกรม 62
ภาคผนวก 73
ประวัติผู้วิจัย 82

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ค่าดัชนีความสำคัญ (important value index; IVI) ของระดับไม้ใหญ่ป่าเขาหินปูนล้วน และค่าลักษณะทางสังคม ได้แก่ ความหนาแน่น (D; ต้น/เฮกตาร์), พื้นที่หน้าตัด (Ba; ตารางเมตร / เฮกตาร์), และ ความถี่ (F; เปอร์เซ็นต์) วัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี..... 36

ตารางที่ 2 ค่าดัชนีความสำคัญ (important value index; IVI) ของระดับลูกไม้/กล้าไม้ ป่าเขาหินปูนล้วน และค่าลักษณะทางสังคม: ความหนาแน่น (D; ต้น/เฮกตาร์) และความถี่ (F; เปอร์เซ็นต์) วัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี..... 39

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีความสำคัญ (important value index; IVI) ของระดับไม้ใหญ่ ป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต และค่าลักษณะทางสังคม: ความหนาแน่น (D; ต้น/เฮกตาร์), พื้นที่หน้าตัด (Ba; ตารางเมตร /เฮกตาร์), และความถี่ (F; เปอร์เซ็นต์) วัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี..... 41

ตารางที่ 4 ค่าดัชนีความสำคัญ (important value index; IVI) ของระดับลูกไม้/กล้าไม้ ป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต และค่าลักษณะทางสังคม: ความหนาแน่น (D; ต้น/เฮกตาร์) และความถี่ (F; เปอร์เซ็นต์) วัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี..... 44

ตารางที่ 5 ค่าความแปรปรวนระหว่างปัจจัยแวดล้อม คือ ปริมาณแสง (PAR, μmol m^2) ความลึกของดิน (soil, <M) ปริมาณหินโผล่ (Rock, %) ของแต่ละสังคมพืช คือ เขาหินปูนล้วน และเขาหินปูนผสมหินแกรนิต วัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี..... 46

ตารางที่ 6 ค่าลักษณะทางสังคม: ได้แก่ ชนิด (Sp), สกุล (G), วงศ์ (F), ความหนาแน่น (D; ต้น/เฮกตาร์), พื้นที่หน้าตัด (Ba; ตารางเมตร/เฮกตาร์), ดัชนีความหลากชนิด (H'), ค่าความเด่นของการปรากฏชนิด (λ), และความสม่ำเสมอของชนิด (J) ของป่าเขาหินปูนล้วน และป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต วัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี..... 47

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบลักษณะเชิงหน้าที่ระหว่างป่าเขาหินปูนล้วน และป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต ในวัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี..... 56

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 วัดป่าภัทรปิยาราม ตำบลโคกตูม อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี ที่แสดงเขาหินปูนล้วน และเขาหินปูนผสมหินแกรนิต 27

ภาพที่ 2 ลักษณะของแปลงตัวอย่างเก็บข้อมูลพรรณพืชแบบแถบ (belt transect) และการแบ่งแปลงย่อยขนาด 10 เมตร x 10 เมตร และ 5 เมตร x 5 เมตร จากบริเวณเชิงเขาจนถึงยอดเขา..... 28

ภาพที่ 3 การจัดลำดับความสัมพันธ์ของสังคมพืชกับปัจจัยแวดล้อม ระดับไม้ใหญ่ ด้วยวิธี CCA โดยใช้ปัจจัยแวดล้อม คือ ปริมาณหินโผล่ (Rock) ปริมาณแสง (PAR) และความลึกดิน (soil) ของป่าเขาหินปูนล้วน และป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต วัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี 49

ภาพที่ 4 การจัดลำดับความสัมพันธ์ของสังคมพืชกับปัจจัยแวดล้อม ระดับลูกไม้/กล้าไม้ ด้วยวิธี CCAโดยใช้ปัจจัยแวดล้อม ได้แก่ ปริมาณหินโผล่ (Rock) ปริมาณแสง (PAR) และความลึกดิน (soil) ของป่าเขาหินปูนล้วน และป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต วัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี 51

ภาพที่ 5 การจัดลำดับด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ด้วยวิธี PCA แสดงการปรากฏของสังคมพืชตามลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช โดยลักษณะเชิงหน้าที่ที่ใช้ ได้แก่ ขนาดพื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (WD) ความหนาใบ (LT) สัดส่วนน้ำหนักแห้งต่อน้ำหนักสดของใบ (LDMC) และขนาดพื้นที่ใบ (LA) ของป่าเขาหินปูนล้วน และป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต วัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี 54

ภาพที่ 6 การจัดลำดับความสัมพันธ์ของความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่ ด้วยวิธี RDA ได้แก่ CWM-trait, F-Ric, F-Dis, F-Eve F-Div และRaoQ กับปัจจัยแวดล้อม ได้แก่ ปริมาณแสง (PAR) ความลึกของดิน (soil) ปริมาณหินโผล่ (Rock) ของป่าเขาหินปูนล้วน และป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต วัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี..... 58

สารบัญตารางผนวก

หน้า

ตารางผนวกที่ 1 บัญชีรายชื่อไม้ต้นที่สำรวจพบในพื้นที่ป่าเขาหินปูน วัดป่าภัทรปิยาราม ตำบลโคกตูม อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี..... 74

ตารางผนวกที่ 2 ค่าลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชในพื้นที่ป่าเขาหินปูน ได้แก่ ความหนาใบ (leaf thickness; Lt, mm) พื้นที่ใบ (leaf area; LA, Cm^2) พื้นที่ใบจำเพาะ (specific leaf area; SLA, Cm^2) สัดส่วนน้ำหนักแห้งต่อน้ำหนักสดของใบ (leaf dry matter content; LDMC, $mg1g^{-1}$) และความหนาแน่นของเนื้อไม้ (wood density; WD, g/cm^{-3}) วัดป่าภัทรปิยาราม ตำบลโคกตูม อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี..... 78

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญของปัญหา

ระบบนิเวศเขาหินปูน (limestone ecosystem) เป็นส่วนหนึ่งของระบบนิเวศแบบลานหิน (karst ecosystem) ซึ่งเป็นระบบนิเวศที่มีปัจจัยแวดล้อมที่รุนแรง (extreme environment) ทำให้มีลักษณะที่โดดเด่นเฉพาะตัว คือ มีหน้าผาสูงชัน ยอดแหลม ตะปุ่มตะป่ำ และมักพบรอยแตกกว้างซึ่งพัฒนาไปเป็นถ้ำ จนในบางครั้งถ้ำอาจพังทลายลงจนกลายเป็นบ่อหรือหลุมที่เรียกว่า หลุมยุบ (sinkhole) เนื่องจากเกิดจากการกัดเซาะของน้ำฝน หรือน้ำในโพรงถ้ำใต้ดินเพราะระบบนิเวศแบบหินปูนมักปรากฏช่องลำธารใต้ดินอยู่เสมอ (De Waele et al., 2013; Ford and Williams, 2007; Liu, 2009) เขาหินปูนมีปัจจัยจำกัดเฉพาะหลายประการ (specific limiting factors) เช่น ลักษณะทางกายภาพของหินปูน ความลาดชันของพื้นที่ และการผุกร่อนที่เกิดจากการแผดเผาของแสงแดด เป็นต้น จึงส่งผลต่อความสามารถในการการสะสมตัวของชั้นดิน ทำให้มีชั้นดินตื้นและมีความหนาแน่นของดินต่ำ นอกจากนั้นดินที่สะสมในเขาหินปูนมักมีปริมาณของเศษซากพืช (humus) ปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีข้อจำกัดเกี่ยวกับกระบวนการเกิดดินและปริมาณผู้ย่อยสลาย ส่งผลให้เกิดการกักเก็บน้ำในดินได้น้อยและระเหยได้อย่างรวดเร็วในฤดูแล้ง (Asanok et al., 2013; Liu et al., 2012; Liu, 2009) ดังนั้นพรรณไม้ที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีจนมีสภาพเป็นป่าเขาหินปูน จึงจำเป็นต้องมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่รุนแรงและมีลักษณะของความต้องการทางนิเวศวิทยา (ecological niche) ที่เฉพาะเจาะจงต่อระบบนิเวศแบบหินปูนเท่านั้น (De Waele et al., 2013; Ford and Williams, 2007) ด้วยข้อจำกัดทางสภาพแวดล้อมที่รุนแรงของเขาหินปูน จึงส่งผลให้กลุ่มพรรณพืชที่ปรากกฏในป่าเขาหินปูนมักมีสถานภาพเป็นกลุ่มพืชหายาก (rare species) พืชเฉพาะถิ่น (endemic species) หรืออาจเป็นพืชชนิดใหม่ (new species) ของโลก เช่น การศึกษาของ (Bogutskaya et al., 2012; Chen et al., 2014; Crottini et al., 2011; Musser et al., 2005; Rubite et al., 2015) เป็นต้น

ปัจจุบันป่าเขาหินปูนในประเทศไทยมีสถานภาพที่เสี่ยงต่อการบุกรุกทำลายจากการสัมปทานระเบิดหินเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์อย่างกว้างขวาง ซึ่งถือว่าเป็นการคุกคามความหลากหลายทางชีวภาพอย่างรุนแรงของระบบนิเวศป่าเขาหินปูน เนื่องจากการรบกวนที่เกิดจากการระเบิดหินเพื่อทำเหมืองหินปูนสามารถฟื้นฟูสภาพป่าได้ยากเพราะเป็นการทำลายถิ่นอาศัยอย่างถาวร จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อปัจจัยแวดล้อมของถิ่นอาศัยก่อให้เกิดการสูญพันธุ์ระดับท้องถิ่น (local

extinction) ของพันธุ์พืชหรือสัตว์บางชนิด (Ronquist, 1994) นอกจากนั้นยังส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสังคมพืชเขาหินปูนเปลี่ยนไปจากเดิม เนื่องจากการถูกรบกวนจากการทำเหมืองส่งผลกระทบไปถึงปัจจัยสิ่งแวดล้อมของป่าเขาหินปูนด้วยและยังส่งผลต่อการสืบต่อพันธุ์ของพรรณพืชในสังคมโดยตรง (Asanok et al., 2013) เนื่องจากพืชแต่ละชนิดจะสามารถตั้งตัวได้ในช่วงเฉพาะของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมกับตัวมันเองตามความทนทานทางด้านนิเวศวิทยา (ecological amplitude) เท่านั้น ดังนั้นชนิดพืชที่สามารถสืบต่อพันธุ์อยู่ได้ต้องมีความสามารถในการปรับตัวให้สามารถอยู่รอดได้ภายใต้ปัจจัยแวดล้อมใหม่ ๆ ก่อให้เกิดการทดแทนของสังคมพืช (plant succession) หรือการสืบต่อพันธุ์ตามธรรมชาติตามการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยแวดล้อมในขณะนั้น จึงส่งผลให้แต่ละช่วงเวลาของการทดแทนของป่าเขาหินปูนมีความแตกต่างกันทั้งด้านโครงสร้างและองค์ประกอบชนิด (Drury and Nisbet, 1973; Li et al., 2013) อย่างไรก็ตามการศึกษาทางด้านนิเวศวิทยาและความหลากหลายของป่าเขาหินปูนในประเทศไทยค่อนข้างมีอยู่อย่างจำกัด เนื่องจากปัญหาการเข้าถึงพื้นที่ที่มีสภาพเป็นเขาหินปูนทั้งสูงชันและอันตรายจนยากต่อการสำรวจ นอกจากนั้นในการศึกษาที่ผ่านมามีเพียงแค่การศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพและการเปลี่ยนแปลงของสังคมพืชตามความแปรผันของปัจจัยสิ่งแวดล้อมเท่านั้น ยังไม่ได้มีการศึกษาไปถึงลักษณะ (trait) ของพรรณพืชที่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม หรือลักษณะที่สามารถส่งผลต่อความสามารถในการเจริญทดแทนในป่าเขาหินปูน

ดังนั้นลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช (plant functional trait) จึงได้ถูกนำเสนอให้ใช้สำหรับการศึกษาเชิงลึกถึงความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม เนื่องจากลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชเป็นลักษณะทางกายภาพวิทยา (morphology) ลักษณะทางสรีรวิทยา (physiology) และ ชีพลักษณ์วิทยา (phenology) ที่บ่งบอกถึงการใช้ทรัพยากรทางนิเวศวิทยา รวมถึงการแสดงออกของพรรณพืชแต่ละชนิดต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อม ซึ่งส่งผลกระทบต่อระดับของการบริโภค (trophic levels) และคุณลักษณะของระบบนิเวศ (Kattge et al., 2011) นอกจากนั้นลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชมักถูกใช้ในการค้นหาชนิดพรรณไม้ที่มีศักยภาพในการฟื้นฟูหรือการสืบต่อพันธุ์ตามธรรมชาติ (Cornelissen et al., 2003; McGill et al., 2006) ความแปรผันของลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชแต่ละชนิดในสังคม ยังบ่งบอกถึงอิทธิพลของกระบวนการกลั่นกรองโดยปัจจัยสิ่งแวดล้อม (environment filtering) ด้านโครงสร้างและความหลากหลายทางนิเวศวิทยาของสังคมนั้น ๆ (Paine et al., 2011; Webb et al., 2010) ส่งผลให้สังคมพืชมีความแตกต่างกันภายใต้ปัจจัยสิ่งแวดล้อมเดียวกัน ซึ่งการศึกษาความแปรผันของลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชได้รับการยอมรับแล้วว่า สามารถใช้เพื่อการติดตามและตอบปัญหาทางนิเวศวิทยาได้มากมายโดยไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานและงบประมาณที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ (Wright et al., 2004)

จังหวัดลพบุรีเป็นอีกพื้นที่หนึ่งที่มีป่าเขาหินปูนปรากฏอยู่มากในทางภาคกลางของประเทศไทยและเป็นแหล่งแร่หินปูนที่สำคัญของประเทศไทย ทำให้มีการสัมปทานระเบิดหินเพื่อนำหินมาใช้ในอุตสาหกรรมอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งถือว่าเป็นการรบกวนเขาหินปูนอย่างรุนแรง นอกจากนั้นการเกิดไฟป่าที่มีสาเหตุมาจากการทำเกษตรกรรมก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่เป็นการรบกวนสังคมพืชเขาหินปูนในพื้นที่จังหวัดลพบุรี (แหลมไทย และคณะ, 2559) แต่อย่างไรก็ตามยังไม่ได้มีการศึกษาถึงลักษณะโครงสร้างป่าเขาหินปูนในบริเวณนี้อย่างจริงจัง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเรื่อง โครงสร้างสังคมพืชและความหลากหลายลักษณะเชิงหน้าที่ของชนิดไม้ต้นในป่าเขาหินปูน ในจังหวัดลพบุรี โดยในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นไปที่ลักษณะโครงสร้างป่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามการแปรผันของปัจจัยสิ่งแวดล้อม และยังได้นำลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชเข้ามาประกอบการวิเคราะห์เพื่ออธิบายถึงลักษณะของพรรณพืชที่สามารถปรับตัวให้ขึ้นอยู่ในสภาพของป่าเขาหินปูนได้ ภายใต้การแปรผันของปัจจัยแวดล้อม เพื่อเป็นข้อมูลการศึกษานิเวศวิทยาเชิงลึกสำหรับนำไปใช้ในการจัดการระบบนิเวศป่าเขาหินปูนอย่างยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาองค์ประกอบ ความหลากหลาย และการสืบต่อพันธุ์ตามธรรมชาติของไม้ต้น ในป่าเขาหินปูนเขตร้อน จังหวัดลพบุรี
2. ศึกษาความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณไม้ต้น ในป่าเขาหินปูนเขตร้อน จังหวัดลพบุรี
3. ศึกษาการแปรผันของปัจจัยแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อองค์ประกอบชนิดพรรณไม้ต้น และลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณไม้ต้น ในพื้นที่ป่าเขาหินปูนเขตร้อน จังหวัดลพบุรี

ขอบเขตงานวิจัย

การศึกษาองค์ประกอบพรรณไม้ต้น และความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช ในป่าเขาหินปูนเขตร้อน บริเวณวัดป่าภัทรปิยาราม ตั้งอยู่ที่ตำบลโคกตูม อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี โดยมีการเก็บรวบรวมข้อมูล ตั้งแต่เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2563

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงองค์ประกอบชนิด และความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณไม้ต้นที่ปรากฏในพื้นที่ป่าเขาหินปูน ซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงความหลากหลายของพรรณไม้ต้นที่เกิดขึ้นในพื้นที่ป่าเขาหินปูนเขตร้อน จังหวัดลพบุรี

2. ทราบถึงอิทธิพลของความแปรผันปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อองค์ประกอบชนิด และลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณไม้ต้นที่ขึ้นเจริญทดแทนในพื้นที่ป่าเขาหินปูน อันจะนำไปสู่การเกิดองค์ความรู้ใหม่ที่สามารถคัดเลือกพรรณไม้ต้นที่เหมาะสมสำหรับการปลูกฟื้นฟู ในพื้นที่ป่าเขาหินปูน หรือแม้แต่การปลูกเพื่อฟื้นฟูป่าในสภาพพื้นที่ ๆ มีลักษณะทางกายภาพของปัจจัยแวดล้อมที่คล้ายคลึงกัน

3. ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณไม้ต้น ซึ่งถือว่าเป็นองค์ความรู้ใหม่ที่ถูกนำมาใช้ในประเทศไทยให้เกิดการเรียนรู้อย่างกว้างขวางยิ่งขึ้น โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้เทคนิคการศึกษานี้ในสภาพป่าอื่น ๆ ที่มีลักษณะแตกต่างออกไปจากพื้นที่ป่าเขาหินปูน ให้กว้างขวางต่อไป

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

โครงสร้างสังคมพืช

สังคมพืช (plant community) หมายถึง การขึ้นอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนของพรรณพืชชนิดต่าง ๆ มีความสัมพันธ์และผูกพันเข้าด้วยกันระหว่างพันธุ์ไม้เหล่านั้น นอกจากนี้ยังรวมถึงความสัมพันธ์และผูกพันระหว่างพันธุ์ไม้เหล่านั้นกับปัจจัยแวดล้อมที่เป็นสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิตในพื้นที่นั้นด้วย (Krebs, 1978; Smith, 1966) นอกจากนั้น Tansley (1939) ได้ให้แนวความคิดไว้ว่า พรรณพืชที่ขึ้นอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนนั้นเป็นเพราะพรรณพืชต่าง ๆ แต่ละต้นฝังรากแน่นอยู่กับพื้นดินเป็นส่วนใหญ่ แล้วทำการสืบลูกหลานโดยสร้างส่วนสืบพันธุ์อย่างมากมายให้กระจายออกไป อาจเป็นในรูปของการโปรยเมล็ด สปอร์ การแตกหน่อจากตอ จากตา จากราก หรือจากหัวชนิดต่าง ๆ ตามหลักการนี้จึงมักจะพบพรรณพืชชนิดเดียวกันขึ้นอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนสามารถแยกออกเป็นหน่วยที่เด่นชัด ส่วนคำว่า “ลักษณะโครงสร้าง (structural characteristics)” หมายถึง ลักษณะที่เกี่ยวกับการกระจายในพื้นที่ของมวลชีวภาพ โครงสร้างของสังคมพืชอาจจะมองได้ใน 3 ด้านด้วยกัน คือ 1) โครงสร้างทางด้านตั้ง (vertical structure) หมายถึง การเรียงตัวของชนิดพืชที่แบ่งได้เป็นชั้น ๆ ตามความสูงเรียกว่า layer หรือ strata 2) โครงสร้างทางด้านราบ (horizontal structure) หมายถึง แบบแผนของการกระจาย (distribution pattern) ของพรรณไม้แต่ละต้นแต่ละชนิด หรือของพรรณไม้ทั้งหมดในสังคม รวมถึง 3) ความมากมาย (abundance) ของแต่ละชนิดซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการนับในเชิงปริมาณ เช่น ความหนาแน่น (density) ลักษณะการปกคลุม (cover) มวลชีวภาพ (biomass) และปริมาณพื้นที่หน้าตัด (basal area) เป็นต้น (Richards, 1957)

การศึกษาลักษณะโครงสร้างของสังคมพืชโดยทั่ว ๆ ไปแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ 1) ลักษณะในเชิงวิเคราะห์ (analytical characteristics) หมายถึง ลักษณะเฉพาะอย่างที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์สังคม และ 2) ลักษณะในเชิงสังเคราะห์ (synthetical characteristics) หมายถึง ลักษณะที่วัดหรือแสดงออกถึงการกระทำร่วมกันของสังคมพืชในแต่ละสังคม นอกจากนี้ทั้งสองลักษณะยังสามารถแยกย่อยออกได้เป็น ลักษณะในเชิงปริมาณ (quantitative characteristics) และลักษณะในเชิงคุณภาพ (qualitative characteristics) โดยที่ลักษณะในเชิงปริมาณนั้น หมายถึง ลักษณะที่สามารถตรวจวัดออกมาได้เป็นตัวเลขแน่นอน เช่น การปกคลุม ความหนาแน่นของประชากร (population density) เป็นต้น ส่วนลักษณะในเชิงคุณภาพ หมายถึง ลักษณะของสังคมพืชที่ไม่สามารถจะตรวจวัดออกมาเป็นค่าที่แน่นอนได้ จึงมักจะเป็นการบรรยายถึงในลักษณะนั้น ๆ

แต่ในบางครั้งสังคมพืชต่าง ๆ ที่ปรากฏต่อสายตานั้นดูเหมือนว่าไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบลักษณะในเชิงปริมาณแล้ว จะมองเห็นความแตกต่างได้อย่างเด่นชัดขึ้น ซึ่งเป็นการจัดตัวอย่างหมู่ไม้หรือสังคมออกเป็นกลุ่มตามลักษณะที่กำหนดที่แสดงความเหมือนกันหรือสัมพันธ์กัน (ดอกรัก และอุทิศ, 2552)

การศึกษาโครงสร้างสังคมพืช

ในปัจจุบันการศึกษาโครงสร้างสังคมพืชในเชิงปริมาณมักมุ่งเน้นลักษณะโครงสร้าง 2 ประการ ได้แก่ โครงสร้างในแนวตั้ง (stratification) และโครงสร้างในแนวราบ (vertical and horizontal structure) (Hitimana et al., 2004) โครงสร้างทางด้านตั้งแสดงออกทางด้านความสูงของชั้นเรือนยอดที่แตกต่างกันตั้งแต่ระดับพื้นดินจนถึงชั้นเรือนยอดสูงสุด (Bourgeron, 1983) รวมถึงชนิดที่เป็นไม้เด่นในแต่ละชั้นเรือนยอดด้วย (Whittaker, 1975) ในป่าเขตร้อนสามารถแบ่งชนิดที่ปรากฏตามชั้นเรือนยอดต่าง ๆ ได้แก่ ชนิดไม้เหนือเรือนยอด (emergent species) ชนิดไม้เรือนยอดชั้นบน (upper canopy species) ชนิดไม้เรือนยอดชั้นล่าง (lower canopy species) และ ชนิดไม้ชั้นไม้พุ่ม (understory species) ซึ่งประกอบด้วย ไม้พุ่ม (shrub) และ ไม้ล้มลุก (herb) (Whitmore and Burslem, 1998) การเพิ่มขึ้นของโครงสร้างทางด้านตั้งคือการเจริญเติบโตด้านความสูงของไม้ในแต่ละชั้นเรือนยอดนั่นเอง (Richards and Passioura, 1981) โครงสร้างในแนวราบได้แก่ ความหนาแน่นและการกระจายของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้แต่ละต้นในสังคมซึ่งแสดงออกในรูปพื้นที่หน้าตัด และรวมถึงการปกคลุมของพื้นที่เรือนยอดด้วย (Hitimana et al, 2004) นอกจากนั้นความหนาแน่นและขนาดของต้นไม้ยังมีอิทธิพลต่อความหลากหลายทางชนิด (Denslow, 1995) และแตกต่างกันไปในแต่ละสภาพแวดล้อม (Waide et al., 1999; Whitmore and Burslem, 1998) ดอกรัก และอุทิศ (2552) กล่าวว่า ลักษณะเชิงปริมาณที่นิยมนำมาศึกษาสังคมพืช ได้แก่ ความหนาแน่น (density) ความบ่อยครั้งของโอกาสที่จะพบ (frequency) ความเด่น (dominance) ในสังคมทั้งในรูปพื้นที่ปกคลุม (cover area) หรือ ความเด่นด้านพื้นที่หน้าตัด (basal area) ของชนิดพรรณพืช ความสูง (height) ความมากมาย (abundance) ของชนิด เป็นต้น และเพื่อให้เห็นความสำคัญทางนิเวศวิทยา (ecological importance) ของพันธุ์ไม้แต่ละชนิดในสังคม จึงรวมลักษณะเชิงปริมาณอย่างน้อยสองลักษณะของพรรณพืชแต่ละชนิดเข้าด้วยกันและเพื่อให้การเปรียบเทียบความสำคัญของพรรณพืชในสังคมได้ง่ายและเด่นชัดยิ่งขึ้น จึงแปลงลักษณะเชิงปริมาณเป็นค่าความสัมพัทธ์ (relative) เช่น ความถี่สัมพัทธ์ (relative frequency) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (relative density) และความเด่นสัมพัทธ์ (relative dominance) เมื่อพิจารณาผลรวมของค่าทั้งสามนี้เรียกว่า ดัชนีค่าความสำคัญ (Importance value index, IVI) ที่สามารถระบุได้ถึงความสำคัญ

ของพรรณไม้แต่ละชนิดในพื้นที่ได้ อย่างไรก็ตามความหนาแน่นยังมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต การกระจาย การมีชีวิต และการสืบต่อพันธุ์ของพืชในเขตร้อน ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของโครงสร้างสังคมพืชในแนวราบคือการเพิ่มจำนวนและความโตของต้นไม้แต่ละต้นในสังคม (Silva Matos et al., 1999) โดยปกติความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงในทางตรงข้ามกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของต้นไม้ (Condit et al., 1994; Denslow, 1995) กล่าวคือ ความหนาแน่นจะลดลงเมื่อขนาดพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้น (Hubbel and Foster, 1990) ส่งผลให้การกระจายตัวตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมู่ไม้เป็นไปในรูปชี้กำลังเชิงลบ (negative exponential form) หรือ reversed – J shaped curve (Denslow, 1995) ดังนั้นรูปแบบการกระจายของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (distribution of diameter class) จึงสามารถบ่งบอกถึงการถูกรบกวนและการใช้ประโยชน์ที่เกิดขึ้นภายในป่าได้ (Bunyavejchewin, 1983; Denslow, 1995) รวมถึงสามารถทำนายถึงรูปแบบการสืบต่อพันธุ์ตามธรรมชาติ (Poorter et al., 1996) เช่น การปรากฏไม้ขนาดเล็กและขนาดกลางอยู่น้อยแสดงถึงหมู่ไม้หรือสังคมพืชดังกล่าวถูกรบกวนและมีการสืบต่อพันธุ์ที่ผิดปกติ (Davis and Johnson, 1987) อีกทั้งยังใช้ในการกำหนดชั้นอายุและเปรียบเทียบการเจริญเติบโตระหว่างหมู่ไม้ (Kiyiapi, 1994) นอกจากนั้นความหนาแน่น และความเด่นด้านพื้นที่หน้าตัด ยังสามารถบ่งบอกถึงลักษณะโครงสร้างของสังคมพืชได้เป็นอย่างดี (Fadrique et al., 2021; Muthuramkumar et al., 2006; Padilla-Martínez et al., 2020; Sagar and Singh, 2006) ดังนั้น การศึกษาลักษณะโครงสร้างของสังคมพืชในเชิงปริมาณจึงจัดได้ว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งในการเปรียบเทียบลักษณะของสังคมพืชและในระดับชนิดพืช นอกจากนั้นยังสามารถหาความสัมพันธ์ของหมู่ไม้กับปัจจัยแวดล้อมได้อีกด้วย (Li et al., 2020; Liang et al., 2016; Muñoz-Rojas et al., 2016; Zeng et al., 2020)

ปัจจัยแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อสังคมพืช

ความแตกต่างของสังคมพืชปกคลุมดินในส่วนต่าง ๆ ของโลก เกิดขึ้นจากสาเหตุสำคัญคือความแปรผันของปัจจัยแวดล้อมของพื้นที่นั้น ๆ และอีกส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับโอกาสของการกระจายเข้ายึดครองพื้นที่ของพืชเอง พืชชนิดใดชนิดหนึ่งจะขึ้นอยู่ได้ในท้องที่ใดนั้นปัจจัยแวดล้อมในพื้นที่ต้องอยู่ในช่วงความทนทานทางนิเวศวิทยา (amplitude of tolerance or ecological amplitude) ของมันเป็นอันดับแรก ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยแวดล้อมมีบทบาทสำคัญต่อการกระจายพันธุ์ การพัฒนา การเจริญเติบโต และการดำรงพันธุ์ต่อไปในพื้นที่ ปัจจัยแวดล้อมนอกจากเป็นแหล่งสำคัญในการป้อนวัตถุดิบและพลังงานที่จำเป็นให้แก่ขบวนการทางชีววิทยาของพืชแล้ว ยังมีบทบาทสำคัญในการสร้างสภาพถิ่นที่อยู่อาศัยที่เหมาะสมกับความต้องการของต้นพืช ในสภาพแวดล้อมที่คล้ายกันสังคมพืชคลุมดินก็จะคล้ายกันทั้งในด้านโครงสร้างของสังคมและรูปชีวิตของพรรณพืชที่ปรากฏ ด้วยเหตุนี้ปัจจัย

แวดล้อมจึงมีบทบาทสำคัญในการจำแนกสังคมพืชและความสมบูรณ์ของสังคม ไม่ว่าในด้านความหลากหลายของชนิดและความมากมายของต้นไม้ในแต่ละชนิด ล้วนแต่ถูกควบคุมด้วยปัจจัยแวดล้อมทั้งสิ้น (ดอกรัก และอุทิศ, 2552)

การจำแนกปัจจัยแวดล้อมในทางนิเวศวิทยา มักแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ ๆ คือ ปัจจัยแวดล้อมที่เป็นสิ่งมีชีวิต (biotic factors) ซึ่งได้แก่ มนุษย์ สัตว์ และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กอื่น ๆ ที่มีอิทธิพลต่อสังคมพืช และปัจจัยแวดล้อมที่เป็นสิ่งไม่มีชีวิต (abiotic factors) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของถิ่นที่อยู่อาศัย นอกจากนั้นปัจจัยแวดล้อมที่ไม่มีชีวิตสามารถแบ่งย่อยได้อีกหลายประการดังนี้

