



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาสภาพภูมิอากาศในอดีต
บริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยไม้สัก

**Study on Paleomonsoon Climate in Southeast Asia
with Teak (*Tectona grandis* L.)**

โดย ผศ.ดร. นาฏสุดา ภูมิจำนงค์

30 กันยายน 2542

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาสภาพภูมิอากาศในอดีตบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยไม้สัก

Study on paleomonsoon Climate in Southeast Asia with Teak (*Tectona grandis* L.)

โดย ผศ.ดร.นาฏสุดา ภูมิจำนงค์

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

ชุดโครงการ ทนวิจัยหลังปริญญาเอก

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (THE THAI RESEARCH FUND) ประเภทโครงการวิจัยหลังปริญญาเอก ภายใต้ชื่อโครงการ "การศึกษาสภาพภูมิอากาศในอดีตบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยไม้สัก" (Study on Palaeomonsoon Climate in Southeast Asia with Teak (*Tectona grandis* L.) ซึ่งได้ดำเนินโครงการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540-2542 ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่กรุณาให้การสนับสนุนเงินทุนในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ป่าไม้ทุกท่านในพื้นที่อุทยานแห่งชาติแม่วงก์ อุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้า และเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย ทุกท่าน

Dr. Kyaw Tint, Director General, Forest Department, Mr. Mehm Ko Ko Gyi, Former-Coordinator TEAKNET (Asia Pacific Region), Saw Eh Dah, Coordinator, Secreariat Forest Department, Yangon Myanmar ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ให้ความร่วมมือในการประสานงานและอนุญาตให้เข้ามาเก็บข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ และเจ้าหน้าที่ป่าไม้ของพม่า ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ Prof. Dr. Dieter Eckstein ในฐานะที่เป็นอาจารย์ที่ให้คำปรึกษา Associate Prof. Dr. Won-Kyu Park ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องอุปกรณ์ เครื่องมือ และให้คำปรึกษาทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์

คุณสุรชน กุลวิจิตร, คุณสมเกียรติ พิทักษ์กมลพร และ คุณทูลศักดิ์ วัลยาเพชร ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล คุณสมชาย ธรณิศร, คุณอุทัย เจริญวงศ์, คุณภัทรารุณี พุสิงห์ และคุณ พรเพ็ญ เกียรติถาวร ที่ช่วยทำให้รายงานฉบับสมบูรณ์ สำเร็จลุล่วงไปได้ดี

และขอขอบคุณ คณบดี คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้การสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้

นางสุดา ภูมิจำนงค์

30 กันยายน 2542

บทคัดย่อ

Project Code: PDF/28/2540

Project Title: การศึกษาสภาพภูมิอากาศในอดีตบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยไม้สัก

นักวิจัย: ผศ.ดร. นาฏสุดา ภูมิจำนงค์

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล ต. ศาลายา อ. พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

E-Mail : grnpm@mahidol.ac.th

Project Period: สิงหาคม 2540 - กันยายน 2542

วัตถุประสงค์: 1) เพื่อสร้างและขยายกราฟเส้นดัชนีวงปีของไม้สัก (Teak Chronology Index) 2) เพื่อศึกษาการตอบสนองความกว้างวงปีของไม้สักต่อปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (Climate Growth Response) 3) เพื่อสร้างเส้นภูมิอากาศในอดีต (Reconstruction Climate) 4) เพื่อเปรียบเทียบสภาพภูมิอากาศในอดีตและลักษณะการเจริญเติบโตไม้สักในแหล่งกำเนิดที่ต่างกัน ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และ 5) เพื่อได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาและปรับปรุงการเพิ่มผลผลิตป่าสักธรรมชาติและการปลูกสร้างสวนป่าสักต่อไป

วิธีการศึกษา: การศึกษารั้วนี้ได้เลือกพื้นที่ป่าสักของประเทศไทยและของพม่า ในประเทศไทยพื้นที่ศึกษารอบคลุมบริเวณภาคเหนือตอนล่างได้แก่ อุทยานแห่งชาติแม่วงก์อยู่ในจังหวัดนครสวรรค์ และตาก และอุทยานแห่งชาติ คลองวังเจ้า อยู่ในจังหวัดตาก และจังหวัดกำแพงเพชร ส่วนภาคเหนือตอนบนได้แก่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 183 ต้น สำหรับพื้นที่ศึกษาในประเทศพม่าได้แก่ป่าสักในเขตชุมชน (Seinye Research Station) ป่าสักในเขตแห่งแล้ง (Moswe Research Station) และป่าสักภาคเหนือตอนล่าง (Pyinoolwin Reserve Forest) จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 187 ต้น ตัวอย่างทั้งหมดจะได้นำมาศึกษาโดยใช้วิธีการศึกษาด้านวงปีที่ได้ประยุกต์มาใช้ศึกษากับไม้สักหลายด้าน เช่น การศึกษาความสัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศ (Dendroclimatology) การติดตามการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศป่าเบญจพรรณ (Dendroecology) ผลกระทบของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับความกว้างวงปี (Dendrotoxicology) การตอบสนองของสภาพภูมิอากาศต่อปัจจัยทางกายวิภาคของไม้สัก (Vessel Chronology) การใช้ความกว้างวงปี และปัจจัยทางกายวิภาคเพื่อสร้างเส้นน้ำฝนและอุณหภูมิ

ผลการศึกษาและการอภิปราย ผลการศึกษา สามารถสร้างเส้นดัชนีไม้สักของประเทศไทยขึ้นมาใหม่ 11 เส้น ซึ่งเส้นดัชนีที่ยาวที่สุดย้อนหลังไปได้ 255 ปี (ค.ศ. 1742-1996) ข้อมูลที่ได้จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าไม้สักจากภาคเหนือตอนล่างปริมาณน้ำฝนเดือนกรกฎาคมและกันยายนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความกว้างของวงปีไม้สักและอุณหภูมิในเดือนสิงหาคมและกันยายนมีความสัมพันธ์เชิงลบ และไม้สักจากภาคเหนือตอนบนพบว่าปริมาณน้ำฝนในเดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม มีความสัมพันธ์เชิงบวก และอุณหภูมิมีความสัมพันธ์อย่างไม่มีนัยสำคัญกับความกว้างวงปี ในขณะที่เดียวกันลักษณะของท่อลำเลียงน้ำ ซึ่งเป็นปัจจัยทางกายวิภาคของ

ไม้สัก (เช่น พื้นที่หน้าตัดของท่อน้ำเลียงน้ำ, ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อน้ำเลียงน้ำ, ความหนาแน่นของท่อน้ำเลียงน้ำ, ศักยภาพในการนำน้ำ) มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับปริมาณน้ำฝนและเชิงบวกกับอุณหภูมิ

ดัชนีไม้สักจากพม่าได้สร้างขึ้นใหม่จำนวน 13 เส้นดัชนี ดัชนีไม้สักที่ยาวที่สุด 248 ปี (ค.ศ. 1750-1997) จากพื้นที่ Moswe Research Station ไม้สักจากพม่าตอบสนองต่อปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิที่แตกต่างออกไปคือป่าสักในพื้นที่แห้งแล้งปริมาณน้ำฝนเดือนกันยายนและเดือนตุลาคมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความกว้างวงปีเช่นเดียวกับอุณหภูมิของเดือนกุมภาพันธ์ เมษายนและพฤษภาคม ที่มีความสัมพันธ์เชิงบวก สำหรับไม้สักในพื้นที่ชุ่มชื้นพบว่าปริมาณน้ำฝนมีความสัมพันธ์อย่างไม่มีนัยสำคัญกับความกว้างวงปี ส่วนอุณหภูมิของเดือนกรกฎาคมและสิงหาคมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความกว้างวงปี และไม้สักจากบริเวณภาคเหนือตอนล่าง ปริมาณน้ำฝนเดือนเมษายนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความกว้างวงปี ขณะที่อุณหภูมิของเดือนธันวาคมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความกว้างวงปี

จากข้อมูลดัชนีของไม้สักและความสัมพันธ์ระหว่าง ความกว้างวงปีและลักษณะของท่อน้ำเลียงน้ำ กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ ได้ถูกนำไปสร้างเส้นน้ำฝนระหว่างช่วงปี ค.ศ.1870-1991 (ย้อนหลัง 121 ปี) และเส้นอุณหภูมิช่วงปี ค.ศ. 1850-1991 (141 ปี) ซึ่งเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมีย้อนหลังกลับไปในอดีตแล้วจะพบว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงที่เป็นวัฏจักร ทุกๆ ประมาณ 15 ปี โดยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีวัฏจักรที่ชัดเจนและแน่นอนมากกว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝน

สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศของป่าเบญจพรรณโดยประยุกต์ใช้ปีดัชนี (pointer year) สรุปได้ว่าในอดีตการตัดไม้ในพื้นที่ศึกษาเป็นการใช้ประโยชน์ป่าไม้และที่ดินแบบชัดเจน (clear cutting system) ความกว้างของเส้นผ่าศูนย์กลางและอายุของไม้สักไม่ได้มีความสัมพันธ์กัน สำหรับปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีผลทำให้ความกว้างของวงปีไม้สักลดลงอย่างชัดเจน นอกจากนี้ ผลการศึกษายังได้ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการพัฒนาและปรับปรุงผลผลิตของป่า การปลูกป่าทดแทน และการปลูกสร้างสวนป่า เป็นต้น

สำหรับการวิจัยต่อไปนั้น ผู้วิจัยได้เสนอแนะให้มีการพัฒนา Teak Chronology Index ให้มีความสมบูรณ์ถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้นด้วยการใช้ข้อมูลจากแหล่งต่างๆและเทคนิคใหม่ๆ ในการวิเคราะห์การพัฒนา Teak Chronology Index ควรที่จะขยายขอบเขตของการศึกษาไปยังต้นไม้อื่นๆ รวมทั้งอาคารไม้เก่า ซากโบราณสถาน และอื่นๆ ทั้งในประเทศไทยและพม่าควรจะได้มีการศึกษาทางสรีรวิทยาของต้นไม้เพื่อเสริมความความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติการเติบโตของต้นไม้ให้มากขึ้น เทคนิคในการวิเคราะห์ใหม่ๆ เช่น Image Analysis และการวิเคราะห์ทางสถิติควรที่จะได้ถูกนำมาทดลองใช้เพื่อเป็นการขยายคุณภาพของข้อมูลทางด้านกายวิภาคของตัวอย่างวงปีอันจะเป็นส่วนช่วยให้การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆกับสภาพภูมิอากาศ (Dendroclimatology) และระบบนิเวศ (Dendroecology) ได้ดียิ่งขึ้น

KEYWORDS: วงปีไม้กับการศึกษาเหตุการณ์ในอดีต, ไม้สัก, ลมมรสุม, สภาพภูมิอากาศ

ABSTRACT

Project Code: PDF/28/2540

**Project Title: Study on Palaeomonsoon Climate in Southeast Asia with Teak
(*Tectona grandis* L.)**

Investigators: Assist. Prof. Dr. Nathsuda Pumijumnong

Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University

Salaya, Phutthamonthon, Nakhon Pathom 73170

E-Mail: grnpm@mahidol.ac.th

Project Period: August 1997 - September 1999

Objectives: The Study on Palaeomonsoon Climate in Southeast Asia with Teak (*Tectona grandis* L.) has five objectives: 1) to construct and extend Teak chronology index; 2) to study climate growth responses between Teak tree-ring width and climate factors (rainfall and temperature); 3) to reconstruct a climate data set (rainfall and temperature) back to the past prior to Teak chronology index; 4) to compare climate condition and growth characteristics of Teak among South East Asia region; and 5) to develop and collect basic information for improvement and development of natural forest productivity and management of Teak forest.

Methodology: Northern part of Thailand and Myanmar were selected as study sites. In Thailand, samples were taken from 183 Teak trees in the areas included the upper and lower northern part of Thailand which covered Mae Wong National Park (Nakorn Sawan and Tak Provinces), Khlong Wang Chao National Park (Tak and Kampaeng Petch Provinces), and Pai Wildlife Sanctuary (Mae Hong Son Province). In Myanmar, samples from 187 Teak trees were collected from Seinye Research Station (humid Mixed-Deciduous forest), Moswe Research Station (arid Mixed-Deciduous Forest), and Pyinoolwin Reserve Forest (lower northern part of Myanmar). All samples were analyzed with various methods, which previously developed and applied for tree ring study or dendrochronology in Teak. The study included Dendroclimatology, Dendroecology, dendrotoxicology (impacts of Sulfur Dioxide), responses of climate factors to Teak vessel chronology, reconstruction of rainfall and temperature data with tree-ring width and Teak vessel.

Result and Discussion: The new 11 Teak Chronology Indices from Thailand have been constructed. The longest index is 255 years during 1742-1996. The study reveals that, teak growth lower northern part of Thailand, rainfall in July and September of current year has significant positive correlation with the tree-ring width. Temperature

in August and September of current year shows significant negative correlation with tree-ring width. Teak from upper northern part Thailand, rainfall in May-July of current year has significant positive correlation however temperature does not show any significant correlation with tree-ring width. In contrast, Teak vessel data (cross section area of vessel, vessel diameter, vessel density, and vessel conductive area) has negative correlation with rainfall and positive correlation with temperature.

The new 13 Teak chronology Indices from Myanmar have been constructed. The longest teak chronology from Moswe Research Station is 248 year (1750-1997) Teak growth in arid area, rainfall in September- October of current year has positive correlation with tree-ring width and temperature in February, April and May of current year has significant positive correlation with tree-ring width. Teak growth in humid area, only temperature in August and September of current year has significant positive correlation with tree-ring width. And teak in the lower northern part of Myanmar, rainfall in April of current year has significant positive correlation with tree-ring width and temperature in December of current year has significant positive correlation with tree-ring width.

Reconstruction climate graphs have been reconstructed from the Teak Chronology Indices, the correlation of tree-ring width with rainfalls temperatures and Teak vessel. The graphs demonstrate rainfall during 1870-1991(121 years) and temperature during 1850-1991(141 years). Previously, the rainfall and temperature in the study area have fluctuated (up and down) with about 15-year cycle. The changing in temperature fluctuation is more precisely than the rainfall and can be observed easily.

With using pointer year to indicate a changing in Mix-deciduous ecosystem in some specific periods, the study concludes that in the former time, people used "clear cutting system" to exploit forest products and landuse in the study sites. There is no correlation between a tree diameter and an age of Teak. Volume of Sulphur Dioxide has affected to a reduction of Teak tree ring width. Moreover, some recommendations for development of forest productivity, afforestation, and agroforestation are also discussed.

Suggestion: For the further research, it is very important to continuously develop Teak Chronology Index in order to increase its' validity and accuracy by utilising various sources of data and new techniques. The development of index can be extended to other species of living trees, old building, excavation etc. both in Thailand and Myanmar. Tree physiology should include in the research for better understanding of

how tree growth. Some new techniques such as Image Analysis and various statistic methods should be employed to enhance data quality of anatomical variables of tree ring samples for improvement correlation between anatomical variable/climate (Dendroclimatology) and anatomical variable/ecosystem (Dendroecology).

KEYWORDS: Dendrochronology, Teak, Monsoon, Climate

EXECUTIVE SUMMARY

การศึกษาสภาพภูมิอากาศในอดีตบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยไม้สัก

Study on Palaeomonsoon Climate in Southeast Asia with Teak (*Tectona grandis* L.)

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัญหาโลกร้อน (Global Warming) หรือการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ซึ่งเป็นสภาวะวิกฤตในปัจจุบันนี้มีสาเหตุเนื่องมาจากการเร่งรัดพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม ตั้งแต่ทศวรรษที่ 18 เป็นต้นมา การใช้พลังงานถ่านหินเพื่อเป็นเชื้อเพลิงอย่างมากในประเทศอุตสาหกรรม การเผาไหม้ซากพืชซากสัตว์ที่ไม่สมบูรณ์ การใช้สาร CFC ในอุตสาหกรรมหล่อเย็นต่างๆ การทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ การปลดปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) ออกสู่บรรยากาศ การลดลงของพื้นที่ป่าไม้โดยเฉพาะอย่างยิ่งป่าเขตร้อนและกึ่งร้อนชื้น (Tropical Rainforest / Subtropical Rainforest) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เก็บกักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใหญ่ที่สุดของโลก การเพิ่มขึ้นของประชากรโลกโดยเฉพาะในทวีปเอเชีย การใช้ประโยชน์ที่ดินผิดประเภท ความหนาแน่นของเมือง เหล่านี้เป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้บรรยากาศของโลกเปลี่ยนแปลงไป

ปัญหาโลกร้อน มิใช่ปัญหาของประเทศใดประเทศหนึ่งเพราะผลกระทบของปัญหามีต่อมวลมนุษยชาติทั้งโลก ดังนั้นแต่ละประเทศจึงต้องหันหน้าเข้าหากันและช่วยเหลือกันเพื่อจะรักษาความสมดุลของโลกให้คงอยู่ต่อไป

การบันทึกสภาพภูมิอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยานั้นเป็นแหล่งข้อมูลที่สำคัญแห่งหนึ่งที่สามารถนำมาศึกษาเรื่องการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ แต่ข้อจำกัดในเรื่องระยะเวลาการเก็บข้อมูลนั้นเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่ง ดังนั้นหากได้ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศในอดีตที่ยาวนานก็น่าจะเป็นประโยชน์ในเรื่องการศึกษาเปรียบเทียบ เพราะสภาพภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่ถือว่าเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้นๆ

ดังนั้นการศึกษาทางด้านวงปีไม้ (Dendrochronology) จึงน่าจะเป็นวิธีการที่เหมาะสม (Appropriate Method) วิธีหนึ่งที่สามารถบอกเหตุการณ์ตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันได้ (Douglass 1914, Huber 1941) ซึ่งการศึกษานี้เป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวางทั้งในอเมริกาและยุโรป (Schweigruber 1993, Eckstein 1998) นอกจากต้นไม้จะบันทึกเหตุการณ์สภาพแวดล้อมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในบริเวณนั้นไว้ในรูปของเซลล์เนื้อไม้แล้ว ต้นไม้บางชนิดยังมีอายุยืนนานเป็นหลายร้อยปี นั้นแสดงให้เห็นว่าต้นไม้มีศักยภาพที่จะบ่งบอกถึงสภาพภูมิอากาศทั้งในปัจจุบันและในอดีตหลายร้อยปีที่ผ่านมา

ไม้สัก (Teak: *Tectona grandis* L.) เป็นไม้ที่ขึ้นบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีการกระจายตัวอย่างกว้างขวาง ตั้งแต่ประเทศ อินเดีย พม่า ไทย ในอดีตกล่าวกันว่าการศึกษาทางด้าน Dendrochronology ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เป็นเรื่องที่เป็นไปไม่ได้หรือต้องใช้ความอดทนอย่างสูง (Bass & Vetter 1989) แต่จากการศึกษาของ Pumijumnong et al. (1995) พบว่าไม้สักเป็นไม้ชนิดหนึ่งจากจำนวนไม้ไม่กี่ชนิด ที่มีศักยภาพในการศึกษาสภาพแวดล้อมในอดีต (Dendrochronology) นอกจากนี้ไม้สักเป็นไม้ที่มีค่าทางด้านเศรษฐกิจและเป็นที่ต้องการของ

ตลาดเป็นอย่างมาก จากการที่มีการลักลอบตัดไม้ทำลายป่าโดยเฉพาะไม้สักจากป่าธรรมชาติเป็นสถานการณ์ที่น่าเป็นห่วง ไม่เพียงแต่ทำให้พื้นที่ป่าลดลง แหล่งกำเนิดแม่พันธุ์ตามธรรมชาติสูญหาย และที่สำคัญที่สุดอาจทำให้ปัจจัยชีวิตสภาพภูมิอากาศสูญสิ้นไปด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อสร้างและขยายกราฟเส้นดัชนีวงปีของไม้สัก (Teak Chronology Index)
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการตอบสนองความกว้างวงปีของไม้สักต่อปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (Climate Growth Response)
- 1.2.3 เพื่อสร้างเส้นภูมิอากาศในอดีต (Reconstruction Climate)
- 1.2.4 เพื่อเปรียบเทียบสภาพภูมิอากาศในอดีตและลักษณะการเจริญเติบโตของไม้สักในแหล่งกำเนิดที่ต่างกันในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้
- 1.2.5 เพื่อได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาและปรับปรุงการเพิ่มผลผลิตป่าสักธรรมชาติและ การปลูกสร้างสวนป่าสักต่อไป

1.3 ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ

1.3.1 ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิของประเทศไทย

ในการศึกษารังนี้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิของประเทศไทย ได้นำมาจากกรมอุตุนิยมวิทยา โดยใช้ข้อมูลจากจังหวัดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

● ปริมาณน้ำฝนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2454 – 2540 (ค.ศ. 1911-1997) และ อุณหภูมิ พ.ศ. 2494 – 2540 (ค.ศ. 1951 – 1997)

● ปริมาณน้ำฝนของจังหวัดนครสวรรค์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2454 – 2540 (ค.ศ. 1911-1997) และอุณหภูมิ พ.ศ. 2494 – 2540 (ค.ศ. 1951 – 1997)

● ปริมาณน้ำฝนของจังหวัดกำแพงเพชรตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 – 2540 (ค.ศ. 1981-1997)

● ปริมาณน้ำฝนของจังหวัดตาก พ.ศ. 2545 – พ.ศ. 2540 (ค.ศ. 1911-1997) และอุณหภูมิตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494 – พ.ศ. 2540 (ค.ศ. 1951-1997)

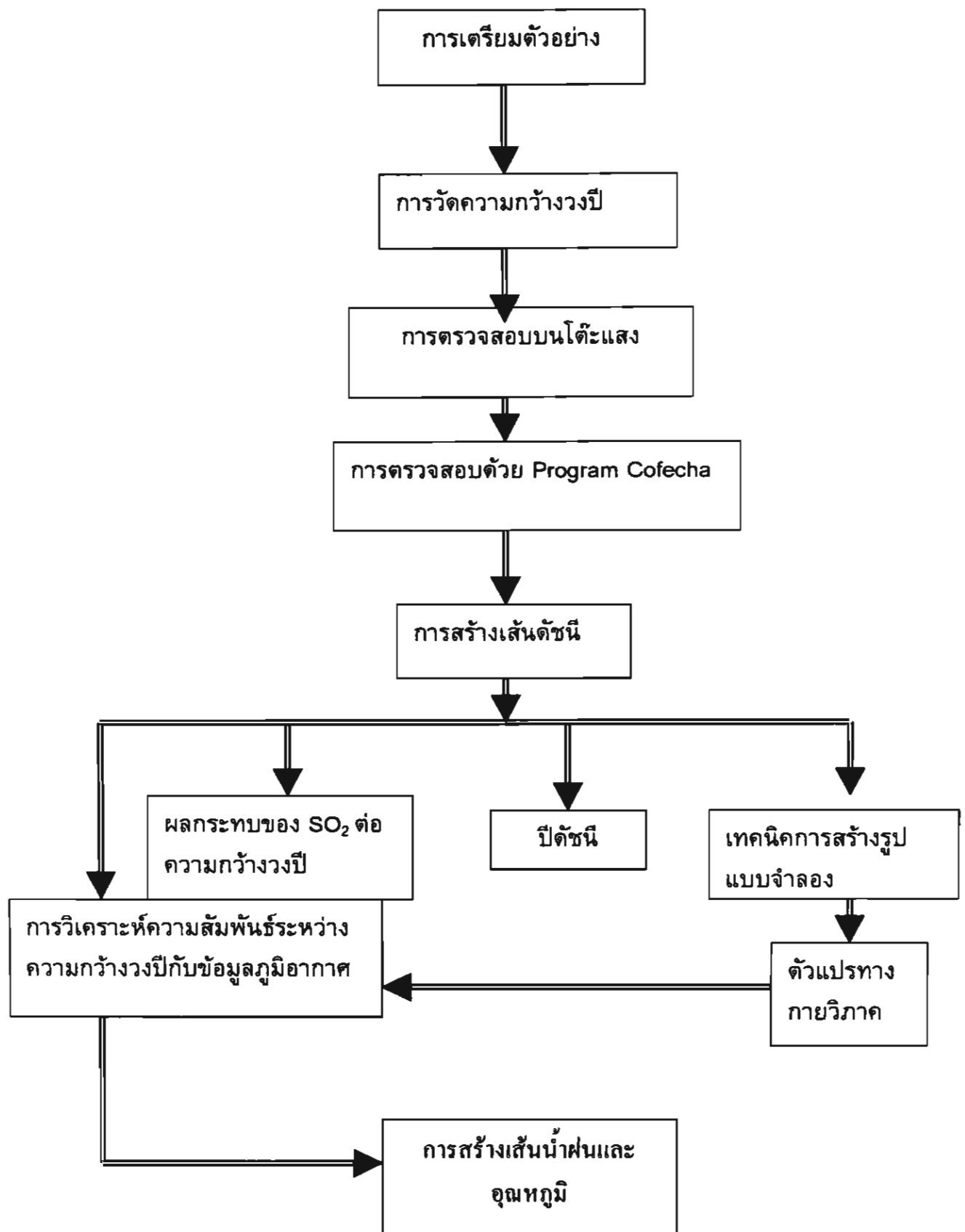
● ปริมาณน้ำฝนของจังหวัดลำปางตั้งแต่ปี พ.ศ. 2454 – 2540 (ค.ศ. 1911-1997) และอุณหภูมิ พ.ศ. 2494 – 2540 (ค.ศ. 1951 – 1997)

1.3.2 สถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ ที่ร่างกุ้ง ซึ่งข้อมูลครอบคลุมระหว่างปี ค.ศ. 1870 – 1990 ทั้งข้อมูลปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ และสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศที่มันทะเลย์ ซึ่งข้อมูลปริมาณน้ำฝนครอบคลุมระหว่าง ค.ศ. 1889-1990 และข้อมูลอุณหภูมิครอบคลุม ระหว่าง ค.ศ. 1931-1990

ตารางที่ 1 พื้นที่ศึกษาในประเทศไทยและประเทศพม่าและจำนวนตัวอย่าง

ประเทศ	จังหวัด	พื้นที่ศึกษา	จำนวนต้น	จำนวนตัวอย่าง (core)	วันที่เก็บ
	แม่ฮ่องสอน	Mae1	35	70	24-26 ก.ย. 1997
		Mae2	38	76	
	กำแพงเพชร-ตาก	KL	15	30	7-12 ก.ย. 1997
		KL2	7	14	
	นครสวรรค์-กำแพงเพชร	MV1	10	20	7-12 ก.ย. 1997
		MV2	11	23	
		MV3	10	21	
		MV4	13	26	
	ลำปาง	แม่เมาะ (MM)	17	34	8-12 ธ.ค. 1998
		แม่จาง (MJ)	16	32	
		แม่มาย (MY)	17	34	
พม่า	Pynmana (Moswe Research Station)	Y-Site	12	24	25-27 ก.พ. 1998
		Moswe-Site	41	82	
	Pagoyoma (Saigye Reserve Forest)	S1-Site	15	30	28 ก.พ.-1 มี.ค. 1998
		S2-Site	9	19	
		P1-Site	6	12	
		P2-Site	24	48	
		P3-Site	22	44	
	Pynmana (Moswe Research)	Palui (PR)	4	14	13 มี.ค. 1999
พม่า	Pynmana (Moswe Research Station)	Palui(PL)	4	12	14 มี.ค. 1999
		Ngelaik (NL)	7	21	
		Palui (PA)	10	30	
	Pyinoolwin	MA	12	36	17-18 มี.ค. 1999
		MB	21	73	

2) ขั้นตอนการทำงาน



รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการทำงาน

3. ผลการศึกษา

3.1 ความกว้างวงปีของไม้สักและค่าสถิติที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 2 แสดงจำนวนตัวอย่างไม้ที่ทำการศึกษาและค่าสถิติเบื้องต้น

จังหวัด	พื้นที่ ศึกษา	จำนวน ตัวอย่าง (ต้น)	จำนวน ตัวอย่าง (core)	จำนวน ตัวอย่างที่ ใช้ได้จริง (core)	ปีเริ่มต้น และปีสิ้นสุด	ช่วง อายุ	ความกว้าง วงปีเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	Standard deviation	auto- correla- tion	Mean sensiti- vity
กำแพงเพชร-นครสวรรค์	MV1	10	20	20	1898- 1996	99	3.36	2.356	.457	.511
	MV2	11	23	23	1855- 1996	142	2.62	1.834	.369	.558
	MV3	10	21	21	1874- 1996	123	2.95	2.095	.450	.553
	MV4	13	26	25	1867- 1996	130	2.75	2.118	.54	.498
ตาก-กำแพงเพชร	KL	15	30	26	1880- 1996	177	3.07	2.113	.669	.402
	KL2(TV)	7	14	12	1914- 1996	83	4.94	2.634	.500	.412
แม่ฮ่องสอน	MAE1	35	70	64	1742- 1996	255	2.91	1.606	.668	.339
	MAE2	38	76	67	1893- 1996	105	2.92	1.633	.716	.311

ตารางที่ 2 (ต่อ)

จังหวัด	พื้นที่ ศึกษา	จำนวน ตัวอย่าง (ต้น)	จำนวน ตัวอย่าง (core)	จำนวน ตัวอย่างที่ ใช้ได้จริง (core)	ปีเริ่มต้น และ ปีสิ้นสุด	ช่วง อายุ	ความกว้าง วงปีเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	Standard deviation	auto- correla- tion	Mean sensiti- vity
ลำปาง	สวนป่า แม่เมะ (MM)	17	34	30	1970- 1998	29	3.53	1.774	.255	0.485
	สวนป่า แม่จาง (MJ)	16	32	26	1973- 1998	26	3.96	2.534	-0.008	0.718
	สวนป่า แม่มาย (MY)	17	34	34	1972- 1998	27	3.78	2.243	.397	0.491
Pyinmana (Moeswe Forest Reserve)	Y-Site	12	24	21	1799- 1997	199	1.91	1.700	.732	.426
	Moeswe- Site	41	82	80	1750- 1997	248	1.78	1.631	.732	.429
Pagoyoma (Seinye Forest Reserve)	S1-Site	15	30	22	1884- 1997	114	3.15	2.151	.713	.377
	S2-Site	9	19	19	1845- 1997	153	2.66	1.862	.720	.369
	P1-Site	6	12	12	1900- 1997	87	.405	2.398	.728	.412

ตารางที่ 2 (ต่อ)

จังหวัด	พื้นที่ ศึกษา	จำนวน ตัวอย่าง (ต้น)	จำนวน ตัวอย่าง (core)	จำนวน ตัวอย่างที่ ใช้ได้จริง (core)	ปีเริ่มต้น และปีสิ้นสุด	ช่วง อายุ	ความกว้าง วงปีเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	Standard deviation	auto- correla- tion	Mean sensi- tivity
Pagoyoma (Saiya Forest reserve)	P2-Site	24	48	35	1821- 1997	177	1.89	1.584	.745	387
	P3-Site	22	44	42	1901- 1997	97	2.50	2.320	.755	418
Pyinmana (Moeswe Research Station)	PR	4	14	6	1785- 1997	213	1.44	1.611	.714	421
	PL	4	12	16	1790- 1997	208	1.54	1.398	.655	455
	NL	7	21	18	1844- 1997	163	2.10	1.771	.674	411
	PA	10	30	30	1834- 1997	164	1.70	1.340	.625	440
Pyinookwin Forest Reserve	MA	12	36	33	1863- 1998	136	1.77	1.345	.543	482
	MB	21	73	73	1834- 1998	165	2.08	1.531	.487	499

3.2 การตอบสนองความกว้างของวงปีไม้สักต่อสภาพภูมิอากาศ

3.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพภูมิอากาศกับความกว้างของวงปี

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์อย่างง่าย ระหว่างความของวงปีกับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ

พื้นที่	R ²	สถานีตรวจวัด	ช่วงเวลา	ฤดูแล้ง					ฤดูฝน									
				ธค	มค	กพ	มีค	เมษ	พค	มิย	กค	สค	กย	ตค				
MV1	36.31	ตาก-วัด	1952-1996(T)	.12	.09	.22	.20	.07	.16	.09	.03	-.13	-.38 [*]	.03				
		กำแพงเพชร-นครสวรรค์	1952-1996 (p)	.03	.06	-.00	-.02	.09	-.13	.08	.14	-.29 [*]	.38 [*]	-.00				
MV2	56.15	ตาก-วัด	1952-1996 (T)	-.24	.04	.16	.04	-.06	-.41 [*]	-.51 [*]	-.30 [*]	-.39 [*]	-.12	-.27				
		กำแพงเพชร-นครสวรรค์	1952-1996 (p)	.02	-.09	.37 [*]	-.08	.03	.32 [*]	.33 [*]	.33 [*]	.21	-.09	.03				
MV3	36.10	ตาก-วัด	1952-1996 (T)	.01	.05	.14	.34 [*]	.06	.07	.08	-.02	-.09	-.31	-.05				
		กำแพงเพชร-นครสวรรค์	1952-1996 (p)	-.04	-.01	.07	-.22	.24	-.13	.14	.20	-.18	.43 [*]	.05				
MV4	39.05	ตาก-วัด	1952-1996 (T)	-.10	.12	.23	.19	-.14	-.16	-.21	-.12	-.28 [*]	-.32 [*]	.05				
		กำแพงเพชร-นครสวรรค์	1952-1996 (p)	-.13	-.09	.14	-.16	.16	-.11	.04	.16	-.28 [*]	.22	-.03				
MV1-MV4	40.51	ตาก-วัด	1952-1996 (T)	-.11	.07	.23	.24	-.06	-.20	-.26	-.19	-.33 [*]	-.36 [*]	-.09				
		กำแพงเพชร-นครสวรรค์	1952-1996(P)	-.09	-.07	.21	-.18	.19	.02	.21	.32 [*]	-.14	.29 [*]	.00				

ตารางที่ 3 (ต่อ)

พื้นที่	R ²	สถานีตรวจวัด	ช่วงเวลา	ฤดูแล้ง						ฤดูฝน					
				ชค	มค	กพ	มีค	เมษ	พค	มิย	กค	สค	กย	ตค	
KL	59.37	ตาก-วัด	1952-1996 (T)	.19	.22	.02	.35 [*]	.10	-.24	-.17	-.18	-.28 [*]	-.05	-.13	
		กำแพงเพชร-นครสวรรค์	1952-1996 (P)	-.01	-.08	.15	.28 [*]	.24	.22	.22	.33 [*]	.13	.08	-.10	
KL2	29.47	ตาก-	1952-1996 (T)	.14	.18	.06	-.19	-.03	.28 [*]	.16	-.05	.08	-.07	.06	
		กำแพงเพชร-นครสวรรค์	1952-1996 (P)	-.06	-.02	-.03	-.03	-.19	-.17	-.17	.01	-.37 [*]	.20	.02	
KL-KL2	30.98	ตาก-	1952-1996 (T)	.28 [*]	.36 [*]	.09	.18	.09	.01	-.05	-.21	-.21	-.08	-.06	
		กำแพงเพชร-นครสวรรค์	1952-1996 (P)	-.05	.21	-.18	.34 [*]	.08	.05	.05	.21	.11	-.06	-.07	
MAE1	25.42	แม่ฮ่องสอน	1952-1996 (T)	-.15	-.00	.03	-.12	-.14	-.25	-.24	-.17	-.05	-.21	-.03	
			1952-1996 (P)	-.03	.04	.07	.17	-.15	.29 [*]	.14	.28 [*]	.13	.03	-.18	
MAE2	34.59	แม่ฮ่องสอน	1952-1996 (T)	-.14	-.03	.06	-.14	-.23	-.22	-.24	-.16	-.01	-.10	.03	
			1952-1996 (P)	-.06	.06	.10	.24	.00	.31 [*]	.34 [*]	.29 [*]	.14	-.13	-.03	
MAE1-2	29.42	แม่ฮ่องสอน	1952-1996 (T)	-.17	-.04	.02	-.16	-.20	-.24	-.27	-.18	-.05	-.17	-.03	
			1952-1996 (P)	-.03	.07	.10	.23	-.09	.32 [*]	.24	.30 [*]	.15	-.07	-.11	
MM	62.79	ลำปาง	1972-1998 (T)	-.28	-.00	-.11	-.01	-.10	-.29	-.3	-.02	.01	.18	-.15	

ตารางที่ 3 (ต่อ)

พื้นที่	R ²	สถานีตรวจวัด	ช่วงเวลา	ฤดูแล้ง						ฤดูฝน					
				ธค	มค	กพ	มีค	เมษ	พค	มิย	กค	สค	กย	ตค	
			1972-1998 (P)	-20	-00	.10	.14	.04	.46 [*]	.23	-11	.15	.03	-02	
MJ	81.71	ลำปาง	1975-1998 (T)	.06	.23	.31	.03	-.24	-.16	-.37 [*]	.17	-.11	.11	.09	
			1975-1998 (P)	.20	-.35	-.15	.52 [*]	.16	.47 [*]	.60 [*]	-.21	-.23	.11	-.32	
MY	77.16	ลำปาง	1975-1998 (T)	.00	.05	.06	.11	-.30	-.36	-.48 [*]	-.23	-.33	-.09	.14	
			1975-1998 (P)	-.19	-.08	-.21	.36 [*]	.30	.42 [*]	.55 [*]	-.00	.05	-.04	.15	
MM-MJ-	76.03	ลำปาง	1972-1997 (T)	.05	.07	.04	-.00	-.07	-.12	-.13	-.03	-.03	.00	.00	
MY			1972-1997 (P)	-.15	-.14	-.06	.24	.12	.56 [*]	.56 [*]	-.15	-.10	-.07	-.22	

ตารางที่ 4 แสดงค่า Correlation Coefficient ระหว่างปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ จากสถานี ร้างกุ้ง มณฑลยโสธร และ ค่าเฉลี่ยของสองสถานี (ร้างกุ้ง-มณฑลยโสธร) กับ
ดัชนีของไม้สักจากพื้นที่ศึกษาทั้งหมด

Site	R2 [%]	Climate data	Period	Wet season					Dry season					Wet season							
				-J	-A	-S	-O	-N	-D	J	F	M	A	M	J	A	S	O	N		
Y	21.27	Yangon-Mandalay	1801-1997(P)	-03	-04		11	05	03	-07	17	-14	-04	15	-02	-11	-10	-04	-10	.08	
			1801-1997(T)	14	08	01	14	06	09	03	10	08	10	-16	-09	05		13	11	-06	
	18.48	Yangon	1877-1988 (P)	-00	03	17	05	-06	03	-07	09	-09	-07	08	-06	-16	-01	-02	05		
			1877-1988 (T)	08	01	-07	14	09	11	09	07	07	11	-15	-02	07	13	14	1	-04	
	36.71	Mandalay	1932-1990(P)	1	-14	16		12	00	-04		-21	-01	18	16	-19	-16	-13	-09	-08	
Mooswe			1932-1990(T)	22	15	22	15	10	11	02		02	09	-11	-2	-04	23	18	13	01	
	22.26	Yangon-Mandalay	1931-1990(P)	06	-03		-01		002	-01		-04	-08	-03	-14	-14		-01	-07	.003	
			1932-1990(T)	05	17	11	07	10	10	13	10	05		08	004	15	16	13	03	04	
	26.29	Yangon	1877-1988 (P)	07	05	10	05	05	05	05	16	-03	-09	-08	-08	-16	-10	03	05	00	
			1877-1988 (T)	11	11	06	07	16	13	16	10	10		-08	-07	12	07	16	01	-02	
S1	45.16	Mandalay	1931-1990 (P)	04	-16	22	05	-18	-01	-08	21	-09	-08	-03	-20	-21		-03	-16	10	
			1932-1990(T)	-06	15	17	11	-08	09	02	04	-18		17	19	07	14	03	04	-09	
	12.73	Yangon-Mandalay	1886-1990 (P)	-04	-14	11	06	-08	02	09	1	-11	-01	-07	-15	03	01	-07	14	-01	
			1886-1990 (T)	08	16	00	03	-04	-11	12	13	01	10	-03	05	-04	07	05	04	09	
	14.81	Yangon	1886-1988 (P)	-04	-04	10		-04	07	11	14	-11	-02	-1	-07	-02	03	-02	-00	03	
S2	28.82	Mandalay	1886-1988 (T)	03	08	-03	03	-04	-08	-13	12	06	12	-00	09	-10	02	01	05	09	
			1932-1990 (P)	-02	-15	18	-14	-2	-02	03	01	-20	-04	-1	-17	-13	-04	04	21	01	
			1932-1990 (T)	20	21	22		08	-02	-05	04	-13	17	-05	07	22	14	17	17	07	
	14.66	Yangon-Mandalay	1877-1990 (P)	-07	-1	1	02	00	04	-06	14	-08	09	-15	00	-09	-15	03	-05	08	
	18.75	Yangon	1877-1988 (P)	-04	-01	06	05	17	06	-08	02	-08	-00	10	-00	04	-04	-02	08	05	
P1	24.69		1877-1988 (T)	01	-04	07	09	05	04	-06	16	-07	02	-16	-10	-11	-04	05	11	09	
			1877-1988 (P)	08	-03	08	06	16	12	-07	04	-04	04	14	09	-01	-04	01	08	04	
			1932-1990(T)	05	-09	17	-06	-16	-14	-11	11	20	-11	-16	14	19	-12	03	08	-08	
			1932-1990(T)	10	05	01	14	13	-07	-05	10	-08	02	07	-05	24	24	10	06		
	19.28	Yangon-Mandalay	1903-1990 (P)	01	-13	1	01	09		-12	-07	07	07	-01	12	13	03	-00	02	-15	
P2	19.57		1903-1990 (T)	07	-02	04	-00	-20	17	-11	-07	-12	-03	03	00	-12	-03	09	06	11	
			1903-1988 (P)	-05	-07	00	00	16		-02	-05	05	05	-03	07	13	-1	-02	05	-05	
	39.33		1903-1988 (T)	16	-04	09	00	-22	12	-1	-1	-18	-07	01	01	-19	11	02	09	14	
			1932-1990 (P)	-05	-03	-09	-02	-2		19	-07	-004	02	-15	-05	006	18	03	11	09	
	28.18	Mandalay	1932-1990 (T)	-05	01	-05	-00	-18		-24	-03	-02	11	13	16	05	-20	09	05	-05	
P3	22.10	Yangon-Mandalay	1877-1990 (P)	-07	-13	06	07	14	08	-01	07	09	12	-09	04	09	07	02	05	-04	
			1877-1990 (T)	-07	13	06	07	14	08	-00	07	09	12	-09	04	09	07	02	05	-04	
			1877-1988 (P)	05	1	06	18	-01		16	17	-06	-08	-08	-15	02	-12	01	16		
			1877-1988 (T)	-13	08	00	07	17	07	-00	11	09	10	-09	05	07	-05	00	00	09	
	32.06	Mandalay	1932-1990 (P)	02	-07	24	20	-008	-04	-15		-14	-04	-04	03	-2	-03	21	04	09	

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Site	R2 [%]	Climate data	Period	Wet season					Dry season					Wet season					N		
				J	-A	-S	-O	-N	-D	J	F	M	A	M	J	J	A	S		O	
P3			1932-1990 (T)	03	21	18	12	02	-04	12	13	09	19	-06	04	08	13	11	002		
	33.58	Yangon-Mandalay	1903-1990 (P)	06	19	09	05	05	05	-11	-05	02	10	18	-09	-19	00	02	04	15	
			1903-1990 (T)	06	16	00	-10	-1	-1	-01	1	03	04	-2	01	05	06	-05	-10	-12	
	31.97	Yangon	1903-1988 (P)	06	13	10	12	12	04	-12	-08	08	08	19	-02	05	-04	02	09	12	
			1903-1988 (T)	20	04	-00	-03	-04	02	02	-00	-00	-02	-24	00	04	-04	-08	-13	-15	
PR		Mandalay	1931-1990(P)	14	04	04	1	-1	13	-06	-03	-00	18	18	-00	-14	02	14	-04	15	
			1932-1990(T)	18	14	-07	-02	-12	-00	04	14	11	11	-13	01	-02	10	08	-04	-03	
	13.72	Yangon-Mandalay	1870-1990 (P)	07	-04	-02	07	-09	-11	-09	07	09	17	03	-18	-06	-06	06	-11	-04	
			1870-1990 (T)	14	02	11	-05	04	01	07	11	03	04	04	06	03	05	-01	-12	-05	
	11.60	Yangon	1877-1990 (P)	-10	-06	-02	-03	-01	-09	05	09	-00	01	-09	02	-03	-02	-05	-12	-06	
PL		Mandalay	1877-1990 (T)	05	05	-04	-11	01	-00	-07	-02	07	04	05	05	05	-01	03	-08	-02	-00
			1932-1990 (P)	03	11	-11	03	01	-08	00	11	06	-03	-07	-08	-02	-06	23	-06	03	
	14.15		1932-1990 (T)	03	-00	02	03	07	-01	07	12	-02	03	15	13	04	08	-02	-13	-14	
	26.35	Yangon-Mandalay	1877-1990 (P)	05	15	-08	-13	05	-00	-02	-08	-08	05	-05	-06	04	-02	05	10	09	
			1877-1990 (T)	07	07	07	1	1	02	-00	01	02	05	-00	00	00	00	13	10	09	
PA		Yangon	1877-1988 (P)	00	06	-03	-11	-10	-04	-01	-06	-14	05	-11	-06	09	06	06	14	-03	
			1877-1988 (T)	04	06	06	10	06	00	01	08	07	05	05	-01	-03	-07	08	11	12	
	56.89	Mandalay	1932-1990 (P)	03	03	-01	-20	05	11	-01	-08	-09	-20	11	11	00	-14	05	02	02	
			1932-1990 (T)	21	17	07	09	17	14	-11	-22	-16	12	15	14	17	22	18	15	-08	
	28.79	Yangon-Mandalay	1877-1990 (P)	-02	02	05	-06	05	-06	06	-08	-13	-03	-08	-07	05	-13	05	11	11	
NL		Yangon	1877-1990 (T)	11	09	09	10	10	08	08	03	08	16	17	11	04	03	14	11	04	
			1877-1990 (P)	-05	01	10	-13	-17	-11	-00	-08	-16	-08	-12	-11	05	-03	05	08	00	
			1877-1990 (T)	07	08	08	11	07	04	08	07	11	05	15	06	-02	-03	05	12	09	
	41.53	Mandalay	1932-1990 (P)	-06	08	-00	-14	05	04	21	-07	-14	-09	-01	04	01	-21	05	07	07	
			1932-1990 (T)	03	14	11	12	16	23	-06	-2	-15	07	05	05	17	19	23	15	-00	
MA		Yangon-Mandalay	1877-1990 (P)	-04	-04	03	-04	03	11	-11	00	-10	-04	05	-05	03	-02	05	30	05	
			1877-1990 (T)	-00	-06	-16	06	05	06	05	13	08	09	18	01	15	09	07	08	04	
	28.27	Yangon	1877-1988(P)	05	02	08	-18	-01	-14	-11	-03	-17	-00	-18	02	04	02	05	14	08	
			1877-1988 (T)	-02	-11	05	06	06	06	10	18	13	15	00	-00	11	09	05	09	07	
	36.99	Mandalay	1932-1990 (P)	-07	05	-11	-03	-14	-16	00	05	-08	-17	00	12	-16	-18	12	00	-00	
Y			1932-1990 (T)	19	09	10	06	09	22	-22	-17	-15	01	03	-00	23	02	24	21	05	
	13.96	Yangon-Mandalay	1877-1990 (P)	-14	-02	08	-16	12	14	07	04	01	08	00	07	04	01	-05	05	04	
			1877-1990 (T)	-02	-03	00	-08	-05	12	08	10	14	-04	-11	-03	-1	11	-06	-07	-06	
	5.23	Yangon	1877-1988 (P)	-06	09	00	-01	02	12	15	-02	05	00	06	01	05	-03	-02	01	09	
			1877-1988 (T)	-03	-03	03	-10	-04	08	04	09	08	-06	-08	-05	-15	11	-08	-06	-03	
	36.13	Mandalay	1932-1990 (P)	-13	-07	11	-13	20	16	-1	-12	-05	05	04	16	12	08	11	06	-07	

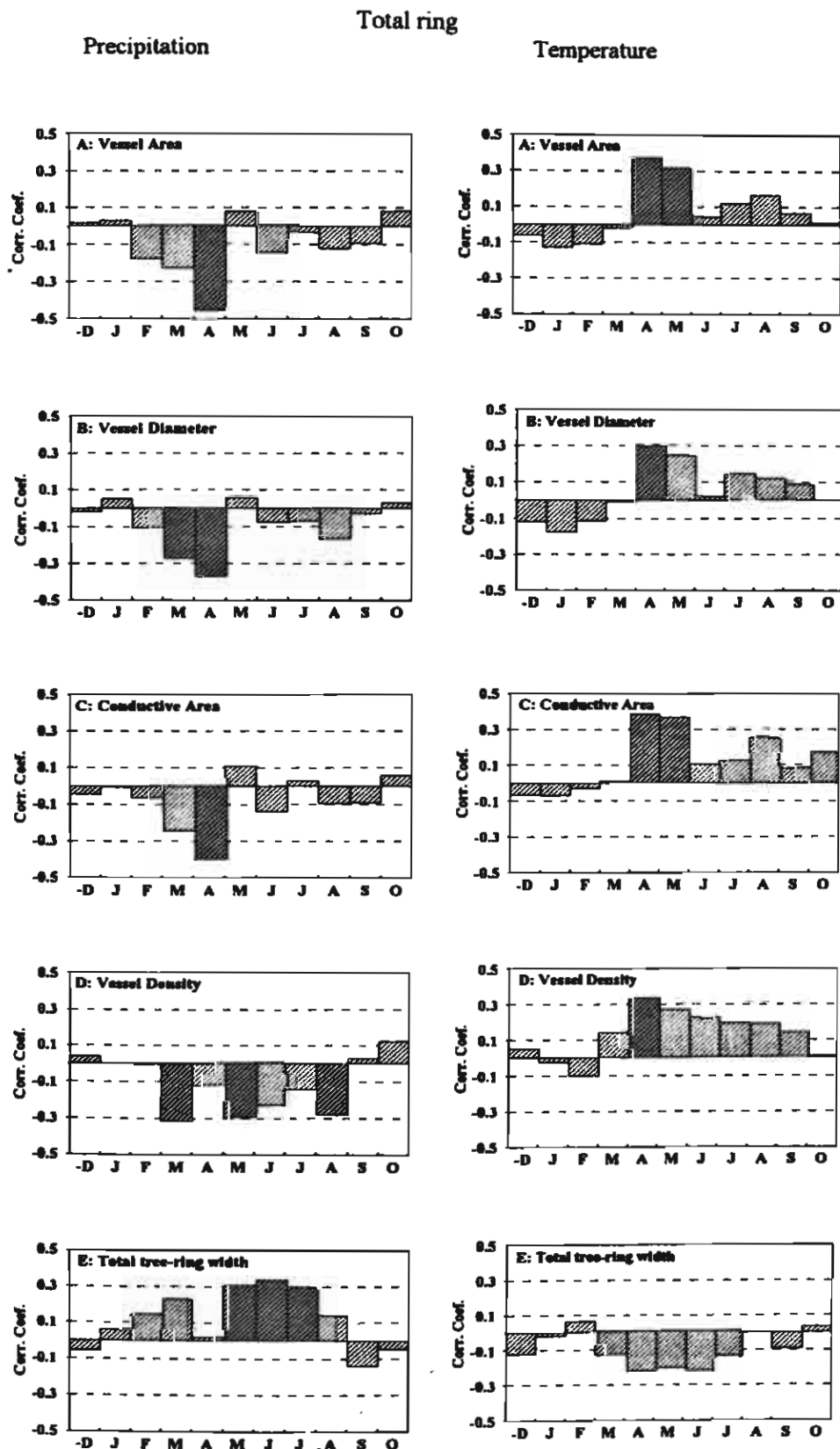
ตารางที่ 4 (ต่อ)

Site	R2 [%]	Climate data	Period	Wet season					Dry season					Wet season					
				J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	A	S	O	N
			1932-1990 (T)	-.01	.07	-.14	-.2	-.12	.22	.17	-.04	.15	-.1	.15	-.07	-.04	-.01	-.13	-.02
MB	16.46	Yangon-Mandalay	1877-1988 (P)	.05	.1	-.02	-.17	.1	.09	.05	-.08	.14	.14	.14	-.09	.09	.08	.04	.09
			1877-1988 (T)	.04	-.05	-.10	-.10	-.10	.04	.13	-.06	.10	-.06	.10	.04	-.06	-.12	-.06	-.06
	16.29	Yangon	1877-1988 (P)	-.02	.14	-.06	-.1	.15	.07	.01	-.02	.11	.08	.11	-.05	.09	.08	.01	.07
			1877-1988 (T)	.07	-.05	-.05	-.05	-.07	-.07	.11	.16	.06	-.07	.06	.02	-.10	-.14	-.05	-.04
	32.81	Mandalay	1932-1990 (P)	-.1	-.04	.18	-.23	-.13	.15	.08	-.1	.16	-.05	.16	.1	.11	.02	.1	.1
			1932-1990 (T)	.07	.04	-.18	-.13	-.06	-.05	.15	.05	.05	-.05	.05	.07	-.03	-.07	-.13	-.10

ตารางที่ 5 สรุปค่าสถิติ ความสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation) ค่าเฉลี่ยของความอ่อนไหว (Mean Sensitivity) ของลักษณะทางกายวิภาคและความกว้างวงปี ของไม้สัก

Wood	Variable		Autocorrelation	Mean Sensitivity	Meaning
Earlywood	EWAREA	V1	0.10	0.21	EWAREA=Earlywood vessel area
	EWDIA	V4	0.06	0.13	EWDIA = Earlywood vessel diameter
	EWD4	V2	0.13	0.38	EWD4 = Earlywood conductive area
	EWDD	V3	0.29	0.34	EWDD = Earlywood vessel density
Latewood	LWAREA	V5	0.14	0.27	LWAREA=Latewood vessel area
	LWDIA	V8	0.14	0.19	LWDIA = Latewood vessel diameter
	LWD4	V6	0.14	0.54	LWD4 = Latewood conductive area
	LWDD	V7	0.46	0.40	LWDD = Latewood vessel density
Total ring	TWAREA	V9	0.18	0.18	TWAREA= Total ring vessel area
	TWDIA	V12	0.20	0.13	TWDIA = Total ring vessel diameter
	TWD4	V10	0.17	0.33	TWD4 = Total ring conductive area
	TWDD	V11	0.55	0.39	TWDD = Total ring vessel density
Ring Width	RW	V13	0.72	0.31	RW = Ring width

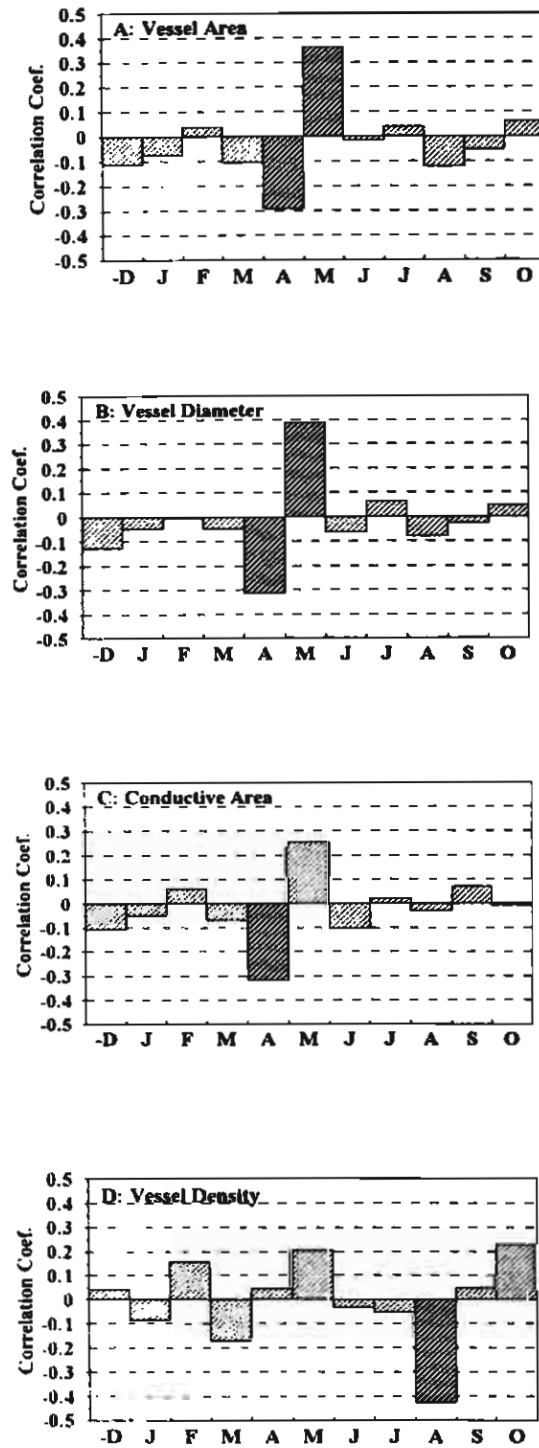
3.3.2 การตอบสนองของตัวแปรทางกายวิภาคของไม้สักกับสภาพภูมิอากาศ



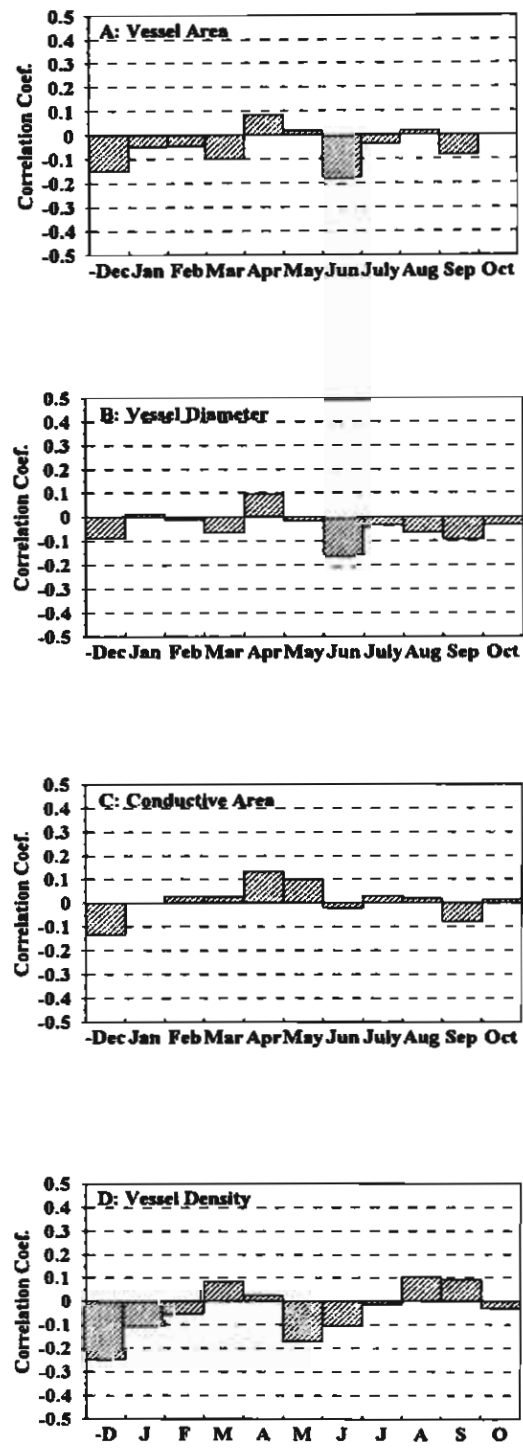
รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายวิภาค ทั้งวงปี (A-D) ความกว้างวงปี (E) ซึ่งคำนวณตั้งแต่ปี พ.ศ. 2490-2540 กราฟแท่งเป็นตัวแทนของค่าความสัมพันธ์อย่างง่าย กราฟแท่งมีเส้นทึบภายใน แสดงถึงความสัมพันธ์ที่มีค่าทางสถิติที่เชื่อถือได้ระดับ 95%

Earlywood

Precipitation



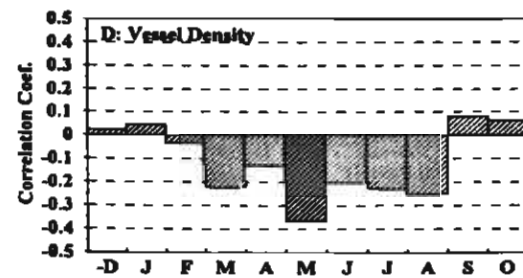
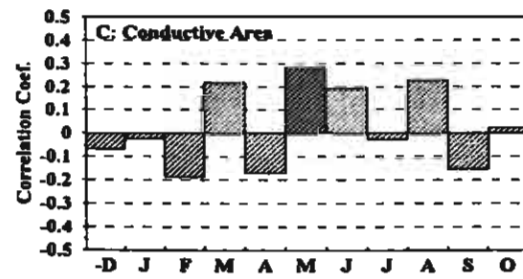
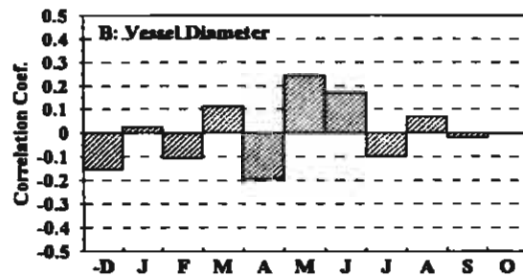
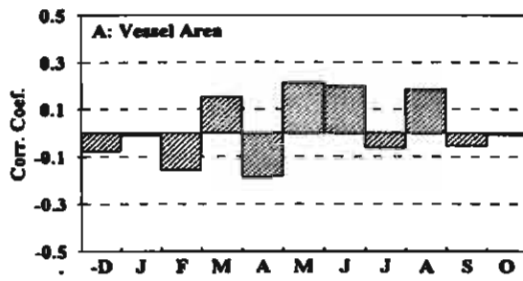
Temperature



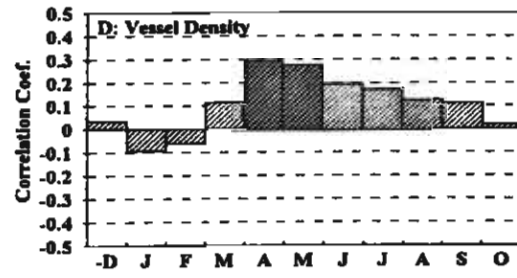
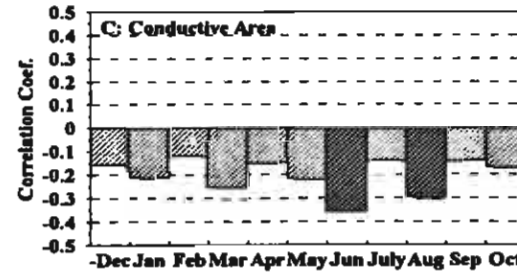
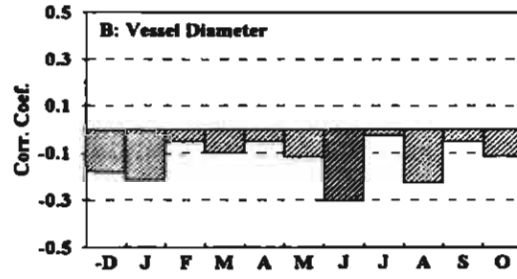
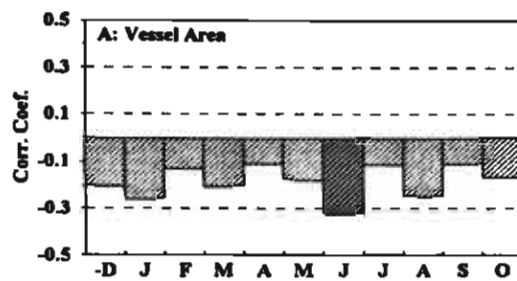
รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายวิภาค ไม้ต้นฤดู ซึ่งคำนวณตั้งแต่ปี พ.ศ. 2490-2540 กราฟ
 แท่งเป็นตัวแทนของค่าความสัมพันธ์อย่างง่าย กราฟแท่งมีเส้นทึบภายใน แสดงถึงความสัมพันธ์ที่มี
 ค่าทางสถิติที่เชื่อถือได้ระดับ 95%

Latewood

Precipitation



Temperature



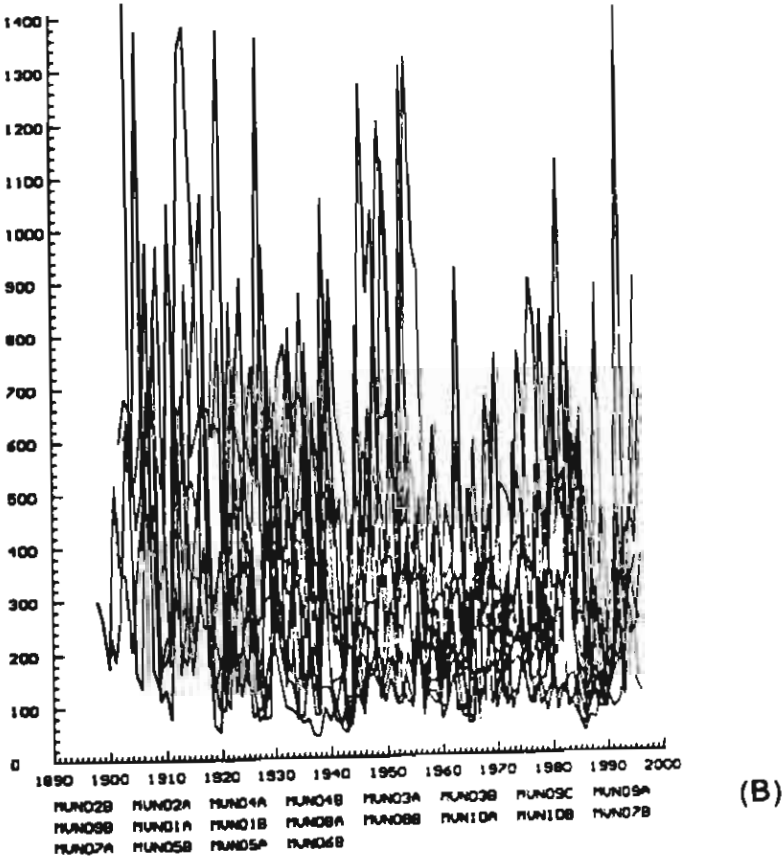
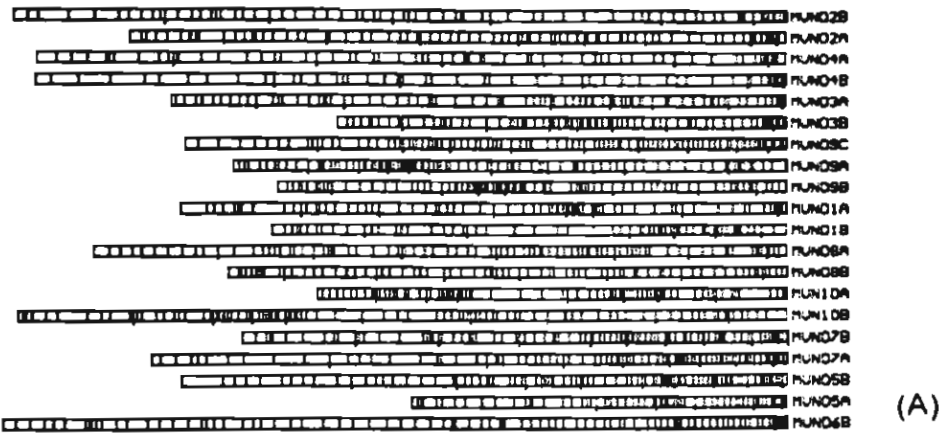
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายวิภาค ไม้ปลายฤดูซึ่งคำนวณตั้งแต่ปี พ.ศ. 2490-2540
กราฟแท่งเป็นตัวแทนของค่าความสัมพันธ์อย่างง่าย กราฟแท่งมีเส้นทึบภายใน แสดงถึงความสัมพันธ์ที่มีค่าทางสถิติที่เชื่อถือได้ระดับ 95%

ตารางที่ 6 แสดงความสัมพันธ์อย่างง่ายของตัวแปรทางกายวิภาคซึ่งกันและกัน (เปรียบเทียบกับตารางที่ 33) และกับความกว้างวงปี (RW)

**significant at 0.001 level, *significant at 0.05 level

	TWAREA	TWDIA	TWD4	TWDD	EWAREA	EW DIA	EW D4	EWDD	LWAREA	LW DIA	LW D4	LWDD	RW
TWAREA		0.955**	0.934**	0.588**	0.454**	0.406**	0.416**		0.299*	0.318*		0.588**	
TWDIA	0.955**		0.839**	0.590**	0.367**	0.320*	0.337*		0.386**	0.448**	0.241*	0.632**	-0.250*
TWD4	0.934**	0.839**		0.491**	0.569**	0.514**	0.552**				0.394**	0.455**	
TWDD	0.588**	0.590**	0.491**									0.931**	-0.694**
EWAREA	0.454**	0.367**	0.569**			0.978**	0.882**	0.500**	0.296*	0.322*	0.311*		0.328*
EW DIA	0.406**	0.320*	0.514**		0.978**		0.877**	0.463**	0.294*	0.321*	0.324*		0.346**
EW D4	0.416**	0.337*	0.552**		0.882**	0.877**		0.481**					
EWDD					0.500**	0.463**	0.481**						
LWAREA	0.299*	0.386**		0.267*	0.296*	0.294*				0.948**	0.943**		0.257*
LW DIA	0.318*	0.448**			0.322**	0.321*			0.948**		0.865**		
LW D4		0.241*		0.394**	0.311*	0.324*			0.943**	0.865**			0.350**
LWDD	0.588**	0.632**	0.455**	0.931**									-0.698**
RW		-0.250*		-0.694**	0.328*	0.346**			0.257*		0.350**	-0.698**	

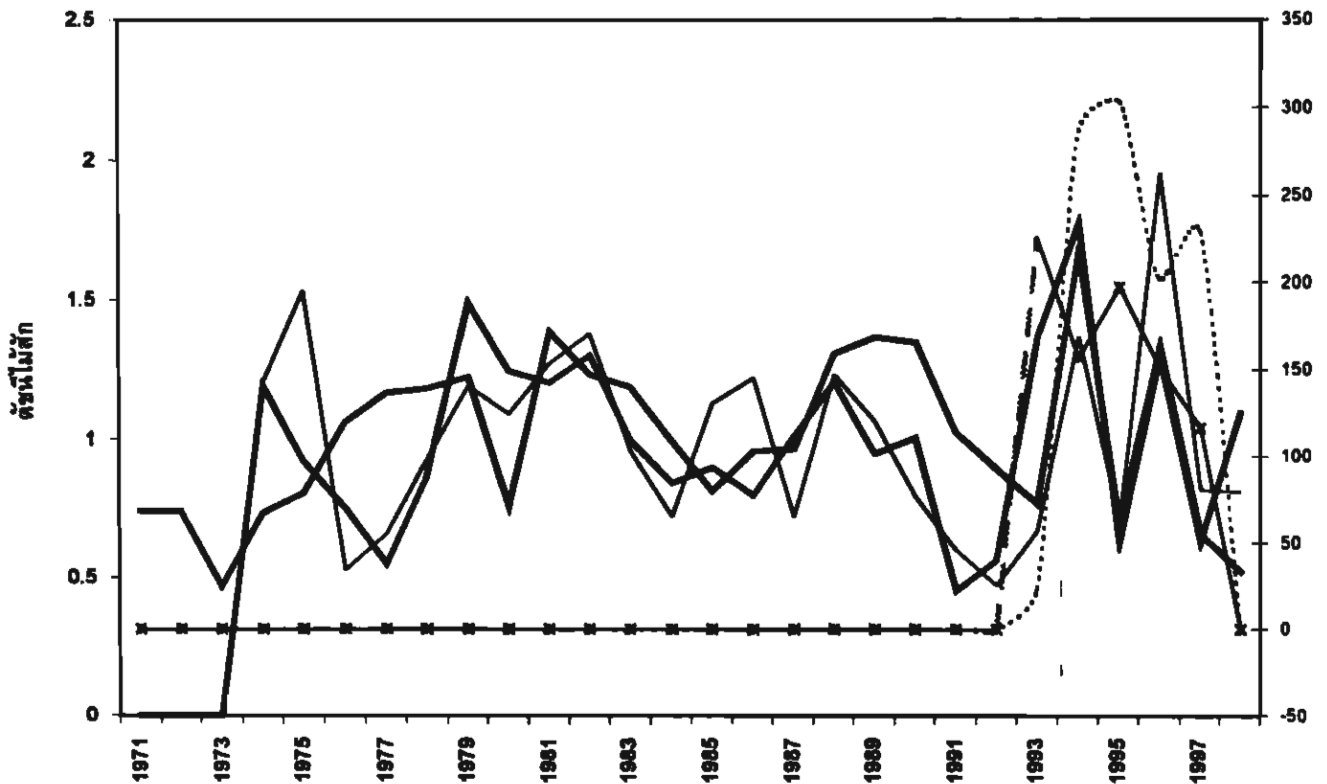
3.4 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเจริญเติบโตอย่างฉับพลันของไม้สัก



รูปที่ 5 แสดง (A) รูปแบบความกว้างวงปี (B) ข้อมูลดิบ (C) ปีดัชนี

3.5 การใช้ความกว้างวงปีไม้สักในการติดตามก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

จากผลการศึกษาครั้งนี้สามารถที่จะสรุปผลในเบื้องต้นจากกราฟที่แสดงให้เห็นว่า ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อาจจะมีผลทำให้ค่าความกว้างของวงปีของไม้สักลดน้อยลง เพราะก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นก๊าซพิษ ทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของพืชลดลง เนื่องจากข้อมูลปริมาณก๊าซซัลเฟอร์มีเพียง 5 ปี เท่านั้นจึงไม่สามารถที่จะอธิบายผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของไม้สักตั้งแต่เริ่มปลูกได้อย่างเด่นชัด



รูปที่ 6 กราฟวงปีไม้สัก (เส้นทึบ) กับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (เส้นประ)

3.6 ตัวแปรทางกายวิภาคของไม้สักกับการสร้างเส้นภูมิอากาศ (Reconstruction climate by using anatomical variable)

3.6.1 ผลการศึกษาตัวแปรทางกายวิภาคกับปริมาณน้ำฝน

จากผลการศึกษาของ Pumijumnong and Park (1999) พบว่าปริมาณน้ำฝนเดือน พฤษภาคมของปีปัจจุบัน ($year_0$) มีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญกับค่าเฉลี่ยของเส้นรอบวงของเวสเซลของไม้ต้นฤดู (EWDIA (V4)) และมีความสัมพันธ์ทางลบกับความหนาแน่นของเวสเซลไม้ในไม้ปลายฤดู (LWDD (V7)) ตารางที่ 7 สรุปค่าสถิติจากช่วง Calibration และ Verification จากปริมาณน้ำฝนเดือน พฤษภาคมในปีปัจจุบัน

ตารางที่ 7 สรุปค่าทางสถิติของปริมาณน้ำฝนเดือน พฤษภาคม ที่ทำการ Calibration and Verification (Pumijumnong et al. 1995b)

Statistic parameters	Calibration (1948-1972)	Verification (1973-1996)
$R^2 = 0.2730$		
Correlation	0.5107*	0.5236*
Reduction of error	0.2599*	0.2842*
T-value	2.2719*	3.2352*
Sign-products	7*	7*

$$Ep5 = -161.11367 + 414.9031 \cdot V4 - 84.1551 \cdot V7;$$

สมการ (1)

ในขณะที่

$Ep5$ = estimate current May rainfall

$V4$ = earlywood vessel diameter

$V7$ = latewood density

*significant value at level 95% confidence

3.6.2 ผลการศึกษาตัวแปรทางกายวิภาคกับอุณหภูมิ

$$ET3 = 260.1150 - 12.3556 \cdot V61 + 25.6757 \cdot V3 - 11.7864 \cdot V62$$

สมการที่ 2

ขณะที่ $ET3$ คือค่าประมาณการของอุณหภูมิเดือนมีนาคม $V61$ คือ ค่าเฉลี่ยของศักยภาพในการลำเลียงน้ำของปีที่ผ่านมา ($year(t-1)$) และ $V3$ คือ ความหนาแน่นของท่อลำเลียงน้ำในไม้ต้นฤดูในปีหน้า ($year(t+1)$) และ $V62$ คือ ค่าเฉลี่ยศักยภาพในการลำเลียงน้ำของในอีก 2 ปีข้างหน้า ($year(t+2)$)

ตารางที่ 8 สรุปค่าทางสถิติในการ calibration และ verification ของอุณหภูมิเดือนมีนาคม

Statistic parameters	Calibration (1951-1972)	Verification (1973-1994)
R2 = 0.444		
Correlation	0.4595*	0.6500*
Reduction of error	0.1789*	0.4224*
T-value	2.8398*	1.5859>=1.7200
Sign-products	9<=6	5*

$$ET3=260.1150-12.3556*V61+25.6757*V3-11.7864*V62$$

สมการที่ 2

ในขณะ

ET3 represents estimate temperature March

V61 represents latewood conductive area in year t-1

V3 represent earlywood vessel density in year t+1

V62 represents latewood conductive area in year t+2

*significant value at level 95% confidence

3.7 เครือข่ายวงปีไม้สักและการสร้างเส้นภูมิอากาศ

ตารางที่ 9 สรุปค่าสถิติของเส้นน้ำฝนและอุณหภูมิ

สถิติ	น้ำฝน		อุณหภูมิ	
	Calibration 1911-1950	Verification 1951-1991	Calibration 1951-1970	Verification 1973-1991
R2	0.41		0.36	
CORRELATION	0.614*	0.677*	0.574*	0.654
Reduction of error	0.371*	0.450*	0.303*	0.450*
T-value	3.857*	2.963*	2.593*	1.18===>1.73
Sign-Product	16<====14	13*	6<=====5	3*
Degree of freedom	38	39	18	19

* ค่าความน่าเชื่อถือทางสถิติที่ 0.05 (95%)

สมการสำหรับเส้นน้ำฝน

$$EP15 = -1086.816 + 352.454 \cdot S8 + 362.176 \cdot S12 + 384.803 \cdot S13$$

EP15 = ค่าประมาณน้ำฝนรวมของเดือน เมษายน พฤษภาคม มิถุนายน และ กรกฎาคม

S8 = ดัชนีไม้สักก่อหลวง 3 (หมายเลขที่ 8)

S12 = ดัชนีไม้สัก ผาอิง 2 (หมายเลขที่ 12)

S13 = ดัชนีไม้สัก แม่กองมูล (หมายเลขที่ 13)

สมการสำหรับเส้นอุทกภูมิ

$$ET13 = 2398.827 - 797.298 \cdot S1 - 1017.433 \cdot S2 - 683.117 \cdot S5$$

ET13 คือ ค่าเฉลี่ยประมาณอุทกภูมิ เดือนพฤษภาคม และ มิถุนายน

S1 คือ ดัชนีไม้สัก แม่ตึ้น (หมายเลข 1)

S2 คือ ดัชนีไม้สัก แจ่ม (หมายเลข 2)

S5 คือ ดัชนีหมายเหตุ ถ้ำผาไท (หมายเลข 5)

รายงานฉบับสมบูรณ์ ทบทวนวิจัยหลังปริญญาเอก

หน้า

กิตติกรรมประกาศ

บทคัดย่อภาษาไทย

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

Executive Summary

สารบัญ

สารบัญตาราง

สารบัญรูป

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 พื้นที่ศึกษาและจำนวนตัวอย่าง	3
1.3.1 พื้นที่ศึกษาในประเทศไทย	
1) อุทยานแห่งชาติแม่วงก์	3
2) อุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้า	7
3) รักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย	8
4) สวนป่าแม่เมาะ แม่จาง และแม่มาย	9
1.3.2 พื้นที่ศึกษาในประเทศพม่า	
1) Moswe Research Station	13
2) Seinye Research Station	15
3) Pyinoolwin Forest Reserve	16
1.3.3 หลักในการเลือกตัวอย่าง	17
1.3.4 ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ	
1) ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิของประเทศไทย	23
2) ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิของประเทศพม่า	23
1.3.5 การเก็บข้อมูลและจำนวนตัวอย่าง	23

2. วิธีการศึกษา

2.1 ความกว้างวงปีของไม้สัก	25
2.2 การตอบสนองของความกว้างวงปีของไม้สักกับสภาพภูมิอากาศ	26

2.3 การพัฒนาตัวแปรทางกายวิภาคของดัชนีไม้สัก	27
2.4 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเจริญเติบโตอย่างฉับพลันของไม้สัก	30
2.5 การใช้ความกว้างวงปีไม้สักในการติดตามก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง	31
2.6 ตัวแปรทางกายวิภาคของไม้สักกับการสร้างเส้นภูมิอากาศ	32
2.7 เครือข่ายวงปีไม้สักและการสร้างเส้นภูมิอากาศ	34
3 ผลการศึกษา	
3.1 ความกว้างวงปีของไม้สักและค่าสถิติที่เกี่ยวข้อง	
3.1.1 ไม้สักจากอุทยานแห่งชาติแม่วงก์	36
3.1.2 ไม้สักจากอุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้า	40
3.1.3 ไม้สักจากเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย	40
3.1.4 ไม้สักจากสวนป่าแม่เมาะ แม่จางและแม่มาย	41
3.1.5 ไม้สักจาก Moswe Research Station	42
3.1.6 ไม้สักจาก Seinye Research Station	44
3.1.7 ไม้สักจาก Pyinoolwin Forest Reserve	45
3.2 การตอบสนองของความกว้างวงปีกับสภาพภูมิอากาศ	46
3.2.1 ไม้สักจากอุทยานแห่งชาติแม่วงก์	47
3.2.2 ไม้สักจากอุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้า	50
3.2.3 ไม้สักจากเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย	52
3.2.4 ไม้สักจากสวนป่าแม่เมาะ แม่จางและแม่มาย	53
3.2.5 ไม้สักจาก Moswe Research Station	56
3.2.6 ไม้สักจาก Seinye Research Station	60
3.2.7 ไม้สักจาก Pyinoolwin Forest Reserve	63
3.3 การพัฒนาตัวแปรทางกายวิภาคของดัชนีไม้สัก	65
3.4 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเจริญเติบโตอย่างฉับพลันของไม้สัก	74
3.5 การใช้ความกว้างวงปีไม้สักในการติดตามก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง	89
3.6 ตัวแปรทางกายวิภาคของไม้สักกับการสร้างเส้นภูมิอากาศ	91
3.7 เครือข่ายวงปีไม้สักและการสร้างเส้นภูมิอากาศ	97

4	บทวิจารณ์	
4.1	ปัญหา	101
4.2	ความกว้างวงปีของไม้สักและค่าสถิติที่เกี่ยวข้อง	101
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักกับสภาพภูมิอากาศ	103
4.4	การพัฒนาตัวแปรทางกายวิภาคของดัชนีไม้สัก	104
4.5	การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเจริญเติบโตอย่างฉับพลันของไม้สัก	104
4.6	การใช้ความกว้างวงปีไม้สักในการติดตามก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง	105
4.7	ตัวแปรทางกายวิภาคของไม้สักกับการสร้างเส้นภูมิอากาศ	105
4.8	เครือข่ายวงปีไม้สักและการสร้างเส้นภูมิอากาศ	106
5.	เอกสารอ้างอิง	107
6.	ผลที่ได้รับ	109
7.	ภาคผนวก	110

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ลักษณะทางภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาในประเทศไทยและประเทศพม่า	12
2	ปัจจัยทางกายวิภาคและความหมาย	32
3	รายชื่อเส้นดัชนีไม้สักที่นำมาใช้ในการสร้างเส้นน้ำฝน (Nr.1-21) ระหว่าง 1870-1991 และ (Nr.1-9) และการสร้างเส้นอุณหภูมิ (1850-1990)	34
4	แสดงจำนวนตัวอย่างไม้ที่ทำการศึกษาและค่าสถิติเบื้องต้น	37
5	ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MV1 กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ	48
6	ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MV2 กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ	48
7	ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MV3 กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ	49
8	ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MV4 กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ	49
9	ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษาอุทยานแห่งชาติแม่วงก์กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ	50
10	ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา KL กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ	50
11	ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา KL2 กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ	51
12	ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษาอุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้าปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ	51
13	ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MAE1 กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ	52
14	ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MAE2 กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ	52
15	ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษาแม่ฮ่องสอนกับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ	53
16	ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษาสวนป่าแม่เมาะ (MM) กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ	54

สารบัญตาราง (ต่อ)

[illegible]

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
32	ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MB กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ	64
33	สรุปค่าสถิติ ความสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation) ค่าเฉลี่ยของความอ่อนไหว (Mean Sensitivity) ของลักษณะทางกายวิภาคและความกว้างวงปีของไม้สัก	65
34	ความสัมพันธ์อย่างง่ายของตัวแปรทางกายวิภาคซึ่งกันและกัน (เปรียบเทียบกับตารางที่ 33) และกับความกว้างวงปี (RW)	71
35	ปีดัชนีลบ-ความกว้างของวงปีลดลงอย่างฉับพลันมากกว่า 40% และปีดัชนีที่เป็นบวก-ความกว้างวงปีปลดปล่อยอย่างรวดเร็วมากกว่า 15%	85
36	ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์รวมรายปีที่ตรวจวัดจากสถานีบ้านท่าสี่และบ้านสบเมะ	89
37	สรุปค่าทางสถิติของปริมาณน้ำฝนเดือนพฤษภาคม ที่ทำการ Calibration และ Verification	91
38	การนำเสนอข้อมูลทางสถิติของการศึกษาที่ผ่านมาโดยใช้ดัชนีไม้สักจำนวน 18 เส้น	93
39	สรุปค่าทางสถิติในการ Calibration และ Verification ของอุณหภูมิเดือนมีนาคม	94
40	สรุปการเปรียบเทียบค่าสถิติของการศึกษาทั้ง 2 ครั้ง	96
41	สรุปค่าสถิติของเส้นน้ำฝนและอุณหภูมิ	97

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	แสดงแผนที่ประเทศไทย บริเวณพื้นที่ศึกษาและจุดเก็บตัวอย่าง	4
2	แสดงแผนที่ประเทศพม่า บริเวณพื้นที่ศึกษาและจุดเก็บตัวอย่าง	5
3	แสดงพื้นที่ศึกษาที่อุทยานแห่งชาติแม่วงก์ และจุดเก็บตัวอย่าง	6
4	แสดงพื้นที่ศึกษาที่อุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้า และจุดเก็บตัวอย่าง	8
5	แสดงพื้นที่ศึกษาเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย และจุดเก็บตัวอย่าง	9
6	แสดงพื้นที่ศึกษา และบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง MM = สวนป่าแม่เมาะ, MJ = สวนป่าแม่จาง และ MY = สวนป่าแม่มาย	11
7	แสดงพื้นที่ศึกษาที่ Moswe Research Station และจุดเก็บตัวอย่าง	14
8	แสดงพื้นที่ศึกษาที่ Seinye Research Station และจุดเก็บตัวอย่าง	15
9	แสดงพื้นที่ศึกษาที่ Pyinoolwin Reserve Forest และจุดเก็บตัวอย่าง	16
10	แสดงปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิเฉลี่ย (a) ประเทศไทย (b) ประเทศพม่า	18
11	แสดงบริเวณพื้นที่ป่าเบญจพรรณที่มีไม้สักและการเก็บตัวอย่างในประเทศไทย	19
11 (ต่อ)	แสดงบริเวณพื้นที่ป่าเบญจพรรณที่มีไม้สักและการเก็บตัวอย่างในประเทศพม่า	20
11 (ต่อ)	แสดงบริเวณพื้นที่ป่าเบญจพรรณที่มีไม้สักและการเก็บตัวอย่างในประเทศพม่า	21
11 (ต่อ)	แสดงบริเวณพื้นที่ป่าเบญจพรรณที่มีไม้สักและการเก็บตัวอย่างในประเทศพม่า	22
12	แสดงชุดอุปกรณ์ Image Analysis System และการทำงานบนหน้าจอ	29
65	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายวิภาค ทั้งวงปี (A-D) ความกว้าง วงปี (E) ซึ่งคำนวณตั้งแต่ปี พ.ศ. 2490-2540	68
66	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพอากาศและตัวแปรทางกายวิภาคของ ไม้ต้นฤดู คำนวณระหว่างปี พ.ศ. 2490-2540	69
67	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพอากาศและตัวแปรทางกายวิภาคของ ไม้ปลายฤดู คำนวณระหว่างปี พ.ศ. 2490-2540	70
68	กราฟเส้นดัชนีของตัวแปรทางกายวิภาค EWAREA = Earlywood Vessel Area, EWDIA = Earlywood Vessel Diameter, EWD4 = Earlywood Conductive Area และ EWDD = Earlywood Density	73
69	แสดง (A) รูปแบบความกว้างวงปี (B) ข้อมูลดิบ (C) ปีดัชนี	76
70	การกระจายความถี่ของชั้นเส้นรอบวง	77
71	การกระจายความถี่ของชั้นอายุ	78
72	การกระจายความถี่ของชั้นเส้นผ่านศูนย์กลาง	79
73	การกระจายความถี่ของชั้นอายุ	79

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
74	การเปรียบเทียบขนาดเส้นรอบวงกับอายุในพื้นที่ศึกษา	80
75	Phase diagram for leak at Maehongson study sites. Maewong National Forest and Klong-Lan National Forest study sites	87
76	การเปรียบเทียบ % release และ % reduction ของไม้สักในแต่ละพื้นที่ศึกษา	88
77	กราฟวงปีไม้สัก กับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	90
78	แสดงค่าน้ำฝนจริงของเดือนพฤษภาคมและค่าประมาณจากการคำนวณ	92
79	แสดงกราฟเส้นของอุณหภูมิเดือนมีนาคมและค่าที่ได้จากการประมาณการณ verification period (1973-1994)	95
80a	เปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเดือนเมษายน-กรกฎาคม (1870-1991) จากการประมาณการณ กับค่าน้ำฝนเดือนเมษายน-กรกฎาคม ค่าจริง	99
80b	เส้นน้ำฝนเดือนเมษายน-กรกฎาคมที่ได้จากการประมาณการณและค่าเฉลี่ยทุก 11 ปี	99
81a	เปรียบเทียบอุณหภูมิเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน (1850-1991) ที่ได้จากการประมาณการณ กับเส้นอุณหภูมิเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน ค่าจริง	100
81b	เส้นอุณหภูมิเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน ที่ได้จากการประมาณการณและเส้นเฉลี่ยทุก 11 ปี	100

การศึกษาสภาพภูมิอากาศในอดีตบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยไม้สัก

Study on Palaeomonsoon Climate in Southeast Asia with Teak (*Tectona grandis* L.)

