



BIOTEC
a member of NSTDA



รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการการสำรวจด้านกายภาพและชีวภาพ

ณ เขานม อุทยานแห่งชาติเขานัน

โดย

ผศ. ดร. กฤษณะเดช เจริญสุธาสินีและคณะ

หน่วยวิจัยระบบซับซ้อน มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ระยะเวลา 1 มิถุนายน 2551 – 23 เมษายน 2552

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการการสำรวจด้านกายภาพและชีวภาพ

ณ เขานม อุทยานแห่งชาติเขานัน

ลำดับที่	คณะผู้วิจัย	สังกัด
1.	ผศ.ดร.กฤษณะเดช เจริญสุธาสิทธิ์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
2.	ผศ.ดร.มัลลิกา เจริญสุธาสิทธิ์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
3.	นายพีระศักดิ์ แสงอรุณ	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
4.	นายวิทยา ภิระ	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

สนับสนุนโดย

โครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบายการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย
(โครงการ BRT)

คำนำ

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการสำรวจด้านกายภาพและชีวภาพ ณ เขานม อุทยานแห่งชาติเขานันได้รับการสนับสนุนจากโครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบายการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย (BRT) และอุทยานแห่งชาติเขานัน จังหวัดนครศรีธรรมราช จัดขึ้นในระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน 2551 ถึง 23 เมษายน 2552 ณ อุทยานแห่งชาติเขานัน จังหวัดนครศรีธรรมราช

คณะผู้จัดทำรายงานหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่นำข้อมูลไปใช้ในการศึกษา และผู้ที่มีความสนใจในด้านลักษณะนิเวศวิทยาของป่าเมฆ ณ เขานม

คณะผู้จัดทำ

เมษายน 2552

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	3
สารบัญ	4
สารบัญรูปภาพ	5
สารบัญตาราง	6
บทนำ	7
วิธีการศึกษา	8
ผลการศึกษา	12
สรุปผลการศึกษา	29
ปัญหาและอุปสรรค พร้อมแนวทางการแก้ไข	29
กิตติกรรมประกาศ	30
เอกสารอ้างอิง	31
บทความสู่สาธารณะชน	33
ภาคผนวก	34

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1	ลักษณะของป่าบริเวณสันเขา ของยอดเขานม ที่ระดับความสูง 1,270 เมตร	7
2	จุดศึกษาลักษณะของป่าเมฆ เส้นทางขน. คลองกัน-เขานม (a) บริเวณอุทยานแห่งชาติเขานัน (b) จุดศึกษาลักษณะอากาศ (HOBO Pro V2) และจุดเก็บตัวอย่างดิน (c) บริเวณจุดติดตั้งเครื่องตรวจวัดอากาศอัตโนมัติ ยอดเขานม และ (d) เครื่องมือวัดอากาศอัตโนมัติ (Davis Automatic Weather Station) โดยติดตั้งที่ 1,274 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล	8
3	การศึกษาลักษณะต้นไม้ที่ป่าเมฆ (a) ภาพถ่ายใบไม้ (b) การวัดความสูงของต้นไม้ และ (c) ภาพถ่าย % ที่ซิงอากาศปกคลุมบริเวณลำต้นกรอบพร้อมสเกล	11
4	ลักษณะอากาศที่ป่าเมฆ เขานม (NCF), เขาดาดฟ้า (DCF), และ ที่ทำการอุทยานแห่งชาติเขานัน (NHQ). (a) อุณหภูมิเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$), ความชื้นสัมพัทธ์ (%), (c) จุดน้ำค้าง ($^{\circ}\text{C}$), (d) ความเร็วลม (m/s), (e) heat index, (f) ปริมาณฝนเฉลี่ยแต่ละวัน (mm/day), (g) ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (W/m^2), (h) solar energy (Ly), (i) UV index และ (j) evapotranspiration (mm)	13
5	ลักษณะภูมิอากาศ ระหว่างวันที่ 19 – 21 เมษายน 2550 %ความชื้นสัมพัทธ์กับอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) (a) เขานม (b) เขาดาดฟ้า (c) เขานัน (สุนันทา)	14
6	ข้อมูลอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของแต่ละระดับความสูงระหว่างวันที่ 16 มกราคม ถึงวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2552	18
7	ข้อมูลอุณหภูมิของแต่ละระดับความสูงระหว่างวันที่ 16 ถึงวันที่ 29 มกราคม 2552	19
8	ข้อมูลปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของแต่ละระดับความสูงระหว่างวันที่ 16 ถึงวันที่ 29 มกราคม 2552	20
9	รูปแบบเปอร์เซ็นต์การแจกแจงความถี่ (histogram) ของข้อมูลอุณหภูมิที่ระดับความสูงต่างๆ	21
10	รูปแบบเปอร์เซ็นต์การแจกแจงความถี่ (histogram) ของข้อมูลปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับความสูงต่างๆ	22
11	ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลอุณหภูมิของแต่ละระดับความสูง	24

12	ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของแต่ละระดับ ความสูง	25
13	ลักษณะดินบริเวณป่าเมฆเขานม ตามระดับความสูง (a) ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน (%) (b) ความชื้นในดิน (%) (c) pH	26
14	ลักษณะพืชกับระดับความสูง (m.) เส้นทางชน. คลองกัน-เขานม ระหว่างวันที่16-18 มกราคม 2552 (a) ความหนาของใบไม้ (b) พื้นที่ของใบไม้ (c) ความสูงของต้นไม้ (d) ความกว้างของฐานทรงพุ่ม และ (e) เปอร์เซ็นต์พืชอิงอาศัยปกคลุม	28

1. บทนำ

เขานมเป็นยอดเขาสูงสุดยอดหนึ่งของยอดเขาที่สำคัญๆ ในอุทยานแห่งชาติเขานัน นอกจาก เขาใหญ่ เขานันใหญ่ เขานันเมีย เขาเหล็ก เขาช่องลม และเขาไต ซึ่งที่จุดสูงสุดของยอดเขานมสูงประมาณ 1,342 เมตร จากระดับน้ำทะเล เมื่อเทียบกับเขานันใหญ่ซึ่งสูงประมาณ 1,438 เมตรจากระดับน้ำทะเล นับว่า เขานม เป็นยอดเขาที่น่าศึกษาลักษณะที่สำคัญอีกยอดเขาหนึ่งที่มีลักษณะเป็นป่าเมฆอุดมสมบูรณ์ เนื่องจากยังมีสภาพธรรมชาติดั้งเดิม ไม่ได้ถูกรบกวนจากมนุษย์มากนัก ลักษณะโดยทั่วไปบริเวณยอดเขามีพืชอิงอาศัยหนาแน่น มีพันธุ์ไม้เฉพาะถิ่นและกล้วยไม้نانาชนิด บริเวณสันเขาดันไม่มีลักษณะแคระแกร็น และมีหมอกปกคลุมอยู่ทั่วไป



รูปที่ 1 ลักษณะของป่าบริเวณสันเขา ของยอดเขานม ที่ระดับความสูง 1,270 เมตร

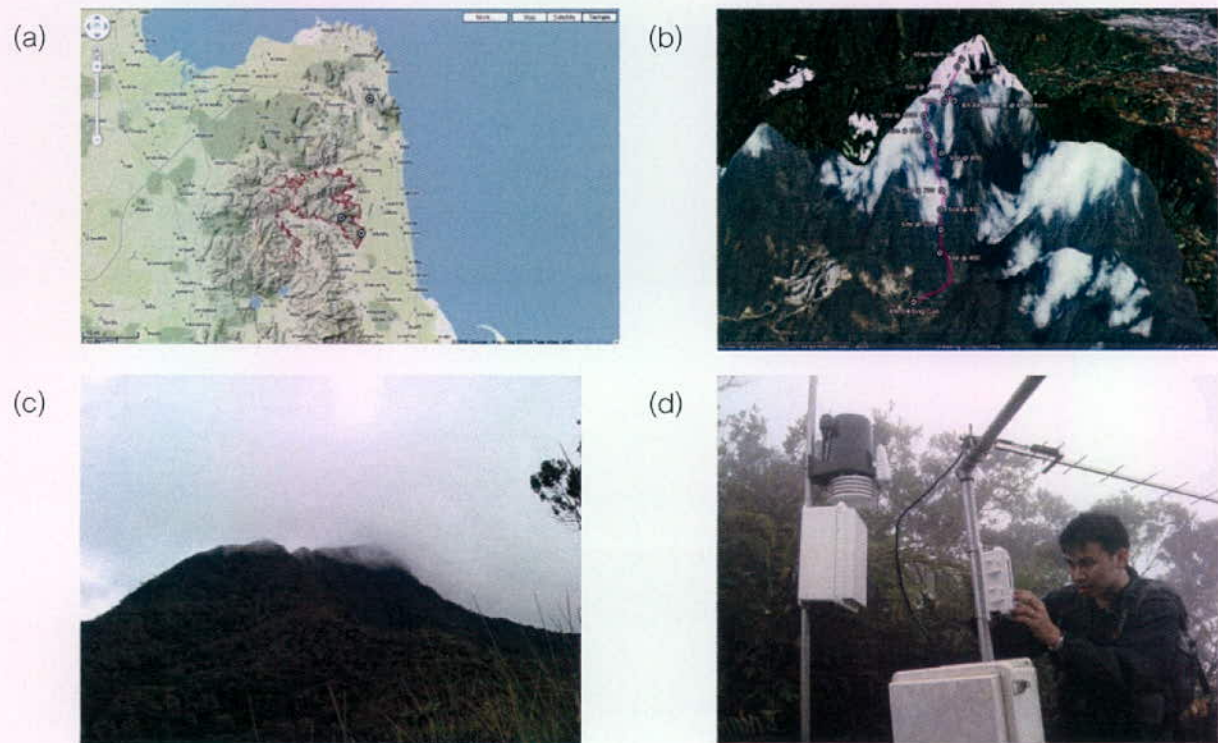
ป่าเมฆ (cloud forest) เป็นป่าที่มีลักษณะพิเศษของสังคมพืช ลักษณะของพันธุ์พืช สภาพอากาศ และลักษณะดิน ที่ป่าเมฆจะมีหมอกเกิดขึ้นเกือบตลอดเวลา (Stadmüller, 1987) มีความชื้นสัมพัทธ์สูง ทำให้เกิดลักษณะเฉพาะของพืชที่พบบริเวณป่าเมฆ พืชจะมีลักษณะลำต้นเตี้ย แคระ มีการหึงงอของกิ่งมากขึ้น ใบจะมีขนาดเล็กกลมและหนาขึ้น ทรงพุ่มของต้นจะสั้นลง (Whitmore, 1989) นอกจากนี้บริเวณลำต้นและกิ่งของต้นไม้บริเวณป่าเมฆจะมีพืชอิงอาศัย (Epiphyte) อาศัยอยู่อย่างหนาแน่น (Foster, 2001) และมักเป็นพืชเฉพาะถิ่น (León and Young, 1996) ดินที่ป่าเมฆจะมีความชื้นและปริมาณสารอินทรีย์วัตถุสูง (Grubb, 1977; Kitayama, 1995; Bruijnzeel and Veneklaas, 1998; Werner, 1998)

ด้วยลักษณะเฉพาะของสภาพภูมิอากาศในป่าเมฆ ทำให้ป่าเมฆในแต่ละพื้นที่มีลักษณะเฉพาะของสภาพแวดล้อม ทั้งลักษณะดิน พืช และสัตว์ การศึกษาค่า pH ของดินบริเวณป่าเมฆ ที่ระดับความสูง 1,500 – 2,000 เมตร ทางตอนใต้ ของเม็กซิโก (Arteaga et al., 2008) พบว่าค่า pH อยู่ระหว่าง 2.9 – 4.2

และมีค่าสูงขึ้น เล็กน้อยเมื่อความลึกของดินมากขึ้น ค่าความชื้นในดินที่ระดับผิวดิน ความลึกไม่เกิน 10 เซนติเมตร ขึ้นกับระดับความสูงและฤดูกาล จากการศึกษาความชื้นในดินที่ระดับ 1,600 – 2,100 เมตร ที่ ป่าเมฆ Tenerife (Gieger and Leuschner, 2004) พบว่าความชื้นในดินมีค่าอยู่ระหว่าง 11 – 41.8 % ใน เดือนเมษายน ช่วงปลายฤดูฝน มีค่าลดลงตามความสูงจากระดับน้ำทะเล และมีค่าลดลงในฤดูแล้ง กลางเดือนมิถุนายน

บริเวณที่เป็นเขานมนับจากระดับความสูงระดับ 1000 เมตรขึ้นไป จะพบพืชเฉพาะถิ่นมากมาย ใน การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาลักษณะของป่าเมฆ เส้นทางศึกษารวมชาติ ขน.คลองกัน-เขานม อุทยาน แห่งชาติเขานัน จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยแบ่งลักษณะของป่าเมฆที่ทำการศึกษออกเป็น 5 ส่วนคือ ลักษณะต้นไม้ อากาศ และดิน โดยเราทำนายว่าที่ป่าเมฆจะมี (1) ใบไม้จะมีขนาดพื้นที่ใบเล็กลงและมี ความหนาของใบมากขึ้น (2) %ปริมาณพืชอิงอาศัยปกคลุมเพิ่มขึ้น (3) %ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ เพิ่มขึ้น (4) %ความชื้นในดินเพิ่มขึ้น (5) % อินทรีย์สารในดินเพิ่มขึ้น

2. วิธีการศึกษา



รูปที่ 2 จุดศึกษาลักษณะของป่าเมฆ เส้นทางขน. คลองกัน-เขานม (a) บริเวณอุทยานแห่งชาติเขานัน (b) จุดศึกษาลักษณะอากาศ (HOBO Pro V2) และจุดเก็บตัวอย่างดิน (c) บริเวณจุดติดตั้งเครื่องตรวจวัด

อากาศอัตโนมัติ ยอดเขานม และ (d) เครื่องมือวัดอากาศอัตโนมัติ (Davis Automatic Weather Station) โดยติดตั้งที่ 1,274 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล

ได้ทำการไปสำรวจลักษณะของป่าเมฆตามเส้นทางศึกษาธรรมชาติ ขน.คลองกัน – เขานม อุทยานแห่งชาติเขานันระยะทางประมาณ 3,000 เมตร จังหวัดนครศรีธรรมราช (รูปที่ 2a) ในระหว่างวันที่ 16-18 มกราคม 2552 ซึ่งเป็นช่วงปลายของฤดูหนาว จัดว่าเป็นช่วงเวลาที่มีอากาศค่อนข้างเย็น มีเมฆปกคลุมเกือบตลอดเวลาบริเวณยอดเขานม

2.1 ลักษณะอากาศ

ได้ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดอากาศอัตโนมัติ (Davis Automatic Weather Station) ไว้บนเขานม ระดับความสูง 1,274 เมตร จากระดับน้ำทะเล (รูปที่ 2c) และได้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอากาศอัตโนมัติทำการวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ HOB0 Pro V2 ที่ระดับความสูง 5 ระดับดังนี้ 500, 700, 900, 1100, และที่ระดับ 1300 เมตร จากระดับน้ำทะเล (รูปที่ 2b) ในระหว่างวันที่ 16 มกราคม – 19 กุมภาพันธ์ 2552 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ตามระดับความสูง

ทำการเก็บข้อมูลอากาศที่ป่าเมฆเขานม อุทยานแห่งชาติเขานันที่ระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 1,274 เมตรเป็นเวลา 33 วัน ระหว่างวันที่ 16 มกราคม - 19 กุมภาพันธ์ 2552 (รูปที่ 2d) โดยใช้เครื่องมือตรวจวัดอากาศอัตโนมัติ Davis Weather Station ติดตั้งไว้บริเวณยอดเขานม เพื่อวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ระดับความเข้มแสง ปริมาณฝน จุดน้ำค้าง ทิศทางลม ความเร็วลม และอื่นๆ และใช้เครื่องมือวัดอากาศแบบอัตโนมัติ HOB0 Pro V2 เพื่อวัดอุณหภูมิอากาศสูงสุด อุณหภูมิอากาศต่ำสุด อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย และ %ความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับความสูง 500, 700, 900, 1100 และ 1300 เมตรจากระดับน้ำทะเล เนื่องจากบริเวณที่เป็นป่าเมฆที่สมบูรณ์บนยอดเขานม อยู่ห่างจากหน่วย ขน.คลองกัน ประมาณ 3,000 เมตรการส่งสัญญาณมีข้อจำกัดอยู่ที่ระยะเพียง 3,000 เมตร อีกทั้งมียอดเขาบัง ทำให้ไม่สามารถส่งสัญญาณ จากยอดเขานมได้โดยตรง จึงได้ส่งสัญญาณข้อมูลจากเขานมมายังเขาค่อม ที่ระดับความสูง 1,134 เมตร ซึ่งทำหน้าที่ส่งสัญญาณมายังขน.คลองกันอีกทอดหนึ่ง นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลอากาศจาก weather station ที่บริเวณสำนักงานอุทยานแห่งชาติเขานัน จังหวัดนครศรีธรรมราช และบริเวณเขาตาดฟ้า ซึ่งเป็นสถานีติดตั้งตรวจวัดอากาศที่เป็นป่าเมฆ ตั้งอยู่ในอำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช อยู่ที่ความสูง 680 เมตร จากระดับน้ำทะเลอีกแห่งหนึ่ง (รูปที่ 2a)

