



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการความหลากหลายของไลเคนและชนิดที่เป็นตัวบ่งชี้
ในการตรวจสอบผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์
ในบริเวณที่ลุ่มที่ถูกรบกวนในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

**Lichens Diversity and Indicator Species for Monitoring
of Anthropogenic Impacts in Disturbed Lowland Area
of Upper Northern Thailand**

โดย

วนารักษ์ ไชพันธ์แก้ว

ธันวาคม 2551

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการความหลากหลายของไลเคนและชนิดที่เป็นตัวบ่งชี้
ในการตรวจสอบผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ในบริเวณที่ลุ่มที่ถูกรบกวน
ในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย
Lichens Diversity and Indicator Species for Monitoring of Anthropogenic Impacts
in Disturbed Lowland Area of Upper Northern Thailand

โดย

วนารักษ์ ไชพันธ์แก้ว
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สนับสนุนโดยสำนักคณะกรรมการอุดมศึกษา
และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยความหลากหลายของไลเคนและชนิดที่เป็นตัวบ่งชี้ในการตรวจสอบผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ในบริเวณที่ลุ่มที่ถูกรบกวนในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยนี้ จะเกิดขึ้นมิได้หากปราศจากการสนับสนุนเงินทุนจากสำนักคณะกรรมการอุดมศึกษา (สกอ.) และกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และทุกท่านที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานทั้งสองแห่ง ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ The Royal Society ที่ให้ทุนสนับสนุนค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการเดินทางเพื่อทำการวิจัยเพิ่มเติม ณ ประเทศสหราชอาณาจักร ทำให้ผู้วิจัยได้รับความรู้เพิ่มเติมอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยในสาขาที่เกี่ยวข้องกับไลเคนนี้

ผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณนักวิจัยพี่เลี้ยง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กัณฑ์รีย์ บุญประกอบ จากภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง และ อาจารย์ Patricia Anne Wolseley จาก The Natural History Museum, England เป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัย และกำลังใจที่ได้รับจากท่าน หากขาดความช่วยเหลือจากท่านทั้งสอง งานวิจัยชิ้นนี้คงสำเร็จลุล่วงมิได้เช่นกัน รวมทั้งขอขอบพระคุณ James Chimonides ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ทางสถิติทั้งหมดในงานวิจัยชิ้นนี้

ขอขอบพระคุณ Prof. Dr. Roland Moberg และ Laurens Sparrius ผู้เชี่ยวชาญที่ช่วยจำแนกชนิด ไลเคนบางตัวอย่างที่จำแนกชนิดได้ยาก และขอขอบพระคุณ Magnuz Engardt สำหรับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงปริมาณและการแพร่กระจายของมลพิษอากาศในประเทศไทย

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ Department of Botany, The Natural History Museum ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย รวมทั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระหว่างการทำวิจัย

ขอขอบคุณพี่ เพื่อนและน้องทุกคน รวมทั้งนักศึกษาทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือระหว่างการออกเก็บตัวอย่างในภาคสนาม หากไม่มีความช่วยเหลือจากทุกคนที่เกี่ยวข้อง การออกเก็บตัวอย่างคงไม่สามารถทำได้อย่างสะดวก ราบรื่นและปลอดภัยเช่นนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีได้เอื้อนามที่มีส่วนช่วยเหลือในการวิจัยครั้งนี้ และสุดท้ายขอขอบพระคุณชุมชนทุกแห่ง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าถึงพื้นที่และต้นไม้สำหรับการสำรวจไลเคนเป็นอย่างดี รวมทั้งน้ำใจและความเอื้ออารีย์ที่ได้รับจากทุกท่านที่พบในระหว่างการเดินทางออกเก็บตัวอย่างในชุมชนต่าง ๆ ซึ่งเป็นสิ่งที่เริ่มพบได้ยากในสภาพสังคมปัจจุบัน

วนารักษ์ ไชพันธ์แก้ว

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: MRG45080017

ชื่อโครงการ: โครงการความหลากหลายของไลเคนและชนิดที่เป็นตัวบ่งชี้ในการตรวจสอบผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ในบริเวณที่ลุ่มที่ถูกรบกวนในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

ชื่อนักวิจัย: วনারักษ์ ไชพันธ์แก้ว

E-mail Address: wanaruk@chiangmai.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: 22 เดือน

สำรวจความหลากหลายของไลเคนในบริเวณที่ลุ่มที่ถูกรบกวนใน 7 จังหวัดในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย เพื่อศึกษาความหลากหลายของไลเคนในเขตตัวเมืองที่มีมลพิษอากาศสูง และบริเวณนอกตัวเมืองที่มีมลพิษอากาศต่ำ คัดเลือกหาชนิดของไลเคนที่เหมาะสมในการใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพในการตรวจสอบผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ รวมพื้นที่ศึกษาทั้งสิ้น 32 แห่ง เป็นพื้นที่ศึกษาในเขตตัวเมือง 7 แห่ง และนอกเขตตัวเมือง 25 แห่ง ทำการคัดเลือกต้นมะม่วง (*Magifera indica* L.) จำนวน 10 ต้น ในพื้นที่ทำศึกษาแต่ละแห่ง สำรวจชนิดและความถี่ของไลเคนบนต้นไม้ที่เลือก โดยประยุกต์จากวิธีของ VDI (Verein Deutscher Ingenieure) Guideline 3799 part 1 บันทึกชนิดของไลเคนและความถี่ของไลเคนบนต้นไม้แต่ละชนิดโดยใช้กรอบสำรวจชนิดขนาด 20x50 ตารางเซนติเมตร ซึ่งประกอบด้วยช่องเล็กขนาด 10x10 ตารางเซนติเมตร จำนวน 10 ช่อง พบว่าในเขตตัวเมืองมีจำนวนชนิดและความถี่ของไลเคนน้อยกว่าในเขตนอกตัวเมือง จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ชนิดและความถี่ของไลเคนกลุ่มฟอลิโอสที่พบ สามารถจัดกลุ่มพื้นที่ศึกษาได้ 5 กลุ่ม โดยไลเคนในวงศ์ *Physciaceae* และ *Parmeliaceae* ทำให้มีการแบ่งออกเป็นกลุ่มดังกล่าว จำนวนประชากรในพื้นที่ซึ่งใช้แทนปริมาณของสารมลพิษในอากาศ ปริมาณน้ำฝน และสภาพทางภูมิศาสตร์มีผลต่อจำนวนและชนิดของไลเคนที่พบ ฝุ่นละอองอาจเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการกระจายตัวของไลเคนในพื้นที่ศึกษามากกว่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ นอกจากนี้ยังได้บรรยายลักษณะของไลเคนชนิดใหม่ของโลกที่พบในพื้นที่ศึกษาอีก 4 ชนิด

Keywords: Lichen diversity, Biomonitoring, Northern Thailand, Urban areas

Abstract

Project Code: MRG45080017

Project Title: Lichens Diversity and Indicator Species for Monitoring of Anthropogenic Impacts in Disturbed Lowland Area of Upper Northern Thailand

Investigator: Wanaruk Saipunkaew

E-Mail Address: wanaruk@chiangmai.ac.th

Project Period: 22 months

Lichen investigation was performed in lowland areas of seven provinces in upper northern Thailand. The objectives of the study were to study lichen diversity in urban and rural areas where high and low air pollution occurs, respectively, and to select indicator species which can be used for monitoring of human impacts. The total number of study areas was 32; 7 sites in cities and 25 sites in rural areas. Ten mango trees (*Mangifera indica* Linn.) were selected for lichen investigation in each site. Lichen species and their frequencies were recorded using a grid-frame size of 20x50 cm² with 10 small units size of 10x10 cm² according to a method which is adapted from VDI (Verein Deutscher Ingenieure) Guideline 3799 part 1. The result showed that few lichen species and frequencies were found in city sites, whereas more lichens were found in rural areas. The sites were statistically distinguished into five groups by contribution of distribution and frequencies of lichen in families Physciaceae and Parmeliaceae. Distribution and frequencies of lichens was depended on population number which reflects pollution level, rainfall and geographical ranges. Particulate matters also effect on lichen distribution rather than sulfurdioxide. Four new species of lichens found in study areas were described.

Keywords: Lichen diversity, Biomonitoring, Northern Thailand, Urban areas

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทนำ	1
วิธีการศึกษา	8
ผลการศึกษา	13
อภิปรายผลการศึกษา	23
สรุปผลการศึกษา	27
เอกสารอ้างอิง	29
Output จากโครงการ	33
ภาคผนวก	35

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	ช่วงของจำนวนประชากรในพื้นที่ศึกษา	11
2	พื้นที่ที่ทำการศึกษานิตและความถี่ของจำนวนไลเคน ทิศทางจากเขตตัวเมือง (Dir.) ความสูงจากระดับน้ำทะเล (Alt.) ตำแหน่งของพื้นที่ จำนวนประชากร (Pop.) ช่วงของประชากร (Pop.Range) ความเป็นกรด-ด่างของเปลือกไม้ที่ศึกษา และปริมาณน้ำฝนต่อปีโดยเฉลี่ย (มม.)	14
3	เปอร์เซ็นต์การพบ (percentage contribution) ไลเคนขนาดใหญ่แต่ละชนิดในกลุ่มพื้นที่ศึกษาภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ที่จัดกลุ่มโดย cluster analysis	17
4	เปอร์เซ็นต์การพบ (percentage contribution) ไลเคนขนาดใหญ่แต่ละชนิดในแต่ละจังหวัดในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย	18
5	ปริมาณของ SO ₂ ไกล่ผิวดิน โดยเฉลี่ยต่อเดือน ในเดือนกรกฎาคมและธันวาคม โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	24

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	ชนิดของไลเคนแบ่งตามโครงสร้างของทัลลัส	2
2	ภาพตัดขวางของแผ่นทัลลัสของไลเคนในกลุ่มฟอลิโอส	3
3	โครงสร้างการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของไลเคน	4
4	โครงสร้างการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของไลเคน	4
5	แผนที่แสดงจุดสำรวจชนิดและความถี่ของจำนวนไลเคนใน 7 จังหวัดภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย	10
6	dendrogram จาก cluster analysis ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด โดยการใช้ชนิดและความถี่ของจำนวนของไลเคนโดยเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษาแต่ละแห่งในการจัดกลุ่ม	15
7	การจัดกลุ่มของพื้นที่ศึกษาทั้งหมดโดยวิธี Multidimensional Scaling (MDS)	15
8	จำนวนชนิดของไลเคนขนาดใหญ่ (macrolichen) ที่พบในพื้นที่ศึกษากลุ่ม A, B, C, D และ E ตามการจำแนกกลุ่มโดย cluster analysis	19
9	Principal Components Analysis (PCA) ของความหลากหลายของไลเคนในพื้นที่ศึกษาทุกบริเวณและจำนวนประชากรในพื้นที่แต่ละแห่ง ช่วงของจำนวนประชากรและ เส้นรอบวงของต้นไม้ที่ทำการศึกษาไลเคน	20
10	Principal Components Analysis (PCA) ของความหลากหลายของไลเคนในพื้นที่ศึกษาแยกตามจังหวัดและ จำนวนของประชากร ช่วงของจำนวนประชากร ปริมาณน้ำฝนต่อปีเฉลี่ยและ เส้นรอบวงของต้นไม้ที่ทำการศึกษาไลเคน	21

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง มีการขยายตัวของเขตอุตสาหกรรม และชุมชนมากขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมขึ้น เช่น มลพิษทางน้ำ มลพิษอากาศ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ดังนั้นจึงควรมีการติดตามตรวจสอบสภาพแวดล้อมว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไรก็ตาม การตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม (environmental monitoring) โดยทั่วไปสามารถกระทำได้โดยสองลักษณะ ได้แก่ การตรวจสอบทางเคมีกายภาพ (physico-chemical monitoring) และการตรวจสอบทางชีวภาพ (biological monitoring) การตรวจสอบทางเคมีกายภาพมีข้อดีคือ สามารถตรวจวัดปริมาณมลพิษที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมได้ แต่ไม่สามารถตรวจสอบถึงผลของสารมลพิษนั้นต่อสิ่งมีชีวิตในสภาพแวดล้อมจริงๆ ได้ และเครื่องมือส่วนใหญ่มีวิธีการใช้ค่อนข้างซับซ้อนและมีราคาสูง ในขณะที่การตรวจสอบทางชีวภาพเป็นวิธีที่ใช้สิ่งมีชีวิตเป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป (bioindicator) วิธีนี้สามารถศึกษาผลของสารมลพิษต่อระบบนิเวศโดยรวม สิ่งมีชีวิตที่มีความไว (sensitive) ต่อสารมลพิษสูง จะสามารถใช้เป็นสัญญาณเตือนล่วงหน้าก่อนที่สารมลพิษนั้นจะมีผลต่อระบบนิเวศและสุขภาพของมนุษย์ นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่ค่อนข้างราคาถูก สามารถนำไปประยุกต์ใช้โดยชุมชนได้ สิ่งมีชีวิตหลายชนิดสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพได้ดี อย่างไรก็ตามในบางกรณีผู้ทำการศึกษาอาจต้องมีการประเมินในการจำแนกชนิดของสิ่งมีชีวิต รวมถึงการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้มา เนื่องจากอาจมีผลจากปัจจัยทางธรรมชาติอื่นที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นหากสามารถทำการตรวจสอบทั้งทางเคมีกายภาพและทางชีวภาพควบคู่กันไป จะทำให้ได้ผลการศึกษาที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ไลเคนเป็นสิ่งมีชีวิตที่ไม่ทนทานต่อมลพิษอากาศ การหายไปหรือการปรากฏของไลเคนบางชนิดรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของไลเคน จะเป็นสัญญาณเตือนถึงการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพอากาศ ดังนั้นไลเคนจึงถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้มลพิษอากาศที่แพร่หลายในประเทศในแถบยุโรป และในทวีปอเมริกา โดยมีวิธีการมาตรฐาน (standard method) ต่างๆ ในการใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ อย่างไรก็ตามการศึกษาการใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพอากาศในประเทศแถบเขตร้อนยังมีอยู่น้อยมาก ประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนซึ่งมีความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตสูง แต่ยังมีการศึกษาถึงความหลากหลายของชนิดของไลเคนที่พบและการนำมาใช้ประโยชน์อยู่น้อย ในขณะที่มีการบุกรุกที่อยู่อาศัยธรรมชาติ และมีการขยายตัวของเขตชุมชนออกไปเรื่อย ๆ ดังเช่นในบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ซึ่งเป็นที่ตั้งของหลายจังหวัดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญ ทำให้มีการตั้งถิ่นฐานมากขึ้น มีความหนาแน่นของประชากรสูง ส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศในชุมชน การศึกษาความหลากหลายของไลเคนในพื้นที่ดังกล่าว จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจและน่าศึกษา เพื่อการนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ต่อไป

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

- 1.1 เพื่อศึกษาความหลากหลายของไลเคน ในบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์มาก มีมลพิษอากาศสูง เช่น ในเขตตัวเมือง และบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากมนุษย์น้อยกว่าและมีมลพิษอากาศต่ำ เช่น นอกเขตตัวเมือง ตามชุมชนขนาดเล็ก ในเขตภาคเหนือตอนบน
- 1.2 เพื่อคัดเลือกหาชนิดของไลเคนที่เหมาะสม ที่จะใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ ในการตรวจสอบคุณภาพอากาศ และผลกระทบจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์
- 1.3 เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดทำฐาน (key) แบบง่าย สำหรับการจำแนกชนิดของไลเคนที่พบในบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากมลภาวะอากาศ ในเขตภาคเหนือตอนบน

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไลเคน

ไลเคนเป็นสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นจากการอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพากัน (mutualism) ของราและสาหร่ายสีเขียว หรือราและไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) ราทำหน้าที่รักษาความชื้นและป้องกันแสงที่มากเกินไปให้กับสาหร่าย ในขณะที่สาหร่ายจะสังเคราะห์แสงสร้างอาหารให้กับรา สิ่งมีชีวิตทั้งสองสร้างโครงสร้างที่มีลักษณะพิเศษเป็นแผ่นใบ เรียกว่าทัลลัส (thallus) ขึ้นมา ภายในประกอบด้วยราและสาหร่าย ไลเคนแบ่งตามโครงสร้างของทัลลัสได้เป็นกลุ่มใหญ่ 3 กลุ่ม (ภาพ 1) คือ

1. ครัสโตส (crustose) มีลักษณะเป็นแผ่นแนบติดเป็นเนื้อเดียวกับวัตถุที่ไลเคนเกาะอยู่ ไม่สามารถแกะออกจากวัตถุที่ไลเคนเกาะอยู่ได้ หากต้องการนำไลเคนออกมา ต้องนำพื้นผิวของวัตถุออกมาด้วย ไลเคนชนิดนี้พบได้ทั่วไป โดยเฉพาะบนวัตถุผิวเรียบ
2. ฟอลิโอส (foliose) มีลักษณะคล้ายใบไม้ มีทั้งที่มีแผ่นใบขนาดเล็กและขนาดใหญ่มองเห็นเป็นใบชัดเจน สามารถแกะไลเคนออกจากวัตถุที่เกาะอยู่ได้ บางชนิดมีโครงสร้างที่เรียกว่าไรซีน (rhizine) ซึ่งทำหน้าที่ยึดเกาะกับวัตถุต่างๆ แต่ไม่ดูดแร่ธาตุจากบริเวณที่ยึดเกาะ
3. ฟรุติโคส (fruticose) คล้ายหนวดเครา หรือมีลักษณะเป็นพุ่มเล็ก ๆ ห้อยลงมาจากวัตถุที่ถูกเกาะ มักจะพบในบริเวณที่มีความชื้นสูง เช่น ตามยอดเขาสูง ๆ ไลเคนกลุ่มนี้บางชนิดรู้จักกันดีในชื่อ “ฝอยลม”



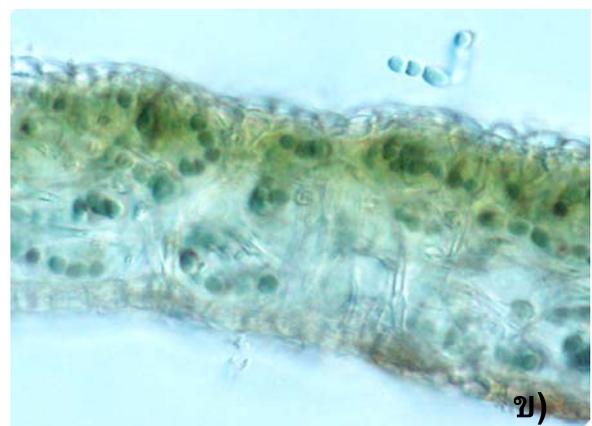
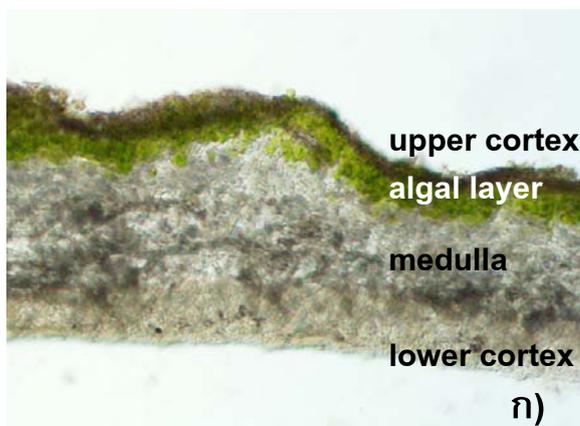
ภาพ 1 ชนิดของไลเคนแบ่งตามโครงสร้างของทัลลัส: ก) crustose ข) foliose ค) fruticose

โครงสร้างภายในของไลเคน

เมื่อตัดแผ่นทาลัสของไลเคนตามขวาง พบว่าภายในประกอบด้วยชั้นของราและสาหร่ายอยู่ร่วมกัน ทาลัสของไลเคนส่วนใหญ่จะแยกเป็นชั้นของราและชั้นของสาหร่ายค่อนข้างชัดเจน เช่น ทาลัสของไลเคนกลุ่มครัสโตสและพอลิโอส ในไลเคนบางชนิดอาจไม่พบการแบ่งชั้นที่ชัดเจน เช่น ในกลุ่มไลเคนที่มีไซยาโนแบคทีเรียอยู่ ซึ่งไซยาโนแบคทีเรียจะกระจายตัวอยู่ทั่วไปในทาลัสจึงไม่พบชั้นของราและสาหร่ายที่ชัดเจน

การแบ่งลำดับชั้นของแผ่นทาลัสของไลเคนในกลุ่มพอลิโอสจากผิวบนไปด้านล่างของทาลัสอาจแบ่งได้ดังนี้ (ภาพ2)

1. ชั้นคอร์เทกซ์ด้านบน (upper cortex) เป็นชั้นที่มีเส้นใยของราสานกันแน่น
2. ชั้นสาหร่าย (algal layer) บริเวณนี้มีเซลล์ของสาหร่ายอยู่ปะปนกับเส้นใยของราที่พันกัน สาหร่ายอยู่ก่อนมาชั้นบนเนื่องจากจะต้องได้รับแสงเพียงพอในการสังเคราะห์แสง
3. ชั้นเมดูลลา (medulla) หรือชั้นของรา บริเวณนี้เป็นชั้นที่มีเส้นใยของราพันกันอย่างหลวมๆ
4. ชั้นคอร์เทกซ์ด้านล่าง (lower cortex) เป็นบริเวณที่มีเส้นใยของราสานกันอยู่อย่างหนาแน่น ไลเคนบางชนิดมีไรซีน (rhizine) ซึ่งมีลักษณะคล้ายราก อยู่ด้านล่างของแผ่นทาลัส มีหน้าที่ช่วยในการยึดเกาะ