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัญหาโลกร้อน (Global Warming) หรือการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ซึ่งเป็นสภาวะวิกฤตในปัจจุบันนี้มีสาเหตุเนื่องมาจากการเร่งรัดพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม ตั้งแต่ทศวรรษที่ 18 เป็นต้นมา การใช้พลังงานถ่านหินเพื่อเป็นเชื้อเพลิงอย่างมากในประเทศอุตสาหกรรม การเผาไหม้ซากพืชซากสัตว์ที่ไม่สมบูรณ์ การใช้สาร CFC ในอุตสาหกรรมหล่อเย็นต่างๆ การทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ การปลดปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) ออกสู่บรรยากาศ การลดลงของพื้นที่ป่าไม้โดยเฉพาะอย่างยิ่งป่าเขตร้อนและกึ่งร้อนชื้น (Tropical Rainforest / Subtropical Rainforest) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เก็บกักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใหญ่ที่สุดของโลก การเพิ่มขึ้นของประชากรโลกโดยเฉพาะในทวีปเอเชีย การใช้ประโยชน์ที่ดินผิดประเภท ความหนาแน่นของเมือง เหล่านี้เป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้บรรยากาศของโลกเปลี่ยนแปลงไป

ในปี พ.ศ. 2535 (ค.ศ. 1992) ในการประชุมสหประชาชาติว่าด้วยสิ่งแวดล้อมและการพัฒนา ที่กรุงริโอ เดอจาเนโร ประเทศบราซิล ได้มีการประชุมและลงนามในอนุสัญญาสำคัญสองฉบับ หนึ่งในนั้นคือกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงชั้นบรรยากาศเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม (The United Nations Framework Convention on Climate Change 1992) ประเด็นที่สำคัญในการประชุมในครั้งนั้น ได้แก่ มาตรการการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศโลกและพยายามหาสาเหตุที่ชัดเจนตลอดจนวางแผนการปฏิบัติในระยะสั้นและระยะยาว เพื่อแก้ไขปัญหาและป้องกันปัญหาเกี่ยวกับสภาวะโลกร้อน ผลจากที่ประชุม ตัวอย่างเช่น มาตรการในการลดการใช้สาร CFC มาตรการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และอื่นๆ เป็นต้น ต่อจากนั้นอีก 5 ปี (ค.ศ. 1997) ได้มีการจัดการประชุมคล้ายคลึงกันนี้อีกที่ประเทศญี่ปุ่น และหลังจากการประชุมเสร็จ มาตรการเกี่ยวกับการลดการปลดปล่อยก๊าซต่างๆที่ทำให้โลกร้อนได้ถูกกำหนดขึ้นซึ่งเรียกมาตรการนั้นว่า Kyoto Protocol

จะเห็นได้ว่าปัญหาโลกร้อน มิใช่ปัญหาของประเทศใดประเทศหนึ่งเพราะผลกระทบของปัญหามีต่อมวลมนุษยชาติทั้งโลก ดังนั้นแต่ละประเทศจึงต้องหันหน้าเข้าหากันและช่วยเหลือกันเพื่อจะรักษาความสมดุลของโลกให้คงอยู่ต่อไป

ประเทศไทยจัดเป็นประเทศกำลังพัฒนา มาตรการต่างๆที่จะต้องทำควรอยู่ในระยะเวลาที่เหมาะสมและไม่เร่งด่วนเท่ากับประเทศที่พัฒนาแล้ว แต่อย่างไรก็ดี การศึกษาในเรื่องเหล่านี้ต้องมีความพร้อมและข้อมูลในการตัดสินใจต่างๆ ต้องเป็นข้อมูลที่น่าเชื่อถือ

คำถามเกี่ยวกับการรองรับสถานการณ์โลกร้อนโดยเฉพาะในประเทศไทยเช่น ศักยภาพของพื้นที่ป่าไม้ต่อการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นอย่างไร การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเกี่ยวข้องกับการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างไร การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากกระบวนการทางการเกษตรต่างๆเป็นเท่าไร ปริมาณการใช้ก๊าซมีเทนในอุตสาหกรรม

และบ้านเรือนเป็นอย่างไร เหล่านี้เป็นปัญหาที่ทุกหน่วยงานต้องให้ความร่วมมือศึกษาวิจัยเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ

การบันทึกสภาพภูมิอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยานั้นเป็นแหล่งข้อมูลที่สำคัญแห่งหนึ่งที่สามารถนำมาศึกษาเรื่องการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ แต่ข้อจำกัดในเรื่องระยะเวลาการเก็บข้อมูลนั้นเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่ง ดังนั้นหากได้ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศในอดีตที่ยาวนานก็น่าจะเป็นประโยชน์ในเรื่องการศึกษาเปรียบเทียบ เพราะสภาพภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่ถือว่าเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้นๆ

ดังนั้นการศึกษาทางด้านวงปีไม้ (Dendrochronology) จึงน่าจะเป็นวิธีการที่เหมาะสม (Appropriate Method) วิธีหนึ่งที่สามารถบอกเหตุการณ์ตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันได้ (Douglass 1914, Huber 1941) ซึ่งการศึกษานี้เป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวางทั้งในอเมริกาและยุโรป (Schweigruber 1993, Eckstein 1998) นอกจากต้นไม้จะบันทึกเหตุการณ์สภาพแวดล้อมต่างๆ ที่เกิดขึ้นบริเวณนั้นไว้ในรูปของเซลล์เนื้อไม้แล้ว ต้นไม้บางชนิดยังมีอายุยืนนานเป็นหลายร้อยปี นั้นแสดงให้เห็นว่าต้นไม้มีศักยภาพที่จะบ่งบอกถึงสภาพภูมิอากาศทั้งในปัจจุบันและในอดีตหลายร้อยปีที่ผ่านมา

ไม้สัก (Teak: *Tectona grandis* L.) เป็นไม้ที่ขึ้นบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีการกระจายตัวอย่างกว้างขวาง ตั้งแต่ประเทศ อินเดีย พม่า ไทย ในอดีตกล่าวกันว่าการศึกษาทางด้าน Dendrochronology ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เป็นเรื่องที่เป็นไปไม่ได้หรือต้องใช้ความอดทนอย่างสูง (Bass&Vetter 1989) แต่จากการศึกษาของ Pumijumnong et al. (1995) พบว่าไม้สักเป็นไม้ชนิดหนึ่งจากจำนวนไม้ไม่กี่ชนิด ที่มีศักยภาพในการศึกษาสภาพแวดล้อมในอดีต (Dendrochronology) นอกจากนี้ไม้สักเป็นไม้ที่มีค่าทางด้านเศรษฐกิจและเป็นที่ต้องการของตลาดเป็นอย่างมาก จากการที่มีการลักลอบตัดไม้ทำลายป่าโดยเฉพาะไม้สักจากป่าธรรมชาติเป็นสถานการณ์ที่น่าเป็นห่วง ไม่เพียงแต่ทำให้พื้นที่ป่าลดลง แหล่งกำเนิดแม่มพันธุ์ตามธรรมชาติสูญหาย และที่สำคัญที่สุดอาจทำให้ปัจจัยชีวิตสภาพภูมิอากาศสูญสิ้นไปด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อสร้างและขยายกราฟเส้นดัชนีวงปีของไม้สัก (Teak Chronology Index)
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการตอบสนองความกว้างวงปีของไม้สักต่อปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (Climate Growth Response)
- 1.2.3 เพื่อสร้างเส้นภูมิอากาศในอดีต (Reconstruction Climate)
- 1.2.4 เพื่อเปรียบเทียบสภาพภูมิอากาศในอดีตและลักษณะการเจริญเติบโตของไม้สักในแหล่งกำเนิดที่ต่างกันในประเทศไทย
- 1.2.5 เพื่อได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาและปรับปรุงการเพิ่มผลผลิตป่าสักธรรมชาติและปลูกสร้างสวนป่าสักต่อไป

1.3 พื้นที่ศึกษาและจำนวนตัวอย่าง

พื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ป่าสักธรรมชาติในประเทศไทยและประเทศพม่า สำหรับในประเทศไทยไม้สักตามธรรมชาติกระจายตัวตั้งแต่จังหวัดกาญจนบุรีและครอบคลุมบริเวณภาคเหนือ ในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกพื้นที่ป่าสักธรรมชาติ 3 พื้นที่ และป่าปลูก 1 พื้นที่ โดยป่าสักธรรมชาติเก็บตัวอย่างไม้สักในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย พื้นที่จังหวัด แม่ฮ่องสอน อุทยานแห่งชาติแม่วงก์ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ จังหวัดนครสวรรค์ จังหวัดกำแพงเพชร และอุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้า ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ จังหวัดกำแพงเพชร และ จังหวัดตาก และสำหรับป่าปลูกนั้นได้แก่ พื้นที่สวนป่าแม่เมาะ สวนป่าแม่จาง และสวนป่าแม่มาย ในเขต อำเภอแม่เมาะ และอำเภอหางฉัตร จังหวัดลำปาง

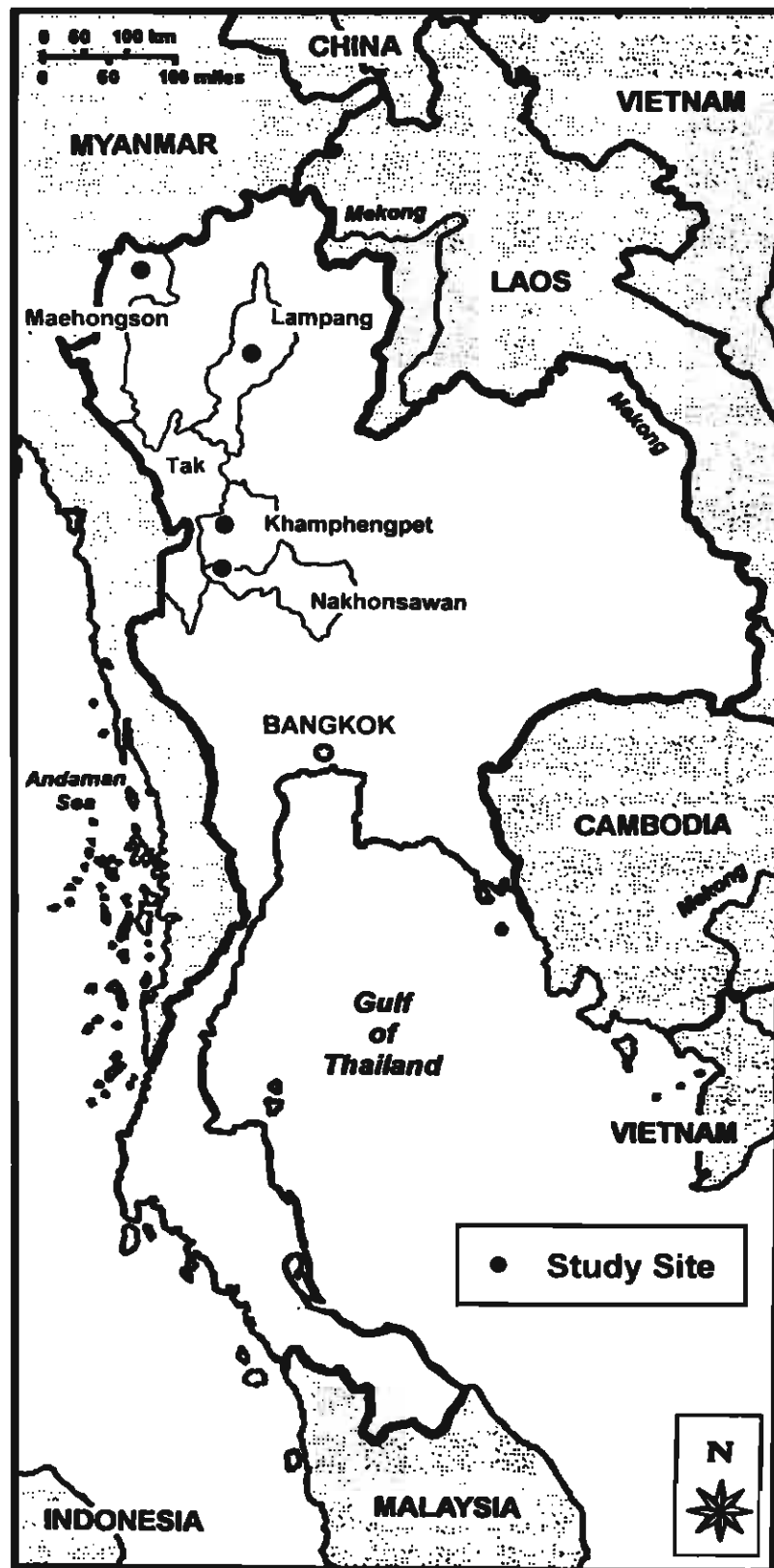
ส่วนในประเทศพม่าได้เก็บตัวอย่างในพื้นที่ป่าธรรมชาติที่บริเวณป่าเบญจพรรณแล้ง ที่ Moswe Research Station ป่าเบญจพรรณชื้นที่ Seinye Research Station และที่ Pyinoolwin Reserve Forest รูปที่ 1 แสดงแผนที่ประเทศไทย บริเวณพื้นที่ศึกษา และจุดเก็บตัวอย่าง รูปที่ 2 แสดงแผนที่ประเทศพม่า บริเวณพื้นที่ศึกษา และจุดเก็บตัวอย่าง

1.3.1 พื้นที่ศึกษาในประเทศไทย

1) พื้นที่ศึกษาเขตอุทยานแห่งชาติแม่วงก์ จังหวัดนครสวรรค์และจังหวัดกำแพงเพชร

อุทยานแห่งชาติแม่วงก์ ตั้งอยู่ในพื้นที่ป่าแม่วงก์เป็นรอยต่อสองจังหวัด คือ จังหวัดนครสวรรค์และจังหวัดกำแพงเพชร ส่วนที่อยู่ในจังหวัดนครสวรรค์ เรียกว่าป่าแม่วงก์-แม่เป็น มีเนื้อที่ประมาณ 279,700 ไร่ ส่วนที่อยู่ในจังหวัดกำแพงเพชร เรียกว่าป่าคลองขลุง และป่าคลองแม่วงก์มีเนื้อที่ประมาณ 279,050 ไร่ รวมเนื้อที่ประมาณ 558,750 ไร่ หรือประมาณ 894 ตารางกิโลเมตร มีทรัพยากรป่าไม้ที่สมบูรณ์ สภาพภูมิประเทศเป็นเทือกเขาสูง สลับซับซ้อนเป็นแหล่งกำเนิดของต้นน้ำลำธารหลายสาย พื้นที่ป่าแม่วงก์ได้รับการประกาศเป็นอุทยานแห่งชาติอย่างเป็นทางการเมื่อวันที่ 14 กันยายน 2530 โดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 104 ตอนที่ 183 แล้วให้ชื่อว่า "อุทยานแห่งชาติแม่วงก์" นับเป็นอุทยานแห่งชาติที่ 55 ของประเทศไทย อยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 15 องศา 40 ลิปดา ถึง 16 องศา 05 ลิปดาเหนือ และอยู่ระหว่างเส้นแวงที่ 99 องศา 05 ลิปดา ถึง 99 องศา 02 ลิปดาตะวันออก ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,100 มิลลิเมตร และอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 33.9 องศาเซลเซียส

สภาพป่าและลักษณะสังคมพืชภายในอุทยานแห่งชาติประกอบด้วย สังคมพืชป่าที่สมบูรณ์เนื่องจากปราศจากสิ่งรบกวน ได้แก่ ป่าดิบเขา (Hill Evergreen Forest) ป่าดิบแล้ง (Dry Evergreen Forest) ป่าเบญจพรรณ (Mixed Deciduous Forest) โดยป่าเบญจพรรณนั้นจะพบเป็นส่วนใหญ่ของพื้นที่แห่งนี้ คือประมาณ 329,937 ไร่ หรือประมาณ 59.05 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ พรรณไม้ที่สำคัญได้แก่ สัก (*Tectona grandis*) มะค่าโมง (*Azelia xylocarpa*) ประดู่ป่า (*Pterocarpus macrocarpus*) เสลา (*Lagerstroemia tomentosa*) สมอพิเภก (*Terminalia bellerica*) กระพี้เขาคาย (*Dalbergia cultrata*) ชิงชัน (*Dalbergia oliveri*)

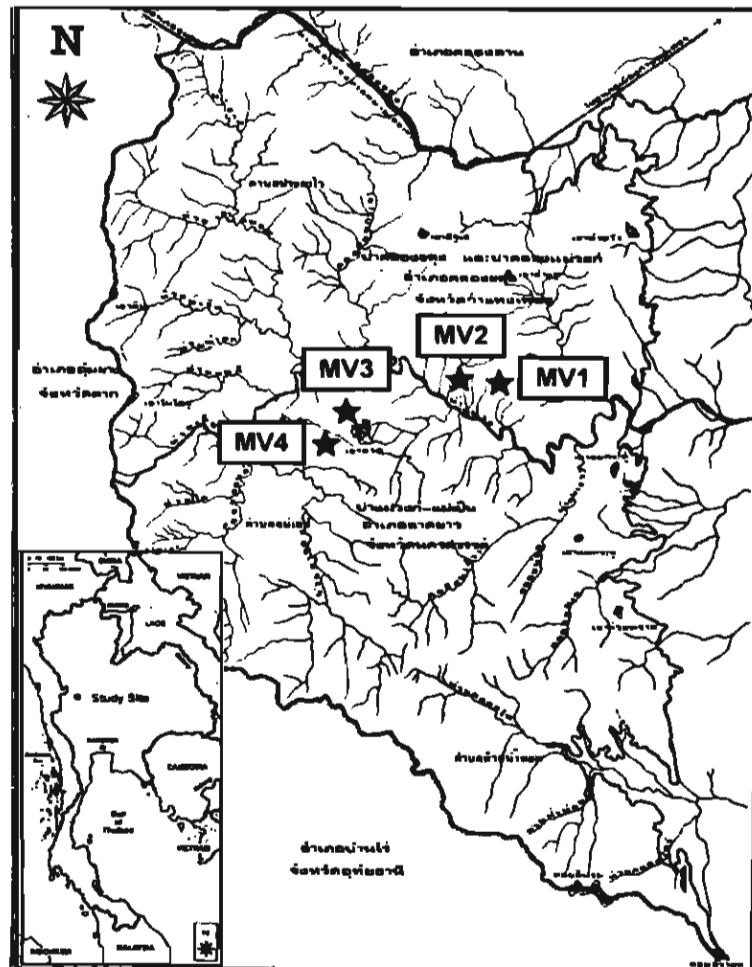


รูปที่ 1 แสดงแผนที่ประเทศไทย บริเวณพื้นที่ศึกษา และจุดเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 2 แสดงแผนที่ประเทศพม่า บริเวณพื้นที่ศึกษา และจุดเก็บตัวอย่าง

ในการศึกษาค้างนี้ได้เก็บข้อมูล 4 แห่ง ในพื้นที่ป่าเบญจพรรณที่มีไม้สักขึ้นอยู่เป็นไม้เด่นและให้อักษรย่อบริเวณพื้นที่ศึกษาคือ MV1, MV2, MV3 และ MV4 ซึ่งรายละเอียด และจำนวนตัวอย่างแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 3 แสดงพื้นที่ศึกษา และบริเวณที่เก็บตัวอย่าง

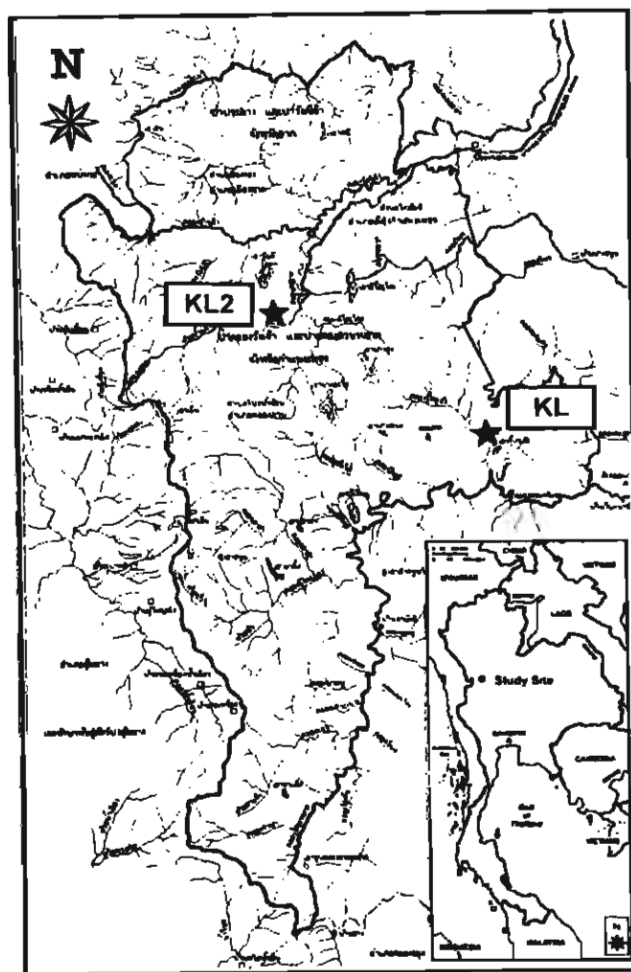


6

2) พื้นที่ศึกษาเขตอุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้า จังหวัดกำแพงเพชรและ จังหวัดตาก

พื้นที่ป่าวังกระสัง ในเขตป่าสงวนแห่งชาติ ป่าคลองวังเจ้าและป่าคลองสวนหมาก ได้ถูกบุกรุกทำลายอย่างมาก ดังนั้น เมื่อวันที่ 7 ธันวาคม 2531 ฯพณฯ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ผู้ว่าราชการจังหวัดกำแพงเพชรพร้อมคณะเจ้าหน้าที่ส่วนราชการอื่นๆ จึงมีความเห็นร่วมกันว่า ควรจะดำเนินการจัดตั้งป่าสงวนแห่งชาติคลองวังเจ้า ป่าคลองสวนหมาก จังหวัดกำแพงเพชร และป่าประทาง-วังเจ้า จังหวัดตาก เป็นอุทยานแห่งชาติ โดยได้ประกาศอย่างเป็นทางการเมื่อ ปี พ.ศ. 2533 และมีชื่อว่าอุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้า ซึ่งป่าแห่งนี้เป็นป่าผืนเดียวกับ อุทยานแห่งชาติแม่วงก์ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าทุ่งใหญ่นเรศวรและเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าอัมผาง รวมเรียกว่าป่าทางด้านตะวันตกของประเทศ ตั้งอยู่ประมาณเส้นรุ้งที่ 16 องศา 05 ลิปดา ถึง 16 องศา 35 ลิปดา เหนือ และระหว่างเส้นแวงที่ 99 องศา 01 ลิปดา ถึง 99 องศา 16 ลิปดา ตะวันออก ชนิดของป่าไม้และพันธุ์ไม้ในเขตอุทยานแห่งชาติได้แก่ ป่าไม้ผลัดใบ ซึ่งประกอบด้วย ป่าดิบแล้ง (Dry Evergreen Forest) ป่าดิบเขา (Hill Evergreen Forest) และป่าสน (Coniferous Forest) ส่วนป่าผลัดใบได้แก่ ป่าเบญจพรรณ (Mixed-Deciduous Forest) และป่าเต็งรัง (Dry Deciduous Forest) โดยที่ไม้สักขึ้นอยู่ในป่าเบญจพรรณ โดยเฉพาะบริเวณที่เขาวังกระสัง คลองมดแดง และปางสังกะสี โดยขึ้นปะปนกับไม้ชนิดอื่นๆ ได้แก่ ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus*) มะค่าโมง (*Azelia xylocarpa*) กระพี้เขาควาย (*Dalbergia cultrata*) ชิงชัน (*Dalbergia oliveri*) ขะเจี๊ยะ (*Millettia leucantha*) กระพี้จั่น (*Millettia brandisiana*) เป็นต้น ไม้พื้นล่างได้แก่ ไม้ป่า (*Bambusa arundinaceae*) ไม้สีสุก (*Bambusa blumeana*) ไม้บง (*Bambusa talda*) ไม้บงหนาม (*Bambusa burmanica*) ไม้ชางนวล (*Dendrocalamus strictus*) และไม้รวก (*Thyrsostachys siamensis*)

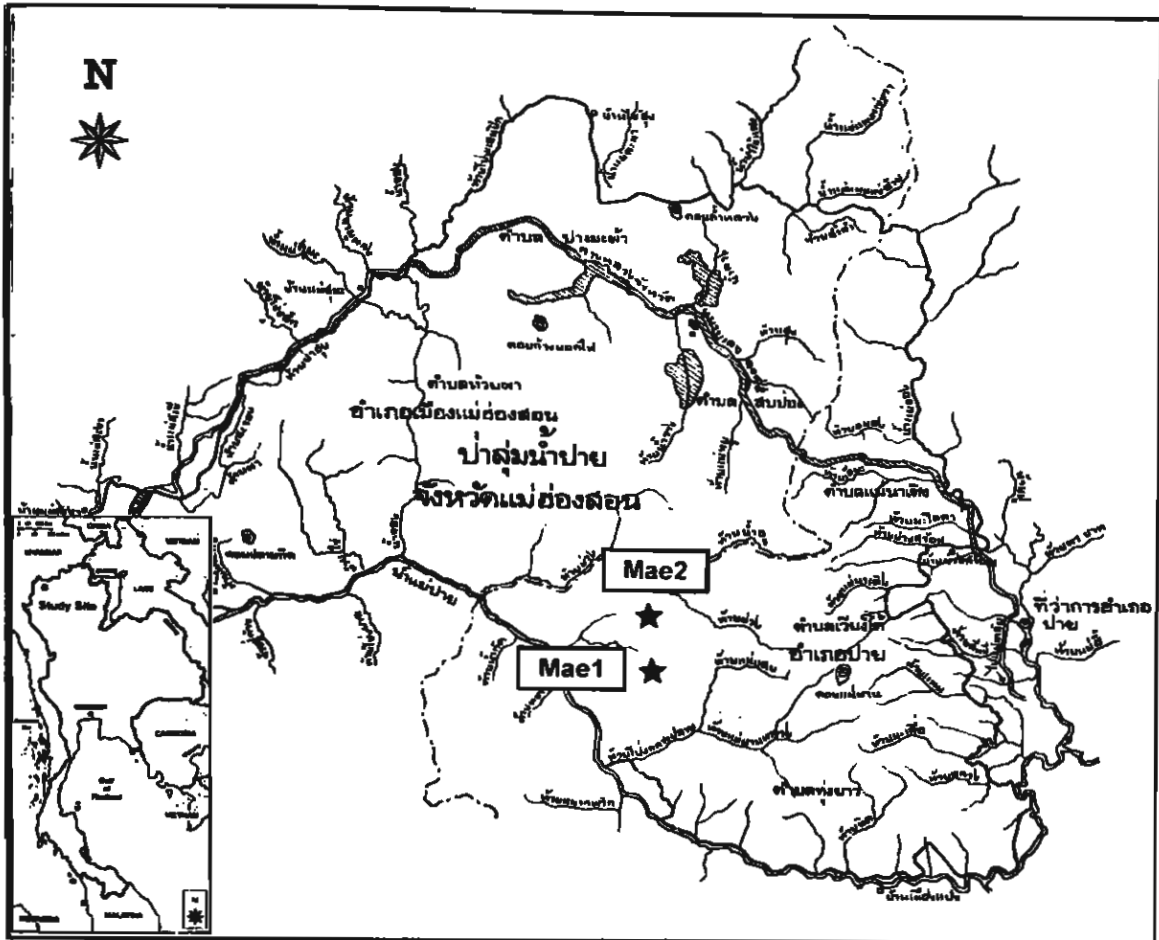
ในการศึกษาครั้งนี้ได้เก็บข้อมูลบริเวณใกล้ที่ทำการอุทยานฯ โดยให้ชื่อย่อว่า KL2 และบริเวณเขาวังกระสัง โดยให้ชื่อย่อว่า KL รายละเอียดและจำนวนตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 4 แสดงพื้นที่ศึกษา และจุดเก็บตัวอย่าง บริเวณเขาวังกระสัง พื้นที่มีความลาดชันประมาณ 25 % ความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 500 เมตร ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยประมาณ 1,128 มิลลิเมตร และอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 33.9 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4 แสดงพื้นที่ศึกษาที่อุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้า จุดเก็บตัวอย่าง KL และ KL2

3) พื้นที่ศึกษาเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน

จังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งอยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทย มีไม้สักขึ้นอย่างอุดมสมบูรณ์และกระจายอยู่ทั่วไป พื้นที่ศึกษาดติดต่อกับประเทศพม่าและทางตอนใต้ของประเทศจีน จังหวัดแม่ฮ่องสอนอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 18-20 องศาเหนือ และ เส้นแวงที่ 99-100 องศาตะวันออก 85% ของพื้นที่จังหวัดเป็นภูเขา พื้นที่ส่วนที่เหลือเป็นที่ราบ เช่นบริเวณที่ราบเชิงเขา ที่ราบสองฝั่งแม่น้ำ บริเวณที่เก็บตัวอย่างคือ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย ลักษณะของพื้นที่บริเวณที่เก็บตัวอย่างมี ความลาดชันปานกลาง (20%) อยู่ในระดับความสูง 600-700 เมตรจากระดับน้ำทะเล ได้เลือกเก็บตัวอย่างไม้สัก 2 พื้นที่ และให้อักษรย่อเป็น MAE1 และ MAE2 ดังแสดงรายละเอียดสภาพภูมิประเทศและจำนวนตัวอย่างในตารางที่ 1 ไม้ชนิดอื่นที่ขึ้นปะปนกับไม้สักในพื้นที่ศึกษาได้แก่ ไม้แดง (*Xylia kerrii*) ไม้ตะแบกใหญ่ (*Lagerstoemia calyculata*) ไม้มะค่าโมง (*Afzelia xylocarpa*) และไม้ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus*) ไม้ที่พบเป็นไม้ที่มีเรือนยอดระดับรองลงไปคือ ไม้ซ้อ (*Gmelia arborea*) และ กาสามปึก (*Vitex penduncularis*) ไม้ไผ่ขึ้นเป็นไม้พื้นล่างโดยทั่วไป รูปที่ 5 แสดงพื้นที่ศึกษาเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปายและจุดเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 5 แสดงพื้นที่ศึกษาที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย และจุดเก็บตัวอย่าง MAE1 และ MAE2

4) พื้นที่สวนป่าแม่เมาะ สวนป่าแม่มาย และสวนป่าแม่จาง อำเภอแม่เมาะ อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง

องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ (อ.อ.ป.) ถือกำเนิดขึ้นตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2490 เป็นหน่วยงานสังกัดกรมป่าไม้ มีหน้าที่รับผิดชอบด้านการทำไม้ พร้อมกับงานแปรรูปและเก็บหาของป่าบางชนิด ซึ่งขณะนั้นอยู่ในความรับผิดชอบของกรมป่าไม้ ต่อมารัฐได้พิจารณาเห็นว่าเพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างสะดวกรวดเร็วและกว้างขวางยิ่งขึ้น จึงได้มีพระราชกฤษฎีกา จัดตั้งองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ เป็นรัฐวิสาหกิจ มีฐานะเป็นนิติบุคคลขึ้นตรงต่อกระทรวงเกษตรและสหกรณ์เมื่อวันที่ 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2499 และฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2517 และ พ.ศ. 2533

สวนป่าแม่เมาะ

สวนป่าแม่เมาะตั้งอยู่ที่ตำบลบ้านดง อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง บริเวณป่าตอนนี้เป็นส่วนหนึ่งของป่าสัมปทานแม่อาจ-แม่จาง ซึ่งต่อมาได้แบ่งออกเป็นป่าสงวนแห่งชาติแม่เมาะ มีเนื้อที่ประมาณ 336 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ถูกถางทำไร่เลื่อนลอย และบริเวณพื้นที่ป่าเสื่อมโทรมมีไม้ไร้ค่า พอที่จะปลูกสร้างสวนป่าได้ประมาณ 90 ตารางกิโลเมตร บริเวณที่ทำการสวนป่าแม่เมาะอยู่ห่างจากจังหวัดลำปางประมาณ 32 กิโลเมตร โดยฝ่ายทำไม้เหนือ องค์การอุตสาหกรรม

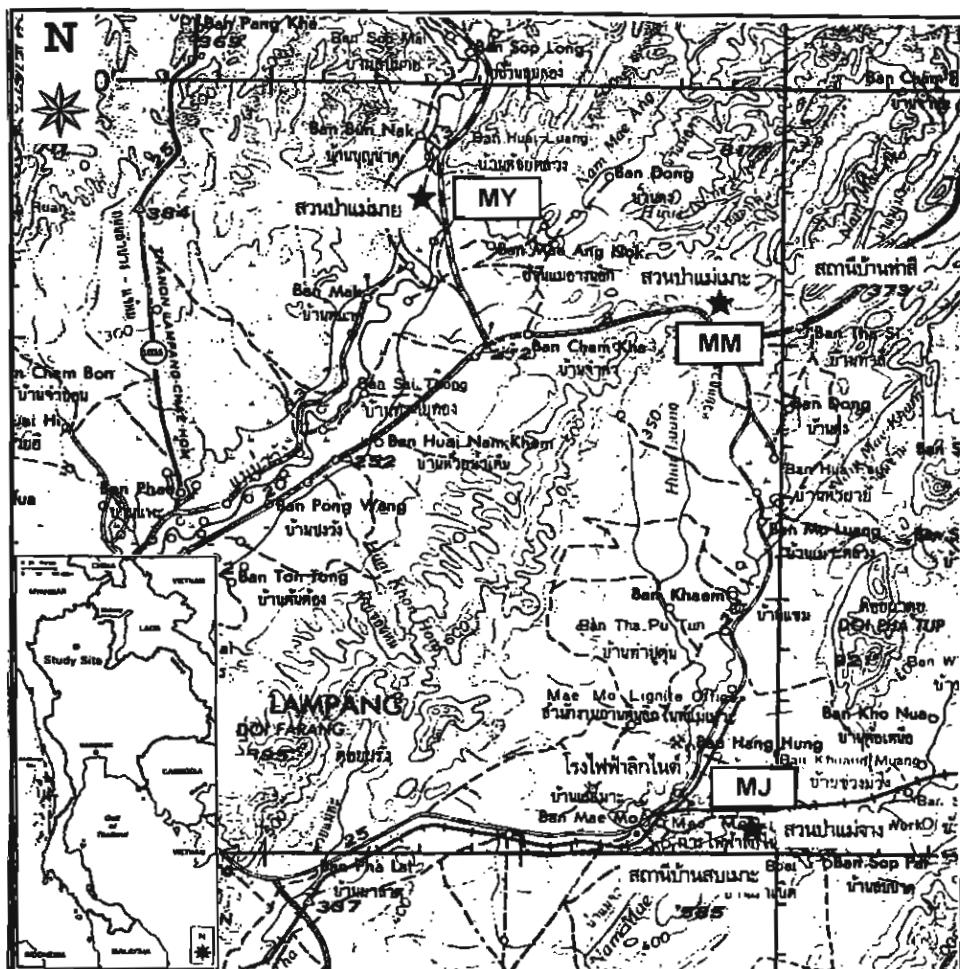
สหกรณ์ป่าไม้และป่าไม้เขตลำปาง ได้ใช้บริเวณห้วยบอนที่มีน้ำซับและเป็นห้วยแยกของห้วยหลวงซึ่งเป็นห้วยแยกของห้วยแม่เกาะอีกทีหนึ่ง เป็นบริเวณศูนย์กลางของการดำเนินงานสร้างที่ทำการ ทำแปลงเพาะ ทำสวนเมล็ดพันธุ์ ฯลฯ สวนป่านี้อยู่ใกล้ถนนพหลโยธิน ตอนลำปาง-เชียงราย สวนป่าแม่เกาะมีชื่อในทะเบียนสวนป่าขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ว่า “สวนป่ารัฐบาลแม่เกาะ” เลขที่ 3 (อ.อ.ป./ล.ป. 3) ตั้งแต่เริ่มก่อตั้งจนถึงปัจจุบัน สามารถปลูกป่าได้เนื้อที่รวม 14,909 ไร่

สวนป่าแม่จาง

สวนป่าแม่จางตั้งอยู่ที่ตำบลสบปาด อำเภอแม่เกาะ จังหวัดลำปาง เดิมเป็นป่าสัมปทานแม่อาจ-แม่จาง และต่อมาได้แยกออกมาเป็นป่าสงวนแห่งชาติแม่จางตอนขุน และป่าโครงการสัมปทานทำไม้กระยาเลย ของบริษัทลำปางทำไม้จำกัด โดยองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ถือเอาจากสภห้วยหินฮ้ายขึ้นไปรวมทั้งลุ่มของห้วยจางทั้งหมดในป่าโครงการที่มีเนื้อที่ทั้งหมดประมาณ 483 ตารางกิโลเมตร ซึ่งพื้นที่ที่ถูกถางเผาทำไร่เลื่อนลอย และมีป่าเสื่อมโทรมอยู่ในเนื้อที่ประมาณ 120 ตารางกิโลเมตร เห็นสมควรที่จะปลูกสร้างสวนป่าขึ้น ดังนั้นฝ่ายทำไม้ภาคเหนือและป่าไม้เขตลำปางจึงได้จัดตั้งสวนป่าแม่จางขึ้นโดยเห็นชอบที่จะให้เป็นที่ทำการ สวนเมล็ดพันธุ์ หมู่บ้านป่าไม้ วัด และอื่นๆ ให้อยู่ในบริเวณฝั่งซ้ายของห้วยเกลือ ซึ่งเป็นห้วยแยกจากห้วยแม่จาง บริเวณที่ทำการของสวนป่าแม่จางนี้ ห่างจากจังหวัดลำปางประมาณ 53 กิโลเมตร หรือห่างจากสำนักงานของสวนป่าแม่เกาะราว 21 กิโลเมตร สวนป่าแม่จางมีชื่อในทะเบียนสวนป่าขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ว่า “สวนสักรัฐบาลแม่จาง” เลขที่ 4 (อ.อ.ป./ล.ป.4) ตั้งแต่เริ่มโครงการจนถึงปี พ.ศ. 2541 สามารถปลูกไม้สักได้จำนวน 17,965 ไร่

สวนป่าแม่มาย

สวนป่าแม่มายตั้งอยู่ในท้องที่ตำบลบ้านแลง อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง สวนป่านี้อยู่บริเวณป่าแม่อาจ-แม่จาง ซึ่งเป็นป่าที่กำลังเตรียมการสงวน และมีป่าโครงการเอนกประสงค์แม่มายรวมอยู่ด้วย มีเนื้อที่ประมาณ 410 ตารางกิโลเมตร ส่วนบริเวณที่พอจะสร้างเป็นสวนป่าได้มีประมาณ 90 ตารางกิโลเมตร บริเวณที่ทำการของสวนป่าแม่มายอยู่บนเส้นทางของกรมชลประทานจากฝายบ้านแลง-เขื่อนกิ่วลม ทางฟากตะวันตกมีห้วยเล็กๆ อยู่ในบริเวณที่มีแม่น้ำวังไหลผ่านหลังบริเวณที่ทำการ ห่างจากจังหวัดลำปางประมาณ 35 กิโลเมตร ป่าสัมปทานหรือป่าเตรียมสงวนแห่งนี้ได้ถูกราษฎรลักลอบตัดไม้ทำลายป่า ทำไร่เลื่อนลอย อยู่มาหลายนานแล้ว จนดินเสื่อมไปมาก สวนป่าแม่มายมีชื่อในทะเบียนสวนป่าขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ว่า “สวนสักรัฐบาลแม่มาย” เลขที่ 2 (อ.อ.ป./ล.ป.2) ตั้งแต่เริ่มตั้งจนถึงปัจจุบัน สามารถปลูกป่าได้พื้นที่ 20,522 ไร่ รูปที่ 6 แสดงพื้นที่ศึกษาที่สวนป่าแม่เกาะ สวนป่าแม่จาง สวนป่าแม่มาย และจุดเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 6 แสดงพื้นที่ศึกษาและบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง MM=สวนป่าแม่เมาะ, MJ=สวนป่าแม่จาง และ MY=สวนป่าแม่มาย

ตารางที่ 1 ลักษณะทางภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาในประเทศไทยและประเทศพม่า

ประเทศ	จังหวัด	พื้นที่ศึกษา	จำนวนต้น	จำนวนตัวอย่าง (core)	วันที่เก็บ	พิกัด	ความสูงจากระดับน้ำทะเล (ม)	ความลาดเท (%)	ด้านรับแสง
ไทย	เมืองลอน	Mae1	35	70	24-26 ก.ย. 1997	18-20 ° N และ 99-100 °E	600-700	30	ตะวันออกเฉียงเหนือ
		Mae2	38	76					
	กำแพงเพชร-ตาก	KL	15	30	7-12 ก.ย. 1997	16° 05'- 16° 35' N และ 99° 01' - 99° 16' E	400-500	20-25	ตะวันตกเฉียงเหนือ
		KL2	7	14					
	นครสวรรค์-กำแพงเพชร	MV1	10	20	7-12 ก.ย. 1997	15° 40' -16° 05'N - 99° 20'E	300-350	20-25	ตะวันออกเฉียงใต้
		MV2	11	23					
		MV3	10	21					
		MV4	13	26					
	ลำปาง	แม่เมาะ (MM)	17	34	8-12 ธ.ค. 1998	18°10'- 18° 30'N และ 99° 15' 99° 30'E	250-300	5-10	ตะวันออกเฉียงใต้
		แม่จาง (MJ)	16	32					
		แม่มาย (MY)	17	34					
พม่า	Pynmana (Moswe Research Station)	Y-Site	12	24	25-27 ก.พ. 1998	19°-20° N และ 96°-97° E	400-500	20-25	ตะวันออก
		Moswe-Site	41	82					ตะวันออกเฉียงใต้
	Pagoyoma (Seigye Reserve Forest)	S1-Site	15	30	28 ก.พ.-1 มี.ค. 1998	17°-18° N และ 96°-97° E	300-400	15-20	ใต้
		S2-Site	9	19					
		P1-Site	6	12			500-600	25	ตะวันออก
		P2-Site	24	48					
		P3-Site	22	44					
	Pynmana (Moswe)	Palui (PR)	4	14	13 มี.ค. 1999	19°-20° N และ 95°-96° E	600-700	30-35	ตะวันออกเฉียงใต้

ตารางที่ 1 (ต่อ) ลักษณะทางภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาในประเทศไทยและประเทศพม่า

ประเทศ	จังหวัด	พื้นที่ศึกษา	จำนวนต้น	จำนวนตัวอย่าง (core)	วันที่เก็บ	พิกัด	ความสูงจากระดับน้ำทะเล (ม)	ความลาดเท (%)	ด้านรับแสง
พม่า	Pynmana (Moswe Research Station)	Palui (PL)	4	12	14 มี.ค. 1999	19°-20° N และ 95°-96° E	500	30	ตะวันออก
		Ngelaik (NL)	7	21					ตะวันออก
		Palui (PA)	10	30			500-600	25-30	ตะวันออก
	Pynoolwin	MA	12	36	17-18 มี.ค. 1999	22°-23° N และ 97°-99° E	400-500	20-25	ตะวันออกเฉียงใต้
		MB	21	73					

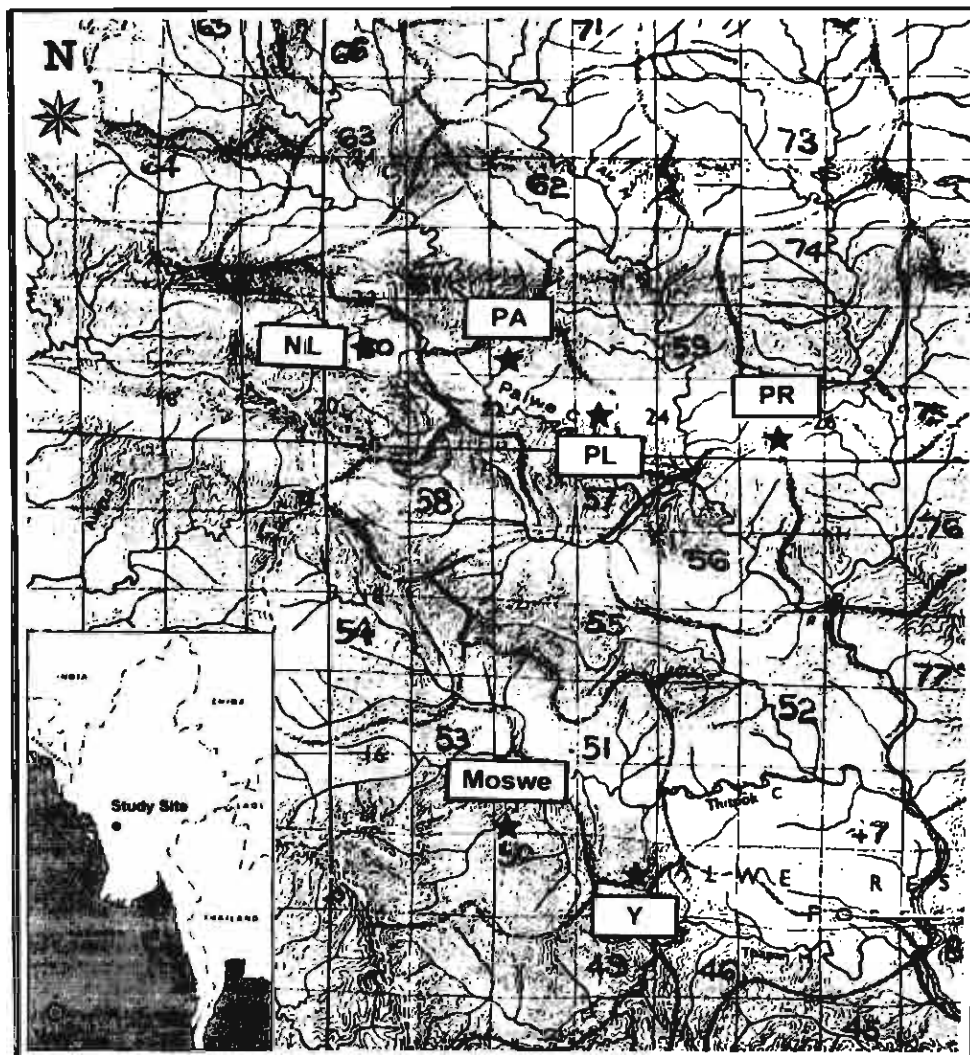
1.3.2 พื้นที่ศึกษาในประเทศพม่า

1) พื้นที่ศึกษาป่าเบญจพรรณแล้งที่ Moswe Research Station

งานวิจัยทางด้านป่าไม้ของประเทศพม่า (Forest Research) ได้เริ่มต้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1914 โดยที่ฝ่ายวิจัยได้ตั้งอย่างเป็นทางการเมื่อปี ค.ศ. 1922 ภายใต้การดูแลของกรมป่าไม้พม่า ในปี ค.ศ. 1952 ได้จัดตั้งสถาบันวิจัยและฝึกอบรม (Forest Research and Training Institute: FRI) ขึ้นที่ร่างกุ้ง และในปี ค.ศ. 1974 ได้รับความช่วยเหลือและร่วมมือกับ FAO จัดตั้งสถาบันวิจัยและฝึกอบรมอีกแห่งหนึ่งที่เมือง Pynmana ซึ่งมีชื่อเรียกกันโดยทั่วไปว่า Forest Research Institute YEZIN ซึ่งอยู่ห่างจากร่างกุ้งไปทางเหนือประมาณ 400 กิโลเมตร วัตถุประสงค์ของการจัดตั้งสถาบันวิจัยและฝึกอบรมที่ YEZIN เนื่องจาก บริเวณพื้นที่ป่าไม้ของพม่าส่วนใหญ่อยู่ทางตอนกลางจนถึงเหนือสุดของประเทศ ดังนั้นการดูแล การทำงานวิจัย การผลิตนักศึกษา และการจัดการฝึกอบรมต่างๆ จะได้เข้าถึงพื้นที่ป่าไม้บริเวณรอบๆ อย่างสะดวก

Moswe Research Station อยู่ลงมาทางทิศใต้ของ Yezin Forest Research Institute ประมาณ 40 กิโลเมตรตามถนนสายหลัก (ร่างกุ้ง-มันตะเลย์) มีที่ตั้งของสถานีย่อยที่อยู่ห่างออกไปจากถนนหลักประมาณ 60 กิโลเมตร พื้นที่ป่าไม้ที่ครอบคลุมพื้นที่บริเวณนี้ส่วนใหญ่เป็นป่าเบญจพรรณที่มีไม้สักขึ้นอย่างอุดมสมบูรณ์ อยู่ทางทิศตะวันตกของประเทศ ครอบคลุมพื้นที่ Magway Division และ Pago Division ซึ่งจัดว่าเป็นเขตที่เป็นแหล่งที่ไม้สักมีคุณภาพดีมากที่สุดของพม่า การทำไม้ออกจากป่าธรรมชาติของพม่านั้นยังดำเนินการอยู่และควบคู่ไปกับการปลูกสร้างสวนป่าไม้สัก รวมทั้งการศึกษาวิจัยในส่วนที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้เก็บตัวอย่างไม้สักในพื้นที่ Moswe Research Station 2 ครั้งคือ ครั้งที่ 1 เมื่อวันที่ 25-27 กุมภาพันธ์ 1998 โดยจุดศึกษาที่ได้เลือกคือที่ Y-Site จำนวนตัวอย่าง 12 ต้น 24 ตัวอย่าง และที่ Moswe-Site จำนวน 41 ต้น 82 ตัวอย่าง พื้นที่ศึกษาทั้งสองพื้นที่มีสภาพป่าที่ค่อนข้างดีถึงแม้ว่าจะผ่านการทำไม้ออกไปแล้ว สำหรับครั้งที่ 2 เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 13-14 มีนาคม 1999 จุดศึกษาที่เก็บตัวอย่างมาได้แก่ Palui (PR) จำนวน 4 ต้น 14 ตัวอย่าง Palui (PL) จำนวน 4 ต้น 12 ตัวอย่าง Ngelaik (NL) จำนวนตัวอย่าง 7 ต้น 21 ตัวอย่าง Palui (PA) จำนวน 10 ต้น 30 ตัวอย่าง พื้นที่เก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 นี้สภาพป่าได้รับการกระทบกระเทือนจากการทำไม้ออกของพม่า แต่เนื่องจากพบว่าไม่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นในพื้นที่ศึกษานี้จึงได้เก็บตัวอย่างทั้งจากไม้ที่ยังมีชีวิตอยู่ และจากตอของไม้ที่ถูกตัดลงแล้ว แต่ทราบปีที่ทำการโค่นล้ม จำนวนตัวอย่างไม้สักทั้งหมดที่เก็บจากพื้นที่ Moswe Research Station เท่ากับ 78 ต้น 183 ตัวอย่าง รูปที่ 7 แสดงพื้นที่ศึกษาและจุดเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 7 แสดงพื้นที่ศึกษาที่ Moswe Research Station และจุดเก็บตัวอย่าง

2) พื้นที่ศึกษาป่าเบญจพรรณชั้นที่ Seinye Research Station

สถานีป่าไม้นี้อยู่ในพื้นที่ Pago Division อยู่ห่างจากเมืองย่างกุ้งไปทางทิศเหนือประมาณ 150 กิโลเมตร ต่อจากนั้นต้องใช้เส้นทางชักราบไม่เข้าไปที่สถานีฝึกงานประมาณ 60 กิโลเมตร พื้นที่ศึกษาอยู่ทางทิศตะวันตกของประเทศพม่า ในบริเวณนี้ได้เก็บตัวอย่างระหว่างวันที่ 28 กุมภาพันธ์ - 1 มีนาคม 1998 ทั้งหมด 5 จุดศึกษาคือ S1-Site จำนวน 15 ต้น 30 ตัวอย่าง S2-Site จำนวน 9 ต้น 19 ตัวอย่าง P1-Site จำนวน 6 ต้น 12 ตัวอย่าง P2-Site จำนวน 24 ต้น 48 ตัวอย่าง และ P3-Site จำนวน 22 ต้น 44 ตัวอย่าง จำนวนตัวอย่างไม้สักทั้งหมดที่เก็บมาศึกษาจากพื้นที่ Seinye Research Station เท่ากับ 76 ต้น 153 ตัวอย่าง รูปที่ 8 แสดงพื้นที่ศึกษา ที่ Seinye Research Station และจุดเก็บตัวอย่าง

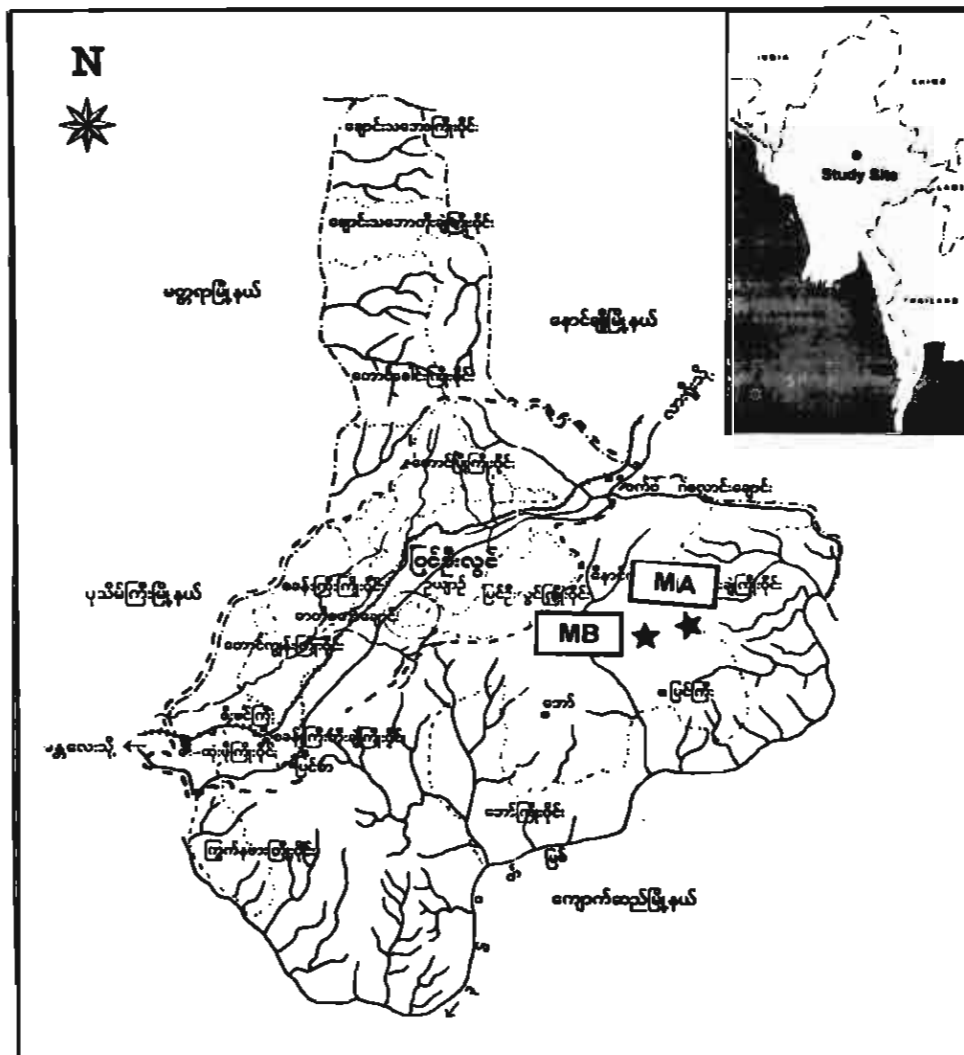


รูปที่ 8 แสดงพื้นที่ศึกษาที่ Seinye Research Station และจุดเก็บตัวอย่าง-

3) พื้นที่ศึกษาที่ Pyinoolwin Reserve Forest

Pyinoolwin Reserve Forest เป็นพื้นที่ป่าอนุรักษ์ อยู่ทางทิศตะวันออกของกรุงเทพมหานคร เป็นพื้นที่ป่าสักอีกแห่งหนึ่งที่ได้เข้าไปทำการศึกษาเมื่อวันที่ 17-18 มีนาคม 1999 ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะได้จัดตั้งเป็นพื้นที่ป่าอนุรักษ์ เนื่องจากเจ้าหน้าที่ป่าไม้ได้ไปพบต้นสักที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลก ทางรัฐบาลพม่าจึงได้ประกาศเป็นป่าอนุรักษ์ เพื่อที่จะรักษาดันสักใหญ่ไว้คู่บ้านคู่เมือง อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน สภาพป่าบริเวณนี้ค่อนข้างเสื่อมโทรมเนื่องจากผ่านการทำไม้มาอย่างหนัก จุดเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่นี้มี 2 แห่งคือ MA และ MB รูปที่ 9 แสดงพื้นที่ศึกษาและจุดเก็บตัวอย่าง จำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่เก็บมาจากพื้นที่นี้เท่ากับ 30 ต้น 90 ตัวอย่าง

สภาพภูมิอากาศนั้นมีความสำคัญอย่างมากต่อการเกิดชนิดป่า รูปที่ 10 แสดงแผนภูมิปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทย (a) และประเทศพม่า (b) และรูปที่ 11 แสดงพื้นที่บริเวณป่าเบญจพรรณที่มีไม้สักในประเทศไทยและประเทศพม่า



รูปที่ 9 แสดงพื้นที่ศึกษาที่ Pyinoolwin Reserve Forest และจุดเก็บตัวอย่าง MA และ MB

1.3.3 หลักการในการเลือกตัวอย่าง (Principal of Samples Collection) ในการศึกษาการใช้วงปีไม้ศึกษาสภาพแวดล้อมในอดีต (Dendrochronology) มีหลักเกณฑ์ในการเลือกตัวอย่างอย่างเฉพาะเจาะจง (Purposive Selection) เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการศึกษา เช่น ถ้าต้องการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างวงปีกับสภาพภูมิอากาศ ตัวอย่างไม้สักที่เก็บควรขึ้นอยู่ในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงหรือที่ที่มีน้ำและอุณหภูมิเป็นปัจจัยจำกัดโดยที่ลักษณะภายนอกทั่วไปของไม้สักต้องมีรูปร่างดี เปล่า กลม ตรง พยายามหลีกเลี่ยงต้นที่ได้รับอันตรายจากไฟป่า แมลง สัตว์กัดแทะ ให้มากที่สุด เพื่อที่จะลดปัจจัยภายนอกอย่างอื่นที่ไม่ใช่ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิออก สมการการเจริญเติบโตที่ Fritts (1976) ได้กล่าวไว้คือ

$$R_t = A + C + D_1 + D_2 + E$$

เมื่อ R_t = ความกว้างของวงปี

A = อายุ

C = สภาพภูมิอากาศ (ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ)

D_1 = ปัจจัยภายใน เช่น ฮอร์โมนพืช พันธุกรรม

D_2 = ปัจจัยภายนอก

E = ความคลาดเคลื่อนอื่นๆ

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อต้องการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างวงปีกับสภาพภูมิอากาศ จึงเลือกตัวอย่างไม้สักที่มีความอ่อนไหว (Sensitive) ต่อปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ ซึ่งส่วนมากแล้วไม้สักที่ขึ้นบริเวณภูเขา มีความลาดชันสูง จะเป็นตัวอย่างที่ดี

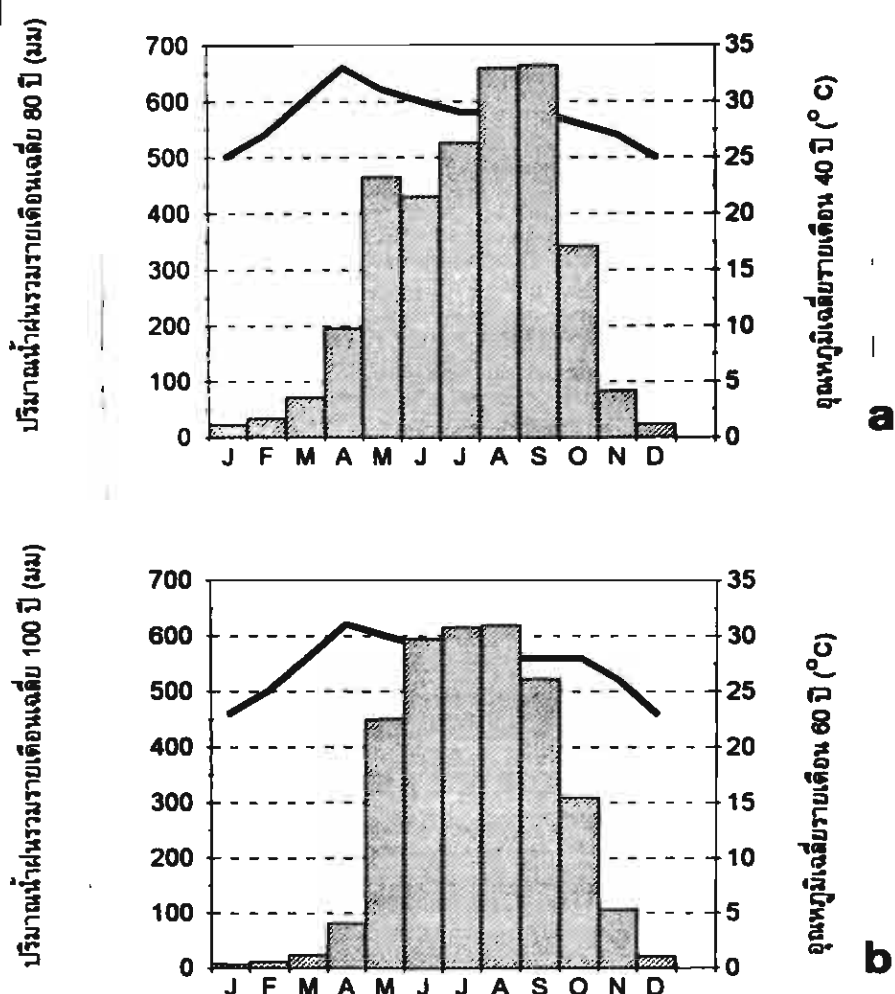
สำหรับการศึกษาไม้สักพื้นที่สวนป่าแม่เมาะ สวนป่าแม่จาง และสวนป่าแม่มาย มีวัตถุประสงค์ที่ต้งขึ้นเฉพาะเจาะจง เพื่อที่จะศึกษาผลกระทบจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อความกว้างวงปีของไม้สัก ดังนั้นในการเลือกไม้สักในพื้นที่ศึกษานี้จึงเป็นไปอย่างเฉพาะเจาะจงเช่นกัน ซึ่งจากสมการที่กล่าวแล้วข้างต้น ในการศึกษาไม้สักจากสวนป่าแม่เมาะ สวนป่าแม่จาง และสวนป่าแม่มาย เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ ระหว่าง $R_t \approx D_2$ (เมื่อ R_t = ความกว้างวงปี D_2 = ปัจจัยภายนอกต่าง ๆ ในที่นี้ ต้องการศึกษถึงก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์) ปัจจัยทางสภาพภูมิอากาศจะมีอิทธิพลน้อย เนื่องจากพื้นที่ปลูกสร้างสวนป่าเป็นพื้นที่ค่อนข้างราบ ดังนั้นปริมาณน้ำฝน จึงไม่ใช่ปัจจัยจำกัด

ตัวอย่างไม้สักที่เก็บจากพื้นที่ป่าเบญจพรรณชื้นและแห้งแล้งที่พม่าก็มีวิธีการเลือกเก็บตัวอย่างเช่นเดียวกันกับที่กล่าวมาแล้ว

การเก็บตัวอย่างไม้สักที่โคนล้มในพื้นที่หรือไม้สักที่ทราบปีที่ถูกโค่นล้ม เพื่อเป็นการใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าที่สุด เนื่องจากไม่ต้องการที่จะตัดโค่นล้มไม้สักที่ยืนต้น ดังนั้นต้นสักที่ล้ม

อยู่ในพื้นที่ศึกษาจะเป็นตัวอย่างสนับสนุนการศึกษาครั้งนี้ และการศึกษาวงปีจากชิ้นเขียงที่ตัดมาจากไม้สักที่โค่นล้มอยู่ สามารถศึกษาวงปีได้ครบวงซึ่งถือว่าเป็นข้อมูลที่ดีมาก อย่างไรก็ตาม ต้องมีการบันทึกรายละเอียดบริเวณสถานที่ที่ต้นสักโค่นล้มอยู่ ซึ่งตัวอย่างที่ดีควรเป็นตัวอย่างที่อยู่ในพื้นที่เดียวกับที่เก็บตัวอย่างต้นสักที่มีชีวิตอยู่ ข้อมูลส่วนนี้ถือว่าเป็นข้อมูลสนับสนุน และมีความเป็นไปได้สูงที่ไม้สักที่โค่นล้มอยู่ในพื้นที่จะมีอายุมากกว่าไม้สักที่ยืนต้นอยู่

การเก็บตัวอย่างด้วย Increment Borer กับไม้ที่โค่นล้มในพื้นที่ศึกษา และต่อไม้ที่ทราบช่วงเวลากการโค่นล้ม พื้นที่ศึกษาที่ Moswe Research Station ในจุดศึกษาที่ Palui (PR), Palui (PL), Palui (PA) และ Ngelaik (NL) เป็นพื้นที่ที่กำลังมีการทำไม้ออกของประเทศพม่า ดังนั้นในช่วงระยะเวลาที่เข้าไปเก็บข้อมูลซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้ง (13-14 มี.ค. 1999) จึงพบว่ามีไม้ที่โค่นล้มในพื้นที่เพื่อเตรียมการเคลื่อนย้ายมารวมที่หมอนไม้จำนวนมากและไม้เกือบทั้งหมดเป็นไม้สัก ซึ่งเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการทำไม้ ทราบระยะเวลาที่ทำการโค่นล้ม ดังนั้นจึงได้ทำการเจาะตัวอย่างไม้สักเหล่านั้นด้วย เพราะมีขนาดใหญ่และอายุมาก



รูปที่ 10 แสดงปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิเฉลี่ย (a) ประเทศไทย (b) ประเทศพม่า



รูปที่ 11 แสดงบริเวณพื้นที่ป่าเบญจพรรณที่มีไม้สักและการเก็บตัวอย่าง ในประเทศไทย



รูปที่ 11 (ต่อ) แสดงบริเวณพื้นที่ป่าเบญจพรรณที่มีไม้สักและการเก็บตัวอย่าง ในประเทศพม่า



รูปที่ 11 (ต่อ) แสดงบริเวณพื้นที่ป่าเบญจพรรณที่มีไม้สักและการเก็บตัวอย่าง ประเทศพม่า



รูปที่ 11 (ต่อ) แสดงบริเวณพื้นที่ป่าเบญจพรรณที่มีไม้สักและการเก็บตัวอย่าง ในประเทศพม่า

1.3.4 ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ

1.3.4.1 ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิของประเทศไทย

ในการศึกษาครั้งนี้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิของประเทศไทยได้นำมาจากการมอดูนิยมิวิทยา โดยใช้ข้อมูลจากจังหวัดต่างๆ ดังต่อไปนี้

●ปริมาณน้ำฝนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2454 – 2540 (ค.ศ. 1911-1997) และ อุณหภูมิ พ.ศ. 2494 – 2540 (ค.ศ. 1951 – 1997)

●ปริมาณน้ำฝนของจังหวัดนครสวรรค์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2454 – 2540 (ค.ศ. 1911-1997) และอุณหภูมิ พ.ศ. 2494 – 2540 (ค.ศ. 1951 – 1997)

●ปริมาณน้ำฝนของจังหวัดกำแพงเพชรตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 – 2540 (ค.ศ. 1981-1997)

●ปริมาณน้ำฝนของจังหวัดตาก พ.ศ. 2545 – พ.ศ. 2540 (ค.ศ. 1911-1997) และอุณหภูมิตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494 – พ.ศ. 2540 (ค.ศ. 1951-1997)

●ปริมาณน้ำฝนของจังหวัดลำปางตั้งแต่ปี พ.ศ. 2454 – 2540 (ค.ศ. 1911-1997) และอุณหภูมิ พ.ศ. 2494 – 2540 (ค.ศ. 1951 – 1997)

1.3.4.2 ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิของประเทศพม่า เนื่องจากไม่สามารถติดต่อประสานงานกับหน่วยงานที่รับผิดชอบโดยตรงในเรื่องการจัดเก็บข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากพม่าได้ และข้อมูลที่ทางกรมป่าไม้พม่าจัดเก็บในพื้นที่เป็นเพียงช่วงระยะเวลาสั้นๆ ดังนั้นจึงได้ติดตามแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้ โดยการติดต่อผ่านทาง Internet และแจ้งความประสงค์ให้ผู้รับผิดชอบเรื่องข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ต้องการนำมาศึกษาต่อไปจึงได้ website (<http://www.NOAA.com>) ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ใช้ข้อมูลจาก สถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ ที่ร่างกุ้ง ซึ่งข้อมูลครอบคลุมระหว่างปี ค.ศ. 1870 – 1990 ทั้งข้อมูลปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ และสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศที่ มันทะเลย์ ซึ่งข้อมูลปริมาณน้ำฝนครอบคลุมระหว่าง ค.ศ. 1889-1990 และข้อมูลอุณหภูมิครอบคลุม ระหว่าง ค.ศ. 1931-1990 รูปที่ 10 แสดงปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทย และประเทศพม่า

1.3.5 การเก็บข้อมูล และจำนวนตัวอย่าง โดยใช้ เครื่องเจาะตัวอย่างไม้ (Swedish Increment Borer) เลือกเจาะที่ความสูงระดับเพียงอก (1.30 เมตร) จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย

1.3.5.1 จำนวนตัวอย่างในประเทศไทย ระหว่างวันที่ 7 กันยายน 2540 – 12 กันยายน 2540 เก็บข้อมูลที่ อุทยานแห่งชาติแม่วงก์ ครอบคลุมพื้นที่ จังหวัดนครสวรรค์ และจังหวัดกำแพงเพชร โดยมีจุดศึกษาย่อยดังนี้คือ MV1-MV4 ซึ่งในแต่ละจุดศึกษาย่อยได้เก็บตัวอย่างไม้สักเป็นจำนวนดังต่อไปนี้คือ MV1 จำนวน 10 ต้น 20 ตัวอย่าง, MV2 จำนวน 11 ต้น 23 ตัวอย่าง, MV3 จำนวน 10 ต้น 21ตัวอย่าง และ MV4 จำนวน 13 ต้น 26 ตัวอย่าง ส่วน

อุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้า จังหวัดกำแพงเพชรและจังหวัดตาก จุดศึกษาย่อยที่ทำการเก็บตัวอย่างคือ KL และ KL2 โดยเก็บตัวอย่างที่ KL จำนวน 15 ต้น 30 ตัวอย่าง และ KL2 จำนวน 7 ต้น 14 ตัวอย่าง จำนวนรวมทั้งหมด 66 ต้น 134 ตัวอย่าง

ในระหว่างวันที่ 24 กันยายน 2540 – 26 กันยายน 2540 เก็บข้อมูลในพื้นที่ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยมีจุดศึกษาย่อยดังนี้คือ Mae1 จำนวน 35 ต้น 70 ตัวอย่าง และ Mae2 จำนวน 38 ต้น 76 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 73 ต้น 146 ตัวอย่าง

ในระหว่างวันที่ 8 ธันวาคม – 12 ธันวาคม 2540 เก็บข้อมูลในพื้นที่สวนป่าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง จำนวน 17 ต้น 34 ตัวอย่าง สวนป่าแม่จาง 16 ต้น 32 ตัวอย่าง และ สวนป่าแม่มาย 17 ต้น 34 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 50 ต้น 100 ตัวอย่าง

จำนวนไม้สักของประเทศไทยที่นำมาศึกษาครั้งนี้เท่ากับ 183 ต้น 380 ตัวอย่าง

1.3.5.2 จำนวนตัวอย่างที่เก็บจากประเทศพม่า

ระหว่างวันที่ 25 กุมภาพันธ์ – 1 มีนาคม 2541 ทำการเก็บข้อมูลในประเทศพม่า

พื้นที่ศึกษาที่ Moswe Research Station ได้ให้ชื่อย่อยจุดเก็บตัวอย่าง 2 พื้นที่ คือ Y-Site และ Moswe-Site โดยที่จำนวนตัวอย่างเก็บที่ Y-Site เท่ากับ 12 ต้น 24 ตัวอย่าง และ Moswe-Site เท่ากับ 41 ต้น 82 ตัวอย่าง และระหว่างวันที่ 13 มีนาคม 2542 – 18 มีนาคม 2542 เก็บตัวอย่างไม้สักที่พื้นที่ศึกษา Palui Compartment โดยให้ชื่อย่อยจุดศึกษาดังนี้ PR จำนวนตัวอย่าง 4 ต้น 14 ตัวอย่าง PL จำนวนตัวอย่าง 4 ต้น 12 ตัวอย่าง พื้นที่ Ngelaik Compartment (NL) จำนวนตัวอย่าง 7 ต้น 21 ตัวอย่าง และ PA จำนวน 10 ต้น 30 ตัวอย่าง

พื้นที่ศึกษาที่ Seinye Research Station ได้ให้ชื่อย่อยจุดเก็บศึกษา คือ S1-Site, S2-Site, P1-Site, P2-Site และ P3-Site ซึ่งในแต่ละพื้นที่เก็บตัวอย่างมีจำนวนตัวอย่างดังนี้ S1-Site 15 ต้น 22 ตัวอย่าง S2-Site 9 ต้น 19 ตัวอย่าง P1-Site 6 ต้น 12 ตัวอย่าง P2-Site 24 ต้น 48 ตัวอย่าง P3-Site 22 ต้น 42 ตัวอย่าง

ระหว่างวันที่ 13 มีนาคม 2542 – 18 มีนาคม 2542

สำหรับอีก 1 พื้นที่ศึกษา คือที่ Pyinoolwin Reserve Forest ซึ่งเป็นบริเวณที่พบต้นสักของพม่าที่ใหญ่ที่สุดในโลกของพม่า ในพื้นที่ศึกษานี้ ได้ให้อักษรย่อคือ MA จำนวนตัวอย่าง 12 ต้น 36 ตัวอย่าง MB จำนวนตัวอย่าง 21 ต้น 73 ตัวอย่าง รวมจำนวนตัวอย่างไม้สักทั้งหมด 58 ต้น 186 ตัวอย่าง

