



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการพืชสวน)

ปริญญา

วิทยาการพืชสวน

พืชสวน

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง สวนบนหลังคา: พันธุ์พืช วัสดุปลูก และผลต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง

Green Roof: Plant Species, Substrate and Effect on Room Temperature and Relative Humidity

นามผู้วิจัย นางสาวเมธรัชต์พัชร เขียววิชัย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ปิยะณัฐ ผกามาศ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ศศิยา ศิริพานิช, M.L.A.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

สวนบนหลังคา: พันธุ์พืช วัสดุปลูก และผลต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง

Green Roof: Plant Species, Substrate and Effect on Room Temperature and Relative Humidity

โดย

นางสาวณอรัชต์พัชร เขียววิชัย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการพืชสวน)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมธวัชรพัชร เกียววิชัย 2557: สวนบนหลังคา: พันธุ์พืช วัสดุปลูก และผลต่ออุณหภูมิ
และความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการพืชสวน) สาขา
วิทยาการพืชสวน ภาควิชาพืชสวน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ปิยะณัฐ
ผกามาศ, Ph.D. 115 หน้า

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกพันธุ์พืชและวัสดุปลูกธรรมชาติที่เหมาะสม
สำหรับสวนบนหลังคาคอนกรีต และทดสอบประสิทธิภาพของสวนบนหลังคาต่ออุณหภูมิและ
ความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง โดยทดสอบพันธุ์พืช 8 ชนิด ได้แก่ หลิวไต้หวัน กาบหอยแครงแคระ
เศรษฐีเรือนนอก ผักเป็ดแดง ลิ้นมังกรแคระ เทียนทอง วานหางจรเข้ และเศรษฐีพันล้าน ปลูกใน
กระบะขนาด 21×39 เซนติเมตร ที่มีดินเป็นวัสดุปลูก ความลึก 10 เซนติเมตร ได้รับแดดตลอดวัน
รดน้ำวันละครั้ง นาน 3 เดือน พบว่าเทียนทอง มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุด
รองลงมาคือ เศรษฐีเรือนนอก หลิวไต้หวัน วานหางจรเข้ และเศรษฐีพันล้าน ตามลำดับ จากนั้น
นำพืชดังกล่าวปลูกทดสอบกับวัสดุปลูก ได้แก่ ขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ ถั่วแกลบ และวัสดุผสม
(ขุยมะพร้าว: มะพร้าวสับ: ถั่วแกลบ 1:1:1) ความลึก 10 เซนติเมตร บนหลังคาคอนกรีต รดน้ำ
สัปดาห์ละ 2 ครั้ง นาน 5 เดือน พบว่า หลิวไต้หวัน วานหางจรเข้ และเศรษฐีพันล้าน มีดัชนีการ
เจริญเติบโตและการครอบคลุมพื้นที่เฉลี่ยสูงขึ้นในวัสดุปลูกทุกชนิด โดยสูงสุดในวัสดุปลูกที่เป็น
มะพร้าวสับ ในขณะที่เศรษฐีเรือนนอก และเทียนทอง มีดัชนีการเจริญเติบโตเฉลี่ยที่ลดลงตาม
ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นในวัสดุปลูกทุกชนิด จึงคัดเลือกหลิวไต้หวัน วานหางจรเข้ เศรษฐีพันล้าน
สำหรับปลูกเป็นสวนบนหลังคา โดยมีมะพร้าวสับเป็นวัสดุปลูก เปรียบเทียบอุณหภูมิและ
ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องขนาด 1.8×3×3 เมตร ที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา ในระดับเพดาน กลาง
ห้อง และพื้นห้อง เป็นเวลา 8 เดือน พบว่า ห้องที่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิในแต่ละระดับต่ำกว่า
และความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา ในทุกฤดู (ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน)
จากการทดลองสรุปได้ว่า หลิวไต้หวัน วานหางจรเข้ และเศรษฐีพันล้าน ที่ปลูกในมะพร้าวสับ มี
ความเหมาะสมสำหรับการปลูกบนสวนบนหลังคา และสวนบนหลังคาสามารถทำให้อุณหภูมิ
ภายในห้องต่ำลง ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในระดับที่สบาย และลดภาระการทำความเย็นได้ถึง 73.81
เปอร์เซ็นต์

Choeratphatchra Khicowichai 2014: Green Roof: Plant Species, Substrate and Effect on Room Temperature and Relative Humidity. Master of Science (Horticultural Science), Major Field: Horticultural Science, Department of Horticulture. Thesis Advisor: Piyanath Pagamas, Ph.D. 115 pages.

The objective of this study was to select the suitable plant species and substrates for green roof planting and effect on room temperature and relative humidity. Selected plant species, *Cuphea hyssopifolia*, *Tradescantia spathacea*, *Chlorophytum bichetti*, *Alternanthera bettzickiana*, *Sansevieria trifasciata*, *Duranta erecta*, *Aloe vera*, and *Bryophyllum delagoense* were grown in a container using soil as a growing substrate at 10 centimeters deep in full sun and watered once a day for three months. The results showed that *Duranta erecta* had the highest relative growth rate, followed by *Chlorophytum bichetti*, *Cuphea hyssopifolia*, *Aloe vera*, and *Bryophyllum delagoense* respectively. Then, they were grown in different substrates: coir dust, coconut husk chips, rice ash charcoals, and a mixture of coir dust, coconut husk chips, and rice ash charcoals (1:1:1) at 10 centimeters deep and watered twice a week for five months on the rooftop. The results showed that, *Cuphea hyssopifolia*, *Aloe vera*, and *Bryophyllum delagoense* grown in any substrates had an increasing of the average growth index and plant covered area, with the highest values found in these grown in coconut husk chips. Then established green roof by using *Cuphea hyssopifolia*, *Aloe vera*, and *Bryophyllum delagoense* and coconut husk chips as plant materials. The temperature and relative humidity in green roof room and non-green roof room of 1.8×3×3 metres at ceiling, middle and floor level were recorded for 8 months. The result showed that in each level inside the green roof room had lower temperature and higher relative humidity than the non-green roof room in every season. In conclusion, *Cuphea hyssopifolia*, *Aloe vera*, and *Bryophyllum delagoense* were suitable for green roof planting using coconut husk chips as a substrate. Green roof garden decreased the room temperature and made the comfortable relative humidity level. Moreover, green roof garden reduced the cooling load of air conditioner for 73.81 percentage comparing with the non-green roof room.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ปิยะณัฐ ผกามาศ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ให้ความรู้ คำแนะนำ แนวทางการดำเนินงาน และตรวจแก้ไขความบกพร่องต่างๆ ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ กระทั่งเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนความช่วยเหลือในทุกด้านระหว่างการศึกษาและทำงานวิจัย รวมถึงความอดทนที่มีให้ลูกศิษย์คนนี้มาโดยตลอด ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ศศิยา ศิริพานิช กรรมการที่ปรึกษา ที่ร่วมให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาที่ศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่เป็นยิ่งกว่ากำลังใจ ที่ปรึกษา รวมถึงทุกสิ่งทุกอย่างในทุกๆ วัน ที่มีให้ข้าพเจ้าเสมอมา ขอบคุณน้องชาย สำหรับแรงบันดาลใจและกำลังใจที่อบอุ่นและแสนดี รวมถึงญาติๆ ในตระกูลเขียววิชัย ที่ร่วมเป็นส่วนหนึ่งในแรงผลักดันให้ข้าพเจ้ามีวันนี้

ขอบคุณภาควิชาพืชสวน และบุคลากรทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวก และความเอื้อเฟื้อต่างๆ เป็นผลให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง และขอบคุณเพื่อนๆ สำหรับร่างกายและแรงใจที่ส่งให้ข้าพเจ้าเสมอมา

ณ รัชต์พัชร เขียววิชัย

กรกฎาคม 2557

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	27
ผลและวิจารณ์	44
สรุปและข้อเสนอแนะ	88
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	90
ภาคผนวก	106
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุปลูก	107
ภาคผนวก ข การคำนวณภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ระหว่างห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา	111
ภาคผนวก ค ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิ	113
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	115

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ลักษณะของพันธุ์พืช 14 ชนิดที่เลือกมาใช้ในการทดลอง	28
2	การคัดเลือกพันธุ์พืชโดยการให้คะแนน	36
3	คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของวัสดุปลูกที่ใช้ในการทดลอง	49
4	ดัชนีการเจริญเติบโตของหลิวไต้หวัน เศรษฐีเรือนนอก เทียนทอง วานหางจรเข้ และเศรษฐีพันล้าน เฉลี่ยรวมทุกวัสดุปลูก (ขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ ถ่านแกลบ และวัสดุผสม (ขุยมะพร้าว:มะพร้าวสับ:ถ่านแกลบ อัตราส่วน 1:1:1) ในแต่ละสัปดาห์ บนดาดฟ้าอาคาร นาน 21 สัปดาห์	54
5	ภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศของห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา	83
ตารางผนวกที่		
1	เปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด เฉลี่ย ที่ระดับเพดาน กลางห้อง และพื้นห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา ตลอดการทดลอง ตั้งแต่ 10 กันยายน 2556 ถึง 30 เมษายน 2557 เป็นเวลา 8 เดือน	114

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	อุณหภูมิบริเวณที่เป็นสิ่งปลูกสร้างหนาแน่นจะสูงกว่าบริเวณที่พักอาศัยชนเมืองที่มีต้นไม้และบริเวณที่เป็นพื้นที่การเกษตรและชนบทจะมีอุณหภูมิปกติต่ำกว่า	6
2	ลักษณะของห้องทดลองเมื่อมองจากด้านข้าง	41
3	ลักษณะภายในของห้องทดลองที่ไม่มีสวนบนหลังคา (ซ้าย) และที่มีสวนบนหลังคา (ขวา)	41
4	แบบจำลองลักษณะของห้องทดลองเมื่อมองจากด้านบน	42
5	อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของพืช 8 ชนิด ที่อายุ 90 วันหลังปลูก	44
6	ลักษณะทางกายภาพของ ขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ ถั่วแกลบ และวัสดุผสม (ขุยมะพร้าว:มะพร้าวสับ:ถั่วแกลบ อัตราส่วน 1:1:1)	46
7	คุณสมบัติ ปริมาตรอากาศ ปริมาตรน้ำ และความพรุนรวมของวัสดุปลูกชนิดต่างๆ	50
8	สัดส่วนโดยปริมาตรของส่วนประกอบของวัสดุปลูกชนิดต่างๆ	51
9	ลักษณะการเจริญเติบโตของหลิวไต้หวันในขุยมะพร้าว (แถวที่ 1) มะพร้าวสับ (แถวที่ 2) ถั่วแกลบ (แถวที่ 3) และวัสดุผสม (แถวที่ 4) ที่อายุ 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19 และ 21 สัปดาห์	56
10	ลักษณะการเจริญเติบโตของเสรษฐีเรือนนอกในขุยมะพร้าว (แถวที่ 1) มะพร้าวสับ (แถวที่ 2) ถั่วแกลบ (แถวที่ 3) และวัสดุผสม (แถวที่ 4) ที่อายุ 1, 2 และ 3 สัปดาห์	57
11	ลักษณะการเจริญเติบโตของเทียนทองในขุยมะพร้าว (แถวที่ 1) มะพร้าวสับ (แถวที่ 2) ถั่วแกลบ (แถวที่ 3) และวัสดุผสม (แถวที่ 4) ที่อายุ 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19 และ 21 สัปดาห์	58
12	ลักษณะการเจริญเติบโตของว่านหางจระเข้ในขุยมะพร้าว (แถวที่ 1) มะพร้าวสับ (แถวที่ 2) ถั่วแกลบ (แถวที่ 3) และวัสดุผสม (แถวที่ 4) ที่อายุ 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19 และ 21 สัปดาห์	59
13	ลักษณะการเจริญเติบโตของเสรษฐีพันธุ์พื้นล้านในขุยมะพร้าว (แถวที่ 1) มะพร้าวสับ (แถวที่ 2) ถั่วแกลบ (แถวที่ 3) และวัสดุผสม (แถวที่ 4) ที่อายุ 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19 และ 21 สัปดาห์	60

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
14	ดัชนีการเจริญเติบโต ของหลิวไต้หวัน ว่างหางจระเข้ และเศรษฐีพันล้าน ในขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ ถั่วแกลบ และวัสดุผสม (ขุยมะพร้าว:มะพร้าวสับ:ถั่วแกลบ 1:1:1) บนดาดฟ้าอาคาร นาน 21 สัปดาห์	63
15	พื้นที่ทรงพุ่ม ของหลิวไต้หวัน ว่างหางจระเข้ และเศรษฐีพันล้าน ในขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ ถั่วแกลบ และวัสดุผสม (ขุยมะพร้าว:มะพร้าวสับ:ถั่วแกลบ 1:1:1) บนดาดฟ้าอาคาร นาน 21 สัปดาห์	63
16	อุณหภูมิเฉลี่ยในระดับเพดานห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 10 กันยายน ถึง 31 ตุลาคม 2556	69
17	อุณหภูมิเฉลี่ยในระดับกลางห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 10 กันยายน ถึง 31 ตุลาคม 2556	69
18	อุณหภูมิเฉลี่ยในระดับพื้นห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 10 กันยายน ถึง 31 ตุลาคม 2556	70
19	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในระดับเพดานห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 10 กันยายน ถึง 31 ตุลาคม 2556	70
20	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในระดับกลางห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 10 กันยายน ถึง 31 ตุลาคม 2556	71
21	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในระดับพื้นห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 10 กันยายน ถึง 31 ตุลาคม 2556	71
22	อุณหภูมิเฉลี่ยในระดับเพดานห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 ถึง 31 มกราคม 2557	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	อุณหภูมิเฉลี่ยในระดับกลางห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 ถึง 31 มกราคม 2557	74
24	อุณหภูมิเฉลี่ยในระดับพื้นห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 ถึง 31 มกราคม 2557	75
25	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในระดับเพดานห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 ถึง 31 มกราคม 2557	75
26	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในระดับกลางห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 ถึง 31 มกราคม 2557	76
27	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในระดับพื้นห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 ถึง 31 มกราคม 2557	76
28	อุณหภูมิเฉลี่ยในระดับเพดานห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ ถึง 30 เมษายน 2557	79
29	อุณหภูมิเฉลี่ยในระดับกลางห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ ถึง 30 เมษายน 2557	79
30	อุณหภูมิเฉลี่ยในระดับพื้นห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ ถึง 30 เมษายน 2557	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
31	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในระดับเพดานห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ ถึง เมษายน 2557	80
32	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในระดับกลางห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ ถึง 30 เมษายน 2557	81
33	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในระดับพื้นห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ ถึง 30 เมษายน 2557	81

สวนบนหลังคา: พันธุ์พืช วัสดุปลูก และผลต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง

Green Roof: Plant Species, Substrate and Effect on Room Temperature and Relative Humidity

คำนำ

ปัจจุบันภาวะโลกร้อนส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น โดยเฉพาะในพื้นที่เมือง (Urban area) ที่มีการขยายตัวอย่างไร้ทิศทาง มีสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ประกอบด้วยอาคาร ลานคอนกรีต และถนนหนทางที่ประกอบด้วยวัสดุประเภทพื้นแข็งที่มีการสะสมความร้อนไว้ได้มากกว่าบริเวณที่เป็นพื้นที่เปิดโล่งหรือพื้นที่สีเขียว การบุกรุกทำลายพื้นที่สีเขียวที่มีอยู่เดิมเพื่อประกอบกิจกรรมต่างๆ จำนวนประชากรที่หนาแน่นมากกว่าในชนบท รวมถึงอากาศที่เต็มไปด้วยฝุ่นละอองและหมอกควันมากกว่าพื้นที่นอกเมือง และพบว่าบริเวณท้องถนนความเร็วลมลดลงเหลือเพียงเศษหนึ่งส่วนสามของความเร็วลมปกติ (เดชา, 2543) “ปัญหาอย่างหนึ่งของเมืองขนาดใหญ่ที่มีต้นไม้ยืนต้นน้อยหรือไม่มีต้นไม้คือการสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ และทำให้อุณหภูมิสูงกว่าบริเวณที่ปกคลุมด้วยต้นไม้ประมาณ 4 องศาเซลเซียส” (วรัปสร, 2548) ส่งผลให้เกิดภาวะอุณหภูมิสูงสะสม หรือที่เรียกว่าปรากฏการณ์เกาะความร้อน (Urban heat island) ขยายตัวมากขึ้น อุณหภูมิอากาศในเมืองจะสูงเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่อยู่รอบๆ เมืองหรือในชนบท ทั้งนี้เนื่องจากอาคาร พื้นผิวถนน และคอนกรีตเป็นตัวดูดซับรังสีความร้อนไว้ได้มาก และปลดปล่อยความร้อนออกสู่บรรยากาศ (Miller, 1997) รวมทั้งการใช้สิ่งประดิษฐ์เพื่ออำนวยความสะดวกที่ทำให้เกิดความร้อน เช่น รถยนต์ เครื่องปรับอากาศ เครื่องทำความร้อน และเตาอบ เป็นต้น รวมทั้งการเผาไหม้เชื้อเพลิง ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมากขึ้น (วิเชียร, 2537) ส่งผลให้อุณหภูมิบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้น อุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้มีผลโดยตรงต่อสภาพแวดล้อม สุขภาพ รวมถึงการใช้พลังงานของคนเมืองเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะการใช้ไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศตามอาคารต่างๆ มีการศึกษาปรากฏการณ์เกาะความร้อนในนครใหญ่ๆ 12 แห่งของสหรัฐอเมริกา พบว่าต้องใช้ไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศมากกว่าชนบทในเวลาเดียวกันถึง 10 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าการเสียชีวิตของประชาชนที่มีอายุ 80 ปีขึ้นไป จากคลื่นความร้อนในนครใหญ่มิมากกว่าในชนบท (เดชา, 2543)

การปลูกต้นไม้หรือการเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว ทั้งในการปรับปรุงสภาพแวดล้อมของเมืองให้ดีขึ้น การลดปัญหาทางด้านมลพิษ ฝุ่นละอองและอุณหภูมิอากาศที่สูงขึ้น ด้วยคุณสมบัติของวัสดุพืชพันธุ์ ต้นไม้ และสนามหญ้า ที่มีคุณสมบัติคล้ายกับเครื่องปรับอากาศตามธรรมชาติ เป็นส่วนหนึ่งในการช่วยให้อุณหภูมิภายในตัวอาคารและอุณหภูมิอากาศลดลง แต่ความหนาแน่นของเมืองไม่สามารถเพิ่มพื้นที่สีเขียวในปริมาณมากเท่าที่ต้องการ การปลูกต้นไม้หรือสร้างสวนบนหลังคาสามารถเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับเมืองได้โดยไม่ต้องใช้พื้นที่โล่งมากนัก ทั้งยังสามารถลดการถ่ายเทความร้อนและปรับปรุงคุณภาพอากาศได้เช่นเดียวกัน (พาสินี และทิพาพรรณ, 2554) จึงถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ

การสร้างสวนบนหลังคาไม่ได้เป็นเพียงการป้องกันหลังคาหรือคาดฟ้าอาคารจากรังสีของดวงอาทิตย์โดยตรงเท่านั้น แต่ยังช่วยลดความร้อนจากหลังคาที่แพร่สู่ตัวอาคารด้านล่างและเพิ่มพื้นที่สีเขียวของเมืองได้ (Fukui, 1969; Oke, 1982; Theodore, 1999) ปัจจุบันการสร้างสวนบนหลังคาหรือคาดฟ้าเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในประเทศต่างๆ เช่น สหรัฐอเมริกา แคนาดา และญี่ปุ่น (Koehler, 2003; Getter and Rowe, 2006) มีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ ของสวนบนหลังคาให้ประหยัดพื้นที่ ลดความหนาของดินหรือวัสดุปลูก มีการบำรุงรักษาที่เหมาะสม เพื่อให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (พาสินี และทิพาพรรณ, 2554)

แม้ว่าสวนบนหลังคาจะไม่ใช่วิธีการแปลกใหม่ แต่สำหรับประเทศไทยแล้ว ข้อมูลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสวนบนหลังคา ทั้งในเรื่องวัสดุพืชพันธุ์ และในแง่ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมยังมีอยู่จำกัด จึงมีแนวคิดว่าพืชพันธุ์และวัสดุปลูกที่เหมาะสม และหาได้ในประเทศ มาใช้สำหรับสวนบนหลังคา และทดสอบอิทธิพลของสวนบนหลังคาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคาร ซึ่งจะนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการสร้างสวนบนหลังคาอย่างง่ายและเหมาะสมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดได้ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบพันธุ์พืชและวัสดุปลูกธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับสวนบนหลังคา
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของสวนบนหลังคาต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง



การตรวจเอกสาร

ภูมิอากาศ

ดวงพร (2536) และวิเชียร (2537) ได้สรุปข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับภูมิอากาศไว้ ดังนี้ ภูมิอากาศ (Climate) หมายถึง ลักษณะอากาศที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลานาน อาจเป็นหนึ่งเดือน หนึ่งปี หรือหลายปี โดยลมฟ้าอากาศ (Weather) กับภูมิอากาศมีความหมายแตกต่างกัน ลมฟ้าอากาศ หมายถึง สภาพของบรรยากาศโดยทั่วไป ของท้องถิ่นต่างๆ ซึ่งเป็นผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของลมฟ้าอากาศประจำวัน ภูมิอากาศจึงเป็นค่าปานกลางของลักษณะลมฟ้าอากาศในระยะเวลานาน โดยการเฉลี่ยค่าของ อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน ทิศทางของกระแสลม ความเร็วลม เป็นค่าเฉลี่ยประจำวัน ค่าเฉลี่ยประจำเดือน ค่าเฉลี่ยประจำปี และค่าเฉลี่ยในรอบสิบปี ซึ่งธาตุประกอบภูมิอากาศได้แก่ แสงแดด (พลังงานแสงอาทิตย์) อุณหภูมิ ความชื้น หยาดน้ำฟ้า ลม และอาจรวมถึงความกดดันอันเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดทิศทางและความเร็วลม

ธาตุประกอบที่สำคัญและเป็นตัวแปรหลักของการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ คือ

อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นธาตุประกอบลมฟ้าอากาศที่มีความสำคัญมากที่สุด เพราะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในธาตุประกอบอื่นๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้ความกดอากาศมีความแตกต่างกัน บางบริเวณถ้าอากาศอุ่นกว่าบริเวณรอบๆ อากาศก็จะขยายตัวมีน้ำหนักเบา และลอยตัวขึ้นสู่เบื้องบน อากาศเย็นที่อยู่รอบๆ จะหนักกว่า และจะไหลเข้ามาแทนที่การเคลื่อนไหวของอากาศในแนวนอนทำให้เกิดลม

ความชื้น (Humidity)

วิเชียร (2537) อธิบายว่าความชื้น หมายถึง ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ เมื่อน้ำได้รับความร้อนจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ เรียกว่าการระเหย ซึ่งความร้อนที่ใช้ในการทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอเรียกว่า ความร้อนแฝง อากาศจะรับไอน้ำได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

ดังนั้นอุณหภูมิจะเป็นตัวกำหนดปริมาณไอน้ำในอากาศ อากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะรับปริมาณไอน้ำได้มากกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ ในบรรยากาศจะมีสถานะของไอน้ำที่มองไม่เห็นแทรกอยู่ทั้งในขนาดและปริมาณที่มากน้อยแตกต่างกัน บางครั้งไอน้ำในบรรยากาศจะเกิดการกลั่นตัวและก่อตัวเป็นเมฆทำให้เกิดปรากฏการณ์ของลมฟ้าอากาศในบรรยากาศขึ้น เช่น การเปลี่ยนรูปแบบของลมประจำถิ่น การเกิดเมฆ หมอก และฝน เป็นต้น การเปลี่ยนรูปของน้ำในบรรยากาศลักษณะต่างๆ มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะลมฟ้าอากาศ ทั้งนี้เพราะรูปแบบการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนในอากาศ

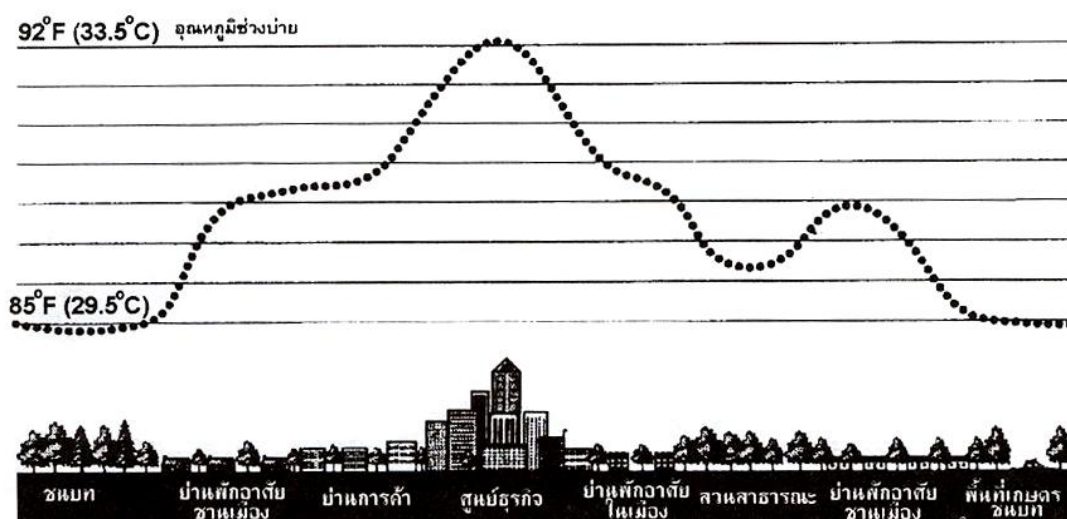
ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) เป็นวิธีวัดความชื้นในอากาศที่ใช้มากที่สุด หมายถึง อัตราส่วนของความชื้นที่มีอยู่ในอากาศขณะนั้นกับปริมาณความชื้นอย่างมากที่สุดที่อากาศจะรับเอาไว้ได้ หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าความชื้นสัมพัทธ์ คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของไอน้ำในอากาศเทียบกับน้ำหนักของไอน้ำที่ควรจะมีได้เต็มที่ในขณะนั้นในปริมาตรที่เท่ากันและในอุณหภูมิเดียวกัน โดยทั่วไปมีการกำหนดค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะมีค่าสูงสุดช่วงเช้ามีด

นอกจากนี้ ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สามารถส่งผลกระทบต่อความรู้สึกความสบายทางกายภาพในสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบตัวได้ โดย American Society of Heating (ASHRAE), 1995 ได้กำหนดขอบเขตของสภาวะน่าสบายของมนุษย์ที่อาศัยอยู่ในเขตร้อนชื้น ที่อุณหภูมิอากาศ 26 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 60-90 เปอร์เซ็นต์ แต่ทั้งนี้ สภาวะน่าสบายจะแตกต่างกันตามสภาพที่อยู่อาศัยและพฤติกรรมการใช้ชีวิตของแต่ละคนด้วย

ปรากฏการณ์เกาะความร้อน

เขตภายในเมือง (Urban area) มีสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ประกอบด้วยลานคอนกรีต และถนนหนทาง ส่งผลทางลบต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงการเพิ่มขึ้นของประชากร และการเกิดมลพิษที่เพิ่มขึ้นก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของชั้นบรรยากาศและพื้นผิวดิน ผลพวงดังกล่าวก่อให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “ปรากฏการณ์เกาะความร้อน” (Urban heat island) (ภาพที่ 1) เป็นการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่เกิดจากมนุษย์คือการที่อากาศใกล้พื้นดินในเขตชุมชนเมืองที่มีตึกรามบ้านช่องอยู่เป็นจำนวนมาก มีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณที่เป็นป่าไม้ที่อยู่ถัดออกไปรอบๆ

การจัดให้มีพื้นที่โล่งระหว่างกลุ่มอาคาร การปลูกต้นไม้ และเพิ่มพื้นที่สวนสาธารณะเป็นส่วนหนึ่งในการแก้ปัญหาเหล่านี้



ภาพที่ 1 อุณหภูมิบริเวณที่เป็นสิ่งปลูกสร้างหนาแน่นจะสูงกว่าบริเวณที่พักอาศัยชานเมืองที่มีต้นไม้ และบริเวณที่เป็นพื้นที่การเกษตรและชนบทจะมีอุณหภูมิลดต่ำกว่า

ที่มา : เดชา (2543)

สาเหตุที่ทำให้อากาศร้อนนั้น อาจเนื่องมาจากสาเหตุ 2 ประการ คือ จากธรรมชาติ และจากมนุษย์

1. สาเหตุจากธรรมชาติ เกิดจากเมฆ เนื่องจากเมื่อแสงอาทิตย์ส่องมายังโลก คลื่นแสงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันจะผ่านชั้นบรรยากาศและเมฆมายังผิวโลก โดยผิวโลกจะดูดคลื่นแสงอาทิตย์ไว้บางส่วน ส่วนที่เหลือจะสะท้อนออกไปจากผิวโลก คลื่นที่สะท้อนออกไปคือ รังสีอินฟราเรด ซึ่งเป็นรังสีคลื่นยาว ไม่สามารถผ่านเมฆออกไปได้ จึงสะท้อนกลับมายังผิวโลกอีกครั้งหนึ่ง ด้วยเหตุนี้โลกจึงร้อนเพิ่มขึ้น

2. สาเหตุจากมนุษย์ ความร้อนที่เกิดขึ้นจากสิ่งประดิษฐ์ รวมทั้งกิจกรรมที่เกิดขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการในการดำรงชีพของคนในเมือง การใช้รถยนต์พาหนะ การสร้างโรงงาน

อุตสาหกรรม ก่อให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งเป็นแหล่งของก๊าซมลพิษต่างๆ การใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อหลีกเลี่ยงความร้อนของอาคาร รวมถึงห้างสรรพสินค้า ล้วนมีส่วนช่วยเพิ่มอุณหภูมิอากาศให้สูงขึ้นทั้งสิ้น

แนวทางการแก้ไขและควบคุมปรากฏการณ์เหล่านี้ สามารถใช้พื้นที่สีเขียวเข้ามาช่วยบรรเทาปัญหาดังกล่าว โดยเพิ่มการปลูกต้นไม้ทั้งในบริเวณบ้าน ต้นไม้ริมถนน ที่รกร้างว่างเปล่า ปลูกไม้เลื้อยให้ปกคลุมกำแพง และบนหลังคาและดาดฟ้าของอาคารสูง เพื่อช่วยลดอุณหภูมิ และเพิ่มความร่มรื่นให้กับพื้นที่เมือง

พืชพันธุ์กับการใช้ประโยชน์

วัสดุพืชพันธุ์ (Plant materials) มีส่วนสำคัญในการช่วยเพิ่มหรือลดอุณหภูมิทั่วไปในสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น ต้นไม้ขนาดใหญ่สามารถให้ร่มเงาแก่อาคารและทางเดิน มีส่วนช่วยให้อากาศเย็นลงและประหยัดพลังงาน ช่วยป้องกันรังสีดวงอาทิตย์มาสู่บ้านโดยเฉพาะในฤดูร้อน ไม้เลื้อยสามารถให้ร่มเงาแก่บริเวณที่นั่งเล่น หรือแม้แต่ให้ร่มเงาแก่ตัวอาคารได้ นอกจากนี้ยังช่วยในการกันการสะท้อนแสง และพื้นสนามหญ้าก็สามารถช่วยลดความร้อนได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นคอนกรีต เนื่องจากวัสดุพืชพันธุ์มีคุณสมบัติในการดูดซับแสงของดวงอาทิตย์ และคายความร้อนอย่างช้าๆ จึงทำให้อุณหภูมิสามารถลดลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่มนุษย์สร้างขึ้น ส่วนใหญ่มักมีผิวที่สามารถดูดซับความร้อนได้มาก ขณะเดียวกันก็สามารถคายความร้อนได้รวดเร็ว ในทางตรงกันข้ามวัสดุพืชพันธุ์ดูดซับความร้อนจากแสงแดดจำนวนมาก ช่วงเวลากลางวัน และคายความร้อนอย่างช้าๆ ในเวลากลางคืน รวมทั้งการระเหยน้ำ และการระบายความชื้นผ่านปากใบซึ่งช่วยให้อุณหภูมิในรอบวันลดลงอย่างเห็นได้ชัด ปริมาณความร้อนที่ลดลงนั้นไม่เพียงแต่เกิดบริเวณวัสดุพืชพันธุ์ให้ร่มเงาเท่านั้น แต่ยังสามารถลดอุณหภูมิของบริเวณข้างเคียงได้ด้วย (สุตสาวิทย์, 2545) และสุนทร (2542) รายงานว่าต้นไม้ใหญ่ในเขตร้อนชื้น 1 ต้น สามารถลดความร้อนแก่สิ่งแวดล้อมได้มากเท่ากับเครื่องปรับอากาศขนาด 1 ตัน (12,000 บีทียู) โดยอนุมานว่าต้นไม้ขนาดใหญ่สามารถดูดน้ำจากดินมาคายน้ำเป็นไอน้ำที่ปากใบวันละ 65 ลิตร และต้องใช้พลังงานความร้อน 2.3 เมกะจูล (2,200 บีทียู) เพื่อทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำ และยังพบว่าอุณหภูมิของดิน และน้ำในดินบริเวณที่อยู่ในบริเวณร่มเงาของต้นไม้ จะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ 4 องศาเซลเซียส ที่ทุกระดับความลึกของดินจาก 0.5-2 เมตร

ต้นไม้ นอกจากจะช่วยลดอุณหภูมิของสภาวะอากาศแวดล้อมแล้ว ร่มเงายังสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในระบบการปรับอากาศของอาคาร จากการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยการป้องกันรังสีจากดวงอาทิตย์แล้วยังสามารถดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ส่วนหนึ่งเพื่อนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) และการคายน้ำ (Evapotranspiration) ทำให้ลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารได้ดี ส่งผลให้เกิดสภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิ (Thermal comfort) แก่ผู้ใช้อาคาร (พาสินี และคณะ, 2550) ในกรณีที่ใช้ต้นไม้เป็นเครื่องกำบังแสงที่จะตกกระทบมายังผนังของอาคาร ปริมาณการใช้น้ำของพืชที่พิจารณาจากการคายระเหยในต้นไม้ขนาดใหญ่มักพบว่าสามารถคายน้ำได้ถึง 5.5 ลิตร/ชั่วโมง (ดิเรก และคณะ, 2545) หรือเมื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความเย็นจะเท่ากับ 1 หน่วยความเย็น (กาญจนา, 2541) ขณะที่น้ำกลายเป็นไอก็จะดึงความร้อนจากอากาศรอบต้นไม้ทำให้อากาศบริเวณต้นไม้เย็นลง โดย วิชัย (2539) ศึกษาตัวแปรที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติที่มีผลต่ออุณหภูมิอากาศ เปรียบเทียบกับสภาพแวดล้อมที่มนุษย์สร้างขึ้น เพื่อทราบถึงผลดีและผลเสียที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศบริเวณรอบอาคาร ผลการศึกษาพบว่า ต้นไม้และพืชคลุมดินมีแนวโน้มทำให้อุณหภูมิอากาศลดลง 3-5 องศาเซลเซียส และต่ำกว่าพื้นที่ลานจอดรถคอนกรีต 3-10 องศาเซลเซียส นอกจากนี้แล้วลักษณะทางกายภาพของพันธุ์ไม้ ยังมีผลต่อความสามารถในการทำความเย็นของต้นไม้ ซึ่งรูปแบบทางกายภาพที่สำคัญได้แก่ รูปทรงของทรงพุ่มใบ ความกว้างของใบพืช ความหนาแน่นของพุ่มใบ และความสูง (ญาณกร, 2536)

จากประโยชน์ของต้นไม้ในแง่ของการสามารถนำไปใช้เป็นร่มเงาให้แก่อาคารและควบคุมสภาวะแวดล้อมอากาศรอบๆ อาคารหรือที่พักอาศัยแล้ว การปลูกต้นไม้บนหลังคาโดยการทำสวนบนหลังคาจะช่วยปรับปรุงคุณภาพอากาศของเมือง ลดความร้อนที่ถ่ายเทที่ระดับหลังคาเข้าสู่อาคาร และออกจากอาคารกลับสู่บรรยากาศของเมืองได้เป็นอย่างดี โดยแนวคิดนี้ยังสามารถทดแทนพื้นที่สีเขียวซึ่งเสียไปกับการสร้างอาคารบนพื้นดินโดยไม่เสียพื้นที่ใช้สอยอีกด้วย

สวนบนหลังคา (Green roof)

มีการตีความของสวนบนหลังคา หรือ “กรีนรูฟ” ไปแตกต่างหลากหลาย ตั้งแต่บ้านหลังคาหญ้า ไปจนถึงสวนบนหลังคาบนอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ โดยพาสินี และทิพาพรรณ (2554) ได้ให้ความหมายของสวนบนหลังคาว่า “หมายถึง การจัดสวน ปลูกพืชพันธุ์บนอาคารในส่วนที่เป็นหลังคาชั้นใดๆ ของอาคารเพื่อใช้พักผ่อนหย่อนใจ หรือมองดูเพื่อความรื่นรมย์ทางสายตา” ส่วน Theodore (1999) ได้กล่าวว่า เป็นสวนที่อยู่บนหลังคาสิ่งก่อสร้างหรือตึกอาคาร มีการปลูกต้นไม้

อาจจะใช้เป็นอาหาร ควบคุมอุณหภูมิ ควบคุมการไหลของน้ำบนหลังคาหรือคาถฟ้า เพิ่มความสวยงามทางภูมิทัศน์ให้กับสถานที่พักอาศัยหรือบริเวณระเบียง อย่างไรก็ตามการที่สวนบนหลังคาในที่นี้หมายถึง หลังคาที่มีพืชพันธุ์ปกคลุมอยู่ข้างบน ไม่ว่าจะเป็นพืชพันธุ์ในลักษณะพืชคลุมดิน ไม่เลื้อยหรือลักษณะใดๆ ก็ตาม โดยเน้นที่การคำนึงถึงผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมโดยตรง นอกเหนือไปจากการสร้างสภาวะสบาย และการลดการใช้พลังงานของอาคาร (กนกวลี, ม.ป.ป.)

สวนบนหลังคาสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามวัสดุพืชพันธุ์และการใช้พื้นที่บนหลังคา ดังนี้ (Derek, 2007; Peck *et al.*, 1999)

1. Intensive Green Roof

เป็นสวนบนหลังคาที่เน้นประโยชน์ใช้สอย สามารถใช้พื้นที่ว่างภายในสวนทำกิจกรรมได้ ลักษณะคล้ายกับสภาพสวนสาธารณะทั่วไปที่พบตามพื้นราบ พืชที่ใช้ปลูกมักถูกจัดเป็นสวนสามารถใช้พืชพันธุ์ได้หลากหลาย ตั้งแต่หญ้าไปจนถึงต้นไม้ใหญ่ วัสดุปลูกความลึกทั่วไปมากกว่า 15 เซนติเมตร โดยทั่วไปจะมีน้ำหนักประมาณ 1,500-3,000 กิโลกรัม/ตารางเมตร จึงต้องการอาคารที่มีโครงสร้างการรองรับน้ำหนักมาก เช่น อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ต้องการการดูแลรักษาสูง มีขั้นตอนยุ่งยาก มีระบบน้ำในการให้น้ำ และต้องมีระบบระบายน้ำและกันน้ำที่ดี ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง (กนกวลี, ม.ป.ป.; Dunnett and Kingsbury 2004; Green Roofs for Healthy Cities [GRHC], 2005, 2006) จึงไม่เป็นที่นิยม พบเฉพาะในอาคารขนาดใหญ่ โรงแรม รีสอร์ท ซึ่งมีเงินทุนในการก่อสร้างและงบประมาณในการดูแลรักษา (พาสินี และทิพาพรรณ, 2554) intensive green roof นอกจากจะเน้นที่ประโยชน์ใช้สอยแล้ว ยังเน้นความสวยงามหรือการลดแสงสะท้อนจากคาถฟ้า มากกว่าที่จะให้ความสำคัญในเรื่องคุณค่าด้านนิเวศวิทยาของหลังคานั้น

2. Extensive Green Roof

เป็นสวนบนหลังคาที่เน้นประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อม จะไม่สามารถเข้าไปใช้งานในพื้นที่ได้ วัสดุพืชพันธุ์มีน้ำหนักเบา โดยวัสดุปลูกความลึกไม่เกิน 15 เซนติเมตร พืชที่ใช้ปลูก เช่น มอส หญ้า สมุนไพร และพืชทนแล้งชนิดต่างๆ เช่น กุหลาบหิน (*Sedum spp.*) (Kristin and Rowe, 2006) ซึ่งอาจจะไม่มีพุ่มขนาดเล็กด้วยก็ได้ น้ำหนักประมาณ 300-1,000 กิโลกรัม/ตารางเมตร (กนกวลี, ม.ป.ป.) ออกแบบก่อสร้างไม่ยุ่งยากซับซ้อน การดูแลรักษาต่ำและราคาประหยัด สามารถให้น้ำ

ได้น้อยครั้งหรือไม่ให้เลย แต่อาจต้องให้น้ำเพิ่มจากปกติในช่วงหน้าร้อน (Dean, 2005; Rozenzweig *et al.*, 2006) นอกจากนี้ extensive green roof ยังใช้ได้แพร่หลาย สามารถสร้างได้บนพื้นที่ๆ มีความชัน และไม่จำเป็นต้องสร้างบนหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กเท่านั้น (พาสินี และทิพาพรรณ, 2554; Kristin and Rowe, 2006)

ความคิดในการนำพืชขึ้นมาปลูกบนหลังคาหรือดาดฟ้าไม่ใช่เรื่องแปลกใหม่ในปัจจุบัน แต่เป็นวิธีที่นำมาประยุกต์เพื่อใช้แก้ปัญหาใหม่ๆ ที่เกิดขึ้น ในประวัติศาสตร์กล่าวว่า มีการปลูกพืชบนอาคารเป็นครั้งแรกตั้งแต่สมัยบาบิโลน (Hanging garden babylon) เมื่อประมาณ 700-800 ปีก่อนคริสตกาล โดยชาวออร์เวสได้สร้างบ้านที่มีหลังคาทำจากแผ่นไม้เบิร์ช ปลูกด้วยฟาง กิ่งไม้ มีต้นหญ้าและพืชปลูกอยู่ตามธรรมชาติ เพื่อลดการสูญเสียความร้อนของบ้าน รวมถึงการนำมอสและวัสดุพืชพันธุ์ชนิดต่างๆ ขึ้นปลูกบนหลังคาของชาวยุโรป โดยวัตถุประสงค์ที่หลากหลาย ทั้งชะลอการเกิดอุบัติเหตุจากไฟไหม้ และใช้เป็นสวนสมุนไพร (พาสินี และทิพาพรรณ, 2554; Koehler, 2003; Garbutt, 2005)

ประโยชน์ของสวนบนหลังคา

1. ด้านเศรษฐกิจ

1.1 ยืดอายุพื้นผิวหลังคา

พื้นผิวของหลังคาคอนกรีตทั่วไปมักประสบปัญหาการแตกร้าวซึมจากการรับแสงแดดเป็นเวลานาน วัสดุพืชพันธุ์จะช่วยลดผลกระทบของการเสื่อมสภาพของหลังคาอาคารจากความร้อน โดยช่วยป้องกันรังสียูวีและลดความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างวัน (Liu, 2004) มีการพบความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวหลังคาคอนกรีตสูงถึง 50 องศาเซลเซียส ในระหว่างวัน ขณะที่ความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวสวนบนหลังคามีเพียง 3 องศาเซลเซียส (Connelly and Liu, 2005) อุณหภูมิที่สูงมากในตอนกลางวันจะลดลงอย่างรวดเร็วในตอนกลางคืนเมื่ออากาศภายนอกเย็นลง คอนกรีตเริ่มคายความร้อนกลับสู่อากาศ โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ขึ้นและลงระหว่างวันทำให้พื้นผิวอาคารเกิดอาการแตกร้าวและเสียหายในระยะยาว มีการทดลองของ Liu and Baskaran (2003) ทดสอบการป้องกันความร้อนของสวนบนหลังคาที่โตรอนโต ประเทศแคนาดา พบว่า อุณหภูมิพื้นผิวหลังคาคอนกรีตในเวลากลางวันสูงถึง 70 องศาเซลเซียส

ในขณะที่พื้นผิวหลังคาที่มีสวนมีอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส และความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวหลังคาคอนกรีตสูงถึง 50 องศาเซลเซียส ในระหว่างวัน ขณะที่ความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวสวนบนหลังคามีเพียง 3 องศาเซลเซียส สวนบนหลังคาที่มีพืชปกคลุมช่วยลดความแตกต่างของอุณหภูมิ และรักษาพื้นผิวหลังคาให้มีอายุการใช้งานนานขึ้น 2-3 เท่าจากปกติ (Peck *et al.*, 1999)

1.2 ประหยัดพลังงาน

คุณสมบัติในการป้องกันความร้อนของสวนบนหลังคาเกิดจากองค์ประกอบต่างๆ ทั้งการให้ร่มเงา การคายน้ำของพืช และการเป็นฉนวนกันความร้อนของวัสดุพืชพันธุ์ และชั้นรองรับต่างๆ สามารถลดรังสีจากดวงอาทิตย์ได้มากถึง 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับหลังคาคอนกรีตที่ไม่มีสวน ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศภายในห้องที่อยู่ใต้สวนบนหลังคาลดลงจากปกติ 3-4 องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ระหว่าง 25-40 องศาเซลเซียส (Peck *et al.*, 1999) โดยการลดอุณหภูมิภายในอาคารทุก 5 องศาเซลเซียส อาจลดการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศได้มากถึง 8 เปอร์เซ็นต์ (Dunnett and Kingsbury, 2004) Wong *et al.* (2003) ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาสภาพความร้อนจากระบบปลูกพืชสีเขียวที่ปกคลุมหลังคาในภูมิอากาศเขตร้อน พบว่า อุณหภูมิพื้นผิวของสวนบนหลังคาดำกว่า 30 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับอุณหภูมิหลังคาคอนกรีต ซึ่งอุณหภูมิแตกต่างกันวัดได้สูงสุดถึง 18 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ลดการใช้ไฟฟ้าได้มากถึง 15 เปอร์เซ็นต์/ปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่เลือกใช้ ความหนาของชั้นวัสดุปลูก และการทดลองของ Liu (2004) และ Liu and Minor (2005) ที่ทำการเปรียบเทียบหลังคาที่มีสวนกับหลังคาแบบธรรมดา พบว่าหลังคาที่มีสวนมีปริมาณความร้อนน้อยกว่าหลังคาแบบธรรมดา ส่งผลถึงค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับพลังงานในการทำ ความความเย็นที่ลดลง จากการวัดปริมาณความร้อนที่ถูกส่งผ่านเข้าสู่อาคารทางหลังคา ระหว่างหลังคาที่มีสวนกับหลังคาธรรมดา จะช่วยลดความต้องการใช้พลังงานในชีวิตประจำวันสำหรับห้องที่มีเครื่องปรับอากาศได้มากถึง 75 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่างฤดูร้อน นอกจากนี้ ฌูญีนิ (2545) ทำการศึกษาการเปรียบเทียบศักยภาพของการป้องกันความร้อน ระหว่างการใช้สวนหลังคา กับระบบหลังคาชนิดทั่วไป ทั้งที่ใช้ระบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ โดยสร้างอาคารทดลองที่มีหลังคาแบบต่างๆ 4 ชนิด คือ หลังคาคอนกรีต หลังคาที่ปกคลุมด้วยหญ้า ปกคลุมด้วยพืชคลุมดินลำต้นเดี่ยว และปกคลุมด้วยไม้พุ่มสูง พบว่า สวนหลังคาไม้พุ่มสูงสามารถทำให้อุณหภูมิผิวฝ้าภายในอาคารมีค่าน้อยที่สุด ต่ำกว่าสวนหลังคาพืชคลุมดินลำต้นเดี่ยวและสวนหลังคาหญ้า การใช้ระบบสวนหลังคาสามารถลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้มากกว่า

15 องศาเซลเซียส และได้คำนวณพลังงานความร้อนที่ต้องการในการเปลี่ยนอุณหภูมิของเพดาน ซึ่งห้องที่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิต่ำกว่า จึงใช้พลังงานน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคาแล้ว สามารถลดภาระการทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศได้อย่างน้อย 89 เปอร์เซ็นต์

