การศึกษาการปลดปล่อยไอโซพรีนจากป่าในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

ภคินี เกยงค์

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ตุลาคม 2566

การศึกษาการปลดปล่อยไอโซพรีนจากป่าในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

ภคินี เกยงค์

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ตุลาคม 2566

STUDY ON THE ISOPRENE RELEASE FROM FORESTS IN THE UPPER NORTH OF THAILAND

PHAKINEE KAYONG

A Thesis Submitted to University of Phayao

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Master of Science Degree in Environmental Science

October 2023

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการปลดปล่อยไอโซพรีนจากป่าในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

ของ ภคินี เกยงค์

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ดร. RONALD C. MACATANGAY)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธีรชัย อำนวยล้อเจริญ)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร. สิทธิชัย พิมลศรี)

..... คณบดีคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม
(รองศาสตราจารย์ ดร. ต่อพงศ์ กรีธาชาติ)

เรื่อง: การศึกษาการปลดปล่อยไอโซพรีนจากป่าในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

ผู้วิจัย: ภคินี เกยงค์, วิทยานิพนธ์: วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2566

อาจารย์ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร. ธีรชัย อำนวยล้อเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร. สิทธิชัย พิมลศรี

คำสำคัญ: ไอโซพรีน, ป่าเต็งรัง, ป่าเบญจพรรณ, ป่าดิบเขา

บทคัดย่อ

ไอโซพรีนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดระเหยง่ายที่เกิดจากปฏิกิริยาทางชีวภาพ (BVOC) ซึ่งถูกผลิตและปลดปล่อยออกมาในปริมาณมากโดยพืช และมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อเคมีในบรรยากาศและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การปลดปล่อยไอโซพรีนและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของไอโซพรีนและตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างอากาศแบบ Passive Sampling โดยการใช้ปั๊มเก็บอากาศ ดูดเก็บตัวอย่างอากาศ ที่ระดับชั้นเรือนยอดโดยเฉลี่ยของไม้ยืนต้นในพื้นที่ศึกษา ในช่วงเวลาต่าง ๆ จากป่าแต่ละประเภทในเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม พ.ศ. 2563 สำหรับฤดูฝน ในขณะที่ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา ผลการศึกษา พบว่า กลุ่มตัวอย่างของประเภทป่าไม้ที่สามารถพบได้มากที่สุดในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ ป่าเต็งรัง ซึ่งมีชนิดพันธุ์ไม้ที่เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น เต็ง (*Shorea obtusa*) พลวง (*Dipterocarpus tuberculatus*) รัง (*S. siamensis*) ก่อแพะ (*Quercus* sp.) และเหียง (*D. obtusifolius*) เป็นต้น ป่าเบญจพรรณ ซึ่งมีชนิดพันธุ์ไม้ที่เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น สัก (*Tectona grandis*) และประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus*) เป็นต้น และป่าดิบเขา ซึ่งมีชนิดพันธุ์ไม้ที่เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ก่อเดือย (*Castanopsis acuminatissima*) และก่อใบเลื่อม (*C. tribuloides*) เป็นต้น มีปริมาณการปลดปล่อยไอโซพรีนโดยเฉลี่ย 2404.57, 1441.73 และ 560.23 ppt สำหรับป่าเต็งรัง เบญจพรรณ และป่าดิบเขาตามลำดับ ขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา พบว่า ทั้งอุณหภูมิและความชื้นของอากาศส่งผลโดยตรงต่อความเข้มข้นของไอโซพรีนในพื้นที่ป่าทั้ง 3 ประเภท

Title: STUDY ON THE ISOPRENE RELEASE FROM FORESTS IN THE UPPER NORTH OF THAILAND

Author: Phakinee Kayong, Thesis: M.S. (Environmental Science), University of Phayao, 2023

Advisor: Associate Professor Dr. Teerachai Amnuaylojaroen Co-advisor Associate Professor Dr.Sittichai Pimonsree

Keywords: Isoprene, Dry deciduous forest, Mixed deciduous forest, Hill evergreen forest

ABSTRACT

Isoprene, a volatile hydrocarbon, has biological action and is abundantly released by many plant species. Furthermore, it is critical to recognize that this phenomena plays a critical role in the area of atmospheric chemistry and its delicate interplay with climate change. The primary goal of this study was to analyze isoprene emission patterns and investigate their relationship with isoprene concentrations and meteorological parameters in the upper northern region of Thailand's dry deciduous forest, mixed deciduous forest, and hill evergreen forest ecosystems. The air was collected in a methodical manner using passive sampling techniques, with an air pump serving as the primary instrument. Air samples were taken at a height above the average canopy of the perennial plants in the chosen study area. This sampling was conducted in june to july 2020, during the wet season. The goal of this project was to collect and analyze air samples from different forest types found in the study area. The Thai Meteorological Department (TMD) provided meteorological variables such as temperature and relative humidity for this investigation. According to the research findings, the most common forest types in Thailand's upper northern region are dry deciduous forests. The presence of important elements such as Teng (*S. obtusa*), Pluang (*D. tuberculatus*), Dark red meranti (*S. siamensis*), Ko (*Quercus sp.*), and Hiang (*D. obtusifolius*), among others, distinguishes these forests. Mixed deciduous forests are distinguished by the coexistence of several plant species, such as Teak (*Tectona grandis*) and Padauk (*Pterocarpus macrocarpus*), among others. In the context of the dry dipterocarp forest, the hill evergreen forest, typified by dominating tree species such as Ko dueai (*C. acuminatissima*) and *C. tribuloides*, exhibits average isoprene emissions of 2404.57, 1441.73, and 560.23 parts per trillion (ppt). The forests in question can be divided into three types: dry deciduous forest, mixed deciduous forest, and hill evergreen forests. The study discovered a link between isoprene content and climatic variables, notably air temperature and humidity. It is critical to analyze the numerous elements that contribute to the three distinct forest types' unique traits and ecological dynamics.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงและสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณา ช่วยเหลือ แนะนำเป็นอย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรชัย อำนวยล้อเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้ให้คำปรึกษา แนะนำ ชี้แนะแนวทางการศึกษาวิจัย ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ด้วยความเอาใจใส่ อดทน และหวังดี นำมาซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ซึ่งให้ทุนในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้ง Dr. rer. nat.Ronald C. Macatangay ดร.วนิสา สุรพิพิธ และคณะ ซึ่งได้ให้คำปรึกษา แนะนำ ชี้แนะแนวทางการศึกษาวิจัย ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการลงพื้นที่ศึกษาวิจัย ติดต่อประสานงาน ให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน นำมาซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณความห่วงใยและกำลังใจจากครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่ง ที่คอยห่วงใย สนับสนุน และผลักดันอยู่เบื้องหลัง ทำให้การศึกษาวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากการศึกษาวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่บุพการี คณาจารย์ ครอบครัว และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในทุกขั้นตอนของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ที่ได้ให้การสนับสนุน เป็นกำลังใจตลอดระยะเวลาในการศึกษาวิจัยจนประสบผลสำเร็จด้วยดี

ภคินี เกยงค์

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง

หน้า

สารบัญภาพ

หน้า

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไอโซพรีนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดระเหยง่ายที่เกิดจากปฏิกิริยาทางชีวภาพ (BVOC) ซึ่งถูกผลิตและปลดปล่อยออกมาในปริมาณมากโดยพืช โดยประมาณการทั่วโลกของการปล่อยไอโซพรีนมีค่าประมาณ 440–600 Tg C ต่อปี (Guenther et al., 2012) ซึ่งมีขนาดเท่ากับการปลดปล่อยก๊าซมีเทนทั่วโลก ไอโซพรีนมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อเคมีในบรรยากาศ และมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก (Hewitt and Street, 1992; Steinbrecher et al., 1997; Lerdau et al., 1997) ไอโซพรีนสามารถทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับสารออกซิแดนท์ในชั้นบรรยากาศ และเนื่องจากปฏิกิริยานี้จึงมีส่วนช่วยในการปฏิกิริยาเคมีแสงแดด (Photochemical reaction) ในชั้นบรรยากาศซึ่งนำไปสู่การก่อตัวของโอโซน และสารอื่น ๆ ได้แก่ ไนเตรต ฟอร์มัลดีไฮด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และ คาร์บอนไดออกไซด์ (Trainer et al., 1987) อีกทั้ง จากงานวิจัยที่ผ่านมาระบุว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันในชั้นบรรยากาศของไอโซพรีนมีศักยภาพที่จะส่งผลกระทบ (ทั้งทางบวกและทางลบ) การก่อตัวของอนุภาคละอองอินทรีย์ทุติยภูมิ ซึ่งอาจทำหน้าที่เป็นนิวเคลียสของการควบแน่นของเมฆ และมีอิทธิพลต่อ สมดุลพลังงานของพื้นผิวโลก (Xiaoshan et al., 2000)

การปล่อยไอโซพรีนส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวัน เนื่องจากไอโซพรีนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (Sharkey et al, 2008) นอกจากนี้ จากการศึกษาการสังเคราะห์และการปล่อยไอโซพรีนจากพืชหลายชนิดพบว่า ชนิดพันธุ์ของพืชมีผลต่อปริมาณการปล่อยไอโซพรีนที่แตกต่างกัน พืชบางชนิดสามารถผลิตและปล่อยไอโซพรีนได้ แต่พืชบางชนิดไม่สามารถผลิตและปล่อยไอโซพรีนได้ (Monson et al., 2012) พืชปล่อยสารไอโซพรีนซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยเฉพาะในช่วงที่มีอุณหภูมิสูงและแสงแดดจัด การผลิตไอโซพรีนช่วยให้พืชรับมือกับความเครียดจากอุณหภูมิสูงโดยป้องกันความเสียหายที่เกิดจากความร้อนต่อโครงสร้างเซลล์

ระบบนิเวศน์ของการปล่อยไอโซพรีนน่าจะเป็นองค์ประกอบสำคัญของการตอบสนองของระบบนิเวศต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในป่าเขตร้อน ซึ่งปล่อยไอโซพรีนออกมามากกว่าชีวนิเวศน์อื่น ๆ (Guenther et al., 2006) และเผชิญกับแนวโน้มที่จะเกิดภาวะโลกร้อนและภาวะแห้งแล้งอย่างมีนัยสำคัญ (Kirtman et al., 2013; Duffy et al.,

2015; Chadwick et al., 2016) จากภัยแล้งและภาวะโลกร้อนแสดงให้เห็นว่าการตอบสนองของต้นไม้ในเขตร้อนนั้นแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์และประเภทการทำงาน (Phillips et al., 2009; Enquist and Enquist, 2010; Enquist et al., 2017; Duque et al., 2021) ลักษณะทางชลศาสตร์ (Plant hydraulic traits) ของพืชและความผันแปรของแต่ละสปีชีส์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของเมแทบอลิซึมเบื้องต้นซึ่งอาจเป็นตัวขับเคลื่อนที่สำคัญของการตอบสนองของสปีชีส์ที่แตกต่างกันเหล่านี้ (McDowell et al., 2008; Phillips et al., 2009; Phillips et al., 2010; Rowland et al., 2015).

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้กับแนวเขตเส้นศูนย์สูตร มีลักษณะอากาศแบบร้อนชื้น จึงทำให้มีการกระจายของฝน และระยะเวลาที่ฝนตก รวมทั้งปริมาณน้ำฝนที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ทำให้สามารถแบ่งฤดูกาลออกได้เป็น 2 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูแล้ง และฤดูฝน ด้วยลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันของพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย จึงทำให้มีการกระจายตัวของพื้นที่ป่าอยู่เป็นบริเวณกว้างและมีประเภทของป่าแตกต่างกันไป อาทิเช่น ป่าไม่ผลัดใบ ได้แก่ ป่าดิบเขา ป่าสนเขา ป่าดิบชื้น เป็นต้น และป่าผลัดใบ ได้แก่ ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง เป็นต้น ซึ่งมีพันธุ์ไม้เด่นที่มีอิทธิพลเหนือพื้นที่ป่าแต่ละชนิดแตกต่างกันตามไปด้วย นอกจากนี้ ประเทศไทยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ยังไม่มีการศึกษาและรายงานผลเกี่ยวกับปริมาณการปล่อยไอโซพรีนจากพืชในพื้นที่ป่าประเภทต่าง ๆ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการศึกษาการปล่อยไอโซพรีนจากป่าในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย เพื่อเป็นตัวแทนข้อมูลของการปล่อยไอโซพรีนของป่าประเภทป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา สำหรับการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์การปลดปล่อยไอโซพรีนจากป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

2. เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของไอโซพรีนและตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

ขอบเขตของการวิจัย

ทำการเก็บตัวอย่างอากาศและข้อมูลพันธุ์ไม้ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไอโซพรีนที่ปล่อยออกมาจากพืชเหนือพื้นที่ป่าเต็งรัง มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา (19° 02′01.2″N, 99° 54′17.0″E) ป่าเบญจพรรณ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง (18° 23′N, 99° 43′E) และป่าดิบเขา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ (18° 48′N, 98° 54′E)

ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษา มิถุนายน พ.ศ. 2563 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2563 รวมระยะเวลา 6 เดือน

นิยามศัพท์เฉพาะ

ไอโซพรีน (Isoprene; 2–methyl–1,3–butadiene) หมายถึง สารประกอบอินทรีย์ระเหยทางชีวภาพ มีสถานะเป็นของเหลว ไม่มีสี ผลิตและปล่อยออกมาโดยพืชผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ป่าเต็งรัง (Dry Deciduous Forest) หมายถึง ป่าผลัดใบที่มีลักษณะเป็นป่าโปร่ง พื้นที่ทั่วไปมีความแห้งแล้ง เป็นดินร่วนปนทราย กรวด หรือลูกรัง พบทั่วไปในพื้นที่ราบและภูเขาที่มีฤดูแล้งยาวนานประมาณ 6 เดือน มีปริมาณน้ำฝนรายปีอยู่ระหว่าง 1,250 มิลลิเมตร และมีชนิดพันธุ์ไม้ที่สำคัญ ได้แก่ พลวง (*Dipterocarpus tuberculatus*) เหียง (*D. obtusifolius*) เต็ง (*Shorea obtusa*) และรัง (*S. siamensis*)

ป่าเบญจพรรณ (Mixed Deciduous Forest) หมายถึง ป่าผลัดใบผสม มีลักษณะเป็นป่าโปร่ง มีไม้ไผ่ชนิดต่าง ๆ ขึ้นกระจัดกระจายอยู่ทั่วไป พื้นที่ดินมักเป็นดินร่วนปนทราย พบบริเวณพื้นที่สูงเหนือระดับน้ำทะเลประมาณ 1,000 เมตร มีปริมาณน้ำฝนรายปีอยู่ระหว่าง 1,250–2,000 มิลลิเมตร และมีชนิดพันธุ์ไม้ที่สำคัญ ได้แก่ สัก (*Tectona grandis*) ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus*) แดง (*Xylia kerrii*) ตะแบก (*Lagerstroemia calyculata*) เสลา (*L. tomentosa*) และมะค่าโมง (*Afzelia xylocarpa*)

ป่าดิบเขา (Hill Evergreen Forest) หมายถึง ป่าไม่ผลัดใบ พบในพื้นที่สูงหรือบนภูเขาที่มีความสูงตั้งแต่ 1,000–1,200 เมตรจากระดับน้ำทะเล มีปริมาณน้ำฝนระหว่าง 1,000–2,000 มิลลิเมตร และมีชนิดพันธุ์ไม้ที่สำคัญ ได้แก่ พืชวงศ์ก่อ (*Quercus*, *Lithocarpus* และ *Castanopsis*)

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

1. ทำให้ทราบปริมาณการปล่อยไอโซพรีนจากป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

2. ทำให้สามารถวิเคราะห์การปล่อยไอโซพรีนจากป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไอโซพรีน (Isoprene)

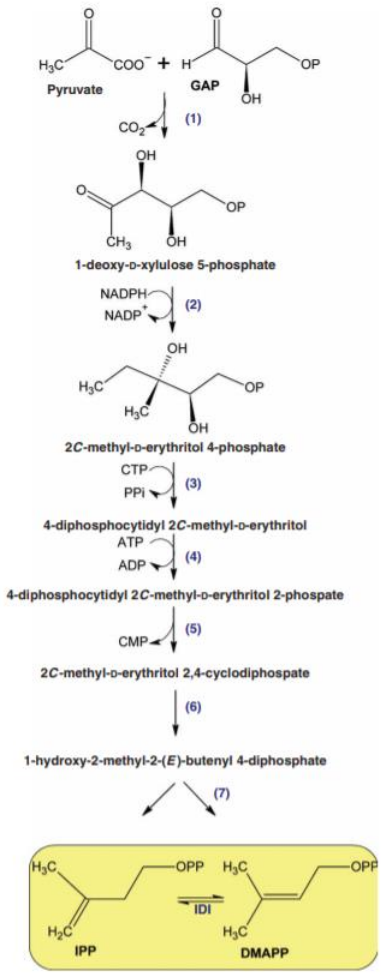
ไอโซพรีน (Isoprene หรือ 2-methyl-1,3-butadiene) เป็นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compound; VOC) ที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดทางชีวภาพ ไอโซพรีนผลิตและปล่อยขึ้นสู่บรรยากาศโดยตรงจากพืชหลายชนิด (Sharkey, 1996) มีคุณสมบัติเป็นของเหลวระเหย ไม่มีสี โดยการประมาณการณ์การผลิตและปล่อยของไอโซพรีนประจำปีทั่วโลกมีค่าความเข้มข้นประมาณ 600 Tg (Guenther et al., 2006; Cinege et al., 2009; Guenther et al., 2012) ไอโซพรีนเป็นหนึ่งในสารประกอบอินทรีย์ระเหยทางชีวภาพ (Biogenic volatile organic compounds; BVOC) ที่มีความสำคัญต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีบทบาทสำคัญต่อเคมีในบรรยากาศและสภาพอากาศ (Atkinson, 2000) ไอโซพรีนเป็นสารประกอบซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับอนุมูลไฮดรอกซิลในบรรยากาศ ทำให้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์สามารถเพิ่มการสร้างโอโซนในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ได้ (Monson and Holland, 2001; Atkinson and Arey, 2003; Sharkey et al., 2008) นอกจากนี้ ไอโซพรีนในบรรยากาศยังสามารถก่อให้เกิดการก่อตัวของละอองลอยอินทรีย์ทุติยภูมิ (Secondary organic aerosol; SOA) (Pike and Young, 2009; Ying et al., 2015) ซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็นนิวเคลียสในการควบแน่นของเมฆ และส่งผลต่อการถ่ายเทรังสีผ่านชั้นบรรยากาศ (Monson and Holland, 2001; Atkinson and Arey, 2003) เป็นต้น

1. การสังเคราะห์ไอโซพรีนจากพืช

ไอโซพรีนสังเคราะห์ขึ้นผ่านทาง methyl-erythritol-4-phosphate pathway (MEP pathway หรือเรียกว่า non-mevalonate pathway) ในคลอโรพลาสต์ของพืช (Sharkey and Yeh, 2001) ดังแสดงในภาพ 1 ซึ่งหนึ่งในสองของผลิตภัณฑ์สุดท้ายจาก MEP pathway ได้แก่ dimethylallyl pyrophosphate (DMAPP) จะถูกยึดจับโดยเอนไซม์ isoprene synthase เพื่อสร้าง isoprene และ diphosphate (Sharkey and Yeh, 2001; Sharkey et al., 2008) ดังแสดงในภาพ 2 การปล่อยไอโซพรีนจากพืชเป็นการปกป้องพืชจากความเครียดจากความร้อน ซึ่งปริมาณการปล่อยไอโซพรีนมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการผลิตและปล่อยไอโซพรีนมีค่าประมาณ 30°C (Guenther et al., 1993) นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการผลิตและปล่อยไอโซพรีนจากพืช เช่น ชนิดพันธุ์พืช อายุของใบ ความเข้มแสง เป็นต้น

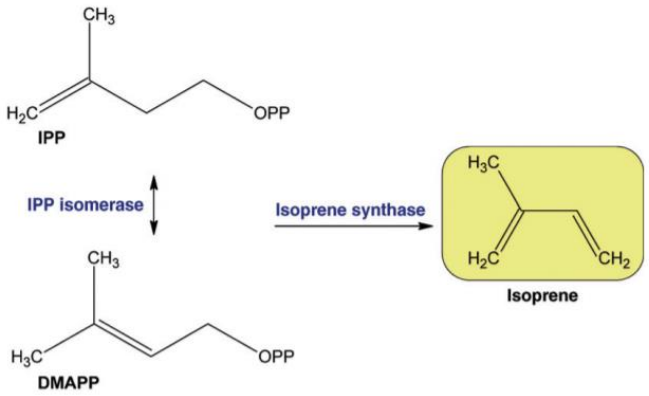
2. ความสำคัญของไอโซพรีน

การปล่อยไอโซพรีนจากพืชมีความสำคัญอย่างมากต่อเคมีในบรรยากาศ โดยในบรรยากาศมีสารองค์ประกอบของบรรยากาศหลายชนิด รวมทั้งไนตริกออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) (เรียกรวมกันว่า NO_x) ภายใต้อิทธิพลของแสงที่ส่องผ่านมายังโลก ในเวลากลางคืน NO_x ทั้งหมดจะอยู่ในรูปของ NO_2 เมื่อแสงทำปฏิกิริยา photolysis กับ NO_2 จะนำไปสู่การก่อตัวของโมเลกุลโอโซนขึ้น (Jacob, 1999; Monson and Holland, 2001) ในกรณีที่ไม่มีไฮโดรคาร์บอน ระดับของ NO_x ทั้งหมดในชั้นบรรยากาศจะเป็นตัวกำหนดปริมาณโอโซนที่สามารถเกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ตามการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไอโซพรีนโดยอนุมูลไฮดรอกซิลในชั้นบรรยากาศสามารถนำไปสู่การเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (RO_2) ที่สามารถเปลี่ยน NO เป็น NO_2 ทำให้สามารถผลิตโอโซนได้มากขึ้น (Sharkey et al., 2008) นอกจากนี้ ไอโซพรีนยังมีผลต่อการก่อตัวของละอองลอยอินทรีย์ทุติยภูมิ (SOA) ในบรรยากาศ โดยการก่อตัวของละอองลอยเกิดจาก RH ผ่านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทั้งช่องทางการเกิดผ่าน OH และ O_3 ละอองลอยเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการดูดซับของสารตั้งต้น (เช่น IEPOX) ในช่องทาง OH และจากการควบแน่นของ oligomers ที่ได้จาก SCI ในช่อง O_3 (Jia and Xu, 2018) ดังแสดงในภาพ 3



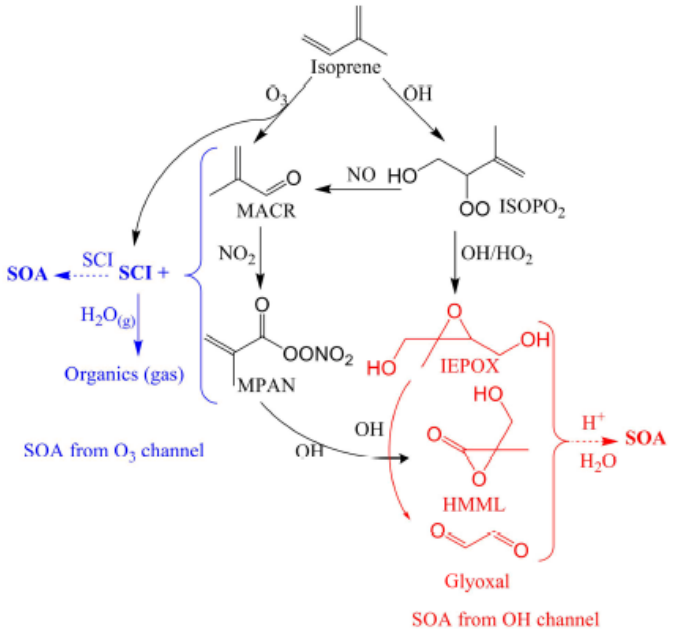
ภาพ 1 Chloroplastic deoxyxylulose phosphate pathway (DOXP) biosynthesis for the terpenoid precursors, isopentenyl diphosphate (IPP) and dimethylallyl diphosphate (DMAPP). (1) 1–deoxy–D–xylulose 5–phosphate synthase (2) 2C–methyl–D–erythritol 4–phosphate synthase (3) 4–diphosphocytidyl 2C–methyl–D–erythritol synthase (4) 4–diphosphocytidyl 2C–metyl–D erythritol kinase (5) 2C–methyl–D–erythritol 2,4- cyclodiphosphate synthase (6) 1–hydroxy–2–methyl–2–(E)–butenyl 4–diphosphate synthase (7) 1–hydroxy–2–methyl–2–(E)–butenyl 4–diphosphate Reductase.