จำนวนไม้สักจากพม่าที่นำมาศึกษาในครั้งนี้เท่ากับ 187 ต้น 445 ตัวอย่าง

2 วิธีการศึกษา

2.1 ความกว้างวงปีของไม้สัก

2.1.1 การเตรียมตัวอย่าง ตัวอย่างไม้สักที่เก็บมา ต้องนำมาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง และวางตัวอย่างลงบนแท่นรองรับที่มีขนาดพอเหมาะกับขนาดของตัวอย่าง (Supported Wood) โดยให้ด้านหน้าตัดขวาง (Cross-Section) ขึ้นข้างบน อาจจะสังเกตได้โดยหากยกตัวอย่างไม้ขึ้นมอง เส้นไม้จะอยู่ในแนวตั้งฉาก และหากมองจากด้านบน จะเห็นวงปีไม้ขวางกับแท่นที่วางในแนวตั้งฉาก ติดตัวอย่างไม้กับแท่นที่รองด้วยกาวธรรมชาติ หรือใช้กาวที่ทนความร้อนและไม่ละลายน้ำ ตัวอย่างไม้กับแท่นที่รองรับพันด้วยเทปกระดาษอีกครึ่งหนึ่งเพื่อให้กาวติดแน่น ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 2-3 วัน

ต่อจากนั้นจะนำตัวอย่างไม้สักไปต้มก่อนก็ได้ เพื่อให้ตัวอย่างนิ่มเพราะความร้อนจะไปละลายองค์ประกอบทางเคมี และองค์ประกอบทางกายภาพบางอย่างที่มีอยู่ในเนื้อไม้ ออกบ้าง ตัวอย่างที่ผ่านการต้ม จะทำให้ตัดผิวหน้าของตัวอย่างได้ง่าย แต่หากไม่ต้มตัวอย่างควรใช้มีดคมๆ เฉือนผิวหน้าของตัวอย่างออกเพื่อให้เห็นวงปีชัดเจนขึ้น หลังจากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการวัดและนับความกว้างวงปี

2.1.2 การวัดความกว้างวงปี อุปกรณ์ในการวัดและนับจำนวนวงปี (Velmex Co.) ซึ่งประกอบด้วย แท่นที่เลื่อนได้ (Moving Stage) ติดกับกล้องไมโครสโคป (Microscope) ซึ่งมีกำลังขยายอยู่ระหว่าง $4\times$ - $40\times$ และต่อโดยตรงเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อสะดวกในการเก็บบันทึกข้อมูล ซึ่งมีความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร

2.1.3 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลนั้น จะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ

การตรวจสอบความถูกต้องบนโต๊ะแสงและการตรวจสอบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Cofecha (Holmes 1983)

2.1.3.1 การตรวจสอบบนโต๊ะแสง: ข้อมูลจากการวัดความกว้างวงปีของแต่ละตัวอย่างจะพิมพ์ออกมาเป็นกราฟเส้น โดยแกน x เป็นปีและแกน y เป็นความกว้างวงปี นำกราฟเส้นของแต่ละตัวอย่างมาเทียบหาความเหมือนบนโต๊ะแสง โดยหลักการแล้วไม้สักที่มาจากแหล่งกำเนิดในพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมคล้ายคลึงกันหรือแหล่งเดียวกัน กราฟเส้นการเจริญเติบโตจะต้องมีรูปแบบที่เหมือนกัน ตรวจสอบลักษณะเช่นนี้ทุกตัวอย่าง หากตัวอย่างใดผิดปกติมากต้องกลับมาตรวจเช็คที่ตัวอย่างไม้ หากตรวจสอบเรียบร้อยแล้วว่ามีความเหมือนกันมากก็สามารถทำการตรวจสอบโดยโปรแกรมสำเร็จรูป Cofecha (Holmes 1983) ต่อไป

2.1.3.2 การตรวจสอบความถูกต้องด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Cofecha (Holmes 1983) หลักการทำงานของโปรแกรมจะนำข้อมูลที่มีอยู่ทั้งหมดไปสร้างกราฟเส้นจำลองขึ้นมาใหม่ แล้วนำกราฟจำลองเส้นนั้นเทียบเคียงค่าความเหมือนกันกับทุกๆ ตัวอย่าง และจะบอกค่าความสัมพันธ์ของแต่ละช่วงที่กำหนดให้มีการตรวจสอบ เช่น ทุกๆ 40 หรือ 50 ปี จนไปถึงสิ้นสุดความยาวของตัวอย่าง

2.1.4 การสร้างเส้นดัชนี (Chronology Index) ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ โปรแกรมสำเร็จรูป Arstan (Cook and Holmes 1986) ซึ่งประกอบไปด้วยการวิเคราะห์ข้อมูล 2 ขั้นตอน คือขั้นแรกเป็นการคำนวณสถิติความสัมพันธ์แบบ Linear Regression หรือ Negative Exponential ขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูล เพื่อที่จะปรับลดปัจจัยบางอย่าง เช่น อายุ ขั้นที่ 2 เป็นการวิเคราะห์ Spine Function ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ กำหนดค่าที่ 66 ซึ่งหมายความว่า กราฟเส้นที่สมการคำนวณขึ้นมาใหม่จะ Flexible กับข้อมูลดิบมากที่สุด และกราฟเส้นที่ได้ขึ้นมาใหม่นี้จะเก็บรายละเอียดของข้อมูลไว้ 50% เมื่อเสร็จสิ้นการคำนวณทั้ง 2 ขั้นตอนแล้ว ผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้ จะได้ กราฟเส้นของ Chronology ซึ่งเป็นตัวแทนความกว้างวงปีของแต่ละพื้นที่ ศึกษา ออกมา 3 เส้น คือ Arstan Chronology, Residual Chronology และ Standard Chronology ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ Residual chronology เพราะว่าเป็นการคำนวณที่ขจัดค่าความสัมพันธ์ในตัวเองออกไป (Removed Autocorrelation) ต่อจากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์ขั้นต่อไป

2.2 การตอบสนองความกว้างวงปีของไม้สักต่อสภาพภูมิอากาศ

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์อิทธิพลของสภาพภูมิอากาศกับความกว้างวงปีเพื่อต้องการศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิเดือนใด มีผลต่อการเจริญเติบโตของไม้สัก ได้ใช้โมเดลการเจริญเติบโต (Respon Function) ในการคำนวณ โดยที่ข้อมูลความกว้างวงปีเป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable) และข้อมูลปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิเป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ในการคำนวณตัวแปรตามจะจับกับตัวแปรอิสระในลักษณะ 1:1 โดยที่จำนวนเดือนที่ใช้ในการคำนวณสามารถเลือกได้มากที่สุด 17 เดือน คือเดือนของปีปัจจุบัน 12 เดือน และ เดือนของปีที่ผ่านมา 5 เดือน ในการเลือกเดือนที่จะนำมาคำนวณนั้น ควรศึกษาจากสภาพความเป็นจริงถึงฤดูกาลเจริญเติบโตของต้นไม้

หากต้องการใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของภาคหรือหลายๆสถานีดตรวจวัด ควรทำการตรวจสอบข้อมูลสภาพภูมิอากาศในแต่ละสถานีก่อนที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์โดยทำการทดสอบข้อมูลในแต่ละสถานีก่อนว่ามีความแตกต่างของข้อมูลหรือไม่ (Homogeneous Program) หากข้อมูลเหล่านั้นมีความคล้ายคลึงกัน ก็สามารถที่จะนำข้อมูลของแต่ละสถานีมารวมเป็นข้อมูลระดับภูมิภาคได้ (Regional Climate)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของวงปีกับภูมิอากาศ โดยใช้ปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือน และอุณหภูมิเฉลี่ยต่อเดือน ค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ค่าความสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation Analysis) และการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) ซึ่งจะบอกค่าน้ำหนักของเดือนที่มีผลต่อความกว้างวงปี

ในการวิเคราะห์อิทธิพลของสภาพภูมิอากาศต่อความกว้างวงปี จากจังหวัดแม่ฮ่องสอน ได้ใช้ข้อมูลน้ำฝนและอุณหภูมิจาก สถานีตรวจวัดน้ำฝนที่ อำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน

ส่วนในการวิเคราะห์อิทธิพลของสภาพภูมิอากาศกับความกว้างวงปีของไม้สักจากอุทยานแห่งชาติแม่วงก์และไม้สักจากอุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้า ได้ใช้ข้อมูลน้ำฝนและ

อุณหภูมิเฉลี่ย จากสถานีตรวจวัดน้ำฝน 3 สถานี คือ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์, อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร และ อำเภอเมือง จังหวัดตาก เนื่องจากพื้นที่ศึกษาครอบคลุมในพื้นที่หลายจังหวัด

ไม้สักจากประเทศพม่านั้นได้ทดสอบใช้ข้อมูลจากทั้ง สถานีรังกุ้งและมัทนะเลย์ รวมทั้งค่าเฉลี่ยจากสองสถานี

2.3 การพัฒนาตัวแปรทางกายวิภาคของดัชนีไม้สัก

นอกจากความกว้างวงปี (tree-ring width) แล้วองค์ประกอบในเนื้อไม้ก็เป็นตัวแปรที่ควรนำมาศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองต่อสภาพภูมิอากาศ

2.3.1 ตัวอย่างและวิธีการศึกษา

ไม้สักจำนวน 30 ต้น จากพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยเก็บตัวอย่างต้นละ 2 ตัวอย่าง ไม้สักที่เลือกเก็บตัวอย่างนั้นมีลักษณะภายนอกดี เปลาะตรงปราศจากการถูกทำลาย วัดความกว้างวงปีและวิเคราะห์ ทั้ง 30 ต้น จากจำนวนทั้งหมดนี้ ได้เลือกมา จำนวน 5 ต้น 10 ตัวอย่าง เพื่อที่จะนำมาศึกษาโดยใช้วิธีการสร้างรูปจำลอง (Image Analysis System) ต่อไป

2.3.2 การเตรียมตัวอย่าง ไม้สักที่นำมาเป็นตัวอย่างศึกษา ได้บรรจุลงบนแท่นรองตัวอย่างไม้ ติดด้วยกาวที่ไม่ละลายน้ำ นำตัวอย่างไม้สักนี้ต้มที่อุณหภูมิ 100 °C ประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อที่จะลดความแข็งของเนื้อไม้ ที่มีองค์ประกอบทางเคมีต่างๆอยู่ ตลอดจน การสะสมของ Silica ซึ่งตัวอย่างที่ผ่านการต้มแล้ว นำมาตัดผิวหน้าตัวอย่างด้วยมีดที่มีความคมมาก เพื่อจะได้ผิวหน้าที่กว้าง เพื่อง่ายต่อการศึกษาต่อไป เมื่อทั้งตัวอย่างจนแห้ง ไซซอร์ค ระบายให้เต็มผิวหน้าตัด เพื่อที่จะให้ ผงไซซอร์ค ลงไปอุดตามท่อลำเลียงน้ำ และโครงสร้างส่วนอื่นๆ

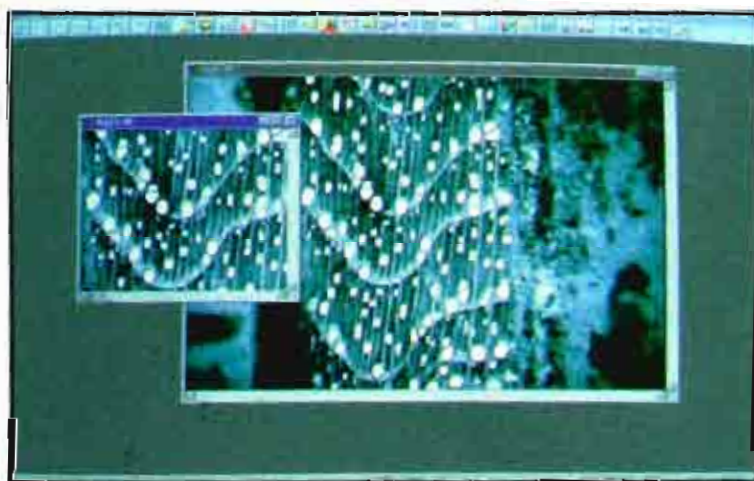
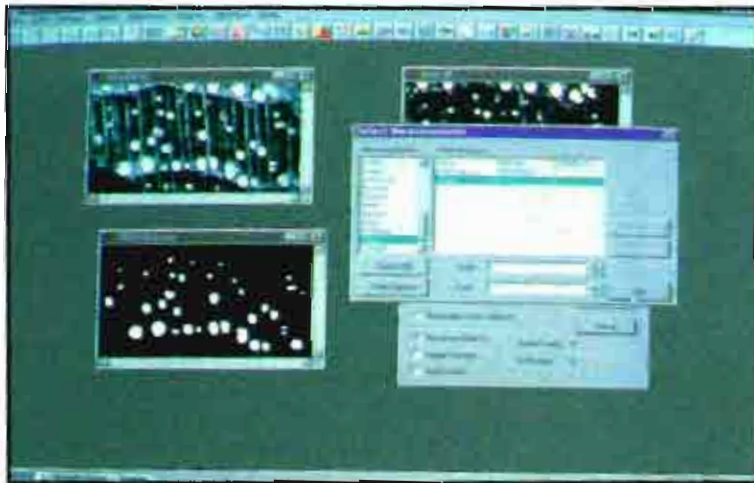
2.3.3 การวัดความกว้างวงปี โดยใช้เครื่องมือวัดความกว้างวงปีที่มีค่าความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร โดยเครื่องมือต่อกับกล้องสองตา และแท่นที่เคลื่อนไหวได้ (Velmex Co.) เครื่องมือนี้ ต่อโดยตรงกับเครื่องคอมพิวเตอร์ ในการพิมพ์กราฟข้อมูลได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป TSAP (Rinn 1989) เพื่อที่จะนำกราฟของแต่ละตัวอย่างทำการตรวจสอบความถูกต้องบนโต๊ะแสง ต่อจากนั้นทำการตรวจเช็คความถูกต้องของข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Cofecha (Holmes 1983) นำข้อมูลทั้งหมดที่ตรวจสอบความถูกต้องแล้ว คำนวณ Negative Exponential หรือ Straight Line และ ขั้นที่ 2 คือการคำนวณ Cubic Spline (50% response period = 66 ปี) การคำนวณ Autoregressive Modeling เพื่อที่จะสร้างเส้นดัชนี และผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้คือ Residual Chronology ซึ่งเป็นดัชนีตัวแทนความกว้างของวงปีและอายุของไม้สัก ในพื้นที่ศึกษา นั้นๆ (Cook 1985)

2.3.4 เทคนิครูปจำลอง (Image Analysis System) โดยใช้โปรแกรม Image-Pro Plus, Media Cybernetic L.P. 1994) นำมาประยุกต์ใช้ เพื่อการศึกษาตัวแปรทางกายวิภาคของไม้สัก ซึ่งระบบประกอบด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์ IBM กล้อง VDO และกล้องไมโครสโคปที่มีกำลังขยายสูง

วางตัวอย่างไม้สักลงบนแท่นที่วางได้กล้องไมโครสโคปและได้รับแสงจากไฟวงกลมที่ติดอยู่ใต้กล้องไมโครสโคป เพื่อให้เกิดภาพที่มีความชัดเจน ค่าความแตกต่างของสีเทามีค่าระหว่าง 0-255

เครื่อง Digitizer ของกล้อง VDO จะเปลี่ยนสัญญาณภาพแบบ Analog ไปสู่ Digital เลือกระดับความแตกต่างของโทนสีเทาที่สูงและต่ำที่สุด (Threshold) เพื่อที่จะทำให้วัตถุ (Objective) ในการศึกษาครั้งนี้คือ ท่อลำเลียงน้ำ (Vessel) มีความแตกต่างอย่างเด่นชัดจากภาพพื้น (background) ในการศึกษาครั้งนี้ภาพพื้นที่ไม่ต้องการคือ เซลพาเรนโคมา ไฟเบอร์ โดยการตั้ง threshold ที่ 130 และ 255 ทั้ง 2 ช่วงนี้ พบว่าให้ความแตกต่างระหว่างวัตถุกับภาพพื้นชัดเจนดีที่สุด ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Paintshop 4.1 ในการช่วยขจัดสิ่งที่ไม่ต้องการที่ยังคงปรากฏอยู่บนภาพให้หมดไป

2.3.5 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แบ่งพื้นที่ศึกษาในแต่ละวงปีออกเป็น บริเวณไม้ต้นฤดู (Earlywood) ไม้ปลายฤดู (Latewood) ความกว้างทั้งวงปี (ring width) ซึ่งตัวแปรในแต่ละพื้นที่ คือ ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ท่อลำเลียงน้ำ (Average Vessel Area) ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อลำเลียงน้ำ (Average Vessel Diameter) ค่าเฉลี่ยของศักย์ในการนำน้ำของท่อลำเลียงน้ำ (Conductive Area) และความหนาแน่นของท่อลำเลียงน้ำ (Density) โดยที่ความสามารถของท่อลำเลียงน้ำ (Conductive Area) คำนวณจาก เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อลำเลียงน้ำยกกำลัง 4 ความหนาแน่นคำนวณจาก จำนวนของท่อลำเลียงน้ำต่อหน่วยพื้นที่ การศึกษาปัจจัยทางกายวิภาค ทำการศึกษาในช่วง 50 ปี คือตั้งแต่ พ.ศ. 2490-2540 ในการสร้าง เส้นดัชนีของแต่ละตัวแปรที่ศึกษา ใช้วิธีการเดียวกับการสร้างเส้นดัชนีของความกว้างวงปีดังที่กล่าวไว้ข้างต้น รูปที่ 12 แสดงชุดอุปกรณ์ Image Analysis ตัวอย่างภาพที่ปรากฏหน้าจอ



รูปที่ 12 แสดงชุดอุปกรณ์ Image Analysis System และการทำงานบนหน้าจอ

2.4 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเจริญเติบโตอย่างฉับพลันของไม้สัก

ตัวอย่างไม้สักที่นำมาศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเจริญเติบโตอย่างฉับพลันนั้น ได้เลือกมาจากอุทยานแห่งชาติแม่วงก์ (MV1-MV4) จำนวน 44 ต้น และอุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้าจำนวน 15 ต้น (KL) รวมจำนวนทั้งหมด 60 ต้น ซึ่งเก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 7 - 12 กันยายน พ.ศ. 2540 และจากเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน (Mae1 และ Mae2) จำนวน 73 ต้น ซึ่งเก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 24 - 26 กันยายน พ.ศ. 2540 ตัวอย่างไม้สักเก็บที่ตำแหน่งความสูงประมาณ 1.30 เมตร ในการศึกษาครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้ ปีดัชนี (Pointer Year) ซึ่ง Schweigruher (1983) ได้ให้นิยามของปีดัชนีว่า เป็นปีที่ความกว้างวงปีผิดปกติอย่างฉับพลันไปจากความกว้างวงปีของปีที่ผ่านมา โดยที่อย่างน้อยต้องมี 3 วงปีที่ต่อเนื่องกัน ซึ่งเรียกการเจริญเติบโตผิดปกติอย่างฉับพลัน (Abrupt Year) Schweigruher (1990) ย้ำว่า การเจริญเติบโตที่ผิดปกติโดยฉับพลันนั้น จะสะท้อนให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศ ซึ่งกระทบกระเทือนต่อการเริ่มสร้างวงปีใหม่ ในการศึกษานี้ได้แบ่งการเจริญเติบโตที่ลดลงอย่างฉับพลัน 3 ระดับคือ i) ลดลงอย่างรวดเร็วมาก วงปีแคบต่อเนื่องกัน (การสูญเสียมากกว่า 70%) ii) ลดลงต่อเนื่องกัน (การสูญเสียประมาณ 56-70%) และ iii) มีการลดลง (การสูญเสียประมาณ 40-55%) และการคืนกลับสภาพสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระดับด้วยกัน i) ทดแทนอย่างชัดเจน (ทดแทน 30 -100 %) ii) มีการทดแทนอย่างชัดเจน (100-200 %) iii) มีการทดแทนอย่างชัดเจนมาก (มากกว่า 200%)

2.4.1 การวิเคราะห์การเจริญเติบโตด้านรัศมี

โดยการใช้ไม้บรรทัดวัดขนาดรัศมีของความกว้างตัวอย่างไม้สักที่เก็บมาตั้งแต่ด้านนอกสุดคือเปลือก จนถึงบริเวณกึ่งกลางไม้คือ pith ต่อจากนั้นมาคำนวณหาความกว้างของเส้นรอบวงโดยใช้สูตร $2\pi r$ แล้วจึงนำมาจัดทำกราฟแท่ง ระหว่างความยาวของเส้นรอบวงกับชั้นอายุ

2.4.2 การทดแทนตามธรรมชาติ

การทดแทนตามธรรมชาติของไม้สักจากต้นแม่ที่เหลืออยู่ในพื้นที่ที่ใช้วิธีการเลือกทำไม้แบบเลือกตัดในสมัยการทำไม้ออก ถ้าไม้สักจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วมาก มีความทนทานต่อไฟ และสามารถโตขึ้นมาเป็นไม้เด่นในสังคมหมูไม้้นั้นได้ ในป่าเบญจพรรณแล้ง ไฟป่าจัดว่าเป็นเรื่องปกติที่จะเกิดขึ้นทุกปี ถึงอย่างไรถ้าไม้สักก็มีความทนทานต่อไฟป่า และเจริญเติบโตต่อไป ซึ่งเป็นปัจจัยสนับสนุนอย่างหนึ่งที่ทำให้ต้นไม้ในป่านั้นมีโครงสร้างทางอายุที่แตกต่างกัน หรือเรียกว่า Uneven Age Stand ไม้สักจัดเป็นไม้ที่ต้องการแสงมาก ส่วนเรือนยอดต้องการแสงเต็มที่ และโดยมากจะเป็นไม้เด่นในพื้นที่ ในการศึกษาครั้งนี้ หลังจากที่ทำกราฟตรวจวัดความกว้างวงปีและนับจำนวนเรียบร้อยแล้ว นำชั้นอายุมาจัดช่วง (Age Distribution Classification) แล้วนำเสนอในรูปกราฟแท่งระหว่างชั้นอายุ กับขนาดของเส้นรอบวงต่อไป

2.5 การใช้ความกว้างวงปีไม้สักในการติดตามก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โรงไฟฟ้าแม่ เมาะ จังหวัดลำปาง

ในการศึกษาและวิเคราะห์ความกว้างวงปีของไม้สักเพื่อต้องการศึกษาผลกระทบจากปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตของไม้สัก ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย

2.5.1 ข้อมูลปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจากกรมควบคุมมลพิษ และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จังหวัดลำปาง ได้แก่

- สถานีสบเมาะ อยู่ห่างจากสวนป่าแม่จางเป็นระยะทางประมาณ 2 กิโลเมตร
- สถานีบ้านท่าสี่ อยู่ห่างจากสวนป่าแม่เมาะเป็นระยะทางประมาณ 3 กิโลเมตร

พื้นที่สวนป่าแม่เมาะ สวนป่าแม่จาง และสวนป่าแม่มาย มีระยะทางห่างจากโรงไฟฟ้าประมาณ 17, 2 และ 23 กิโลเมตร ตามลำดับ โดยที่สวนป่าทั้ง 3 นี้ จะมีการปลูกสักทุกๆปี ซึ่งสวนป่าแม่เมาะและสวนป่าแม่จาง เริ่มมีการปลูกสักตั้งแต่ปี พ.ศ. 2511 โดยจะแบ่งเป็นแปลงปลูกของแต่ละปี ในการเก็บตัวอย่างจึงเลือกเก็บตัวอย่างไม้สักที่ปลูกในปี พ.ศ. 2511 ทั้ง 3 พื้นที่สวนป่าที่ศึกษา เพื่อที่จะทำการบันทึกข้อมูลของการเจริญเติบโตที่ยาวที่สุด

2.5.2 จำนวนตัวอย่างที่นำมาศึกษาในครั้งนี้ ได้เลือกเก็บไม้สักจากสวนป่าทั้งแปลงตัวอย่าง จำนวนแปลงละ 16 ต้น ต้นละ 2 ตัวอย่าง รวมจำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 96 ตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่าง นำตัวอย่างไม้สักที่เก็บมาแล้ว มาฝั่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำตัวอย่างไม้สักวางลงบนแท่นรองไม้ โดยให้หันด้านหน้าตัด (Cross-Section) ขึ้นมาด้านบน เพื่อให้เห็นวงปีอย่างชัดเจน ทำการยึดไม้สักกับแท่นไม้ด้วยกาว และเทปกระดาษ ฝั่งให้แห้ง ใช้มิดที่คมเฉือนผิวหน้าตัวอย่างเพื่อให้ได้ผิวหน้าที่กว้าง สำหรับทำการศึกษาต่อไป

2.5.3 การวัดความกว้างวงปีและการสร้างเส้นดัชนี เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความกว้างวงปีและนับจำนวนได้แก่ เครื่องมือวัดสำเร็จรูป (Velmex Co.) อุปกรณ์ประกอบด้วยกล้องไมโครสโคป (Microscope) แท่นที่เคลื่อนไหวได้ (moving stage) ต่อตรงกับเครื่องมือวัดที่ติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการเก็บบันทึกข้อมูล ความละเอียดในการวัดความกว้างวงปีเท่ากับ 0.01 มิลลิเมตร

2.5.4 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล หลังจากทำการวัดข้อมูลเสร็จ ทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลให้มาอยู่ในรูปฐานข้อมูล ระหว่างปี กับ ความกว้างวงปี และ จัดพิมพ์กราฟความกว้างวงปีด้วย โปรแกรม Excel นำกราฟของแต่ละตัวอย่างมาตรวจสอบความถูกต้องบนโต๊ะแสง ต่อจากนั้นนำข้อมูลมาทดสอบความน่าเชื่อถืออีกครั้งด้วยโปรแกรม Cofecha (Holmes 1983)

2.5.5 การสร้างเส้นดัชนีของไม้สัก โปรแกรมที่นำมาใช้ในการสร้างเส้นดัชนีของไม้สักคือ Arstan (Cook 1985) ซึ่งประกอบด้วยการคำนวณสถิติ Negative Exponential หรือ Linear Regression ขั้นที่ 2 จะคำนวณ Spline Function (50% Response Period = 66 ปี)

และ Autoregressive Modeling เพื่อที่จะลดความสัมพันธ์ในตัวเอง ผลลัพธ์ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ต่อไปคือ Residual Chronology

2.5.6 การเปรียบเทียบความกว้างวงปีกับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

นำกราฟ Chronology Index มาทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับข้อมูลปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยเลือกเปรียบเทียบกับสถานีตรวจวัดที่อยู่ใกล้พื้นที่ศึกษามากที่สุด

2.6 ตัวแปรทางกายวิภาคของไม้สักกับการสร้างเส้นภูมิอากาศ

จากผลการศึกษาในเรื่อง การพัฒนาตัวแปรทางกายวิภาคของดัชนีไม้สัก (หัวข้อที่ 2.3) โดยได้ศึกษาตัวแปรทางกายวิภาค 12 ตัวแปร และ ตัวแปรความกว้างวงปี ซึ่งได้นำผลการศึกษานั้นมาวิเคราะห์เพื่อสร้างเส้นภูมิอากาศต่อไป

2.6.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

ปัจจัยทางกายวิภาค 12 ปัจจัย (V1-V12) และความกว้างวงปี (V13) ได้แก่

ตารางที่ 2 ปัจจัยทางกายวิภาคและความหมาย

Variable	Meaning
V1	EWAREA (Earlywood vessel area) พื้นที่เฉลี่ยของท่อลำเลียงน้ำในไม้ต้นฤดู
V2	EWD4 (Conductive area) ค่าเฉลี่ยของศักย์ในการลำเลียงน้ำในไม้ต้นฤดู
V3	EWDD (Earlywood vessel density) ความหนาแน่นท่อลำเลียงน้ำ
V4	EW DIA (Earlywood vessel diameter) ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อลำเลียงน้ำ
V5	LWAREA (Latewood vessel area) ค่าเฉลี่ยของท่อลำเลียงน้ำในไม้ปลายฤดู
V6	LWD4 (Conductive area) ค่าเฉลี่ยของศักย์ในการลำเลียงน้ำของไม้ปลายฤดู
V7	LWDD (Latewood vessel density) ความหนาแน่นของท่อลำเลียงน้ำในไม้ปลายฤดู

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Variable	Meaning
V8	LWDIA (Latewood vessel diameter) ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางในไม้ปลายฤดู
V9	TWAREA (Total ring vessel area) ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ท่อลำเลียงน้ำทั้งความกว้างวงปี
V10	TWD4 (Conductive area) ค่าเฉลี่ยของศักย์ในการลำเลียงน้ำของไม้ใน 1 วงปี
V11	TWDD (Total ring vessel density) ความหนาแน่นของท่อลำเลียงน้ำใน 1 วงปี
V12	TWDIA (Total ring vessel diameter) ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อลำเลียงน้ำใน 1 วง
V13	RW (ring-width) ความกว้างวงปี

ตัวแปรเหล่านี้ได้มาจาก ต้นสักจากเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน จำนวน 5 ต้น ต้นละ 2 ตัวอย่าง ซึ่งได้ทำการศึกษาจำนวน 50 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2490 – 2539 (ค.ศ. 1947-1996) โดยประยุกต์ใช้ Image Analysis System (Image-Pro Plus, Media Cybernetic L.P. 1994) ในการสร้างเส้นดัชนีนั้น ข้อมูลเหล่านี้ได้ผ่านกระบวนการต่างๆดังนี้ การคำนวณความสัมพันธ์แบบ Negative Exponential หรือ Straight Line และ การคำนวณในลำดับที่สองคือ Cubic Spline (50 % response period=66 year) และสุดท้าย An autoregressive Modeling chronology (Cook 1985) เพื่อที่จะได้ดัชนีของแต่ละตัวแปร

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนได้มาจากสถานีตรวจวัดที่ อำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน บริเวณที่ตั้งสถานีมีความสูงจากระดับน้ำทะเล 271.68 ม ซึ่งต่ำกว่า พื้นที่ที่เก็บข้อมูลซึ่งอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเล 600-700 ม และอยู่ห่างจากพื้นที่ศึกษาประมาณ 60 กิโลเมตร

จากผลการศึกษาหัวข้อ 2.3 พบว่าปริมาณน้ำฝนเดือนเมษายนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ EWAREA (V1), EWDIA (V4) และ EWD4 (V2), TWAREA (V9), TWDIA (V12), TWD4 (V10) ตามลำดับ ขณะที่ ปริมาณน้ำฝนของเดือนพฤษภาคมในปีปัจจุบันมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ EWAREA (V1), EWDIA (V4), LWD4 (V6) และ เชิงลบกับ LWDD (V7), TWDD (V11) อุณหภูมิของเดือนเมษายนในปีปัจจุบันมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ LWDD (V7), TWAREA (V9), TWDIA (V12), TWD4 (V10) และ TWDD (V11) เช่นเดียวกับอุณหภูมิของเดือนพฤษภาคมซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ LWDD(V7), TWAREA(V9), TWD4(V10) ในทางตรงกันข้ามอุณหภูมิในเดือนมิถุนายนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ LWAREA (V5), LWDIA(V8), LWD4 (V6) (Pumijumnong and Park 1999)

2.6.2 วิธีการศึกษา

จากผลการศึกษาที่ได้แสดงไว้ข้างต้นนี้ ในการศึกษครั้งนี้ได้ใช้ Residual Chronology จาก 13 ตัวแปรทางกายวิภาคของไม้สักมาทำการ Calibration และ Verification อุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน. ในการวิเคราะห์ได้ใช้ สหสัมพันธ์ถดถอยพหุคูณ (Multiple regression) โดยใช้ SAS program ในการคำนวณ และ ค่าความสัมพันธ์อย่างง่าย (Pearson correlation) ระหว่าง 13 ตัวแปรที่เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variables) และ อุณหภูมิซึ่งเป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variables) ในปีต่างๆกันคือ $year_0$, $year_{1-1}$, $year_{1-1}$ and $year_{1-2}$ ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญเท่านั้นที่จะได้รับการคัดเลือกเพื่อทำการศึกษาต่อไป

2.7 เครือข่ายวงปีไม้สักและการสร้างเส้นภูมิอากาศ

ในการศึกษาการสร้างเส้นภูมิอากาศจากวงปีไม้สักนั้นได้ใช้ดัชนีไม้สักที่ Pumijumnong (1995) ได้ทำการศึกษาไว้ จำนวนทั้งสิ้น 26 เส้นดัชนี ซึ่งได้รับการคัดเลือกมาใช้ในการศึกษครั้งนี้จำนวน 19 เส้นดัชนี และได้เพิ่มข้อมูลดัชนีไม้สัก จากเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย จำนวน 2 เส้นดัชนี ปัจจัยที่ใช้ในการเลือกว่าเส้นดัชนีใดจะถูกนำมาใช้ในการศึกษาสภาพภูมิอากาศคือ เส้นดัชนีนั้นต้องมีความยาวอย่างน้อย 120 ปี (ค.ศ. 1870) ในการศึกษาได้แยกการศึกษาระหว่างการสร้างเส้นน้ำฝน และการสร้างเส้นอุณหภูมิ เนื่องมาจากค่าความสัมพันธ์ที่มีค่าเชื่อถือได้ทางสถิติของปัจจัยทั้งสองมีความแตกต่างกัน ดัชนีไม้สักที่นำมาศึกษาได้แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายชื่อเส้นดัชนีไม้สักที่นำมาใช้ในการสร้างเส้นน้ำฝน (Nr.1-21) ระหว่าง 1870-1991 และ (Nr.1-9) และ การสร้างเส้นอุณหภูมิ (1850-1990)

NR.	NAME	BEGIN	END	YEARS
1	แม่ตื่น (MTURES)	1684	1991	308
2	แจ้ห่ม (CHARES)	1803	1991	189
3	แม่ยมฝั่งขวา (RECRES)	1812	1991	180
4	บ้านห้วยไผ่ (BANRES)	1826	1991	166
5	ถ้ำผาไทย (THARES)	1828	1991	164
6	ห้วยห้วยลัวะ (HEULOE)	1837	1991	155
7	ห้วยไผ่ (BHPRES)	1841	1991	151
8	ก้อหลวง 3 (NPKL3R)	1848	1991	144

ตารางที่ 3 (ต่อ)

NR.	NAME	BEGIN	END	YEARS
9	ก่อหลวง 1 (NPKL1R)	1850	1991	142
10	แพร่ 1 (PH1RES)	1851	1991	141
11	กะเนจื่อ 3 (KA3RES)	1854	1991	138
12	ผาอิง 2 (PI2RES)	1856	1991	136
13	แม่กองมูล (MGMRES)	1856	1991	136
14	แพร่ 4 (PH4RES)	1860	1991	132
15	แพร่ 3 (PH3RES)	1861	1991	131
16	ก่อหลวง 2 (NPKL2R)	1866	1991	126
17	กะเนจื่อ 2 (KA2RES)	1868	1991	124
18	ผาอิง 1 (PI1RES)	1870	1991	122
19	แม่วังก์ 1 (MWMV1R)	1868	1996	129
20	แม่วังก์ 2 (MW2R)	1856	1996	141
21	แม่ฮ่องสอน 1 (MAE1R)	1743	1996	254

3. ผลการศึกษา

3.1 ความกว้างวงปีของไม้สักและค่าสถิติที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาและวิเคราะห์ความกว้างวงปีของไม้สักในประเทศไทยจากอุทยานแห่งชาติแม่วงก์ อุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้า เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย สวนป่าแม่เมาะ สวนป่าแม่มาย และสวนป่าแม่จาง และประเทศพม่าจาก Moswe Reseacher Station, Seingye Research Station และ Pyinoolwin Forest Reserve สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้คือ

3.1.1 อุทยานแห่งชาติแม่วงก์

จำนวนตัวอย่างไม้ที่ใช้ในการศึกษาในพื้นที่อุทยานแม่วงก์ทั้งสิ้นรวม 44 ต้น เป็นตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ต่อไปได้ 89 ตัวอย่าง มาจาก 4 พื้นที่ศึกษา คือ MV1, MV2, MV3 และ MV4 แสดงในตารางที่ 4

พื้นที่ศึกษา MV1 ประกอบด้วยจำนวนตัวอย่าง 10 ต้น 20 ตัวอย่าง หลังจากการวัดความกว้างวงปี ตรวจสอบความถูกต้องบนโต๊ะแสง และตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Cofecha (Holmes 1983) พบว่าไม้สักทั้งหมดมีความคล้ายคลึงกันมาก โดยปีที่เริ่มต้น พ.ศ. 2441 และสิ้นสุดที่ปี พ.ศ. 2539 (ค.ศ. 1898-1996) ช่วงอายุ 99 ปี ซึ่งน้อยกว่าทุกๆ พื้นที่ศึกษา ความกว้างของวงปีเฉลี่ย 3.36 มิลลิเมตร มีค่ามากกว่าทุกพื้นที่ศึกษาในอุทยานแห่งชาติแม่วงก์ เนื่องจากไม้ที่อายุน้อยจะมีขนาดความกว้างของวงปีมาก ค่า Standard deviation เท่ากับ 2.356 โดยมีค่า Autocorrelation ซึ่งหมายถึงความสัมพันธ์ระหว่างวงปี ปีปัจจุบันกับปีที่ผ่านมา มีค่าเท่ากับ .457 และค่า mean sensitivity ซึ่งหมายถึงความอ่อนไหวของความกว้างวงปีต่อปัจจัยภายนอก เท่ากับ .511

พื้นที่ศึกษา MV2 ประกอบด้วยจำนวนตัวอย่าง 11 ต้น 23 ตัวอย่าง และทั้ง 23 ตัวอย่างสามารถนำไปวิเคราะห์ในการศึกษาต่อไป ปีที่เริ่มต้นของ MV2 คือ พ.ศ. 2398-2539 (ค.ศ.1855-1996) ช่วงอายุ 142 ปี ความกว้างวงปีเฉลี่ย เท่ากับ 2.62 ค่า Standard deviation เท่ากับ 1.834 ค่า Autocorrelation ค่อนข้างต่ำคือ .369 และค่า Mean sensitivity ค่อนข้างสูง เท่ากับ .558

พื้นที่ศึกษา MV3 ตัวอย่างที่เก็บมาทำการศึกษาทั้งหมด 10 ต้น 21 ตัวอย่าง หลังจากทำการวัดและตรวจสอบความถูกต้อง สามารถใช้ตัวอย่างที่เก็บมาทั้งหมดเพื่อการวิเคราะห์ขั้นต่อไป โดยที่มีปีเริ่มต้นที่ พ.ศ. 2417 – 2539 (ค.ศ.1874-1996) ช่วงอายุ 123 ปี ค่าเฉลี่ยความกว้างวงปีเท่ากับ 2.95 ค่า Standard deviation เท่ากับ 2.095 ค่า Autocorrelation และ Mean sensitivity มีค่าใกล้เคียงกันคือ .450 และ .553 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 แสดงจำนวนตัวอย่างไม้ที่ทำการศึกษาและค่าสถิติเบื้องต้น

จังหวัด	พื้นที่ ศึกษา	จำนวน ตัวอย่าง (ต้น)	จำนวน ตัวอย่าง (core)	จำนวน ตัวอย่างที่ ใช้ได้จริง (core)	ปีเริ่มต้น และปีสิ้นสุด	ช่วง อายุ	ความกว้าง วงปีเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	Standard deviation	auto- correla- tion	Mean sensiti- vity
กำแพงเพชร-นครสวรรค์	MV1	10	20	20	1898- 1996	99	3.36	2.356	.457	.511
	MV2	11	23	23	1855- 1996	142	2.62	1.834	.369	.558
	MV3	10	21	21	1874- 1996	123	2.95	2.095	.450	.553
	MV4	13	26	25	1867- 1996	130	2.75	2.118	.54	.498
ตาก-กำแพงเพชร	KL	15	30	26	1880- 1996	177	3.07	2.113	.669	.402
	KL2(TV)	7	14	12	1914- 1996	83	4.94	2.634	.500	.412
แม่ฮ่องสอน	MAE1	35	70	64	1742- 1996	255	2.91	1.606	.668	.339
	MAE2	38	76	67	1893- 1996	105	2.92	1.633	.716	.311

ตารางที่ 4 (ต่อ)

จังหวัด	พื้นที่ ศึกษา	จำนวน ตัวอย่าง (ต้น)	จำนวน ตัวอย่าง (core)	จำนวน ตัวอย่างที่ ใช้ได้จริง (core)	ปีเริ่มต้น และ ปีสิ้นสุด	ช่วง อายุ	ความกว้าง วงปีเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	Standard deviation	auto- correla- tion	Mean sensiti- vity
ลำปาง	สวนป่า แม่เกาะ (MM)	17	34	30	1970- 1998	29	3.53	1.774	.255	0.485
	สวนป่า แม่จาง (MJ)	16	32	26	1973- 1998	26	3.96	2.534	-0.008	0.718
	สวนป่า แม่มาย (MY)	17	34	34	1972- 1998	27	3.78	2.243	.397	0.491
Puinmana (Moeswe Forest Reserve)	Y-Site	12	24	21	1799- 1997	199	1.91	1.700	.732	.426
	Moeswe- Site	41	82	80	1750- 1997	248	1.78	1.631	.732	.429
Pagoyoma (Salnye Forest Reserve)	S1-Site	15	30	22	1884- 1997	114	3.15	2.151	.713	.377
	S2-Site	9	19	19	1845- 1997	153	2.66	1.862	.720	.369
	P1-Site	6	12	12	1900- 1997	87	.405	2.398	.728	.412

ตารางที่ 4 (ต่อ)

จังหวัด	พื้นที่ ศึกษา	จำนวน ตัวอย่าง (ต้น)	จำนวน ตัวอย่าง (core)	จำนวน ตัวอย่างที่ ใช้ได้จริง (core)	ปีเริ่มต้น และปีสิ้นสุด	ช่วง อายุ	ความกว้าง วงปีเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	Standard deviation	auto- correla- tion	Mean sensiti- vity
Pagayoma (Seiyya Forest reserve)	P2-Site	24	48	35	1821- 1997	177	1.89	1.584	.745	387
	P3-Site	22	44	42	1901- 1997	97	2.50	2.320	.755	418
Pynmana (Mosses Research Station)	PR	4	14	6	1785- 1997	213	1.44	1.611	.714	.421
	PL	4	12	16	1790- 1997	206	1.54	1.398	.655	455
	NL	7	21	18	1844- 1997	163	2.10	1.771	.674	.411
	PA	10	30	30	1834- 1997	164	1.70	1.340	.625	.440
Pynoolwin Forest Reserve	MA	12	36	33	1863- 1998	136	1.77	1.345	.543	482
	MB	21	73	73	1834- 1998	165	2.08	1.531	.487	499

พื้นที่ศึกษา MV4 ตัวอย่างที่เก็บมาเพื่อการศึกษาในครั้งนี้ จำนวน 13 ต้น 26 ตัวอย่าง สามารถที่จะนำมาวิเคราะห์ในการศึกษาต่อไปได้ 25 ตัวอย่าง โดยมีปีเริ่มต้นที่ พ.ศ. 2410-2539 (ค.ศ. 1867-1996) ช่วงอายุ 130 ปี ค่าเฉลี่ยความกว้างวงปีเท่ากับ 2.75 ค่า Standard deviation เท่ากับ 2.118 และมีค่า Autocorrelation สูงกว่าค่า Mean sensitivity คือ .54 และ .498 ตามลำดับ

จากตัวอย่างทั้ง 4 พื้นที่นี้ จะเห็นได้ว่า ข้อมูลไม้สักที่มีช่วงอายุมาก (MV2) ค่าเฉลี่ยความกว้างวงปีจะน้อยกว่าพื้นที่อื่นที่ไม้สักรยังมียาญน้อย สำหรับค่า autocorrelation และค่า mean sensitivity มีค่าใกล้เคียงกัน

3.1.2 อุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้า

พื้นที่ศึกษาในเขตอุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้าประกอบด้วย 2 พื้นที่ศึกษา คือบริเวณอุทยานแห่งชาติ (KL2) และบริเวณทางไปเขาท่าวังก์ (KL) ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้คือ

พื้นที่ศึกษาทางไปเขาวังกระสัง (KL) ซึ่งเป็นแหล่งไม้สักที่สำคัญของจังหวัดกำแพงเพชร ตัวอย่างที่เก็บมาทั้งหมด 15 ต้น 30 ตัวอย่าง สามารถนำมาวิเคราะห์ขั้นต่อไปได้ 26 ตัวอย่าง ปีที่เริ่มต้นได้แก่ ปี พ.ศ. 2442 – 2539 (ค.ศ. 1880-1996) ช่วงอายุ 177 ปี ค่าเฉลี่ยความกว้างวงปีเท่ากับ 3.07 มิลลิเมตร ค่า Standard deviation เท่ากับ 2.113 ค่า Autocorrelation ค่อนข้างสูงคือ .669 ค่า Mean sensitivity เท่ากับ .402

พื้นที่ศึกษา KL2 ซึ่งใกล้กับที่ตั้งที่ทำการอุทยานแห่งชาติ เก็บตัวอย่างทั้งหมด 7 ต้น 14 ตัวอย่าง สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ต่อไปได้ 12 ตัวอย่าง โดยมีปีเริ่มต้นที่ พ.ศ. 2457 – 2539 (ค.ศ. 1914-1996) ช่วงอายุ 83 ปี ค่าเฉลี่ยความกว้างวงปีค่อนข้างมาก เท่ากับ 4.94 มิลลิเมตร เนื่องจากพื้นที่ค่อนข้างราบ เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ทำให้มีความกว้างวงปีค่อนข้างมาก ค่า Standard deviation เท่ากับ 2.634 มีค่า Autocorrelation สูงกว่า Mean sensitivity คือ .500 และ .412 ตามลำดับ

3.1.3 เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย

พื้นที่ศึกษาในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน ประกอบด้วย 2 พื้นที่ศึกษา คือ MAE1 และ MAE2 พื้นที่ทั้งสองเป็นเขาค่อนข้างสูงชัน บริเวณนี้พบว่าไม้สักขึ้นบริเวณด้านล่างจนถึงกึ่งกลางเขา ส่วนบริเวณต่อไป จนถึงยอดเขาจะพบว่าเป็นสังคมพืชป่าสนปะปนกับป่าเต็งรัง

พื้นที่ศึกษา MAE1 จำนวนตัวอย่างที่เก็บมาทั้งหมด 35 ต้น 70 ตัวอย่าง สามารถนำมาวิเคราะห์ขั้นต่อไปได้ 64 ตัวอย่าง ปีที่เริ่มต้นได้แก่ พ.ศ. 2285 – 2539 (ค.ศ. 1742-1996) ซึ่ง

เป็นพื้นที่ตัวอย่างที่มีไม้สักอายุมากที่สุดในครั้งนี้คือ 255 ปี โดยมีค่าความกว้างวงปีเฉลี่ย 2.91 มิลลิเมตร ค่า Standard deviation เท่ากับ 1.606 มีค่า Autocorrelation สูง เท่ากับ 0.668 และค่า Mean sensitivity ต่ำ เท่ากับ .339

พื้นที่ศึกษา MAE2 จำนวนตัวอย่างที่นำมาศึกษา 38 ต้น 76 ตัวอย่าง สามารถที่จะนำมาวิเคราะห์ต่อไป 67 ตัวอย่าง ปีที่เริ่มต้น พ.ศ. 2436-2539 (ค.ศ. 1893-1996) ช่วงอายุ 105 ปี ค่าเฉลี่ยความกว้างวงปี เท่ากับ 2.92 มิลลิเมตรค่า Standard deviation 1.63 ค่า Autocorrelation สูงเช่นเดียวกับ พื้นที่ศึกษา MAE1 คือ .716 ส่วนค่า Mean sensitivity เท่ากับ .311

3.1.4 ไม้สักจากสวนป่าแม่เมาะ แม่จาง แม่มาย

จากการศึกษาและวิเคราะห์ความกว้างวงปีของไม้สักที่เก็บจากพื้นที่ศึกษาสวนป่าแม่เมาะ แม่มาย และแม่จาง ปีปลูก พ.ศ. 2511 เพื่อศึกษารูปแบบการเจริญเติบโตของไม้สัก ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตกับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ และความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตกับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

สวนป่าแม่เมาะ (MM) จากตารางที่ 4 ได้ทำการเก็บตัวอย่างไม้สักที่สวนป่าแม่เมาะ จำนวน 17 ต้น ต้นละ 2 ตัวอย่างรวม 34 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษา 30 ตัวอย่าง โดยปีที่เริ่มปลูกคือปี พ.ศ. 2511 (จากการสัมภาษณ์หัวหน้าสวนป่าแม่เมาะ) จากการศึกษาโดยนับวงปีพบว่าวงปีที่นับได้จากสวนป่าแม่เมาะ เริ่มต้นที่ 2513 (1970) และสิ้นสุดปี พ.ศ. 2541 (1998) อายุ 29 ปี ค่าเฉลี่ยความกว้างวงปีประมาณ 3.53 มิลลิเมตร ต่อปี ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.774 ค่าความสัมพันธ์ของความกว้างวงปีภายในตนเอง (autocorrelation) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ในเชิงชีววิทยาที่ว่า ความกว้างวงปีของปีปัจจุบันมีความสัมพันธ์กับความกว้างของวงปีที่ผ่านมา (year $n-1$, year n , year $n-1$) ในการศึกษาครั้งนี้เท่ากับ .255 และค่าความอ่อนไหวต่อปัจจัยภายนอกซึ่งหมายถึงอิทธิพลของปัจจัยภายนอกต่อขนาดวงปี (mean sensitivity) เท่ากับ .485

สวนป่าแม่จาง (MJ) ได้ทำการเก็บตัวอย่างไม้สักจำนวน 16 ต้น ต้นละ 2 ตัวอย่าง รวม 32 ตัวอย่าง จำนวนตัวอย่างที่สามารถใช้ในการศึกษาได้ 26 ตัวอย่าง ปีที่ปลูก พ.ศ. 2511 และปีเริ่มต้นที่นับได้ตั้งแต่ พ.ศ. 2514 (1973) และปีสุดท้าย พ.ศ. 2541 (1998) อายุ 26 ปี ค่าเฉลี่ยความกว้างวงปีมากกว่าไม้สักที่สวนป่าแม่เมาะคือประมาณ 3.96 มิลลิเมตร ต่อปี ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.534 ค่าความสัมพันธ์ของความกว้างวงปีภายในตนเอง (autocorrelation) มีค่าน้อยมาก (-.008) และค่าความอ่อนไหวต่อปัจจัยภายนอกมีค่าสูง (mean sensitivity) เท่ากับ .718

สวนป่าแม่มาย (MY) เก็บตัวอย่างทั้งสิ้น 17 ต้น ต้นละ 2 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 34 ตัวอย่าง จำนวนตัวอย่างที่นำมาศึกษาได้จำนวน 34 ตัวอย่าง ปีปลูก พ.ศ. 2511 ปีที่เริ่มต้น พ.ศ. 2515 (1972) และปีสุดท้าย พ.ศ. 2541 (1998) รวมอายุ 27 ปี ค่าเฉลี่ยความกว้างวงปีประมาณ 3.78 มิลลิเมตร ต่อปี ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.243 ค่าความสัมพันธ์ของความกว้างวงปีภายในตนเอง (autocorrelation) เท่ากับ .397 และค่าความอ่อนไหวต่อปัจจัยภายนอก (mean sensitivity) เท่ากับ .491

3.1.5 Moswe Research Station

จุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา Moswe Research Station ได้เลือก 2 พื้นที่ศึกษา โดยใช้ชื่อย่อว่า Y-Site และ Moswe-Site

Y-Site ประกอบด้วยจำนวนตัวอย่าง 12 ต้น 24 ตัวอย่าง หลังจากการวัดความกว้างวงปีและตรวจสอบความถูกต้องบนโต๊ะแสง และตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Cofecha (Holmes 1983) พบว่าไม้สักจากพื้นที่นี้ ทั้งหมดมีความคล้ายคลึงกันมาก โดยปีที่เริ่มต้น พ.ศ. 2342 และสิ้นสุดที่ปี พ.ศ. 2540 (ค.ศ. 1799-1997) ช่วงอายุ 199 ปี ซึ่งจัดว่ามีอายุค่อนข้างมาก ความกว้างของวงปีเฉลี่ย 1.91 มิลลิเมตร ค่า Standard deviation เท่ากับ 1.70 โดยมีค่า Autocorrelation ซึ่งหมายถึงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างวงปีปัจจุบันกับวงปีที่ผ่านมา มีค่าค่อนข้างสูงเท่ากับ .732 และค่า mean sensitivity ค่อนข้างต่ำเท่ากับ .426

Moeswe-Site พื้นที่ศึกษานี้ ประกอบด้วยจำนวนตัวอย่างที่มากที่สุด 41 ต้น 82 ตัวอย่าง หลังจากการวัดความกว้างวงปีและตรวจสอบความถูกต้องบนโต๊ะแสง และตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Cofecha (Holmes 1983) พบว่าไม้สักที่สามารถทำการวิเคราะห์ขั้นต่อไปได้ จำนวน 80 ตัวอย่าง นอกจากนี้ พื้นที่ศึกษานี้พบไม้ที่มีอายุมากที่สุด (248 ปี) ปีที่เริ่มต้น พ.ศ. 2293 และสิ้นสุดที่ปี พ.ศ. 2540 (ค.ศ. 1750-1997) ช่วงอายุ 248 ปี ความกว้างของวงปีค่อนข้างแคบเฉลี่ย 1.78 มิลลิเมตร ค่า Standard deviation เท่ากับ 1.631 โดยมีค่า Autocorrelation ที่สูงเช่นเดียวกันกับไม้สักใน Y-Site เท่ากับ .732 และค่า mean sensitivity เท่ากับ .429

จุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา Moswe Research Station ในครั้งที่ 2 เมื่อระหว่างวันที่ 13-14 มีนาคม 2542 ได้เลือก 4 พื้นที่ศึกษา โดยใช้ชื่อย่อว่า PR (Palui), PL (Palui), PA (Palui) และ NL (Ngelaik)

PR พื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณหนึ่งของโครงการทำไม้ สาเหตุที่เก็บตัวอย่างเพราะว่าต้นสักบริเวณนี้มีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ สภาพโดยรวมของบริเวณพื้นที่ PR เป็นภูเขาที่ชันมาก สภาพ

ป่าไม้อุดมสมบูรณ์ จำนวนตัวอย่างที่เก็บมาทั้งหมด 4 ต้น 16 ตัวอย่าง เนื่องจากไม้ที่บริเวณนี้มีโครงสร้างวงปีที่ค่อนข้างไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจะพบว่าหลังจากการวัดความกว้างวงปีและตรวจสอบความถูกต้องบนโต๊ะแสง และตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Cofecha (Holmes 1983) พบว่าไม้สักจากพื้นที่นี้มีการเจริญเติบโตที่ความคล้ายคลึงกันน้อยมาก โครงสร้างของวงปีสลับกันระหว่างวงปีที่แคบมากเป็นระยะเวลาติดต่อกันหลายปี และวงปีกว้างสลับเป็นช่วงๆ แต่ตัวอย่างไม้สักในพื้นที่นี้อายุค่อนข้างมาก คือไม้สักที่มีอายุมากที่สุดในพื้นที่นี้เท่ากับ 213 ปี เนื่องจากข้อจำกัดในการ crossdating ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกเอาตัวอย่างที่ดีที่สุดมาทำการวิเคราะห์ต่อไปเพียง 5 ตัวอย่าง โดยปีที่เริ่มต้น พ.ศ. 2328 และสิ้นสุดที่ปี พ.ศ. 2540 (ค.ศ. 1785-1997) ความกว้างของวงปีเฉลี่ย 1.44 มิลลิเมตร ค่า Standard deviation เท่ากับ 1.61 โดยมีค่า Autocorrelation ซึ่งหมายถึงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างวงปีปัจจุบันกับวงปีที่ผ่านมา มีค่าค่อนข้างสูงเท่ากับ .714 และค่า mean sensitivity ค่อนข้างต่ำเท่ากับ .421

PL พื้นที่ศึกษานี้ มีสภาพแวดล้อมคล้ายคลึงกับพื้นที่ศึกษา PR จำนวนตัวอย่าง 4 ต้น 16 ตัวอย่าง หลังจากการวัดความกว้างวงปีและตรวจสอบความถูกต้องบนโต๊ะแสง และตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Cofecha (Holmes 1983) พบว่าไม้สักทั้งหมดสามารถทำการวิเคราะห์ขั้นต่อไปได้ (16 ตัวอย่าง) ไม้ที่มีอายุมากที่สุดในพื้นที่นี้คือ 208 ปี ปีที่เริ่มต้น พ.ศ. 2333 และสิ้นสุดที่ปี พ.ศ. 2540 (ค.ศ. 1790-1997) ช่วงอายุ 208 ปี ความกว้างของวงปีค่อนข้างแคบเฉลี่ย 1.54 มิลลิเมตร ค่า Standard deviation เท่ากับ 1.398 โดยมีค่า Autocorrelation เท่ากับ .655 และค่า mean sensitivity เท่ากับ .455

PA พื้นที่ศึกษานี้ยังคงอยู่ในบริเวณที่กำลังมีการทำไม้ออก จำนวนตัวอย่างที่นำมาศึกษาจำนวน 10 ต้น 30 ตัวอย่าง หลังจากการวัดความกว้างวงปีและตรวจสอบความถูกต้องบนโต๊ะแสง และตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Cofecha (Holmes 1983) พบว่าไม้สักทั้งหมดสามารถทำการวิเคราะห์ขั้นต่อไปได้ทั้ง 30 ตัวอย่าง ปีที่เริ่มต้น พ.ศ. 2377 และสิ้นสุดที่ปี พ.ศ. 2540 (ค.ศ. 1834-1997) ช่วงอายุ 164 ปี ความกว้างของวงปีค่อนข้างแคบเฉลี่ย 1.70 มิลลิเมตร ค่า Standard deviation เท่ากับ 1.340 โดยมีค่า Autocorrelation เท่ากับ .625 และค่า mean sensitivity เท่ากับ .440

NL พื้นที่ศึกษานี้ เป็นพื้นที่ศึกษาสุดท้ายในการเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 ที่เข้าไปในพื้นที่ให้สัมปทานการทำไม้ออกของพม่า จำนวนตัวอย่างที่นำมาศึกษาจำนวน 7 ต้น 21 ตัวอย่าง หลังจากการวัดความกว้างวงปีและตรวจสอบความถูกต้องบนโต๊ะแสง และตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Cofecha (Holmes 1983) พบว่าไม้สักที่สามารถทำการวิเคราะห์ขั้นต่อไปได้ จำนวน 18 ตัวอย่าง ปีที่เริ่มต้น พ.ศ. 2387 และสิ้นสุดที่ปี พ.ศ. 2540 (ค.ศ. 1844-1997) ช่วงอายุ 163 ปี ความกว้างของวงปีเฉลี่ย 2.10 มิลลิเมตร ค่า Standard deviation เท่ากับ 1.771 โดยมีค่า Autocorrelation เท่ากับ .674 และค่า mean sensitivity เท่ากับ .411

3.1.6 Seinye Research Station พื้นที่ศึกษานี้จัดเป็นพื้นที่ที่ไม่ลึกลับมีคุณภาพดีที่สุดของพม่า จุดศึกษาในพื้นที่นี้มี ทั้งหมด 5 จุดศึกษา ได้แก่ S1-Site, S2-Site, P1-Site, P2-Site และ P3-Site

พื้นที่ศึกษา S1-Site ประกอบด้วยจำนวนตัวอย่าง 15 ต้น 30 ตัวอย่าง หลังจากการวัดความกว้างวงปีและตรวจสอบความถูกต้องบนโต๊ะแสง และตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Cofecha (Holmes 1983) ไม้อักทั้งหมด สามารถนำไปวิเคราะห์ขั้นต่อไปได้ จำนวน 22 ตัวอย่างโดยปีที่เริ่มต้น พ.ศ. 2427 และสิ้นสุดที่ปี พ.ศ. 2540 (ค.ศ. 1884-1997) ช่วงอายุ 114 ปี ความกว้างของวงปีค่อนข้างกว้าง โดยมีค่าเฉลี่ย 3.15 มิลลิเมตร มีค่ามากกว่าทุกพื้นที่ศึกษาที่เก็บมาศึกษาจากประเทศพม่า ค่า Standard deviation เท่ากับ 2.151 โดยมีค่า Autocorrelation ซึ่งหมายถึงความสัมพันธ์ระหว่างวงปีของปีปัจจุบันกับปีที่ผ่านมา มีค่าเท่ากับ .713 และค่า mean sensitivity เท่ากับ .377

พื้นที่ศึกษา S2-Site ประกอบด้วยจำนวนตัวอย่าง 9 ต้น 19 ตัวอย่าง หลังจากการวัดความกว้างวงปี ตรวจสอบความถูกต้องบนโต๊ะแสง และตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Cofecha (Holmes 1983) พบว่าไม้อักทั้งหมดมีความคล้ายคลึงกันมาก และสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ขั้นต่อไปได้ทั้งหมด โดยปีที่เริ่มต้น พ.ศ. 2388 และสิ้นสุดที่ปี พ.ศ. 2540 (ค.ศ. 1845-1997) ช่วงอายุ 153 ปี ความกว้างของวงปีเฉลี่ย 2.66 มิลลิเมตร ค่า Standard deviation เท่ากับ 1.862 โดยมีค่า Autocorrelation ใกล้เคียงกับตัวอย่างไม้อัก S1-Site คือมีค่าเท่ากับ .720 และค่า mean sensitivity เท่ากับ .369

พื้นที่ศึกษา P1-Site Site ประกอบด้วยจำนวนตัวอย่าง 6 ต้น 12 ตัวอย่าง หลังจากการวัดความกว้างวงปีและตรวจสอบความถูกต้องบนโต๊ะแสง และตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Cofecha (Holmes 1983) พบว่าไม้อักทั้งหมดมีรูปแบบการเจริญเติบโตที่คล้ายคลึงกันมาก ทั้ง 12 ตัวอย่าง และสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ขั้นต่อไปได้ทั้งหมด โดยปีที่เริ่มต้น พ.ศ. 2443 และสิ้นสุดที่ปี พ.ศ. 2540 (ค.ศ. 1900-1997) ช่วงอายุ 87 ปี เป็นพื้นที่ศึกษาที่ไม่ลึกลับมีอายุน้อยที่สุด ความกว้างของวงปีเฉลี่ย 2.66 มิลลิเมตร ค่า Standard deviation เท่ากับ 2.398 โดยมีค่า Autocorrelation ซึ่งหมายถึงความสัมพันธ์ระหว่างวงปี ใกล้เคียงกับตัวอย่างไม้อัก S1-Site และ S2-Site คือมีค่าเท่ากับ .728 และค่า mean sensitivity เท่ากับ .412

พื้นที่ศึกษา P2-Site จำนวนตัวอย่างที่นำมาศึกษา 24 ต้น 48 ตัวอย่าง หลังจากการตรวจการ cross dating สามารถนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ในขั้นต่อไปได้ 35 ตัวอย่าง โดยปีที่เริ่มต้นคือ พ.ศ. 2364 และสิ้นสุด พ.ศ. 2540 (ค.ศ. 1821-1997) ช่วงอายุ 177 ปี ความกว้างวงปีเฉลี่ยเท่ากับ 1.89 มิลลิเมตร ค่า Standard deviation เท่ากับ 1.584 และค่า Autocorrelation

และ Mean sensitivity มีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษาที่กล่าวมาแล้วคือ .745 และ .387 ตามลำดับ

พื้นที่ศึกษา P3-Site จำนวนตัวอย่างที่นำมาศึกษาทั้งหมด 22 ต้น 44 ตัวอย่าง หลังจากผ่านกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องแล้ว (ตรวจบนโต๊ะแสง และ โปรแกรม Cofecha (Cook 1983)) จำนวนตัวอย่างที่สามารถนำไปวิเคราะห์ได้ต่อไปจำนวน 42 ตัวอย่าง โดยปีที่เริ่มต้นคือ พ.ศ. 2444 – 2540 (ค.ศ. 1901 – 1997) ไม่จากพื้นที่นี้มีอายุน้อยเป็นอันดับสอง คือ 97 ปี รองจากพื้นที่ศึกษา P1-Site โดยมีค่าความกว้างวงปีเท่ากับ 2.50 ค่า Standard deviation เท่ากับ 2.320 ค่า Autocorrelation เท่ากับ .755 และค่า mean sensitivity เท่ากับ .418

3.1.7 Pyinoolwin Forest Reserve ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งนี้สภาพป่าได้ผ่านการทำสัมปทานอย่างหนัก ทำให้เหลือต้นสักที่มีอายุมากอยู่ในพื้นที่กระจายต้นอย่างห่างๆ ได้เก็บตัวอย่างของ 2 พื้นที่ศึกษาคือ MA และ MB

MA พื้นที่ศึกษานี้ เป็นหุบเขาที่มีความลาดชันปานกลางถึงชันมาก สภาพป่าเสื่อมโทรม จำนวนตัวอย่างที่นำมาศึกษา 12 ต้น 36 ตัวอย่าง หลังจากการวัดความกว้างวงปีและตรวจสอบความถูกต้องบนโต๊ะแสง และตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Cofecha (Holmes 1983) พบว่าไม้สักที่สามารถทำการวิเคราะห์ขั้นต่อไปได้ จำนวน 33 ตัวอย่าง โดยปีที่เริ่มต้น พ.ศ. 2406 และสิ้นสุดที่ปี พ.ศ. 2541 (ค.ศ. 1863-1998) ช่วงอายุ 136 ปี ความกว้างของวงปีค่อนข้างแคบเฉลี่ย 1.77 มิลลิเมตร ค่า Standard deviation เท่ากับ 1.345 โดยมีค่า Autocorrelation เท่ากับ .543 และค่า mean sensitivity เท่ากับ .482

MB พื้นที่ศึกษานี้ใกล้เคียงกับพื้นที่ MA เพียงแต่อยู่ต่างสันเขา กัน สภาพแวดล้อมทั่วไปคล้ายคลึงกันมาก จำนวนตัวอย่างที่นำมาศึกษาทั้งหมด 21 ต้น 73 ตัวอย่าง หลังจากการวัดความกว้างวงปีและตรวจสอบความถูกต้องบนโต๊ะแสง และตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Cofecha (Holmes 1983) พบว่าไม้สักทั้งหมดสามารถทำการวิเคราะห์ขั้นต่อไปได้ จำนวน 73 ตัวอย่าง นอกจากนี้ ปีที่เริ่มต้น พ.ศ. 2377 และสิ้นสุดที่ปี พ.ศ. 2541 (ค.ศ. 1834-1998) ช่วงอายุ 165 ปี ความกว้างของวงปีค่อนข้างแคบเฉลี่ย 2.08 มิลลิเมตร ค่า Standard deviation เท่ากับ 1.53 โดยมีค่า Autocorrelation เท่ากับ .487 และค่า mean sensitivity เท่ากับ .499

3.2 การตอบสนองความกว้างวงปีไม้สักกับสภาพภูมิอากาศ (Climate Growth Response on Tree-Ring Width)

สภาพภูมิอากาศซึ่งรวมปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ เป็นปัจจัยภายนอกที่สำคัญต่อการกำหนดขนาดการเจริญเติบโตของไม้สัก ไม้สักขึ้นอยู่ในป่าเบญจพรรณที่ได้รับน้ำฝนประมาณ 7-8 เดือน ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 300 มิลลิเมตร และมีช่วงแห้งแล้งประมาณ 4-5 เดือน โดยได้รับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยประมาณ 20 มิลลิเมตร ไม้สักจะขึ้นดินทั้งปีตลอดช่วงฤดูแล้ง คือตั้งแต่ประมาณเดือนพฤศจิกายนถึงมีนาคม ต่อจากนั้นเมื่อเริ่มต้นฤดูฝน ปริมาณความชื้น ฮอริโมนภายในต้นสัก และอุณหภูมิ จะกระตุ้นให้เนื้อเยื่อเจริญของไม้สัก (Cambium) เริ่มแบ่งเซลล์โดยเซลล์แรกที่เกิดขึ้นคือท่อลำเลียงน้ำ (Pumijumnong 1995) และลักษณะภายนอกที่สังเกตเห็นคือการแตกใบใหม่

การเจริญเติบโตของต้นไม้มีสาเหตุมาจากปัจจัยต่างๆมากมายดังนั้น การสร้างเส้นดัชนีของไม้สักในแต่ละปีนั้นเพื่อที่จะลดปัจจัยต่างๆที่คาดไม่ถึง (noise effect) มีหลักการที่สำคัญได้แก่ นำความกว้างของวงปีของไม้สักแต่ละตัวอย่างในพื้นที่ศึกษาเดียวกันนำมารวมกันและคำนวณ Linear Regression และหรือ Negative Exponential ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูล ต่อจากนั้นทำการคำนวณ Spline Function ที่ 66 เพื่อขจัดความแตกต่างของความกว้างวงปีของไม้ในวัยหนุ่มและไม้ที่มีอายุมากขึ้น (Removed Age Trend) ผลลัพธ์ที่ได้จะได้กราฟเส้นดัชนีของไม้สักจำนวน 3 เส้น คือ RESIDUAL CHRONOLOGY (RES) ARSTAN CHRONOLOGY (ARSTAN) STANDARD CHRONOLOGY (STD) ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ Residual Chronology ซึ่งได้ขจัดความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของวงปีปัจจุบันกับปีที่ผ่านมา (Removed Auto-regressive Modeling) ในการวิเคราะห์ต่อไป

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างวงปีกับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมินั้น ในการอธิบายผลที่เข้าใจง่ายที่สุดคือการคำนวณค่าความสัมพันธ์อย่างง่าย (simple correlation) ซึ่งไม้สักจากพื้นที่ศึกษาทั้งหมดในประเทศไทย ได้แก่ พื้นที่ศึกษา Mae1 และ Mae2 จากเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน ได้วิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดที่ อำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้จำนวน 85 ปี โดยเริ่มที่ ปี พ.ศ. 2454- พ.ศ.2539 (ค.ศ. 1911- ค.ศ. 1996) ส่วนข้อมูลอุณหภูมิมีการบันทึกไว้น้อยกว่า คือประมาณ 45 ปี โดยเริ่มบันทึกข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494 – พ.ศ. 2539 (ค.ศ. 1951-ค.ศ. 1996) สำหรับพื้นที่ศึกษา MV1, MV2, MV3 และ MV4 จากเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่วงก์ ซึ่งอยู่ในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์และจังหวัดกำแพงเพชร และพื้นที่ศึกษา KL และ KL2 อยู่ในพื้นที่ศึกษาในอุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้า จังหวัดตากและจังหวัดกำแพงเพชร ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิที่นำมาวิเคราะห์ได้ใช้ค่าเฉลี่ยจากปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ 3 สถานีคือ จากที่ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ และอำเภอเมือง จังหวัดตาก และอำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร โดยที่สองสถานีแรกมีข้อมูลปริมาณน้ำฝนรวม 85 ปี โดยเริ่มที่ปี พ.ศ. 2545 – พ.ศ. 2539 (ค.ศ. 1911- ค.ศ.1996) และข้อมูลอุณหภูมิ 45 ปี โดยปีเริ่มต้น คือ พ.ศ. 2494 –

พ.ศ. 2539 (ค.ศ. 1951-1996) และสถานที่สามเพื่งทำการบันทึกข้อมูลเพียงปริมาณน้ำฝนได้ประมาณ 20 ปี ซึ่งถือว่าสั้นมาก จึงใช้ข้อมูลเฉลี่ยจากสถานีต่างๆดังกล่าวข้างต้น ในการวิเคราะห์ต่อไป

นอกจากนี้ในการคำนวณอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศกับความกว้างของวงปีนั้น ได้ใช้โมเดลสำเร็จรูป Response Function (Fritts 1976) หลักการในการคำนวณได้ใช้ stepwise multiple regression โดยที่ความกว้างวงปีไม่เป็นตัวแปรตามที่ขึ้นกับตัวแปรอิสระคือปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ ในการคำนวณโปรแกรมยอมให้เลือกจำนวนเดือนที่จะนำมาคำนวณมากที่สุด 17 เดือน คือทั้งของปีปัจจุบันกับของปีที่ผ่านมา ในการศึกษาครั้งนี้ไม้สักจากประเทศไทยได้กำหนดเดือนที่จะทำการทดสอบจำนวน 11 เดือน โดยเริ่มที่เดือนธันวาคมของปีที่ผ่านมาและเดือนมกราคมถึงเดือนตุลาคมของปีปัจจุบันเพราะว่าข้อมูลอุณหภูมิที่ไม่ยาวมากนัก และจำนวน 11 เดือนที่เลือกได้ครอบคลุมฤดูกาลเจริญเติบโตของไม้สักไว้แล้ว

3.2.1 อุทยานแห่งชาติแม่วังก์

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างวงปีกับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ แสดงในตารางที่ 5 พบว่า ไม้สักที่อุทยานแห่งชาติแม่วังก์ ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่ศึกษา MV1-MV4 ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้คือ

พื้นที่ศึกษาที่ MV1 จากจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างเส้นดัชนี 20 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณน้ำฝนเดือนกันยายน มีผลเชิงบวกกับความกว้างวงปีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (0.38) และปริมาณน้ำฝนของเดือนสิงหาคมมีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (-0.30) กับความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MV1 และอุณหภูมิของเดือนกันยายนมีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับขนาดความกว้างของวงปี (-.38) ในการแปลผลเชิงชีววิทยานั้นอธิบายได้ว่าปริมาณน้ำฝนของเดือนกันยายนมีผลต่อการเจริญเติบโตของไม้สัก(ขนาดความกว้างวงปี)ในพื้นที่ศึกษานี้ และเช่นเดียวกับที่อุณหภูมิเดือนกันยายนมีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญกับความกว้างวงปี เดือนกันยายนเป็นช่วงปลายฤดูฝนต่อกับฤดูแล้ง ซึ่งตามปกติแล้วปริมาณน้ำฝนที่ตกในช่วงเดือนนี้มีมากพอสมควรเพราะประเทศไทยจะได้รับอิทธิพลจากร่องความกดอากาศที่จะพัดผ่านเข้ามาในช่วงปลายฤดูฝนการตอบสนองของไม้สักโดยทั่วไปแล้วจะตอบสนองต่อความชุ่มชื้นในช่วงคาบเกี่ยวจากฤดูแล้งมาสู่ต้นฤดูฝน (Pumijumnong 1995) ผลการศึกษาเช่นพื้นที่ศึกษา MV1 เท่าที่มีการศึกษาตัวอย่างไม้สักในประเทศไทยพบน้อยมาก แต่อย่างไรก็ดี อาจต้องพิจารณาถึงจำนวนตัวอย่าง อายุของไม้สัก สภาพแวดล้อมของพื้นที่ที่เก็บตัวอย่าง และข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่นำมาคำนวณซึ่งอยู่ห่างจากบริเวณที่เก็บข้อมูลตัวอย่างไม้สักโดยตรง

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MV1 กับ ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

เดือน	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค
อุณหภูมิ	.12	.09	.22	.20	.07	.16	.09	.03	-.13	-.38	.03
น้ำฝน	.03	.06	-.00	-.02	.09	-.13	.08	.14	-.29	.38	-.00

รูปที่ 13 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function ซึ่งค่าVariance เท่ากับ 36.58% หมายความว่า ตัวแปรตาม (ความกว้างวงปี) สามารถที่จะอธิบายตัวแปรอิสระ (ปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิ) ได้ 36.31% รูปที่ 14 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา MV1 และ (b) ดัชนี MV1

พื้นที่ศึกษา MV2 จำนวนตัวอย่างที่นำมาสร้างเส้นดัชนีเท่ากับ 23 ตัวอย่าง ช่วงอายุ 142 ปี ค่า Mean Sensitivity (.558) มีค่าสูงกว่า Autocorrelation (.369) จากตารางที่ 6 แสดง ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีกับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MV2 กับ ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

เดือน	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค
อุณหภูมิ	-.24	.04	.16	.04	-.06	-.41	-.51	-.30	-.39	-.12	-.27
น้ำฝน	.02	-.09	.37	-.08	.03	.32	.33	.33	.21	-.09	.03

ปริมาณน้ำฝนในเดือน กุมภาพันธ์ (0.37) พฤษภาคม (0.32) มิถุนายน (0.33) และกรกฎาคม (0.33) มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความกว้างวงปีไม้สักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และอุณหภูมิ ตั้งแต่เดือน พฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม จะมีค่าความสัมพันธ์เชิงลบกับความกว้างวงปีอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ รูปที่ 15 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function ซึ่งในการ ศึกษาความกว้างวงปีสามารถที่จะอธิบายปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิได้ถึง 56.15 % ผลจาก การศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่าเนื้อเยื่อเจริญเติบโตของไม้สัก (Cambium) บริเวณพื้นที่ศึกษา MV2 ตอบสนองต่อปริมาณความชุ่มชื้นในช่วงต้นฤดูฝนเท่านั้นและปริมาณน้ำฝนทั้ง 4 เดือนนี้จะมี ความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของไม้สักตลอดฤดูกาลเจริญเติบโต รูปที่ 16 แสดง (a) ข้อมูล ดิบของพื้นที่ศึกษา MV2 และ (b) ดัชนี MV2

พื้นที่ศึกษาที่ MV3 ผลจากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำฝนกับอุณหภูมิกับความ กว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MV3 คล้ายคลึงกับพื้นที่ศึกษา MV1 คือ ปริมาณน้ำฝนเดือน

กันยายนมีผลต่อความกว้างวงปีไม้สักเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ และอุณหภูมิเดือนมีนาคมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความกว้างวงปีไม้สักในทางกลับกันอุณหภูมิเดือนกันยายนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความกว้างวงปีของไม้สัก

ตารางที่ 7 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MV3 กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

เดือน	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค
อุณหภูมิ	.01	.05	.14	.34	.06	.07	.08	-.02	.09	-.31	-.05
น้ำฝน	-.04	-.01	.07	-.22	.24	-.13	.14	.20	-.18	.43	.05

รูปที่ 17 แสดงผลจากการคำนวณ Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษาที่ MV3 นี้ สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิได้ 36.10 % รูปที่ 18 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา MV3 และ (b) ดัชนี MV3

พื้นที่ศึกษาที่ MV4 จากจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างเส้นดัชนี 25 ตัวอย่าง ช่วงอายุ 130 ปี ผลจากการศึกษาพบว่าคล้ายคลึงกับพื้นที่ศึกษา MV1 คือปริมาณน้ำฝนเดือนสิงหาคมและอุณหภูมิเดือนกันยายน มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญกับความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 8 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MV4 กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

เดือน	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค
อุณหภูมิ	.10	.12	.23	.19	-.14	-.16	-.21	-.12	-.28	-.32	.05
น้ำฝน	-.13	-.09	.14	-.16	.16	-.11	.04	.16	-.28	.22	-.03

รูปที่ 19 แสดงผลการศึกษาจากการคำนวณ Response Function ซึ่งความกว้างวงปีที่พื้นที่ศึกษานี้ สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้ 39.05 % รูปที่ 20 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา MV4 และ (b) ดัชนี MV4

จากพื้นที่ศึกษาทั้ง 4 พื้นที่ศึกษา (MV1-MV4) ได้นำข้อมูลมารวมกันและจัดทำเส้นดัชนีใหม่ แล้วจึงนำเส้นดัชนีใหม่นี้มาทำการวิเคราะห์อิทธิพลของปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ จากตารางที่ 9 พบว่าปริมาณน้ำฝนเดือนกรกฎาคมและกันยายน มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับความกว้างของวงปี สำหรับอุณหภูมิพบว่า อุณหภูมิเดือนสิงหาคมและกันยายนมีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญกับความกว้างวงปีของไม้สัก สรุปได้ว่าไม้สักจากพื้นที่

ศึกษาอุทยานแห่งชาติแม่วงก์ตอบสนองต่อปริมาณน้ำฝนเดือนกรกฎาคมและกันยายน ซึ่งเป็นช่วงปลายฤดูฝนที่คาบเกี่ยวกับฤดูแล้ง

ตารางที่ 9 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษาอุทยานแห่งชาติแม่วงก์กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

เดือน	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค
อุณหภูมิ	.11	.07	.23	.24	-.06	-.20	-.26	.19	-.33	-.36	-.09
น้ำฝน	-.09	-.07	.21	-.18	.19	.02	.21	.32	-.14	.29	.00

รูปที่ 21 แสดงผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิต่อขนาดของความกว้างวงปี โดยความกว้างวงปีของพื้นที่ศึกษานี้สามารถที่จะอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิได้ 40.51%

3.2.2 อุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้า

จากพื้นที่ศึกษาในเขตอุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้าได้เก็บตัวอย่าง 2 พื้นที่ศึกษาคือ KL และ KL2

พื้นที่ศึกษา KL คือบริเวณเขาวังกระสังซึ่งเป็นแหล่งไม้สักธรรมชาติที่สำคัญของจังหวัดกำแพงเพชร สภาพป่าไม่สมบูรณ์เท่าที่ควรและยังพบเห็นร่องรอยการลักลอบตัดไม้ จากการศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์อย่างง่ายของปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิต่อขนาดความกว้างของวงปีไม้สัก ดังแสดงในตารางที่ 10 พบว่าปริมาณน้ำฝนเดือนมีนาคม (0.2808) และเดือนกรกฎาคม (0.3335) มีผลเชิงบวกต่อความกว้างวงปีไม้สัก และอุณหภูมิเดือนมีนาคมมีผลเชิงบวก (0.3517) ต่อความกว้างวงปีและอุณหภูมิเดือนสิงหาคมมีผลเชิงลบ (-0.2827) ต่อความกว้างวงปี

ตารางที่ 10 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา KL กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

เดือน	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค
อุณหภูมิ	.19	.22	.02	.35	.10	-.24	-.17	-.18	-.28	-.05	-.13
น้ำฝน	-.01	-.08	.15	.28	.24	.22	.22	.33	.13	.08	-.10

รูปที่ 22 แสดงผลการคำนวณ Response Function ซึ่งความกว้างวงปีสามารถจะอธิบายปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิได้ถึง 59.37 % รูปที่ 23 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา KL และ (b) ดัชนี KL

พื้นที่ศึกษา KL2 บริเวณที่เก็บตัวอย่างอยู่ใกล้กับที่ตั้งอุทยานแห่งชาติฯ ไม้สักในบริเวณนี้ถึงแม้ว่าจะมีขนาดใหญ่แต่อายุเพียง 83 ปี จำนวนตัวอย่างที่นำมาสร้างเส้นดัชนี 12 ตัวอย่างพบว่า ปริมาณน้ำฝนเดือนสิงหาคมมีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (-.3734) กับความกว้างวงปี และอุณหภูมิเดือนพฤษภาคมมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (0.2806) กับความกว้างวงปี

ตารางที่ 11 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา KL2 กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