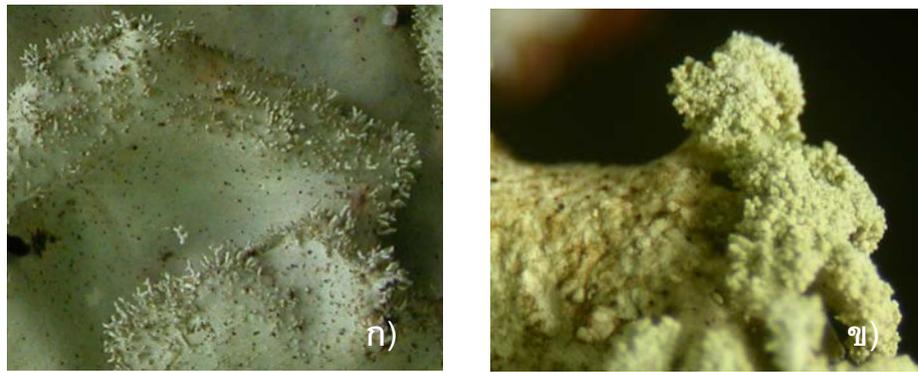
ภาพ 2 ภาพตัดขวางของแผ่นทาลัสของไลเคนในกลุ่มพอลิโอส ก) ไลเคนพอลิโอสที่มีสาหร่ายสีเขียวและมีการแบ่งชั้นชัดเจน ข) ไลเคนพอลิโอสที่มีไซยาโนแบคทีเรียและไม่มี การแบ่งชั้นชัดเจน

ในไลเคนกลุ่มครัสโตสชั้นของเมดูลลาจะติดกับวัตถุที่ไลเคนเกาะโดยตรงโดยไม่มีชั้นคอร์เทกซ์ด้านล่าง ส่วนกลุ่มฟรุติโคสเมื่อตัดทาลัสตามขวาง จะมีการแบ่งชั้นชัดเจน โดยชั้นนอกสุดเป็นชั้นที่ราสานตัวกันแน่นเป็นชั้น cortex ถัดเข้าไปเป็นชั้นของสาหร่ายอยู่ปะปนกับเส้นใยของรา และข้างในสุดเป็นแกนกลางที่เป็นบริเวณที่มีเส้นใยของราที่สานกันแน่น

การสืบพันธุ์ของไลเคน

ไลเคนสามารถสืบพันธุ์ได้ ทั้งแบบไม่อาศัยเพศ และแบบอาศัยเพศ

1. แบบไม่อาศัยเพศ ไลเคนจะสร้างโครงสร้างที่เรียกว่าไอซิเดีย (isidia) มีลักษณะเป็นแท่งเล็ก ๆ คล้ายนิ้วมืออยู่บนผิวบนของทัลลัส หรือเป็นผงคล้ายผงแป้ง เรียกว่า ซอริเดีย (soredia) กระจายอยู่บนผิวบนของทัลลัสเช่นกัน (ภาพ 3)



ภาพ 3 โครงสร้างการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของไลเคน: ก) isidia ข) soredia

โครงสร้างทั้งสองประกอบด้วยราและสาหร่ายอยู่ร่วมกัน เมื่อน้ำฝนชะลงตามกิ่งไม้ ก้อนหิน หรือวัตถุที่ไลเคนเกาะอยู่ หรือมีสัตว์ผ่านมา เช่น แมลง นก จะทำให้โครงสร้างนี้หลุดออกมาจากไลเคนต้นแม่ และเมื่อตกลงบนบริเวณที่มีสภาพแวดล้อมเหมาะสมกับการเจริญ ก็จะออกเป็นไลเคนทัลลัสใหม่ต่อไป

2. แบบอาศัยเพศ ส่วนที่มีบทบาทสำคัญคือราที่อยู่ในไลเคน ราจะสร้างสปอร์ขึ้นมา ซึ่งมีรูปร่างแตกต่างกันออกไป สามารถใช้ในการจำแนกชนิดไลเคนได้ สปอร์จะอยู่ในโครงสร้างที่เรียกว่า fruiting body ซึ่งมีรูปร่างและสีที่แตกต่างกันออกไปตามแต่ชนิดของไลเคน บางชนิดมีรูปร่างคล้ายถ้วยหงาย (apothecia) บางชนิดมีรูปร่างคล้ายถ้วยคว่ำมีรูเปิดตรงกลาง (perithecia) หรือบางชนิดมีผลมีลักษณะคล้ายอักษรจีน (lirellate apothecia) เมื่อสปอร์ที่อยู่ภายใน fruiting body แก่จะหลุดออกมา และจับคู่กับสาหร่ายที่เหมาะสมเพื่อเจริญเป็นไลเคนทัลลัสใหม่



ภาพ 4 โครงสร้างการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของไลเคน: ก) apothecia ข) perithecia
ค) lirellate apothecia

ไลเคนส่วนใหญ่จะสร้าง fruiting body เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม และมีมลพิษอากาศต่ำในเมืองใหญ่ที่มีมลพิษอากาศสูง ไลเคนส่วนใหญ่จะสร้างโครงสร้างการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศขึ้นมา มักจะไม่พบการสร้าง fruiting body อย่างไรก็ตามไลเคนบางชนิดสามารถสร้าง fruiting body ได้ในที่มีมลพิษอากาศ เช่น ไลเคนกลุ่มครัสโตสบางชนิดที่พบในตัวเมืองเชียงใหม่สามารถสร้าง fruiting body ขึ้นมา

การกระจายตัวของไลเคน

ไลเคนพบได้ทั่วไปจากชายฝั่งทะเล จนกระทั่งถึงยอดเขาสูง โดยมีความหลากหลายสูงสุดในเขตร้อน (Hawksworth & Rose, 1979) สามารถเจริญได้บนวัตถุที่ผิวไม่หลุคร่อนง่าย เช่น ก้อนหิน เปลือกไม้ แม้แต่บนวัตถุที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น กำแพงอิฐ รั้วไม้ ขวดแก้ว

การศึกษาไลเคนและมลพิษอากาศ

ในปี ค.ศ. 1810 D. Turner และ W. Borrer ได้สังเกตเห็นว่าไลเคนไม่ทนทานต่อมลพิษอากาศ (Hawksworth and Rose, 1976) ต่อมา William Nylander บันทึกไว้ว่า จำนวนของไลเคนที่พบในกรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส ได้ลดลงเมื่อเกิดมลพิษอากาศสูง Nylander ได้สรุปจากงานวิจัยในปี ค.ศ. 1866 และ 1896 ว่า อาจสามารถใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพสำหรับตรวจสอบมลพิษอากาศได้ (Seaward and Letrouit – Galinou, 1991) และพบว่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเผาถ่านหินในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นสาเหตุที่ทำให้ไลเคนตายไป ในช่วงกลางของศตวรรษที่ 20 ไลเคนถูกใช้เป็นตัวตรวจสอบคุณภาพอากาศอย่างแพร่หลาย (Nimis *et al.*, 1990) ในปี ค.ศ. 1970 Hawksworth และ Rose ได้จัดทำสเกลสำหรับการประมาณค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ในอากาศ โดยใช้ชนิดไลเคนที่พบเป็นตัวบ่งชี้เป็นครั้งแรก (Hawksworth and Rose, 1976) ต่อมาเมื่อมีการควบคุมปริมาณของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อย่างเข้มงวด มีผลทำให้หลายเมืองใหญ่ในประเทศในเขตยุโรปมีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลง อย่างไรก็ตาม Purvis *et al.* (2002) พบว่าในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา มลพิษหลักที่มีผลต่อไลเคนที่พบในกรุงลอนดอนไม่ใช่ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์อีกต่อไป แต่เป็นฝุ่นละอองและไนโตรเจนออกไซด์จากการจราจร การใช้ไลเคนบ่งบอกคุณภาพอากาศยังคงมีการศึกษาอย่างต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน

ไลเคนตอบสนองต่อมลพิษอากาศอย่างรวดเร็วเนื่องจากสาเหตุดังต่อไปนี้ (VDI, 1995)

1. ไลเคนรับสารอาหารเข้าสู่ทลลัสโดยตรงจากบรรยากาศ เนื่องจากไลเคนไม่มีชั้นของ cuticle เคลือบทลลัสอยู่ ซึ่งแตกต่างจากใบของพืชชั้นสูงทั่วไป ซึ่งมีชั้น cuticle เคลือบและป้องกันอันตรายให้แก่ใบพืช
2. ไลเคนมีอัตราเมตาโบลิซึมสูงขึ้นเมื่อทลลัสเปียกชื้น อัตราการรับสารต่างๆ จากภายนอกเข้าสู่ทลลัสเพิ่มขึ้น ดังนั้นทลลัสที่เปียกชื้นจึงมีความไวต่อมลพิษมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับทลลัสที่แห้ง

3. อัตราการเจริญของไลเคนค่อนข้างต่ำ การเติบโตเป็นไปอย่างช้าๆ แต่มีอายุยืนยาว และไม่มี การผลิตส่วนใดส่วนหนึ่งของทัลลัส ซึ่งต่างจากพืชชั้นสูงส่วนใหญ่ที่มีการผลิตใบ ดังนั้นสารต่างๆ จึงมี โอกาสสะสมไว้ในไลเคนได้มาก

4. สมดุลย์ของการอยู่ร่วมกันระหว่างเชื้อราและสาหร่ายค่อนข้างเปราะบาง หากมีการ เปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม หรือมีมลพิษเกิดขึ้นในบริเวณที่ไลเคนอยู่ อาจมีผลต่อการเจริญหรือทำให้ไล เคนตายได้

มลพิษอากาศยังมีผลต่อเมตาโบลิซึมต่าง ๆ ของไลเคน เช่น การหายใจ การตรึงไนโตรเจน ในไลเคนที่มีไซยาโนแบคทีเรียอยู่ นอกจากนี้ในสภาวะที่เป็นกรด คลอโรฟิลล์เอของไลเคนจะถูกทำลาย กลายเป็นฟิโอฟิตินเอ ทำให้ความสามารถในการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายลดลง ส่งผลต่อทัลลัส ทั้งหมด โลหะหนักที่ตกค้างในสิ่งแวดล้อมยังมีผลทำลายผนังเซลล์ ทำให้การเติบโตของไลเคนลดลง และอาจตายลงในที่สุด มลพิษอากาศในเขตเมืองใหญ่ยังส่งผลต่อโครงสร้างของกลุ่มสังคมไลเคนที่พบ ไลเคนบางชนิดมีการกระจายตัวกว้างในเขตชุมชนที่มีกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์อยู่มาก เช่น *Hyperphyscia adglutinata* (Frati and Brunialti, 2006) หรือมีการสะสมของสารมลพิษภายในไลเคน Gembert *et al.* (2003) ศึกษาไลเคนในเขตชุมชนพบว่าปริมาณของไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในไลเคน *Physcia adscendens* มีปริมาณสัมพันธ์กับระยะห่างจากถนนและขนาดของถนน โดยมีปริมาณ ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ใกล้ถนนที่มีขนาดใหญ่

การตรวจสอบมลพิษอากาศโดยใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ

การตรวจสอบมลพิษอากาศโดยอาศัยไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ อาจทำได้โดย 2 วิธีหลัก ด้วยกัน (VDI, 1995) ได้แก่

1. การขนย้ายไลเคน (*Transplant method*) ไลเคนจะถูกย้ายมาจากบริเวณที่มีคุณภาพอากาศดี และนำมาไว้ในบริเวณที่คาดว่ามลพิษอากาศเกิดขึ้น จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง ผู้ทำการศึกษ จะบันทึกลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปของไลเคน เช่น สีของทัลลัสที่เปลี่ยนไป หรืออาจมีบางบริเวณ ของทัลลัสที่ตายไป นอกจากนี้อาจมีการเก็บตัวอย่างไลเคนที่ถูกย้ายมา เพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสาร ต่างๆภายในไลเคน หรือตรวจสอบปริมาณคลอโรฟิลล์ซึ่งจะมีปริมาณลดลงหากเกิดสภาวะที่เป็นกรดขึ้น วิธี *Transplant method* จะใช้เมื่อไม่พบไลเคนในบริเวณพื้นที่ศึกษา หรือพบในปริมาณน้อยมาก

2. การทำแผนที่ไลเคน (*Mapping of lichen*) โดยสำรวจไลเคนบนต้นไม้หรือบนวัตถุต่างๆ ใน บริเวณพื้นที่ศึกษา บันทึกความถี่ (*Frequency*) ของจำนวนไลเคน และชนิดที่ปรากฏอยู่ เนื่องจากไลเคน บางชนิดมีความทนทานต่อมลภาวะอากาศ ในขณะที่อีกหลายชนิดไม่ทนทานต่อมลพิษอากาศ ดังนั้น ความถี่และชนิดของไลเคนจึงสามารถบ่งบอกถึงคุณภาพอากาศได้ โดยที่ความถี่และชนิดจะลดลงเมื่อมี มลพิษอากาศสูง ในบริเวณที่มีมลพิษอากาศอาจพบไลเคนชนิดที่ทนทานต่อมลพิษในความถี่ที่สูงกว่า ชนิดที่ไม่ทนทานต่อมลพิษ แต่เมื่อระยะห่างจากแหล่งมลพิษเพิ่มขึ้น จะพบไลเคนหลายชนิดมากขึ้น ขณะเดียวกันความถี่ของไลเคนที่ทนทานต่อมลพิษก็จะลดลง เนื่องจากเกิดการแก่งแย่งแข่งขันกับไลเคน ชนิดอื่น จากนั้นนำข้อมูลความถี่และชนิดของไลเคนที่ได้มาจัดทำแผนที่แสดงบริเวณที่มีคุณภาพอากาศ

ที่แตกต่างกันได้ วิธีนี้นิยมใช้กับไลเคนที่เกาะอยู่ตามเปลือกของต้นไม้ และเป็นการตรวจสอบผลกระทบจากสารมลพิษที่มีต่อกลุ่มไลเคนที่เกิดขึ้นเป็นเวลานานในบริเวณศึกษาแห่งนั้น

การศึกษาความหลากหลายชนิดของไลเคนและการใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพในประเทศแถบเอเชีย ยังมีอยู่น้อยมาก Thrower (1980) ได้ทำการศึกษาไลเคนในประเทศฮ่องกง และพบว่าการกระจายตัวของไลเคนมีผลมาจากมลพิษอากาศจากโรงไฟฟ้า ถ่านหิน และอุตสาหกรรมหนัก Lee *et al.* (1982) จัดทำแผนที่แสดงคุณภาพอากาศโดยใช้ไลเคน และสรุปว่าไลเคนสามารถใช้ในการตรวจสอบคุณภาพอากาศ ที่กรุงโซล ประเทศเกาหลีได้

สำหรับการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับไลเคนในประเทศไทยยังมีน้อยมากเช่นกัน ในปี พ.ศ. 2533 ได้มีการใช้ไลเคนเป็นดัชนีบ่งชี้มลภาวะอากาศในกรุงเทพมหานคร (กัณฑ์ศรี, 2544) และมีการศึกษานุกรมวิธาน และความหลากหลายชนิดของไลเคนอย่างต่อเนื่องโดยหน่วยวิจัยไลเคน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปัจจุบันพบไลเคนในประเทศไทย ประมาณ 5,600 สกุลและ 1,200 ชนิด (กัณฑ์ศรี, 2544) แต่ก็ยังคงมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไลเคนบ่งบอกถึงคุณภาพของสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยอยู่น้อย ในปี ค.ศ. 1995 German Association of Engineer (Verien Deutscher Ingenieure, VDI) ได้เสนอวิธีการมาตรฐานในการทำแผนที่แสดงคุณภาพอากาศในยุโรป โดยใช้ความถี่ของจำนวนไลเคนที่พบบนต้นไม้ ยังมีความถี่เฉลี่ยของไลเคนมาก ก็ยิ่งแสดงถึงคุณภาพอากาศที่ดีขึ้น Saipunkaew (1994) จึงได้ประยุกต์วิธีการของ VDI (1995) ในการจัดทำแผนที่คุณภาพอากาศของเขตตัวเมือง จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้ความถี่ของจำนวนไลเคนชนิดต่าง ๆ ที่พบในพื้นที่ พบว่าบริเวณที่จัดเป็นเขตมีมลพิษอากาศสูง ได้แก่ บริเวณกลางตัวเมืองซึ่งมีเขตชุมชนอยู่หนาแน่น มีกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์อยู่มาก มีปริมาณการจราจรสูง ขณะที่บริเวณรอบนอกเขตชุมชนจะพบไลเคนหลายชนิดและเป็นเขตที่มีคุณภาพอากาศดีกว่า

Saipunkaew (2000) ได้ประยุกต์วิธีการของ VDI (1995) ในการสำรวจไลเคนในบริเวณจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ไลเคนมีจำนวนชนิดและความถี่เฉลี่ยของจำนวนสูงสุดในบริเวณดอยสุเทพ และต่ำสุดในบริเวณตัวเมืองจังหวัดเชียงใหม่ Saipunkaew *et al.* (2006) พบว่าความสูงจากระดับน้ำทะเลมีผลต่อการกระจายตัวของไลเคน ในพื้นที่ที่เป็นภูเขาบริเวณจังหวัดเชียงใหม่พบไลเคนกลุ่มฟอเลียโอสเป็นกลุ่มเด่น ในขณะที่บริเวณที่ราบที่อยู่ในความสูงจากระดับน้ำทะเลต่ำกว่า พบไลเคนกลุ่มครัสโตสเป็นกลุ่มเด่น ไลเคนส่วนใหญ่ที่พบในพื้นที่ราบในจังหวัดเชียงใหม่ที่มีการรบกวนจากมนุษย์ เป็นไลเคนวงศ์ Physiaceae ซึ่งเป็นไลเคนกลุ่มที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ปรวนแปรได้ดี เช่น ทนทานต่อความแห้งแล้ง หรือปริมาณแสงแดดที่มีมาก

วิธีการศึกษา

1. ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาครอบคลุมบริเวณภาคเหนือตอนบน ประกอบด้วย 7 จังหวัด ได้แก่ แม่ฮ่องสอน เชียงราย เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง น่าน และพะเยา ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูงทอดตัวเป็นแนวยาวจากทิศเหนือลงมายังทิศใต้สลับกับแอ่งแผ่นดินทรุดต่ำหรือที่ราบระหว่างภูเขา เฉลี่ยความสูงของยอดเขาสูงประมาณ 1,600 เมตรจากระดับน้ำทะเล ที่ราบระหว่างภูเขามีความสูงประมาณ 200-300 เมตรจากระดับน้ำทะเล บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเป็นที่ราบแคบๆ ดินมีความอุดมสมบูรณ์จึงเป็นบริเวณที่มีการตั้งถิ่นฐานของประชากรอยู่หนาแน่น (วรรณิ, 2546)

ภาคเหนือของประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี 26.5 องศาเซลเซียส ฤดูฝนจะเริ่มจากปลายเดือนพฤษภาคมถึงปลายเดือนกันยายนหรือต้นเดือนตุลาคม โดยได้รับอิทธิพลหลักจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดพาฝนมา มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยประมาณ 1,200 มิลลิเมตรต่อปี จากนั้นจะเข้าสู่ฤดูหนาวในช่วงกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดพาความหนาวเย็นจากจีนลงมา อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 23.6 องศาเซลเซียส ในช่วงฤดูร้อนซึ่งเริ่มจากกลางเดือนกุมภาพันธ์จนถึงกลางเดือนพฤษภาคม ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเริ่มอ่อนกำลังลงในขณะที่ลมตะวันออกเฉียงใต้มีกำลังแรงขึ้น การปะทะกันของกระแสอากาศดังกล่าวอาจทำให้เกิดพายุในภาคเหนือได้ อุณหภูมิในฤดูร้อนจะสูงขึ้น โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 28.8 องศาเซลเซียส (วรรณิ, 2546)

ในอดีตบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยเป็นพื้นที่ที่มีป่าไม้สมบูรณ์ ในปี พ.ศ. 2525 พบว่าป่าไม้ในภาคเหนือครอบคลุมพื้นที่ 56 % ของพื้นที่ป่าไม้ทั้งประเทศ (กรมป่าไม้, 2548) ประกอบด้วยป่าไม้หลายชนิด เช่น ป่าไม้ผลัดใบ (evergreen forest) ซึ่งอยู่บริเวณที่มีความสูงตั้งแต่ 1,000 เมตรจากระดับน้ำทะเลขึ้นไป ป่าผลัดใบซึ่งพบในบริเวณที่มีความสูงต่ำกว่า 900 เมตรจากระดับน้ำทะเล นอกจากนี้ยังพบป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรังในพื้นที่ราบ (Santisuk, 1988) พบสักและต้นไม้วงศ์ Leguminosae เป็นกลุ่มเด่นในป่าในพื้นที่ราบ อย่างไรก็ตามการสัมปทานป่าไม้ในอดีตและการขยายตัวของพื้นที่เกษตรกรรมและเขตชุมชนทำให้มีการสูญเสียพื้นที่ป่าธรรมชาติอย่างรวดเร็ว ยกเว้นในบริเวณพื้นที่อนุรักษ์ (Santisuk, 1988) นอกจากนี้พื้นที่ป่ายังได้รับผลกระทบจากไฟป่าที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง พื้นที่ราบลุ่มธรรมชาติในภาคเหนือส่วนมากได้ถูกบุกรุกเพื่อการเกษตรกรรมและเป็นที่ตั้งของเขตชุมชนต่าง ๆ ในแต่ละจังหวัด ซึ่งประกอบไปด้วยชุมชนขนาดใหญ่ มีประชากรจำนวนมาก เช่น ตัวเมืองจังหวัดเชียงใหม่ และชุมชนขนาดเล็ก มีจำนวนประชากรน้อยกว่า เช่น หมู่บ้านต่าง ๆ ที่อยู่รอบนอกเขตตัวเมือง