2.2 ลักษณะดิน

การศึกษาลักษณะดินที่ป่าเมฆ อุทยานแห่งชาติเขานัน ตามเส้นทางชน.คลองกัน-เขานม โดยได้เก็บตัวอย่างดินเพื่อไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ในการเก็บตัวอย่างดินได้ใช้ภาชนะทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร ตอกลงไปในหน้าดินที่ระดับความลึกไม่เกิน 10 เซนติเมตร ที่ระดับความสูง 500, 700, 900, 1100 และ 1300 เมตร จากระดับน้ำทะเล (รูปที่ 2b) โดยแต่ละจุด ทำการเก็บตัวอย่างดินจำนวน 3 ซ้ำ โดยแต่ละซ้ำจะอยู่ภายในรัศมี 1 เมตร ใช้ GPS, รุ่น 76 CSX วัดละติจูด ลองจิจูด และระดับความสูง นำดินมาวิเคราะห์หาค่าความชื้นในดิน โดยนำดิน 200 กรัม มาอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักก่อนและหลังอบ แล้วจึงนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดิน และทำการวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สารในดิน โดยนำดินที่อบแห้งแล้ว 50 กรัม ไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักดินก่อนและหลังเผาเพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์ของอินทรีย์วัตถุในดิน ส่วนการหาค่า pH ของดิน ได้นำดินที่อบแห้งและบด ละเอียดแล้วจำนวน 40 กรัม ผสมน้ำกลั่น 40 กรัม คนประมาณ 5 นาที ตั้งพักไว้ให้ตกตะกอน แล้ววัดค่า pH

2.3 ลักษณะต้นไม้

ในการศึกษาลักษณะต้นไม้ตั้งแต่ชน. คลองกัน ถึงเขานม (รูปที่ 2b) ได้ทำการศึกษา 3 ส่วนคือ (1) ขนาดใบไม้ (2) ขนาดความสูงของต้นไม้ และ (3) % พืชอิงอาศัยปกคลุมบริเวณลำต้น

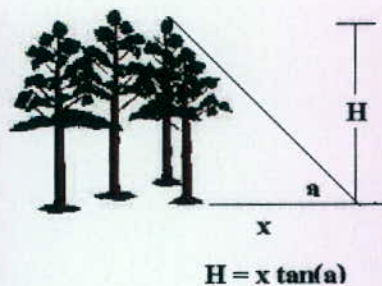
การศึกษาขนาดของใบไม้ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ไม้วงค์ก้อคือต้นก่อหนูโดยการเก็บใบไม้ที่มีลักษณะไม่ฉีกขาด และสมบูรณ์ที่สุดที่เก็บได้ จำนวน 5 ใบต่อต้น โดยเลือกต้นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระดับอก (DBH) 30-35 เซนติเมตร ตามเส้นทางศึกษา นำใบไม้ที่เก็บได้มาวิเคราะห์ ความหนา และพื้นที่ของใบไม้ ถ่ายภาพในภาคสนามโดยนำใบไม้ที่เก็บได้มาวางบนกระดาษขาวขนาด A4 แล้วทำการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล Canon A530, 5 ล้านพิกเซล นำภาพถ่ายที่ได้ไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากภาพใบไม้บนกระดาษ A4 จะมีบางส่วนที่ล้นขอบกระดาษ ดังนั้นเราจึงทำการเติมสีแดงลงไปในส่วนที่ล้นขอบกระดาษ A4 โดยใช้ โปรแกรม Adobe Photoshop CS2 บันทึกไฟล์เป็น .tif จะเห็นว่า ใบไม้มีสีน้ำตาล พื้นกระดาษ A4 เป็นสีขาว ส่วนที่ล้นกระดาษ A4 เป็นสีแดง นำไฟล์ที่บันทึกนี้ไปเปิดด้วยโปรแกรม MultiSpec Win 32 ซึ่งโปรแกรมด้านการวิเคราะห์ภาพทางการรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing) เพื่อคำนวณพื้นที่ใบไม้ ส่วนการหาความหนาของใบ ได้ใช้ไมโครมิเตอร์ มีความถูกต้องที่ 0.001 มิลลิเมตร นำ

ค่า ความหนา และพื้นที่ของใบไม้ที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงมาตรฐานและความสัมพันธ์กับระดับความสูงเหนือระดับน้ำ ทะเลโดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

การศึกษาความสูงของต้นไม้ ได้เลือกไม้วงศ์ก่อ คือต้นก่อหมู่มี่มีขนาดเส้นรอบวงระดับอก (DBH) ในช่วง 30-35 เซนติเมตร เริ่มต้นจากต้นแรกที่พบคือที่ระดับความสูง 313 เมตรจากระดับน้ำทะเลจนถึงระดับความสูง 1,193 เมตร ตลอดเส้นทางศึกษา จำนวน 30 ต้น วัดระดับความสูงของลำต้น (H) โดยใช้ clinometer และตลับเมตรวัดทรงพุ่มของต้นไม้ วัดความสูงของต้นไม้ (H) ความสูงจากพื้นดินถึงทรงพุ่ม (a) และ ความกว้างของฐานทรงพุ่ม สำหรับความกว้างของฐานทรงพุ่ม (รูปที่ 3b) ทำการวัดออกจากลำต้น 4 ทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันตกและทิศตะวันออก แล้วหาค่าเฉลี่ยของความกว้างของฐานทรงพุ่มต่อต้น นำค่าความสูงของต้นไม้ (H) และ ความกว้างของฐานทรงพุ่มที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงมาตรฐานและความสัมพันธ์กับระดับความสูงเหนือระดับน้ำ ทะเลโดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 3 การศึกษาลักษณะต้นไม้ที่ป่าเมฆ (a) ภาพถ่ายใบไม้ (b) การวัดความสูงของต้นไม้ และ (c) ภาพถ่าย % พืชอิงอาศัยปกคลุมบริเวณลำต้นกรอบพร้อมสเกล

การศึกษา % พืชอิงอาศัยปกคลุมบริเวณลำต้น (Epiphyte Cover) ได้ทำการเลือกต้นก่อหมู่มี่ ซึ่งเป็นพืชเดียวกันกับ พืชที่เลือกใช้ในการศึกษาขนาดของใบไม้ โดยทำการถ่ายภาพพืชอิงอาศัยด้วยกล้องดิจิตอล Canon A530, 5 ล้านพิกเซล ที่ยึดบนขาตั้งกล้อง โดยใช้กรอบที่สเกลโดยรอบขนาด 15x15 ตารางเซนติเมตร วางทาบ ลงไปบริเวณลำต้น (รูปที่ 3c) ทำการทดลองทุกๆ ต้นที่เลือก จนถึงเขานม รวมทั้งสิ้นจำนวน 30 ต้น หา % พืชอิงอาศัยปกคลุมต่อพื้นที่ นำค่า % ของพืชอิงอาศัยปกคลุมต่อพื้นที่ที่ได้มาหา

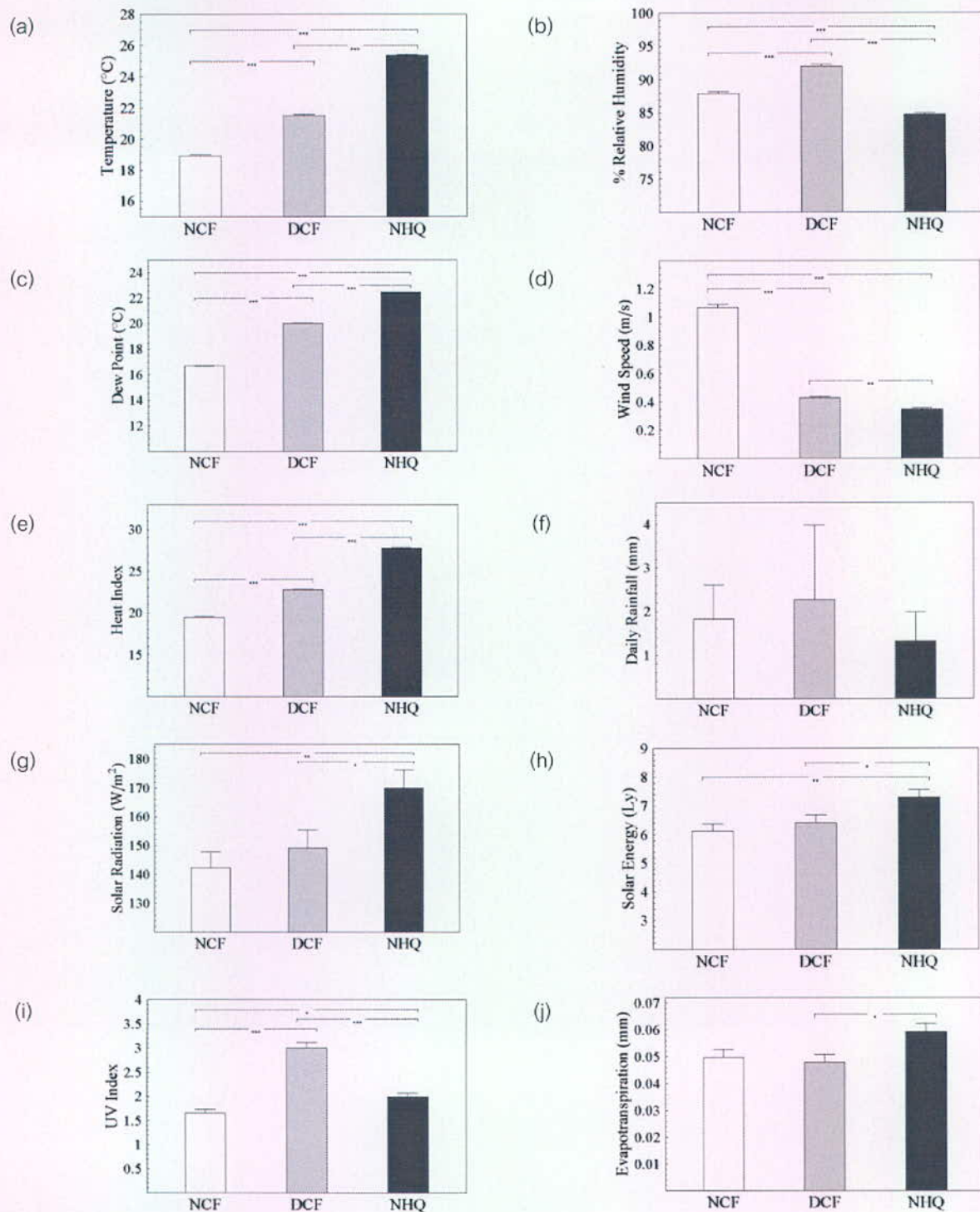
ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงมาตรฐานและความสัมพันธ์กับระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลโดยใช้สมการถดถอย
เชิงเส้นอย่างง่าย

3. ผลการศึกษา

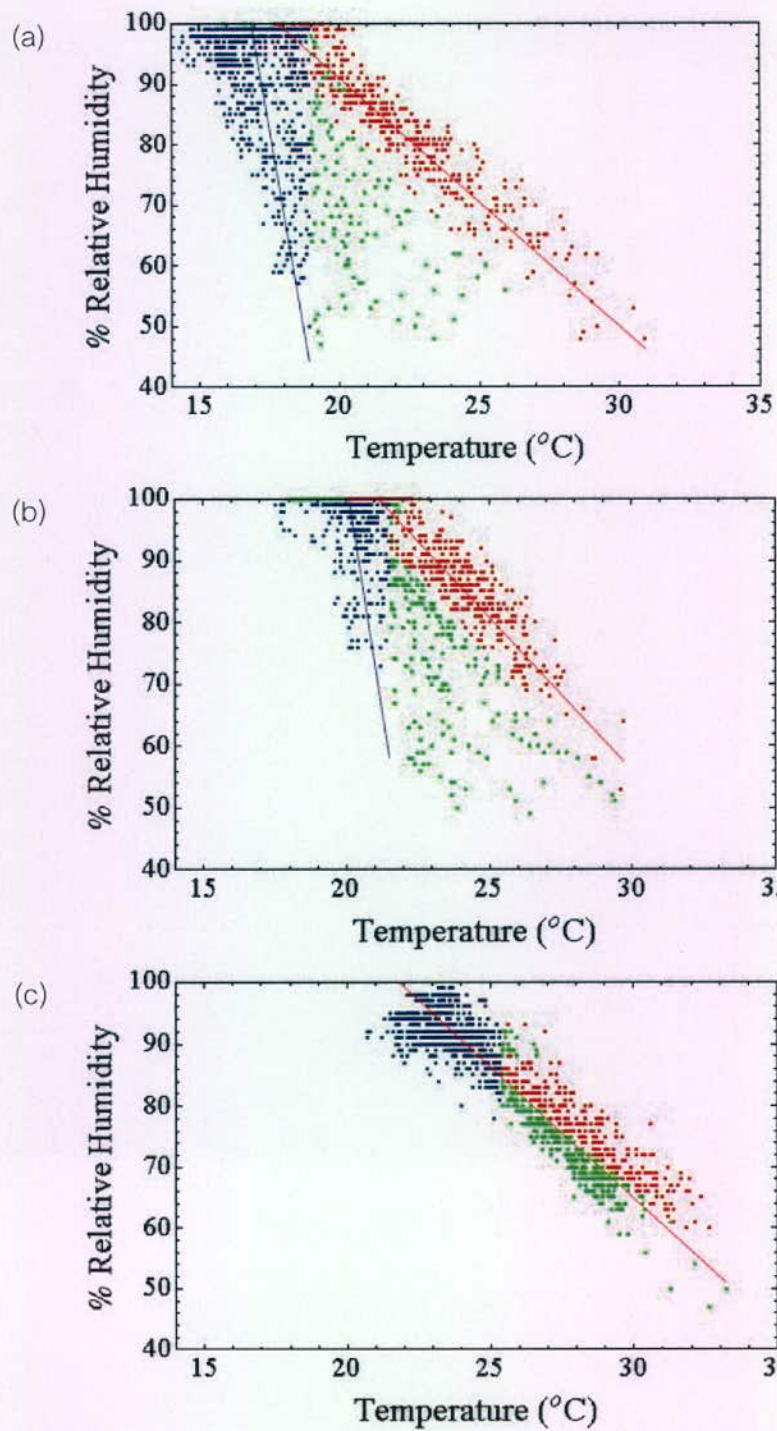
3.1 ลักษณะภูมิอากาศ

3.1.1 ผลการเปรียบเทียบลักษณะภูมิอากาศบริเวณเขานม เขานัน และเขาดาดฟ้า

จากผลเครื่องมือวัดอากาศอัตโนมัติ (Davis Weather Station) บริเวณยอดเขาที่ระดับความสูง 1,274 เมตร จากระดับน้ำทะเล พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด ระหว่างวันที่ 16 มกราคม – 19 กุมภาพันธ์ 2552 ที่เขานมมีค่าดังนี้ อุณหภูมิเฉลี่ย: $\bar{x} \pm SD = 19.74 \pm 0.91$ °C; อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย: $\bar{x} \pm SD = 21.61 \pm 1.94$ °C; อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย: $\bar{x} \pm SD = 18.39 \pm 0.99$ °C เมื่อเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆ จากเครื่องมือวัดพบว่า อุณหภูมิ จุดน้ำค้าง heat index ปริมาณรังสีและพลังงานแสง ที่เขานม มีค่าน้อยกว่าที่เขานันและเขาดาดฟ้า ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ที่เขาดาดฟ้า มีค่าสูงที่สุด ในขณะที่ความเร็วลมที่เขานมมีค่าสูง เมื่อเทียบกับเขานันและเขาดาดฟ้า (รูปที่ 4a-4j)



รูปที่ 4 ลักษณะอากาศที่ป่าเมฆ เขานม (NCF), เขาตาดฟ้า (DCF), และ ที่ทำการอุทยานแห่งชาติเขานัน (NHQ). (a) อุณหภูมิเฉลี่ย (°C), ความชื้นสัมพัทธ์ (%), (c) จุดน้ำค้าง (°C), (d) ความเร็วลม (m/s), (e) heat index, (f) ปริมาณฝนเฉลี่ยแต่ละวัน (mm/day), (g) ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (W/m²), (h) solar energy (Ly), (i) UV index และ (j) evapotranspiration (mm)



รูปที่ 5 ลักษณะภูมิอากาศ ระหว่างวันที่ 19 – 21 เมษายน 2550 %ความชื้นสัมพันธ์กับอุณหภูมิ (°C)
 (a) เขานม (b) เขาดาดฟ้า (c) เขานัน(สุนนันทา)

ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศที่เขานม เขาตาตฟ้า และที่ทำการอุทยานแห่งชาติเขานัน (สุนันทา) พบว่าบริเวณเขานมและเขาตาตฟ้าสามารถจำแนกความสัมพันธ์ได้เป็น 2 ลักษณะ คือความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีแสง (Solar energy > 0 W/m²) และความสัมพันธ์ของ %RH และ อุณหภูมิอากาศขณะที่ไม่มีแสง (Solar energy < 0 W/m²) ส่วนที่เขานัน ไม่มีความแตกต่างของความสัมพัทธ์ ทั้งในขณะมีแสงและไม่มีแสง (รูปที่ 5) ความสัมพันธ์ของความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิแสงได้ดังนี้