เดือน	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค
อุณหภูมิ	.14	.18	.06	-.19	.00	.28	.16	-.05	.07	-.07	.05
น้ำฝน	-.06	-.02	-.03	-.03	-.19	-.17	-.17	.01	-.37	.20	.02

รูปที่ 24 แสดงผลจากการคำนวณ Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักจากพื้นที่ศึกษาสามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิได้ 29.47 % รูปที่ 25 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา KL2 และ (b) ดัชนี KL2

เมื่อนำข้อมูลทั้งสองพื้นที่ศึกษานี้มารวมกัน (KL, KL2) เพื่อที่จะสร้างดัชนีรวมของอุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้าขึ้นมาใหม่และทำการวิเคราะห์การตอบสนองของไม้สักในพื้นที่ศึกษาทั้ง 2 กับข้อมูลสภาพภูมิอากาศ พบว่า ปริมาณน้ำฝนเดือนกรกฎาคม (0.3438) มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับความกว้างวงปีของไม้สัก และอุณหภูมิของเดือนธันวาคมของปีที่ผ่านมา เดือนมกราคมและเดือนพฤษภาคมของปีปัจจุบัน มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับความกว้างวงปีของไม้สัก

ตารางที่ 12 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษาอุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้ากับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ ตัวเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%

เดือน	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค
อุณหภูมิ	.28	.35	.09	.18	.09	.01	-.05	-.21	-.21	-.08	-.06
น้ำฝน	-.07	-.06	.11	.21	.05	.05	.08	.34	-.18	.21	-.05

รูปที่ 26 แสดงผลการคำนวณ Response Function ซึ่งความสามารถในการใช้ความกว้างวงปีอธิบายความสัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศได้ 30.98 %

3.2.3 เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย

ในพื้นที่รักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปายนั้น ได้เลือกจุดเก็บตัวอย่าง 2 แห่ง คือ Mae1 Mae2 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความลาดชันปานกลาง และสภาพป่าสักค่อนข้างอุดมสมบูรณ์ จากการศึกษพบว่า

พื้นที่ศึกษาที่ Mae1 มีจำนวนตัวอย่างที่ใช้ประกอบการสร้างเส้นดัชนี 64 ตัวอย่าง ซึ่งช่วงอายุยาวถึง 255 ปี ปริมาณน้ำฝนเดือนพฤษภาคมและกรกฎาคมมีความสัมพันธ์ทางบวกที่มีค่านัยสำคัญทางสถิติที่เชื่อถือได้ 95 % ส่วนอุณหภูมิพบว่ามีความสัมพันธ์อย่างไม่มีนัยสำคัญกับความกว้างวงปี

ตารางที่ 13 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MAE1 กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

เดือน	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค
อุณหภูมิ	-.15	-.01	.03	-.12	.14	-.25	-.24	-.17	-.05	-.21	-.03
น้ำฝน	-.03	.04	.07	.17	.15	.29	.14	.28	.14	.03	-.18

รูปที่ 27 แสดงผลการคำนวณจาก Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา Mae1 สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้ 25.42 % รูปที่ 28 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา MAE1 และ (b) ดัชนี MAE1

พื้นที่ศึกษาที่ Mae 2 มีจำนวนตัวอย่างที่ใช้ประกอบการสร้างเส้นดัชนี 67 ตัวอย่าง แต่ไม้สักที่บริเวณนี้มีช่วงอายุเพียง 105 ปี ปริมาณน้ำฝนเดือน พฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความกว้างวงปีของไม้สักอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับอุณหภูมิมีความสัมพันธ์อย่างไม่มีนัยสำคัญกับความกว้างวงปี เช่นเดียวกับจุดศึกษา Mae 1

ตารางที่ 14 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MAE2 กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ ตัวเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%

เดือน	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค
อุณหภูมิ	-.14	-.03	.06	-.14	-.23	-.22	-.24	-.16	-.01	-.10	.03
น้ำฝน	-.06	.06	.10	.24	.00	.32	.34	.29	.14	-.13	-.03

รูปที่ 29 แสดงผลการคำนวณจาก Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา Mae2 สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้ 34.59 % รูปที่ 30 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา MAE2 และ (b) ดัชนี MAE2

เมื่อนำข้อมูลของทั้ง Mae1 และ Mae 2 มารวมกันเพื่อจัดทำเส้นดัชนีใหม่เพื่อให้เป็นตัวแทนของเขตรักษาพันธุ์ลุ่มน้ำปาย แล้วนำไปวิเคราะห์กับข้อมูลสภาพภูมิอากาศอีกครั้งหนึ่งนั้นพบว่า ปริมาณน้ำฝนเดือนพฤษภาคมและกรกฎาคมมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับความกว้างวงปี และอุณหภูมิมีความสัมพันธ์อย่างไม่มีนัยสำคัญกับความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษานี้เลย

ตารางที่ 15 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษาแม่ฮ่องสอน กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

เดือน	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค
อุณหภูมิ	-.17	-.04	.02	-.16	-.20	-.24	-.27	-.18	-.05	-.17	-.03
น้ำฝน	-.03	.07	.10	.23	-.10	.32	.24	.30	.15	-.07	-.11

รูปที่ 31 แสดงผลการคำนวณจาก Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษาแม่ฮ่องสอน สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้ 29.42 %

จากผลการศึกษาทั้ง Mae1 และ Mae2 อาจสรุปได้ว่า ไม้สักในทั้งสองพื้นที่ศึกษามีรูปแบบการเจริญความคล้ายคลึงกัน และปริมาณน้ำฝนระหว่างต้นฤดูฝน (พฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม) มีผลต่อการเจริญเติบโตของไม้สักตลอดทั้งปี ส่วนอุณหภูมิในพื้นที่ศึกษาไม่ปรากฏว่ามีความสัมพันธ์กับความกว้างวงปีอย่างไร เนื่องจากในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอนมีความชุ่มชื้นค่อนข้างมาก ในระหว่างฤดูแล้งไม้สักทั้งใบหมดแต่ไม่ยาวนานเท่ากับในบางพื้นที่เช่นที่จังหวัดลำปาง จังหวัดลำพูน จังหวัดแพร่ ต้นสักเริ่มแตกใบอ่อนเมื่อได้รับความชุ่มชื้นจากฝนต้นฤดูและพื้นที่ป่าสักที่จุดศึกษานี้ความแห้งแล้งไม่ใช่เป็นปัจจัยจำกัด

3.2.4 ไม้สักจากสวนป่าแม่เมาะ สวนป่าแม่มาย และสวนป่าแม่จาง

ไม้สักจากทั้งสามพื้นที่สวนป่า ได้นำมาศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างวงปีกับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ โดยที่สวนป่าทั้งสามอยู่ห่างจากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยาประมาณ 23.5 และ 24 กิโลเมตร และประมาณ 28 กิโลเมตร ตามลำดับ ส่วนระยะห่างระหว่างสวนป่ากับโรงไฟฟ้าเมาะคือ สวนป่าแม่จางตั้งอยู่ห่างจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะประมาณ 2 กิโลเมตร และสวนป่าแม่มายตั้งอยู่ห่างจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะประมาณ 23 กิโลเมตร ส่วนสวนป่าแม่เมาะอยู่ห่างจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะประมาณ 17 กิโลเมตร ในการหาความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีกับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (ความกว้างวงปี) และตัวแปรอิสระ (ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ) ซึ่งเป็นผลการศึกษา

จากการคำนวณ Response Function ได้ใช้ จำนวน 11 เดือน คือเดือนธันวาคมของปีที่ผ่านมา และเดือนมกราคมถึงเดือนตุลาคมของปีปัจจุบัน ผลการศึกษาในแต่ละพื้นที่สวนป่าสรุปได้ดังนี้

ไม้สักจากสวนป่า แม่เมาะ (MM) จากตารางที่ 16 ดัชนีไม้สักของพื้นที่สวนป่าแม่เมาะ เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างวงปีกับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิจากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ตั้งอยู่ที่ อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง พบว่าปริมาณน้ำฝนของเดือน พฤษภาคม มีค่าความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญต่อการตอบสนองของการเจริญเติบโตของไม้สัก หมายถึง ปริมาณน้ำฝนในเดือน พฤษภาคม จะทำหน้าที่ควบคุมการเจริญเติบโตของไม้สัก ตลอดทั้งปี หรือกล่าวได้ว่า เนื้อเยื่อเจริญ (Cambium Tissue) ของไม้สักเริ่มทำการแบ่งตัว และกำหนดคุณลักษณะของความกว้างวงปี เมื่อได้รับน้ำฝนของเดือน พฤษภาคม หรือเป็น ระยะเริ่มแรกของฤดูฝน และปริมาณน้ำฝนเดือนอื่นๆ จะมีความสัมพันธ์อย่างไม่มีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโต และจากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิมีความสัมพันธ์อย่างไม่มีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสวนป่าไม้สักที่แม่เมาะ

ตารางที่ 16 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษาแม่เมาะ (MM) กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

เดือน	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค
อุณหภูมิ	-.28	-.00	-.11	-.01	-.10	-.29	-.30	-.02	.01	.18	-.15
น้ำฝน	-.20	-.00	-.11	.14	-.04	.46	.23	.11	.15	.03	-.02

รูปที่ 32 แสดงผลการคำนวณจาก Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษาแม่เมาะ (MM) สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้ 62.79 % รูปที่ 33 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา MM และ (b) ดัชนี MM

ไม้สักจากสวนป่าแม่จาง (MJ) จากดัชนีไม้สักของสวนป่าสักแม่จางเมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความกว้าง วงปีของไม้สักกับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิจากสถานีตรวจวัด จาก ตารางที่ 17 พบว่า ปริมาณน้ำฝนในเดือนมีนาคม พฤษภาคม และมิถุนายน มีค่าความสัมพันธ์เชิงบวกกับความกว้างวงปีอย่างมีนัยสำคัญหมายถึงปริมาณน้ำฝนของเดือนมีนาคม พฤษภาคม และมิถุนายนจะเป็นปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของไม้สักที่สวนป่าแม่จางตลอดทั้งปี หรือ เนื้อเยื่อเจริญของไม้สัก (Cambium Tissue) เริ่มแบ่งตัวและควบคุมคุณลักษณะของความกว้างวงปีทั้งปี ส่วนปริมาณน้ำฝนในเดือนอื่นๆมีความสัมพันธ์อย่างไม่มีนัยสำคัญต่อความกว้างของวงปีของไม้สักที่สวนป่าแม่จาง และอุณหภูมิเดือนมิถุนายนมีความสัมพันธ์กับความกว้างวงปีเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 17 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษาแม่จาง (MJ) กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

เดือน	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค
อุณหภูมิ	.06	.23	.32	.03	.37	-.16	.37	.17	-.11	.11	.09
น้ำฝน	.20	-.35	-.15	-.52	.16	.47	.60	-.21	-.23	.11	-.32

รูปที่ 34 แสดงผลการคำนวณจาก Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษาแม่จาง (MJ) สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้ 81.71 % รูปที่ 35 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา MJ และ (b) ดัชนี MJ

ไม้สักจากพื้นที่สวนป่าแม่มาย (MY) จากดัชนีไม้สักสวนป่าแม่มายเมื่อทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างวงปีกับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ ในตารางที่ 18 พบว่าผลการศึกษาของไม้สักที่สวนป่าแม่มายคล้ายคลึงกับไม้สักที่สวนป่าแม่จางมาก คือ ปริมาณน้ำฝนของเดือนมีนาคม พฤษภาคมและเดือนมิถุนายน มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับความกว้างวงปี ที่ระดับความน่าเชื่อถือ 95 % หมายถึงปริมาณน้ำฝนของเดือนมีนาคม พฤษภาคม และเดือนมิถุนายนมีผลต่อการเจริญเติบโตของไม้สักที่สวนป่าแม่มาย เช่นเดียวกันกับที่สวนป่าแม่จาง ซึ่งปริมาณน้ำฝนในเดือนอื่นๆมีความสัมพันธ์อย่างไม่มีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของไม้สักในสวนป่าแม่มาย และอุณหภูมิเดือนมิถุนายนมีความสัมพันธ์เชิงลบต่อความกว้างของวงปีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

ตารางที่ 18 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษาแม่มายกับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

เดือน	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค
อุณหภูมิ	.00	.05	.06	.11	-.30	-.36	-.48	.23	.33	-.09	.14
น้ำฝน	-.19	-.08	-.21	.36	.30	.42	.55	-.00	-.05	-.04	.15

รูปที่ 36 แสดงผลการคำนวณจาก Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษาแม่มาย (MY) สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้ 77.16 % รูปที่ 37 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา MY และ (b) ดัชนี MY

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างวงปีของดัชนีไม้สักทั้ง 3 พื้นที่ศึกษากับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิที่ทำการตรวจวัดจากสถานีของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ตั้งอยู่ที่อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง พบว่าปริมาณน้ำฝนในเดือนพฤษภาคม มีผลต่อการเจริญเติบโตของ

ไม้สักทั้ง 3 พื้นที่ศึกษา นอกจากนี้ปริมาณน้ำฝนเดือนมีนาคมและมิถุนายน มีผลต่อการเจริญเติบโตต่อไม้สักที่สวนป่าแม่จางและแม่มาย และอุณหภูมิเดือนมิถุนายนมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความกว้างวงปีของไม้สักที่สวนป่าแม่จางและแม่มาย แต่ไม่แสดงความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับไม้สักที่สวนป่าแม่มาะ

ตารางที่ 19 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษาสวนป่าแม่มาะ-แม่มาย-แม่จางกับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

เดือน	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค
อุณหภูมิ	.04	.07	.04	-.00	.07	-.12	-.13	-.03	-.03	.00	.00
น้ำฝน	-.15	-.14	-.06	.24	.12	.56	.56	-.15	-.01	-.06	-.22

รูปที่ 38 แสดงผลการคำนวณจาก Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษาแม่มาะ-แม่มาย-แม่จางสามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้ 76.03 %

จากผลการศึกษาครั้งนี้สามารถที่จะนำไปใช้ได้กับเรื่องการจัดการสวนป่าไม้สักในประเทศไทย หากต้องมีการให้น้ำ เพื่อให้ไม้สักมีการเจริญเติบโตที่ดี ควรที่จะมีการจัดการเรื่องการให้น้ำในช่วงเดือนที่ต่อเนื่องระหว่างปลายฤดูร้อนและต้นฤดูฝน ต่อจากนั้นปริมาณน้ำฝนจะไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไม้สักแต่อย่างใด (Pumijumnong 1995)

3.2.5 Moswe Research Station

ในประเทศพม่าพื้นที่ศึกษาได้ครอบคลุมบริเวณภาคกลางตอนบน (Moswe Research Station) และภาคเหนือตอนล่าง (Pyinoolwin Reserve Forest) พื้นที่ศึกษา Moswe Research Station ได้ทำการเก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง ครั้งแรก เมื่อ 25-27 กุมภาพันธ์ 2541 โดยพื้นที่ทำการเก็บตัวอย่างเป็นสภาพป่าที่ไม่ค่อยถูกรบกวนจากการทำไม้ คือ Y-Site และ Moswe-Site ทั้งสองพื้นที่ศึกษา อยู่ในเขตป่าเบญจพรรณแห้งของพม่า และครั้งที่ 2 เมื่อระหว่างวันที่ 13-14 มีนาคม พ.ศ. 2542 ซึ่งเป็นพื้นที่สัมปทานป่าไม้และกำลังมีการชักลากไม้ออก ซึ่งได้โค่นล้มตั้งแต่ประมาณเดือนกันยายนของปี พ.ศ. 2542 ในการศึกษาเรื่องการตอบสนองของความกว้างวงปีไม้กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิในพม่านี มีปัญหาในเรื่องการติดต่อขอข้อมูลสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษา จึงได้ติดต่อผ่านทาง Internet <http://www.NOAA.com> และเลือกใช้สถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ 2 สถานีคือ จากสถานีร้างกึ่งที่อยู่ห่างจากพื้นที่ศึกษาประมาณ 200 กิโลเมตร และ จากสถานีมีนทะเลย์ ที่อยู่ห่างจากพื้นที่ศึกษาประมาณ 300 กิโลเมตร ซึ่งทั้งสองสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศนั้นค่อนข้างห่างไกลจากพื้นที่ศึกษา แต่ก็ก็เป็นเพียงสอง

สถานที่ที่มีข้อมูลที่ยาวมากที่สุด อย่างไรก็ตามข้อมูลทั้งสองสถานีก็น่ามีความไม่สมบูรณ์โดยเฉพาะประมาณปี พ.ศ. 2488-2495 (ค.ศ. 1945-1952) ข้อมูลจะหายไปประมาณ 6-7 ปีต่อเนื่องกัน

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความกว้างวงปีกับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิได้คำนวณเช่นเดียวกับไม้สักของประเทศไทย คือ หาความสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation) และ การคำนวณจากโมเดล Response Function ซึ่งใช้หลักการ Stepwise Multiple Regression ในการคำนวณนั้นได้เลือกตัวแทน 17 เดือนของปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ คือ เดือนมกราคมถึงพฤศจิกายน ของปีปัจจุบัน และ เดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคมของปีที่ผ่านมา เนื่องจากข้อมูลของปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ เริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2474 (ค.ศ. 1931) ถึง พ.ศ. 2533 (ค.ศ. 1990) และเส้นดัชนีที่ค่อนข้างยาว

พื้นที่ศึกษา Y-Site จากการศึกษาค้นคว้าอย่างง่ายของปริมาณน้ำฝนกับอุณหภูมิกับความกว้างวงปีของไม้สักจากพม่าในพื้นที่ศึกษา Y-Site ซึ่งมีจำนวนตัวอย่างทั้งหมดก่อนที่จะมาจัดทำเป็นเส้นดัชนี 12 ต้น 21 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณน้ำฝนในเดือนกุมภาพันธ์ของปีปัจจุบันและปริมาณน้ำฝนของเดือนตุลาคมปีที่ผ่านมา มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับความกว้างวงปีที่ระดับ 95 % ซึ่งหมายถึง น้ำฝนในเดือนกุมภาพันธ์ของปีปัจจุบันและในเดือนตุลาคมของปีที่ผ่านมาจะควบคุมการเจริญเติบโตของไม้สักตลอดทั้งฤดูการเจริญเติบโต สำหรับอุณหภูมิในพื้นที่ศึกษาค่อนข้างแสดงอิทธิพลอย่างเด่นชัดกับการเจริญเติบโตของไม้สักโดยเฉพาะอุณหภูมิเดือนกุมภาพันธ์มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความกว้างวงปีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 20 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา Y-Site กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

M	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
T	.22	.15	.22	.15	.10	.11	.02	.27	.02	.09	-.11	-.20	-.04	.23	.18	.13	.01
P	.1	-.14	.16	.31	.12	.00	-.04	.26	.20	-.01	.18	.16	-.19	-.16	-.13	-.09	-.08

รูปที่ 39 แสดงผลการคำนวณจาก Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา Y-Site สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้ 36.71 % รูปที่ 40 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา Y-Site และ (b) ดัชนี Y-Site

พื้นที่ศึกษา Moswe-Site จากจำนวนตัวอย่างไม้สักทั้งหมด 41 ต้น 82 ตัวอย่าง ที่เก็บมาจากบริเวณนี้ สามารถนำตัวอย่าง 80 ตัวอย่างมาวิเคราะห์และจัดทำเส้นดัชนีได้ ในพื้นที่ศึกษานี้พบไม้สักที่มีอายุมากที่สุดของพม่า 248 ปี จากการวิเคราะห์การตอบสนองของความกว้างวงปีกับสภาพภูมิอากาศในพื้นที่นี้พบว่าปริมาณน้ำฝนเดือน ตุลาคม ของปีที่ผ่านมา มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความกว้างวงปีของไม้สัก และอุณหภูมิในเดือนเมษายนมีผลต่อความกว้างวงปีของไม้สักเชิงบวกที่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 21 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา Moswe Research Station กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

M	-J	-A	-S	-O	-N	-D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
T	-.06	.15	.17	.11	-.10	.10	.01	.04	-.18	.28	.17	.19	.07	.14	.03	.04	-.09
P	.04	-.13	.22	.05	-.18	-.01	-.08	.22	-.09	-.08	-.03	-.20	-.21	-.35	-.03	-.16	.10

รูปที่ 41 แสดงผลการคำนวณจาก Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา Moswe Research Station สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้ 45.16 %
รูปที่ 42 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา Moswe และ (b) ดัชนี Moswe

จากผลการศึกษาทั้งสองพื้นที่นี้ สรุปได้ว่า ปริมาณน้ำฝนเดือนกุมภาพันธ์และอุณหภูมิเดือนกุมภาพันธ์และเมษายน มีความสำคัญต่อการควบคุมการเจริญเติบโตของไม้สักในบริเวณพื้นที่แห้งแล้งของพม่า

จากการเก็บข้อมูลครั้งที่ 2 ในพื้นที่ศึกษา Moswe Research Station ระหว่างวันที่ 13-14 มีนาคม พ.ศ. 2542 สภาพพื้นที่ป่าได้รับการกระทบกระเทือนจากการตัดไม้เป็นอย่างมาก การเจริญเติบโตของต้นสักในพื้นที่นี้ อาจได้รับผลกระทบจากการตัดไม้ และการสร้างถนนเพื่อการชักลากไม้

ในการวิเคราะห์การตอบสนองของความกว้างวงปีไม้สักกับสภาพภูมิอากาศได้ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีมณฑะเลย์ เช่นเดียวกับที่ได้วิเคราะห์ไม้สักในพื้นที่ศึกษา Y-Site และ Moswe ที่อยู่ห่างจากพื้นที่ศึกษาประมาณ 300 กิโลเมตร เนื่องจากได้ลองทดสอบการวิเคราะห์กับข้อมูลภูมิอากาศ ทั้งจากสถานีร่างกุ้ง หรือนำข้อมูลจากสถานีร่างกุ้งและมณฑะเลย์ มาหาค่าเฉลี่ย ผลจากการวิเคราะห์พบว่าค่าที่ได้รับต่ำกว่าเมื่อใช้ข้อมูลจากสถานีมณฑะเลย์เพียงสถานีเดียว

และจำนวนเดือนที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้เลือกใช้จำนวน 17 เดือน คือ เดือนมกราคมถึงพฤศจิกายน ของปีปัจจุบัน และ เดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคมของปีที่ผ่านมา เนื่องจากข้อมูลของปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ เริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2474 (ค.ศ. 1931) ถึง พ.ศ. 2533 (ค.ศ. 1990) และเส้นดัชนีที่ค่อนข้างยาว

พื้นที่ศึกษา PR จากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิกับความกว้างวงปีของไม้สักจากพม่าในพื้นที่ศึกษา PR ซึ่งมีจำนวนตัวอย่างที่นำมาศึกษาน้อยมากเพราะลักษณะความกว้างของวงปีผิดปกติ ในที่นี้จึงได้นำมาเพียง 5 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณน้ำฝนมี

ความสัมพันธ์อย่างไม่มีนัยสำคัญกับความกว้างวงปี สำหรับอุณหภูมิในพื้นที่ศึกษาค่อนข้าง แสดงอิทธิพลอย่างเด่นชัดกับการเจริญเติบโตของไม้สักโดยเฉพาะอุณหภูมิเดือนสิงหาคมของปี ปัจจุบันมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความกว้างวงปีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 22 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา PR กับ ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

M	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
T	.04	.13	-.00	-.12	-.14	-.06	-.05	-.08	-.10	-.04	.21	.01	.01	.26	.14	.03	-.03
P	-.03	-.08	.23	.06	.03	-.08	-.04	.08	-.00	.05	-.19	.02	.05	-.19	.02	-.00	.14

รูปที่ 43 แสดงผลการคำนวณจาก Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา PR สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้ 13.57 %รูปที่ 44 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา PR และ (b) ดัชนี PR

พื้นที่ศึกษา PL เป็นพื้นที่ศึกษาอีกจุดหนึ่งที่ทางรัฐบาลพม่ากำลังจัดให้สัปดาห์ป่าไม้สักและไม้สักที่ได้ขนาดได้ถูกตัดทิ้งไว้ในพื้นที่ศึกษาตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2542 เพื่อเตรียมชักลากไปกองรวมที่หมอนไม้ จากการวิเคราะห์การตอบสนองของความกว้างวงปีต่อปัจจัยภายนอกพบว่า ปริมาณน้ำฝนเดือน ตุลาคมและเดือนกันยายน ของปีปัจจุบัน และปริมาณน้ำฝนของเดือนสิงหาคมของปีที่ผ่านมา มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับความกว้างวงปีของไม้สัก และปริมาณน้ำฝนของเดือนพฤศจิกายนของปีที่ผ่านมามีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญกับความกว้างวงปี สำหรับอุณหภูมิพบว่าอุณหภูมิเดือนพฤษภาคมมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับขนาดของวงปี

ตารางที่ 23 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา PL กับ ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

M	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
T	.21	.17	.07	.09	.17	.14	-.11	-.22	-.16	.12	.27	.14	.17	.22	.18	.15	.08
P	.03	.26	-.01	-.20	-.30	.11	-.01	-.08	-.09	-.20	.11	.11	.00	-.14	.26	.25	.02

รูปที่ 45 แสดงผลการคำนวณจาก Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา PL สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้ 56.89 % รูปที่ 46 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา PL และ (b) ดัชนี PL

พื้นที่ศึกษา PA ผลการศึกษาการตอบสนองของความกว้างวงปีของไม้สักที่พื้นที่ศึกษา PA กับข้อมูลปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิพบว่ามีความใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษา PL กล่าว

คือปริมาณน้ำฝนเดือนตุลาคมและเดือนกันยายน ของปีปัจจุบันมีผลต่อความกว้างวงปีของไม้สัก อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความน่าเชื่อถือ 95% และปริมาณน้ำฝนเดือนพฤศจิกายนของปีที่ผ่านมา มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญกับขนาดความกว้างวงปีสำหรับอุณหภูมิเดือน พฤษภาคมและเดือนมิถุนายนของปีปัจจุบันและปริมาณน้ำฝนของเดือนกรกฎาคมของปีที่ผ่านมา มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับความกว้างวงปี

ตารางที่ 24 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา PA กับ ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

M	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
T	.26	.14	.11	.12	.16	.23	-.01	-.20	-.15	.07	.27	.25	.17	.19	.23	.15	-.00
P	-.06	.08	-.00	-.14	-.31	.03	.21	-.10	-.13	-.09	.00	.04	.00	-.21	.29	.29	.07

รูปที่ 47 แสดงผลการคำนวณจาก Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ ศึกษา PA สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้ 41.53 % รูปที่ 48 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา PA และ (b) ดัชนี PA

พื้นที่ศึกษา NL จากการวิเคราะห์การตอบสนองของความกว้างวงปีกับสภาพ ภูมิอากาศ พบว่าทั้งปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิมีความสัมพันธ์อย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางที่ 25 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา NL กับ ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

M	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
T	.19	.09	.10	.06	.09	.22	-.22	-.17	-.15	.01	.03	-.00	.23	.02	.24	.21	.05
P	-.07	.05	-.11	-.03	-.14	-.16	.00	.05	-.08	-.17	.00	.12	.16	-.18	.11	.00	.00

รูปที่ 49 แสดงผลการคำนวณจาก Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ ศึกษา NL สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้ 36.99 % รูปที่ 50 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา NL และ (b) ดัชนี NL

3.2.6 Seinye Research Station

พื้นที่ศึกษาที่ Seinye Research Station เป็นพื้นที่ป่าสักขึ้น และเป็นแหล่งพันธุ์ไม้ สักที่ดีของประเทศพม่า ในการศึกษาครั้งนี้ได้เก็บข้อมูลทั้งสิ้น จำนวน 5 พื้นที่ศึกษา คือ S1-Site S2-Site S3-Site และ P1-Site P2-Site ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนและ

อุณหภูมิกับความกว้างวงปี (simple correlation) การตอบสนองของความกว้างวงปีกับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (Response Function) ได้ใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศชุดเดิมและเลือกจำนวนเดือนที่จะคำนวณ 17 เดือน ผลการศึกษาพบว่า

พื้นที่ศึกษาที่ S1-Site พื้นที่ศึกษานี้อยู่ไม่ห่างไกลจากเส้นทางหลวงหลัก จากร่างกิ่งไป มัณฑะเลย์ พื้นที่ศึกษาไม่สูงชันมากนักประกอบกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิที่ใช้ในการคำนวณค่อนข้างที่จะอยู่ห่างไกลจากบริเวณพื้นที่ที่เก็บตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำฝนมีความสัมพันธ์อย่างไม่มีนัยสำคัญกับความกว้างวงปีในพื้นที่ศึกษานี้ ในทางกลับกันอุณหภูมิของเดือนตุลาคมปีที่ผ่านมาอิทธิพลต่อความกว้างวงปีอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความน่าเชื่อถือ 95%

ตารางที่ 26 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา S1 กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

M	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
T	.20	.21	.22	.25	.06	-.02	-.05	.04	-.13	.17	-.05	.07	.22	.14	.17	.17	.07
P	-.02	-.15	.18	-.13	-.20	-.02	.03	.01	-.20	-.04	-.10	.17	-.13	-.04	.04	.21	.01

รูปที่ 51 แสดงผลการคำนวณจาก Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา S1 สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้ 28.82 % รูปที่ 52 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา S1 และ (b) ดัชนี S1

พื้นที่ศึกษาที่ S2-Site ผลการศึกษอิทธิพลของปริมาณน้ำฝนกับอุณหภูมิต่อความกว้างวงปี คล้ายคลึงกับพื้นที่ศึกษา S1-Site โดยที่ปริมาณน้ำฝนมีความสัมพันธ์อย่างไม่มีนัยสำคัญต่อความกว้างวงปีของไม้สัก และอุณหภูมิของเดือนกรกฎาคมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความกว้างของวงปี

ตารางที่ 27 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา S2 กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

M	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
T	.10	.05	.01	.14	.13	-.07	-.05	.10	-.08	.02	.07	-.05	.28	.24	.24	.10	.06
P	.05	-.09	.17	-.06	-.16	-.14	-.11	.11	-.20	-.11	-.16	.14	-.19	-.12	-.03	.08	-.08

รูปที่ 53 แสดงผลการคำนวณจาก Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา S2 สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้ 24.69 %รูปที่ 54 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา S2 และ (b) ดัชนี S2

พื้นที่ศึกษา P1-Site พื้นที่ศึกษา P1-Site เป็นพื้นที่ที่อยู่ห่างไกลออกไป สภาพป่าถึงแม้ว่าจะมีการทำไม้ออกไปแล้ว แต่ก็ยังคงเหลือไม้สักที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ถึงแม้ว่าไม้สักที่ P1-Site มีอายุเฉลี่ยเพียง 87 ปี ซึ่งจัดว่าค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับอายุไม้สักในพื้นที่ศึกษาอื่นๆ พบว่า ปริมาณน้ำฝนของเดือนสิงหาคมและธันวาคมของปีที่ผ่านมามีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญกับความกว้างวงปี สำหรับอุณหภูมิพบว่าอุณหภูมิในเดือนธันวาคมของปีที่ผ่านมา มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความกว้างวงปีของไม้สัก แต่อุณหภูมิของเดือนมกราคมมีความสัมพันธ์ในทางผกผันกับความกว้างวงปีของไม้สัก

ตารางที่ 28 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา P1 กับ ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

M	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
T	-.05	.01	-.05	-.00	-.18	-.27	-.24	-.03	-.02	.11	.13	.18	.05	-.21	.09	.05	-.05
P	-.05	-.30	-.09	-.02	-.21	-.31	.19	-.07	-.00	-.02	-.15	-.05	-.01	.18	.03	.11	-.09

รูปที่ 55 แสดงผลการคำนวณจาก Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา P1 สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้ 39.33 % รูปที่ 56 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา P1 และ (b) ดัชนี P1.

พื้นที่ศึกษา P2-Site ไม้สักในพื้นที่ศึกษามีอายุเฉลี่ยค่อนข้างมากประมาณ 177 ปี โดยที่ปริมาณน้ำฝนเดือนกุมภาพันธ์มีผลเชิงบวกต่อความกว้างของวงปีไม้สักอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในขณะเดียวกันน้ำฝนของเดือนสิงหาคมมีผลเชิงลบต่อความกว้างวงปีไม้สักอย่างมีนัยสำคัญ และอุณหภูมิเดือนสิงหาคมมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับความกว้างของวงปีของไม้สักเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 29 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา P2 กับ ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

M	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
T	.03	.21	.18	.12	.02	-.04	.12	.13	.09	.19	-.06	.04	.08	.34	.13	.11	.00
P	.02	-.07	.24	.20	-.01	-.04	-.15	.27	-.14	-.04	.04	.03	-.21	-.30	-.21	-.04	.09

รูปที่ 57 แสดงผลการคำนวณจาก Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา P2-Site ความกว้างวงปีของไม้สักสามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้ 32.06 % รูปที่ 58 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา P2 และ (b) ดัชนี P2

พื้นที่ศึกษา P3-Site พบว่าปริมาณน้ำฝนเดือนกรกฎาคม กันยายน ของปีที่ผ่านมา มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความกว้างวงปีของไม้สัก เช่นเดียวกับปริมาณน้ำฝนเดือนกุมภาพันธ์ ของปีปัจจุบัน แต่ปริมาณน้ำฝนเดือนสิงหาคมมีความสัมพันธ์เชิงผกผันกับความกว้างวงปีของ ไม้สัก สำหรับอุณหภูมิพบว่าอุณหภูมิเดือนเมษายนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความกว้างวงปี ของไม้สัก ความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา P3-Site

ตารางที่ 30 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา P3 กับ ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

M	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
T	-.18	.14	-.07	-.02	-.12	-.00	.04	.14	11	11	-.13	.01	-.02	10	08	-.04	-.03
P	.15	-.04	.13	.02	-.14	-.00	.17	.18	-.00	-.03	-.06	.13	-.11	10	.28	.14	.36

รูปที่ 59 แสดงผลการคำนวณจาก Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ ศึกษา P3-Site สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้ 32.38 % รูปที่ 60 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา P3 และ (b) ดัชนี P3

ผลจากการศึกษาการตอบสนองของไม้สักต่อสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษา Seinye Research Station ซึ่งเป็นพื้นที่ป่าสักที่ค่อนข้างชุ่มชื้น พบว่าปริมาณน้ำฝนของปีที่ผ่านมา อิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของไม้สักในพื้นที่ศึกษานี้ และอิทธิพลของอุณหภูมิต่อความกว้างวง ปีค่อนข้างมีความชัดเจนในระหว่างกลางฤดูฝนจนถึงปลายฤดูฝน

3.2.7 Pyinoolwin Reserve Forest

พื้นที่ศึกษา Pyinoolwin Reserve Forest ได้เก็บตัวอย่างในพื้นที่ที่ใกล้เคียงกัน 2 พื้นที่คือ MA และ MB

พื้นที่ศึกษา MA ถึงแม้ว่าพื้นที่ศึกษานี้ ทางรัฐบาลพม่าได้ประกาศให้เป็น พื้นที่ป่า สงวนเพราะว่าได้พบต้นสักที่ใหญ่ที่สุดของพม่า แต่พื้นที่ดังกล่าวได้ผ่านการทำไม้อย่างหนักมา แล้ว ผลจากการวิเคราะห์การตอบสนองของความกว้างวงปีกับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิพบว่า ปริมาณน้ำฝนเดือนเมษายนมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนอุณหภูมิไม่แสดง ความสัมพันธ์ใดๆ

ตารางที่ 31 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MA กับ ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

M	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
T	-.00	.07	-.14	-.19	-.12	.22	.17	-.04	.15	-.09	-.13	-.07	-.04	-.04	-.01	-.14	-.02
P	-.13	-.07	.11	-.13	.20	.16	-.09	-.12	-.05	.25	.04	.16	.12	.07	.11	.06	-.07

รูปที่ 61 แสดงผลการคำนวณจาก Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MA สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้ 36.13 % รูปที่ 62 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา MA และ (b) ดัชนี MA

พื้นที่ศึกษา MB ผลการวิเคราะห์การตอบสนองของความกว้างวงปีกับสภาพภูมิอากาศพบว่าปริมาณน้ำฝนเดือนเมษายนมีผลต่อความกว้างวงปีของไม้สักที่พื้นที่ศึกษานี้ อย่างมีนัยสำคัญ และอุณหภูมิของเดือนธันวาคมมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับความกว้างวงปีของไม้สัก

ตารางที่ 32 ความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MB กับ ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ตัวเลขเข้มเป็นค่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ 95%)

M	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
T	.07	.04	-.18	-.13	-.06	.26	.15	.05	.05	-.05	-.19	.07	-.03	-.15	-.07	-.13	-.10
P	-.10	-.04	.18	-.23	-.13	.15	.08	-.10	.16	.37	.10	.09	.11	.11	.02	.09	.07

รูปที่ 63 แสดงผลการคำนวณจาก Response Function ซึ่งความกว้างวงปีของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MB สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนได้ 32.81 % รูปที่ 64 แสดง (a) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา MB และ (b) ดัชนี MB

ไม้สักจาก Pyinoolwin Reserve Forest ทั้ง 2 พื้นที่ศึกษา แสดงค่าความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างความกว้างของวงปีและปริมาณน้ำฝนในเดือนเมษายน และอุณหภูมิของเดือนธันวาคมปีที่ผ่านมาของพื้นที่ MB แสดงความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความกว้าง

3.3 การพัฒนาตัวแปรทางกายวิภาคของดัชนีไม้สัก

ตัวอย่างไม้สักจากเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย มีวงปีปลอม (False Ring) และ/หรือ วงปีหาย (Missing Ring) น้อยมาก จึงได้รับเลือกมาเพื่อการศึกษาการพัฒนาตัวแปรทางกายวิภาคเพื่อที่จะนำมาสร้างเส้นดัชนีและศึกษาความสัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศต่อไป

ไม้สักที่นำมาศึกษานี้ได้ผ่านกระบวนการ Crossdating และ Detrending เรียบร้อยแล้ว ผลการศึกษาสามารถสรุปประเด็นที่สำคัญได้ดังนี้

3.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพภูมิอากาศกับความกว้างของวงปี

ดัชนีใหม่ของไม้สักจากเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอนที่สร้างขึ้น มีค่าความสัมพันธ์ของตัวเอง (Autocorrelation) และค่าความอ่อนไหว (Mean Sensitivity) เท่ากับ 0.72 และ 0.31 ดังแสดงในตารางที่ 33 ความสัมพันธ์ในเชิงบวกที่ระดับความน่าเชื่อถือ 95 % ระหว่างความกว้างวงปีกับปริมาณน้ำฝนในปีปัจจุบันของเดือน พฤษภาคม มิถุนายน และ กรกฎาคม สำหรับอุณหภูมิพบว่ามีความสัมพันธ์อย่างไม่มีนัยสำคัญกับความกว้างวงปี (รูปที่ 65 (E)) ผลจากการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Pumijumnong (1995)

ตารางที่ 33 สรุปค่าสถิติ ความสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation) ค่าเฉลี่ยของความอ่อนไหว (Mean Sensitivity) ของลักษณะทางกายวิภาคและความกว้างวงปี ของไม้สัก

Wood	Variable		Autocorrelation	Mean Sensitivity	Meaning
Earlywood	EWAREA	V1	0.10	0.21	EWAREA=Earlywood vessel area
	EW DIA	V4	0.06	0.13	EW DIA = Earlywood vessel diameter
	EW D4	V2	0.13	0.38	EW D4 = Earlywood conductive area
	EW DD	V3	0.29	0.34	EW DD = Earlywood vessel density
Latewood	LWAREA	V5	0.14	0.27	LWAREA=Latewood vessel area
	LW DIA	V8	0.14	0.19	LW DIA = Latewood vessel diameter
	LW D4	V6	0.14	0.54	LW D4 = Latewood conductive area
	LW DD	V7	0.46	0.40	LW DD = Latewood vessel density
Total ring	TWAREA	V9	0.18	0.18	TWAREA= Total ring vessel area
	TW DIA	V12	0.20	0.13	TW DIA = Total ring vessel diameter
	TW D4	V10	0.17	0.33	TW D4 = Total ring conductive area
	TW DD	V11	0.55	0.39	TW DD = Total ring vessel density
Ring Width	RW	V13	0.72	0.31	RW = Ring width

3.3.2 การตอบสนองของตัวแปรทางกายวิภาคของไม้สักกับสภาพภูมิอากาศ

ตัวแปรทางกายวิภาคของไม้สักทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศที่ต่างกันออกไป ดังแสดงในตารางที่ 33 รูปที่ 65 เมื่อพิจารณาทั้งความกว้างวงปี (Total ring) ดัชนีของพื้นที่ท่อลำเลียงน้ำ (TWAREA) มีค่าความอ่อนไหวต่ำ (0.185) และค่าความสัมพันธ์ในตัวเองต่ำ (0.18) โดยมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิของเดือนเมษายนและพฤษภาคมของปีปัจจุบัน รูปที่ 65 (A-D) ในทางตรงกันข้ามมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณน้ำฝนของเดือนเมษายนในปีปัจจุบัน รูปที่ 65 (A-C)

ดัชนีของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อลำเลียงน้ำ (TWDIA) และความหนาแน่น (TWDD) ทั้งวงปี ทั้งสองปัจจัยนี้มีค่าความสัมพันธ์ในตัวเองเท่ากับ 0.20 และ 0.55 ตามลำดับ และค่าความอ่อนไหวเท่ากับ 0.13 และ 0.39 สำหรับความสัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศนั้น พบว่าดัชนีเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อลำเลียงน้ำ (TWDIA) มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณน้ำฝนในเดือนมีนาคมและเดือนเมษายน รูปที่ 65 (B) ขณะที่ความหนาแน่นของท่อลำเลียงน้ำทั้งวงปี (TWDD) มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณน้ำฝนของเดือน มีนาคม พฤษภาคม และสิงหาคม ของปีปัจจุบัน รูปที่ 65 (D) และตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิของเดือนเมษายน รูปที่ 65 (B และ D)

ศักยภาพในการนำน้ำของท่อลำเลียงน้ำ (TWD4) พบว่ามีค่าความอ่อนไหวสูง (0.33) และค่าความสัมพันธ์ในตัวเองต่ำ (0.17) โดยมีความสัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศในเชิงลบกับปริมาณน้ำฝนของเดือนเมษายนในปีปัจจุบัน และมีค่าความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิในเดือนของเมษายนและพฤษภาคม รูปที่ 65 (C)

กล่าวสรุปได้ว่าตัวแปรทางกายวิภาคของไม้สักทั้งวงปีมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิในเดือนเมษายน และพฤษภาคม มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณน้ำฝนในเดือนมีนาคม และเมษายน (รูปที่ 65 A-D) จากการศึกษาตัวแปรทางกายวิภาคของไม้โอ๊คที่ประเทศเยอรมัน โดย Eckstein และ Frisse (1982) สามารถสรุปได้ว่า พื้นที่ของท่อลำเลียงน้ำมีความสัมพันธ์สูงกับสภาพภูมิอากาศ ส่วนค่าความอ่อนไหวมีค่าใกล้เคียง ศูนย์ (0.07-0.14)

ไม้ต้นฤดู (Earlywood) ตัวแปรทางกายวิภาคทั้งหมดไม่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ พื้นที่ท่อลำเลียงน้ำในช่วงต้นฤดู (EWAREA) สัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนในเดือนพฤษภาคม รูปที่ 66 (A) ค่าความอ่อนไหวเท่ากับ 0.21 และค่าความสัมพันธ์ในตัวเองมีค่าใกล้เคียงศูนย์ (0.10) และพบว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับปริมาณน้ำฝนของเดือนเมษายน

ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อลำเลียงน้ำ (EWDIA) บริเวณไม้ต้นฤดู มีความสัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศคล้ายคลึงกับพื้นที่ของท่อลำเลียงน้ำ

ศักยภาพในการนำน้ำ (EWD4) บริเวณไม้ต้นฤดู พบว่าค่าเฉลี่ยของความอ่อนไหวเท่ากับ (0.38) และมีค่าความสัมพันธ์ภายในตัวเองต่ำ (0.13) โดยมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับปริมาณน้ำฝนในเดือนเมษายน

ความหนาแน่นของท่อลำเลียงน้ำในบริเวณไม้ต้นฤดู (EWDD) พบว่ามีค่าความอ่อนไหวสูง (0.344) และค่าความสัมพันธ์ในตัวเองต่ำ (0.291) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณน้ำฝนของเดือนกรกฎาคมของปีปัจจุบัน

ไม้ปลายฤดู (Latewood) ทั้งค่าเฉลี่ยของพื้นที่ท่อลำเลียงน้ำ (LWAREA) และเส้นผ่าศูนย์กลาง (LWDIA) มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิของเดือนมิถุนายนของปีปัจจุบัน โดยค่าความอ่อนไหวเท่ากับ 0.267 และ 0.195 สำหรับความหนาแน่นของไม้ปลายฤดู (LWDD) มีค่าความอ่อนไหวสูง เท่ากับ 0.401 และค่าความสัมพันธ์ในตัวเองเท่ากับ 0.465

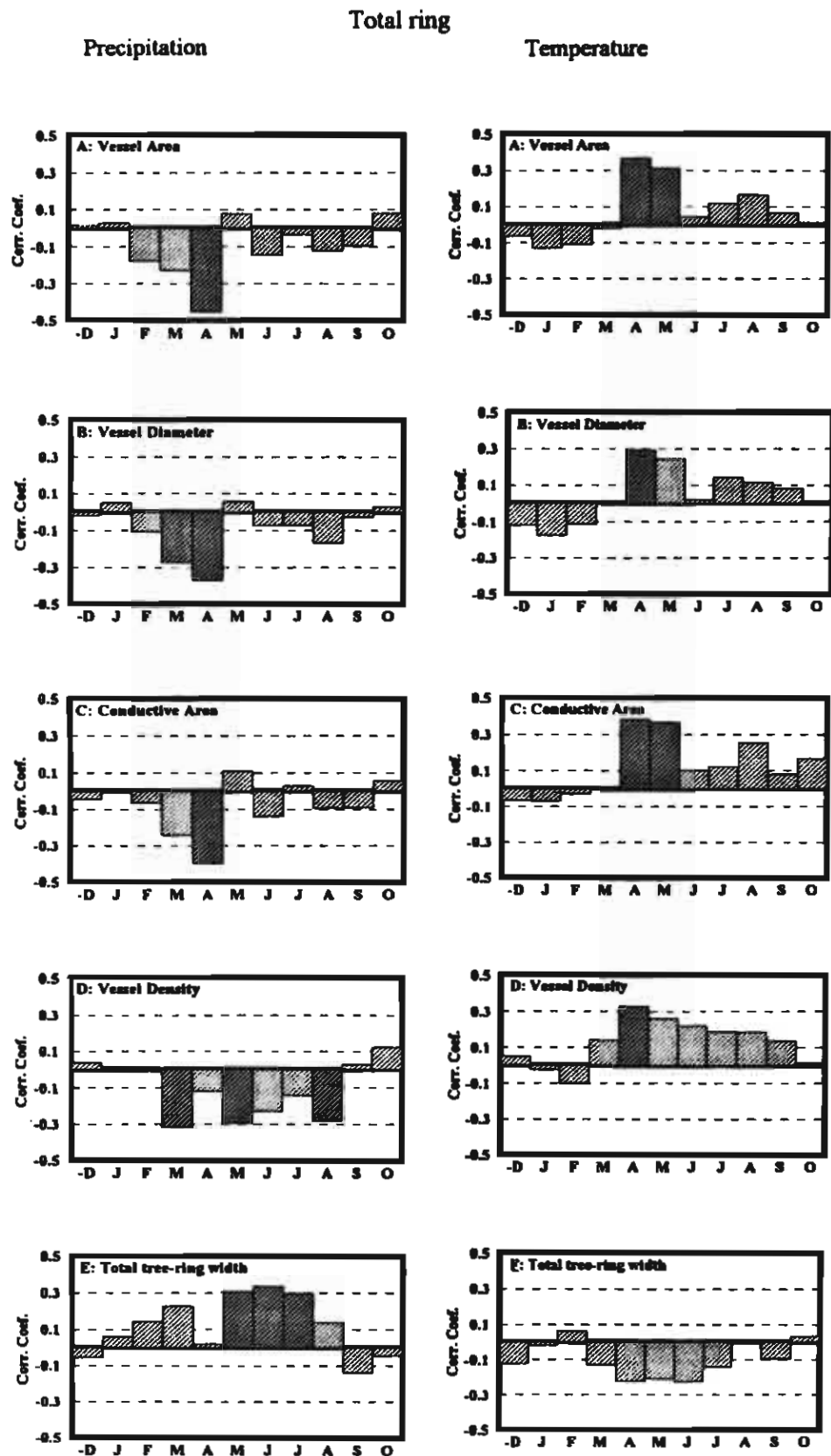
ศักยภาพในการนำน้ำ (LWD4) มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิเดือนมิถุนายนและสิงหาคม รูปที่ 67 (C) และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณน้ำฝนเดือน พฤษภาคม

ความหนาแน่นของไม้ปลายฤดู (LWDD) มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิในเดือนเมษายนและพฤษภาคม และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณน้ำฝนของเดือนพฤษภาคม

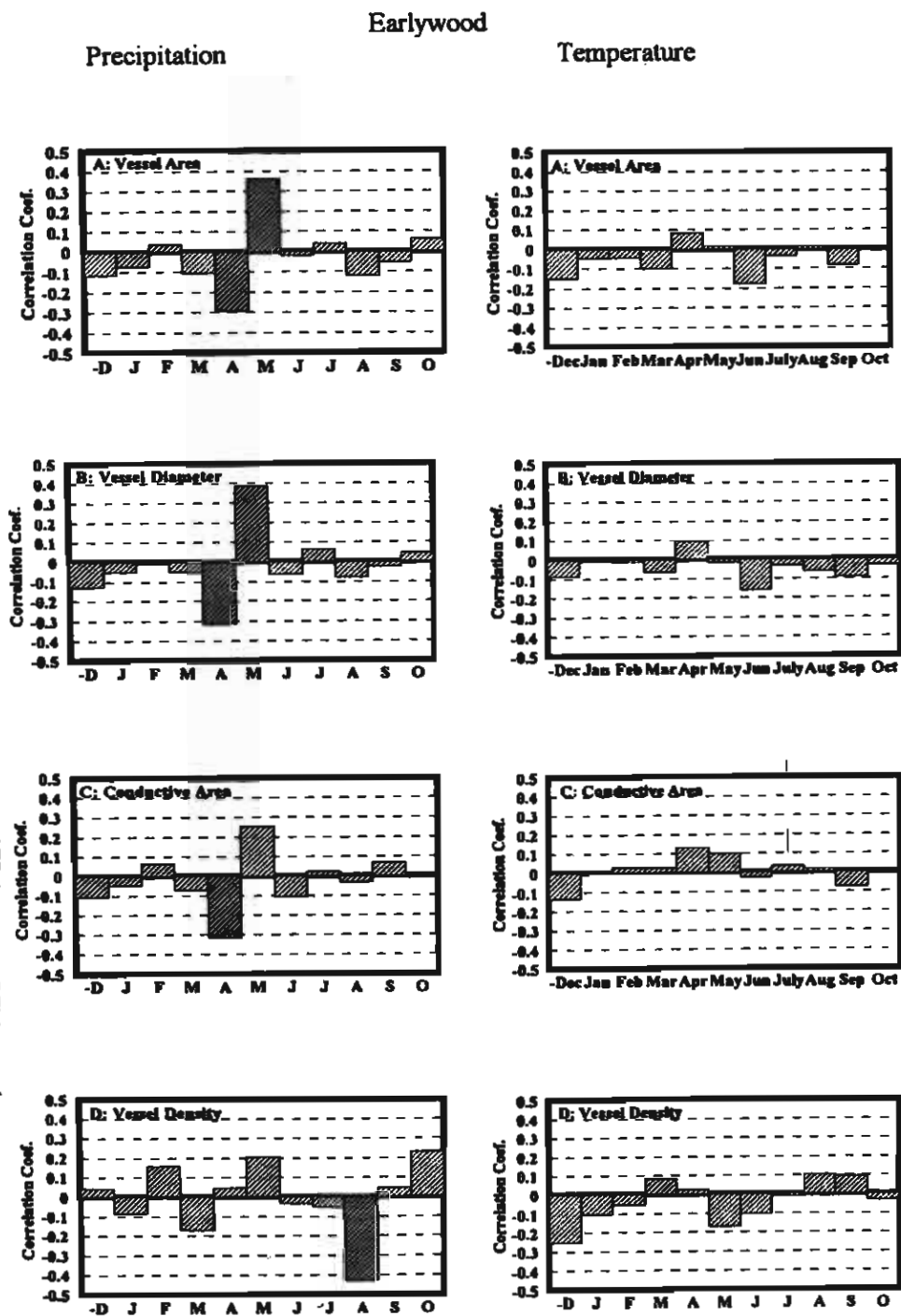
3.3.3 ความกว้างวงปีกับตัวแปรทางกายวิภาค

จากการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างวงปีและตัวแปรทางกายวิภาคของไม้สักได้แสดงในตารางที่ 34 ความกว้างของวงปีมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับตัวแปรทางกายวิภาค คือความกว้างวงปี (RW) มีความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยของท่อลำเลียงน้ำในไม้ต้นฤดู (EWAREA) เท่ากับ 0.328 สัมพันธ์กับเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อลำเลียงน้ำ (EWDIA) เท่ากับ 0.346 ส่วนความกว้างวงปีมีความสัมพันธ์กับตัวแปรทางกายวิภาคของไม้ปลายฤดูดังนี้คือ สัมพันธ์กับพื้นที่เฉลี่ยท่อลำเลียงน้ำ (LWAREA) เท่ากับ 0.257 และศักยภาพในการนำน้ำ (LWD4) เท่ากับ 0.350

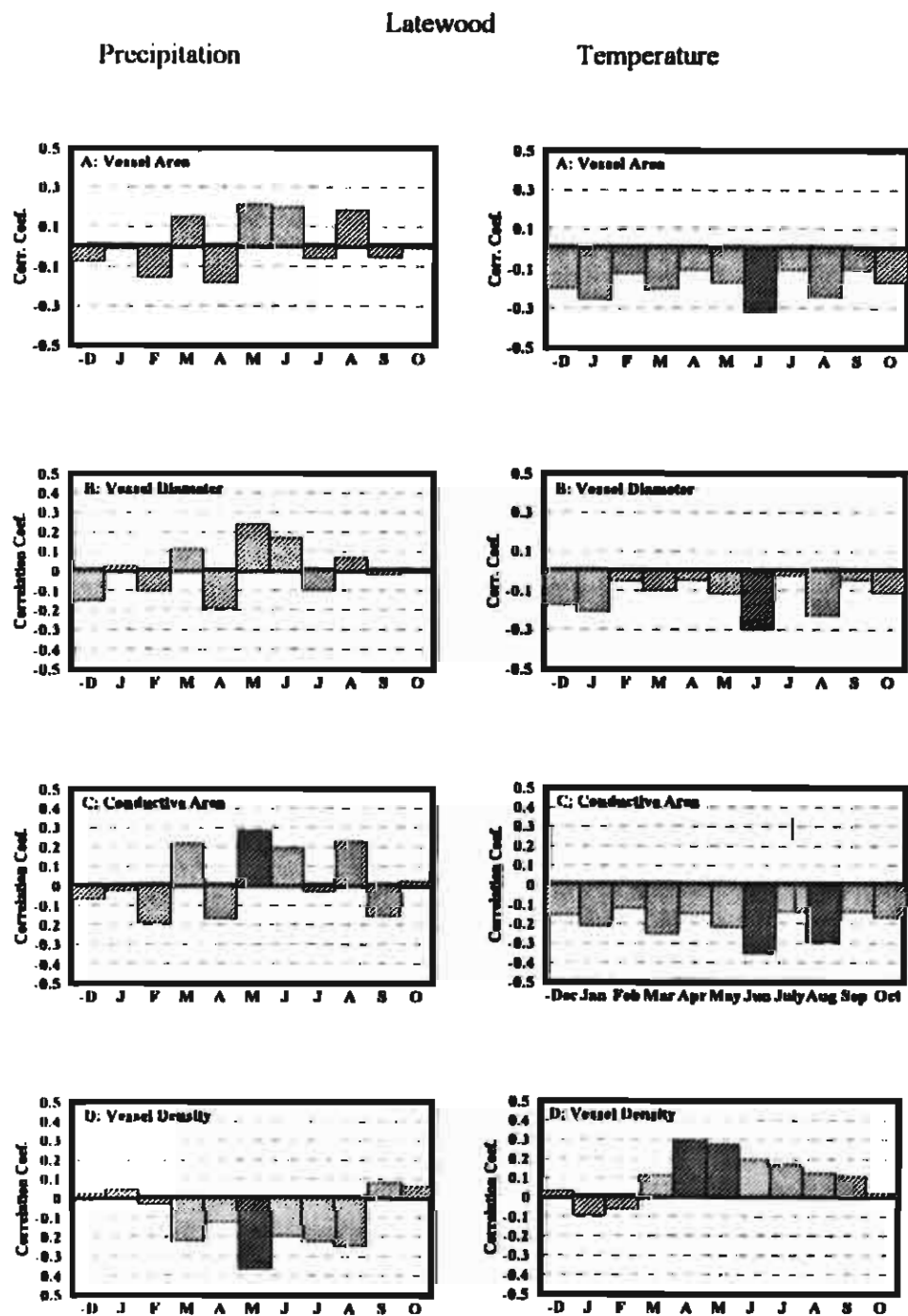
ความกว้างวงปี (RW) มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อลำเลียงน้ำทั้งวงปี (TWDIA) (-0.250) มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความหนาแน่นทั้งวงปี (TWDD) (-0.694) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความหนาแน่นของท่อลำเลียงน้ำในไม้ปลายฤดู (LWDD) (-0.698) ผลการศึกษาครั้งนี้คล้ายคลึงกับผลการศึกษาของ Woodcock (1989) ซึ่งทำการศึกษาไม้ที่มีวงปีเด่นชัด 3 ชนิด และพบว่า ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ท่อลำเลียงน้ำ มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความหนาแน่นท่อลำเลียงน้ำในไม้ปลายฤดูและความกว้างวงปี



รูปที่ 65 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายวิภาค ทั้งวงปี (A-D) ความกว้างวงปี (E) ซึ่งคำนวณตั้งแต่ปี พ.ศ. 2490-2540 กราฟแท่งเป็นตัวแทนของ ค่าความสัมพันธ์อย่างง่าย กราฟแท่งและมีเส้นทึบภายใน แสดงถึงความสัมพันธ์ที่มีค่าทางสถิติที่เชื่อถือได้ที่ระดับ 95%



รูปที่ 66 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพอากาศและตัวแปรทางกายวิภาคของไม้ต้นฤดู คำนวณระหว่างปี พ.ศ. 2490-2540 กราฟแท่งหมายถึงค่าความสัมพันธ์อย่างง่าย และกราฟแท่งที่มีเส้นทึบ หมายถึงค่าความสัมพันธ์อย่างง่ายที่มีค่าความเชื่อถือทางสถิติ ระดับ 95%



รูปที่ 67 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพอากาศและกายวิภาคของไม้ปลายฤดู คำนวณระหว่างปี พ.ศ. 2490-2540 กราฟแท่งหมายถึงค่าความสัมพันธ์อย่างง่าย และกราฟแท่งที่มีเส้นทึบ หมายถึงค่าความสัมพันธ์อย่างง่ายที่มีค่าความเชื่อถือทางสถิติ ระดับ 95%

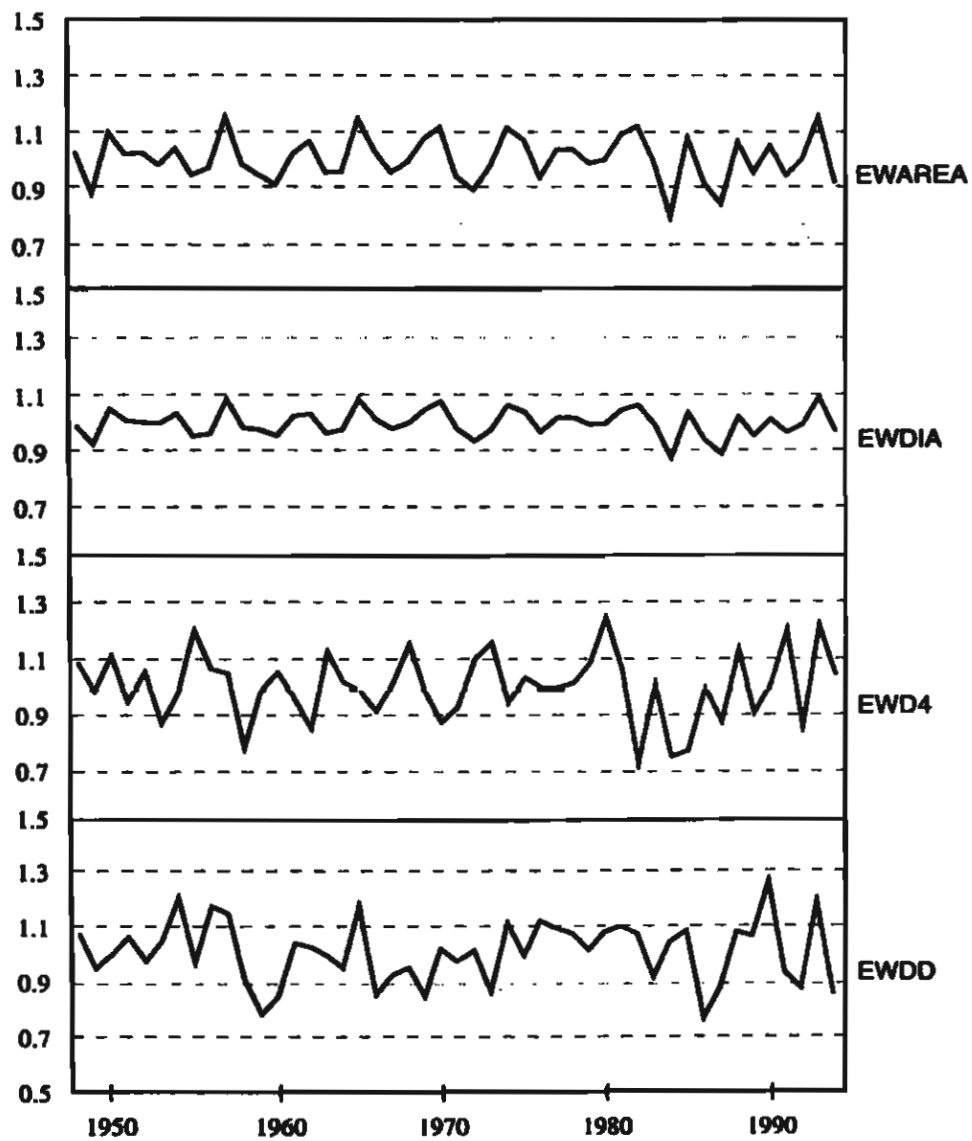
ตารางที่ 34 แสดงความสัมพันธ์อย่างง่ายของตัวแปรทางกายวิภาคซึ่งกันและกัน (เปรียบเทียบกับการตารางที่ 33) และกับความกว้างปี (RW)

**significant at 0.001 level, *significant at 0.05 level

	TWAREA	TWDA	TWD4	TWDD	EWAREA	EWDA	EWDD	LWAREA	LWDA	LWD4	LWDD	RW
TWAREA		0.955**	0.934**	0.588**	0.454**	0.406**	0.416**	0.299*	0.318*		0.588**	
TWDA	0.955**		0.839**	0.590**	0.367**	0.320*	0.337*	0.386**	0.448**	0.241*	0.632**	-0.250*
TWD4	0.934**	0.839**		0.491**	0.569**	0.514**	0.552**				0.455**	
TWDD	0.588**	0.590**	0.491**							0.394**	0.931**	-0.694**
EWAREA	0.454**	0.367**	0.569**			0.978**	0.882**	0.296*	0.322*	0.311*		0.328*
EWDA	0.406**	0.320*	0.514**		0.978**		0.877**	0.294*	0.321*	0.324*		0.346**
EWDD	0.416**	0.337*	0.552**		0.882**	0.877**	0.481**					
LWAREA	0.299*	0.386**		0.267*	0.296*	0.294*			0.948**	0.943**		0.257*
LWDA	0.318*	0.448**			0.322**	0.321*		0.948**		0.865**		
LWD4		0.241*		0.394**	0.311*	0.324*		0.943**	0.865**			0.350**
LWDD	0.588**	0.632**	0.455**	0.931**								-0.698**
RW		-0.250*		-0.694**	0.328*	0.346**		0.257*		0.350**	-0.698**	

3.3.4 ความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละตัวแปรทางกายวิภาคภายในวงปี

ตัวแปรทางกายวิภาคของไม้สักนั้น หากพิจารณาจากหน้าที่ของแต่ละตัวแปร อาจจะไม่มีความชัดเจนว่าตัวแปรอะไรบ้างที่มีความสัมพันธ์กันและระดับความสัมพันธ์เป็นอย่างไร ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ได้นำค่าตัวแปรทั้งหมดที่ศึกษามาหาค่าความสัมพันธ์อย่างง่ายดังแสดงในตารางที่ 34 พบว่า ตัวแปรทั้ง 4 ในส่วนของ Earlywood (EWAREA, EWDIA, EWD4, EWDD) มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตัวแปรทางกายวิภาคเป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นมีความสัมพันธ์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับความหนาแน่นของท่อลำเลียงน้ำทั้งวงปี (TWDD) และความหนาแน่นของท่อลำเลียงน้ำในไม้ปลายฤดู (LWDD) ในส่วนของ Latewood พบว่าตัวแปรทั้งหมดมีความสัมพันธ์อย่างไม่มีนัยสำคัญกับ ตักยในการนำน้ำในส่วน Earlywood (EWD4) ความหนาแน่นในส่วน Latewood (LWDD) และความหนาแน่นในส่วนไม้ปลายฤดู



รูปที่ 68 กราฟเส้นดัชนีของตัวแปรทางกายวิภาค EWAREA=Earlywood Vessel Area, EWDIA=Earlywood Vessel Diameter, EWD4=Earlywood Conductive Area และ EWDD=Earlywood Density

3.4 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเจริญเติบโตอย่างฉับพลันของไม้สัก

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเจริญเติบโตอย่างฉับพลันนั้น (Growth Abrupt) เป็นการประยุกต์ใช้วิธีการศึกษาทางด้าน Dendrochronology อย่างหนึ่ง โดยใช้ขนาดของวงปีที่ต่อเนื่องกันอย่างน้อยที่สุด 3 ปี มาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา จัดกลุ่มขนาดของวงปีว่ามีแนวโน้มแคบลงหรือกว้างขึ้น เพื่อนำมาอธิบายถึงสาเหตุที่เกิดขึ้นกับขนาดของวงปีที่เปลี่ยนไป รูปที่ 69 แสดง (A) รูปแบบของความกว้างวงปี (B) ข้อมูลดิบ (C) ปีดัชนี ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ไม้สักจากเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย (Mae1 และ Mae2) ไม้สักจากอุทยานแห่งชาติแม่วงก์ (MV1-MV4) ไม้สักจากอุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้า (KL) ผลการศึกษาดังเสนอในหัวข้อต่อไป

3.4.1 ผลการศึกษาการแจกแจงความถี่

จำนวนไม้สักที่นำมาศึกษาครั้งนี้มีจำนวนทั้งหมด 120 ต้น จากพื้นที่ศึกษาเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย อุทยานแห่งชาติแม่วงก์ และอุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้า รูปที่ 70 แสดงการแจกแจงความถี่ของเส้นผ่านศูนย์กลาง ในแต่ละพื้นที่ศึกษา ได้แก่ MAE1, MAE2, KL, และ MV1-MV4 ซึ่งความถี่มีการกระจายแบบปกติ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าไม้สักในพื้นที่ศึกษามีขนาดที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน

Foster (1988) ใช้ช่วงเวลาที่เกิดการกระทบกระเทือนจากภัยธรรมชาติ มาประมาณโครงสร้างของอายุ ซึ่งเป็นกรณีการศึกษาอย่างหนึ่งที่จะทราบถึงเรื่องความเป็นมาของระบบนิเวศของป่านั้น

จากผลการศึกษาในครั้งนี้ ในเรื่องการจัดชั้นอายุ ดังแสดงในรูปที่ 71 การกระจายของโครงสร้างของอายุเป็นแบบปกติ ซึ่งผลการศึกษาค่อนข้างที่จะขัดแย้งกับป้าธรรมชาติที่ไม่ถูกทำลายว่าการกระจายของชั้นอายุไม่ควรจะเป็นแบบมีหลายชั้นอายุ (Uneven Age) จากผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าป่าสักบริเวณที่เก็บข้อมูลได้รับการกระทบกระเทือน หรืออีกนัยหนึ่งในสมัยที่มีการทำไม้สักเป็นการทำแบบตัดหมด ไม่ได้ใช้แบบเลือกตัดซึ่งแบบเลือกตัดนั้นเป็นวิธีที่ดีกว่าในส่วนที่เลือกแต่ต้นไม้ที่ได้ขนาด แต่สำหรับการตัดหมด ก่อต่อการจัดการแต่จะทำให้ระบบนิเวศเสียไป เพราะเปิดพื้นที่มากเกินไป ประชากรของไม้สักกลุ่มใหญ่ของป่าแม่วงก์และคลองวังเจ้ามีการขึ้นใหม่ทดแทนในปี พ.ศ. 2440-2449 (ค.ศ. 1897 – 1906) เช่นเดียวกับที่แม่ฮ่องสอนซึ่งมีการทดแทนใหม่ประมาณปี พ.ศ. 2439-2449 (ค.ศ. 1896 – 1906)

3.4.2 การกระจายชั้นเส้นผ่านศูนย์กลาง

รูปที่ 72a, b และ รูปที่ 73a, b เป็นการเปรียบเทียบการกระจายชั้นของเส้นผ่านศูนย์กลาง และการกระจายชั้นอายุ ของทั้ง 2 พื้นที่ศึกษา ป่าแม่วงก์และคลองวังเจ้า จากกราฟมี 3 ส่วน ที่เด่นคือ ช่วงที่เส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 211 – 230 ซม. 171-190 ซม. และ 131-150, 151-170, 191-210, 231-250 ซม ซึ่งเป็นกลุ่มของไม้สักที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นจำนวนมากที่สุดในพื้นที่ศึกษา ขณะที่ รูปที่ 72 b พื้นที่ศึกษาแม่ฮ่องสอนได้แสดงการกระจาย

ของเส้นผ่าศูนย์กลางในรูปแบบกราฟปกติ หมายความว่าในแต่ละชั้นเส้นผ่าศูนย์กลางมีจำนวน เกือบเท่ากันหมด

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจากผลการศึกษาทั้ง 2 พื้นที่นี้ การกระจายของเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เป็นรูปตัว J กลับ (Convert J Shape) ซึ่งเป็นรูปแบบของโครงสร้างอายุป่าที่ไม่ถูก กระแทบกระเทือน (Sano 1997) ซึ่งผลการศึกษาเรื่องการกระจายของชั้นอายุไม้สักดังแสดงในรูป ที่ 73a, b จากทั้ง 2 พื้นที่ศึกษาซึ่งมีการกระจายแบบปกติ หมายถึงไม้สักมีอายุใกล้เคียงกัน (even age stand)

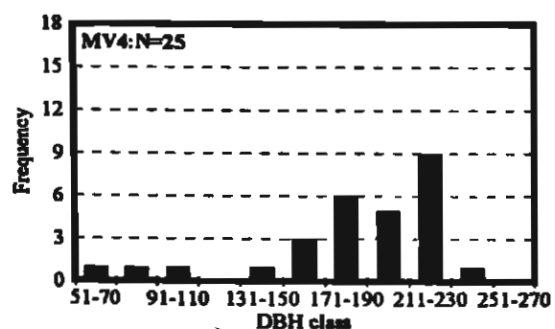
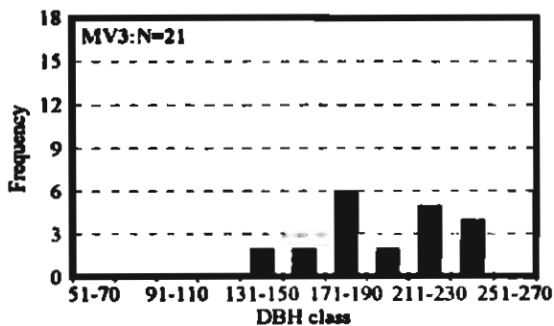
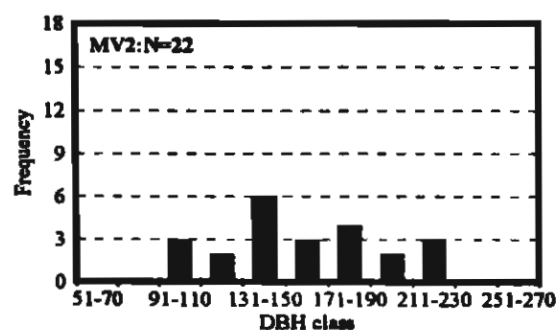
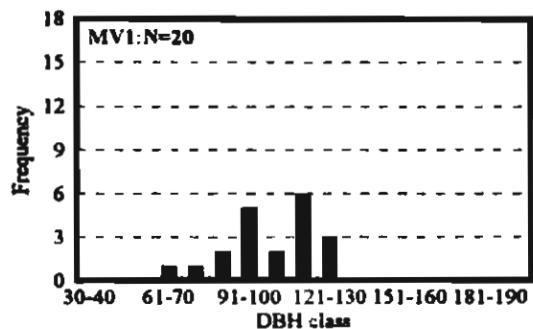
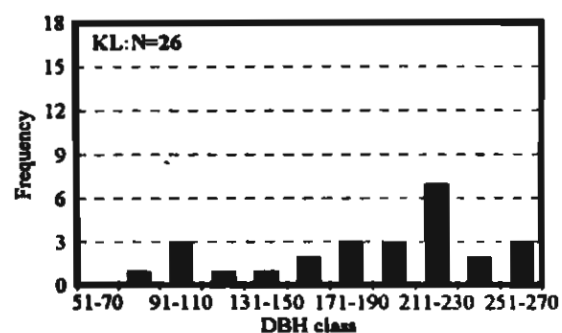
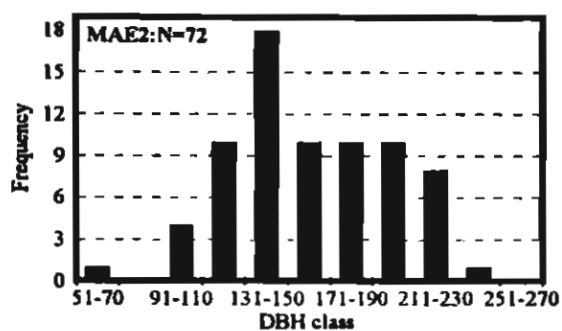
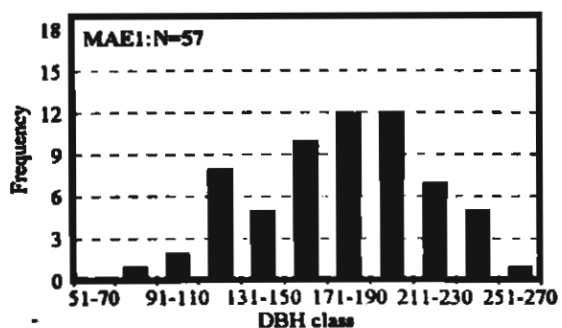
ไม้สักในประเทศไทยเกือบทั้งหมดได้ผ่านการทำไม้มาแล้วอย่างน้อย 1 หรือ 2 ครั้ง การ ทำไม้ในประเทศไทยถูกยกเลิกเมื่อปี พ.ศ. 2532 (ค.ศ. 1985) หลังจากที่ได้เกิดวาคภัยอย่างรุนแรงทางภาคใต้ อย่างไรก็ตามการลักลอบตัดไม้ยังปรากฏให้เห็นในหลายๆพื้นที่ แม้แต่พื้นที่ที่ได้รับการประกาศเป็นเขตสงวน จากผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนแล้วว่าไม้สักมีอายุ ใกล้เคียงกัน ซึ่งคล้ายตามเหตุผลว่าพื้นที่ป่าทั้งสองมีการทำไม้ออกไปแล้ว

จากผลการศึกษาครั้งนี้ อายุกับเส้นผ่าศูนย์กลางไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งสาเหตุหนึ่ง อาจเนื่องมาจากจำนวนตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์อาจน้อยเกินไป และการเก็บข้อมูลอย่างเฉพาะเจาะจง จึงทำให้ไม้สักที่มีขนาดเล็กไม่ได้รับเลือกมาเป็นตัวแทนในการศึกษาครั้งนี้

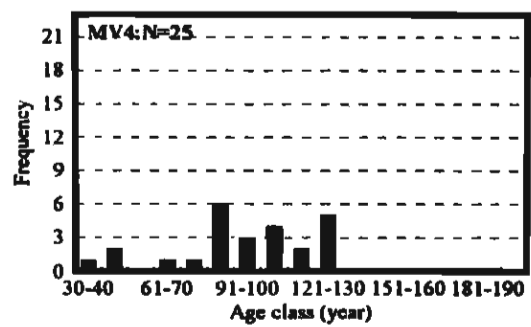
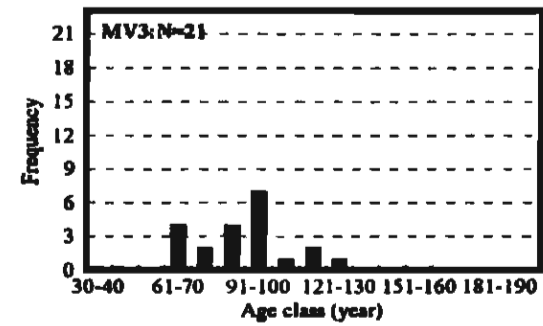
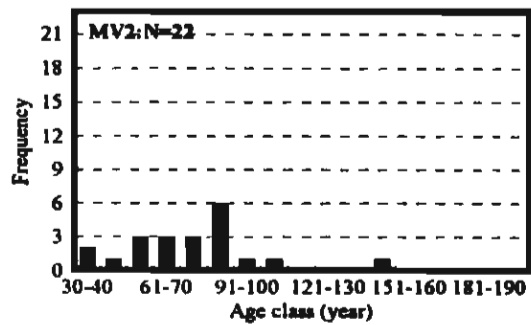
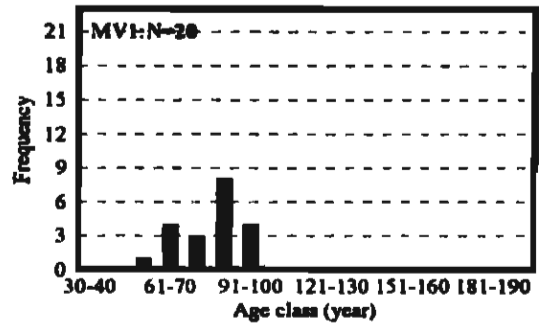
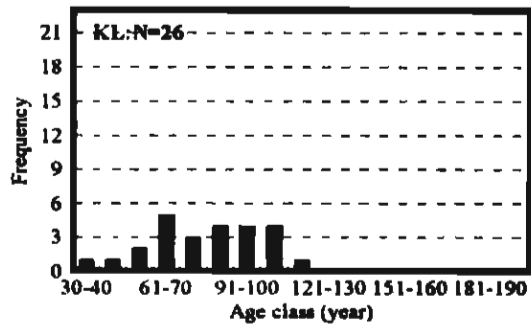
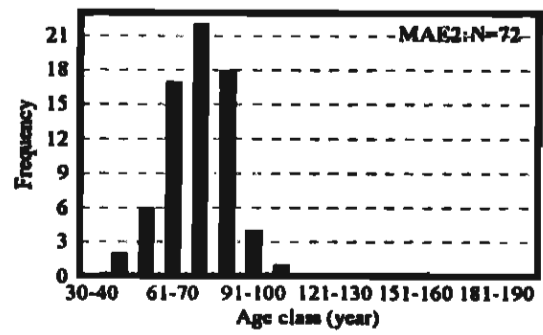
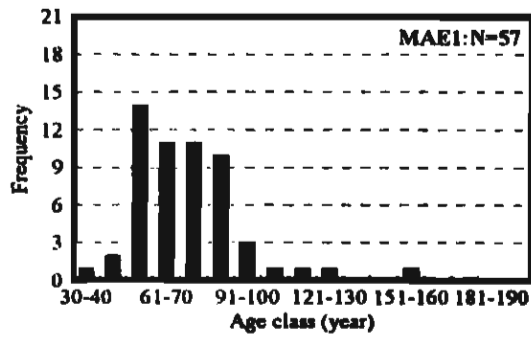
ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางและอายุของไม้สัก ดังแสดงในรูปที่ 74 ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างชั้นอายุและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของต้นไม้ ซึ่งเหตุผลทางด้านชีววิทยาอย่างหนึ่งคือ ไม้สักที่ขึ้นที่บริเวณเชิงเขามีขนาดใหญ่กว่า (เส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า) ต้นสักที่ขึ้นอยู่บนภูเขาซึ่งอาจจะมีอายุน้อยกว่า