2. ด้านสภาพแวดล้อม

2.1 ลดอุณหภูมิภายในอาคาร

สวนบนหลังคาเขียวช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในอาคาร พืชพันธุ์ที่อยู่บนหลังคาทำหน้าที่เป็นเหมือนฉนวนกันความร้อนจากภายนอก และควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่คงที่ และยังสามารถลดแสงสะท้อนจากหลังคาที่มีผลกระทบต่ออาคารข้างเคียงได้อีกด้วย เอนก (2539) ทำการวิจัยการทำความเย็นแก่อาคารโดยใช้ผิวหลังคาสัมผัสกับดิน พบว่าสภาพดินที่ถูกปกคลุมด้วยพืชจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าสภาพผิวดินที่ปราศจากสิ่งปกคลุมถึง 2 องศาเซลเซียส และดินที่มีพืชปกคลุมบนหลังคาทำให้อุณหภูมิภายในอาคารลดลง ทำนองเดียวกับ สุภกิจ (2541) ที่ศึกษาสภาพแวดล้อมเหนือดินของสวนบนหลังคา โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารที่ผิวดินปกคลุมด้วยหญ้าในที่โล่ง หญ้าได้ไม้พุ่มและหญ้าได้ต้นไม้ เพื่อหาแนวทางทำให้อุณหภูมิผิวด้านล่างของหลังคาต่ำที่สุด ผลการวิจัยพบว่า การมีสิ่งปกคลุมผิวดินช่วยป้องกันความร้อนและรักษาความชุ่มชื้นให้กับดิน ทำให้มีอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคาอาคารลดต่ำลง การใช้ต้นไม้ใหญ่กรองแสงและป้องกันความร้อนจากดวงอาทิตย์สามารถลดความร้อนให้แก่ผิวดิน ทำให้ผิวดินมีความเย็นและมีการเหนี่ยวนำความเย็นลงสู่ดิน ส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างหลังคาอาคารกับดิน โดยผิวดินจะส่งถ่ายอุณหภูมิให้กับหลังคาอาคาร ทำให้อุณหภูมิเพดานภายในอาคารลดต่ำลง การประยุกต์ใช้สวนบนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน ควรทำให้มีสิ่งปกคลุมผิวดินเพื่อรักษาความชื้นภายในดิน ควรใช้ต้นไม้ใหญ่เพื่อปรับสภาพแวดล้อมและป้องกันความร้อนจากดวงอาทิตย์ ซึ่งจะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนได้ และสุมนา (2551) ที่ทำการวิจัยแผ่นปลูกพืชบนคาตฟ้าอาคารเพื่อช่วยลดความร้อน ผลการทดลองพบว่า ในช่วงที่สภาพอากาศร้อนที่สุด ระบบปลูกที่มีพืชคลุมดินสามารถช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคารได้ดีกว่าระบบปลูกที่ไม่ปลูกพืชคลุมดิน เช่นเดียวกับผลจากงานวิจัยของ สรยุทธ (2553) ที่ศึกษาประสิทธิภาพการกันความร้อนจากดวงอาทิตย์ ของแผ่นปลูกพืชรั้งไหมที่ติดตั้งไว้บนหลังคากระเบื้องลอนคู่ พบว่า ในช่วงที่สภาพอากาศร้อนที่สุด หลังคาที่มีแผ่นรั้งไหมพร้อมปลูกพืชคลุมดิน สามารถช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคารได้ดีกว่ากระเบื้องลอนคู่ที่ไม่มีสิ่งใดปกคลุม โดยสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่า 12 องศา

เซลเซียส และสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่าจำนวนใบแก้วที่ติดตั้งอยู่ภายในถึง 6 องศาเซลเซียส และสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่าแผ่นรังไหมที่ไม่ปลูกพืชได้ 1 องศาเซลเซียส ส่วนการทดลองของ Wong *et al.* (2003) ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาสภาพความร้อนจากระบบปลูกพืชสีเขียวที่ปกคลุมหลังคาในภูมิอากาศเขตร้อน พบว่า หลังคาที่มีการปลูกพืช มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าหลังคาที่เปิดโล่ง ซึ่งอุณหภูมิแตกต่างกันวัดได้สูงสุดถึง 18 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับ Wong *et al.* (2007) ได้ทำการวิจัยการใช้ระบบการปลูกพืชบนหลังคาแบบ extensive ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นในสิงคโปร์ พบว่าสามารถลดความร้อนที่ถ่ายเทสู่อาคารทางหลังคาได้มากถึง 60 เปอร์เซ็นต์ และยังลดการแผ่รังสีความร้อนของหลังคากลับสู่อากาศเหนือหลังคาได้อีกด้วย

2.2 ลดภาวะเกาะความร้อน

อุณหภูมิอากาศภายในเมืองส่วนใหญ่สูงกว่าชนบทประมาณ 4 องศาเซลเซียส (Peck *et al.*, 1999) เนื่องจากพื้นผิววัสดุก่อสร้างต่างๆ แผ่และสะท้อนรังสีความร้อนสู่บรรยากาศภายนอก ส่วนบนหลังคาทำหน้าที่ทดแทนพื้นผิวธรรมชาติ โดยนำความร้อนไปใช้ในการสังเคราะห์แสงและคายน้ำ ลดการสะท้อนและแผ่รังสี มีผลให้อุณหภูมิอากาศเหนือหลังคาเย็นลง และอาจส่งผลไปสู่อุณหภูมิของเมือง เมื่อมีการนำไปใช้จำนวนมาก โดยสวนบนหลังคาขนาดใหญ่อาจช่วยบรรเทาภาวะเกาะความร้อนในฤดูร้อน โดยลดการไหลเวียนของคลื่นความร้อนในขณะที่พืชเกิดการคายระเหยน้ำขึ้นสู่อากาศ (Liu, 2004; Denardo *et al.*, 2005; Van Woert *et al.*, 2005a; Getter and Rowe, 2006)

2.3 ลดเสียงรบกวน

พื้นผิวของอาคารในเมืองมักจะสะท้อนเสียงมากกว่าดูดซับ พืชและวัสดุปลูกบนหลังคาช่วยดูดซับเสียงได้ดี หลังคาปลูกหญ้าที่สนามบินแฟรงก์เฟิร์ตมีความหนา 10 เซนติเมตร ลดการส่งผ่านของเสียงสู่อาคารได้อย่างต่ำ 5 เดซิเบล (Dunnett and Kingsbury, 2004) ยิ่งความหนาของชั้นวัสดุปลูกมากและมีต้นไม้ปกคลุมหนาแน่นขึ้น ก็ยิ่งลดเสียงได้ดีขึ้น จากการทดลองของ Peck and Kuhn (2001) พบว่า สวนบนหลังคาที่มีวัสดุปลูกหนา 12 เซนติเมตร สามารถลดการส่งผ่านของเสียงลงได้ถึง 40 เดซิเบล

2.4 การป้องกันไฟ

สวนบนหลังคาทำให้การลามของไฟบนหลังคาช้าลง โดยเฉพาะเมื่อวัสดุปลูกอิมน้ำในการออกแบบหลังคาเขียวบนดาดฟ้าที่มีหลังคาติดต่อกันจึงควรมีการติดตั้งระบบพ่นน้ำ และปลูกพืชที่ไม่ติดไฟ เช่น พืชอวบน้ำสกุล Sedum ชนิดต่างๆ รวมทั้งทำแนวกรวดและทางเดินเป็นระยะๆ เพื่อป้องกันการลามของไฟ (พาสินี และทิพาพรรณ, 2554)

2.5 ลดมลพิษทางอากาศ

อากาศในเมืองมักมีมลพิษ ฝุ่นละออง ก๊าซพิษจากยานพาหนะและโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ พืชพันธุ์ในเมืองสามารถกรองสารที่แพร่กระจายในอากาศผ่านทางใบ ลำต้น และถูกชะล้างสู่ผิวดินโดยน้ำฝน หลังคาที่มีต้นไม้ขนาดเล็กปกคลุม อาจให้ผลน้อยกว่าต้นไม้ขนาดใหญ่ที่มีใบจำนวนมาก มีการศึกษาในประเทศเยอรมนี พิสูจน์ให้เห็นว่าสวนบนหลังคาสามารถลดมลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซลได้อย่างมีนัยสำคัญ (Liesecke and Borgwardt, 1997) Yok and Sia (2005) พบการลดลงของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 37 เปอร์เซ็นต์ และกรดไนตริก 21 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่ที่มีการสร้างสวนบนหลังคาขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยดักจับฝุ่นละอองได้มากถึง 0.2 กิโลกรัม/ปี/ตารางเมตร ส่วน Peck and Kuhn (2001) พบว่าสวนบนหลังคาช่วยดักจับฝุ่นละอองได้มากถึง 0.2 กิโลกรัม/ปี/ตารางเมตร เช่นเดียวกับ Wong *et al.* (2007) พบการสะสมฝุ่นละอองซึ่งมีน้ำหนักแห้งถึง 1,675 กิโลกรัม ที่ถูกดักจับโดยพื้นที่ของสวนบนหลังคาขนาด 19.8 เอเคอร์ ในระยะเวลา 1 ปี และพบปริมาณการสะสมของโอโซนถึง 52 เปอร์เซ็นต์ ในเกรด 27 เปอร์เซ็นต์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 7 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับ Jun Yang *et al.* (2008) ที่กล่าวไว้ว่า การทำสวนบนหลังคามีสวนช่วยควบคุมมลภาวะทางอากาศในเมืองที่มีปริมาณของต้นไม้เหลือน้อยได้

2.6 ช่วยลดและชะลอการไหลบ่าของน้ำ

สวนบนหลังคายังเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับระบบการจัดการน้ำฝน ด้วยคุณสมบัติของวัสดุปลูกและพืชพันธุ์ ที่สามารถกักเก็บและชะลอน้ำที่ไหลบ่าลงมาและป้องกันไม่ให้น้ำล้นออกจากท่อน้ำทิ้ง (Graham and Kim, 2003; Moran *et al.*, 2004) และนำน้ำกลับสู่บรรยากาศโดยการระเหยหรือกระบวนการคายน้ำของพืช ซึ่ง Kolb (2004) รายงานว่า สวนบนหลังคาสามารถนำ

น้ำกลับสู่บรรยากาศด้วยการคายน้ำได้ถึง 45 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำฝนทั้งหมดที่ตกลงมา นอกจากนี้ สวนบนหลังคาอาจช่วยลดการไหลบ่าของน้ำได้ 60-100 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับประเภทของสวนบนหลังคา (DeNardo *et al.*, 2005; Moran *et al.*, 2004; Rowe *et al.*, 2003; VanWoert *et al.*, 2005a) โดยมีปัจจัยต่างๆ เป็นตัวกำหนด เช่น ความลึกของวัสดุปลูก ชนิดของวัสดุปลูก และชนิดของพืช ตลอดจนปริมาณ และระยะเวลาของฝนที่ตก

2.7 เพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพ

เนื่องจากสวนแบบ extensive green roof ไม่สามารถเข้าไปใช้งานได้ ทำให้ไม่มีการรบกวนหรือการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ส่งผลให้สิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น แมลง และนก มาอาศัยอยู่และเพิ่มจำนวนขึ้นเรื่อยๆ จากการศึกษาความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในสวนบนหลังคาทั้ง 17 แห่งของประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ในช่วง 3 ปีแรก พบแมลงมด 78 สายพันธุ์ และแมลงปีกแข็ง 254 สายพันธุ์ โดย 18 เปอร์เซ็นต์ ของแมลงมด และ 11 เปอร์เซ็นต์ ของแมลงปีกแข็งที่พบ เป็นพันธุ์ที่หายากและใกล้สูญพันธุ์ (Brenneisen, 2003) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพืชพันธุ์ที่เลือกใช้และสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในธรรมชาติ ยิ่งพืชพันธุ์มีความหลากหลายมาก สัตว์ที่มาอยู่อาศัยก็จะมีหลากหลายไปด้วย ยิ่งเวลาผ่านไปปริมาณของสัตว์ที่อาศัยก็จะยิ่งเพิ่มขึ้น Darius and Drepper (1984) รายงานการศึกษาสิ่งมีชีวิตในสวนบนหลังคาที่มีอายุ 50 ปี ทางเบอร์ลินตะวันตกของประเทศเยอรมนี มีด้กแตน หนอนผีเสื้อสีขาว แมลงปีกแข็ง และแมลงจำนวนมากอาศัยอยู่ เช่นเดียวกับรายงานของ Brenneisen (2003) และ Gedge (2003) ที่กล่าวว่าได้พบการอยู่อาศัยของนกจำนวนมากในสวนบนหลังคาหลายๆ แห่งของประเทศเยอรมนี สวิตเซอร์แลนด์ และอังกฤษ ซึ่งนอกจากนกและแมลงหลายชนิดที่ถูกพบในสวนบนหลังคาแล้ว Brenneisen (2004) ยังมีการพบกล้วยไม้จำนวน 9 สายพันธุ์ รวมถึงพันธุ์ไม้ชนิดอื่นๆ ที่หายากและใกล้สูญพันธุ์ จากสวนบนหลังคาทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศสวิตเซอร์แลนด์

3. ประโยชน์ทางสังคม ชุมชนในอาคารหรือเพื่อนบ้านได้รับประโยชน์จากสวนบนหลังคาด้วยกัน ดังนี้

3.1 เป็นแหล่งอาหารของชุมชน

ลดระยะทางการขนส่งจากไร่ในชนบทไกลๆ โดยใช้พื้นที่บนดาดฟ้าอาคารปลูกพืช

เพื่อใช้ในการบริโภค ในประเทศสิงคโปร์ซึ่งมีพื้นที่เพาะปลูกไม่เพียงพอ มีการใช้หลังคาปลูกผักแบบไฮโดรโปนิคเพื่อเลี้ยงประชาชนจำนวนมาก (พาสินี และทิพาพรณ, 2554)

3.2 ความสวยงามและการพักผ่อน

มุมมองจากอาคารที่สูงกว่าในเมืองมักมองลงมาเห็นหลังคาโค้ง เครื่องปรับอากาศ ถังน้ำที่ไม่มีความสวยงาม แต่พืชพันธุ์จากสวนบนหลังคาสามารถเพิ่มความงามทางภูมิทัศน์ สุนทรียภาพ และการพักผ่อนของเมืองที่มีแต่ตึกสูง (Dunnett and Kingsbury, 2010; Getter and Rowe, 2006; Spronken-Smith and Oke, 1998; Takebayashi and Moriyama, 2009) extensive green roof แม้จะไม่สามารถเข้าไปใช้งานได้ แต่การมองเห็นพืชพันธุ์ก็สามารถบำบัดความเครียด ช่วยลดความดันโลหิต การเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ และเพิ่มความรู้สึกเชิงบวกแก่ประชาชนในเมืองได้เป็นอย่างดี (Ulrich and Simmons, 1986) และนำมาซึ่งสุขภาพและประสิทธิภาพของการทำงานที่ดีด้วย โดย Kanplan and Colleagues (1988) ได้รายงานไว้ว่า คนงานที่สามารถมองเห็นธรรมชาติ เช่น ต้นไม้ ดอกไม้ จะปราศจากความเครียดหรือทำให้อาการตึงเครียดลดลงได้ เกิดความรู้สึกพึงพอใจกับงานที่ทำมากขึ้น รวมถึงโอกาสในการเป็นไข้ ปวดหัว หรือการเจ็บป่วยจากสาเหตุอื่นๆ น้อยกว่าคนที่ไม่ได้เห็นธรรมชาติ เช่นเดียวกับ Ulrich (1984) ที่ทดสอบอิทธิพลของธรรมชาติที่มีผลต่อการฟื้นตัวของผู้ป่วยหลังจากการผ่าตัดลดน้ำหนักในโรงพยาบาลแถบชานเมืองของรัฐเพนซิลวาเนีย ระหว่างปี 1972-1981 พบว่า ผู้ป่วยที่อยู่ระหว่างการรักษาอาการเจ็บป่วย หากได้เห็นหรือสัมผัสกับธรรมชาติ จะสามารถฟื้นตัวได้เร็วกว่าผู้ป่วยที่ไม่เห็นหรือสัมผัสธรรมชาติ

จากประโยชน์มากมายของสวนบนหลังคาที่กล่าวมาข้างต้น ส่งผลให้การสร้างสวนบนหลังคาเป็นที่นิยมมากขึ้น แต่การสร้างสวนบนหลังคามีสี่สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง โดยเฉพาะชนิดพืชที่ใช้ปลูก ซึ่งถือเป็นองค์ประกอบสำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่ง โดยปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้พืชสามารถอยู่รอดและเจริญเติบโตได้ดีบนสวนบนหลังคาและยังเป็นตัวกำหนดชนิดพืชก็คือ วัสดุปลูกที่ใช้ ซึ่งทั้งพืชและวัสดุปลูกนั้น นอกจากเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้สวนบนหลังคาเกิดความสมบูรณ์แล้ว ยังส่งผลร่วมกันต่ออายุของสวนบนหลังคาด้วย ดังนั้นการคัดเลือกชนิดพืชและวัสดุปลูกที่เหมาะสม จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง Nektarios *et al.* (2011) กล่าวว่า ประสิทธิภาพของการสร้างสวนบนหลังคา สามารถประเมินได้จากการตอบคำถามเหล่านี้ คือ วัสดุปลูกที่ใช้คืออะไร และพืชชนิดใดที่สามารถนำมาใช้ได้ ทั้งนี้การทดลองครั้งนี้จะเน้นไปที่ extensive green roof โดย

ทดสอบพันธุ์พืชและวัสดุปลูกที่เหมาะสมสำหรับสร้างสวนบนหลังคา วัดผลกระทบและประสิทธิภาพของสวนบนหลังคาในการช่วยควบคุมอุณหภูมิของอาคาร

การคัดเลือกพันธุ์พืช

เกณฑ์ในการคัดเลือกพันธุ์พืชสำหรับสวนบนหลังคาประกอบด้วย ความเหมาะสมกับชนิดของสวน ความสวยงาม ความสอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศในสวนบนหลังคา ลักษณะเฉพาะของพืชชนิดนั้น เช่น อัตราการเจริญเติบโต ความสามารถในการตั้งตัว/ฟื้นตัว ความต้านทานโรคและแมลง และชนิดวัสดุปลูกและความลึกที่พืชสามารถอยู่รอดและเติบโตได้ (สหพรหม, 2551; (Kristin and Rowe, 2006) โดย intensive green roof สามารถเลือกพืชพันธุ์ได้หลากหลายชนิด เนื่องจากชั้นของวัสดุปลูกที่มีความหนามากกว่า และสามารถให้น้ำได้อย่างสม่ำเสมอ ในขณะที่ extensive green roof ที่มีความลึกของชั้นวัสดุปลูกเพียง 10 เซนติเมตร เป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดชนิดของพืชที่เหมาะสม ดังนั้นพืชที่เหมาะสมสำหรับ extensive green roof ที่แทบไม่มีการดูแล หรือการให้น้ำ จึงควรเป็นพืชที่มีความสามารถในการทนแล้ง อยู่รอดได้โดยอาศัยเพียงน้ำฝน ต้องการน้ำน้อย แพร่พันธุ์ง่าย สามารถตั้งตัวได้เร็ว ครอบคลุมพื้นที่ได้มาก และเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในพื้นที่นั้นๆ (Kristin and Rowe, 2006; White and Snodgrass, 2003) ดังนั้น พืชล้มลุก พืชดอก หรือสมุนไพรพุ่มเล็ก และโดยเฉพาะพืชอวบน้ำจึงเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับ extensive green roof เนื่องจากไม่ต้องการวัสดุปลูกที่มีความลึกมากนัก สามารถทนต่อความแห้งได้ยาวนาน รวมถึงสภาพอากาศเลวร้ายต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นบนหลังคาได้อีกด้วย (Snodgrass, 2005)

พืชอวบน้ำ (Succulents) เป็นพืชที่ยอมรับกันว่าสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพขาดน้ำได้ดี เนื่องจากสามารถปรับตัวให้ใช้น้ำน้อย และกักเก็บน้ำไว้ได้มาก ทั้งยังตั้งตัว และแพร่พันธุ์ได้รวดเร็ว เนื่องจากเป็นพืช CAM (Teeri *et al.*, 1986; Gravatt and Martin, 1992; Lee and Kim, 1994; Sayed *et al.*, 1994; Kluge, 1997; Gravatt, 2003) ที่มีรูปแบบพิเศษในกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจะเปิดปากใบในเวลากลางคืนเพื่อรับคาร์บอนไดออกไซด์ เก็บไว้ในรูปกรดอินทรีย์ (Malate) ที่แวคิวโอล ส่วนเวลากลางวันปากใบจะปิด พืชจะมีการดึงกรดอินทรีย์ที่เก็บไว้มาเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วเข้าสู่วัฏจักรคัลวินต่อไป (Cushman, 2001) ทั้งนี้กุหลาบหิน (*Sedum spp.*) เป็นชนิดที่ได้รับความนิยมมากที่สุด โดยสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้ง และวัสดุปลูกที่มีความบางได้เป็นอย่างดี (Dunnett and Kingsbury, 2004)

มีการทดสอบยืนยันความสามารถในการอยู่รอดได้ในสภาพแห้งแล้งของกุหลาบหินสายพันธุ์ต่างๆ โดยรายงานการทดลองของ Lassalle (1998) พบว่า *S. album* L. (White stonecrop) สามารถอยู่รอดได้นานกว่า 100 วัน โดยปราศจากการให้น้ำ สอดคล้องกับ Kirschstein (1997) ว่า *S. album* สามารถดำรงชีวิตอยู่ในสภาพแห้งแล้งได้อย่างดี เช่นเดียวกับรายงานของ Van Woert *et al.* (2005b) ที่กล่าวว่า กุหลาบหินสายพันธุ์ *S. acre* L. (Biting stonecrop), *S. kamtschaticum ellacombianum* Fischer & Meyer (Orange stonecrop), *S. pulchellum* Michaux (Bird's claw sedum), *S. reflexum* L. (Crooked stonecrop), *S. spurium* Bieb. 'Coccineum' (Creeping sedum) และ *S. spurium* Bieb. 'Summer Glory' สามารถอยู่รอดได้ถึง 88 วัน โดยไม่มีการให้น้ำ และยังพบอีกหนึ่งสายพันธุ์ของกุหลาบหิน คือ *S. rubroinctum* R. T. Clausen (Stonecrop) ที่ปลูกในโรงเรือนสามารถอยู่รอดได้ไม่ต่ำกว่า 2 ปี โดยไม่ให้น้ำ (Teeri *et al.*, 1986) Liesecke (1999) ได้ทำการทดสอบสวนบนหลังคาประเภทต่างๆ พบว่า *S. album* เป็นพันธุ์พืชที่สามารถอยู่ได้นาน และคงทนที่สุดในสวนบนหลังคาทุกประเภท ตามมาด้วย *S. sexangulare* L. (Tasteless stonecrop)

นอกจากนี้ Gómez-Campo (1994) พบว่า *S. album* สามารถเติบโตบนหลังคาได้เองตามธรรมชาติ แสดงให้เห็นว่าพืชชนิดนี้ไม่ต้องการความหนาของชั้นวัสดุปลูกมากนัก สอดคล้องกับ Monterusso *et al.* (2005) ที่รายงานว่า กุหลาบหินหลากหลายสายพันธุ์ มีชีวิตอยู่รอดได้ 100 เปอร์เซ็นต์ บนพื้นผิวบาง ตลอดระยะเวลา 3 ปี

เนื่องจากสภาพแวดล้อมของสวนบนหลังคาที่เปลี่ยนแปลงและผันแปรได้ตลอดเวลา และสภาพภูมิอากาศและสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ เป็นอีกปัจจัยสำคัญที่กำหนดชนิดพืชที่จะใช้ปลูก ดังนั้นนอกจากกุหลาบหินและพืชอวบน้ำชนิดอื่นๆ แล้ว พืชในท้องถิ่นหรือที่ขึ้นในพื้นที่นั้นๆ จึงเป็นอีกหนึ่งตัวเลือกที่น่าสนใจสำหรับการปลูกบนสวนบนหลังคา เนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและภูมิอากาศในพื้นที่นั้นๆ และเพื่อเพิ่มความหลากหลายของชนิดพืชในสวน โดย Monterusso *et al.* (2005) และ Rowe *et al.* (2005) ได้ทำการปลูกพืชท้องถิ่นจำนวน 18 ชนิด ร่วมกับกุหลาบหินสายพันธุ์ต่างๆ บนหลังคาแบบ extensive green roof ในรัฐมิชิแกน สหรัฐอเมริกา โดยไม่มีการรดน้ำ พบว่ายังสามารถอยู่รอด มีการเติบโต และครอบคลุมพื้นที่หลังคา เป็นระยะเวลานานถึง 3 ปี โดยภายหลังจาก 3 ปี มีกุหลาบหินเพียง 9 ชนิด และพืชพื้นเมืองเพียง 4 ชนิดเท่านั้น ที่อยู่รอดได้ อย่างไรก็ตาม มีการสันนิษฐานว่าหากมีการรดน้ำ จำนวนชนิดพืชที่อยู่รอดได้อาจมีมากขึ้น นอกจากนี้ Rowe *et al.* (2006) ได้เปรียบเทียบชนิดพืช โดยประเมินจากความสามารถในการตั้งตัว การเจริญเติบโต และการอยู่รอดของพืชที่ใช้ ได้แก่ กุหลาบ

หิน (*Sedum* spp.) 2 ชนิด และพืชพื้นเมืองที่ไม่ใช่พืชอวบน้ำอีก 6 ชนิด ปลุกในวัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน 5 ชนิด ความลึก 10 เซนติเมตร โดยไม่รดน้ำ พบว่า พืชทุกชนิดมีการเจริญเติบโตเพียงเล็กน้อยและต่ำกว่าการเจริญเติบโตปกติ โดยหลังจาก 3 ปี พืชส่วนใหญ่ตายไป ส่วนกุหลาบหิน (*Sedum* spp.) ทั้ง 2 ชนิดนั้น สามารถอยู่รอดและครอบคลุมพื้นที่ได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ หลังจากฤดูกาลเดียวเท่านั้น โดยสามารถตั้งตัวและมีการครอบคลุมพื้นที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง อย่างไรก็ตาม ยังต้องมีการทดสอบความเหมาะสมและโอกาสที่จะเป็นไปได้ ในการใช้พืชพื้นเมือง หรือพืชในท้องถิ่นสำหรับสวนบนหลังคาต่อไป