เขานม

เมื่อมีแสง : %RH = 4.11(42.16-T)	อุณหภูมิ (T) > 17.82 °C
= 100	อุณหภูมิ (T) ≤ 17.82 °C (เส้นสีแดง รูปที่ 5a)
เมื่อไม่มีแสง : %RH = 27.25(20.52-T)	อุณหภูมิ (T) > 16.85 °C
= 100	อุณหภูมิ (T) ≤ 16.85 °C (เส้นสีน้ำเงิน รูปที่ 5a)

เขาตาตฟ้า

เมื่อมีแสง : %RH = 4.95(41.32-T)	อุณหภูมิ (T) > 21.13 °C
= 100	อุณหภูมิ (T) ≤ 21.13 °C (เส้นสีแดง รูปที่ 5b)
เมื่อไม่มีแสง : %RH = 30.09(23.43-T)	อุณหภูมิ (T) > 20.11 °C
= 100	อุณหภูมิ (T) ≤ 20.11 °C (เส้นสีน้ำเงิน รูปที่ 5b)

เขานัน (สุนันทา)

%RH = 4.29(45.12-T)	อุณหภูมิ (T) > 21.81 °C
= 100	อุณหภูมิ (T) ≤ 21.81 °C (รูปที่ 5c)

3.1.2 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลอากาศจากอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์อัตโนมัติที่ระดับความสูงต่างๆ บริเวณเขานม

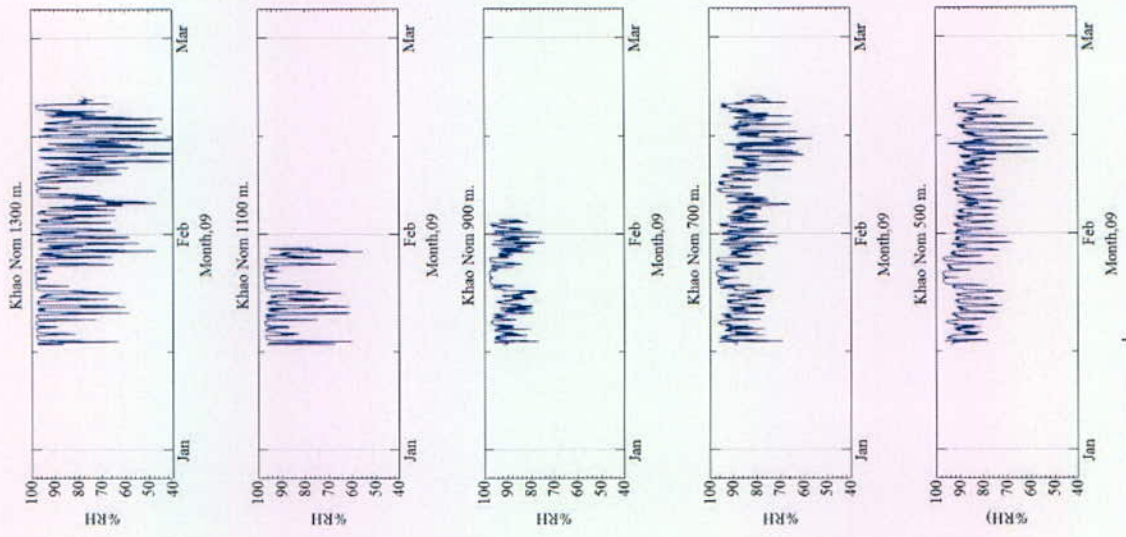
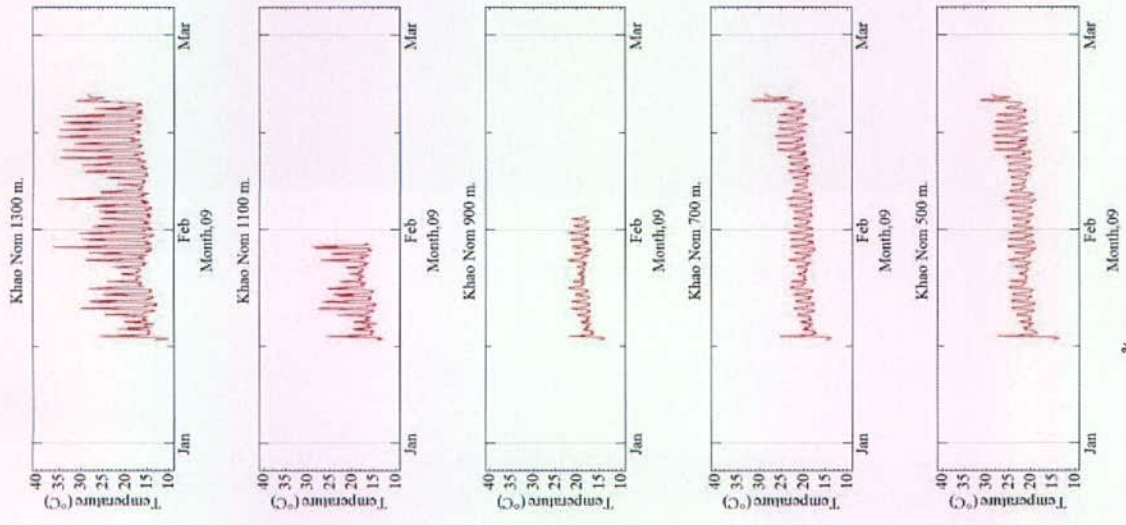
ข้อมูลอุณหภูมิและข้อมูลปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ จากอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อัตโนมัติ HOBO Pro V2 ที่ติดตั้งไว้ในแต่ละระดับความสูง (500, 700, 900, 1100 และ 1300 เมตรจากระดับน้ำทะเล; รูปที่ 2b) ตลอดช่วงระยะเวลา 33 วัน (16 มกราคม ถึง 19 กุมภาพันธ์ 2552) ได้ถูกนำมาแสดงผลดังรูปที่ 6

จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของทุกระดับความสูงนั้นได้แสดงแนวโน้มของข้อมูลไปในทิศทางเดียวกัน โดยเฉพาะช่วงต้นและช่วงท้ายของการเก็บข้อมูล จากกราฟจะเห็นได้ว่าข้อมูลอุณหภูมิของระดับความสูง 500, 700 และ 900 เมตรจากระดับน้ำทะเล มีช่วงของข้อมูลที่แคบกว่าข้อมูลอุณหภูมิของระดับความสูง 1100 และ 1300 เมตรจากระดับน้ำทะเล โดยช่วงของข้อมูลอุณหภูมิของกลุ่มระดับความสูงที่อยู่ต่ำกว่านั้นมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับระดับความสูง กล่าวคือ ช่วงของข้อมูลจะมีค่าแคบลงเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับค่าอุณหภูมิของแต่ละระดับความสูง ซึ่งก็มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับระดับความสูงเช่นเดียวกัน โดยที่ระดับความสูง 500 เมตรจากระดับน้ำทะเลนั้น อุณหภูมิมีค่าสูงกว่า 20°C เล็กน้อย เมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้นเป็น 700 และ 900 เมตรจากระดับน้ำทะเล อุณหภูมิจะอยู่ที่ประมาณ 20°C และต่ำกว่า 20°C ตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม ช่วงของข้อมูลอุณหภูมิที่ระดับความสูง 1100 และ 1300 เมตรจากระดับน้ำทะเลนั้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับระดับความสูง โดยข้อมูลอุณหภูมิที่ระดับความสูง 1300 เมตรจากระดับน้ำทะเลจะมีช่วงของข้อมูลที่กว้างกว่าข้อมูลอุณหภูมิที่ระดับความสูง 1100 เมตรจากระดับน้ำทะเล และข้อมูลอุณหภูมิที่ระดับความสูง 1300 เมตรจากระดับน้ำทะเลนั้นยังเป็นข้อมูลที่มีช่วงของข้อมูลที่กว้างที่สุดเมื่อเทียบกับข้อมูลของทุกระดับความสูง

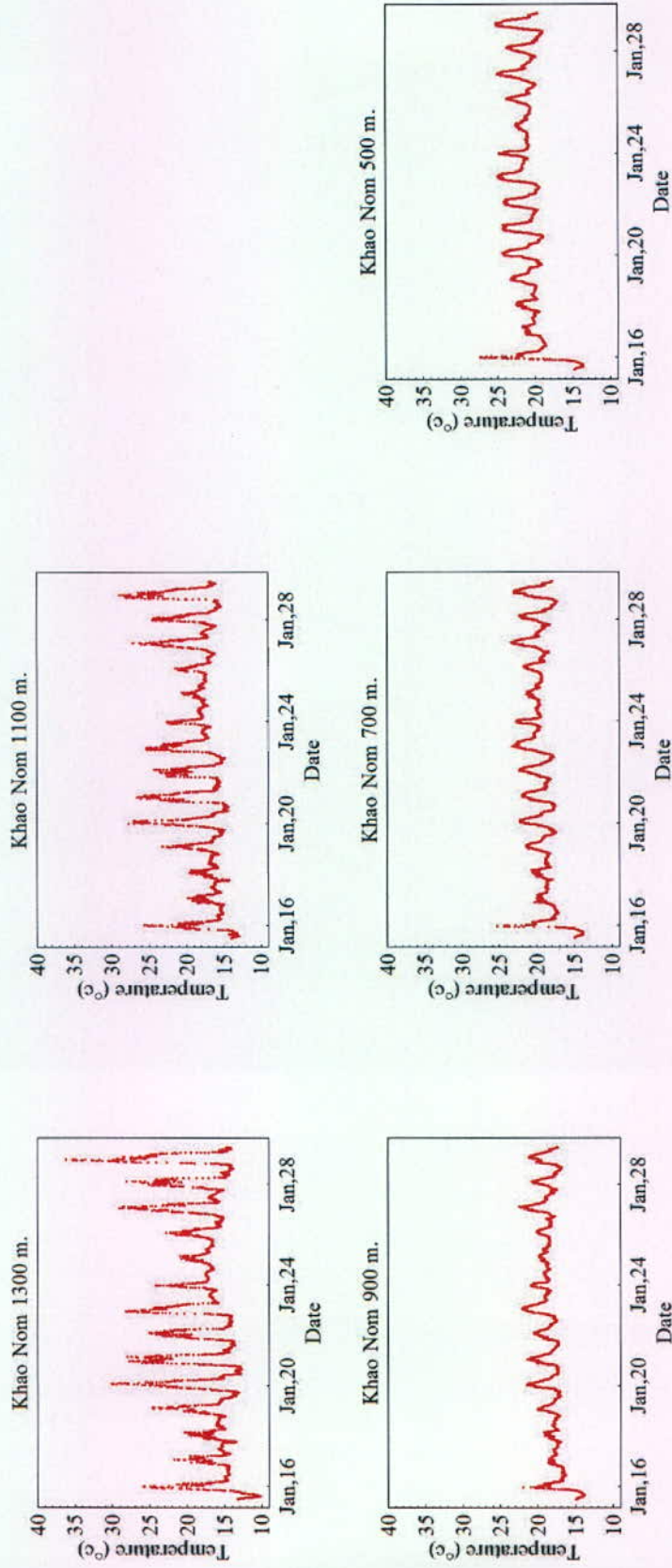
เช่นเดียวกับข้อมูลอุณหภูมิ ข้อมูลปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของทุกระดับความสูงแสดงแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ข้อมูลปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับความสูง 500, 700 และ 900 เมตรจากระดับน้ำทะเลมีช่วงของข้อมูลที่แคบกว่าข้อมูลปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับความสูง 1100 และ 1300 เมตรจากระดับน้ำทะเล ข้อมูลปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับความสูง 500, 700 และ 900 เมตรจากระดับน้ำทะเลมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับระดับความสูง ในขณะที่ข้อมูลที่ระดับความสูง 1100 และ 1300 เมตรจากระดับน้ำทะเลมีความสัมพันธ์เชิงบวก เช่นเดียวกับกับข้อมูลอุณหภูมิ

จากกราฟในรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์จำนวน 2 ตัว จากทั้งหมด 5 ตัว หยุดการเก็บข้อมูลหลังจากเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์ ดังนั้นข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของทุกระดับความสูงจึงถูกตัดเป็นข้อมูลในช่วงเวลา 2 สัปดาห์ (16 มกราคม ถึง 29 มกราคม 2552) ซึ่งทำให้เราสามารถเปรียบเทียบข้อมูลของทุกระดับความสูงได้ (รูปที่ 7 และ รูปที่ 8)

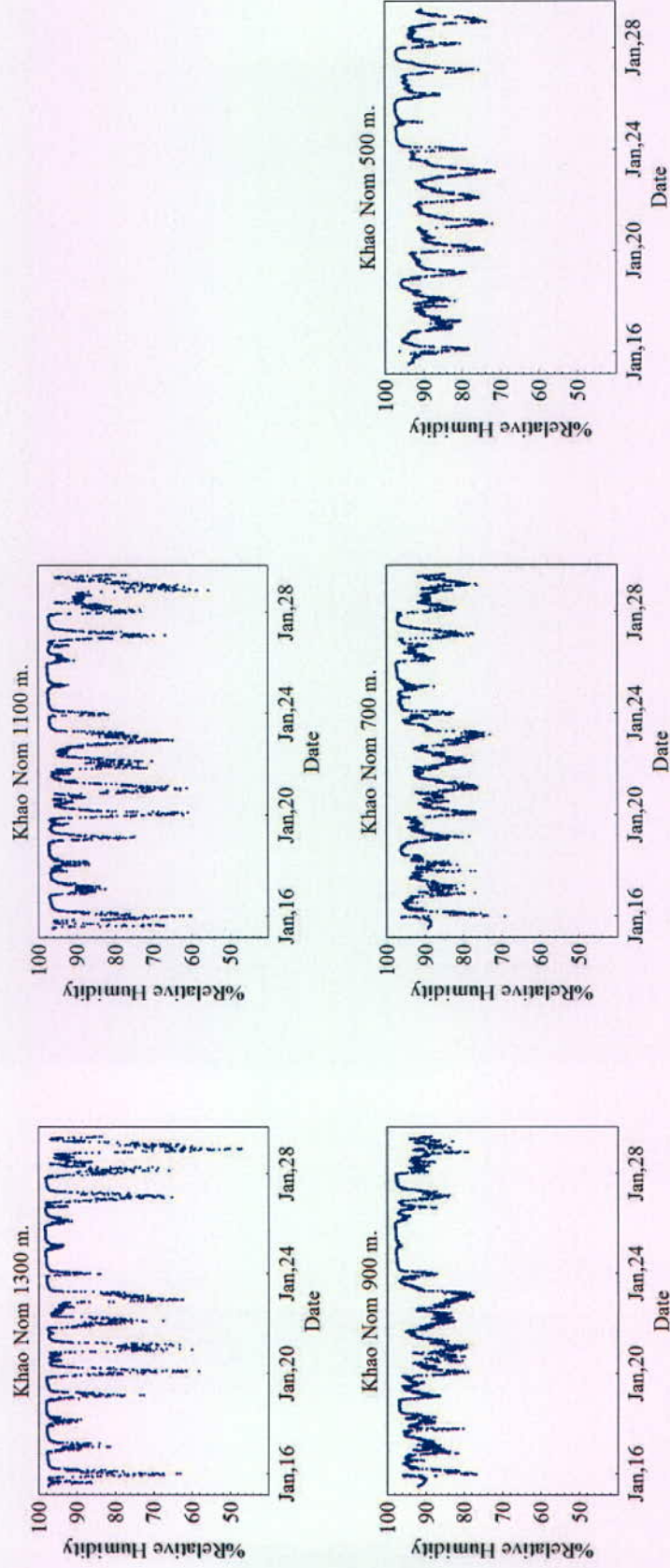
ข้อมูลทั้งอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของแต่ละระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล ได้ถูกนำมาวิเคราะห์และแสดงในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์การแจกแจงความถี่ (histogram) (รูปที่ 9 และ 10) ซึ่งจากรูปแบบ histogram ของข้อมูลอุณหภูมิจะสามารถแบ่งข้อมูลได้เป็น 2 กลุ่ม คือ (1) ข้อมูลที่ระดับความสูง 500, 700 และ 900 เมตรจากระดับน้ำทะเล ซึ่งมีฐานของข้อมูลแคบ และยอด (peak) ของข้อมูลที่สูง และ (2) ข้อมูลที่ระดับความสูง 1100 และ 1300 เมตรจากระดับน้ำทะเล ซึ่งมีฐานของข้อมูลที่กว้างกว่า และยอดที่เตี้ยกว่ากลุ่มแรก (รูปที่ 9)