รูปที่ 69 แสดง (A) รูปแบบความกว้างปี (B) ข้อมูลดิบ (C) ปีตั้งแต่

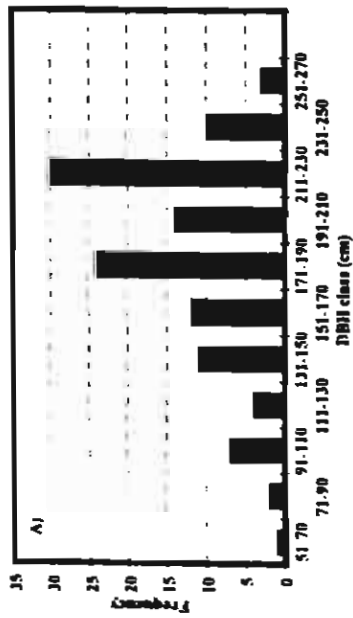


รูปที่ 70 การกระจายความถี่ของชั้นเส้นรอบวง

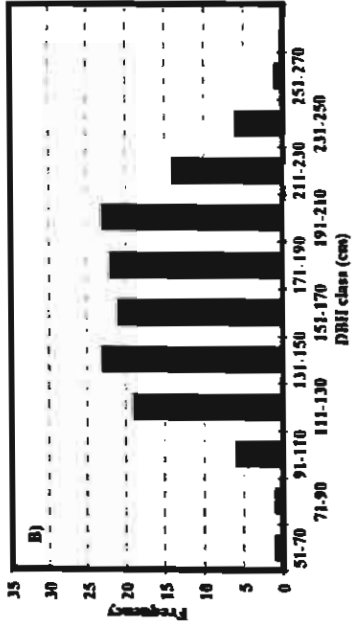


รูปที่ 71 การกระจายความถี่ของชั้นอายุ

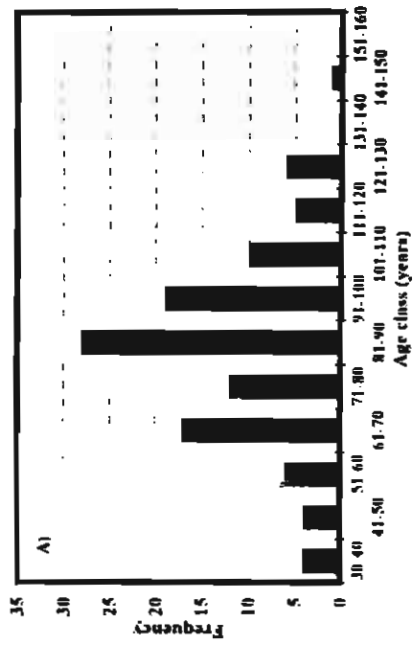
พื้นที่ศึกษาอุทยานแห่งชาติแม่วงก์-คลองวังเจ้า



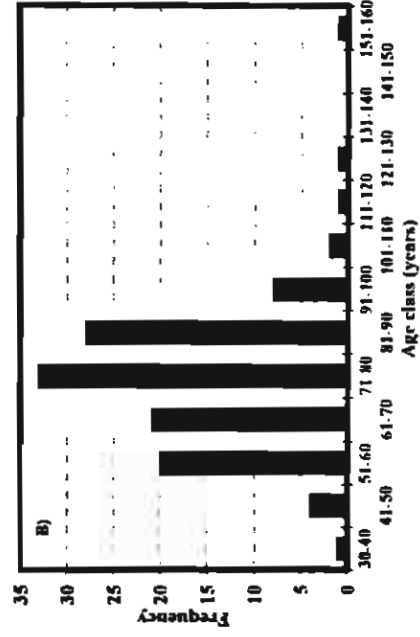
พื้นที่ศึกษาแม่ฮ่องสอน

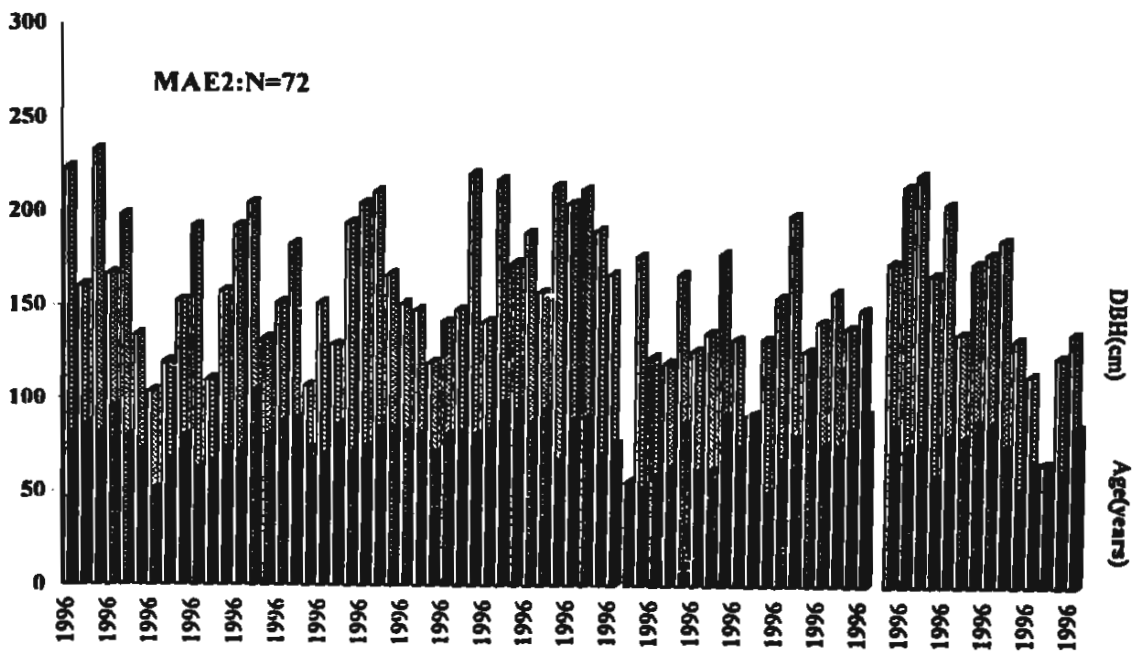
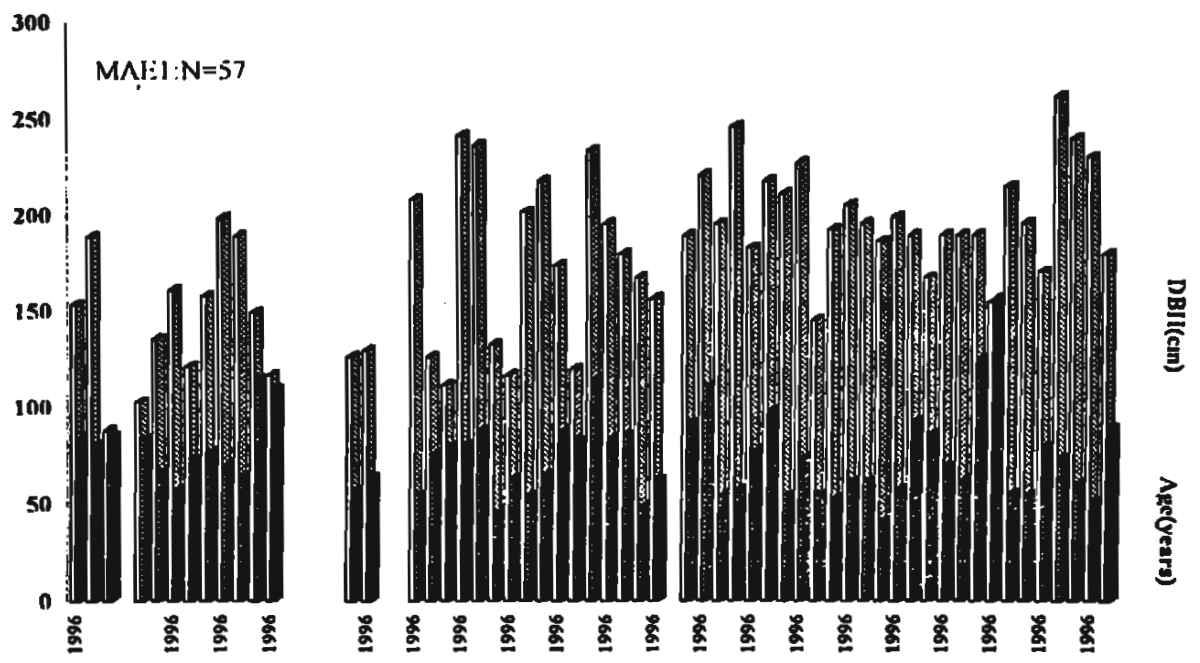


รูปที่ 72 การกระจายความถี่ของชั้นเส้นผ่าศูนย์กลาง

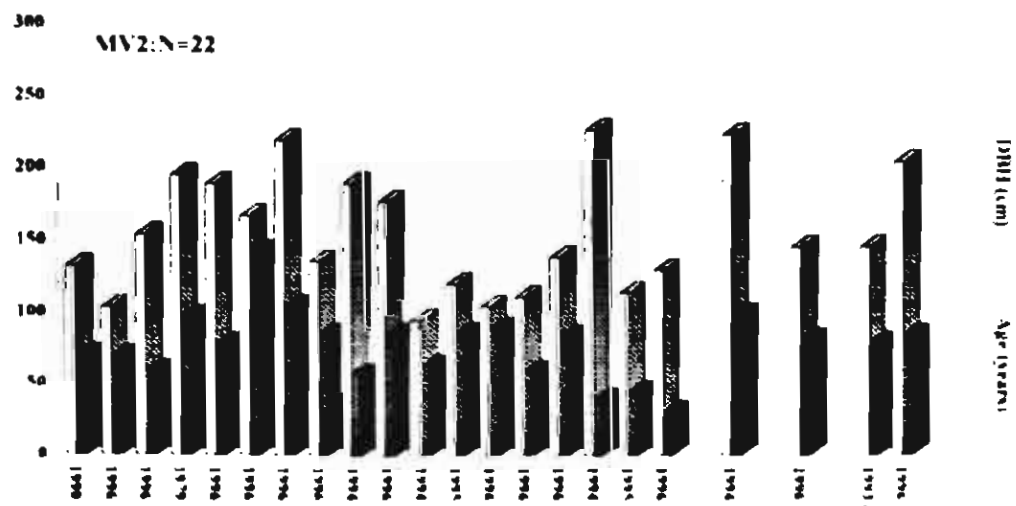
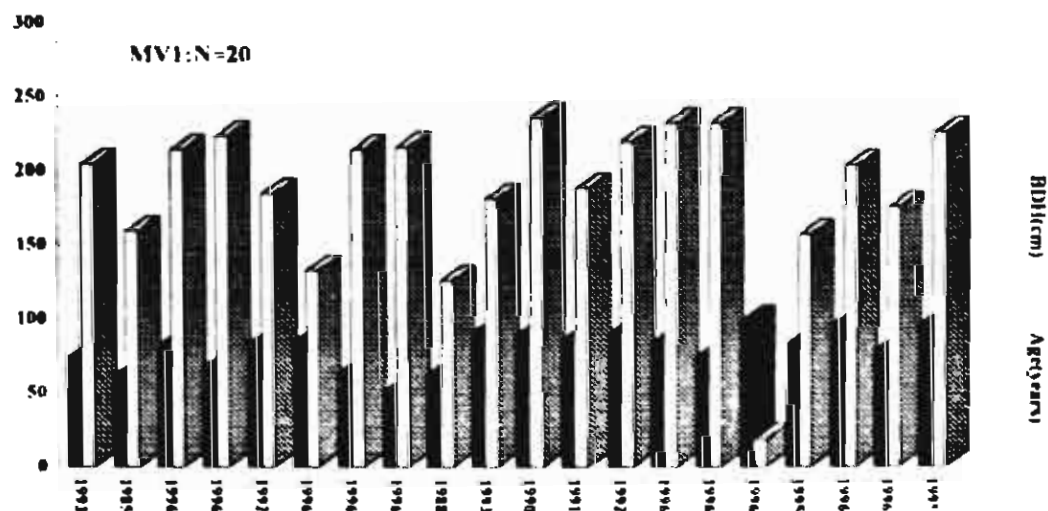
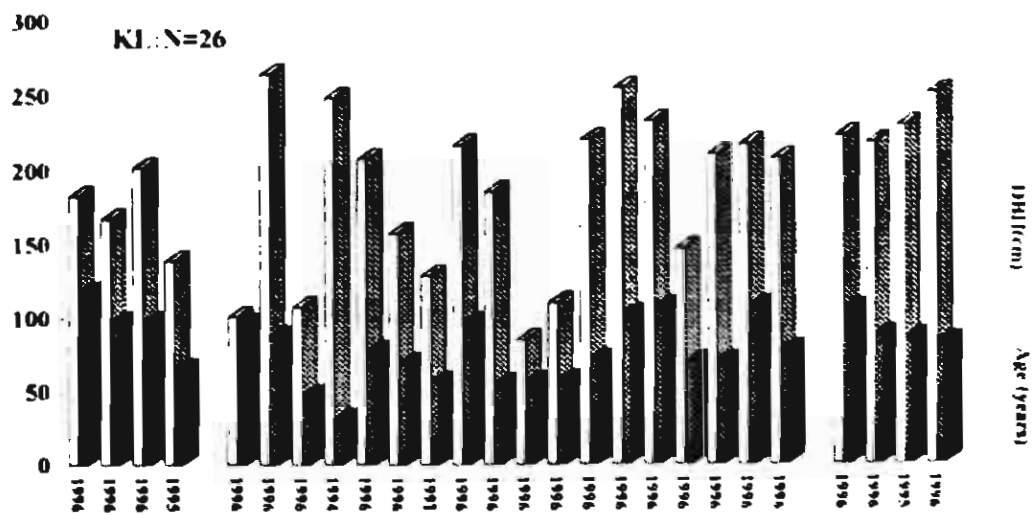


รูปที่ 73 การกระจายความถี่ของชั้นอายุ

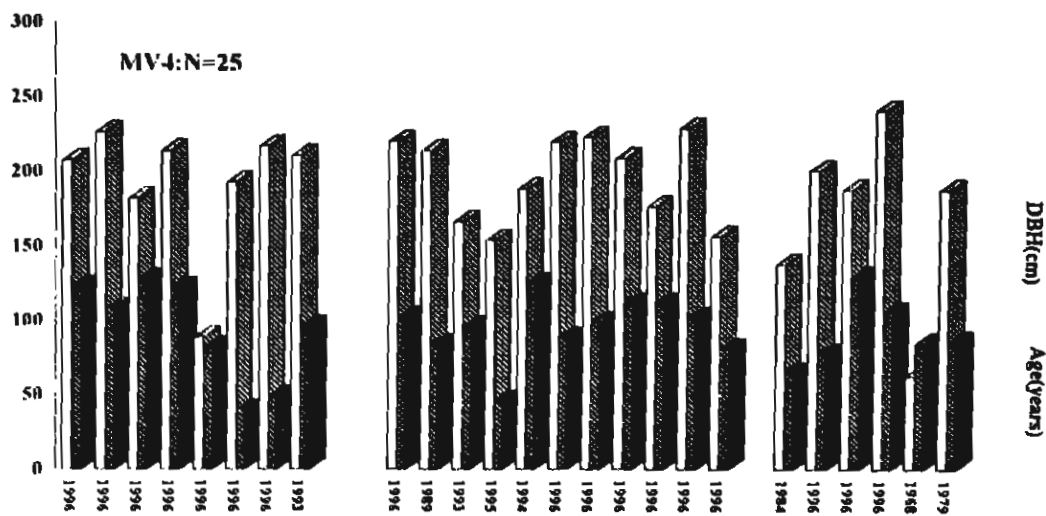
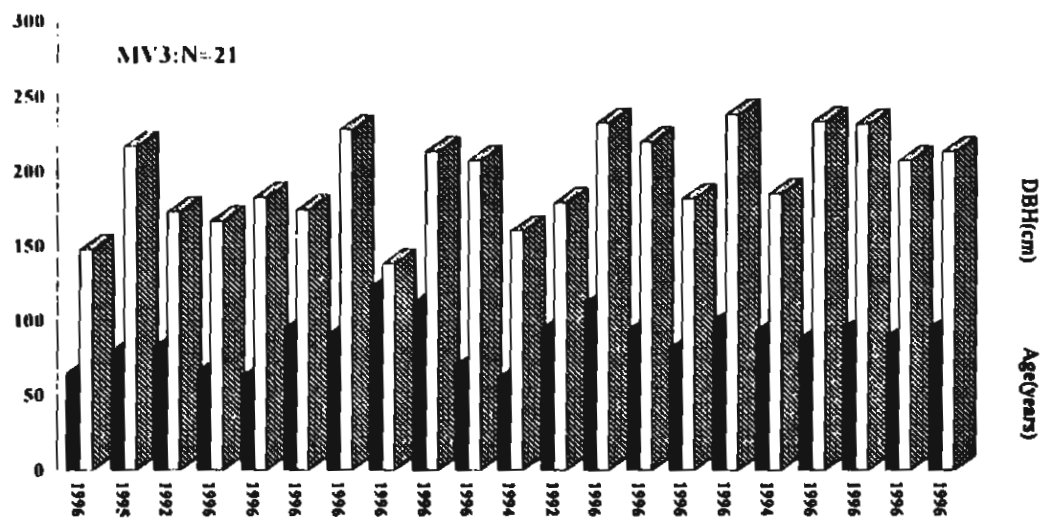




รูปที่ 74 การเปรียบเทียบขนาดเส้นรอบวงกับอายุ ในพื้นที่ศึกษา



217 74 (70)



รูปที่ 74 (ต่อ)

3.4.3 การลดลง/การเพิ่มขึ้นของการเจริญเติบโตอย่างฉับพลัน

Schweigruher (1983) กล่าวถึงขนาดของวงปีที่มีการลดลงและการเพิ่มอย่างฉับพลัน โดยได้ให้ความหมายที่เข้าใจได้ง่ายในการหาความแตกต่างระหว่างขนาดของความกว้างวงปี โดยพิจารณาจากตัวอย่างไม้โดยตรง ในการศึกษาครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้หลักการศึกษาคือการวัดความกว้างวงปีและพิมพ์กราฟออกมา ต่อจากนั้นจึงได้ศึกษาลักษณะของความกว้างของวงปีแต่ละตัวอย่างจากกราฟ โดยแบ่งออกเป็น วงปีแคบมาก ก่อนช่วงแคบปกติ ก่อนช่วงกว้าง และกว้างมาก Nowacki et al. (1997) ได้แสดงความคิดเห็นว่าวิธีการนี้จะเหมาะสมกับป่าเขตอบอุ่นที่ต้นไม้มีเรือนยอดชิดกัน ซึ่งหมายถึงว่ามีการแก่งแย่งการใช้ทรัพยากรในพื้นที่นั้นมากกว่าที่จะมีปัจจัยทางสภาพภูมิอากาศเข้ามามีอิทธิพล และให้ความเห็นเพิ่มเติมว่าวิธีการนี้อาจจะไม่เหมาะสมกับพื้นที่ป่าที่มีเรือนยอดเปิดกว้าง ในขณะที่การแข่งขันระหว่างต้นไม้ที่ใกล้เคียงกันมีน้อยมาก ตัวอย่างเช่น ในพื้นที่ ป่าชาวันนา หรือในพื้นที่แห้งแล้ง Schweigruher (1983) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการศึกษานี้ในการศึกษาปัญหาผลกระทบที่ต้นไม้ได้รับในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ และพบว่าต้นไม้จำนวนมากแสดงให้เห็นถึงการได้รับผลกระทบจากก๊าซ fluorine ซึ่งปล่อยออกมาจากโรงงานอลูมิเนียม การลดลงอย่างรวดเร็วของความกว้างวงปีของไม้สนที่ได้รับการทำลาย และไม้ต่างชนิดกันแสดงผลกระทบในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน (Schweigruher 1983)

อย่างไรก็ดี มีการอภิปรายว่า การใช้รูปแบบการเจริญเติบโตนั้นได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นวิธีการศึกษาที่น่าเชื่อถือสำหรับการศึกษาเกี่ยวกับการกระทบกระเทือนของเรือนยอดในอดีต (Lorimer and Frelich 1989) ถึงอย่างไรการศึกษาวงปีการนี้ก็ยังคงขึ้นกับพื้นที่ศึกษา ตัวอย่างเช่น Lorimer and Frelich (1989) ได้พัฒนาตัวแปรที่มาอธิบายเรือนยอดของไม้ที่เป็นไม้ทนร่ม โดยที่ไม้ที่มีการตั้งเกณฑ์ ดังนี้คือ ความกว้างของวงปีมีการขยาย มากกว่าหรือเท่ากับ 100 % และ ความกว้างของวงปีมีการขยายปานกลาง 50-90% โดยที่จำนวนวงปีที่มีลักษณะเช่นนี้อย่างน้อยต้องมีจำนวน 15 วงต่อเนื่องกัน และการขยายวงปีแบบชั่วคราวควรที่จะมีจำนวนวงปีติดต่อกัน 10 – 15 ปี ความกว้างวงปีขยายอย่างรวดเร็วต้องมีจำนวนวงปีติดต่อกันประมาณ 6 ปี และการที่ความกว้างวงปีค่อยๆขยายที่ละน้อยจนกว่าอัตราการเจริญเติบโตจะสม่ำเสมอ Nowacki et al. (1997) ได้ตั้งข้อสังเกตกับการที่ Lorimer and Frelich (1989) ได้ตั้งเกณฑ์ไว้นั้นว่าความอ่อนไหวมีไม่พอเพียงที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตในไม้โอ๊คที่มีอายุมาก และเป็นไม้เด่น ดังนั้นในการใช้จำนวนความกว้างวงปี 10 ปี ก็อาจสมารถที่จะตรวจสอบการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นของเรือนยอดที่ได้รับการกระทบกระเทือนได้

ไม้สักที่ขึ้นอยู่ในป่าเบญจพรรณแล้ง (KL, MV1-MV4) และป่าเบญจพรรณชื้น (Mae1, Mae2) ผลจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าป่าเบญจพรรณแล้งเรือนยอดเปิด และป่าเบญจพรรณชื้นเรือนยอดปิดค่อนข้างชิดกัน โดยปกติไม้สักที่มีอายุไม่มากจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าวงปีมีความกว้างมากขึ้น

รูปที่ 75 แสดง Phase diagram ของแต่ละพื้นที่ศึกษา ไม่สักจากจังหวัดแม่ฮ่องสอนจาก 2 พื้นที่ศึกษา แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการลดลงของความกว้างวงปีมี 3 ช่วงระยะคือ 1930, 1950 และ 1990 ซึ่งสอดคล้องกับกราฟเส้นแสดงรูปแบบการเจริญเติบโต ซึ่งหากความกว้างวงปีเพิ่มมากขึ้น ค่าดัชนีควรที่จะมากกว่าหรือเท่ากับ 1 หากความกว้างของวงปีน้อยกว่า 1 ถือว่าเป็นปีที่วงปีแคบ จากตัวอย่าง ตลอดระยะ 10 ปี (1980-1996) รูปที่ 76 แสดงการเปรียบเทียบ% release และ %reduction ของไม้สักในแต่ละพื้นที่ศึกษา

การลดลงของความกว้างวงปีอย่างฉับพลันของพื้นที่ศึกษา Mae 1 ที่มากกว่า 40% พบในปี ค.ศ. 1995-1984, และการเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันของพื้นที่ Mae 1 มากกว่า 15% พบในปี ค.ศ. 1996, 1995, 1994, 1968, 1967, 1966, 1965, 1964, 1963, 1962, 1961 และ 1960

การลดลงของความกว้างวงปีอย่างฉับพลันของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MV1-4 มีความคล้ายคลึงกัน จำนวนที่มากที่สุดคือ 65% ในช่วง 10 ปีหลัง ยกเว้น MV2 ที่แสดงให้เห็นว่าอยู่ระหว่างปี ค.ศ. 1975-1976 ประชากรของไม้สักพื้นที่ศึกษาคงตัวเจ้า แสดงรูปแบบการเจริญเติบโตคล้ายคลึงเช่นเดียวกับไม้สักพื้นที่ศึกษาแม่วงก์แต่การลดลงอย่างฉับพลันมีเปอร์เซ็นต์ที่มากกว่า ในปี ค.ศ. 1986- 1987 และประมาณ 50% พบในปี ค.ศ. 1945-1946

การลดลงอย่างฉับพลันของความกว้างวงปีมากกว่า 40 % ของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MV1 พบในปี ค.ศ. 1958-1957 ขณะที่การปลดปล่อยอย่างรวดเร็วมากกว่า 15 % พบได้ในปี ค.ศ. 1984-1977, 1970, 1967-1966, 1962, 1959-1958 และ 1956-1946

การลดลงอย่างฉับพลันของความกว้างวงปีมากกว่า 40 % ของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MV2 พบในปี ค.ศ. 1978-1975, 1949 และ 1939 ขณะที่การปลดปล่อยอย่างรวดเร็วมากกว่า 15 % พบได้ในปี ค.ศ. 1986-1979, 1967-1965, 1957-1954, 1945-1943

การลดลงอย่างฉับพลันของความกว้างวงปีมากกว่า 40 % ของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MV3 พบในปี ค.ศ. 1993-1990, 1986, 1976, 1974-1973, 1971, 1957, 1955 และ 1927 ขณะที่การปลดปล่อยอย่างรวดเร็วมากกว่า 15 % พบได้ในปี ค.ศ. 1996-1994, 1985-1978, 1964-1961, 1954-1949, 1942-1939, 1933 และ 1931

การลดลงอย่างฉับพลันของความกว้างวงปีมากกว่า 40 % ของไม้สักในพื้นที่ศึกษา MV4 พบในปี ค.ศ. 1994-1990, 1966-1964, 1946, 1944, 1930-1927 และ 1921-1918 ขณะที่การปลดปล่อยอย่างรวดเร็วมากกว่า 15 % พบได้ในปี ค.ศ. 1984-1977, 1974-1972, 1956-1951, 1948-1947, 1945-1940, 1936-1931 และ 1927-1922

การลดลงอย่างฉับพลันของความกว้างวงปีมากกว่า 40 % ของไม้สักในพื้นที่ศึกษา KL พบในปี ค.ศ. 1993-1972, 1969, 1947-1943 ขณะที่การปลดปล่อยอย่างรวดเร็วมากกว่า 15 % พบได้ในปี ค.ศ. 1996-1988, 1979-1978 และ 1976-1949

3.4.4 การเจริญเติบโตของความกว้างวงปีไม้สักลดลงในระดับภาค

ประมาณ 10 กว่าปีมานี้ ไม้สักจำนวนมากแสดงการเจริญเติบโตลดลงอย่างฉับพลันของความกว้างวงปี ตารางที่ 35 สรุปปีดัชนีที่เป็นลบ (การเจริญเติบโตลดลง) และเป็นบวก (การเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น) ไม้สักพื้นที่ Mae1 และ Mae2 ความกว้างวงปีลดลงอย่างฉับพลันพบได้ในปี ค.ศ. 1996-1994 และ 1968-1960 อาจเนื่องมาจากการทำไม้ออก ส่วนไม้สักในพื้นที่ KL, MV1-MV4 ความกว้างวงปีที่ลดลงอย่างรวดเร็วพบในปี ค.ศ. 1984-1980, 1979, 1978 และ 1954

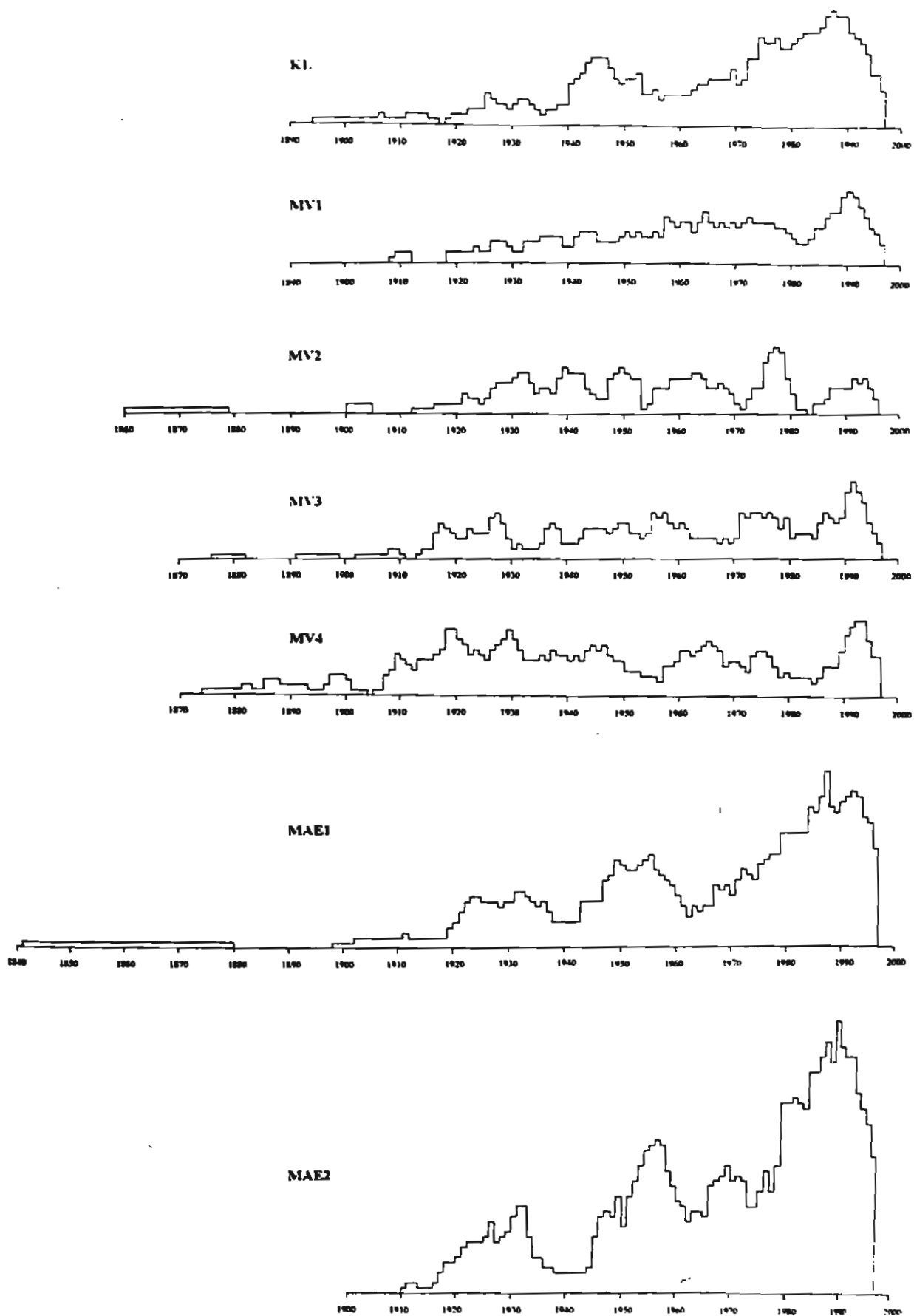
ตารางที่ 35 ปีดัชนีลบ-ความกว้างของวงปีลดลงอย่างฉับพลันมากกว่า 40% และปีดัชนีที่เป็นบวก ความกว้างวงปีลดลงอย่างรวดเร็วมากกว่า 15 %

ชื่อ	ความกว้างวงปี ลดลง $\geq 40\%$	ปีดัชนีลบ	ความกว้างวงปี ลดลง $\geq 15\%$	ปีดัชนีบวก
Mae1	1995-1984	1995-1984	1996-1994, 1968-1960	1996-1994, 1968-1960
Mae2	1995-1979, 1957-1955		1996-1989, 1983-1982, 1978-1958, 1953-1948, 1944-1934	
MV1	1993-1986, 1976-1971, 1969, 1967, 1965-1963, 1961-1960, 1958-1957	1993-1990 ยกเว้น MV2 1976-1975 ยกเว้น MV4	1984-1977, 1970, 1967-1966, 1962, 1959-1958, 1956-1946	1984-1980 ยกเว้น KL 1979, 1978 ยกเว้น MV 4 1954
MV2	1978-1975, 1949, 1939		1986-1979, 1967-1965, 1957-1954, 1945-1943	

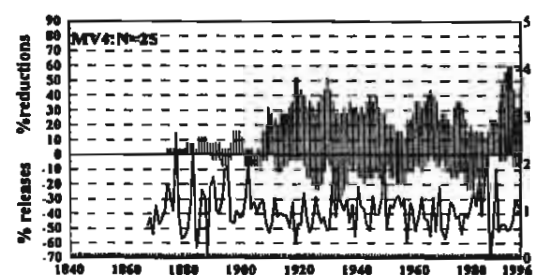
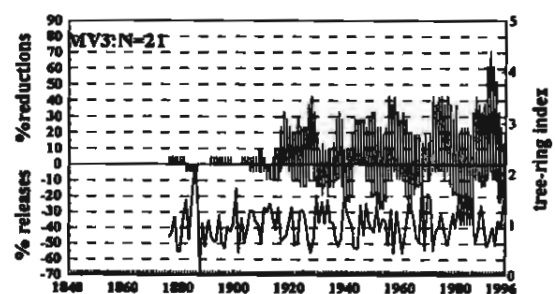
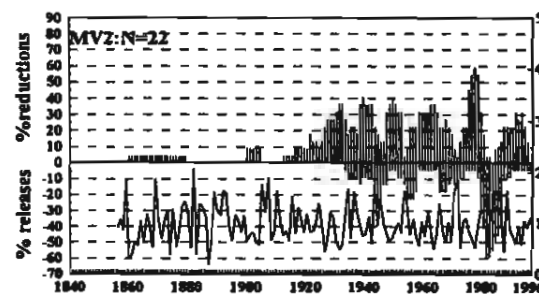
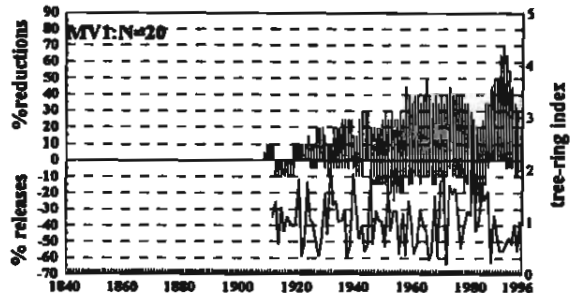
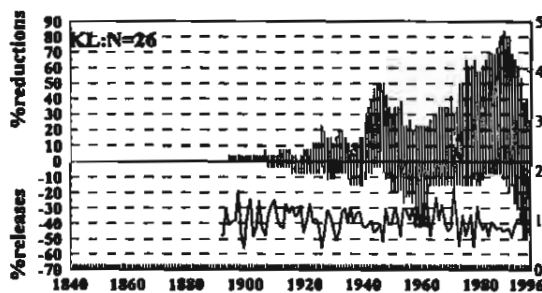
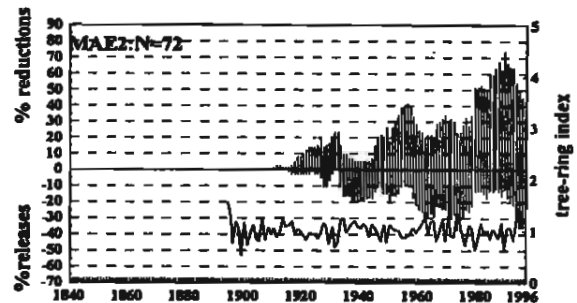
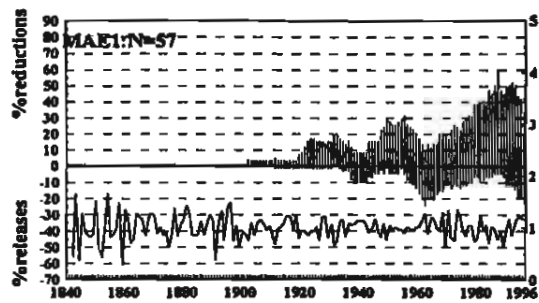
ตารางที่ 35 (ต่อ)

ชื่อ	ความกว้างวงปี ลดลง $\geq 40\%$	ปีดัชนีลบ	ความกว้างวงปี ปลดปล่อย $\geq 15\%$	ปีดัชนีบวก
MV3	1993-1990, 1986, 1976, 1974-1973, 1971, 1957, 1955, 1927		1996-1994, 1985-1978, 1964-1961, 1954-1949, 1942-1936, 1933, 1931	
MV4	1994-1990, 1966-1964, 1946, 1944, 1930-1927, 1921-1918		1984-1977, 1974-1972, 1956-1951, 1948-1947, 1945-1940, 1939-1931, 1927-1922	
KL	1993-1972, 1969, 1947- 1943		1996-1988, 1979-1978, 1976-1949	

การศึกษาค้างนี้สามารถสรุปได้ว่า ถึงแม้ว่าพื้นที่การศึกษาจะได้แบ่งออกเป็น 2 พื้นที่ ที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน ขนาด และการกระจายของชั้นอายุ ก็ไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เนื่องจากพื้นที่ศึกษามีขนาดค่อนข้างเล็ก และความแตกต่างในเรื่องปัจจัยสิ่งแวดล้อมก็ไม่มากนัก การศึกษาค้างนี้ถือว่าการศึกษานี้เป็นการศึกษาเบื้องต้น ปีดัชนี (Schweigruber 1983) สมควรที่จะทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพของป่าสักและผลการศึกษาสามารถที่จะนำมาสนับสนุนในเรื่องการปลูกสร้างสวนป่า อนาคตควรที่จะทำการศึกษาในป่าสักที่มีไม้ชนิดอื่นขึ้นผสมในพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามวิธีการศึกษาด้าน Dendroecology แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในเรื่องการติดตามธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ที่กระทบต่อป่าไม้ในเขตร้อนชื้นต่อไป



รูปที่ 75 Phase diagram for teak at Maehongson study sites, Maewong National Forest and Klong-Lan National Forest study sites



รูปที่ 76 การเปรียบเทียบ %release และ %reduction ของไม้สักในแต่ละพื้นที่ศึกษา

3.5 การใช้ความกว้างวงปีไม้สักในการติดตามก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

3.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างวงปีกับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ในการศึกษาดังนี้ เพื่อต้องการทราบถึงการสนองตอบของความกว้างวงปีไม้สักจากการได้รับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ข้อมูลการสำรวจก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ของกรมควบคุมมลพิษ และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2535 – 2541 จำนวน 2 สถานีซึ่งอยู่ใกล้พื้นที่ศึกษามากที่สุดคือ บ้านท่าสี่ และ บ้านสบเมาะ ซึ่งปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้ แสดงในตารางที่ 36

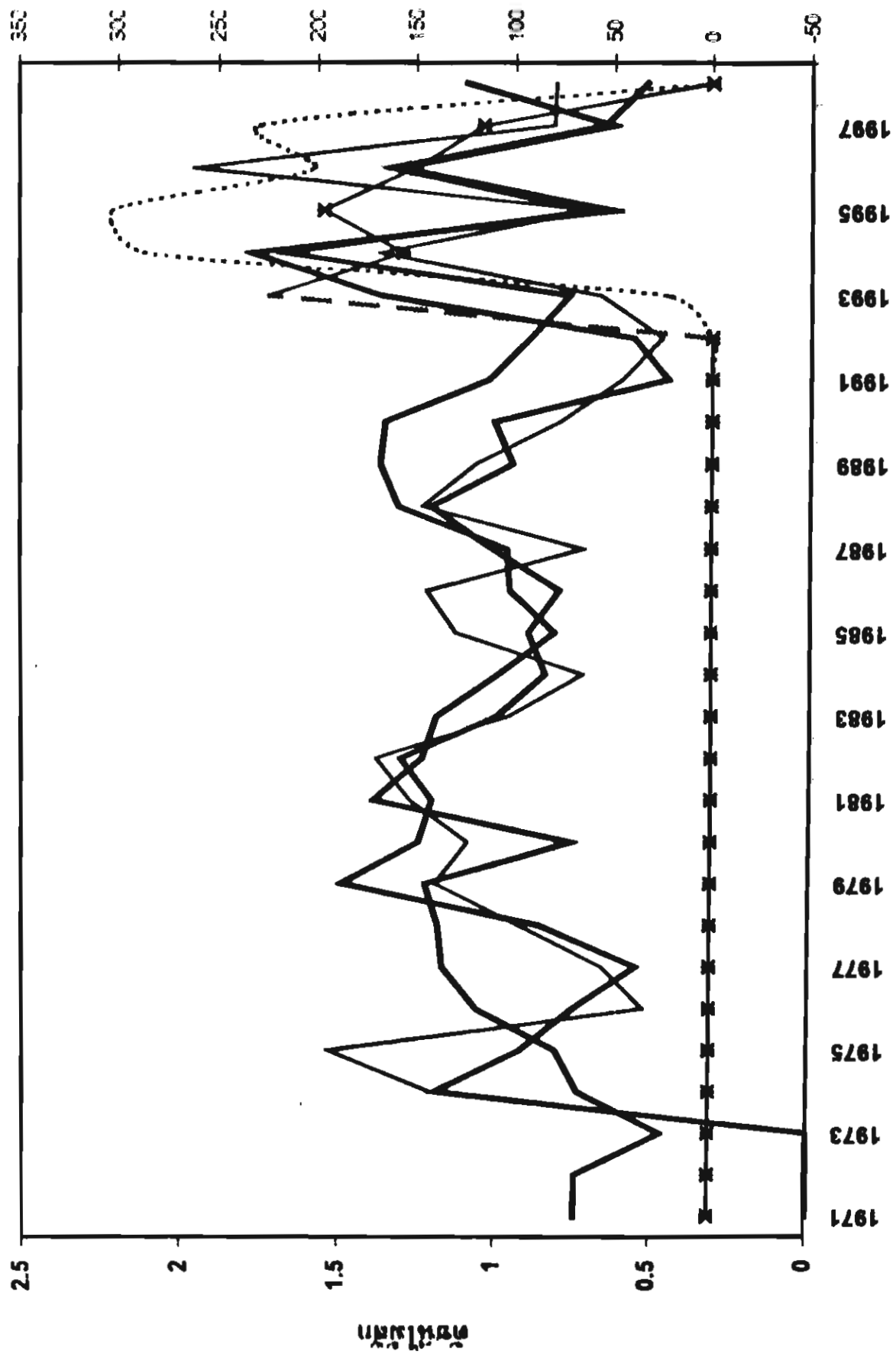
ตารางที่ 36 ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์รวมรายปีที่ตรวจวัดจากสถานีบ้านท่าสี่ และบ้านสบเมาะ

ปี ค.ศ.	ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (mg/m^3)	
	สถานีบ้านท่าสี่	สถานีบ้านสบเมาะ
1993	224.788	23.785
1994	156.960	286.173
1995	197.183	302.994
1996	150.923	202.113
1997	116.443	228.859

และเมื่อนำข้อมูลปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์รวมของแต่ละปีมาทำการเปรียบเทียบกับดัชนีของไม้สักจากทั้ง 3 พื้นที่ศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 77 สรุปได้ว่า เมื่อปีที่มีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (บ้านสบเมาะ-เส้นประ) สูง คือปี ค.ศ. 1997 (228.86 มก/ลบม) กราฟความกว้างวงปีจะแคบ เช่นเดียวกับปี ค.ศ. 1995 (302.99 มก/ลบม) เช่นเดียวกับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (บ้านท่าสี่-เส้นประ2เส้น) สูง คือปี ค.ศ. 1995 และค.ศ. 1993 ค่าความกว้างของวงปีของทั้ง 3 ส่วนป่าจะแคบ

จากผลการศึกษาดังนี้สามารถที่จะสรุปผลในเบื้องต้นจากกราฟที่แสดงให้เห็นว่า ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อาจจะมีผลทำให้ค่าความกว้างของวงปีของไม้สักลดน้อยลง เพราะก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นก๊าซพิษ ทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของพืชลดลง เนื่องจากข้อมูลปริมาณก๊าซซัลเฟอร์มีเพียง 5 ปี เท่านั้นจึงไม่สามารถที่จะอธิบายผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของไม้สักตั้งแต่เริ่มปลูกได้อย่างเด่นชัด

1



3.6 ตัวแปรทางกายวิภาคของไม้สักกับการสร้างเส้นภูมิอากาศ (Reconstruction climate by using anatomical variable)

3.6.1 ผลการศึกษาตัวแปรทางกายวิภาคกับปริมาณน้ำฝน

จากผลการศึกษาของ Pumijumnong and Park (1999) พบว่าปริมาณน้ำฝนเดือนพฤษภาคมของปีปัจจุบัน ($year_0$) มีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญกับค่าเฉลี่ยของเส้นรอบวงของเวสเซลของไม้ต้นฤดู (EWDIA (V4)) และมีความสัมพันธ์ทางลบกับความหนาแน่นของเวสเซลไม้ในไม้ปลายฤดู (LWDD (V7)) ตารางที่ 37 สรุปค่าสถิติจากช่วง Calibration และ Verification จากปริมาณน้ำฝนเดือนพฤษภาคมในปีปัจจุบัน

ตารางที่ 37 สรุปค่าทางสถิติของปริมาณน้ำฝนเดือนพฤษภาคม ที่ทำการ Calibration and Verification (Pumijumnong et al. 1995b)

Statistic parameters	Calibration (1948-1972)	Verification (1973-1996)
$R^2 = 0.2730$		
Correlation	0.5107*	0.5236*
Reduction of error	0.2599*	0.2842*
T-value	2.2719*	3.2352*
Sign-products	7*	7*

$$Ep5 = -161.11367 + 414.9031 \cdot V4 - 84.1551 \cdot V7;$$

สมการ (1)

ในขณะนี้

Ep5 = estimate current May rainfall

V4 = earlywood vessel diameter

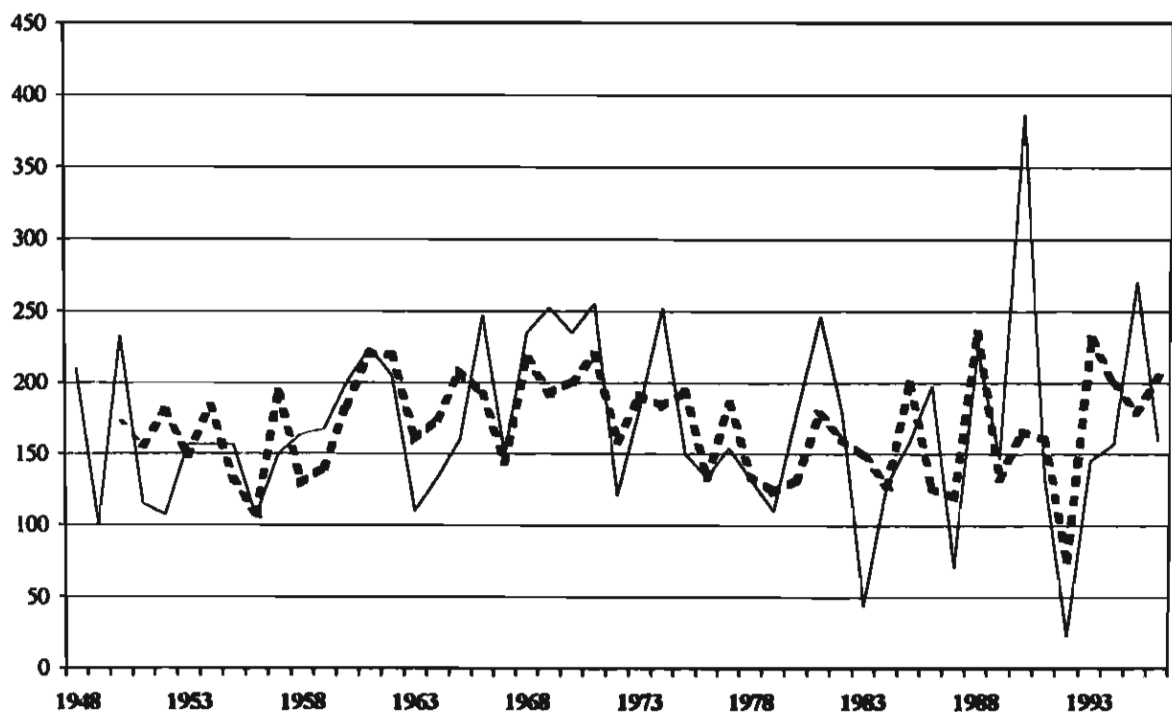
V7 = latewood density

*significant value at level 95% confidence

ค่าสถิติที่หนึ่งคือเวเรียนหรือเปอร์เซ็นต์เวเรียน (Explained of Variance ($r^2 = 0.2730$)) หมายถึง ตัวแปรตามสามารถที่จะอธิบายตัวแปรอิสระได้มากน้อยเท่าไร จากสมการข้างต้น ปัจจัยทางกายวิภาคสามารถที่จะอธิบายปริมาณน้ำฝนเดือนพฤษภาคมในปีปัจจุบันได้ 27.30 เปอร์เซ็นต์ สถิติที่สองคือค่าความสัมพันธ์อย่างง่าย (Pearson Correlation) อธิบายถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระ ทั้ง calibration และ verification มีค่าความสัมพันธ์อย่างง่ายเท่ากับ 0.5107 และ 0.5236 ตามลำดับ ค่าสถิติที่สามคือค่าลดความคลาดเคลื่อน (Reduction of Error Statistic (RE)) เป็นวิธีการตรวจสอบความน่าเชื่อถือในการสร้างเส้นภูมิอากาศ (Climate Reconstruction (Fritts 1976)) ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับ ตัวแปรตาม

(เช่น ตัวแปรทางกายวิภาค) ที่วัดได้จริงกับที่ได้จากการประมาณการ (0.2599 และ 0.2842) ค่าสถิติทีส์คือ (T-value) ซึ่งเป็นการคำนวณผลต่างของค่าเฉลี่ยของสองกลุ่ม จากการศึกษาครั้งนี้ค่า t-value มีค่าเท่ากับ 2.2719 และ 3.2352 ตามลำดับ สถิติสุดท้ายคือ the Sign-Products เป็นการทดสอบความเหมือนระหว่างข้อมูลจริงและข้อมูลที่ได้จากการประมาณการ จากการศึกษาค่า sign products ของทั้ง calibration และ verification เท่ากับ 7

รูปที่ 78 แสดงค่าน้ำฝนจริงของเดือนพฤษภาคม และค่าประมาณของน้ำฝนเดือนพฤษภาคม จากสมการที่ 1 ช่วง verification ระหว่าง ค.ศ. 1973 ถึง ค.ศ. 1996 ปริมาณน้ำฝนประมาณของเดือนพฤษภาคม (เส้นประ) มีความคล้ายคลึงกับเส้นน้ำฝนจริงของเดือนพฤษภาคม ช่วง Calibration ระหว่าง ค.ศ. 1948 ถึง ค.ศ. 1972 ยกเว้นปี ค.ศ. 1983 แสดงค่าประมาณการน้ำฝนสูงกว่าค่าน้ำฝนจริง ต่อจากช่วงนี้ไปเส้นกราฟทั้งสองมีความคล้ายคลึงกันจนถึงปี ค.ศ. 1973 ค่า Calibration ค่าความสัมพันธ์คือ 0.5107 แสดงความแตกต่างเล็กน้อยระหว่างค่าประมาณการและค่าความจริงและค่าบางปีที่มีความคล้ายคลึงน้อยมากตัวอย่าง เช่นปี ค.ศ. 1965, 1966, 1960, 1957 และ 1952.



รูปที่ 78 แสดงค่าน้ำฝนจริงของเดือนพฤษภาคมและค่าประมาณจากการคำนวณ

จากสมการที่ 1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนเดือนพฤษภาคมในเชิงบวกกับ V4 (earlywood vessel diameter) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ V7 (latewood density) สามารถอธิบายได้ว่า ปริมาณน้ำฝนเดือนพฤษภาคมซึ่งเริ่มต้นฤดูฝนในประเทศไทย ความชุ่มชื้นมีความสำคัญอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของไม้สักหลังจากที่ผ่านฤดูแล้งมาประมาณ 3-4 เดือน ซึ่งความชุ่มชื้นในช่วงนี้รวมทั้งฮอร์โมนในต้นไม้เป็นปัจจัยกระตุ้นให้เนื้อเยื่อเจริญของไม้สักเริ่มแบ่งตัว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเริ่มต้น (ไม้ต้นฤดู) เวสเซลจะมีขนาดใหญ่ผนังเซลล์บาง ซึ่ง Pumijumnong (1995) ได้ศึกษาเรื่องการแบ่งเซลล์ของเนื้อเยื่อเจริญของไม้สัก

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษานี้กับผลการศึกษาที่ Pumijumnong et al. (1995b) ได้ศึกษาไว้ ซึ่งผู้วิจัยได้สร้างเส้นน้ำฝนในช่วง 4 เดือน (เมษายน-กรกฎาคม) โดยการใช้ดัชนีไม้สัก 38 เส้น จากทางภาคเหนือของประเทศไทย โดยที่ผลการศึกษาจาก 18 เส้นดัชนีนี้ ได้แสดงในตารางที่ 38 ความสัมพันธ์อย่างง่าย (correlation value) มีค่าประมาณ 0.6 ซึ่งสูงกว่าค่าความสัมพันธ์อย่างง่ายในการศึกษาครั้งนี้ (0.5) ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากการศึกษาครั้งที่แล้วได้ใช้ระยะเวลาที่ยาวนานกว่า คือ ค.ศ. 1911 ถึง ค.ศ. 1990 และจำนวนเส้นดัชนีมากกว่าในการศึกษาครั้งนี้

อย่างไรก็ดีในการศึกษาทั้งสองครั้งสามารถที่จะสรุปได้ว่าปริมาณน้ำฝนเดือนพฤษภาคมมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของไม้สักเป็นอย่างมาก และตัวแปรทั้งสอง (ความกว้างวงปี และตัวแปรทางกายวิภาคซึ่งหมายถึงทั้งเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเวสเซล บริเวณไม้ต้นฤดูและไม้ปลายฤดูความหนาแน่นของเวสเซลในปลายฤดู สามารถใช้ประมาณการณ์ปริมาณน้ำฝนในเดือนพฤษภาคมได้

ตารางที่ 38 การนำเสนอข้อมูลทางสถิติของการศึกษาที่ผ่านมาโดยใช้ดัชนีไม้สักจำนวน 18 เส้น

Statistic parameters	Rainfall (1911-1990)	Calibration (1911-1950)	Verification (1951-1990)
R2	42.55	36.36	60.72
Sign test	58:21	28:11	31:8
Correlation	0.66	0.62	0.64

Pumijumnong et al (1995c)

3.6.2 ผลการศึกษาตัวแปรทางกายวิภาคกับอุณหภูมิ

ถึงแม้ว่าอุณหภูมิเดือนพฤษภาคมและมีถุนายนจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรทางกายวิภาค (Pumijumnong and Park 1997). แต่เมื่อนำตัวแปรเหล่านี้เข้าสู่ขั้นตอนการคัดเลือก (stepwise regression modeling) เหลือเพียงตัวแปรเพียง V6 ๑, V61 ๑-1, V3 ๑-1, V10 ๑-1, V62 ๑-2 and V112 ๑-2 ที่ได้รับการคัดเลือกเข้าสู่สมการ เพื่อที่จะใช้ในการประมาณการณ์อุณหภูมิของเดือนมีนาคม ดังสมการแสดงความสัมพันธ์

$$ET3=260.1150-12.3556*V61+25.6757*V3-11.7864*V62 \quad \text{สมการที่ 2}$$

ขณะที่ Et3 คือค่าประมาณการของอุณหภูมิเดือนมีนาคม V61 คือ ค่าเฉลี่ยของศักยภาพในการลำเลียงน้ำของปีที่ผ่านมา (year (t-1)) และ V3 คือ ความหนาแน่นของท่อลำเลียงน้ำในไม้ต้นฤดูในปีหน้า (year (t+1)) และ V62 คือ ค่าเฉลี่ยศักยภาพในการลำเลียงน้ำของในอีก 2 ปีข้างหน้า (year (t+2))

ตารางที่ 39 สรุปค่าทางสถิติในการ calibration และ verification ของอุณหภูมิเดือนมีนาคม

Statistic parameters	Calibration (1951-1972)	Verification (1973-1994)
R2 = 0.444		
Correlation	0.4595*	0.6500*
Reduction of error	0.1789*	0.4224*
T-value	2.8398*	1.5859>=1.7200
Sign-products	9<=6	5*

$$ET3=260.1150-12.3556*V61+25.6757*V3-11.7864*V62 \quad \text{สมการที่ 2}$$

ในขณะ

ET3 represents estimate temperature March

V61 represents latewood conductive area in year t-1

V3 represent earlywood vessel density in year t+1

V62 represents latewood conductive area in year t+2

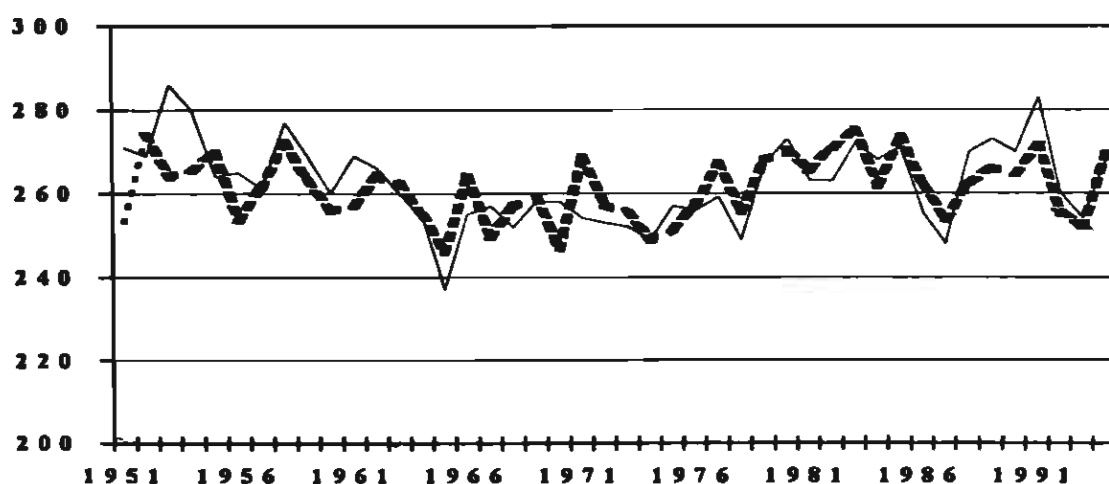
*significant value at level 95% confidence

จากสมการ ตัวแปรตามสามารถที่จะอธิบายตัวแปรอิสระได้ 44 % ค่าความสัมพันธ์อย่างง่าย (Pearson correlation) แสดงให้เห็นว่า ทั้งตัวแปรตามมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรอิสระ (calibration 0.4595 และ verification 0.650 ตามลำดับ) ค่าสถิติตัวที่ 3

คือ reduction of error statistic (RE), ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างจำนวนตัวแปรที่น่าเชื่อถือกับไม่น่าเชื่อถือในการสร้างเส้นภูมิอากาศในอดีต (Fritts 1976) ซึ่งสามารถใช้ในการอธิบายตัวแปรตาม ตัวอย่างเช่น ตัวแปรทางกายวิภาค (anatomical variables) ในการวัดข้อมูลต่อเนื่องนี้เพื่อที่จะนำมาประมาณการณ์ (calibration 0.1789 และ verification 0.4224 ตามลำดับ) ข้อสังเกตคือ ผลของค่าสถิติ reduction of error statistic เป็นบวกซึ่งหมายความว่า สมการมีค่ามากกว่าค่าน้อยสุดที่ยอมรับได้หรืออีกนัยหนึ่ง calibration และ verification มีความน่าเชื่อถือมาก ค่าทางสถิติตัวที่ 4 คือ T-value ซึ่งเป็นการคำนวณผลลัพธ์ทางบวกและลบจากข้อมูล 2 กลุ่ม ซึ่งจากตารางที่ 39 แสดงค่า T-value เท่ากับ 2.8398 และ 1.5859 ตามลำดับ ค่าสถิติตัวสุดท้ายคือ sign-products, ซึ่งเป็นค่าเปรียบเทียบความพอเพียงระหว่างค่าจริงกับค่าที่ประมาณการณ์ จากตารางที่ 39 ค่า sign products ของ calibration และ verification เท่ากับ 9 และ 5 ตามลำดับ

รูปที่ 79 แสดงกราฟเส้นของอุณหภูมิเดือนมีนาคมและค่าที่ได้จากการประมาณการณ์ (เส้นประ) verification period (1973-1994).

ในช่วง verification มีความคล้ายคลึงของเส้นอุณหภูมิเดือนมีนาคมมากกว่าช่วง calibration period (1951-1972) ตัวอย่างเช่นในปี 1986 ค่าของอุณหภูมิที่ประมาณการณ์ได้สูงกว่าค่าอุณหภูมิจริงหลังจากนั้นมีความคล้ายคลึงกันจนถึง ปี 1973 ช่วง calibration (มีค่าความสัมพันธ์ประมาณ 0.4595) แสดงความแตกต่างของค่าที่ประมาณการณ์ได้กับค่าที่จริงคือ ในปี 1970, 1967, 1963 and 1955.



รูปที่ 79 แสดงกราฟเส้นของอุณหภูมิเดือนมีนาคมและค่าที่ได้จากการประมาณการณ์ (เส้นประ) verification period (1973-1994),

ตัวแปรทางกายวิภาคที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิคือ V61 (latewood conductive area in year $t-1$) และ V62 (latewood vessel density in next two years) และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ V3 (earlywood vessel density in year $t-1$) ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของไม้สักนั้นยากกว่าการอธิบายปริมาณน้ำฝน เพราะว่าอุณหภูมิในเขตร้อนขึ้นสูงค่อนข้างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ ยังมีเรื่องฮอร์โมนเข้ามาเกี่ยวข้อง ในการศึกษาที่ผ่านมาแล้วพบว่าอุณหภูมิในเดือนพฤษภาคมมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความกว้างวงปี (Pumijumnong 1995) อย่างไรก็ตามในการศึกษาค้างนี้ ความกว้างวงปี ไม่ได้รับการคัดเลือกเข้ามาในสมการ การประมาณการณ์อุณหภูมิของเดือนมีนาคมแต่อย่างใด อธิบายได้ว่า อุณหภูมิที่สูงซึ่งสอดคล้องกับปีที่แห้งแล้ง (drought year) ทำให้ไม้สักมีวงปีที่แคบมากซึ่งปกติจะพบเพียงท่อนลำเลียงน้ำ ขนาดใหญ่จำนวนไม่มากเพียง 1 หรือ 2 แถว และไม่มีไม้ปลายฤดู ซึ่งสอดคล้องกับสมการ regression equation ได้แสดงความสัมพันธ์เชิงลบกับ conductive area (V61) ของไม้ปลายฤดู อย่างไรก็ตามในกรณีที่อุณหภูมิเหมาะสมผนวกกับความชุ่มชื้น ฮอร์โมน วงปีจะมีความกว้าง ซึ่งรวมถึง ไม้ต้นฤดูที่กว้าง และ ความหนาแน่นของท่อนลำเลียงในไม้ปลายฤดูที่มาก (V3)

ตารางที่ 40 สรุปการเปรียบเทียบค่าสถิติของการศึกษา ทั้ง 2 ครั้ง

(Pumijumnong et al. 1995b)

Statistic parameters	Temperature (1951-1990)
R ²	51.75
Sign-test	31:8
Correlation	0.7

ในการเปรียบเทียบค่าสถิติที่ได้จากการศึกษาค้างที่ 1 (Pumijumnong et al. 1995b) โดยใช้ความกว้างวงปี และครั้งที่ 2 โดยใช้ ปัจจัยทางกายวิภาค ในการศึกษาค้างแรกผู้วิจัยได้ทำการสร้างเส้นอุณหภูมิ ของ 3 เดือน คือตั้งแต่ พฤษภาคม – กรกฎาคม โดยใช้ดัชนีความกว้างวงปี 18 เส้น ซึ่งผลสรุปทางสถิติได้แสดงดังตารางที่ 40 คือค่าความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างสูง (0.71) ซึ่งสูงกว่าในการศึกษาค้างนี้ (0.444) อธิบายได้ว่าในการศึกษาค้างแรก ช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษายาวกว่า (1951-1990) และมีตัวอย่างที่นำมาศึกษามากกว่า ซึ่งในการศึกษาค้างนี้ได้ใช้ช่วงเวลา เพียง 22 ปี เท่านั้น

ข้อสังเกตในการศึกษาค้างนี้คือ ตัวแปรทางกายวิภาคแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเดือนมีนาคม ซึ่งไม่เคยปรากฏมาก่อนในการศึกษาค้างแรกที่ใช้ความกว้างวงปีในการศึกษา และค่าสรุปทางสถิติที่น่าเชื่อถือ เพราะว่ามีค่าทางสถิติที่มีนัยสำคัญจำนวน 3 ใน 4

อุณหภูมิในเดือนมีนาคม อาจมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อการเกิด El Nino ในมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งเริ่มตั้งต้นเมื่อเดือนธันวาคมและอาจจะยาวไปเป็นระยะเวลา 1 ปี หรือมากกว่า

3.7 เครือข่ายวงปีไม้สักและการสร้างเส้นภูมิอากาศ

ในการศึกษาการสร้างเส้นน้ำฝนและอุณหภูมินั้น ได้ใช้เส้นดัชนีไม้สักจำนวนทั้งสิ้น 21 เส้นดัชนี ซึ่งเป็นเส้นดัชนีที่ศึกษาโดย Pumijumnong (1995) จำนวน 19 เส้นดัชนี และได้เพิ่มเติมอีก 2 เส้นดัชนีจากการศึกษาใหม่ หลักการในการเลือกเส้นดัชนี คือจะต้องมีความยาวอย่างน้อย ถึงปี ค.ศ. 1870 ต่อจากนั้นนำเส้นดัชนีเหล่านั้นมาคำนวณหาความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ และทำการ Calibration และ Verification

ตารางที่ 41 สรุปค่าสถิติของเส้นน้ำฝนและอุณหภูมิ

สถิติ	น้ำฝน		อุณหภูมิ	
	Calibration 1911-1950	Verification 1951-1991	Calibration 1951-1970	Verification 1973-1991
R2	0.41		0.36	
CORRELATION	0.614*	0.677*	0.574*	0.654
Reduction of error	0.371*	0.450*	0.303*	0.450*
T-value	3.857*	2.963*	2.593*	1.18==>1.73
Sign-Product	16<====14	13*	6<=====5	3*
Degree of freedom	38	39	18	19

* ค่าความน่าเชื่อถือทางสถิติที่ 0.05 (95%)

สมการสำหรับเส้นน้ำฝน

$$EP15 = -1086.816 + 352.454 \cdot S8 + 362.176 \cdot S12 + 384.803 \cdot S13$$

สมการที่ 3

EP15 = ค่าประมาณน้ำฝนรวมของเดือน เมษายน พฤษภาคม มิถุนายน และ กรกฎาคม

S8 = ดัชนีไม้สักก่อนหลวง 3 (หมายเลขที่ 8)

S12 = ดัชนีไม้สัก ผาอิง 2 (หมายเลขที่ 12)

S13 = ดัชนีไม้สัก แม่กองมูล (หมายเลขที่ 13)

สมการสำหรับเส้นอุณหภูมิต

ET13 = 2398.827-797.298*S1-1017.433*S2-683.117*S5

สมการที่ 4

ET13 คือ ค่าเฉลี่ยประมาณอุณหภูมิ เดือนพฤษภาคม และ มิถุนายน

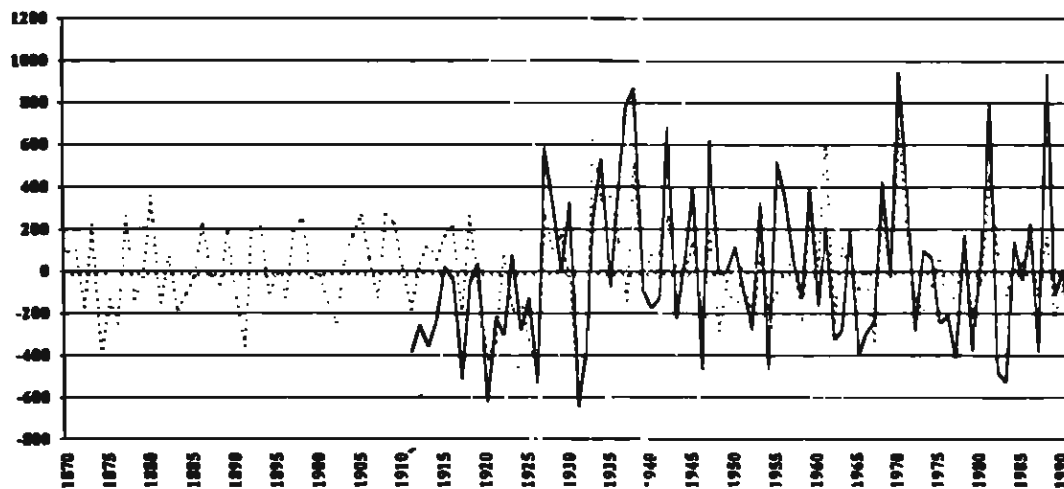
S1 คือ ดัชนีไม้สัก แม่ตื่น (หมายเลข 1)

S2 คือ ดัชนีไม้สัก แจ้ห่ม (หมายเลข 2)

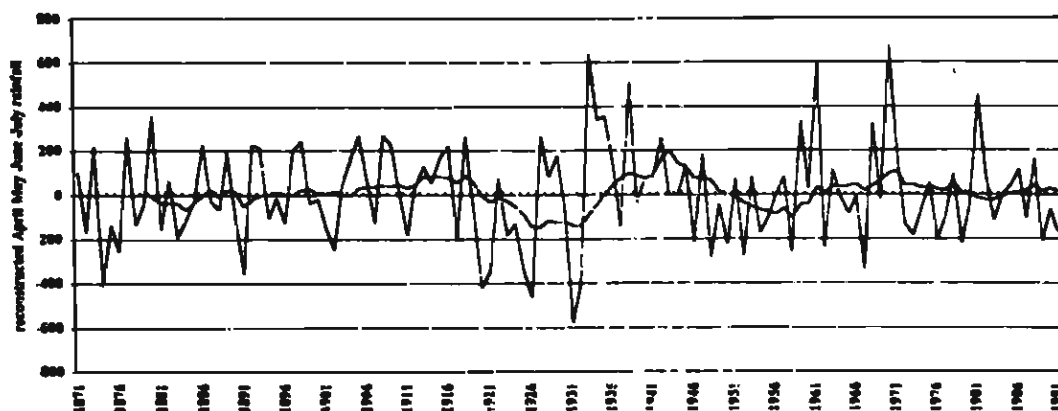
S5 คือ ดัชนีหมอยสัก ถ้ำผาไท (หมายเลข 5)

ในระหว่างปี 1975-1980, 1950-1955 และ 1920-1925 ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนน้อยกว่าค่าเฉลี่ยปกติ ซึ่งสอดคล้องกับปีที่แห้งแล้งในประเทศไทย และปีที่แห้งแล้ง ก็สอดคล้องกับช่วงระยะที่เส้นอุณหภูมิตแสดงค่าที่สูง เส้นน้ำฝนในช่วง 1870-1911 มีค่าค่อนข้างคงที่ แต่อย่างไรก็มีความแปรปรวนน้อยกว่า ปี 1911 จนมาถึงปัจจุบัน อย่างไรก็ตามเส้นอุณหภูมิตตั้งแต่ 1850 - 1951 (ซึ่งไม่มีค่า verification ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาสั้นๆ) ได้แสดงช่วงที่ร้อนคือในปี 1861 1880-1886 1900 และ 1921-1926

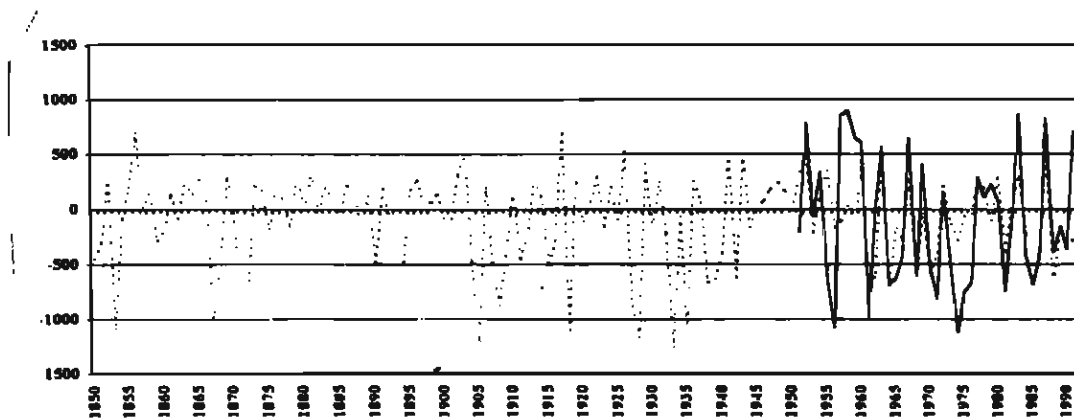
ดัชนีไม้สักที่ได้มาจากความกว้างวงปีของไม้สัก และข้อมูลทางกายวิภาคของไม้สัก ซึ่งศึกษาในเรื่องไม้ต้นฤดู (เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อน้ำเลี้ยงน้ำ) และไม้ปลายฤดูกาลเจริญเติบโต (ความหนาแน่นของท่อน้ำเลี้ยงน้ำ) (Pumijumnong and Park 1999) สามารถที่จะนำมาสร้างกราฟเส้นน้ำฝนและอุณหภูมิตในภาคเหนือของประเทศไทยได้



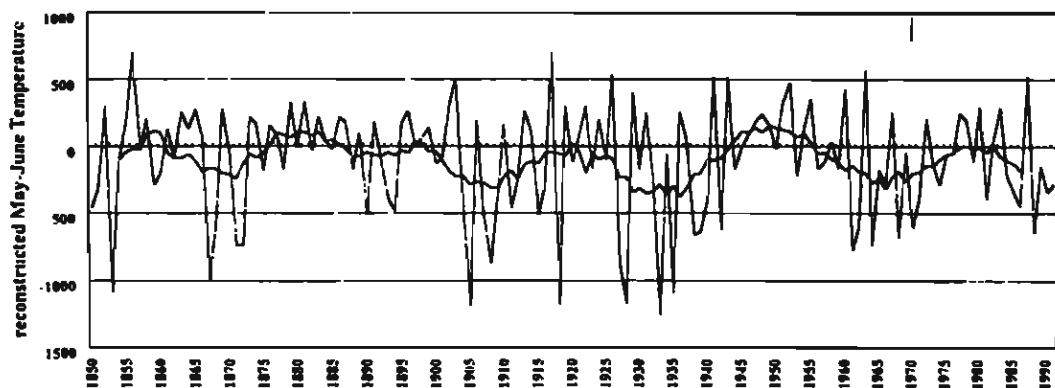
รูปที่ 80a เปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเดือน เมษายน-กรกฎาคม (1870-1991) จากการประมาณการณ (เส้นประ) กับค่าน้ำฝนเดือน เมษายน-กรกฎาคม ค่าจริง (เส้นทึบ)



รูปที่ 80 b เส้นน้ำฝนเดือน เมษายน-กรกฎาคม ที่ได้จากการประมาณการณ และค่าเฉลี่ยทุก 11 ปี



รูปที่ 81a เปรียบเทียบอุณหภูมิเดือน พฤษภาคม-มิถุนายน (1850-1991) ที่ได้จากการประมาณการณ (เส้นประ) กับเส้นอุณหภูมิ เดือนพฤษภาคม-มิถุนายน ค่าจริง (เส้นทึบ)



รูปที่ 81b เส้นอุณหภูมิ พฤษภาคม-มิถุนายน ที่ได้จากการประมาณการณ กับเส้นเฉลี่ยทุกๆ 11 ปี

4. บทวิจารณ์

4.1 ปัญหา ในการศึกษารังนี้เนื่องมาจากฤดูกาลในประเทศไทยไม่มีความชัดเจนซึ่งเป็นเหตุผลให้ไม้ส่วนใหญ่ไม่สร้างวงปีหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือเห็นวงปีไม่ชัดเจน ในกรณีไม้สักซึ่งเป็นไม้ที่ทิ้งใบในฤดูแล้งและสร้างวงปี (Gottwald and Parameswaran 1988) แต่อย่างไรก็ตามก็ยังจัดว่าลักษณะของวงปีบางครั้งไม่มีความชัดเจน ซึ่งในที่นี้รวมถึงโอกาสที่ไม้สักจะสร้างวงปีปลอม (false ring) คือไม้สักจะสร้างวงปีขึ้นมา 2 วง ในรอบ 1 ปี ซึ่งส่วนมากจะเกิดบริเวณไม้ปลายฤดู เนื่องจากหากมีฝนทั้งช่วงและกลับมีฝนตกหนักติดต่อกันอีกครั้งหนึ่งต้นไม้จะสร้างท่อลำเลียงน้ำซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ค่อนข้างใหญ่กว่าที่ควรจะเป็นในช่วงเดือนนั้น ความผิดปกติในการสร้างวงปีอาจมีสาเหตุมาจาก การระบาดของแมลง ไฟป่า Bhattacharyya et al. (1992) ศึกษาไว้ว่าไม้สักที่โดนทำลายโดยการระบาดของแมลงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้กระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชผิดปกติไป ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการสร้างวงปีปลอม

และเนื่องจากลักษณะทางพันธุกรรมอย่างหนึ่งของไม้สักที่กำหนดให้ลักษณะของวงปีรอบลำต้นมีลักษณะหยักเว้า ดังนั้นจึงมีโอกาสเป็นไปได้ว่าในการเก็บตัวอย่างโดยใช้ เครื่องมือเจาะไม้จะไปเจอตรงตำแหน่งที่เป็นปัญหาและขนาดตัวอย่างค่อนข้างเล็ก ตัวอย่างที่ดีในการศึกษาไม้สักนั้นจึงควรเป็นชิ้นเฉียงเพื่อที่จะติดตามความต่อเนื่องของวงปีได้

อีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้โครงสร้างของไม้ผิดปกติไปเนื่องจากการที่ไม้สักที่ขึ้นบริเวณพื้นที่ลาดชันของภูเขาซึ่งอาจทำให้การเจริญเติบโตของไม้ด้านบนผิดปกติเพราะต้องการที่จะพยุงลำต้นให้ตั้งตรงซึ่งลักษณะที่ผิดปกติกับไม้ใบกว้างเรียกว่า Tension wood

4.2 ความกว้างวงปีของไม้สักและสถิติที่เกี่ยวข้อง

ความกว้างวงปีคือผลผลิตที่ต้นไม้สร้างขึ้นมามีภายใน 1 ปี นั้น ขนาดของความกว้างของวงปีที่มีความใกล้เคียงกันหรือแตกต่างกันเนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ต้นไม้ขึ้นอยู่

ตารางที่ 42 สรุปค่าสถิติที่สำคัญของไม้สักในประเทศไทย

พื้นที่ศึกษา	ความกว้างวงปี (มม)	Auto-correlation	Mean Sensitivity	อายุ (ปี)	ความสัมพันธ์กับข้อมูลภูมิอากาศ	
					น้ำฝน	อุณหภูมิ
MV1	3.36	.457	.511	99	ก.ย, -ส.ค	-ก.ย
MV2	2.26	.369	.558	142	พ.ค-มิ.ย	-พ.ค, -ส.ค
MV3	2.95	.450	.553	123	ก.ย	-
MV4	2.75	.54	.498	130	-ส.ค	-ก.ย, -ส.ค
KL	3.07	.669	.402	177	มี.ค, ก.ค	ก.ค
KL2	4.94	.5	.412	83	-ส.ค	พ.ค
MAE1	2.91	.668	.339	255	พ.ค,ก.ค	-
MAE2	2.92	.716	.311	105	พ.ค-ก.ค	-

ตารางที่ 42 (ต่อ)

พื้นที่ศึกษา	ความกว้าง วงปี (มม)	Auto- correlation	Mean Sensitivity	อายุ (ปี)	ความสัมพันธ์กับข้อมูลภูมิ อากาศ	
					น้ำฝน	อุณหภูมิ
MM	3.53	.255	.485	29	พ.ค	
MY	3.96	-.008	.718	26	มี.ค,พ.ค, มิ.ย	-มิ.ย
MJ	3.78	.397	.491	27	มี.ค,พ.ค, มิ.ย	

จากผลการศึกษานาถเฉลี่ยของความกว้างวงปีของประเทศไทยในครั้งนี้อาจกล่าวได้ว่าไม้สักจากป่าธรรมชาติ (MV1-4, KI, KI2, Mae1-2) กับไม้สักจากป่าปลูก (MM, MY, MJ) ไม่ได้มีขนาดแตกต่างกัน ซึ่งอาจเนื่องมาจากลักษณะทางสภาพภูมิประเทศที่ไม่ได้แตกต่างกันอย่างเด่นชัด พบว่าไม้สักจากอุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้าบริเวณที่เก็บตัวอย่างใกล้ที่ทำการอุทยานแห่งชาติมีขนาดความกว้างวงปีเฉลี่ยมากที่สุด 4.94 มม. และไม้สักจากอุทยานแห่งชาติแม่วงก์ (MV2) มีขนาดความกว้างวงปีแคบที่สุด 2.62 มม. ส่วนไม้สักจากสวนป่าทั้งสามพื้นที่มีอายุใกล้เคียงกันและความกว้างวงปีเฉลี่ยใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 43 สรุปค่าสถิติที่สำคัญของไม้สักในประเทศพม่า

พื้นที่ศึกษา	ความกว้าง ปี (มม)	Autocorrelat ion	Mean Sensitivity	อายุ (ปี)	ความสัมพันธ์กับข้อมูลภูมิ อากาศ	
					น้ำฝน	อุณหภูมิ
Y-Site	1.91	.732	.426	199	ก.พ, -ต.ค	ก.พ
Moswe	1.78	.732	.429	248	-	เม.ย
PR	1.44	.714	.421	213	-	ส.ค
PL	1.54	.655	.458	208	ต.ค,ก.ย	พ.ค
PA	1.70	.625	.440	164	ต.ค,ก.ย	พ.ค,มิ.ย
NL	2.10	.674	.411	163	-	-
S1	3.15	.713	.377	114	-	-ต.ค
S2	2.66	.720	.369	153	-	ก.ค
P1	2.66	.728	.412	87	-	-ธ.ค
P2	1.89	.745	.387	177	ก.พ	ส.ค
P3	2.50	.755	.418	97	-ก.ค,-ก.ย, ก.พ	เม.ย

ตารางที่ 43 (ต่อ)

พื้นที่ศึกษา	ความกว้าง ปี (มม)	Autocorrelat ion	Mean Sensitivity	อายุ (ปี)	ความสัมพันธ์กับข้อมูลภูมิ อากาศ	
					น้ำฝน	อุณหภูมิ
MA	1.77	.543	.482	136	เม.ย	-
MB	1.53	.487	.493	168	เม.ย	ธ.ค

เมื่อพิจารณาขนาดความกว้างวงปีของไม้ในพม่าแล้วมีขนาดแคบกว่าของประเทศไทย อาจเนื่องมาจากสภาพดินและความแตกต่างทางภูมิประเทศ จากค่าสถิติ Autocorrelation ซึ่งหมายถึงความสัมพันธ์ในตัวเอง ของไม้จากพม่าจะมีค่าที่สม่ำเสมอ คือค่าที่สูงประมาณ 0.7 ส่วนค่า Mean Sensitivity ซึ่งหมายถึงค่าที่ต้นไม้ตอบสนองต่อปัจจัยภายนอกก็ค่อนข้างสม่ำเสมอ โดยที่ค่าที่จับกลุ่มกันสูงจะอยู่ในพื้นที่ป่าสักแห้งแล้ง (Y, Moswe, PR, PA, PL, NL) และที่ MA และ MB