นอกจากชนิดพืช และสภาพแวดล้อมที่เป็นปัจจัยควบคุมการอยู่รอด และเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกบนหลังคาแล้ว วัสดุปลูกจัดเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมาก (Lemaire, 1995) เนื่องจากพืชจำเป็นต้องใช้วัสดุปลูกเป็นที่ยึดเหนี่ยว และเป็นแหล่งอาหารสำหรับการเจริญเติบโต (ปิยะ, 2553)

วัสดุปลูก

ความหมายและความสำคัญของวัสดุปลูก

วัสดุปลูก หมายถึง วัสดุใดที่เลือกมาสำหรับปลูกพืช และทำให้ต้นพืชนั้นเจริญเติบโตได้เป็นปกติ วัสดุดังกล่าวอาจเป็นชนิดเดียวกันหรือหลายชนิดผสมกัน ชนิดของวัสดุปลูกอาจเป็นอินทรีย์วัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุก็ได้ (วิทยา, 2528) โดยทั่วไปจะพบว่าวัสดุปลูกเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งไม่สามารถตอบสนองความต้องการของพืชได้อย่างเพียงพอ จึงได้มีการนำเอาวัสดุปลูกที่มีคุณสมบัติที่ดีในด้านต่างๆ มาใช้ร่วมกัน จะทำให้ต้นไม้มที่ปลูกมีการเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดี ส่วนการที่จะต้องใช้วัสดุชนิดใดร่วมกัน ในอัตราส่วนเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดพืชปลูก ซึ่งควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับพืช (เศรษฐมนตร์, 2551)

วัสดุปลูกมีความสำคัญต่อพืช โดยทำหน้าที่ 4 ประการ คือ เป็นที่เกาะยึดลำต้นต้นพืช เป็นแหล่งสะสมและให้น้ำแก่พืช ให้อากาศสำหรับรากพืช และเป็นแหล่งสะสมและให้แร่ธาตุอาหารแก่พืช (นันทิยา, 2545; Nelson, 1991; Reinikainen, 1993; Handreck and Black, 1994; Lemaire, 1995) ซึ่งวัสดุปลูกที่ดีจะต้องสมดุลทั้งในเรื่องน้ำหนักที่เบา การระบายน้ำที่ดี ความสามารถในการอุ้มน้ำ และยึดเกาะธาตุอาหารพืชสูง และคงคุณสมบัติต่างๆ ไว้เมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งในวัสดุปลูกนั้นอาจมีการผสมอินทรีย์วัตถุชนิดต่างๆ เข้าไปด้วย เพื่อปรับปรุงโครงสร้าง เช่น ทราย หินปัมมิช

เพอร์ไลต์ เวอร์มิคูไลต์ เซสอิฐ หรือเศษกระเบื้อง (Beattie and Berghage, 2004; Dunnett and Kingsbury, 2004)

สำหรับสวนบนหลังคานั้น วัสดุปลูกถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมาก เพราะนอกจากจะเป็นตัวกำหนดชนิดพืชที่ใช้ปลูกแล้ว (Boivin *et al.*, 2001) ยังเป็นปัจจัยแรกที่ส่งผลต่อน้ำหนักของสวนด้วย (Scrivens, 1990) โดยวัสดุปลูกที่ใช้ในการจัดสวนบนหลังคาควรมีน้ำหนักเบา เพื่อลดแรงกดของน้ำหนักที่มากเกินไปตรงจุดใดจุดหนึ่ง และต้องสามารถกักเก็บน้ำให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ และเจริญเติบโตได้ (คลยา, 2554)

ชนิดของวัสดุปลูก

พืชแต่ละชนิดต้องการสูตรของวัสดุปลูกที่แตกต่างกันออกไป การนำวัสดุต่างๆ มาผสมเป็นวัสดุปลูกจึงมีความสำคัญ การเลือกใช้วัสดุปลูกแต่ละชนิดควรพิจารณาถึงคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาผสมก่อน (สันต์, 2551) วัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการผสมหรือปรับปรุงเป็นวัสดุปลูก มนตรี (2531) ได้จัดแบ่งออกเป็นออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. อินทรีย์วัตถุ (Organic matter)

เป็นส่วนของที่ได้จากการย่อยสลายหรือทับถมกันของซากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ โดยอินทรีย์วัตถุจะช่วยส่งเสริมความอุดมสมบูรณ์ของจุลินทรีย์ในดินที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุนั้นแล้วจึงค่อยปลดปล่อยธาตุอาหารต่างๆ ออกมาอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ อีกทั้งยังทำให้วัสดุปลูกมีความพรุนและร่วนซุย (วิทยา, 2528) อินทรีย์วัตถุที่นิยมใช้ได้แก่

1.1 ขุยมะพร้าว (Coir dust) ขุยมะพร้าว เป็นวัสดุที่ค่อนข้างสะอาด มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำแต่มีปริมาณโพแทสเซียมค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับอินทรีย์วัตถุอื่นๆ (สมเพียร, 2524) สามารถเป็นวัสดุปลูกอย่างเดียวได้ และยังมีความคงตัวที่ดีมากด้วย (สันต์, 2551) จุดประสงค์หลักของการใช้ขุยมะพร้าวก็นำมาปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของวัสดุปลูกให้ดีขึ้น เพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำ อาหาร การระบายน้ำและอากาศ (วิทยา, 2524) สามารถดูดความชื้นได้ดีพอๆ กับพีท ที่สำคัญคือหาง่าย และราคาถูก (มนตรี, 2531; สนั่น, 2526; อภิรักษ์, 2540)

1.2 มะพร้าวสับ (Coconut husk chips) คุณสมบัติใกล้เคียงกับขุยมะพร้าว ส่วนใหญ่ใช้เพื่อการปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของวัสดุปลูก เพื่อเพิ่มความโปร่ง ลดน้ำหนัก ในขณะที่เดียวกันก็ช่วยในการอุ้มน้ำด้วย แต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของขุยมะพร้าวหรือมะพร้าวสับจะแตกต่างกันไปตามแหล่งที่มาอื่นๆ (Evans *et al.*, 1996)

1.3 แกลบ (Rice husk) เป็นวัสดุที่หาง่ายที่สุด มีความพรุน แต่ความสามารถในการดูดน้ำไม่ดี การใช้แกลบไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้อื่นๆ ปกติควรใช้ไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณเครื่องปลูกทั้งหมด (วิทยา, 2524)

1.4 พีท (Peat) คุณภาพของพีทขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ทำให้เกิดและลักษณะของภูมิประเทศที่เกิดด้วย Graves *et al.* (1978) กล่าวว่า พีทเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง แต่มีธาตุอาหารที่จำเป็นต่ำมาก พีทที่เหมาะสมจะใช้ในทางพืชสวน ได้แก่ พีทมอส มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดี และทำให้ความเป็นกรด-ด่าง ของวัสดุเปลี่ยนแปลงได้ยาก (Marfa *et al.*, 1993)

1.5 ถ่านแกลบ (Rice ash charcoals) เป็นวัสดุที่ได้จากการเผาแกลบจากการสีข้าว แต่เนื่องจากมีปริมาณมากเกินไปจึงต้องเผาทิ้ง ถ่านแกลบมีส่วนประกอบของซิลิกา สูงกว่าร้อยละ 90 สามารถทำให้ดินร่วนซุย ช่วยลดการสะสมของเกลือบนพื้นดินชั้นบนที่จะเป็นอันตรายต่อพืชได้ (เครือข่ายกาญจนาภิเษก, 2556) ลักษณะทั่วไปจะเปราะ มีรูพรุนมาก และเป็นฉนวนความร้อน

2. อนินทรีย์วัตถุ (Inorganic material)

เป็นส่วนที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการสลายตัวของหินและแร่ต้นกำเนิดต่างๆ จะส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์ โดยการปลดปล่อยธาตุอาหารต่างๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชและจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินทั้งที่เป็นประโยชน์และไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยสัดส่วนของอนินทรีย์วัตถุที่เหมาะสมอยู่ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรวัสดุปลูกทั้งหมด มีองค์ประกอบและขนาดที่แตกต่างกัน อาจจำแนกเป็น

2.1 ทราย (Sand) วัตถุประสงค์ของการนำทรายมาใช้เป็นวัสดุปลูก เพื่อให้เนื้อวัสดุปลูกดีขึ้นหรือทำให้มีลักษณะหยาบขึ้น ช่วยในการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศ (พิสมัย, 2534) ราคาย่อมเยา ใช้งานได้นาน แต่ขนาดของทรายมีความสำคัญ ถ้าละเอียดเกินไปจะจับตัวกันแน่นเมื่อมี

ความชื้นจะทำให้การระบายน้ำและอากาศไม่ดีอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของราก หรือถ้ามีขนาดใหญ่มากเกินไปจะไม่อุ้มน้ำ และต้องให้น้ำบ่อยๆ (ทัศนีย์ และสรสิทธิ์, 2531)

2.2 เวอร์มิคิวไลต์ (Vermiculite) เป็นสารพวกไมกา (Mica) (สันต์, 2551) มีรูปร่างเป็นแผ่นซ้อนกันคล้ายรังผึ้ง มีช่องว่างมาก รูพรุนเหมือนฟองน้ำ เมื่อใช้ไปนาน ๆ ลักษณะรูพรุนจะหมดไป ซึ่งอาจจะแก้ไขได้โดยการใส่ผสมกับพวกพีท หรือเพอไลต์ (Bunt, 1976)

2.3 เพอไลต์ (Perlite) มีการระบายน้ำดี มีความสามารถในการอุ้มน้ำ 27 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร มีซิลิกาสูง (พิสมัย, 2534) ถ้าผสมลงในวัสดุปลูกมากเกินไป จะทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารพืชได้เนื่องจากชะล้างง่าย

คุณสมบัติของวัสดุปลูก

การเลือกใช้วัสดุปลูก ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของวัสดุนั้นด้วย (ทัศนีย์ และสรสิทธิ์, 2531; Self, 1976) ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุปลูกที่จะต้องพิจารณานั้นแบ่งเป็น 3 ด้านหลักๆ (สันต์, 2551) ดังนี้

1. คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properties) เป็นลักษณะของวัสดุปลูก ที่อธิบายการกระจายตัวของส่วนที่เป็นของแข็ง น้ำและอากาศในวัสดุปลูกนี้ สามารถใช้เป็นตัวกำหนดการให้น้ำแก่พืช (Tere's *et al.*, 1995) ประกอบด้วย

1.1 ความจุอากาศและการระบายน้ำของวัสดุปลูก (Air capacity and drainage) เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นสิ่งแรกในการปลูกพืชในวัสดุปลูก ราชพืชจะเจริญได้ดีที่สุดเมื่อมีการระบายอากาศดี มีระดับความชื้นและธาตุอาหารพอเพียง การกระจายขนาดของช่องว่างมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำในวัสดุปลูกที่ถูกดูดซับไว้ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าจำนวนของช่องมีขนาดเล็กจะเกิดการขังน้ำได้มาก (ขงยุทธ, 2538; วิทยา, 2531; Brown and Pokorny, 1975; Nelson, 1991) วิทยา (2531), Criley and Watanabe (1974) และ Nelson (1991) ได้รายงานว่าวัสดุปลูกที่เหมาะสมควรมีอากาศ 10-20 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 35-50 เปอร์เซ็นต์ ส่วน Self (1976) รายงานว่าสัดส่วนของช่องว่างอากาศที่เหมาะสมคือ 25 เปอร์เซ็นต์

1.2 ความจุในการดูดซับน้ำของวัสดุปลูก (Water holding capacity) มีความสำคัญในการเตรียมวัสดุปลูก เพื่อจะมีน้ำเพียงพอต่อพืชในการเจริญเติบโต การเพิ่มความจุในการดูดซับน้ำของวัสดุปลูก จะต้องไม่ไปลดการระบายอากาศของวัสดุปลูกที่เหมาะสมอยู่แล้ว Criley and Watanabe (1974) รายงานว่าความจุความชื้นของวัสดุปลูกที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 30-60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

1.3 ความหนาแน่นรวม (Bulk density) หมายถึง น้ำหนักแห้งของวัสดุปลูกเปรียบเทียบกับปริมาตร วัสดุปลูกจำเป็นต้องพิจารณาถึงเรื่องน้ำหนัก เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายขนส่ง แต่จะต้องคำนึงพืชอยู่ได้ คือมีความหนาแน่นเหมาะสมนั่นเอง วิทยา (2528) กล่าวว่า ความหนาแน่นรวมของวัสดุที่จะนำมาใช้ในการปลูกพืช ควรมีค่า 0.15-1.3 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วน Criley and Watanabe (1974) ได้เสนอรายงานของนักวิจัยหลายท่าน ถึงความหนาแน่นรวมที่เหมาะสมของวัสดุปลูกในหลายๆ ช่วง เช่น 0.721-0.962 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร 0.15-0.5 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ 1.3 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ขึ้นกับชนิดพืช

2. คุณสมบัติทางเคมี (Chemical properties) คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูกที่ควรทราบ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity; EC)

2.1 ความเป็นกรด-ด่าง ของวัสดุปลูก (pH) จะมีค่าตั้งแต่ 1-14 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่ได้มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง แต่จะมีผลทางอ้อมในด้านความสามารถในการละลายได้ของธาตุอาหารต่างๆ ซึ่งอาจเป็นประโยชน์หรือเป็นพิษต่อพืชที่ปลูกอยู่และยังส่งผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในวัสดุปลูกทั้งที่มีประโยชน์และก่อให้เกิดโรค วิทยา (2523) และ Criley and Watanabe (1974) รายงานว่าพืชที่ปลูกในภาชนะส่วนใหญ่เจริญเติบโตได้ดีในระดับที่เป็นกรดเล็กน้อยระหว่าง 5.5-6.5 Self (1976) รายงานว่าพืชสามารถทนสภาพความเป็นกรด-ด่าง ของวัสดุปลูกที่สูงหรือต่ำกว่าจุดที่เหมาะสมได้ ถ้าหากระดับแคลเซียมและธาตุอาหารอื่นๆ พอเพียง แต่ถ้าหากสภาพความเป็นกรด-ด่าง ของวัสดุปลูกสูงหรือต่ำผิดปกติ อลูมินัมและแมงกานีสจะละลายออกมามากจนเป็นพิษต่อพืช ถ้ามีการให้ในปริมาณสูง

2.2 ค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุปลูก (EC) เป็นค่าที่บอกปริมาณเกลือทั้งหมดที่ละลายอยู่ในวัสดุปลูก มีหน่วยเป็น เดซิซิเมนส์/เมตร เกลือที่พบนั้นมาจากเกลือที่มีในตัวของวัสดุปลูก น้ำที่ให้ และปุ๋ยวิทยาศาสตร์ ค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุที่สูงจะทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร

ในวัสดุปลูกลดลง ส่งผลให้ปลายยอด ปลายรากไม่เจริญ ปลายใบด้านล่างแสดงอาการเหลืองซีดแต่ไม่ร่วง หรือเกิดอาการขอบใบไหม้ และหากปล่อยให้ขาดน้ำก็จะทำให้ต้นพืชที่ปลูกเหี่ยวได้ นอกจากนี้ค่าการนำไฟฟ้าที่สูงเกินไปอาจเป็นตัวชี้บ่งชี้ให้เกิดโรครากเน่าโคนเน่าได้ด้วย แก้ได้โดยการรดน้ำชะล้างคราบเกลือในวัสดุปลูก (สันต์, 2551)

3. คุณสมบัติทางชีวภาพ (Biological properties) ได้แก่ อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของอินทรีย์วัตถุ และสารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่จะเป็นประโยชน์หรือโทษต่อพืชปลูก (Lemaire, 1995)

วัสดุปลูกที่จะนำมาใช้แต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะที่แตกต่างกันไป และพืชจะเจริญได้ดีเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุปลูก (พิศมัย, 2534; วิทยา, 2524; Self, 1976) แต่นอกจากคุณสมบัติของวัสดุปลูกแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมในการปลูกเป็นสำคัญ สำหรับสภาพแวดล้อมบนหลังคานั้นจะมีอุณหภูมิสูง ลมพัดแรง และสภาพอากาศผันแปรได้ตลอดเวลา ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้จะส่งผลต่อวัสดุปลูกและส่งผลไปยังพืชได้ ในสภาวะที่ปริมาณวัสดุปลูกต้องถูกจำกัดเพื่อลดภาระการรับน้ำหนักของหลังคาอาคาร ส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารมีน้อยตามไปด้วย การเพิ่มปริมาณของอินทรีย์สารหรือเติมปุ๋ยลงไปวัสดุปลูก เป็นวิธีที่สามารถเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้มากขึ้นได้ ซึ่งจะช่วยให้ต้นไม่มีการเจริญเติบโตได้ดี หากพืชนั้นไม่ได้อยู่ภายใต้สภาวะเครียดจากการขาดน้ำเช่นเดียวกับพืชของสวนบนหลังคา (Kristin and Rowe, 2006) จากการศึกษาผลของธาตุอาหารต่อการเติบโตของพืช ของ Rowe *et al.* (2006) โดยปลูก *Aster laevis* L., *Koeleria macrantha* Regel และ *Solidago speciosa* L. บนหลังคาในสภาพขาดน้ำ ในวัสดุปลูกที่ใส่ปุ๋ย เปรียบเทียบกับไม่ใส่ปุ๋ย พบว่าพืชทุกชนิดที่ปลูกในวัสดุปลูกที่ไม่ใส่ปุ๋ย สามารถมีชีวิตรอดได้ในจำนวนที่มากกว่า ซึ่งเป็นไปได้ว่าการใส่ปุ๋ยทำให้พืชมีชีวิตรอดมากขึ้น ซึ่งในสภาพแห้งแล้งพืชที่มีชีวิตรอดน้อยกว่าจะสามารถอยู่รอดได้นานกว่า เนื่องจากความต้องการน้ำและธาตุอาหารในการดำรงชีวิตมีน้อยกว่า เช่นเดียวกับรายงานของ Jauch (1993) ที่พบว่าต้นอ่อนของกุหลาบหินไม่สามารถอยู่รอดได้เมื่อมีการให้ปุ๋ยในปริมาณมาก ดังนั้นการให้น้ำและใส่ปุ๋ยในปริมาณที่พอเหมาะจะช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ความลึกของวัสดุปลูกยังเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (Gómez-Campo, 1994; Gómez-Campo and Gómez-Tortosa, 1996) โดยพืชทุกชนิดจะเจริญเติบโตได้ดีในวัสดุปลูกที่มีชั้นความหนามากกว่า เนื่องจากวัสดุปลูกที่บางนั้นส่งผลให้น้ำระเหยได้เร็วขึ้น

(Dunnett and Nolan, 2004; VanWoert *et al.*, 2005b) โดยมีรายงานของมหาวิทยาลัย Michigan State แสดงให้เห็นถึงความหนาของวัสดุปลูกที่ส่งผลต่อการครอบคลุมพื้นที่และการเจริญเติบโตของพืชโดยไม่คำนึงถึงชนิดพืช (Durhman *et al.*, 2004) ซึ่งวัสดุปลูกที่มีชั้นหนากว่าจะสามารถอุ้มน้ำไว้ได้มากและนานกว่า ส่งผลให้พืชไม่ขาดน้ำ และยังช่วยป้องกันปัญหาจากอุณหภูมิของวัสดุปลูกที่ผันแปรเนื่องจากสภาพภูมิอากาศที่แปรปรวนอีกด้วย ทำให้พืชมีโอกาสอยู่รอดได้มากกว่า แต่เนื่องจากปัญหาเรื่องการรองรับน้ำหนักของอาคาร ทำให้สวนบนหลังคาต้องมีข้อจำกัดในปริมาณวัสดุปลูกที่ใช้ด้วย Boivin *et al.* (2001) แนะนำไม่ให้ชั้นวัสดุปลูกบางกว่า 10 เซนติเมตร เพื่อป้องกันระบบรากจากการถูกทำลาย ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว รากพืชจะเป็นส่วนที่ไวต่อสภาวะเครียดและไม่สามารถทนอุณหภูมิที่หนาวหรือร้อนจัดได้ (Wu *et al.*, 2000) และมีพืชจำนวนมากที่ประสบปัญหา ระบบรากถูกทำลายจากสภาพอุณหภูมิในวัสดุปลูกที่บาง (Boivin *et al.*, 2001) ดังนั้น ในการสร้างสวนบนหลังคา วัสดุปลูกจึงเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณา ทั้งทางกายภาพและเคมีเบื้องต้น เพื่อให้เหมาะสมกับชนิดของสวนบนหลังคา และชนิดพืชที่จะนำมาปลูกร่วมด้วย นอกจากนี้ การจำกัดความลึกของชั้นวัสดุปลูกในระบบสวนบนหลังคาถือเป็นเรื่องดีเกี่ยวกับปัญหาด้านโครงสร้างของอาคารในการรองรับน้ำหนักของสวน ช่วยลดข้อจำกัดในการใช้งานให้น้อยลง ส่งผลให้การสร้างสวนบนหลังคาเป็นไปได้โดยง่ายและเกิดการแพร่หลายในการใช้งานมากขึ้น และยังเป็นการคัดเลือกพืชที่เหมาะสม ซึ่งนอกจากทำให้สวนบนหลังคาเกิดความสมบูรณ์แล้ว ยังมีส่วนช่วยเพิ่มอายุของสวนและลดปัญหาเกี่ยวกับวัสดุปลูกที่อาจเกิดขึ้นได้ในภายหลังอีกด้วย

Reinikainen (1993) เสนอว่า มีปัจจัยหลายประการที่มีบทบาทต่อการเลือกวัสดุสำหรับปลูกพืชชนิดใดชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยความต้องการทางพื้นฐานตามธรรมชาติของพืชนั้นๆ เช่น การเจริญเติบโตของระบบราก ความต้องการแร่ธาตุอาหาร น้ำ และอากาศของพืชนั้นๆ คุณลักษณะดังกล่าวนี้ วัสดุปลูกจะต้องมีความพรุนเพียงพอ การกระจายของอนุภาควัสดุปลูกสม่ำเสมอ และมีปริมาตรและน้ำหนักเหมาะสม พร้อมกับมีคุณสมบัติทางเคมีที่ปราศจากอันตรายต่อพืช (Lemaire, 1995) สุดท้ายคือสภาวะและสะดวกในการใช้งาน โดยทั่วไปวัสดุปลูกที่จะถูกเลือกมาใช้มักจะเป็นวัสดุที่มีอยู่และหาได้ง่ายในท้องถิ่น (Kristin and Rowe, 2006) เพื่อเป็นการประหยัด และใช้ทรัพยากรในท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์

การใช้อินทรีย์วัตถุเป็นวัสดุปลูก

อินทรีย์วัตถุ เป็นส่วนที่ได้จากการย่อยสลายหรือทับถมกันของซากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและ

สัตว์ โดยอินทรีวัดจะช่วยส่งเสริมความอุดมสมบูรณ์ของจุลินทรีย์ในดินที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายอินทรีวัดนั้น แล้วจึงค่อยปลดปล่อยธาตุอาหารต่างๆ ออกมาอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ อีกทั้งยังทำให้วัสดุปลูกมีความพรุนและร่วนซุย (วิทยา, 2528) มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ขริณ (2528) ได้เปรียบเทียบวัสดุปลูกสำหรับแอฟริกันไวโอเล็ต พบว่าแอฟริกันไวโอเล็ต 3 พันธุ์ คือ Neptune, Susie และ China Pink ที่ปลูกในกระถางโดยใช้วัสดุปลูกที่มีมะพร้าวสับเป็นส่วนผสม มีการเจริญเติบโตที่ดีและให้การเจริญเติบโตของรากสูง นอกจากนี้ ชรรมรงค์ (2524) ได้เปรียบเทียบวัสดุปลูกที่เหมาะสมในการปลูกเลี้ยงไทรย้อยใบแหลมในกระถาง พบว่าวัสดุปลูกที่มีมะพร้าวสับเป็นส่วนผสมให้การเจริญเติบโตของพืชมากที่สุด เช่นเดียวกับ พิชามณู (2543) ที่ทดสอบสัดส่วนของดินและเปลือกมะพร้าวสับในวัสดุปลูกที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของดาวเรืองฝรั่งในอัตราส่วนต่างๆ คือ ดินเพียงอย่างเดียว และดินผสมมะพร้าวสับ อัตราส่วน 1:1 1:2 1:3 2:1 และ 3:1 โดยปริมาตร พบว่า วัสดุปลูกที่มีดินผสมต่อเปลือกมะพร้าวสับ อัตราส่วน 1:1 ให้ความกว้างทรงพุ่ม และคุณภาพในการวางประดับมากที่สุด โดยการเพิ่มสัดส่วนของเปลือกมะพร้าวสับในวัสดุปลูก ให้ความหนาแน่น และเปอร์เซ็นต์ช่องว่างขนาดเล็กต่อปริมาตรลดลง และเปอร์เซ็นต์ช่องว่างขนาดใหญ่ต่อปริมาตรเพิ่มขึ้น แต่ไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์ช่องว่างทั้งหมดต่อปริมาตรเปลี่ยนแปลง