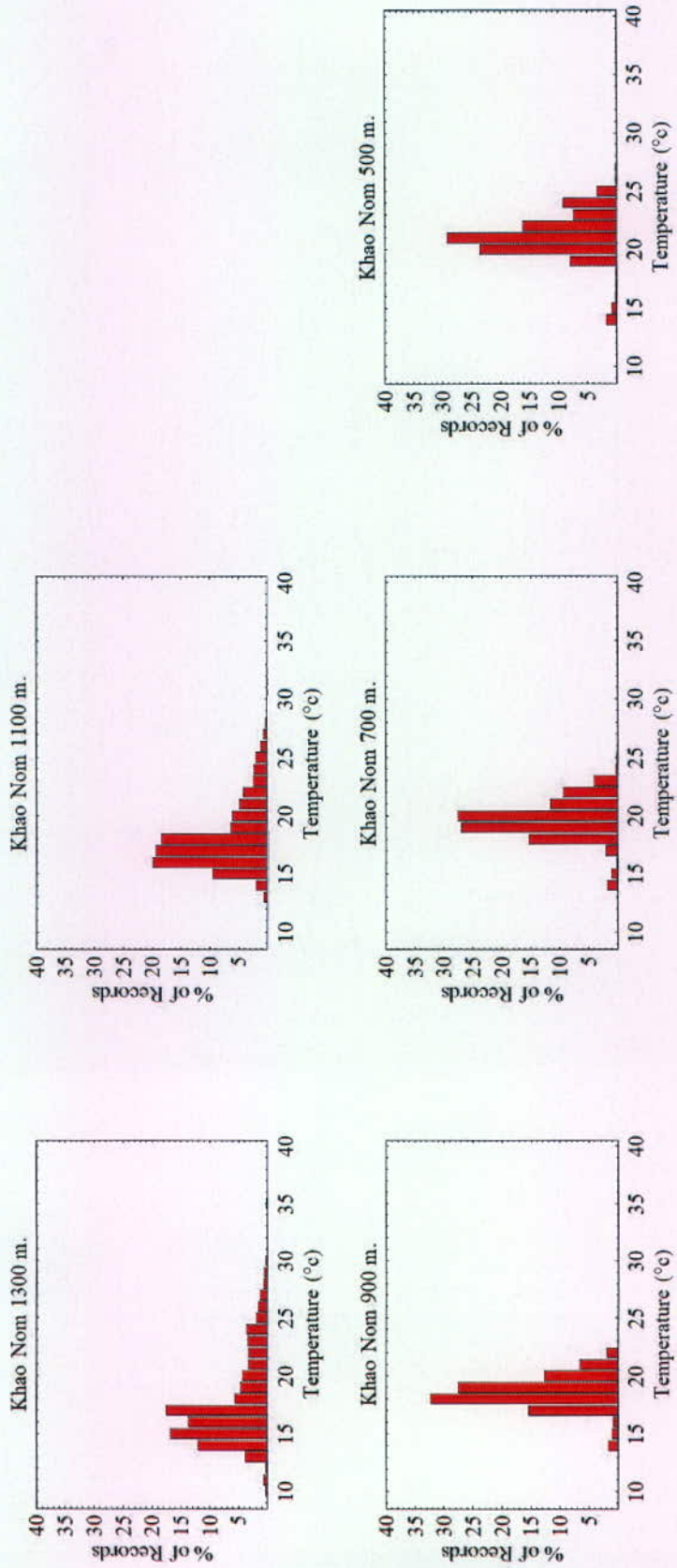
รูปที่ 6 ข้อมูลอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของแต่ละระดับความสูงระหว่างวันที่ 16 มกราคม ถึงวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2552



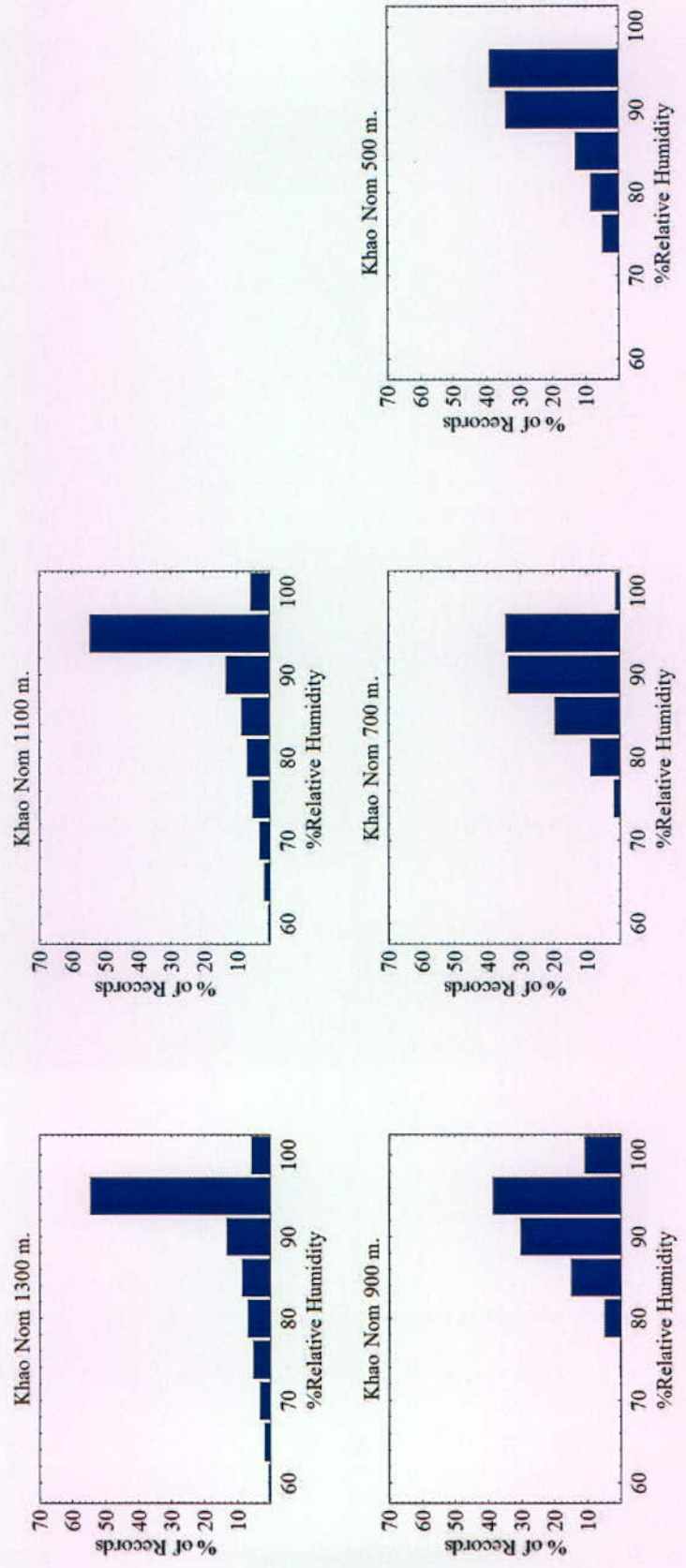
รูปที่ 7. ข้อมูลอุณหภูมิของแต่ละระดับความสูงระหว่างวันที่ 16 - 29 มกราคม 2552



รูปที่ 8. ข้อมูลปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของแต่ละระดับความสูงระหว่างวันที่ 16 - 29 มกราคม 2552



รูปที่ 9. รูปแบบเปอร์เซ็นต์การแจกแจงความถี่ (histogram) ของข้อมูลอุณหภูมิที่ระดับความสูงต่างๆ

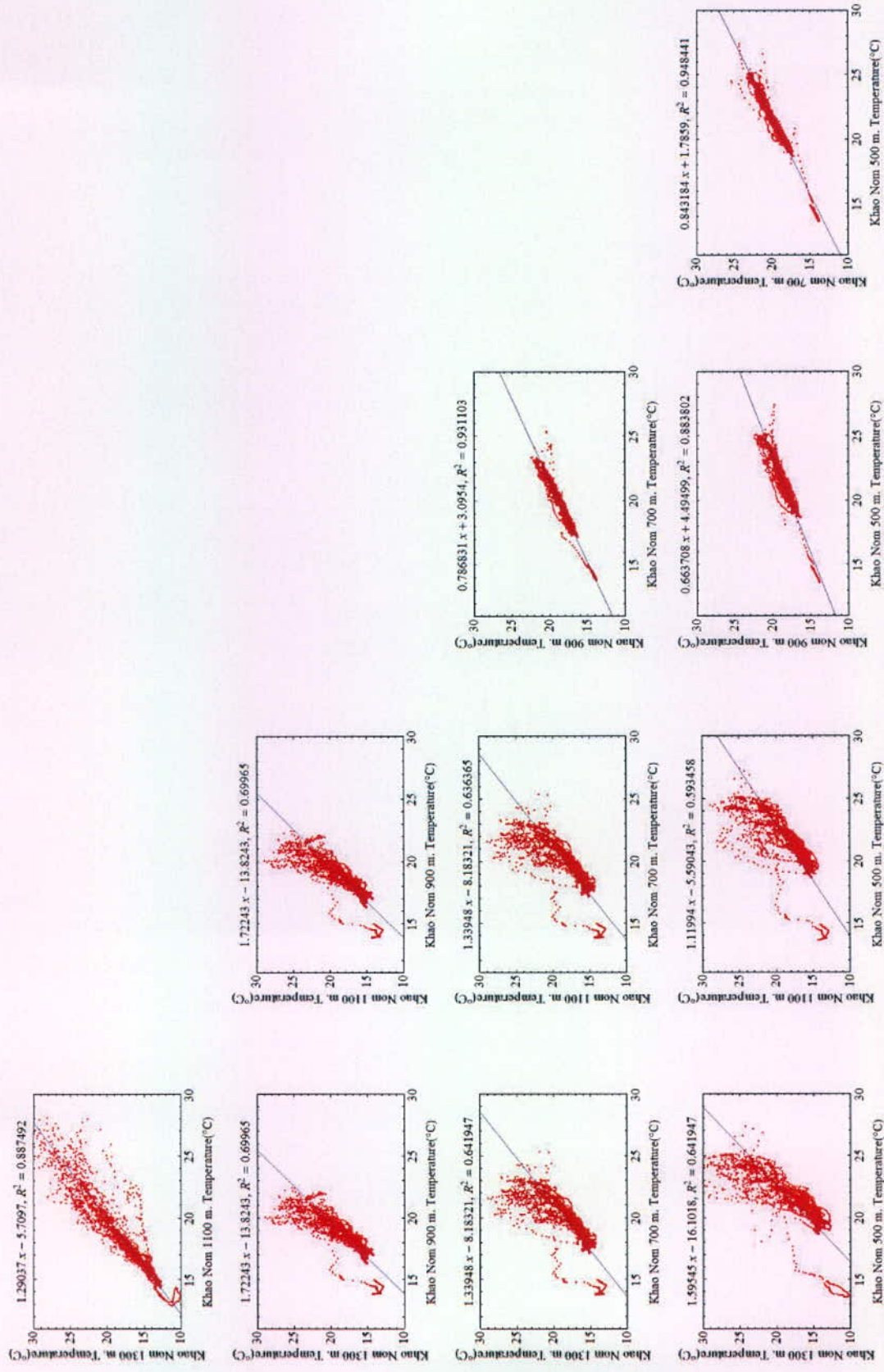


รูปที่ 10. รูปแบบเปอร์เซ็นต์การแจกแจงความถี่ (histogram) ของข้อมูลปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับความสูงต่างๆ

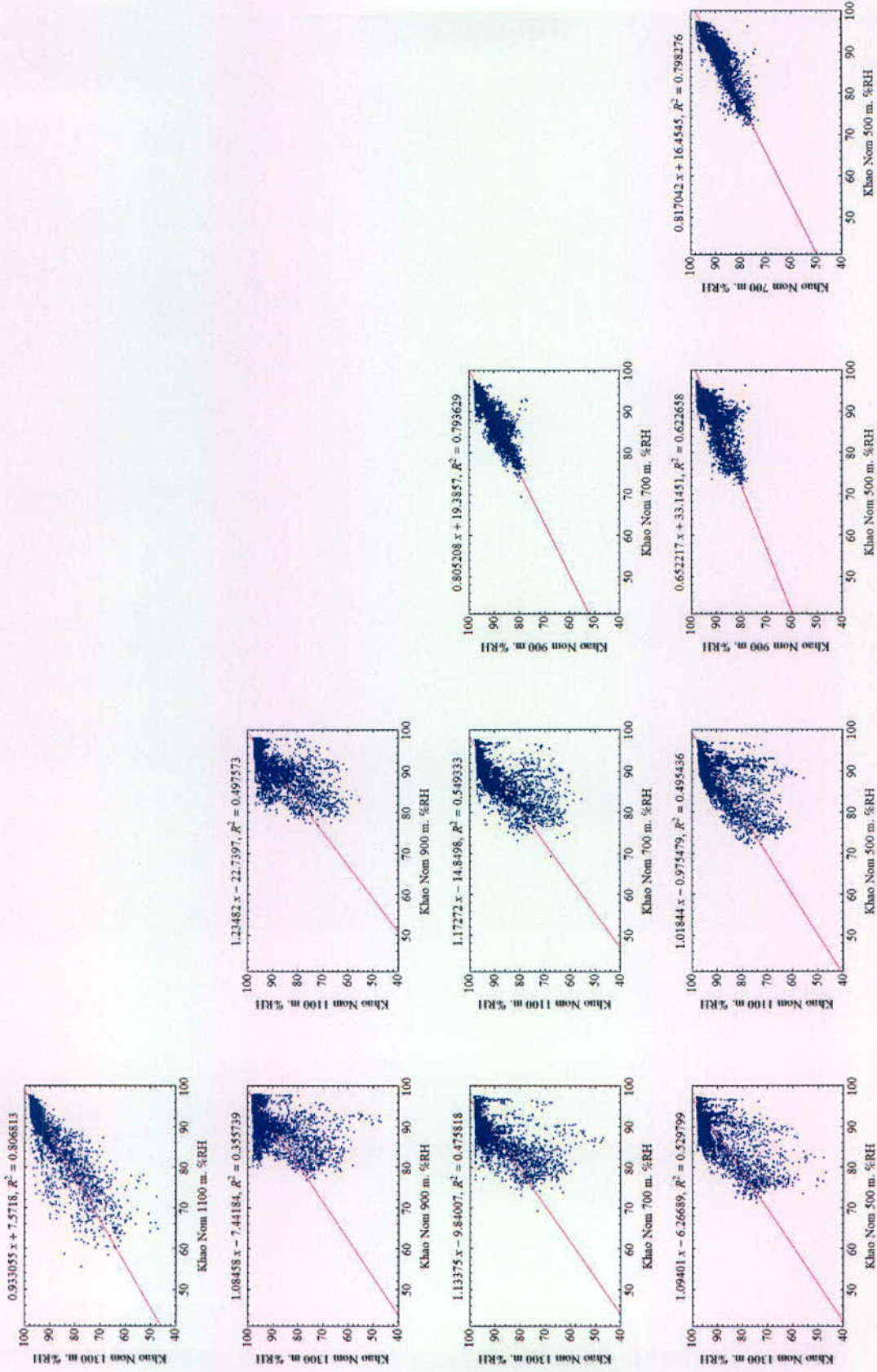
นอกจากนั้น เราได้นำเอาข้อมูลอุณหภูมิของแต่ละระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลมาวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ (รูปที่ 11) ซึ่งจากกราฟความสัมพันธ์ของแต่ละระดับความสูงทั้งหมดนั้น เราสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 กลุ่มตามลักษณะของกราฟ คือ กลุ่มแรกประกอบไปด้วยกราฟจำนวน 3 กราฟ ได้แก่ (1) กราฟอุณหภูมิที่ระดับความสูง 500 และ 700 เมตรจากระดับน้ำทะเล (2) กราฟอุณหภูมิที่ระดับความสูง 500 และ 900 เมตรจากระดับน้ำทะเล และ (3) กราฟอุณหภูมิที่ระดับความสูง 700 และ 900 เมตรจากระดับน้ำทะเล และค่า R^2 ของกราฟในกลุ่มนี้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.88 ถึง 0.94 ซึ่งข้อมูลของกราฟกลุ่มนี้ถือได้ว่าเป็นข้อมูลตัวแทนของป่าที่อยู่ในระดับต่ำ (low elevation forest)

กลุ่มที่สองประกอบด้วยกราฟจำนวน 6 กราฟ ได้แก่ (1) กราฟอุณหภูมิที่ระดับความสูง 500 และ 1100 เมตรจากระดับน้ำทะเล (2) กราฟอุณหภูมิที่ระดับความสูง 500 และ 1300 เมตรจากระดับน้ำทะเล (3) กราฟอุณหภูมิที่ระดับความสูง 700 และ 1100 เมตรจากระดับน้ำทะเล (4) กราฟอุณหภูมิที่ระดับความสูง 700 และ 1300 เมตรจากระดับน้ำทะเล (5) กราฟอุณหภูมิที่ระดับความสูง 900 และ 1100 เมตรจากระดับน้ำทะเล และ (6) กราฟอุณหภูมิที่ระดับความสูง 900 และ 1300 เมตรจากระดับน้ำทะเล และค่า R^2 ของกราฟในกลุ่มนี้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.59 ถึง 0.69 ข้อมูลกลุ่มนี้ถือได้ว่าเป็นข้อมูลตัวแทนของขอบป่าเมฆ (cloud forest boundary) และกลุ่มสุดท้ายคือกลุ่มที่สาม ซึ่งมีอยู่เพียงกราฟเดียว คือ กราฟอุณหภูมิที่ระดับความสูง 1100 และ 1300 เมตรจากระดับน้ำทะเล และค่า R^2 เท่ากับ 0.88 (รูปที่ 11)