1. ปัจจัยดิน (edaphic factors) ดินเป็นเทหวัตถุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติปกคลุมผิวโลกอยู่บาง ๆ เกิดจากการแปรสภาพหรือผุสลายของหิน แร่ และอินทรีย์วัตถุ ผสมคลุกเคล้ากัน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2536) ดินเป็นแหล่งยึดเหนี่ยวของพืชส่วนใหญ่ ความอุดมสมบูรณ์ของดินจึงมักถือเป็นสิ่งวัดความอุดมสมบูรณ์ของสิ่งมีชีวิตในแหล่งต่าง ๆ ได้ นอกจากความอุดมสมบูรณ์ของดินแล้ว ความชื้นของดินก็มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อพืชในเขตร้อนที่มีฤดูแล้งและฤดูฝนสลับกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อฤดูแล้งเพิ่มขึ้นซึ่งจะเป็นจุดวิกฤติสำหรับการรอดตายของพืช (Sakurai et al., 1991) สอดคล้องกับรายงานของ Marod et al. (2002) ที่พบว่ากล้าไม้สำคัญในป่าผสมผลัดใบส่วนใหญ่มีอัตราการรอดตายลดต่ำลงมากเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูแล้งโดยทั่วไปพรรณไม้ส่วนใหญ่มีการพักตัวในฤดูแล้ง ซึ่งจะมีการผลัดใบและจัดสภาพทางสรีระวิทยาเพื่อการเจริญเติบโตเมื่อย่างเข้าสู่ฤดูฝน อย่างไรก็ตามการออกดอกออกผลของไม้ป่าหลายชนิดเกิดขึ้นในช่วงฤดูแล้งทั้งนี้เพื่อการโปรยเมล็ดในจังหวะที่พอเหมาะกับการมีความชื้นที่ผิวดินเพื่อการงอกและเจริญเติบโตของกล้าไม้ (Marod et al., 2020) นอกจากนั้นความชื้นในดินยังเป็นตัวควบคุมชนิดและการกระจายของพรรณพืช (Shovon et al., 2020; Zeng et al., 2020) และยังจำเป็นต่อกระบวนการต่าง ๆ ของพืช กล่าวคือ น้ำ เป็นวัตถุดิบในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงทำให้เซลล์เต่ง และเป็นตัวกลางในการเคลื่อนย้ายธาตุอาหาร อีกทั้งยังเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิภายในเซลล์พืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2536)

2. ปัจจัยภูมิประเทศ (topographic factor) สภาพภูมิประเทศนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลทางอ้อมต่อสังคมพืช โดยเฉพาะมีผลต่อความแปรผันของปัจจัยอื่น ๆ เช่น สภาพภูมิอากาศ ดิน และพลังงานที่ได้รับ การกระจายของสังคมพืชและพรรณพืชบางชนิดสัมพันธ์กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องอยู่กับภูมิประเทศ ในขณะที่ (ดอกรัก และอุทิศ, 2552) ได้อธิบายลักษณะภูมิประเทศในรูปแบบต่าง ๆ ไว้ดังนี้

2.1 ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล (altitude) สภาพภูมิอากาศบางพื้นที่มีความผันแปรอย่างใกล้ชิดกับระดับความสูง ทั้งนี้เนื่องจากบรรยากาศในระดับต่ำของโลกคือในชั้น troposphere มีอุณหภูมิลดลงตามความสูง โดยในสภาพอากาศที่แห้งอุณหภูมิจะลดลงประมาณ

1 องศาเซลเซียส ต่อ 100 เมตร นอกจากนั้นอิทธิพลของความสูงที่มีผลต่อปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการกระจายและการเจริญเติบโตของพรรณพืชโดยตรง แสดงให้เห็นทั้งในระดับกว้างและระดับแคบเฉพาะท้องถิ่น ในระดับกว้างแสดงให้เห็นได้ชัดจากการกระจายของสังคมพืชต่าง ๆ ภายในประเทศโดยเฉพาะการเรียงตัวของป่าชนิดต่าง ๆ ในประเทศไทย ส่วนในระดับแคบแสดงให้เห็นการจากกระจายของสังคมพืชชนิดต่าง ๆ ตั้งแต่ระดับเชิงเขาจนถึงยอดเขาซึ่งมีความแตกต่างกัน (Teejuntuk et al., 2003)

2.2 ความลาดชัน (slope) ความลาดเอียงของพื้นที่ มีผลโดยตรงต่อสังคมพืชน้อย แต่มีผลต่อปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและโอกาสของการปรากฏของไม้แต่ละชนิด และต่อโครงสร้างสังคมพืชส่วนรวม ระบบการระบายน้ำทั้งในผิวดินและส่วนลึกของดินขึ้นอยู่กับความลาดชันของพื้นที่ น้ำที่ไหลตามผิวดินมีความเร็วสูงเมื่อมีความลาดชันสูง ฉะนั้นโอกาสการซึมลงส่วนลึกของดินมีน้อย ในที่ลาดชันมากความชื้นค่อนข้างต่ำ ดินตื้นเนื่องจากการกัดชะของน้ำผิวดิน สังคมพืชคลุมดินจึงเป็นสังคมที่ต้องปรับตัวกับความแห้งแล้งได้ดี การจำแนกความลาดชันของพื้นที่ทางด้านป่าไม้นิยมแบ่งเป็นสี่ระดับคือ 1) ระดับความลาดชันน้อย 5 – 10 องศา 2) ความลาดชันปานกลาง 11 – 20 องศา 3) ความลาดชันมาก 21 – 30 องศา และ 4) ที่ลาดชันมาก ๆ 31 – 45 องศา (นิพนธ์, 2545) เช่น การศึกษาของ ชัชชัย และคณะ (2564) กล่าวว่า ความลาดชันมีอิทธิพลต่อการกระจายของพรรณไม้เด่นของป่าดิบแล้ง บริเวณสถานีวิจัยแลฝึกนิสิตวนศาสตร์วังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา

2.3 ทิศด้านลาด (aspect) มีผลต่อการได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ ปริมาณฝนที่ตกและลมที่พัดเอาความแห้งแล้งเข้ามาในพื้นที่ โดยปกติทิศด้านลาดที่หันไปทางทิศตะวันออกและตะวันตกย่อมได้รับพลังงานมากกว่าทางทิศเหนือและทิศใต้ แต่เนื่องจากแกนโลกเอียงฉะนั้นในทางซีกโลกเหนือด้านลาดที่หันไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้จะได้รับพลังงานสูงสุด ในขณะที่ด้านที่หันไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือจะได้รับพลังงานน้อยที่สุด ในประเทศไทยทิศด้านลาดของภูเขามีผลอย่างยิ่งต่อการได้รับปริมาณน้ำฝน ซึ่งจะส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของสังคมพืชด้วย และการปรากฏของหมู่ไม้ เช่น การศึกษาของ Asanok et al. (2020) และ Kamyo and Asanok (2020) กล่าวว่า ทิศด้านลาดมีอิทธิพลต่อการปรากฏของไม้ยางนาและตะเคียนของป่าลุ่มต่ำลำน้ำเจ้าพระยา

3. ปัจจัยภูมิอากาศ (climatic factors) ซึ่งได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ลม อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ ความกดดันของบรรยากาศ และช่วงฤดูกาล นับว่ามีอิทธิพลต่อสังคมพืชเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีบทบาทต่อการกระจายของชนิดพืชและสังคมพืชที่ปกคลุมดินในแต่ละแห่ง นอกจากนั้นยังมีผลต่อความสมบูรณ์ การเจริญเติบโตของชนิดพืช และความมั่นคงของสังคมพืชคลุมดิน รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงและรูปแบบของลักษณะพรรณพืช เช่น การศึกษาของ Asanok et al. (2017) กล่าวว่าปริมาณน้ำมีอิทธิพลต่อการกระจายของสังคมพืชในป่าลุ่มต่ำลำน้ำเจ้าพระยา

4. ไฟป่า (forest fire) จัดเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดลักษณะโครงสร้างของสังคม เช่น ป่าผสมผลัดใบ ป่าเต็งรัง และทุ่งหญ้า เป็นต้น (Marod et al., 1999) เนื่องจากพรรณไม้ส่วนใหญ่ในป่าดังกล่าวมีการปรับตัวเพื่อให้ตอบสนองต่อการรอดตายภายหลังไฟป่าได้ เช่น มีเปลือกหนาป้องกันเนื้อเยื่อเจริญหรือมีการแตกหน่อใหม่ภายหลังจากเกิดไฟป่า (Bunyavejchewin, 2001; Marod et al., 2002) ไฟป่าที่เกิดขึ้นในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นไฟผิวดิน (surface fire) ที่มีอัตราการลุกลามรวดเร็วทำให้ความรุนแรงของไฟลดลง อย่างไรก็ตามไฟป่าก็ยังคงมีอิทธิพลต่อกล้าไม้หรือไม้วัยรุ่นบนพื้นป่าที่ถูกไฟเผาทำลายส่วนของมวลชีวภาพ (biomass) ด้านบน แต่จะแตกหน่อใหม่เมื่อได้รับความชื้นพอเพียงจากส่วนมวลชีวภาพที่อยู่ใต้ดิน นอกจากนั้นไฟป่ายังมีอิทธิพลต่อการกำหนดลักษณะโครงสร้างสังคมพืช (นิรุต และคณะ, 2563; ปรัชญาภรณ์ และคณะ, 2564)

การจัดลำดับสังคมพืช (Plant community ordination)

ดอกรัก และอุทิศ (2552) กล่าวว่า การจัดลำดับสังคมพืช (plant community ordination) เป็นแนวทางหนึ่งในการศึกษาสังคมพืชตามแนวคิดเกี่ยวกับสังคมพืชในด้านชีวภูมิแปรผันต่อเนื่อง (continuum concept) การก่อตัวของแนวทางในการจัดลำดับหมู่ไม้ (stand) หรือสังคมพืช เริ่มมาจากแนวคิดของ Shelford (1911) เกี่ยวกับช่วงความทนทานทางนิเวศวิทยาของชนิดพืช และได้พัฒนาต่อเนื่องจนเกิดแนวคิดความเป็นตัวของตัวเอง (individualistic concept) ของ Gleason (1926) และท้ายที่สุดคือแนวคิดด้านชีวภูมิแปรผันต่อเนื่อง กล่าวคือพืชแต่ละชนิดมีช่วงความสำเร็จในการเข้ายึดครองพื้นที่ และก่อความสมบูรณ์ได้ในปัจจัยสิ่งแวดล้อมช่วงใดช่วงหนึ่งและมีความสมบูรณ์สุดที่ระดับปัจจัยสิ่งแวดล้อมใดแวดล้อมหนึ่ง ในสภาพอื่น ๆ จะมีความสมบูรณ์ลดหลั่นกันไปจนถึงสภาพหนึ่งจะหายไป ด้วยเหตุนี้การขึ้นร่วมกันของพรรณพืชในท้องที่หนึ่งท้องที่ใดเป็นเพียงช่วงหนึ่งของการแปรผันที่ต่อเนื่องกันไปจนกระทั่งไม่สามารถแยกเป็นหน่วยที่แตกต่างกันอย่างเด็ดขาดได้ (discrete entities) ดังนั้นตัวอย่างหรือกลุ่มหมู่ไม้ในแต่ละท้องที่สามารถที่จะนำมาจัดลำดับตามแนวของการแปรผันได้ การเรียงลำดับของกลุ่มพืชตามลักษณะที่ค่อย ๆ เปลี่ยนไปนี้เรียกการจัดลำดับ (ordination) ซึ่งก็คือการแปรผันที่ต่อเนื่องในด้านองค์ประกอบของสังคมพืชแม้ว่าอาจจะไม่รับกับความเป็นจริงในพื้นที่ที่ปรากฏทั้งนี้เนื่องจากการแปรผันของปัจจัยสิ่งแวดล้อมขาดเป็นตอน ๆ แต่เมื่อนำตัวอย่างมาจัดเรียงใหม่ก็จะเห็นความแปรผันที่ต่อเนื่องอย่างเด่นชัด การจัดลำดับโดยแท้จริงแล้วเป็นการจัดวางตัวอย่างไม่ว่าชนิด แปลงตัวอย่าง หมู่ไม้ หรือสังคม ลงบนแนวแกนซึ่งแทนลักษณะของสังคมหรือปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ลดหลั่นกันไป การจัดวางตัวอย่างอาจกระทำได้ในหลาย ๆ แนวแกนและมีหลายเทคนิคด้วยกัน เช่น เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal components analysis, PCA) คือ เทคนิคการหมุนเมทริกซ์ (metrix) ข้อมูลเดิมอย่างเข้มงวดและสามารถกำหนด

เสมือนการฉายภาพตัวอย่างไปยังชุดแกนใหม่ได้ เช่น ความแปรปรวนสูงสุดจะถูกคาดการณ์หรือ "แยก" ตามแกนแรก (axis 1) และรูปแบบสูงสุดที่ไม่เกี่ยวข้องกับแกน 1 จะฉายต่อบนแกนที่สอง (axis 2) และการเปลี่ยนแปลงสูงสุดที่ไม่เกี่ยวข้องกับแกนแรกและแกนที่สองจะถูกคาดการณ์ฉายไว้ที่แกนที่สาม (axis 3) และเทคนิค canonical correspondence analysis (CCA) การจัดลำดับสังคมด้วยวิธีนี้อาศัยความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างสังคมพืชกับปัจจัยแวดล้อม หลักการโดยทั่วไปของวิธีการนี้คือ การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (multiple regression) เพื่อการเลือกเอาผลรวมเชิงเส้น (linear combination) ของปัจจัยแวดล้อมที่อธิบายความแปรผันของค่าคะแนนชนิด (species score) ในแต่ละแกน วิธีการนี้จึงสามารถจัดลำดับสังคมพืชและชนิดไม้ภายในสังคมไปตามปัจจัยแวดล้อมได้ในเวลาเดียวกัน เป็นต้น

ลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช (Plant functional traits)

ลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช (plant functional traits) คือ ลักษณะทางกายภาพวิทยา (morphology) ลักษณะทางสรีรวิทยา (physiology) และ ชีพลักษณ์วิทยา (phonology) ที่บ่งบอกถึงกลยุทธ์ทางนิเวศวิทยาและการแสดงออกของพรรณพืชแต่ละชนิดต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อม ซึ่งส่งผลกระทบต่อระดับของการบริโภค (trophic levels) และคุณลักษณะของระบบนิเวศ (Kattge et al., 2011) เช่น ชนิดไม้ที่มีใบขนาดใหญ่ย่อมสังเคราะห์แสงได้มากกว่าชนิดที่มีใบขนาดเล็ก หรือ ชนิดไม้ที่มีเนื้อไม้อ่อนย่อมเติบโตได้เร็วกว่าชนิดที่มีเนื้อไม้แข็ง เป็นต้น (Wright et al., 2004) ซึ่งลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช มักจะใช้เป็นเครื่องมือเพื่อตรวจสอบว่าชนิดพืชใดที่มีกลยุทธ์ (strategies) ในระบบนิเวศที่แตกต่างกัน ในการใช้ทรัพยากรเพื่อการการสืบต่อพันธุ์ (Cornelissen et al, 2003) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการทำงานที่ได้ถูกนำมาใช้เพื่อแสดงให้เห็นความสำคัญของการคัดกรองจากสิ่งแวดล้อม (environmental filtering) ในสังคมพืชที่มีความหลากหลายของระบบนิเวศ (Webb et al., 2010) และการศึกษาความแปรผันของลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชได้รับการยอมรับแล้วว่า สามารถใช้เพื่อการติดตามและตอบปัญหาทางนิเวศวิทยาได้มากมายโดยไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานและงบประมาณที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ในขณะเดียวกันยังเป็นคุณลักษณะที่ทำการตรวจวัดและสร้างเป็นมาตรฐานเดียวกันได้อย่างชัดเจน (Cornelissen et al., 2003; Pérez-Harguindeguy et al., 2013)

แนวทางการศึกษานิเวศวิทยาป่าไม้ต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยแวดล้อมเพื่อการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงในอนาคต เช่น การเปลี่ยนแปลงของความหลากหลายทางชีวภาพ ผลกระทบจากชนิดรุกราน และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพรรณพืชและสภาพภูมิอากาศ รวมถึงการทำงานด้านการเก็บกักคาร์บอน เป็นต้น ทั้งที่เกิดขึ้นเนื่องจากธรรมชาติโดยเฉพาะวิกฤติจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะโลก

ร้อน หรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์เอง (Pérez-Harguindeguy et al., 2013) จากความสำคัญดังกล่าว ทำให้ปัจจุบันนักนิเวศวิทยาทั่วโลกจึงได้เร่งสร้างความร่วมมือเพื่อสร้างกรอบวิธีการมาตรฐาน (standardize protocols) เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลที่ดีและมีความจำเป็นเพื่อสร้างความกระจ่างของความแปรผันของลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช (plant functional traits) ในแต่ละชนิด โดยเฉพาะคุณลักษณะเชิงหน้าที่สำคัญที่สามารถคาดการณ์ถึงกระบวนการระหว่างพรรณพืชและระบบนิเวศ และคุณลักษณะเชิงหน้าที่ดังกล่าวต้องสามารถตรวจวัดได้ง่ายด้วยมาตรฐานเดียวกัน ที่สำคัญ เช่น ขนาดของพรรณพืช (plant size) ใช้ดัชนีของความสูง (height) หรือขนาดลำต้น (girth or diameter) ขนาดของเมล็ด (seed size) ใช้ดัชนีน้ำหนักเมล็ด (seed mass) และ โครงสร้างของใบ (leaf structure) นิยมใช้ดัชนีของขนาดพื้นที่ใบจำเพาะ (specific leaf area: SLA) หรือ ขนาดมวลต่อพื้นที่ใบ (leaf mass per area: LMA) เป็นต้น อย่างไรก็ตามสำหรับพรรณพืชสำคัญเพื่อการใช้ประโยชน์นั้น ลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช (plant functional traits) ที่ต้องศึกษาเพิ่มเติมคือความสามารถในการเก็บกักคาร์บอน และการตอบสนองต่อการรบกวนในวงกว้าง (widespread disturbances) (Lavorel and Garnier, 2002)

Wright et al. (2004) ได้รายงานว่า พืชที่มีขนาดมวลต่อพื้นที่ใบ (LMA) มากทำให้สมรรถภาพของการสังเคราะห์แสง (photosynthetic capacity) เกิดขึ้นได้น้อยกว่าพืชที่มีค่า LMA ต่ำ สมรรถภาพของการสังเคราะห์แสง ก็คือความสามารถของพืชในการสร้างสมดุลระหว่างปริมาณการใช้น้ำ ดังนั้นพืชที่มี LMA ต่ำนั้นมีสมรรถภาพของการสังเคราะห์แสงได้มากแสดงให้เห็นว่าสามารถเจริญเติบโตได้เร็วกว่าพืชที่มี LMA สูง (Baraloto et al., 2010) นอกจากนั้นยังพบว่าพืชที่มีค่า LMA มากจะมีช่วงอายุขัยของใบ (leaf lifespan) ที่ยาวนานกว่าชนิดที่มีค่า LMA ต่ำ ส่วนด้านความแปรผันของภูมิอากาศ พบว่า พืชในเขตร้อนที่มีปริมาณน้ำฝนมากมีค่า LMA สูง และมีช่วงอายุขัยของใบมากกว่าพืชในเขตหนาวที่มีฝนตกน้อย และ Wright et al. (2004) ได้สรุปลักษณะเชิงหน้าที่ของใบ (leaf functional traits) ในลักษณะนี้ในรูปแบบของช่วงชั้นทางเศรษฐศาสตร์ของใบ (leaf economics spectrum) ไว้ว่า พืชที่มีค่า LMA มาก เป็นพืชที่มีต้นทุนสูง (high cost species) ในการเจริญเติบโตและให้บริการทางนิเวศในด้านการหมุนเวียนธาตุอาหารได้น้อยต้องใช้เวลาที่ยาวนานเนื่องจากมีสมรรถภาพการสังเคราะห์แสงได้น้อย และมักมีช่วงชีวิตที่ยืนยาว (long life) จึงต้องใช้ทรัพยากรมากตามไปด้วย ในทางตรงกันข้ามพืชที่มีค่า LMA ต่ำ ถือว่าเป็นพืชที่ต้นทุนต่ำ (low cost species) เนื่องจากมีอัตราการสังเคราะห์แสงได้มาก มีช่วงอายุสั้นจึงสามารถหมุนเวียนธาตุอาหารในระบบนิเวศได้เร็วกว่า ดังนั้นจะเห็นได้ว่าพืชที่มีค่า LMA ต่ำ มีสมรรถภาพในการสังเคราะห์แสงมากกว่า ต่อมาเพื่อให้การอธิบายง่ายขึ้นจึงมีนักนิเวศวิทยาหลายกลุ่มเปลี่ยนจากค่าขนาดมวลต่อพื้นที่ใบ (leaf mass per area: LMA) มาเป็นค่า ขนาดพื้นที่ใบจำเพาะ (specific leaf area: SLA) แทน ซึ่งจะตีความในทางตรงกันข้ามกับค่า LMA กล่าวคือ พืชที่มีค่า SLA สูงถือว่าเป็นพืชต้นทุนต่ำ (low

cost economics spectrum) ส่วนพืชที่มีค่า SLA ต่ำนั้นจัดเป็นพืชต้นทุนสูง (low cost economics spectrum) (Perez-Harguindeguy et al., 2013)

นอกจากนั้น Baraloto et al. (2010) ได้อธิบายลักษณะของลำต้น (stem trait) ที่เกี่ยวข้องกับ ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (wood density) โดยการหาความสัมพันธุ์กับอัตราการลำเลียงของท่อในลำต้น พบว่า ชนิดไม้ที่มีความหนาแน่นของเนื้อไม้ต่ำสามารถเติบโตได้เร็วเนื่องจากมีการลำเลียงน้ำจากรากไปสู่ใบได้เร็วทำให้เกิดอัตราการสังเคราะห์แสงเร็วตามไปด้วย ซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นลักษณะของไม้เบิกนำ (pioneer species) ในทางตรงกันข้ามชนิดไม้ที่มีความหนาแน่นของเนื้อไม้สูงย่อมสามารถสังเคราะห์แสงได้น้อยและเติบโตได้ช้ากว่า ดังนั้น Baraloto et al. (2010) จึงได้อธิบายในเชิงของช่วงชั้นทางเศรษฐศาสตร์ของลำต้น (stem economics spectrum) ไว้ว่า พืชที่มีค่าความหนาแน่นเนื้อไม้ต่ำมีการลำเลียงได้ดีโตเร็วจึงเป็นพืชต้นทุนต่ำ ในทางกลับกันพืชที่มีความหนาแน่นของเนื้อไม้สูงจึงเป็นพืชต้นทุนสูง สอดคล้องกับ Kunstler et al. (2016) ที่รายงานว่าอัตราการเจริญเติบโตของต้นไม้แปรผกผันกับความหนาแน่นของเนื้อไม้ และไม้ที่มีความหนาแน่นของเนื้อไม้ต่ำมักอ่อนแอต่อการแก่งแย่งด้วยเช่นกัน

ลักษณะเชิงหน้าที่ที่นิยมใช้ในการอธิบายองค์ประกอบของลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช ได้แก่

1. พื้นที่ใบจำเพาะ (specific leaf area: SLA) ใช้อธิบายความสามารถในการรับแสง (light capture economic) ประสิทธิภาพของใบในการสร้างน้ำหนักต่อหน่วยเวลา (net assimilation rate-NAR) ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง (photosynthetic capacity) มักใช้เพื่อวิเคราะห์การเจริญเติบโต ขนาดของ SLA ถือเป็นมวลพื้นฐานที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง และปริมาณไนโตรเจนในใบ แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกับความยืนยาวของอายุใบ โดยทั่วไปพื้นที่ที่มีปัจจัยแวดล้อมสมบูรณ์ โดยเฉลี่ยจะมีค่า SLA สูงกว่า พื้นที่มีปัจจัยแวดล้อมต่ำ

2. ขนาดพื้นที่ใบ (leaf area: LA) มีความแปรผันต่อความผันแปรของภูมิอากาศ ธรณีวิทยา และระดับความสูง ในพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลความเคลียด (stress) เกี่ยวกับความร้อน ความเย็น ธาตุอาหารและความแห้งแล้ง มักมีพื้นที่ใบขนาดเล็ก LA ยังมีความเชื่อมโยงกับลักษณะโครงสร้างของพืช เช่น ขนาดลำต้น ขนาดกิ่ง ทรงพุ่ม เป็นต้น LA บ่งบอกถึงกลยุทธ์การตอบสนองต่อความสามารถในการสังเคราะห์แสง กล่าวคือ เมื่อ LA มีขนาดใหญ่ย่อมมีโอกาสได้รับแสงมาก ซึ่งเป็นเหตุปัจจัยให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงมากตามไปด้วย

3. ความหนาของใบ (leaf thickness: LT) เป็นกุญแจสำคัญที่บ่งบอกถึงการสร้างความแข็งแรงให้กับเนื้อเยื่อของใบ LT มีความแปรผันระหว่างพื้นที่และระหว่างชนิด ในเชิงการสร้างสมดุลของการใช้ประโยชน์จากคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ในกระบวนการสังเคราะห์แสงและกระบวนการลำเลียง จึงคาดการณ์ได้ว่าพืชจะมีใบหนาเมื่ออยู่ในที่แห้งแล้ง ธาตุอาหารต่ำ และมีชีวิตที่ยืนยาว แต่

เมื่อพิจารณาพืชที่ขึ้นอยู่ในพื้นที่เดียวกัน กับพบว่าใบที่ได้รับแสง (sun leaf) มักมีค่า LT มากกว่าใบในร่ม (shade leaf) ส่วนระหว่างชนิด ความแปรผันของ LT ก็คือความแปรผันของชั้นมีโซฟิลล์ (mesophyll layers) ดังนั้น LT จึงบ่งบอกถึงความสามารถในการขับเคลื่อนสารต่าง ๆ ในใบ ที่ส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง จึงทำให้ใบที่มีค่า LT สูงสามารถสังเคราะห์แสงได้มากกว่าใบที่มีค่า LT ต่ำ

4. สัดส่วนน้ำหนักแห้งต่อน้ำสักสดของใบ (leaf dry matter content; LDMC) เป็นลักษณะที่บ่งบอกถึงใบพืชที่มีเนื้อเยื่อเก็บน้ำหนาโดยเฉพาะในส่วนที่มีการสังเคราะห์แสง ทำให้ใบสามารถรักษาความชุ่มชื้นไว้ได้แม้ในพื้นที่ที่แห้งแล้ง ใบที่มีค่า LDMC สูงจึงประกอบไปด้วยเซลล์ chlorenchyma ขนาดใหญ่จึงมีพื้นที่ขนาดใหญ่เพื่อเก็บกรดคาร์โบไซลิค (carboxylic acids) และน้ำ จึงแสดงให้เห็นถึงการแสดงออกเชิงกลยุทธ์ ระหว่างพืชต้นทุนต่ำคือมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงมีอายุสั้นจะมีค่า LDMC สูง กับพืชต้นทุนสูงคือ มีอัตราการสังเคราะห์แสงน้อยมีอายุที่ยืนยาวจะมีค่า LDMC ต่ำ

5. ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (wood density: WD) มีกลยุทธ์ที่เชื่อมโยงกับการเจริญเติบโตและการมีชีวิตของพืช พืชชนิดใดเนื้อไม้ที่มีค่า WD ต่ำ ย่อมประกอบไปด้วยเวสเซล (vessels) ที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ต้นไม้โตเร็วเนื่องจากสามารถลำเลียงน้ำและอาหารได้มาก ในขณะที่ชนิดพืชที่มี WD สูง ย่อมประกอบไปด้วยเวสเซล (vessels) ที่มีขนาดเล็กสามารถลำเลียงได้น้อยจึงทำให้โตช้า แต่พืชที่มี WD สูงจะมีการรอดชีวิตสูงด้วย เนื่องจากประหยัดน้ำและอาหาร โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่ขาดแคลน นอกจากนั้น เนื้อไม้ที่มี WD สูงย่อมแสดงถึงการป้องกันโรคได้ดีกว่า และบ่งบอกถึงความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนได้ดีกว่าไม้ที่มีค่า WD ต่ำ

ดังนั้นหากมองในด้านการอนุรักษ์เพื่อให้คงสภาพป่าที่สมบูรณ์มักมุ่งเน้นไปสู่พืชต้นทุนสูง ซึ่งพืชเหล่านี้มีคุณลักษณะเป็นไม้โตช้าและใช้ทรัพยากรมากจึงต้องใช้เวลานานในการฟื้นฟูสภาพป่าให้กลับมาเป็นสังคมถาวรดังเดิม แต่หากมองในแง่ของการทำงานในระบบนิเวศ เช่น การหมุนเวียนธาตุอาหาร และการฟื้นฟูสภาพป่าที่ใช้ระยะเวลาเร็วขึ้นเนื่องจากพืชต้นทุนต่ำย่อมมีประสิทธิภาพมากกว่าพืชต้นทุนสูง ส่วนมากพืชที่มีต้นทุนต่ำเป็นพืชลักษณะของไม้เบิกนำ ที่เข้ามาปรับสภาพพื้นให้มีความเหมาะสมทำให้พืชในสังคมดังเดิมสามารถตั้งตัวได้ดี และมีอัตราการเติบโตดีขึ้น ดังนั้นลักษณะของใบ (leaf traits) และลักษณะของลำต้น (stem trait) จึงเป็นลักษณะที่สามารถนำมาใช้ในการอธิบายลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชที่เกี่ยวกับความแปรผันของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อความหลากหลายของพรรณพืช และองค์ประกอบชนิด ที่จะช่วยในการการอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพ และการฟื้นฟูพื้นที่ป่าอย่างมีประสิทธิภาพ

ความหลากหลายลักษณะเชิงหน้าที่ (Functional diversity)

ความหลากหลายของการทำงานในระบบนิเวศ (functional diversity) หมายถึง องค์ประกอบของความหลากหลายทางชีวภาพที่มีอิทธิพลต่อระบบนิเวศ หรือการทำงานของระบบนิเวศนั้น ๆ ซึ่งความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต หรือความหลากหลายทางชีวภาพในแต่ละถิ่นที่อยู่อาศัยมักจะถูกรวมไปถึงชนิดที่อาศัยอยู่ในที่นั้น ๆ รวมไปถึงลักษณะทางกายภาพวิทยา (morphology) ลักษณะทางสรีรวิทยา (physiology) และ ชีพลักษณ์วิทยา (phenology) ในแต่ละชนิดซึ่งลักษณะเหล่าประกอบกันเข้ามาทำให้เกิดการทำงานขึ้น ในแต่ละระบบนิเวศ หรือสังคมพืชนั้น ๆ สรุปได้ว่าความหลากหลายของการทำงานในระบบนิเวศขึ้นอยู่กับความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่ของชนิดพืชที่อาศัยอยู่ในสังคมนั้น ๆ ซึ่งการวัดค่าของความหลากหลายของการทำงานของระบบนิเวศ วัดได้จากความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่ที่ปรากฏอยู่ในแต่ละสังคม หรือแต่ละระบบนิเวศ ความหลากหลายของการทำงานของระบบนิเวศมีความสำคัญมาก เพราะเป็นกุญแจสำคัญที่จะบ่งชี้ว่าในแต่ละสังคมพืชหรือในแต่ละระบบนิเวศจะสามารถทำงานหรือทำหน้าที่ในทางนิเวศได้มากหรือน้อยแตกต่างกันอย่างไร ซึ่งหน่วยวัดที่นิยมใช้ในการวัดความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่ ได้แก่