ที่มา: Eisenreich et al., 2004



ภาพ 2 Biosynthesis of isoprene from the chloroplastic precursors, isopentenyl diphosphate (IPP), and dimethylallyl diphosphate (DMAPP). IPP is converted into its isomer DMAPP by isopentenyl diphosphate isomerase (IDI), which is then catalyzed by isoprene synthase (ISPS) to isoprene.

ที่มา: Sharkey and Yeh,, 2001



ภาพ 3 กระบวนการเกิดละอองลอยอินทรีย์ทุติยภูมิจากไอโซพรีน

ที่มา: Jia and Xu,, 2018

ป่าไม้ (Forest)

ป่าไม้เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่เป็นสังคมของต้นไม้ และสิ่งมีชีวิตที่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และปกคลุมเนื้อที่กว้างใหญ่ มีการใช้ประโยชน์จากอากาศ น้ำ และวัตถุธาตุต่าง ๆ ในดิน เพื่อการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2562)

1. ประเภทของป่าไม้

ป่าไม้จะมีความแตกต่างกันไปตามปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน ได้แก่ ฤดูกาล ปริมาณน้ำฝน การกระจายของฝน (ระยะเวลาที่ฝนตก) ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และความสูงจากระดับน้ำทะเล รวมทั้งปัจจัยทางชีวภาพต่าง ๆ สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท (ธวัชชัย, 2549) ดังนี้

1.1 ป่าไม่ผลัดใบ (Evergreen forest) ป่าประเภทนี้มีเรือนยอดเขียวชอุ่มตลอดปี เนื่องจากต้นไม้แทบทั้งหมดที่ขึ้นอยู่เป็นต้นไม้ประเภทที่ไม่ผลัดใบ และอาจพบไม้ต้นผลัดใบขึ้นแทรกในชั้นเรือนยอดที่เขียวชอุ่มอยู่บ้าง ขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น ปริมาณน้ำฝนและความชุ่มชื้นในดิน เป็นต้น ป่าไม่ผลัดใบในประเทศไทยสามารถจำแนกได้ดังนี้

1.2 ป่าดิบชื้น (Tropical evergreen forest หรือ tropical rain forest) จัดเป็นป่าฝนในเขตร้อน พบบริเวณพื้นที่ที่มีระดับความสูง 600 เมตรจากระดับน้ำทะเล มีลักษณะโครงสร้างเป็นป่ารกทึบ ประกอบด้วยพรรณไม้หลายชนิด ไม้ต้นของเรือนยอดชั้นบนส่วนใหญ่เป็นไม้วงศ์ยาง–ตะเคียน (Dipterocarpaceae) มีลำต้นสูงใหญ่ตั้งแต่ 30–50 เมตร ถัดลงมาเป็นไม้ต้นขนาดกลางและขนาดเล็ก ซึ่งสามารถขึ้นอยู่ใต้ร่มเงาของต้นไม้ใหญ่ได้

1.3 ป่าดิบแล้ง (Dry evergreen forest หรือ seasonal rain forest) พบกระจายทั่วไปตามที่ราบเชิงเขา ไหล่เขา และหุบเขาที่ชุ่มชื้น พบในบริเวณพื้นที่ที่มีระดับความสูง 300–600 เมตรจากระดับน้ำทะเล มีลักษณะโครงสร้างคล้ายป่าดิบชื้น โดยเรือนยอดของป่าจะเขียวชอุ่มตลอดปี แต่ในป่าดิบแล้งจะมีไม้ต้นผลัดใบ (Deciduous tree) ขึ้นแทรกกระจายมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนและความชุ่มชื้นในดิน โดยป่าดิบแล้งในบริเวณที่มีความชุ่มชื้นในดินน้อยจะพบไม้ผลัดใบเพิ่มขึ้นในชั้นเรือนยอด มีไม้ต้นที่สำคัญ ได้แก่ มะค่าโมง (*Afzelia xylocarpa*) พะยอม (*Shorea roxburghii*) และยางนา (*Dipterocarpus alatus*) เป็นต้น

1.4 ป่าดิบเขา (Hill evergreen forest) พบบนภูเขาที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลางตั้งแต่ 1,000–1,900 เมตร สภาพป่ามีเรือนยอดแน่นทึบ มีไม้พื้นล่างหนาแน่นคล้ายกับป่าดิบชื้นและป่าดิบแล้ง แต่แตกต่างกันในองค์ประกอบของพรรณไม้ ป่าดิบเขาประกอบด้วยพรรณไม้เขตอบอุ่น (Temperate species) และพรรณไม้ภูเขา (Montane species) พบไม้ต้นส่วนใหญ่อยู่ในวงศ์ก่อ (Fagaceae)

1.5 ป่าสนเขา (Pine forest หรือ Coniferous forest) เป็นป่าไม้ที่มีกลุ่มไม้เนื้ออ่อนจำพวกไม้สน (Conifer) ขึ้นบนที่ราบสูงของภูเขาตั้งแต่ระดับความสูงประมาณ 1,100–1,300 เมตรจากระดับน้ำทะเล โครงสร้างของป่าตามธรรมชาติมีไม้สนเขาขนาดใหญ่ ได้แก่ แปกลม (*Calocedrus macrolepis*) ในวงศ์ Cupressaceae ขึ้นเป็นไม้เด่นของเรือนยอดชั้นบน นอกจากนี้ยังพบไม้สนเขาอื่น ๆ เช่น สนสามพันปี (*Dacrydium elatum*) พญาไม้ (*Podocarpus neriifolius*) สนใบพาย (*Podocarpus polystachyus*) เป็นต้น

1.6 ป่าชายเลนหรือป่าโกงกาง (Mangrove forest) พบอยู่ตามพื้นที่ที่เป็นดินเลน ริมทะเล หรือบริเวณปากน้ำแม่น้ำซึ่งมีน้ำเค็มท่วมถึง มีไม้โกงกางเป็นพรรณไม้เด่น ป่าชายเลนมีลักษณะโครงสร้างของป่าและองค์ประกอบของพรรณไม้ที่เฉพาะ ต้นไม้บางชนิดมีรากค้ำยัน (Buttress root) ออกมาจากโคนต้น เช่น โกงกาง (*Rhizophora* spp.) บางชนิดมีรากหายใจ (Pneumatophore) โผล่พ้นดินเลน เช่น แสม (*Avicennia* spp.) ลำพู (*Sonneratia* spp.) และประสัก (*Bruguiera* spp.) เป็นต้น

2. ป่าผลัดใบ (Deciduous forest) เป็นป่าไม้ที่มีไม้ต้นผลัดใบตามฤดูกาล (Seasonal) พบทั่วไปบนที่ราบเชิงเขา และบนภูเขาสูงไม่เกิน 1,000 เมตรจากระดับน้ำทะเล มีช่วงฤดูแล้งยาวนานชัดเจนระหว่าง 4–7 เดือน ในฤดูฝนป่าประเภทนี้จะเขียวชอุ่ม พอถึงฤดูแล้งต้นไม้ส่วนใหญ่จะผลัดใบทิ้ง ทำให้ป่ามองดูโปร่งขึ้น และมักจะเกิดไฟป่าเผาไหม้ใบไม้และต้นไม้เล็ก ๆ ป่าผลัดใบในประเทศไทยสามารถจำแนกได้ดังนี้

2.1 ป่าเบญจพรรณ (Mixed deciduous forest) มีลักษณะเป็นป่าโปร่ง พบบริเวณที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1,200–1,400 มิลลิเมตรต่อปี ที่ระดับความสูงตั้งแต่ 50–800 เมตรจากระดับน้ำทะเล ประกอบด้วยไม้ต้นขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็กปนกัน มีพรรณไม้เด่น ได้แก่ ไม้สัก (*Tectona grandis*) มะค่า (*Afzelia xylocarpa*) แดง (*Xylia xylocarpa*) ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus*) และชิงชัน (*Dalbergia oliveri*)

2.2 ป่าเต็งรัง ป่าแพะ ป่าแดง หรือป่าโคก (Deciduous dipterocarp forest หรือ dry dipterocarp forest) มีลักษณะทั่วไปเป็นป่าโปร่ง พบบริเวณพื้นที่ราบและเขาที่มีความสูงไม่เกิน 1,000 เมตรจากระดับน้ำทะเล ค่อนข้างแห้งแล้ง มีพื้นที่เป็นดินทรายหรือดินลูกรัง ระบายน้ำได้ดี ไม่สามารถเก็บรักษาความชุ่มชื้นไว้ได้เพียงพอในฤดูแล้ง ประกอบด้วยไม้ต้นผลัดใบขนาดกลางและขนาดเล็กขึ้นห่าง ๆ กระจัดกระจายไม่ค่อยแน่นทึบ พื้นป่ามีหญ้าและไผ่แคระขึ้นทั่วไป มีลูกไม้ค่อนข้างหนาแน่น จะมีไฟป่าเกิดขึ้นเป็นประจำทุกปี ทำให้ลูกไม้บางส่วนถูกไฟไหม้ตาย จนกว่าลูกไม้นั้น ๆ จะสะสมอาหารไว้ในรากได้เพียงพอ จึงจะเติบโตขึ้นสูงพ้นอันตรายจากไฟ

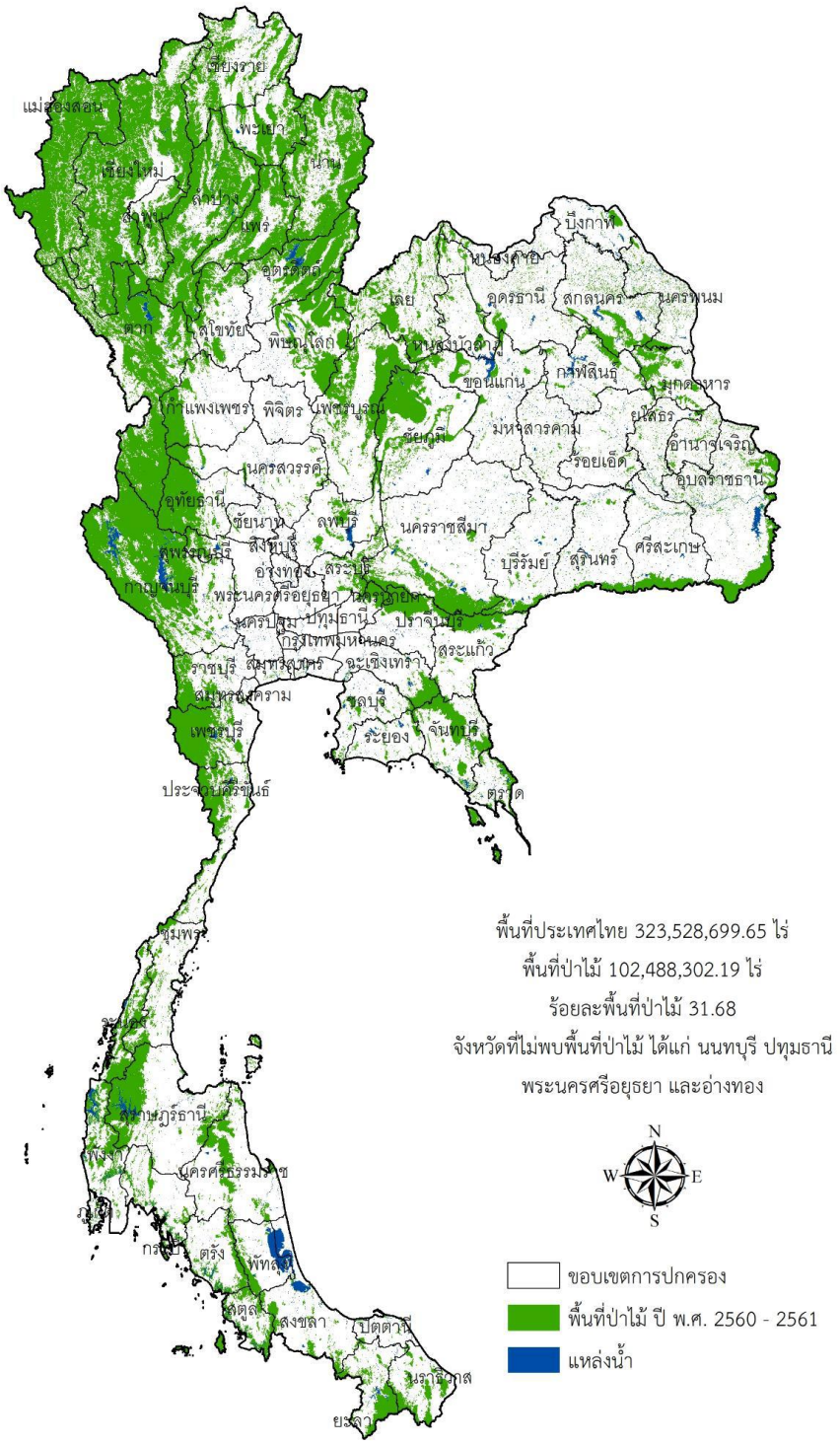
ป่าได้ มีพรรณไม้เด่นในวงศ์ Dipterocarpaceae ได้แก่ ยางกราด (*Dipterocarpus intricatus*) เหียง (*D. obtusifolius*) พลวง (*D. tuberculatus*) เต็ง (*Shorea obtusa*) และรัง (*S. siamensis*)

3. พื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทย

พื้นที่ป่าไม้ หมายถึง พื้นที่ปกคลุมของพืชพรรณที่สามารถจำแนกได้ว่าเป็นไม้ยืนต้นปกคลุมเป็นผืนต่อเนื่องขนาดไม่น้อยกว่า 3.125 ไร่ และหมายรวมถึงทุ่งหญ้าและลานหินที่มีอยู่ตามธรรมชาติที่ปรากฏล้อมรอบด้วยพื้นที่ที่จำแนกได้ว่าเป็นพื้นที่ป่าไม้โดยไม่รวมถึงสวนยูคาลิปตัส หรือพื้นที่ที่มีต้นไม้แต่ประเมินได้ว่าผลผลิตหลักของการดำเนินการไม่ใช่เนื้อไม้ ได้แก่ พื้นที่วนเกษตร สวนผลไม้สวนยางพารา และสวนปาล์ม (กรมป่าไม้, 2561)

การจัดทำข้อมูลสภาพพื้นที่ป่าไม้โดยใช้ข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel-2 ระบบบันทึกภาพ MSI ความละเอียดจุดภาพ 10 เมตร บันทึกภาพ ปี พ.ศ.2561 เป็นหลักในการปฏิบัติงาน และใช้ข้อมูลภาพดาวเทียม Landsat 8 ระบบบันทึกภาพ OLI ความละเอียดจุดภาพ 30 เมตร บันทึกภาพ ปี พ.ศ.2561 เป็นข้อมูลสนับสนุนการปฏิบัติงาน ของกรมป่าไม้ พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ป่าไม้ ปี พ.ศ.2560 – 2561 จำนวน 102,488,302.19 ไร่ หรือร้อยละ 31.68 ของพื้นที่ประเทศ (กรมป่าไม้, 2561) ดังแสดงในภาพ 4

ภาคเหนือของประเทศไทย ครอบคลุมพื้นที่ 9 จังหวัด มีพื้นที่ทั้งหมด 60,048,349.14 ไร่ พบพื้นที่ป่าไม้ 38,533,429.40 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 64.17 โดยมีสัดส่วนพื้นที่ป่าไม้เทียบกับพื้นที่จังหวัด ได้แก่ แม่ฮ่องสอน (ร้อยละ 85.99) ลำปาง (ร้อยละ 70.31) เชียงใหม่ (ร้อยละ 69.84) แพร่ (ร้อยละ 64.76) น่าน (ร้อยละ 61.33) ลำพูน (ร้อยละ 57.92) อุตรดิตถ์ (ร้อยละ 55.89) พะเยา (ร้อยละ 51.50) และเชียงราย (ร้อยละ 40.00) ตามลำดับ นอกจากนี้ จากการศึกษาชนิดของป่าไม้ในภาคเหนือสามารถจำแนกได้เป็นพื้นที่ป่าเบญจพรรณมากที่สุด 20,995,708.11 ไร่ (ร้อยละ 54.49) รองลงมา ได้แก่ ป่าดิบเขา 7,401,578.63 ไร่ (ร้อยละ 19.21) ป่าเต็งรัง 6,557,074.32 ไร่ (ร้อยละ 17.02) และอื่น ๆ 3,579,068.34 ไร่ (ร้อยละ 9.28) (กรมป่าไม้, 2561)



ภาพ 4 แผนที่สภาพพื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทย ปี พ.ศ.2560 – 2561

ที่มา: กรมป่าไม้, 2561

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wang และคณะ (2022) ทำการทบทวนผลของแสงต่อการปล่อยไอโซพรีนและโมโนเทอร์พีนทางชีวภาพ พบว่า แสงถือเป็นหนึ่งในปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดสำหรับการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช นอกจากบทบาทด้านการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช แสงยังส่งผลต่อการสังเคราะห์และการปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายทางชีวภาพ (BVOC) มีการทบทวนอิทธิพลของการพึ่งพาแสงและปัจจัยรวมกัน (เช่น ระยะทรงพุ่มและการพัฒนาใบด้วยแสง) ต่อการปลดปล่อยไอโซพรีนทางชีวภาพ (ISO) และโมโนเทอร์พีน (MTs) และสรุปกลไกการปลดปล่อยของ ISO และ MT จากผลของแสงที่มีความเข้มและคุณภาพแสงที่แตกต่างกัน ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าในช่วงระหว่างศูนย์ถึงจุดอิ่มตัวของ ISO และ MT อัตราการปลดปล่อยของ ISO และ MT จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของการสังเคราะห์ด้วยแสง จากนั้นจึงยังคงไม่เปลี่ยนแปลงหรือผันผวน หลังจากการลดลงของแสงในช่วงวัน อัตราการปล่อยก๊าซของ ISO และ MT จะลดลงอย่างรวดเร็วจนใกล้ศูนย์ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ ISO สอดคล้องกับอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยสูงสุดในเวลา 12.00–14.00 นาฬิกา MT ถูกปล่อยออกมาและสะสมในเวลากลางคืน ความเข้มข้นสูงสุดของ MT ส่วนใหญ่เกิดขึ้นใกล้พื้นดิน (0–2 ม.) ในตอนเช้าของวันถัดไป อัตราการปล่อย ISO ของใบแก่จะสูงกว่าใบอ่อนประมาณ 90–130% MT จะถูกสังเคราะห์เป็นส่วนใหญ่ในช่วงระยะเมื่ออายุใบ 1–30 วัน อัตราการปล่อยก๊าซสูงสุดและต่ำสุดของ MT อยู่ในช่วงแตกหน่อและใบโตตามลำดับ การทบทวนนี้ให้ข้อมูลอ้างอิงสำหรับการลดความไม่แน่นอนของปัจจัยการปล่อย BVOC และเพื่อการปรับโมเดลการปล่อย BVOC ในระดับภูมิภาคให้เหมาะสม