การใช้วัสดุปลูกที่หาได้ง่ายและมีอยู่ในท้องถิ่น นอกจากจะประหยัด เป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดแล้ว ยังทำให้ผู้ปลูกสามารถกำหนดหรือพัฒนาวัสดุปลูกที่จะใช้ ให้เหมาะสมกับชนิดพืช ภูมิอากาศในพื้นที่ และการบำรุงรักษาที่ง่ายได้อีกด้วย (Kristin and Rowe, 2006)

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสวนบนหลังคา: พันธุ์พืช วัสดุปลูก และผลต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 การคัดเลือกพืชที่เหมาะสมสำหรับสวนบนหลังคา มีวิธีการดังนี้

คัดเลือกพืชชนิดต่างๆ ที่น่าสนใจ มีอยู่ในท้องถิ่น (Local plant) เป็นพืชในเขตร้อนชื้น (Tropical climate) พบได้ทั่วไปและเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ซึ่งเป็นสถานที่ในการสร้างสวนบนหลังคา โดยใช้เกณฑ์เบื้องต้นในการคัดเลือก คือ

1. โตเร็วและใบปกคลุมทั่วถึงในแนวนอน
2. ต้องการการดูแลรักษาน้อย ไม่ต้องการตัดแต่ง
3. เป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก-ปานกลาง หรือไม้คลุมดิน
4. สามารถเจริญเติบโตกลางแจ้งได้ดี

การคัดเลือกพืชเบื้องต้น จากพืชทั้งหมด 14 ชนิด มีการเจริญเติบโตและคุณลักษณะดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะของพันธุ์พืช 14 ชนิดที่เลือกมาใช้ในการทดลอง

พันธุ์พืช	อัตราการเจริญเติบโต	ลักษณะการเจริญเติบโต	ลักษณะต้นและความสูง	ความต้องการแสงแดด	การดูแลรักษา	อ้างอิง
 หลิวไต้หวัน <i>Cuphea hyssopifolia</i> Kunth	เร็ว	แตกกิ่งเป็นพุ่ม กิ่งย่อยแตกจากกิ่งหลักและแผ่ออกตรงข้ามกัน ใบเดี่ยว เรียงตรงข้าม กว้าง 0.3-0.5 เซนติเมตร ยาว 0.5-2 เซนติเมตร แผ่นใบหนา แข็ง มีขนสาบมือ ผิวใบเป็นมัน	ไม้คลุมดิน สูง 30-80 เซนติเมตร	เต็มวัน	ต่ำ	สุปรียา (2547); Huxley <i>et al.</i> (1992)
 โกสน <i>Codiaeum variegatum</i> (L.) Rumph. ex A.Juss.	ปานกลาง	ทรงพุ่มแน่นทึบ ใบเดี่ยว เรียงสลับ มีหลายแบบ ลักษณะและขนาดใบแปรตามพันธุ์ ใบยาว 0.5-5 เซนติเมตร	ไม้พุ่ม สูง 2-3 เมตร	เต็มวัน	ปานกลาง-ต่ำ	คณะบรรณาธิการ สำนักพิมพ์ บ้านและสวน (2540, 2543)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

พันธุ์พืช	อัตราการเจริญเติบโต	ลักษณะการเจริญเติบโต	ลักษณะต้นและความสูง	ความต้องการแสงแดด	การดูแลรักษา	อ้างอิง
 กระดุมทองเลื้อย <i>Wedelia acapulcensis</i> Kunth	เร็ว	ลำต้นแตกแขนง เลื้อยตามผิวดิน ปลายกิ่งมักชูตั้งขึ้น ลำต้นมีขนประปราย ใบเดี่ยว เรียงตรงข้าม รูปรีกว้างหรือไข่ กว้าง 2-5 เซนติเมตร ยาว 5.5 เซนติเมตร	ไม้คลุมดิน สูง 30-50 เซนติเมตร	ครึ่งวัน-รำไร	ต่ำ แต่เจริญได้ รวดเร็วถึงขั้นแพร่ระบาด	อฤษฎ (2544)
 กาบหอยแครงกระแจะ <i>Tradescantia spathacea</i> Sw.	เร็ว	ลำต้นอวบน้ำ เจริญเป็นพุ่ม ใบเดี่ยว เรียงเป็นวงรอบข้อ เนื้อหุ้มเป็นกระจุก กว้าง 3-5 เซนติเมตร ยาว 15-45 เซนติเมตร ปลายใบแหลม โคนใบตัดหรือเป็นกาบหุ้มลำต้น แผ่นใบหนา	ไม้คลุมดิน สูง 20-60 เซนติเมตร	เต็มวัน	ต่ำ	เอี่ยมพร และคณะ (2551)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

พันธุ์พืช	อัตราการเจริญเติบโต	ลักษณะการเจริญเติบโต	ลักษณะต้นและความสูง	ความต้องการแสงแดด	การดูแลรักษา	อ้างอิง
 ก้ามปูหลุด <i>Tradescantia zebrina</i> Bosse	เร็ว	ลำต้นและใบค่อนข้างอวบน้ำ เลื้อยตามผิวดิน ใบเดี่ยว เรียง สลับ รูปไข่ กว้าง 1.5-3 เซนติเมตร ยาว 3-8 เซนติเมตร	ไม้คลุมดิน สูง 10-30 เซนติเมตร	ครึ่งวัน-รำไร	ต่ำ	คณะกรรมการฝ่ายหา ทุนมูลนิธิสวนหลวง ร.9 (2539)
 ดาดตะกั่ว <i>Hemigraphis colorata</i> W.Bull	เร็ว	ใบเดี่ยว เรียงตรงข้ามสลับตั้ง ฉากเป็นคู่ๆ ใบรูปไข่ถึงรูป หัวใจ กว้าง 2.5-5เซนติเมตร ยาว 2.5-5 เซนติเมตร	ไม้คลุมดิน สูง 10-15 เซนติเมตร	เต็มวัน-รำไร	ต่ำ	คณะกรรมการจัดทำ อนุกรมวิธานพืช, (2538)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

พันธุ์พืช	อัตราการเจริญเติบโต	ลักษณะการเจริญเติบโต	ลักษณะต้นและความสูง	ความต้องการแสงแดด	การดูแลรักษา	อ้างอิง
 หัวใจม่วง <i>Tradescantia pallida</i> (Rose) D.R.Hunt	ปานกลาง	ลำต้นและใบค่อนข้างอวบน้ำ ใบเดี่ยวเรียงรอบต้น ใบรี กว้าง 2-3 เซนติเมตร ยาว 7- 15 เซนติเมตร แผ่นใบหนาประะ มีขนอ่อน บางๆ	ไม้คลุมดิน สูงไม่เกิน 30 เซนติเมตร	เต็มวัน-รำไร	ปานกลาง	สุปรียา (2547)
 ขาไก่ดำ <i>Justicia fragilis</i> Wall.	เร็ว	แตกกิ่งก้านเป็นพุ่มแน่นใบ เดี่ยว รูปหอก กว้าง 2-5 เซนติเมตร ยาว 5-15 เซนติเมตร	ไม้พุ่ม สูง 30-60 เซนติเมตร	เต็มวัน-รำไร	ต่ำ แต่สามารถ ตัดแต่งได้	เอี่ยมพร และคณะ (2551)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

พันธุ์พืช	อัตราการเจริญเติบโต	ลักษณะการเจริญเติบโต	ลักษณะต้นและความสูง	ความต้องการแสงแดด	การดูแลรักษา	อ้างอิง
 เศรษฐีเรือนนอก <i>Chlorophytum bifolium</i> Dammer	ปานกลาง-เร็ว	ลำต้นเป็นเหง้าสั้นๆ อยู่ใต้ผิวดิน แตกใบขึ้นเป็นพุ่ม รากมีคืบ เก็บสะสมอาหารและน้ำ ใบเดี่ยว เวียนสลับแน่น กว้าง 0.8-1.6 เซนติเมตร ยาว 10-20 เซนติเมตร ผิวใบด้านบนเป็นมัน	ไม้คลุมดิน สูง 20-30 เซนติเมตร	ครึ่งวัน	ปานกลาง	คณะกรรมการฝ่ายหาทุนมูลนิธิสวนหลวง ร.9 (2539)
 ผักเป็ดแดง <i>Alternanthera bettzickiana</i> (Regel) G.Nicholson	เร็ว	ลำต้นและใบค่อนข้างอวบน้ำ ใบเป็นมัน	ไม้คลุมดิน สูงประมาณ 20 เซนติเมตร	ครึ่งวัน	ปานกลาง	Huxley <i>et al.</i> (1992)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

พันธุ์พืช	อัตราการ เจริญเติบโต	ลักษณะการเจริญเติบโต	ลักษณะต้น และความสูง	ความต้องการ แสงแดด	การดูแล รักษา	อ้างอิง
 ลิ้นมังกรแคระ <i>Sansevieria trifasciata</i> Prain	ช้า	ต้นเป็นพุ่ม ใบแบนสั้น ออก เวียนสลับ กว้าง 4-5 ซม.	ไม้คลุมดิน สูง 15-20 เซนติเมตร	เต็มวัน	ต่ำ	Huxley <i>et al.</i> (1992)
 เทียนทอง <i>Duranta erecta</i> L.	ปานกลาง	ลำต้นแตกกิ่งก้านมาก ทรงพุ่มแน่นทึบ	ไม้พุ่ม สูง 10-70 เซนติเมตร	เต็มวัน	ปานกลาง	สุปรียา (2547)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

พันธุ์พืช	อัตราการเจริญเติบโต	ลักษณะการเจริญเติบโต	ลักษณะต้นและความสูง	ความต้องการแสงแดด	การดูแลรักษา	อ้างอิง
 ว่านหางจระเข้ <i>Aloe vera</i> (L.) Burm.f.	เร็ว	ลำต้นเป็นข้อ ปล้องสั้น ใบเดี่ยว หนาและยาว เรียงเวียนรอบต้น โคนใบใหญ่ อวบน้ำ	ไม้อวบน้ำ สูง 0.5-1 เมตร	เต็มวัน	ต่ำ	Huxley <i>et al.</i> (1992)
 เศรษฐีพันล้าน <i>Bryophyllum delagoense</i> (Eckl. & Zeyh.) Druce.	เร็ว	ลักษณะต่างกันตามพันธุ์ ลำต้นและใบอวบน้ำ	ไม้อวบน้ำ สูงไม่เกิน 30 เซนติเมตร	เต็มวัน	ต่ำ	Derek (2007)

จากนั้นประเมินพันธุ์พืชที่ได้จากการคัดเลือก โดยการให้คะแนนลักษณะต่างๆ ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของสหพรหม (2551) ดังนี้

1. อัตราการเจริญเติบโต คือ การพิจารณาจำนวนการแตกยอดอ่อน และระดับการเจริญเติบโตของยอดอ่อน มีเกณฑ์การให้คะแนน คือ

แตกยอดและเจริญเติบโตในระดับค่อนข้างต่ำ = 1 คะแนน

แตกยอดและเจริญเติบโตในระดับปานกลาง = 2 คะแนน

แตกยอดและเจริญเติบโตในระดับค่อนข้างสูง = 3 คะแนน

2. ลักษณะการเจริญเติบโต มีเกณฑ์การให้คะแนน คือ

แตกกิ่งก้านน้อย ทรงพุ่มบาง เจริญเติบโตแบบตั้งขึ้นในแนวสูง = 1 คะแนน

แตกกิ่งก้านปานกลาง ทรงพุ่มแน่น = 2 คะแนน

แตกกิ่งก้านมาก ทรงพุ่มแน่นทึบ เจริญเติบโตแบบแผ่กว้างในแนวนอน = 3 คะแนน

3. ลักษณะการเจริญเติบโตและความสูง มีเกณฑ์การให้คะแนน คือ

สูง 1.5 เมตรขึ้นไป = 1 คะแนน

สูง 1-1.5 เมตร = 2 คะแนน

สูงไม่เกิน 1 เมตร = 1 คะแนน

4. ความต้องการแสงแดด มีเกณฑ์การให้คะแนน คือ

ต้องการที่ร่ม หรือแดดรำไร = 1 คะแนน

ต้องการแดดครึ่งวัน หรือแดดปานกลาง = 2 คะแนน

ต้องการแดดจัด เต็มวัน = 3 คะแนน

5. การดูแลรักษา มีเกณฑ์การให้คะแนน คือ

รดน้ำทุกวัน ตัดแต่งกิ่งหรือทรงพุ่มอย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง	= 1 คะแนน
รดน้ำสัปดาห์ละ 3-4 ครั้ง ตัดแต่งกิ่งหรือทรงพุ่มทุก 3-4 เดือน/ครั้ง	= 2 คะแนน
รดน้ำสัปดาห์ละครั้ง หรือไม่ต้องรดน้ำเลย ไม่ต้องตัดแต่งกิ่งหรือทรงพุ่ม	= 3 คะแนน

ซึ่งผลการให้คะแนนจากการประเมินพันธุ์พืชแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การคัดเลือกพันธุ์พืชโดยการให้คะแนน

พันธุ์พืช	ลักษณะ					รวม
	อัตราการเจริญเติบโต	ลักษณะการเจริญเติบโต	ลักษณะต้นและความสูง	ความต้องการแสงแดด	การดูแลรักษา	
หลิวไต้หวัน	3	3	3	3	3	15
โกสน	2	2	1	3	3	11
กระดุมทองเลื้อย	3	3	3	1	1	11
กาบหอยแครง	3	3	3	3	3	15
แคระ	3	3	3	3	3	15
ก้ามปูหลุด	3	3	3	1	2	12
ดาตตะกั่ว	3	3	3	1	2	12
หัวใจม่วง	2	3	3	1	2	11
ขาไก่ดำ	2	3	1	3	3	12
เศรษฐีเรือนนอก	3	3	3	2	2	13
ผักเป็ดแดง	3	3	3	2	2	13
ลั่นมังกรแคระ	1	3	3	3	3	13
เทียนทอง	2	3	3	3	2	13
ว่านหางจระเข้	3	3	3	3	3	15
เศรษฐีพันล้าน	3	3	3	3	3	15

สามารถคัดเลือกพันธุ์พืชที่มีคะแนนรวมสูง 13-15 คะแนน ซึ่งมีทั้งหมด 8 ชนิด คือ หลิวไต้หวัน กาบหอยแครงแกระ เศรษฐีเรือนนอก ผักเป็ดแดง ลิ่นมังกรแกระ เทียนทอง วานหางจระเข้ และเศรษฐีพันล้าน นำไปทดสอบปลูกในกระบะขนาด 21×39 เซนติเมตร โดยใช้ดินเป็นวัสดุปลูก ความลึก 10 เซนติเมตร วางไว้ในที่โล่ง ได้รับแดดตลอดวัน นาน 3 เดือน ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์-เมษายน รดน้ำเวลาเช้า วันละ 1 ครั้งๆ ละ 1 ลิตร/ต้น วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design; CRD จำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 1 ต้น

การเก็บข้อมูล

วัดการครอบคลุมพื้นที่ของพืชแต่ละชนิดจากขนาดของทรงพุ่ม (Jennifer *et al.*, 2010) ดังสมการ

$$\text{พื้นที่ทรงพุ่มของพืช} = \pi r^2$$

โดย $r = (l + w)/4$;

l และ w คือ เส้นผ่านศูนย์กลางทรงพุ่ม 2 ด้านที่ตั้งฉากกัน

วัดพื้นที่ทรงพุ่มของพืชครั้งแรกในวันที่ 1 กุมภาพันธ์ (เริ่มการทดลอง) และวัดอีกครั้งในวันที่ 30 เมษายน (สิ้นสุดการทดลอง) รวมเป็นเวลา 90 วัน คำนวณขนาดทรงพุ่มเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับพื้นที่ของกระบะปลูก แล้วเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate; RGR) ของพืชแต่ละชนิด โดยการคำนวณค่า RGR (Baumann, 2006) ดังสมการ

$$RGR = \left[\frac{\text{เปอร์เซ็นต์การครอบคลุมพื้นที่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{เมื่อเริ่มการทดลอง}}{\text{เปอร์เซ็นต์การครอบคลุมพื้นที่เมื่อเริ่มการทดลอง}} \right] / \text{จำนวนวัน}$$

จากนั้นคัดเลือกพันธุ์พืชที่มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์สูงเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยของ RGR ของพืชแต่ละชนิด โดยใช้วิธี

Analysis of Variance (ANOVA) และใช้ F-test ทดสอบความมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยวิธี (Duncan's New Multiple Range Test; DMRT)

การทดลองที่ 2 การคัดเลือกวัสดุปลูกและพันธุ์พืชที่เหมาะสมสำหรับปลูกบนหลังคา

คัดเลือกวัสดุปลูกอินทรีย์ 3 ชนิด ได้แก่ ขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ และเถ้าแกลบ วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 4 ทรีทเมนต์ๆ ละ 4 ซ้ำประกอบด้วย

1. ขุยมะพร้าว
2. มะพร้าวสับ
3. เถ้าแกลบ
4. วัสดุผสม (ขุยมะพร้าว:มะพร้าวสับ:เถ้าแกลบ อัตราส่วน 1:1:1)

2.1 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุปลูกแต่ละทรีทเมนต์ ดังนี้ (ภาคผนวก ก)

คุณสมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วย

1. ความหนาแน่นรวม (Bulk density: ρ)

ความหนาแน่นรวมของวัสดุปลูก หมายถึง สัดส่วนระหว่างมวลแห้งของวัสดุปลูก (M) และปริมาตรมวลรวม (V) ซึ่งมวลแห้งของวัสดุปลูก (M) หมายถึง มวลของวัสดุปลูกตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิ 105-110°C จนน้ำหนักคงที่ และปริมาตรมวลรวม (V) หมายถึง ผลรวมระหว่างปริมาตรของแข็ง (Solid volume, V_s) และปริมาตรช่องว่างในวัสดุ (Pore volume, V_p)

2. ความพรุนช่องบรรจุอากาศ (Air-filled porosity, E_a)

สสารที่บรรจุในช่องของวัสดุปลูกมี 2 ชนิด คือ น้ำ และอากาศ ดังนั้นความพรุนช่องบรรจุอากาศคือปริมาตรของอากาศในวัสดุปลูก

3. ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water-filled porosity, Ew)

เนื่องจากปริมาตรของช่องในวัสดุหนึ่งๆ มีจำนวนจำกัด ดังนั้นความสามารถในการอุ้มน้ำจะแปรผันตรงข้ามกับความพรุนช่องบรรจุอากาศ

คุณสมบัติทางเคมี (ภาคผนวก ก) ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และ ค่าการนำไฟฟ้า (EC)

2.2 การทดสอบวัสดุปลูกร่วมกับพืช

นำพันธุ์พืชที่มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์สูง 5 ชนิด จากทดลองที่ 1 ปลูกร่วมกับวัสดุปลูกที่มีความลึก 10 เซนติเมตร ในกระบะปลูกขนาด 21×39 เซนติเมตร นาน 21 สัปดาห์ (5 เดือน) ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์-มิถุนายน บนคาบฟ้าอาคารชั้น 3 ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน วางแผนการทดลองแบบ 5×4 Factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ มี 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่ 1 พันธุ์พืช มี 5 ระดับ คือ พันธุ์พืช 5 ชนิด คือ หลิวไต้หวัน เสริมฐิเรื่อนนอก เทียนทอง ว่านหางจระเข้ และเสริมฐิพินล้าน ปัจจัยที่ 2 วัสดุปลูก มี 4 ชนิด คือ ขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ ถั่วแกลบ วัสดุผสม (ขุยมะพร้าว:มะพร้าวสับ:ถั่วแกลบ อัตราส่วน 1:1:1) รดน้ำเวลาเช้า สัปดาห์ละ 2 ครั้งๆ ละ 1 ลิตร ให้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 จำนวน 15 กรัม/ต้นทุก 3 เดือน โดยให้ครั้งแรกเมื่อเริ่มการทดลองในเดือนกุมภาพันธ์ และให้ครั้งที่สองในเดือนพฤษภาคม ทำการบันทึกข้อมูลดังต่อไปนี้

2.2.1. ดัชนีการเจริญเติบโต (Gibbs *et al.*, 2006; Monterusso *et al.*, 2005) โดยวัดความสูงของพืชจากโคนต้นถึงปลายยอด (h) รวมกับเส้นผ่านศูนย์กลางทรงพุ่ม 2 ด้าน ที่ตั้งฉากกัน (l และ w) แล้วหาค่าเฉลี่ย ดังนี้

$$\text{ดัชนีการเจริญเติบโต} = (l + w + h) / 3$$

2.2.2. พื้นที่ทรงพุ่มของพืช เพื่อดูการครอบคลุมพื้นที่ของพืชชนิดต่างๆ (Jennifer *et al.*, 2010) ในแต่ละวัสดุปลูก ทุกสัปดาห์ รวม 21 สัปดาห์ ดังสมการ

$$\text{พื้นที่ทรงพุ่มของพืช} = \pi r^2$$

$$\text{โดย } r = (1 + w) / 4$$

คัดเลือกวัสดุปลูกเพียง 1 ชนิดที่ให้ดัชนีการเจริญเติบโตและพื้นที่ทรงพุ่มของพืชสูงที่สุด และคัดเลือกพันธุ์พืชที่สามารถอยู่รอดและเจริญเติบโตได้ดี เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยคุณสมบัติของวัสดุปลูก ดัชนีการเจริญเติบโตและพื้นที่ทรงพุ่มของพืชแต่ละชนิดในแต่ละวัสดุปลูก โดยใช้วิธี ANOVA และใช้ F-test ทดสอบความมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยวิธี DMRT

การทดลองที่ 3 ผลของสวนบนหลังคาต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง

สร้างห้องเปล่า จำนวน 2 ห้อง ที่มีขนาดเท่ากัน โดยมีขนาดพื้นที่ 1.8×3 เมตร สูง 3 เมตร ใช้แผ่นสมาร์ทบอร์ดหนา 4 นิ้ว ประกอบเป็นผนังห้องทึบ หลังคาเป็นพื้นคอนกรีต และมีประตูห้องหันเข้าหากัน (ภาพที่ 2, 3 และ 4) บนอาคารชั้น 3 ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน จากนั้นนำพันธุ์พืชและวัสดุปลูกที่ผ่านการคัดเลือกจากการทดลองที่ 2 สร้างเป็นสวนบนหลังคา ขนาด 1.2×3 เมตร ติดตั้ง USB Data Logger รุ่น RR Consumables ของบริษัท Rhino Research Group ที่ระดับเพดาน กลางห้อง และพื้นที่ห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา เพื่อบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารของสวนบนหลังคา และอาคารที่ไม่มีสวนบนหลังคา ให้น้ำกับสวนด้วยระบบสปริงเกลอร์ ทั้งสวนบนหลังคาและหลังคาเปล่า สัปดาห์ละครั้งๆ ละ 5 นาที และใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 จำนวน 15 กรัม/ต้นทุก 3 เดือน คือเดือนกันยายน ธันวาคม และมีนาคม

การเก็บข้อมูล

บันทึกอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ที่ระดับเพดาน กลางห้อง และพื้นที่ห้อง เปรียบเทียบระหว่างห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา ทุก 1 ชั่วโมง นาน 8 เดือน ตั้งแต่เดือนกันยายน-เมษายน โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ เดือนกันยายน-ตุลาคม (ฤดูฝน) เดือนพฤศจิกายน-มกราคม (ฤดูหนาว) เดือนกุมภาพันธ์-เมษายน (ฤดูร้อน) และนำข้อมูลที่ได้นำมาคำนวณ

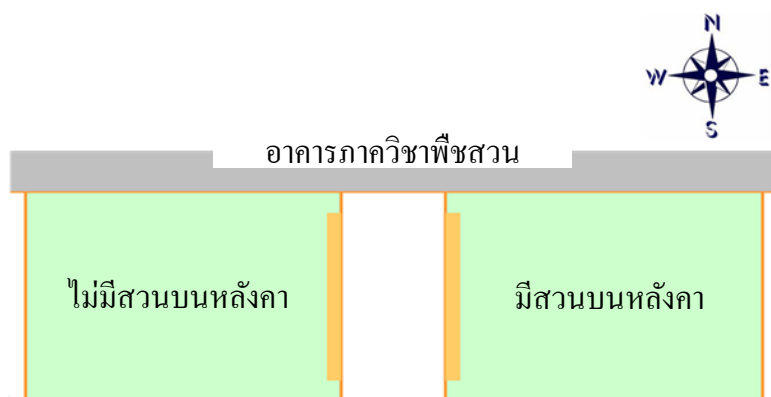
ภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศระหว่างห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคาอย่างง่าย
(ภาคผนวก ข) (ณัฐฉิณี, 2545)