จากการศึกษาลักษณะความสัมพันธ์ของข้อมูลปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล สามารถแบ่งข้อมูลออกได้เป็น 3 กลุ่ม โดยในแต่ละกลุ่มประกอบด้วยกราฟปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับความสูงต่างๆ ซึ่งมีลักษณะเดียวกันกับข้อมูลอุณหภูมิ คือ กลุ่มแรกเป็นข้อมูลตัวแทนของป่าที่อยู่ในระดับต่ำ กลุ่มที่สองเป็นข้อมูลตัวแทนของขอบป่าเมฆ และกลุ่มที่สามเป็นข้อมูลตัวแทนของพื้นที่ในเขตป่าเมฆ โดยกลุ่มของข้อมูลซึ่งเป็นตัวแทนของป่าระดับต่ำนั้น มีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.62 ถึง 0.79 กลุ่มที่สองซึ่งเป็นกลุ่มของข้อมูลที่เป็นตัวแทนของขอบป่าเมฆมีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.35 ถึง 0.52 และกลุ่มสุดท้ายซึ่งเป็นกลุ่มของข้อมูลของพื้นที่ในเขตป่าเมฆ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.80 (รูปที่ 12)

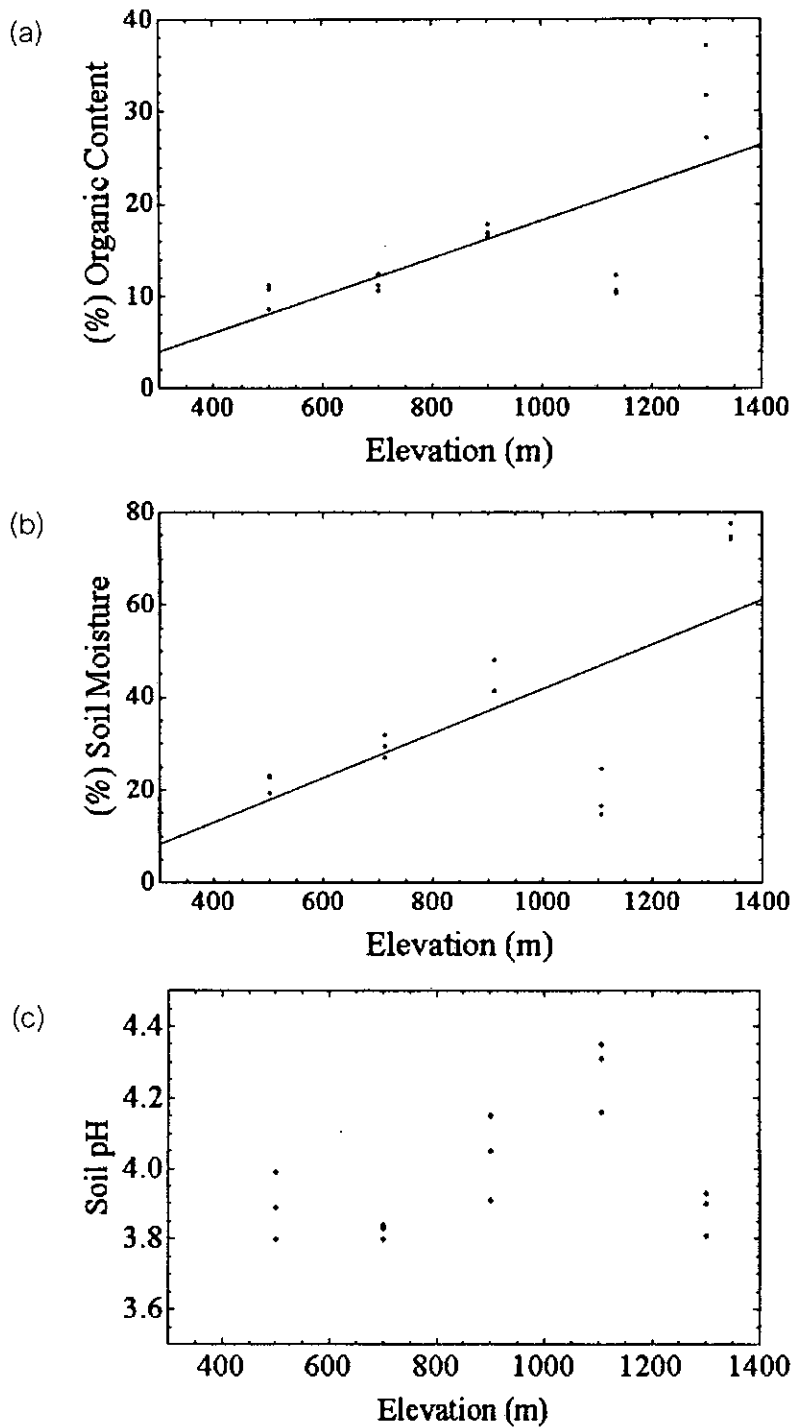


รูปที่ 11. ผลการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลอุณหภูมิของแต่ละระดับความสูง



รูปที่ 12. ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของแต่ละระดับความสูง

3.2 ผลการศึกษาลักษณะดิน



รูปที่ 13 ลักษณะดินบริเวณป่าเมฆเขานม ตามระดับความสูง (a) ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน (%) (b) ความชื้นในดิน (%) และ (c) pH

ปริมาณสารอินทรีย์ในดินมีความสัมพันธ์กับระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล คือ ที่ระดับความสูงจากน้ำทะเลเพิ่มขึ้น ปริมาณสารอินทรีย์และความชื้นในดินก็เพิ่มขึ้น (% สารอินทรีย์ในดิน: $y = 0.020x -$

2.076, $R^2 = 0.485883$, $F_{1,13} = 12.286$, $P < 0.005$, รูปที่ 13a; % ความชื้นในดิน: $y = 0.048x - 6.037$, $R^2 = 0.456$, $F_{1,13} = 10.911$, $P < 0.01$; รูปที่ 13b) ที่ระดับความสูง 500 เมตร ถึง 900 เมตร ที่ระยะ 1100 เมตร จากระดับน้ำทะเล ความชื้นในดินมีค่าลดลงเนื่องจากเป็นลักษณะของป่าโปร่ง ต้นไม้ไม่หนาที่บมากนัก รังสีจากดวงอาทิตย์สามารถผ่านถึงได้ ส่วนที่ระดับความสูง 1200 เมตรจากระดับน้ำทะเลขึ้นไป ต้นไม้จะเป็นลักษณะสูงชันขึ้นและมีป่าทึบ มีพืชอิงอาศัยจำนวนมาก และเข้าสู่ลักษณะของป่าเมฆที่มีหมอกปกคลุมเกือบตลอดเวลา ปริมาณอินทรีย์สารในดินชั้นที่ 1 (ชั้นผิวดิน) มีค่าสูงกว่าดินในชั้นอื่นๆ ส่วนความเป็นกรดต่างของดิน จากการวัด pH ของดินพบว่า มีค่า อยู่ระหว่าง 3.51 – 4.35 นับว่าดินค่อนข้างมีสภาพเป็นกรด แต่ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละระดับความสูง ($\bar{x} \pm SD = 3.91 \pm 0.23$, $F_{1,16} = 0.417$, ns ; รูปที่ 13c)

3.3 ผลการศึกษาลักษณะต้นไม้

3.3.1 การศึกษาขนาดใบไม้

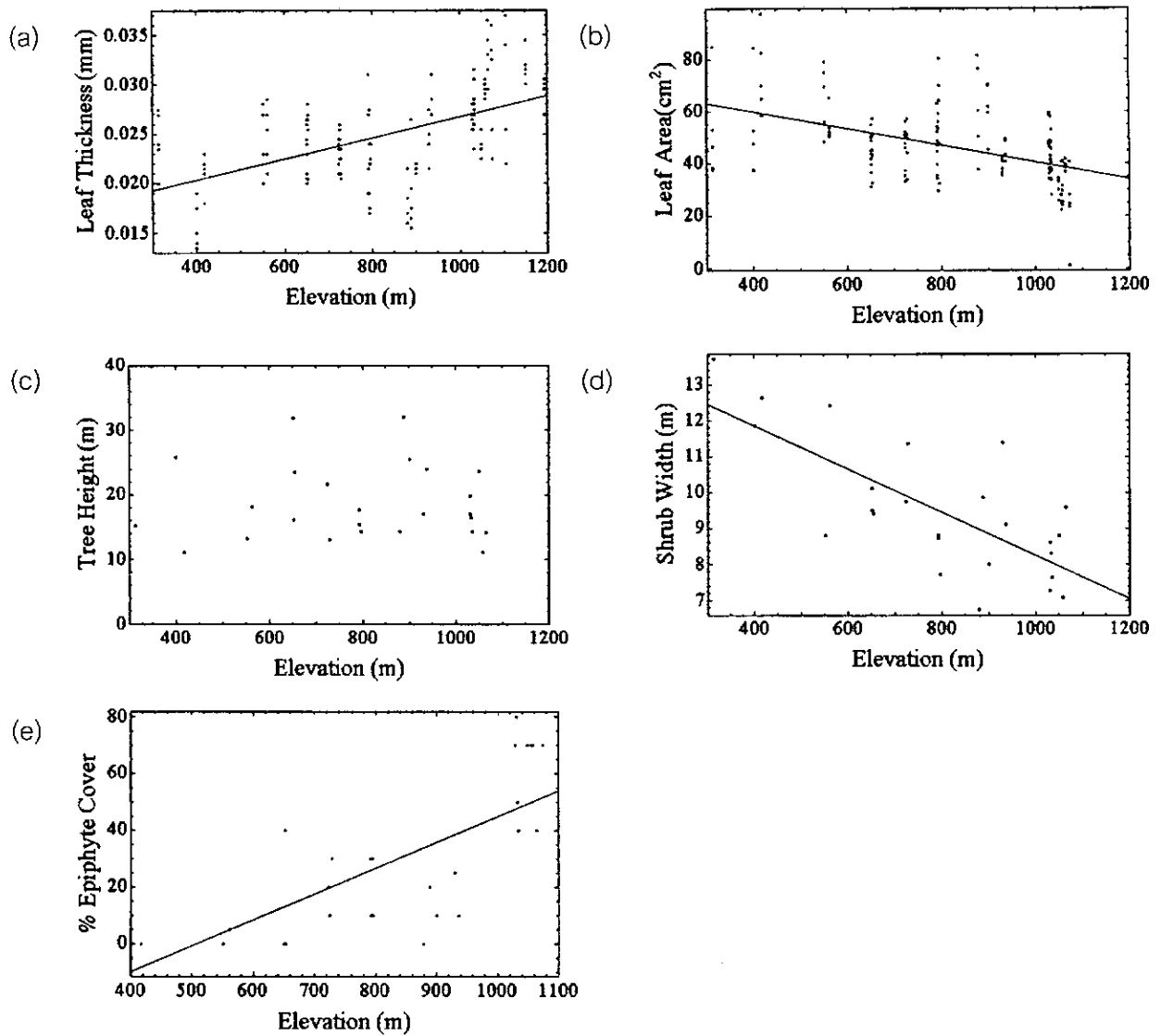
เมื่อระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น ความหนาของใบต้นก่อเพิ่มขึ้น ($y = 1.067 \times 10^{-5} X + 0.016$, $R^2 = 0.274$, $F_{1,148} = 55.944$, $P < 0.001$, รูปที่ 14a) พื้นที่ของใบเล็กลง ($y = -0.032x + 72.698$, $R^2 = 0.232$, $F_{1,143} = 43.276$, $P < 0.001$, รูปที่ 14b)

3.3.2 การศึกษาความสูงของต้นไม้

ความสูงของต้นไม้ไม่แตกต่างกันในแต่ละระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล (ความสูงของต้นไม้: $\bar{x} \pm SD = 17.99 \pm 6.15$, $F_{1,23} = 0.0029$, ns , รูปที่ 14c; ความกว้างของฐานทรงพุ่มลดลงตามระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล ($y = -0.006x - 14.248$, $R^2 = 0.54$, $F_{1,23} = 27.000$, $P < 0.001$, รูปที่ 14d)

3.3.3 การศึกษาเปอร์เซ็นต์ปริมาณพืชอิงอาศัยปกคลุม

เมื่อระดับความสูงจากน้ำทะเลเพิ่มขึ้น พบว่า เปอร์เซ็นต์ปริมาณพืชอิงอาศัยปกคลุมเพิ่มขึ้น ($y = 0.091x - 46.175$, $R^2 = 0.57$, $F_{1,28} = 37.335$, $P < 0.001$, รูปที่ 14e)



รูปที่ 14 ลักษณะพืชกับระดับความสูง (m.) เส้นทางชน. คลองกัน-เขานม ระหว่างวันที่ 16-18 มกราคม 2552
 (a) ความหนาของใบไม้ (b) พื้นที่ของใบไม้ (c) ความสูงของต้นไม้ (d) ความกว้างของฐานทรงพุ่ม และ (e) เปอร์เซ็นต์พืชอิงอาศัยปกคลุม

4. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาลักษณะอากาศ บริเวณป่าเมฆเขานมโดยใช้เครื่องมือวัดอากาศอัตโนมัติ พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ย $\bar{x} \pm SD = 19.74 \pm 0.91$ °C เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยที่ทำการอุทยานแห่งชาติ เขานัน และเขาดาดฟ้า พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่เขานมมีค่าต่ำสุด นอกจากนี้พบว่า จุดน้ำค้าง พลังงานแสง และ UV index บริเวณเขาดาดฟ้ามีค่าต่ำกว่าที่เขานันและเขาดาดฟ้า ส่วนความเร็วลมบริเวณเขานมจะมีค่ามากกว่าเขานม และเขาดาดฟ้า

การศึกษาข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ด้วยเครื่องมือวัดอากาศอัตโนมัติ HOBO Pro V2 ตามระดับความสูง 500, 700, 900, 1100 และ 1300 เมตรจากระดับน้ำทะเล พบว่าอุณหภูมิลดลงตามระดับความสูง และความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าสูงขึ้นตามระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล

การศึกษาลักษณะดิน 3 ตัวแปรคือเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดิน ปริมาณสารอินทรีย์ในดินและความเป็นกรดต่างของดินบริเวณป่าเมฆเขานม พบว่าความชื้นในดินและปริมาณสารอินทรีย์ในดินมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความสูง ส่วนค่า pH มีค่าอยู่ระหว่าง 3.51 – 4.35 ซึ่งดินบริเวณเขานมมีสภาพเป็นกรด

การศึกษาลักษณะพืชพบว่า ความหนาของใบไม้จะมีค่าสูงขึ้นตามความสูงจากระดับน้ำทะเล ส่วนพื้นที่ช่องใบและความกว้างของฐานทรงพุ่มมีขนาดเล็กลงตามระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล และจากการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์พืชอิงอาศัยปกคลุม พบว่ามีค่ามากขึ้นตามระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่วางไว้

ปัญหาและอุปสรรค พร้อมแนวทางการแก้ไข

1. ในช่วงปีพศ. 2551-2552 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช และแน่นอนยอดเขานม อุทยานแห่งชาติ เขานัน มีฝนตกชุกมาก ทำให้มีปัญหาในการออกปฏิบัติการภาคสนาม ไม่สามารถออกเก็บข้อมูลอากาศ ตัวอย่างดิน และพืชได้
2. การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอากาศ เป็นไปด้วยความยากลำบากมาก เนื่องจากต้องขนอุปกรณ์ น้ำหนักมากขึ้นไปที่ระดับความสูงที่มากกว่า 1300 เมตร เส้นทางกันดาร โดยอุปกรณ์วัดอากาศหลายตัวหยุดทำงานด้วยสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงมาก

3. การเก็บตัวอย่างดิน ต้องทำการเก็บตัวอย่างดินบนเขานมที่ระดับความสูงต่างๆ จำนวน 5 ระดับ นำมาวิเคราะห์คุณภาพดินในห้องปฏิบัติการ ทำให้ใช้เวลาในการปฏิบัติภาคสนาม ใช้เวลานานกว่าที่วางแผนไว้มาก
4. ค่าตอบแทนลูกหาบและเจ้าหน้าที่อุทยานค่อนข้างสูงกว่าที่ประมาณการไว้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณอนันต์ เจริญสุข คุณศรัทธา ทองนุ่น คุณสมศักดิ์ ศรีนวลปาน และ คุณโสภณ เมืองจันทร์ เจ้าหน้าที่อุทยานแห่งชาติเขานัน สำหรับการช่วยเหลือระหว่างการเก็บข้อมูลภาคสนาม นางสาวพัชรี ประเทศ สำหรับการช่วยเหลือในห้องปฏิบัติการ โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบายการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย ซึ่งร่วมจัดตั้งโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ รหัสโครงการ BRT_R351151, BRT T_351004 และ BRT T_351005

เอกสารอ้างอิง

- Arteaga, G.A. Calderon, N.E.G. Krasilnikov, P.V. Sedov, S.N. Targulian, V.O. and Rosas, N.V. 2008. Soil altitudinal sequence on base-poor parent material in a montane cloud forest in Sierra Juarez, Southern Mexico. *Geoderma* 144(2008), pp. 593-612.
- Bruijnzeel, L. A. and Veneklaas, E. J. 1998. Climatic conditions and tropical montane forest productivities: the fog has not lifted yet. *Ecology* 79: 3-9.
- Foster, P. 2001. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews* 55: 73-106.
- Gieger, T. and Leuschner, C. 2004. Altitudinal change in needle water relations of *Pinus canariensis* and possible evidence of a drought-induced alpine timberline on Mt. Teide, Tenerife. *Flora* 199, pp. 100-109.
- Grubb, P. J. 1977. Control of forest growth and distribution on wet tropical mountains with special reference to mineral nutrition. *Annual Review on Ecology and Systematics* 8: 83-107.
- Kitayama, K. 1995. Biophysical conditions of the montane cloud forests of Mount Kinabalu, Sabah, Malaysia. In: Hamilton, L. S., Juvik, J. O., Scatena, F. N. (Eds), *Tropical Montane Cloud Forests: Proceedings of an International Symposium*. Springer-Verlag, New York, pp. 183-197.
- León, B. and Young, K. R. 1996. Distribution of pteridophyte diversity and endemism in Peru. In: Camus, J. M., Gibby, M., Johns, R. J. (Eds), *Pteridology in Perspective*. Royal Botanic Gardens, Kew, pp. 77-91.
- Stadmüller, T. 1987. *Cloud forests in the humid tropics: a bibliographic review*. The United Nations University, Tokyo.