1. การแพร่กระจายของลักษณะเชิงหน้าที่ (functional dispersion, FDis) คือ ค่าถ่วงน้ำหนักระยะทางเฉลี่ยหลายมิติของช่องว่างคุณลักษณะ (multidimensional trait) ของพืชแต่ละชนิดกับค่ากลาง หรือเซนทรอยด์ (centroid) ที่ถ่วงน้ำหนักของทุกชนิด โดยน้ำหนักมีความสอดคล้องกับความมากมายของแต่ละชนิด ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปริมาณการกระจายของลักษณะเชิงหน้าที่ในช่องว่างคุณลักษณะ (trait space) ของพรรณพืชในระบบนิเวศของแต่ละสังคมพืช

2. ความร่ำรวยของลักษณะเชิงหน้าที่ (functional richness, FRic) คือ จำนวนพื้นที่ความต้องการ (niche) เฉพาะที่ถูกครอบครองโดยแต่ละชนิดในสังคม ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปริมาณการของลักษณะเชิงหน้าที่ในช่วงการทำงานของพรรณพืชในระบบนิเวศของแต่ละสังคมพืช

3. ความสม่ำเสมอของลักษณะเชิงหน้าที่ (functional evenness, FEve) คือ ความสม่ำเสมอของการกระจายของลักษณะเชิงหน้าที่ในช่องว่างคุณลักษณะเชิงหน้าที่ (functional trait space) ของแต่ละสังคม ซึ่งจะทำให้ทราบถึงความสม่ำเสมอของลักษณะเชิงหน้าที่ในช่วงการทำงานของพรรณพืชในระบบนิเวศของแต่ละสังคมพืช

4. ความแตกต่างของลักษณะเชิงหน้าที่ (functional divergence, FDiv) คือ ความแตกต่างเชิงหน้าที่เกี่ยวกับการกระจายความมากมายภายในปริมาตรของพื้นที่คุณลักษณะการทำงาน (functional trait space) ที่ถูกครอบครองโดยชนิดภายในสังคม จะมีค่าต่ำเมื่อหลายชนิดในสังคมมีค่าความแตกต่างของคุณลักษณะ (trait range) น้อย และจะมีค่าสูงเมื่อแต่ละชนิดในสังคมมีค่าความ

แตกต่างของคุณลักษณะมาก ซึ่งจะทำให้ทราบถึงค่าความแตกต่างการทำงานของลักษณะเชิงหน้าที่ในช่วงการทำงาน ของพรรณพืชในระบบนิเวศของแต่ละสังคมพืช

5. เอนโทรปีกำลังสองของ Rao (rao's quadratic entropy, RaoQ) คือ ค่าผลรวมค่าความแตกต่างของค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละชนิด (weighted species) ภายในพื้นที่ของคุณลักษณะการทำงาน (functional trait space) โดยค่าถ่วงน้ำหนักได้มาจากการถ่วง ด้วยค่าความมากมายสัมพัทธ์ของแต่ละชนิดในสังคม จะมีค่ามากเมื่อจำนวนในแต่ละชนิดมากและมีค่าน้อยเมื่อจำนวนในแต่ละชนิดชนิดน้อย ซึ่งจะทำให้ทราบถึงความผันผวนของลักษณะเชิงหน้าที่ในช่วงการทำงาน ของพรรณพืชในระบบนิเวศของแต่ละสังคมพืช

6. ความเด่นของลักษณะเชิงหน้าที่ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักจำเพาะของลักษณะเชิงหน้าที่ (community-level weighted mean of traits: CWM) ซึ่งหาได้จากความสัมพันธุ์ระหว่างลักษณะเชิงหน้าที่และความมากมายของชนิดพืชนั้น ๆ ในสังคม ดังนั้นหากสังคมพืชใดแสดงความเด่นของลักษณะเชิงหน้าที่หนึ่ง ๆ ออกมาแสดงว่าในสังคมนั้นมีจำนวนของพืชชนิดนั้นปรากฏอยู่มากในสังคม

ระบบนิเวศเขาหินปูน

ระบบนิเวศเขาหินปูน ถูกจัดเป็นระบบนิเวศแบบเกาะ (island ecosystem) คือมีลักษณะเฉพาะตัวและแตกต่างจากระบบนิเวศที่อยู่โดยรอบอย่างชัดเจนจนขาดความต่อเนื่องเสมือนกับเกาะที่ถูกรอบล้อมด้วยน้ำ (Reaser et al., 2007; Sivaperuman et al., 2018) จึงเป็นสาเหตุให้มีปัจจัยแวดล้อมที่เฉพาะเจาะจง โดยมีหินปูนเป็นปัจจัยกำหนดลักษณะถิ่นอาศัย (habitat) ที่สำคัญและส่งผลสู่ปัจจัยอื่น ๆ อีกด้วย เช่นทำให้ได้รับแสงแดดที่รุนแรง หรือมีดินปรากฏอยู่น้อย เป็นต้น (Vien Pham et al., 2021) นอกจากนั้นเขาหินปูนยังถือว่าเป็นระบบนิเวศที่เปราะบาง เนื่องจากสภาพความเป็นเกาะจึงทำให้เกิดการทดแทนของทรัพยากรที่อยู่โดยรอบได้ลำบาก (Li, J.-J. et al., 2013; McLaren and McDonald, 2003; Nguyen et al., 2015) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สังคมพืชที่ขึ้นอยู่ในเขาหินปูนจึงมีลักษณะเฉพาะตัวและความหลากหลายทางชีวภาพต่ำกว่าในระบบนิเวศอื่น ๆ โดยเฉพาะด้านความหลากชนิดพรรณพืช (De Waele et al., 2013; Ford and Williams., 2007) การปรับตัวของพรรณพืชในป่าเขาหินปูนจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อการอยู่รอด (survival) ในสภาพนั้น ๆ ที่มีปัจจัยแวดล้อมที่รุนแรงนี้ เช่น ระบบรากที่หยั่งลึกสามารถชอนไชไปตามโขดหินได้อย่างมีประสิทธิภาพ (De Waele et al., 2013; Estrada-Medina et al., 2013) รวมถึงมีขนาดใบที่หนาเพื่อกักเก็บน้ำ และมีลำต้นที่อวบน้ำ เป็นต้น (Wu et al., 2018) เนื่องจากในระบบนิเวศเขาหินปูนบางครั้งจะขาดแคลนน้ำผิวดินเนื่องจากการมีหินขนาดใหญ่ทำให้ไม่สามารถกักเก็บน้ำไว้ได้ ยกเว้นในบางพื้นที่ที่อาจมีโพรงหรือหลุมยุบตัวที่สามารถกักเก็บน้ำให้พืชได้ใช้ประโยชน์ (Liu., 2009; Liu et

al., 2012; Wu., 2010) ดังนั้นระบบนิเวศเขาหินปูน จึงเป็นระบบนิเวศที่มีความสำคัญมากต่อการอนุรักษ์พื้นที่ทางธรรมชาติ อันมีความโดดเด่นทั้งด้านสภาพภูมิทัศน์ทางธรรมชาติที่สวยงาม และเป็นถิ่นอาศัยของสิ่งมีชีวิตที่หายากใกล้สูญพันธุ์จำนวนมาก (มานพ และคณะ, 2557)

การศึกษาระบบนิเวศป่าเขาหินปูน หรือระบบนิเวศแบบแบบคาร์สต์ (karst ecosystem) ส่วนมากมีการศึกษาอย่างกว้างขวางในแถบประเทศจีน (Daoxian, 2001; Wang et al., 2019; Zhao et al., 2019) เขาหินปูนเป็นส่วนหนึ่งของระบบนิเวศเขาหินปูน (karst ecosystem) ซึ่งเป็นพื้นที่เป็นภูเขาประกอบไปด้วยหินปูนเป็นองค์ประกอบหลัก และในบางพื้นที่อาจปรากฏหลุมยุบและถ้ำปรากฏอยู่ เป็นระบบนิเวศที่ปรากฏพื้นดินอยู่น้อยซึ่งดินส่วนใหญ่ได้จากการย่อยสลายของเศษซากพืชส่งผลให้ชนิดไม้ที่สามารถขึ้นได้ต้องมีลักษณะเฉพาะเจาะจงและต้องการระบบนิเวศที่เฉพาะตัว (McLaren and McDonald, 2003) เขาหินปูน เป็นลักษณะของภูมิประเทศที่เกิดจากพื้นที่ที่มีการสะสมของตะกอนเศษซากบรรพชีวินภายใต้ทะเลหรือแหล่งน้ำเป็นเวลาหลายล้านปีได้มีการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลกและมีน้ำเป็นการทำละลายโครงสร้างของเนื้อหิน เขาหินปูนเป็นภูมิประเทศที่มีความโดดเด่นทางด้านภูมิทัศน์ และความหลากหลายของสภาพพื้นที่ที่มีความสลับซับซ้อนของ สันเขา หน้าผา หลุมยุบ หุบเขาและโถงถ้ำ ทั้งวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นหินปูนทำให้ดินในพื้นที่มีสัดส่วนของดินเหนียว (clay) เป็นจำนวนมาก และมีธาตุ แคลเซียม และแมกนิเซียมมากเกินพอ ความลาดชันของพื้นที่ซึ่งส่งผลต่อการสะสมตัวชั้นดิน ตลอดจนความสามารถในการผุกร่อน แสงแดดที่รุนแรง ด้วยสภาพแวดล้อมที่จำเพาะเหล่านี้ ทำให้พรรณพืชในบริเวณเขาหินปูนต้องมีการปรับตัวให้สามารถอยู่รอด ส่งผลให้มีลักษณะสัณฐานแตกต่างไปจากพรรณพืชที่ขึ้นในสภาพแวดล้อมอื่น และมีโอกาสที่จะพบพืชถิ่นเดียว (endemic species) สูง แต่เพราะเขาหินปูนเป็นแหล่งของวัตถุดิบในอุตสาหกรรมซีเมนต์และหินอ่อนจึงมักถูกสัมปทานด้วยการระเบิดภูเขาทั้งลูกเพื่อนำหินไปใช้ประโยชน์ นอกจากนั้นหลายพื้นที่เป็นสถานท่องเที่ยวและถูกบุกรุกจากการจัดตั้งศาสนสถาน การรบกวนเหล่านี้อาจจะเป็นปัจจัยที่ทำให้พรรณพืชที่พิเศษเหล่านั้นสูญหายไปจากพื้นที่ได้ (จรัญ และชาญวิทย์, 2555) ภูเขาหินปูนมักพบในภูมิภาคเอเชียตะวันออก เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และอเมริกากลาง ชนิดหินปูนและภูมิประเทศของภูเขาหินปูนจะมีความผันแปรไปตามอายุของหิน และสภาพของพื้นที่ ๆ พบภูเขาหินปูนมีการกระจายตัวอยู่ทั่วไปในพื้นที่กึ่งเขตร้อน แต่จะพบเล็กน้อยในพื้นที่ ๆ มีภูมิอากาศร้อนชื้นและมีฝนตกชุก เนื่องจากถูกน้ำฝนกัดกร่อนพังทลายไปเป็นส่วนใหญ่ ในประเทศมาเลเซียตอนเหนือประเทศไทย และ ประเทศจีนตอนใต้ มักพบเขาหินปูน กระจายอยู่ทั่วไป อาจพบเป็นภูเขาลูกโดดหรือเป็นกลุ่มเล็กๆ ภายในเขาหินปูนมักถูกน้ำฝนกัดกร่อนเป็นรูพรุน มีโพรงถ้ำใหญ่น้อยเกิดขึ้นมากมาย (มานพ และคณะ, 2557) สิ่งมีชีวิตจำนวนมากในระบบนิเวศเขาหินปูนเป็นชนิดพันธุ์ถิ่นเดียว (endemic species) และมีการกระจายพันธุ์จำกัดในพื้นที่ขนาดเล็ก บนเขาหินปูนบางแห่ง ชนิดพันธุ์เหล่านี้มีจำนวนประชากรจำนวนจำกัดและจัดว่าเป็นชนิดพันธุ์ที่หายาก (rare species) ระบบนิเวศ

เขาหินปูนประกอบด้วย สังคมของสิ่งมีชีวิตที่มีความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวมาก พวกมันสามารถอยู่ได้ ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ดินมีความเป็นด่างสูง และยังอดทนต่อความแห้งแล้งได้ดี เนื่องจากเป็นภูเขาที่มีชั้นดินตื้น หรือมีเฉพาะก้อนหินปูนที่แหลมคม ชนิดพันธุ์ที่มีความเฉพาะตัวเหล่านี้ จะตกอยู่ในสภาพที่เสี่ยงต่อการสูญพันธุ์อย่างยิ่ง (มานพ และคณะ, 2557) ด้วยชั้นดินที่ตื้น มีความลึกของชั้นดินไม่สม่ำเสมอ แปรผันไปตามสภาพภูมิประเทศ พรรณพืชบนเขาหินปูน จึงขึ้นเป็นกลุ่มในบริเวณที่มีดินหรือขึ้นตามซอกหิน ต้นไม้ส่วนใหญ่มีขนาดเล็ก ลำต้นคดงอ และมีเรือนยอดที่บาง

ป่าเขาหินปูนในประเทศไทย

ประเทศไทยมีความหลากหลายของพืชพรรณกว่า 10,000 ชนิด ในจำนวนนี้ จัดเป็นพืชถิ่นเดียว ของประเทศไทย ประมาณ 800 ชนิด โดยกว่า 180 ชนิด (22.5 %) เป็นพืชที่พบบ่อยในระบบนิเวศภูเขาหินปูน บ่งชี้ให้เห็นว่าระบบนิเวศเขาหินปูนเป็นถิ่นอาศัย ที่สำคัญต่อพรรณพืชที่สำคัญและหายากเหล่านี้ ประเทศไทย มีพื้นที่ภูเขาหินปูน ประมาณ 12.51 ล้านไร่ (4 % ของพื้นที่ประเทศ) ส่วนใหญ่เป็นภูเขาลูกโดด มีการกระจายตัวห่าง ๆ และถูกตัดขาดจากกันด้วยระบบนิเวศอื่น ถิ่นอาศัยเช่นนี้ ทำให้ภูเขาหินปูนเปรียบเสมือนเป็นเกาะที่สิ่งมีชีวิตขาดการติดต่อ ขาดการแลกเปลี่ยนทางพันธุกรรมกับเครือญาติบนเกาะอื่นที่อยู่ห่างไกล ภูเขาหินปูนจึงมีปัจจัยที่เอื้อ ต่อการเกิดวิวัฒนาการของชนิดใหม่ (speciation) ได้เสมอ

โสมนัสสา และคณะ (2556) รายงานว่า สังคมพืชที่พบบริเวณเขาหินปูนมีความแตกต่างกันไปตามพื้นที่ โดยส่วนใหญ่จะเป็นสังคมพืชผลัดใบ เขาหินปูนในภาคเหนือ เช่น ดอยเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ และดอยหัวหมด จังหวัดตาก มีสังคมพืช 3 แบบ ได้แก่ ป่าดิบเขาระดับต่ำที่มีไม้ก่อ พบตามพื้นที่ลาดชันที่เขาหินปูน สูง 1,200 – 1,900 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ป่าละเมาะเขาสูงพบตามสันเขาของยอดดอย สูง 1,900 – 2,000 เมตร มีสภาพป่าเป็นป่าดิบที่เปิดโล่งและเขาหินปูนกร่อน เป็นเขาโล้นที่ไม่ปรากฏเขาหินปูนมากนัก เขาหินปูนในภาคกลางและภาคเหนือตอนล่างมีการกระจายตัวตั้งแต่จังหวัดพิษณุโลก พิจิตร เพชรบูรณ์ นครสวรรค์ ลพบุรี และสระบุรี มีสังคมพืช 2 แบบ ได้แก่ ป่าละเมาะเขาหินปูน พบบริเวณสันเขาและยอดเขา ซึ่งได้รับแสงแดดจัดตลอดทั้งปี มีชั้นดินตื้นและเนื้อดินน้อย พรรณไม้หลายชนิดผลัดใบ พืชล้มลุกส่วนใหญ่มีการพักตัวในฤดูแล้ง และปรับตัวโดยมีระบบรากที่แข็งแรงสามารถแทรกลงไปยึดเกาะตามรอยแตกของหินได้ ป่าละเมาะหินปูนชื้นพบบริเวณไหล่เขาและหุบเขาที่มีความชื้นค่อนข้างสูง ได้รับแสงแดดไม่มากนัก และมีชั้นดินหนา พรรณไม้มีความหลากหลายมากกว่าป่าละเมาะหินปูนที่พบโดยทั่วไป พืชที่พบ เช่น โมกเหลือง แคสันติสุข โมกราชินี เป็นต้น เขาหินปูนในภาคตะวันตกจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับในภาค

กลาง ส่วนเขาหินปูนในภาคใต้นั้นจะพบสังคมพืชป่าผลัดใบปกคลุมบริเวณที่เป็นหน้าผา และป่าดิบแล้งปกคลุมพื้นที่ที่เป็นหุบเขาเนื่องจากได้รับแสงและความชื้นไม่มากนัก

1. ปัญหาคุกคาม

จากการสำรวจและประเมินสภาพพืชป่าเขาหินปูน โดยการศึกษาข้อมูลจากเอกสารทางวิชาการ ฐานข้อมูลตัวอย่างพรรณไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช และการสำรวจประชากรในภาคสนาม พบว่า สามารถจำแนกปัจจัยคุกคามออกได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

1.1 การคุกคามถิ่นที่อยู่

เนื่องจากการจัดการที่ดินไม่มีประสิทธิภาพ การขยายพื้นที่เกษตร ไฟป่า การพัฒนาระบบคมนาคม การพัฒนาการท่องเที่ยว การพัฒนาเมือง สัมปทานเหมืองแร่ การก่อสร้างชลประทาน เป็นสาเหตุที่ทำให้ถิ่นที่อยู่ทั้งพรรณพืชและสัตว์ป่าสูญหายไปและมีโอกาสเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์สูง

1.2 การคุกคามจากการเก็บพืชเพื่อการค้า

เพื่อใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ เช่น นำมาขายเป็นไม้ประดับ การใช้เป็นอาหารหรือพืชสมุนไพร เป็นต้น เป็นการใช้ประโยชน์พืชอย่างไม่ยั่งยืน (unsustainable plant exploitation)

1.3 การคุกคามจากชนิดต่างถิ่นรุกราน

ทำให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อพืชท้องถิ่น คือ ทำให้เกิดการแก่งแย่งเชิงนิเวศหรือการเกิดผสมข้ามพันธุ์ เช่น การคุกคามจากสัตว์ต่างถิ่นรุกราน (invasive animal species) และการคุกคามจากพืชต่างถิ่นรุกราน (invasive plant species) เป็นต้น

1.4 กิจกรรมการท่องเที่ยว

กิจกรรมของนักท่องเที่ยวเป็นกิจกรรมที่ส่งผลกระทบต่อการลดลงของจำนวนประชากรของกลุ่มพืช โดยเฉพาะพืชล้มลุก เช่น การเหยียบย่ำของนักท่องเที่ยว และการตั้งแคมป์พักแรมนอกพื้นที่กำหนด โดยเฉพาะในช่วงฤดูท่องเที่ยวที่มีนักท่องเที่ยวจำนวนมาก ทำให้เกิดการเหยียบย่ำบนกล้าไม้และต้นไม้ โดยตั้งใจและโดยไม่ตั้งใจ หรือความคึกคะนอง

2. แนวทางการคุ้มครอง

นอกจากการคุ้มครองดูแลพืชโดยตรงแล้ว การคุ้มครองดูแลถิ่นที่อยู่ของพืชซึ่งรวมถึงการบริหารจัดการพื้นที่ที่ครอบคลุมเขาหินปูนนั้น กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ได้นำแนวทางการบริหารจัดการแบบกลุ่มป่า (forest complex) มาเป็นกรอบในการบริหารจัดการพื้นที่ โดยแบ่งกลุ่มป่าเป็น 19 กลุ่มป่า มีกลุ่มป่าที่สำคัญเช่น กลุ่มป่าตะวันตก กลุ่มป่าดงพญาเย็น – เขาใหญ่ กลุ่มป่าคลองแสง – เขาสก เป็นต้น ซึ่งกลุ่มป่าเหล่านี้ครอบคลุมเทือกเขาหินปูน ซึ่งมีพรรณพืชและพันธุ์สัตว์ที่หายากอาศัยอยู่ การบริหารจัดการในรูปกลุ่มป่า เป็นการบูรณาการทำงานในด้านบุคลากร งบประมาณและแผนจัดการซึ่งจะเพิ่มประมาณประสิทธิภาพในการดูแลพื้นที่มากขึ้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Asanok and Marod (2016) รายงานการศึกษาความสัมพันธ์ของการปรากฏของหมู่ไม้และความต้องการทางนิเวศวิทยาในระดับชนิดไม้ บริเวณป่าเขาหินปูน จังหวัดแพร่ ด้วยการวางแปลงสำรวจการกระจายสังคมพืชตามระดับความสูงของเขาหินปูนรวมถึงเก็บข้อมูลปัจจัยแวดล้อมเพื่อนำมาวิเคราะห์การจัดลำดับด้วยวิธี cannonical correspondence analysis และตรวจสอบความต้องการทางนิเวศวิทยาของชนิดไม้ ด้วยวิธีแบบจำลองเชิงเส้นตรงทั่วไป (generalized linear model, GLM) พบว่า พบว่าความอุดมสมบูรณ์ของป่าผสมผลัดใบมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับความลึกของดิน ความอุดมสมบูรณ์ของต้นไม้ในถ้ำและเนินเขามีความสัมพันธ์ทางบวกกับระดับของน้ำค้างในหิน ปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อการฟื้นฟูของต้นไม้มากกว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างป่า ชนิดไม้ ได้แก่ ไทรใบยาว จันทน์ผา และมะยมหิน ขึ้นได้ดีในพื้นที่หินโผล่ขนาดใหญ่ มีแสงที่ดี และดินนุ่ม ชนิดไม้เหล่านี้ได้รับการฟื้นฟูอย่างดีภายใต้เงื่อนไขของความหนาแน่นของภูเขาหินปูน การยึดครองพื้นที่ของชนิดไม้หลายชนิดในพื้นที่อื่น ๆ ได้รับอิทธิพลทางลบจากสภาพแวดล้อมในพื้นที่ดังกล่าว เราพบว่ามันยากที่จะฟื้นฟูธรรมชาติของต้นไม้ในภูเขาหินปูน เนื่องจากปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพ ซึ่งอิทธิพลของปัจจัยเหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของป่าที่แตกต่างกัน

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับพรรณไม้ในระบบนิเวศภูเขาหินปูน (Maxwell, 1994) ได้พิมพ์ผลการสำรวจพรรณไม้จากเกาะศรีชัง อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี พบพืชที่มีท่อลำเลียง จำนวน 72 วงศ์ 274 ชนิด โดยไม่ได้รายงานถึงชีพลักษณ์ (phenology) ของพืชแต่ละชนิดแต่ได้มีข้อแนะนำเกี่ยวกับการฟื้นฟูป่าในระบบนิเวศภูเขาหินปูนโดยเฉพาะในเกาะศรีชัง ส่วนในเขตพื้นที่ภาคเหนือนั้น Maxwell (1992) ได้กล่าวถึงลักษณะของป่า และพรรณไม้ของเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าดอยเชียงดาว อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งดอยเชียงดาวเป็นภูเขาหินปูนขนาดใหญ่ สูงเป็นอันดับ 3 ของประเทศไทย คือ สูงจากระดับน้ำทะเล 2,175 เมตร ได้กล่าวถึงประเภทของป่าไว้ดังนี้ที่ความสูงจากระดับน้ำทะเล ประมาณ 450-850 เมตร เป็นป่าผลัดใบ (deciduous forest) ที่ความสูงจากระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 1,000 เมตร จนถึงยอดสูงสุดเป็นป่าไม่ผลัดใบหรือป่าเขียวทั้งปี (evergreen forest) การตีพิมพ์ครั้งนี้ กล่าวว่าพบพรรณไม้ถึงจำนวน 1,362 ชนิด โดยมิได้รายงานชนิดที่พบ หลังจากนั้น (Palee and Maxwell, 2000) ได้ตีพิมพ์ผลการศึกษาพรรณไม้จากดอยเมืองออน อำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ เป็นภูเขาหินปูนขนาดเล็กมีพื้นที่ประมาณ 0.25 ตารางกิโลเมตร มีวัดอยู่ใกล้เคียงภายในชาวบ้านใช้เป็นสถานที่ท่องเที่ยว ลักษณะป่าเป็นป่าผลัดใบผสมไผ่ (deciduous hardwood + bamboo forest) ความสูงจากระดับน้ำทะเล 450-700 เมตร พบพืชมีท่อลำเลียง จำนวน 69 วงศ์ 227 ชนิด การตีพิมพ์ครั้งนี้ได้แสดงชีพลักษณ์ของพืชที่พบไว้ด้วยคือ แสดงช่วงเวลาการออกดอก ติดผล และช่วงมีใบ ของแต่ละชนิด

พงษ์ศักดิ์ (2549) ได้ศึกษาความหลากหลายของพรรณไม้เขาหินปูน ภาคตะวันออกเฉียงใต้ 7 แห่ง พบทั้งพืชถิ่นเดียว พืชหายาก และพืชที่ใกล้จะสูญพันธุ์ เช่น โมกราชินี (*Wrightia sinkitia*) แคสันติสุข (*Santisukia kerrii*) Brummit) เป็นต้น การศึกษาพรรณไม้ในระบบนิเวศภูเขาหินปูน ควรจะมีการศึกษาอย่างต่อเนื่องและครอบคลุมในหลายพื้นที่ที่มีระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลที่แตกต่างกัน ในพื้นที่เขาหินปูนในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พบว่ามีลักษณะเฉพาะตัวและพบสิ่งมีชีวิตที่เสี่ยงต่อการสูญพันธุ์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมและกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ปัจจุบันจึงมีการเข้าศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูล พบประสงค์ แมลงชนิดต่างๆ หอยทากบก ปลาถ้ำหินปูน สัตว์ฟันแทะ และสัตว์อื่นๆ ที่กำลังถูกคุกคามเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ รวมทั้งขาดการศึกษาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตชนิดนั้นน้อยมาก จึงไม่มีข้อมูลเพื่อการอนุรักษ์ และยังมีซากดึกดำบรรพ์กลุ่มปะการังด้วย การกัดกร่อนของน้ำฝนทำให้เขาหินปูนเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เช่น หน้าผา ถ้ำ แม่น้ำใต้ภูเขา ก่อเกิดพรรณพืชที่แตกต่างกับระบบนิเวศอื่นๆ แต่ปริมาณความต้องการปูนซีเมนต์เพื่อการก่อสร้าง รวมทั้งหินอ่อน ทำให้เกิดการทำลายระบบนิเวศเขาหินปูนและสรรพชีวิตสูญพันธุ์จากโลกนี้ไป รวมทั้งการบุกรุกพื้นที่เพื่อการเกษตรและสร้างที่อยู่อาศัย ทำให้สิ่งมีชีวิตบางชนิดสูญพันธุ์ไปโดยไม่ได้มีการศึกษาหรือค้นพบก่อน เช่น ที่รัฐ Pahang และ Sabah ของประเทศมาเลเซีย ที่ได้รับการสัมปทานจากหลายบริษัทเพื่อการทำโรงโม่หิน ที่นี่พบว่ามีหอยทากบกที่พบได้แห่งเดียวในโลก และยังพบว่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่เล็กที่สุดในโลก คือ ประสงค์ (bumblebee bat) ในประทศไทย ที่มีประชากรน้อยมาก สัตว์เขาหินปูนที่เสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ ได้แก่ Francois's leaf monkey, the serow (a type of goat antelope) และพบสัตว์ฟันแทะชนิดใหม่ของโลกในประเทศลาว ที่พบว่าเป็นวงศ์ใหม่ที่ค้นพบในช่วง 30 ปี นี้เอง ประมาณ 31 ชนิด ที่ได้รับการขึ้นบัญชีของ IUCN (international union for conservation of nature) ทั้งประเทศไทย มาเลเซีย และ เวียดนาม ต่างก็พบสิ่งมีชีวิตใหม่ และเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์อย่างต่อเนื่อง (พงษ์ศักดิ์ 2549)

จรัญ และชาญวิทย์ (2555) กล่าวไว้ว่า สังคมพืชในพื้นที่เขาหินปูนในพื้นที่ศึกษาสามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภท แบ่งได้ตามสภาพแวดล้อมและชนิดพืชเด่นได้ดังนี้

1. พื้นที่เปิดโล่งบนสันเขา พบพืชที่ทนการขาดน้ำในฤดูแล้งได้ดี เช่น ไทรชนิดต่างๆ (*Ficus spp.*) สลัดได (*Euphorbia antiquorum*) มะยมผาหรือขี้เหล็กฤาษี (*Phyllanthus mirabilis*) จันทร์แดง (*Dracaena loureiroi*) ข่อยหนาม (*Strebus illicifolius*) พืชกลุ่มปอหลายชนิด ได้แก่ ปอคาว (*Firmiana corolata*) ปอขาว (*Sterculia pexa*) และ ปอขนุน (*Sterculia balanghas*)

2. บริเวณสันเขาที่มีการระบายน้ำดี ได้รับแสงแดดบางส่วน มีพืชขนาดใหญ่ชนิดต่างๆ เช่น ปอกระด้าง (*Pterocybium tinctorium*) ตะคร้ำ (*Garuga pinnata*) มะกอกเกลื้อน (*Canarium subulatum*) ยม (*Toona ciliata*) เปือยหิน (*Homalium grabrifolium*) กระเบากลัก (*Hydnocarpus ilicifolia*) ขางขาว (*Hapulia cupanoides*) ขี้หนอน (*Zollingeria*

dongnaiensis) และปอกระด้าง (*Pterocybium tinctorium*) ไม้พุ่ม เช่น มะนาวผี (*Atalantia monophylla*) ช้องรำพัน (*Buxus rolfei*) และผักหวานเมา (*Urobotrya siamensis*) รวมทั้งกล้วยไม้ดินบางชนิด เช่น เอื้องดินปากพัดยูนนาน (*Cheirostylis yunnanensis*) เอื้องดินน้อยปากกาง (*Zeuxine affinis*)