2. การเลือกพื้นที่เก็บตัวอย่างไลเคน

คัดเลือกพื้นที่ศึกษาในที่ราบลุ่มของทั้ง 7 จังหวัดในภาคเหนือตอนบน ได้แก่ แม่ฮ่องสอน เชียงราย เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง น่าน และพะเยา ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลใกล้เคียงกันเพื่อหลีกเลี่ยงอิทธิพลจากความสูงจากระดับน้ำทะเลที่มีต่อสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น โดยกำหนดพื้นที่ในเขตตัวเมืองซึ่งเป็นเขตชุมชนขนาดใหญ่ มีจำนวนประชากรหนาแน่นและเป็นบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์สูง ได้แก่ การจราจร และกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การเผาขยะ การก่อสร้าง และในเขตนอกตัวเมืองซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม เป็นที่อยู่อาศัยหรือชุมชนขนาดเล็ก เช่น หมู่บ้าน มีจำนวนประชากรน้อย และเป็นบริเวณที่มีการจราจร และกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ต่ำ จึงคาดว่ามลพิษอากาศต่ำ เลือกพื้นที่ทำการศึกษาในเขตตัวเมืองจังหวัดละหนึ่งแห่ง และบริเวณนอกตัวเมือง ในทิศทางที่แตกต่างกันจากเขตตัวเมือง เพื่อศึกษาการกระจายของมลพิษอากาศจากเขตตัวเมือง (ภาพ 5)

3. การสำรวจชนิดและความถี่ของจำนวนของไลเคนบนต้นไม้ในบริเวณพื้นที่ศึกษา

3.1 การคัดเลือกต้นไม้สำหรับการสำรวจไลเคน

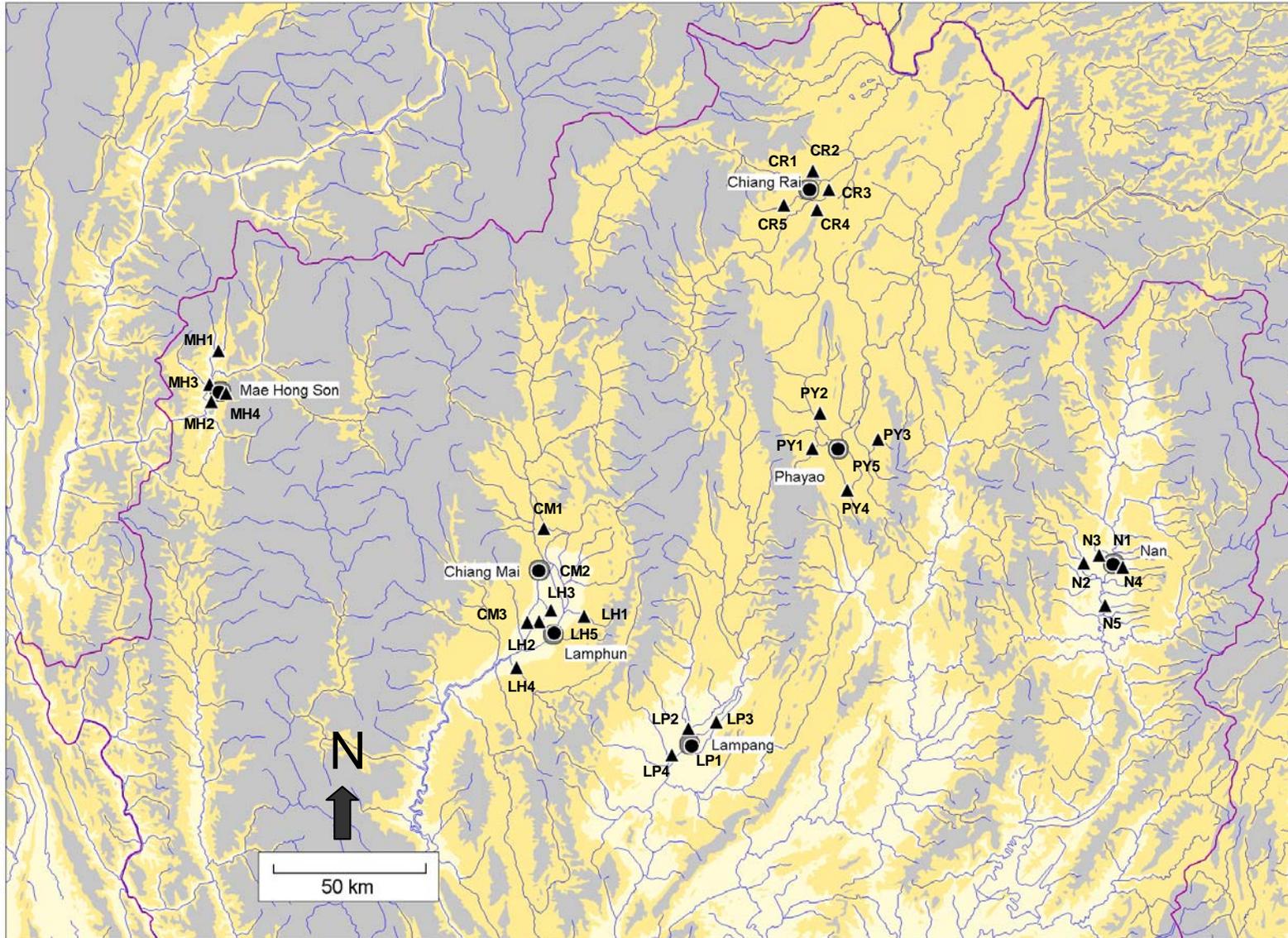
ทำการคัดเลือกหาชนิดของต้นไม้ที่เหมาะสม สำหรับการสำรวจชนิดและความถี่ของไลเคน โดยคัดเลือกต้นมะม่วง (*Magifera indica* L.) เนื่องจากเป็นต้นไม้ที่พบได้ทั่วไปบริเวณพื้นที่ศึกษา มีลำต้นตรงเหมาะแก่การวางกรอบสำรวจชนิดและความถี่ของไลเคน (grid-frame) ทำการคัดเลือกต้นไม้ที่มีเส้นรอบวงไม่ต่ำกว่า 60 เซนติเมตร ที่ระดับความสูง 150 เซนติเมตร จากพื้นดิน และมีลำต้นที่สมบูรณ์ไม่ได้รับความเสียหายใด ๆ จำนวน 10 ต้น เพื่อสำรวจไลเคนในพื้นที่ทำการศึกษาแต่ละแห่ง

3.2 การสำรวจชนิดและความถี่ของไลเคนบนต้นไม้ที่เลือกศึกษา

สำรวจชนิดและความถี่ของไลเคนบนต้นไม้ที่เลือก โดยประยุกต์จากวิธี VDI (Verein Deutscher Ingenieure) Guideline 3799 part 1 บันทึกชนิดและความถี่ของไลเคนโดยใช้กรอบสำรวจชนิดขนาด 20 x 50 ตารางเซนติเมตร ซึ่งแบ่งเป็นช่องขนาดเล็ก อีก 10 ช่อง ช่องละ 10x10 ตร.ซม. วางกรอบสำรวจบนลำต้นของต้นไม้ในด้านที่มีไลเคนเจริญหนาแน่นที่สุด ให้ขอบล่างของกรอบสำรวจสูง 1 เมตร จากระดับพื้นดิน บันทึกชนิดของไลเคนและความถี่ของจำนวนของแต่ละชนิดที่ปรากฏในแต่ละช่อง โดยนับจำนวนช่องเล็กที่ไลเคนแต่ละชนิดปรากฏอยู่ หากมีจำนวนทอลล์ของไลเคนชนิดเดียวกันมากกว่า 1 ทอลล์อยู่ในช่องเดียวกัน ให้บันทึกความถี่ของไลเคนช่องนั้นเท่ากับ 1 บันทึกความถี่รวมของไลเคนทั้งหมดบนต้นไม้แต่ละต้น

3.3 การบันทึกข้อมูลทางกายภาพเพื่อประกอบการศึกษา

บันทึกข้อมูลอื่น ๆ เพิ่มเติม เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ผลการวิจัย เช่น ทิศทางที่วางกรอบสำรวจบนต้นไม้ ลักษณะพื้นผิวของเปลือกไม้ เส้นรอบวงของต้นไม้ที่สำรวจ ลักษณะการใช้พื้นที่ในบริเวณที่สำรวจ ปริมาณการจราจร เป็นต้น สำหรับข้อมูลของสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษา เช่น ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และอุณหภูมิ ได้รับข้อมูลจากศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดละหนึ่งแห่ง เนื่องจากไม่มีสถานีตรวจสภาพภูมิอากาศในทุกพื้นที่ที่สำรวจไลเคน



ภาพ 5 แผนที่แสดงจุดสำรวจชนิดและความถี่ของจำนวนไลเคนใน 7 จังหวัดภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

4 การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเปลือกไม้ที่ไลเคนเจริญอยู่

ความเป็นกรด-ด่างของวัตถุที่ไลเคนยึดเกาะอยู่มีความสำคัญต่อการเติบโตและชนิดของไลเคนที่พบ ทำการเก็บตัวอย่างเปลือกไม้ของต้นไม้ที่เก็บตัวอย่างไลเคนในพื้นที่ทำการศึกษแต่ละแห่ง โดยเก็บเปลือกไม้ที่ระดับความสูง 1.0-1.5 เมตร จากพื้นดิน เพื่อตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของเปลือกไม้โดยวิธีการของ Staxäng (1969) เก็บตัวอย่างเปลือกไม้หนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร อบให้แห้ง จากนั้นชั่งน้ำหนักตัวอย่างเปลือกไม้ที่อบแห้งมา 2 กรัม บดตัวอย่าง และนำไปแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดความเป็นกรด-ด่างของสารละลายโดยใช้ pH meter

3.5 การกำหนดช่วงของจำนวนประชากรในพื้นที่ศึกษา

เนื่องจากไม่สามารถตรวจวัดคุณภาพอากาศเพื่อหาชนิดและปริมาณของสารมลพิษชนิดต่าง ๆ ในบรรยากาศที่มีผลต่อการเติบโตของไลเคน โดยใช้เครื่องมือตรวจวัดในทุกพื้นที่ศึกษา จึงได้ใช้ข้อมูลจำนวนประชากรของพื้นที่ศึกษาแต่ละแห่งแทนปริมาณของมลพิษที่ถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศ โดยคาดว่าหากประชากรมีจำนวนมาก มลพิษอากาศที่มาจากกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การจราจร การเผาไหม้ ก็มีเพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากร เนื่องจากจำนวนของประชากรในพื้นที่ศึกษามีตั้งแต่จำนวนน้อยในพื้นที่รอบนอกเขตตัวเมืองซึ่งเป็นหมู่บ้านขนาดเล็กและพื้นที่เกษตรกรรม จนกระทั่งมีจำนวนประชากรมากในเขตตัวเมือง จึงแบ่งจำนวนประชากรออกเป็น 6 ช่วง จากน้อย (ช่วงที่ 1) ไปมาก (ช่วงที่ 6) ดังตาราง 1

ตาราง 1 ช่วงของจำนวนประชากรในพื้นที่ศึกษา

ช่วงที่	จำนวนประชากร (คน)
1	ต่ำกว่า 100
2	100-500
3	501-1,000
4	1001-10,000
5	10,001-100,000
6	มากกว่า 100,000

4. การจำแนกชนิดของไลเคน

จำแนกชนิดของไลเคนในภาคสนาม สำหรับตัวอย่างไลเคนที่ไม่สามารถจำแนกชนิดในภาคสนาม นำมาทำการจำแนกชนิดในห้องปฏิบัติการหน่วยวิจัยตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และที่ Lichen Unit, Cryptogamic Section, Botany Department, the Natural History Museum, UK โดยการจำแนกชนิดได้กล้อง stereomicroscope, compound microscope, UV lamp, spot test ตัวอย่างของไลเคนที่จำแนกชนิดแล้วจะนำมาเก็บไว้ที่หอพรรณไม้ของ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ และ The Natural History Museum, London

5. การวิเคราะห์ข้อมูลจากการศึกษา

นำข้อมูลความถี่ของจำนวนไลเคนที่ได้จากการศึกษาและข้อมูลประกอบอื่น ๆ มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม PRIMER 6 ทำการวิเคราะห์ความคล้ายคลึงและความแตกต่างระหว่างกลุ่มไลเคนในแต่ละพื้นที่โดยใช้วิธี Principle Component Analysis (PCA), Non-Metric Multi Dimensional Scaling (MDS) และ Cluster Analysis (CA) หาความคล้ายคลึง (similarity) ระหว่างพื้นที่ศึกษาโดยใช้ค่าเฉลี่ยของความถี่ของจำนวนไลเคนบนต้นไม้ทั้งหมดในแต่ละพื้นที่ศึกษาในการวิเคราะห์ MDS และ Cluster Analysis โดยใช้ Bray-Curtis coefficient วิเคราะห์องค์ประกอบของชนิด (species compositions) ภายในพื้นที่ศึกษาโดยใช้ SIMPER (SIMilarity PERcentage contribution) ในโปรแกรม PRIMER 6 เฟคเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ความสูงจากระดับน้ำทะเล ปริมาณน้ำฝนต่อปีโดยเฉลี่ย ช่วงของจำนวนประชากร ความหลากหลายของไลเคนในกลุ่มไลเคนขนาดใหญ่ เส้นรอบวงและค่าความเป็นกรด-ด่างของต้นไม้ที่ทำการเก็บตัวอย่างไลเคน

ผลการศึกษา

พื้นที่ศึกษาที่ทำการสำรวจไลเคนมีจำนวนทั้งสิ้น 32 แห่ง ประกอบด้วยพื้นที่ศึกษาที่เป็นเขตตัวจังหวัด 7 แห่ง และบริเวณรอบนอก 25 แห่ง ซึ่งแต่ละบริเวณมีจำนวนประชากรแตกต่างกันออกไป จัดให้อยู่ในช่วงของประชากรที่แบ่งไว้ตามตาราง 1 บริเวณที่มีประชากรจำนวนมากที่สุด ได้แก่ เขตตัวเมืองจังหวัดเชียงใหม่ อยู่ในช่วงของประชากรที่ 6 (มากกว่า 100,000 คน) ส่วนบริเวณที่มีจำนวนประชากรน้อยที่สุด ได้แก่ พื้นที่ศึกษาในจังหวัดแม่ฮ่องสอน (ต่ำกว่า 100 คน) ยกเว้นในเขตตัวเมือง ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเปลือกไม้ของต้นไม้ที่ทำการศึกษาไลเคน อยู่ในช่วง 4.79 ถึง 5.46 เปลือกไม้ที่เก็บตัวอย่างมาจากนอกเขตตัวเมืองมีค่า pH สูงกว่าตัวอย่างเปลือกไม้จากในเขตตัวเมือง สำหรับปริมาณน้ำฝนต่อปีโดยเฉลี่ยสูงสุดวัดได้ที่จังหวัดเชียงราย (1,716.04 มิลลิเมตร) และปริมาณต่ำสุดวัดได้ที่จังหวัดลำพูน (1,062.24 มิลลิเมตร) ดังตาราง 2

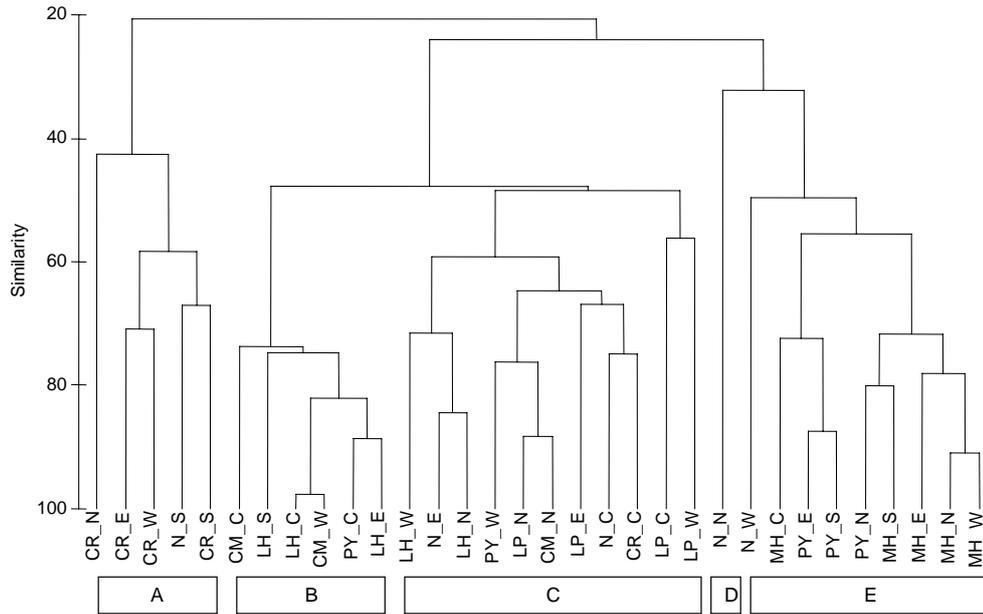
ทำการจำแนกไลเคนในกลุ่มไลเคนขนาดใหญ่ (macrolichen) ได้แก่ ไลเคนในกลุ่มสแควมูโลส (squamulose) กลุ่มฟอลิโอส และกลุ่มฟรูติโคสจนถึงระดับชนิด ส่วนไลเคนในกลุ่มไลเคนขนาดเล็ก (microlichen) ได้แก่ ไลเคนในกลุ่มครัสโตส ได้ทำการจำแนกถึงระดับสกุล เนื่องจากขาดข้อมูลและเอกสารที่จำเป็นในการแยกชนิดของไลเคนกลุ่มนี้ในเขตร้อน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความหลากหลายของไลเคนสูง แต่ยังมีการศึกษาอยู่น้อย จึงทำให้จำแนกถึงระดับชนิดได้ยาก

จากการสำรวจชนิดและความถี่ของไลเคนขนาดใหญ่ในพื้นที่ศึกษา พบเพียงไลเคนในกลุ่มฟอลิโอส แต่ไม่พบกลุ่มสแควมูโลส และกลุ่มฟรูติโคส ไลเคนกลุ่มฟอลิโอสที่สำรวจพบมี 24 ชนิด ใน 9 สกุล ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี cluster analysis โดยใช้ชนิดและความถี่ของจำนวนไลเคนกลุ่มฟอลิโอสที่พบบนต้นไม้แต่ละต้นในพื้นที่ศึกษา สามารถแบ่งพื้นที่ศึกษาได้ 5 กลุ่ม ได้แก่ cluster A, B, C, D และ E (ภาพ 6) โดยที่ cluster A รวมพื้นที่ศึกษาในจังหวัดเชียงรายเกือบทั้งหมด ยกเว้นในเขตตัวเมือง ส่วนพื้นที่ศึกษาที่เป็นพื้นที่ในเขตตัวเมืองจังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน และพื้นที่ศึกษาในทิศตะวันออกของจังหวัดลำพูน ซึ่งตั้งอยู่ใกล้เขตนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ รวมทั้งพื้นที่ศึกษาในทิศตะวันตกของจังหวัดเชียงใหม่ จัดอยู่ใน cluster B สำหรับ cluster C ประกอบด้วยพื้นที่ศึกษาที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ชุมชนขนาดเล็ก ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ปานกลาง ส่วนพื้นที่ศึกษาที่อยู่ในจังหวัดแม่ฮ่องสอนและพื้นที่ศึกษาที่ตั้งอยู่ในชุมชนขนาดเล็กในจังหวัดพะเยาและน่าน จัดอยู่ใน cluster E

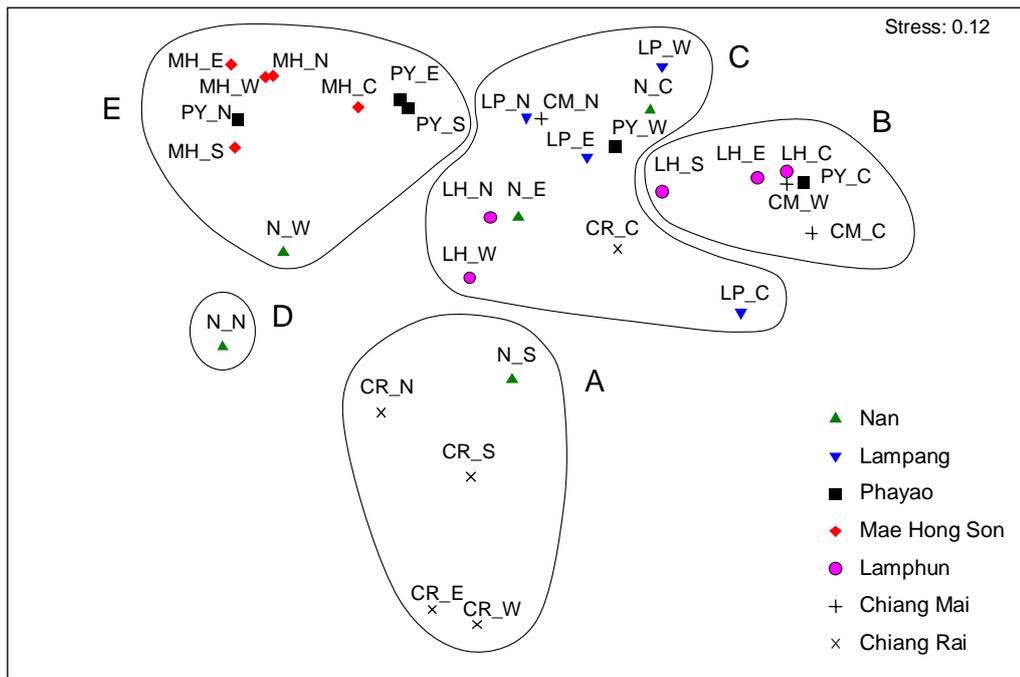
จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดย Multidimensional scaling สามารถแบ่งพื้นที่ศึกษาได้ 5 กลุ่มเช่นกัน โดยกลุ่ม B เป็นกลุ่มที่ได้รับผลกระทบจากมนุษย์มากที่สุด ขณะที่กลุ่ม E ได้รับผลกระทบจากมนุษย์น้อยที่สุด ส่วนกลุ่ม A แยกออกมาจากกลุ่มอื่น ๆ อย่างชัดเจน ค่า stress ที่ต่ำ (0.12) แสดงว่าสามารถแบ่งกลุ่มข้อมูลได้ชัดเจน (ภาพ 7)

ตาราง 2 พื้นที่ทำการศึกษานิตและความถี่ของจำนวนไลเคน ทิศทางจากเขตตัวเมือง (Dir.) ความสูงจากระดับน้ำทะเล (Alt.) ตำแหน่งของพื้นที่ จำนวนประชากร (Pop.) ช่วงของประชากร (Pop.Range) ความเป็นกรด-ด่างของเปลือกไม้ที่ศึกษา และปริมาณน้ำฝนต่อปีโดยเฉลี่ย (มม.)