Werner, W. L. 1998. The mountain forests of Sri Lanka-a world of its own. In: Domroes, M. H. R. (Ed), Sri Lanka: Past and Present; Archaeology, Geography, Economics. Bohler Verlag, Weikersheim, pp. 118-130.

Whitmore, T. C. 1989. Tropical forest nutrients, where do we stand? A tour de horizon. In: Proctor, J. (ed.), Mineral Nutrients in Tropical Forest and Savanna Ecosystems. Blackwell Scientific, Oxford, pp. 1-13.

บทความสู่สาธารณะชน

ป่าเมฆเขานมกับการรักษาไว้ซึ่งธรรมชาติที่ยังบริสุทธิ์อยู่

ผศ. ดร. กฤษณะเดช เจริญสุธาสิณี ผศ. ดร. มัลลิกา เจริญสุธาสิณี นายพิระศักดิ์ แสงอรุณ และ นายวิทยา ภิระ
หน่วยวิจัยระบบซับซ้อน มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ 222 อ. ท่าศาลา จ. นครศรีธรรมราช 80161

น้อยคนนักที่มีโอกาสได้เข้าไปสัมผัสป่าดิบชื้นทางภาคใต้ ด้วยเหตุที่ว่าหากจะเข้าไปยังป่าเขาสูงของภาคใต้ต้องเดินทางด้วยเท้าเข้าไปเท่านั้น เส้นทางที่ลาดชันขึ้นๆ ลงๆ การปีนป่ายหินผา และต้องเกาะไต่ไปตามต้นไม้ใหญ่น้อย ทำให้นึกถึงภาพของความยากลำบาก เหนื่อยล้า หลายคนอาจนึกถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ตลอดการเดินทาง แต่การเดินทางสู่พื้นที่ธรรมชาติอันลึกลับนี้เป็นเรื่องปกติสำหรับเจ้าหน้าที่ผู้พิทักษ์อุทยาน นักล่าหาของป่าท้องถิ่น และเป็นสิ่งที่ท้าทายสำหรับผู้ประกอบการผจญภัยในโลกของธรรมชาติ

เขานม เป็นหนึ่งในยอดเขาสูงสุดหลาย ๆ ยอดในอุทยานแห่งชาติเขานม จังหวัดนครศรีธรรมราช ไม่ค่อยมีใครรู้จักชื่อเขานมมากนัก ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้เขานมเป็นพื้นที่เป้าหมายในการขึ้นไปศึกษาธรรมชาติของนักวิจัยหลายๆ กลุ่ม ซึ่งต่างก็ต้องการพบกับลักษณะเฉพาะของสภาพป่าธรรมชาติที่ยังบริสุทธิ์ ไม่มีผู้ใดบุกรุก หรือเข้าไปทำลายจะด้วยเจตนาหรือไม่ก็ตาม การเดินทางขึ้นเขานมจากหน่วยพิทักษ์ป่าสถานีย่อยหน่วยที่ 3 ชน.คลองกัน ต้องผ่านพื้นที่สวนของชาวบ้านก่อนที่จะเข้าสู่เขตอนุรักษ์ป่าที่ระดับความสูงประมาณ 400 เมตร ระหว่างทางเดินมีที่พักแรมได้บ้างบริเวณใต้ผาหินสูงที่ระดับความสูง 800 เมตร และบริเวณที่ราบที่ 1065 เมตร เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีธารน้ำสายเล็กๆ ผ่าน มีน้ำอยู่ตลอดเวลา น้ำเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งกับชีวิตทุกชีวิตในป่าแห่งนี้ การดื่มน้ำจากแหล่งน้ำในป่าเป็นเรื่องปกติ มีเพียงคำเตือนจากผู้นำทางให้เลือกดื่มน้ำจากบริเวณน้ำที่ไหลผ่านอยู่ตลอดเวลา จะได้เลี่ยงการสัมผัสเชื้อโรคที่อาจเกิดจากการดื่มน้ำร่วมกันกับอีกหลาย ๆ ชีวิตที่ดำรงอยู่ในป่า เมื่อผ่านระดับความสูง 1100 เมตรขึ้นไป ป่าที่ปรากฏจะเริ่มเปลี่ยนไป แลเห็นต้นไม้ที่แปลกตาออกไป ต้นไม้ไม่สูงมากนักแต่แข็งแรง และรากยึดเหนี่ยวแน่นมาก ต้นไม้เหล่านี้กระจายอยู่ทั่วไป บริเวณลำต้นใหญ่น้อยตลอดจนถึงก้านแทบทุกกิ่งจะมีพืชอิงอาศัยเกาะอยู่แทบทุกต้น อากาศเย็นชื้น มักมีหมอกปกคลุมแม้ในตอนกลางวัน ดินที่ชุ่มชื้นเต็มไปด้วยสารอินทรีย์ นอกจากนี้มีกล้วยไม้จำนวนมาก ทั้งที่เป็นพืชประจำถิ่นแปลกตาและดูสวยงาม มีกระจายอยู่ทั่วไปทำให้เป็นที่ต้องตาต้องใจของนักสะสมกล้วยไม้ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของป่าบริเวณนี้ ซึ่งทั้งหมดของลักษณะของป่ายอดเขานมดังกล่าว เป็นตัวบ่งชี้ถึงความเป็นป่าเมฆของเขานมได้เป็นอย่างดี

การเดินทางสู่ป่าเมฆ การดำรงชีวิตในป่า อาจทำให้ได้รับรู้ถึงชีวิตที่ต้องอยู่ร่วมกันหลาย ๆ ชีวิต ทุกชีวิตต้องปรับตัว เพื่อความอยู่รอดของชีวิตของตนเอง แต่สำหรับมนุษย์แล้วควรตระหนักถึงชีวิตของผู้อื่นที่อยู่ร่วมกัน มากกว่าเพียงเพื่อการเอาตัวรอดของตัวเองเพียงอย่างเดียว เช่นเดียวกับที่ผู้นำทางเล่าให้ฟังว่า มักมีนักสะสมกล้วยไม้มักต้องการนำกล้วยไม้เหล่านี้กลับไป ผู้ที่เข้าไปสัมผัสควรรับรู้เพียงความรู้สึกเป็นสุข ชื่นชม และเก็บสภาพธรรมชาติไว้ ไม่ควรนำสิ่งใด ๆ ออกมาจากป่าเมฆแห่งนี้เลย

ภาคผนวก

- Manuscript ที่ทำ พร้อมสำหรับการ submit

Cloud forest Characteristics of Tropical Montane Cloud Forest at Mt. Nom, Thailand

Jaroensutasinee, M.*, Sangarun, P., Pheera, W. and Jaroensutasinee K.

Abstract—We investigated the climatic, vegetation and soil characteristics of the tropical montane cloud forest in Southern Thailand. We installed automatic weather stations at three study sites: Mt. Nom cloud forest, Dadfa Cloud Forest and Mt. Nan Head Quarter. We installed HOBO data loggers along the Mt. Nom elevational transect at five sites (i.e. 500, 700, 900, 1100, and 1300 m a.s.l.) for measuring temperature and %relative humidity. We collected soil samples along the Mt. Nom elevational transect at the same five sites and measured soil pH, % soil moisture and % organic content in the laboratory. We measured tree height, shrub width, leaf thickness, leaf area and % epiphyte cover on every *Lithocarpus bennettii* (Miq.) Rehd. tree found on Mt. Nom cloud forest trail started at 313 m a.s.l. and ended at 1274 m a.s.l. Our results showed that Mt. Nom cloud forest had the lowest temperature, dew point, heat index, solar radiation, solar energy and UV index than Dadfa cloud forest and Mt. Nan Head Quarter. Temperature decreased but %relative humidity increased with increasing elevation. Percent soil moisture and % soil organic content increased with increasing elevation. Soil pH ranged from 3.6 to 4.3 which indicated that soil at Mt. Nom was high acidic soil.

Keywords—Cloud forest, Climate, Weather station, Soil, Vegetation, Thailand

I. INTRODUCTION

Tropical montane cloud forests (TMCF) are one of the world's most threatened ecosystems due to their high deforestation rate which are greater than all other tropical forests and climatic warming (Doumenge et al., 1995; Hamilton et al., 1995; Bruijnzeel and Hamilton, 2000; Bubb et al., 2004; Cayuela et al., 2006; Téllez-Valdés et al., 2006). These TMCFs typically have high levels of endemism, low rates of net primary production and play an essential role in the hydrologic cycles of tropical mountains (Stadtmüller, 1987; Tanner et al., 1990; Bruijnzeel and Proctor, 1995, Grubb, 1995; Foster, 2001). Deforested TMCF takes centuries to recover due to its slow grow rate. These ecosystems are complex, relatively rare, extremely vulnerable to climate changes and very long-term human impacts (Byer and Weaver, 1977; Scatena, 1995; Foster, 2001).

TMCFs occur in mountainous altitudinal band frequently enveloped by orographic clouds (Bruijnzeel and Proctor, 1995; Still et al., 1999). This forest obtains moisture from deposited fog water in addition to bulk precipitation

(Weathers, 1999; Foster, 2001; Chang et al., 2002). The main climatic characteristics of cloud forests include frequent cloud presence, usually high relative humidity and low irradiance (Foster, 2001). TMCFs typically occur at elevations between 1,500 to 3,300 m a.s.l., occupying an altitudinal belt of approximately 800 to 1,000 m at each site. The lowermost occurrence of low-statured cloud forest (300–600 m a.s.l.) is reported from specific locations like small islands, where the cloud base may be very low and the coastal slopes are exposed to both, high rainfall and persistent wind-driven clouds (Bruijnzeel and Proctor, 1995).

TMCFs are important in their effects on hydrological balances at regional scales and the biodiversity that they support; tree species richness may be low on tropical mountains but epiphytic abundance and diversity are higher than in other types of forest (Richards, 1984). In montane tropical forests, fog represents an increasingly important water source as rainfall and temperature decrease and relative humidity increases with increasing elevation (Sugden and Robins, 1979; Cavelier and Goldstein, 1989).

High fog frequency and generally high air humidity on tropical mountains favour accumulation of epiphytic biomass, particularly of the non-vascular species (Grubb et al., 1963; Frahm and Gradstein, 1991). The average non-vascular epiphyte cover of tropical montane forest trees was estimated around 40-50% (Richards, 1952; Nadkarni, 1984). In addition to high fog and humidity, low wind speeds and the presence of long-lived trees would favour epiphyte biomass (Hofstede and Wolff, 1993).

Tree stature and leaf sizes decrease but epiphyte load increase with elevation (Ohsawa, 1995). Cloud forest trees are twisted, gnarled, stunted trees with stilt-rooted, thick leaves and often assume an umbrella-like crown (Beard, 1944; Grubb and Whitmore, 1966; Werner and Balasubramaniam, 1992; Werner, 1998, Foster, 2001). Leaves are thicker, harder and smaller than in surrounding vegetation.

Many studies have reported a variety of soils at TMCFs throughout the world (Roman and Scatena, 2007; Arteaga et al., 2008). However, soil chemical properties at TMCF are difficult to generalise (Bruijnzeel and Proctor, 1995). Little has been done on climatic factors, vegetation, soil and their effects on TMCFs in Thailand or south-east Asia in general. The lack of understanding of the cloud forest characteristics make it difficult to predict what the impacts of climate change will be on the cloud forest and its endemic species. This study is the first to investigate the climatic, vegetation and soil characteristics of TMCF at Mt. Nom cloud forest, Mt. Nan National Park, Thailand.

Jaroensutasinee, M.*, Sangarun, P., Pheera, W. and Jaroensutasinee K. are with Complex System Research Unit and Computational Science Graduate Program, Walailak University, Thaiburi, Thasala, Nakhon Si Thammarat, Thailand, 80161 (jmullica@gmail.com, ppsangarun@gmail.com, wittayapheera@gmail.com, and krisanadej@gmail.com).

II. MATERIALS AND METHODS

A. Site Description

Mt. Nan National Park is located at latitude 8.76908 °N longitude 99.80352 °E, and situated at Noppitam sub-district, Thasala district, and Sichon district in Nakhon Si Thammarat province, Thailand with an area of 406 km². Geographical characteristics of Mt. Nan National Park is a high mountainous range in the North-South direction which is a part of Nakhon Si Thammarat mountain range. The forest at Mt. Nan National Park is a tropical mountain forest which is an important watershed source of Nakhon Si Thammarat province. More than 90% of Mt. Nan National Park still is a primary tropical evergreen forest that is a main watershed source and a home for various species of endangered species.



Figure 1. Study sites. ⊙ represent Mt. Nom cloud forest, Dadfa Cloud forest and Mt. Nan Head quarter where the automatic weather stations were installed. Red line represents Mt. Nan National Park boundary.

B. Climatic Characteristics

We installed Davis weather stations model Vantage Pro II Plus to collect climatic data every 30 min at three locations: Mt. Nom cloud forest (NCF), Dadfa cloud forest (DCF) and Mt. Nan Head Quarter (NHQ). NCF was located at latitude 8.48698 °N longitude 99.45000 °E, and elevation 1,274 m a.s.l. (Figure 1). NHQ was located at latitude 8.76908 °N longitude 99.80352 °E, and elevation 182 m a.s.l. (Figure 1). DCF was located at latitude 9.125360 °N, longitude 99.825531 °E, and elevation 680 m a.s.l. (Figure 1). Davis weather stations were collected nine climatic data: air temperature, % relative humidity, dew point, wind speed, heat index, daily rainfall, solar radiation, solar energy and UV index. We placed temp/humidity HOBO Pro V2 data loggers along the elevational transect on the north-south slope of Mt. Nom, five sites at 500, 700, 900, 1100, and 1300 m a.s.l. Climatic data at these three sites were collected during 16 January to 19 February 2009.

C. Vegetation Characteristics

For vegetation characteristics, we measured leaf thickness, leaf area, tree height, shrub width and % epiphyte cover tree

trunk of every *Lithocarpus bennettii* (Miq.) Rehd. tree found on Mt. Nom elevational transect started at 313 m a.s.l. and ended at 1274 m a.s.l. We selected to study the vegetation characteristic on *Lithocarpus bennettii* (Miq.) Rehd. tree because this tree species was canopy dominant along Mt. Nom elevational transect. We only measured *Lithocarpus bennettii* (Miq.) Rehd. trees that had the diameter at breast height between 30-35 cm.

We collected five dry leaves/tree and measured leaf thickness by using a micrometer at 0.001 mm resolution in the field. We took photographs of these leaves with a Canon A530, five million pixels in the field with white A4 paper (Figure 2a). These photographs were analysed for leaf area using Adobe Photoshop and MultiSpec Win 32. We used a clinometre and a 50 m tape to measure tree height (H), and the width of the shrub in four directions (i.e. north, east, west, south) (Figure 2b). For % epiphyte cover, we took photographs of epiphytes cover on *Lithocarpus bennettii* trunk with a Canon A530, five million pixels with a camera stand using a rectangular frame with scales on it (Figure 2c).

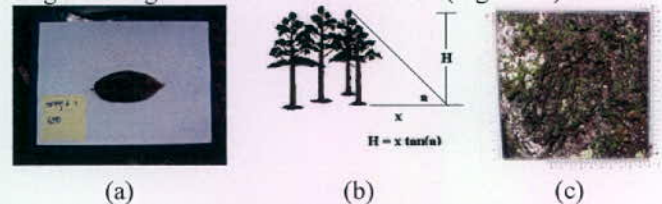


Figure 2. Vegetation characteristics (a) leaf photography, (b) tree height and (c) % epiphyte cover around tree trunk with scales

D. Soil Characteristics

Soil samples were collected along the Mt. Nom elevational transect at five sites: 500, 700, 900, 1100, and 1300 m a.s.l. by using a soil auger. At each elevation, we collected three soil samples and measured the latitude, longitude and elevation of soil collected sites using a Garmin GPSMAP 76 CSx.