3. พื้นที่ริมแหล่งน้ำและในหุบเขา สำรวจพบพืชที่ต้องการความชุ่มชื้นสูง เช่น โกงกางเขา (*Fagraea ceilanica*) จิกน้ำ (*Barringtonia acutangula*) คล้า (*Schumannianthus dichotomus*) เข็มดอย (*Duperrea pavettaefolia*) พืชสกุลโสก (*Saraca* sp.) พืชวงศ์กระดังงา (Annonaceae) หลายชนิด เช่น มะป่วน (*Mitrephora tomentosa*) หมาดำ (*Miliusa thorelii*) และพืชในสกุลตุ้มหู (*Orophe sp.*) ไม้พุ่ม เช่น พุด (*Tabernaemontana divaricata*) รวมทั้งพืชล้มลุกที่มีการพักตัวในฤดูแล้ง เช่น กล้วยไม้กลอนดู่ (*Corymborkis veratifolia*) ช่อกินรี (*Gagnepainia thoreliana*) หยาดสะอาง (*Chirita tubulosa*) และดอกรวงผึ้ง (*Epithema carnosum*)

4. พื้นที่เปิดโล่งที่มีความชันมากและเปิดโล่ง เช่น หน้าผา มักถูกปกคลุมด้วยไม้เลื้อยที่ทนความแห้งแล้งได้ดี เช่น สะแล (*Brousonetia kurzii*) เครือออน (*Congea tomentosa*) เสี้ยวชนิดต่าง ๆ เช่น ส้มเสี้ยวเถา (*Bauhinia bracteata*) เถากระไดลิง (*Bauhinia scandens*) แสลงพันกระดูก (*Bauhinia similis*) สาลีแก่นใจ (*Capparis zeylanica*) หนามหัน (*Caesalpinia hymenocarpa*) และหนามปู่ย่า (*Caesalpinia mimosoides*)

5. พื้นที่ชายป่ามีพืชเบิกนำและพืชโตเร็วหลายชนิด เช่น ปอสา (*Broussonetia papyrifera*) ข่อย (*Strebes asper*) พลับพลา (*Microcos tomentosa*)

6. พื้นที่ส่วนหนึ่งได้รับการฟื้นฟูโดยการปลูกไม้โตเร็ว เช่น มะขามเทศ (*Pithecellobium dulce*) มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*) หว้า (*Syzygium* sp.) ยูคาลิปตัส (*Eucalyptus camaldulensis*) ตีนเป็ดหรือพญาสัตบรรณ (*Alstonia scholaris*) โมกมัน (*Wrightia pubescens*) ยม (*Toona ciliata*) อินทนิลบก (*Lagerstroemia macrocarpa*) และอินทรชิต (*Lagerstroemia loudonii*) เป็นต้น และพบวัชพืชจำนวนหลายชนิดในพื้นที่ เช่น หญ้างวงช้าง (*Heliotropium indicum*) สร้อยทองเลื้อย (*Polycarpon prostratum*) ปอผี (*Hydrolea zeylanica*)

Marod et al. (2020) ลักษณะเชิงหน้าที่ของพืชของสังคมพืชบริเวณเนินทรายชายฝั่งเขตร้อน การศึกษานี้ได้ศึกษาความแตกต่างขององค์ประกอบลักษณะชนิดและความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของสังคม (community-weighted mean, CWM) กับคุณสมบัติของดินตามทางลมและทิศทางที่ลมมาของเนินทรายบางเบิด มีการสุ่มเลือกแปลงตัวอย่าง 10 แปลงจากแต่ละด้านของเนินทราย เก็บข้อมูลไม้ยืนต้นทั้งหมดและลักษณะเชิงหน้าที่ พร้อมเก็บตัวอย่างดิน เพื่อวิเคราะห์ความซ้ำซ้อน ด้วย วิธี (redundancy analysis, RDA) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะ

ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของสังคม (CWM) และคุณสมบัติของดิน ผลจาการศึกษาพบว่าองค์ประกอบลักษณะของชนิดและค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของสังคม CWM ของพื้นที่ใบจำเพาะ ความหนาของใบและความเหนียวของใบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างทางลมและทิศทางที่ลมมา RDA แสดงให้เห็นความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างลักษณะค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของสังคม CWM และคุณสมบัติของดินโดยเฉพาะลักษณะเชิงหน้าที่ของพื้นที่ใบจำเพาะที่มีบทบาทสำคัญในการหมุนเวียนของธาตุอาหาร ผลการศึกษานี้บ่งชี้ว่าคุณสมบัติของดินสามารถทำนายได้ตามลักษณะค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของสังคม CWM และด้านที่เป็นเนินทรายที่มีลมสามารถรองรับการก่อตัวของดินได้มากกว่าด้านที่มีลมแรง ดังนั้นควรพิจารณาลักษณะเชิงหน้าที่ตลอดจนชนิดของพืชในการฟื้นฟูและอนุรักษ์พื้นที่เนินทราย

Asanok et al. (2019) การศึกษานี้ศึกษาปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อลักษณะเชิงหน้าที่ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญต่อการตั้งตัวของชนิดไม้ในป่าเขาหินปูนในภาคเหนือของประเทศไทย ทำการวางแปลง 54 แปลง พื้นที่ 400 ตารางเมตร บริเวณ ล่างเขา กลางเขา และบนเขา ตามระดับความสูงบนเขาหินปูน ประเมินลักษณะเชิงหน้าที่ และความสัมพันธ์กับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่ควบคุมองค์ประกอบของชนิดไม้ ผลการศึกษาพบว่า ระดับความสูง ปริมาณหินโผล่และปริมาณแสงแดดเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่ ในพื้นที่ศึกษามีปัจจัยทั้งสามนี้สูงแสดงเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงของสังคม พื้นที่ใบจำเพาะ และความหนาของใบ ซึ่งทั้งหมดนี้เกี่ยวข้องกับชนิดไม้ที่ต้องการแสงแดด อย่างไรก็ตามในพื้นที่ที่ทั้งสามปัจจัยนี้มีค่าต่ำมีสังเกตเห็นได้ว่ามีความหนาแน่นเนื้อไม้และความสูงเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะของชนิดไม้ที่ทนต่อร่มเงา การยกระดับความสูง ส่งผลในเชิงบวกต่อการกระจายตัวของลักษณะเชิงหน้าที่ และค่าความร่ำรวยของลักษณะเชิงหน้าที่ บ่งบอกถึงระดับความสูงของพื้นที่มีผลต่อลักษณะเชิงหน้าที่ในเชิงบวกเมื่อระดับความสูงของพื้นที่สูงขึ้น แต่พื้นที่ด้านล่างมีลักษณะเชิงหน้าที่น้อยกว่า เป็นต้น

Asanok et al. (2013) ที่ใช้ลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช ในการหาศักยภาพของชนิดไม้ที่เหมาะสมต่อการฟื้นฟูในพื้นที่ป่าดิบเขา บริเวณดอยสุเทพ-ปุย โดยระบุว่าลักษณะของความหนาแน่นเนื้อไม้และขนาดของเมล็ดสามารถบ่งบอกถึงสถานภาพของป่าว่าถูกรบกวนหรือปลอดการรบกวนจากกิจกรรมจากมนุษย์หรือภัยพิบัติทางธรรมชาติ จากการวิจัยในพื้นที่ป่าดิบเขาระดับต่ำดอยสุเทพ-ปุย จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า การเติบโตของพรรณไม้ในป่าธรรมชาติปลอดการรบกวน (primary forest) มีค่าของความหนาแน่นเนื้อไม้และขนาดของเมล็ดสูงกว่าในพื้นที่ป่ารุ่นที่สอง (secondary forest) และขนาดของเมล็ดที่ใหญ่นั้นเป็นข้อจำกัดที่ทำให้การเพิ่มพูนของกล้าไม้ตามธรรมชาติเป็นไปได้น้อย ดังนั้นการฟื้นฟูป่าธรรมชาติจึงจำเป็นต้องมีการปลูกเสริมโดยการคัดเลือกชนิดพรรณพืชที่มีการปรับตัวที่เหมาะตามปัจจัยสิ่งแวดล้อมในละสภาพพื้นที่ ซึ่งลักษณะเชิงหน้าที่ดังกล่าวก็มีความแตกต่างกันไปตามชนิดไม้

แหลมไทย และรุ่งรวี (2560) องค์ประกอบลักษณะเฉพาะหน้าที่ของพรรณพืชของพื้นที่ชายป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณ บริเวณลุ่มน้ำแม่คำมี จังหวัดแพร่ พบว่าชนิดไม้เด่นในป่าเต็งรังแสดงออกถึงลักษณะเฉพาะหน้าที่ของไม้โตช้ามากกว่าป่าเบญจพรรณ ได้แก่ ค่าสัดส่วนมวลต่อพื้นที่ใบ ความจุของใบ ความหนาแน่นของเนื้อไม้ ซึ่งการค้นพบคุณสมบัติเหล่านี้สามรถใช้สำหรับการศึกษาเชิงลึกเพื่อคัดเลือกชนิดที่เหมาะสมสำหรับการฟื้นฟูพื้นที่ชายป่าต่อไป

แหลมไทย และรุ่งรวี (2562) ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชกับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของหมู่ไม้ บริเวณลุ่มน้ำแม่คำมี จังหวัดแพร่ พบว่าลักษณะเชิงหน้าที่ที่มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ได้แก่ ขนาดพื้นที่ใบ สัดส่วนมวลต่อพื้นที่ใบ ความหนาใบ สัดส่วนมวลแห้งของใบ ความหนาของเปลือก และความสูงสูงสุด ส่วนลักษณะเชิงหน้าที่ที่มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ได้แก่ ความจุใบ ความอิ่มน้ำของใบ ความหนาแน่นของเนื้อไม้ และความอิ่มน้ำของเนื้อไม้ ดังนั้นการใช้องค์ประกอบลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชสามารถบ่งชี้ถึงความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนของหมู่ไม้ได้

บทที่ 3
อุปกรณ์ และวิธีการ

อุปกรณ์

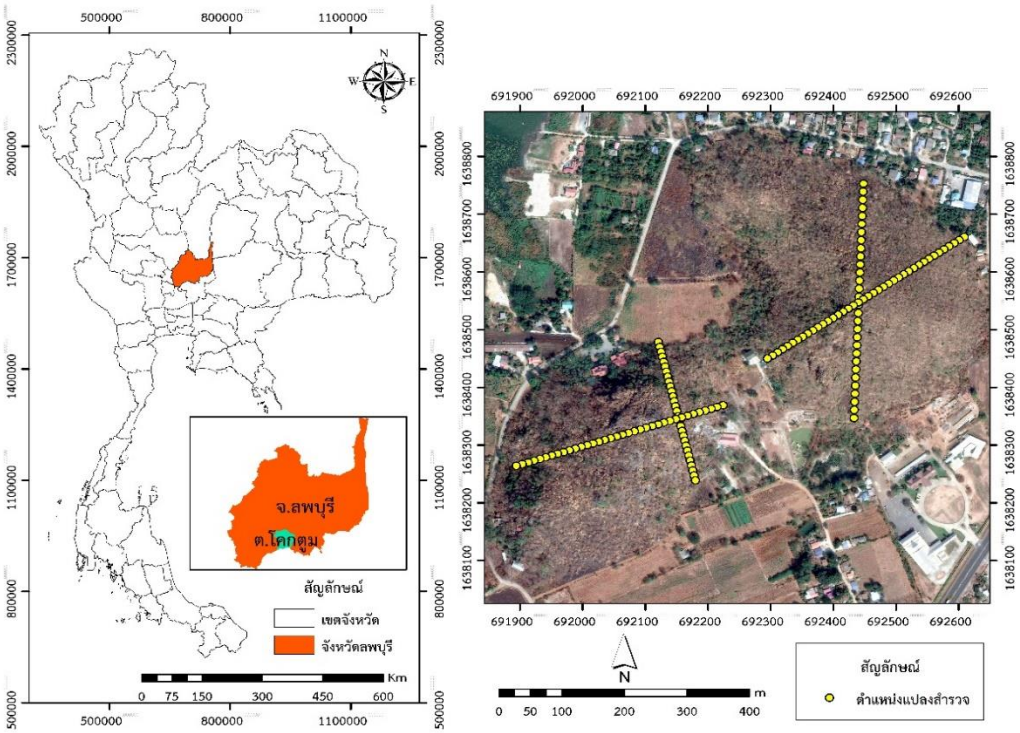
1. เทปวัดระยะ (measuring tape)
2. หมุดสำหรับปักหมายระยะ
3. เครื่องมือวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ (diameter tape)
4. เครื่องมือวัดความสูงของต้นไม้ (range finder)
5. เครื่องมือหาค่าพิกัดด้วยดาวเทียม (global positioning system, GPS)
6. เครื่องมือวัดปริมาณแสงที่พืชสามารถใช้สังเคราะห์แสงได้ PAR-meter
7. ไม้บรรทัดฟุตเหล็ก 12 นิ้ว ใช้สำหรับวัดความลึกดิน
8. แบบฟอร์มบันทึกข้อมูล
9. เครื่องเจาะเนื้อไม้ (increment borer)
10. เครื่องแสกน (scanner)
11. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล
12. เครื่องคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมทางสถิติ

วิธีการ

สถานที่ศึกษา

ป่าเขาหินปูน วัดป่าภัทรปิยาราม ตั้งอยู่ที่ตำบลโคกตูม อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี มีเนื้อที่วัดโดยประมาณ 22.2 ไร่ มีทิศเหนือติดและทิศตะวันออกติดกับเขตที่ตั้งขององค์การบริหารส่วนตำบลโคกตูม ทิศใต้ติดกับวัดถ้ำม่วง และทิศตะวันตกติดกับวัดถ้ำเสือ (ภาพที่ 1) ปรากฏเขาหินปูนอยู่ 2 ลูก ได้แก่ เขาหินปูนล้วน และเขาหินปูนผสมหินแกรนิต ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศ มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปอยู่ในชวง 25.0-30.60 องศาเซลเซียส (กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2550) ปริมาณฝนรวมตลอดปี อยู่ประมาณ 1123.8 มิลลิเมตร ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยประจำปีร้อยละ 71 (สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2558)

ความหลากหลายทางชีวภาพของพรรณพืช บริเวณวัดป่าภัทรปิยาราม พบพรรณไม้ในพื้นที่ป่าเขาหินปูนล้วน ทั้งสิ้น 30 ชนิด 28 สกุล 17 วงศ์ และ พบพรรณไม้ในพื้นที่ป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต ทั้งสิ้น 26 ชนิด 26 สกุล 16 วงศ์ เมื่อพิจารณาถึงค่าดัชนีความหลากหลายพบว่าป่าเขาหินปูน และ ป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต พบว่าพื้นที่มีค่าความหลากหลายค่อนข้างใกล้เคียง และมีความหลากหลายของพรรณไม้สกุลมะเดื่อ พบไม้สกุลมะเดื่อ 5 ชนิด โดยเฉพาะการค้นพบ เดื่อแห (ชื่อวิทยาศาสตร์) ซึ่งเป็นพืชที่เฉพาะถิ่น (endemic species) ที่พบได้เฉพาะกับถิ่นอาศัยที่เป็นภูเขาหินปูน มีความหลากหลายของแมลง พบแมลงทั้งสิ้น 91 ชนิด 75 สกุล 23 วงศ์ จาก 10 อันดับ ผีเสื้อกลางวันพบมากที่สุด 35 ชนิด (จาก 5 วงศ์ คิดเป็นร้อยละ 38.46 ของแมลงที่พบทั้งหมด รองลงมาได้แก่ มด 33 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 36.26 ของแมลงที่พบทั้งหมด มีความหลากหลายของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก (amphibians) และสัตว์เลื้อยคลาน (reptiles) พบสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก 6 ชนิด 4 วงศ์ และสัตว์เลื้อยคลาน 21 ชนิด 7 วงศ์ ส่วนสัตว์เลื้อยคลานพบได้ง่ายและชุกชุมเนื่องจากเป็นบริเวณวัดมีการรบกวนน้อยในจำนวนนี้พบตุ๊กแกสยาม ซึ่งเป็นสัตว์เฉพาะถิ่นที่พบได้เฉพาะภูเขาหินปูนในภาคกลางของประเทศไทยเท่านั้น มีคความหลากหลายของแมงมุมในระบบนิเวศเขาหินปูน จากการสำรวจเบื้องต้นพบแมงมุม จำนวน 70 ชนิด 23 วงศ์ พบมากที่สุดวงศ์ แมงมุมกระโดด (*Salticidae*) จำนวน 14 ชนิด 11 สกุล รองลงมาคือวงศ์ แมงมุมใยกลม (*Araneidae*) จำนวน 12 ชนิด 7 สกุล นอกจากนี้ยังได้สำรวจแมงมุมในถ้ำขนาดเล็ก ซึ่งมีความยาวประมาณ 100 เมตร บริเวณหลังวัด พบแมงมุมในวงศ์ *Pholcidae, Sparassidae, Gnaphosidae, Filistatidae* และ *Uloboridae* เป็นต้น (แหลมไทย และคณะ, 2559)

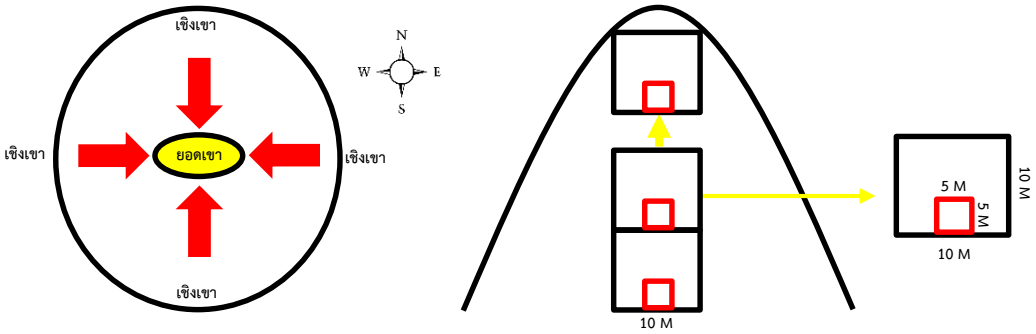


ภาพที่ 1 วัดป่าภัทรปิยาราม ตำบลโคกตูม อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี ที่แสดงเขาหินปูนล้วน และเขาหินปูนผสมหินแกรนิต

การเก็บข้อมูลภาคสนาม

1. การเก็บข้อมูลลักษณะสังคมพืช

1.1 คัดเลือกพื้นที่ตัวแทนสังคมพืชป่าเขาหินปูนล้วน และป่าเขาหินปูนผสมหนแกรนิต เพื่อทำการวางแปลงตัวอย่างแบบแถบ (transect plot) ทั้ง 4 ทิศ คือ เหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก ของแต่ละลูกเขา กำหนดให้มีความกว้าง 10 เมตร และความยาวตามระดับความสูงของพื้นที่ จากนั้นแบ่งเป็นแปลงย่อยขนาด 10 เมตร x 10 เมตร เพื่อสำรวจไม้ใหญ่ (tree) คือ ไม้ที่มีขนาดความโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก หรือ DBH (diameter at breast height) ที่ 1.30 เมตร มากกว่าหรือเท่ากับ 4.5 เซนติเมตร ด้วยการวัดขนาดและระบุชนิด และในแต่ละแปลงย่อย ทำการแบ่งเป็นแปลงย่อยขนาด 5 เมตร x 5 เมตร เพื่อสำรวจไม้รุ่น (sapling) คือ ไม้ที่มี DBH น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร และสูงมากกว่า 1.30 เมตร และ กล้าไม้ (seedling) คือไม้ที่มีความสูงน้อยกว่า 1.3 เมตร ด้วยการระบุชนิดและนับจำนวนในแต่ละชนิดในทุก ๆ แปลงย่อย (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ลักษณะของแปลงตัวอย่างเก็บข้อมูลพรรณพืชแบบแถบ (belt transect) และการแบ่งแปลงย่อยขนาด 10 เมตร x 10 เมตร และ 5 เมตร x 5 เมตร จากบริเวณเชิงเขาจนถึงยอดเขา

1.2 การระบุชนิดไม้ดำเนินการโดยการเก็บตัวอย่างพรรณไม้แห้ง แล้วนำมาเปรียบเทียบกับตัวอย่างชนิดไม้แห้งมาตรฐาน ที่หอพรรณไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช (bangkok forest herbarium, BKF) พร้อมกับตรวจสอบและระบุชนิดไม้ (เต็ม, 2557)

1.3 จัดทำบัญชีรายชื่อ ชนิดไม้ภายในแปลงถาวรตามสถานการจำแนกภาพของแต่ละชนิด เช่น เป็นชนิดไม้หายาก (rare) ชนิดไม้ประจำถิ่น (endemic) หรืออื่น ๆ อ้างอิง การจำแนกสถานภาพพรรณพืช

2. ข้อมูลปัจจัยแวดล้อม

2.1 สุ่มวัดความลึกดิน (soil depth) โดยการเจาะดินเพื่อวัดความลึก จำนวน 5 จุดต่อแปลงในบริเวณมุมทั้งสี่และจุดกึ่งกลางของแปลงตัวอย่างขนาด 10 เมตร x 10 เมตร ทุกแปลงจำนวน 5 จุดต่อแปลง

2.2 ประเมินการปกคลุมของหิน (rock cover) ด้วยการประเมินเปอร์เซ็นต์การปกคลุมของหินภายในแปลงแปลงขนาด 10 เมตร x 10 เมตร โดยการคิดเปอร์เซ้นต์การปกคลุมรวมจากการประเมินสวดส่วนของการปกคลุมพืชและหิน

2.3 สุ่มวัดปริมาณแสงที่พืชสามารถใช้สังเคราะห์แสงได้ (photosynthetically active radiation; PAR) ที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 1.30 เมตร โดยใช้เครื่อง PAR meter จำนวน 5 จุด ได้แก่ ตรงจุดศูนย์กลางและมุมทั้ง 4 ภายในแปลงตัวอย่างขนาด 10 เมตร x 10 เมตร ทุก ๆ แปลงในบริเวณใกล้เคียงกับจุดที่เก็บตัวอย่างดิน

3. ข้อมูลลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช

3.1 วิธีเลือกต้นไม้ตัวอย่าง การเก็บตัวอย่างใบ ทำการเก็บข้อมูลลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช ของไม้ต้น (tree) ทุกชนิดที่ปรากฏในแปลงตัวอย่าง และวัดจำนวนสามต้นต่อชนิดภายในแปลงตัวอย่างขนาด 10 เมตร x 10 เมตร ในกรณีชนิดที่มีหลายต้นปรากฏภายในแปลงตัวอย่างจะเลือกต้นที่มีสุขภาพดีที่สุด และมีขนาด DBH และความสูงมากที่สุด เพื่อใช้วิเคราะห์โครงสร้างของลักษณะเชิงหน้าที่ (functional trait structure) ภายในสังคมพืช ในการเลือกวัดต้นไม้ทุกแปลงตัวอย่างในลักษณะนี้จะทำให้ให้ทราบความแปรผันของลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชแต่ละชนิดที่ได้รับอิทธิพลจากความแปรผันของสังคมและปัจจัยสิ่งแวดล้อมได้ชัดเจนยิ่งขึ้น (Carmona et al., 2014) ซึ่งแต่ละลักษณะสามารถทำการวัดได้ ดังนี้

1) การเก็บข้อมูลในภาคสนาม เมื่อคัดเลือกต้นไม้ตัวอย่างได้แล้ว ทำการวัดขนาด DBH และความสูงทั้งหมดจับพิกัดตำแหน่งด้วยเครื่อง GPS หลังจากนั้นทำการเก็บตัวอย่างใบโดยเก็บมาทั้งกิ่งหรือทั้งช่อใบ จุดที่เลือกเก็บต้องเป็นจุดที่ได้รับแสงมากที่สุดและเป็นใบที่เติบโตเต็มที่ พร้อมกับบันทึกความสูงของตำแหน่งที่เก็บและเปอร์เซ็นต์การได้รับแสงโดยประเมินด้วยสายตา แล้วนำใบไม้ตัวอย่างที่ได้เก็บในถุงพลาสติกอย่างมิดชิดเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ

2) การเก็บตัวอย่างเนื้อไม้ ฯลฯ หลังจากนั้นทำการเก็บตัวอย่างเนื้อไม้ซึ่งต้องเป็นต้นเดียวกันกับต้นที่เก็บตัวอย่างใบ โดยใช้เครื่องเจาะเนื้อไม้ (increment borer) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เจาะที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 1.30 เมตร โดยตำแหน่งที่เจาะจะต้องเป็นผิวเปลือกที่ปกติ คือต้องไม่เป็นพูพอนหรือได้รับอันตรายจนทำให้เปลือกหรือเนื้อไม้เกิดความเสียหาย แล้วทำการเจาะให้ได้ความลึกอย่างน้อย 5 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำตัวอย่างไม้ที่ได้ทั้งหมดรวมทั้งเปลือกเก็บไว้ในหลอด พร้อมกับบันทึกหมายเลขตัวอย่างเนื้อไม้ให้ตรงกับตัวอย่างใบ เพื่อนำตัวอย่างทั้งใบและเนื้อไม้ไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป

3.2 การเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการ แบ่งเป็นการวิเคราะห์ใบและเนื้อไม้ ตามวิธีการของ Perez-Harguindeguy et al. (2013) และ Cronelissen et al. (2003) ดังนี้

1) การวิเคราะห์ใบนำใบไม้ตัวอย่างที่เก็บได้พร้อมด้วยก้านใบประมาณ 2-10 ใบ (ขึ้นอยู่กับขนาดของใบ) นำไปสแกนด้วยเครื่องสแกนคอมพิวเตอร์ เพื่อนำภาพสแกนที่ได้ไปวิเคราะห์หาพื้นที่ใบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Image J (US National Institutes of Health; http://www.nih.gov/, accessed 22 February 2013) หลังจากนั้นนำใบไม้ทั้งหมดที่ทำการสแกนมาชั่งน้ำหนักสดพร้อมกับบันทึกข้อมูล แล้วนำใบไม้ตัวอย่างทั้งหมดใส่ซองกระดาษไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาสเซลเซียส เป็นเวลาเวลา 72 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักหามวลแห้งอีกครั้งหนึ่งพร้อมกับบันทึกข้อมูล หลังจากนั้นนำค่าต่าง ๆ ที่ได้ไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติของใบ (leaf trait) ในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

2) พื้นที่ใบจำเพาะ (specific leaf area: SLA) คำนวณได้จากการพื้นที่ใบที่ได้จากการสแกนหารด้วยน้ำหนักแห้งทั้งหมดที่ได้หลังจากการอบ มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตรต่อกรัม (cm^{-2} g.)