Prov.	Site Name	Dir.	Alt. (m)	X Long. °E	X Lat. °N	Pop.	Pop. Range	Bark pH	Rainfall (mm)
MH	Mae Hong Son City	C	240	97.99	19.31	6,861	4	4.97	1,409.36
MH	Fish cave	N	250	97.99	19.43	< 100	1	5.30	-
MH	Mae Hong Son East	E	260	98.01	19.30	< 100	1	4.92	-
MH	Royal Project	S	170	97.96	19.28	< 100	1	4.74	-
MH	Sop Soi	W	200	97.96	19.33	< 100	1	5.05	-
LH	Lamphun city	C	300	99.04	18.60	15,277	5	4.96	1,062.24
LH	Umong	N	290	99.03	18.66	1830	4	4.89	-
LH	Ban Pa Pi	E	315	99.14	18.64	419	2	5.09	-
LH	Ban Don	S	300	98.92	18.49	810	3	4.88	-
LH	Ban Pa Kham	W	290	99.00	18.63	1567	4	4.85	-
PY	Phayao city	C	400	99.94	19.14	19,663	5	5.35	1,285.92
PY	Ban Huay Khian	N	400	99.88	19.24	748	3	5.03	-
PY	Ban Chiang Tong	E	390	100.06	19.16	849	3	5.07	-
PY	Ban Cham Pa Vai	S	390	99.97	19.01	787	3	5.28	-
PY	Ban San Pa Thon	W	400	99.86	19.14	780	3	5.17	-
N	Nan City	C	200	100.80	18.80	21,831	5	-	1,441.44
N	Ban Mai Suk San	N	300	100.71	18.80	367	2	-	-
N	Ban Tung Noi	E	240	100.83	18.79	888	3	-	-
N	Ban Num Paur	S	200	100.78	18.68	649	3	-	-
N	Ban Hauy Som Poy	W	300	100.76	18.82	507	3	-	-
CR	Chiang Rai city	C	400	99.85	19.90	71,328	5	5.3	1,716.04
CR	Ban Plu Thong	N	390	99.86	19.96	542	3	5.3	-
CR	Ban Pho Chai	E	420	99.91	19.90	469	2	-	-
CR	Ban Huao Doi	S	410	99.87	19.84	631	3	5.18	-
CR	Ban Nong Mor	W	410	99.77	19.86	813	3	5.24	-
LP	Lampang City	C	231	99.48	18.26	146,729	6	5.14	1,069.78
LP	Ban Hong Kok	N	220	99.47	18.31	612	3	5.07	-
LP	Ban Fai Noi	E	240	99.55	18.33	1,037	4	-	-
LP	Ban Ton Ka	W	220	99.41	18.23	491	2	-	-
CM	Chiang Mai city	C	320	98.99	18.78	167,616	6	5.46	1,198.66
CM	Ban Mae Jo	N	320	99.01	18.90	4,258	4	4.79	-
CM	Ban Thon Kaew	W	280	98.96	18.63	279	2	4.86	-



ภาพ 6 dendrogram จาก cluster analysis ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด โดยการใช้ชนิดและความถี่ของจำนวนของไลเคนโดยเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษาแต่ละแห่งในการจัดกลุ่ม (จังหวัด: CM=เชียงใหม่, CR=เชียงราย, LH=ลำพูน, LP=ลำปาง, MH=แม่ฮ่องสอน, N=น่าน, PY=พะเยา; ทิศทางจากตัวเมือง: C=เขตตัวเมือง, E=ทิศตะวันออก, N=ทิศเหนือ, S=ทิศใต้, W=ทิศตะวันตก)



ภาพ 7 การจัดกลุ่มของพื้นที่ศึกษาทั้งหมดโดยวิธี Multidimensional Scaling (MDS)

เมื่อศึกษาเปอร์เซ็นต์การพบ (percentage contribution) ไลเคนขนาดใหญ่ (macrolichen) ซึ่งพบเพียงไลเคนในกลุ่มฟอลิโอส แต่ไม่พบไลเคนในกลุ่มฟรุติโคสในพื้นที่ศึกษา พบว่าการปรากฏของไลเคนขนาดใหญ่ที่คล้ายคลึงหรือแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ มีผลทำให้เกิดการจัดกลุ่มพื้นที่ศึกษาออกเป็น 5 กลุ่ม เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการศึกษาดังที่กล่าวไปแล้ว โดยมี percentage contribution ของไลเคนแต่ละชนิดในพื้นที่แต่ละแห่ง ดังตาราง 3

จากตารางดังกล่าวพบว่าไลเคน *Hyperphyscia adglutinata* และ *Pyxine cocolosus* พบมากในเขตตัวเมือง ทำให้แยกกลุ่มเขตตัวเมืองออกจากกลุ่มอื่น ๆ และเนื่องจากไลเคนทั้งสองชนิดไม่พบในพื้นที่ศึกษาในทิศเหนือของจังหวัดน่าน ทำให้พื้นที่ดังกล่าวแยกออกมาเป็นกลุ่ม D สำหรับกลุ่ม A และ E พบว่ามีจำนวนชนิดไลเคนมากกว่ากลุ่ม B และ D โดยที่กลุ่ม A และ E ถูกแยกออกมาจากกลุ่มอื่น ๆ เนื่องจาก percentage contribution ของชนิดไลเคนที่พบ โดยที่ส่วนใหญ่เป็นไลเคนชนิดที่พบทั่วไปและไลเคนในวงศ์ Parmeliaceae ซึ่งพบมากในจังหวัดเชียงรายและแม่ฮ่องสอนตามลำดับ ในจังหวัดเชียงรายพบไลเคนในวงศ์นี้ 5 ชนิด และในจังหวัดแม่ฮ่องสอนพบไลเคนในวงศ์นี้ 2 ชนิด ซึ่งไม่พบในจังหวัดอื่นที่ทำการศึกษา (ตาราง 4)

ไลเคนในวงศ์ Physciaceae พบกระจายตัวอยู่ในบางพื้นที่ศึกษา โดยพบไลเคน *Pyxine coralligera* ที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน และ *P. retirugella* ที่จังหวัดเชียงราย แต่ไม่พบไลเคนทั้งสองชนิดในกลุ่ม B และ C ซึ่งพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่จะอยู่ในเขตตัวเมืองและในบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากมนุษย์ค่อนข้างมาก

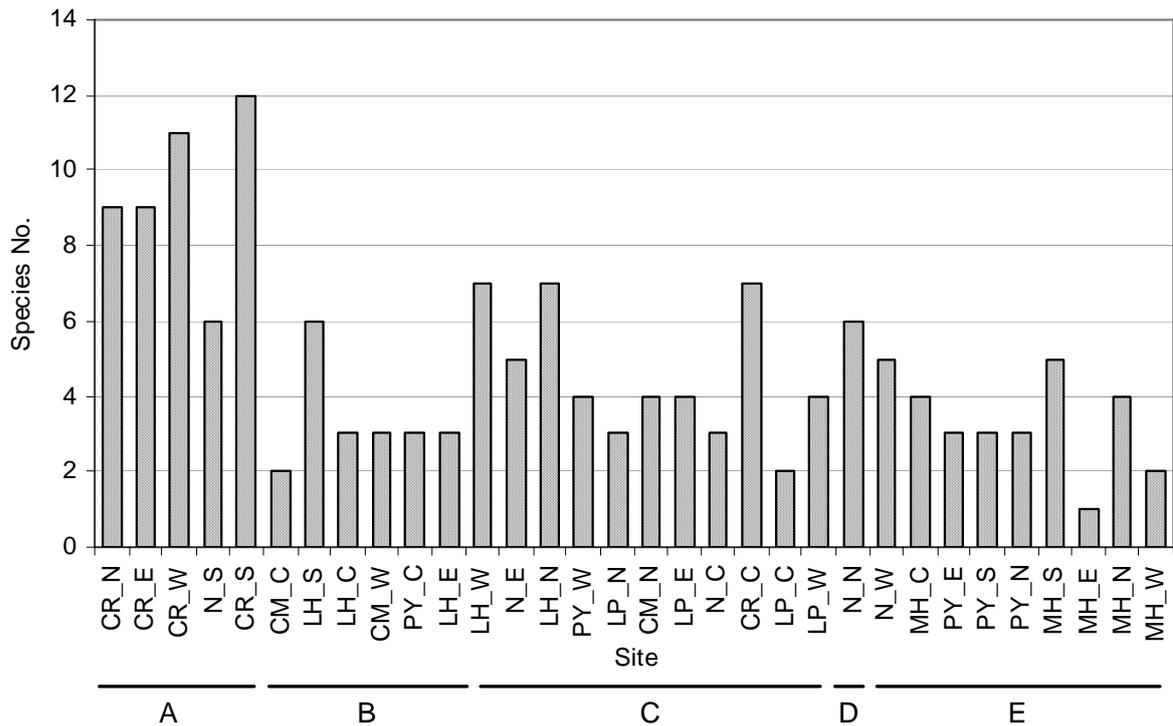
ตาราง 3 เปอร์เซนต์การพบ (percentage contribution) ไลเคนขนาดใหญ่แต่ละชนิดในกลุ่มพื้นที่ศึกษาภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ที่จัดกลุ่มโดย cluster analysis (*¹=ไลเคนในวงศ์ Physciaceae และ *²=ไลเคนในวงศ์ Parmeliaceae)

Species	Group				
	A	B	C	D	E
<i>Dirinaria aegialita</i> * ¹			+		
<i>Dirinaria applanata</i> * ¹	7.26	0.36	26.62	58.33	91.76
<i>Dirinaria consimilis</i> * ¹				8.33	+
<i>Dirinaria picta</i> * ¹	50.67	0.26	2.91		0.33
<i>Hyperphyscia adglutinata</i> * ¹	7.12	49.26	4.68		+
<i>Hyperphyscia cochlearis</i> * ¹	5.72				
<i>Hyperphyscia pandani</i> * ¹	0.19				
<i>Physcia crispa</i> * ¹			+		
<i>Physcia poncinsii</i> & <i>P. krogiae</i> * ¹	21.58		0.39	19.17	+
<i>Physcia</i> sp. C * ¹	0.22				
<i>Pyxine cocoes</i> * ¹	4.08	50.12	64.91		3.96
<i>Pyxine consocians</i> * ¹			0.03		+
<i>Bulbothrix bulbochaeta</i> * ²	+				
<i>Parmotrema cooperi</i> * ²	+				
<i>Parmotrema gardneri</i> * ²	+				
<i>Parmotrema incrassatum</i> * ²					+
<i>Parmotrema platyphyllum</i> * ²					0.17
<i>Parmotrema praesorediosum</i> * ²	2.11		0.45	6.67	3.78
<i>Parmotrema rampoddense</i> * ²				1.67	+
<i>Parmotrema saccatilobum</i> * ²			+		+
<i>Parmotrema</i> sp. B * ²	+				
<i>Parmotrema tinctorum</i> * ²	1.06			0.83	+
<i>Candelaria</i> cf. <i>concolor</i>		+	+		
<i>Collema</i> sp.A	+				

ตาราง 4 เปอร์เซ็นต์การพบ (percentage contribution) ไลเคนขนาดใหญ่แต่ละชนิดในแต่ละจังหวัด
ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย (*¹=ไลเคนในวงศ์ Physciaceae และ *²=ไลเคนในวงศ์
Parmeliaceae)

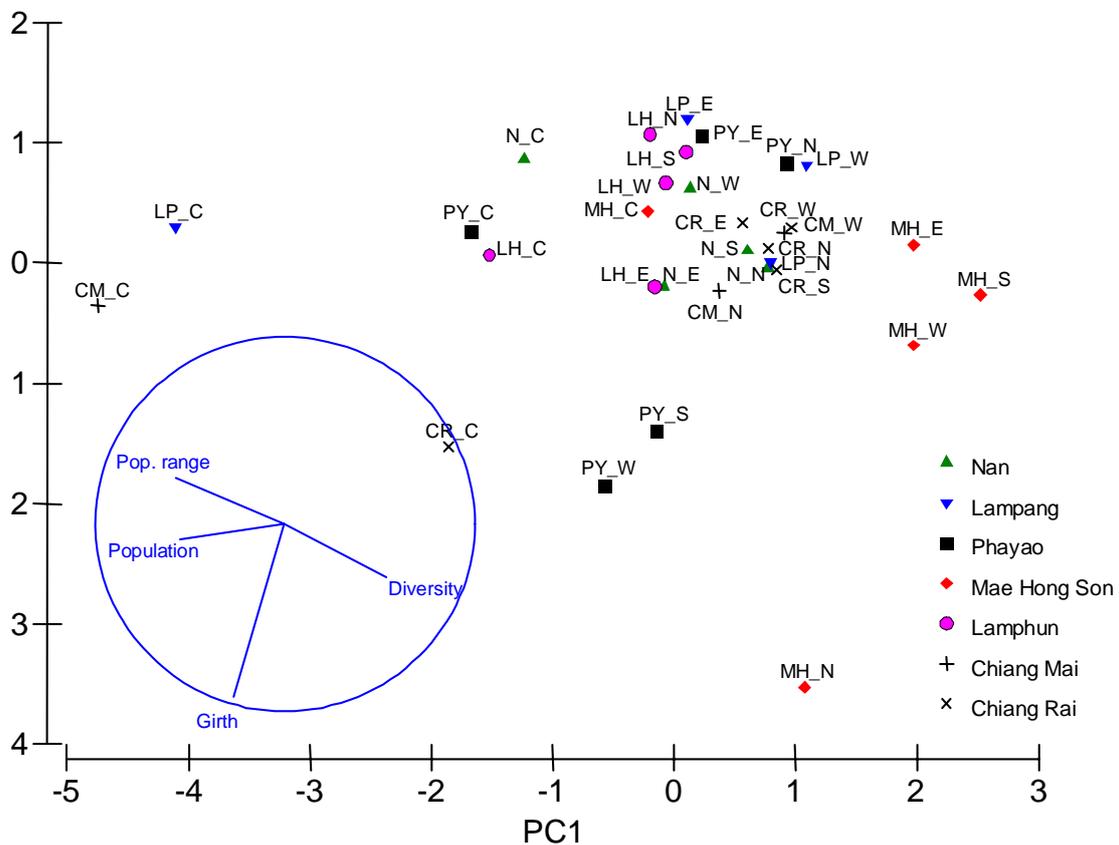
Species	Site						
	Nan	Lampang	Pa Yao	Mae Hong Son	Lamphun	Chiang Mai	Chiang Rai
<i>Dirinaria aegialita</i> ^{*1}	+	+					
<i>Dirinaria applanata</i> ^{*1}	45.97	10.55	61.48	97.76	15.15	+	8.33
<i>Dirinaria consimilis</i> ^{*1}	+						
<i>Dirinaria picta</i> ^{*1}	12.27			+	4.1	+	42.96
<i>Hyperphyscia adglutinata</i> ^{*1}	2.74	4.72	5.41	+	22.91	30.45	13.57
<i>Hyperphyscia cochlearis</i> ^{*1}							6.76
<i>Hyperphyscia pandani</i> ^{*1}							0.23
<i>Physcia crispa</i> ^{*1}					+		
<i>Physcia poncinsii</i> & <i>P. krogiae</i> ^{*1}	8.21	+			+		19.47
<i>Physcia</i> sp. C ^{*1}							0.26
<i>Pyxine cocoes</i> ^{*1}	30.53	84.73	29.12	+	57.65	69.55	4.71
<i>Pyxine consocians</i> ^{*1}				+	0.19		
<i>Bulbothrix bulbochaeta</i> ^{*2}							+
<i>Parmotrema cooperi</i> ^{*2}							+
<i>Parmotrema gardneri</i> ^{*2}							+
<i>Parmotrema incrassatum</i> ^{*2}				+			
<i>Parmotrema platyphyllum</i> ^{*2}				0.52			
<i>Parmotrema praesorediosum</i> ^{*2}	0.29	+	3.78	1.72	+	+	2.46
<i>Parmotrema rampoddense</i> ^{*2}	+						
<i>Parmotrema saccatilobum</i> ^{*2}				+			+
<i>Parmotrema</i> sp. B ^{*2}							+
<i>Parmotrema tinctorum</i> ^{*2}	+						1.26
<i>Candelaria</i> cf. <i>concolor</i>			0.2				
<i>Collema</i> sp.A	+						

จากการศึกษาพบว่าความหลากหลายชนิดของไลเคนกลุ่มพอลิโอส มีมากที่สุดในบริเวณที่อยู่รอบนอกเขตตัวเมืองในจังหวัดเชียงราย (ภาพ 8) ส่วนเขตตัวเมืองของจังหวัดเชียงรายถูกจัดกลุ่มอยู่ในกลุ่ม C เนื่องจากพบไลเคนชนิด *Hyperphyscia adglutinata* และ *Pyxine cocoes* ซึ่งทนทานต่อมลพิษอากาศ มักพบในเขตตัวเมือง อย่างไรก็ตามเขตตัวเมืองจังหวัดเชียงรายมีความหลากหลายของไลเคนกลุ่มพอลิโอส สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเขตตัวเมืองของจังหวัดอื่น



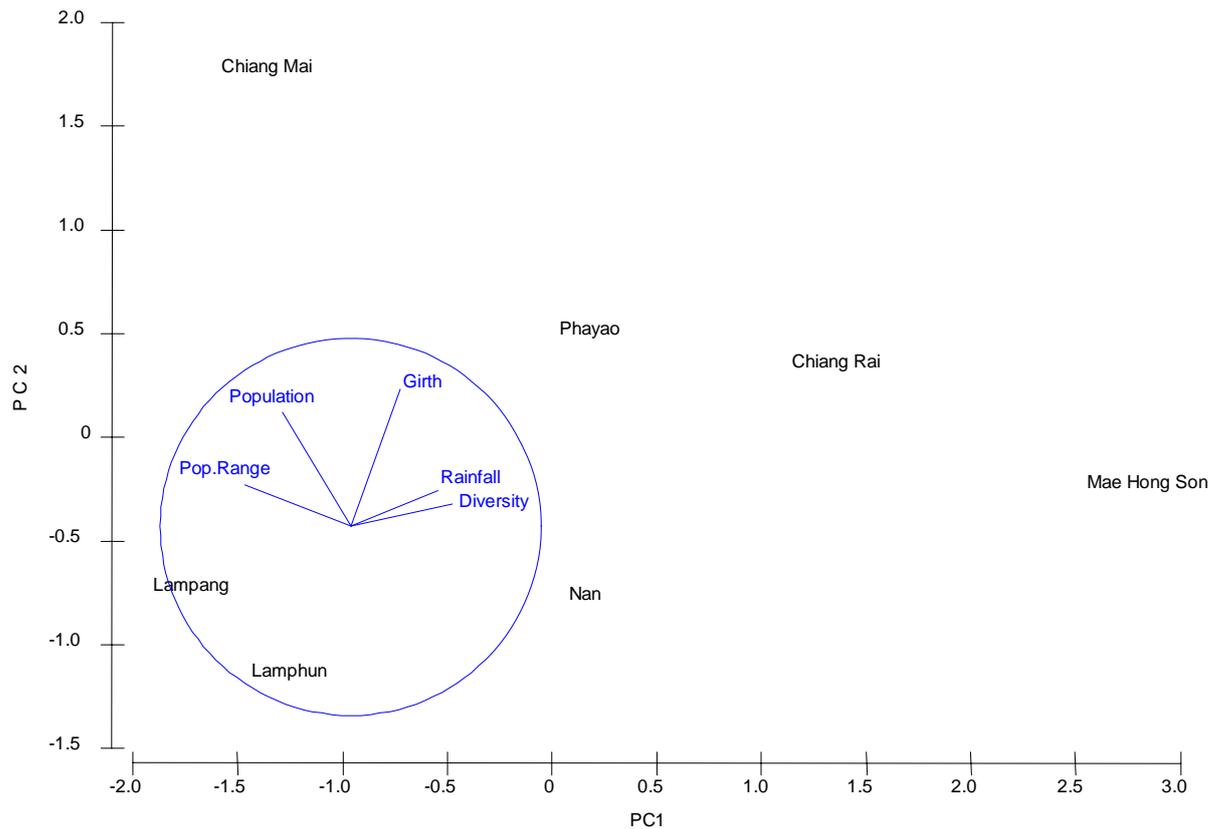
ภาพ 8 จำนวนชนิดของไลเคนขนาดใหญ่ (macrolichen) ที่พบในพื้นที่ศึกษากลุ่ม A, B, C, D และ E ตามการจำแนกกลุ่มโดย cluster analysis