Bai และคณะ (2015) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและระหว่างปีในระบบนิเวศการปล่อยไอโซพรีนและโมโนเทอร์พีนจากป่าผสมในเขตอบอุ่นทางภาคเหนือของประเทศจีน โดยการวัดการปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยทางชีวภาพ (BVOC) พารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยา และการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ ที่มีความสำคัญต่อป่าในเขตอบอุ่นประเทศจีนในช่วงฤดูร้อนในปี 2010 และ 2011 และทำการวัดการปล่อย Terpenoid โดยใช้เทคนิค Relaxed Eddy Accumulation (REA) พบว่า มีการปล่อยไอโซพรีนขึ้นสู่บรรยากาศมากที่สุด 79.1% และ 82.0% ในฤดูร้อนปี 2010 และ 2011 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณการปล่อยสูงที่สุดของสารในกลุ่ม Terpenoid ทั้งหมด รองลงมาเป็นการปล่อยสารในกลุ่มโมโนเทอร์พีน ได้แก่ α – pinene 6.3% และ 12.2% ตามลำดับ การปล่อยสารในกลุ่ม Terpenoid มีรูปแบบของการปล่อยรายวันที่หลากหลาย โดยทั่วไปการปล่อยไอโซพรีนและโมโนเทอร์พีนจะเกิดขึ้นไม่กี่ชั่วโมงหลังจากมีค่าช่วงคลื่นที่พืชใช้ในการสังเคราะห์แสง (Photosynthetically Active Radiation; PAR) สูงสุดในตอน

เที่ยงและใกล้เคียงกับอุณหภูมิสูงสุดรายวัน ในช่วงฤดูร้อนปี 2011 ฟลักซ์การปล่อยไอโซพรีนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.889 mg m^{-2} h^{-1} และมีฟลักซ์การปล่อยโมโนเทอร์พีนโดยเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 0.143 mg m^{-2} h^{-1} ปัจจัยการปล่อยซึ่งแสดงถึงการปล่อยที่คาดไว้ที่อุณหภูมิ 30 ° C สำหรับพื้นที่ศึกษาสำหรับโมโนเทอร์พีนทั้งหมดเท่ากับ 0.32 mg m^{-2} h^{-1} และสำหรับไอโซพรีนเท่ากับ 4.3 mg m^{-2} h^{-1} การสังเกตนี้ใช้เพื่อประเมินขนาดและความแปรปรวนของการปล่อยไอโซพรีนและโมโนเทอร์พีนที่ทำนายโดยแบบจำลอง MEGANv2.1 โดยแบบจำลองการปล่อย MEGANv2.1 เมื่อใช้ข้อมูลเฉพาะในพื้นที่ศึกษา พบว่า มีปัจจัยการปล่อยที่วัดได้สำหรับไอโซพรีน คือ 12% และสำหรับโมโนเทอร์พีน คือ 20% แบบจำลอง MEGANv2.1 คาดการณ์ว่าการเปลี่ยนแปลงของความเข้มของแสงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในการปล่อยไอโซพรีนในระหว่างการศึกษานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Turner et al (1991) กล่าวว่า แบบจำลองระดับโลกได้รับการพัฒนาเพื่อประเมินรูปแบบเชิงพื้นที่และเชิงเวลาในการปล่อยไอโซพรีนจากพืชพรรณภายใต้สภาพอากาศในปัจจุบันผลลัพธ์ถูกนำมาใช้ในการประเมินการปล่อยมลพิษที่อาจเกิดขึ้นภายใต้สถานการณ์ภูมิอากาศแบบคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า การปล่อยมลพิษในปัจจุบันถูกประเมินบนพื้นฐานของประเภทพืชพรรณจากชีวมวลทางใบ (มาจากดัชนีพืชพรรณทั่วโลกที่สร้างขึ้นโดยดาวเทียม) และฐานข้อมูลทั่วโลกสำหรับอุณหภูมิอากาศและช่วงแสง แบบจำลองมีขั้นตอนเวลารายเดือน และความละเอียดเชิงพื้นที่ 0.5 องศาละติจูดและลองจิจูด การปล่อยมลพิษภายใต้รูปแบบของหยาดน้ำฟ้าและอุณหภูมิที่คาดการณ์ไว้สำหรับการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศเป็นสองเท่าได้รับการประเมินตามการเปลี่ยนแปลงที่คาดการณ์ไว้ในขอบเขตความกว้างของพื้นที่ที่มีการเจริญของพืชพรรณต่าง ๆ แต่ละชนิดมีอัตราการปล่อยไอโซพรีนรวมทั่วโลกในปัจจุบัน คือ 285 Tg การคำนวณการปล่อยไอโซพรีนที่ได้ภายใต้สภาพภูมิอากาศคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่านั้นสูงกว่าการปล่อยมลพิษในปัจจุบันประมาณ 25% เนื่องจากการขยายตัวของป่าดิบชื้นเขตร้อน ซึ่งมีอัตราการปล่อยสูงสุดต่อปี การเพิ่มขึ้นของการปล่อยไอโซพรีนทำให้มีการเพิ่มความเข้มข้นของโอโซนและมีเธนในชั้นบรรยากาศ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญและส่งผลต่อการเกิดภาวะโลกร้อน

Saito et al (2008) ทำการศึกษาการปล่อยเมทิลคลอไรด์และไอโซพรีนจากป่าฝนเขตร้อนในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยทำการศึกษาในพื้นที่ศึกษาป่า Pasoh ซึ่งเป็นเขตป่าสงวนตั้งอยู่ทางตะวันออกเฉียงใต้ของกัวลาลัมเปอร์ ในคาบสมุทรมาเลเซีย พื้นที่หลัก (ประมาณ 600 เฮกตาร์) ของพื้นที่มีลักษณะเป็นป่าเบญจพรรณที่ราบลุ่มซึ่งมีพืชจำพวก Dipterocarpaceae (ได้แก่ *Shorea* และ *Dipterocarpus*) เป็นองค์ประกอบหลัก ความสูงของ

เรือนยอดโดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 27.4 เมตร ทำการเก็บตัวอย่างอากาศที่ระดับความสูง 45, 52 และ 60 เมตรจากระดับพื้นดิน และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไอโซพรีนด้วย GC–MS พบว่าป่าฝนเขตร้อนซึ่งมีพันธุ์ไม้ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของป่าในวงศ์ Dipterocarpaceae มีการปลดปล่อยไอโซพรีนโดยเฉลี่ยประมาณ 700–3000 pptv และมีปริมาณความเข้มข้นลดลงตามความสูง

Tani and Kawawata (2008) ศึกษาการปล่อยไอโซพรีนจาก *Quercus* spp. พืชพันธุ์พื้นเมืองที่สำคัญในญี่ปุ่น โดยใช้เทคนิค Branch–enclosure method พบว่า พืช 4 ชนิด ได้แก่ *Q. serrata*, *Q. mongolica* var. Crisula, *Q. Aliena* และ *Q. dentate* มีการปลดปล่อยไอโซพรีน พืช 2 ชนิด ได้แก่ *Q. acutissima* และ *Q. variabilis* ไม่พบการปลดปล่อยไอโซพรีนหรือโมโนเทอร์พีน และพืชชนิดอื่น ๆ ได้แก่ *Q. acuta*, *Q. glauca*, *Q. salicina*, *Q. myrsinaefolia* และ *Q. sessilifolia* พบว่าไม่มีการปลดปล่อยไอโซพรีนเช่นกัน การวัดด้วยคิวเวตต์เผยให้เห็นว่าอุณหภูมิและแสงขึ้นอยู่กับการปล่อยไอโซพรีนจากพืชทั้ง 4 ชนิดคล้ายคลึงกับที่รายงานไว้ก่อนหน้านี้สำหรับพืชชนิดอื่น ๆ อีกหลายชนิด อย่างไรก็ตาม แนวโน้มการปล่อยไอโซพรีนเทียบกับโฟตอนที่สังเคราะห์ด้วยแสง (PPF) สูงกว่าแนวโน้มที่เสนอโดยอัลกอริทึม G93 ซึ่งมีการดำเนินการตรวจสอบการปล่อยไอโซพรีนแบบออนไลน์เป็นครั้งคราว และผลลัพธ์เผยให้เห็นความแตกต่างในเวลาตอบสนองต่อ PPF ระหว่างการวัด PPF ที่เพิ่มขึ้นและลด PPF แม้ว่า PPF และอุณหภูมิจะเท่ากันก็ตาม อัตราส่วนของคาร์บอนที่ปล่อยออกมาเป็นไอโซพรีนต่อคาร์บอนที่คงที่โดยการสังเคราะห์ด้วยแสงคำนวณได้เป็น 3–15% ที่ 35°C อัตราการปล่อยก๊าซที่ได้มาตรฐานอยู่ที่ 30°C และ 1,000 μmol m^{-2} s^{-1} PPF ของตัวปล่อย *Q.* spp. สี่ตัว อยู่ที่ 18–30 nmol m^{-2} s^{-1}

Xiaoshan et al (2000) ตรวจสอบการปล่อยไอโซพรีนในต้นไม้ 12 ชนิด ในพื้นที่ปักกิ่ง ประเทศจีน โดยการใช้ถุงเก็บตัวอย่างในการเก็บตัวอย่างอากาศ และใช้ GC–PID เพื่อวิเคราะห์ไอโซพรีนโดยตรง พบว่า *Ginkgo* และ *Magnolia denudata* มีการปล่อยไอโซพรีนเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ *Pendula loud*, *Populus simonii*, *Salix matsudanakoidz*, *Platanus orientalis* และอื่น ๆ ไม่มีการปล่อยไอโซพรีน การตรวจสอบความแปรปรวนของการปล่อยไอโซพรีนด้วยการเปลี่ยนแปลงของแสง อุณหภูมิ และฤดูกาล สำหรับ *Platanus orientalis* และ *Pendula loud* มีอัตราการปล่อยไอโซพรีนขึ้นอยู่กับแสง อุณหภูมิ และอายุใบ อัตราการปล่อยสูงสุดของต้นไม้สองชนิดถูกพบในฤดูร้อนโดยมีค่าประมาณ 232 และ 213 μg^{-1} dw h^{-1} ตามลำดับ ฟลักซ์การปล่อยที่วัดได้ถูกใช้เพื่อประเมินอัลกอริธึมการปล่อยของ “Guenther” ฟลักซ์การปล่อยที่ทำนายโดยอัลกอริธึมนั้นค่อนข้างสอดคล้องกับการวัดภาคสนาม อย่างไรก็ตาม มีไดเรนชันขนาดใหญ่สำหรับการคำนวณค่ามัธยฐานของการปลดปล่อยในช่วงฤดูใบไม้ผลิ ฤดูร้อน และ

ฤดูใบไม้ร่วง ในช่วง 25–75 เปอร์เซ็นต์ของชุดข้อมูล ปัจจัยการปล่อยอยู่ระหว่าง –33 ถึง +15% ของ ค่ามัธยฐาน

Padhy and Varshney (2005) ทำการศึกษาการปล่อยไอโซพรีนจากพันธุ์ไม้เขตร้อน โดยการคัดเลือกตัวอย่างพันธุ์พืชเพื่อนำมาศึกษา ได้แก่ *Istonia scholaris* R. Br., *Azadirachta indica* A. Juss., *Cassia fistula* Linn., *Eucalyptus* sp., *Ficus benghalensis* Linn., *Ficus religiosa* Linn., *Mangifera indica* Linn., *Melia azedarach* Linn. และ *Syzygium jambolanum* DC ซึ่งเป็นพืชประจำถิ่นของอินเดีย ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างอากาศด้วย Dynamic flow enclosure technique บรรจุไว้ในหลอดดูดซับสาร Tenax–GC/Carboseive cartridges และนำมาวิเคราะห์ด้วย GC–FID พบว่า จากต้นไม้ 9 สายพันธุ์ พบการปล่อยไอโซพรีนใน 6 สายพันธุ์ ได้แก่ *E.* sp., *F. benghalensis*, *F. religiosa*, *M. indica*, *M. azedarach* และ *S. jambolanum* ในขณะที่ต้นไม้ 3 สายพันธุ์ที่เหลือ ได้แก่ *A. scholaris*, *A. indica* และ *C. fistula* ไม่มีการตรวจพบการปล่อยไอโซพรีนหรือระดับการปล่อยก๊าซมีน้อยมากหรือต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจจับ (BDL) นอกจากนี้ ยังพบความแปรปรวนรายวันที่มีนัยสำคัญในการปล่อยไอโซพรีนในแต่ละสายพันธุ์ด้วย

Tambunan และคณะ (2006) ทำการศึกษาการปล่อยไอโซพรีนจากต้นไม้เขตร้อนบนเกาะโอกินาว่า ประเทศญี่ปุ่น โดยตรวจวัดการปลดปล่อยไอโซพรีนจากต้นไม้ 42 ชนิด ทำการวัดการปลดปล่อยไอโซพรีนจากพืชแต่ละชนิดโดยใช้ถุงพลาสติกใสปริมาตร 0.16 ลิตร ห่อหุ้มบริเวณลำต้น กิ่งก้าน และใบ ต่อผ่านหัวฉีดและปั๊มสำหรับดูดอากาศให้ไหลผ่านไปยังตลับแก้วขนาดความกว้าง 4.5 mm ความยาว 10 cm เพื่อบรรจุตัวอย่างอากาศไว้ในหลอดดูดซับ Tenax TA ความจุ 1.6 มิลลิลิตร ทำการเก็บตัวอย่าง 2 นาที ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 0.2 ลิตรต่อนาที และทำการตรวจวิเคราะตัวอย่างอากาศด้วย GC–MS พบว่า จากต้นไม้ 42 ต้นที่ศึกษามีการปล่อยไอโซพรีน 4 ต้น ในอัตราที่เกินกว่า 20 μg g^{-1} h^{-1} และ 28 ต้นมีอัตราการปล่อยไอโซพรีน 1–10 μg g^{-1} h^{-1} ส่วนที่เหลือปล่อยออกมาน้อยกว่า 1 μg g^{-1} h^{-1} ต้นไม้ส่วนใหญ่ในการศึกษานี้อาจอยู่ในสายพันธุ์ที่มีการปลดปล่อยต่ำ อย่างไรก็ตาม ในสปีชีส์ Moraceae ที่เป็นสปีชีส์ของพันธุ์ไม้พื้นเมืองบนเกาะโอกินาว่าปล่อยไอโซพรีนในอัตราที่ค่อนข้างสูงกว่าโดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 14.2 μg g^{-1} h^{-1} อัตราการปล่อยก๊าซสูงสุด 107.1 μg g^{-1} h^{-1} สำหรับ *Ficus virgata* ให้อัตราการปลดปล่อยต่อพื้นที่ที่ 47.4 nmol m^{-2} s^{-1} ซึ่งเกือบจะเทียบเท่ากับอัตราการปลดปล่อยของสายพันธุ์ที่ปลดปล่อยสูง นอกจากนี้ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเข้มของแสงและการปล่อยไอโซพรีนของ *F. virgata* สูงถึง 1,700 μmol m^{-2} s^{-1} การค้นพบนี้อาจแสดงให้เห็นถึงความสำคัญที่เป็นไปได้ของพื้นที่กึ่งเขตร้อนในฐานะแหล่งที่มาของไอโซพรีนสู่ชั้นบรรยากาศ

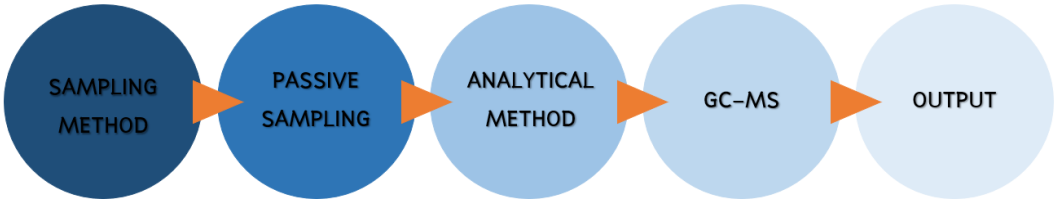
Janyasuthiwong et al (2022) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อมหลายอย่างซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตรวมทั้งพืช สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายทางชีวภาพ (BVOC) ถูกปล่อยออกมาจากพืชภายใต้สภาวะตึงเครียดเพื่อเป็นกลไกในการป้องกันตนเอง จึงทำการศึกษาการปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายทางชีวภาพจากพืชเขตร้อนที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยการเพาะเลี้ยง *Syzygium cumini* และ *Peltophorum pterocarpum* ในเรือนกระจกภายใต้การควบคุมในสภาวะเดียวกัน ได้แก่ น้ำ (หนึ่งครั้งต่อวัน) อุณหภูมิแวดล้อม (25–30 °C) และปุ๋ย (ในวันแรก) ประมาณ 30 วันก่อนการทดลอง และทำการทดลองภายใต้การดำเนินการที่อุณหภูมิ 5 ระดับตามความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญภายในช่วง 20 ถึง 40 °C และยับยั้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20 °C หรือมากกว่า 40 °C และทำการตรวจวัดปริมาณไอโซพรีนด้วยเครื่องตรวจวัด GC–FID พบว่า การปล่อยไอโซพรีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 38–40 °C และเริ่มลดลงเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น

Tambunan et al (2007) ทำการศึกษาผลของระดับความชื้นต่อการปลดปล่อยไอโซพรีนจากใบของต้นไม้เขตร้อน *F. virgata* โดยการย้ายต้นอ่อนของ *F. virgata* จากพื้นที่ป่าธรรมชาติมาเลี้ยงในกระถางพลาสติกขนาด 30 ลิตร เป็นระยะเวลา 1 เดือน ก่อนทำการทดลอง โดยให้น้ำ 2–3 ครั้งต่อสัปดาห์ วางต้นอ่อนไว้ในไฟโตตรอนภายใต้สภาวะควบคุมความชื้น ความเข้มแสง และอุณหภูมิ ห่อหุ้มใบที่โตเต็มใบด้วยพลาสติกใสปริมาตร 1.5 ลิตร ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของไอโซพรีนด้วยเครื่องวิเคราะห์ไอโซพรีนแบบเรียลไทม์ ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 0.7 ลิตรต่อนาที พบว่า การตอบสนองแสงของการปล่อยไอโซพรีนจากใบ *F. virgata* ภายใต้ความชื้นสูง (80%) และต่ำ (55%) ที่ระดับความชื้นสูงอัตราการปล่อยไอโซพรีนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าที่ระดับความชื้นต่ำ นอกจากนี้ การปล่อยไอโซพรีนจากใบ *F. virgata* เพิ่มขึ้นเมื่อมีความชื้นสูงที่ความเข้มของแสง 500 และ 1,000 μmol/m^2/s เนื่องจากการปลดปล่อยไอโซพรีนขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงและอุณหภูมิใบ จึงเป็นไปได้ที่การเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นกับความชื้นจะสัมพันธ์กับความแปรผันของอุณหภูมิใบ กล่าวได้ว่า ความชื้นสัมพัทธ์เป็นปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญสำหรับการควบคุมไอโซพรีนฟลักซ์จากพืชเขตร้อน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาการปลดปล่อยไอโซพรีนจากป่าในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ดำเนินการโดยทำการศึกษาและวิเคราะห์ปริมาณไอโซพรีนจากภาคสนามเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณ และทำการประเมินผล ดังแสดงในภาพ 5



ภาพ 5 วิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์

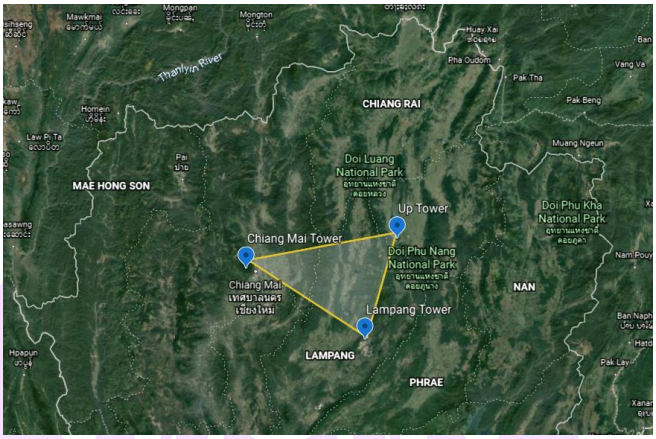
1. ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ (GilAir Plus)
2. หลอดดูดซับสารอินทรีย์ (Absorbent Tube)
3. เครื่องวัดความสูงต้นไม้ (Forstry Pro)
4. เทปวัดระยะ (Measuring Tape)
5. เครื่องวัดความปกคลุมเรือนยอด (Spherical Densiometer)
6. เครื่องเขียนและสมุดจดบันทึก

วิธีการศึกษา

1. พื้นที่ดำเนินการศึกษา

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ทำการเก็บตัวอย่างอากาศและศึกษาชนิดพันธุ์พืช เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไอโซพรีนที่ปล่อยออกมาจากพืชเหนือพื้นที่ป่าเต็งรัง มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา (19° 02'01.2"N, 99° 54'17.0"E) ป่าเบญจพรรณ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

(18° 23'N, 99° 43'E) และป่าดิบเขา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ (18° 48'N, 98° 54'E) ดังแสดงในภาพ 6



ภาพ 6 พื้นที่เก็บตัวอย่างอากาศและศึกษาชนิดพันธุ์ไม้

2. การเก็บตัวอย่างอากาศ

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างอากาศแบบ Passive Sampling โดยการใช้ปั๊มเก็บอากาศ (Pump) ดูดเก็บตัวอย่างอากาศปริมาตร 6 ลิตร ที่ระดับเหนือชั้นเรือนยอดโดยเฉลี่ย และระดับเรือนยอดโดยเฉลี่ยของไม้ยืนต้นในพื้นที่ศึกษา (เนื่องจากข้อจำกัดของเสาจุลอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีเพียงแห่งเดียวต่อพื้นที่ศึกษาหนึ่ง ๆ ประกอบกับระดับความสูงของไม้ยืนต้นในพื้นที่ศึกษาและระดับความชันของพื้นที่โดยรอบพื้นที่ศึกษามีความแตกต่างกัน ความสามารถในการผลิตและปลดปล่อยไอโซพรีนของพืช และนอกจากนี้ ด้วยคุณสมบัติของลม ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศในแนวราบขนานกับพื้นผิวโลก เคลื่อนที่จากหย่อมความกดอากาศสูงไปยังหย่อมอากาศต่ำ ดังนั้น ในการเก็บตัวอย่างจึงต้องทำการเก็บตัวอย่างอากาศในระดับความสูงที่แตกต่างกัน เพราะการผลิตและปลดปล่อยไอโซพรีนของพืชขึ้นสู่บรรยากาศอาจอยู่ในระดับความสูงที่แตกต่างกัน) และบรรจุตัวอย่างอากาศเก็บไว้ในหลอดดูดซับสารอินทรีย์ (Absorbent Tube) ทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 99 ตัวอย่าง ซึ่งช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างอากาศจากป่าแต่ละชนิดจะเก็บตัวอย่างตามฤดูกาลในประเทศไทย ได้แก่ ฤดูฝน และฤดูแล้ง ดังนี้