ในการเปรียบเทียบค่าความอ่อนไหว (Mean Sensitivity) จากอินเดีย Bhattacharyya et al (1992) พบว่ามีค่าความอ่อนไหวอยู่ระหว่าง 0.33-0.46 ค่าเฉลี่ย 0.41 และค่าความสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation) เท่ากับ 0.36-0.85 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.64 และข้อมูลค่าความอ่อนไหวของไม้สักจากหมู่เกาะชวาจากการศึกษาของ Palmer and Murphy (1993) มีน้อยมากประมาณ (Berlage-Chronology 1514 -1929, X = 0.23, new Java-Chronology 1920-1989, X= 0.27 total Java-Chronology 1514-1989, X= 0.23)

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างวงปีของไม้สักกับสภาพภูมิอากาศ

จากการศึกษาความสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple correlation) ระหว่างความกว้างวงปีและข้อมูลภูมิอากาศไม้สักในประเทศไทยสามารถสรุปได้ว่า ไม้สักที่ขึ้นอยู่บริเวณภาคเหนือตอนล่าง (MV1-4, KL, KL2) ความกว้างวงปีมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนในช่วงกรกฎาคม และกันยายน ส่วนอุณหภูมิจะมีความสัมพันธ์เชิงลบในเดือนกันยายนเช่นกัน แต่สำหรับไม้สักจากภาคเหนือตอนบน (MAE 1, 2 MM, MY, MJ) พบว่าความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนในช่วงพฤษภาคม-กรกฎาคม มีความสัมพันธ์กับความกว้างวงปี และไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับข้อมูลอุณหภูมิ ซึ่งผลนี้ได้คล้อยคลึงกับการศึกษาที่ผ่านมาของ Pumijumnong (1995)

เปรียบเทียบผลการศึกษารื่องการตอบสนองของความกว้างวงปีต่อปัจจัยภูมิอากาศ พบว่าไม้สักจากเขตพื้นที่แห้งแล้ง Y, Moswe, PR, PA, PL, NL มีความคล้ายคลึงกับไม้สักของประเทศไทยที่ พื้นที่ศึกษาภาคเหนือตอนล่าง (MV1-4, KL, KL2) และไม้สักบริเวณพื้นที่ชุ่มชื้นตอบสนองต่ออุณหภูมิชัดเจนมากกว่าไม้สักในประเทศไทย

4.4 การพัฒนาตัวแปรทางกายวิภาคของดัชนีไม้สัก

ตัวแปรทางกายวิภาคของไม้สักโดยเฉพาะพื้นที่เฉลี่ยของท่อลำเลียงน้ำและค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางในไม้ต้นฤดู มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณน้ำฝนในเดือนเมษายน ซึ่งเป็นเดือนที่เชื่อมต่อระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน และตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณน้ำฝนในเดือนพฤษภาคม แต่ทั้งพื้นที่เฉลี่ยและเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อลำเลียง ไม้สักมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ซึ่งอธิบายได้ว่าความชื้นเป็นปัจจัยจำกัดในระหว่างฤดูแล้งเมื่อไม้สักมีการทิ้งใบ ในช่วงเริ่มต้นของฤดูฝน ดินได้รับความชุ่มชื้นจากน้ำฝนและประกอบกับอุณหภูมิที่พอเหมาะรวมทั้งฮอร์ฟิซ กระตุ้นให้แคมเบียมแบ่งเซลล์และสร้างท่อลำเลียงน้ำในไม้ต้นฤดู ไม่มีรายงานการวิจัยใดกล่าวถึงเวลาที่ไม้สักสร้างเนื้อไม้ปลายฤดู ผลจากการศึกษานี้สรุปได้ว่าอุณหภูมิในเดือนเมษายนและพฤษภาคมมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของท่อลำเลียงน้ำในไม้ปลายฤดู ในปีที่เหมาะสมน้ำจะเป็นปัจจัยจำกัดของพืชประกอบกับอุณหภูมิที่สูง ต้นไม้จะสร้างวงปีที่แคบและจำนวนท่อลำเลียงน้ำมาก ผลจากการศึกษาแนะนำว่าท่อลำเลียงน้ำในช่วงต้นฤดู ขึ้นอยู่กับน้ำฝนในช่วงแรกของฤดูฝน และความกว้างของวงปีของไม้สักมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนของเดือนพฤษภาคม มิถุนายน และกรกฎาคม ซึ่งมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของไม้สักตลอดฤดูการเจริญเติบโต ในขณะที่อุณหภูมิไม่แสดงความสัมพันธ์กับความกว้างวงปี ในทางตรงกันข้ามอุณหภูมิแสดงความสัมพันธ์กับตัวแปรทางกายวิภาคของทั้งวงปี และไม้ต้นฤดู ท่อลำเลียงน้ำบริเวณไม้ต้นฤดูและไม้ปลายฤดูมีความอ่อนไหวต่ำกว่าทั้งวงปีและของความกว้างวงปี อย่างไรก็ตามปัจจัยทางกายวิภาคของไม้ต้นฤดูและไม้ปลายฤดูมีการพัฒนาที่แตกต่างกัน สรุปได้ว่าตัวแปรทางกายวิภาคมีความสัมพันธ์กับสภาพอากาศแตกต่างกันไปจากความกว้างวงปี อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของพื้นที่และเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อลำเลียงน้ำของไม้ปลายฤดู

4.5 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเจริญเติบโตอย่างฉับพลันของไม้สัก

ในการศึกษานี้เป็นการเริ่มต้นพัฒนาการศึกษาโดยใช้ปีดัชนี หรือ pointer year ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศป่าไม้เบญจพรรณ โดยที่สังเกตว่าขนาดของวงปีที่จะใช้เป็นปีดัชนีได้อย่างน้อยต้องมีความต่อเนื่อง 3 วง (Schweigruber 1983) และ Nowacki et al. (1997) กล่าวว่าสภาพป่าควรเป็นป่าที่มีเรือนยอดไม้ชิดกัน ซึ่งหมายถึงต้นไม้มีการแก่งแย่งทรัพยากรในพื้นที่นั้นมากกว่าที่จะมีปัจจัยทางสภาพภูมิอากาศเข้ามามีอิทธิพล อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ลักษณะโครงสร้างของวงปีของไม้สักแสดงให้เห็นว่าการทำไม้สักออกในพื้นที่ขณะนั้นเป็นการตัดหมดเพราะไม้ที่โตขึ้นมาทดแทนให้เห็นในปัจจุบันมีขนาดและอายุที่ใกล้เคียงกัน การศึกษาในลักษณะเช่นนี้ควรจะต้องมีการศึกษาต่อไปและขยายพื้นที่ศึกษาให้มีขนาดใหญ่พร้อมกับลงตำแหน่งของต้นไม้ทุกต้นที่ทำการศึกษา และหากมีข้อมูลที่จะมาตรวจสอบได้ว่าในช่วงอดีตที่ผ่านมาเป็นอย่างไรบ้าง ก็จะเป็นการยืนยันที่แน่นอนว่าสามารถที่จะพัฒนาใช้โครงสร้างของวงปีไม้บอกเหตุการณ์ต่างๆในอดีตได้มากน้อยอย่างไร

4.6 การใช้ความกว้างวงปีไม้สักในการติดตามก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

จากการศึกษารูปแบบความกว้างของวงปีของไม้สักทั้งสามพื้นที่ศึกษา คือ สวนป่าแม่เมาะ สวนป่าแม่จาง และสวนป่าแม่มาย เพื่อให้ได้มาซึ่งรูปแบบการเจริญเติบโต หรือดัชนีของไม้สักในแต่ละพื้นที่ และนำมาหาความสัมพันธ์อย่างง่ายกับปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือน และค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิรายเดือน และเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งผลจากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

ไม้สักทั้ง 3 พื้นที่ศึกษาจะมีรูปแบบการเจริญเติบโตที่ค่อนข้างแปรปรวนเมื่อยังมีอายุน้อย ซึ่งเป็นไปตามหลักการทางชีววิทยา ซึ่งไม้ที่มีอายุน้อยจะต้องการเพิ่มความสูง อย่างรวดเร็วเพื่อให้ได้รับแสงให้มากที่สุด

จากผลการศึกษาครั้งนี้ถึงแม้ยังไม่สามารถสรุปผลการศึกษาได้อย่างเด่นชัดว่าปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีผลเชิงลบต่อการเจริญเติบโตของไม้สักเนื่องจากการขาดแคลนข้อมูลย้อนหลังของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์จากปากปล่องและข้อมูลที่ทำการศึกษาและการวิจัยครั้งนี้ได้นำมาใช้ก็เพียงระยะสั้น เมื่อเทียบกับการตั้งและการเริ่มทำงานของโรงงานไฟฟ้าแม่เมาะ และอายุของสวนป่าไม้สัก อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาโดยวิเคราะห์จากข้อมูลที่มีอยู่สามารถชี้ให้เห็นถึงแนวโน้มว่าปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีความสัมพันธ์ต่อการเจริญเติบโตของไม้สักในลักษณะตรงกันข้าม

สำหรับการศึกษาและวิจัยเรื่องวงปีของไม้สักกับผลกระทบจากโรงงานไฟฟ้าลิกไนต์อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปางควรได้รับการสนับสนุนให้มีการศึกษาต่อไป เพื่อที่จะหาข้อสรุปที่แน่นอนว่าไม้สักสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดมลภาวะทางพิษได้ชนิดหนึ่ง โดยการวิจัยในอนาคตอาจทำการวิจัยโดยมีแปลงทดลองควบคุม อย่างเช่นการศึกษาในยุโรป เช่นการศึกษาความกว้างวงปีไม้สนในยุโรป ซึ่งทำการควบคุมความเข้มข้นของปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในระดับที่แตกต่างกัน และทดลองกับไม้สนที่มีอายุแตกต่างกันออกไป หลังจากนั้น อย่างน้อย 2-3 ปี หรือนานกว่านี้ ก็ทำการศึกษาความกว้างของวงปีไม้สน

4.7 ตัวแปรทางกายวิภาคของไม้สักกับการสร้างเส้นภูมิอากาศ

ตัวแปรทางกายวิภาคกับปริมาณน้ำฝน

สรุปตัวแปรทางกายวิภาคกับปริมาณน้ำฝน เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเวสเซลในไม้ต้นฤดู ความหนาแน่นของเวสเซลในไม้ปลายฤดูและความกว้างวงปี จากไม้สักทางภาคเหนือของประเทศไทย แสดงความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณน้ำฝนเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงที่เริ่มต้นฤดูฝนของประเทศไทย ดังนั้นปริมาณน้ำฝนจะมากหรือน้อยในช่วงเริ่มต้นฤดูฝนมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของไม้สักเป็นอย่างมาก ฤดูฝนของประเทศไทยมีความสัมพันธ์กับลมมรสุมที่เริ่มก่อตัวในมหาสมุทรอินเดีย ปรากฏการณ์ธรรมชาติ El Nino ซึ่งกำเนิดมาจากตอนกลางของมหาสมุทรแปซิฟิกซึ่งอาจจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของไม้สักเช่นเดียวกับ

ที่กระทบต่อพื้นที่ต่างๆของโลกมากน้อยกันไปในลักษณะที่เรียกว่า Teleconnection ในการพัฒนาการศึกษาต่อไปในอนาคตนั้นควรที่จะมีการพัฒนาปัจจัยทางกายวิภาคหรือขนาดความกว้างวงปีกับความสัมพันธ์การเกิด El Nino

ตัวแปรทางกายวิภาคกับอุณหภูมิ

พื้นที่ที่มีศักยภาพในการลำเลียงน้ำในไม้ปลายฤดูในปีที่ผ่านมา และอีก 2 ปีข้างหน้า และ ความหนาแน่นของท่อลำเลียงน้ำในไม้ต้นฤดูของอีก 1 ปีข้างหน้า มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิในเดือนมีนาคม ปีที่แห้งแล้งทำให้วงปีของไม้สักมีขนาดเล็กมากซึ่งอาจจะไม่ปรากฏไม้ปลายฤดูการในทางตรงกันข้าม ความพอเพียงของน้ำและความชุ่มชื้น กับอุณหภูมิที่เหมาะสมทำให้ไม้สักมีวงปีกว้าง และพื้นที่ไม้ต้นฤดูกับไม้ปลายฤดูค่อนข้างกว้าง

4.8 เครือข่ายวงปีไม้สักและการสร้างเส้นภูมิอากาศ

ในการศึกษารังนี้ได้ใช้ดัชนีไม้สักที่มีอายุมากและตอบสนองต่อปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ ผลจากการศึกษาได้สมการเพื่อใช้ประมาณการณ์ปริมาณน้ำฝนเดือน เมษายน-พฤษภาคม-มิถุนายน-กรกฎาคม ดังนี้คือ

$$EP15 = -1086.816 + 352.454 \cdot S8 + 362.176 \cdot S12 + 384.803 \cdot S13$$

EP15 = ค่าประมาณการณ์น้ำฝนเดือนเมษายน-กรกฎาคม

S8 = ดัชนีไม้สักก่อนหลวง 3

S12 = ดัชนีไม้สักผาอิง 2

S13 = ดัชนีไม้สักแม่ทองมูล

ในการสร้างเส้นอุณหภูมิ

$$ET13 = 2398.827 - 797.298 \cdot S1 - 1017.433 \cdot S2 - 683.117 \cdot S5$$

เมื่อ ET13 = อุณหภูมิเดือนพฤษภาคมและมิถุนายน

S1 = ดัชนีไม้สักแม่ตึ่น

S2 = ดัชนีไม้สักแจ่ม

S5 = ดัชนีไม้สักถ้ำผาไท

สมการทั้ง สอง ควรนำไปทดลองใช้และเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิจริงที่ทางกรมอุตุนิยมวิทยาได้ตรวจวัดไว้

เอกสารอ้างอิง

- Bass, P. and Vetter, R.E., (eds.), 1989: Growth rings in tropical woods. IAWA Bull. n.s. 10: 95-117.
- Cook, E.R., 1985: A time-series analysis approach to tree-ring standardization. Ph.D. dissertation, Univ. of Arizona, Tucson, USA. 175 S.
- Cook, E.R. and Holmes, R.L., 1986: Users manual for program Arstan. In: Holmes, R.L. et al. (eds.), Tree-ring chronologies of western North America, California, eastern Oregon and northern Great Basin. Chronology Series IV. Univ. of Arizona, Tucson, USA. 50-65
- Douglass, A.E., 1914: A Method of estimating rainfall by the growth of trees. In: The climatic factor. Carnegie Inst. Wash. Publ., 192 S.
- Eckstein, D. and Frisse E., 1982: The influence of temperature and precipitation on vessel area and rind width of oak and beech. In: M.K. Hughes, P.M. Kelly, J.R. Pilcher & V.C. La-Marche (eds.), Climate from tree-rings. Cambridge University Press, Cambridge. 12-13.
- Foster, D.R., 1988: Disturbance history, community organization and vegetation dynamics of the old-growth Pisgah Forest, southwestern New Hampshire, USA. J. Ecol. 76: 105-134.
- Fritts, H.C., 1976: Tree rings and climate. Academic Press, London. 567 S.
- Gottwald, H. and Parameswaran, P., 1980: Anatomy of Wood and Bark of Tectona (Verbenaceae) in relation to taxonomy. Bot. Jahrb. Syst. Stuttgart. 101: 363-384.
- Holmes, R.L., 1983: Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-Ring Bull. 43: 69-78.
- Huber, B., 1941: Aufbau einer mitteleuropäischen Jahrringchronologie. Mitt. Akad. Dtsch. Forstwiss. 1: 110-125.
- Lorimer, C.G. and Frelich, L.E., 1989: A Methodology for estimating canopy disturbance frequency and intensity in dense temperate forests. Can. J. For. Res. 19: 651-663.
- Nowacki, G.J. and Abrams, N.D., 1997: Radial-growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from pre-settlement-origin oaks. Ecological Monographs. 67 (2): 225-249.

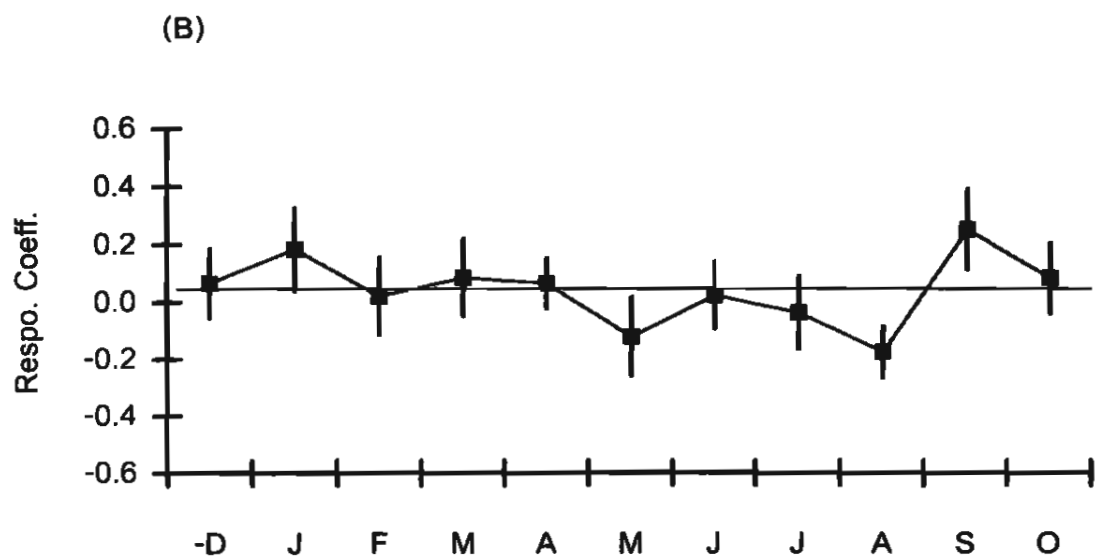
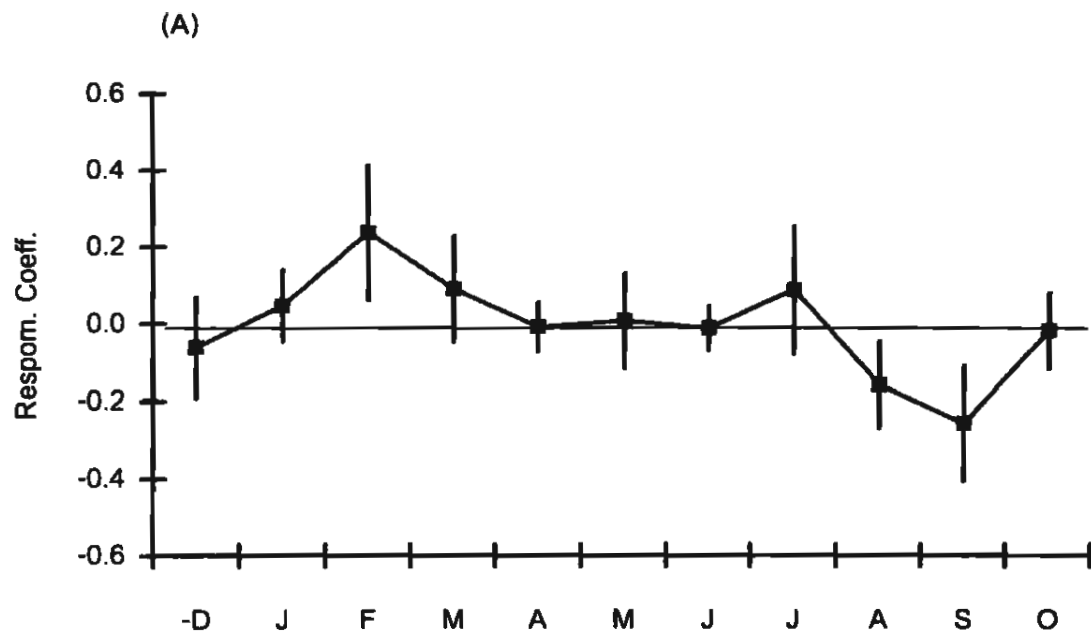
- Pumijumnong N., 1995: Dendrochronologie mit Teak (*Tectona grandis* L.) in Nord-Thailand. - Jahrringbildung - Chronologiennetz - Klimasignal - Ph.D. Dissertation. Fac. of Biologie. University Humburg, Germany: 211p.
- Pumijumnong N., Eckstein D. and Sass U., 1995: Tree-Ring Research on *Tectona grandis* in Northern Thailand. IAWA Journal. 16 (4): 385-392.
- Pumijumnong N., Eckstein D. and Sass U., 1995b: A Network of *Tectona grandis* Tree-Ring Chronologies in Northern Thailand. Proc. Workshop on Dendrochronology in Asia and the Pacific Region. Tsukuba, Japan. 35-41.
- Pumijumnong N., Eckstein D. and Sass U., 1995c: Reconstruction of Rainfall in Northern Thailand from Tree-Ring Series of Teak. Proc. Symposium on Paleoclimate and environmental variability in Austral-Asian transect during the past 2000 years. Nagoya, Japan: 186-191.
- Pumijumnong N. and Won-Kyu Park, 1999: Vessel Chronologies from Teak in Northern Thailand and their Climatic Signal. IAWA Journal. 20 (3): 285-294.
- Rinn, F., 1989: TSAP: Time Series Analysis Program. Version 2.3. reference Manual. Heidelberg Germany.
- Sano, J., 1997: Age and size distribution in long-term forest dynamics. Forest Ecology and Management 92: 39-44.
- Schweigruber, F.H., 1983: Tree Rings. Basics and Applications of Dendrochronology. D.Reidel Publishing Company.
- Schweigruber, F.H., 1990: Dendroecological Information in Pointer Years and Abrupt Growth Changes in Methods of Dendrochronology, Application in the Environmental Sciences edited by E.R. Cook and L.A. Kairiukstis. Kluwer Academic Publishers.
- Woodcock, D.W. 1989: Climate Sensitivity of Wood-Anatomical Features in a Ring-Porous Oak (*Quercus macrocarpa*). Can. J. For. Res. 19: 639-644.

ผลที่ได้รับ

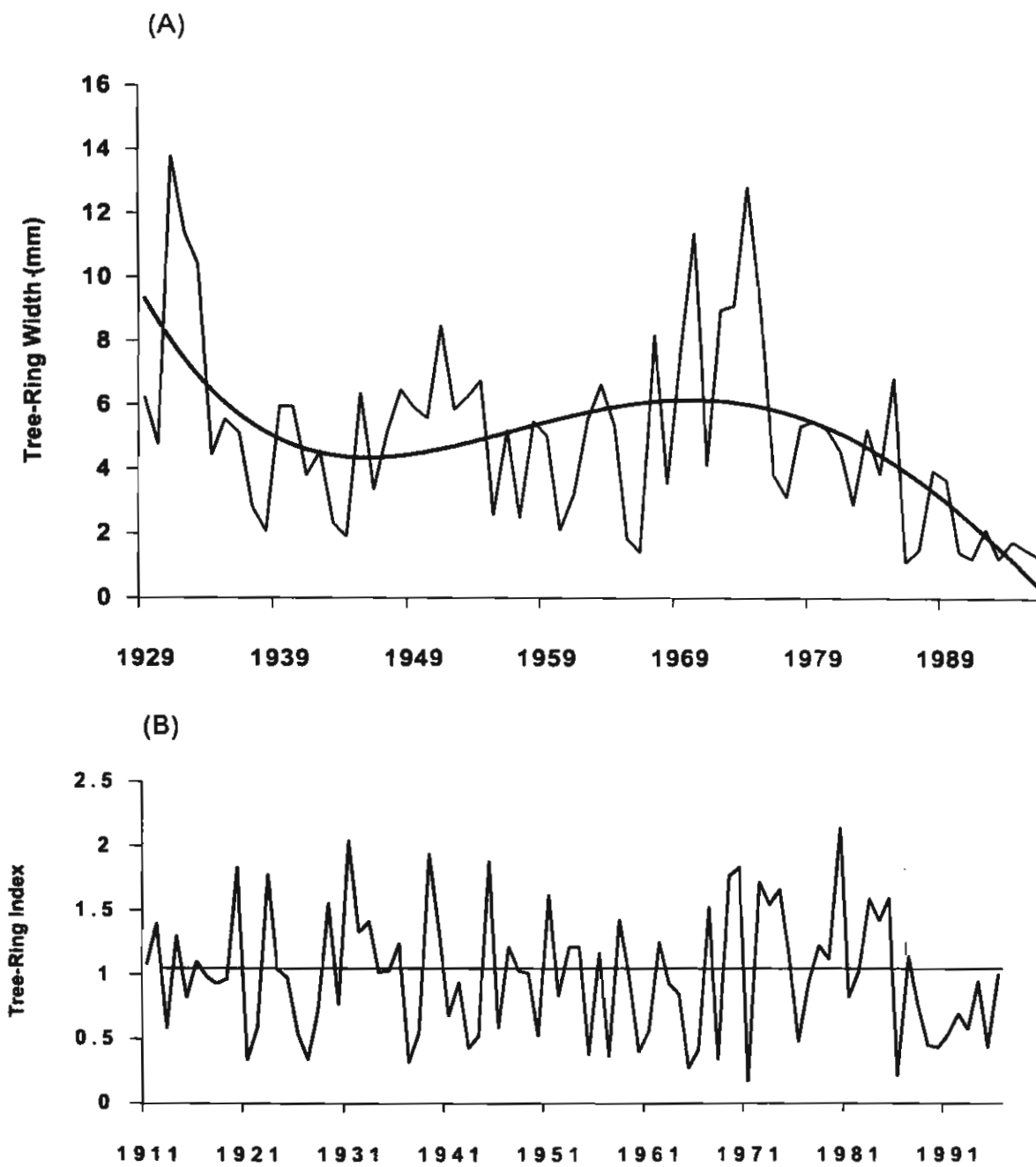
งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์แล้ว

1. Nathsuda Pumijumnong and Won-Kyu Park. Development of Anatomical Teak Chronologies from Northern Thailand. IAWA Journal นำเสนอในการประชุมวิชาการ SEA DENDRO 98. The First International Workshop on South East Asia Dendrochronology, Chiang Mai, Thailand
2. Nathsuda Pumijumnong, Won-Kyu Park and Dieter Eckstein. Reconstruction of Monsoon Climate over 200 years with Teak นำเสนอในการประชุมวิชาการ PAGES (Past Global Changes) 1st IGBP PAGES Open Science Meeting, University of London, United Kingdom
3. Nathsuda Pumijumnong and Won-Kyu Park. Dendroecological Aspect of Teak (*Tectona grandis* L.) in Northern Thailand นำเสนอในการประชุมวิชาการ IUFRO Inter-Divisional Seoul Conference, Seoul, Republic of Korea
4. Nathsuda Pumijumnong and Won-Kyu Park. Reconstruction of Northern Thailand – May Rainfall using Anatomical Variables of Teak Tree Rings นำเสนอในการประชุมวิชาการ 4th Pacific Regional Wood Anatomy Conference, Chonnam National University, Kwangju, Republic of Korea
5. Nathsuda Pumijumnong. Graphic Method of Cross-dating with Emphasis on Subtropical Trees นำเสนอในการประชุมวิชาการ Tutorial Workshop on Graphic Methods of Crossdating with Emphasis on Subtropical Trees, Chonnam National University, Kwangju, Republic of Korea
6. Nathsuda Pumijumnong and Won-Kyu Park. Growth Dynamic of Teak (*Tectona grandis* L.) in Northern Thailand นำเสนอในการประชุมวิชาการ The Second East Asia Workshop on Tree-Ring Analysis, Chungbuk National University, Cheongju, Republic of Korea
7. Nathsuda Pumijumnong, Dieter Eckstein and Won-Kyu Park. Established Teak Chronology in Myanmar. IAWA Journal (In print)

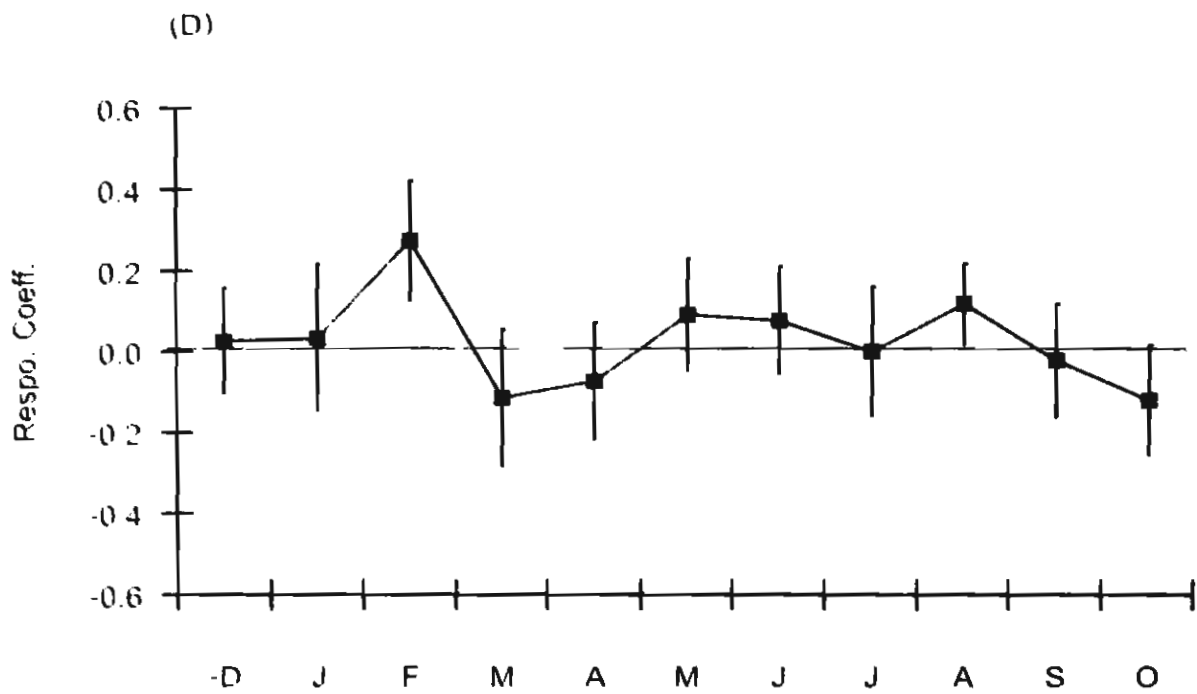
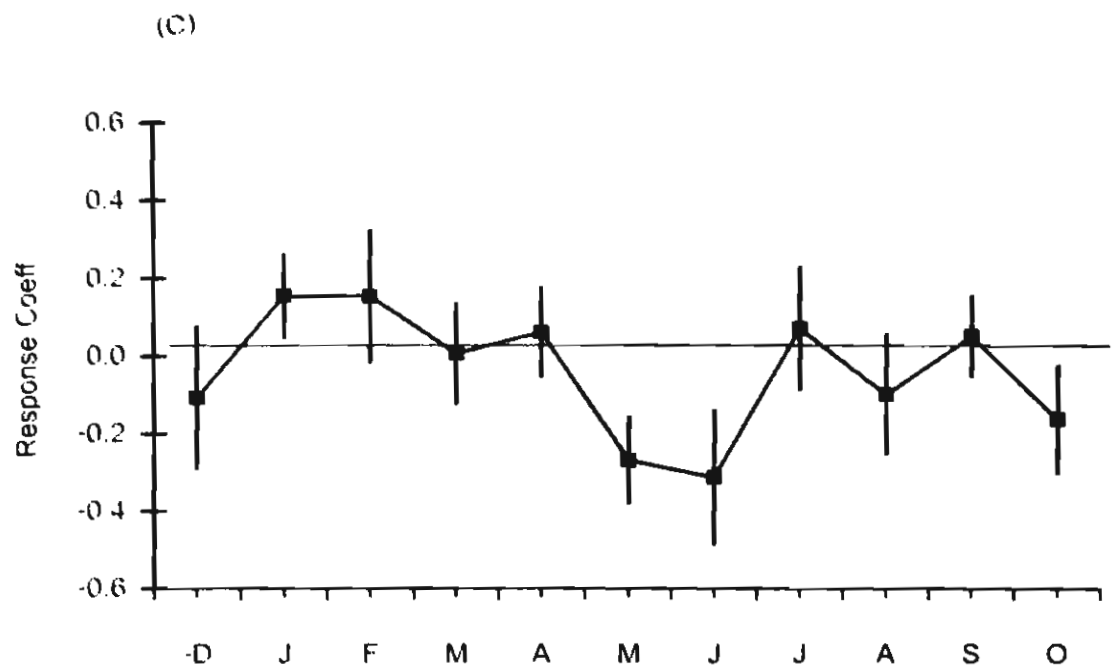
ภาคผนวก



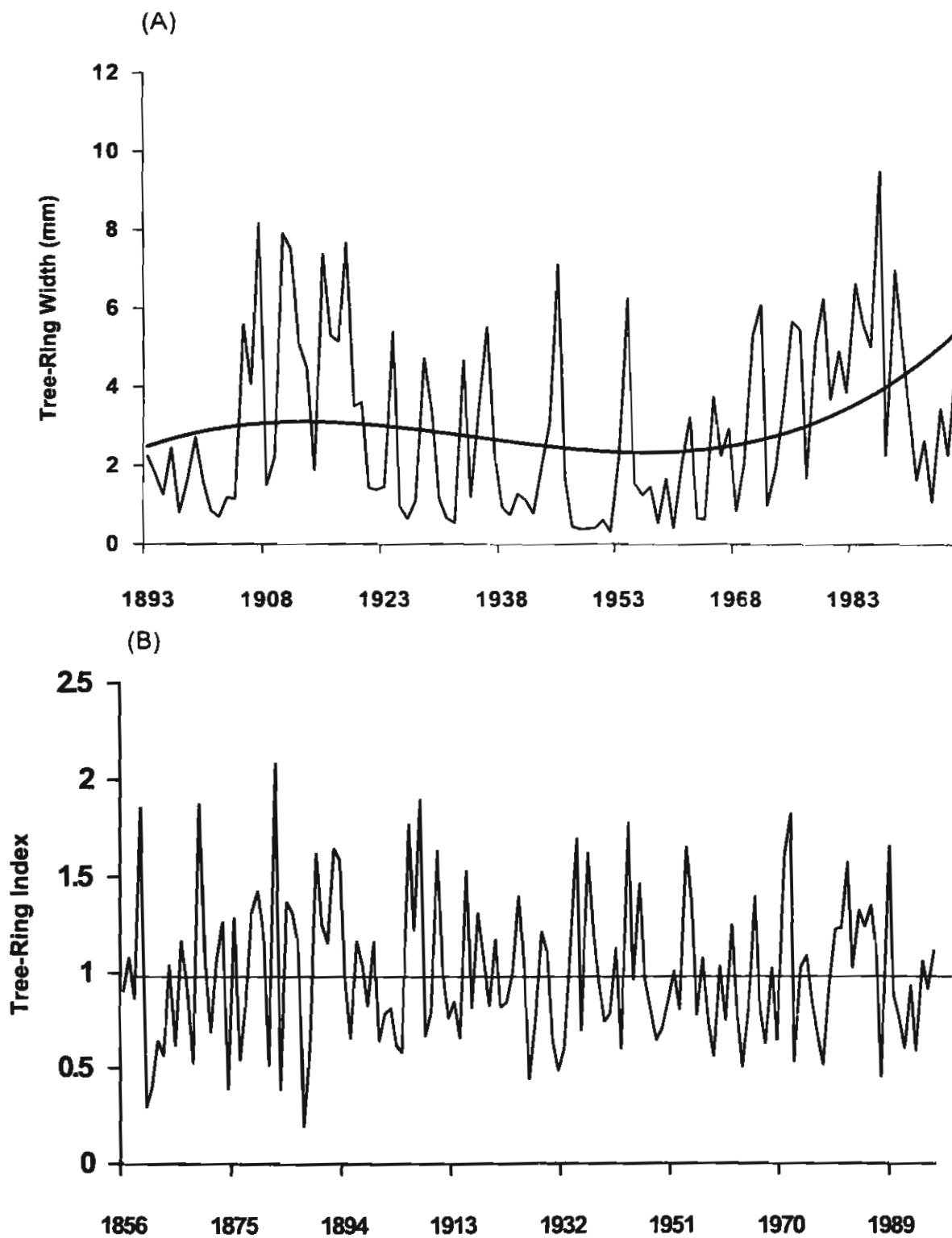
รูปที่ 13 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา MV1
(A) อุณหภูมิ (B) ปริมาณน้ำฝน



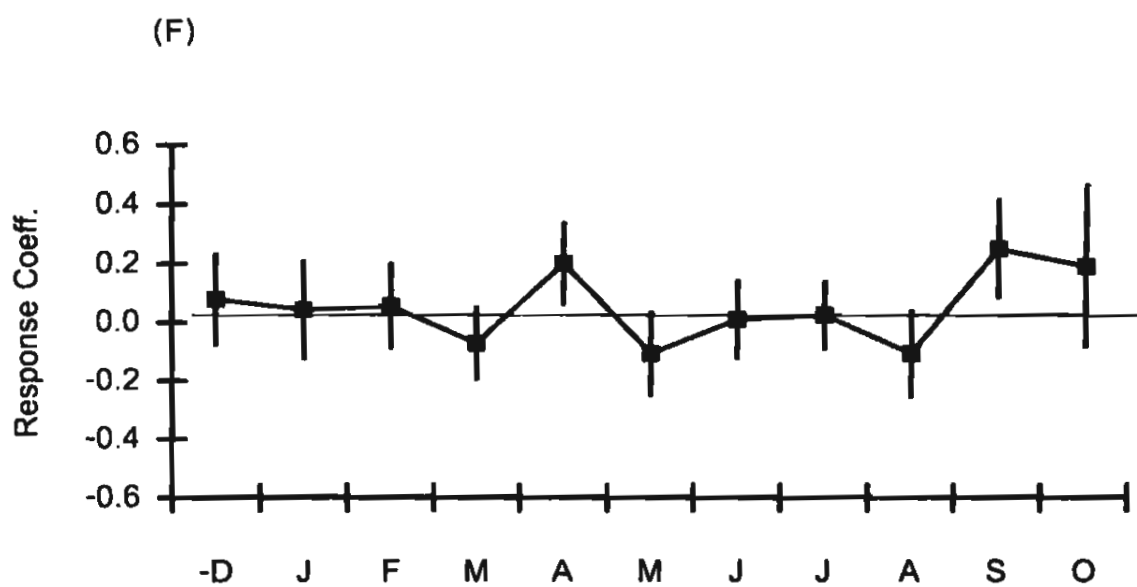
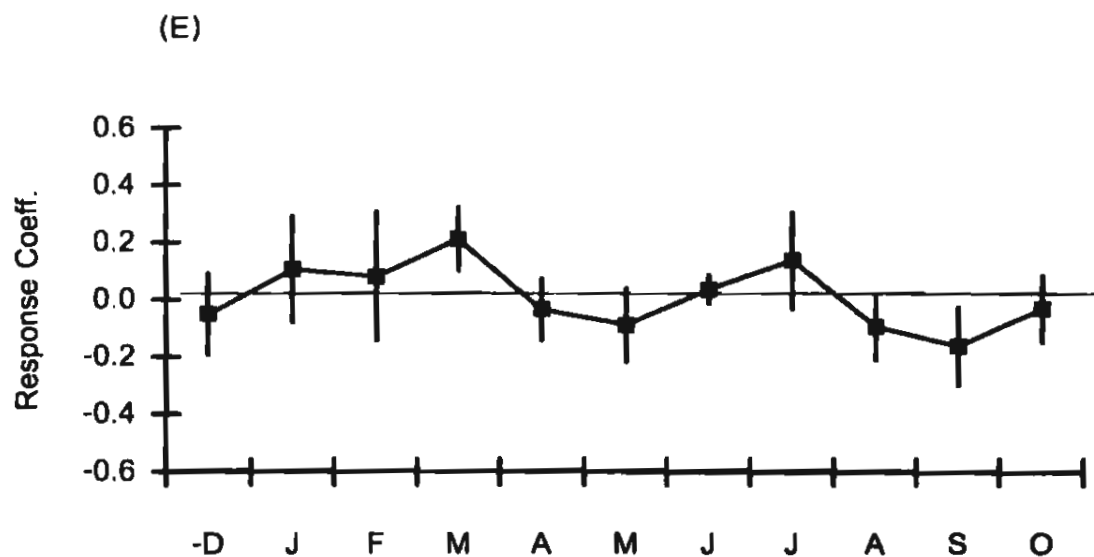
รูปที่ 14 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา MV1 (B) ดัชนี MV1



รูปที่ 15 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา MV2
(C) อุณหภูมิ (D) ปริมาณน้ำฝน

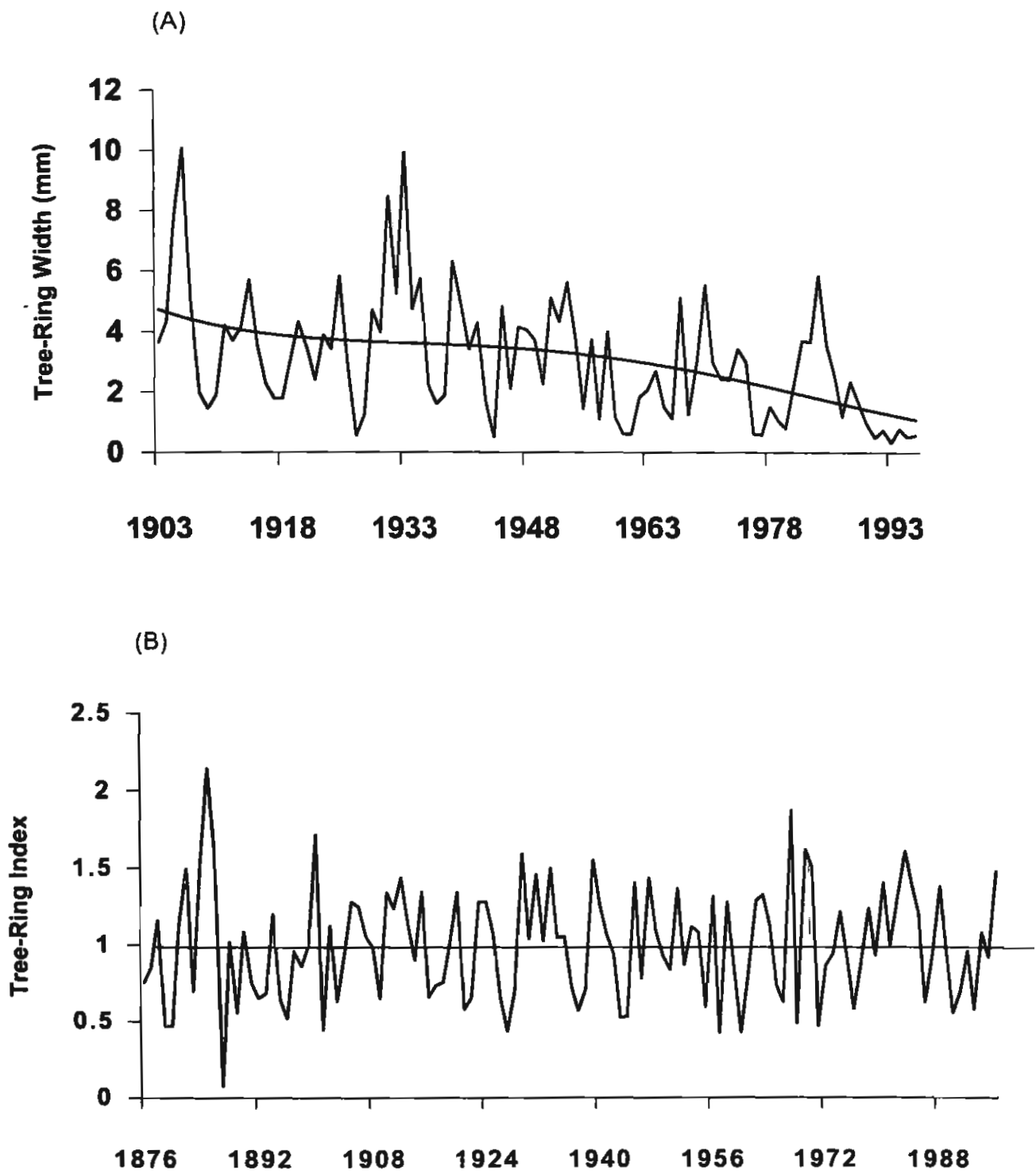


รูปที่ 16 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา MV2 (B) ดัชนี MV2

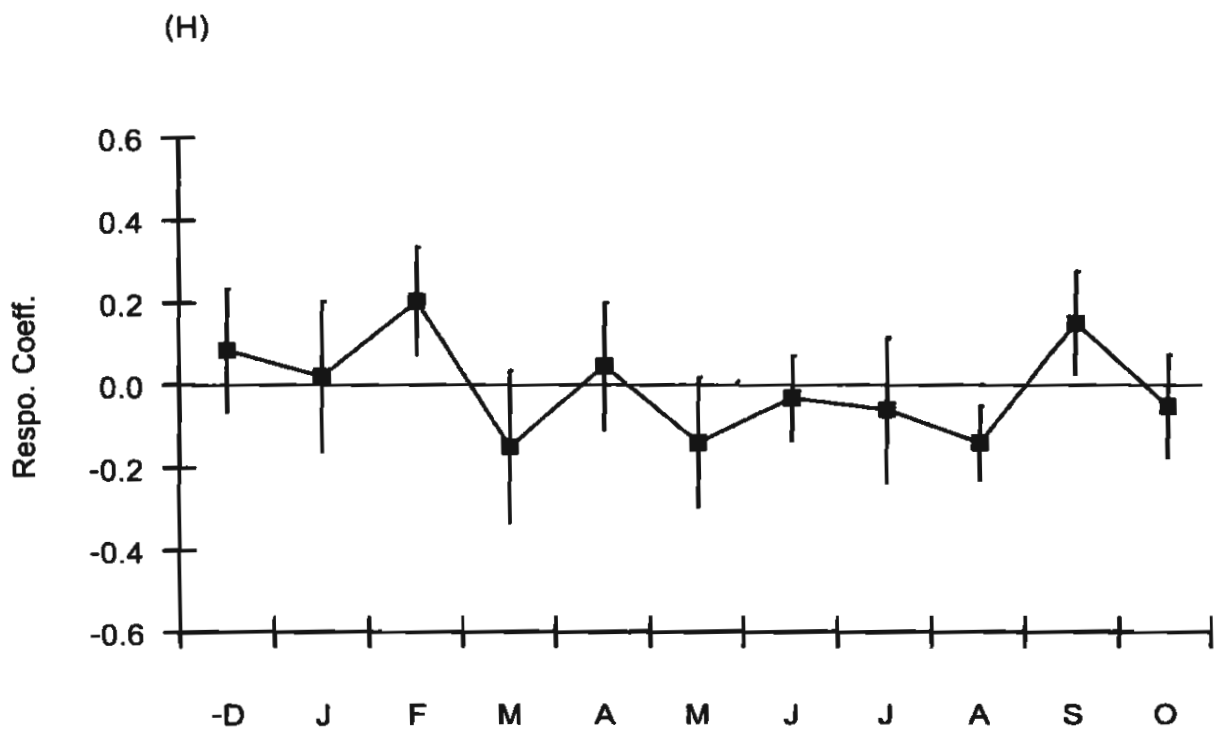
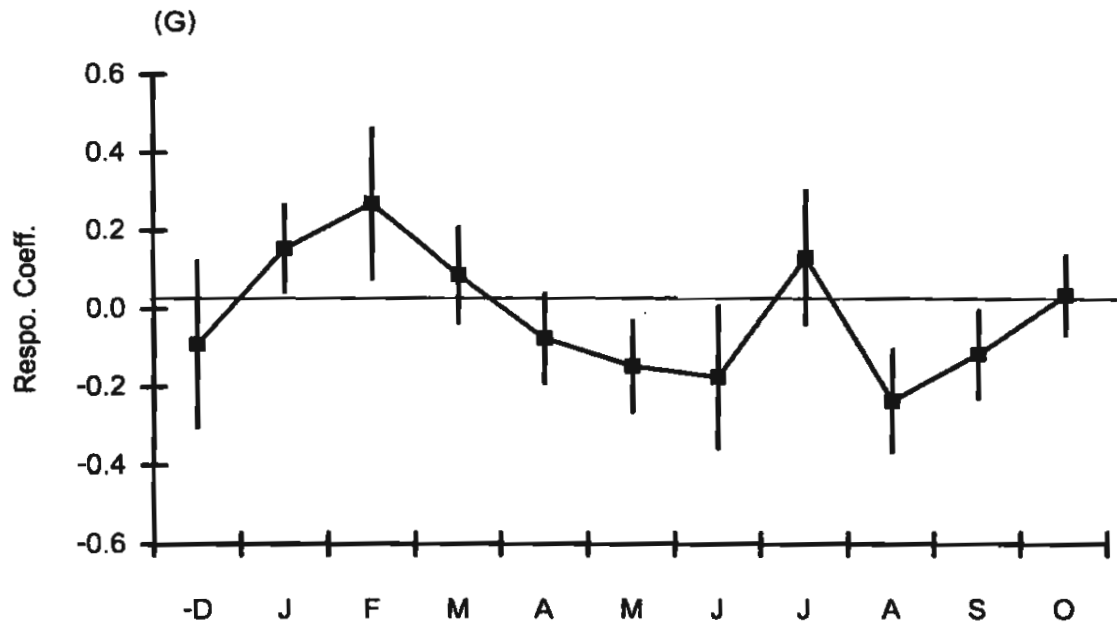


รูปที่ 17 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา MV3

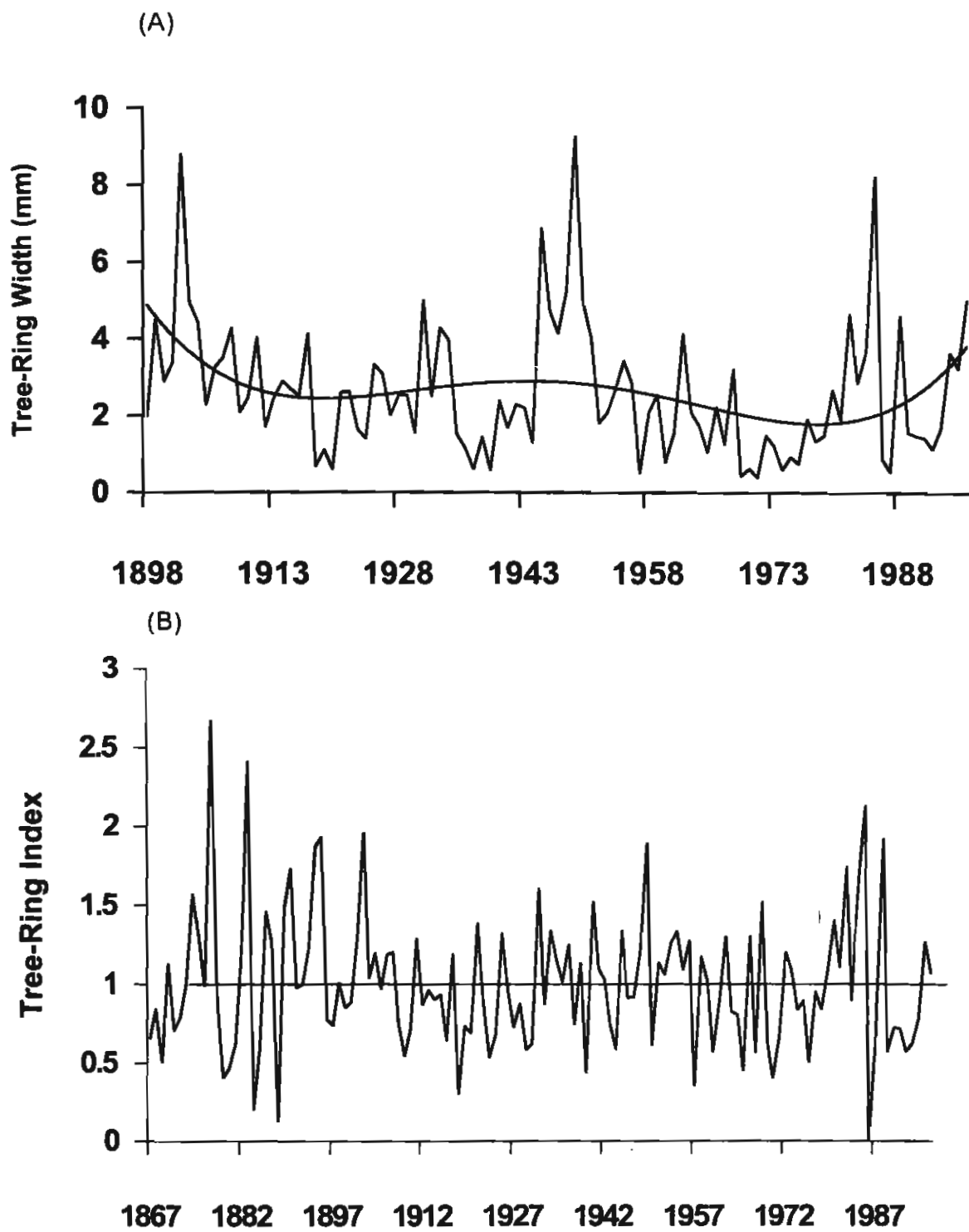
(E) อุณหภูมิ (F) ปริมาณน้ำฝน



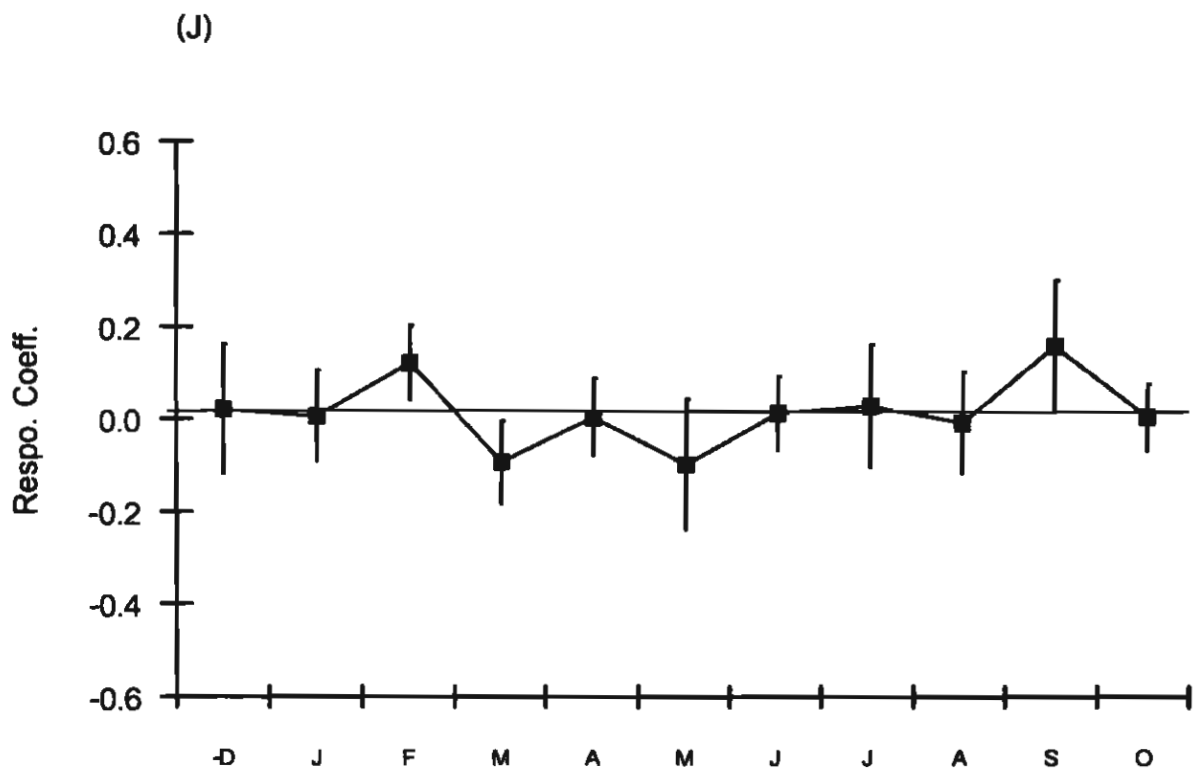
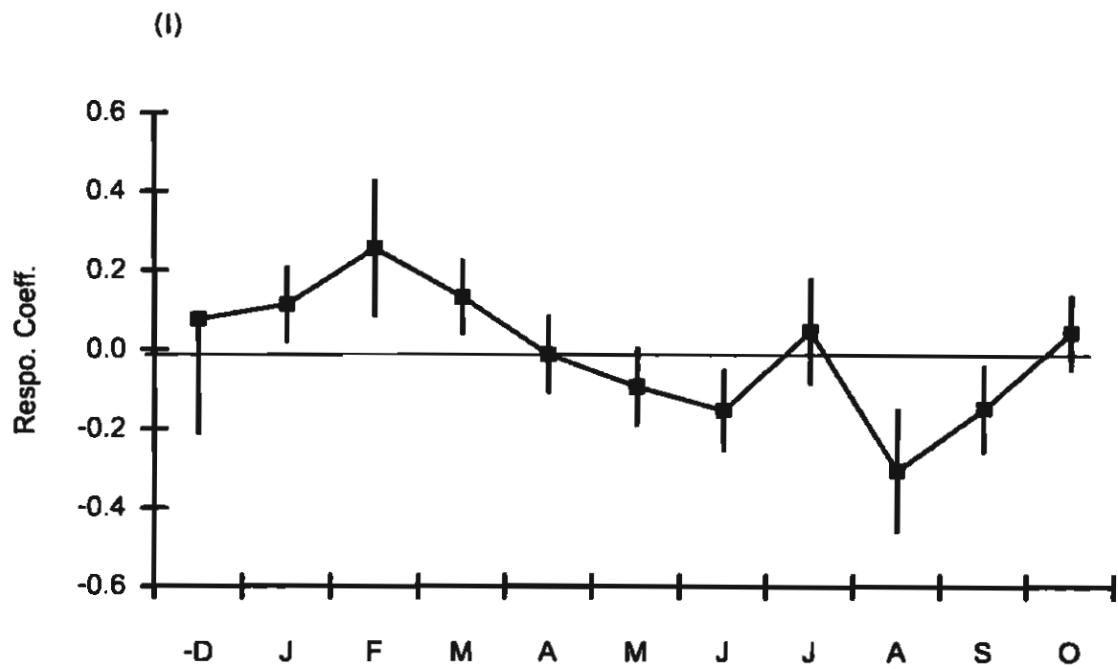
รูปที่ 18 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา MV3 (B) ดัชนี MV3



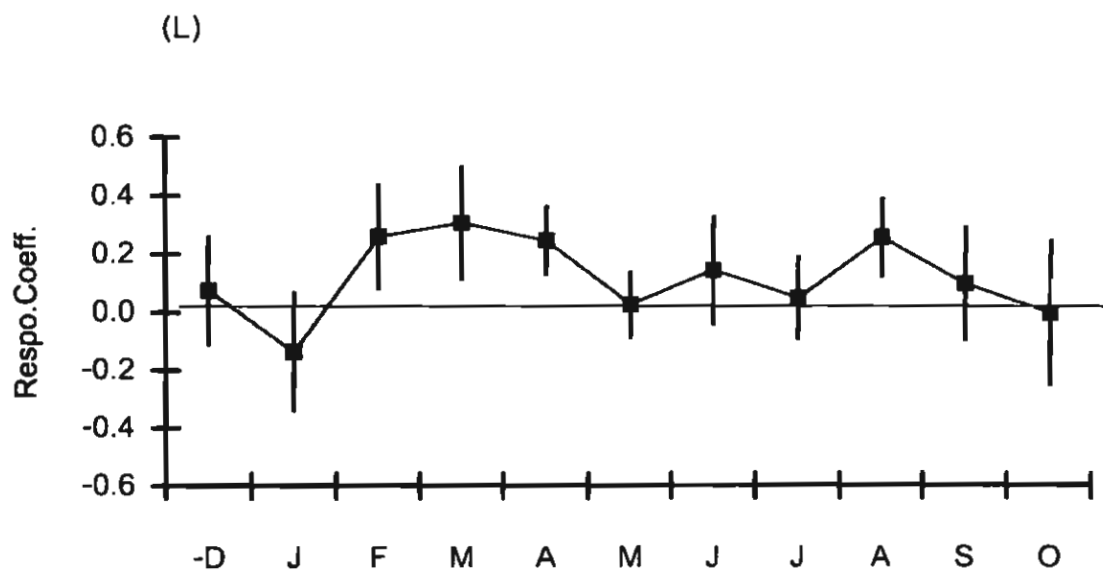
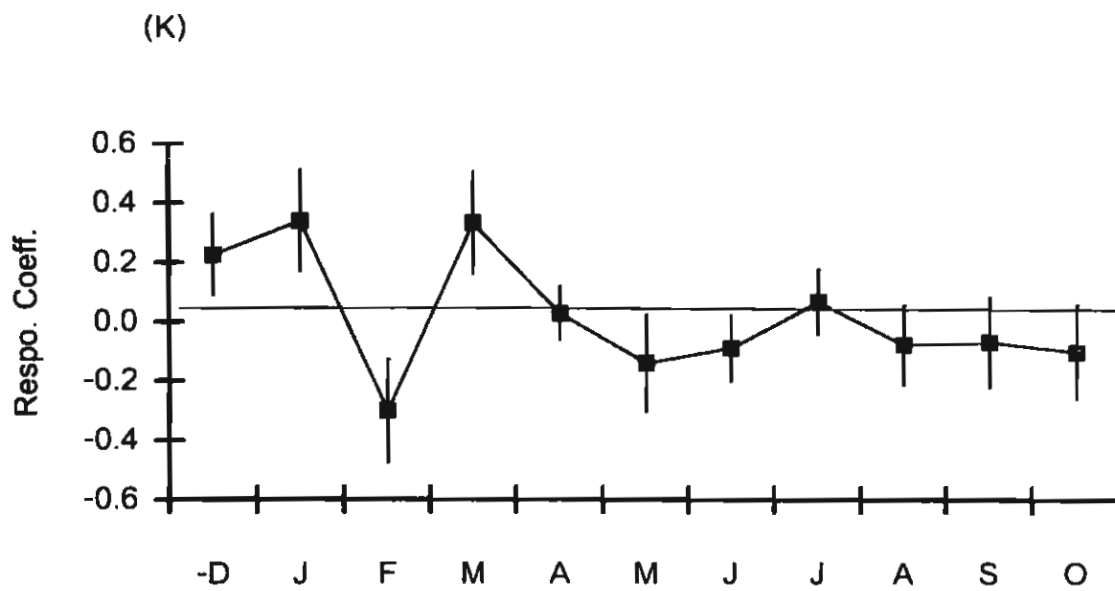
รูปที่ 19 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา MV4
(G) อุณหภูมิ (H) ปริมาณน้ำฝน



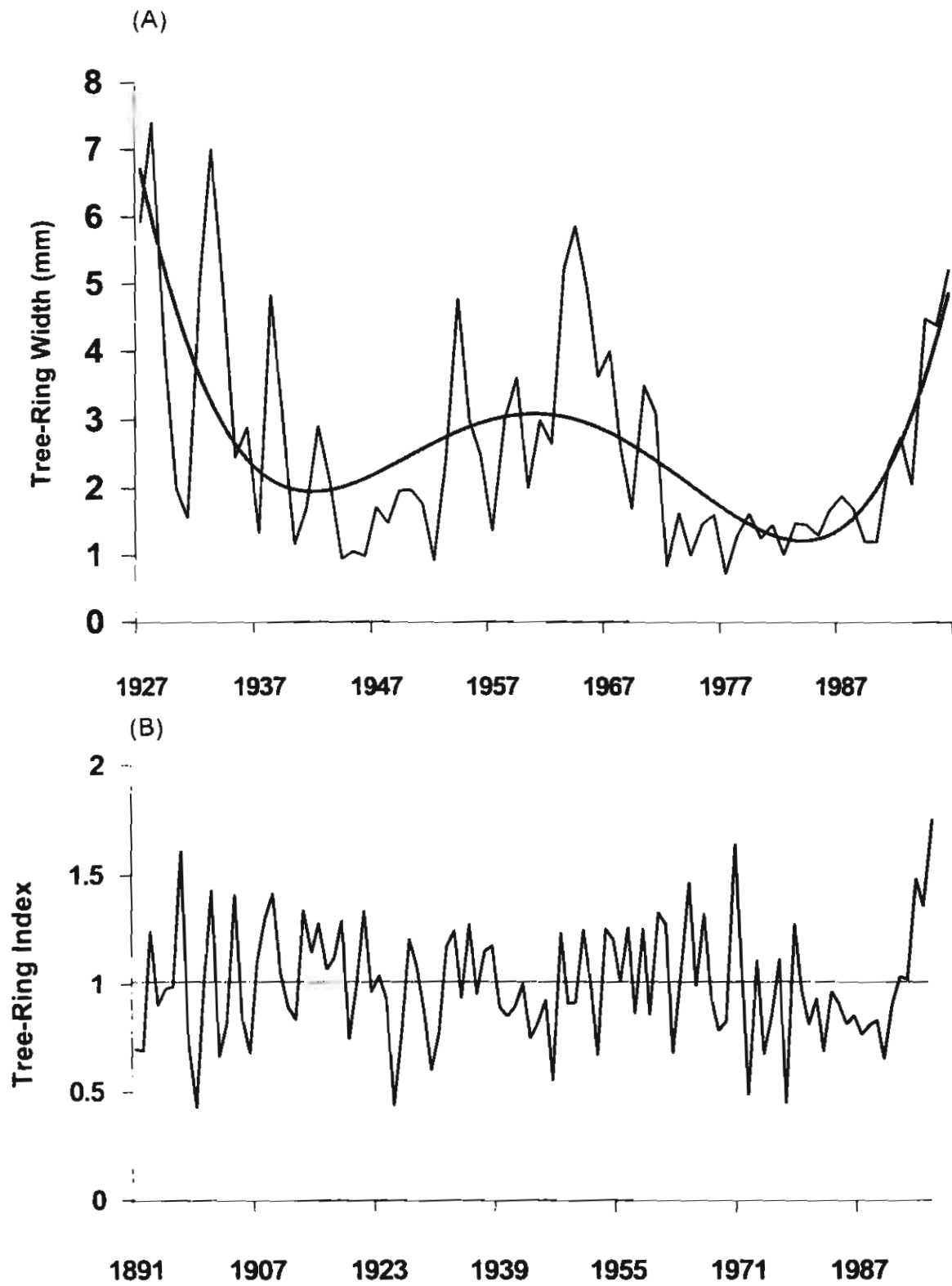
รูปที่ 20 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา MV4 (B) ดัชนี MV4



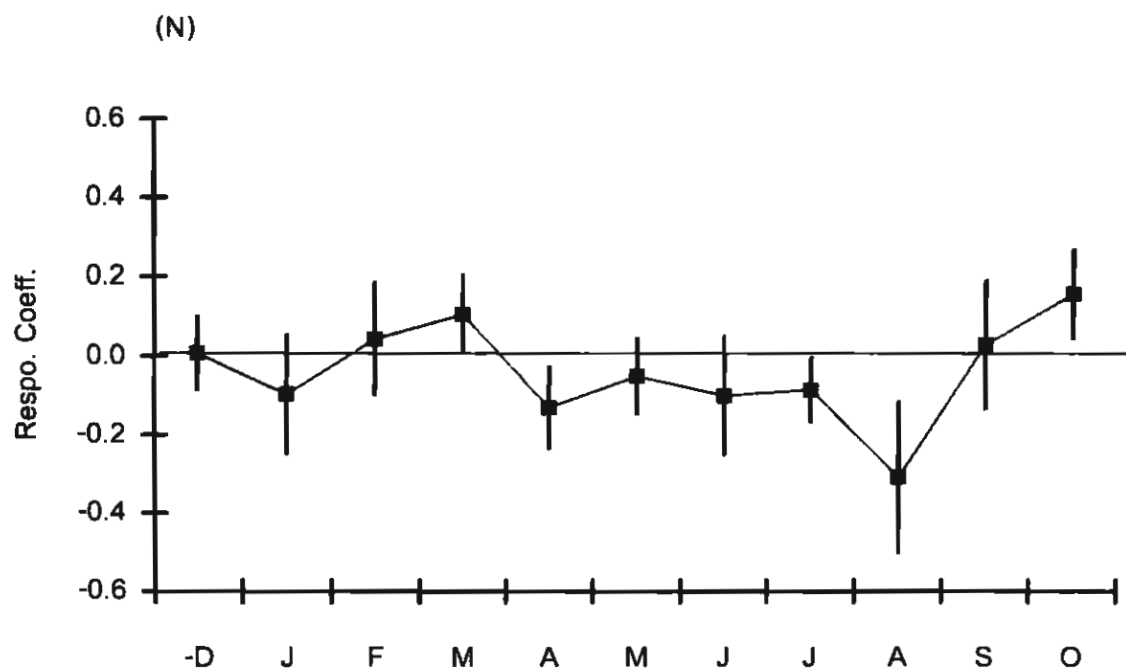
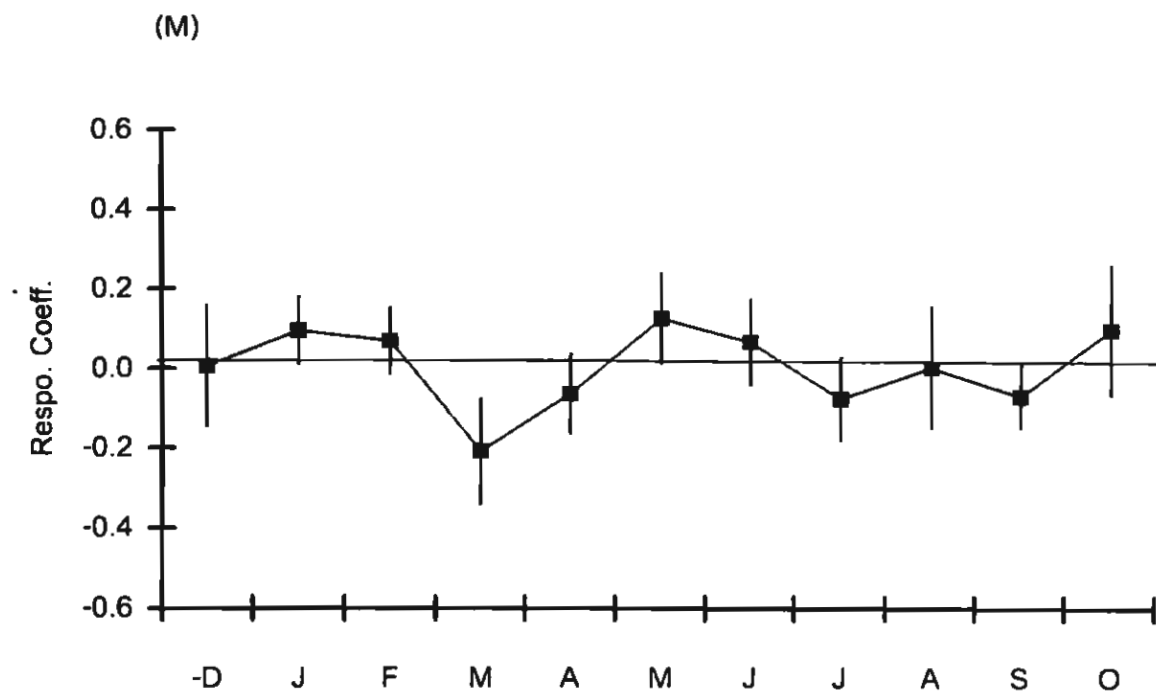
รูปที่ 21 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษาอุทยานแห่งชาติ
แม่วงก์
(I) อุณหภูมิ (J) ปริมาณน้ำฝน



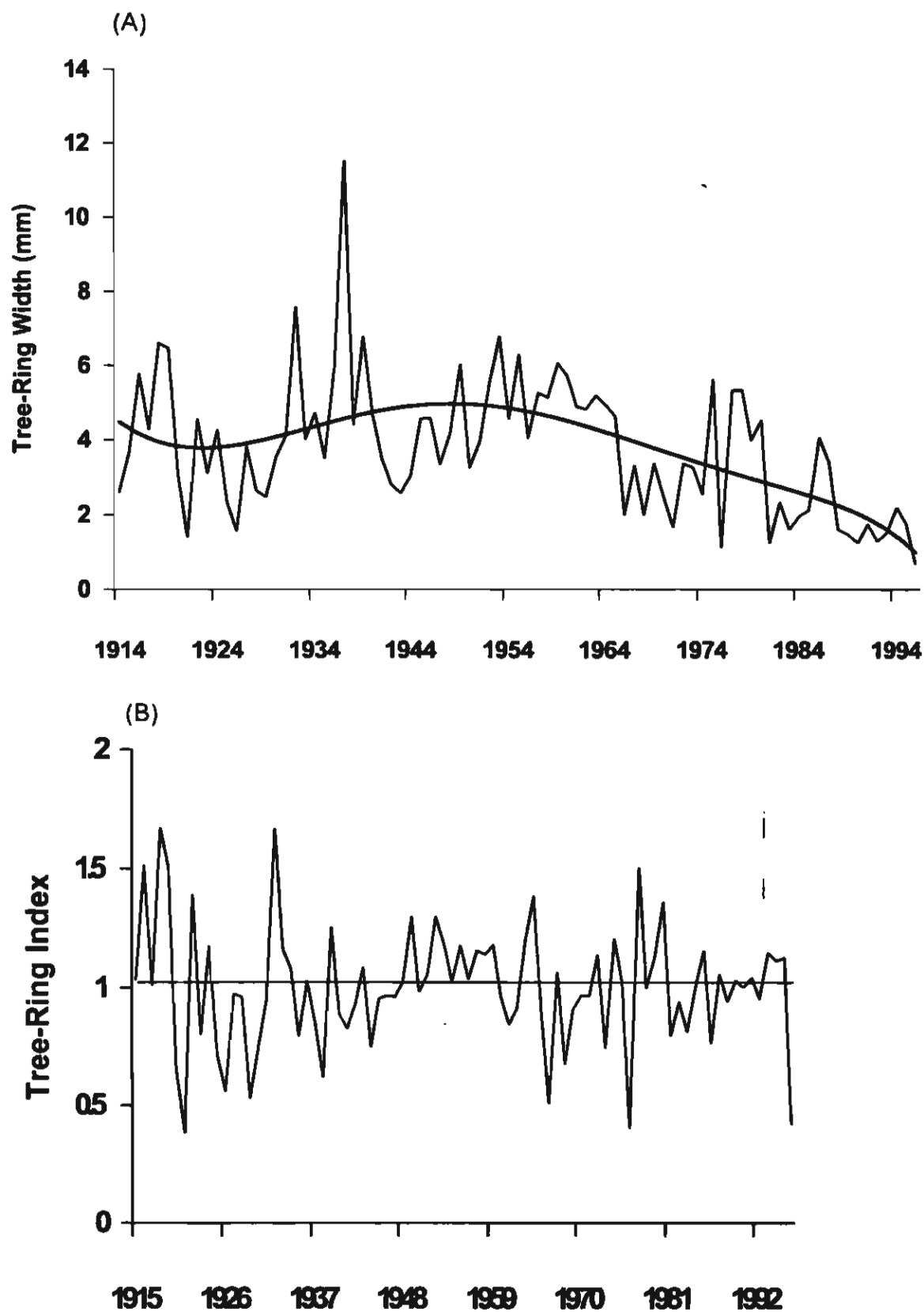
รูปที่ 22 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา KL
(K) อุณหภูมิ (L) ปริมาณน้ำฝน



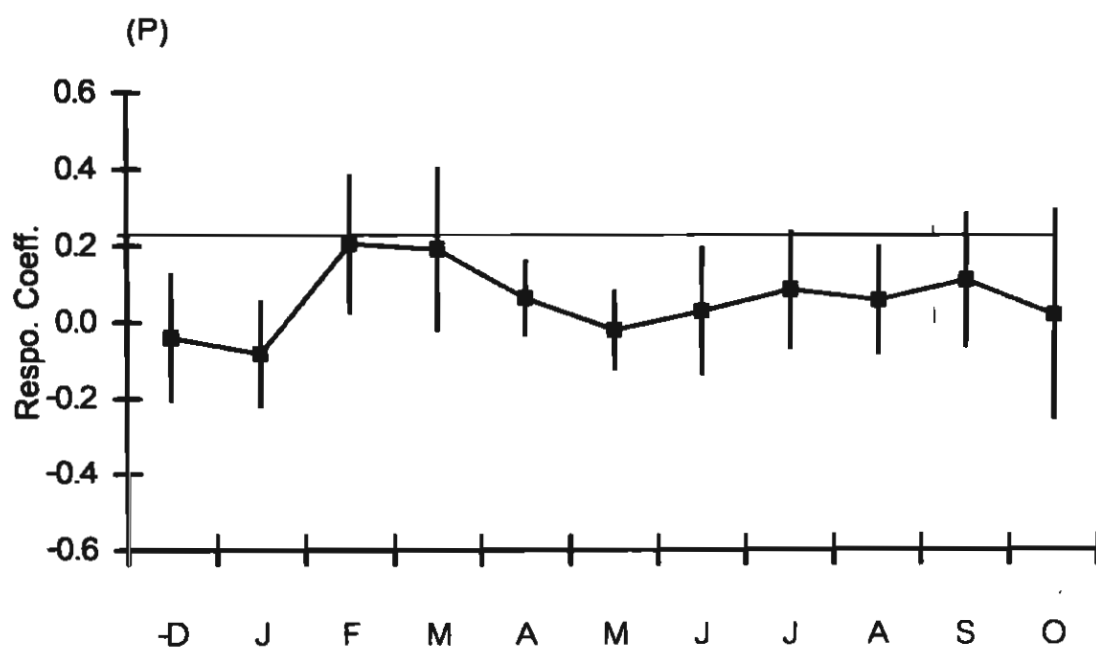
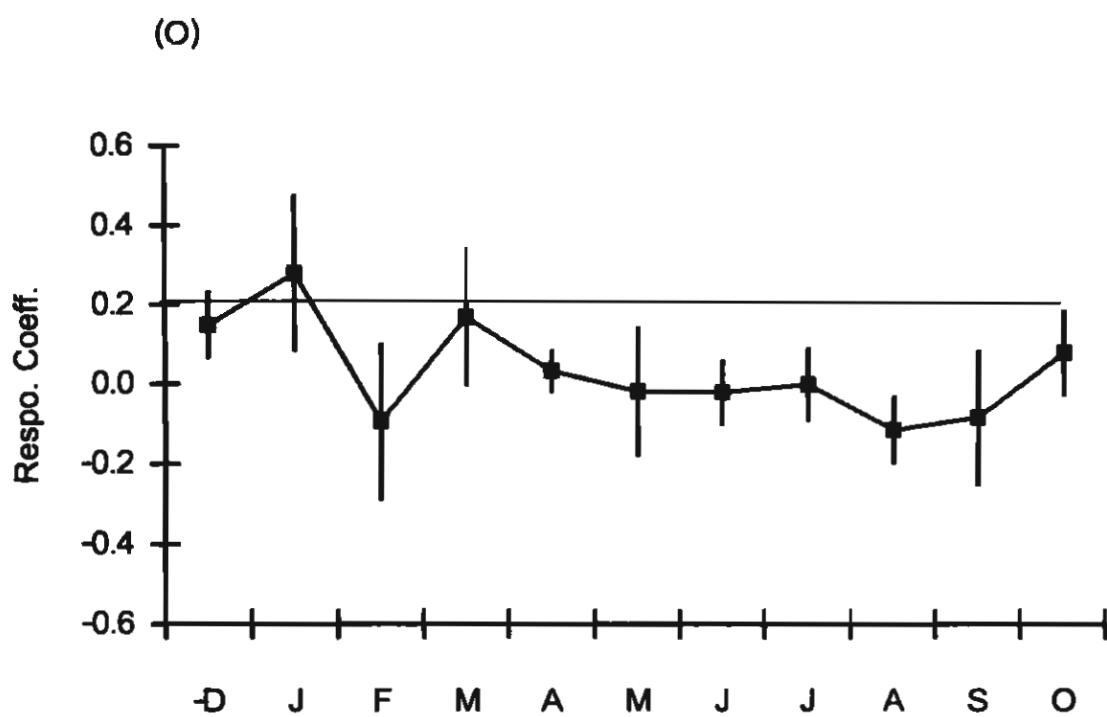
รูปที่ 23 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา KL (B) ดัชนี KL



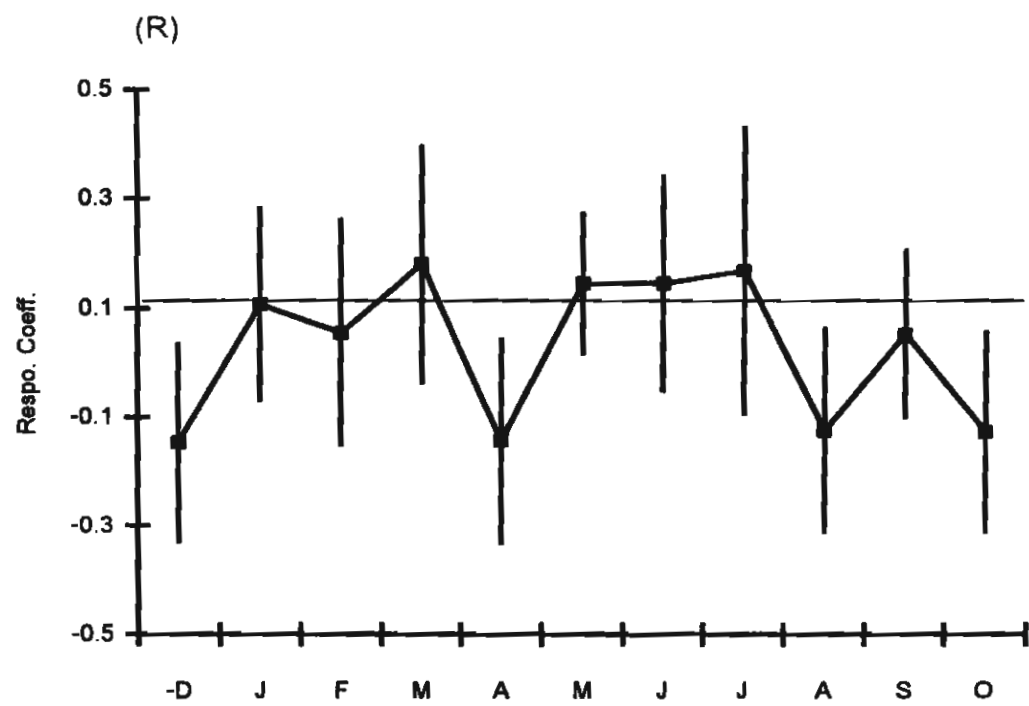
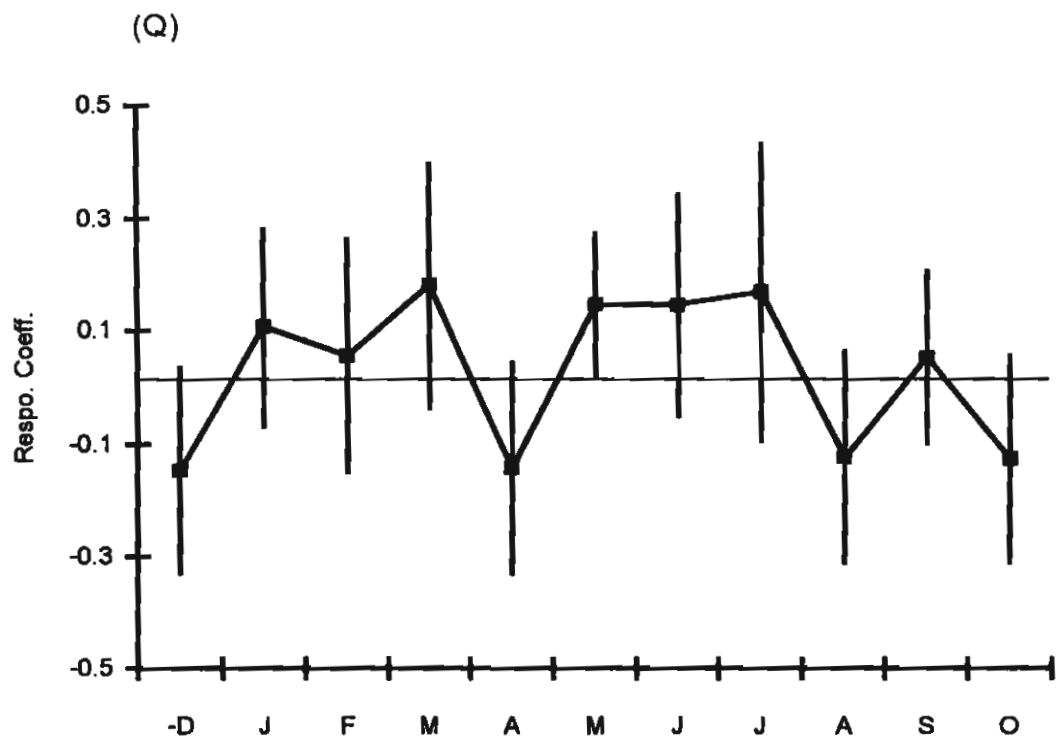
รูปที่ 24 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา KL2
(M) อุณหภูมิ (N) ปริมาณน้ำฝน