จากการวิเคราะห์ผลการศึกษาโดยใช้ Principal Co-ordinate Analysis (PCA) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหลากหลายชนิดและจำนวนของไลเคนกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น (ภาพ 9) พบว่าจำนวนประชากรมีความสัมพันธ์ผกผันกับความหลากหลายชนิดและจำนวนของไลเคน โดยในบริเวณพื้นที่ศึกษาที่เป็นเขตตัวเมืองที่มีจำนวนประชากรหนาแน่น เช่น เขตตัวเมืองจังหวัดเชียงใหม่ จะพบความหลากหลายชนิดและจำนวนของไลเคนลดลง ในขณะที่บริเวณพื้นที่ศึกษาในจังหวัดแม่ฮ่องสอน มีจำนวนประชากรต่ำกว่า พบความหลากหลายของไลเคนเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าในจังหวัดแม่ฮ่องสอนจะพบไลเคนในกลุ่มพอลิโอสน้อยกว่าในจังหวัดเชียงใหม่ แต่เป็นพื้นที่ที่น่าจะได้รับผลกระทบจากมลพิษอากาศน้อยเช่นกัน เนื่องจากพบไลเคนกลุ่มที่ทนทานต่อมลพิษอากาศสูงอยู่จำนวนน้อย และพบไลเคนในกลุ่มครัสโตส ในวงศ์ที่บ่งชี้ถึงสภาพป่าชื้น เช่น Thelotremaaceae และ Trichotheliaceae ในพื้นที่ศึกษาที่อยู่รอบนอกเขตตัวเมือง



ภาพ 9 Principal Components Analysis (PCA) ของความหลากหลายของไลเคนในพื้นที่ศึกษาทุกบริเวณและจำนวนประชากรในพื้นที่แต่ละแห่ง ช่วงของจำนวนประชากร และ เส้นรอบวงของต้นไม้ที่ทำการศึกษาไลเคน

เมื่อนำข้อมูลปริมาณน้ำฝนของแต่ละจังหวัดมาศึกษา พบว่าปริมาณน้ำฝนต่อปีโดยเฉลี่ยและความหลากหลายของไลเคนมีความสัมพันธ์กัน ($r=0.84$, $p = 0.1$) โดยเฉพาะในจังหวัดเชียงรายที่มีปริมาณน้ำฝนต่อปีโดยเฉลี่ยสูงสุด พบความหลากหลายของไลเคนในกลุ่มพอลิโอสสูงเช่นกัน (ภาพ 10)



ภาพ 10 Principal Components Analysis (PCA) ของความหลากหลายของไลเคนในพื้นที่ศึกษา แยกตามจังหวัดและ จำนวนของประชากร ช่วงของจำนวนประชากร ปริมาณน้ำฝนต่อปีเฉลี่ยและ เส้นรอบวงของต้นไม้ที่ทำการศึกษาไลเคน

การบรรยายไลเคนชนิดใหม่ของโลก

จากการสำรวจครั้งนี้พบไลเคนชนิดใหม่ของโลก 4 ชนิด ได้แก่

- *Bactrospora perspiralis* Sparrius, Saipunkaew & Wolseley sp. nov.
- *Bactrospora subdryina* Sparrius, Saipunkaew & Wolseley sp. nov.
- *Enterographa mesomela* Sparrius, Saipunkaew & Wolseley sp. nov.
- *Lecanographa atropunctata* Sparrius, Saipunkaew & Wolseley sp. nov.

ทำการบรรยายลักษณะของไลเคนทั้งสี่ชนิดใน Sparrius, L.B., Saipunkaew, W., Wolseley, P.A. & Aptroot (2006) New species of *Bactrospora*, *Enterographa*, *Graphidastra* and *Lecanographa* from northern Thailand and Vietnam. *The Lichenologist*. 38 (1):27-36. ตั้งรายละเอียดในเอกสารในภาคผนวก

อภิปรายผลการศึกษา

การศึกษาความหลากหลายของไลเคนในพื้นที่ราบลุ่มของภาคเหนือตอนบนในครั้งนี้ได้เลือกศึกษาไลเคนที่เจริญอยู่บนต้นมะม่วง ถึงแม้ว่าไลเคนสามารถเจริญอยู่บนวัตถุได้หลายชนิด แต่การใช้ต้นมะม่วงในการสำรวจมีข้อดีหลายประการ เช่น ต้นมะม่วงเป็นต้นไม้ที่นิยมปลูกโดยทั่วไปในพื้นที่ศึกษา มี pH ของเปลือกไม้ไม่เป็นที่กรดหรือด่างมากจนเกินไปจึงเหมาะแก่การเจริญของไลเคน มีลำต้นค่อนข้างตั้งตรงเหมาะแก่การวางกรอบสำรวจชนิดไลเคนที่ตัดแปลงมาจากวิธีการของ VDI (1995) เพราะหากลำต้นเอียง ด้านบนของลำต้นที่เอียงจะได้รับน้ำและแสงมากกว่าด้านอื่น ทำให้พบไลเคนในด้านดังกล่าวมากกว่าด้านอื่นอย่างชัดเจน จึงไม่เหมาะแก่การศึกษา จากการสำรวจพบว่าแม้ว่าไลเคนในกลุ่มไลเคนขนาดใหญ่ (macrolichen) ที่พบในพื้นที่สำรวจได้แก่ ไลเคนในกลุ่มพอลิโอส จะมีความหลากหลายน้อยกว่าไลเคนขนาดเล็ก (microlichen) ได้แก่ กลุ่มครัสโตส แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการศึกษาพบว่าสามารถใช้ไลเคนกลุ่มพอลิโอสในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมที่เป็นผลมาจากการกระทำของมนุษย์ที่เพิ่มตามจำนวนประชากร รวมทั้งผลจากปัจจัยทางกายภาพอื่น ๆ เช่น สภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ

จังหวัดเชียงรายเป็นจังหวัดที่มีปริมาณน้ำฝนต่อปีโดยเฉลี่ยสูงสุดในพื้นที่ศึกษา และพบไลเคนกลุ่มพอลิโอสในสกุล *Parmotrema* มากที่สุด ซึ่งอยู่ในวงศ์ *Parmeliaceae* (ตาราง 4) ส่วนในบริเวณจังหวัดเชียงใหม่จะพบไลเคนในวงศ์ *Parmeliaceae* มากในบริเวณที่สูง เช่น ภูเขา ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนและความชื้นในอากาศสูงกว่าบริเวณพื้นราบ (Saipunkaew *et al.*, 2005) จากการสำรวจที่ผ่านมาพบไลเคนในสกุล *Parmotrema* ยกเว้น *P. prasorediosum* เฉพาะในพื้นที่ราบลุ่มที่มีปริมาณน้ำฝนสูง ซึ่งบ่งบอกถึงอิทธิพลจากความชื้นที่กำหนดการกระจายตัวของไลเคนในสกุลดังกล่าวในพื้นที่ราบลุ่มที่มีปริมาณน้ำฝนและความชื้นต่ำ รวมทั้งมีอุณหภูมิสูง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการกระจายตัวของไลเคนในสกุล *Parmotrema* ในประเทศอิตาลี (Giordani, 2004; Loppi *et al.*, 1997)

การเพิ่มจำนวนของไลเคนในวงศ์ *Physciaceae* ในเขตอบอุ่นมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและสารอาหาร (Aptroot, 2004; Van Herk, 1999; Van Herk *et al.*, 2002) ไลเคนในวงศ์นี้มี การปรับตัวให้ทนทานต่ออุณหภูมิสูงในเขตร้อนโดยการมีทาลัสที่ติดแนบไปกับวัตถุที่เกาะอยู่ เพื่อลดการสูญเสียน้ำ รวมทั้งการสร้าง pruina และสารประกอบทุติยภูมิอื่น ๆ ขึ้นมา เช่น lichexanthone ที่พบในไลเคนหลายชนิด เช่น *Pyxine cocoes* หรือการสร้าง divaricatic acid ซึ่งพบในไลเคนสกุล *Dirinaria* มีคุณสมบัติในการป้องกันอันตรายจากรังสี UV และแสงแดดที่รุนแรง (Wolseley, 1997) จากการสำรวจ พบไลเคนในวงศ์ *Physciaceae* ในพื้นที่ศึกษาทุกแห่ง แต่มีเปอร์เซ็นต์การพบ (percent contribution) แตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของไลเคน เช่น *D. applanata* จะพบมากในพื้นที่ศึกษาที่อยู่นอกเขตตัวเมืองที่มีจำนวนประชากรไม่หนาแน่นมาก และมีกิจกรรมต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดมลพิษในอากาศไม่มากนัก ในขณะที่ *Pyxine cocoes* จะพบมากในบริเวณเขตตัวเมืองและเขตรอบนอกตัวเมืองที่มีจำนวนประชากรหนาแน่นกว่า ไลเคนบางชนิด เช่น *Hyperphyscia adglutinata* ทนทานต่อมลพิษ

อากาศได้ดีและพบจำนวนมากเฉพาะในเขตตัวเมืองซึ่งเป็นบริเวณที่พบไลเคนในกลุ่มโพลีโอสเพียงไม่กี่ชนิด จากการศึกษาในเขตออบอุ้นพบว่าไลเคน *H. adglutinata* เป็นไลเคนชนิดที่บ่งบอกถึงสภาวะสารอาหารสูง (eutrophication) (Purvis *et al.*, 1992) อย่างไรก็ตามจากการที่พบไลเคนชนิดนี้จำนวนมากในเขตตัวเมืองบ่งบอกได้ว่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไม่ใช่สารมลพิษอากาศที่เป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อกลุ่มของไลเคนในบริเวณพื้นที่ราบลุ่มในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย แต่อาจเป็นสภาวะที่มีสารอาหารสูงที่มีอิทธิพลต่อการเจริญและการกระจายตัวของไลเคน ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการวัดค่า pH ของเปลือกไม้ที่อยู่ภายในเขตตัวเมือง ซึ่งพบว่ามีค่า pH สูงกว่าเปลือกไม้ที่เก็บมาจากนอกเขตตัวเมือง ผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาโดย Stapper and Kricke (2004) ที่ตรวจวัด pH ของเปลือกไม้ในเขตอุตสาหกรรมและพบว่ามีค่าสูง Saipunkaew *et al.* (2005) รายงานว่าพบไลเคนชนิด *Hyperphyscia adglutinata* ในเขตตัวเมืองจังหวัดเชียงใหม่เป็นครั้งแรก อย่างไรก็ตามไลเคนชนิดนี้มีการกระจายตัวอยู่ในเขตชุมชนทั่วโลก รวมทั้งประเทศในทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ประเทศญี่ปุ่น (Kashiwadani, 1985) เกาะฮ้องกง (Aptroot and Seaward, 1999) และประเทศไต้หวัน (Aptroot *et al.*, 2002) ส่วนในทวีปยุโรปมีการบันทึกครั้งแรกในยุโรปโดย Kalb (1982) และในประเทศทาสมาเนียโดย Kantvilas (1989) ซึ่งบ่งชี้ว่าไลเคนชนิดนี้มีการกระจายตัวกว้างออกไปพร้อม ๆ กับการขยายตัวของเขตตัวเมือง ซึ่งมีสภาพอากาศที่แห้งแล้งและร้อนกว่าบริเวณรอบนอกตัวเมือง รวมทั้งมีจำนวนประชากรหนาแน่น ส่งผลต่อคุณภาพอากาศในเขตตัวเมือง

ถึงแม้ว่าจะไม่สามารถตรวจวัดหาชนิดและปริมาณของสารมลพิษในบรรยากาศได้ในทุกพื้นที่ศึกษา แต่จากการศึกษาการกระจายตัวของมลพิษอากาศในประเทศไทยโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดย Siniarovina and Engardt (pers. commun.) ซึ่งศึกษาการกระจายตัวและปริมาณของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ในบรรยากาศในระดับสเกลพื้นที่ 50×50 กิโลเมตร ในระหว่างฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน พบว่าจากระดับสเกลที่กำหนด มีเพียงจังหวัดแม่ฮ่องสอนที่มีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศตลอดทั้งปีต่ำ ในขณะที่จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน และลำปาง มีระดับ SO_2 สูงในช่วงฤดูหนาว ส่วนในช่วงฤดูร้อนจังหวัดพะเยาจะมีปริมาณ SO_2 ในบรรยากาศสูง (ตาราง 5)

ตาราง 5 ปริมาณของ SO_2 ใกล้ผิวดิน โดยเฉลี่ยต่อเดือน ในเดือนกรกฎาคมและธันวาคม โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (ข้อมูลจาก Siniarovina and Engardt pers. comm.)

Province	July ppb(v) SO_2	Dec. ppb(v) SO_2
Mae Hong Son	0.1-0.2	0.2-1
Chiang Rai	2-5	2-5
Phayao	10-15	1-2
Chiang Mai	2-5	15-30
Lamphun	1-2	8-10
Lampang	0.2-1	10-15
Nan	0.2-1	0.2-1

การกระจายตัวของไลเคนที่ทนทานต่อมลพิษอากาศและที่ไม่ทนทานต่อมลพิษอากาศในทวีปยุโรปจะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของเปลือกไม้ เปลือกไม้จะมีค่า pH ต่ำลงหากมีปริมาณของ SO_2 ในบรรยากาศสูง และมีค่า pH เพิ่มขึ้นหากมีการสะสมของแอมโมเนีย (Sutton *et al.*, 2004; Van Herk, 2001) จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่า pH ของเปลือกไม้มีค่าเพิ่มขึ้นในพื้นที่ศึกษาที่อยู่ในเขตตัวเมืองจังหวัดเชียงใหม่ พะเยา และบริเวณถ้ำปลา จังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งจุดเก็บตัวอย่างในบริเวณถ้ำปลา เป็นจุดที่นักท่องเที่ยวใช้พักผ่อน มีการจุดไฟเพื่อประกอบอาหาร ลักษณะของการเพิ่มขึ้นของ pH ของเปลือกไม้เนื่องจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์เช่นนี้ พบในเปลือกของต้น *Quercus* ในกรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ (Larsen *et al.*, 2007) และในประเทศเยอรมันนี่เช่นกัน (Stapper and Kricke, 2004)

ในปี พ.ศ. 2546 พบว่าความเข้มข้นของ SO_2 ในบรรยากาศเฉลี่ยต่อปีมีค่าเท่ากับ 1.4 ppb ในจังหวัดเชียงใหม่และมีค่า 1 ppb ในบริเวณนอกเขตตัวเมือง Engardt and Leong (2001) รายงานว่าในสภาพอากาศในเขตร้อน SO_2 จะเปลี่ยนเป็น SO_4^{2-} จากนั้น SO_4^{2-} จะสะสมในรูปของฝุ่นละออง (Hien *et al.*, 2004) ในปี พ.ศ. 2546 ยังพบว่าค่าเฉลี่ยต่อปีของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) ในบริเวณเขตตัวเมืองจังหวัดเชียงใหม่มีค่าเท่ากับ $48.4 \mu\text{g.m}^{-3}$ โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ $140 \mu\text{g.m}^{-3}$ (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2546) และมักจะมีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานซึ่งมีค่าเท่ากับ $120 \mu\text{g.m}^{-3}$ จากการศึกษาในกรุงฮานอย ประเทศเวียดนาม โดย Hien *et al.* (2004) พบ Ca^{2+} NH_4^+ และ SO_4^{2-} เป็นองค์ประกอบที่มีปริมาณสูงที่พบใน PM_{10} ซึ่งอาจบ่งบอกถึงสาเหตุที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ของเปลือกไม้ในเขตตัวเมืองของภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ที่มีผู้คนอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น มีสิ่งก่อสร้างที่ใช้คอนกรีตเป็นส่วนใหญ่ ทำให้ค่า pH ของเปลือกไม้มีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเขตนอกตัวเมือง นอกจากนี้การพบไลเคน *Hyperphyscia adglutinata* ซึ่งเป็นไลเคนที่พบในบริเวณที่มีสารอาหารสูง (Purvis *et al.*, 2002; Saipunkaew *et al.*, 2005) บ่งชี้ว่าพื้นที่ศึกษาในเขตตัวเมืองได้รับอิทธิพลจากฝุ่นละอองในอากาศมากกว่า SO_2

ในจังหวัดลำปาง เมื่อปีพ.ศ. 2545 ตรวจวัดค่า PM_{10} มีค่าประมาณ 11-300 $\mu\text{g.m}^{-3}$ อาจเป็นผลเนื่องจากโรงไฟฟ้าถ่านหินแม่เมาะและเหมืองถ่านหินที่ตั้งห่างจากตัวเมืองออกมา ส่วนในจังหวัดเชียงราย ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนต่อปีสูง ฝนที่ตกจะชะล้างฝุ่นละอองจากบรรยากาศ ทำให้ฝุ่นละอองมีอิทธิพลต่อค่า pH ของเปลือกไม้ต่ำ ประกอบกับพบความหลากหลายของไลเคนสูง พบไลเคนในวงศ์ *Parmeliaceae* จากการศึกษาในประเทศอังกฤษโดย Wolseley *et al.* (2004) พบไลเคนในกลุ่มที่ไม่ทนทานต่อไนโตรเจน ในบริเวณพื้นที่ที่มีปริมาณแอมโมเนียปนเปื้อนสูง ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวเป็นบริเวณที่มีปริมาณน้ำฝนสูงเช่นกัน

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนประชากรและความหลากหลายของไลเคน แสดงให้เห็นว่าจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อความหลากหลายของไลเคน ประชากรที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดกิจกรรมต่าง ๆ ที่อาจก่อให้เกิดมลพิษอากาศเพิ่มขึ้น เช่น การจราจร การเผาในที่โล่ง การขยายตัวของเขตตัวเมืองที่มีจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความหลากหลายของไลเคนลดลง ในกรณีที่ไม่สามารถตรวจวัดชนิดและปริมาณของสารพิษในอากาศได้ อาจใช้จำนวนประชากรในพื้นที่เป็นดัชนีบ่งชี้แทนปริมาณมลพิษอากาศ อย่างไรก็ตามหากแหล่งปล่อยมลพิษมีลักษณะที่เป็นแหล่งขนาดใหญ่

และมีแห่งเดียว แยกออกมาจากเขตชุมชนที่มีผู้คนอาศัยอยู่หนาแน่น เช่น โรงไฟฟ้า โรงงาน อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ การใช้จำนวนประชากรในบริเวณดังกล่าวแทนระดับของมลพิษอาจไม่เหมาะสม ผู้ทำการศึกษาจึงควรพิจารณาเป็นกรณีไป

สรุปผลการศึกษา

ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยเป็นพื้นที่ที่มีทรัพยากรธรรมชาติอุดมสมบูรณ์ ทำให้มีการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์เกิดขึ้นเป็นเวลายาวนาน โดยเฉพาะในแอ่งที่ราบลุ่มที่อุดมสมบูรณ์ ทำให้พื้นที่ป่าธรรมชาติถูกบุกรุกมาเป็นระยะเวลายาวนาน พื้นที่ป่าเหลืออยู่จำนวนน้อย จากการสำรวจไลเคนบนต้นไม้ในเขตพื้นที่ราบลุ่มภาคเหนือตอนบนที่ได้รับผลกระทบจากมนุษย์ พบไลเคนขนาดเล็ก (microlichen) ซึ่งเป็นไลเคนในกลุ่มครีโสต และไลเคนขนาดใหญ่ (macrolichen) ซึ่งพบเฉพาะไลเคนกลุ่มพอลิโอสเท่านั้น ไม่พบไลเคนในกลุ่มฟูรติโคสและสแควมูโลสในพื้นที่ที่ทำการศึกษา ทำการจำแนกไลเคนในกลุ่มครีโสตจนถึงระดับสกุล และจำแนกไลเคนกลุ่มพอลิโอสจนถึงระดับชนิด เมื่อทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความถี่ของจำนวนไลเคนในกลุ่มพอลิโอสซึ่งสามารถจำแนกถึงระดับชนิด กับจำนวนประชากรในพื้นที่ศึกษา และปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ พบว่าไลเคนมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับจำนวนประชากร เมื่อจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นจะพบจำนวนชนิดและปริมาณของไลเคนลดลง ในพื้นที่ที่มีจำนวนประชากรมากกว่า 100,000 คน พบไลเคนชนิด *Hyperphyscia adglutinata* และไลเคนในวงศ์ Physciaceae อยู่มาก ซึ่งไลเคนในสกุล Physciaceae เป็นกลุ่มที่พบในพื้นที่ที่ถูกบุกรุก วัตถุที่ไลเคนเกาะอยู่มีสารอาหารสูง และบริเวณที่มีสภาพอากาศแห้งแล้ง มีอุณหภูมิสูง ความชื้นในอากาศต่ำ ในขณะที่ไลเคนในวงศ์ Parmeliaceae ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย จะพบในพื้นที่ศึกษาที่มีปริมาณน้ำฝนต่อปีโดยเฉลี่ยสูงและความชื้นในอากาศสูง