2.1 ป่าดิบเขา

ฤดูฝน ทำการเก็บตัวอย่างระหว่างวันที่ 4-16 มิถุนายน พ.ศ.2563

2.2 ป่าเบญจพรรณ

ฤดูฝน ทำการเก็บตัวอย่างระหว่างวันที่ 22–25 มิถุนายน พ.ศ.2563

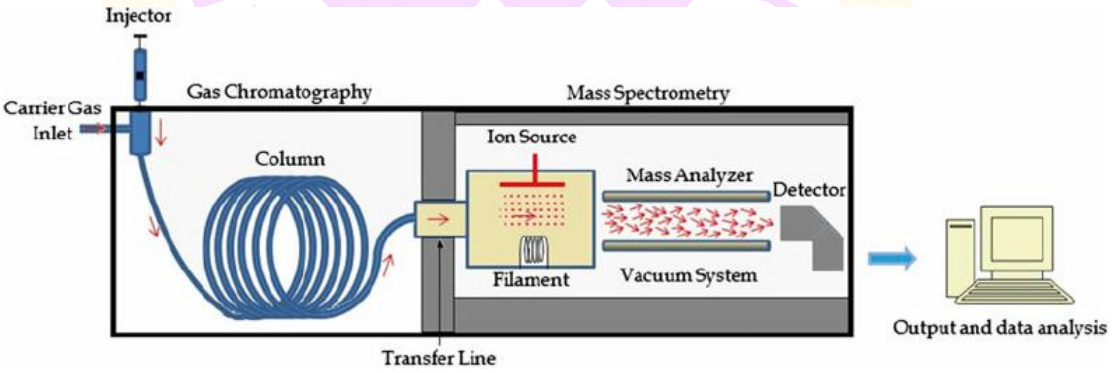
2.3 ป่าเต็งรัง

ฤดูฝน ทำการเก็บตัวอย่างระหว่างวันที่ 29 มิถุนายน ถึง 2 กรกฎาคม พ.ศ. 2563

ทั้งนี้ ตัวอย่างอากาศซึ่งถูกบรรจุไว้ในหลอดดูดซับสารอินทรีย์ (Absorbent Tube) จะถูกส่งไปยังห้องปฏิบัติการ University of California, Irvine ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณไอโซพรีนโดยเครื่อง GC–MS

3. การวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศ

ตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในหลอดดูดซับสารอินทรีย์ (Absorbent Tube) จะถูกสกัดออกจากหลอดโดยกระบวนการ Thermal Desorption ในระหว่างการคายความร้อนตัวอย่างจะถูกทำให้ร้อน เพื่อให้สามารถสกัดออกจากสารดูดซับและส่งต่อมายังเครื่อง Gas Chromatograph (GC) ซึ่งทำหน้าที่ในการแยกองค์ประกอบของสารที่สามารถระเหยกลายเป็นไอ (Volatile organic compounds) ได้เมื่อถูกความร้อน และสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ได้จะถูกส่งไปยังเครื่อง Mass Spectrometer (MS) โดยโมเลกุลขององค์ประกอบที่ถูกแยกออกมาจากสารตัวอย่างโดยเครื่อง GC จะถูกไอออไนซ์ในสภาวะสุญญากาศ แล้วตรวจวัดออกมาเป็นเลขมวล (Mass number) เทียบกับฐานข้อมูลอ้างอิง และแปลผลออกมาเป็นชื่อขององค์ประกอบนั้น ดังแสดงในภาพ 7

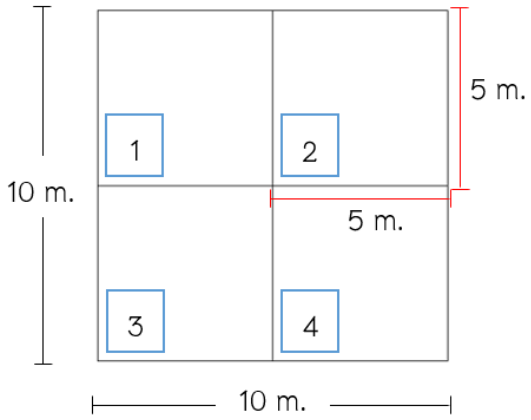


ภาพ 7 แผนผังแสดงส่วนประกอบหลักของเครื่อง GC–MS

ที่มา: Emwas et al., 2016

4. การวางแปลงสุ่มตัวอย่าง

ทำการวางแปลงตัวอย่างทั้ง 3 สถานที่ศึกษา ได้แก่ ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา โดยกำหนดพื้นที่ขนาด 1,600 ตารางเมตร หรือ 1 ไร่ วางแปลงย่อยขนาด 10 x 10 เมตร จำนวน 16 แปลง และทำการแบ่งพื้นที่ในแปลงตัวอย่างแต่ละแปลงออกเป็น 4 ส่วน แต่ละส่วนมีขนาด 5 x 5 เมตร ดังแสดงในภาพ 8



ภาพ 8 การกำหนดแปลงตัวอย่างขนาด 10 x 10 เมตร และการแบ่งแปลงตัวอย่างเป็น 4 ส่วน ขนาด 5 x 5 เมตร

5. การระบุชนิดของพืชภายในแปลงสุ่มตัวอย่าง

ทำการระบุชนิดพันธุ์ไม้ โดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านพันธุ์ไม้ และอ้างอิงข้อมูลจากคู่มือการจัดจำแนกพืชในป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา และทำการติดป้ายชื่อ รวมถึงบันทึกข้อมูล ดังนี้

5.1 ชื่อวิทยาศาสตร์

5.2 ชื่อสามัญ

5.3 จำนวนที่พบภายในแปลงตัวอย่าง

6. การวัดการเจริญเติบโตของต้นไม้

การวัดการเจริญเติบโตของพืชในแปลงสุ่มตัวอย่างทั้ง 3 สถานที่ศึกษา ได้แก่ ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา โดยจะทำการวัดการเจริญเติบโตของไม้ยืนต้นที่มีเส้นรอบวงประมาณ 14 เซนติเมตร และมีความสูงมากกว่า 2 เมตร

การวัดความยาวเส้นรอบวงลำต้น โดยการใช้เทปวัดระยะวัดความยาวของเส้นรอบวงที่ระดับความสูง 1.30 เมตร (Diameter at Breast Height: D.B.H.) จากระดับพื้นดิน

การวัดความสูงต้นไม้ โดยการใช้เครื่องวัดความสูงต้นไม้ (Forstry Pro) และคำนวณหาความสูงของต้นไม้จากสมการ

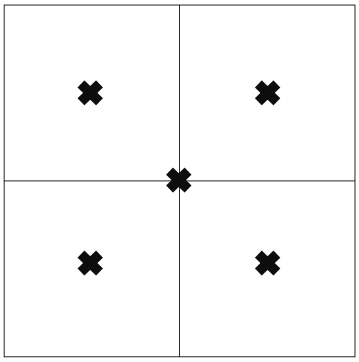
ความสูงทั้งหมด = a tanα + b

โดย a แทนระยะห่างจากต้นไม้ถึงจุดใช้เครื่องมือวัดความสูง

b แทนระยะห่างพื้นดินถึงระดับสายตาผู้ใช้เครื่องมือวัดความสูง

α แทนค่ามุมที่วัดจากระดับสายตาถึงปลายยอดของต้นไม้

การวัดการปกคลุมเรือนยอดต้นไม้ ด้วย Spherical Densiometer วัดค่าเรือนยอดที่ปกคลุม โดยยืน ณ จุดกึ่งกลางของ section ทำการวัด 5 ครั้ง (บริเวณจุดกึ่งกลางแปลง และจุดกึ่งกลางแปลงย่อยทั้ง 4 แปลง) ดังแสดงในภาพ 9 โดยวาง Spherical Densiometer ให้อยู่ในแนวระนาบ สังเกตจากฟองอากาศให้อยู่ในจุดที่กำหนด ตรวจและนับจำนวนเงาของเรือนยอดที่ปรากฏใน Spherical Densiometer บันทึกข้อมูล แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ยและคูณด้วย 1.04 จะได้เป็นเปอร์เซ็นต์เรือนยอดที่ปกคลุมโดยเฉลี่ย



ภาพ 9 ตำแหน่งการวัดการปกคลุมเรือนยอดต้นไม้ในแปลงตัวอย่าง

7. การวิเคราะห์องค์ประกอบและความสำคัญของพรรณไม้

ความถี่ของพืช (Frequency: F) เป็นค่าที่แสดงการกระจายของชนิดพันธุ์ไม้ในสังคมที่พบในแปลงย่อยขนาด 10 x 10 เมตร

$$\text{ความถี่ของพืชชนิด A} = \frac{\text{จำนวนแปลงย่อยที่พบพันธุ์ไม้ A} \times 100}{\text{จำนวนแปลงย่อยทั้งหมด}}$$

ความถี่สัมพัทธ์ของพันธุ์ไม้ (Relative Frequency: RF) เป็นค่าสัดส่วนร้อยละของค่าความถี่ของพันธุ์ไม้ชนิดนั้นต่อผลรวมของค่าความถี่ทั้งหมดของพันธุ์ไม้ทุกชนิดที่พบในแปลงสุ่มตัวอย่าง

$$\text{ความถี่สัมพัทธ์ของพืชชนิด A} = \frac{\text{ความถี่ของพันธุ์ไม้ A} \times 100}{\text{ผลรวมของค่าความถี่ของพันธุ์ไม้ทุกชนิด}}$$

ความหนาแน่นของพืช (Density: D) เป็นค่าที่แสดงจำนวนประชากรของพันธุ์ไม้ชนิดต่าง ๆ ในสังคมพืช ในรูปของจำนวนต้นต่อพื้นที่

$$\text{ความหนาแน่นของพืช A} = \frac{\text{จำนวนต้นของพันธุ์ไม้ A ที่ปรากฏในแปลงตัวอย่าง}}{\text{จำนวนแปลงย่อยทั้งหมด}}$$

ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของพืช (Relative Dominant: RD) เป็นค่าสัดส่วนร้อยละของค่าความหนาแน่นของพันธุ์ไม้ชนิดนั้นต่อผลรวมของค่าความหนาแน่นของพันธุ์ไม้ทุกชนิดที่พบในแปลงสุ่มตัวอย่าง

$$\text{ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของพืชชนิด A} = \frac{\text{ความหนาแน่นของพันธุ์ไม้ A} \times 100}{\text{ผลรวมของค่าความหนาแน่นของพันธุ์ไม้ทุกชนิด}}$$

ความเด่น (Dominance: Do) ความเด่นในด้านพื้นที่หน้าตัด (Basal Area: BA) คือพื้นที่หน้าตัดของลำต้นของต้นไม้ที่วัดระดับอก (1.30 เมตรจากระดับพื้นดิน) (Diameter at breast height, DBH) ต่อจำนวนแปลงทั้งหมดที่ทำการสำรวจ

$$\text{ความเด่น} = \frac{\text{ผลรวมของพื้นที่หน้าตัดของพันธุ์ไม้ A}}{\text{จำนวนแปลงย่อยทั้งหมด}}$$

ความเด่นสัมพัทธ์ (Relative Dominance: RDo) เป็นค่าสัดส่วนร้อยละของค่าความเด่นของพันธุ์ไม้ชนิดนั้นต่อผลรวมของค่าความเด่นของพันธุ์ไม้ทุกชนิดที่พบในแปลงสุ่มตัวอย่าง

$$\text{ความเด่นสัมพัทธ์ของพืชชนิด A} = \frac{\text{ความเด่นของพันธุ์ไม้ A} \times 100}{\text{ผลรวมของค่าความเด่นของพืชทุกชนิด}}$$

ดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยา (Ecological Importance Value Index: IVI) เป็นค่าที่แสดงลักษณะโครงสร้างเกี่ยวกับชนิดพรรณไม้ในสังคมพืชป่าไม้ ซึ่งเป็นค่าผลรวมของค่าความถี่สัมพัทธ์ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ และความเด่นสัมพัทธ์ ดังนี้

ดัชนีความสำคัญของพันธุ์ไม้ A = ความถี่สัมพัทธ์ + ความหนาแน่นสัมพัทธ์ + ความเด่นสัมพัทธ์

ดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ (Diversity Index) พิจารณาจากความมากหลายของพืช (Species Richness) และจำนวนประชากรของพืชแต่ละชนิด โดยความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ในสังคมพืชป่าแห่งหนึ่งสามารถได้จากค่าดัชนี Shannon–Wiener Function

$$\mathrm{H} = \sum_{i=1}^{s} (pi)(\ln pi)$$

โดย H ดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์

S จำนวนชนิดของพันธุ์ไม้ทั้งหมด

pi สัดส่วนจำนวนต้นของพันธุ์ไม้ชนิด i ต่อจำนวนต้นของพันธุ์ไม้ทุกชนิด

ดัชนีความมากหลายของชนิดพันธุ์ (Species Richness) ทำการคำนวณตามค่าดัชนีของ Margalef

$$R = \frac{S-1}{\ln(n)}$$

โดย S จำนวนชนิดทั้งหมดในสังคมป่า

n จำนวนต้นทั้งหมดที่สำรวจพบ

ดัชนีความสม่ำเสมอของชนิดพันธุ์ (Species Evenness) ทำการคำนวณตามสูตร ดังนี้

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

โดย H ดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์

S จำนวนชนิดของพันธุ์ไม้ทั้งหมด

บทที่ 4

ผลการวิจัย

พื้นที่ดำเนินการศึกษา

การศึกษาวิจัยโดยการเก็บตัวอย่างอากาศและศึกษาชนิดพันธุ์พืช เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไอโซพรีนที่ปล่อยออกมาจากพืชเหนือพื้นที่ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา จากการศึกษาวางแปลงตัวอย่างขนาดพื้นที่ 1,600 ตารางเมตร บริเวณโดยรอบเสาจุลอุตุนิยมวิทยา พบว่า พื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง พบไม้ยืนต้นจำนวน 318 ต้น 20 วงศ์ 37 ชนิด มีพันธุ์ไม้เด่นที่พบในแปลงตัวอย่าง ได้แก่ เต็ง (*S. obtusa*) 25.44% พลวง (*D. tuberculatus*) 24.18% รัง (*S. siamensis*) 12.27% ก่อแพะ (*Quercus* sp.) 6.30% เหียง (*D. obtusifolius*) 5.33% และอื่น ๆ 26.48% ตามลำดับ มีความสูงของไม้ยืนต้นโดยเฉลี่ย 9.69 เมตร

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบและความสำคัญของพรรณไม้ในแปลงตัวอย่าง ได้แก่ ความถี่สัมพัทธ์ (RF) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (RD) ความเด่นสัมพัทธ์ (RDo) และดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยา (IVI) พบว่า พื้นที่ศึกษาป่าเต็งรังพบพลวงเป็นพืชที่มีความถี่สัมพัทธ์และความเด่นสัมพัทธ์มากที่สุดร้อยละ 12.21 และ 31.40 ตามลำดับ และมีค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยามากที่สุด 67.79 และพบเต็งเป็นพืชที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์มากที่สุดร้อยละ 25.44 ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 การวิเคราะห์องค์ประกอบและความสำคัญของพรรณไม้พื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง

			พื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง						
วงศ์	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อสามัญ	F	RF	D	RD	Do	RDo	IVI
Anacardiaceae	*Buchanania latifolia* Roxb.	มะม่วงหัวแมงวัน	12.5	1.53	0.13	0.65	0.0005	0.1	2.28
	Gluta obovata Craib	รักน้อย	12.5	1.53	0.13	0.65	0.001	0.2	2.38
	Gluta usitata (Will.) Ding Hou	รักใหญ่	62.5	7.63	0.88	4.42	0.02	5.7	17.75
Burseraceae	*Canarium subulatum* Guillaumin	มะเกิ้ม	25	3.05	0.31	1.56	0.009	2.5	7.11
Caesalpiniaceae	*Peltophorum dasyrachis* (Miq.) Kurz	อะราง	6.25	0.76	0.06	0.3	0.0003	0.08	1.14
	Peltophorum dasyrrhachis (Miq.) Kurz	นนทรีป่า	6.25	0.76	0.06	0.3	0.0001	0.02	1.08
Combretaceae	*Terminalia alata* Heyne ex Roth.	รกฟ้า	31.25	3.82	0.63	3.17	0.01	2.9	9.89
	Terminalia chebula Retz.	สมอไทย	18.75	2.29	0.25	1.26	0.003	0.8	4.35
Dilleniaceae	*Dillenia parviflora* Griff.	ส้านหิน	6.25	0.76	0.06	0.3	0.003	0.8	1.86
	Dilenia sp.	ส้าน	6.25	0.76	0.06	0.3	0.003	0.8	1.86
Dipterocarpaceae	*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. ex Miq.	เหียง	62.5	7.63	1.06	5.33	0.02	5.7	18.66
	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	พลวง	100	12.21	4.81	24.18	0.11	31.4	67.79
	Shorea obtusa Wall. ex Blume	เต็ง	87.5	10.69	5.06	25.44	0.08	22.9	59.03
	Shorea siamensis Miq.	รัง	75	9.2	2.44	12.27	0.02	5.7	27.17

ตาราง 1 (ต่อ)

พื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง									
วงศ์	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อสามัญ	F	RF	D	RD	Do	RDo	IVI
Ebenaceae	*Diospyros ehretioides* Wall. ex G.Don	ตับเต่าต้น	6.25	0.76	0.13	0.65	0.0009	0.2	1.61
Ericaceae	*Craibiodendron stellatum* W.W. Smith	ดาวราย	18.75	2.29	0.31	1.6	0.002	0.5	4.39
Fabaceae	*Albizia odoratissima* (L.f.) Benth.	กางขี้มอด	6.25	0.76	0.06	0.3	0.001	0.2	1.26
	Dalbergia cana Graham ex Kurz	ปี้พง	6.25	0.76	0.06	0.3	0.005	1.4	2.46
	Dalbergia cultrata Graham ex Benth.	เก็ดดำ	37.5	4.58	0.44	2.21	0.004	1.1	7.89
	Pterocarpus macrocarpus Kurz	ประดู่	6.25	0.76	0.06	0.3	0.006	1.7	2.76
Fagaceae	*Castanopsis argyrophylla* King ex Hook.f.	ก่อหยุม	12.5	1.53	0.13	0.65	0.001	0.2	2.38
	Castanopsis sp.	ก่อ	12.5	1.53	0.13	0.65	0.002	0.5	2.68
	Castanopsis spp.	ก่อเตี้ย	12.5	1.53	0.13	0.65	0.001	0.2	2.38
	Quercus sp.	ก่อแพะ	62.5	7.63	1.25	6.3	0.03	8.5	22.43
Malpighiaceae	*Hiptage benghalensis* (Linn.) Kurz	โนรา	6.25	0.76	0.06	0.3	0.0006	0.1	1.16
Malvaceae	*Berrya mollis* Wall. ex Kurz	ปอเลียง	6.25	0.76	0.06	0.3	0.0005	0.1	1.16
Myrtaceae	*Syzygium cumini* (L.) Skeels	หว้า	6.25	0.76	0.06	0.3	0.0005	0.1	1.16
Papilionoideae	*Dalbergia oliveri* Prain	เก็ดแดง	12.5	1.53	0.13	0.65	0.003	0.8	2.98
Phyllanthaceae	*Aporosa villosa* (Wall. ex Lindl.) Baill.	เหมือดหลวง	25	3.05	0.25	1.26	0.002	0.5	4.81

ตาราง 1 (ต่อ)

พื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง									
วงศ์	**ชื่อวิทยาศาสตร์**	**ชื่อสามัญ**	**F**	**RF**	**D**	**RD**	**Do**	**RDo**	**IVI**
Rubiaceae	*Gardenia erythroclada* Kurz	มะคังแดง	6.25	0.76	0.06	0.3	0.0005	0.1	1.16
	Gardenia sootepensis Hutch.	คำมอกหลวง	12.5	1.53	0.13	0.65	0.0003	0.08	2.26
	Mitragyna rotundifolia (Roxb.) Kuntze	กระทุ่มเนิน	6.25	0.76	0.06	0.3	0.0005	0.1	1.16
	Morinda coreia Buch-Ham.	ยอป่า	6.25	0.76	0.06	0.3	0.0001	0.02	1.08
Rutaceae	*Hesperethusa crenulata* (Roxb.) Roem.	กระแจะ	6.25	0.76	0.06	0.3	0.001	0.2	1.26
Salicaceae	*Flacourtia indica* (Burm.f.) Merr.	ตะขบป่า	12.5	1.53	0.13	0.65	0.01	2.9	5.08
Strychnaceae	*Strychnos nux-vomica* Linn.	แสลงใจ	12.5	1.53	0.13	0.65	0.003	0.8	2.98
Verbenaceae	*Vitex peduncularis* Wall.ex Schauer	กาสามปีก	6.25	0.76	0.06	0.3	0.0005	0.1	1.16
รวม			568.75		16.26		0.2854		

พื้นที่ศึกษาป่าเบญจพรรณ พบไม้ยืนต้นจำนวน 108 ต้น 5 วงศ์ 6 ชนิด มีพันธุ์ไม้เด่นที่พบในแปลงตัวอย่าง ได้แก่ สัก (*Tectona grandis*) 83.16% ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus*) 10.19% และอื่น ๆ 6.65% ตามลำดับ มีความสูงของไม้ยืนต้นโดยเฉลี่ย 18.93 เมตร