3) ความหนาของใบ (leaf thickness: LT) หาได้จากการวัดความหนาของแผ่นใบด้วยเครื่องวัดความหนาแบบดิจิตอล (digital thickness gauge) ทำการวัดความหนาของแผ่นใบบริเวณกลางใบ โดยหลีกเลี่ยงตรงที่มีเส้นใบนูน ทำการวัดประมาณ 2-3 ใบ จำนวน 2 จุดต่อ 1 ใบ หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

4) สัดส่วนน้ำหนักแห้งต่อน้ำสักสดของใบ (leaf dry matter content; LDMC) หาได้จากสัดส่วนน้ำหนักแห้งของใบ (mg) ต่อน้ำหนักสดของใบ (g)

5) การวิเคราะห์เนื้อไม้ นำตัวอย่างเนื้อไม้ที่ได้มาตัดส่วนของเปลือกและแก่นออก พร้อมทั้งวัดความหนาของเปลือกด้วย caliper verneer digital หลังจากนั้นทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) และความยาวของชิ้นไม้ (L) พร้อมกับบันทึกข้อมูลเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาตรของชิ้นไม้ โดยใช้สูตรการหาปริมาตร (V) ของทรงกระบอก คือ $V = (0.5D)2 \times \pi \times L$ หลังจากนั้นนำชิ้นไม้ไปชั่งน้ำหนักสดด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล แล้วนำชิ้นไม้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พร้อมกับชั่งน้ำหนักแห้ง แล้วทำการวิเคราะห์ ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (wood density: WD) คำนวณได้จากการนำมวลน้ำหนักแห้งหารด้วยปริมาตร มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g cm^{-3})

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ลักษณะสังคมพืชและคุณลักษณะเชิงหน้าที่พรรณพืช

1.1 ดัชนีค่าความสำคัญของชนิดไม้ (importance Value Index, IVI) ได้จากการหาความหนาแน่น (density, D) ความเด่นด้านพื้นที่หน้าตัด (dominance, Do) และความถี่ (frequency, F) จากนั้นทำการหาค่าความสัมพัทธ์ของทั้งสามค่าดังกล่าว คือ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (relative density, RD) ความเด่นสัมพัทธ์ (relative dominance, RDo) และความถี่สัมพัทธ์ (relative frequency, RF) ซึ่งผลรวมของค่าความสัมพัทธ์ทั้งสามค่า ก็คือ ค่าดัชนีความสำคัญ (IVI) ของพรรณพืช (ดอกรัก และอุทิศ, 2552) ดังนี้

ความหนาแน่น (density, D) คือ จำนวนต้นไม้ทั้งหมดของชนิดที่กำหนดที่ปรากฏในแปลงตัวอย่างต่อหน่วยพื้นที่ที่ทำการสำรวจ

$$D_A = \frac{\text{จำนวนต้นทั้งหมดของชนิด A ที่ปรากฏในแปลงตัวอย่าง}}{\text{หน่วยพื้นที่ทั้งหมดของแปลงตัวอย่างที่สำรวจ}}$$

ความถี่ (frequency, F) คือ อัตราร้อยละของจำนวนแปลงตัวอย่างที่ปรากฏพันธุ์ไม้ชนิดที่กำหนดต่อจำนวนแปลงตัวอย่างทั้งหมดที่ทำการสำรวจ

$$F_A = \frac{\text{จำนวนแปลงตัวอย่างที่พบไม้ชนิด A ปรากฏ}}{\text{จำนวนแปลงตัวอย่างทั้งหมดที่สำรวจ}} \times 100$$

ความเด่น (dominance, Do) ในที่นี้จะใช้ความเด่นด้านพื้นที่หน้าตัด (basal area, BA) คือ พื้นที่หน้าตัดของต้นไม้ชนิดที่กำหนด ที่ได้จากการวัดที่ระดับความสูง 1.30 เมตร จากพื้นดินต่อหน่วยพื้นที่ที่ทำการสำรวจ

$$Do_A = \frac{\text{พื้นที่หน้าตัดของไม้ชนิด A}}{\text{หน่วยพื้นที่ทั้งหมดของแปลงตัวอย่างที่สำรวจ}}$$

ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (relative density, RD) คือ สัดส่วนของความหนาแน่นของชนิดไม้ที่ต้องการต่อค่าความหนาแน่นทั้งหมดของไม้ทุกชนิดในสังคม คิดเป็นค่าร้อยละ

$$RD_A = \frac{\text{ความหนาแน่นของไม้ชนิด A}}{\text{ความหนาแน่นของไม้ทุกชนิดในสังคม}} \times 100$$

ความถี่สัมพัทธ์ของชนิดไม้ (relative frequency, RF) คือ สัดส่วนของค่าความถี่ของชนิดไม้ที่ต้องการต่อค่าความถี่ทั้งหมดของไม้ทุกชนิดในสังคม คิดเป็นค่าร้อยละ

$$RF_A = \frac{\text{ความถี่ของไม้ชนิด A}}{\text{ความถี่ของไม้ทุกชนิดในสังคม}} \times 100$$

ความเด่นสัมพัทธ์ของชนิดไม้ (relative dominance, RD) คือ ค่าสัดส่วนของความเด่นของชนิดไม้ที่ต้องการต่อค่าความเด่นทั้งหมดของไม้ทุกชนิดในสังคม คิดเป็นค่าร้อยละ

$$RDo_A \quad \frac{\text{ความเด่นของไม้ชนิด A}}{\text{ความเด่นของไม้ทุกชนิดในสังคม}} \times 100$$

ดัชนีความสำคัญของชนิดไม้ (importance value index, IVI) คือ ผลรวมของค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ และความเด่นสัมพัทธ์ ของชนิดไม้นั้นในสังคม

$$IVI_A = RD_A + RDo_A + RF_A$$

1.2 ดัชนีความหลากชนิด (species diversity index) โดยประยุกต์ใช้สมการของ Shannon – Wiener ดังนี้

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

เมื่อ H' = ค่าดัชนีความหลากชนิดของ Shannon – Wiener

S = จำนวนชนิดพืชพรรณ

Pi = สัดส่วนของจำนวนชนิดที่ i ต่อผลรวมของจำนวนทั้งหมดทุกชนิดในสังคม

1.3 ความเด่นของการปรากฏชนิดไม้ยืนต้นด้วยสมการดัชนีความหลากหลายของ Simpson (Simpson'sindex, λ)

$$\lambda = \sum_{i=1}^{s} Pi^2$$

เมื่อ λ = Simpson'sindex

Pi = สัดส่วนของความมากมายของจำนวนชนิดที่ I เมื่อเทียบกับจำนวนทั้งหมด(N)

โดย $Pi = n_i / N$ เมื่อ I = 1,2,3,..,S

1.4 ความสม่ำเสมอของชนิดพรรณในแต่ละสังคมพืชด้วยสมการของ (Pielou, 1975)

$$J = \frac{H\prime}{\ln(s)}$$

เมื่อ H' = ดัชนีความหลากชนิดของ Shanon – Wiener

S = จำนวนชนิดทั้งหมด (= N_0)

1.5 ความเด่นของลักษณะเชิงหน้าที่

วิเคราะห์ความเด่นของลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช (functional trait dominant) เชิงเดี่ยว (single trait) ในระดับสังคม เพื่อใช้อธิบายถึงองค์ประกอบของลักษณะเชิงหน้าที่ในแต่ละหมู่ไม้ โดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนักเฉลี่ยระดับสังคม (community-level weighted mean: CWM) ด้วย package ad4 ด้วยโปรแกรม R version 3.4.1 (Mouchet et al., 2010) ได้แก่ ค่าถ่วงน้ำหนักเฉลี่ยระดับสังคมของขนาดพื้นที่ใบจำเพาะ (community-level weighted mean of specific leaf area, CWM-SLA) ค่าถ่วงน้ำหนักเฉลี่ยระดับสังคมของขนาดพื้นที่ใบ (community-level weighted mean of leaf area, CWM-LA) ค่าถ่วงน้ำหนักเฉลี่ยระดับสังคมของความหนาใบ (community-level weighted mean of leaf area, CWM-LT) ค่าถ่วงน้ำหนักเฉลี่ยระดับสังคมของสัดส่วนมวลใบแห้ง (community-level weighted mean of leaf mass dry matter content, CWM-LDMC) และ ค่าถ่วงน้ำหนักเฉลี่ยระดับสังคมของความหนาแน่นเนื้อไม้ (community-level weighted mean of wood density, CWM-WD) หาได้จากสูตร ดังนี้

$$\mathrm{CWM} = \sum_{i=1}^{s} \mathrm{Pi} \times \mathrm{trait\ i}$$

เมื่อ pi = ความมากมายสัมพัทธ์ของไม้ชนิดที่ i (ni/N) หรือสัดส่วนของจำนวนต้นไม้ชนิดที่ i ต่อจำนวนต้นทั้งหมด

Trait i = ค่าลักษณะเฉพาะหน้าที่ของไม้ชนิดที i

2. การจัดลำดับสังคมพืช

2.1 ความสัมพันธ์ของสังคมพืชกับปัจจัยแวดล้อม

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสังคมพืชกับปัจจัยแวดล้อม โดยวิเคราะห์การจัดเรียงสังคมพืชตามแนวการลดหลั่นของปัจจัยแวดล้อม ด้วยวิธี Canonical Correspondence Analysis (CCA) โดยใช้โปรแกรม โดยใช้โปรแกรม PC - ORD 6 (McCune and Mefford, 2011) ซึ่งการจัดลำดับสังคมด้วยวิธีนี้จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปัจจัยแวดล้อม หลักการโดยทั่วไปของวิธีการนี้คือ การใช้ multiple regression เพื่อการเลือกเอา linear combination ของปัจจัยแวดล้อมที่อธิบายความแปรผันของ species score ในแต่ละแกน วิธีการนี้จึงสามารถจัดลำดับสังคมพืชและชนิดไม้ภายในสังคมไปตามปัจจัยแวดล้อมได้ในเวลาเดียวกัน (Kent et al., 1994) ผลของการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะทำให้ทราบว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมใดที่มีอิทธิพลเป็นตัวกำหนดองค์ประกอบชนิดพันธุ์พืช จากการวิเคราะห์จะทำให้ทราบการปรากฏของพรรณพืชแต่ละชนิด มีปัจจัยแวดล้อมใดบ้าง เป็นปัจจัยจากัดในแต่ละสังคมพืช

2.2 ความสัมพันธ์สังคมพืชกับลักษณะเชิงหน้าที่พรรณพืช

วิเคราะห์การจัดลำดับสังคมพืชตามแนวการหลดหลั่นของลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช (plant functional trait) ด้วยวิธี Principal component analysis (PCA) โดยใช้โปรแกรม PC - ORD 6 (McCune and Mefford, 2011) จะทำให้ทราบว่าในสังคมพืชในพื้นที่ที่ทำการศึกษา มีไม้ชนิดใดบ้างที่แสดงออกทางค่าลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช จะทำให้ทราบว่าไม้แต่ละชนิดแสดงความเด่นออกทางลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชแบบใด จากการวิเคราะห์จะทำให้ทราบการปรากฏของลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชของไม้แต่ละชนิด

2.3 ความสัมพันธ์ของลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชกับปัจจัยแวดล้อม

ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเด่นลักษณะเชิงหน้าที่ คือ CWM-trait และความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่ คือ FDis, FRic, FEve, FDiv, RaoQ โดยกำหนดให้ลักษณะเชิงหน้าที่เหล่านี้เป็นเมทริกซ์หลัก (main metrix) เพื่อหาความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อม คือ ปริมาณแสง (PAR) ความลึกของดิน (soil) ปริมาณหินโผล่ (Rock) เป็นเมทริกซ์รอง (Second Fric) โดยการลำดับ (ordination) ด้วยวิธี Redundancy analysis (RDA) ด้วยโปรแกรม PC-ORD version 6

3. การทดสอบทางสถิติ

3.1 ความแปรปรวนของปัจจัยแวดล้อม

ทดสอบค่าความแปรปรวนระหว่างปัจจัยแวดล้อม คือ ปริมาณแสง (PAR) ความลึกของดิน (soil) ปริมาณหินโผล่ (Rock) ของแต่ละสังคมพืช คือ เขาหินปูนล้วน และเขาหินปูนผสมหินแกรนิต ด้วยสถิติ T-Test ด้วยโปรแกรม SPSS version 6.0

3.2 ความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่

ทำการวิเคราะห์ความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช โดยลักษณะโดยรวม (mutilative trait) เพื่อวิเคราะห์ค่าความหลากหลายของคุณสมบัติการทำงานของพืชในระดับสังคม (Mason et al., 2007) ได้แก่ การกระจายของลักษณะเชิงหน้าที่ (functional dispersion, FDis; Functional Richness, FRic; Functional evenness, FEve; Functional divergence, FDiv และ Rao's quadratic entropy, RaoQ) ด้วย package ad4 โดยโปรแกรม R version 3.4.1

3.3 ความแปรปรวนของลักษณะเชิงหน้าที่

วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าค่าถ่วงน้ำหนักเฉลี่ยระดับสังคม (CWM) ได้แก่ CWM-SLA, CWM-LT, CWM-LA, CWM-LDMC และ CWM-WD และค่าความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่ ได้แก่ FRic, FEve, FDis, FDiv และ RaoQ ในแต่ละสังคม ได้แก่ ป่าเขาหินปูนล้วน และป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต โดยสถิติ T-Test ด้วยโปรแกรม SPSS version 6.0

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

องค์ประกอบสังคมพืช

1. เขาหินปูนล้วน

1.1 ระดับไม้ใหญ่ (Tree)

เขาหินปูนล้วน พบชนิดพรรณไม้ทั้งหมด 45 ชนิด 41 สกุล 20 วงศ์ มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 7.77 ตร.ม./เฮกแตร์ และมีความหนาแน่นของหมู่ไม้ เท่ากับ 807 ต้น/เฮกแตร์ (ตารางที่ 6) เมื่อพิจารณาชนิดที่มีค่าดัชนีความสำคัญ 10 อันดับแรก ได้แก่ ปอทง (*Sterculia guttata*) เสี้ยวเครือ (*Phanera bracteata*) มะกา (*Bridelia ovata*) ขี้หนอน (*Zollingeria dongnaiensis*) ตะคร้ำ (*Garuga pinnata*) งิ้วผา (*Bombax anceps*) ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus*) ตะแบกเปลือกบาง (*Lagerstroemia duperreana*) ปอฝ้าย (*Firmiana colorata*) และกระพี้จั่น (*Millettia brandisiana*) มีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 44.18, 30.98, 26.08, 19.60, 17.86, 15.51, 14.03, 9.87, 9.49 และ9.38 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ความหลากชนิดของพรรณพืช เมื่อพิจารณาจาก ค่าดัชนีความหลากชนิดของสังคมพืช Shannon-Wiener index (H') มีค่าเท่ากับ 3.08 ค่าดัชนีความหลากหลายของ Simpson's index (λ) มีค่าเท่ากับ 0.07 และ ค่าดัชนีความสม่ำเสมอ Pielou (J) มีค่าเท่ากับ 0.81 (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 1 ค่าดัชนีความสำคัญ (important value index; IVI) ของระดับไม้ใหญ่ป่าเขาหินปูนล้วน และค่าลักษณะทางสังคม ได้แก่ ความหนาแน่น (D; ต้น/เฮกตาร์), พื้นที่หน้าตัด (Ba; ตารางเมตร /เฮกตาร์), และ ความถี่ (F; เปอร์เซ็นต์) วัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี

ลำดับ	ชื่อสามัญ	BA	D	F	IVI
1	ปอทง	1.27	101.54	55.38	44.18
2	เสี้ยวเครือ	0.59	120.00	30.77	30.98
3	มะกา	0.48	95.38	29.23	26.08

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อสามัญ	BA	D	F	IVI
4	ขี้หนอน	0.54	50.77	23.08	19.60
5	ตะคร้ำ	0.57	40.00	20.00	17.86
6	งิ้วผา	0.46	29.23	21.54	15.51
7	ประดู่	0.51	29.23	13.85	14.03
8	ตะแบกเปลือกบาง	0.13	35.38	13.85	9.87
9	ปอฝ้าย	0.23	21.54	13.85	9.49
10	กระพี้จั่น	0.20	30.77	10.77	9.38
11	เสลาดำ	0.26	24.62	9.23	8.98
12	มะกัก	0.36	10.77	7.69	8.09
13	ทองหลาง	0.32	9.23	6.15	6.98
14	ไทรย้อยใบทู่	0.08	35.38	3.08	6.30
15	ขี้อ้าย	0.20	13.85	6.15	5.94
16	ปอหูช้าง	0.13	10.77	9.23	5.55
17	สะท้อน	0.05	13.85	10.77	5.36
18	กางขี้มอด	0.15	9.23	6.15	4.76
19	ส้มกบ	0.14	9.23	6.15	4.68
20	เถาคันไฟ	0.06	15.38	4.62	3.97
21	สลัดได	0.10	10.77	4.62	3.93
22	ขว้าว	0.09	6.15	6.15	3.56
23	ตะคร้อ	0.10	7.69	4.62	3.52
24	กุ๊ก	0.03	7.69	6.15	3.06
25	เพกา	0.10	4.62	3.08	2.72
26	โพธิ์ขี้นก	0.09	7.69	1.54	2.58
27	แคหางค่าง	0.03	4.62	4.62	2.22
28	เข็ม	0.02	10.77	1.54	2.00
29	แคฝอย	0.06	3.08	3.08	1.98

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อสามัญ	BA	D	F	IVI
30	ยอป่า	0.06	4.62	1.54	1.76
31	มะยมผา	0.03	3.08	3.08	1.56
32	สำโรง	0.07	1.54	1.54	1.51
33	สวองตีนเป็ด	0.04	3.08	1.54	1.34
34	กุ่มบก	0.04	3.08	1.54	1.33
35	ปอเกล็ดแรด	0.05	1.54	1.54	1.29
36	ชิงชี่	0.01	4.62	1.54	1.18
37	โมกมัน	0.02	1.54	1.54	0.90
38	ตะแบกแดง	0.01	3.08	1.54	0.89
39	แสมสาร	0.02	1.54	1.54	0.87
40	ผกากอง	0.00	3.08	1.54	0.85
41	ปรู๋	0.01	1.54	1.54	0.75
42	ตาตุ่มบก	0.01	1.54	1.54	0.68
43	หมัน	0.00	1.54	1.54	0.66
44	มะเกลือ	0.00	1.54	1.54	0.64
45	ปอมื่น	0.00	1.54	1.54	0.64
	Total	**7.77**	**807.69**	**363.08**	**300.00**

1.2 ระดับลูกไม้ / กล้าไม้ (Sapling/Seedling)

เขาหินปูนหินล้วน พบชนิดพรรณไม้ทั้งหมด 47 ชนิด 40 สกุล 20 วงศ์ มีความหนาแน่นของหมู่ไม้ เท่ากับ 5727 ต้น/เฮกแตร์ (ตารางที่ 6) เมื่อพิจารณาชนิดที่มีค่าดัชนีความสำคัญ 10 อันดับแรก ได้แก่ มะกา (*Bridelia ovata*) ขี้หนอน (*Zollingeria dongnaiensis*) เสี้ยวเครือ (*Phanera bracteata*) มะเกลือ (*Diospyros mollis*) ตะคร้ำ (*Garuga pinnata*) ปอฝ้าย (*Firmiana colorata*) ยอเถื่อน (*Morinda angustifolia*) ส้มกบ (*Hymenodictyon orixense*) ตะแบกเปลือกบาง (*Lagerstroemia duperreana*) และกางขี้มอด (*Albizia odoratissima*) มีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 31.60, 19.66, 15.90, 12.91, 10.61, 10.41, 9.48, 6.94, 6.40, และ 4.92ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ความหลากชนิดของพรรณพืช เมื่อพิจารณาจาก ค่าดัชนีความหลากชนิดของสังคมพืช

Shannon-Wiener index (H') มีค่าเท่ากับ 3.14 ค่าดัชนีความหลากหลายของ Simpson's index (λ) มีค่าเท่ากับ 0.07 และ ค่าดัชนีความสม่ำเสมอ Pielou (J) มีค่าเท่ากับ 0.82 (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 2 ค่าดัชนีความสำคัญ (important value index; IVI) ของระดับลูกไม้/กล้าไม้ ป่าเขาหินปูนล้วน และค่าลักษณะทางสังคม: ความหนาแน่น (D; ต้น/เฮกตาร์) และความถี่ (F; เปอร์เซ็นต์) วัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี

ลำดับ	ชื่อสามัญ	D	F	IVI
1	มะกา	1065.09	69.23	31.60
2	ขี้หนอน	579.88	50.77	19.66
3	เสี้ยวเครือ	414.20	46.15	15.90
4	มะเกลือ	408.28	30.77	12.91
5	ตะคร้ำ	260.36	32.31	10.61
6	ปอฝ้าย	248.52	32.31	10.41
7	ยอดิน	360.95	16.92	9.48
8	ส้มกบ	165.68	21.54	6.94
9	ตะแบกเปลือกบาง	201.18	15.38	6.40
10	กางขี้มอด	165.68	10.77	4.92
11	งิ้วผา	76.92	16.92	4.52
12	กระพี้จั่น	124.26	12.31	4.48
13	กระเจียน	82.84	13.85	4.05
14	มะยมผา	112.43	10.77	3.99
15	ปอแดง	76.92	13.85	3.94
16	ข่อย	136.09	7.69	3.82
17	สาธร	130.18	6.15	3.43
18	ผ่าเสี้ยน	136.09	4.62	3.24
19	เสลาดำ	71.01	9.23	2.97
20	แคฝอย	65.09	9.23	2.87
21	ปอหูช้าง	88.76	6.15	2.71
22	ตะคร้อ	71.01	6.15	2.40

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อสามัญ	D	F	IVI
23	ประดู่	65.09	6.15	2.29
24	กุ๊ก	47.34	7.69	2.27
25	เข็ม	65.09	4.62	2.00
26	ไทรย้อยใบทู่	47.34	4.62	1.69
27	ทองหลาง	29.59	6.15	1.67
28	โมกหลวง	29.59	6.15	1.67
29	โมกมัน	53.25	3.08	1.51
30	มะกัก	35.50	4.62	1.49
31	เถาคันไฟ	23.67	4.62	1.28
32	ยอป่า	23.67	4.62	1.28
33	สะเดา	17.75	4.62	1.18
34	รักขาว	29.59	3.08	1.09
35	ผกากอง	41.42	1.54	1.01
36	ปอแท่นเทา	23.67	3.08	0.99
37	ปีบ	23.67	3.08	0.99
38	ขี้อ้าย	17.75	3.08	0.89
39	ปอเกล็ดแรด	17.75	3.08	0.89
40	เพกา	17.75	3.08	0.89
41	มะกอก	11.83	3.08	0.78
42	แจง	23.67	1.54	0.70
43	สวองตีนเป็ด	11.83	1.54	0.50
44	สะท้อน	11.83	1.54	0.50
45	ยมหิน	5.92	1.54	0.39
46	สลัดได	5.92	1.54	0.39
47	หนามแท่ง	5.92	1.54	0.39
	Total	**5727.81**	**532.31**	**200.00**

2. เขาหินปูนผสมหินแกรนิต

2.1 ระดับไม้ใหญ่ (Tree)

เขาหินปูนผสมหินแกรนิต พบชนิดพรรณไม้ทั้งหมด 43 ชนิด 40 สกุล 19 วงศ์ มีขนาดพื้นที่หน้าตัด เท่ากับ 7.65 ตร.ม./เฮกแตร์ และมีความหนาแน่นของหมู่ไม้ เท่ากับ 672 ต้น/เฮกแตร์ (ตารางที่ 6) เมื่อพิจารณาชนิดที่มีค่าดัชนีความสำคัญ 10 อันดับแรก ได้แก่ งิ้วผา ส้มกบ (*Hymenodictyon orixense*) กางขี้มอด (*Albizia odoratissima)* ยอป่า (*Morinda coreia*) ตะคร้ำ สาธร (*Millettia leucantha*) แดง (*Xylia xylocarpa)* กระพี้จั่น มะกอก (*Spondias pinnata*) และมะกัก (*Spondias bipinnata*) มีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 59.70, 39.60, 28.94, 16.62, 16.57, 16.25, 12.32, 10.29, 9.27 และ8.54 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ความหลากชนิดของพรรณพืชร เมื่อพิจารณาจาก ค่าดัชนีความหลากชนิดของสังคมพืช Shannon-Wiener index (H') มีค่าเท่ากับ 2.89 ค่าดัชนีความหลากหลายของ Simpson's index (λ) มีค่าเท่ากับ 0.08 และ ค่าดัชนีความสม่ำเสมอ Pielou (J) มีค่าเท่ากับ 0.77 (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีความสำคัญ (important value index; IVI) ของระดับไม้ใหญ่ ป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต และค่าลักษณะทางสังคม: ความหนาแน่น (D; ต้น/เฮกตาร์), พื้นที่หน้าตัด (Ba; ตารางเมตร /เฮกตาร์), และความถี่ (F; เปอร์เซ็นต์) วัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี

ลำดับ	ชื่อสามัญ	BA	D	F	IVI
1	งิ้วผา	1.72	131.43	64.29	59.70
2	ส้มกบ	1.15	94.29	38.57	39.60
3	กางขี้มอด	0.79	80.00	24.29	28.94
4	ยอป่า	0.38	38.57	21.43	16.62
5	ตะคร้ำ	0.42	37.14	20.00	16.57
6	สาธร	0.26	38.57	25.71	16.25
7	แดง	0.22	37.14	14.29	12.32
8	กระพี้จั่น	0.19	25.71	14.29	10.29
9	มะกอก	0.32	12.86	11.43	9.27
10	มะกัก	0.42	7.14	7.14	8.54

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อสามัญ	BA	D	F	IVI
11	หมีเหม็น	0.21	18.57	10.00	8.30
12	แคฝอย	0.19	17.14	10.00	7.77
13	สะท้อน	0.07	14.29	10.00	5.75
14	ประดู่	0.15	7.14	5.71	4.58
15	ยมหิน	0.20	8.57	1.43	4.22
16	แสมสาร	0.07	8.57	7.14	4.16
17	ตะคร้อ	0.08	10.00	5.71	4.09
18	ปอฝ้าย	0.05	7.14	7.14	3.72
19	เปียด	0.04	7.14	5.71	3.21
20	ค้อนกลอง	0.12	5.71	2.86	3.16
21	ตะแบกเปลือกบาง	0.05	5.71	5.71	3.12
22	แคหัวหมู	0.07	5.71	4.29	2.91
23	กระเจียน	0.02	5.71	5.71	2.64
24	กุ๊ก	0.06	4.29	4.29	2.62
25	ขี้หนอน	0.07	4.29	2.86	2.28
26	โมกมัน	0.03	4.29	4.29	2.15
27	แคทราย	0.05	4.29	2.86	2.05
28	ปีบ	0.02	5.71	2.86	1.87
29	เสี้ยวเครือ	0.04	2.86	1.43	1.29
30	แจง	0.01	2.86	2.86	1.28
31	สะแกแสง	0.02	2.86	1.43	1.05
32	ปอหมื้น	0.03	1.43	1.43	0.98
33	สวองตีนเป็ด	0.03	1.43	1.43	0.97
34	คงคาเดือด	0.03	1.43	1.43	0.94

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อสามัญ	BA	D	F	IVI
35	ปอทง	0.02	1.43	1.43	0.88
36	หมัน	0.02	1.43	1.43	0.86
37	มะตูม	0.01	1.43	1.43	0.78
38	เสลาดำ	0.01	1.43	1.43	0.78
39	แคหางค่าง	0.01	1.43	1.43	0.74
40	ไทรใบทู่	0.01	1.43	1.43	0.74
41	โพธิ์ขี้นก	0.01	1.43	1.43	0.70
42	สมอภิเพก	0.01	1.43	1.43	0.69
43	ผกากอง	0.00	1.43	1.43	0.63
	Total	7.66	672.86	362.86	300.00

2.2 ระดับลูกไม้ / กล้าไม้ (Sapling/Seedling)

เขาหินปูนผสมหินแกรนิต พบชนิดพรรณไม้ทั้งหมด 43 ชนิด 38 สกุล 18 วงศ์ มีความหนาแน่นของหมู่ไม้ เท่ากับ 4769 ต้น/เฮกแตร์ (ตารางที่ 6) เมื่อพิจารณาชนิดที่มีค่าดัชนีความสำคัญ 10 อันดับแรก ได้แก่ ส้มกบ (*Hymenodictyon orixense*) งิ้วผา (*Bombax anceps*) กางขี้มอด (*Albizia odoratissima*) กระพี้จั่น (*Millettia brandisiana*) ตะคร้ำ (*Garuga pinnata*) สาธร (*Millettia leucantha*) เปี ย ด (*Premna tomentosa*) แ ด ง (*Xylia xylocarpa*) แ ค หั ว ห มู (*Markhamia stipulata*) และยอเถื่อน (*Morinda angustifolia*) มีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 29.84, 23.52, 22.30, 12.70, 12.02, 8.33, 7.97, 7.22, 6.73 และ 5.79 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ความหลากชนิดของพรรณพืช เมื่อพิจารณาจาก ค่าดัชนีความหลากชนิดของสังคมพืช Shannon-Wiener index (H') มีค่าเท่ากับ 2.97 ค่าดัชนีความหลากหลายของ Simpson's index (λ) มีค่าเท่ากับ 0.08 และ ค่าดัชนีความสม่ำเสมอ Pielou (J) มีค่าเท่ากับ 0.79 (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 4 ค่าดัชนีความสำคัญ (important value index; IVI) ของระดับลูกไม้/กล้าไม้ป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต และค่าลักษณะทางสังคม: ความหนาแน่น (D; ต้น/เฮกตาร์) และความถี่ (F; เปอร์เซ็นต์) วัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี

ลำดับ	ชื่อสามัญ	D	F	IVI
1	ส้มกบ	873.63	52.86	29.84
2	งิ้วผา	527.47	57.14	23.52
3	กางขี้มอด	587.91	45.71	22.30
4	กระพี้จั่น	368.13	22.86	12.70
5	ตะคร้ำ	291.21	27.14	12.02
6	สาธร	159.34	22.86	8.33
7	เปียด	186.81	18.57	7.97
8	แดง	225.27	11.43	7.22
9	แคหัวหมู	142.86	17.14	6.73
10	ยอเถื่อน	186.81	8.57	5.79
11	มะกา	120.88	12.86	5.34
12	กะเจียน	115.38	8.57	4.29
13	ยมหิน	71.43	11.43	3.99
14	มะกอก	43.96	11.43	3.41
15	เปล้าหลวง	71.43	7.14	3.06
16	หมีเหม็น	54.95	8.57	3.02
17	โมกมัน	43.96	8.57	2.79
18	ยอป่า	54.95	7.14	2.71
19	แคฝอย	49.45	7.14	2.59
20	สะท้อน	54.95	5.71	2.40
21	มะตูม	49.45	5.71	2.28
22	ประดู่	32.97	7.14	2.25

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อสามัญ	D	F	IVI
23	เพกา	32.97	7.14	2.25
24	ขี้หนอน	32.97	5.71	1.94
25	แคห่างค่าง	32.97	5.71	1.94
26	ปอแก่นเทา	32.97	5.71	1.94
27	ปีบ	43.96	4.29	1.86
28	เสี้ยวเครือ	27.47	5.71	1.82
29	สะแกแสง	38.46	4.29	1.74
30	ตะแบกเปลือกบาง	43.96	2.86	1.54
31	ปอฝ้าย	27.47	4.29	1.51
32	ผ่าเสี้ยน	27.47	4.29	1.51
33	ปอทง	21.98	2.86	1.08
34	ราชดัด	16.48	2.86	0.97
35	สะเดา	16.48	2.86	0.97
36	มะกัก	10.99	2.86	0.85
37	มะเกลือ	10.99	2.86	0.85
38	แคทราย	10.99	1.43	0.54
39	กาสามปีก	5.49	1.43	0.43
40	ตะคร้อ	5.49	1.43	0.43
41	เม่าไข่ปลา	5.49	1.43	0.43
42	เสลาขาว	5.49	1.43	0.43
43	แสมสาร	5.49	1.43	0.43
	Total	**4769.23**	**458.57**	**200.00**

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในแต่ละสังคมพืช

พบว่าป่าเขาหินปูนล้วน มีปัจจัยแวดล้อมด้าน ปริมาณแสง และปริมาณหินโผล่มากกว่าป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) มีค่าเท่ากับ 252.73 และ 64.85 ตามลำดับ ส่วนความลึกดินพบว่ามีค่ามากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในป่าเขาหินปูนผสมหินแกนิต มีเท่ากับ 12.17 ดัง (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ค่าความแปรปรวนระหว่างปัจจัยแวดล้อม คือ ปริมาณแสง (PAR, μmol m^2) ความลึกของดิน (soil, <M) ปริมาณหินโผล่ (Rock, %) ของแต่ละสังคมพืช คือ เขาหินปูนล้วน และเขาหินปูนผสมหินแกรนิต วัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี

ปัจจัยแวดล้อม	Mean±Standard Divition		*p*-value
	ป่าเขาหินปูนล้วน	ป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต	
PAR	252.73±360.30	68.10±102.37	0.000
Soil	5.34±2.38	12.17±3.40	0.035
Rock	64.85±18.41	30.29±21.40	0.043

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างป่าและองค์ประกอบพรรณพืช จะเห็นได้ว่า เขาหินปูนล้วน มีลักษณะทางสังคมได้แก่ จำนวนชนิด ดัชนีความหลากหลายของ Shannon index ขนาดพื้นที่หน้าตัด และความหนาแน่น มากกว่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต ทั้งในระดับไม้ต้น และระดับลูกไม้ / กล้าไม้ แสดงให้เห็นว่าสังคมพืชเขาหินปูนล้วนมีศักยภาพของพื้นที่สูงในการส่งเสริมและเปิดโอกาสให้มีการตั้งตัวของชนิดพรรณไม้ได้ดีกว่าพื้นที่อื่น ๆ เนื่องจากมีปัจจัยแวดล้อมที่มีความเหมาะสมทั้งปริมาณแสงสว่าง (PAR) และความลึกของดิน (soil depth) รวมถึงปริมาณหินโผล่ (rocl outcrop) หรือกล่าวได้ว่ามีปัจจัยแวดล้อมที่เหมาะสมกับชนิดพรรณที่เฉพาะเจาะจงกับเขาหินปูนมากกว่า คือ การที่ปรากฏหินปูนบริสุทธิ์อยู่จำนวนมาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Asanok and Marod (2013) ที่ระบุว่า หินปูนเป็นปัจจัยจำกัดของชนิดพรรณที่จำเพาะเจาะจงกับป่าเขาหินปูนเท่านั้น เช่น ปอทง (*Sterculia guttata*) เมื่อพิจารณาการสืบต่อพันธุ์ตามธรรมชาติโดยรวมพบว่ามีการสืบต่อพันธุ์เป็นแบบปกติ กล่าวคือมีการเติบโตจากระดับกล้าไม้/ลูกไม้ ไปเป็นไม้ต้น หรือมีขนาดเพิ่มขึ้น เป็นต้น นอกจากนั้นยังพบว่า ในเขาหินปูนผสมหินแกรนิต แม้ว่าจะปรากฏพื้นดินมากกว่าแต่พื้นที่ส่วนใหญ่ถูกปกคลุมด้วยไม้ไผ่ จึงทำให้มีการขัดขวางการสืบต่อพันธุ์ตามธรรมชาติของไม้อื่น ๆ เนื่องจากไม้ไผ่เป็นพืชที่มีลักษณะบางประการขัดขวางการการสืบต่อพันธุ์เนื่องจากมีการปก