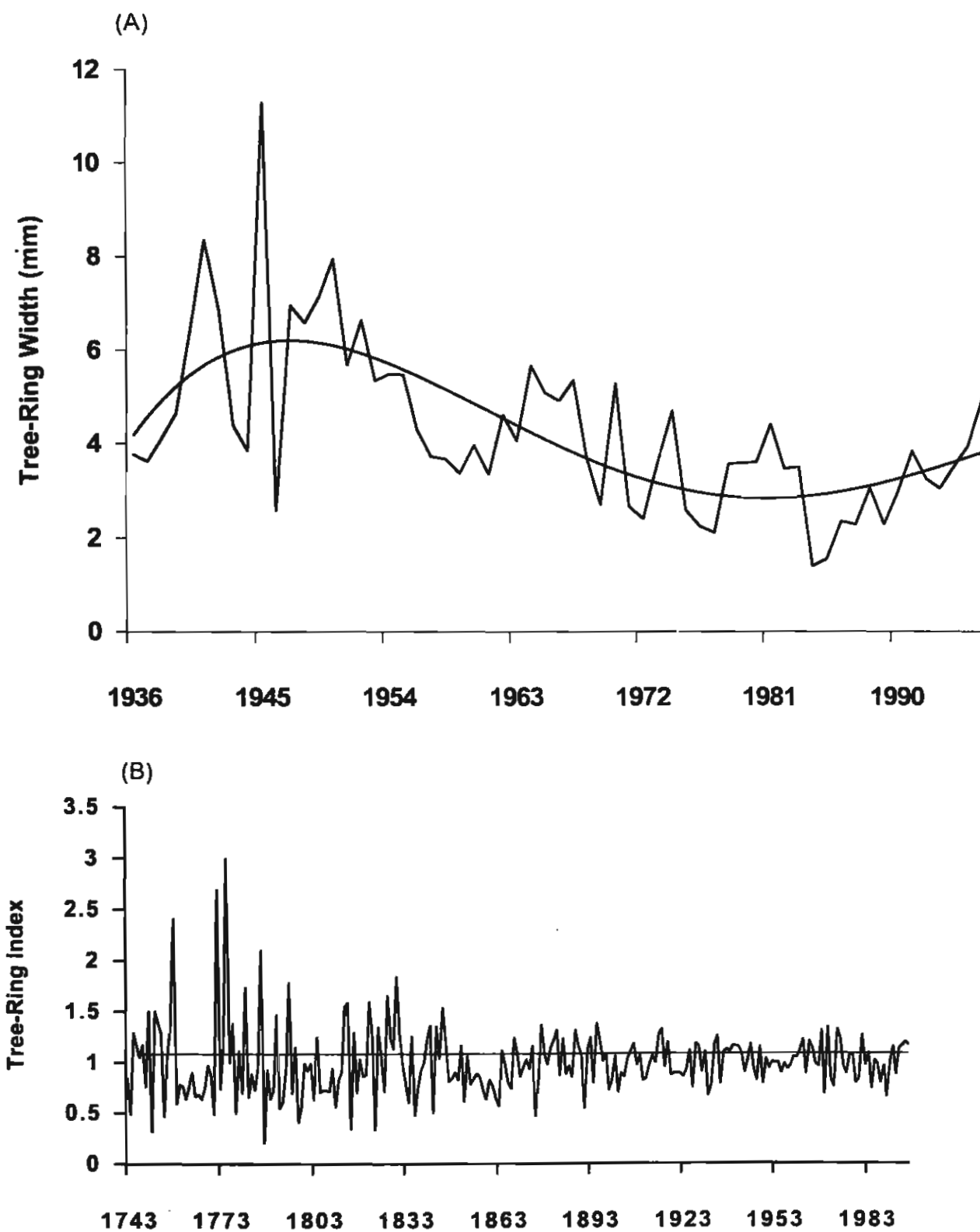
รูปที่ 25 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา KL2 (B) ดัชนี KL2



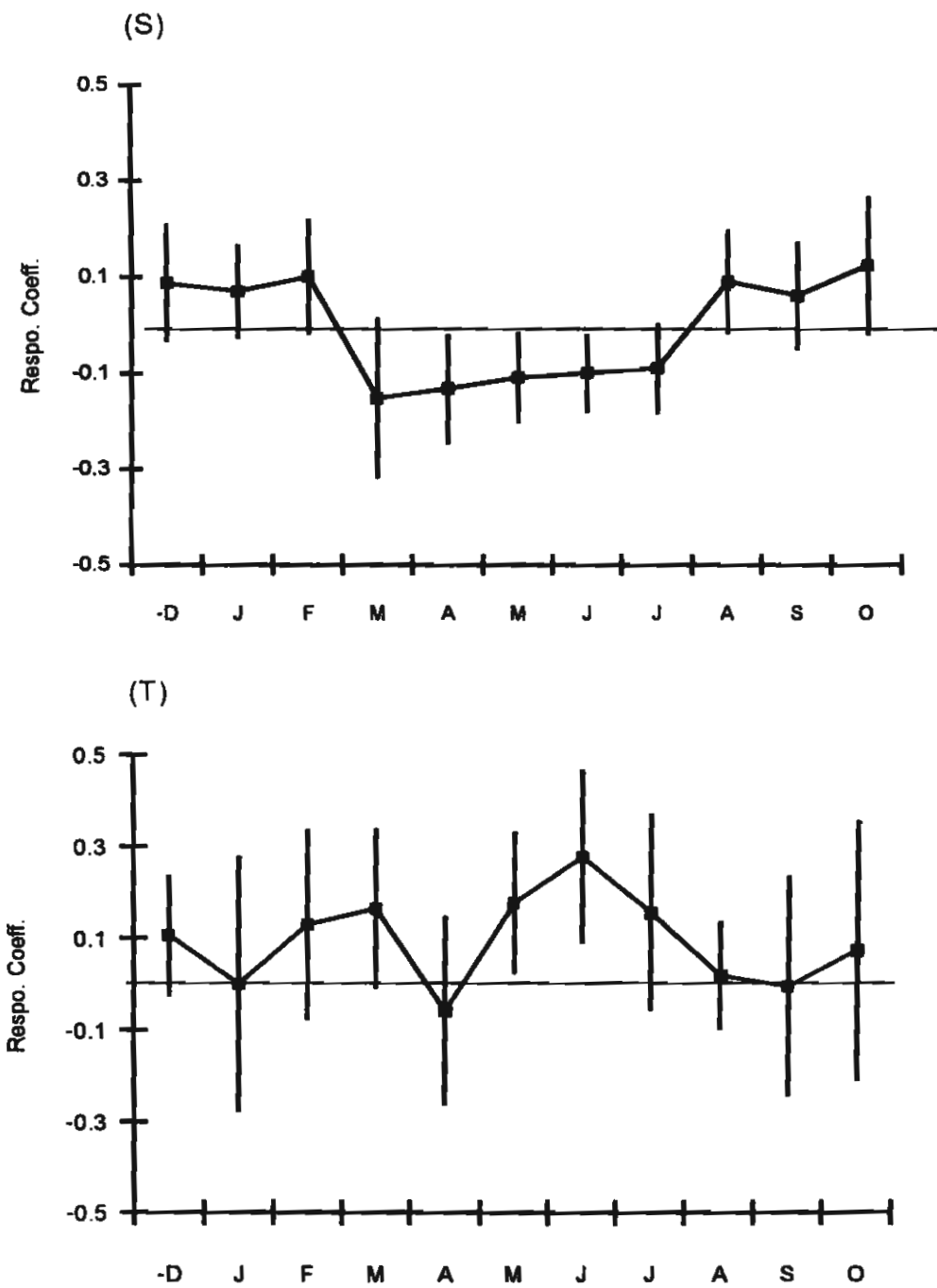
รูปที่ 26 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษาอุทยานแห่งชาติ
คลองวังเจ้า
(O) อุณหภูมิ (P) ปริมาณน้ำฝน



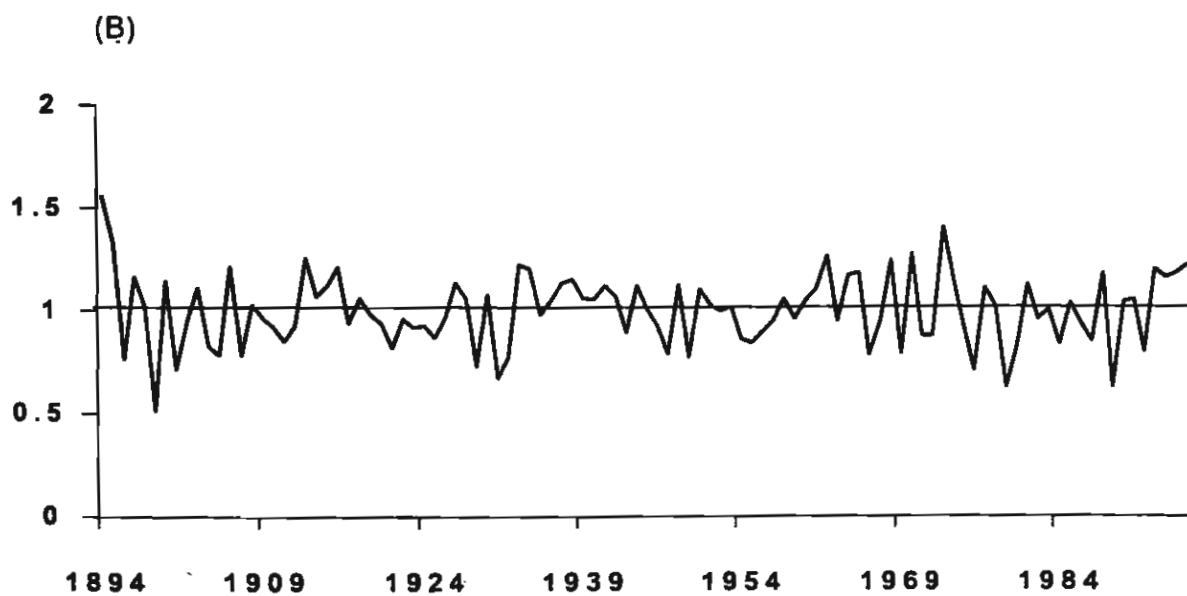
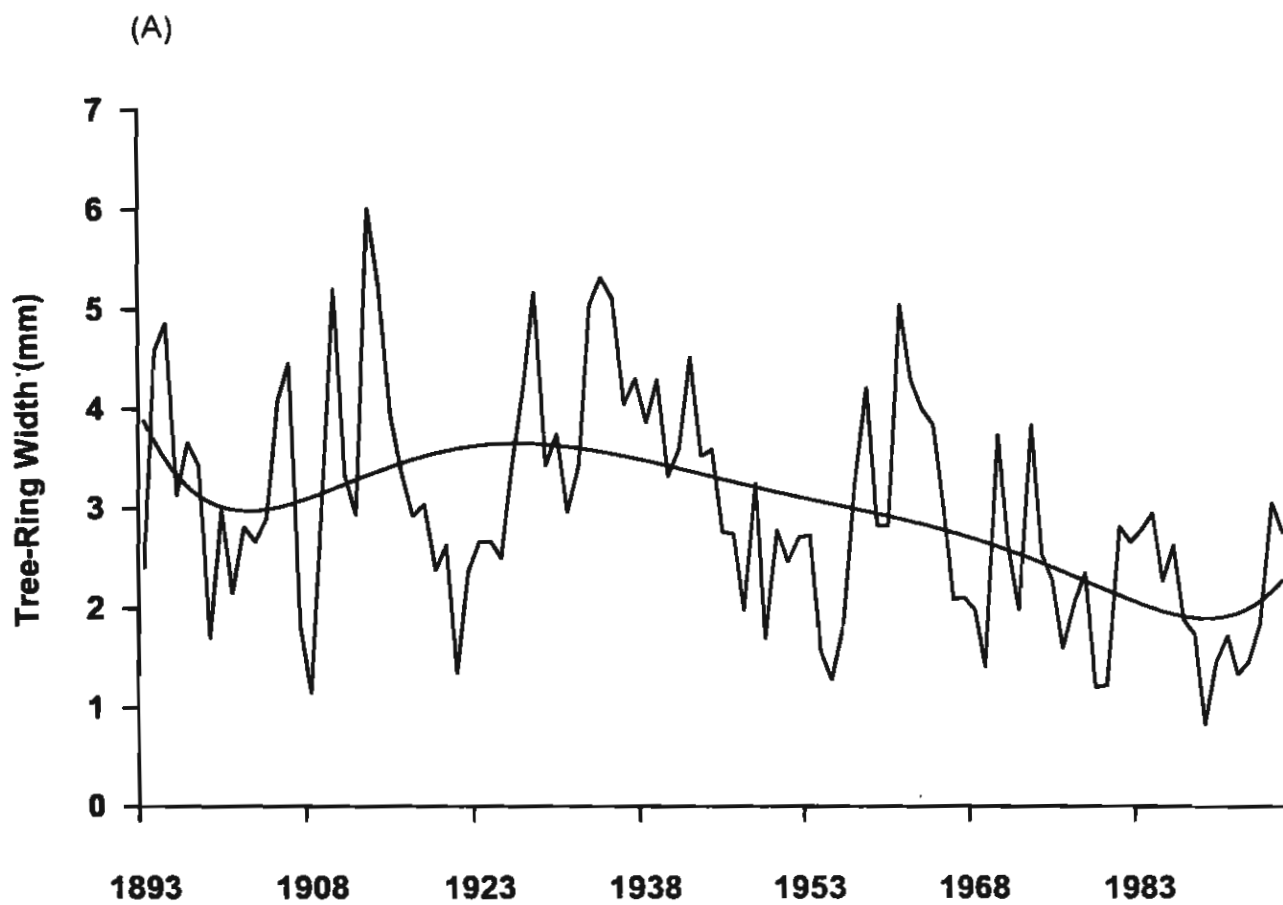
รูปที่ 27 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา MAE1
(Q) อุณหภูมิ (R) ปริมาณน้ำฝน



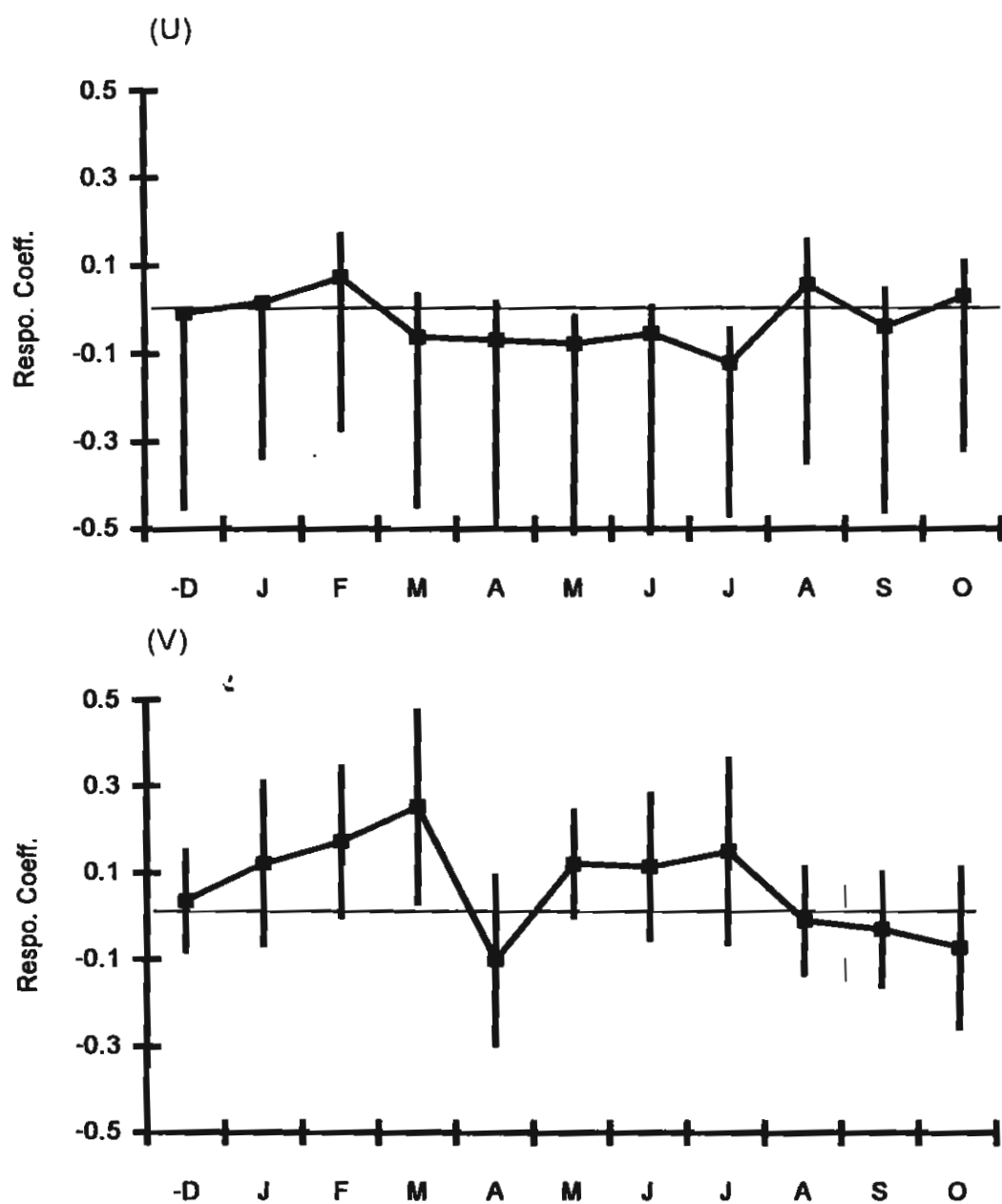
รูปที่ 28 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา MAE1 (B) ดัชนี MAE1



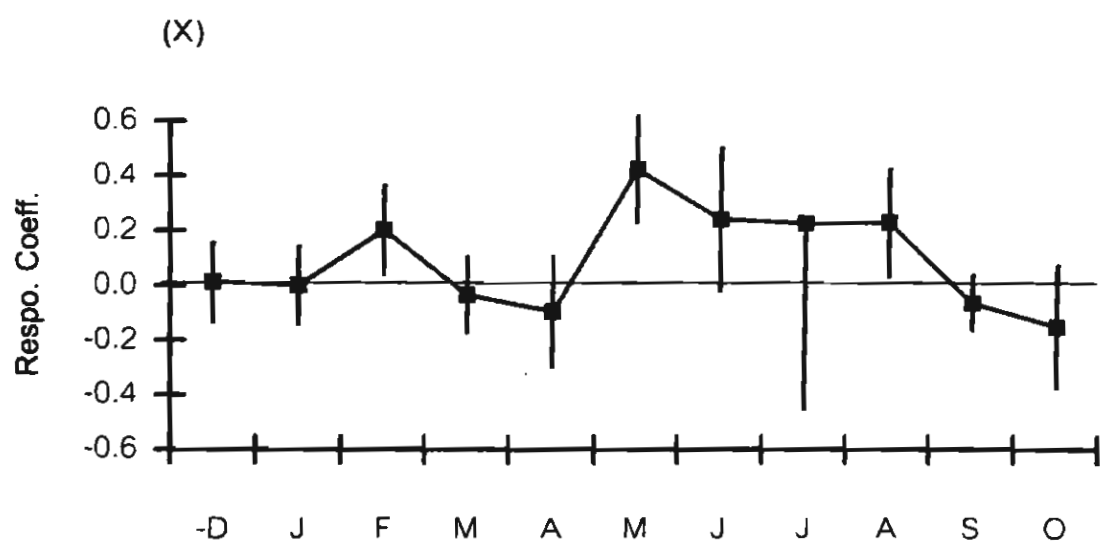
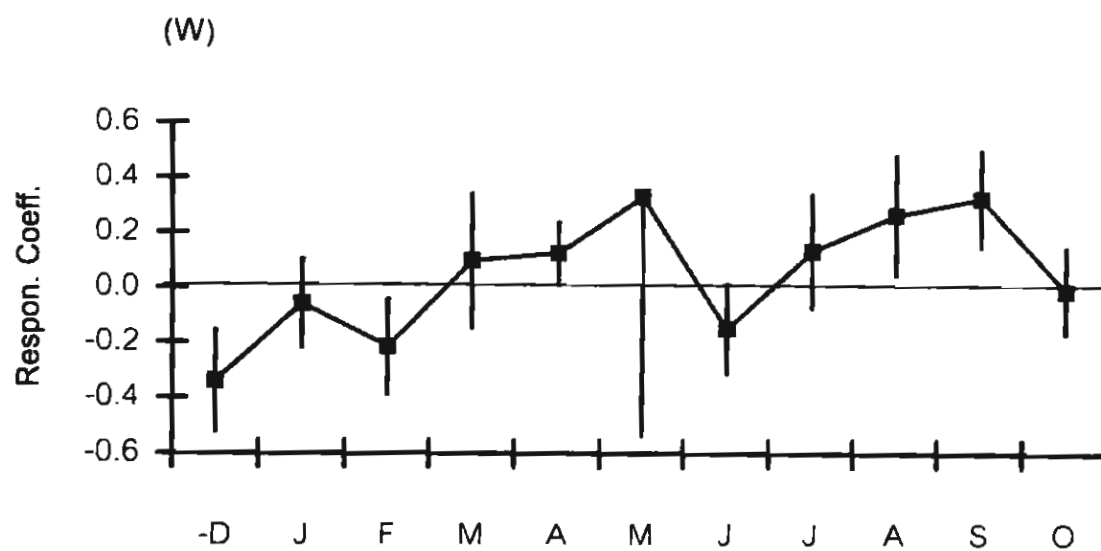
รูปที่ 29 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา MAE2
(S) อุณหภูมิ (T) ปริมาณน้ำฝน



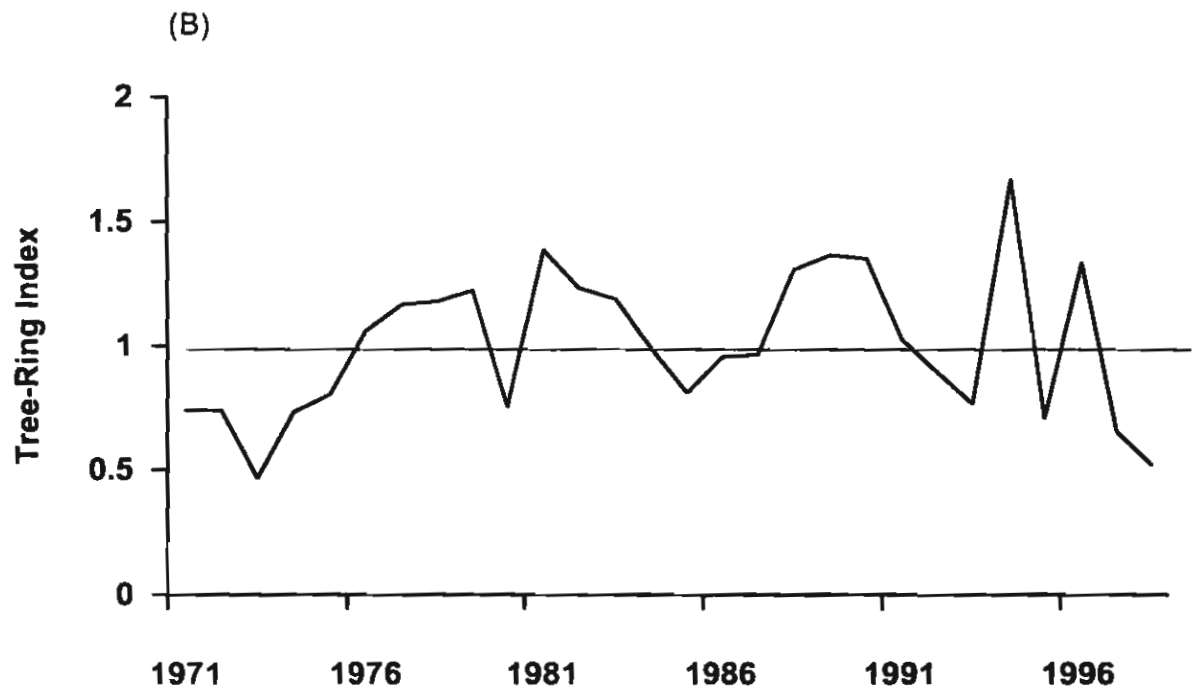
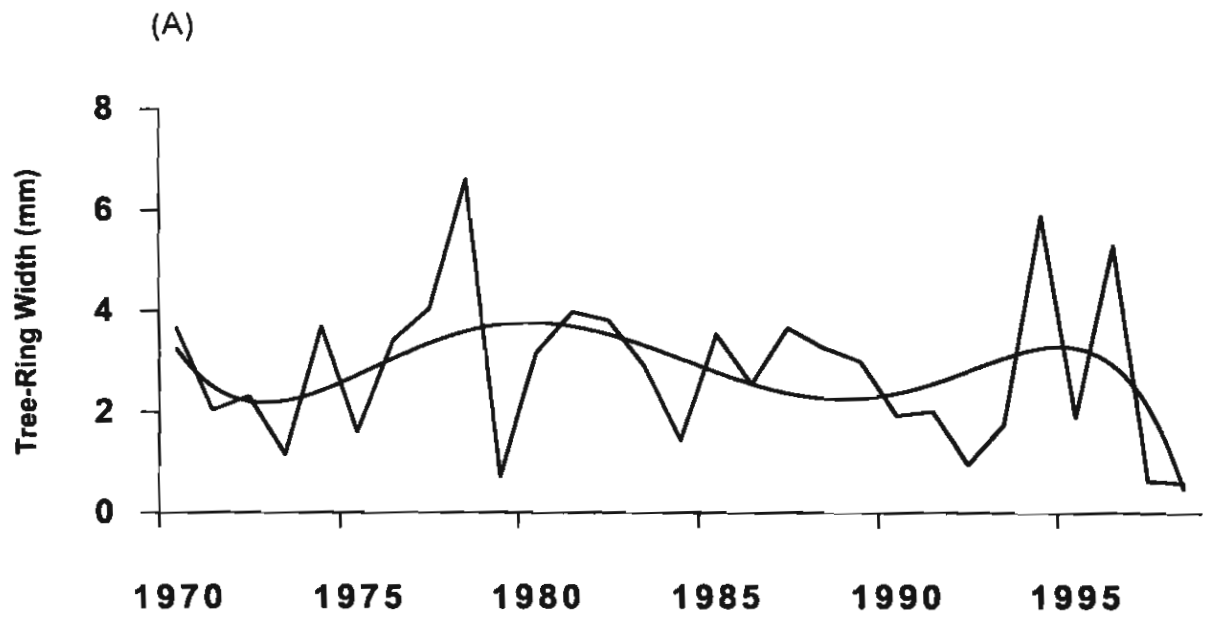
รูปที่ 30 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา MAE2 (B) ดัชนี MAE2



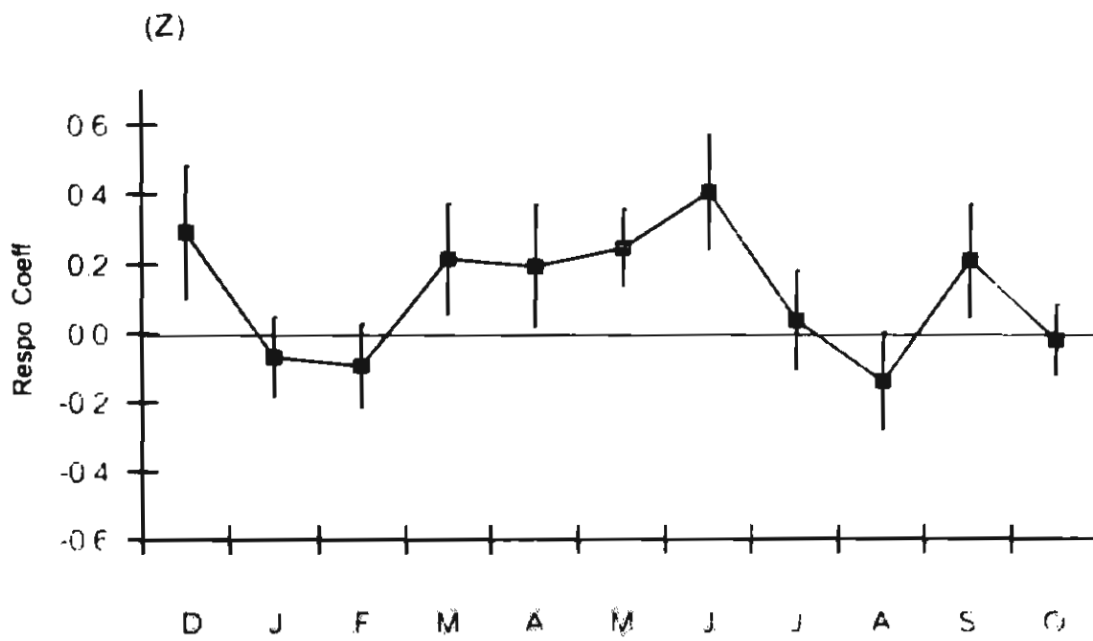
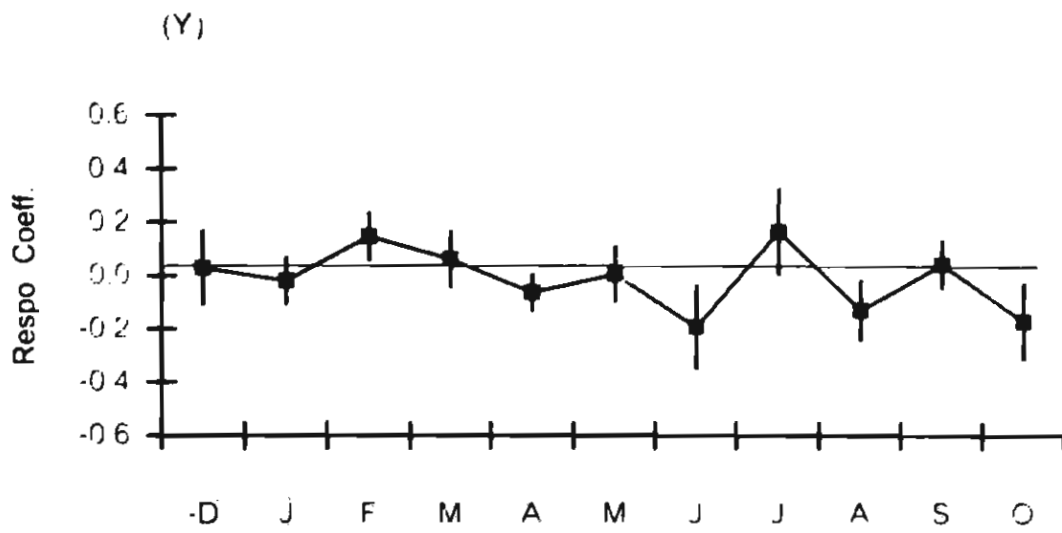
รูปที่ 31 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษาจังหวัดแม่ฮ่องสอน
(U) อุณหภูมิ (V) ปริมาณน้ำฝน



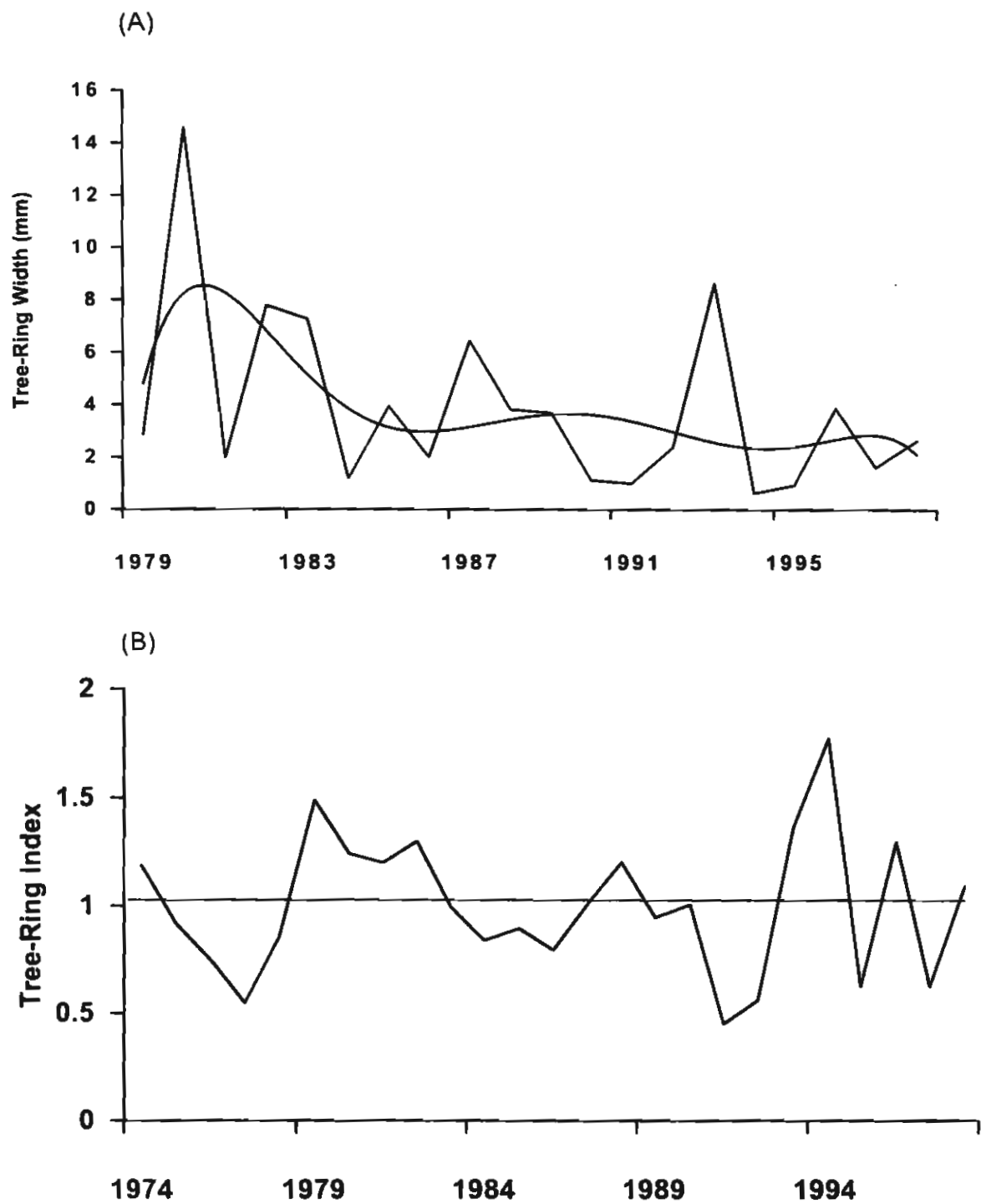
รูปที่ 32 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา MM
(W) อุณหภูมิ (X) ปริมาณน้ำฝน



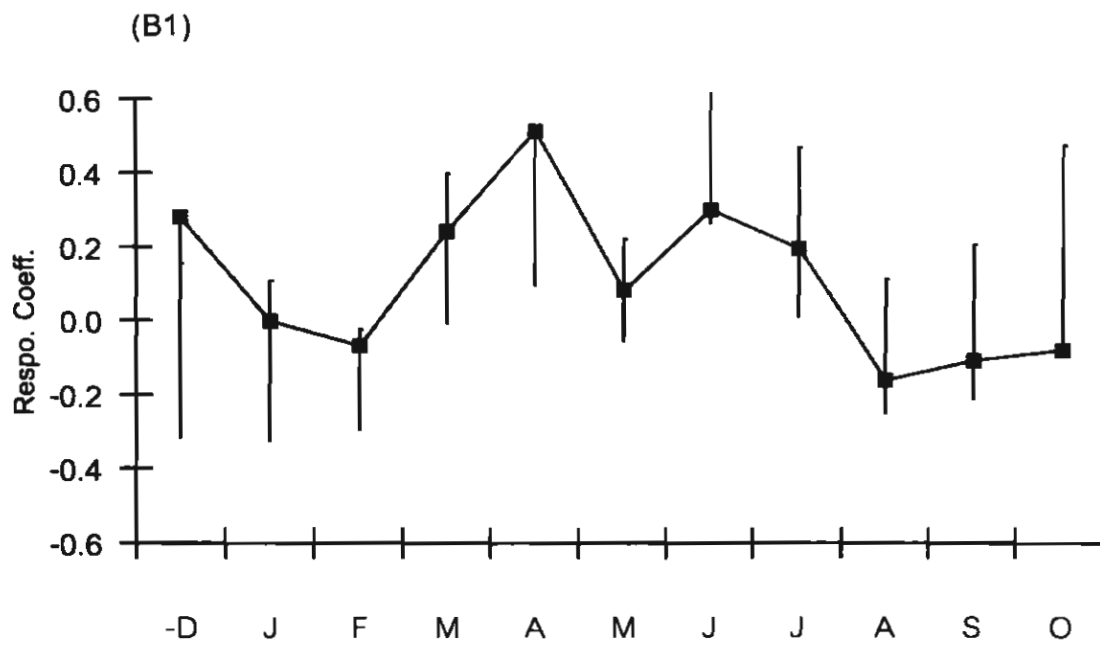
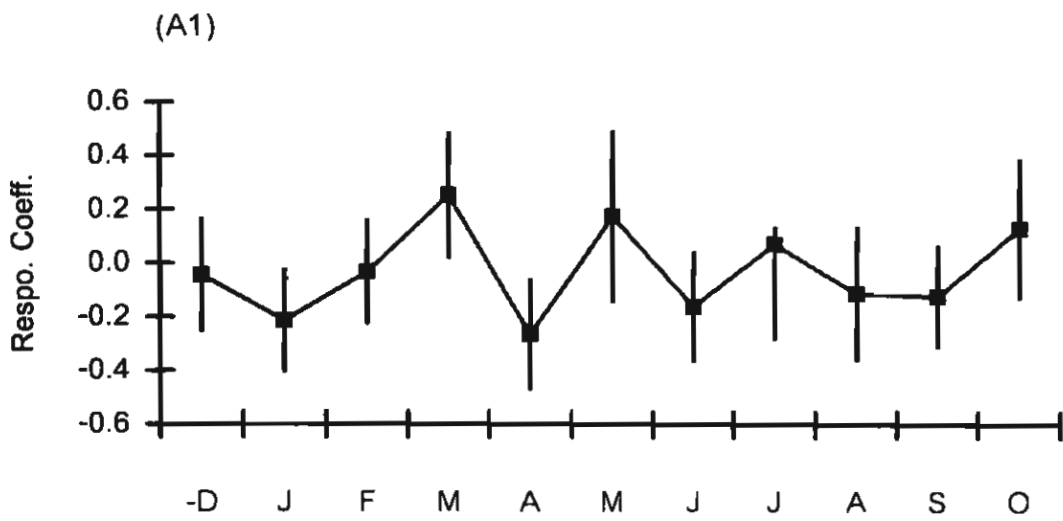
รูปที่ 33 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา MM (B) ดัชนี MM



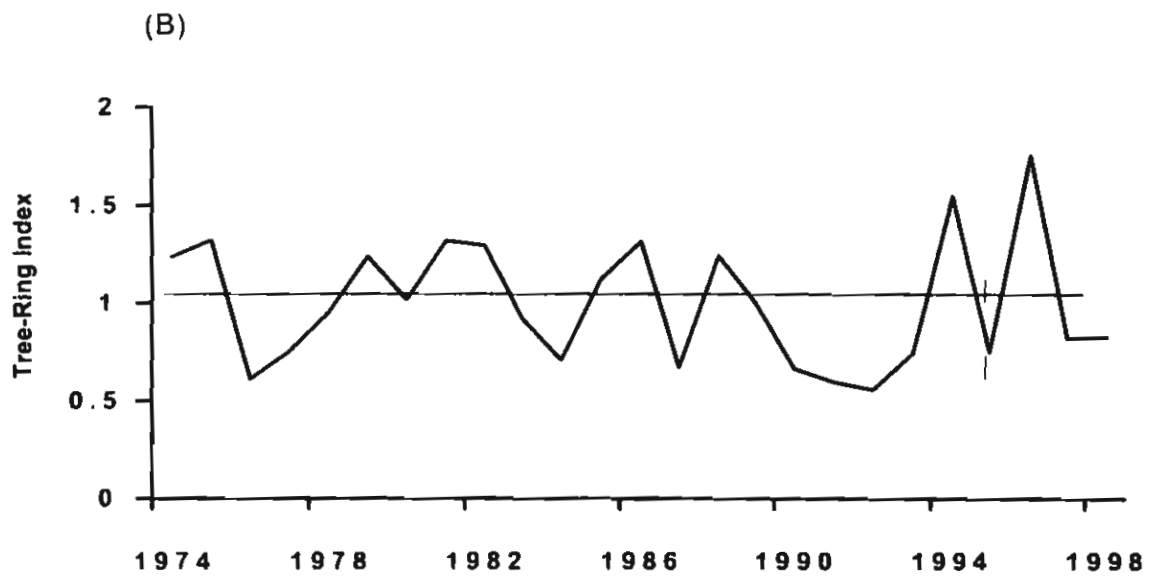
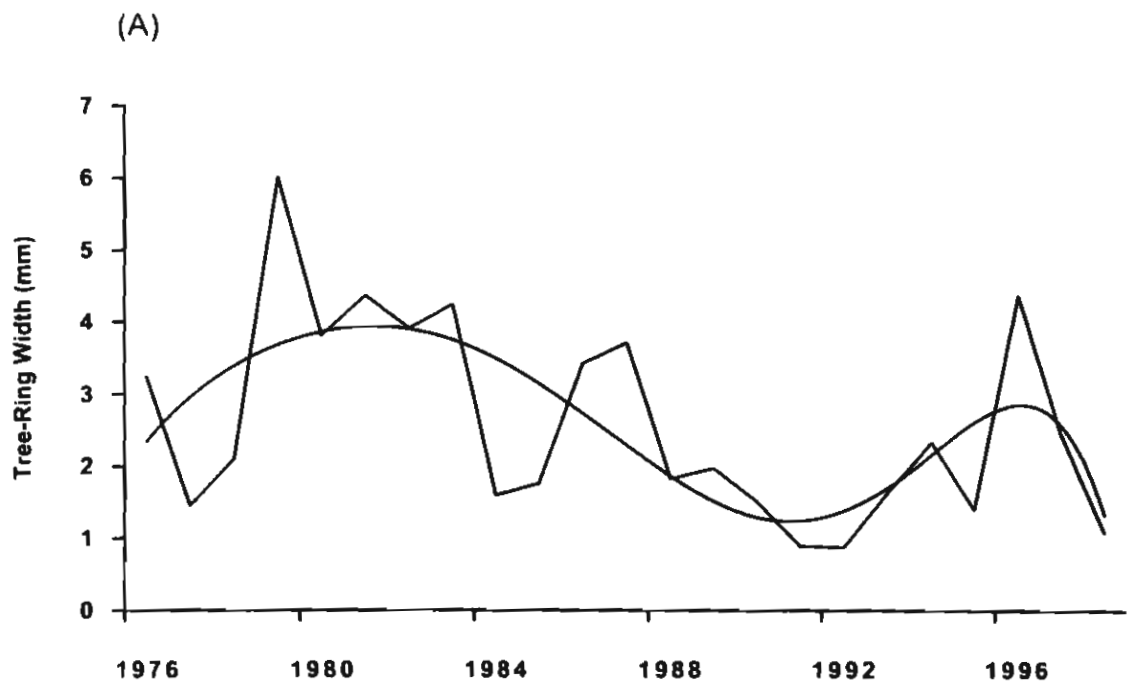
รูปที่ 34 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา MJ
(Y) อุณหภูมิ (Z) ปริมาณน้ำฝน



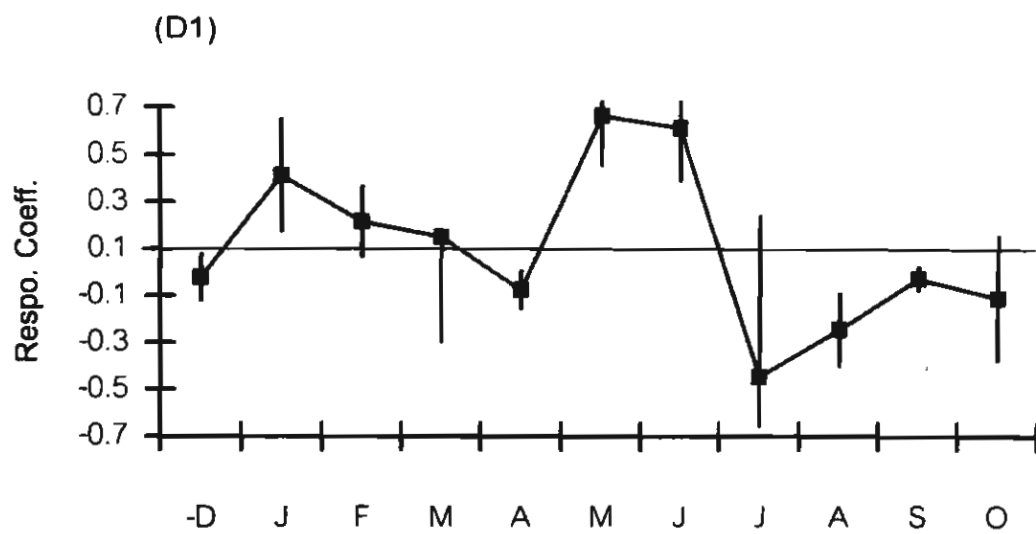
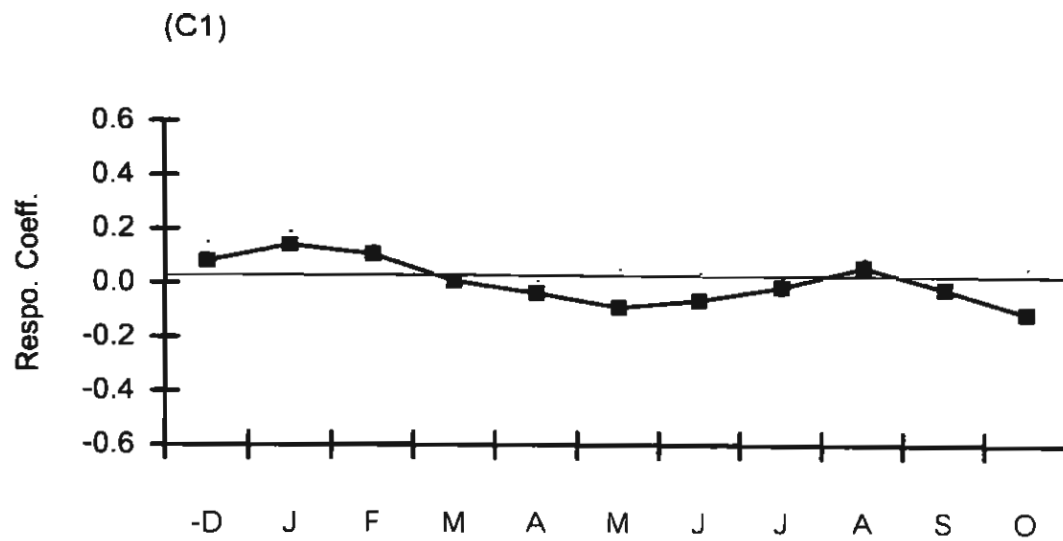
รูปที่ 35 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา MJ (B) ดัชนี MJ



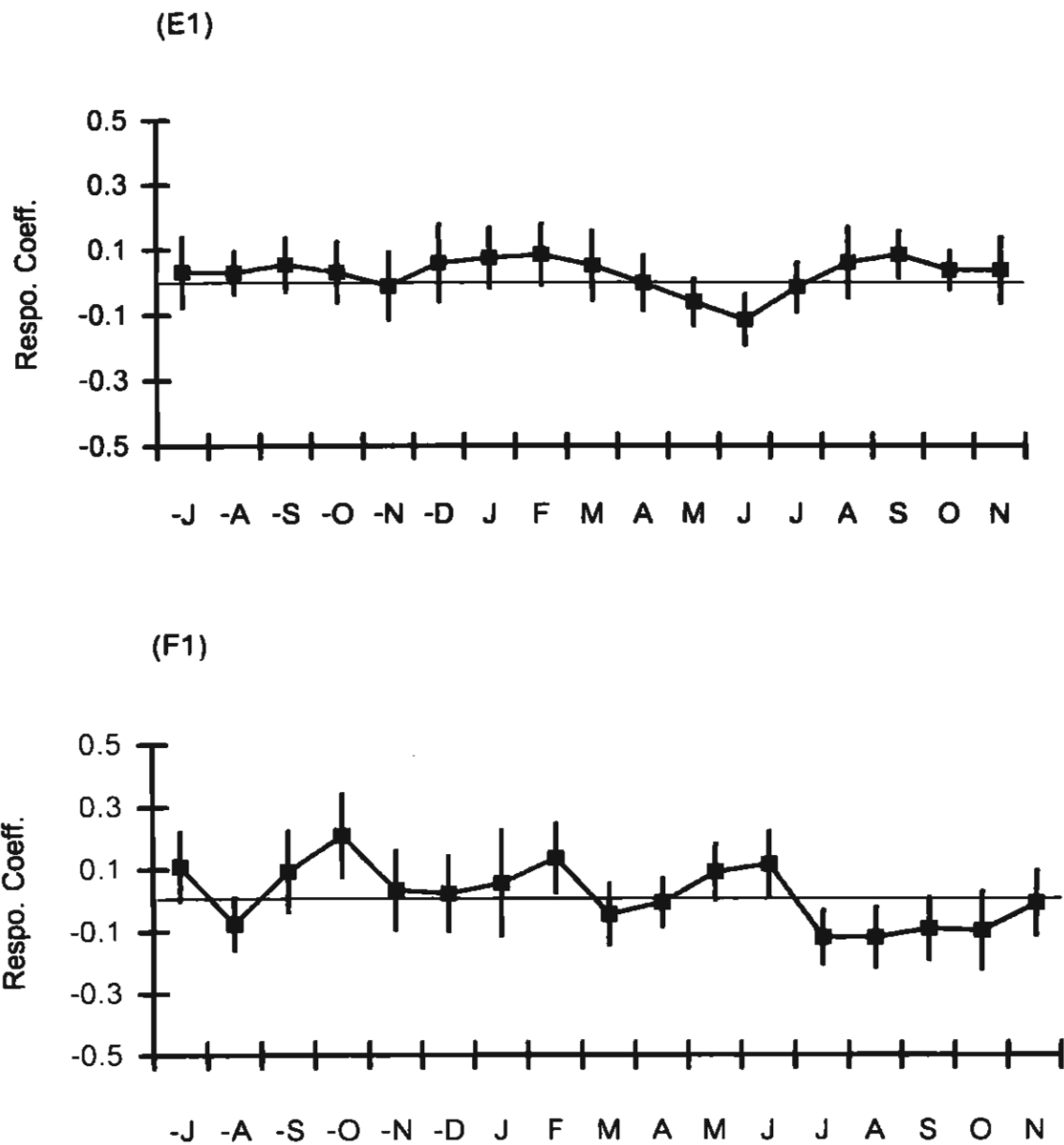
รูปที่ 36 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา MY
(A1) อุณหภูมิ (B1) ปริมาณน้ำฝน



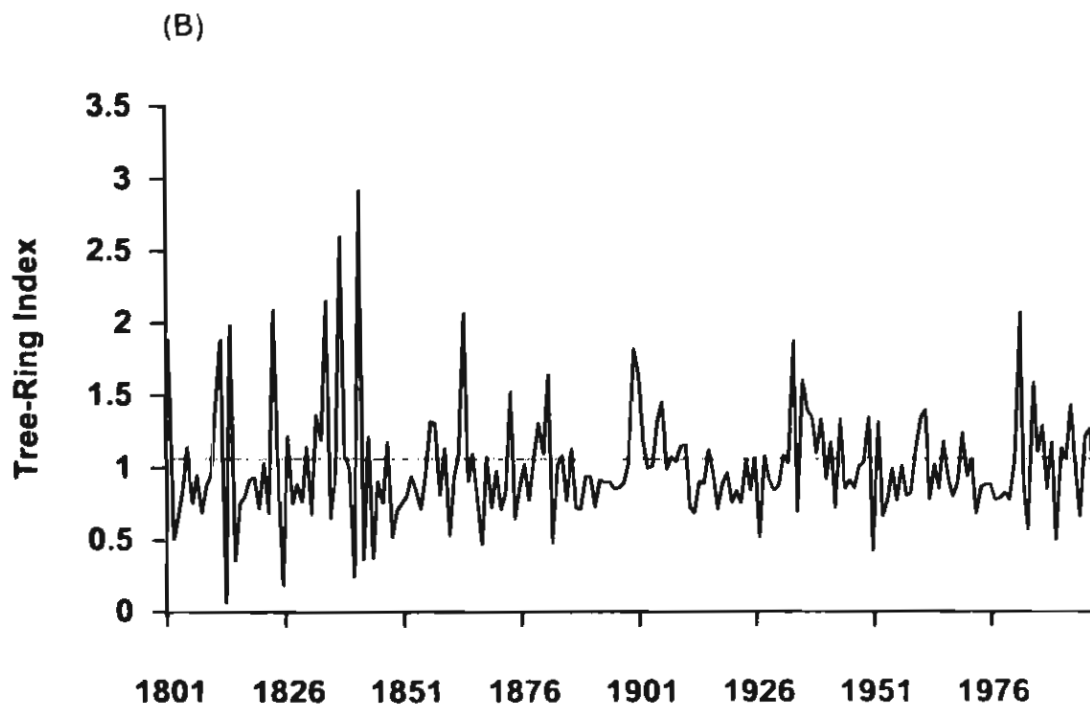
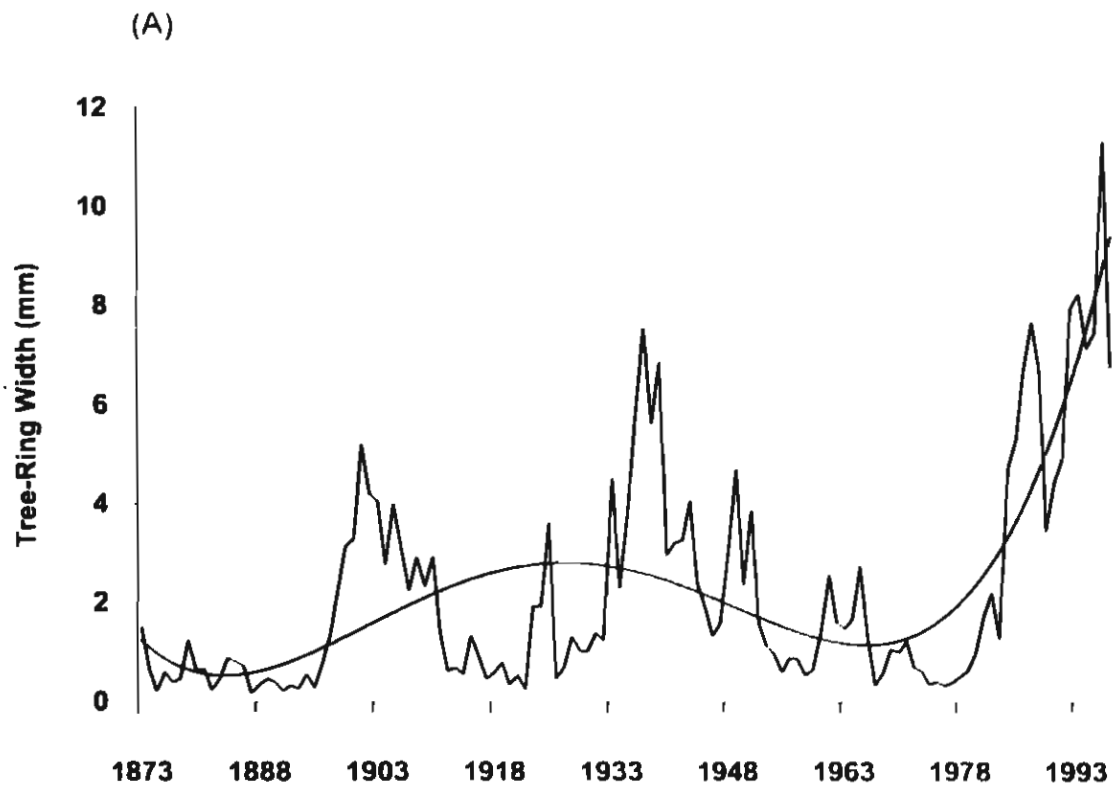
รูปที่ 37 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา MY (B) ดัชนี MY



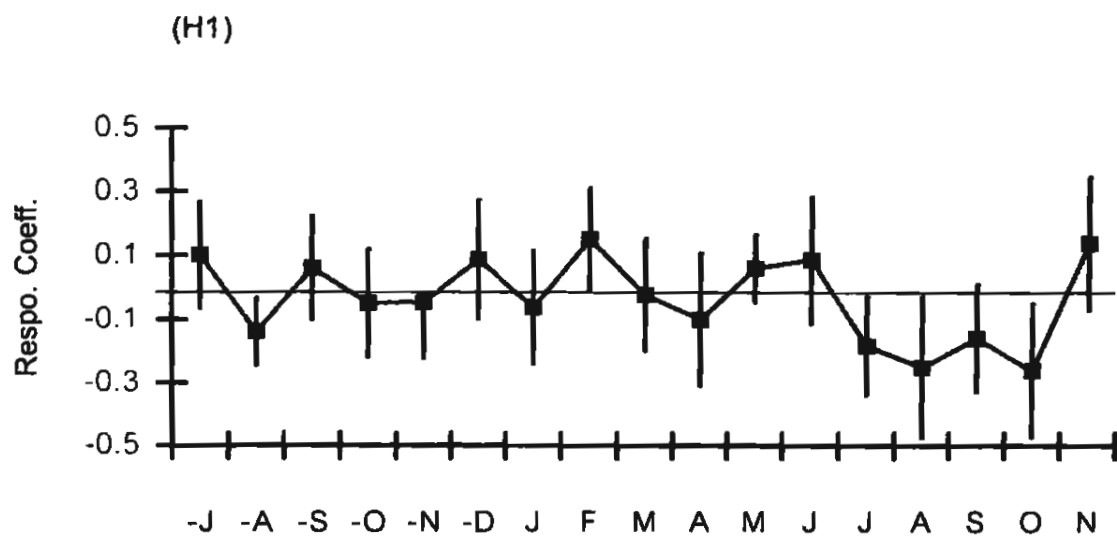
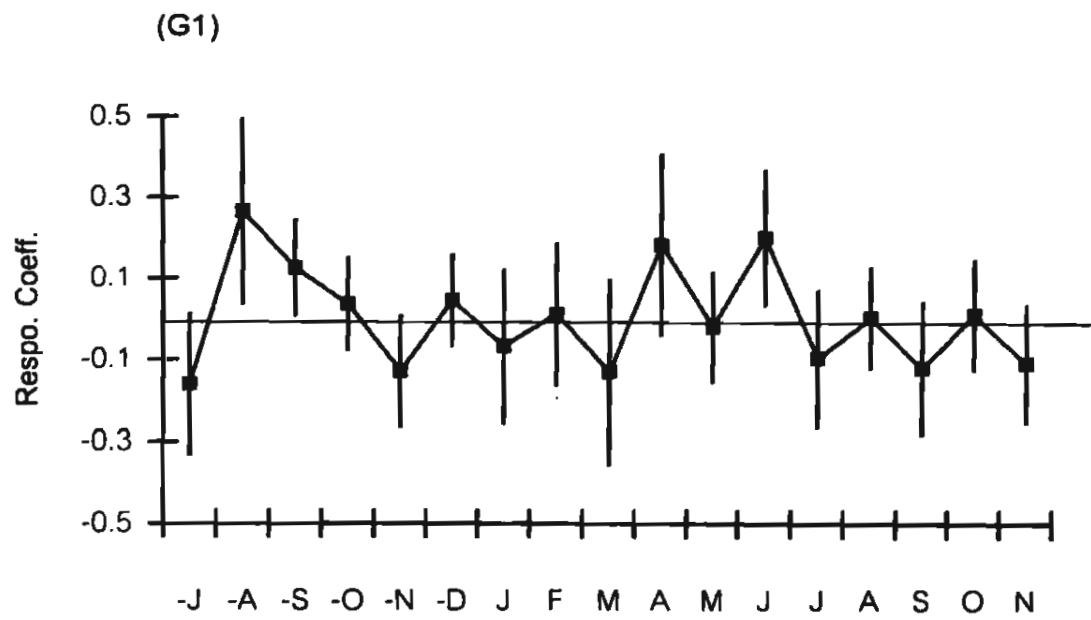
รูปที่ 38 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษาสวนป่าแม่เกาะ-
แม่จาง-แม่มาย
(C1) อุณหภูมิ (D1) ปริมาณน้ำฝน



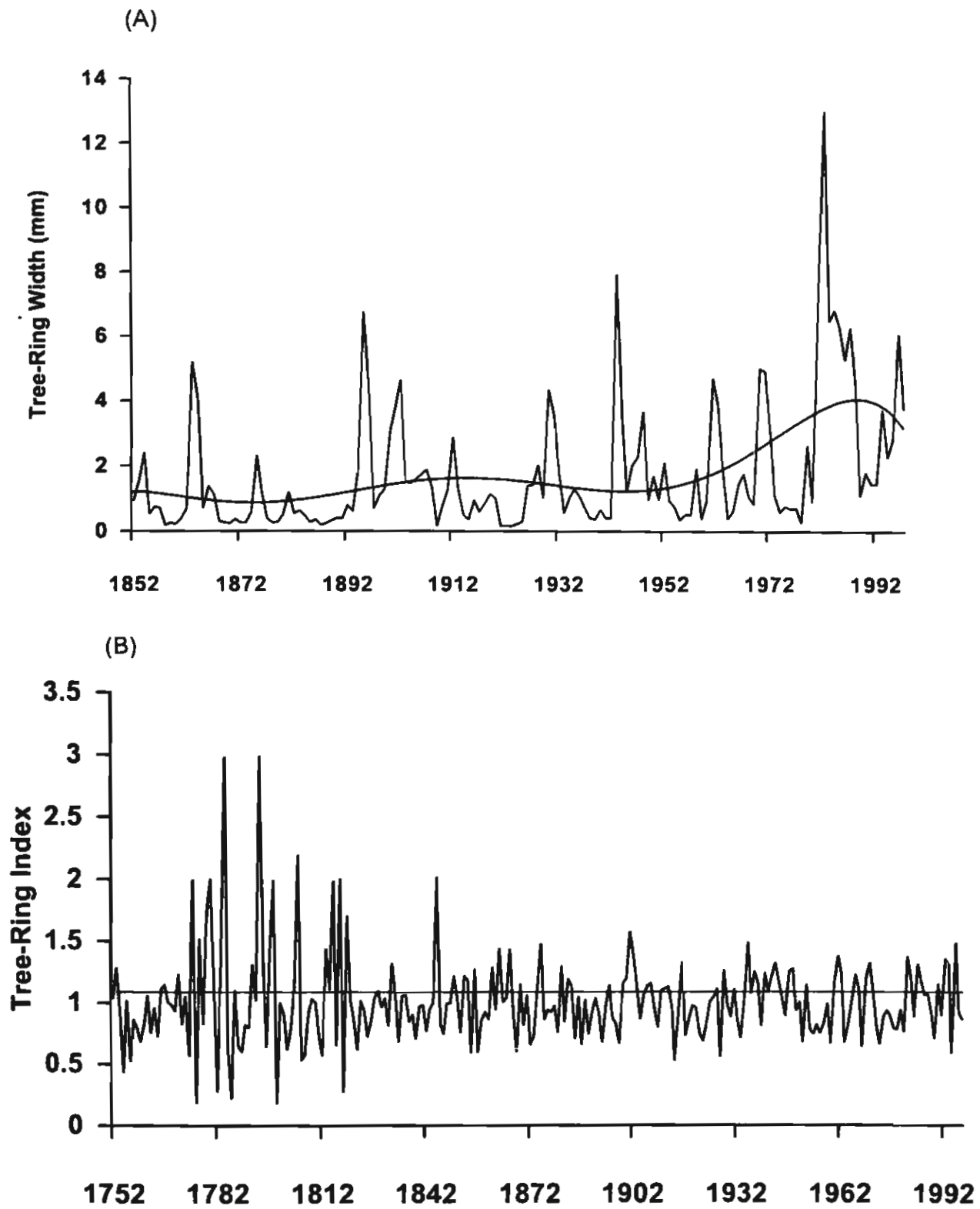
รูปที่ 39 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา Y-Site
(E1) อุณหภูมิ (F1) ปริมาณน้ำฝน



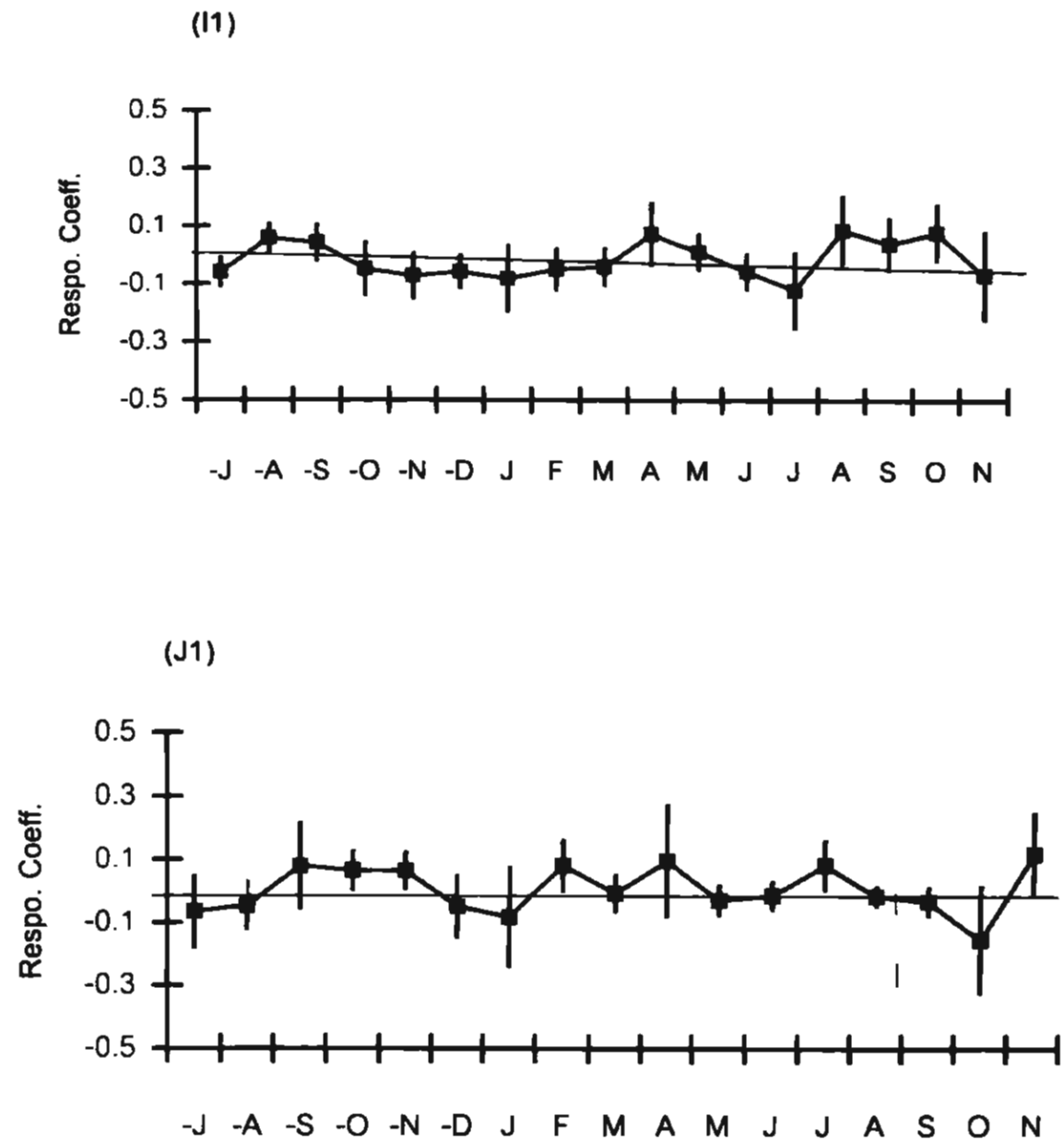
รูปที่ 40 (A) ข้อมูลดัชนีของพื้นที่ศึกษา Y-Site (B) ดัชนี Y-Site



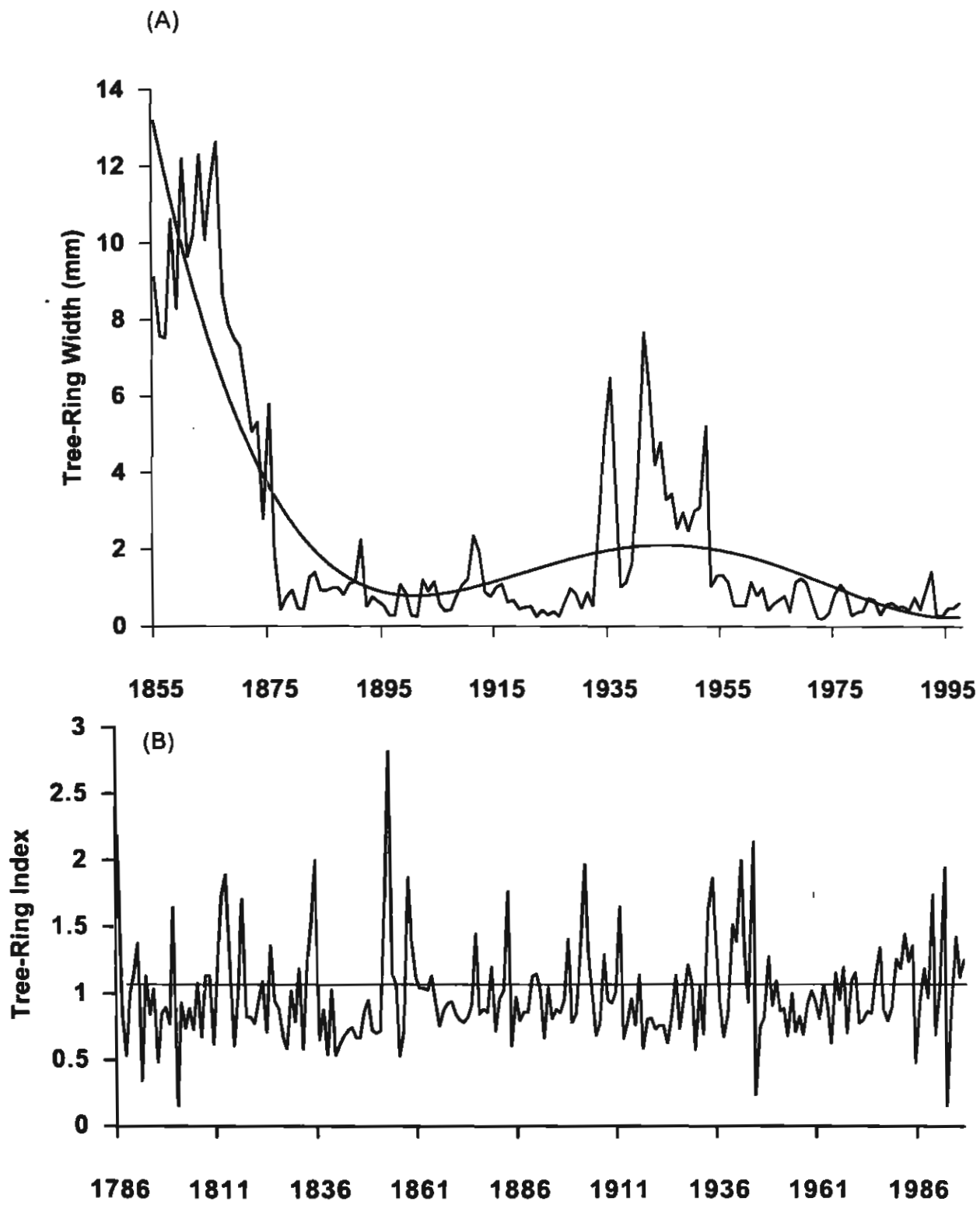
รูปที่ 41 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา Moswe (G1) อุณหภูมิ (H1) ปริมาณน้ำฝน



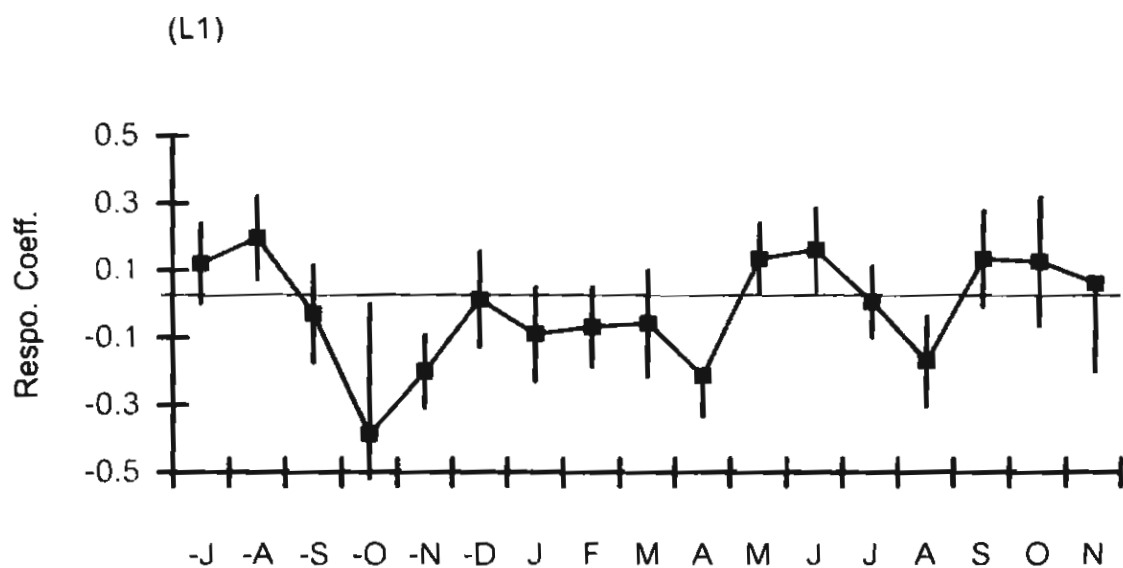
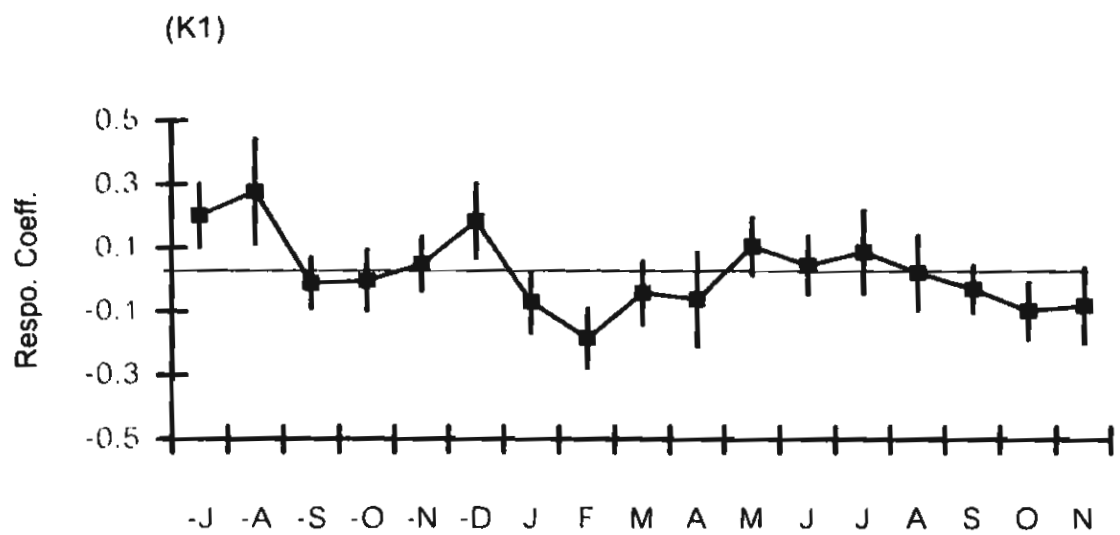
รูปที่ 42 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา Moswe (B) ดัชนี Moswe



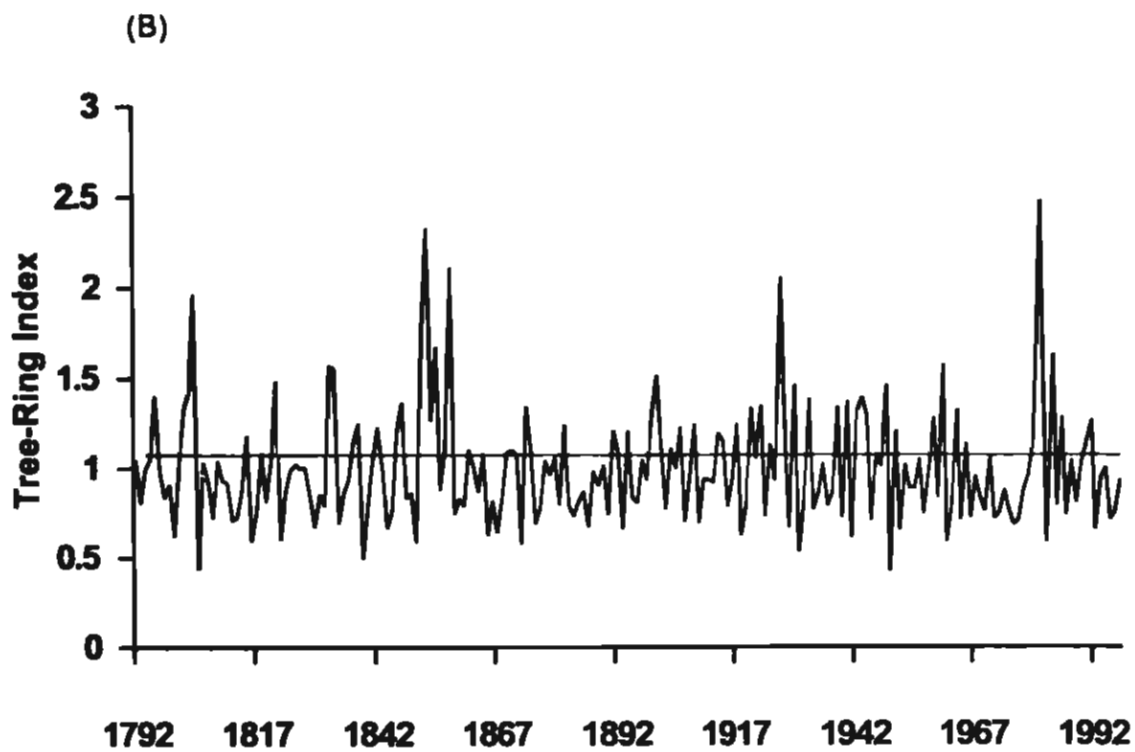
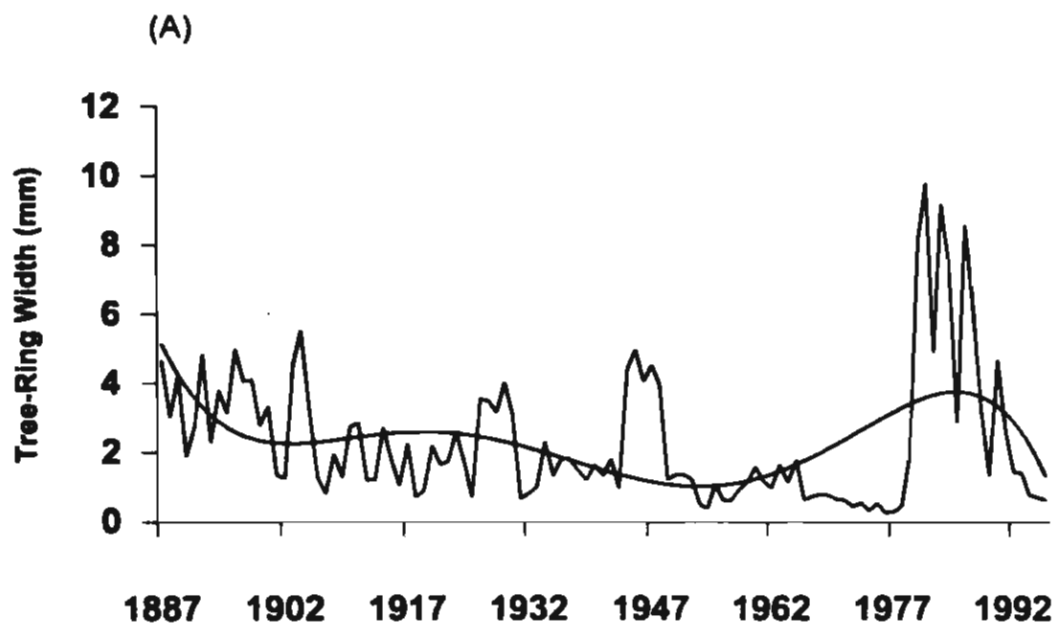
รูปที่ 43 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา PR
(I1) อุณหภูมิ (J1) ปริมาณน้ำฝน