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบและความสำคัญของพรรณไม้ในแปลงตัวอย่าง ได้แก่ ความถี่สัมพัทธ์ (RF) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (RD) ความเด่นสัมพัทธ์ (RDo) และดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยา (IVI) พบว่า พื้นที่ศึกษาป่าเบญจพรรณพบสักเป็นพืชที่มีความถี่สัมพัทธ์ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ และความเด่นสัมพัทธ์มากที่สุดร้อยละ 53.33, 83.17 และ 77.65 ตามลำดับ และมีค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยามากที่สุด 214.15 ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 การวิเคราะห์องค์ประกอบและความสำคัญของพรรณไม้พื้นที่ศึกษาป่าเบญจพรรณ

พื้นที่ศึกษาป่าเบญจพรรณ									
วงศ์	**ชื่อวิทยาศาสตร์**	**ชื่อสามัญ**	**F**	**RF**	**D**	**RD**	**Do**	**RDo**	**IVI**
Anacardiaceae	*Spondias pinnata* (L.f.) Kurz	มะกอกป่า	12.5	6.67	0.13	1.92	0.03	5.68	14.27
Combretaceae	*Terminalia chebula* Retz.	สมอไทย	6.25	3.33	0.06	0.87	0.005	0.95	5.15
Fabaceae	*Albizia lebbek* (L.) Benth.	พฤกษ์	12.5	6.67	0.13	1.92	0.009	1.7	10.29
	Pterocarpus macrocarpus Kurz	ประดู่	50	26.67	0.69	10.2	0.07	13.26	50.13
Moraceae	*Ficus fistulosa* Reinw. ex Blume	มะเดื่อปล้อง	6.25	3.33	0.13	1.92	0.004	0.76	6.01
Verbenaceae	*Tectona grandis* Linn.f.	สัก	100	53.33	5.63	83.17	0.41	77.65	214.15
รวม			56.25		0.82		0.074		

พื้นที่ศึกษาป่าดิบเขา พบไม้ยืนต้นจำนวน 203 ต้น 15 วงศ์ 23 ชนิด มีพันธุ์ไม้เด่นที่พบในแปลงตัวอย่าง ได้แก่ ก่อเดือย (*Castanopsis acuminatissima*) 36.40% ก่อใบเลื่อม (*Castanopsis tribuloides*) 21.62% และอื่นๆ 41.98% ตามลำดับ มีความสูงของไม้ยืนต้นโดยเฉลี่ย 11.22 เมตร

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบและความสำคัญของพรรณไม้ในแปลงตัวอย่าง ได้แก่ ความถี่สัมพัทธ์ (RF) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (RD) ความเด่นสัมพัทธ์ (RDo) และดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยา (IVI) พบว่า พื้นที่ศึกษาป่าดิบเขาพบก่อเดือยเป็นพืชที่มีความถี่สัมพัทธ์ และความหนาแน่นสัมพัทธ์มากที่สุดร้อยละ 15.96 และ 36.41 ตามลำดับ และมีค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยามากที่สุด 82.27 พบก่อใบเลื่อมเป็นพืชที่มีความเด่นสัมพัทธ์มากที่สุดร้อยละ 35.87 ดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 การวิเคราะห์องค์ประกอบและความสำคัญของพรรณไม้พื้นที่ศึกษาป่าดิบเขา

พื้นที่ศึกษาป่าดิบเขา									
วงศ์	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อสามัญ	F	RF	D	RD	Do	RDo	IVI
Aquifoliaceae	*Ilex umbellulata* (Wall.) Loes.	เน่าใน	6.25	1.06	0.06	0.47	0.001	0.3	1.83
Ebenaceae	*Diospyros glandulosa* Lace	กล้วยฤาษี	6.25	1.06	0.06	0.47	0.0003	0.09	1.62
Ericaceae	*Vaccinium sprengelii* (G.Don) Sleumer	ส้มแปะ	12.5	2.18	0.13	1.02	0.002	0.6	3.8
Euphorbiaceae	*Aporusa villosa* Lindl. Baill.	เหมือดโลด	31.25	5.31	0.31	2.44	0.003	0.9	8.65
	Phyllanthus roseus (Craib & Hutch.) Beille	ผักยอดตอง	12.5	2.13	0.13	1.02	0.0003	0.09	3.24
Fagaceae	*Castanopsis acuminatissima* (Blume) A.DC.	ก่อเดือย	93.75	15.96	4.63	36.41	0.1	29.9	82.27
	Castanopsis tribuloides (Sm.) A.DC.	ก่อใบเลื่อม	75	12.77	2.75	21.63	0.12	35.87	70.27
	Lithocarpus polystachyus (Wall.) Rehd.	ก่อนก	12.5	2.13	0.13	1.02	0.001	0.3	3.45
	Lithocarpus thomsonii (Miq.) Rehder	ก่อขาว	18.75	3.19	0.19	1.49	0.005	1.49	6.17
Juglandaceae	*Engelhardtia spicata* Lechen ex Blume	ค่าหด	6.25	1.06	0.06	0.47	0.0001	0.03	1.56
Lauraceae	*Litsea glutinosa* (Lour.) C.B.Robinson.	หมี่	37.5	6.38	0.44	3.46	0.003	0.9	10.74
	Litsea machilifolia Gamble	ทัง	12.5	2.13	0.13	1.02	0.0006	0.18	3.33
	Phoebe lanceolata (Wall. ex Nees) Nees	แหลบุก	6.25	1.06	0.06	0.47	0.0001	0.03	1.56
Myrtaceae	*Syzygium cumini* (L.) Skeels	หว้าขาว	37.5	6.38	0.63	4.95	0.02	5.98	17.31
	Syzygium fruticosum DC.	หว้าขี้กวาง	6.25	1.06	0.13	1.02	0.0006	0.18	2.26
Oleaceae	*Chionanthus ramiflorus* Roxb.	อวบดำ	12.5	2.13	0.13	1.02	0.0005	0.15	3.3

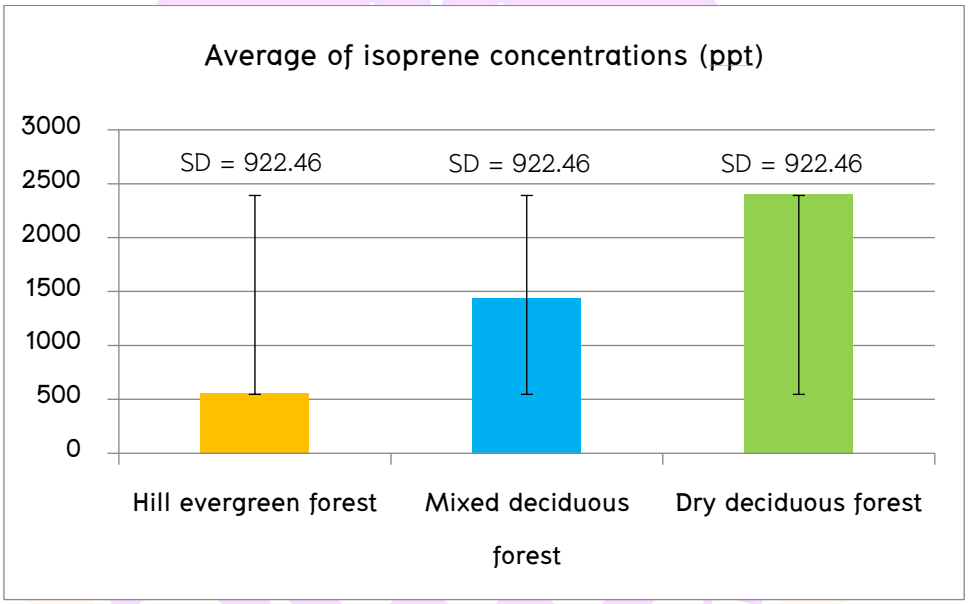
ตาราง 3 (ต่อ)

พื้นที่ศึกษาป่าดิบเขา									
วงศ์	**ชื่อวิทยาศาสตร์**	**ชื่อสามัญ**	**F**	**RF**	**D**	**RD**	**Do**	**RDo**	**IVI**
Proteaceae	*Helicia nilagirica* Bedd.	เหมือดคน	31.25	5.31	0.31	2.44	0.006	1.79	9.54
Rubiaceae	*Wendlandia tinctoria* (Roxb.) DC.	แข้งกวาง	31.25	5.31	0.5	3.93	0.005	1.49	10.73
Sterculiaceae	*Sterculia lanceolata* Cav. var. principis (Gagnep.) Phengklai	ลิ้นง่วง	6.25	1.06	0.19	1.49	0.003	0.9	3.45
Styracaceae	*Styrax benzoides* Craib	กำยาน	37.5	6.38	0.5	3.93	0.002	0.6	10.91
Symplocaceae	*Symplocos racemosa* Roxb.	เหมือดหอม	18.75	3.19	0.25	1.97	0.001	0.3	5.46
Theaceae	*Anneslea fragrans* Wall.	สารภีดอย	37.5	6.38	0.5	3.93	0.02	5.98	16.29
	Schima wallichii choisy	ทะโล้	37.5	6.38	0.5	3.93	0.04	11.95	22.26
รวม			425		7.4		0.2279		

1. ไอโซพรีน

1.1 ความเข้มข้นของไอโซพรีนจากพื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา

การศึกษาวิจัยโดยการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไอโซพรีนที่ปล่อยออกมาจากพืชเหนือพื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา พบว่า พื้นที่ศึกษาป่าเต็งรังมีความเข้มข้นของปริมาณไอโซพรีนโดยเฉลี่ยมากที่สุด 2404.57 ppt รองลงมา ได้แก่ ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา มีความเข้มข้นของปริมาณไอโซพรีนโดยเฉลี่ย 1441.73 และ 560.23 ppt ตามลำดับ ดังแสดงในภาพ 10



ภาพ 10 ความเข้มข้นของไอโซพรีนพื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา

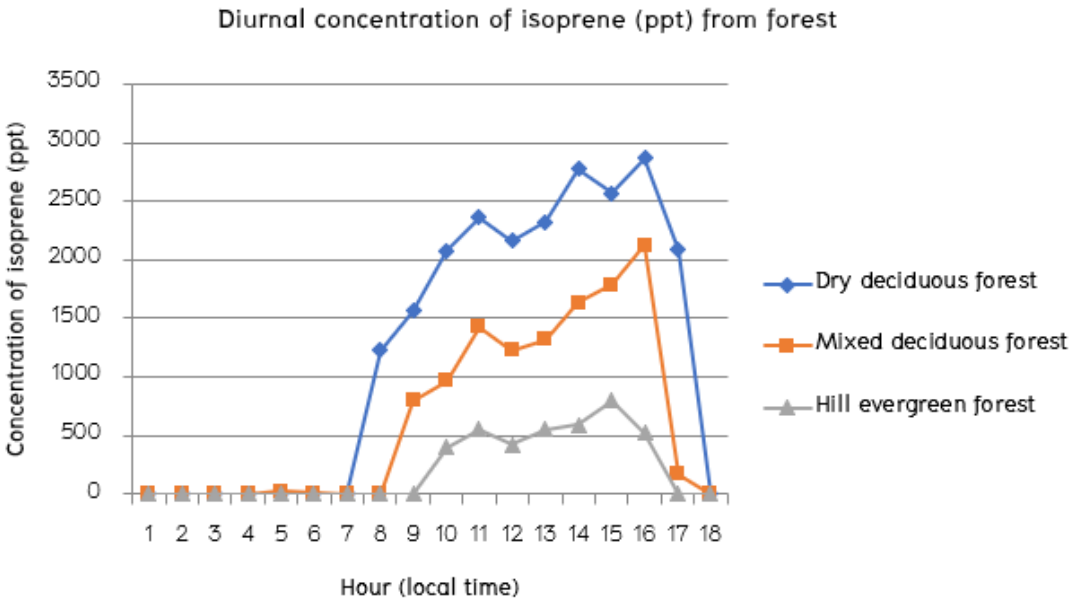
การผลิตและปลดปล่อยไอโซพรีนเป็นกระบวนการตอบสนองของพืชต่อข้อจำกัดด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ความทนทานต่ออุณหภูมิ เนื่องจากพืชมีกลไกป้องกันตนเองด้วยการสังเคราะห์ไอโซพรีนขึ้นมา จากการทดสอบโดยใช้ฟลูออเรสเซนซ์ในขั้นตอนของ photosystem II (Sharkey และ Singsaas, 1995) ไอโซพรีนมีความสัมพันธ์กับผลกระทบของอุณหภูมิ ใบไม้ที่ไม่ได้รับความเสียหายที่อุณหภูมิต่ำกว่า 45°C ไม่ตอบสนองต่อไอโซพรีน (Logan และ Monson, 1999) มีกลไกการทนความร้อนมากมายในพืช และกลไกหลายอย่างพบได้ในพืชทุกชนิด ไอโซพรีนถูกปล่อยออกมาจากใบไม้ โดยขึ้นอยู่กับแสง (Sanadze และ Kalandaze, 1966; Sanadze, 1969; Tingey et al., 1979; Monson and Fall, 1989; Loreto and Sharkey, 1990) และการใช้คาร์บอนโดยตรงจากวงจรการสังเคราะห์ด้วยแสงของคาลวิน (Delwiche and

Sharkey, 1993; Schnitzler et al., 2004) แม้ว่าการปล่อยไอโซพรีนในด้านต่าง ๆ เหล่านี้จะชี้ไปที่การป้องกันความร้อนของใบและการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยเฉพาะ แต่สภาพแวดล้อมด้านอุณหภูมิของใบยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด ประกอบกับประเภทของป่าไม้ในประเทศไทยแบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก คือ ป่าผลัดใบ (deciduous forest) และป่าไม่ผลัดใบ (evergreen forest) โดยป่าผลัดใบเป็นป่าไม้ที่ผลัดใบตามฤดูกาล ขึ้นอยู่ในพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลไม่เกิน 1,000 เมตร มีสภาพภูมิอากาศค่อนข้างแห้งแล้งมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยประมาณ 800–1,200 มิลลิเมตรต่อปี ดินมักจะเป็นดินร่วนปนทราย ดินปนกรวด บางแห่งเป็นดินลูกรัง พันธุ์ไม้ที่ขึ้นปกคลุมพื้นที่แถบนี้ส่วนใหญ่จะทิ้งใบในฤดูแล้ง และเริ่มแตกใบใหม่ในต้นฤดูฝน ความสูงของไม้ในป่าผลัดใบเฉลี่ยจะสูงประมาณ 20–25 เมตร ซึ่งต่ำกว่าไม้ในป่าไม่ผลัดใบ ในฤดูแล้งจะมีไฟป่าเกิดขึ้นเป็นประจำ ป่าเต็งรังซึ่งเป็นป่าผลัดใบ ป่าชนิดนี้มีสภาพป่าโปร่งประกอบด้วยต้นไม้ผลัดใบขนาดกลางและขนาดเล็กขึ้นห่าง ๆ กระจัดกระจายไม่ค่อยแน่นทึบ พื้นป่ามีหญ้าและไผ่แคระจำพวกเพ็ก ไผ่โจด ขึ้นทั่วไป มีลูกไม้ค่อนข้างหนาแน่น ขึ้นอยู่ทั้งในที่ราบและบนภูเขาที่มีความสูง 50–1,300 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ส่วนใหญ่เป็นดินทรายและดินลูกรัง บางแห่งจะมีหินโผล่ และเกิดไฟไหม้ป่าทุกปีทำให้ต้นไม้ต้องปรับตัว ดังนั้น ต้นไม้ที่ดำรงชีพอยู่ได้จึงเป็นไม้ที่มีเปลือกหนา ทนไฟ และทนความร้อนได้ดีรวมทั้งมีความสามารถในการแตกหน่อสูง มีพันธุ์ไม้เด่น 5 ชนิด ได้แก่ เต็ง รัง เหียง พลวง และกราด เป็นต้น และป่าเบญจพรรณซึ่งเป็นป่าผลัดใบที่ประกอบไปด้วยพันธุ์ไม้หลายชนิด ส่วนมากจะทิ้งใบในฤดูแล้งจนเหลือแต่กิ่งก้าน เนื่องจากในช่วงฤดูแล้งพืชขาดแคลนน้ำ ที่จะใช้ในการคายน้ำ จึงต้องปรับตัวโดยการทิ้งใบเพื่อลดการคายน้ำของต้นไม้ มีลักษณะเป็นป่าโปร่งมากหรือน้อย ประกอบด้วยไม้ต้นขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดเล็กปนกันหลากชนิด บางแห่งมีไม้ไผ่ชนิดต่าง ๆ ขึ้นอยู่ ป่าชนิดนี้ในบางพื้นที่จะมีไม้สัก เสลา ตะแบก รกฟ้าแสนคำ สมอพิเภก แดง ประดู่ผสมอยู่ พื้นดินมักเป็นดินร่วนปนทราย มีความชุ่มชื้นในดินปานกลาง ป่าผลัดใบซึ่งมีความแตกต่างจากป่าไม่ผลัดใบโดยที่เป็นป่าที่มีเรือนยอดเขียวชอุ่มตลอดปีเนื่องจากต้นไม้ในป่าชนิดนี้เมื่อผลัดใบจะไม่ทิ้งใบพร้อมกันทั้งต้น จะมีใบอ่อนแตกใหม่มาแทนที่ใบเก่าเสมอ โดยป่าดิบเขาที่จัดอยู่ในประเภทป่าไม่ผลัดใบ มีลักษณะของป่าเป็นป่าดงดิบที่ขึ้นอยู่บนพื้นที่ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 1,000 เมตรขึ้นไป สภาพป่ามีเรือนยอดแน่นทึบ มีไม้พื้นล่างหนาแน่น มีไม้เด่น ได้แก่ ไม้ในสกุลก่อ เช่น ก่อเดือย ก่อน้ำ ก่อแป้น ก่อตลับ ก่อหนาม ก่อแหลม และพวกพืชใบเลี้ยงเดี่ยว และไม้อื่นๆ เช่น เมี่ยง เหมือดคน มณฑา จำปีหลวง ฮ้อมช้าง มะขามป้อมดง กำลังเสือโคร่ง กายอม จุมปีพญาไม้ สารภีดง ชมพูภูพาน กุหลาบขาว และกุหลาบแดง เป็นต้น และปาล์ม เช่น ค้อ เต่าร้างภูคา ไม้พื้นล่าง เฟินบัวแฉก มะพร้าวเต่า โดยมี

ปัจจัยในการเกิดป่าประเภทนี้จากการที่มีปริมาณน้ำฝน 1,500– 2,000 มิลลิเมตรต่อปี (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2566) ด้วยความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพของป่าแต่ละชนิด และชนิดพันธุ์ไม้ที่เป็นองค์ประกอบหลักนี้เองจึงอาจทำให้พันธุ์ไม้เด่นในป่าแต่ละชนิดมีกลไกในการปรับตัวเพื่อเอาตัวรอดจากสภาพแวดล้อมต่าง ๆ รวมถึงการผลิตและปลดปล่อยไอโซพรีนได้ในปริมาณที่แตกต่างกัน

2. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและช่วงเวลาระหว่างวันจากพื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและช่วงเวลาระหว่างวันจากพื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา พบว่า พื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง ป่าเบญจ–พรรณ และป่าดิบเขามีความเข้มข้นของไอโซพรีนตามช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ระหว่างวันที่แตกต่างกัน เนื่องจากการผลิตและปลดปล่อยไอโซพรีนจากพืชเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ดังนั้น ช่วงระยะเวลาระหว่างวันจึงเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการผลิตและปลดปล่อยไอโซพรีนจากพืช รวมถึงชนิดพรรณของพืชยังมีผลต่อการผลิตและปลดปล่อยไอโซพรีนเช่นกัน พืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการผลิตและปลดปล่อยไอโซพรีนได้แตกต่างกัน โดยในระบบนิเวศมีเพียงพืชพรรณบางชนิดเท่านั้นที่สามารถผลิตและปลดปล่อยไอโซพรีนได้ เนื่องจากพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 แห่ง มีความแตกต่างกันของพืชพรรณที่เป็นองค์ประกอบหลักของป่าแต่ละชนิด รวมถึงมีลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกัน จึงทำให้ป่าแต่ละชนิดมีการผลิตและปลดปล่อยไอโซพรีนออกสู่ชั้นบรรยากาศในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยพื้นที่ศึกษาป่าเต็งรังมีค่าความเข้มข้นของไอโซพรีนมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา ตามลำดับ เนื่องจากพื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง มีพืชพรรณที่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ เต็ง (*S. obtusa*) พลวง (*D. tuberculatus*) รัง (*S. siamensis*) ก่อแพะ (*Quercus* sp.) และเหียง (D. obtusifolius) เป็นต้น ซึ่งแตกต่างจากป่าเบญจพรรณที่มีพืชพรรณที่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ สัก (*Tectona grandis*) และประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus*) และป่าดิบเขาที่มีพืชพรรณที่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ก่อเดือย (*Castanopsis acuminatissima*) และก่อใบเลื่อม (*Castanopsis tribuloides*) เป็นต้น

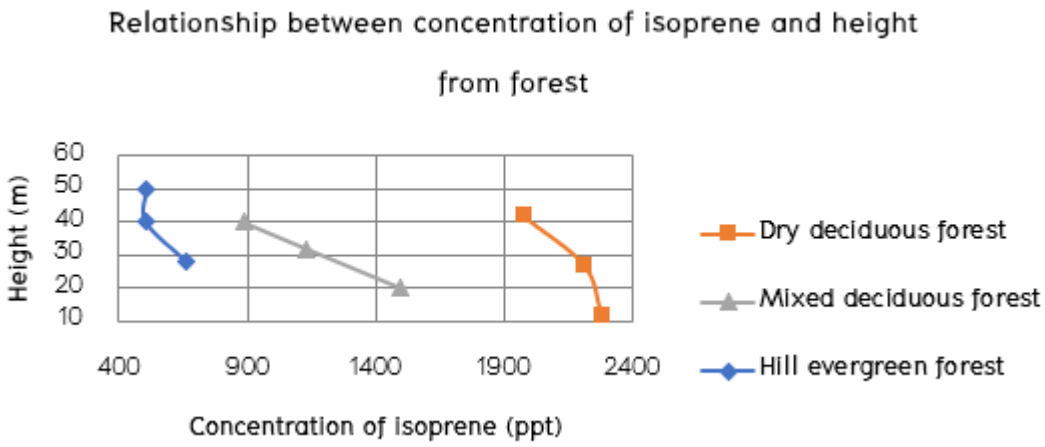


ภาพ 11 ความเข้มข้นของไอโซพรีนในระหว่างวัน พื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา

ความแปรผันของอุณหภูมิในช่วงวันมีอิทธิพลอย่างมากต่อการปล่อยไอโซพรีนจากพืช การปล่อยไอโซพรีนมีความไวสูงต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยมีรูปแบบรายวันที่ชัดเจน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในระหว่างวัน ซึ่งโดยทั่วไปจะถึงจุดสูงสุดในช่วงบ่าย การปล่อยไอโซพรีนจากพืชพรรณก็มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน (Guenther et al., 2006) ความสัมพันธ์ที่ขึ้นกับอุณหภูมิระหว่างการปล่อยไอโซพรีนและความแปรผันในแต่ละวันสามารถเกิดจากกระบวนการ metabolic processes ในพืช รวมถึงการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งนำไปสู่การผลิตและการปล่อยไอโซพรีนที่เพิ่มขึ้น (Singsaas et al., 1997) ในทางกลับกัน เมื่ออุณหภูมิลดลงในช่วงเย็นและกลางคืน การปล่อยไอโซพรีนจะลดลง ซึ่งสะท้อนถึงกิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ลดลงในพืชในช่วงเวลาดังกล่าว วงจรรายวันนี้ส่งผลให้เกิดรูปแบบฟันเลื่อยที่มีลักษณะเฉพาะในความเข้มข้นของไอโซพรีนในบรรยากาศ โดยมีการปล่อยก๊าซสูงสุดในช่วงที่อากาศอบอุ่นที่สุดของวัน (Seco et al., 2008) ซึ่งจากการศึกษานี้พบว่า ค่าไอโซนมีค่าสูงที่สุดในช่วงเวลา 15.00 – 16.00 น. ในทุกชนิดของป่า

3. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและระดับความสูงของชั้นเรือนยอดพื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา

การศึกษาวิจัยโดยการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไอโซพรีนที่ปล่อยออกมาจากพืชเหนือพื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา โดยจำแนกตามระดับความสูงในการเก็บตัวอย่างอากาศ ได้แก่ ระดับเหนือชั้นเรือนยอดไม่เกิน 10 เมตรจากความสูงโดยเฉลี่ยของพรรณไม้ ระดับชั้นเรือนยอดของพรรณไม้ และระดับใต้ชั้นเรือนยอดไม่เกิน 10 เมตรจากความสูงโดยเฉลี่ยของพรรณไม้ในพื้นที่ศึกษา พบว่า พื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา มีความเข้มข้นของปริมาณไอโซพรีนโดยเฉลี่ยที่ระดับใต้ชั้นเรือนยอดมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ ระดับชั้นเรือนยอด และระดับเหนือชั้นเรือนยอด 2284.88, 1498.19 และ 665.85 ppt ตามลำดับ



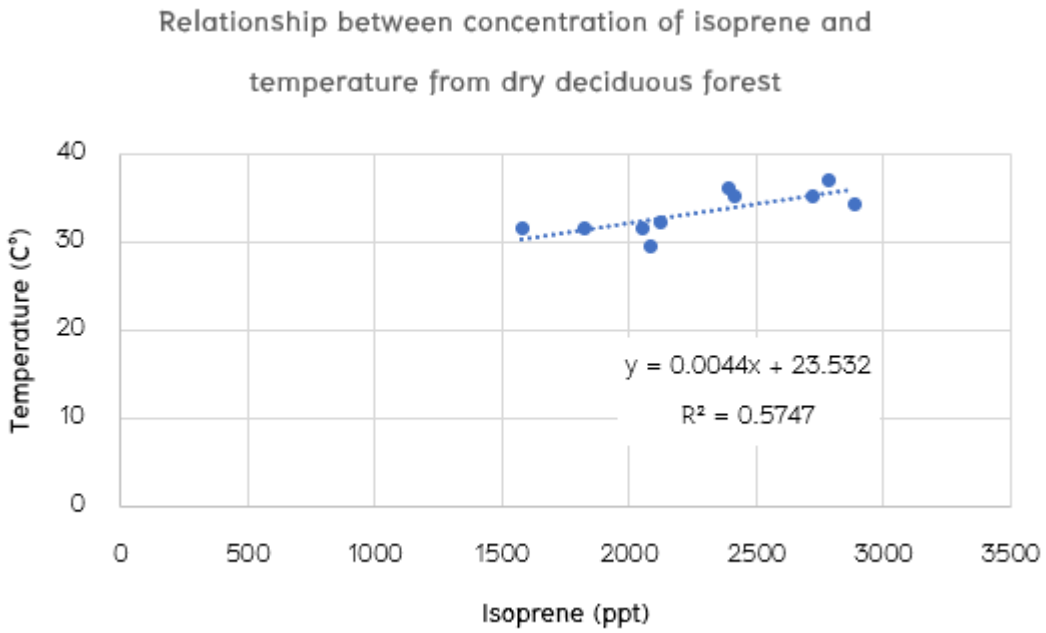
ภาพ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและระดับความสูงของชั้นเรือนยอดพื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา

จากภาพ 12 พบไอโซพรีนบริเวณใกล้พื้นดินจะมีค่าความเข้มข้นสูงที่สุดเมื่อเทียบกับระดับเรือนยอด และเหนือเรือนยอด เนื่องจากไอโซพรีนส่วนใหญ่ถูกปล่อยออกมาจากพืชบนพื้นดิน รวมถึงต้นไม้ พุ่มไม้ และพืชอื่น ๆ ซึ่งปล่อยสารประกอบดังกล่าวออกสู่อากาศโดยรอบ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่หรือใกล้พื้นผิวโลกซึ่งเป็นที่ซึ่งมีพืชพรรณอยู่หนาแน่น (Guenther et al., 1995) นอกจากนี้ การปล่อยไอโซพรีนยังขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิและแสงเป็นอย่างมาก ในช่วงกลางวัน เมื่อรังสีดวงอาทิตย์มีความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้นใกล้พื้นผิวพืชมีแนวโน้มที่จะปล่อยไอโซพรีนออกมามากขึ้น ในทางตรงกันข้าม ที่ระดับความสูงที่สูงกว่า

อุณหภูมิโดยทั่วไปจะต่ำกว่า และอาจความเข้มของแสงลดลง ซึ่งอาจส่งผลให้การปล่อยไอโซพรีนลดลง (Monson et al., 1992) นอกจากนี้ การกระจายตัวของไอโซพรีนในแนวดิ่งได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนย้ายและการผสมของก๊าซภายในชั้นบรรยากาศ แม้ว่าก๊าซสามารถผสมในแนวนอนในระยะทางไกล แต่การผสมในแนวดิ่งจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่า ใกล้พื้นผิวโลกมีชั้นขอบเขตที่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพืชพรรณกระจุกตัวอยู่ เมื่อขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศความเข้มข้นของไอโซพรีนจะค่อย ๆ ลดลงเนื่องจากการผสมที่ลดลงและอิทธิพลของกระบวนการในชั้นบรรยากาศอื่น ๆ (Seinfeld and Pandis, 2006) นอกจากนี้ ไอโซพรีนยังขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาทางเคมีในบรรยากาศ รวมถึงปฏิกิริยากับสารออกซิแดนท์ในชั้นบรรยากาศ เช่น อนุมูลไฮดรอกซิล (OH) ปฏิกิริยาเหล่านี้สามารถนำไปสู่การกำจัดไอโซพรีนออกจากบรรยากาศ และอาจเกิดขึ้นบ่อยครั้งมากขึ้นใกล้พื้นผิวซึ่งมีความเข้มข้นของสารออกซิแดนท์สูงกว่า (Atkinson and Arey, 2003).

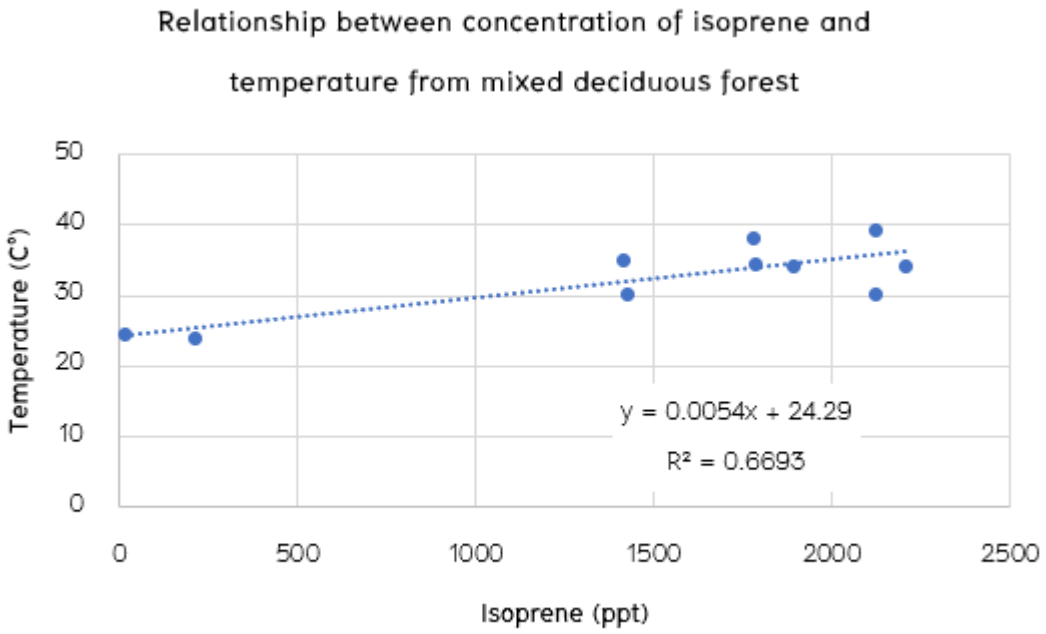
4. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและอุณหภูมิของอากาศ พื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและอุณหภูมิของอากาศ พื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง พบว่า พื้นที่ศึกษาป่าเต็งรังซึ่งมีปริมาณการปลดปล่อยไอโซพรีนโดยเฉลี่ย 2404.57 ppt มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ที่ 0.74 กล่าวได้ว่าอุณหภูมิมีความสัมพันธ์ในระดับสูงต่อปริมาณไอโซพรีนจากป่าเต็งรัง และมีค่าการถดถอยพหุคูณ (R^2) ร้อยละ 55.3 โดยมีแนวโน้มความเข้มข้นของไอโซพรีนสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 35°C และต่ำสุดอยู่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 35 °C



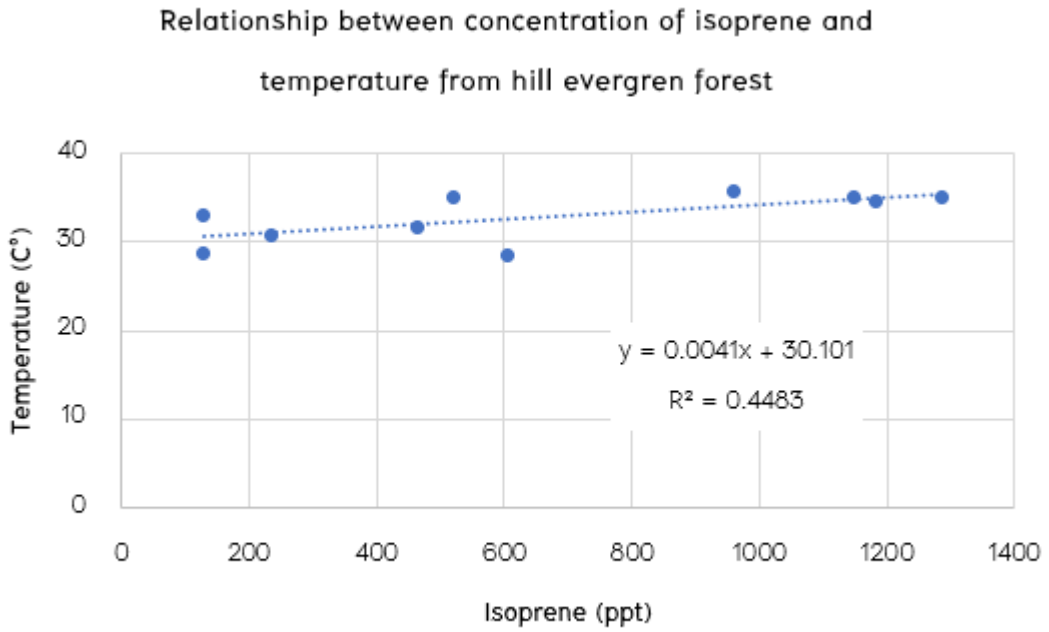
ภาพ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและอุณหภูมิของอากาศ พื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและอุณหภูมิของอากาศพื้นที่ศึกษาป่าเบญจพรรณ พบว่า พื้นที่ศึกษาเบญจพรรณซึ่งมีปริมาณการปลดปล่อยไอโซพรีนโดยเฉลี่ย 1441.73 ppt มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ที่ 0.78 กล่าวได้ว่าอุณหภูมิมีความสัมพันธ์ในระดับสูงต่อปริมาณไอโซพรีนจากป่าเบญจพรรณ และมีค่าการถดถอยพหุคูณ (R^2) ร้อยละ 60.2 โดยมีแนวโน้มความเข้มข้นของไอโซพรีนสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 35°C และต่ำสุดอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 25 °C



ภาพ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและอุณหภูมิของอากาศ พื้นที่ศึกษาป่าเต็งเบญจพรรณ

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและอุณหภูมิของอากาศ พื้นที่ศึกษาป่าดิบเขา พบว่า พื้นที่ศึกษาป่าดิบเขาซึ่งมีปริมาณการปลดปล่อยไอโซพรีนโดยเฉลี่ย 560.23 ppt มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ที่ 0.32 กล่าวได้ว่าอุณหภูมิมีความสัมพันธ์ในระดับต่ำต่อปริมาณไอโซพรีนจากป่าเต็งรัง และมีค่าการถดถอยพหุคูณ (R^2) ร้อยละ 10.4 โดยมีแนวโน้มความเข้มข้นของไอโซพรีนสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 35°C และต่ำสุดอยู่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 35 °C



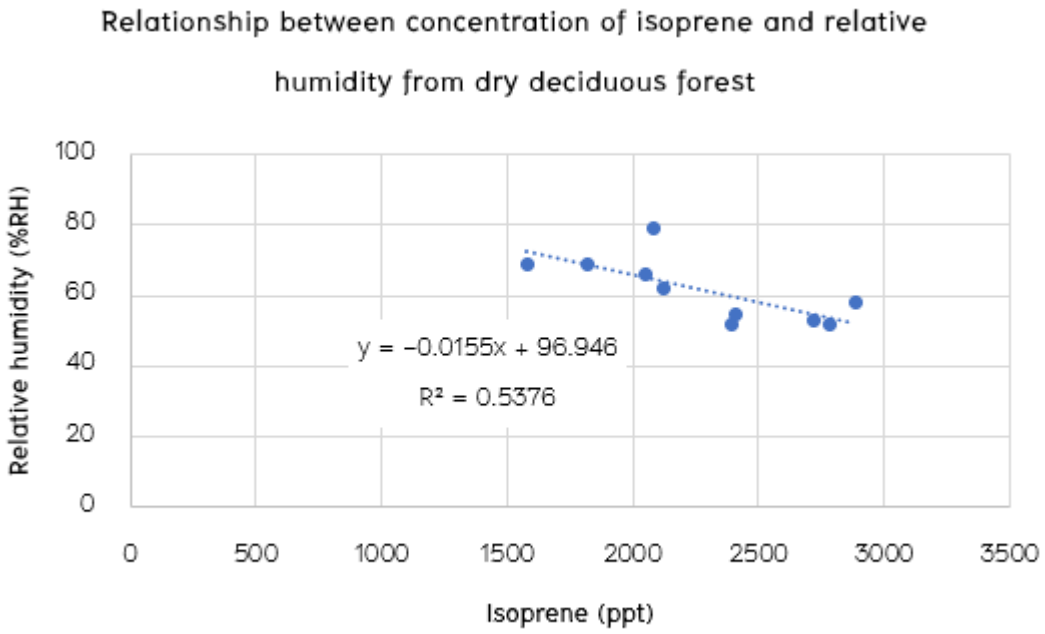
ภาพ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและอุณหภูมิของอากาศ พื้นที่ศึกษาป่าดิบเขา

5. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ พื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาต่อไอโซพรีน งานวิจัยนี้ได้พิจารณาอุณหภูมิและความชื้น เนื่องจากอุณหภูมิมีผลอย่างมากต่อการปล่อยไอโซพรีน โดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นไอโซพรีนที่ปล่อยออกมาจากใบพืชก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน อุณหภูมิสูงจะกระตุ้น metabolic processes ในใบ ส่งผลให้มีการผลิตและปลดปล่อยไอโซพรีนเพิ่มขึ้น (Guenther et al., 1993) ในทางกลับกัน ความชื้นสามารถช่วยลดการปล่อยไอโซพรีนได้ ระดับความชื้นที่สูงขึ้นจะช่วยลดการนำปากใบของใบ ซึ่งจำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างใบกับบรรยากาศ ผลที่ตามมา เมื่อความชื้นสูงการปล่อยไอโซพรีนมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการแพร่กระจายของไอโซพรีนจากใบไม้สู่ชั้นบรรยากาศลดลง (Monson et al., 1992)

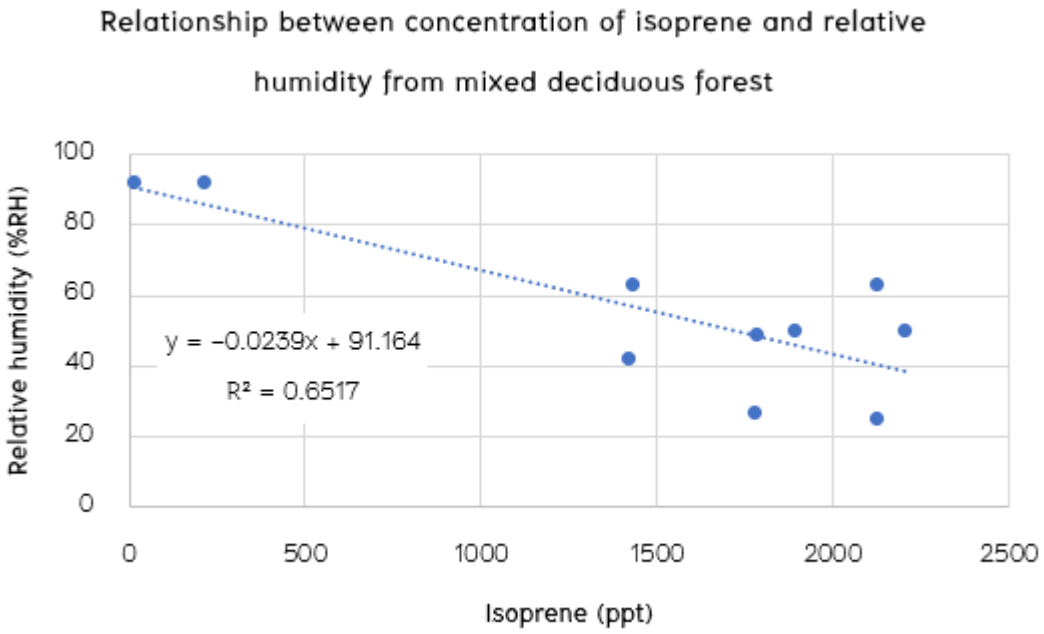
การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศพื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง พบว่า พื้นที่ศึกษาป่าเต็งรังซึ่งมีปริมาณการปลดปล่อยไอโซพรีนโดยเฉลี่ย 2404.57 ppt มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ที่ -0.70 กล่าวได้ว่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีความสัมพันธ์ในระดับสูงต่อปริมาณไอโซพรีนจากป่าเต็งรัง และมีค่าการ

ถดถอยพหุคูณ (R^2) เท่ากับ 0.5376 โดยมีแนวโน้มความเข้มข้นของไอโซพรีนสูงสุดอยู่ที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศประมาณ 55-60% และต่ำสุดอยู่ที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศประมาณ 70%