ถึงแม้ว่าจากการศึกษาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในประเทศไทยโดยใช้แบบจำลองจะพบว่ามีความสูงในเขตจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน แต่จากการตรวจวัดค่า pH ของเปลือกต้นมะม่วงที่ทำการเก็บตัวอย่างไลเคนกลับไม่พบว่าเปลือกไม้มีความเป็นกรดสูง และไม่พบกลุ่มของไลเคนที่แสดงถึงสภาวะความเป็นกรดสูงแต่อย่างใด จากผลการศึกษาอาจบ่งบอกได้ว่าปริมาณฝุ่นละออง (particulate matter) หากมีปริมาณมากอาจมีบทบาทที่สำคัญต่อการกระจายตัวของไลเคนทั้งในเขตตัวเมืองและเขตรอบนอกตัวเมือง รวมทั้งพื้นที่ศึกษาที่ตั้งอยู่ในทิศตะวันออกและทิศเหนือของเขตตัวเมืองที่มีจำนวนประชากรหนาแน่น เช่น จังหวัดเชียงใหม่ และพื้นที่ที่ตั้งอยู่ใกล้เขตอุตสาหกรรม เช่น จังหวัดลำพูน บริเวณดังกล่าวจะได้รับผลกระทบจากมลพิษอากาศที่มาจากตัวเมืองที่พัดผ่านในช่วงฤดูฝน ซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ประกอบกับในช่วงหน้าฝน ทลัสของไลเคนจะเปียกชื้น เมทาบลิซึมเพิ่มขึ้นอัตราการรับสารต่าง ๆ ในอากาศจึงเพิ่มขึ้น (VDI, 1995) ทำให้ไม่สามารถทนทานต่อมลพิษอากาศที่ถูกพัดพามาจากตัวเมืองได้

ในภาคเหนือของประเทศไทย จะมีลักษณะทางภูมิประเทศที่แตกต่างกัน ซึ่งประกอบไปด้วยแอ่งที่ราบลุ่มตามแม่น้ำสายต่าง ๆ ที่ถูกแยกจากกันด้วยแนวเขาสูง นอกจากนี้ยังมีปริมาณน้ำฝนที่แตกต่างกันในแต่ละแห่งด้วย ในพื้นที่ราบลุ่มซึ่งเป็นพื้นที่เขตชุมชนที่มีขนาดใหญ่ เช่น

เขตตัวเมือง จะพบจำนวนไลเคนในวงศ์ *Physciaceae* และมีความหลากหลายของไลเคนกลุ่มฟอติโอสต่ำ ในขณะที่เขตชุมชนขนาดเล็ก ได้แก่พื้นที่รอบนอก จะพบไลเคนในวงศ์ดังกล่าวเพิ่มขึ้นและมีความหลากหลายของไลเคนกลุ่มฟอติโอสเพิ่มขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของไลเคนในพื้นที่นอกเขตตัวเมืองรวมทั้งไม่พบไลเคนชนิด *H. adglutinata* น่าจะเป็นผลจากปริมาณของสารมลพิษในอากาศที่มีอยู่น้อยในชุมชนแต่ละแห่ง ซึ่งแตกต่างจากผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงชนิดและปริมาณของสารมลพิษในอากาศที่ใช้ขนาดพื้นที่ 50x50 กิโลเมตร หรือมากกว่าในการจัดทำแบบจำลอง พบว่ามีการกระจายตัวของมลพิษอากาศในภาคเหนือครอบคลุมพื้นที่กว้าง อย่างไรก็ตามการบุกรุกพื้นที่และเปลี่ยนแปลงป่าดั้งเดิม มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ เช่น ทำให้มีความชื้นในอากาศลดลง เป็นผลทำให้ไม่พบไลเคนในวงศ์ *Parmeliaceae* ในพื้นที่ส่วนใหญ่ที่ทำการสำรวจ

ไลเคนกลุ่มครัสโตสเป็นกลุ่มที่พบมากในพื้นที่ราบลุ่มที่ถูกรบกวน ซึ่งจำแนกชนิดได้ยากและบางชนิดอาจเป็นชนิดใหม่ที่ยังไม่เคยมีการค้นพบมาก่อน โดยเฉพาะไลเคนในกลุ่มครัสโตสที่ไม่มีการสร้าง fruiting body ขึ้นมา (sterile crust) ทำให้ไม่สามารถจำแนกชนิดโดยอาศัยลักษณะของ fruiting body หรือ spore ได้ต้องอาศัยการวิเคราะห์สารเคมีที่อยู่ภายในไลเคนในการจำแนกชนิด อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาพบว่าไลเคนขนาดใหญ่ (macrolichen) ในกลุ่มฟอติโอส สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ บ่งบอกถึงอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่ สภาพภูมิอากาศ ความแตกต่างทางภูมิศาสตร์ รวมทั้งผลกระทบจากมนุษย์ที่มีต่อกลุ่มไลเคนได้

เอกสารอ้างอิง

กรมป่าไม้. 2548. <http://www.forest.go.th/stat/stat40/CONTENTS.pdf>

กัณฑ์รีย์ บุญประกอบ. 2544. ไลเคน. *ชีวปริทรรศน์* 3 (3): 13-22

วรรณิ์ พุทธาวุฒิไกร. 2546. ภูมิศาสตร์ประเทศไทย. กรุงเทพฯ. โอเดียนสโตร์.

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. 2548. http://www.nso.go.th/nso/data/data23/data23_22.html

Aptroot, A. 2004. Global ecological patterns of nitrophytic lichens In: Lambley, P.W., Wolseley, P.A. (eds.) *Lichens in a Changing Pollution Environment*. English Nature Report 525, 67-71.

Aptroot, A. and Seaward, M. R. D. (1999) Annotated checklist of Hongkong lichens. *Tropical Bryology* 17: 57-101.

Aptroot, A., Sparrius, L. B. and Lai, M. J. (2002) New Taiwan macrolichens. *Mycotaxon* 84: 281-292.

Engardt, M. and Leong, C.P. 2001. Regional modeling of anthropogenic sulphur in Southeast Asia. *Atmospheric Environment*. 35: 5935-5947.

Fрати, L. and Brunialti, G. 2006. Long term biomonitoring with lichens: comparing data from different sampling procedures. *Environmental Monitoring and Assessment*. 119: 391-404

Giordani, P. 2004. Lichen indicator species of environmental conditions in Liguria (N. Italy). In: Lambley, P., Wolseley, P.A. (eds.), *Lichen in a Changing Pollution Environment*. English Nature Report. 525: 76-83.

Gomberta, S., Astab, J. and Seaward, M.R.D. 2003. Correlation between the nitrogen concentration of two epiphytic lichens and the traffic density in an urban area. *Environmental Pollution*. 123: 281-290.

- Hawksworth, D.L. and Rose, F. 1979 Lichens as Pollution Monitors. 60 p. London: Edward Arnold.
- Hien, P.D., Bac, V.T. and Thinh, N.T.H. 2004. PMF receptor modeling of fine and coarse PM10 in air masses governing monsoon conditions in Hanoi, northern Vietnam. *Atmospheric Environment* 38: 189-201.
- Kalb, K. 1982. Neue bzw. Interessante Flechten aus (Mittel-) Europa II. *Herzogia*. 6:71-83.
- Kantvilas, G. 1989. A checklist of Tasmanian lichens. Papers and Proceedings of the Royal Society of Tasmania. 123:67-85.
- Kashiwadani, H. 1985. Genus *Hyperphyscia* (lichen) in Japan. *Bulletin of the National Science Museum, Tokyo* 11: 91-94.
- Larsen, R.S., Bell, J.N.B., James, P.W., Chimonides, P.J. F., A. T. Rumsey, and Purvis, 2007. Lichen and bryophyte distribution on oak in London in relation to air pollution and bark acidity, *Environmental Pollution* 146 (2): 332–340.
- Loppi, S., Pirintsos, S. A. & De Dominicis, V. (1997) Analysis of the distribution of epiphytic lichens on *Quercus pubescens* along an altitudinal gradient in a Mediterranean area (Tuscany, central Italy). *Israel Journal of Plant Sciences* 45: 53-58.
- Nimis, P.L, Castello, M. & Perotti, M. 1990. Lichens as biomonitors of sulphur dioxide pollution in La Spezia (Northern Italy). *Lichenologist* 22(3) : 333-344.
- Purvis, O. W., Chimonides, J., Din, V., Erotokritou, L., Jeffries, T., Jones, G.C., Louwhoff, S., Read, H. and Spiro, B. 2003. Which factors are responsible for the changing lichen floras of London?. *The Science of the Total Environment*. 310(1-3):179-89.
- Purvis, O.W., Coppins, B.J., Hawksworth, D.L., James, P.W. & Moore, D.M., 1992. The Lichen Flora of Great Britain and Ireland. Natural History Museum Publications in association with the British Lichen Society, London.
- Saipunkaew, W. 1994. Lichens as Bioindicators for Air Pollution Monitoring in Doi Suthep Mountain and Chiang Mai City. Graduate School. Chiang Mai University.

- Saipunkaew, W. 2000. Lichens as Bioindicators for Air Pollution Monitoring in Central Europe and Monsoonal Thailand: the Problem of Standard Technique Transfer, Ph.D. Thesis, University of Basel, Switzerland.
- Saipunkaew, W., Wolseley, P. and Chimonides, P.J. 2005. Epiphytic lichens as indicators of environmental health in the vicinity of Chiang Mai city, Thailand. *Lichenologist* 37 (4): 345-356.
- Santisuk, T. 1988. An Account of the Vegetation of Northern Thailand: Geocological Research vol. 5, Franz Steiner Verlag Wiesbaden GMBH, Stuttgart.
- Seaward, M. R. D. and Letrouit-Galinou, M. A. 1991. Lichen recolonization of trees in the Jardin du Luxembourg, Paris. *Lichenologist* 23 (2) : 181-186.
- Stapper, N.J. and Kricke, R. 2004. Epiphytische Moose und Flechten als Bioindikatoren von städtischer Überwärmung, Standorteutrophierung und verkehrsbedingten Immissionen. *Limprichtia*. 24 : 187-208.
- Staxäng, B. 1969. Acidification of bark of some deciduous trees. *Oikos* 20, 224-230.
- Sutton, M.A., Leith, I.D., Pitcairn, C.E.R., van Dijk, N., Tang, Y.S., Sheppard, L.J., Dragosits, U., Foeler, D., James, P.W. and Wolseley, P.A. 2004. Exposure of ecosystems to atmospheric ammonia in the UK and the development of practical bioindicator methods. In: Lambley, P., and Wolseley, P.A. (eds.), Lichen in a Changing Pollution Environment. English Nature Report. 525: 51-62.
- Thrower, S.L. (1980) Air pollution and lichens in Hong Kong. *Lichenologist* 12 (3): 305-311.
- Van Herk, C.M. 1999. Mapping of ammonia pollution with epiphytic lichens in the Netherlands. *Lichenologist*. 31: 9-20.
- Van Herk, C.M. 2001. Bark pH and susceptibility to toxic air pollutants as independent causes of change in epiphytic lichen composition in space and time. *Lichenologist*. 33: 419-441.

Van Herk, C.M., Aptroot, A., van Dobben, H.F., 2002. Long-term monitoring in the Netherlands suggests that lichens respond to global warming. *Lichenologist* 34(2): 141-154.

Wolseley, P. A., 1997. Response of epiphytic lichens to fire in tropical forests of Thailand, in Türk, R., Zorer, R. (Eds.), *Progress and Problems in Lichenology in the Nineties*, Bibliotheca Lichenologica 68. Gebr. Borntraeger Verlag., Stuttgart pp. 165-176.

Wolseley, P.A., James, P.W., Sutton, M.A., and Theobald, M. 2004. Using lichen communities to assess changes in sites of known ammonia concentrations. In: Lambley, P.W. and Wolseley, P.A. (eds.) *Lichens in a Changing Pollution Environment*. English Nature Report. 525: 107-116.

VDI-Richtlinie 3799, Blatt 1, (1995) Messen von Immissionswirkungen. Ermittlung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen von Immissionen mit Flechten: Flechtenkartierung zur Ermittlung des Luftgütewertes. 12p. , Beuth-Verlag, Berlin.

Output จากโครงการ

1. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ

- 1.1 Sparrius, L.B., Saipunkaew, W., Wolseley, P.A. & Aptroot (2006) New species of *Bactrospora*, *Enterographa*, *Graphidastrea* and *Lecanographa* from northern Thailand and Vietnam. **The Lichenologist**. 38 (1):27-36.
- 1.2 Saipunkaew, Wolseley, P.A. , Chimonides, P.J. and Boonpragob, K. 2007. Epiphytic macrolichens as indicators of environmental alteration in northern Thailand. **Environmental Pollution**. 146: 366-374.

2. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

2.1 เชิงสาธารณะ

- ผลที่ได้จากการวิจัยนี้ ได้นำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดทำหนังสือคู่มือนักสำรวจไลเคน โดยความร่วมมือระหว่างภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และบริติช เคานซิล เชียงใหม่ เพื่อให้ข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับไลเคน และการใช้ไลเคนในการตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม เป็นคู่มือที่ใช้ภาษาง่าย ๆ สำหรับนักเรียน ครู หรือผู้ที่สนใจโดยทั่วไป ในปี พ.ศ. 2549
- จากความร่วมมือในการจัดทำคู่มือดังกล่าว ทำให้เกิดการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการร่วมกัน ภายใต้ชื่อ โครงการฝึกอบรมนักสำรวจไลเคนรุ่นที่ 1 ขึ้นมาระหว่างวันที่ 2 - 3 กันยายน พ.ศ. 2549 เพื่อให้ความรู้เบื้องต้นและการประยุกต์ใช้ไลเคนในการตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม แก่ครูและนักเรียนในระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนในจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน ทำให้มีความสนใจในสาขานี้มากขึ้นในกลุ่มโรงเรียนในจังหวัดเชียงใหม่-ลำพูน
- ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ บริติช เคานซิล เชียงใหม่ โครงการร่วมมือร่วมใจหือเชียงใหม่-หละปุ่นอากาศดี ภายใต้การดูแลของสถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และเครือข่ายอาสาสมัครพิทักษ์อากาศเมืองเชียงใหม่ ได้ร่วมจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ การเฝ้าระวังคุณภาพอากาศเมืองเชียงใหม่โดยการสำรวจไลเคนขึ้นอีกสามรุ่น โดยการสนับสนุนจากโครงการบริการวิชาการแก่ชุมชน “การอนุรักษ์และใช้ประโยชน์ความหลากหลายทางชีวภาพ” มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผู้เข้าอบรมประกอบด้วยคณะครูและนักเรียนในโรงเรียนต่าง ๆ ในจังหวัดเชียงใหม่-ลำพูน รวมทั้งตัวแทนจากหน่วยงานราชการและประชาชนทั่วไป และเนื่องจากยังมีผู้ที่สนใจที่ไม่สามารถเข้าร่วมการอบรมที่ผ่านมา จึงมีการจัดอบรมเพิ่มเติมอีกสองรุ่น และต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน

- จากความร่วมมืออย่างต่อเนื่อง ภายหลังจากเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับไลเคน ทำให้เกิดการรวมตัวของโรงเรียนในจังหวัดเชียงใหม่-ลำพูนทั้งในตัวเมืองและรอบนอก จำนวน 10 โรงเรียน โดยการสนับสนุนงบประมาณจากบริษัท เคานซิล เชียงใหม่ และด้านวิชาการจากภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทำการศึกษาไลเคนในชุมชน เพื่อจัดทำเป็นแผนที่แสดงคุณภาพอากาศขึ้นในเขตจังหวัดเชียงใหม่-ลำพูน และนำเสนอผลที่ได้ในงานสัปดาห์วันวิทยาศาสตร์ประจำปี 2550 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ร่วมออกรายการวิทยุ Young Zone โดยสถานีวิทยุการสื่อสารมวลชน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในหัวข้อเรื่องไลเคนและสิ่งแวดล้อม ในเดือนตุลาคม 2546
- ร่วมถ่ายทำสารคดีเกี่ยวกับไลเคน โดยมูลนิธิโลกทัศน์ไทย เพื่อออกอากาศรายการโลกสิ่งแวดล้อม สถานีโทรทัศน์ช่อง 11 ในเดือนมิถุนายน 2546

1.2 เชิงวิชาการ

- ผลงานวิจัยที่ได้ นำมาใช้ในการเรียนการสอนในระดับปริญญาตรีและระดับบัณฑิตศึกษา เช่น กระบวนวิชา 202887 การติดตามตรวจสอบทางชีวภาพและการจัดการสำหรับระบบนิเวศเขตร้อน การวิจัยของนักศึกษาในระดับปริญญาตรีและระดับบัณฑิตศึกษาของภาควิชาชีววิทยา และสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ทำให้เกิดความสนใจในการใช้ไลเคนในการตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมในโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาในจังหวัดเชียงใหม่-ลำพูน คณะครูและนักเรียนสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอน กิจกรรมของชมรม เช่น ชมรมสิ่งแวดล้อม ภายในโรงเรียน และประยุกต์ใช้ในโครงการวิทยาศาสตร์ของโรงเรียน

3. ผลงานอื่น ๆ

3.1 การนำเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ

3.1.1 Saipunkaew, W. Monitoring Pollution Using Lichens in a Tropical Region of Thailand. The 5th International Association for Lichenology Symposium: Lichens in Focus. Estonia. 15 – 24 August 2004.

3.1.2 Saipunkaew, W. The Use of Lichens as Bioindicators of Environmental Health in Northern Thailand. The 6th International Flora Nalesians Symposium. Philippines. 19 – 26 September 2004.

3.2 หนังสือ/สิ่งตีพิมพ์

วนารักษ์ ไซพันธ์แก้ว, กฤติกา ป้อมเผือก, แพททรีเซีย วูลเซลลี และสุทธาธร สุวรรณรัตน์ (2549) คู่มือนักสำรวจไลเคน. British Council Chiang Mai. 80 หน้า (ISBN: 974-94705-8-3)

Epiphytic macrolichens as indicators of environmental alteration in northern Thailand

W. Saipunkaew^a, P.A. Wolseley^{b,*}, P.J. Chimonides^b, K. Boonpragob^c

^a Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

^b Natural History Museum, Cromwell Road, London SW7 5BD, UK

^c Faculty of Science, Rhamkhamhaeng University, Bangkok 10240, Thailand

Received 15 October 2005; accepted 10 March 2006

Epiphytic lichens in urban and rural areas of northern Thailand can be used as indicators of the levels of pollution associated with increasing population.

Abstract

Epiphytic lichens were sampled on mango trees (*Mangifera* spp.) in 32 sites in urban centres and surrounding rural areas in seven provinces of upper northern Thailand. Species were recorded on each tree and frequency estimated in a grid of ten 100-cm² units. Analysis of macrolichen data showed that lichen diversity was inversely correlated with human population, and that lichen diversity was lowest in the cities with the highest population. The distribution and frequencies of species belonging to families *Physciaceae* and *Parmeliaceae* contributed to the groups identified by cluster analysis that corresponded to gradients in rainfall and population density. Comparison with modelled pollution data and local pollution records showed greater correspondence of lichen data with the effects of PM10 than with anthropogenic sulphur.

© 2006 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: Atmospheric pollution; Biomonitoring; PM10; South East Asia; Urban areas

1. Introduction

Epiphytic lichens have been widely used as bioindicators of the effects of atmospheric pollutants and for changes in environmental conditions in temperate regions (Nimis et al., 2002; Will-Wolf et al., 2002). Their use in tropical zones has been hampered by the lack of taxonomic knowledge of tropical lichens and the absence of data on environmental and pollution conditions. It is now becoming apparent that the fate of atmospheric pollutants in tropical monsoon climates with high rainfall in strongly contrasting seasons may be rather different to that in temperate climates (Hien et al., 2004). In Europe two types of biomonitoring methods using lichens have been

widely applied to assess atmospheric pollutant levels in and around urban sites. VDI (1995) uses lichen frequency from one aspect of each tree, whereas Asta et al. (2002) calculate lichen diversity values (LDV) from frequency data from five consecutive 10-cm square quadrats placed on 4 aspects of each tree sampled. Both methods have shown good correlations with deposition of atmospheric pollutants in urban and surrounding areas (Kirschbaum and Hanewald, 1998; Larsen et al., 2007). However, in tropical conditions the VDI method allows the selection of the lichen-rich aspect of the trunk and avoids aspects often dominated by sterile crustose species that are difficult to identify. Saipunkaew (2000) used the VDI to demonstrate that epiphytic lichen communities in the Chiang Mai region of northern Thailand were affected by conditions in Chiang Mai city. A more recent analysis of the same lichen data has shown the effects of altitude on both macrolichen and crustose lichen floras (Saipunkaew et al., 2005). Results

* Corresponding author. Tel.: +44 20 7942 5617; fax: +44 20 7942 5529.
E-mail address: p.wolseley@nhm.ac.uk (P.A. Wolseley).

showed that in upland areas above 600 m tree trunks were dominated by foliose species and in lowland areas from 250–400 m trunks were frequently dominated by crusts. An analysis of the lowland data based on genera only failed to distinguish urban from agricultural areas. However, analysis of macrolichen species distinguished rural and agricultural sites from urban sites and identified associations of species (Saipunkaew et al., 2005).