ภาพที่ 2 ลักษณะของห้องทดลองเมื่อมองจากด้านข้าง



ภาพที่ 3 ลักษณะภายในของห้องทดลองที่ไม่มีสวนบนหลังคา (ซ้าย) และที่มีสวนบนหลังคา (ขวา)



ภาพที่ 4 แบบจำลองลักษณะของห้องทดลองเมื่อมองจากด้านบน

สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

ทำการทดลองที่ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดยแตกต่างกันในแต่ละการทดลองย่อย ดังนี้

ทดสอบพันธุ์พืชปลูกที่เหมาะสม ณ แปลงทดลอง 1 ภาควิชาพืชสวน ตั้งแต่ เดือน กุมภาพันธ์-เมษายน พ.ศ. 2555

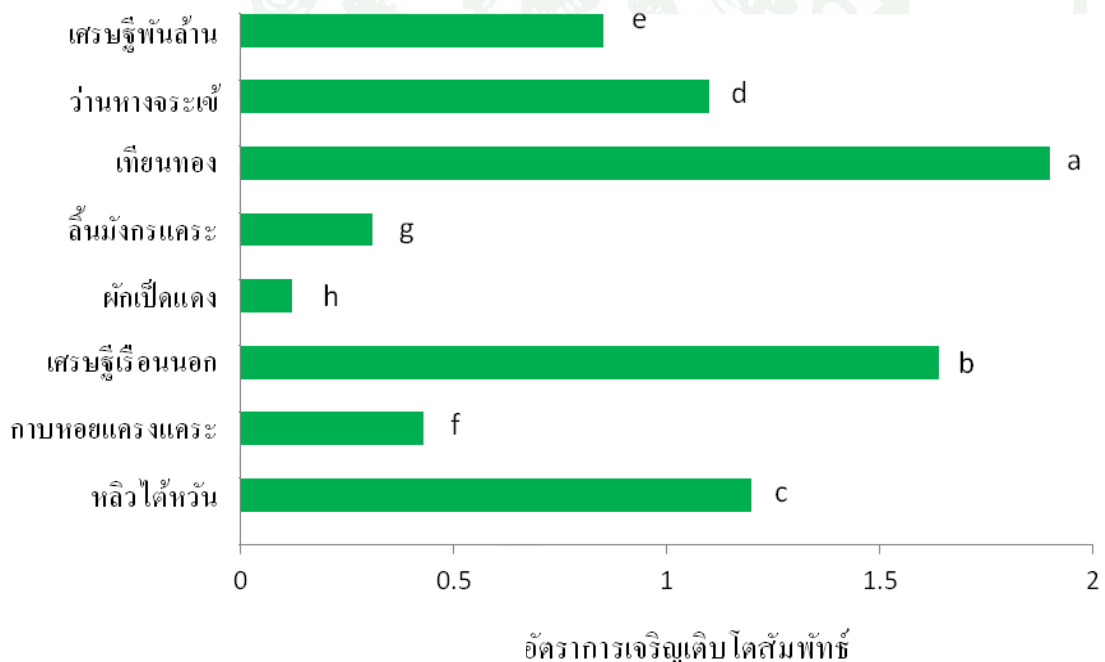
ทดสอบวัสดุปลูก คุณสมบัติของวัสดุปลูกชนิดต่างๆ และนำพันธุ์พืชที่ได้รับการคัดเลือกปลูกในวัสดุปลูก ณ คาดฟ้าชั้น 3 ภาควิชาพืชสวน อาคารกลาง คณะเกษตร กำแพงแสน ตั้งแต่เดือน มกราคม-มิถุนายน พ.ศ. 2556

เปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารของสวนบนหลังคา และอาคารที่ไม่มีสวนบนหลังคา ณ ชั้น 3 ภาควิชาพืชสวน อาคารกลาง คณะเกษตร กำแพงแสน ตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2556 – เมษายน พ.ศ. 2557

ผลและวิจารณ์

การทดลองที่ 1 การคัดเลือกพันธุ์พืชที่เหมาะสมสำหรับสวนบนหลังคา

สภาพภูมิอากาศในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ของช่วงที่ดำเนินการทดสอบตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ ถึง 30 เมษายน 2555 มีอุณหภูมิเฉลี่ย 33.33 องศาเซลเซียส และมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 75.33 เปอร์เซ็นต์ จากการหาอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของพันธุ์พืชที่นำมาทดสอบ พบว่าพืชแต่ละชนิดมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 5) และมีพืช 5 ชนิด ที่มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เฉลี่ยสูง โดยสูงที่สุดในเทียนทอง ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ 1.90 รองลงมาคือ เศรษฐีเรือนนอก หลิวไต้หวัน วานหางจรเข้ และเศรษฐีพันล้าน มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์เท่ากับ 1.64 1.20 1.10 และ 0.85 ตามลำดับ



ภาพที่ 5 อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของพืช 8 ชนิด ที่อายุ 90 วัน หลังปลูก

หมายเหตุ แผนภูมิแท่งที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

การที่พืชแต่ละชนิดมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ที่แตกต่างกันภายใต้ปัจจัยและสภาพแวดล้อมเดียวกันนั้น เนื่องจากลักษณะของพืชและความต้องการปัจจัยในการเจริญเติบโตที่ต่างกัน จากผลการทดลองพบว่าเทียนทอง มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของพืชสูงที่สุด ตามด้วยเศรษฐีเรือนนอก และหลิวไต้หวัน ทั้งนี้เนื่องจากเทียนทองและหลิวไต้หวัน เป็นพืชที่มีลักษณะการปกคลุมพื้นที่ของใบจากการแตกกิ่งและแผ่ขยายของทรงพุ่ม ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตในรูปแบบของการครอบคลุมพื้นที่ (คณะกรรมการจัดทำอนุกรมวิธานพืช, 2538; คณะกรรมการฝ่ายหาทุนมูลนิธิสวนหลวง ร.9, 2539; เอี่ยมพร และคณะ, 2551) นอกจากนี้ลักษณะทรงพุ่มที่แผ่ขยายยังช่วยให้พืชสามารถดูดซับรังสีดวงอาทิตย์เพื่อนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสง (พาสินี และคณะ, 2550) ได้มากกว่าพืชชนิดอื่น ทำให้มีลักษณะการแผ่กระจายทรงพุ่มเพิ่มสูงขึ้น จึงเป็นผลให้มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์สูงกว่าพืชชนิดอื่น ขณะที่เศรษฐีเรือนนอก แม้จะเป็นพืชที่ไม่ต้องการแสงแดดเต็มวัน แต่ลักษณะใบที่เป็นมัน อาจทำให้มีการสูญเสียน้ำเกิดขึ้นได้น้อยกว่า และรากที่มีลักษณะเป็นปมเพื่อเก็บสะสมน้ำและอาหาร ทำให้มีแหล่งอาหารสำรองสำหรับต้นพืช รวมถึงมีอัตราการเจริญเติบโตตั้งแต่ปานกลางไปถึงเร็ว และมีลักษณะใบแตกขึ้นเป็นพุ่มเวียนสลับแน่นรอบต้น จึงทำให้เกิดการแผ่ขยายทรงพุ่มและครอบคลุมพื้นที่ได้มาก (คณะกรรมการจัดทำอนุกรมวิธานพืช, 2538; เอี่ยมพร และคณะ, 2551) ส่งผลให้มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์สูงเป็นอันดับ 2

ส่วนว่านหางจระเข้และเศรษฐีพันล้านนั้น เนื่องจากเป็นพืชอวบน้ำ จึงทำให้มีความสามารถในการปรับตัวได้ดี (Derek, 2007; Dunnett and Kingsbury, 2004; Huxley *et al.*, 1992; White and Snodgrass, 2003) โดยสามารถปรับตัวให้ใช้น้ำน้อย และกักเก็บน้ำไว้ได้มาก ทั้งยังตั้งตัว และแพร่พันธุ์ได้รวดเร็ว (Teeri *et al.*, 1986; Gravatt and Martin, 1992; Lee and Kim, 1994; Sayed *et al.*, 1994; Kluge, 1997; Gravatt, 2003) ซึ่งว่านหางจระเข้แม้จะมีลักษณะใบเป็นใบเดี่ยว แต่มีขนาดหนาอวบ และเรียงเวียนรอบต้น จึงช่วยมีขนาดทรงพุ่มใหญ่ขึ้น ประกอบกับการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลถึงการครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น และทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์สูง ส่วนกาบหอยแครงแคะ ลั่นมังกะ และผักเป็ดแดง ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ต่ำกว่าพืชชนิดอื่นๆ นั้น อาจเนื่องจากพืชทั้ง 3 ชนิดนั้น มีลักษณะใบเรียงเป็นวงรอบและซ้อนเหลื่อมกันเป็นกระจุกมากกว่าการแผ่กระจาย จึงมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่า โดยเฉพาะลั่นมังกะแคะนั้น มีอัตราการเจริญเติบโตที่ช้าอยู่แล้ว (Derek, 2007; Huxley *et al.*, 1992) และผักเป็ดแดง ที่ต้องการแสงแดดเพียงครึ่งวัน แต่ได้รับเต็มวัน ซึ่งในบางช่วงของการทดลองนั้น ใบของผักเป็ดแดงมีลักษณะที่เล็กลง และปลายใบห่อ รวมถึงความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่ไม่ดีพอด้วย (คณะกรรมการสำนักพิมพ์บ้านและสวน, 2540, 2543; Huxley *et al.*, 1992) ซึ่งอาจเป็น

เหตุผลหนึ่งที่ทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลงกว่าปกติ ส่งผลให้มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ที่น้อยกว่าพืชชนิดอื่นๆ ทั้งนี้มีการนำพันธุ์พืชที่มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์สูงทดสอบกับวัสดุปลูกเพื่อหาความเหมาะสมต่อไป

การทดลองที่ 2 การคัดเลือกวัสดุปลูกและพันธุ์พืชที่เหมาะสมสำหรับปลูกบนหลังคา

จากการคัดเลือกวัสดุธรรมชาติที่หาได้ง่ายและมีอยู่ในท้องถิ่น 3 ชนิด คือ ขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ และเถาแกลบ มาเป็นวัสดุปลูกสำหรับการทดลองนี้ 4 ชนิด คือ ขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ เถาแกลบ และวัสดุผสม (ขุยมะพร้าว:มะพร้าวสับ:เถาแกลบ อัตราส่วน 1:1:1) โดยพบว่าวัสดุปลูกแต่ละชนิด มีลักษณะทางกายภาพเบื้องต้น คือ ขุยมะพร้าว มีลักษณะเป็นผง มีเส้นใยปน ผิวสัมผัสละเอียดมาก น้ำหนักเบา มีสีแดงปนน้ำตาล มะพร้าวสับ มีขนาดปานกลาง ยาวประมาณ 1.5 นิ้ว ผิวสัมผัสหยาบ น้ำหนักเบามาก สีแดงถึงแดงเข้ม และมีเส้นใยมะพร้าวปนอยู่บ้าง เถาแกลบ ลักษณะเป็นผงละเอียดสีดำ มีเกล็ดปนอยู่น้อยมาก และวัสดุผสม (ขุยมะพร้าว:มะพร้าวสับ:เถาแกลบ อัตราส่วน 1:1:1) ผิวสัมผัสค่อนข้างหยาบ มีสีน้ำตาลค่อนข้างคล้ำ ลักษณะโปร่งและร่วนซุย (ภาพที่ 6)



ขุยมะพร้าว

มะพร้าวสับ

เถาแกลบ

วัสดุผสม

ภาพที่ 6 ลักษณะทางกายภาพของ ขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ เถาแกลบ และวัสดุผสม (ขุยมะพร้าว:มะพร้าวสับ:เถาแกลบ อัตราส่วน 1:1:1)

2.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุปลูก

คุณสมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วย

1. ความหนาแน่นรวม (Bulk density: ρ)

การเปรียบเทียบวัสดุปลูกทั้ง 4 ชนิด พบว่า ถ้ำเกลบมีความหนาแน่นรวม 1.82 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร สูงกว่าวัสดุผสม ขุยมะพร้าว และมะพร้าวสับ ที่มีความหนาแน่นรวม 0.81 0.49 และ 0.31 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ โดยแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตารางที่ 3)

2. ความพรุนช่องบรรจุอากาศ (Air-filled porosity, E_a)

จากผลการทดลอง พบว่า ขุยมะพร้าวและถ้ำเกลบ มีค่าความพรุนช่องบรรจุอากาศ 20.59 และ 22.81 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่แตกต่างกับวัสดุผสม และมะพร้าวสับ ซึ่งมีค่าความพรุนช่องบรรจุอากาศ 39.14 และ 50.00 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

3. ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water-filled porosity, E_w)

ความสามารถในการอุ้มน้ำของมะพร้าวสับ มีค่าเท่ากับ 26.97 เปอร์เซนต์ ต่ำกว่าวัสดุผสม ถ้ำเกลบ และขุยมะพร้าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ทั้งนี้ วัสดุผสม ถ้ำเกลบ และขุยมะพร้าว มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ เท่ากับ 46.93 45.00 และ 42.75 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 3)

คุณสมบัติทางเคมี

1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

การเปรียบเทียบค่า pH ของวัสดุปลูกทั้ง 4 ชนิด ก่อนการทดลอง พบว่าวัสดุผสม มีค่า

pH เท่ากับ 7.42 สูงกว่ามะพร้าวสับ ขุยมะพร้าว และเถ้านเกลบ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ มะพร้าวสับ และขุยมะพร้าว มีค่า pH 5.83 และ 5.80 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนเถ้านเกลบ มีค่า pH 5.43 น้อยกว่ามะพร้าวสับ และขุยมะพร้าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3)

2. ค่าการนำไฟฟ้า (EC)

การเปรียบเทียบค่า EC ของวัสดุปลูกทั้ง 4 ชนิด พบว่า มะพร้าวสับ วัดค่า EC ได้ 0.21 เดซิซิเมนส์/เมตร ต่ำกว่าวัสดุผสม ขุยมะพร้าว และเถ้านเกลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วัสดุผสม มีค่า EC เท่ากับ 0.48 เดซิซิเมนส์/เมตร สูงกว่าขุยมะพร้าว และเถ้านเกลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขุยมะพร้าว และเถ้านเกลบ มีค่า EC ได้ 1.14 และ 1.19 เดซิซิเมนส์/เมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 3)

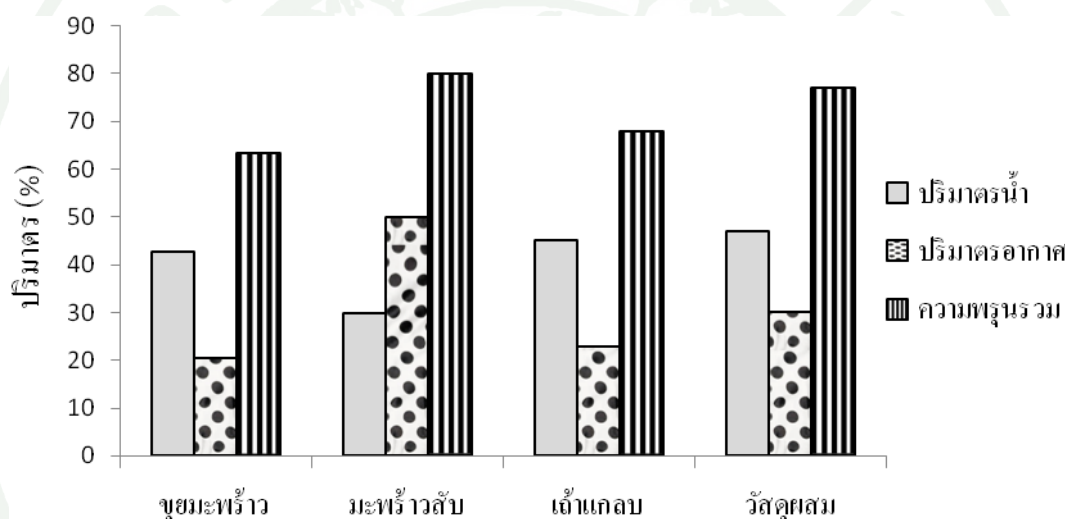
ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของวัสดุปลูกที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุปลูก	คุณสมบัติทางกายภาพ			คุณสมบัติทางเคมี	
	ความหนาแน่นรวม (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ความพรุนช่องบรรจุอากาศ (เปอร์เซ็นต์)	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (เปอร์เซ็นต์)	pH (1:10)	EC (เดซิซิเมนส์/เมตร)
ขุยมะพร้าว	0.49 c ^{1/}	20.59 c ^{1/}	42.75 a ^{1/}	5.80 b ^{1/}	1.14 a ^{1/}
มะพร้าวสับ	0.31 d	50.00 a	26.97 b	5.83 b	0.21 c
เถ้าแกลบ	1.82 a	22.81 c	45.00 a	5.43 c	1.19 a
วัสดุผสม	0.81 b	30.14 b	46.93 a	7.42 a	0.48 b
F-test	*	*	*	*	*
CV (%)	5.40	2.96	2.71	2.11	3.24

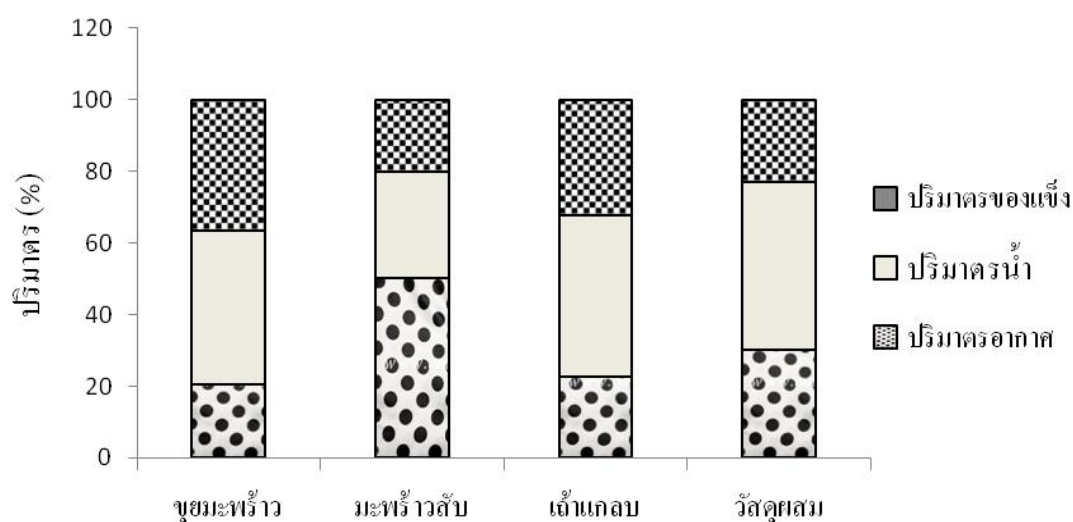
หมายเหตุ * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
โดยวิธี DMRT

ผลรวมของความพรุนช่องบรรจุอากาศกับความสามารถในการอุ้มน้ำ สามารถบอกความพรุนรวม (Total porosity) ของวัสดุชนิดนั้นๆ เป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรได้ (ภาพที่ 7) ซึ่งมะพร้าวสับ แม้จะมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ แต่ความพรุนช่องบรรจุอากาศสูงกว่าวัสดุปลูกชนิดอื่นๆ มาก ทำให้มีความพรุนรวมมากที่สุด มากกว่าวัสดุผสม ถ้ำแกลบ และขุยมะพร้าวตามลำดับ นอกจากนี้ ความพรุนรวมยังบอกให้ทราบว่า ปริมาตรวัสดุแห้งรวมเท่ากับ 1 หน่วย นั้น มีปริมาตรของแข็งสัดส่วนเท่าใด (ภาพที่ 8) โดยพบว่าขุยมะพร้าว เป็นวัสดุที่มีปริมาตรของแข็งมากที่สุด มากกว่าถ้ำแกลบ วัสดุผสม และมะพร้าวสับ ตามลำดับ



ภาพที่ 7 คุณสมบัติ ปริมาตรอากาศ ปริมาตรน้ำ และความพรุนรวมของวัสดุปลูกชนิดต่างๆ



ภาพที่ 8 สัดส่วนโดยปริมาตรของส่วนประกอบของวัสดุปลูกชนิดต่างๆ

การทดสอบความหนาแน่นรวม ความพรุนช่องบรรจุอากาศ และความสามารถในการอุ้มน้ำของวัสดุปลูกทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ ถั่วแกลบ และวัสดุผสม (ขุยมะพร้าว: มะพร้าวสับ:ถั่วแกลบ 1:1:1) พบว่าแต่ละชนิดมีค่าความหนาแน่นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3) ซึ่งมะพร้าวสับมีความหนาแน่นน้อยที่สุด 0.49 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร แต่ใกล้เคียงกับขุยมะพร้าว 0.31 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนถั่วแกลบมีความหนาแน่นมากที่สุดคือ 1.81 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าขุยมะพร้าวและมะพร้าวสับเกือบ 4 เท่า และเป็นที่น่าสังเกตว่า วัสดุผสม ซึ่งเป็นส่วนผสมของขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ และถั่วแกลบ (1:1:1) มีความหนาแน่นสูงกว่าขุยมะพร้าวและมะพร้าวสับ แต่ต่ำกว่าถั่วแกลบ อาจเนื่องมาจากมะพร้าวและมะพร้าวสับ มีลักษณะทางกายภาพที่โปร่ง โดยเฉพาะมะพร้าวสับซึ่งมีขนาดใหญ่ เมื่อมีการผสมวัสดุที่มีขนาดต่างๆ กัน ทำให้มีการจัดเรียงตัวของวัสดุขนาดเล็กอย่างถั่วแกลบ ที่แทรกตามช่องว่างขนาดใหญ่ของวัสดุผสมอื่น จึงให้ผลความหนาแน่นของวัสดุผสมนั้น สูงกว่าขุยมะพร้าวและมะพร้าวสับ แต่ต่ำกว่าถั่วแกลบ ซึ่งความหนาแน่นของวัสดุที่จะนำมาใช้ในการปลูกพืช ควรมีค่า 0.15-1.3 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (วิทยา, 2528) ซึ่งมีเพียงถั่วแกลบ ที่มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าช่วงที่เหมาะสม

เช่นเดียวกับปริมาตรอากาศของวัสดุปลูกที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือปริมาตรอากาศของวัสดุปลูกเพิ่มมากขึ้นตามขนาดของวัสดุปลูก จึงมีผลให้เป็นช่องที่มีขนาด

ใหญ่พอเพียงสำหรับการระบายอากาศ ในทางตรงกันข้ามวัสดุที่มีขนาดเล็ก ทำให้เกิดช่องว่างขนาดเล็กระหว่างตัววัสดุปลูกพอที่จะอุ้มน้ำได้ดี ขุยมะพร้าวและเถาแกลบซึ่งเป็นวัสดุที่มีขนาดเล็ก จึงมีความพรุนช่องบรรจุอากาศเพียง 20.59 และ 22.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เปรียบเทียบกับมะพร้าวสับซึ่งมีขนาดใหญ่ และมีความหนาแน่นน้อยที่สุด ซึ่งมีความพรุนช่องบรรจุอากาศมากที่สุดถึง 50 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือวัสดุผสมที่มีค่าความพรุนช่องบรรจุอากาศ 30.14 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการทดลองของพิชามญช์ (2543) ที่กล่าวว่า การเพิ่มสัดส่วนของเปลือกมะพร้าวสับในวัสดุปลูก ทำให้ความหนาแน่นรวม และเปอร์เซ็นต์ช่องว่างขนาดเล็กต่อปริมาตรลดลง และเปอร์เซ็นต์ช่องว่างขนาดใหญ่ต่อปริมาตรเพิ่มขึ้น จากค่าปริมาตรอากาศของวัสดุปลูกที่เหมาะสมควรมีค่า 10-20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (วิทยา, 2531; Criley and Watanabe, 1974; Nelson, 1991) พบว่าขุยมะพร้าวและเถาแกลบ มีค่าปริมาตรอากาศใกล้เคียงระดับที่กำหนด ส่วนมะพร้าวสับและวัสดุผสม มีค่าปริมาตรอากาศสูงกว่าระดับที่เหมาะสม ดังนั้นหากต้องการลดค่าปริมาตรอากาศนี้ สามารถทำได้โดยใช้วัสดุที่มีขนาดเล็กอย่างขุยมะพร้าว และเถาแกลบ ผสมในสัดส่วนปริมาตรมากขึ้น ทั้งนี้ค่าปริมาตรอากาศที่ลดลงสามารถเพิ่มคุณสมบัติการอุ้มน้ำของวัสดุปลูกให้สูงขึ้นได้ด้วย