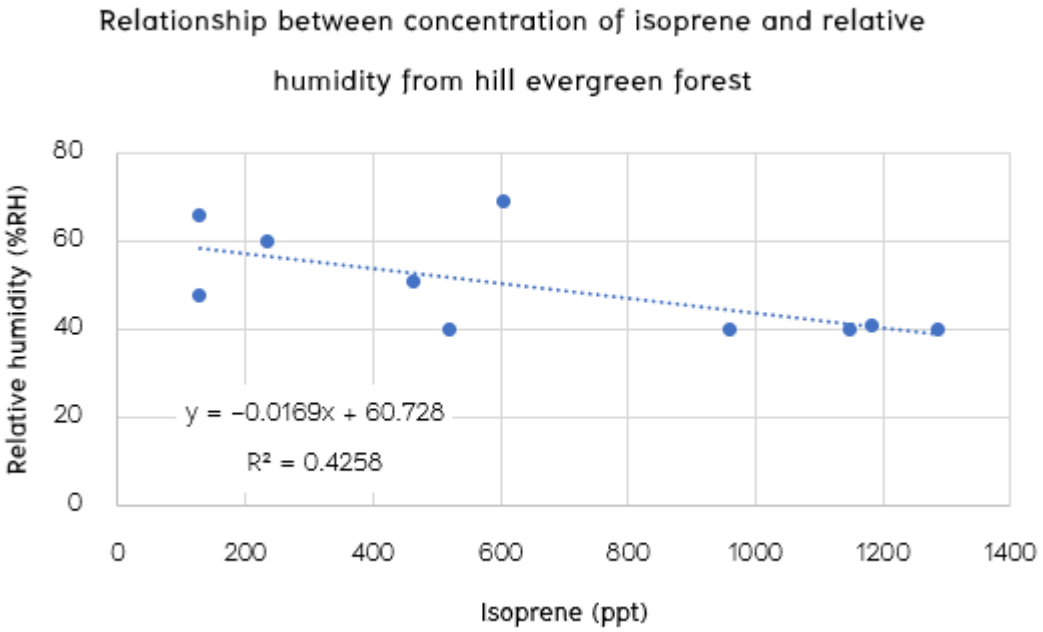
ภาพ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศพื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศพื้นที่ศึกษาป่าเบญจพรรณ พบว่า พื้นที่ศึกษาป่าเบญจพรรณซึ่งมีปริมาณการปลดปล่อยไอโซพรีนโดยเฉลี่ย 1441.73 ppt มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ที่ -0.73 กล่าวได้ว่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีความสัมพันธ์ในระดับสูงต่อปริมาณไอโซพรีนจากป่าเต็งรัง และมีค่าการถดถอยพหุคูณ (R^2) เท่ากับ 0.6517 โดยมีแนวโน้มความเข้มข้นของไอโซพรีนสูงสุดอยู่ที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศประมาณ 50% และต่ำสุดอยู่ที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศประมาณ 90-100%



ภาพ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศพื้นที่ศึกษาป่าเบญจพรรณ

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศพื้นที่ศึกษาป่าดิบเขา พบว่า พื้นที่ศึกษาป่าดิบเขาซึ่งมีปริมาณการปลดปล่อยไอโซพรีนโดยเฉลี่ย 2404.57 ppt มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ที่ -0.25 กล่าวได้ว่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีความสัมพันธ์ในระดับต่ำต่อปริมาณไอโซพรีนจากป่าเต็งรัง และมีค่าการถดถอยพหุคูณ (R^2) เท่ากับ 0.4258 โดยมีแนวโน้มความเข้มข้นของไอโซพรีนสูงสุดอยู่ที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศประมาณ 40% และต่ำสุดอยู่ที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศประมาณ 50–70%



ภาพ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ พื้นที่ศึกษาป่าดิบเขา

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการปลดปล่อยไอโซพรีนจากป่าในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย พบว่า พื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างของประเภทป่าไม้ที่สามารถพบได้มากที่สุดในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ ป่าเต็งรัง ซึ่งมีชนิดพันธุ์ไม้ที่เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น เต็ง (*S. obtusa*) พลวง (*D. tuberculatus*) รัง (*S. siamensis*) ก่อแพะ (*Quercus* sp.) และเหียง (*D. obtusifolius*) เป็นต้น ป่าเบญจพรรณ ซึ่งมีชนิดพันธุ์ไม้ที่เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น สัก (*T. grandis*) และประดู่ (*P. macrocarpus*) เป็นต้น และป่าดิบเขา ซึ่งมีชนิดพันธุ์ไม้ที่เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ก่อเดือย (*C. acuminatissima*) และก่อใบเลื่อม (*C. tribuloides*) เป็นต้น มีปริมาณการปลดปล่อยไอโซพรีนโดยเฉลี่ย 2404.57, 1441.73 และ 560.23 ppt ตามลำดับ

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและอุณหภูมิของอากาศ พื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา พบว่า อุณหภูมิของอากาศส่งผลโดยตรงต่อความเข้มข้นของไอโซพรีน กล่าวคือ ปริมาณการปลดปล่อยไอโซพรีนจากป่าทั้ง 3 ประเภท มีความสัมพันธ์ในรูปแบบแปรผันตรงกับอุณหภูมิของอากาศ หากอุณหภูมิของอากาศเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณการปลดปล่อยไอโซพรีนของพืชจากป่าทั้ง 3 ประเภท จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยความเข้มข้นของไอโซพรีนมากที่สุดอยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 35–40 °C นอกจากนี้ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ พื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบเขา พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศส่งผลต่อความเข้มข้นของไอโซพรีน โดยความเข้มข้นของไอโซพรีนมากที่สุดอยู่ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศประมาณ 50% สำหรับป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณ และประมาณ 40% สำหรับป่าดิบเขา เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศส่งผลต่อการเปิดปิดปากใบของพืช เมื่อถึงจุดหนึ่งของการอิ่มตัวการปลดปล่อยไอโซพรีนจะมีปริมาณลดลง แต่อย่างไรก็ตาม ปัจจัยการปลดปล่อยของไอโซพรีนจากพืชเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศยังมีความสัมพันธ์กับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชแต่ละชนิด ดังนั้น ปริมาณการปลดปล่อยไอโซพรีนจากป่าไม้ทั้ง 3 ประเภท ยังขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ของพืชที่เป็นองค์ประกอบหลักของป่า เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการผลิตและปลดปล่อยไอโซพรีนได้แตกต่างกันอีกด้วย

อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาการปลดปล่อยไอโซพรีนจากป่าในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยโดยการศึกษาความหลากหลายของพันธุ์ไม้ที่เป็นองค์ประกอบหลักในพื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง เมื่อเปรียบเทียบกับศุจีภรณ์ (2561) ซึ่งทำการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินพื้นที่สังคมป่าเต็งรัง มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา พบว่า จากการศึกษาวางแปลงตัวอย่างในพื้นที่ป่าขนาด 4,800 ตารางเมตร พบไม้ยืนต้นจำนวน 943 ต้น 18 วงศ์ 41 ชนิด พบพันธุ์ไม้เด่น ได้แก่ พลวง เมื่อเปรียบเทียบกับสรรเสริญ และคณะ (2556) ซึ่งทำการศึกษาระบบนิเวศป่าไม้ระยะยาวในพื้นที่อุทยานแห่งชาติ: เครือข่ายแปลงตัวอย่างถาวรในเขตร้อน ป่าเต็งรังอุทยานแห่งชาติศรีลานนา จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า จากการวางแปลงตัวอย่างถาวรขนาด 120×120 ตารางเมตร พบไม้ยืนต้นจำนวน 2,900 ต้น 35 ชนิด พบพันธุ์ไม้เด่น ได้แก่ เต็ง พลวง รัง เหียง และรักใหญ่ ตามลำดับ ซึ่งมีความหลากหลายของพันธุ์ไม้และชนิดพันธุ์ไม้เด่นในพื้นที่ศึกษาคล้ายคลึงกันกับป่าเต็งรังที่พบได้ทั่วไปในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย และเมื่อทำการศึกษาความหลากหลายของพันธุ์ไม้ที่เป็นองค์ประกอบหลักในพื้นที่ศึกษาป่าเบญจ-พรรณเปรียบเทียบกับสรรเสริญ และคณะ (2556) ซึ่งทำการศึกษานิเวศวิทยาป่าไม้ระยะยาวในพื้นที่อุทยานแห่งชาติ: เครือข่ายแปลงตัวอย่างถาวรในเขตร้อน ป่าเบญจพรรณ อุทยานแห่งชาติศรีลานนา จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า จากการวางแปลงตัวอย่างถาวรขนาด 120×120 ตารางเมตร พบไม้ยืนต้นจำนวน 1,058 ต้น 66 ชนิด พบพันธุ์ไม้เด่น ได้แก่ สัก เลียงฝ้าย ตุมกาขาว ยาบน้อย และแดง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (2559) ซึ่งทำการศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพสวนป่าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยแบ่งพื้นที่การศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพด้านทรัพยากรพืชป่าออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ พื้นที่ศึกษาป่าปลูกและพื้นที่ศึกษาป่าธรรมชาติ พบว่า พื้นที่ศึกษาป่าปลูกพบไม้ยืนต้นจำนวน 851 ต้น มีความหลากหลายโดยรวมอยู่ในวงศ์ Lamiaceae, Fabaceae, Annonaceae และ Rubiaceae เป็นต้น และพบพันธุ์ไม้เด่น ได้แก่ สัก ประดู่ แดง ติ้วขน กางขี้มอด กระถินพิมาน กระพี้ชัน และกระพี้จั่น เป็นต้น และพื้นที่ศึกษาป่าธรรมชาติพบไม้ยืนต้นจำนวน 217 ต้น มีความหลากหลายโดยรวมอยู่ในวงศ์ Fabaceae, Lamiaceae และ Combretaceae ตามลำดับ และพบพันธุ์ไม้เด่น ได้แก่ ผ่าเสี้ยน (*Vitex canescens* Kurz) และ รกฟ้า (*Terminalia alata* B. Heyne ex Roth) เป็นต้น ซึ่งมีความหลากหลายของพันธุ์ไม้และชนิดพันธุ์ไม้เด่นในพื้นที่ศึกษาคล้ายคลึงกันกับป่าเบญจพรรณที่พบได้ทั่วไปในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย นอกจากนี้ เมื่อทำการศึกษาความหลากหลายของพันธุ์ไม้ที่เป็นองค์ประกอบหลักในพื้นที่ศึกษาป่าดิบเขาเปรียบเทียบกับดอกรักและคณะ (2558) ซึ่งทำการศึกษาความหลากหลายของพรรณพืชป่าดิบเขาระดับต่ำบริเวณลุ่ม

น้ำห้วยคอกม้า อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ–ปุย จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า จากการวางแปลงตัวอย่างถาวรขนาด 16 เฮคแตร์ พบชนิดพรรณไม้ 189 ชนิด 131 สกุล 60 วงศ์ และพบพันธุ์ไม้เด่น ได้แก่ ก่อเดือย ก่อหรั่ง ทะโล้ กำยาน ยาแก้ อินทวา และเมียดต้น เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบกับชมพู่ และสดาร (2551) ซึ่งทำการศึกษาโครงสร้างและมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสังคมพืชบริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า สังคมป่า 5 สังคม คือ ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรังผสมสน ป่าสนผสมก่อและป่าดิบเขา พบพันธุ์ไม้จำนวน 289 ชนิด 150 สกุล 69 วงศ์ พบพันธุ์ไม้เด่นในป่าเต็งรัง ได้แก่ ยางพลวง เต็ง และรัง เป็นต้น พบสักเป็นไม้เด่นในป่าเบญจพรรณผสมกับแดง แต่ในบางพื้นที่ไม่พบไม้สัก แต่พบไม้กระเจาะ มะกอกเกลื้อน เล็บเหยี่ยว ตีนนก ส้มกบ ปอแก่นเทา และตะแบก เป็นไม้เด่น ป่าเต็งรังผสมสนมีสนสองใบเป็นไม้เด่น รองลงมา ได้แก่ พลวง พันธุ์ไม้ที่พบในป่าสนผสมก่อ ได้แก่ สนสองใบ ทะโล้ ก่อแหลม เหมือดโลด และแข้งกวาง เป็นต้น และพันธุ์ไม้เด่นที่พบในป่าดิบเขา ได้แก่ ชิบะดุ หมักอินทร์ ก่อหมูดอย ตองลาด และก่อแหลม เป็นต้น ซึ่งมีความหลากหลายของพันธุ์ไม้และชนิดพันธุ์ไม้เด่นในพื้นที่ศึกษาคล้ายคลึงกันกับป่าแต่ละชนิดที่สามารถพบได้ทั่วไปในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

โดยทั่วไปป่าดิบชื้นซึ่งมีต้นไม้ออกใบตลอดทั้งปี มีแนวโน้มที่จะแสดงการปล่อยไอโซพรีนที่ค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งปี ป่าเหล่านี้รักษาปริมาณใบสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสงและการผลิตไอโซพรีนอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งมีส่วนช่วยอย่างต่อเนื่องในงบประมาณไอโซพรีนในชั้นบรรยากาศ (Guenther et al., 2006) แม้ว่าต้นไม้ไม่ผลัดใบแต่ละสายพันธุ์อาจไม่ปล่อยไอโซพรีนมากเท่ากับพันธุ์ไม้ผลัดใบบางชนิด แต่การปล่อยก๊าซอย่างสม่ำเสมอมีส่วนสำคัญต่อระดับไอโซพรีนโดยรวมในชั้นบรรยากาศ ขณะที่ในป่าผลัดใบผสมซึ่งมีทั้งต้นไม้ผลัดใบและต้นสน การปล่อยไอโซพรีนมักจะแสดงการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยทั่วไปการปล่อยไอโซพรีนจะสูงที่สุดในช่วงเดือนที่อากาศอบอุ่น ซึ่งเป็นช่วงที่ต้นไม้ผลัดใบกว้างมีการสังเคราะห์แสง (Lerdau et al., 1997; Rinne et al., 2009) ป่าเต็งรังซึ่งพบได้ทั่วไปในภูมิภาค เช่น เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีต้นไม้เต็งรังเป็นส่วนใหญ่ อัตราการปล่อยไอโซพรีนในป่าเหล่านี้อาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์เต็งรังที่มีอยู่ นอกจากนี้ ฤดูกาลของการปล่อยไอโซพรีนอาจได้รับอิทธิพลจากสภาพอากาศของภูมิภาค โดยฤดูฝนและแห้งส่งผลกระทบต่อกิจกรรมและการปล่อยก๊าซของต้นไม้ (Staudt et al., 2002) เช่นเดียวกับต้นไม้ชนิดอื่น ๆ ต้นไม้ในป่าเต็งรังอาจเพิ่มการปล่อยไอโซพรีนเพื่อตอบสนองต่อความเครียด เช่น อุณหภูมิสูงหรือความเสียหายของสัตว์กินพืช (Hakola et al., 2006)

ในการศึกษานี้พบระดับไอโซพรีนในป่าเต็งรังมีค่าสูงกว่าป่าชนิดอื่น เมื่อเปรียบเทียบกับป่าเบญจพรรณหรือป่าดิบเขาอาจมีสาเหตุมาจากปัจจัยสำคัญหลายประการ ปัจจัยสำคัญประการหนึ่งคือองค์ประกอบของพันธุ์พืชในป่าแต่ละประเภท ป่าผลัดใบแห้งมักประกอบด้วยพันธุ์พืชที่ขึ้นชื่อเรื่องอัตราการปล่อยไอโซพรีนที่สูงกว่า ตัวอย่างเช่น ต้นไม้บางชนิดที่ถูกปรับให้เข้ากับความแห้งและสภาพแวดล้อมที่แปรปรวนมากขึ้นอาจปล่อยไอโซพรีนออกมามากขึ้นเพื่อเป็นกลไกในการป้องกันความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นและความเสียหายที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ (Monson et al., 1992) อีกทั้งปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมก็มีบทบาทเช่นกัน โดยทั่วไปแล้วป่าผลัดใบแห้งจะมีอุณหภูมิและความชื้นเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับป่าดิบ เพื่อตอบสนองต่อความเครียดทางสิ่งแวดล้อมเหล่านี้ พืชบางชนิดในป่าผลัดใบที่แห้งแล้งอาจเพิ่มการปล่อยไอโซพรีนเป็นกลไกในการป้องกัน (Brüggemann et al., 2005) อีกทั้งระดับอุณหภูมิและแสงยังส่งผลต่อความแตกต่างในการปล่อยไอโซพรีนอีกด้วย การปล่อยไอโซพรีนมีความไวต่ออุณหภูมิและแสงสูง และป่าเต็งรังมักพบอุณหภูมิที่สูงขึ้นและแสงแดดจ้ามากขึ้นในบางช่วงเวลา สภาวะเหล่านี้สามารถกระตุ้นการผลิตไอโซพรีนและการปลดปล่อยจากพืชพรรณได้ (Sharkey et al., 2008) นอกจากนี้ ความแห้งแล้งและภาวะความเครียดจากการขาดน้ำซึ่งพบได้ทั่วไปในป่าเต็งรังสามารถกระตุ้นให้เกิดการปล่อยไอโซพรีนซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกลไกการตอบสนองต่อความเครียดในพืช (Pegoraro et al., 2004) อีกทั้งความแปรผันของ phenology ของใบ ระยะเวลาการเจริญเติบโตของใบ อาจส่งผลต่อการปล่อยไอโซพรีน (Grote et al., 2013)

การศึกษาการปลดปล่อยไอโซพรีนจากป่าในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยโดยการศึกษาความเข้มข้นของไอโซพรีนที่มีการผลิตและปลดปล่อยจากป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณและป่าดิบเขา ซึ่งเป็นชนิดป่าที่พบได้มากที่สุดในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย พบว่ามีความสอดคล้องกันกับการศึกษาของ Saito และคณะ (2008) ซึ่งทำการศึกษาการปล่อยเมทิลคลอไรด์และไอโซพรีนจากป่าฝนเขตร้อนในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศเหนือพื้นที่ศึกษาป่า Pasoh ที่ระดับความสูง 45, 52 และ 60 เมตรจากระดับพื้นดิน และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไอโซพรีนด้วย GC–MS พบว่า ป่าฝนเขตร้อนซึ่งมีพันธุ์ไม้ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของป่าในวงศ์ Dipterocarpaceae มีการปลดปล่อยไอโซพรีนโดยเฉลี่ยประมาณ 700–3000 pptv และมีปริมาณความเข้มข้นลดลงตามความสูง นอกจากนี้ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซพรีนและปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ พบว่า มีความสอดคล้องกันกับการศึกษาของ Sharkey และ Yeh (2001) ซึ่งทำการศึกษาการปลดปล่อยไอโซพรีนจากพืช โดยการศึกษาความสัมพันธ์

ระหว่างการปล่อยไอโซพรีนกับการสังเคราะห์ด้วยแสง พบว่า การพึ่งพาอุณหภูมิของการปล่อยไอโซพรีนนั้นแตกต่างกันอย่างมากจากการสังเคราะห์ด้วยแสง การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช C_3 ใน CO_2 350 ppm จะอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในวงกว้างมาก โดยมีอัตราสูงสุดที่ 30°C หรือต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ Janyasuthiwong และคณะ (2022) ซึ่งทำการศึกษาการปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายทางชีวภาพจากพืชเมืองร้อน โดยสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยการเพาะเลี้ยง *S. cumini* และ *P. pterocarpum* ในเรือนกระจกในสภาวะเดียวกัน ได้แก่ น้ำ (หนึ่งครั้งต่อวัน) อุณหภูมิแวดล้อม (25–30 °C) และปุ๋ย (ในวันแรก) ประมาณ 30 วันก่อนการทดลอง และทำการทดลองภายใต้การดำเนินการที่อุณหภูมิ 5 ระดับตามความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญภายในช่วง 20 ถึง 40 °C และยับยั้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20 °C หรือมากกว่า 40 °C และทำการตรวจวัดปริมาณไอโซพรีนด้วยเครื่องตรวจวัด GC–FID พบว่า การปล่อยไอโซพรีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 38–40 °C และเริ่มลดลงเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น และนอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับ Tambunan และคณะ (2007) ซึ่งทำการศึกษาผลของระดับความชื้นต่อการปลดปล่อยไอโซพรีนจากใบของต้นไม้เขตร้อน *Ficus virgata* โดยการเลี้ยง *F. virgata* ภายใต้สภาวะควบคุมความชื้น ความเข้มแสง และอุณหภูมิ พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์เป็นปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญสำหรับการควบคุมไอโซพรีนฟลักซ์จากพืชเขตร้อน

การปล่อยไอโซพรีนจากพืชเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนซึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกทางชีวเคมีและสรีรวิทยาหลายประการ ไอโซพรีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) ถูกสังเคราะห์ขึ้นภายในเซลล์พืชและปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศผ่านชุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่เกิดขึ้นใน คลอโรพลาสต์ของใบเป็นหลัก การสังเคราะห์ไอโซพรีนเริ่มต้นด้วยการเปลี่ยนไดเมทิลอัลลิลไดฟอสเฟต (DMADP) และไอโซเพนเทนิลไดฟอสเฟต (IDP) ให้เป็นไอโซพรีนผ่านการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ไอโซพรีนซินเทส (ISPS) (Sharkey et al., 2013) ISPS แยก DMADP ออกเป็นไอโซพรีน ซึ่งจากนั้นจะถูกขนส่งจากคลอโรพลาสต์ไปยังช่องว่างระหว่างเซลล์ของใบไม้ โดยทั่วไปการปล่อยไอโซพรีนสู่บรรยากาศทำได้โดยปากใบซึ่งเป็นรูเล็ก ๆ บนพื้นผิวใบที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนก๊าซ สื่อนำไฟฟ้าปากใบควบคุมการไหลของไอโซพรีนจากภายในใบสู่ชั้นบรรยากาศ ในช่วงเวลากลางวัน เมื่อปากใบเปิดสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสงและการคายน้ำ โดยทั่วไปการปล่อยไอโซพรีนจะสูงขึ้นเนื่องจากความเข้มข้นระหว่างเซลล์เพิ่มขึ้น (Monson et al., 1994) การปล่อยไอโซพรีนยังอาจได้รับอิทธิพลจากปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น แสง อุณหภูมิ และความชื้น ระดับแสงที่สูงขึ้นและอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีแนวโน้มที่

จะกระตุ้นการผลิตและการปล่อยไอโซพรีน (Sharkey et al., 2008) ในทางกลับกัน ความชื้นสามารถจำกัดการแพร่กระจายของไอโซพรีนจากใบ (Rasulov et al., 2009)

บรรณานุกรม

กรมป่าไม้. (2560). **โครงการจัดทำข้อมูลสภาพพื้นที่ป่าไม้ปี พ.ศ.2559 – 2560.** สืบค้นเมื่อ 12 ตุลาคม 2563, จาก http://forestinfo.forest.go.th/Content.aspx?id=9.

กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. (2566). **ชนิดของป่าของประเทศไทย.** สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2566, จาก http://reddplus.dnp.go.th/?p=5829.

ชมพู่ บุญรอดกลับ และสคาร ทีจันทึก. (2551). **โครงสร้างและมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสังคมพืชบริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่.** (หน้า 411–419). กรุงเทพฯ: ม.ป.พ.