In the present paper, lichen data collected on mango trees in urban and rural areas of lowland parts of northern Thailand are tentatively correlated with climatic and population data to identify lichen taxa responding to climatic and geographical gradients and select taxa that could be used as bioindicators of environmental alteration.

2. Study area

Upper northern Thailand comprises 8 provinces of a rather mountainous nature. Each province is geographically separated by mountain ranges and the capital cities are separated in different alluvial plains except the provinces of Chiang Mai and Lamphun, which are located in the Mae Ping river plain. The main rivers and their tributaries rise in the mountain ranges and extend from north to south through the river valleys to the central plain of Thailand (Ogawa et al., 1961; Santisuk, 1988) (Fig. 1).

A strongly alternating climate affects the distribution of pollutants in northern Thailand where a consistent pattern of

cool and hot dry seasons alternates with warm rainy seasons. The cool dry season lasts from October to February, when the northeast monsoon brings cool and dry air masses from China, followed by hot dry season with relatively high daily time temperature. The wet season occurs from May to September with the southwesterly monsoon. Annual rainfall in lowland areas with elevation below 500 m ranges between 600 and 1000 mm but becomes more than 1000 mm in mountain areas.

Northern Thailand was formerly densely forested, so that in 1982 56% of the forested area in the country was in northern Thailand (Royal Forestry Department of Thailand <http://www.forest.go.th/stat/stat40/CONTENTS.pdf>). Above 1000 m forests are mainly evergreen and below 900 m mainly deciduous, the latter comprising mixed deciduous forest on the alluvial lowland plains and deciduous dipterocarp forest on the drier slopes (Santisuk, 1988). The lowland forests on alluvial plains were formerly dominated by teak and large leguminous trees, but extensive logging and the expansion of agricultural land with rapidly growing settlements has removed all natural forest vegetation except in a few protected areas (Santisuk, 1988). The widespread use of fire in the dry season contributes to the degrading of hill forests and to an increase in atmospheric particles. These fires strongly affect epiphytic lichen communities (Wolseley, 1997). Lowland areas are now extensively managed for agriculture, with rice dominating on irrigated land, and vegetables and fruit trees in the vicinity of rural settlements. Mango (*Mangifera indica* L.) trees are widely cultivated in rural and

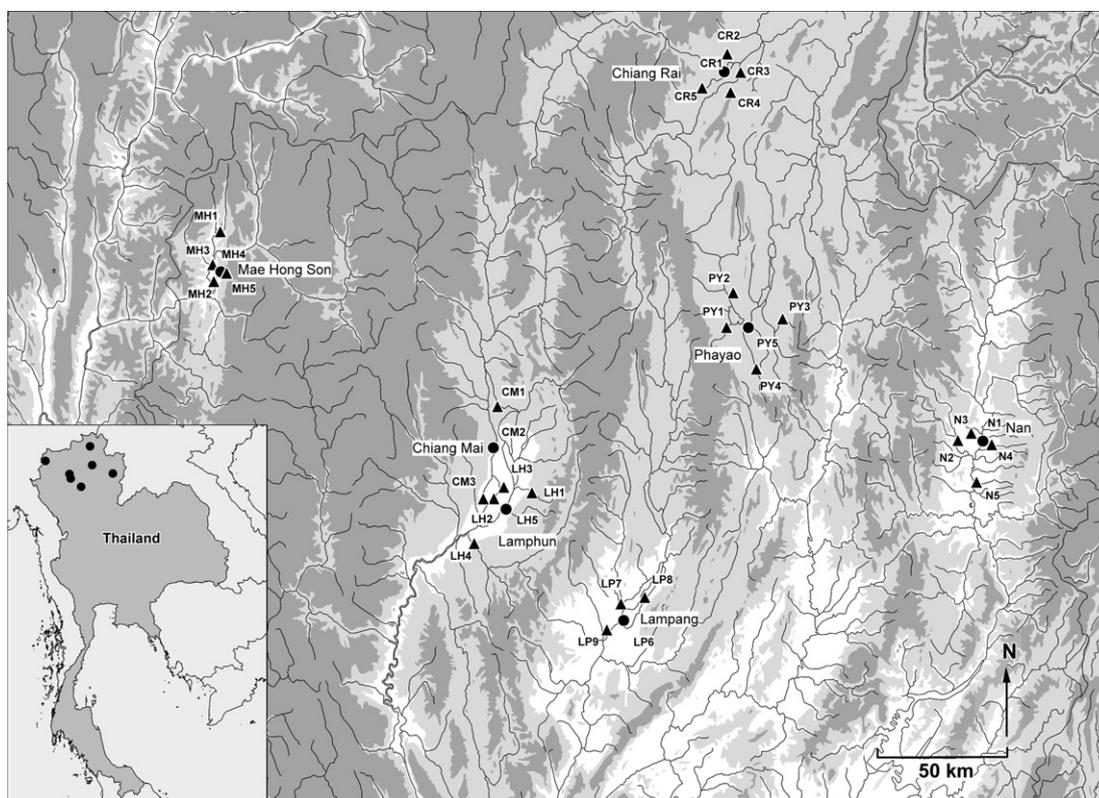


Fig. 1. Map of upper northern Thailand showing urban sampled sites (●) and adjacent rural sites (▲) in seven provinces: Nan, Phayao, Lampang, Lamphun Chiang Rai, Chiang Mai and Mae Hong Son. Mountain regions are indicated by darker grey shading and main river valleys as pale shading.

urban areas where fire is excluded, providing an ideal substrate for investigating climatic and anthropogenic factors influencing the distribution of lichens in urban and rural areas of lowland parts of northern Thailand.

3. Materials and methods

Thirty-two sites were selected in cities of lowland areas of seven provinces of upper northern Thailand below 500 m asl, in order to avoid altitudinal effects (Saipunkaew et al., 2005). Site selection was dependent upon the availability of accessible mango trees and this involved searching in gardens, parks and plantations where ten trees could be found in the same site. The site in the city was as near as possible to the city centre and accessible trees were often in school compounds or gardens. Rural sites were selected on a map in four compass directions (NSEW) from the city centre and appropriate sites searched for in each location so that distances and direction from the centre vary with availability of mango trees (Table 1). At each site, ten trees were selected that were above 60 cm girth, with relatively straight trunks in well-lit situations.

Lichen sampling took place between October 2002 and November 2004. A 20 × 50-cm grid divided into ten sampling units of 10 × 10 cm was fixed by rubber bands to each trunk at 1.50 m above ground on the side where the lichen community was best developed (VDI, 1995). All lichen species in the grid squares were recorded, the results being expressed as a frequency of 1–10 for each species. Tree girth and quadrat aspect were also recorded.

Bark samples were collected to determine surface bark pH (Staxäng, 1969). Thin layers of bark were collected at 1–1.5 m above ground in the four compass directions on the tree and oven dried. After cleaning, 2 g of oven-dried bark were ground and samples soaked in 10 ml distilled water for 24 h. pH of the supernatant liquid was measured using an electrode and pH meter.

Data on rainfall, relative humidity and temperature were obtained from each province from the Thai Meteorological Department. Limited measurements of air pollution data were available e.g. from Chiang Mai city, and population data for all sites was obtained from the Department of Provincial Administration. Population size per settlement varied from agricultural areas where villages were small to Chiang Mai city with a population of 167,616. In order to best represent the variation in the data set an exponential scale was used from 1 = <100; 2 = 100–500; 3 = 501–1000; 4 = 1001–10,000; 5 = 10,001–100,000; 6 = >100,000 (Table 1).

Where possible, lichen species were identified in the field. Samples of all taxa were collected and identification undertaken at Department of Biology, Chiang Mai University and the Natural History Museum (NHM) London. Macrolichens were identified at the species level using a stereomicroscope, spot tests and a UV lamp, and if necessary HPTLC identification of lichen substances. Crustose material was sectioned and sorted to genus using light microscopy and further identified using available keys and literature at the NHM, where possible. Crustose taxa are not included in this paper and will be dealt with in later publications. New species are described in a separate paper (Sparrius et al., 2006). Specimens were deposited at the NHM and the Herbarium of Department of Biology, Chiang Mai University (CMU), Thailand.

Table 1
Data for sites in upper northern Thailand including province, location and direction from city (C = city sites), population and population range, bark pH and mean annual rainfall of each province

Prov.	Site name	Dir.	Alt.	X Long. °E	X Lat. °N	Pop.	Pop. range	Bark pH	Rainfall (mm)
MH	Mae Hong Son City	C	240	97.99	19.31	6861	4	4.97	1409.36
MH	Fish cave	N	250	97.99	19.43	<100	1	5.30	—
MH	Mae Hong Son East	E	260	98.01	19.30	<100	1	4.92	—
MH	Royal Project	S	170	97.96	19.28	<100	1	4.74	—
MH	Sop Soi	W	200	97.96	19.33	<100	1	5.05	—
LH	Lamphun city	C	300	99.04	18.60	15277	5	4.96	1062.24
LH	Umong	N	290	99.03	18.66	1830	4	4.89	—
LH	Ban Pa Pi	E	315	99.14	18.64	419	2	5.09	—
LH	Ban Don	S	300	98.92	18.49	810	3	4.88	—
LH	Pa Kham	W	290	99.00	18.63	1567	4	4.85	—
PY	Phayao city	C	400	99.94	19.14	19663	5	5.35	1285.92
PY	Ban Huay Khian	N	400	99.88	19.24	748	3	5.03	—
PY	Ban Chiang Tong	E	390	100.06	19.16	849	3	5.07	—
PY	Ban Cham Pa Vai	S	390	99.97	19.01	787	3	5.28	—
PY	Ban San Pa Thon	W	400	99.86	19.14	780	3	5.17	—
N	Nan City	C	200	100.80	18.80	21831	5	—	1441.44
N	Mai Suk San	N	300	100.71	18.80	367	2	—	—
N	Tung Noi	E	240	100.83	18.79	888	3	—	—
N	Num Paur	S	200	100.78	18.68	649	3	—	—
N	Hauy Som Poy	W	300	100.76	18.82	507	3	—	—
CR	Chiang Rai city	C	400	99.85	19.90	71328	5	5.3	1716.04
CR	Ban Plu Thong	N	390	99.86	19.96	542	3	5.3	—
CR	Ban Pho Chai	E	420	99.91	19.90	469	2	—	—
CR	Ban Huao Doi	S	410	99.87	19.84	631	3	5.18	—
CR	Ban Nong Mor	W	410	99.77	19.86	813	3	5.24	—
LP	Lampang City	C	231	99.48	18.26	146729	6	5.14	1069.78
LP	Hong Kok	N	220	99.47	18.31	612	3	5.07	—
LP	Fai Noi	E	240	99.55	18.33	1037	4	—	—
LP	Ton Ka	W	220	99.41	18.23	491	2	—	—
CM	Chiang Mai city	C	320	98.99	18.78	167616	6	5.46	1198.66
CM	Mae Jo	N	320	99.01	18.90	4258	4	4.79	—
CM	Ban Thon Kaew	W	280	98.96	18.63	279	2	4.86	—

Multivariate analysis of macrolichen species and environmental data was carried out using PRIMER 6. Principal Component Analysis (PCA), Non-Metric Multi Dimensional Scaling (MDS), and Cluster Analysis (CA) were used to establish similarities and differences between lichen components and sites. Site similarity was estimated using average frequency of all species on all trees in each site in MDS and Cluster Analysis using the Bray–Curtis coefficient. Species compositions within sites were elucidated using the SIMPER (SIMilarity PERcentage contribution) routine in PRIMER 6. Factors used in the analysis were altitude, rainfall (province), population range of city or village, lichen diversity, girth and bark pH of trees.

4. Results

Sampling sites with sufficient mango trees are shown in Fig. 1 and site data showing location, direction and distance from city, altitude, population and population scale together with average rainfall over 5 years for the province are shown in Table 1.

Bark pH ranges from 4.85 to 5.46, the lower end being the natural bark pH of mango trees, while values above 5.1 suggest that there is an alteration of the bark pH with increased nutrients, this coinciding with trees in urban environments with a high population (Table 1).

Twenty-four macrolichen species belonging to nine genera were identified and frequencies recorded on each tree. Cluster analysis of this data showed a regional bias with sites in the north-east (cluster A, Fig. 2) including Chiang Rai (except the city) being distinguished from all other sites. Sites in major cities of Chiang Mai and Lamphun, polluted areas to east and south of Lamphun and Chiang Mai West (in an area strongly affected by industrial development in Lamphun), all occur in Group B. Sites in smaller cities or with moderate environmental alteration are found in Group C. Sites in Mae Hong Son (including the city), rural sites in Phayao (except the western site), and Nan West are clustered in Group E. Multidimensional scaling is used to illustrate site similarity (Fig. 3) and

shows cluster A on the second axis and the distribution of the other sites along the first axis, from the most polluted sites in cluster B to the least polluted sites in cluster E. The low stress value indicates that there is a good resolution of the data in the ordination.

Distribution of macrolichens amongst these clusters is shown in Table 2, where *Hyperphyscia adglutinata* and *Pyxine cocolos* distinguish the main urban areas and their absence determines the segregation of Nan North in group D. Clusters A and E both include more species than in groups B and D, but are separated at both the percent contribution of common species and by the presence of species of *Parmeliaceae* in groups A and E found mainly in Chiang Rai and Mae Hong Son, respectively. Chiang Rai has five species of *Parmeliaceae* and Mae Hong Son two, which are not found in other provinces (Table 3). The *Physciaceae* also show a regional bias in species distribution, with *Pyxine coralligera* in Mae Hong Son and *P. retirugella* in Chiang Rai. These species are absent from groups B and C, which comprise the city centres and the most disturbed sites.

Species diversity is highest for rural sites in Chiang Rai Province (Fig. 4). Chiang Rai city itself is clustered in group C owing to the presence of indicator species such as *H. adglutinata* and *Pyxine cocolos*, but with the highest diversity of any other city centre.

A principal co-ordinate analysis (PCA) of site data and environmental factors (Fig. 5) shows that increasing population is inversely correlated with lichen diversity, city sites being found on the negative section of axis 1 (except Mae Hong Son city) and sites in Mae Hong Son (the smallest city) being found on the highest positive scale of axis 1. Mae Hong Son does not show such high diversity of macrolichens as Chiang Rai, but the low frequency of pollution indicators, combined with the high number of crustose species of moist forest of *Thelotrema* and *Trichotheliaceae* (data not shown)

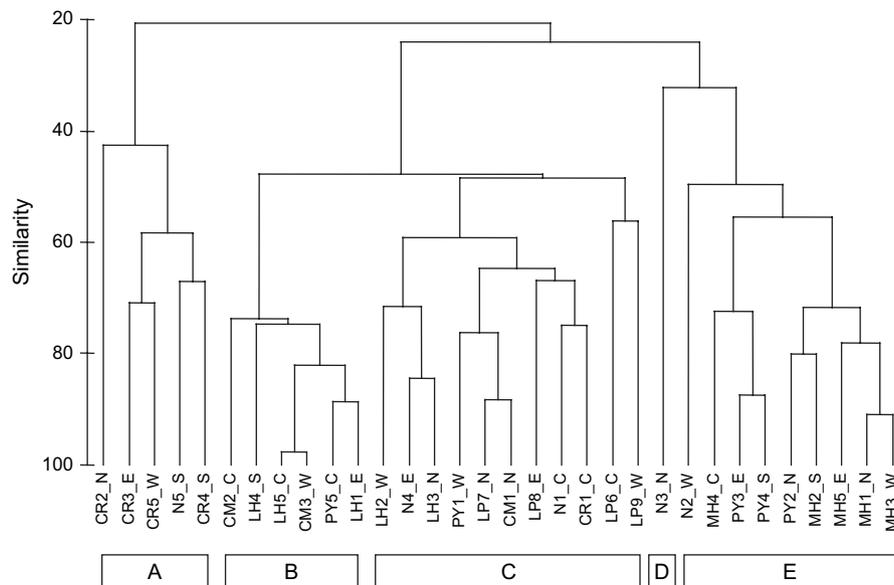


Fig. 2. Dendrogram from cluster analysis using PRIMER based on average frequency of all macrolichen species per site.

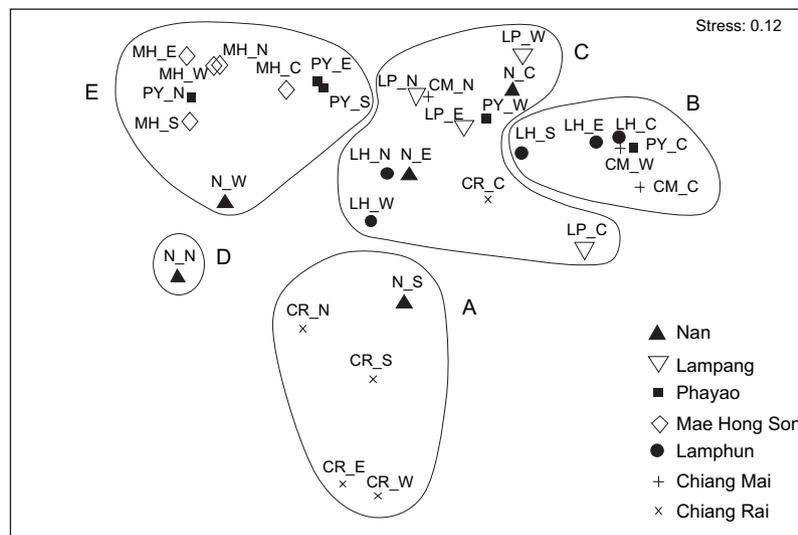


Fig. 3. MDS ordination showing site similarity based on data for Fig. 2 with sites coded by province.

suggests that rural sites in this area are less affected by environmental alteration. When data were averaged to provincial level and rainfall included in the environmental factors, the analyses showed a high correlation of rainfall and diversity ($r = 0.84$, $p = 0.01$, Fig. 6), e.g. Chiang Rai contributes the highest diversity of macrolichens (Fig. 4) and has the highest rainfall (Table 1).

5. Discussion

The alluvial plains of northern Thailand were the main settlement areas from prehistoric times onwards, providing extensive forest cover of valuable teak, leading to early deforestation that was continued by the Burma Teak Company in the 19th century. This has been controlled since 1874, but by this time the natural vegetation of mixed deciduous species dominated by teak only remained in a few sites, that are now protected in reserves. The choice of mango as the tree to be sampled allowed us to eliminate fire damage from the analysis of the results. Although macrolichen diversity of mango trees in lowland areas is low compared to crustose diversity (Saipunkaew et al., 2005), the present analysis of macrolichen data showed that site clusters correlated with both geographic variation and anthropogenic effects associated with increasing population.

Chiang Rai has the highest rainfall and also the highest number of *Parmotrema* species (Table 3). In the Chiang Mai region, *Parmeliaceae* were associated with upland sites, where rainfall and relative humidity were also higher than in lowland areas (Saipunkaew et al., 2005). During the present survey, *Parmotrema* species (except for *P. praesorediosum*) were only found in lowland areas where rainfall is higher, suggesting that there is a moisture gradient preventing the establishment of these species in lowland areas with lower rainfall and humidity combined with higher daytime temperatures. This is also suggested by the distribution of *Parmotrema* in Italy (Giordani, 2004; Loppi et al., 1997).