Soil samples that were contained a lot of pebbles were sieved with sieve mesh size 2 mm prior to weighing soil samples. We weighed 200 g soil/sample, oven dried at 90 °C for 24 hrs, reweighed soil again and calculated %soil moisture. We weighed 50 g oven dried soil/sample, burned it at 550 °C for 1 hr, reweighed the soil and calculated for %soil organic content. For determining soil pH, 40 g of fresh soil was suspended in 40 ml of de-ionised water. After 24 h, the pH (H₂O) was measured.

E. Data Analysis

Parametric statistics tests were used when underlying assumptions were met. One-way ANOVA and Bonferroni post-hoc tests were used to test climate factor differences among NCF, DCF and NHQ. Linear regressions were used to test (1) the association between temperature and %relative humidity at NCF, DCF and NHQ, (2) the association between leaf thickness, leaf area, tree height, shrub width, %epiphyte cover and elevation and (3) the association between %organic content, %soil moisture and soil pH with elevation. All significant tests were two-tailed.

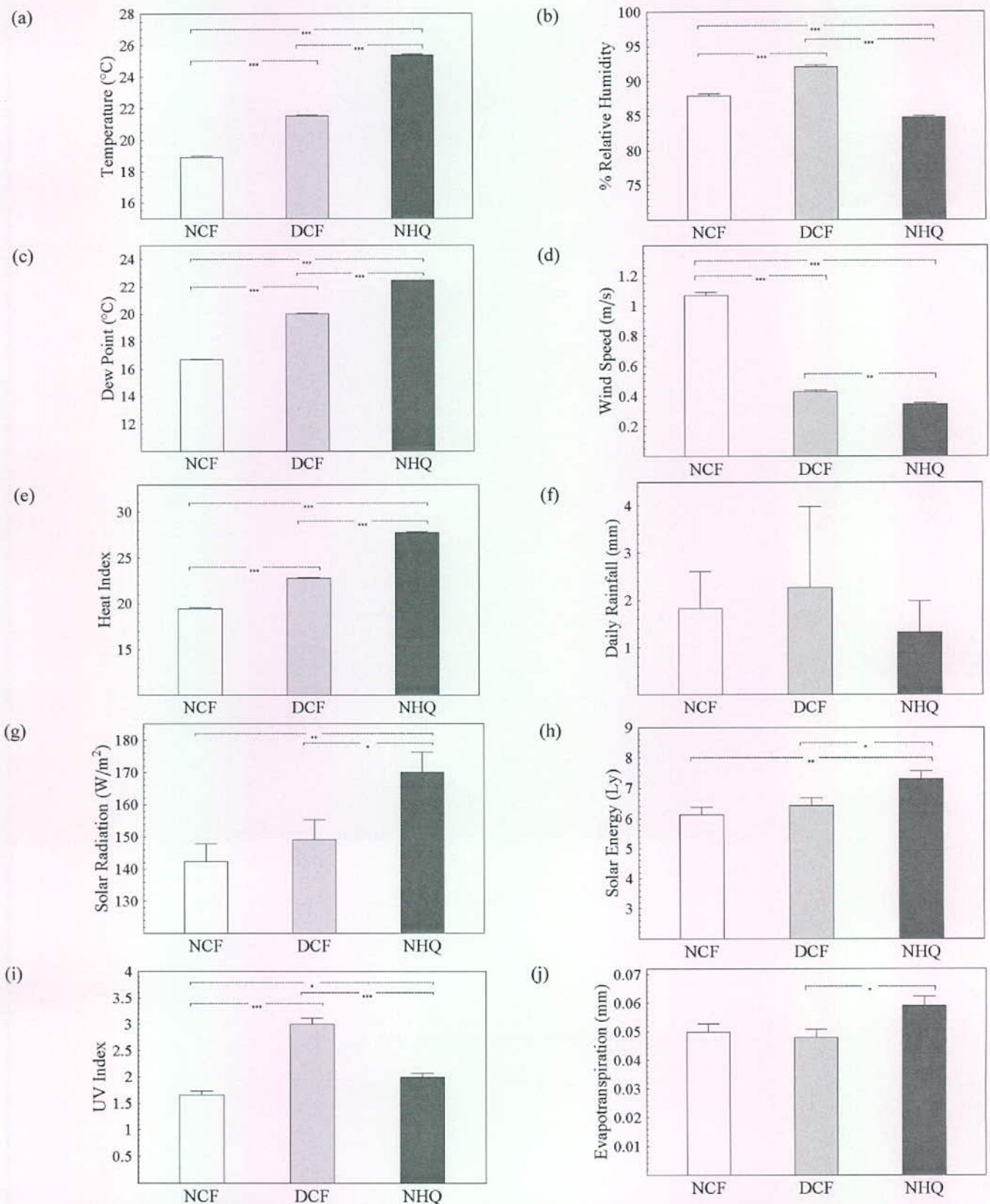


Figure 3. Mean (\pm SE) of climatic factors at Mt. Nom Cloud Forest (NCF), Dadfa Cloud Forest (DCF) and Mt. Nan Head Quarter (NHQ). (a) temperature ($^{\circ}$ C), (b) %Relative Humidity, (c) dew point ($^{\circ}$ C), (d) wind speed (m/s), (e) heat index, (f) daily rainfall (mm), (g) solar radiation (W/m^2), (h) solar energy (Ly), (i) UV index and (j) Evapotranspiration (mm). * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$

III. RESULTS

A. Climatic Characteristics

NCF had the lowest temperature, dew point, heat index, solar radiation, solar energy and UV index than DCF and NHQ (temperature: $F_{2,4573} = 2515.024$, $P < 0.001$; dew point: $F_{2,4573} = 4900.758$, $P < 0.001$; heat index: $F_{2,4573} = 2839.951$, $P < 0.001$; solar radiation: $F_{2,4573} = 5.815$, $P < 0.005$; solar energy: $F_{2,4573} = 5.815$, $P < 0.005$ and UV index: $F_{2,4573} = 59.536$, $P < 0.001$, Figure 3a,c,e,g,h,i). DCF had the highest % relative humidity, and NCF was an intermediate % relative humidity than NHQ ($F_{2,4573} = 167.825$, $P < 0.001$, Figure 3b). NCF had the highest wind speed that DCF and NHQ ($F_{2,4573} = 603.656$, $P < 0.001$, Figure 3d). There was no different in the amount of daily rainfall among these three study sites ($F_{2,4573} = 0.621$, ns, Figure 3f). NHQ had higher evapotranspiration than DCF ($F_{2,4573} = 3.970$, $P < 0.05$, Figure 3j).

As elevation increased, temperature decreased but %relative humidity increased (temperature: $y = -0.004x + 22.849$, $R^2 = 0.192$, $F_{1,200258} = 4804.22$, $P < 0.001$; %relative humidity: $y = 0.003x + 88.612$, $R^2 = 0.011$, $F_{1,200258} = 215.875$, $P < 0.001$, Figure 4a,b). As air temperature at NCF, DCF and NHQ increased, % relative humidity decreased (Eq. 1-5, Figure 5a-c). The relationship between temperature and % relative humidity at NCF and DCF differed from NHQ (Figure 5a-c).

$$\begin{aligned} \text{NCF fog free day} \\ RH_{ncf} = 4.11(42.16 - T_{ncf}) & ; (T_{ncf} > 17.82) \\ RH_{ncf} = 100 & ; (T_{ncf} \leq 17.82) \end{aligned} \quad \text{Eq. (1)}$$

$$\begin{aligned} \text{NCF fog bound day} \\ RH_{ncf} = 27.25(20.52 - T_{ncf}) & ; (T_{ncf} > 16.85) \\ RH_{ncf} = 100 & ; (T_{ncf} \leq 16.85) \end{aligned} \quad \text{Eq. (2)}$$

$$\begin{aligned} \text{DCF fog bound day} \\ RH_{dcf} = 4.95(41.32 - T_{dcf}) & ; (T_{dcf} > 21.13) \\ RH_{dcf} = 100 & ; (T_{dcf} \leq 21.13) \end{aligned} \quad \text{Eq. (3)}$$

$$\begin{aligned} \text{DCF fog bound day} \\ RH_{dcf} = 30.09(23.43 - T_{ncf}) & ; (T_{dcf} > 20.11) \\ RH_{dcf} = 100 & ; (T_{dcf} \leq 20.11) \end{aligned} \quad \text{Eq. (4)}$$

$$\begin{aligned} \text{Nan Head Quarter} \\ RH_{nhq} = 4.29(45.12 - T_{ncf}) & ; (T_{nhq} > 21.81) \\ RH_{nhq} = 100 & ; (T_{nhq} \leq 21.81) \end{aligned} \quad \text{Eq. (5)}$$

Where RH_{ncf} , RH_{nhq} and RH_{dcf} were %relative humidity at three study sites and T_{ncf} , T_{nhq} and T_{ncf} were air temperature data at Mt. Nom cloud forest, Mt. Nan Head Quarter and Dadfa cloud forest, respectively.

B. Vegetation Characteristics

As elevation increased, leaf thickness increased but leaf area decreased (leaf thickness: $y = 1.067 \times 10^{-5}x + 0.016$, $R^2 = 0.274$, $F_{1,148} = 55.944$, $P < 0.001$; leaf area: $y = -0.032x + 72.698$, $R^2 = 0.232$, $F_{1,143} = 43.276$, $P < 0.001$, Figure 6a,b). There was no association between tree height and elevation ($F_{1,23} = 0.0029$, ns, Figure 6c). As elevation increased, shrub width decreased but % epiphyte cover increased ($y = -0.006x - 14.248$, $R^2 = 0.54$, $F_{1,23} = 27.000$, $P < 0.001$; % epiphyte cover: $y = 0.091x - 46.175$, $R^2 = 0.57$, $F_{1,28} = 37.335$, $P < 0.001$, Figure 6d,e).

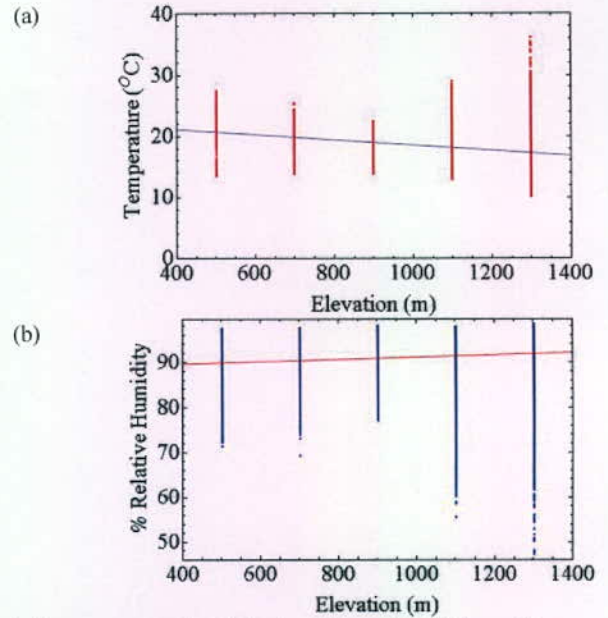


Figure 4. Temperature and relative humidity of NCF from 16 January – 19 February 2009 along an elevational transect. (a) temperature (°C) and (b) %relative Humidity

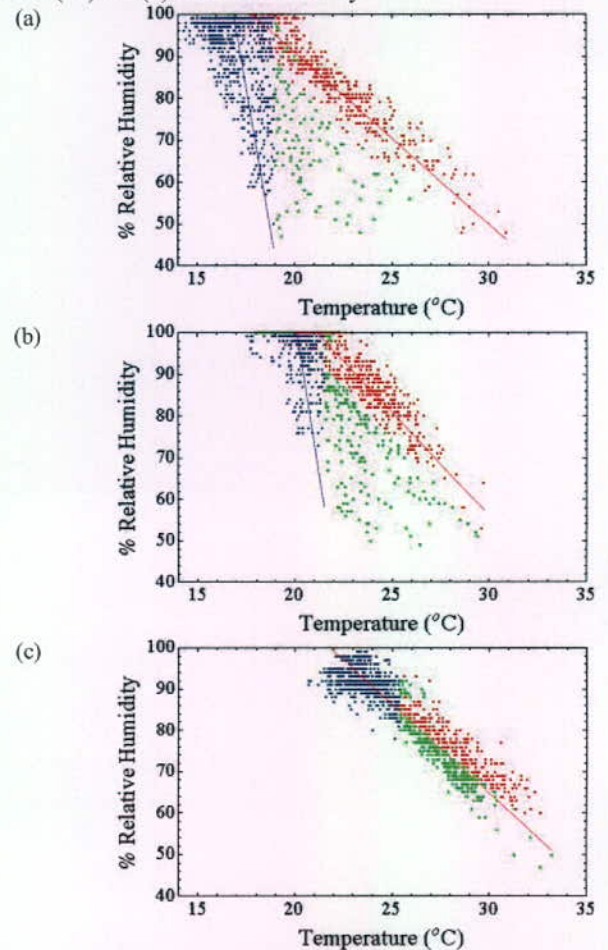


Figure 5. Temperature (°C) and %relative humidity at (a) NCF (red circle), (b) DCF (blue circle) and (c) NHQ (green square)

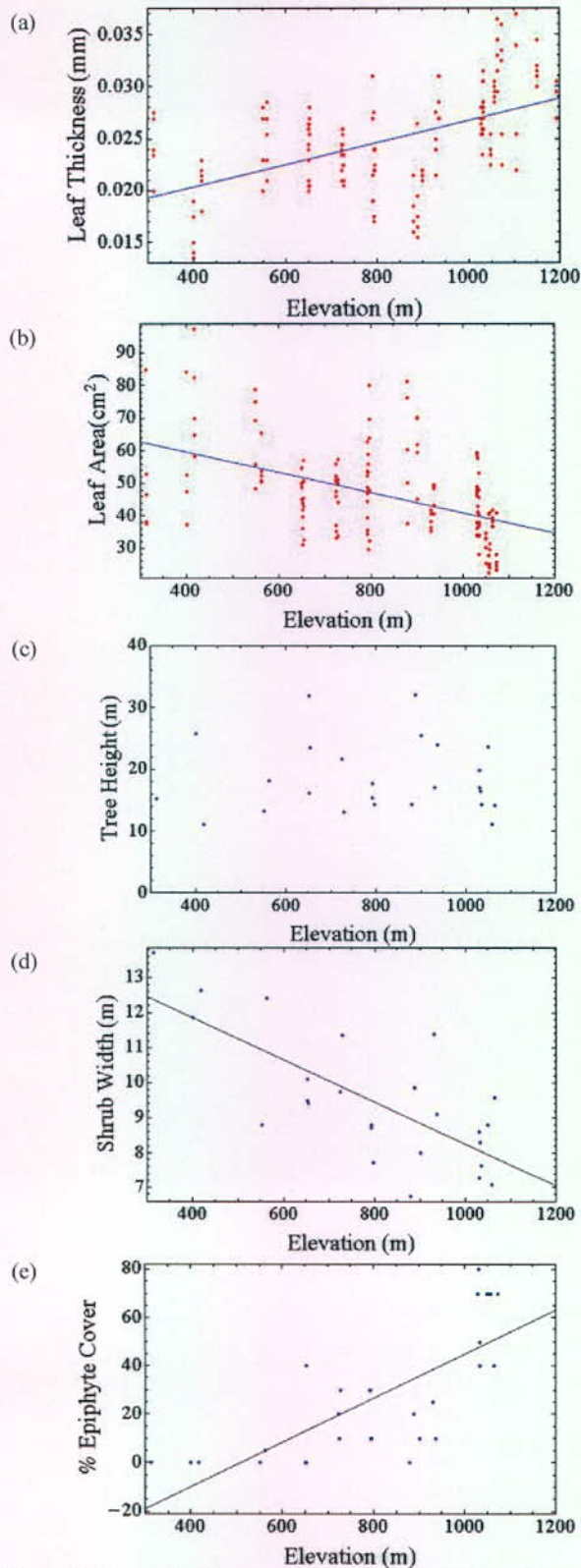


Figure 6. Vegetation characteristics of Mt. Nom cloud forest from 16 January – 19 February 2009 along an elevational transect. (a) leaf thickness (mm), (b) leaf area (cm²), (c) tree height (m), (d) shrub width (m) and (e) % epiphyte cover

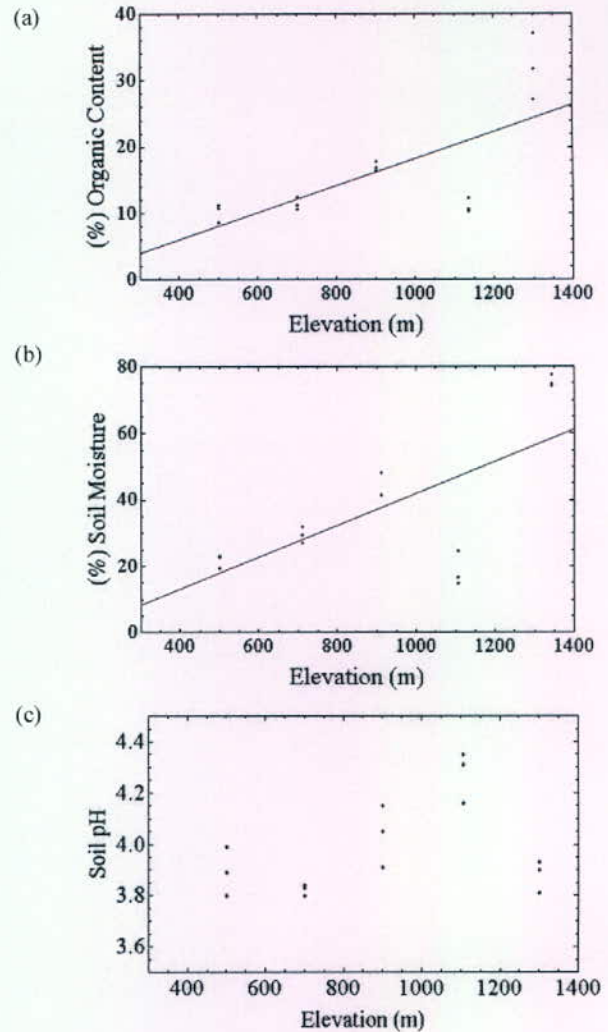


Figure 7. Soil characteristics of Mt. Nom cloud forest along an elevational transect. (a) % organic content, (b) % soil moisture and (c) soil pH

C. Soil Characteristics

As the elevation increased, % organic content and % soil moisture increased (linear regression: %organic content: $y = 0.020x - 2.076$, $R^2 = 0.485883$, $F_{1,13} = 12.286$, $P < 0.005$; % soil moisture: $y = 0.048x - 6.037$, $R^2 = 0.456$, $F_{1,13} = 10.911$, $P < 0.01$, Figure 7a,b). There was no association between soil pH and elevation ($F_{1,13} = 1.748$, ns, Figure 7c).