คลุมของใบอย่างหนาแน่น (Larpkern et al., 2011) นอกจากนั้นในป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิตยังปรากฏร่องรอยของไฟป่าอยู่บ่อยครั้ง จึงส่งผลให้เกิดไม้เบิกนำขึ้นมากปกคลุมพื้นที่ เช่น งิ้วผา และส้มกบ ซึ่งไม้กลุ่มนี้ถือว่าเป็นไม้โตเร็วที่ขึ้นทดแทนในพื้นที่ที่ถูกรบกวนอย่างรุนแรงจากไฟป่า (Goodale et al., 2012) และเมื่อหลังจากเกิดไฟไหม้แล้วสภาพป่าก็จะกลับเริ่มฟื้นตัวขึ้นมาจึงทำให้ปรากฏชนิดไม้ในสังคมถาวรปรากฏอยู่ในพื้นที่ด้วย (Costa et al., 2017) ในทางตรงกันข้ามเขาหินปูนล้วนกลับมีการปรากฏโขดหินปูนเป็นอยู่จำนวนมากจึงทำให้ไฟป่าไม่สามารถลุกลามขึ้นไปยังยอดเขาได้ อาจด้วยเหตุผลนี้ที่ส่งผลให้ไม้ต้นในป่าเขาหินปูนล้วนสามารถสืบต่อพันธุ์ได้มากกว่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต

ตารางที่ 6 ค่าลักษณะทางสังคม: ได้แก่ ชนิด (Sp), สกุล (G), วงศ์ (F), ความหนาแน่น (D; ต้น/เฮกตาร์), พื้นที่หน้าตัด (Ba; ตารางเมตร/เฮกตาร์), ดัชนีความหลากชนิด (*H'*), ค่าความเด่นของการปรากฏชนิด (λ), และความสม่ำเสมอของชนิด (*J*) ของป่าเขาหินปูนล้วน และป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต วัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี

ค่าลักษณะทางสังคม	ป่าเขาหินปูนล้วน	ป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต
ไม้ต้น		
จำนวนชนิด (Sp)	45	43
จำนวนสกุล (G)	41	40
จำนวนวงศ์ (F)	20	19
ความหนาแน่น (D; ต้น/เฮกตาร์)	807	672
พื้นที่หน้าตัด (Ba; ตารางเมตร/เฮกตาร์)	7.77	7.65
ความหลากหลายชนิด (H')	3.08	2.89
ความเด่นของการปรากฏชนิด (λ),	0.07	0.08
ความสม่ำเสมอ (J)	0.81	0.77
ลูกไม้/กล้าไม้		
ชนิด (Sp)	47	43
สกุล (G)	40	38
วงศ์ (F)	20	18
ความหนาแน่น (D; ต้น/เฮกตาร์)	5727	4769
ความหลากหลายชนิด (H')	3.14	2.97
ความเด่นของการปรากฏชนิด (λ),	0.07	0.08
ความสม่ำเสมอ (J)	0.82	0.79

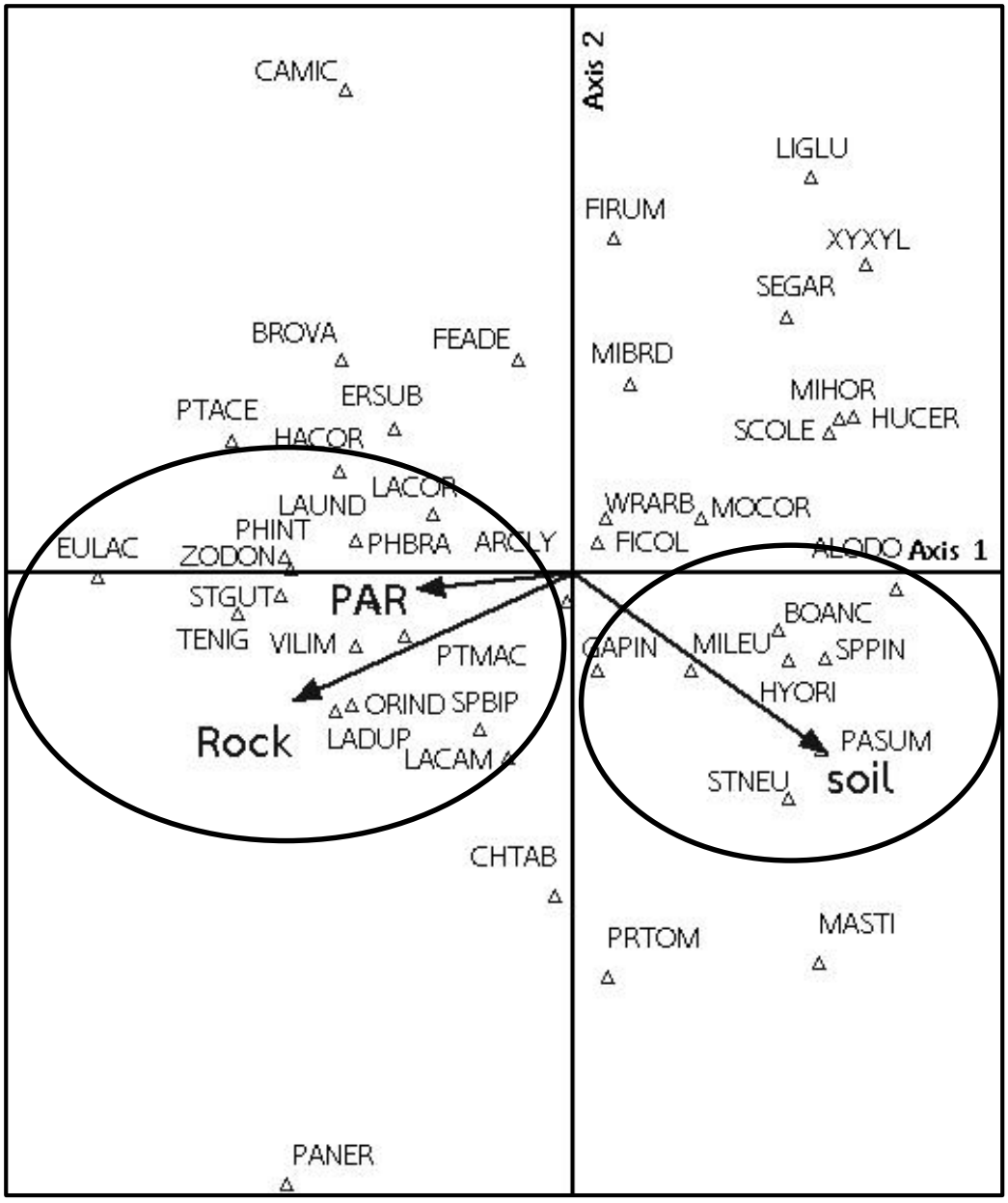
ความสัมพันธ์ของสังคมพืชกับปัจจัยแวดล้อม

1. ระดับไม้ใหญ่ (Tree)

จากการวิเคราะห์การจัดลำดับสังคมพืชตามปัจจัยแวดล้อม เมื่อพิจารณาในระดับไม้ใหญ่ พบว่าค่า Eigenvalues ของ แกน 1 (Axis 1) แกน 2 (Axis 2) และแกน 3 (Axis 3) เท่ากับ 0.498, 0.217 และ 0.177 ตามลำดับ ค่าความสหสัมพันธ์ของ Pearson Correlation ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับพรรณไม้ต้นอยู่ระดับสูงในแกน 1 (Axis 1) มีค่า 0. 840 และแกน 2 (Axis 2) มีค่า 0.645 ดังนั้น การใช้ผลการวิเคราะห์แกน 1 และแกน 2 จึงมีความเหมาะสมสำหรับการใช้อธิบายปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีความสัมพันธ์กับพรรณไม้ต้น พบว่าชนิดไม้ที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมในป่าเขาหินปูนล้วนและป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต โดย สามารถออกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มชัดเจน (ภาพที่ 3) ได้แก่

1) กลุ่มที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมด้านปริมาณหินโผล่ (Rock outcrop) และปริมาณแสง (PAR) คือ ปอทง (*Sterculia guttata*, STGUT) เถาคันไฟ (*Phanera integrifolia*, PHINT) มะกัก (*Spondias bipinnata*, SPBIP) ขี้อ้าย (*Terminalia nigrovenulosa*, TENIG) สลัดได (*Euphorbia lacei*, EULAC) สวองตีนเป็ด (*Vitex limonifolia*, VILIM) เพกา (*Oroxylum indicum*, ORIND) ตะแบกเปลือกบาง (*Lagerstroemia duperreana*, LADUP) ผกากอง (*Lantana camara*, LACAM) ขี้หนอน (*Zollingeria dongnaiensis*, ZODON) เสี้ยวเครือ (*Phanera bracteata*, PHBRA) เสลาดำ (*Lagerstroemia undulata*, LAUND) และ ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus*, PTMAC) เป็นต้น แสดงให้เห็นว่าพืชกลุ่มนี้เป็นพืชที่สามารถตั้งตัวได้ดีในพื้นที่ที่มีปริมาณหินโผล่มาก และบริเวณที่มีแสงแดดจัด

2) กลุ่มที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมด้านความลึกดิน (soil) คือ มะกอก (*Spondias pinnata*, SPPIN) กางขี้มอด (Albizia odoratissima, ALODO) ส้มกบ (*Hymenodictyon orixense*, HYORI) งิ้วผา (*Bombax anceps*, BOANC) ค้อนกลอง (*Parkia sumatrana*, PASUM) สาธร (*Millettia leucantha*, MILEU) และแคฝอย (*Stereospermum neuranthum*, STNEU) เป็นต้น แสดงให้เห็นว่าพืชกลุ่มนี้สามารถตั้งตัวได้ดีในพื้นที่ที่มีเนื้อดินเยอะ หรือมีความลึกของดินมาก



ภาพที่ 3 การจัดลำดับความสัมพันธ์ของสังคมพืชกับปัจจัยแวดล้อม ระดับไม้ใหญ่ ด้วยวิธี CCA โดยใช้ปัจจัยแวดล้อม คือ ปริมาณหินโผล่ (Rock) ปริมาณแสง (PAR) และความลึกดิน (soil) ของป่าเขาหินปูนล้วน และป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต วัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี

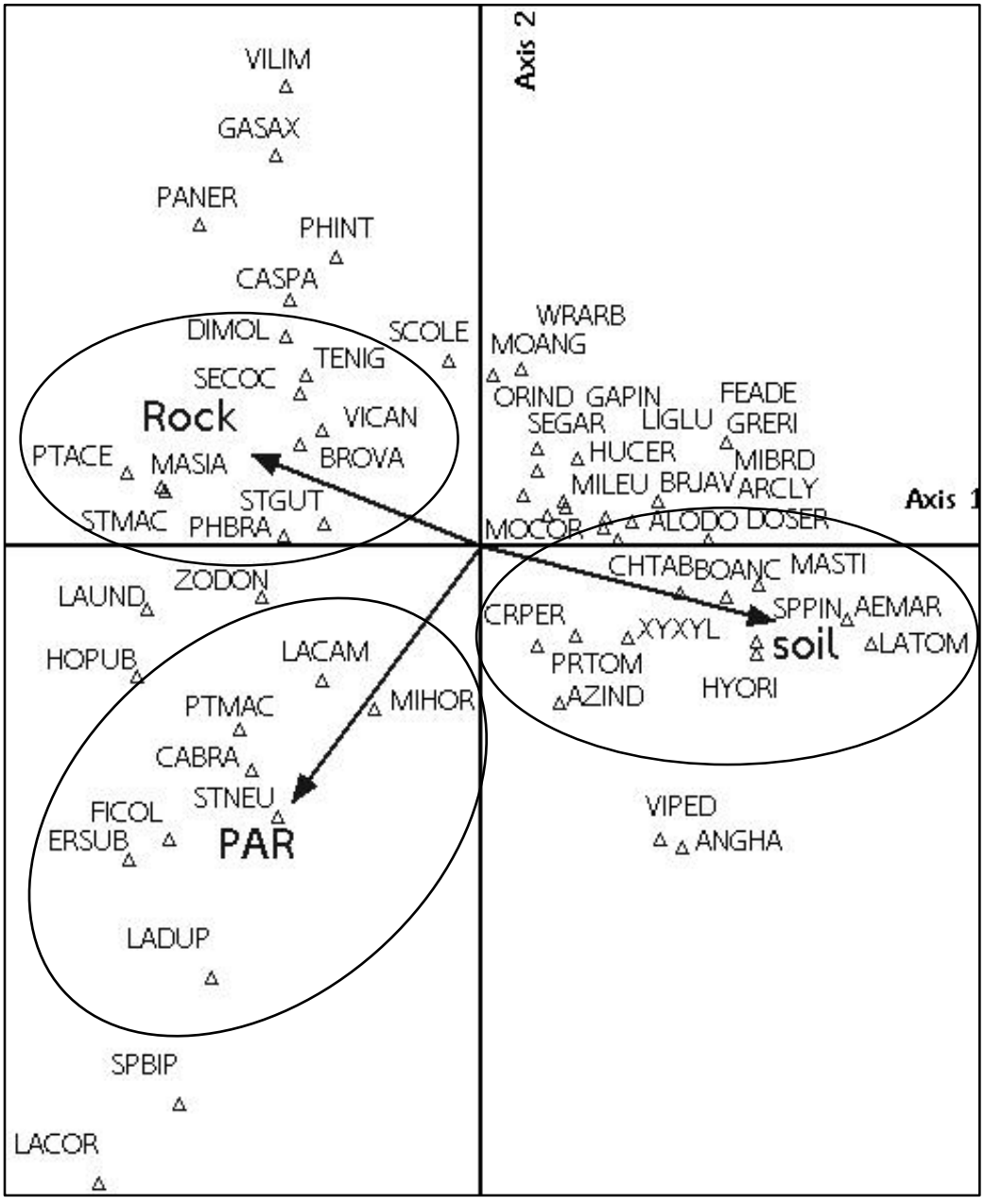
2. ระดับลูกไม้ / กล้าไม้ (Sapling/Seedling)

จากการวิเคราะห์การจัดลำดับสังคมพืชตามปัจจัยแวดล้อม เมื่อพิจารณาในระดับไม้รุ่น พบว่า ค่า Eigenvalues ของ แกน 1 (Axis 1) แกน 2 (Axis 2) และแกน 3 (Axis 3) เท่ากับ 0.391, 0.217 และ 0.151 ตามลำดับ ค่าความสหสัมพันธ์ของ Pearson Correlation ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมกับพรรณไม้ต้นอยู่ระดับสูงในแกน 1 (Axis 1) มีค่า 0. 824 และแกน 2 (Axis 2) มีค่า 0.740 ดังนั้น การใช้ผลการวิเคราะห์แกน 1 และแกน 2 จึงมีความเหมาะสมสำหรับการใช้อธิบายปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีความสัมพันธ์กับพรรณไม้ต้น พบว่าชนิดไม้ที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมในป่าเขาหินปูน โดย สามารถออกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มชัดเจน (ภาพที่ 4) ได้แก่

1) กลุ่มที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมด้านปริมาณหินโผล่ (Rock) คือ ปอทง เสี้ยว เครือ มะกา (*Bridelia ovata*, BAOVA) ผ่าเสี้ยน (*Vitex canescens*, VICAN) แจง (*Maerua siamensis*, MASIA) ปอเกล็ดแรด (*Sterculia macrophylla*, STMAC) ปอหูช้าง (*Pterospermum acerifolium*, PTACE) รักขาว (*Semecarpus cochinchinensis*, SECOC) และขี้อ้าย เป็นต้น แสดงให้เห็นว่าพืชกลุ่มนี้เป็นพืชที่สามารถตั้งตัวได้ดีในพื้นที่ที่มีปริมาณหินโผล่มาก

2) กลุ่มที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมด้านปริมาณแสง (PAR) คือ แคฝอย สะแกแสง (*Cananga brandisiana*, CABRA) ปอฝ้าย (*Firmiana colorata*, FICOL) ประดู่ ทองหลาง (*Erythrina subumbrans*, ERSUB) ผกากอง ปีบ (*Millingtonia hortensis*, MIHOR) และตะแบกเปลือกบาง เป็นต้น แสดงว่าพืชกลุ่มนี้สามารถตั้งตัวได้ดี บริเวณที่มีแสงแดดจัด

3) กลุ่มที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมด้านความลึกดิน (soil) คือ มะกอก ส้มกบ งิ้วผา มะตูม (*Aegle marmelos*, AEMAR) เสลาขาว (*Lagerstroemia tomentosa*, LATOM) แคหัวหมู (*Markhamia stipulate*, MASTI) แดง (*Xylia xylocarpa*, XYXYL) เปียด (*Premna tomentosa*, PRTOM) กางขี้มอด และแคทราย (*Dolichandrone serrulata*, DOSER) เป็นต้น แสดงให้เห็นว่าพืชกลุ่มนี้สามารถตั้งตัวได้ดีในพื้นที่ที่มีเนื้อดินเยอะ หรือมีความลึกของดินมาก



ภาพที่ 4 การจัดลำดับความสัมพันธ์ของสังคมพืชกับปัจจัยแวดล้อม ระดับลูกไม้/กล้าไม้ ด้วยวิธี CCAโดยใช้ปัจจัยแวดล้อม ได้แก่ ปริมาณหินโผล่ (Rock) ปริมาณแสง (PAR) และความลึกดิน (soil) ของป่าเขาหินปูนล้วน และป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต วัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี

เมื่อพิจารณาสังคมพืชป่าเขาหินปูนล้วน พบว่า พืชที่ปกคลุมพื้นที่ทั้งในระดับกล้าไม้/ลูกไม้และไม้ต้นเป็นชนิดพรรณที่เฉพาะเจาะจงกับเขาหินปูน เช่น ปอทง แสดงให้เห็นว่าสังคมพืชเขาหินปูนล้วน มีปัจจัยแวดล้อมที่เหมาะสมกับชนิดพรรณที่เฉพาะเจาะจงกับเขาหินปูน นอกจากนั้นสังคมพืชเขาหินปูนล้วน ยังปรากฏหินปูนบริสุทธิ์อยู่จำนวนมาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Asanok and Marod (2013) ที่ระบุว่า หินปูนเป็นปัจจัยจำกัดของชนิดพรรณที่จำเพาะเจาะจงกับป่าเขาหินปูนเท่านั้น เนื่องจากสังคมพืชเขาหินปูนมีลักษณะทางกายภาพ เช่น หน้าผาสูงชัน ยอดแหลม และลานหิน บริเวณดังกล่าวมีสภาพที่แสงแดดรุนแรง ทำให้ปรากฏชนิดพรรณที่สามารถเติบโตและตั้งตัวได้ดีในสภาพแสงแดดรุนแรง เช่น สลัดได ส่วนป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิตที่มีลักษณะคล้ายกับป่าเบญจพรรณและมีเนื้อดินเยอะ หรือมีความลึกดินมาก และมีการรบกวนจากไฟป่า ทำให้ปรากฏกลุ่มไม้เบิกนำ จึงส่งผลไม้กลุ่มไม้เบิกนำขึ้นปกคลุมพื้นทั้งในระดับกล้าไม้/ลูกไม้ และไม้ต้น เช่น มะกอก ส้มกบ และ งิ้วผา พรรณพืชกลุ่มนี้ยังความสัมพันธ์กับปริมาณความลึกดิน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Asanok and Marod (2016) ที่ระบุว่า พบว่าพรรณพืชป่าเบญจพรรณมีความสัมพันธ์กับความลึกของดิน

ความสัมพันธ์ของสังคมพืชกับลักษณะเชิงหน้าที่พรรณพืช

ผลการวิเคราะห์การจัดลำดับ ด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก PCA เพื่อพิจารณาการปรากฏของสังคมพืชตามลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช พบว่าชนิดไม้เด่นในป่าเขาหินปูนแสดงออกทางลักษณะเชิงหน้าที่ โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มชัดเจน (ภาพที่ 5) ได้แก่

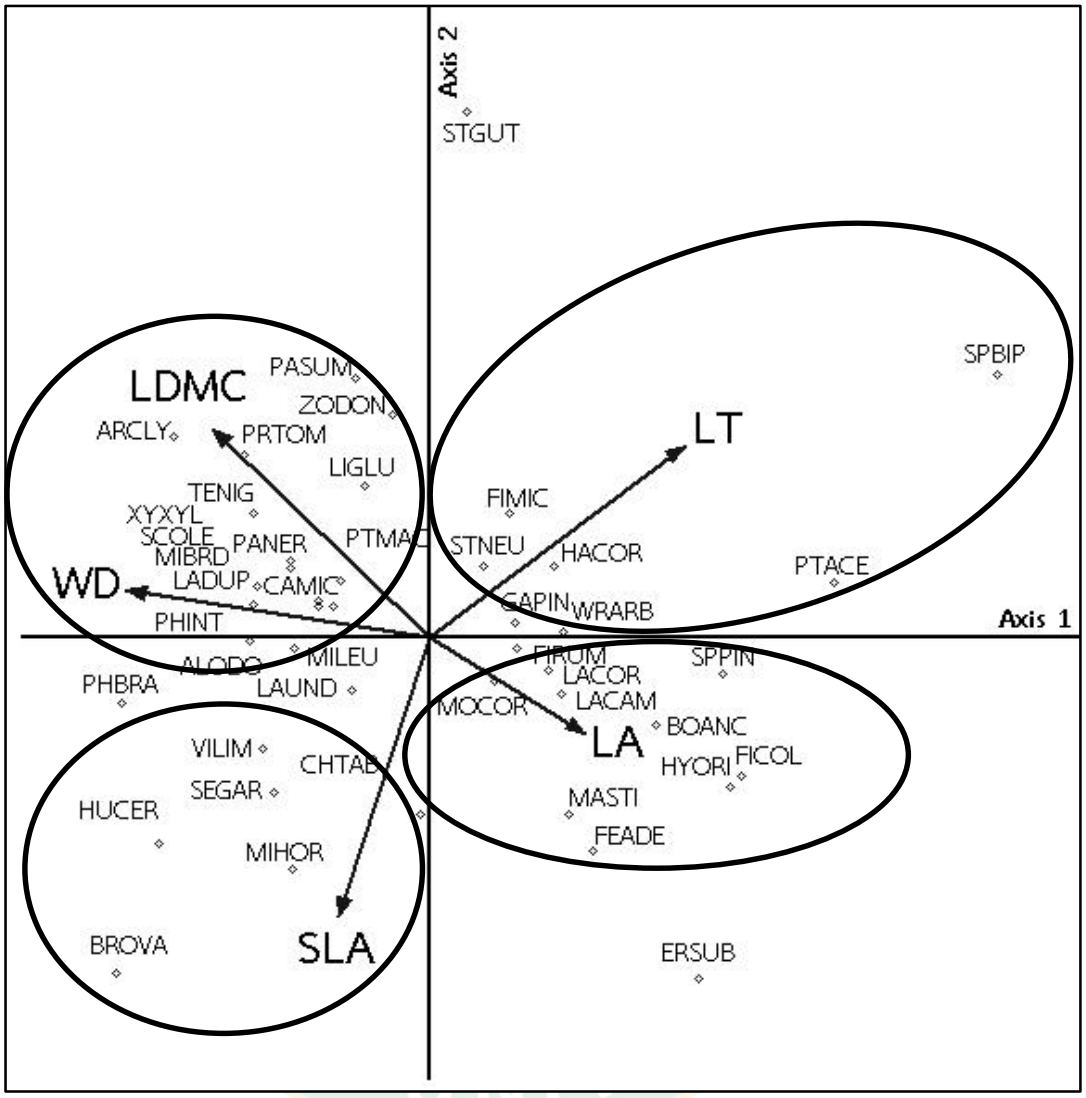
1) ชนิดที่มีความเด่นของสัดส่วนน้ำหนักแห้งต่อน้ำหนักสดของใบ (LDMC) และความหนาแน่นของเนื้อไม้ (WD) คือ สะท้อน (*Archidendron clypearia*, ARCLY) เปียด (*Premna tomentosa*, PRTOM) ขี้หนอน (*Zollingeria dongnaiensis*, ZODON) แดง ค้อนกลอง (*Parkia sumatrana*, PASUM) ขี้อ้าย หมีเหม็น (*Litsea glutinosa*, LIGLU) กระพี้จั่น (*Millettia brandisiana*, MIBRD) ตะแบกเปลือกบาง ชิงชี่ (*Capparis micracantha*, CAMIC) เข็ม (*Pavetta nervosa*, PANER) เถาคันไฟ และตะคร้อ (*Schleichera oleosa*, SCOLE) เป็นต้น แสดงว่าพืชกลุ่มนี้เป็นพืชโตช้า และเป็นพืชต้นทุนสูง เนื่องจากต้องใช้ทรัพยากรจำนวนมากสำหรับการเจริญเติบโตและหมุนเวียนธาตุอาหารในระบบนิเวศได้ช้า (McGill et al., 2006)

2) ชนิดที่มีความเด่นด้านพื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) สูง คือ มะกา (*Bridelia ovata*, BROVA) กระเจียน (*Hubera cerasoides*, HUCER) แสมสาร (*Senna garrettiana*, SEGAR) สวองตีนเป็ด ยมหิน (*Chukrasia tabularis*, CHTAB) และปีบ (*Millingtonia hortensis*, MIHOR) เป็นต้น แสดงว่าพืชกลุ่มนี้มีศักยภาพในการสังเคราะห์แสงได้ดี เจริญเติบโตเร็ว และถือเป็นกลุ่มพืชต้นทุนต่ำ

เนื่องจากใช้ทรัพยากรน้อยในการเจริญเติบโต และสามารถหมุนเวียนธาตุอาหารในระบบนิเวศได้อย่างรวดเร็ว (McGill et al., 2006)

3) ชนิดพืชที่ความเด่นด้านพื้นที่ใบ (LA) คือ งิ้วผา ส้มกบ มะกอก กุ๊ก (*Lannea coromandelica*, LACOR) ผกากอง ปอฝ้าย แคหัวหมู ทองหลาง และแคหางค่าง (*Fernandoa adenophylla*, FEADE) เป็นต้น ซึ่งเป็นชนิดไม้ที่มีต้นทุนต่ำเช่นเดียวกับพืชกลุ่มที่ 2 เนื่องจากชนิดไม้ที่มีใบขนาดใหญ่ย่อมมีพื้นที่ในการสังเคราะห์แสงได้มาก (Asanok et al., 2013)

4) ชนิดพืชที่ความเด่นด้านความหนาใบ (LT) คือ มะกัก (*Spondias bipinnata*, SPBIP) แคฝอย ตะคร้ำ (*Garuga pinnata*, GAPIN) โมกมัน (*Wrightia arborea*, WRARB) ขว้าว (*Haldina cordifolia*, HACOR) ไทรย้อยใบทู่ (*Ficus microcarpa*, FIMIC) และปอหูช้าง (*Pterospermum acerifolium*, PTACE) เป็นต้น ซึ่งเป็นชนิดไม้ที่มีต้นทุนสูงเช่นเดียวกับพืชกลุ่มที่ 1 เนื่องจากพืชที่มีใบหนาบ่งบอกถึงพืชที่มีศักยภาพในการสังเคราะห์แสงได้น้อย เจริญเติบโตช้า และถูกรบกวนอย่างรุนแรง (Cornelissen et al., 2003)



ภาพที่ 5 การจัดลำดับด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ด้วยวิธี PCA แสดงการปรากฏของสังคมพืชตามลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช โดยลักษณะเชิงหน้าที่ที่ใช้ ได้แก่ ขนาดพื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (WD) ความหนาใบ (LT) สัดส่วนน้ำหนักแห้งต่อน้ำหนักสดของใบ (LDMC) และขนาดพื้นที่ใบ (LA) ของป่าเขาหินปูนล้วน และป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต วัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี

เมื่อพิจารณาไม้เด่นในป่าเขาหินปูนล้วน พบว่า ส่วนใหญ่แล้วพืชที่ปกคลุมพื้นที่มีลักษณะ SLA และ LA สูง เช่น มะกา กระเจียน งิ้วผา ส้มกบ และปอฝ้าย (*Firmiana colorata*, FICOL) เป็นต้น แสดงว่าไม้เหล่านี้สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว และตั้งตัวได้ดีในพื้นที่ที่มีหินปูนปรากฏอยู่มาก มีการปรับตัวเพื่อให้เข้ากับสภาพของสิ่งแวดล้อมที่มีการคัดกรองมาเรียบร้อยแล้ว (Li, J.-F. et al., 2013) สอดคล้องกับการศึกษาของ Asanok et al. (2019) ที่รายงานว่าชนิดไม้ต้นที่มีค่า SLA สูง จะสามารถตั้งตัวได้ดีในพื้นที่ยอดเขาหินปูนที่มีปริมาณหินปกคลุมจำนวนมากและถือเป็นปัจจัยจำกัดที่สำคัญในป่าเขาหินปูน ส่วนเขาหินปูนผสมหินแกรนิต จะพบว่ามีการขึ้นปะปนกันของไม้ที่มี SLA สูง ซึ่งแสดงว่า เป็นไม้มีการเจริญเติบโตได้เร็ว และขึ้นปะปนกับกลุ่มไม้ที่มีค่า LDMC และ WD สูง ซึ่งเป็นไม้ที่มีการเจริญเติบโตได้ช้า เช่น ขี้หนอน แดง ส้มกบ กางขี้มอด กระพี้จั่น และสะท้อน เป็นต้น แสดงว่าสังคมพืชเขาหินปูนผสมหินแกรนิตมีสภาพพื้นที่ที่อำนวยประโยชน์ให้ชนิดไม้ทั้ง 2 ลักษณะสามารถตั้งตัวได้ดี และชนิดไม้เหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นพรรณไม้ในป่าเบญจพรรณ ดังนั้นการปรากฏดินอยู่มากสามารถทำให้ป่าเขาหินปูนมีสภาพคล้ายกับป่าเบญจพรรณ สอดคล้องกับ Asanok et al. (2019) ที่รายงานว่า บริเวณตีนเขาป่าเขาหินปูนมักจะปรากฏชนิดไม้ที่มีค่า WD สูง และส่วนใหญ่เป็นชนิดไม้เด่นในป่าเบญจพรรณ

ความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช

การเปรียบเทียบลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชเมื่อพิจารณาความเด่นของลักษณะเชิงเดี่ยว (single trait) จากค่าถ่วงจำเพาะของลักษณะเชิงหน้าที่ในระดับสังคมพบว่า CWM_LT และ CWM_WD ของป่าเขาหินปูนล้วน มีค่าสูงกว่าป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในขณะที่ CWM_LA และCWM_SLA ป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต มีค่ามากกว่าป่าเขาหินปูนล้วน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ดัง (ตารางที่ 7)

ส่วนความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่พิจารณาจาก ลักษณะเชิงหน้าที่แบบรวม (mutilative trait) พบว่าป่าเขาหินปูนล้วน มี RaoQ, FDis และFRic สูงกว่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าป่าเขาหินปูนล้วนมีความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่โดยรวมสูงกว่าป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต อย่างไรก็ตามเมื่อมาพิจารณา ค่าถ่วงน้ำหนักของสังคม พบว่าป่าเขาหินปูนล้วนส่วนใหญ่ประกอบด้วยหมู่ไม้ที่มีค่าถ่วงน้ำหนักลักษณะเชิงหน้าที่ของความหนาของใบ (CWM_LT) และค่าถ่วงน้ำหนักลักษณะเชิงหน้าที่ของความหนาแน่นของเนื้อไม้ (CWM_WD) สูง (ตารางที่ 7) แสดงให้เห็นว่าหมู่ไม้ที่อยู่ในป่าเขาหินปูนล้วนมีลักษณะเชิงหน้าที่ที่บ่งบอกถึงพืชที่มีศักยภาพในการสังเคราะห์แสงได้น้อย เจริญเติบโตช้า ใช้ทรัพยากรด้านปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ จำนวนมาก ในการเจริญเติบโต ส่งผลไปถึงความสามารถในการหมุนเวียนธาตุอาหาร

ได้ต่ำจึงถือว่าเป็นพืชต้นทุนสูง (High-cost construction species) ในขณะที่ป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิตมีลักษณะเชิงหน้าที่ที่บ่งบอกถึงอัตราการสังเคราะห์แสงได้มาก ทำให้มีการเจริญเติบโตได้เร็ว สามารถหมุนเวียนธาตุอาหารในระบบนิเวศได้เร็วจึงถือว่าเป็นพืชต้นทุนต่ำ (Low-cost construction species) ซึ่งอาจจะปรากฏเป็นชนิดไม้เบิกนำ (pioneer species) ในพื้นที่เขาหินปูนหินปูนผสมหินแกรนิต (Wright et al., 2004; McGill et al., 2006)

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบลักษณะเชิงหน้าที่ระหว่างป่าเขาหินปูนล้วน และป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต ในวัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี

	ป่าเขาหินปูนล้วน (Mean±SD)	**ป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต (Mean±SD)**	***p*-value**
ค่าถ่วงน้ำหนักของสังคม			
CWM_LT	0.38±0.379	0.25±0.027	0.005
CWM_LA	156.51±145.066	185.94±93.084	0.040
CWM_SLA	124.75±30.739	126.34±10.479	0.000
CWM_LDMC	449.77±66.822	369.65±61.017	0.059
CWM_WD	0.61±0.085	0.55±0.108	0.010
ความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่			
RaoQ	3.34±3.255	1.34±0.918	0.000
FDis	1.51±0.762	0.97±0.405	0.003
FDiv	0.76±0.111	0.74±0.124	0.477
FEve	0.71±0.187	0.72±0.161	0.475
FRic	2.90±3.206	0.84±0.874	0.000

ความสัมพันธ์ของลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชกับปัจจัยแวดล้อม

จากการวิเคราะห์การจัดลำดับลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชกับปัจจัยแวดล้อมเมื่อพิจารณาพบว่าลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชมีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อม ในป่าเขาหินปูนล้วนและป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต โดย สามารถออกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มชัดเจน (ภาพที่ 6) ได้แก่

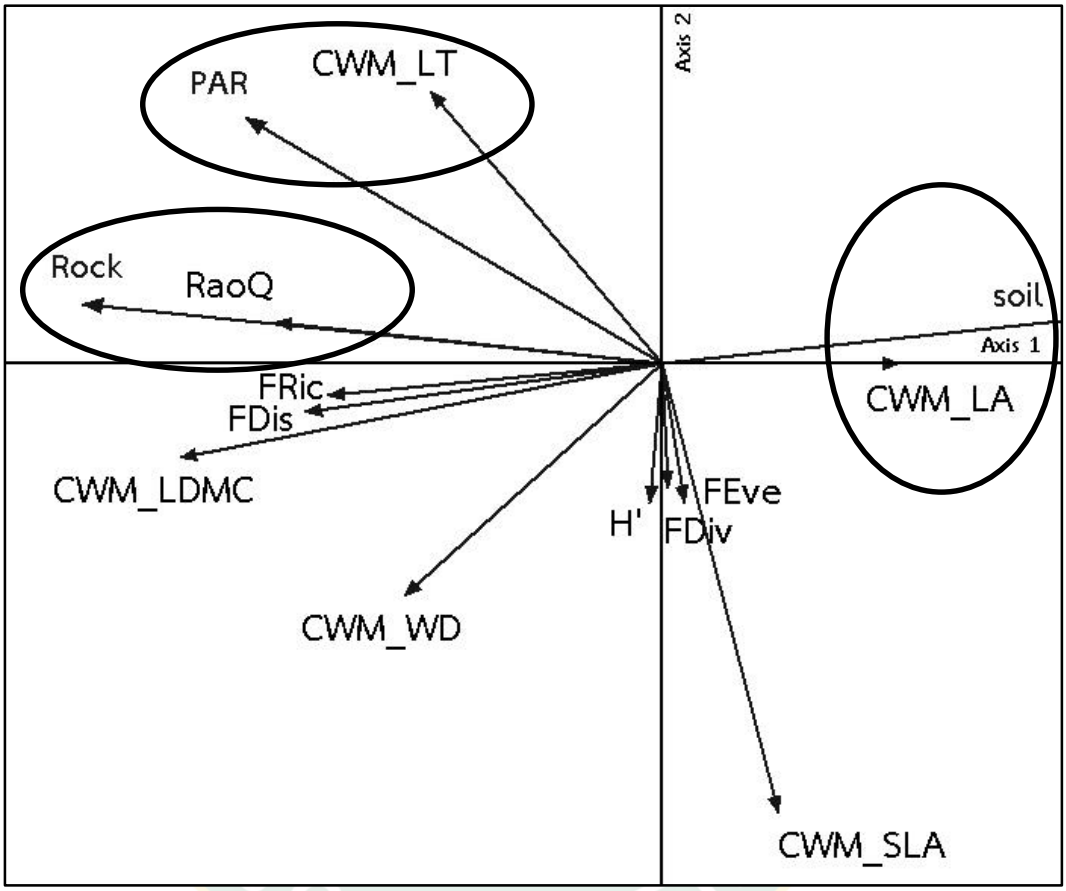
1) กลุ่มที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมด้านปริมาณหินโผล่ (rock outcrop) กล่าวคือ ความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่โดยรวม (RaoQ) มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับปริมาณหินโผล่ กล่าวคือสังคมพืชป่าเขาหินปูนที่ปรากฏหินปูนอยู่จำนวนมากสามารถส่งผลให้มีความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่สูง เนื่องจากพรรณไม้ที่สามารถเจริญเติบโตและตั้งตัวได้ดีในบริเวณที่มีหินโผล่จำนวนมากมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่รุนแรง สอดคล้องกับการศึกษาของ Asanok et al. (2013) ที่รายงานว่าหินเป็นปัจจัยสำคัญที่เพิ่มความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่ในรูปแบบการแตกการจายของพื้นที่การทำงาน (divergent trait space) แสดงให้เห็นว่าในพื้นที่มีความเด่นของปัจจัยแวดล้อมสูงสามารถทำให้เกิดความหลากหลายลักษณะเชิงหน้าที่ในสังคมพืชได้ (Albert et al., 2010; Austin et al., 1996) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการกลั่นกรองโดยปัจจัยสิ่งแวดล้อม (Coelho et al., 2018; Paine et al., 2011; Webb et al., 2010)

2) กลุ่มที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมด้านปริมาณแสง (PAR) กล่าวคือ ค่า CWM_LT มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณแสง แสดงถึงพื้นที่ ๆ มีแสงมากส่งผลให้ชนิดพืชที่มีใบหนาขึ้นอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากการแผดเผาของแสงที่รุนแรงทำให้พืชสูญเสียน้ำได้ง่ายพืชจึงมีการปรับตัวทางสัญฐานของใบให้มีความหนาเพื่อลดการสูญเสียน้ำ และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคาระห์ของพืชให้เพิ่มขึ้น (Cronelissen et al., 2003)

3) กลุ่มที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมด้านความลึกดิน (soil) กล่าวคือ ค่า CWM_LA มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับความลึกดิน แสดงให้เห็นว่าในพื้นที่ป่าเขาหินปูนบริเวณที่ปรากฏความลึกของดินอยู่มากจะส่งผลให้กลุ่มไม้ที่มีใบขนาดใหญ่เข้ามาตั้งตัวได้ดี ซึ่งส่วนใหญ่ไม้กลุ่มนี้มักเป็นไม้เบิกนำ (pioneer species) และลักษณะสังคมพืชจะคล้ายกับลักษณะของป่าผสมผลัดใบ สอดคล้องกับรายงานของ Asanok et al. (2019) ที่ระบุว่าในบริเวณตีนเขาของป่าเขาหินปูนมีลักษณะเป็นป่าเบญจพรรณรุ่นสอง โดยมีปัจจัยด้านความลึกดินเป็นตัวกำหนด

แสดงให้เห็นว่าถ้าหากเขาหินปูนที่ยังปรากฏปริมาณหินอยู่สังคมพืชจะมีความเฉพาะของป่าเขาหินปูน คือ มีชนิดไม้ที่เฉพาะเจาะจง (specific species) กับหินปูน ก่อให้เกิดลักษณะถิ่นอาศัยที่หลากหลาย เช่น แอ่งหิน เนินดิน และลานหิน ส่งผลให้พืชที่มีลักษณะเชิงหน้าที่ ๆ หลากหลายเข้ามาตั้งตัว ทั้งนี้ถ้าหากหินปูนถูกทำลายไปมีพื้นดินเข้ามาแทนที่ สังคมพืชจะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมคือมีกลุ่มไม้เบิกนำของป่าเบญจพรรณเข้ามาตั้งตัวและส่วนใหญ่จะเป็นพืชที่มีลักษณะเชิงหน้าที่คล้าย ๆ

กัน เช่น เป็นพืชที่มีใบขนาดใหญ่ เป็นต้น ดังนั้นหากต้องการจัดการป่าเขาหินปูนควรพิจารณาถึงความสำคัญของชนิดไม้ในป่าเขาหินปูนเป็นสำคัญเนื่องจากหินปูนคือปัจจัยจำกัดที่จำเป็นของชนิดไม้ในสังคมป่าเขาหินปูน



ภาพที่ 6 การจัดลำดับความสัมพันธ์ของความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่ ด้วยวิธี RDA ได้แก่ CWM-trait, F-Ric, F-Dis, F-Eve F-Div และRaoQ กับปัจจัยแวดล้อม ได้แก่ ปริมาณแสง (PAR) ความลึกของดิน (soil) ปริมาณหินโผล่ (Rock) ของป่าเขาหินปูนล้วน และป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต วัดป่าภัทรปิยาราม จังหวัดลพบุรี

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาโครงสร้างสังคมพืช ลักษณะเชิงหน้าที่ และความหลากหลายของพรรณไม้ต้นในป่าเขาหินปูนเขตร้อน จังหวัดลพบุรี ที่มีเขาหินปูนที่แตกต่าง คือ เขาหินปูนล้วน และเขาหินปูนผสมหินแกรนิต พบว่า ป่าเขาหินปูนล้วนมีลักษณะทางสังคม คือ จำนวนชนิด ความหนาแน่น พื้นที่หน้าตัด ความหลากหลายชนิด และความสม่ำเสมอมากว่าป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิตทั้งในระดับไม้ใหญ่ และระดับลูกไม้ / กล้าไม้ และมีปัจจัยแวดล้อมด้านปริมาณแสง และปริมาณหินโผล่มากว่าป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิตมีความเด่นของการปรากฏชนิด และมีปัจจัยแวดล้อมด้านความลึกดินมากกว่าป่าเขาหินปูนล้วน

การจัดลำดับความสัมพันธ์ของสังคมพืชกับปัจจัยแวดล้อมด้วยวิธี CCA เมื่อพิจารณาในระดับไม้ใหญ่ ในป่าเขาหินปูนล้วนและป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต โดย สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มชัดเจน ได้แก่ 1) กลุ่มที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมด้านปริมาณหินโผล่ และปริมาณแสง เช่น ปอทง มะกัก ขี้อ้าย สวองตีนเป็ด และตะแบกเปลือกบาง 2) กลุ่มที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมด้านความลึกดิน เช่น มะกอก กางขี้มอด ส้มกบ งิ้วผา และค้อนกล้อง ส่วนในระดับกล้าไม้ / ลูกไม้ สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มชัดเจน ได้แก่ 1) กลุ่มที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมด้านปริมาณหินโผล่ เช่น ปอทง เสี้ยวเครือ มะกา ผ่าเสี้ยน และแจง 2) กลุ่มที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมด้านปริมาณแสง เช่น แคฝอย สะแกแสง ปอฝ้าย ประดู่ และทองหลาง 3) กลุ่มที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมด้านความลึกดิน เช่น มะกอก ส้มกบ งิ้วผา มะตูม และเสลาขาว แสดงให้เห็นว่ากลุ่มพืชที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมด้านปริมาณหินโผล่ และปริมาณแสงทั้งในระดับไม้ใหญ่ และระดับลูกไม้/กล้าไม้สามารถตั้งตัวได้ดีในพื้นที่ป่าเขาหินปูนล้วนเนื่องมีปัจจัยแวดล้อมเหมาะสมและมีความจำเพาะเจาะจงกับชนิดไม้ ส่วนกลุ่มพืชที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยด้านความลึกดินเป็นพืชที่ขึ้นปกคลุมในพื้นที่ป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิตเนื่องจากมีปริมาณเนื้อดินเยอะ หรือมีความลึกของดินมาก

การจัดลำดับด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก PCA เพื่อพิจารณาการปรากฏของสังคมพืชตามลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืช พบว่าชนิดไม้เด่นในป่าเขาหินปูนแสดงออกทางลักษณะเชิงหน้าที่ โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มชัดเจน ได้แก่ 1) ชนิดที่มีความเด่นของสัดส่วนน้ำหนักแห้งต่อน้ำหนักสดของใบ (LDMC) และความหนาแน่นของเนื้อไม้ (WD) เช่น สะท้อน เปียด และขี้หนอน

2) ชนิดที่มีความเด่นด้านพื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) สูง เช่น มะกา กระเจียน และแสมสาร 3) ชนิดพืชที่ความเด่นด้านพื้นที่ใบ (LA) เช่น งิ้วผา ส้มกบ และมะกอก 4) ชนิดพืชที่ความเด่นด้านความหนาใบ (LT) เช่น มะกัก แคฝอย และตะคร้ำ เมื่อพิจารณาพบว่าชนิดพืชที่มีความเด่นด้านสัดส่วนน้ำหนักแห้งต่อน้ำหนักสดของใบ (LDMC) ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (WD) และด้านความหนาใบ (LT) แสดงว่าพืชกลุ่มนี้เป็นพืชโตช้า และเป็นพืชต้นทุนสูง เนื่องจากต้องใช้ทรัพยากรจำนวนมากสำหรับการเจริญเติบโต และหมุนเวียนธาตุอาหารในระบบนิเวศได้ช้า โดยพืชที่มีลักษณะดังกล่าวเป็นกลุ่มพืชที่ขึ้นปกคลุมป่าเขาหินปูนล้วน ส่วนชนิดที่มีความเด่นด้านพื้นที่ใบจำเพาะ (SLA) และด้านพื้นที่ใบ (LA) แสดงว่าพืชกลุ่มนี้มีศักยภาพในการสังเคราะห์แสงได้ดี เจริญเติบโตเร็ว และถือเป็นกลุ่มพืชต้นทุนต่ำ เนื่องจากใช้ทรัพยากรน้อยในการเจริญเติบโต และสามารถหมุนเวียนธาตุอาหารในระบบนิเวศได้อย่างรวดเร็ว โดยพืชที่มีลักษณะดังกล่าวเป็นกลุ่มพืชที่ขึ้นปกคลุมป่าเขาหินปูนผสมหินกรนิต

การจัดลำดับลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชกับปัจจัยแวดล้อมด้วยวิธี RDA เมื่อพิจารณาพบว่าลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชมีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อม ในป่าเขาหินปูนล้วนและป่าเขาหินปูนผสมหินแกรนิต โดย สามารถออกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มชัดเจน 1) กลุ่มที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมด้านปริมาณหินโผล่ กล่าวคือ ความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่โดยรวม (RaoQ) มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับปริมาณหินโผล่ กล่าวคือสังคมพืชป่าเขาหินปูนที่ปรากฏหินปูนอยู่จำนวนมากสามารถส่งผลให้มีความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่สูง 2) กลุ่มที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมด้านปริมาณแสง (PAR) กล่าวคือ ค่า CWM_LT มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณแสง แสดงถึงพื้นที่ ๆ มีแสงมากส่งผลให้ชนิดพืชที่มีใบหนาขึ้นอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากการแผดเผาของแสงที่รุนแรงทำให้พืชสูญเสียน้ำได้ง่ายพืชจึงมีการปรับตัวทางสัญฐานของใบให้มีความหนาเพื่อลดการสูญเสียน้ำ และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ของพืชให้เพิ่มขึ้น 3) กลุ่มที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมด้านความลึกดิน (soil) กล่าวคือ ค่า CWM_LA มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับความลึกดิน แสดงให้เห็นว่าในพื้นที่ป่าเขาหินปูนบริเวณที่ปรากฏความลึกของดินอยู่มากจะส่งผลให้กลุ่มไม้ที่มีใบขนาดใหญ่เข้ามาตั้งตัวได้ดี

ข้อเสนอแนะ

ดังนั้นการจัดการป่าเขาหินปูนเพื่ออนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพอย่างยั่งยืนนั้น นอกจากจะพิจารณาองค์ประกอบชนิดแล้วการพิจารณาลักษณะเชิงหน้าที่ของพืชก็มีความสำคัญ ซึ่งทั้งสองลักษณะจะแปรผันไปตามลักษณปัจจัยแวดล้อม จากผลการศึกษาค่อนข้างชี้ชัดว่า ปริมาณหินโผลในพื้นที่ป่าเขาหินปูนนั้น เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความหลากหลายทั้งชนิดและการทำงานของหมู่ไม้ในสังคม ในด้านการจัดการป่าเขาหินปูน เพื่อการอนุรักษ์ความหลากหลายาทางชีวภาพนั้น ปัจจุบันยัง

ไม่มีการตื่นตัวหรือตื่นตระหนักถึงความสำคัญของป่าดังกล่าว เนื่องจากในสายตาของคนทั่วไปมักจะมองว่าป่าเขาหินปูนเป็นป่าเสื่อมโทรมเชื่อว่ามีต้นไม้น้อยและมีลักษณะแคระแกรน เป็นต้น จึงทำใม่เกิดการอนุญาตให้ทำการสัมปทานเขาหินปูนอย่างง่ายดาย แต่หากพิจารณาโดยกว่านั้นแล้วจะเป็นว่าเขาหินปูนมีชนิดไม้ที่จำเพาะเจาะจงกับเขาหินปูนนอกจากนั้น การปรากฏหินโผล่อยู่จำนวนมากยิ่งทำให้เกิดความหลากหลายของลักษณะเชิงหน้าที่อีกด้วย ดังนั้นในการจัดการอนุรักษ์ป่าเขาหินปูนจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยให้รอบคอบเสียก่อน เช่น หากปรากฏพืชเฉพาะถิ่นอยู่ก็ไม่ควรอนุญาตให้มีการสัมปทานเหมืองหินปูน เป็นต้น หากจำเป็นต้องมีการทำเหมืองจริงๆ ควรที่จะจัดหาถิ่นที่อยู่ใหม่ของชนิดไม้เหล่านั้น และถ้ามีความจำเป็นต้อวมีการฟื้นฟูเขาหินปูน ควรพิจารณาลักษณะเชิงหน้าที่ของพืชแต่ละชนิด เพื่อให้สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี เช่นถ้าหากในพื้นที่ดังกล่าวยังมีปริมาณหินปูนอยู่มาก มีดินน้อยมีลักษณะปัจจัยแวดล้อมที่รุนแรง ควรมีการนำชนิดที่มีใบหนาไปปลูกเช่น มะกัก โมกมัน ขว้าว ไทรย้อยใบทู่ และปอหูช้าง ดังนั้นในการจัดการอนุรักษ์ป่าเขาหินปูนจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยให้รอบคอบเสียก่อน เช่น หากปรากฏพืชเฉพาะถิ่นอยู่ก็ไม่ควรอนุญาตให้มีการสัมปทานเหมืองหินปูน เป็นต้น หากจำเป็นต้องมีการทำเหมืองจริงๆ ควรที่จะจัดหาถิ่นที่อยู่ใหม่ของชนิดไม้เหล่านั้น และถ้ามีความจำเป็นต้อวมีการฟื้นฟูเขาหินปูน ควรพิจารณาลักษณะเชิงหน้าที่ของพืชแต่ละชนิด เพื่อให้สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี เช่นถ้าหากในพื้นที่ดังกล่าวยังมีปริมาณหินปูนอยู่มาก มีดินน้อยมีลักษณะปัจจัยแวดล้อมที่รุนแรง ควรมีการนำชนิดที่มีใบหนาไปปลูก

บรรณานุกรม

กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2550. **การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดลพบุรี**. กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2536. **คู่มือปฏิบัติการวิชาปฐพีวิทยาเบื้องต้นโดยใช้ระบบโสตทัศนูปกรณ์**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จรัญ มากน้อย และ ชาญวิทย์ แสงสร้อย. 2555. **โครงการการศึกษาความหลากหลายของพืชดอกบริเวณเขาหินปูน ในเขตห้ามล่าสัตว์ป่าถ้ำผาท่าพล อำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก**. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนา องค์การสวนพฤกษศาสตร์.

ชัชชัย สวัสดิ์มงคล, สถิตย์ ถิ่นกำแพง, ชัชพิมุข ยะธา, นพคุณ แดนราช, วงศธร พุ่มพวง, ฤทธิไกร สายคำมูล และดอกรัก มารอด. 2564. การสืบต่อพันธุ์ตามธรรมชาติของพรรณไม้ป่าดิบแล้งภายหลังการรบกวน บริเวณสถานีวิจัยและฝึกนิสิตวนศาสตร์วังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา. น. 77-87. ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้ประเทศไทย ครั้งที่ 10**. 4-5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ.

ดอกรัก มารอด และ อุทิศ กุฎอินทร์. 2552. **นิเวศวิทยาป่าไม้.ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้**. กรุงเทพฯ: คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เต็ม สมิตินันทน์. 2557. **ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 2, ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2557. กรุงเทพฯ: สำนักหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.

นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2545. **แบบจำลองคณิตศาสตร์การชะล้างพังทลายของดินและมลพิษตะกอนในพื้นที่ลุ่มน้ำ**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิรุต ไผ่เรือง, เชิดศักดิ์ ทัพใหญ่ และ แหลมไทย อาษานอก. 2563. อิทธิพลของการป้องกันไฟต่อการเปลี่ยนแปลงสังคมพืชในสวนพฤกษศาสตร์สกุโณทยาน อำาเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก **วารสารวนศาสตร์ไทย**, 39(1), 28-40.

ปรัชญาภรณ์ ศรีคุณ, เพชรัตน์ จันทร์แก้ว และ แหลมไทย อาษานอก. 2564. อิทธิพลของปัจจัยดินต่อการปรากฏลักษณะองค์ประกอบชนิดไม้ต้น ของป่าเต็งรังแคระป้องกันไฟในพื้นที่วนอุทยานแพะเมืองผี จังหวัดแพร่. น. 55-64. ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้ประเทศไทย ครั้งที่ 10**. 4-5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ.

พงษ์ศักดิ์ พลเสนา. 2549. ความหลากหลายของพรรณไม้เขาหินปูน ภาคตะวันออกเฉียงใต้. ใน **บทคัดย่อโครงการวิจัยและวิทยานิพนธ์ การประชุมวิชาการประจำปี โครงการ BRT ครั้งที่ 10**. 8-11 ตุลาคม 2549 ณ มาริไทม์ ปาร์ค แอนด์ สปา รีสอร์ท จังหวัดกระบี่.

มานพ ผู้พัฒน์, นพดล เพิ่มพูน, ขนิษฐา บุญมา, สุจิตรา ตระกูลเลิศรัตน์, ยุทธนา ทองบุญเกื้อ และ เกศินี แก้วปราณี. 2557. **พรรณไม้เขตห้ามล่าสัตว์ป่าถ้ำประทุน จังหวัดอุทัยธานี.** กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.

สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. 2558. **อุตุนิยมวิทยาน่ารู้เพื่อการเกษตรจังหวัดลพบุรี**. กรุงเทพฯ: กรมอุตุนิยมวิทยา.

โสมนัสสา แสงฤทธิ์, วรดลต์ แจ่มจำรูญ & นันทวรรณ สุปันตี. 2556. **พรรณไม้เขาหินปูน: สถานภาพและปัจจัยคุกคาม**. กรุงเทพฯ: สำนักงานหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยาน แห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.

แหลมไทย อาษานอก, ดอกรัก มารอด, วียะวัฒน์ ใจตรง, ประสิทธิ์ วงศ์พรม, สัญชัย เมฆฉาย, ภานุมาศ จันทร์สุวรรณ และ พระครูสังฆรักษ์ ณริชธันร์ อรุโณ. 2559. **ชาติแห่งธรรม ณ วัดป่าภัทรปิยาราม**. ลพบุรี: วัดป่าภัทรปิยาราม.

แหลมไทย อาษานอก และ รุ่งรวี ทวีสุข. 2560. องค์ประกอบลักษณะเฉพาะหน้าที่ของพรรณพืชของพื้นที่ชายป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณ บริเวณลุ่มน้ำแม่คำมี จังหวัดแพร่. **วารสารวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้เมืองไทย**, 3(2), 1-8.

_____. 2562. **ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบลักษณะเชิงหน้าที่ของพันธุ์พืชกับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของหมู่ไม้ บริเวณลุ่มน้ำแม่คำมี จังหวัดแพร่. In รายงานการประชุมการป่าไม้ พ.ศ. 2562**. กรุงเทพฯ: ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Albert, C. H., Thuiller, W., Yoccoz, N. G., Douzet, R., Aubert, S. & Lavorel, S. 2010. A multi-trait approach reveals the structure and the relative importance of intra-vs. interspecific variability in plant traits. **Functional Ecology**, 24(6), 1192-1201.

Asanok, L., Kamyo, T. & Marod, D. 2019. Environmental factors related to community-level functional traits in limestone hill forests along an altitudinal gradient: a case study in northern Thailand. **Forestry Studies**, 71(1), 86-99.

_____. 2020. Maximum entropy modeling for the conservation of Hopea odorata in riparian forests, central Thailand. **Biodiversitas Journal of Biological Diversity**, 21(10), 4663-4670.

Asanok, L., Kamyo, T., Norsaengsri, M., Salinla-um, P., Rodrungruang, K., Karnasuta, N., Navakam, S., Pattanakiat, S., Marod, D., Duengkae, P. & Kutintara, U. 2017. Vegetation community and factors that affect the woody species composition of riparian forests growing in an urbanizing landscape along the Chao Phraya River, central Thailand. **Urban Forestry & Urban Greening**, 28, 138-149.

Asanok, L. & Marod, D. 2016. Environmental Factors Influencing Tree Species Regeneration in Different Forest Stands Growing on a Limestone Hill in Phrae Province, Northern Thailand. **Journal of Forest and Environmental Science**, 32(3), 237–252.

Asanok, L., Marod, D., Duengkae, P., Pranmongkol, U., Kurokawa, H., Aiba, M., Katabuchi, M. & Nakashisuka, T. 2013. Plant functional traits and the factors determining regeneration affecting of forest tree species reestablish ability in uplands restoration practice, northern Thailand. pp. 71-75. In **International workshop on ecological knowledge for adaptation on climate change: Extended abstract**. Bangkok, Thailand: Kasetsart University.

Austin, M. P., Pausas, J. G. & Nicholls, A. O. 1996. Patterns of tree species richness in relation to environment in southeastern New South Wales, Australia. **Australian Journal of Ecology**, 21(2), 154-164.

Baraloto, C., Timothy Paine, C., Patino, S., Bonal, D., Hérault, B. & Chave, J. 2010. Functional trait variation and sampling strategies in species-rich plant communities. **Functional Ecology**, 24(1), 208-216.

Bogutskaya, N., Zupancic, P., Bogut, I. & Naseka, A. 2012. Two new freshwater fish species of the genus Telestes (Actinopterygii, Cyprinidae) from karst poljes in Eastern Herzegovina and Dubrovnik littoral (Bosnia and Herzegovina and Croatia). **ZooKeys**, 180(180), 53-80.

Bourgeron, P. S. 1983. Spatial aspects of vegetation structure. **Ecosystems of the world**.

Bunyavejchewin, S. 1983. Analysis of the tropical dry deciduous forest of Thailand: I. Characteristics of the dominance-types. **Natural History Bulletin of the Siam Society**, 31(2), 109-122.

_____. 2001. Stand structure of a seasonal dry evergreen forest at Huai Kha Khaeng Wildlife Sanctuary, western Thailand. **Nat Hist Bull Siam Soc**, 49, 89-106.

Chen, S., Li, M., Hou, R., Liao, W., Zhou, R. & Fan, Q. 2014. Low genetic diversity and weak population differentiation in Firmiana danxiaensis, a tree species endemic to Danxia landform in northern Guangdong, China. **Biochemical Systematics and Ecology**, 55, 66-72.

Coelho, M. S., Carlos, P. P., Pinto, V. D., Meireles, A., Negreiros, D., Morellato, L. P. C. & Fernandes, G. W. 2018. Connection between tree functional traits and environmental parameters in an archipelago of montane forests surrounded by rupestrian grasslands. **Flora**, 238, 51-59.

Condit, R., Hubbell, S. P. & Foster, R. B. 1994. Density dependence in two understory tree species in a neotropical forest. **Ecology**, 75(3), 671-680.

Cornelissen, J., Lavorel, S., Garnier, E. B., Diaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D., Reich, P., ter Steege, H., Morgan, H. D. G., Van der Heijden, M., Pausas, J. G. H. & Poorter, H. 2003. Handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, 51(4), 335-380.