The increase in *Physciaceae* in temperate regions has been associated with both increasing temperatures and increasing availability of nutrients (Aptroot, 2004; Van Herk, 1999; Van Herk et al., 2002). Their tolerance to high temperatures in tropical climates is associated with a closely appressed habit that reduces evapo-transpiration, the presence of pruina and/or secondary compounds such as lichexanthone in *P. cocolos* or divaricatic acid in species of *Dirinaria*, that protect against UV radiation and direct sunlight (Wolseley, 1997). *Physciaceae*

Table 2

Percentage contribution of lichen species to each group evidenced by cluster analysis in upper northern Thailand, showing *Physciaceae* distinguished by *¹ and *Parmeliaceae* by *²

Species	Group				
	A	B	C	D	E
<i>Dirinaria aegialita</i> * ¹			+		
<i>Dirinaria applanata</i> * ¹	7.26	0.36	26.62	58.33	91.76
<i>Dirinaria consimilis</i> * ¹				8.33	+
<i>Dirinaria picta</i> * ¹	50.67	0.26	2.91		0.33
<i>Hyperphyscia adglutinata</i> * ¹	7.12	49.26	4.68		+
<i>Hyperphyscia cochlearis</i> * ¹	5.72				
<i>Hyperphyscia pandani</i> * ¹	0.19				
<i>Physcia crista</i> * ¹			+		
<i>Physcia poncinsii</i> & <i>P. krogiae</i> * ¹	21.58		0.39	19.17	+
<i>Physcia</i> sp. C* ¹	0.22				
<i>Pyxine cocoes</i> * ¹	4.08	50.12	64.91		3.96
<i>Pyxine consocians</i> * ¹			0.03		+
<i>Bulbothrix bulbochaeta</i> * ²	+				
<i>Parmotrema cooperi</i> * ²	+				
<i>Parmotrema gardneri</i> * ²	+				
<i>Parmotrema incrassatum</i> * ²					+
<i>Parmotrema platyphyllum</i> * ²					0.17
<i>Parmotrema praesorediosum</i> * ²	2.11		0.45	6.67	3.78
<i>Parmotrema rampoddense</i> * ²				1.67	+
<i>Parmotrema saccatibulum</i> * ²			+		+
<i>Parmotrema</i> sp. B* ²	+				
<i>Parmotrema tinctorum</i> * ²	1.06			0.83	+
<i>Candelaria</i> cf. <i>concolor</i>		+	+		
<i>Collema</i> sp. A	+				

Table 3

Percent contribution of lichen species to each province in upper northern Thailand, showing *Physciaceae* distinguished by *¹ and *Parmeliaceae* by *²

Species	Site						
	Nan	Lampang	Phayao	Mae Hong Son	Lamphun	Chiang Mai	Chiang Rai
<i>Dirinaria aegialita</i> * ¹	+	+					
<i>Dirinaria applanata</i> * ¹	45.97	10.55	61.48	97.76	15.15	+	8.33
<i>Dirinaria consimilis</i> * ¹	+						
<i>Dirinaria picta</i> * ¹	12.27			+	4.1	+	42.96
<i>Hyperphyscia adglutinata</i> * ¹	2.74	4.72	5.41	+	22.91	30.45	13.57
<i>Hyperphyscia cochlearis</i> * ¹							6.76
<i>Hyperphyscia pandani</i> * ¹							0.23
<i>Physcia crista</i> * ¹					+		
<i>Physcia poncinsii</i> & <i>P. krogiae</i> * ¹	8.21	+			+		19.47
<i>Physcia</i> sp. C* ¹							0.26
<i>Pyxine cocoes</i> * ¹	30.53	84.73	29.12	+	57.65	69.55	4.71
<i>Pyxine consocians</i> * ¹				+	0.19		
<i>Bulbothrix bulbochaeta</i> * ²							+
<i>Parmotrema cooperi</i> * ²							+
<i>Parmotrema gardneri</i> * ²							+
<i>Parmotrema incrassatum</i> * ²				+			
<i>Parmotrema platyphyllum</i> * ²				0.52			
<i>Parmotrema praesorediosum</i> * ²	0.29	+	3.78	1.72	+	+	2.46
<i>Parmotrema rampoddense</i> * ²	+						
<i>Parmotrema saccatilobum</i> * ²				+			+
<i>Parmotrema</i> sp. B* ²							+
<i>Parmotrema tinctorum</i> * ²	+						1.26
<i>Candelaria</i> cf. <i>concolor</i>			0.2				
<i>Collema</i> sp. A	+						

are widespread in all sites, but their percent contribution varies according to the species. For example, *Dirinaria applanata* contributes most in the rural and less polluted areas, while *P. cocoes* contributes most in the urban and highly populated sites, suggesting that there is a continuous gradient between polluted and disturbed conditions in lowland regions of northern Thailand that have been deforested for a long time. Species like *H. adglutinata*, that are restricted to urban areas are tolerant of conditions where few other macrolichens occur. This species is usually associated with nutrient-enriched substrata (Purvis et al., 1992), suggesting that acidification from SO₂ is not the

major factor affecting lichen communities in lowlands of northern Thailand and that eutrophication is influencing urban lichen communities. This is also suggested by the higher bark pH associated with city sites which has also been observed in industrial areas of Germany (Stapper and Kricke, 2004). *H. adglutinata* has been recently recorded for the first time in Thailand (Saipunkaew et al., 2005) but it is now appearing in many urban areas across the world, including SE Asia, Japan (Kashiwadani, 1985), Hong Kong (Aptroot and Seaward, 1999) and Taiwan (Aptroot et al., 2002). It was recorded as a new species to Europe by Kalb (1982) and as new to Tasmania by Kantvilas (1989),

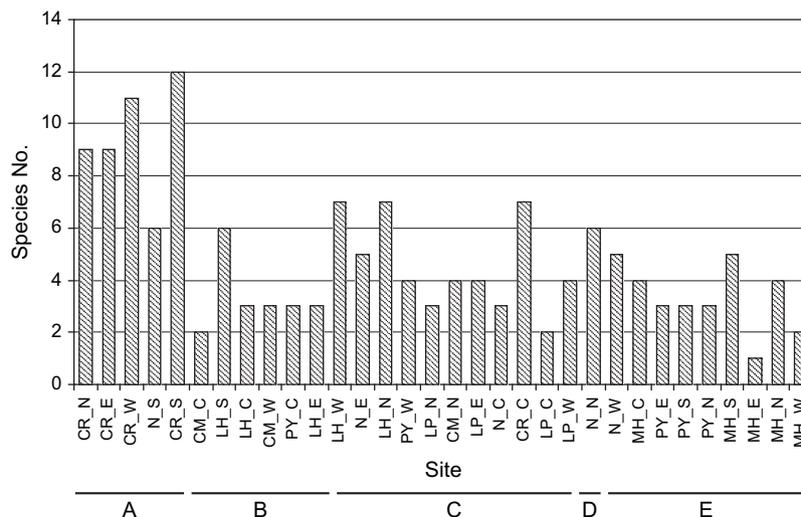


Fig. 4. Total macrolichen diversity for all sites, arranged according to the results of cluster analysis (Fig. 2).

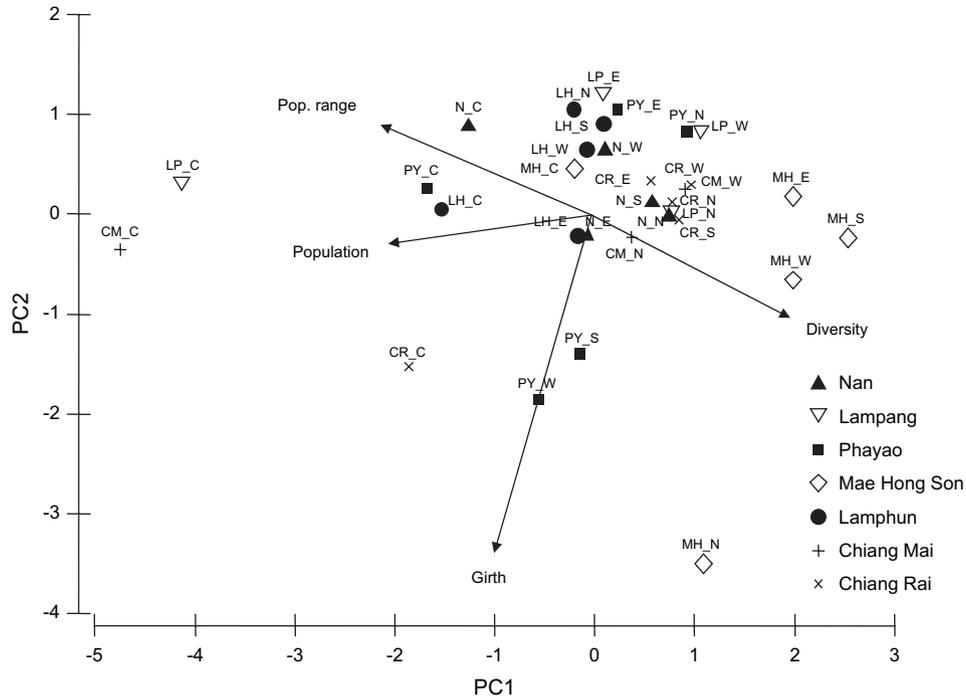


Fig. 5. PCA of lichen site data with environmental factors (vectors offset).

suggesting that it is a rapidly expanding species associated with increasing urbanisation where urban climates are increasingly warm and dry.

Although information on atmospheric pollutants is not available for large areas of northern Thailand, the results of a recent attempt to model the distribution of SO₂ at a 50-km scale during wet and dry seasons of the year (Siniarovina and Engardt, pers. commun.) is shown in Table 4. At this scale, the only province where low SO₂ levels persist throughout the year is Mae Hong Son, whereas Chiang Mai, Lamphun

and Lampang fall within high winter levels and Phayao into high summer levels.

In Europe, the distribution of pollution-tolerant and pollution-sensitive lichens has been associated with changes in bark pH, in the case of acidification from SO₂ and other industrial pollutants lowering bark pH, and in the case of increased nitrogen deposition from NH₃ rising bark pH (Sutton et al., 2004; Van Herk, 2001). The limited results from northern Thailand suggest that there is an increase in bark pH in the urban areas of Chiang Mai and Phayao and at fish cave in Mai

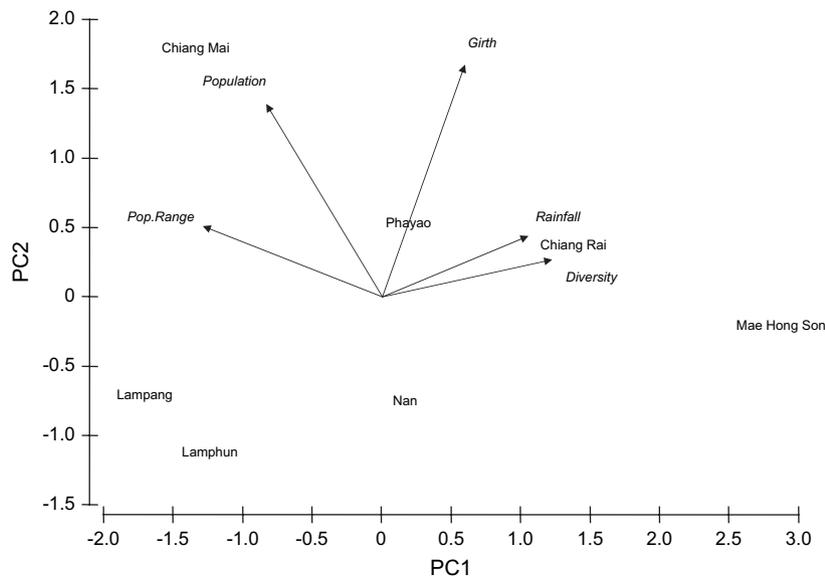


Fig. 6. PCA of lichen data averaged by province.

Table 4
Modelled monthly-mean near-surface SO₂ mixing ratio in ppb (v) during July and December (data from Siniarovina and Engardt, pers. commun.)

Province	July	December
Mae Hong Son	0.1–0.2	0.2–1
Chiang Rai	2–5	2–5
Phayao	10–15	1–2
Chiang Mai	2–5	15–30
Lamphun	1–2	8–10
Lampang	0.2–1	10–15
Nan	0.2–1	0.2–1

Hong Son, the last site being situated in the vicinity of a picnic ground and permanent camp fire site. A similar effect of increasing bark pH has been noted on *Quercus* species in the centre of London (Larsen et al., this volume), and in Germany (Stapper and Kricke, 2004).

In 2003, mean SO₂ annual concentrations were 1.4 ppb in Chiang Mai city and 1.0 ppb outside the city. Engardt and Leong (2001) report that in a tropical environment SO₂ is rapidly converted to SO₄²⁻ and in this form it is deposited as particulate matter (Hien et al., 2004). Mean annual concentration of PM10 in Chiang Mai city in the same year was 48.4 µg m⁻³, with peaks above 140 µg m⁻³ (National Statistical Office of Thailand, http://www.nso.go.th/nso/data/data23/data23_22.html), often exceeding the threshold limit of 120 µg m⁻³. PM10 in Hanoi, Vietnam, has high contributions of Ca²⁺, NH₄⁺, and SO₄²⁻ (Hien et al., 2004). This would account for the higher bark pH in the highly populated cities of northern Thailand, especially those undergoing rapid development using concrete as the main building source. The association of *H. adglutinata* with increased nutrients (Purvis et al., 1992; Saipunkaew et al., 2005) also suggests that city areas in the monsoon tropics may be more influenced by particulate matter than by acidification determined by anthropogenic SO₂. In Lampang, PM10 showed a range of 11–300 µg m⁻³ in 2002, owing to the adjacent lignite-fuelled plant at Mae Moh. Where rainfall is high the particulate matter may have less effect on bark pH as in Chiang Rai, where lichen communities on mango trees in rural areas close to the city are highly diverse and support a range of macrolichen species including *Parmeliaceae*. A similar effect has recently been shown for oak trees across a climatic gradient in Britain where acidophytes—nitrogen sensitive species—have continued to occur on trunks in the vicinity of high ammonia emissions in regions of high rainfall (Wolseley et al., 2004).

At all sites, the inverse correlation of population with lower epiphytic lichen diversity confirms the adverse affect of urbanisation on lichen community composition and diversity.

6. Conclusions

Northern Thailand has been settled for a long period of time so that in lowland areas there are few remnants of natural forest. In this region, epiphytic macrolichen diversity is inversely correlated with population density, and in sites with population above 100,000 inhabitants it is associated with

the appearance of *H. adglutinata* and a general increase in the frequency of species of *Physciaceae*. Species of *Physciaceae* are elsewhere associated with disturbance, increased nutrients and a warmer, drier climate, whereas species of *Parmeliaceae* in northern Thailand are restricted to sites with higher rainfall and atmospheric humidity.

Despite high levels of modelled SO₂ in the region of Chiang Mai and Lampang cities, there is no evidence of acidification in bark pH or epiphytic lichen species composition. The results suggest that high levels of particulate matter may be more important in affecting lichen distribution in and around urban areas, and that sites to the north and east of highly populated and industrial areas are affected, coinciding with wet deposition from the south-westerly monsoon.

There is a rainfall gradient across the northern provinces combined with a gradient from areas of geographic isolation to more populated lowland areas along the major river valleys in a north–south direction. In the lowland valleys the gradient in environmental conditions from rural sites to urban sites coincides with changes in the frequency of widespread species of *Physciaceae* and in macrolichen diversity and species composition. The rapid increase in diversity in some rural areas outside cities and the absence of *H. adglutinata* suggest that in these areas urban pollutants remain a rather local problem that is not reflected in modelling of air pollution on a 50-km or wider scale. However, the absence of species of *Parmeliaceae* in most lowland sites suggests that there is considerable alteration of climate brought about by loss of forest cover and associated decrease in relative humidity during the dry season in Thailand.

Many crustose species of highly disturbed lowland areas of tropical conditions are difficult to identify or still undescribed. The use of LDV allows the selection of the aspects on the tree trunk dominated by macrolichens, and avoids aspects dominated by sterile and other crusts that are not readily identified. Results presented here have shown that macrolichens can be used to distinguish geographical variation in species distribution from anthropogenic alteration of environmental conditions.

Acknowledgements

The research was supported by the Thailand Research Fund and the Royal Society. Facilities have been provided Department of Biology, Chiang Mai University and Department of Botany, The Natural History Museum. The authors wish to thank Roland Moberg and Laurens Sparrus for identification of specimens, Magnuz Engardt for contributing modelled data on air pollution in South East Asia, and reviewers and editors for improving our paper and widening the discussion.

References

- Aptroot, A., 2004. Global ecological patterns of nitrophytic lichens. In: Lambley, P.W., Wolseley, P.A. (Eds.), *Lichens in a Changing Pollution Environment*. English Nature Report 525, English Nature, Peterborough, pp. 67–71.

- Aptroot, A., Seaward, M.R.D., 1999. Annotated checklist of Hongkong lichens. *Tropical Bryology* 17, 57–101.
- Aptroot, A., Sparrius, L.B., Lai, M.-J., 2002. New Taiwan macrolichens. *Mycotaxon* 84, 281–292.
- Asta, J., Erhardt, W., Ferretti, M., Fornasier, F., Kirschbaum, U., Nimis, P.L., Purvis, O.W., Pirintsos, S., Scheidegger, C., van Haluwyn, C., Wirth, V., 2002. Mapping lichen diversity as an indicator of environmental quality. In: Nimis, P.L., Scheidegger, C., Wolseley, P.A. (Eds.), *Monitoring with Lichens—Monitoring Lichens*. Nato Science Series. IV. Earth and Environmental Sciences. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 273–279.
- Engardt, M., Leong, C.P., 2001. Regional modelling of anthropogenic sulphur in Southeast Asia. *Atmospheric Environment* 35, 5935–5947.
- Giordani, P., 2004. Lichen indicator species of environmental conditions in Liguria (N. Italy). In: Lambley, P., Wolseley, P.A. (Eds.), *Lichens in a Changing Pollution Environment*. English Nature Report 525, pp. 76–83.
- Hien, P.D., Bac, V.T., Thinh, N.T.H., 2004. PMF receptor modelling of fine and coarse PM10 in air masses governing monsoon conditions in Hanoi, northern Vietnam. *Atmospheric Environment* 38, 189–201.
- Kalb, K., 1982. Neue bzw. interessante Flechten aus (Mittel-) Europa II. *Herzogia* 6, 71–83.
- Kantvilas, G., 1989. A checklist of Tasmanian lichens. *Papers and Proceedings of the Royal Society of Tasmania* 123, 67–85.
- Kashiwadani, H., 1985. Genus *Hyperphyscia* (lichen) in Japan. *Bulletin of the National Science Museum, Tokyo. Series B (Botany)* 11, 91–94.
- Kirschbaum, U., Hanewald, K., 1998. Immissionbezogene Flechtenkartierung in hessischen Dauerbeobachtungsflächen. *Journal of Applied Botany* 72, 212–227.
- Loppi, S., Pirintsos, S.A., De Dominicis, V., 1997. Analysis of the distribution of epiphytic lichens on *Quercus pubescens* along an altitudinal gradient in a Mediterranean area (Tuscany, central Italy). *Israel Journal of Plant Sciences* 45, 53–58.
- Nimis, P.L., Scheidegger, C., Wolseley, P.A., 2002. *Monitoring with Lichens - Monitoring Lichens*. Kluwer Academic Publishers, London, 408 pp.
- Ogawa, H., Yoda, K., Kira, T., 1961. Vegetation of Thailand. In: Kira, T., Umesao, T. (Eds.), *Nature and Life in South East Asia. Fauna and Flora Research Society, Kyoto*, pp. 21–157.
- Purvis, O.W., Coppins, B.J., Hawksworth, D.L., James, P.W., Moore, D.M., 1992. *The Lichen Flora of Great Britain and Ireland*. Natural History Museum Publications in association with the British Lichen Society, London.
- Saipunkaew, W., 2000. Lichens as Bioindicators for Air Pollution Monitoring in Central Europe and Monsoonal Thailand: the Problem of Standard Technique Transfer. Ph.D. Thesis, University of Basel, Switzerland.
- Saipunkaew, W., Wolseley, P.A., Chimonides, J., 2005. Epiphytic lichens as indicators of environmental health in the vicinity of Chiang Mai city, Thailand. *Lichenologist* 37, 345–356.
- Santisuk, T., 1988. *An Account of the Vegetation of Northern Thailand: Geobotanical Research*, vol. 5. Franz Steiner Verlag Wiesbaden GmbH, Stuttgart.
- Sparrius, L., Saipunkaew, W., Wolseley, P.A., Aptroot, A., 2006. New species of *Bactrospora*, *Enterographa*, *Graphidastra* and *Lecanographa* from northern Thailand and Vietnam. *Lichenologist* 38, 27–36.
- Stapper, N.J., Kricke, R., 2004. Epiphytische Moose und Flechten als Bioindikatoren von städtischer Überwärmung, Standorteutrophierung und verkehrsbedingten Immissionen. *Limprichtia* 24, 187–208.
- Staxäng, B., 1969. Acidification of bark of some deciduous trees. *Oikos* 20, 224–230.
- Sutton, M.A., Leith, I.D., Pitcairn, C.E.R., van Dijk, N., Tang, Y.S., Sheppard, L.J., Dragosits, U., Fowler, D., James, P.W., Wolseley, P.A., 2004. Exposure of ecosystems to atmospheric ammonia in the UK and the development of practical bioindicator methods. In: Lambley, P., Wolseley, P.A. (Eds.), *Lichens in a Changing Environment*. English Nature Research Report no. 525, English Nature, Peterborough, pp. 51–62.
- Van Herk, C.M., 1999. Mapping of ammonia pollution with epiphytic lichens in the Netherlands. *Lichenologist* 31, 9–20.
- Van Herk, C.M., 2001. Bark pH and susceptibility to toxic air pollutants as independent causes of change in epiphytic lichen composition in space and time. *Lichenologist* 33, 419–441.
- Van Herk, C.M., Aptroot, A., van Dobben, H.F., 2002. Long-term monitoring in the Netherlands suggests that lichens respond to global warming. *Lichenologist* 34, 141–154.
- VDI, 1995. VDI-Richtlinie 3799 Blatt 1, Messen von Immissionswirkungen. Ermittlung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen von Immissionen mit Flechten: Flechtenkartierung zur Ermittlung des Luftgütwertes. Beuth, Berlin.
- Will-Wolf, S., Esseen, P.-A., Neitlich, P., 2002. Monitoring biodiversity and ecosystem function: forests. In: Nimis, P.L., Scheidegger, C., Wolseley, P.A. (Eds.), *Monitoring with Lichens—Monitoring Lichens*. Kluwer Academic Publishers, London, pp. 203–222.
- Wolseley, P.A., 1997. Response of epiphytic lichens to fire in tropical forests of Thailand. In: Türk, R., Zorer, R. (Eds.), *Progress and Problems in Lichenology in the Nineties*. Bibliotheca Lichenologica 68. Gebr. Borntraeger, Stuttgart, pp. 165–176.
- Wolseley, P.A., James, P., Sutton, M.A., Theobald, M., 2004. Using lichen communities to assess changes in sites of known ammonia concentrations. In: Lambley, P.W., Wolseley, P.A. (Eds.), *Lichens in a Changing Pollution Environment*. English Nature Report 525, English Nature, Peterborough, pp. 67–71.