IV. DISCUSSION

One reason for the lack of studies in TCMFs in Thailand is their inaccessibility and unfavourable environment for humans. Fortunately, their inaccessibility and harsh climate, with high rainfall and relative humidity, has also limited their exploitation. Since TCMFs are usually enveloped in clouds and fog, carrying out field work is not an easy task. Nevertheless, an increasing amount of research is being conducted in these ecosystems.

Richards (1952) showed that relative humidity in tropical forest rises with increasing elevation. Our results support Richards (1952)'s study that temperature decreased but % relative humidity increased with increasing elevation. Moreover, temperature and %relative humidity at 1300 m a.s.l. had the highest variation than other elevations. This indicates that Mt. Nom cloud forest had more severe environment than tropical rain forests. The high relative humidity in TMCFs make invasion of leaves by fungi and epiphytes easy (Grubb, 1977).

TMCFs are generally complex with abundant mosses, lichens and epiphytes (Grubb, 1977; Frahm, 1990; Veneklaas & Van Ek, 1990). Our results support the previous studies (Grubb, 1977; Stadtmüller, 1987; Kitayama, 1995) that % epiphyte abundance and leaf thickness increasing, while leaf area and shrub width decreasing with increasing elevation. Grubb (1977) suggested that leaf thickness and long leaf life meant that less production should be invested in woody parts in TMCFs than in temperate deciduous forest or conifer forest. Moreover, low air temperature and lack of bright sunlight at TMCFs also are slow down the plant growth. Our results support this that shrub width decreased with increasing elevation. Leaf thickness causing by the thick outer walls may serve to minimise invasion by fungi (Grubb, 1977). The decline in leaf area with elevation could be an adaptation maximising the ratio of carbon dioxide absorbed to water lost (Grubb, 1977).

Kitayama (1995) reported that the tree height decreases with increasing elevation in Mt. Kinabalu, Sabah, in Malaysia. However, our results did not support Kitayama (1995)'s finding that we did not find any association between tree height and elevation.

Cloud water deposition often increases with elevation, and it is widely accepted that this cloud water increases acid loading to TMCF ecosystems. Cloud water deposition can be four times more acidic than bulk precipitation (Sigmon et al., 1989; Clark et al. 1998). Since cloud cover tends to increase with elevation, a positive relationship between forest acidification and elevation is expected (Sigmon et al., 1989; Hendershot et al., 1992). Our results did not support previous studies (Foster et al., 1989; Hendershot et al., 1992) that we did not find soil pH increased with increasing elevation. However, our results showed that soil pH at 1300 m a.s.l. where the cloud forest present had lower soil pH than at 1100 m a.s.l.

High acidity (pH 2-4) at TMCFs was reported in many studies (Hardon, 1936; Barshad and Rojas-Cruz, 1950; Askew, 1964; Burnham, 1974; Bautista-Cruz and del Castillo, 2005; Schawe et al., 2007). However, other researchers found pH values over 5 (Edwards and Grubb, 1982; Bracho and Sosa, 1987; Vance and Nadkarni, 1992; Bruijnzeel and Proctor, 1995). The analysis of the latter group shows that in all the cases the soils occurred on parent material initially rich in bases: limestone, basic volcanic tephra, or it was enriched with volcanic ash. Therefore, extreme acidity is typical for MCF soils formed on parent rock poor in bases (Arteaga et al., 2008; Targulian and Rosas, 2008).

Forest floor moisture content at the higher elevation was significantly higher, which most likely resulted from higher

wet deposition from cloud cover (Mendoza-Vega et al., 2003). Since cloud water concentrations average about three and a half times higher than bulk precipitation (Neal et al., 2005), soil organic content commonly increases with increasing precipitation and with decreasing temperature for any particular level of precipitation (Post et al., 1982). The significant positive correlation coefficient found between altitude above sea level and the amounts of soil organic content in our study may suggest that a proportion of the variation in the amounts of soil organic content might be explained by the climate and high dissolved organic content in cloud water.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank John Endler and Leslie Gordon for comments on previous versions of this manuscript. This work was supported in part by PTT Public Company Limited, TRF/Biotec special program for Biodiversity Research Training grant BRT R351151, BRT T351004, BRT T351005, Walailak University Fund 05/2552 and 07/2552, WU50602, and Centre of Excellence in EcoInformatics, the Institute of Research and Development, Walailak University and Nectec. We thank Mt. Nan National Park staff for their invaluable assistance in the field.

REFERENCES

- Arteaga, G. A., Calderón, N. E. G., Krosilnikov, P. V., Sedov, S. N., Targulian, V.O. and Velázquez Rosas, N. 2008. Soil altitudinal sequence on base-poor parent material in a montane cloud forest in Sierra Juárez, Southern Mexico. *Geoderma* 144: 593–612.
- Askew, G. P. 1964. The mountain soils of the east ridge of Mt. Kinabalu. *Proceedings of Royal Society London Series B, Biological Science* 161: 65–74.
- Barshad, I. and Rojas-Cruz, L. 1950. A pedologic study of a Podzol soil profile from the equatorial region of Columbia, South America. *Soil Science* 70: 221–236.
- Bautista-Cruz, A. and del Castillo, R. J. 2005. Soil Changes During Secondary Succession in a Tropical Montane Cloud Forest Area. *Soil Science Society of America Journal* 69: 906-914.
- Beard, J. S. 1944. Climax vegetation in tropical America. *Ecology* 25: 127-158.
- Bracho, R. and Sosa, V. J. 1987. Edafología. In: Puig, H. and Bracho, R. (Eds.), *Bosques mesófilos de montaña de Tamaulipas*, vol. 21. Instituto de Ecología, México, D.F., Publ., pp. 29–37.
- Bruijnzeel, L. A. and Hamilton, L. S. 2000. Decision time for cloud forests. IHP Humid Tropics Programme Series no 13. UNESCO Division of Water Sciences.
- Bruijnzeel, L. A. and Proctor, J. 1995. Hydrology and biochemistry of tropical montane cloud forest: what do we really know? In: Hamilton, L. Juvik, J. O. Scatena, F. N. (Eds), *Tropical Montane Cloud Forest*. Springer-Verlag, New York, pp. 38-78.
- Bubb, P., May, I., Miles, L. and Sayer, J. 2004. *Cloud forest Agenda*. UNEP-WCMC, Cambridge, UK.

- Burnham, C. P. 1974. Altitudinal change in soils on granite in Malaysia. Proc. X World Congress Soil Sci., Moscow. Genesis, Classification and Geography of Soils. Commission V, vol. VI, pp. 290–296. Part 1.
- Byer, M. D. and Weaver, P. L. 1977. Early secondary succession in an elfin woodland in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. *Biotropica* 9(1): 35–47.
- Cavelier, J. and Goldstein, G. 1989. Mist and fog interception in elfin cloud forests in Colombia and Venezuela. *Journal of Tropical Ecology* 5: 309–322.
- Cayuela, L., Golicher, D. J. and Rey-Benayas, J. M. 2006. The extent, distribution, and fragmentation of vanishing Montane cloud forest in the Highlands of Chiapas, Mexico. *Biotropica* 38: 544–554.
- Chang, S. C., Lai, I.-L. and Wu, J.-T. 2002. Estimation of fog deposition on epiphytic bryophytes in a subtropical montane forest ecosystem in northeastern Taiwan *Atmospheric Reserve* 64: 159–167.
- Clark, K. L., Nadkarni, N. M., Schaefer, D. and Gholz, H. L. 1998. Cloud water and precipitation chemistry in a tropical montane forest, Monteverde, Costa Rica. *Atmospheric Environment* 32: 1595–1603.
- Doumenge, C., Gilmour, D., Perez, M. R. and Blockhus, J. 1995. Tropical montane cloud forests: Conservation status and management issues. In: Hamilton, L. S., Juvik, J. O. and Scatena, F. N. (Eds.), *Tropical Montane Cloud Forests Ecological Studies* 110: 24–37.
- Edwards, P. J. and Grubb, P. J. 1982. Studies of mineral cycling in a montane rain forest in New Guinea IV. Soil characteristics and the division of mineral elements between the vegetation and soil. *Journal of Ecology* 70: 649–666.
- Foster, P. 2001. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews* 55: 73–106.
- Frahm, J. P. 1990. The Ecology of Epiphytic Bryophytes on Mt. Kinabalu, Sabah (Malaysia). *Nova Hedwigia* 51: 121–132.
- Frahm, J. P. and Gradstein, R. S. 1991. An altitudinal zonation of tropical rain forests using bryophytes. *Journal of Biogeography* 8: 669–678.
- Grubb, P. J. 1977. Control of forest growth and distribution on wet tropical mountains: with special reference to mineral nutrition. *Annual Review of Ecology and Systematics* 8: 83–107.
- Grubb, P. J. 1995. Mineral nutrition and soil fertility in Tropical Rain Forests. In: Lugo, A. E. and Lowe, C. (Eds.), *Tropical Forests: Management and Ecology*. Ecological Studies 112: 308–330.
- Grubb, P. J., Lloyd, J. R., Pennington, T. D. and Whitmore, T. C. 1963. A comparison of montane and lowland rainforest in Ecuador I. The forest structure, physiognomy, and floristics. *Journal of Ecology* 51: 567–601.
- Grubb, P. J. and Whitmore, T. C. 1966. Comparison of montane and lowland rain forests in Ecuador II. The climate and its effects on the distribution and physiognomy of forests. *Journal of Ecology* 54: 303–333.
- Hardon, H. J. 1936. Podzol-profiles in the tropics. *Nat. Tijdschr. Ned.-Ind.* 96: 25–41.
- Hamilton, L. S., Juvik, J. O. and Scatena, F. N. 1995. The Puerto Rico Tropical Cloud Forest Symposium: Introduction and Workshop Synthesis. In: Hamilton, L.S., Juvik, J.O., Scatena, F.N. (Eds.), *Tropical Montane Cloud Forests Ecological Studies* 110: 1–23.
- Hendershot, W. H., Courchesne, F. and Schemenauer, R. S. 1992. Soil acidification along a topographic gradient on Roundtop Mountain, Quebec, Canada. *Water, Air, and Soil Pollution* 61: 235–242.
- Hofstede, R. G. M. and Wolff, J. H. D. 1993. Epiphytic biomass and nutrient status of a Colombian upper montane rain forest. *Selbyana* 14: 37–45.
- Kitayama, K. 1995. Biophysical Conditions of the Montane Cloud Forest of Mount Kinabalu, Sabah, Malaysia. In: Hamilton, L. S., Juvik, J. O. and Scatena, F. N. (Eds.), *Tropical Montane Cloud Forests Ecological Studies* 110: 183–197.
- Mendoza-Vega, J., Karlun, E. and Olsson, M. 2003. Estimations of amounts of soil organic carbon and fine root carbon in land use and land cover classes, and soil types of Chiapas highlands, Mexico. *Forest Ecology and Management* 177: 191–206.
- Nadkarni, N. 1984. Epiphyte biomass and nutrient capital of a Neotropical elfin forest. *Biotropica* 16: 249–256.
- Neal, C., Robson, A. J., Neal, M. and Reynolds, B. 2005. Dissolved organic carbon for upland acidic and acid sensitive catchments in mid-Wales. *Journal of Hydrology* 304: 203–220.
- Ohsawa, M. 1995. The montane cloud forest and its gradational changes in southeast Asia. In: Hamilton, L. S., Juvik, J. O. and Scatena, F. N. (Eds.), *Tropical Montane Cloud Forests Ecological Studies* 110: 254–265.
- Post, W. M., Emanuel, W. R., Zinke, P. J. and Stangenberger, A. G. 1982. Soil carbon pools and world life zones. *Nature* 298: 156–159.
- Richards, P. W. 1952. *The Tropical Rain Forest*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Richards, P. W. 1984. The ecology of tropical forest bryophytes. In: Schuster, R. (Ed.), *New Manual of Bryology*. The Hattori Botanical Laboratory, Miyazaki.
- Roman, L., and Scatena, F.N. 2007. Tropical Montane cloud forest soils: an overview. *Mountains in the Mist: Conserving and Managing Tropical Montane Cloud Forests Symposium Proceedings*. August 2004.
- Scatena, F. N. 1995. The management of Luquillo Elfin Cloud Forest Ecosystems: Irreversible decisions in a nonsubstitutable ecosystem. In: Hamilton, L. S., Juvik, J. O., Scatena, F. N. (Eds.), *Tropical Montane Cloud Forests, Ecological Studies* 110: 296–308.
- Schawe, M., Glatzel, S., and Gerold, G. 2007. Soil development along an altitudinal transect in a Bolivian tropical montane rainforest: podzolization vs. hydromorphy. *Catena* 69: 63–90.
- Sigmon, J. T., Gilliam, F. S. and Partin, M. E. 1989. Precipitation and throughfall chemistry for a montane hardwood forest ecosystem: potential contributions from cloud water. *Canadian Journal of Forest Research* 19: 1240–1247.
- Stadtmüller, T. 1987. *Los Bosques Nublados en el TroÁpico Humedo: Una Revision Bibliográfica*. Universidad de las Naciones Unidas, Tokyo.
- Still, C. J., Foster, P.N. and Schneider, S.H. 1999. Simulating the effects of climate change on tropical montane cloud forests. *Nature* 398: 608–610.
- Sugden, A. and Robins, R. J. 1979. Aspects of the ecology of vascular epiphytes in Colombian cloud forests I. The distribution of epiphytic flora. *Biotropica* 3: 173–188.
- Tanner, E. V. J., Kapos, V., Freskos, S., Healey, J. R. and Theobald, A. M. 1990. Nitrogen and phosphorus fertilization of Jamaican montane forest trees. *Journal of Tropical Ecology* 6: 231–238.
- Targulian, V. O. and Rosas, N. V. 2008. Soil altitudinal sequence on base-poor parent material in a montane cloud forest in Sierra Juárez, Southern Mexico. *Geoderma* 144: 593–612.
- Téllez-Valdés, O., Dávila-Aranda, P. and Lira-Saade, R. 2006. The effects of climate change on the long-term conservation of *Fagus grandifolia* var. *mexicana*, an important species of the Cloud Forest in Eastern Mexico. *Biodiversity and Conservation* 15: 1095–1107.

Vance, E. D. and Nadkarni, N. M. 1992. Root biomass in the forest floor and in the canopy of a neotropical cloud forest, Costa Rica. *Plant Soil* 142: 31–39.

Vencklaas, E. J. and Van Ek, R. 1990. Rainfall Interception in 2 Tropical Montane Rain-Forests, Colombia. *Hydrological Processes* 4: 311-326.

Weathers, K. C. 1999. The importance of cloud and fog in the maintenance of ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 14: 214-215.

Werner, W. L. 1998. The mountain forests of Sri Lanka—a world of its own. In: Domroes, M. H. R. (Ed.), *Sri Lanka: Past and Present; Archaeology, Geography, Economics*. Bohler Verlag, Weikersheim, pp. 118–130.

Werner, W. L. and Balasubramaniam, S. 1992. Structure and dynamics of the upper montane rain forests of Sri Lanka. *Tropical Forests*. In: Goldammer, J.G. (Ed.), *Transition*. Birkhauser Verlag, Basel Switzerland, pp. 165–172.