Costa, M.-C. D., Cooper, K., Hilhorst, H. W. & Farrant, J. M. 2017. Orthodox seeds and resurrection plants: two of a kind? **Plant physiology**, 175(2), 589-599.

Crottini, A., Gehring, P.-S., Glaw, F., Harris, D., Lima, A. & Vences, M. 2011. Deciphering the cryptic species diversity of dull-coloured day geckos Phelsuma (Squamata: Gekkonidae) from Madagascar, with description of a new species. **Zootaxa**, 2982(2982), 40–48.

Daoxian, Y. 2001. On the karst ecosystem. **Acta Geologica Sinica-English Edition**, 75(3), 336-338.

Davis, T. & Johnson, D. V. 1987. Current utilization and further development of the palmyra palm (Borassus flabellifer L., Arecaceae) in Tamil Nadu State, India. **Economic Botany**, 41(2), 247-266.

De Waele, J., Mucedda, M. & Montanaro, L. 2013. Morphology and origin of coastal karst landforms in Miocene and Quaternary carbonate rocks along the central-western coast of Sardinia (Italy). **Geomorphology**, 106(1-2), 26-34.

Denslow, J. S. 1995. Disturbance and diversity in tropical rain forests: the density

effect. **Ecological applications**, 5(4), 962-968.

Drury, W. H. & Nisbet, I. C. 1973. Succession. **Journal of the Arnold arboretum**, 54(3), 331-368.

Estrada-Medina, H., Graham, R. C., Allen, M. F., Jiménez-Osornio, J. J. & Robles-Casolco, S. 2013. The importance of limestone bedrock and dissolution karst features on tree root distribution in northern Yucatán, México. **Plant and soil**, 362(1), 37-50.

Fadrique, B., Santos-Andrade, P., Farfan-Rios, W., Salinas, N., Silman, M. & Feeley, K. J. 2021. Reduced tree density and basal area in Andean forests are associated with bamboo dominance. **Forest Ecology and Management**, 480, 118648.

Ford, D. & Williams, P. 2007. **Karst Hydrogeology and Geomorphology**. New York: John Wiley & Sons Ltd.

Gleason, H. A. 1926. The individualistic concept of the plant association. **Bulletin of the Torrey botanical club**, 7-26.

Goodale, U. M., Ashton, M. S., Berlyn, G. P., Gregoire, T. G., Singhakumara, B. & Tennakoon, K. U. 2012. Disturbance and tropical pioneer species: Patterns of association across life history stages. **Forest Ecology and Management**, 277, 54-66.

Hitimana, J., Kiyiapi, J. & Njunge, J. 2004. Forest structure characteristics in disturbed and undisturbed sites of Mt. Elgon Moist Lower Montane Forest, western Kenya. **Forest Ecology and Management**, 194(1-3), 269-291.

Kamyo, T. & Asanok, L. 2020. Modeling habitat suitability of Dipterocarpus alatus (Dipterocarpaceae) using maxent along the chao phraya river in central Thailand. **Forest Science and Technology**, 16(1), 1-7.

Kattge, J., Diaz, S., Lavorel, S., Prentice, I. C., Leadley, P., Bonisch, G., Garnier, E., Westory, M., Reich, P. B. & Wright, I. J. 2011. TRY – a global database of plant traits. **Global Change Biology**, 17(9), 2905-2935.

Kent, M., Lues, R. & Coker, P. 1994. The general classification of rhesus macaques, Macaca mulatta. **International Journal of Biology Assay**, 11(6), 363.

Kiyiapi, J. 1994. Stucture and characteristics of Acacia tortilis woodland on the Njemps

Flats. **Catena Verlag: Advances in geoecology**, 27, 47-69.

Krebs, C. J. 1978. A review of the Chitty hypothesis of population regulation. **Canadian journal of zoology**, 56(12), 2463-2480.

Kunstler, G., Falster, D., Coomes, D. A., Hui, F., Kooyman, R. M., Laughlin, D. C., Poorter, L., Vanderwel, M., Vieilledent, G. & Wright, S. J. 2016. Plant functional traits have globally consistent effects on competition. **Nature**, 529(7585), 204-207.

Larpkern, P., Moe, S. R. & Totland, Ø. 2011. Bamboo dominance reduces tree regeneration in a disturbed tropical forest. **Oecologia**, 165(1), 161-168.

Lavorel, S. & Garnier, E. 2002. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. **Functional ecology**, 16(5), 545-556.

Li, J.-F., Norville, J. E., Aach, J., McCormack, M., Zhang, D., Bush, J., Church, G. M. & Sheen, J. 2013. Multiplex and homologous recombination–mediated genome editing in Arabidopsis and Nicotiana benthamiana using guide RNA and Cas9. **Nature biotechnology**, 31(8), 688-691.

Li, J.-J., Zheng, Y.-M., Yan, J.-X., Li, H.-J. & He, J.-Z. 2013. Succession of plant and soil microbial communities with restoration of abandoned land in the Loess Plateau, China. **Journal of Soils and Sediments**, 13(4), 760-769.

Li, T., Xiong, Q., Luo, P., Zhang, Y., Gu, X. & Lin, B. 2020. Direct and indirect effects of environmental factors, spatial constraints, and functional traits on shaping the plant diversity of montane forests. **Ecology and evolution**, 10(1), 557-568.

Liang, J., Crowther, T. W., Picard, N., Wiser, S., Zhou, M., Alberti, G., Schulze, E.-D., McGuire, A. D., Bozzato, F. & Pretzsch, H. 2016. Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests. **Science**, 354(6309).

Liu, C.-C., Liu, Y.-G., Fan, D.-Y. & Guo, K. 2012. Plant drought tolerance assessment for re-vegetation in heterogeneous karst landscapes of southwestern China. **Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, 207(1), 30-38.

Liu, C. 2009. **Biogeochemical processes and cycling of nutrients in the earth's surface: cycling of nutrients in soil–plant systems of karstic environments, Southwest China**. Beijing, China: Science Press.

Marod, D., Kutintara, U., Tanaka, H. & Nakashizuka, T. 2002. The effects of drought and fire on seed and seedling dynamics in a tropical seasonal forest in Thailand. **Plant Ecology**, 161(1), 41-57.

Marod, D., Kutintara, U., Yarwudhi, C., Tanaka, H. & Nakashisuka, T. 1999. Structural dynamics of a natural mixed deciduous forest in western Thailand. **Journal of Vegetation Science**, 10(6), 777-786.

Marod, D., Sungkaew, S., Mizunaga, H. & Thongsawi, J. 2020. Association of community-level traits with soil properties in a tropical coastal sand dune. **Environment and Natural Resources Journal**, 18(1), 101-109; DOI: 110.32526/ennrj. 32518.32521. 32020.32510.

Mason, N. W., Lanoiselée, C., Mouillot, D., Irz, P. & Argillier, C. 2007. Functional characters combined with null models reveal inconsistency in mechanisms of species turnover in lacustrine fish communities. **Oecologia**, 153(2), 441-452.

Maxwell, J. 1992. Lowland vegetation (450-c. 800 m) of Doi Chiang Dao Wildlife Sanctuary, Chiang Mai Province, Thailand. **Tigerpaper (FAO)**, 19(3), 21-26.

Maxwell, J. 1994. Botanical notes on the flora of Thailand: 4. **Natural History Bulletin of the Siam Society**, 42(259-262.

McCune, B. & Mefford, M. J. 2011. **PC-ORD. Multivariate analysis of Ecological Data, Version 6.0 for Windows**. Oregon, U.S.A.: MjM Software, Gleneden Beach.

McGill, B. J., Enquist, B. J., Weiher, E. & Westoby, M. 2006. Rebuilding community ecology from functional traits. **Trends in Ecology & Evolution**, 21(4), 178-185.

McLaren, K. & McDonald, M. A. 2003. Coppice regrowth in a disturbed tropical dry limestone forest in Jamaica. **Forest Ecology and Management**, 180(1), 99-111.

Mouchet, M. A., Villéger, S., Mason, N. W. & Mouillot, D. 2010. Functional diversity measures: an overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules. **Functional Ecology**, 24(4), 867-876.

Muñoz-Rojas, M., Lewandrowski, W., Erickson, T. E., Dixon, K. W. & Merritt, D. J. 2016. Soil respiration dynamics in fire affected semi-arid ecosystems: Effects of vegetation type and environmental factors. **Science of the Total Environment**, 572, 1385-1394.

Musser, G. G., Smith, A. L., Robinson, M. F. & Lunde, D. P. 2005. Description of a new genus and species of rodent (Murinae, Muridae, Rodentia) from the Khammouan Limestone National Biodiversity Conservation Area in Lao PDR. **American Museum Novitates**, 3497, 1-31.

Muthuramkumar, S., Ayyappan, N., Parthasarathy, N., Mudappa, D., Raman, T. S., Selwyn,

M. A. & Pragasan, L. A. 2006. Plant community structure in tropical rain forest fragments of the Western Ghats, India 1. **Biotropica: The Journal of Biology and Conservation**, 38(2), 143-160.

Nguyen, T., Mitloehner, R., Bich, N. & Tran Van, D. 2015. Environmental Factors Affecting the Abundance and Presence of Tree Species in a Tropical Lowland Limestone and Non-limestone Forest in Ben En National Park, Vietnam. **Journal of Forest and Environmental Science**, 31(3), 177-191.

Padilla-Martínez, J. R., Corral-Rivas, J. J., Briseño-Reyes, J., Paul, C. & López-Serrano, P. M. 2020. Patterns of Density and Production in the Community Forests of the Sierra Madre Occidental, Mexico. **Forests**, 11(3), 307.

Paine, C. E. T., Baraloto, C., Chave, J. & Hérault, B. 2011. Functional traits of individual trees reveal ecological constraints on community assembly in tropical rain forests. **Oikos**, 120(5), 720-727.

Palee, P. & Maxwell, J. 2000. Vascular flora of Doi Muang Awn, Chiang Mai Province, northern Thailand. **Nat. Hist. Bull. Siam Soc**, 48(95-116.

Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M. S., Cornwell, W. K., Craine, J. M., Gurvich, D. E., Urcelay, C., Veneklaas, E. J., Reich, P. B., Poorter, L., Wright, I. J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J. G., de Vos, A. C., Buchmann, N., Funes, G., Quétier, F., Hodgson, J. G., Thompson, K., Morgan, H. D., ter Steege, H., van der Heijden, M. G. A., Sack, L., Blonder, B., Poschlod, P., Vaieretti, M. V., Conti, G., Staver, A. C., Aquino, S. & Cornelissen., J. H. C. 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany.,** , 61(3), 167–234.

Pielou, E. C. 1975. **Ecological diversity**. New York: Wiley.

Poorter, L., Bongers, F., van Rompaey, R. S. & de Klerk, M. 1996. Regeneration of canopy tree species at five sites in West African moist forest. **Forest Ecology and Management**, 84(1-3), 61-69.

Reaser, J. K., Meyerson, L. A., Cronk, Q., De Poorter, M., Eldrege, L., Green, E., Kairo, M., Latasi, P., Mack, R. N. & Mauremootoo, J. 2007. Ecological and socioeconomic impacts of invasive alien species in island ecosystems. **Environmental**

Conservation, 98-111.

Richards, P. 1957. Ecological notes on West African vegetation: I. The plant communities of the Idanre Hills, Nigeria. **The Journal of Ecology**, 45(2), 563-577.

Richards, R. A. & Passioura, J. B. 1981. Seminal Root Morphology and Water Use of Wheat II. Genetic Variation1. **Crop Science**, 21(2), cropsci1981.0011183X002100020012x.

Ronquist, F. 1994. Evolution of Parasitism Among Closely Related Species: Phylogenetic Relationships and The Origin of Inquilinism in Gall Warps (Hymenoptera, Cynipidae). **Evolution**, 48(2), 241-266.

Rubite, R. R., Hughes, M., Blanc, P., Chung, K. F., Yang, H. A., Kono, Y., Alejandro, G. J. D., De Layola, L. B., Virata, A. G. N. & Peng, C. I. 2015. Three new species of Begonia endemic to the Puerto Princesa Subterranean River National Park, Palawan. **Botanical Studies**, 56(1), 19.

Sagar, R. & Singh, J. 2006. Tree density, basal area and species diversity in a disturbed dry tropical forest of northern India: implications for conservation. **Environmental Conservation**, 256-262.

Sakurai, K., Prachaiyo, B., Attanandana, T., Tanpibal, V., Araki, S., Naganawa, T., Iwatsubo, G. & Yoda, K. 1991. Improvement of Biological Productivity in DegradedLands in Thailand II. Infiuences of Soil Temperature,Moisture, and Fertility on Plant Growth in the TakuapaExperimental Site. **Tropics**, 1(2+3), 113-129.

Shelford, V. E. 1911. Physiological animal geography. **Journal of Morphology**, 22(3), 551-618.

Shovon, T. A., Rozendaal, D. M., Gagnon, D., Gendron, F., Vetter, M. & Vanderwel, M. C. 2020. Plant communities on nitrogen-rich soil are less sensitive to soil moisture than plant communities on nitrogen-poor soil. **Journal of Ecology**, 108(1), 133-144.

Silva Matos, D. M., Freckleton, R. P. & Watkinson, A. R. 1999. The role of density dependence in the population dynamics of a tropical palm. **Ecology**, 80(8), 2635-2650.

Sivaperuman, C., Velmurugan, A., Singh, A. K. & Jaisankar, I. 2018. **Biodiversity and climate change adaptation in tropical islands**. Academic Press.

Smith, W. M. 1966. Observations over the lifetime of a small isolated group: Structure, danger, boredom, and vision. **Psychological reports**, 19(2), 475-514.

Tansley, A. G. 1939. British ecology during the past quarter-century: the plant community and the ecosystem. **Journal of Ecology**, 27(2), 513-530.

Teejuntuk, S., Sahunalu, P., Sakurai, K. & SUNGPALEE, W. 2003. Forest structure and tree species diversity along an altitudinal gradient in Doi Inthanon national park, northern Thailand. **Tropics**, 12(2), 85-102.

Vien Pham, V., Ammer, C., Annighöfer, P. & Heinrichs, S. 2021. Tree Regeneration Characteristics in Limestone Forests of the Cat Ba National Park, Vietnam. **Research Square**, 1-29.

Waide, R., Willig, M., Steiner, C., Mittelbach, G., Gough, L., Dodson, S., Juday, G. & Parmenter, R. 1999. The relationship between productivity and species richness. **Annual review of Ecology and Systematics**, 30(1), 257-300.

Wang, K., Zhang, C., Chen, H., Yue, Y., Zhang, W., Zhang, M., Qi, X. & Fu, Z. 2019. Karst landscapes of China: patterns, ecosystem processes and services. **Landscape Ecology**, 34(12), 2743-2763.

Webb, C. T., Hoeting, J. A., Ames, G. M., Pyne, M. I. & LeRoy Poff, N. 2010. A structured and dynamic framework to advance traits-based theory and prediction in ecology. **Ecology Letters**, 13(3), 267-283.

Whitmore, T. & Burslem, D. 1998. Major disturbances in tropical rainforests. **Major disturbances in tropical rainforests**, 549-565.

Whittaker, R. 1975. **Communities and Ecosystems**. New York: Macmillan Publishing Co. Inc.

Wright, I., Groom, P. K., Lamont, B., Poot, P., Prior, L., Reich, P., Ernst Detlef, S., Veneklaas, E. & Westoby, M. 2004. Leaf trait relationships in Australian plant species. **Functional Plant Biology**, 31, 551-558.

Wu, Y., Hong, W. & Chen, Y. 2018. Leaf physiological and anatomical characteristics of two indicator species in the limestone region of southern China under drought stress. **Pak. J. Bot**, 50(4), 1335-1342.

Zeng, Y., Zhao, C., Kundzewicz, Z. W. & Lv, G. 2020. Distribution pattern of Tugai forests species diversity and their relationship to environmental factors in an arid area of China. **PloS one**, 15(5), e0232907.

Zhao, C., Long, J., Liao, H., Zheng, C., Li, J., Liu, L. & Zhang, M. 2019. Dynamics of soil microbial communities following vegetation succession in a karst mountain ecosystem, Southwest China. **Scientific reports**, 9(1), 1-10.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 บัญชีรายชื่อไม้ต้นที่สำรวจพบในพื้นที่ป่าเขาหินปูน วัดป่าภัทรปิยาราม ตำบลโคกตูม อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี

ลำดับ	ชื่อสามัญ	ชื่อวิทย์	ชื่อวงศ์
1	กุ๊ก	*Lannea coromandelica*	ANACARDIACEAE
2	มะกอก	*Spondias pinnata*	ANACARDIACEAE
3	มะกัก	*Spondias bipinnata*	ANACARDIACEAE
4	รักขาว	*Semecarpus cochinchinensis*	ANACARDIACEAE
5	กระเจียน	*Hubera cerasoides*	ANNONACEAE
6	สะแกแสง	*Cananga brandisiana*	ANNONACEAE
7	โมกมัน	*Wrightia arborea*	APOCYNACEAE
8	โมกหลวง	*Holarrhena pubescens*	APOCYNACEAE
9	แคทราย	*Dolichandrone serrulata*	BIGNONIACEAE
10	แคฝอย	*Stereospermum neuranthum*	BIGNONIACEAE
11	แคหัวหมู	*Markhamia stipulata*	BIGNONIACEAE
12	แคหางค่าง	*Fernandoa adenophylla*	BIGNONIACEAE
13	ปีบ	*Millingtonia hortensis*	BIGNONIACEAE
14	เพกา	*Oroxylum indicum*	BIGNONIACEAE
15	หมัน	*Cordia cochinchinensis*	BORAGINACEAE
16	ตะคร้ำ	*Garuga pinnata*	BURSERACEAE
17	กุ่มบก	*Crateva adansonii*	CAPPARACEAE
18	แจง	*Maerua siamensis*	CAPPARACEAE
19	ชิงชี่	*Capparis micracantha*	CAPPARACEAE
20	ขี้อ้าย	*Terminalia nigrovenulosa*	COMBRETACEAE
21	สมอภิเพก	*Terminalia bellirica*	COMBRETACEAE
22	ปรู๋	*Alangium salviifolium*	CORNACEAE

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อสามัญ	ชื่อวิทย์	ชื่อวงศ์
23	มะเกลือ	*Diospyros mollis*	EBENACEAE
24	ตาตุ่มบก	*Falconeria insignis*	EUPHORBIACEAE
25	เปล้าหลวง	*Croton persimilis*	EUPHORBIACEAE
26	สลัดได	*Euphorbia lacei*	EUPHORBIACEAE
27	กระพี้จั่น	*Millettia brandisiana*	FABACEAE
28	กางขี้มอด	*Albizia odoratissima*	FABACEAE
29	ค้อนกลอง	*Parkia sumatrana*	FABACEAE
30	แดง	*Xylia xylocarpa*	FABACEAE
31	เถาคันไฟ	*Phanera integrifolia*	FABACEAE
32	ทองหลาง	*Erythrina subumbrans*	FABACEAE
33	ประดู่	*Pterocarpus macrocarpus*	FABACEAE
34	สะท้อน	*Archidendron clypearia*	FABACEAE
35	สาธร	*Millettia leucantha*	FABACEAE
36	เสี้ยวเครือ	*Phanera bracteata*	FABACEAE
37	แสมสาร	*Senna garrettiana*	FABACEAE
38	กาสามปีก	*Vitex peduncularis*	LAMIACEAE
39	คงคาเดือด	*Sphenodesme ferruginea*	LAMIACEAE
40	เปียด	*Premna tomentosa*	LAMIACEAE
41	ผ่าเสี้ยน	*Vitex canescens*	LAMIACEAE
42	สวองตีนเป็ด	*Vitex limonifolia*	LAMIACEAE
43	หมีเหม็น	*Litsea glutinosa*	LAURACEAE
44	ตะแบกแดง	*Lagerstroemia calyculata*	LYTHRACEAE

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อสามัญ	ชื่อวิทย์	ชื่อวงศ์
45	ตะแบกเปลือกบาง	*Lagerstroemia duperreana*	LYTHRACEAE
46	เสลาขาว	*Lagerstroemia tomentosa*	LYTHRACEAE
47	เสลาดำ	*Lagerstroemia undulata*	LYTHRACEAE
48	งิ้วผา	*Bombax anceps*	MALVACEAE
49	ปอเกล็ดแรด	*Sterculia macrophylla*	MALVACEAE
50	ปอทง	*Sterculia guttata*	MALVACEAE
51	ปอแท่นเทา	*Grewia eriocarpa*	MALVACEAE
52	ปอฝ้าย	*Firmiana colorata*	MALVACEAE
53	ปอมื่น	*Colona floribunda*	MALVACEAE
54	ปอหูช้าง	*Pterospermum acerifolium*	MALVACEAE
55	สำโรง	*Sterculia foetida*	MALVACEAE
56	สะเดา	*Azadirachta indica*	MELIACEAE
57	ยมหิน	*Chukrasia tabularis*	MELIACEAE
58	ไทรย้อยใบทู่	*Ficus microcarpa*	MORACEAE
59	โพธิ์ขี้นก	*Ficus rumphii*	MORACEAE
60	มะกา	*Bridelia ovata*	PHYLLANTHACEAE
61	เม่าไข่ปลา	*Antidesma ghaesembilla*	PHYLLANTHACEAE
62	ขว้าว	*Haldina cordifolia*	RUBIACEAE
63	ข่อย	*Gardenia saxatilis*	RUBIACEAE
64	เข็ม	*Pavetta nervosa*	RUBIACEAE
65	ยอดิน	*Morinda angustifolia*	RUBIACEAE
66	ยอป่า	*Morinda coreia*	RUBIACEAE

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อสามัญ	ชื่อวิทย์	ชื่อวงศ์
67	ส้มกบ	*Hymenodictyon orixense*	RUBIACEAE
68	หนามแท่ง	*Catunaregam spathulifolia*	RUBIACEAE
69	มะตูม	*Aegle marmelos*	RUTACEAE
70	ขี้หนอน	*Zollingeria dongnaiensis*	SAPINDACEAE
71	ตะคร้อ	*Schleichera oleosa*	SAPINDACEAE
72	มะยมผา	*Ailanthus triphysa*	SIMAROUBACEAE
73	ราชดัด	*Brucea javanica*	SIMAROUBACEAE
74	ผกากอง	*Lantana camara*	VERBENACEAE

ตารางผนวกที่ 2 ค่าลักษณะเชิงหน้าที่ของพรรณพืชในพื้นที่ป่าเขาหินปูน ได้แก่ ความหนาใบ (leaf thickness; Lt, mm) พื้นที่ใบ (leaf area; LA, Cm^2) พื้นที่ใบจำเพาะ (specific leaf area; SLA, Cm^2) สัดส่วนน้ำหนักแห้งต่อน้ำหนักสดของใบ (leaf dry matter content; LDMC, mg g^{-1}) และความหนาแน่นของเนื้อไม้ (wood density; WD, g/cm^{-3}) วัดป่าภัทรปิยาราม ตำบลโคกตูม อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี

ลำดับ	ชื่อสามัญ	LT	LA	SLA	LDMC	WD
1	กระเจียน	0.16 ± 0.02	42.44 ± 10.23	182.08 ± 15.19	434.64 ± 9.68	0.69 ± 0.03
2	กระพี้จั่น	0.17 ± 0.01	98.20 ± 26.66	109.79 ± 30.69	473.13 ± 74.80	0.54 ± 0.03
3	กางขี้มอด	0.18 ± 0.02	332.95 ± 35.70	121.74 ± 29.64	486.09 ± 53.76	0.72 ± 0.03
4	กุ๊ก	0.23 ± 0.01	233.51 ± 34.15	118.41 ± 17.69	386.99 ± 23.10	0.43 ± 0.05
5	ขว้าว	0.34 ± 0.06	85.62 ± 2.86	120.15 ± 0.53	343.98 ± 0.01	0.64 ± 0.10
6	ขี้หนอน	0.30 ± 0.02	143.63 ± 56.29	89.20 ± 10.40	473.69 ± 19.87	0.72 ± 0.1
7	ขี้อ้าย	2.24 ± 0.03	31.13 ± 0.74	106.59 ± 27.19	457.83 ± 71.30	0.78 ± 0.04
8	เข็ม	0.23 ± 0.03	39.89 ± 9.72	1101.14 ± 10.30	418.67 ± 34.73	0.75 ± 0.03
9	ค้อนกลอง	0.30 ± 0.01	28.08 ± 2.41	89.85 ± 4.25	508.68 ± 3.26	0.69 ± 0.03
10	แคฝอย	0.29 ± 0.08	224.17 ± 96.27	109.41 ± 13.68	389.53 ± 9.74	0.66 ± 0.09
11	แคหัวหมู	0.22 ± 0.02	681.00 ± 281.95	137.82 ± 14.40	367.79 ± 36.65	0.52 ± 0.06
12	แคหางค่าง	0.27 ± 0.02	728.49 ± 225.73	158.35 ± 28.07	331.07 ± 16.33	0.62 ± 0.08

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อสามัญ	LT (mm)	LA (cm^2)	SLA (cm^2g^{-1})	LDMC ($mg\ g^{-1}$)	WD ($g\ cm^{-3}$)
13	งิ้วผา	0.26 ± 0.07	132.37 ± 30.02	126.60 ± 3.46	302.70 ± 3.81	0.36 ± 0.04
14	ชิงชี่	0.23 ± 0.08	19.72 ± 6.68	120.97 ± 40.21	411.92 ± 47.59	0.67 ± 0.02
15	แดง	0.23 ± 0.04	256.52 ± 10.23	105.95 ± 12.19	447.29 ± 10.50	0.80 ± 0.02
16	ตะคร้อ	0.22 ± 0.02	364.64 ± 152.68	107.53 ± 28.24	441.89 ± 76.06	0.88 ± 0.05
17	ตะคร้ำ	0.27 ± 0.05	156.02 ± 39.74	119.42 ± 9.19	374.50 ± 24.45	0.55 ± 0.04
18	ตะแบกเปลือกบาง	0.23 ± 0.06	17.13 ± 5.19	122.09 ± 7.52	422.21 ± 4.62	0.68 ± 0.02
19	เถาคันไฟ	0.19 ± 0.03	53.49 ± 23.59	126.30 ± 5.49	513.98 ± 51.15	0.58 ± 0.09
20	ทองหลาง	0.24 ± 0.02	185.89 ± 13.16	182.65 ± 4.17	236.20 ± 23.68	0.27 ± 0.14
21	ไทรย้อยใบทู่	0.29 ± 0.04	17.67 ± 4.42	96.07 ± 23.90	376.20 ± 32.38	0.58 ± 0.03
22	ประดู่	0.26 ± 0.04	158.80 ± 40.71	117.86 ± 12.87	416.13 ± 17.94	0.76 ± 0.04
23	ปอทง	0.37 ± 0.06	82.09 ± 12.57	56.16 ± 0.38	665.07 ± 29.81	0.53 ± 0.06
24	ปอฝ้าย	0.24 ± 0.01	997.68 ± 535.16	114.84 ± 7.37	374.73 ± 5.37	0.41 ± 0.08
25	ปอหูช้าง	0.37 ± 0.01	339.69 ± 69.37	119.52 ± 6.22	376.12 ± 7.40	0.29 ± 0.04

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อสามัญ	LT (mm)	LA (cm^2)	SLA (cm^2g^{-1})	LDMC ($mg\ g^{-1}$)	WD ($g\ cm^{-3}$)
26	ปีบ	0.16 ± 0.03	223.61 ± 13.11	164.28 ± 11.86	366.72 ± 23.53	0.65 ± 0.01
27	เปียด	0.29 ± 0.03	73.22 ± 18.30	151.83 ± 17.19	691.29 ± 618.9	0.54 ± .005
28	ผกากอง	0.22 ± 0.01	21.06 ± 1.44	134.50 ± 4.96	438.40 ± 1.18	0.30 ± 0.41
29	เพกา	0.29 ± 0.00	3178.16 ± 253.99	107.37 ± 18.19	284.13 ± 32.89	0.42 ± 0.02
30	โพธิ์ขี้นก	0.25 ± 0.02	61.14 ± 20.35	117.09 ± 3.79	434.58 ± 13.25	0.51 ± 0.05
31	มะกอก	0.26 ± 0.01	218.25 ± 41.35	97.27 ± 7.39	271.96 ± 104.91	0.36 ± 0.06
32	มะกัก	0.53 ± 0.01	474.50 ± 300.72	95.89 ± 12.29	372.46 ± 10.58	0.43 ± 0.07
33	มะกา	0.18 ± 0.04	59.10 ± 32.48	222.44 ± 14.09	399.24 ± 17.85	0.78 ± 0.04
34	โมกมัน	0.34 ± 0.01	37.53 ± 14.08	147.75 ± 18.41	371.20 ± 68.17	0.53 ± 0.04
35	ยมหิน	0.22 ± 0.05	792.93 ± 253.29	150.48 ± 11.65	401.27 ± 20.51	0.76 ± 0.04
36	ยอป่า	0.25 ± 0.01	112.77 ± 45.06	123.83 ± 6.89	317.71 ± 7.29	0.49 ± 0.02
37	ส้มกบ	0.31 ± 0.03	124.43 ± 8.12	147.31 ± 16.47	231.54 ± 8.30	0.41 ± 0.01
38	สลัดได	5.45 ± 0.21	50.37 ± 2.65	5.42 ± 0.13	160.85 ± 9.98	0.29 ± 0.04

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อสามัญ	LT (mm)	LA (cm^2)	SLA (cm^2g^{-1})	LDMC ($mg\ g^{-1}$)	WD ($g\ cm^{-3}$)
39	สวองตีนเป็ด	0.22 ± 0.02	217.00 ± 38.48	153.78 ± 25.57	399.40 ± 47.74	0.79 ± 0.01
40	สะท้อน	0.28 ± 0.04	122.96 ± 23.89	106.66 ± 18.11	506.08 ± 12.39	0.97 ± 0.39
41	สาธร	0.23 ± 0.04	140.74 ± 57.89	132.77 ± 12.73	422.08 ± 56.86	0.74 ± 0.04
42	เสลาดำ	0.23 ± 0.02	15.38 ± 2.90	138.36 ± 29.18	375.64 ± 43.98	0.65 ± 0.02
43	เสี้ยวเครือ	0.18 ± 0.01	54.03 ± 17.84	163.16 ± 15.53	527.12 ± 123.34	0.70 ± 0.09
44	แสมสาร	0.19 ± 0.02	211.60 ± 30.45	150.61 ± 46.06	355.77 ± 54.78	0.78 ± 0.02
45	หมีเหม็น	0.27 ± 0.02	39.53 ± 9.85	97.96 ± 8.97	437.65 ± 29.70	0.70 ± 0.03

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นายพิทักษ์ไทย ประโมสี

เกิดเมื่อ 11 มกราคม พ.ศ. 2539

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2557 ปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวชิาเกษตรป่าไม้
มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