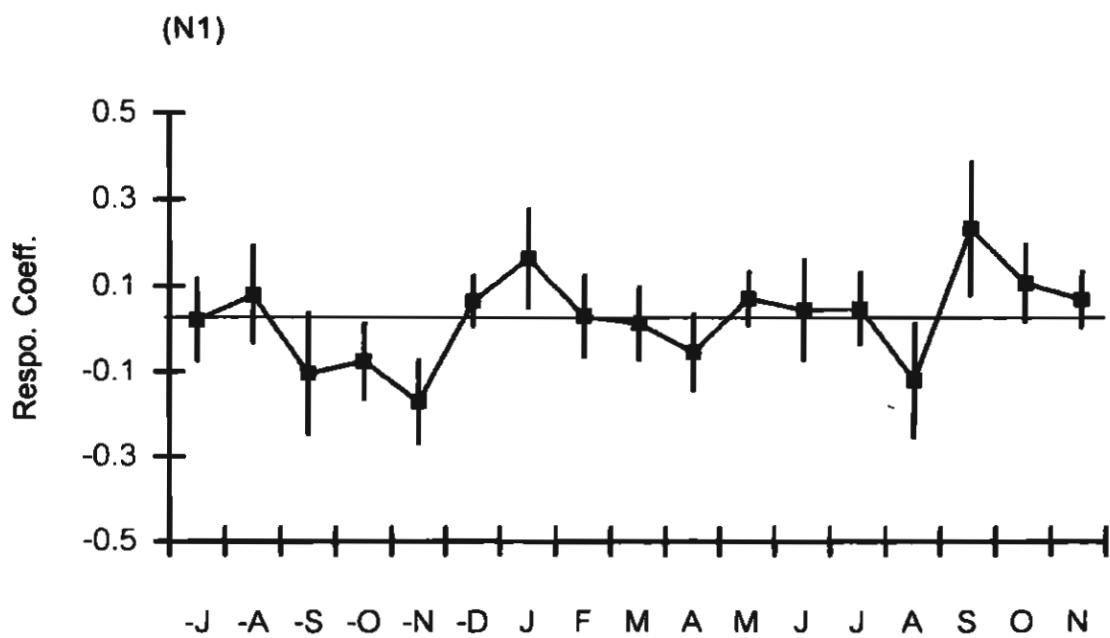
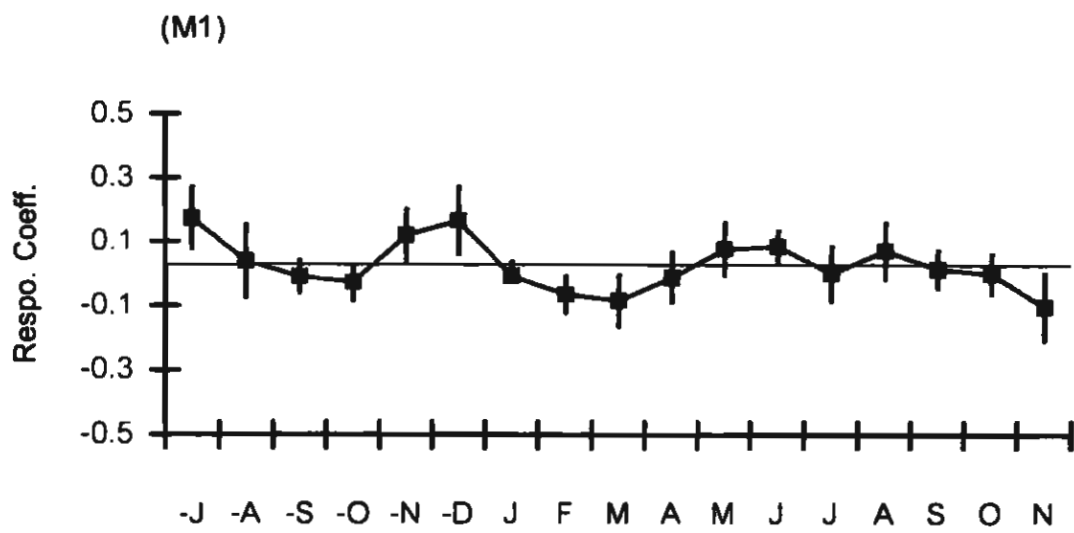
รูปที่ 44 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา PR (B) ดัชนี PR



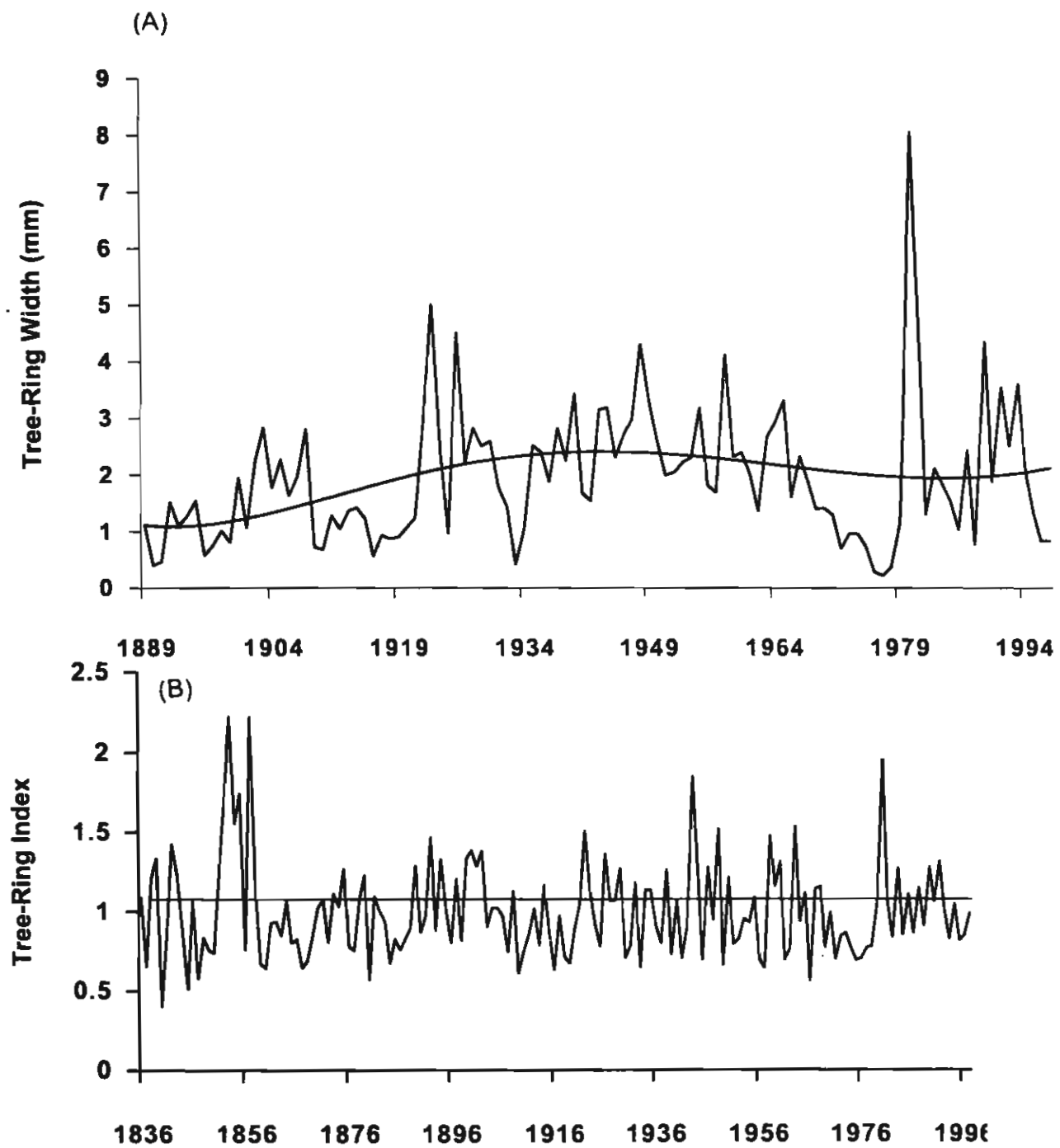
รูปที่ 45 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา PL
(K1) อุณหภูมิ (L1) ปริมาณน้ำฝน



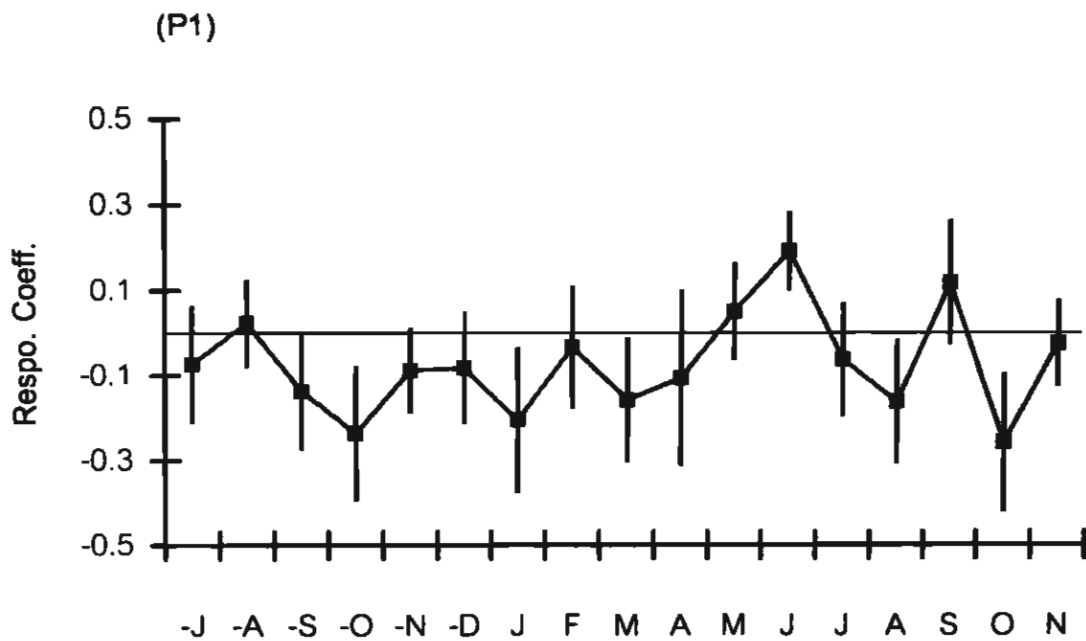
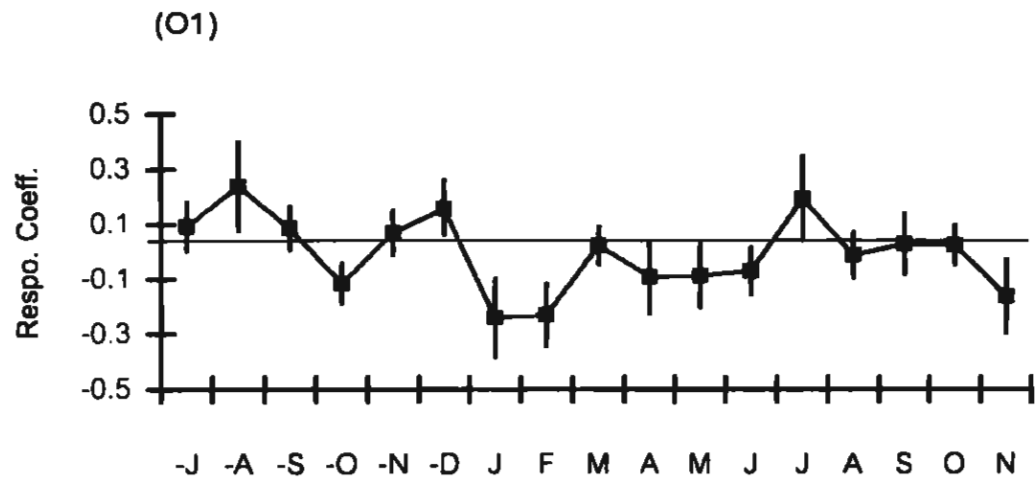
รูปที่ 46 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา PL (B) ดัชนี PL



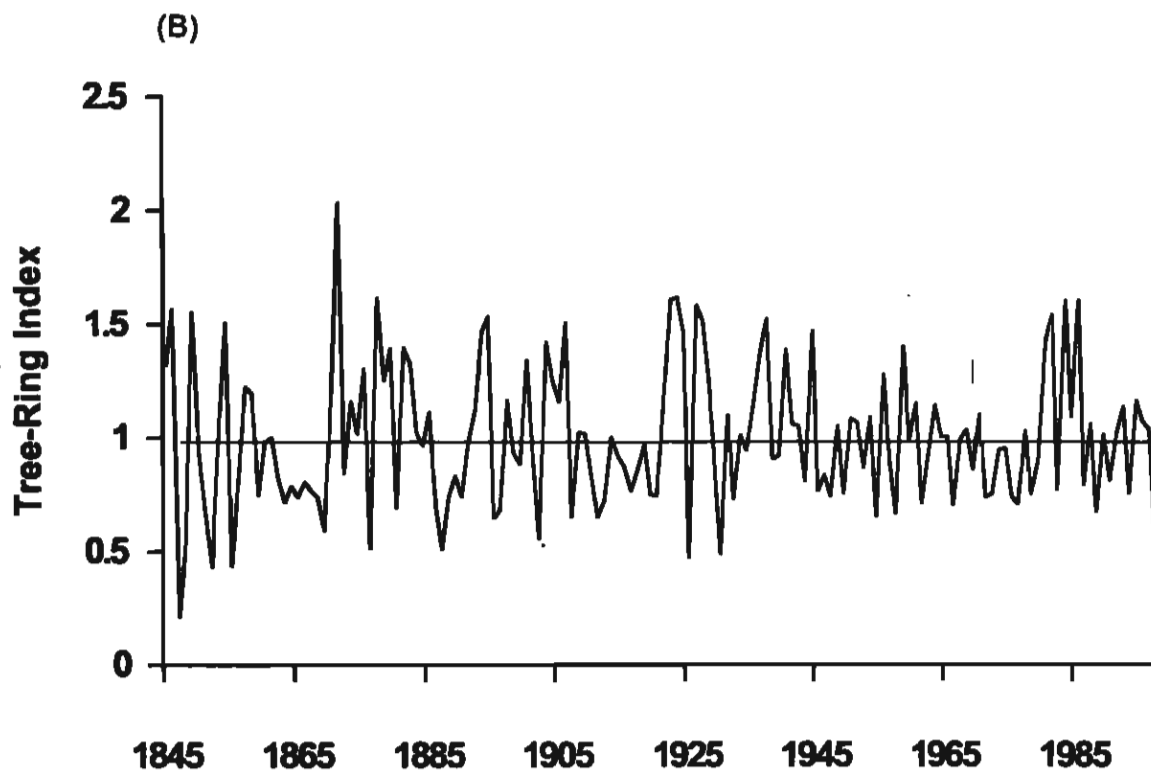
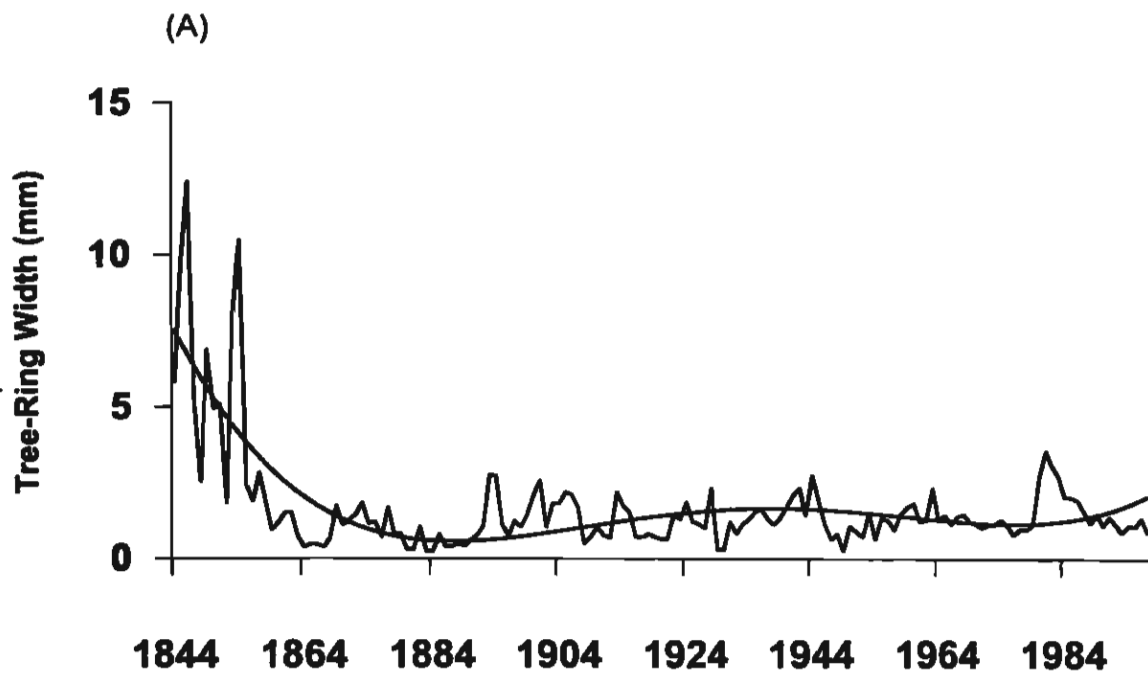
รูปที่ 47 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา PA
(M1) อุณหภูมิ (N1) ปริมาณน้ำฝน



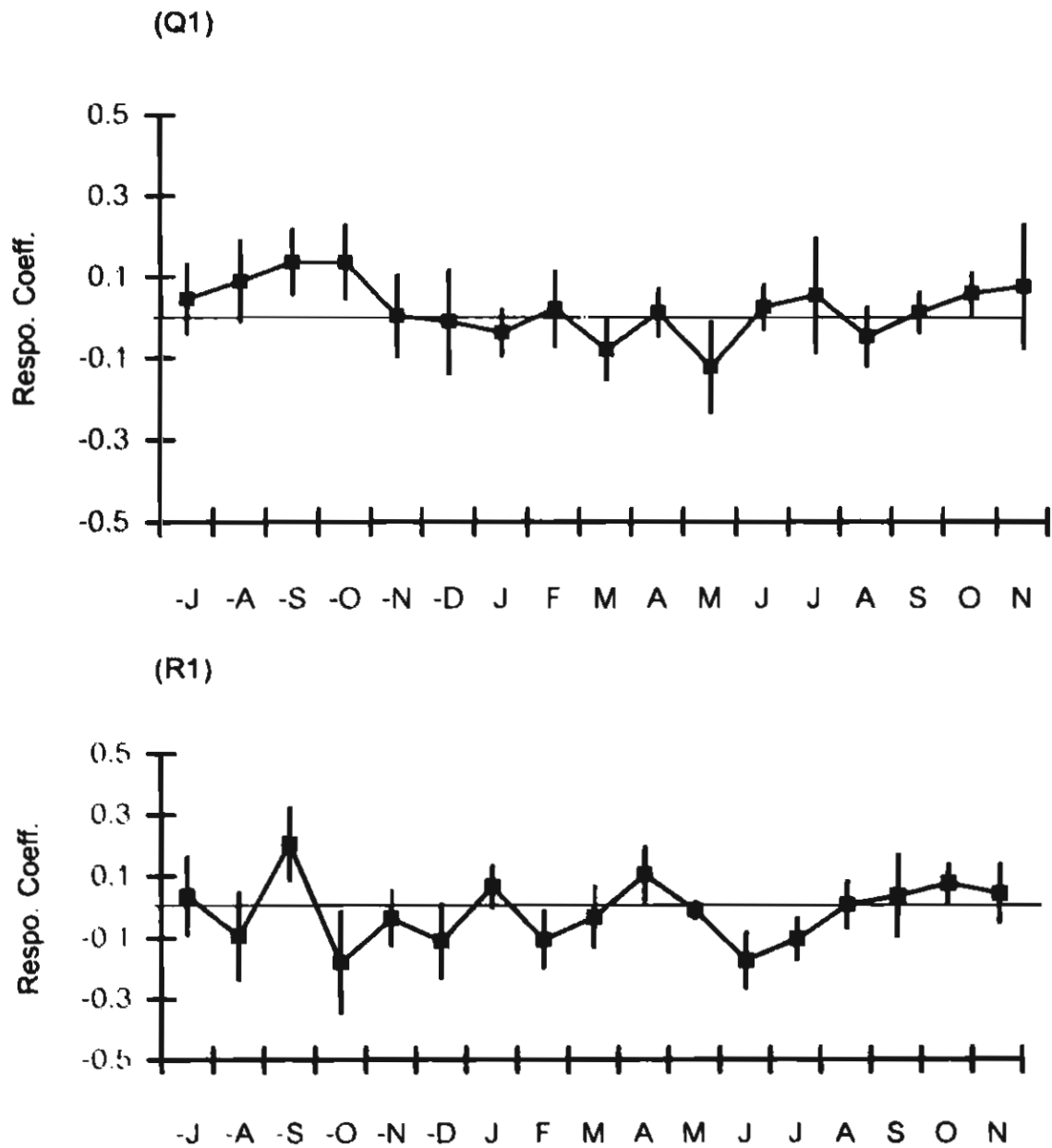
รูปที่ 48 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา PA (B) ดัชนี PA



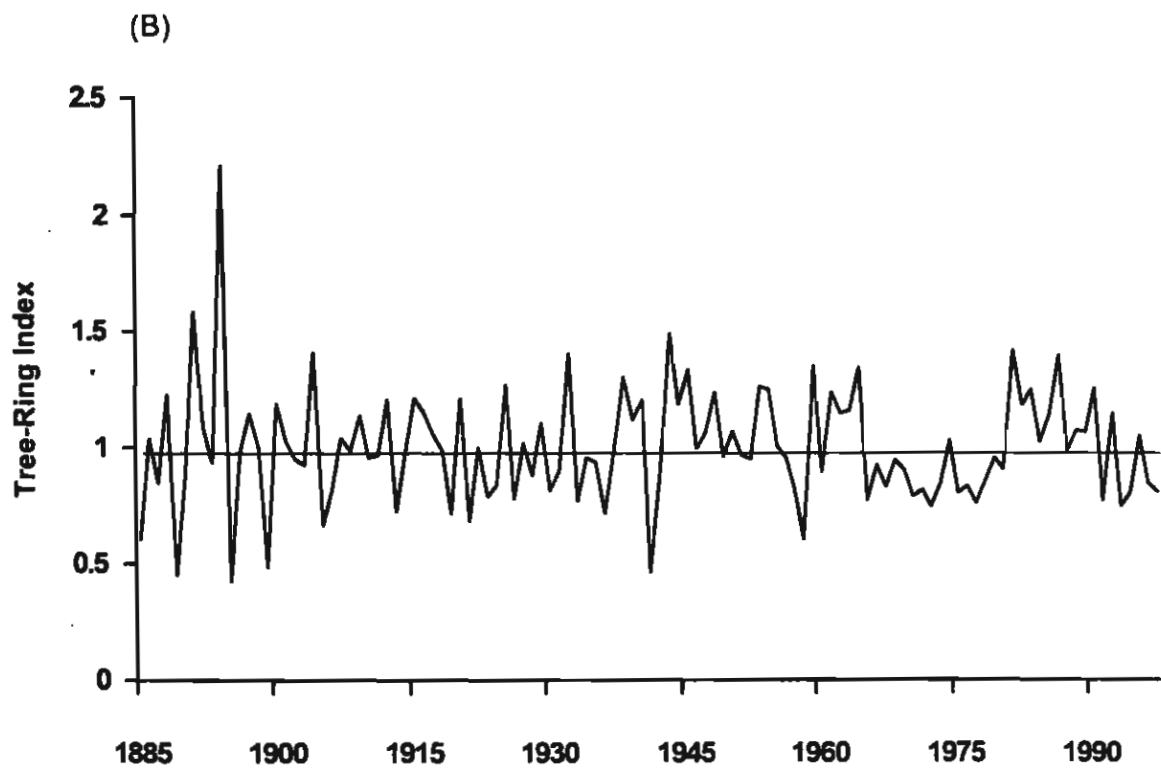
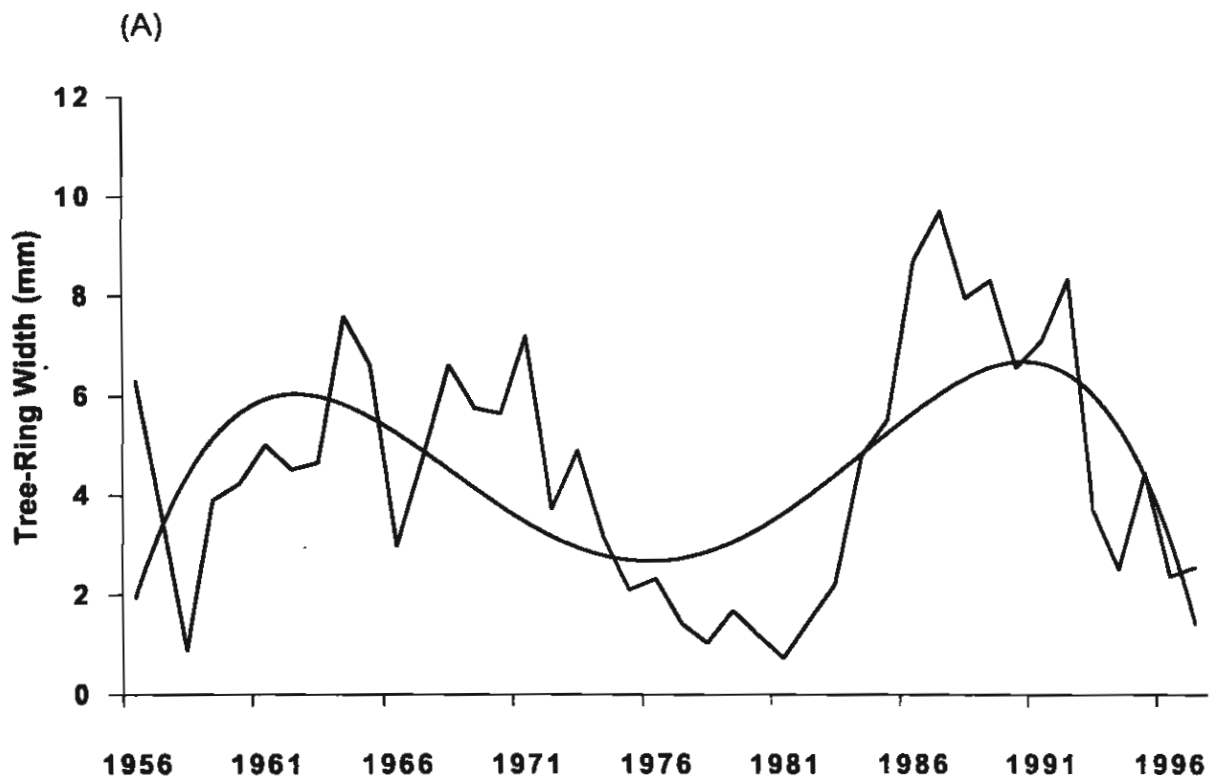
รูปที่ 49 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา NL
(O1) อุณหภูมิ (P1) ปริมาณน้ำฝน



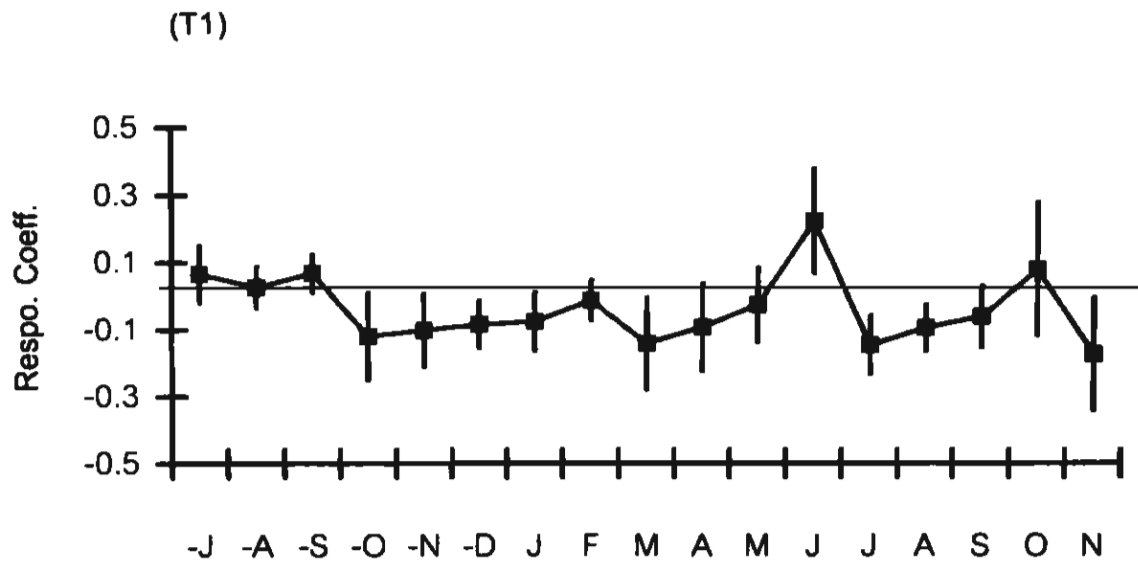
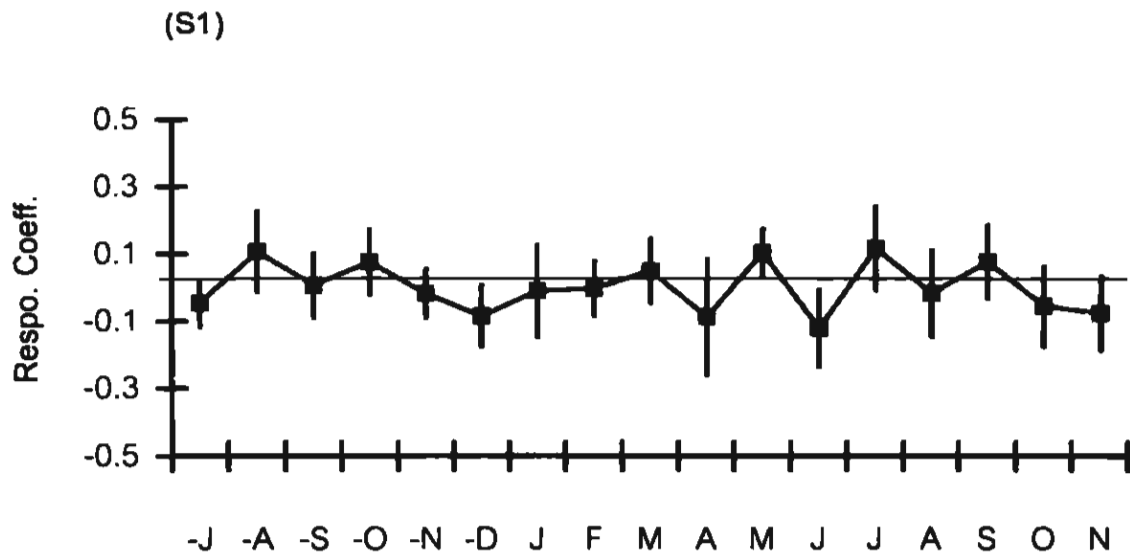
รูปที่ 50 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา NL (B) ดัชนี NL



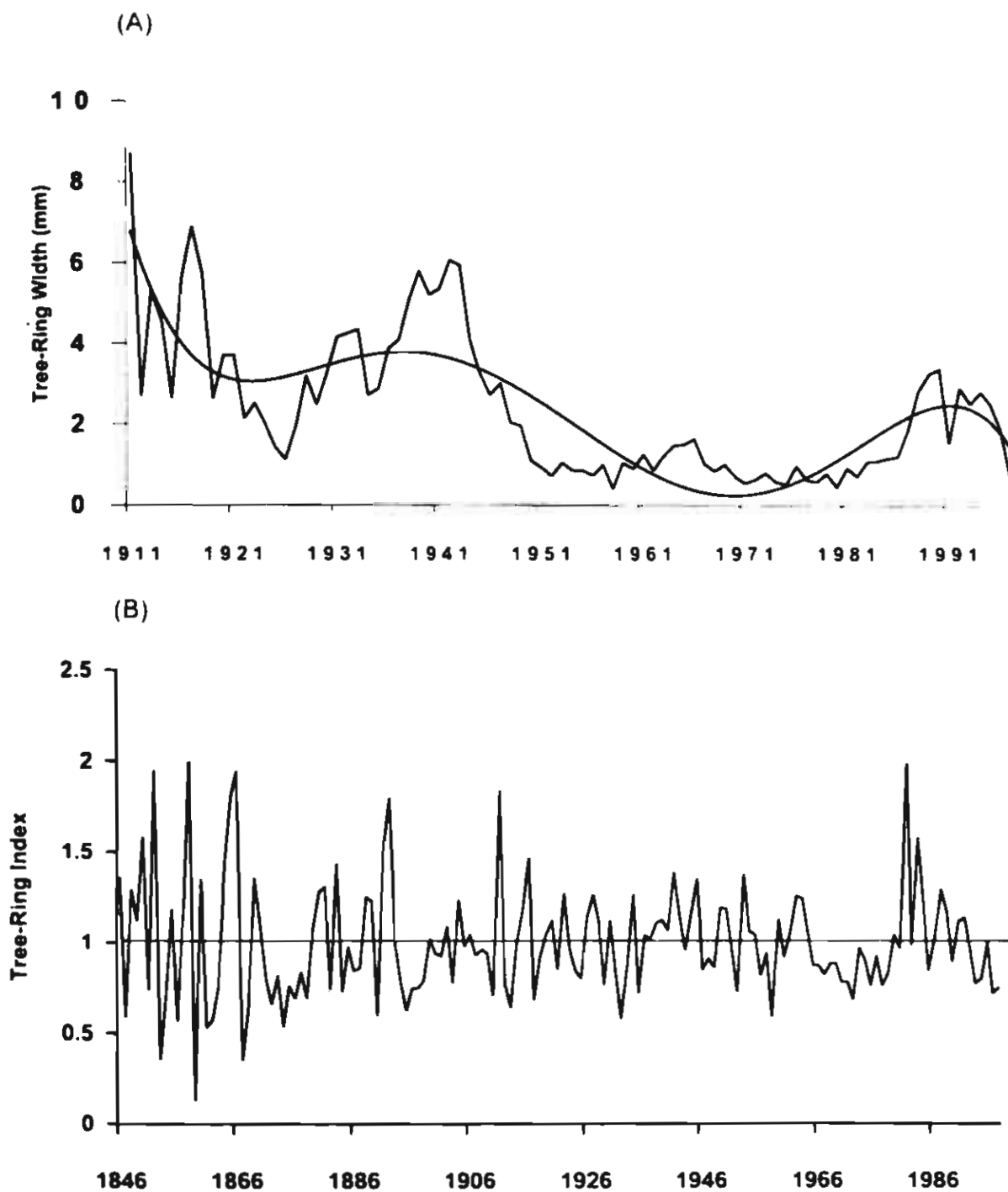
รูปที่ 51 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา S1
(Q1) อุณหภูมิ (R1) ปริมาณน้ำฝน



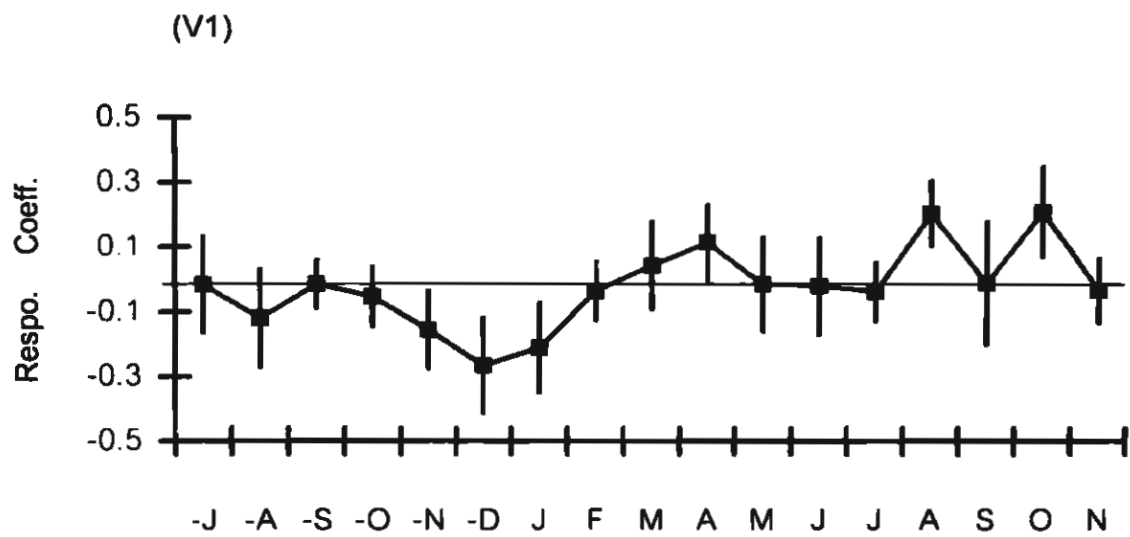
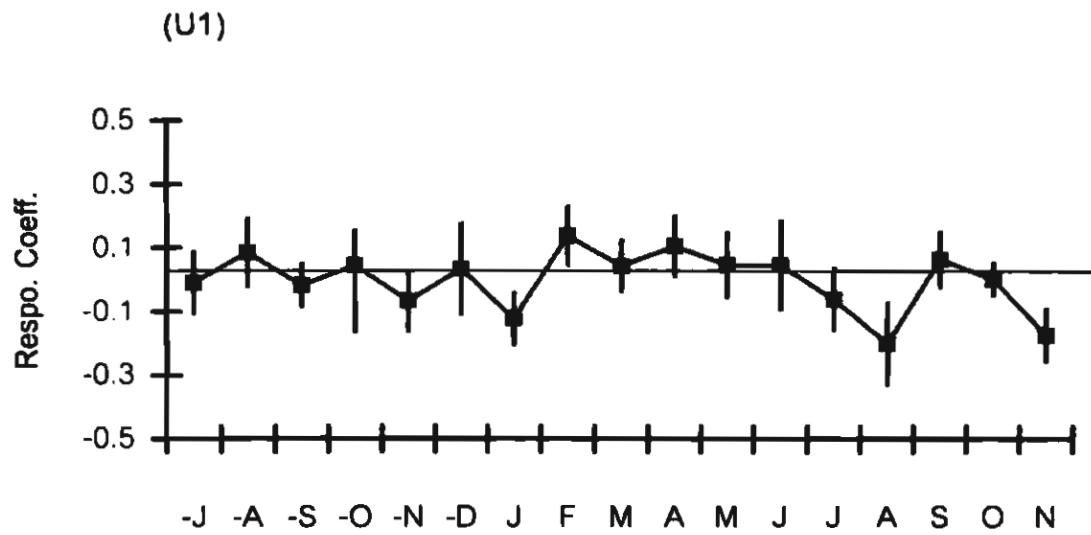
รูปที่ 52 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา S1 (B) ดัชนี S1



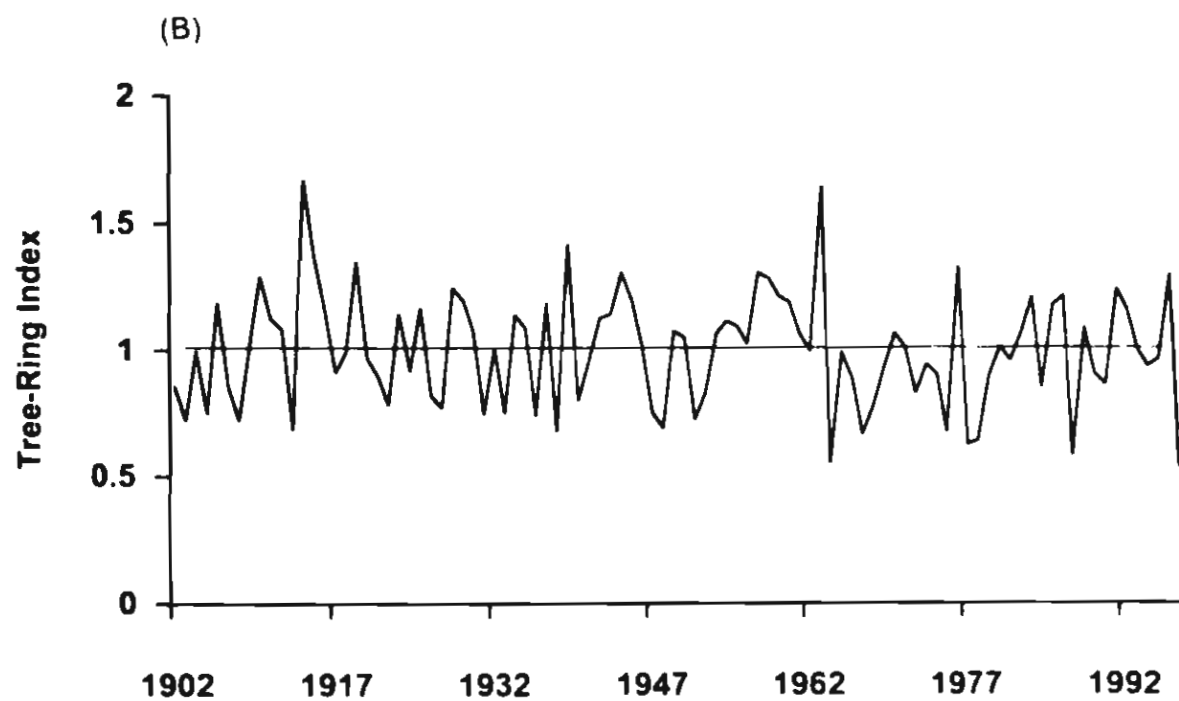
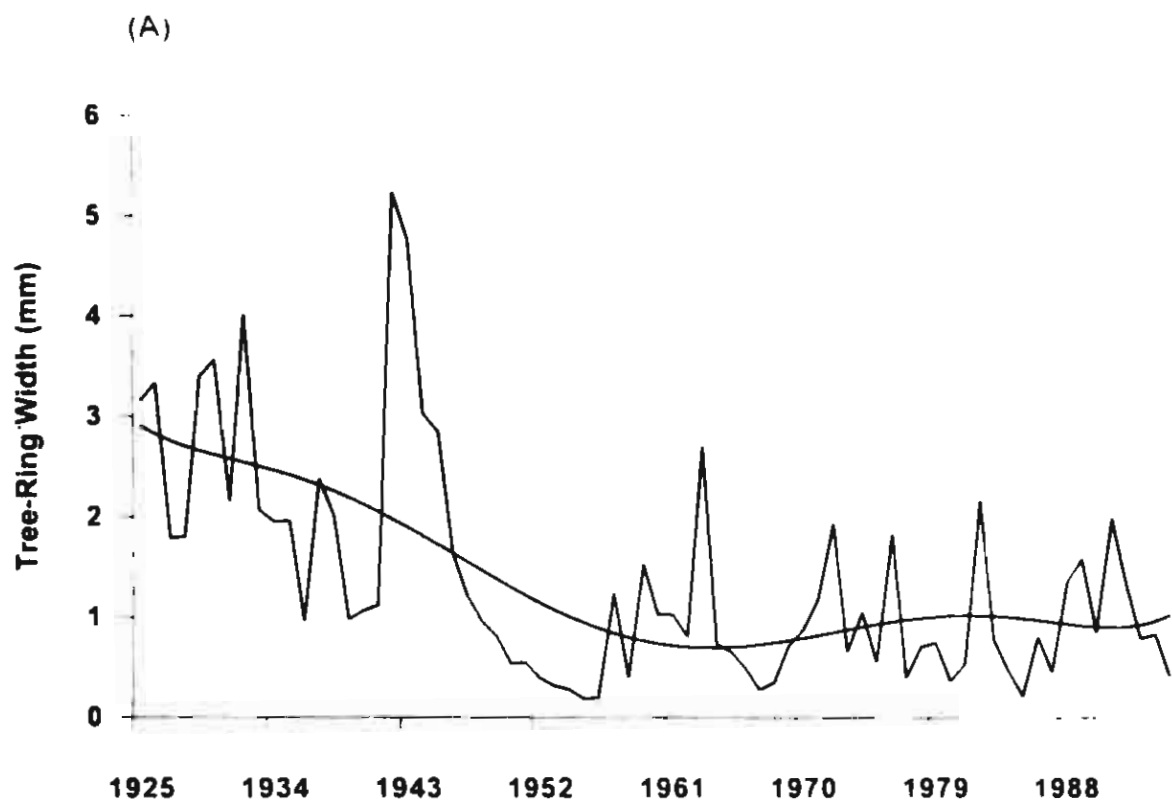
รูปที่ 53 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา S2
(S1) อุณหภูมิ (T1) ปริมาณน้ำฝน



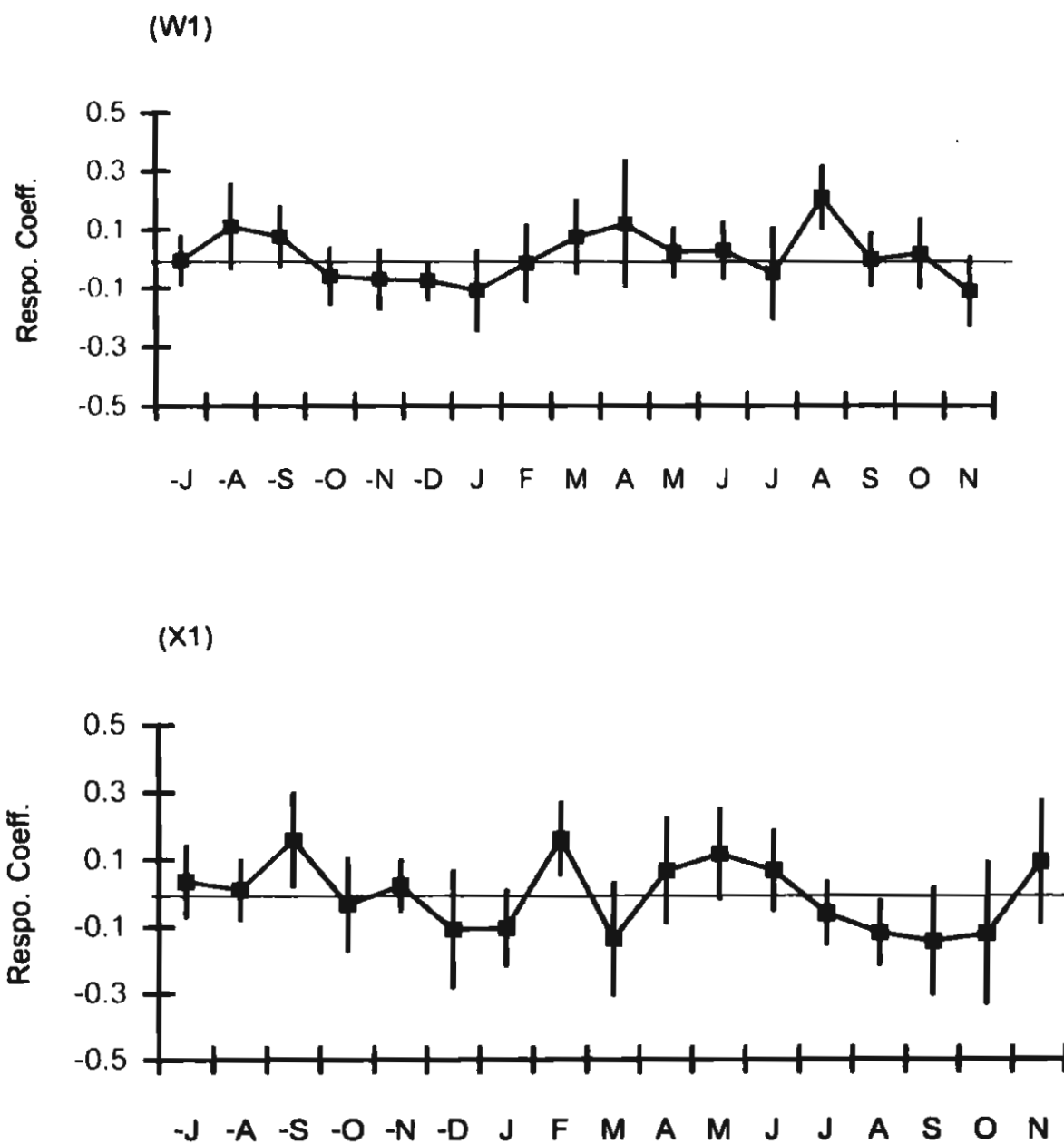
รูปที่ 54 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา S2 (B) ดัชนี S2



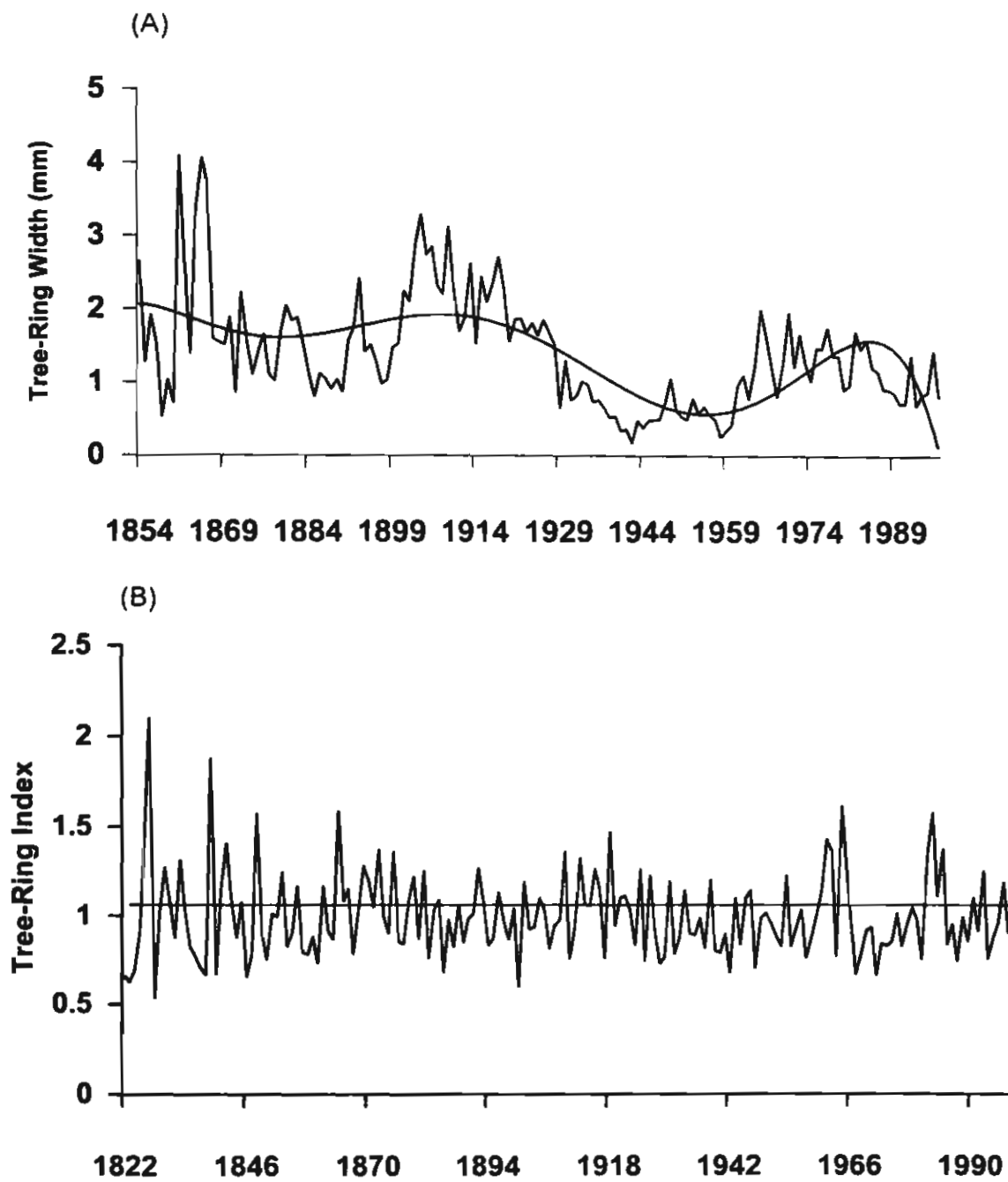
รูปที่ 55 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา P1
(U1) อุณหภูมิ (V1) ปริมาณน้ำฝน



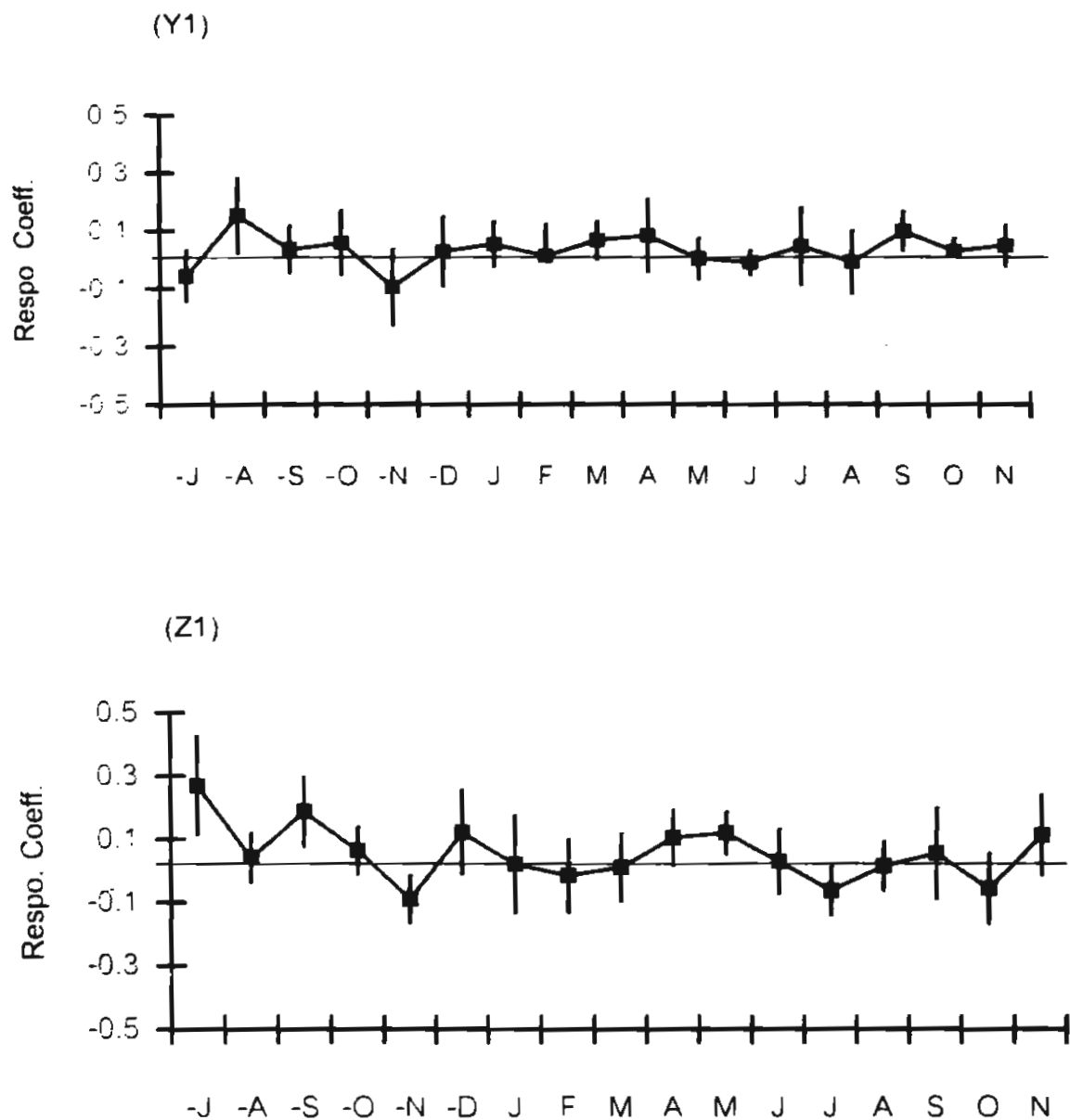
รูปที่ 56 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา P1 (B) ดัชนี P1



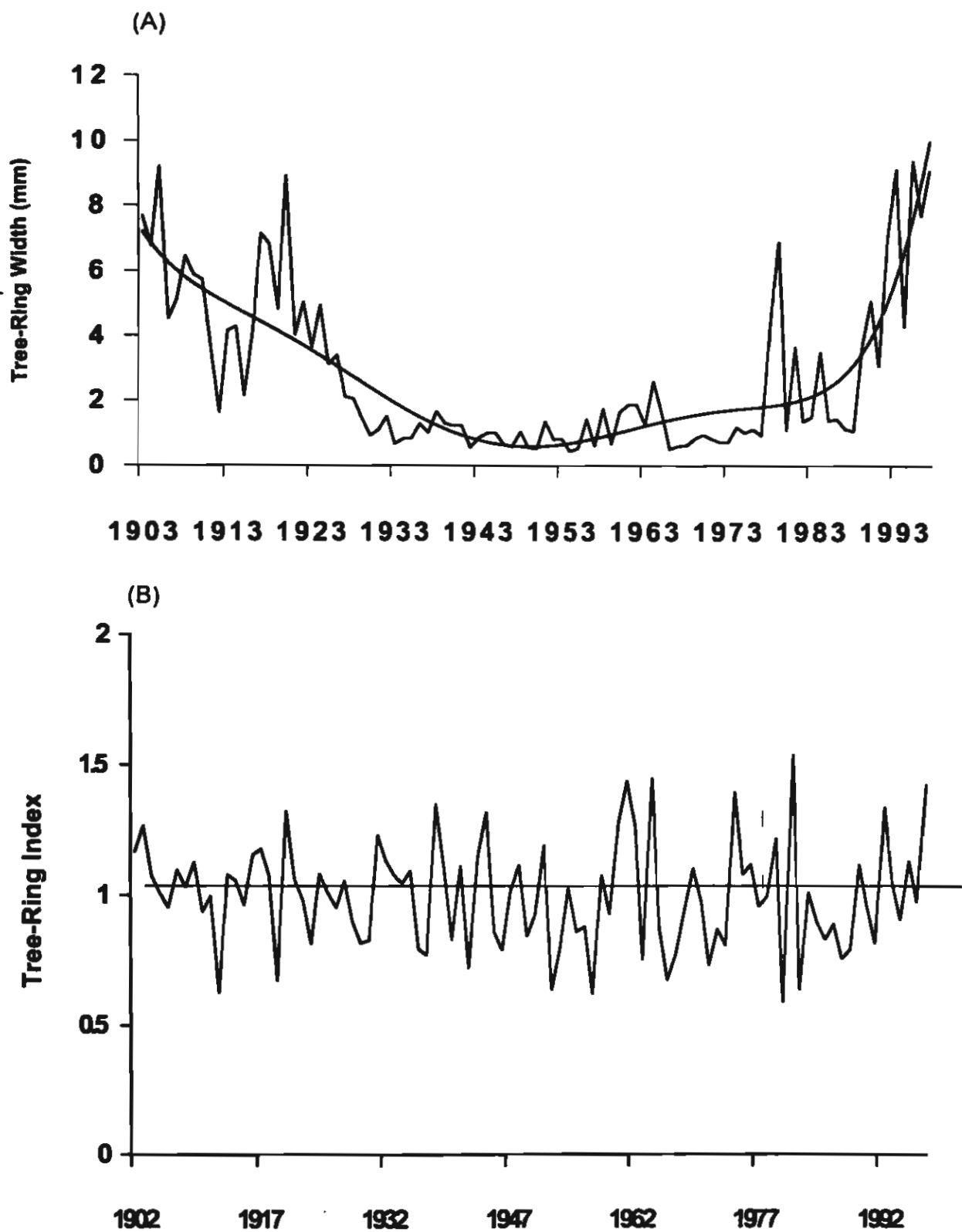
รูปที่ 57 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา P2
(W1) อุณหภูมิ (X1) ปริมาณน้ำฝน



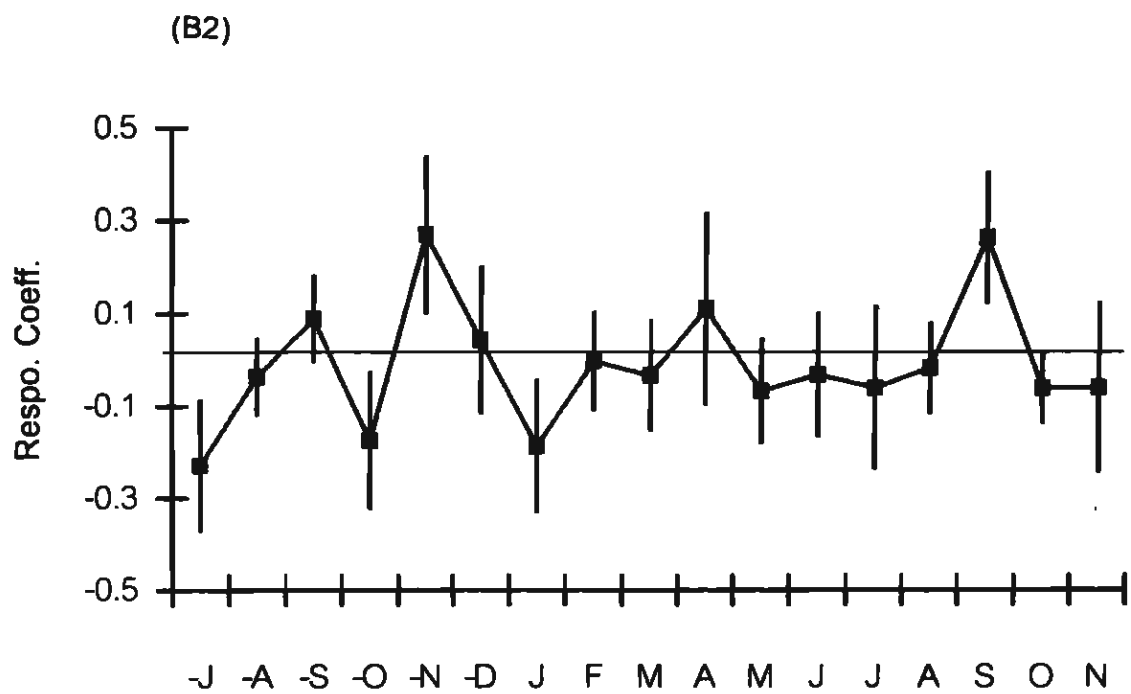
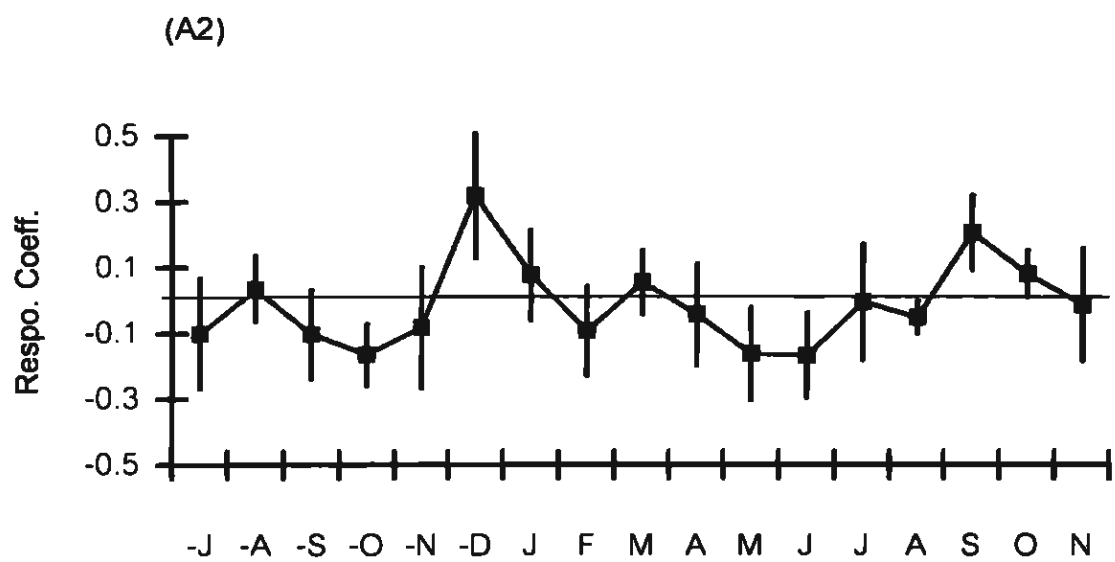
รูปที่ 58 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา P2 (B) ดัชนี P2



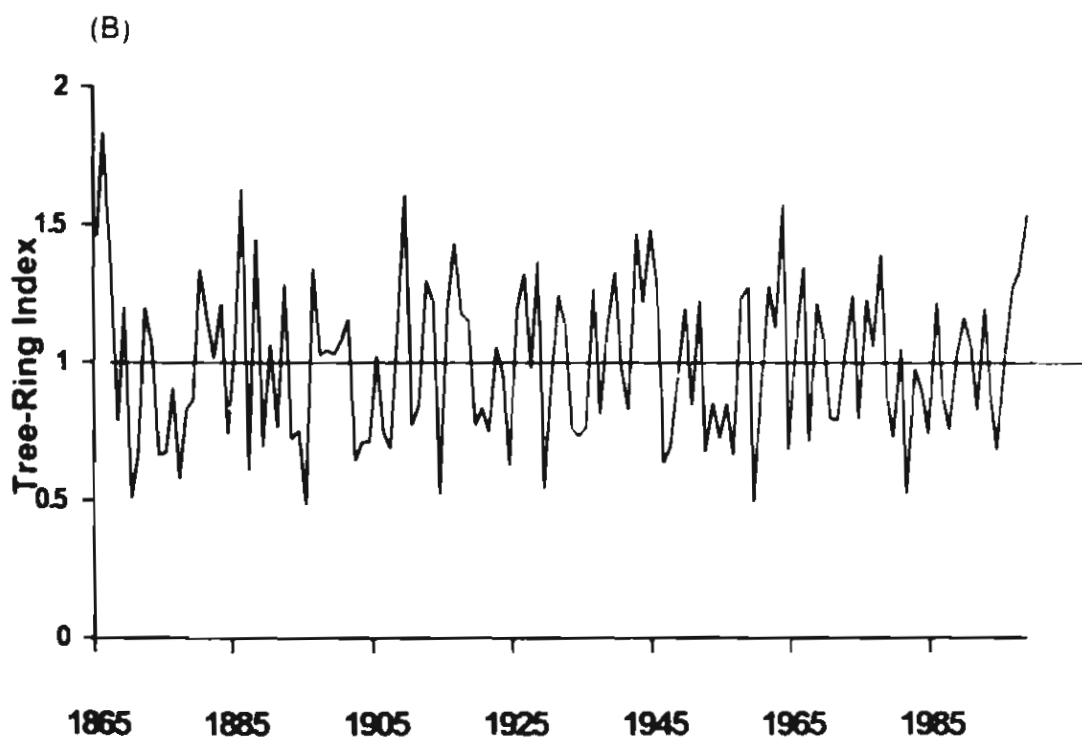
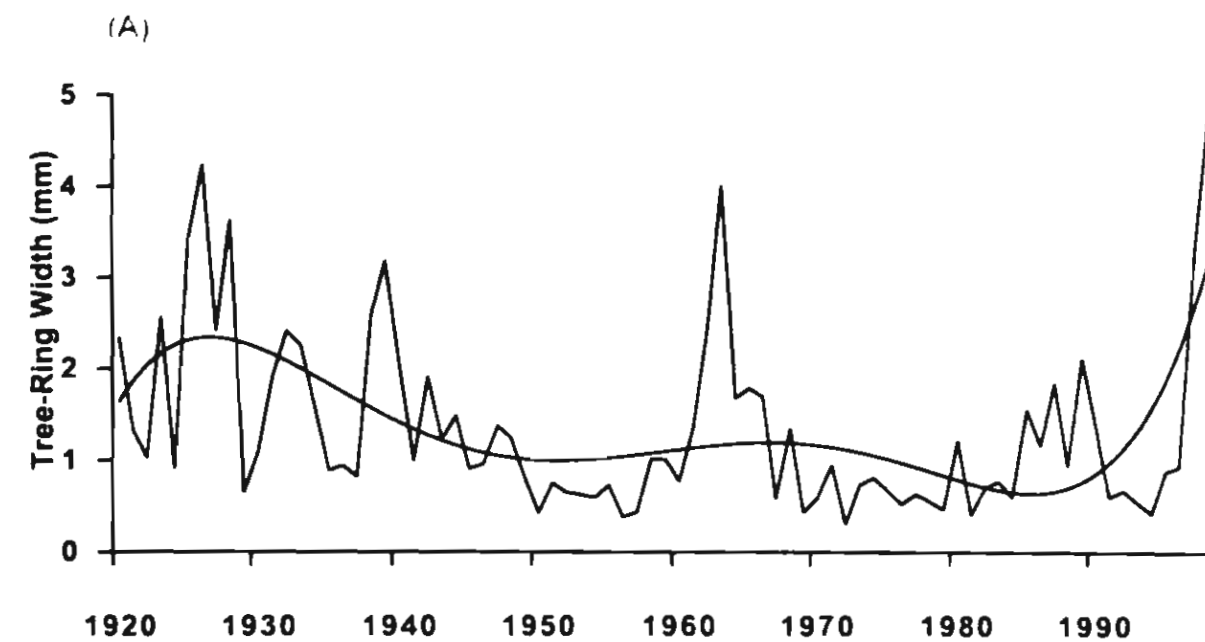
รูปที่ 59 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา P3
(Y1) อุณหภูมิ (Z1) ปริมาณน้ำฝน



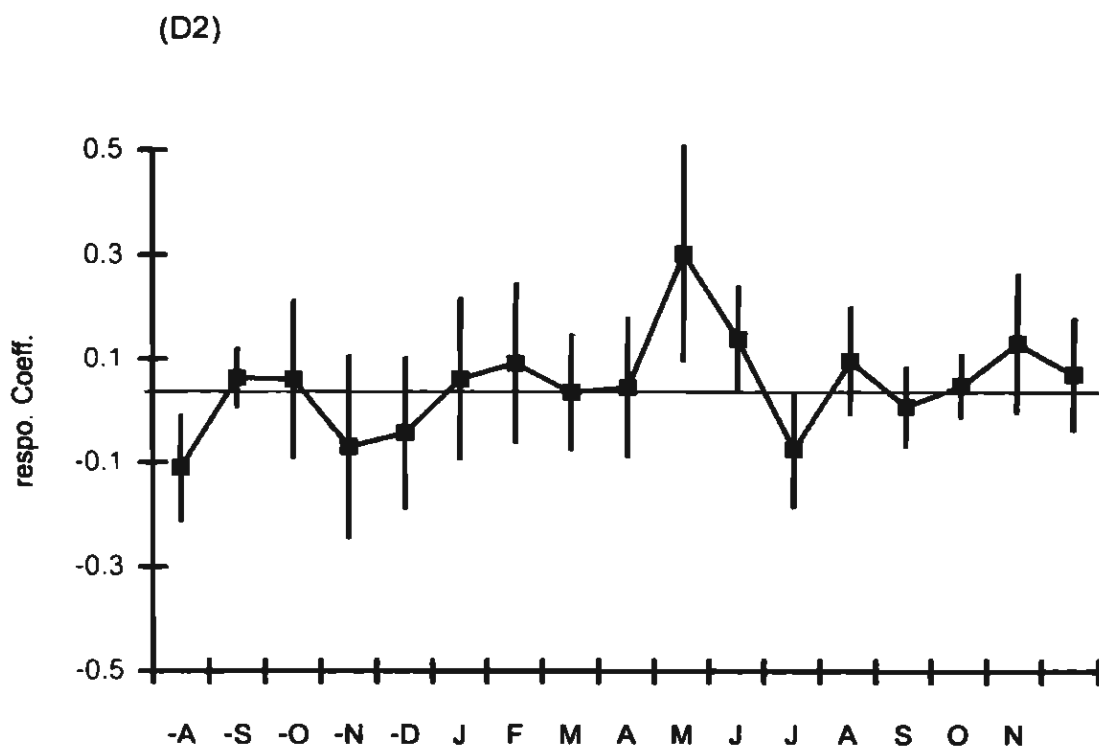
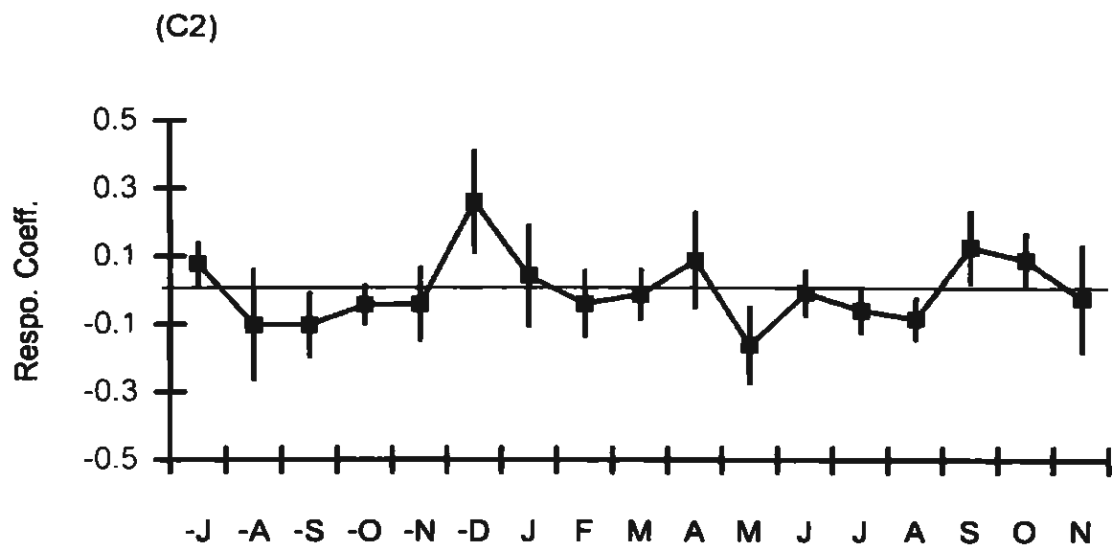
รูปที่ 60 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา P3 (B) ดัชนี P3



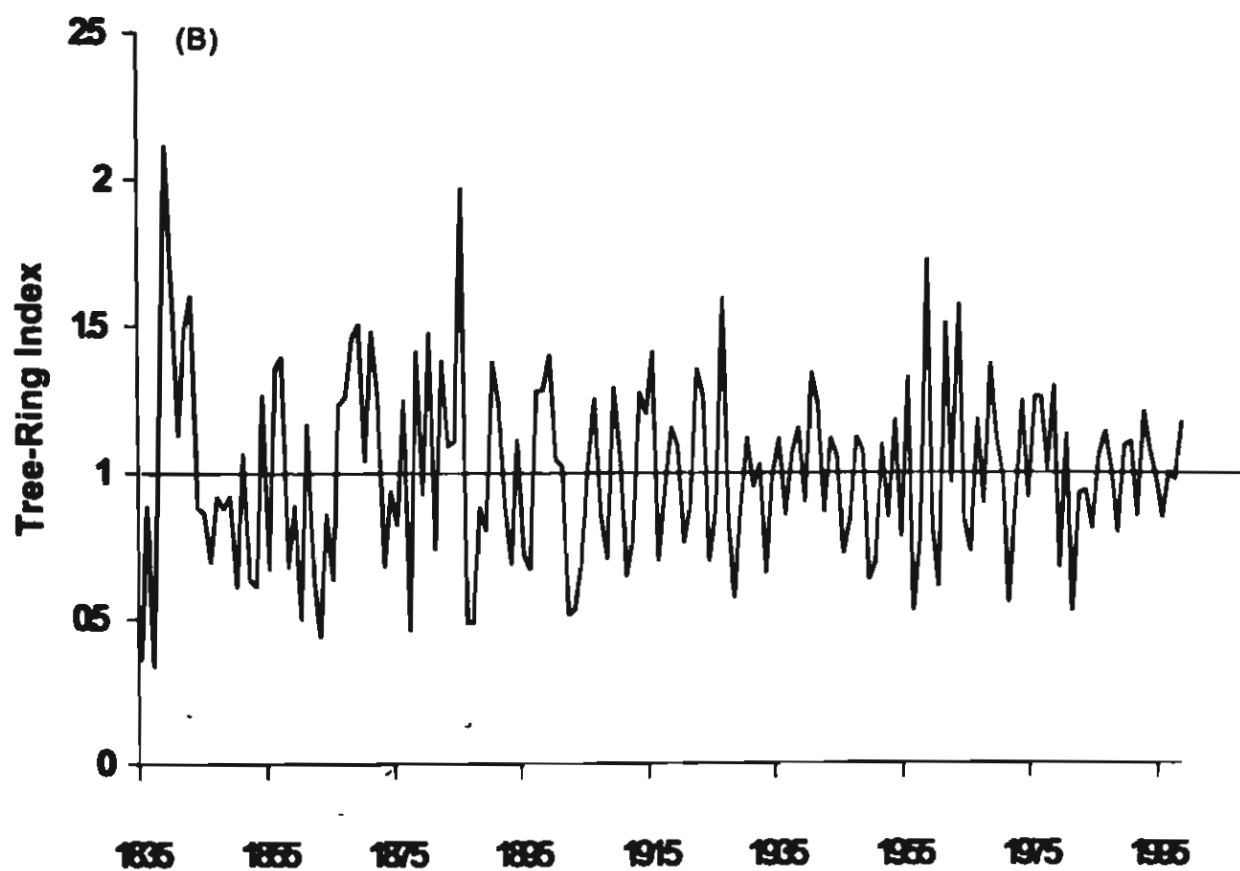
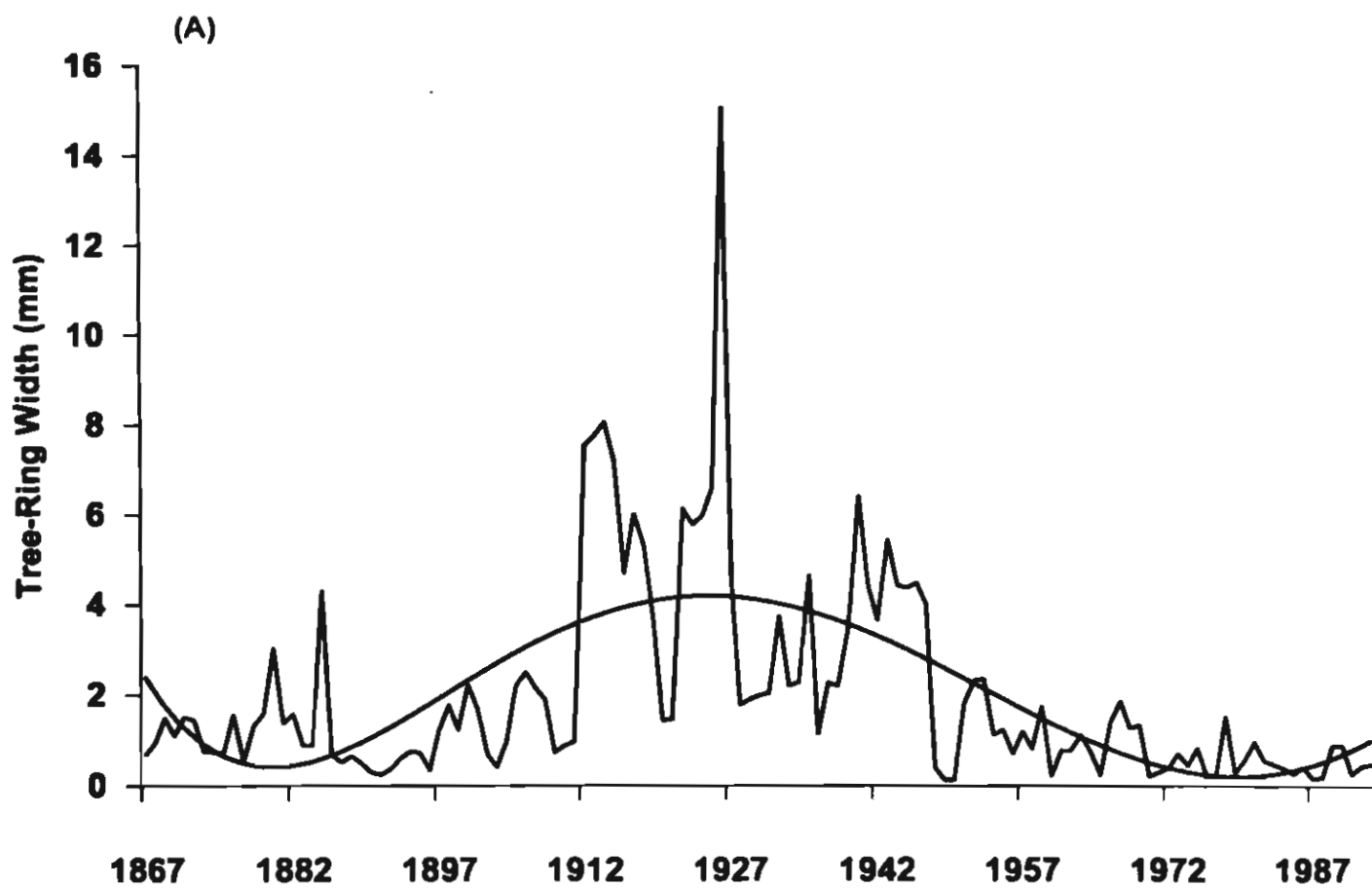
รูปที่ 61 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา MA
(A2) อุณหภูมิ (B2) ปริมาณน้ำฝน



รูปที่ 62 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา MA (B) ค่าเฉลี่ย MA



รูปที่ 63 แสดงผลการคำนวณจากโมเดล Response Function พื้นที่ศึกษา MB
(C2) อุณหภูมิ (D2) ปริมาณน้ำฝน



รูปที่ 64 (A) ข้อมูลดิบของพื้นที่ศึกษา MB (B) ดัชนี MB