คุณสมบัติการอุ้มน้ำของวัสดุปลูกจะเป็นค่าที่ผันกลับกับค่าปริมาตรอากาศ กล่าวคือวัสดุปลูกที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงจะมีค่าปริมาตรอากาศลดลงด้วยเช่นกัน คุณสมบัติการอุ้มน้ำของวัสดุปลูกมีความสัมพันธ์กับขนาดของวัสดุปลูก ซึ่งวัสดุขนาดเล็กจะมีผลต่อการเกิดช่องว่างขนาดเล็กกว่าวัสดุขนาดใหญ่ ช่องว่างขนาดเล็กนี้ทำหน้าที่อุ้มน้ำได้ดีกว่าช่องว่างขนาดใหญ่ (วิทยา, 2531; Brown and Pokorny, 1975; Nelson, 1991) วัสดุปลูกที่ทดสอบมีคุณสมบัติการอุ้มน้ำแตกต่างกัน โดยขุยมะพร้าวและเถาแกลบซึ่งมีขนาดเล็ก มีการอุ้มน้ำได้ 42.75 และ 45.00 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ สูงกว่ามะพร้าวสับซึ่งมีขนาดใหญ่ อุ้มน้ำได้เพียง 26.97 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับวัสดุผสม ที่แม้จะมีมะพร้าวสับผสมอยู่ 1 ส่วน แต่ด้วยมีขุยมะพร้าว และเถาแกลบซึ่งอุ้มน้ำได้สูงผสมอยู่ ทำให้สามารถอุ้มน้ำได้ 46.93 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่ามะพร้าวสับ

การอุ้มน้ำที่เป็นประโยชน์ควรมีค่าสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ขณะเดียวกันจะต้องมีช่องว่างอากาศและความหนาแน่นของวัสดุที่เพียงพอด้วย การอุ้มน้ำของวัสดุปลูกเพิ่มมากขึ้นเมื่อขนาดของภาชนะปลูกเล็กลง และความสูงของภาชนะลดลง โดยวัสดุปลูกที่ดีนั้นควรมีค่าการอุ้มน้ำและปริมาตรอากาศสูง สามารถใช้กับภาชนะได้หลายขนาด ความสามารถในการอุ้มน้ำของวัสดุปลูกที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 30-60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (Criley and Watanabe, 1974) โดยเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำของวัสดุชนิดต่างๆ ที่นำมาทดสอบ พบว่าสัมพันธ์กับขนาดของวัสดุ การใช้

วัสดุขนาดเล็กมากขึ้นทำให้คุณสมบัติการอุ้มน้ำของวัสดุปลูกเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการปรับหรือแก้ไขวัสดุปลูกเพื่อให้มีการอุ้มน้ำมากขึ้น วิธีหนึ่งคือการใช้หรือเพิ่มสัดส่วนวัสดุที่มีขนาดเล็ก เมื่อพิจารณาการอุ้มน้ำของวัสดุแต่ละชนิดแล้ว พบว่ามะพร้าวสับ มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้น้อย การแก้ไขหรือปรับปรุงปัญหานี้ สามารถใช้มะพร้าวสับที่มีขนาดเล็กกว่าที่ใช้ในการทดลอง หรือการผสมวัสดุที่มีขนาดเล็กอื่นๆ แต่สำหรับสวนบนหลังคาแล้ว การใช้หรือเพิ่มวัสดุขนาดเล็กเพื่อให้วัสดุปลูกมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงขึ้น ต้องพิจารณาเรื่องน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นด้วย (Scrivens, 1990)

น้ำหนักของวัสดุปลูกที่เหมาะสมสำหรับสวนบนหลังคานั้น มีความสัมพันธ์กับความพรุนรวมของวัสดุปลูก ซึ่งเป็นช่องว่างอากาศและช่องว่างที่อุ้มน้ำไว้ได้ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (ภาพที่ 7) มะพร้าวสับมีค่าความพรุนรวมสูงสุด ส่วนขุยมะพร้าวมีค่าความพรุนรวมน้อยที่สุด ตามด้วยเถาเกลบ ส่วนวัสดุผสมมีค่าความพรุนรวมน้อยกว่ามะพร้าวสับ แต่สูงกว่าขุยมะพร้าวและเถาเกลบ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าวัสดุขนาดต่างกันเมื่อมาผสมกันแล้ว มีการจัดเรียงตัวของวัสดุขนาดต่างกันตามช่องว่างระหว่างวัสดุ เป็นผลให้ช่องว่างโดยรวมทั้งหมดเปลี่ยนแปลงไป จึงมีผลให้ความพรุนรวมของวัสดุผสมมีค่าต่างออกไป อย่างไรก็ตามวัสดุปลูกที่มีขนาดใหญ่มีแนวโน้มได้ค่าความพรุนรวมสูงกว่า ซึ่งหากวัสดุมีความพรุนรวมมาก ก็จะส่งผลให้สัดส่วนปริมาตรของแข็งน้อยลง (ภาพที่ 8) และมีน้ำหนักเบาลง ทั้งนี้วัสดุปลูกจะต้องมีความพรุนเพียงพอการกระจายของอนุภาควัสดุปลูกสม่ำเสมอ และมีปริมาตรและน้ำหนักเหมาะสม พร้อมกับมีคุณสมบัติทางเคมีที่ปราศจากอันตรายต่อพืช (Lemaire, 1995)

ส่วนคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูก (ตารางที่ 3) ค่า pH ของวัสดุปลูกที่เหมาะสมสำหรับพืชที่ปลูกในภาชนะอยู่ระหว่าง 5.5-6.5 (วิทยา, 2523; Criley and Watanabe, 1974) พบว่า มีเพียงขุยมะพร้าวและมะพร้าวสับ ที่มีค่า pH อยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือ 5.80 และ 5.83 ตามลำดับ ทั้งนี้ค่า pH ไม่ได้มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง แต่จะมีผลทางอ้อมในด้านความสามารถในการละลายได้ของธาตุอาหารต่างๆ (สันต์, 2551) ส่วนค่า EC ของวัสดุปลูกนั้น พบว่าเถาเกลบและขุยมะพร้าวมีค่า EC สูงกว่าวัสดุผสมและมะพร้าวสับ ซึ่งอาจจะทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในวัสดุปลูกลดลง (สันต์, 2551) ซึ่งต้องมีการทดสอบกับพืชต่อไป

2.2 การทดสอบวัสดุปลูกร่วมกับพืช

สภาพภูมิอากาศในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ของช่วงที่ดำเนินการทดสอบตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ ถึง 27 มิถุนายน 2556 มีอุณหภูมิเฉลี่ย 35.48 องศาเซลเซียส และมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 94 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำหลวได้หวั่น เศรษฐีเรือนนอก เทียนทอง วานหางจระเข้ และเศรษฐีพันล้านที่มีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์สูงจากการทดลองที่ 1 ปลูกในกระบะร่วมกับวัสดุปลูกแต่ละชนิด ได้แก่ ขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ ถั่วแกลบ และวัสดุผสม (ขุยมะพร้าว:มะพร้าวสับ:ถั่วแกลบ อัตราส่วน 1:1:1) ชนิดละ 4 ซ้ำ (ตารางที่ 4) พบว่าเทียนทองและเศรษฐีเรือนนอก มีดัชนีการเจริญเติบโตเฉลี่ยลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยเศรษฐีเรือนนอกไม่สามารถอยู่รอดได้ในวัสดุปลูกทุกชนิด หลังจากสัปดาห์ที่ 3 (ภาพที่ 10 และ 11) แต่หลวได้หวั่น และวานหางจระเข้ มีดัชนีการเจริญเติบโตเฉลี่ยเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 9 และ 12) ส่วนเศรษฐีพันล้านแม้มีค่าดัชนีการเจริญเติบโตเฉลี่ยลดลงเมื่อเทียบกับสัปดาห์แรก แต่ก็ไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งยังสามารถอยู่รอด และแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็ว (ภาพที่ 13)

ตารางที่ 4 ดัชนีการเจริญเติบโตของหลวได้หวั่น เศรษฐีเรือนนอก เทียนทอง วานหางจระเข้ และเศรษฐีพันล้าน เฉลี่ยรวมทุกวัสดุปลูก (ขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ ถั่วแกลบ และวัสดุผสม (ขุยมะพร้าว:มะพร้าวสับ:ถั่วแกลบ อัตราส่วน 1:1:1) ในแต่ละสัปดาห์ บนคาดฟ้าอาคารนาน 21 สัปดาห์

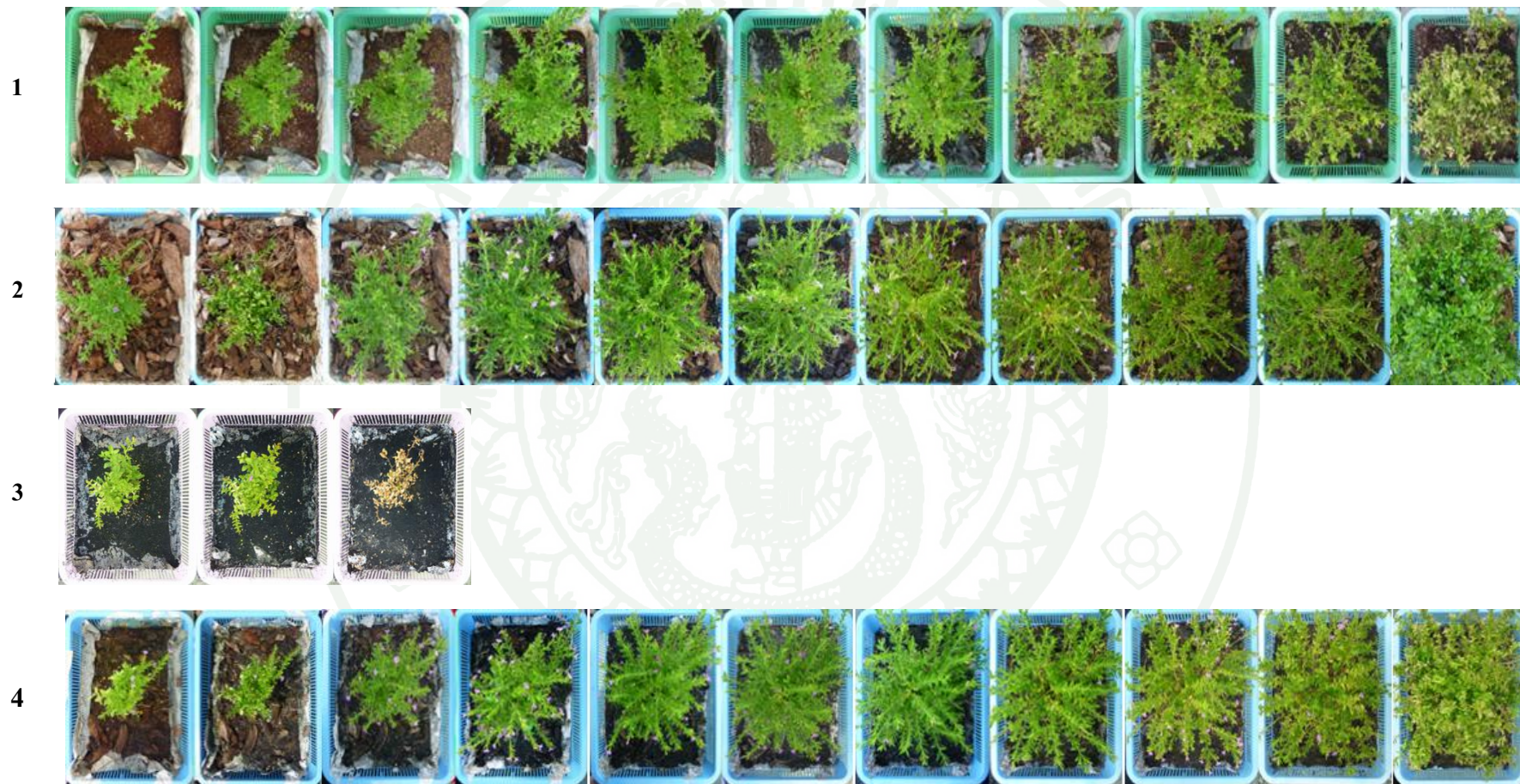
สัปดาห์ที่	ดัชนีการเจริญเติบโต				
	หลวได้หวั่น	เศรษฐีเรือนนอก	เทียนทอง	วานหางจระเข้	เศรษฐีพันล้าน
1	13.73 d ^{1/}	20.66 a ^{1/}	19.47 a ^{1/}	13.24 e ^{1/}	11.51 abc ^{1/}
2	14.62 cd	17.03 b	19.35 a	14.59 de	11.76 abc
3	14.61 cd	16.19 b	18.62 a	14.60 de	12.00 abc
4	15.03 cd	-	17.78 ab	15.88 cde	11.62 abc
5	15.66 bcd	-	15.63 ab	15.82 cde	11.90 abc
6	15.99 abcd	-	13.74 abc	14.88 de	11.90 abc
7	16.16 abcd	-	11.76 bc	16.70 bcde	12.23 a
8	16.55 abc	-	8.96 cd	16.17 cde	12.31 a

ตารางที่ 4 (ต่อ)

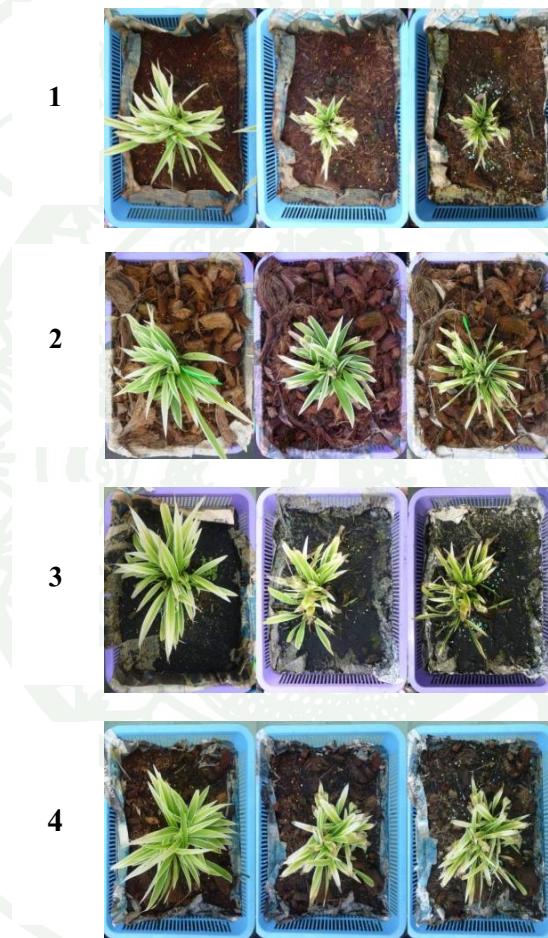
สัปดาห์ที่	ดัชนีการเจริญเติบโต				
	หัวใจโตห้วน	เศรษฐกิจเรือนนอก	เทียนทอง	ว่านหางจระเข้	เศรษฐกิจพันล้าน
9	16.56 abc	-	7.33 cd	16.93 abcd	12.36 a
10	18.09 ab	-	4.46 d	16.95 abcd	12.04 ab
11	18.58 a	-	3.01 d	18.09 abcd	11.39 abc
12	18.58 a	-	2.96 d	19.20 abc	11.28 abc
13	18.49 a	-	3.04 d	18.89 abc	10.74 abc
14	17.77 ab	-	2.86 d	19.10 abc	10.38 abc
15	18.14 ab	-	2.83 d	18.94 abc	10.38 abc
16	18.10 ab	-	2.88 d	19.38 abc	9.96 abc
17	18.70 a	-	3.01 d	20.06 ab	9.80 bc
18	17.71 ab	-	2.97 d	19.90 ab	9.79 bc
19	18.25 ab	-	2.94 d	20.07 ab	9.59 c
20	18.61 a	-	2.98 d	19.40 abc	10.60 abc
21	18.77 a	-	2.96 d	20.528 a	10.53 abc
F-test	*	-	*	*	*
CV (%)	16.74	-	29.28	21.19	21.98

หมายเหตุ * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

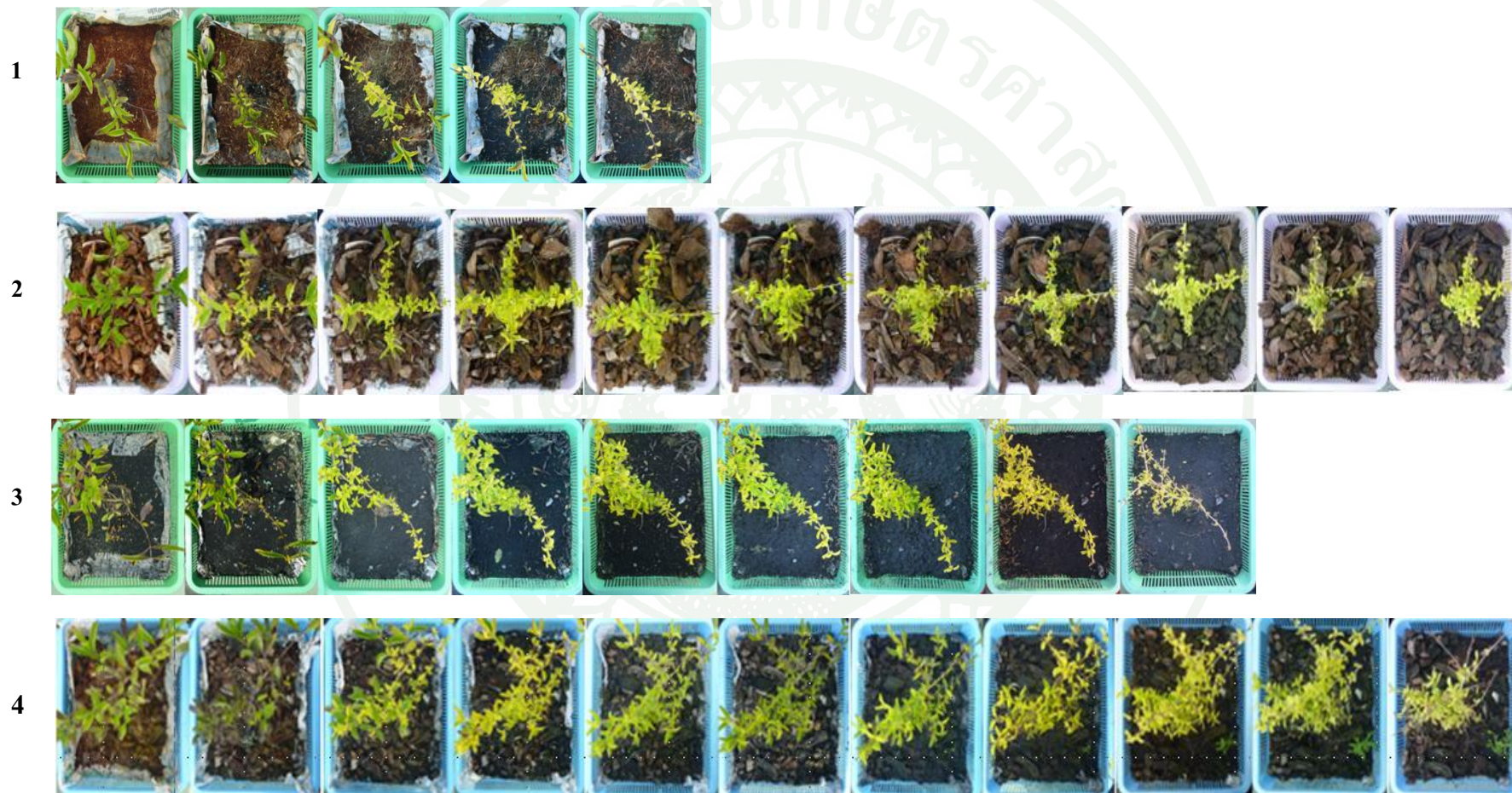
^{1/} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์ที่กำกับด้วยอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT



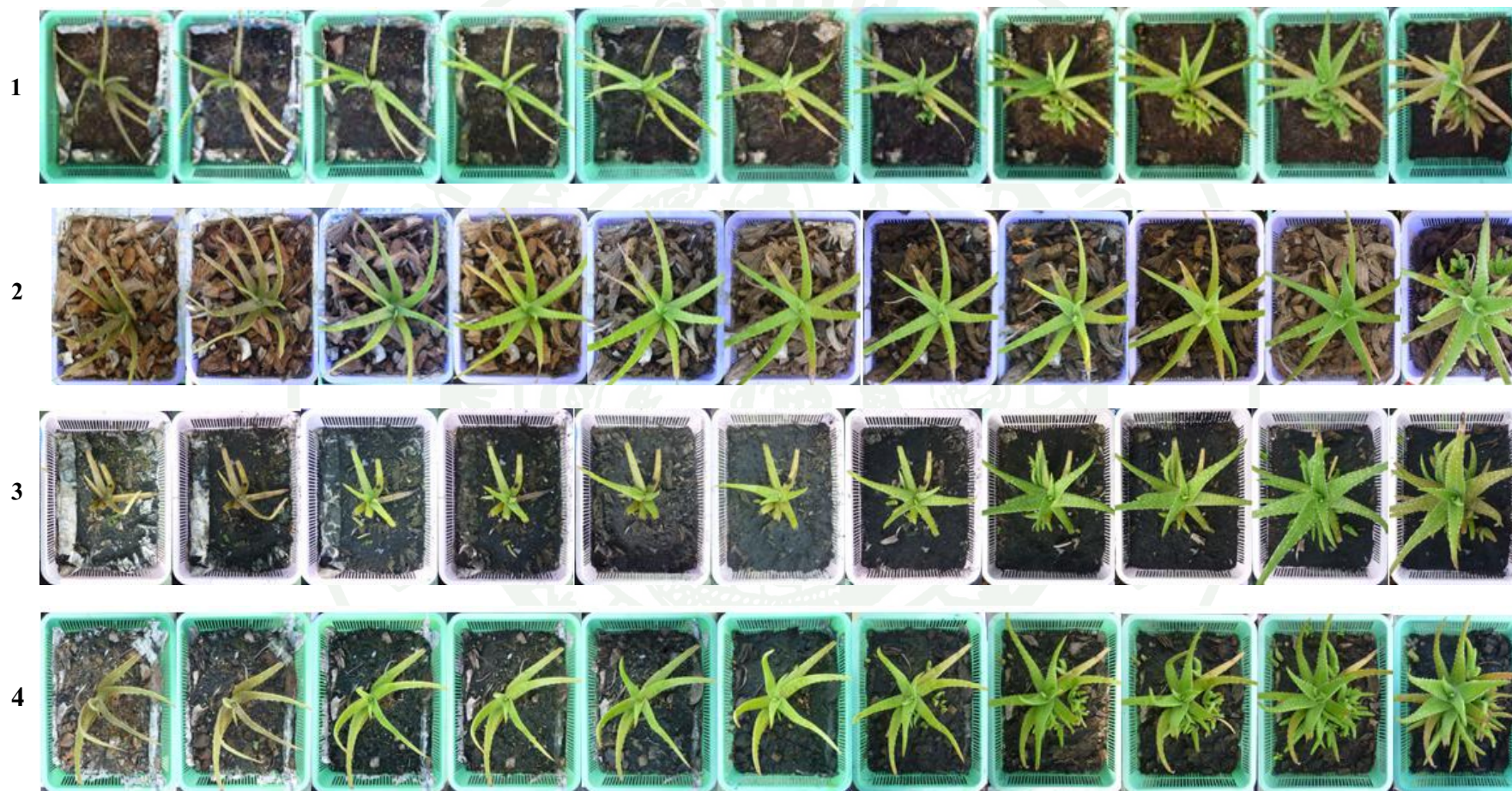
ภาพที่ 9 ลักษณะการเจริญเติบโตของหลิไต้หวันในขุยมะพร้าว (แถวที่ 1) มะพร้าวสับ (แถวที่ 2) ถ้ำกลบ (แถวที่ 3) และวัสดุผสม (แถวที่ 4) ที่อายุ 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19 และ 21 สัปดาห์