ธวัชชัย สันติสุข. (2549). **ป่าของประเทศไทย**. กรุงเทพมหานคร: ประชาชน.

ดอกรัก มารอด, สราวุธ สังข์แก้ว, ประทีป ด้วงแค, แหลมไทย อาษานอก, ต่อลาภ คำโย, สุธีระ เหิมฮึก และคณะ (ผู้บรรยาย). (22–23 มกราคม 2558). ความหลากหลายของพรรณพืชป่าดิบเขาระดับต่ำบริเวณลุ่มน้ำห้วยคอกม้า อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ–ปุย จังหวัดเชียงใหม่. ใน **การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิชาการเครือข่ายงานวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้ประเทศไทย: องค์ความรู้ด้านนิเวศวิทยาเพื่อการจัดการที่ยั่งยืน** (หน้า 51–60). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มหาวิทยาลัยแม่โจ้. (2559). **ความหลากหลายทางชีวภาพสวนป่าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง**. ม.ป.พ.

ศุจีภรณ์ กุนแสง. (2561). **การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินพื้นที่สังคมป่าเต็งรัง มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา**. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง วท.บ., มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา.

ศูนย์ข้อมูลก๊าซเรือนกระจก องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2560). **การตรวจวัดก๊าซเรือนกระจกจากสถานีจุลอุตุนิยมวิทยา.** สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2563, จาก http://conference.tgo.or.th/download/tgo_or_th/Article/2017/Greenhouse%20Gas%20Measurement%20from%20Micrometeorology%20Tower.pdf.

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. (2562). **ทรัพยากรป่าไม้.** สืบค้นเมื่อ 16 พฤศจิกายน 2562, จาก http://Kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=21&chap=8&page=t21-8-infodetail07.html.

สรรเสริญ ทองสมนึก, จิรศักดิ์ ปอกอ้าย และณัฐวุฒิ อุดมศิริพงษ์ (ผู้บรรยาย). (24–26 มกราคม 2556). การศึกษานิเวศวิทยาป่าไม้ระยะยาวในพื้นที่อุทยานแห่งชาติ: เครือข่ายแปลงตัวอย่างถาวรในเขตร้อน ป่าเต็งรัง อุทยานแห่งชาติศรีลานนา จังหวัดเชียงใหม่. ใน **การ**

ประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิชาการเครือข่ายงานวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้ประเทศไทย ครั้งที่ 2 (หน้า 431). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สรรเสริญ ทองสมนึก, ทนงศักดิ์ ก้างยาง และณัฐวุฒิ อุดมศิริพงษ์ (ผู้บรรยาย). (24–26 มกราคม 2556). การศึกษานิเวศวิทยาป่าไม้ระยะยาวในพื้นที่อุทยานแห่งชาติ: เครือข่ายแปลงตัวอย่างถาวรในเขตร้อน ป่าเบญจพรรณ อุทยานแห่งชาติศรีลานนา จังหวัดเชียงใหม่. ใน **การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิชาการเครือข่ายงานวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้ประเทศไทย ครั้งที่ 2: ความรู้นิเวศวิทยาเพื่อการฟื้นฟู** (หน้า 430). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Atkinson, R. (2000). Atmospheric chemistry of VOC and NO_x. **Atmos. Environ.**, 34, 2063–2101.

Atkinson, R. and Arey, J. (2003). Gas–phase tropospheric chemistry of biogenic volatile organic compounds: A review. **Atmospheric Environment**, 37, 197–219.

Bai, J., Guenther, A., Turnipseed, A. and Duhl, T. (2015). Seasonal and interannual variations in whole–ecosystem isoprene and monoterpene emissions from a temperate mixed forest in Northern China. **Atmospheric Pollution Research**, 6(4), 696–707.

Brüggemann, N., Meixner, F. X., Kesselmeier, J. and Kuhn, U. (2005). Isoprene and monoterpene emissions in relation to canopy leaf area for a neotropical rainforest in Costa Rica. **Atmospheric Environment**, 39(11), 1969–1978.

Chadwick, R., Good, P., Martin, G. and Rowell, D. P. (2016). Large rainfall changes consistently projected over substantial areas of tropical land. **Nature Climate Change**, 6, 177–181.

Cinege, G., Louis, S., Hänsch R., and Schnitzler, J. (2009). Regulation of isoprene synthase promoter by environmental and internal factors. **Plant Molecular Biology**, 69(5), 593–604.

Delwiche, C. F. and Sharkey, T. D. (1993). Rapid appearance of ^{13}C in biogenic isoprene when $^{13}CO_2$ is fed to intact leaves. **Plant, Cell and Environment**, 16, 587–591.

Duffy, P. B., Brando, P., Asner, G. P. and Field, C. B. (2015). Projections of future meteorological drought and wet periods in the Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 112(43), 13172–13177.

Duque, A., Peña, M. A., Cuesta, F., Caro, S. G., Kennedy, P., Phillips, O. L. et al. (2021). Mature Andean forests as globally important carbon sinks and future carbon refuges. **Nature Communications**, 12, 2138.

Eisenreich, W., Bacher, A., Arigoni, D., and Rohdich, F. (2004). Biosynthesis of isoprenoids via the non–mevalonate pathway. **Cellular and Molecular Life Sciences**, 61(12), 1401–1426.

Emwas, A. H. M., Al–Talla, Z. A., Yang, Y., and Kharbatia, N. M. (2016). Gas Chromatography–Mass Spectrometry of Biofluids and Extracts. **Metabonomics**, 1, 91–112.

Enquist, B. J., and Enquist, C. A. F. (2010). Long–term change within a Neotropical forest: assessing differential functional and floristic responses to disturbance and drought. **Global Change Biology**, 17(3), 1408–1424.

Enquist, B. J., Bentley, L. P., Shenkin, A., Maitner, B., Savage, V., Michaletz, S. et al. (2017). Assessing trait–based scaling theory in tropical forests spanning a broad temperature gradient. **Global Ecology and Biogeography**, 26(12), 1357–1373.

Farquhar, G. D. and von Caemmerer, S. (1982). Modelling of Photosynthetic Response to Environmental Conditions. **Physiological Plant Ecology II**, 549–587.

Franks, P. J., and Farquhar, G. D. (1999). A relationship between humidity response, growth form and photosynthetic operating point in C_3 plants. **Plant, Cell and Environment**, 22(11), 1337–1349.

Grote, R., Monson, R. K. and Niinemets, Ü. (2013). Leaf–Level Models of Constitutive and Stress–Driven Volatile Organic Compound Emissions. **Biology, Controls and Models of Tree Volatile Organic Compound Emissions**, 315–355.

Guenther, A. B., Hewitt, C. N., Erickson, D., Fall, R., Geron, C., Graedel, T. et al. (1995). A global model of natural volatile organic compound emissions. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, 100(D5), 8873–8892.

Guenther, A. B., Jiang, X., Heald, C. L., Sakulyanontvittaya, T., Duhl, T., Emmons, L. K. et al. (2012). The Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature version 2.1 (MEGAN2.1): an extended and updated framework for modeling biogenic emissions. **Geoscientific Model Development**, 5(6), 1471–1492.

Guenther, A. B., Karl, T., Harley, P., Wiedinmyer, C., Palmer, P. I. and Geron C. (2006). Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature) **Atmos. Chem. Phys.**, 6, 3181–3210.

Guenther, A., Zimmerman, P., Harley, P. R., Monson, R. K. and Fall, R., (1993). Isoprene and

monoterpene emission rate variability: model evaluation and sensitivity analysis. **Journal of Geophysical Research**, 98D, 12609–12617.

Harley, P. C., Guenther, A. B. and Zimmerman, P. R. (1996). Effects of light, temperature and canopy position on net photosynthesis and isoprene emission from sweetgum (*Liquidambar styraciflua*) leaves. **Tree Physiol**, 16, 25–32.

Hewitt, N. C. and Street, R., (1992). A qualitative assesment of the emission of non–methane hydrocarbon compounds from the biosphere to the atmosphere in the U.K.: present knowledge and uncertainties. **Atmospheric Environment**, 17, 3069–3077.

Hakola, H., Laurila, T., Lindfors, V., Hellen, H. and Rinne, J. (2006). Effect of temperature on the emission of monoterpenes from Scots pine. **Atmospheric Chemistry and Physics**, 6, 1625–1635.

Jacob, D. J. (1999). **Introduction to Atmospheric Chemistry**. Cambridge: MAHarvard University Press.

Janyasuthiwong, S., Choomanee, P., Bualert, S., Maneejantra, S., Charoenpun, T, Chommon, W. and Jitjun, S. (2022). Biogenic volatile organic compound emission from tropical plants in relation to temperature changes. **Environmental Challenges**, 9, 100643.

Jia, L. and Xu, Y, F. (2018). Different roles of water in secondary organic aerosol formation from toluene and isoprene. **Atmos. Chem. Phys.**, 18, 8137–8154.

Kirtman, B., Power, B. S., Adedoyin, A. J., Boer, G. J., Bojariu, R., Camilloni, I. et al. (2013). **Near–term Climate Change: Projections and Predictability**. Cambridge: Cambridge Univ. Press.

Kumar, A., Bhatia, A., Fagodiya, R. K., Malyan, S. K. and Meena, B. L. (2017). Eddy covariance flux tower: a promising technique for greenhouse gases measurement. **Adv Plants Agric Res**, 7(4), 337–340.

Lerdau, M., Guenther, A. and Monson, R. K., (1997). Plant production and emission of volatile organic compounds. **Bioscience**, 47(6), 373–383.

Lerdau, M. T., Litvak, M. E., Palmer, P. I. and Monson, R. K. (1997). Controls over monoterpene emissions from boreal forest conifers. **Tree Physiology**, 17(8–9), 563–569.

Logan, B. A. and Monson, R. K. (1999). Thermotolerance of leaf discs from four isoprene–emitting species is not enhanced by exposure to exogenous isoprene, **Plant Physiology**, 120,

821–825.

Loreto, F. and Sharkey, T. D. (1990). A gas–exchange study of photosynthesis and isoprene emission in *Quercus rubra* L, **Planta**, 182, 523–531.

McDowell, N., Pockman, W. T., Allen, C. D., Breshears, D. D., Cobb, N., Kolb, T. et al. (2008). Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? **New Phytologist**, 178(4), 719–739.

Monson, R. K. and Fall, R. (1989). Isoprene emission from aspen leaves: the influence of environment and relation to photosynthesis and photorespiration, **Plant Physiology**, 90, 267–274.

Monson, R. K. and Holland, E. A. (2001). Biospheric trace gas fluxes and their control over tropospheric chemistry. **Annual Review of Ecology and Systematics**, 32, 547–576.

Monson, R. K., Fall, R., and Kaplan, W. A. (1992). Simultaneous analysis of ^{13}C and 18O of CO^2 evolved from C_3 and C_4 plants: A microdiffusion and isotope ratio mass spectrometry technique. **Analytical Chemistry**, 64(6), 611–614.

Monson, R. K., Harley, P. C., Litvak, M. E., Wildermuth, M., Guenther, A. B., Zimmerman, P. R. et al. (1994). Environmental and developmental controls over the seasonal pattern of isoprene emission from aspen leaves. **Oecologia**, 99(3–4), 260–270.

Monson, R. K., Jones, R. T., Rosenstiel, T. N., and Schnitzler, J. P. (2012). Why only some plants emit isoprene. **Plant, Cell and Environment**, 36(3), 503–516.

Padhy, P. K., and Varshney, C. K. (2005). Isoprene emission from tropical tree species. **Environmental Pollution**, 135, 101–109.

Pegoraro, E., Rey, A., Greenberg, J., Harley, P. and Grace, J. (2004). Effect of water availability on monoterpene emission from young potted Pinus ponderosa trees. **Oecologia**, 139(2), 200–209.

Phillips, S. J., Dudík, M., Elith, J., Graham, C. H., Lehmann, A. and Leathwick, J. et al. (2009). Sample selection bias and presence–only distribution models: implications for background and pseudo–absence data. **Ecological Applications**, 19, 181–197.

Phillips, O. L., van der Heijden, G., Lewis, S. L., López–González, G., Aragão, L. E. O. C., Lloyd, J. et al. (2010). Drought–mortality relationships for tropical forests. **New Phytologist**, 187(3), 631–646.

Pike, R. C., and Young, P. J. (2009). How plants can influence tropospheric chemistry: the role of

isoprene emission from biosfere. **Weather**, 64, 332–336.

Rasulov, B., Bichele, I., Laisk, A. and Niinemets, Ü. (2009). Competition between isoprene emission and pigment synthesis during leaf development in aspen. **Plant, Cell & Environment**, 32(5), 580–589.

Rinne, H. J., Guenther, A. B., Warneke, C., de Gouw, J. A. and Luxembourg, S. L. (2009). Disjunct eddy covariance technique for trace gas flux measurements in a non–forest ecosystem. **Atmospheric Measurement Techniques**, 2(2), 465–474.

Rowland, L., da Costa, A. C. L., Galbraith, D. R., Oliveira, R. S., Binks, O. J., Oliveira, A. A. R. et al. (2015). Death from drought in tropical forests is triggered by hydraulics not carbon starvation. **Nature**, 528, 119–122.

Saito, T., Yokouchi, Y., Kosugi, Y., Tani, M., Philip, E., and Okuda T. (2008). Methyl chloride and isoprene emissions from tropical rain forest in Southeast Asia. **GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS**, 35, L19812.

Sanadze, G. A. (1969). Light–dependent excretion of molecular isoprene. **Progress in Photosynthesis Research**, 2, 701–706.

Sanadze, G. A. and Kalandaze, A. N. (1966). Light and temperature curves of the evolution of C_5H_8, **Soviet Plant Physiology**, 13, 458–461.

Schnitzler, J. P., Graus, M., Kreuzwieser, J., Heizmann, U., Rennenberg, H., Wisthaler, A. et al. (2004). Contribution of different carbon sources to isoprene biosynthesis in poplar leaves, **Plant Physiology**, 135, 152–160.

Schwender, J., Zeidler, J., Groner, R., Muller, C., Focke, M., Braun, S. et al. (1997). Incorporation of 1–deoxy–D–xylulose into isoprene and phytol by higher plants and algae, **FEBS Letters**, 414, 129–134.

Seco, R., Peñuelas, J., Filella, I., Llusià, J. and Molowny–Horas, R. (2008). Diurnal and seasonal variations of isoprene biosynthesis–related genes in grey poplar leaves. **Plant Physiology**, 148, 474–484.

Seinfeld, J.H. and Pandis, S.N. (2006). **Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change**. New York; John Wiley & Sons.

Sharkey, T. D. (1991). Stomatal control of trace gas emissions. **See Ref**. 129a, 335–339.

Sharkey, T. D. (1996). Isoprene synthesis by plants and animals. **Endeavour**, 20(2), 74–78.

Sharkey, T. D. and Singsaas, E. L. (1995). Why plants emit isoprene, **Nature**, 374, 769–769.

Sharkey, T. D. and Yeh, S. (2001). Isoprene emission from plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 52, 407–436.

Sharkey, T. D., Gray, D. W., Pell, H. K., Breneman, S. R. and Topper, L. (2013). Isoprene synthase genes form a monophyletic clade of acyclic terpene synthases in the TPS-B terpene synthase family. **Evolution**, 67(4), 1026–1040.

Sharkey, T. D., Singsaas, E. L., Lerdau, M.T. and Geron, C. (1999). Weather effects on isoprene emission capacity and applications in emissions algorithms. **Ecol. Appl**, 9, 1132–1137.

Sharkey, T. D., Singsaas, E. L., Vanderveer, P. J. and Geron, C. D. (1996). Field measurements of isoprene emission from trees in response to temperature and light. **Tree Physiol**, 16, 649–654.

Sharkey, T. D., Wiberley, A. E. and Donohue, A. R. (2008). Isoprene emission from plants: Why and how. **Annals of Botany**, 101, 5–18.

Silver, G. M., and Fall, R. (1991). Enzymatic synthesis of isoprene from dimethylallyl diphosphate in aspen leaf extracts, **Plant Physiology**, 1991, 97, 1588–1591.

Singsaas, E. L., Lerdau, M. T., Winter, K. and Sharkey, T. D. (1997). Isoprene increases thermotolerance of isoprene-emitting species. **Plant Physiology**, 115(4), 1413–1420.

Steinbrecher, R., Hau!, K., Rabong, R. and Steinbrecher, J., (1997). Isoprenoid emission of oak species typical for the mediterranean area: source strenth and controlling variables. **Atmospheric Environment**, 31, 79–88.

Staudt, M., Liede-Schumann, S. and Rambold, G. (2002). Diversity of isoprene-degrading bacteria in phyllosphere and soil communities from a high-ozone, polluted environment. **Microbial Ecology**, 43(3), 318–328.

Tani, A. and Kawawata, Y. (2008). Isoprene emission from the major native *Quercus* spp. in Japan. **Atmospheric Environment**, 42(19), 4540–4550.

Tambunan, P., Baba, S. and Oku, H. (2007). Effect of Humidity Level on Isoprene Emission from Leaves of Tropical Tree *Ficus virgata*. **Jpn. J. Trop. Agr.**, 51, 30–34.

Tambunan, P., Baba, S., Kuniyoshi, A., Iwasaki, H., Nakamura, T., Yamasaki, H., et al. (2006).

Isoprene emission from tropical trees in Okinawa Island, Japan. **Chemosphere**, 65(11), 2138–2144.

Tingey, D. T., Manning, M., Grothaus, L. C., and Burns, W. F. (1979). The influence of light and temperature on isoprene emission rates from live oak. **Physiologia Plantarum**, 47, 112–118.

Trainer, M., Williams, E. J., Parrish, D. D., Buhr, M. P., Allwine, E. J., Westberg, H. H., et al. (1987). Models and observations of the impact of natural hydrocarbons on rural ozone. **Nature**, 329, 705–707.

Turner, D. P., Baglio, J. V., Wones, A. G., Pross, D., Vong, R., McVeety, B. D. et al. (1991). Climate change and isoprene emissions from vegetation. **Chemosphere**, 23, 37–56.

Wang, X., Zhang, Y., Tan, Y., Tan, Y., Bai, J., Gu, D., et al. (2022). Effects of light on the emissions of biogenic isoprene and monoterpenes: A review. **Atmospheric Pollution Research**, 13(5), 101397.

Xiaoshan, Z., Yujing, M., Wenzhi, S., and Yahui, Z. (2000). Seasonal variations of isoprene emissions from deciduous trees. **Atmospheric Environment**, 34(18), 3027–3032.

Ying, Q., Li, J., and Kota, S. H. (2015). Significant contributions of isoprene to summertime secondary organic aerosol in Eastern United States. **Environ. Sci. Technol.**, 49, 7834–7842.

ภาคผนวก

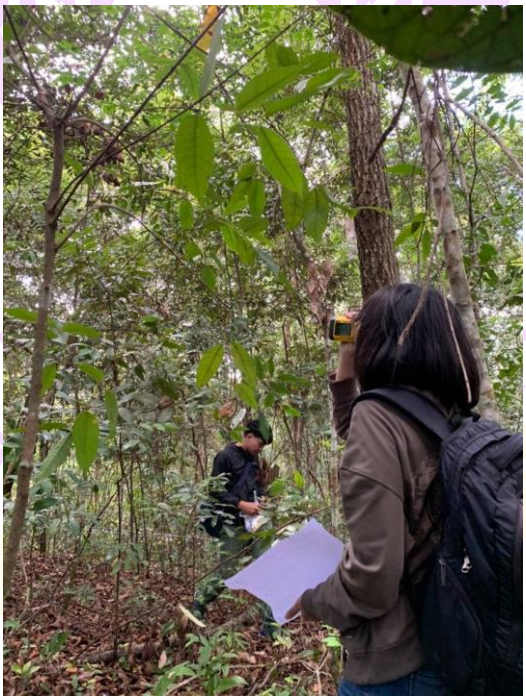
ภาคผนวก ก วิธีดำเนินการวิจัยในการศึกษาการปลดปล่อยไอโซพรีนจากป่าในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

ภาพ 19 พื้นที่ศึกษาป่าเต็งรัง อุทยานการเรียนรู้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมเพื่อการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช อันเนื่องมาจากพระราชดาริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยพะเยา อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา

ภาพ 20 พื้นที่ศึกษาป่าเบญจพรรณ สวนป่าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

ภาพ 21 พื้นที่ศึกษาป่าดิบเขา อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ–ปุย อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

ภาพ 22 การระบุชนิดพันธุ์พืชโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านพฤกษศาสตร์ ดร.วัฒนา ตันมิ่ง นักวิชาการพฤกษศาสตร์ องค์การสวนพฤกษศาสตร์ และนายประทักษ์พงศ์ ริยะมงคล นักวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา



ภาพ 23 การวัดความสูงของต้นไม้โดยใช้ Forestry Pro

ภาพ 24 การวัดความยาวเส้นรอบวงลำต้นโดยใช้เทปวัดระยะ

ภาพ 25 การวัดการปกคลุมเรือนยอดต้นไม้โดยใช้ Spherical Densiometer

ภาพ 26 การเก็บตัวอย่างอากาศเหนือพื้นที่ป่าโดยใช้ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ (GilAir Plus) ดูดเก็บตัวอย่างอากาศและบรรจุไว้ใน Absorbent Tube

ภาพ 27 การลงพื้นที่ศึกษานำโดย Dr. rer. nat.Ronald C. Macatangay ดร.วนิสา สุรพิพิธ และคณะ จากสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ภคินี เกยงค์
วัน เดือน ปี เกิด	29 มกราคม 2540
สถานที่เกิด	จังหวัดแพร่
วุฒิการศึกษา	พ.ศ.2562 วท.บ., (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา
ที่อยู่ปัจจุบัน	172 หมู่ 6 ตำบลทุ่งกวาว อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ 54000
ผลงานตีพิมพ์	Phakinee Kayong. (Presenter). (May 12-14, 2021). Measured wet season of isoprene emission from forests in Northern Thailand. Proceeding of the 7th KKU International Engineering Conference 2021 (pp. 143-148). Khon Kaen:Khon Kaen University.