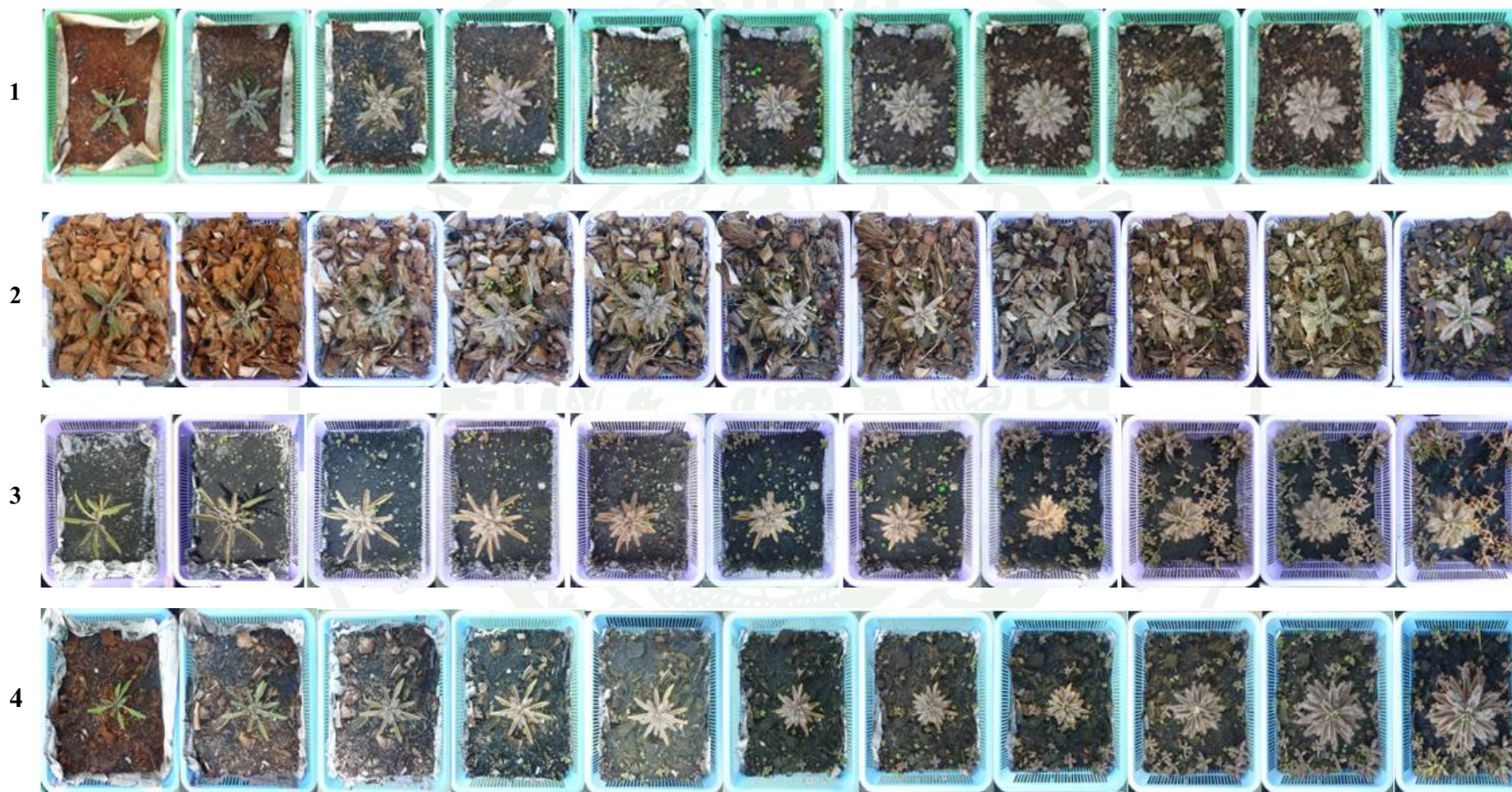
ภาพที่ 10 ลักษณะการเจริญเติบโตของเสริมฐีเรือนนอกในขุยมะพร้าว (แถวที่ 1) มะพร้าวสับ (แถวที่ 2) ถ้ำกลบ (แถวที่ 3) และวัสดุผสม (แถวที่ 4) ที่อายุ 1, 2 และ 3 สัปดาห์



ภาพที่ 11 ลักษณะการเจริญเติบโตของเทียนทองในขุยมะพร้าว (แถวที่ 1) มะพร้าวสับ (แถวที่ 2) ถ้ำแกลบ (แถวที่ 3) และวัสดุผสม (แถวที่ 4) ที่อายุ 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19 และ 21 สัปดาห์



ภาพที่ 12 ลักษณะการเจริญเติบโตของว่านหางจระเข้ในขุยมะพร้าว (แถวที่ 1) มะพร้าวสับ (แถวที่ 2) ถั่วแกลบ (แถวที่ 3) และวัสดุผสม (แถวที่ 4) ที่อายุ 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19 และ 21 สัปดาห์



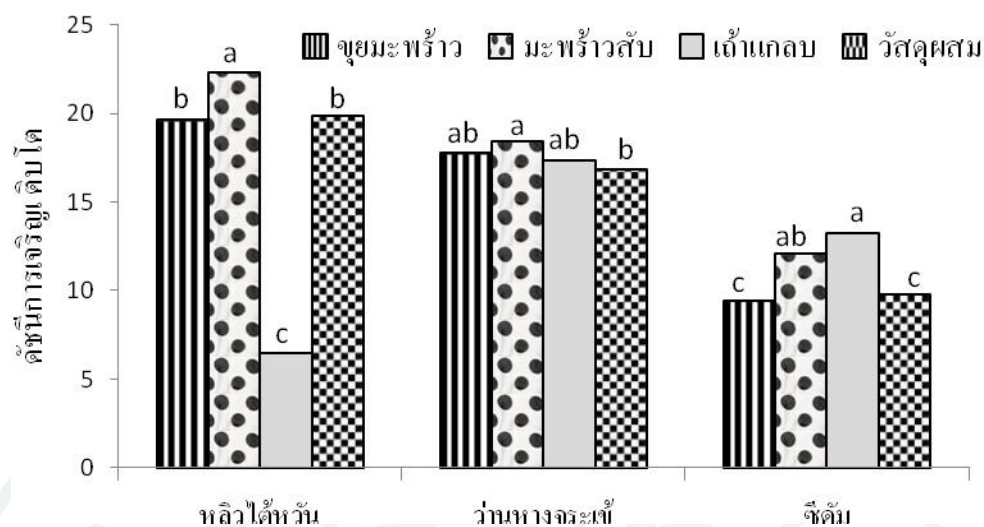
ภาพที่ 13 ลักษณะการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจพืชพันธุ์ในขุยมะพร้าว (แถวที่ 1) มะพร้าวสับ (แถวที่ 2) ถั่วแกลบ (แถวที่ 3) และวัสดุผสม (แถวที่ 4) ที่อายุ 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19 และ 21 สัปดาห์

การทดสอบพันธุ์พืชร่วมกับวัสดุปลูกในสภาพแวดล้อมบนดาดฟ้าอาคารนั้น มีหลายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการอยู่รอดของพืช ซึ่งนอกจากชนิดพืช และสภาพแวดล้อมที่เป็นปัจจัยควบคุมการอยู่รอดแล้ว วัสดุปลูกจัดเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมาก (Lemaire, 1995) การที่เศรษฐกิจเรือนนอกและเถียนทองมีการเจริญเติบโตที่ลดลงนั้น อาจเป็นผลมาจากหลายสาเหตุ โดยเฉพาะสภาพแวดล้อม ซึ่งดาดฟ้าอาคารเป็นสถานที่ๆ มีอุณหภูมิสูง ลมพัดแรง และสภาพอากาศผันแปรได้ตลอดเวลา จึงอาจไม่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโต โดยเมื่อเทียบกับการทดลองที่ 1 ในสภาพแปลง ที่มีความผันแปรของสภาพอากาศน้อยกว่า รวมถึงเศรษฐกิจเรือนนอกและเถียนทองเป็นพืชที่ต้องการการดูแลรักษาระดับปานกลาง (คณะกรรมการจัดทำอนุกรมวิธานพืช, 2538; เอี่ยมพร และคณะ, 2551) (ตารางที่ 1) ในขณะที่ extensive green roof ต้องการพืชที่ดูแลน้อย หรือแทบไม่มีการดูแลและให้น้ำเลย (Kristin and Rowe, 2006; White and Snodgrass, 2003) และอุณหภูมิของช่วงเวลาที่ทดสอบบนดาดฟ้าสูงกว่าช่วงเวลาการทดสอบในสภาพแปลง 2.15 องศาเซลเซียส ซึ่งนอกจากจะกระทบต่อพืชโดยตรงแล้ว ยังสามารถส่งผลถึงวัสดุปลูก ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชด้วย ทั้งเศรษฐกิจเรือนนอกและเถียนทองเป็นพืชที่ต้องการน้ำสม่ำเสมอ ความชื้นปานกลาง แต่สภาพการปลูกบนดาดฟ้ามีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ประกอบกับการให้น้ำเพียงสัปดาห์ละ 2 ครั้ง และชั้นวัสดุที่บางเพียง 10 เซนติเมตร อาจทำให้วัสดุปลูกสามารถเก็บกักความชื้นได้น้อย และมีการระเหยน้ำออกจากวัสดุปลูกได้ง่าย (Dunnett and Nolan, 2004; VanWoert *et al.*, 2005b) ส่งผลให้พืชเกิดสภาวะขาดน้ำได้ รวมถึงเถียนทองเป็นพืชประเภทไม้พุ่ม ที่มีระบบรากลึกกว่าไม้คลุมดิน เป็นเหตุให้ระบบรากถูกทำลายจากสภาพอุณหภูมิของวัสดุปลูกที่บาง (Boivin *et al.*, 2001) ส่งผลให้การเจริญเติบโตของเถียนทองลดลง โดยทั่วไปแล้ว รากพืชจะเป็นส่วนที่ไวต่อสภาวะเครียดและไม่สามารถทนอุณหภูมิที่หนาวหรือร้อนจัดได้ (Wu *et al.*, 2000) เช่นเดียวกับรายงานของ Durhman *et al.* (2004) ที่ได้แสดงให้เห็นซึ่งวัสดุปลูกที่มีชั้นหนากว่าจะสามารถอุ้มน้ำไว้ได้มากและนานกว่า ส่งผลให้พืชไม่ขาดน้ำ และยังช่วยป้องกันปัญหาจากอุณหภูมิของวัสดุปลูกที่ผันแปรเนื่องจากสภาพภูมิอากาศที่แปรปรวนอีกด้วย ทำให้พืชมีโอกาสอยู่รอดได้มากกว่า ดังนั้นความลึกของวัสดุปลูกจึงเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (GÓmez-Campo, 1994; GÓmez-Campo and GÓmez-Tortosa, 1996)

นอกจากสภาพแวดล้อมและวัสดุปลูกที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจเรือนนอกและเถียนทองแล้ว การใส่ปุ๋ย สูตร 15-15-15 จำนวน 15 กรัม/ต้น อาจเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้เศรษฐกิจเรือนนอกไม่สามารถอยู่รอดได้ ขณะอยู่ในสภาพขาดน้ำของสวนบนหลังคา ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Rowe *et al.* (2006) ถึงผลของธาตุอาหารต่อการเติบโตของพืช ที่พบว่า *Aster laevis*

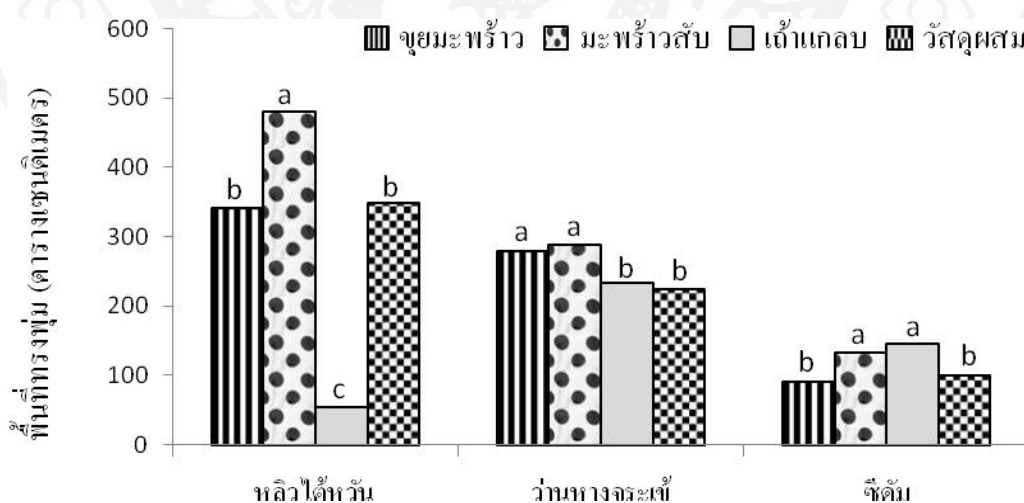
L., *Koeleria macrantha* Regel และ *Solidago speciosa* L. ที่ปลูกบนหลังคาในสภาพขาดน้ำ และได้รับปุ๋ย มีชีวิตอยู่รอดได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับที่ไม่ใส่ปุ๋ย ซึ่งเป็นไปได้ว่าการใส่ปุ๋ยทำให้พืชมีชีวมวลมากขึ้น โดยในสภาพแห้งแล้งพืชที่มีชีวมวลน้อยกว่าจะสามารถอยู่รอดได้นานกว่า ซึ่งการเติมปุ๋ยในวัสดุปลูก สามารถเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้มากขึ้นได้ ช่วยส่งเสริมให้ต้นไม้มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นกว่าปกติอย่างแน่นอน แต่หากพืชนั้นอยู่ภายใต้สภาวะเครียดจากการขาดน้ำ เช่นเดียวกับพืชของสวนบนหลังคา ชีวมวลที่เพิ่มขึ้นของพืช จะส่งผลให้การอยู่รอดของพืชมีน้อยลง (Kristin and Rowe, 2006)

จากคำดัชนีการเจริญเติบโตเฉลี่ยของพืชทั้ง 5 ชนิด ตลอดระยะเวลา 21 สัปดาห์ (5 เดือน) ทำให้ทราบว่ามิเพียง หลิวไต้หวัน วานหางจระเข้ และเศรษฐีพันล้าน ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกบนหลังคา และจากการศึกษาดัชนีการเจริญเติบโตและพื้นที่ทรงพุ่มของพืชทั้ง 3 ชนิด ในแต่ละวัสดุปลูกรวม 21 สัปดาห์ พบว่า ดัชนีการเจริญเติบโตของหลิวไต้หวัน และวานหางจระเข้ มีค่าสูงที่สุดในวัสดุปลูกที่เป็นมะพร้าวสับ คือ 22.30 และ 18.42 ตามลำดับ ส่วนเศรษฐีพันล้าน มีค่าสูงที่สุดในวัสดุที่เป็นเถ้าแกลบ คือ 13.21 แต่ไม่พบความแตกต่างกับในวัสดุที่เป็นมะพร้าวสับ คือ 12.12 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ภาพที่ 14) เช่นเดียวกับการศึกษาพื้นที่ทรงพุ่ม ที่พบว่า ทั้งหลิวไต้หวัน และวานหางจระเข้ มีพื้นที่ทรงพุ่มสูงที่สุดในวัสดุปลูกที่เป็นมะพร้าวสับ คือ 480.43 และ 288.46 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนเศรษฐีพันล้าน มีค่าสูงที่สุดในวัสดุที่เป็นเถ้าแกลบ คือ 144.74 ตารางเซนติเมตร แต่ไม่พบความแตกต่างกับวัสดุที่เป็นมะพร้าวสับ คือ 132.84 ตารางเซนติเมตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 14 ดัชนีการเจริญเติบโต ของหิวได้หวัน วางหางจระเข้ และเสริมฐิพน้ล้น ในขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ ถั่วแกลบ และวัสดุผสม (ขุยมะพร้าว:มะพร้าวสับ:ถั่วแกลบ 1:1:1) บน คาคฟ้าอาคาร นาน 21 สัปดาห์

หมายเหตุ แผนภูมิแท่งที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 15 พื้นที่ทรงพุ่ม ของหิวได้หวัน วางหางจระเข้ และเสริมฐิพน้ล้น ในขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ ถั่วแกลบ และวัสดุผสม (ขุยมะพร้าว:มะพร้าวสับ:ถั่วแกลบ 1:1:1) บน คาคฟ้าอาคาร นาน 21 สัปดาห์

หมายเหตุ แผนภูมิแท่งที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

จากข้อมูลดัชนีการเจริญเติบโตและพื้นที่ทรงพุ่มของหลิวไต้หวัน ว่านหางจระเข้ และ เสริมฐิพันธุ์พันธุ์ (ภาพที่ 14 และ 15) ในวัสดุปลูกแต่ละชนิดรวม 21 สัปดาห์ พบว่า หลิวไต้หวัน ปลูกในถ้ำกลบ มีค่าต่ำกว่าที่ปลูกในวัสดุปลูกชนิดอื่นอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากความไม่เหมาะสมของวัสดุปลูก โดยเมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติทางกายภาพของถ้ำกลบ (ตารางที่ 3) พบว่า มีความหนาแน่นรวม 1.82 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร สูงกว่าช่วงที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืช (0.15-1.3 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) (วิทยา, 2528; Criley and Watanabe, 1974) ความหนาแน่นของ วัสดุปลูกจะส่งผลให้พืชสามารถลำต้นให้ตั้งอยู่ได้ (นันทยา, 2545; Nelson, 1991; Reinikainen, 1993; Handreck and Black, 1994; Lemaire, 1995) โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในสถานที่ๆ ที่มีลมแรงอย่างสวนบนหลังคา แต่หากวัสดุปลูกมีความหนาแน่นที่สูงเกินไป จะส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของพืช โดยทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซเข้าออกบริเวณรากพืชต่ำลง (นันทยา, 2545) ส่งผลให้รากพืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดีเท่าที่ควร ขณะที่ทรงพุ่มของพืชจะมีขนาดเล็กลงตามไป ด้วย นอกจากนี้ ถ้ำกลบยังมีค่า pH เพียง 5.43 (ตารางที่ 3) ซึ่งต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม (5.5-6.5) (วิทยา, 2523; Criley and Watanabe, 1974) และมีค่า EC 1.19 เดซิซิเมนส์/เมตร ซึ่งมากกว่าวัสดุปลูก ชนิดอื่นๆ โดยหากวัสดุปลูกมีค่า EC สูง จะทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในวัสดุปลูก ลดลง ส่งผลให้ปลายยอด ปลายรากไม่เจริญ และหากปล่อยให้ขาดน้ำก็จะทำให้ต้นพืชที่ปลูกเหี่ยว ไปได้ (สันต์, 2551) ส่วนหลิวไต้หวันปลูกในขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ และวัสดุผสม มีการเจริญเติบโตที่ดี อาจเนื่องจากหลิวไต้หวัน ที่เป็นพืชต้องการแสงแดดเต็มวัน การดูแลรักษาในระดับ ต่ำ (ตารางที่ 1) และลักษณะการเจริญเติบโตที่เป็นพุ่ม ทำให้ได้รับแสงเต็มที่ ประกอบกับอัตราการ เจริญเติบโตที่รวดเร็ว ส่งผลให้สามารถขยายทรงพุ่มได้มาก รวมถึงลักษณะผิวใบที่เป็นมัน ช่วยลด การคายน้ำของพืช และยังเป็นไม้พุ่มที่มีขนาดต้นไม่สูงนัก (คณะกรรมการจัดทำอนุกรมวิธานพืช, 2538; คณะกรรมการฝ่ายหาทุนมูลนิธิสวนหลวง ร.9, 2539; เอี่ยมพร และคณะ, 2551) ประกอบกับ เป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ทำให้ สามารถเจริญเติบโตในสภาพแวดล้อมของอาคารขณะทำการทดลองได้ ซึ่งสอดคล้องกับการ ทดลองของ Rowe *et al.* (2006) ที่ได้เปรียบเทียบชนิดพืช จากความสามารถในการตั้งตัว การ เจริญเติบโต และการอยู่รอด โดยใช้กุหลาบหิน และพืชพื้นเมืองที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในพื้นที่ปลูกใน วัสดุที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน 5 ชนิด ความลึก 10 เซนติเมตร โดยไม่รดน้ำ พบว่า พืชทุกชนิด สามารถอยู่รอดได้ แต่มีการเจริญเติบโตเพียงเล็กน้อยและต่ำกว่าการเจริญเติบโตปกติ เช่นเดียวกับ

Monterusso *et al.* (2005) และ Rowe *et al.* (2005) ได้ทำการปลูกพืชท้องถิ่นจำนวน 18 ชนิด ร่วมกับกุหลาบหินสายพันธุ์ต่างๆ บนหลังคาแบบ extensive green roof ในรัฐมิชิแกน สหรัฐอเมริกา โดยไม่มีการรดน้ำ พบว่ายังสามารถอยู่รอด และมีการเติบโต เป็นระยะเวลานานถึง 3 ปี และได้มีการสันนิษฐานว่าหากมีการรดน้ำ อาจเพิ่มการเจริญเติบโตและจำนวนพืชที่อยู่รอดได้มากกว่า 3 ปี เช่นเดียวกับหลิวไต้หวัน หากได้รับน้ำเป็นปกติ อาจมีการเจริญเติบโตที่มากขึ้น อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลอง ส่งผลให้หลิวไต้หวันเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับการสร้างสวนบนหลังคา

ส่วนว่านางจระเข้ และเศรษฐีพันล้าน พบว่ามีค่าดัชนีการเจริญเติบโตและพื้นที่ทรงพุ่มในวัสดุปลูกแต่ละชนิดใกล้เคียงกัน แม้ว่าวัสดุปลูกแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างกันไป สามารถส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้แตกต่างกันด้วย อาจเนื่องมาจากนางจระเข้และเศรษฐีพันล้าน เป็นพืชอวบน้ำ และยังเป็นพืชที่ต้องการการดูแลรักษาต่ำและมีอัตราการเจริญเติบโตรวดเร็ว (Derek, 2007; Huxley *et al.*, 1992) (ตารางที่ 1) จึงทำให้มีความสามารถในการปรับตัวได้ดี (Derek, 2007; Dunnett and Kingsbury, 2004; Huxley *et al.*, 1992; White and Snodgrass, 2003) สอดคล้องกับรายงานของ Kirschstein (1997), Lassalle (1998), Monterusso *et al.* (2005) และ Rowe *et al.* (2005) ที่กล่าวว่า *S. album* L. สามารถอยู่รอดได้นานกว่า 100 วัน โดยไม่ให้น้ำ รวมถึงรายงานของ Van Woert *et al.* (2005b) ที่กล่าวว่ากุหลาบหินสายพันธุ์ต่างๆ ได้แก่ *S. acre* L. (Biting stonecrop), *S. kamtschaticum ellacombianum* Fischer & Meyer (Orange stonecrop), *S. pulchellum* Michaux (Bird's claw sedum), *S. reflexum* L. (Crooked stonecrop), *S. spurium* Bieb. 'Coccineum' (Creeping sedum) และ *S. spurium* Bieb. 'Summer Glory' อยู่รอดได้ถึง 88 วัน โดยไม่ให้น้ำ และยังพบอีก *S. rubrotinctum* R. T. Clausen ซึ่งเป็นอีกหนึ่งสายพันธุ์ของกุหลาบหิน สามารถอยู่รอดได้ไม่ต่ำกว่า 2 ปี ในสภาพโรงเรือน โดยไม่ให้น้ำ (Teeri *et al.*, 1986) นอกจากนี้ยังมีรายงานถึงความน่าสนใจของกุหลาบหิน สำหรับปลูกบนหลังคา โดยกล่าวถึงความสามารถในการอยู่รอดในชั้นของวัสดุปลูกที่บางมากหรือไม่มีเลย จากรายงานของ GÓmez-Campo (1994) ที่พบว่า *S. album* เติบโตบนหลังคาได้เองตามธรรมชาติ ซึ่งขึ้นกับสายพันธุ์ เช่นเดียวกับ Monterusso *et al.* (2005) ที่กล่าวว่า กุหลาบหินหลากหลายสายพันธุ์ สามารถเจริญอยู่บนพื้นผิวนาดบางได้ รวมถึงการทดสอบสวนบนหลังคาประเภทต่างๆ ของ Liesecke (1999) ที่พบว่า *S. album* และ *S. sexangulare* L. เป็นพันธุ์พืชที่สามารถอยู่ได้ในสวนบนหลังคาทุกประเภท ดังนั้น เศรษฐีพันล้านและนางจระเข้ จึงเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับ extensive green roof เนื่องจากความสามารถในการปรับตัวเข้ากับปัจจัยแวดล้อมในสภาพขาดน้ำได้ดี (Teeri *et al.*, 1986; Gravatt and Martin, 1992; Lee and Kim, 1994; Sayed *et al.*, 1994; Kluge, 1997; Gravatt, 2003) ไม่มี

ผลกระทบจากชนิดและชั้นความหนาของวัสดุปลูก รวมถึงทนต่อสภาพอากาศเลวร้ายต่างๆ บนหลังคาได้อีกด้วย (Snodgrass, 2005)

การเจริญเติบโตของพืชทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ หลิวไต้หวัน วานหางจระเข้ และเศรษฐีพันล้าน พบว่า มีความเป็นไปได้สำหรับ extensive green roof โดยหลิวไต้หวันและวานหางจระเข้ มีค่าดัชนีการเจริญเติบโตและพื้นที่ทรงพุ่มของพืชสูงที่สุดในวัสดุปลูกที่เป็นมะพร้าวสับ ขณะที่เศรษฐีพันล้านมีค่าการเจริญเติบโตสูงที่สุดในถ้ำกลบ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการเจริญเติบโตในมะพร้าวสับ เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติของมะพร้าวสับแล้ว พบว่า มีความหนาแน่นต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุปลูกทุกชนิด คือ 0.31 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับปลูกพืช (วิทยา, 2528; Criley and Watanabe, 1974) สอดคล้องกับการทดลองของอภิกฤษ (2540) ที่ปลูกพืชในวัสดุปลูกที่มีความหนาแน่นรวม 3 ระดับ คือ มาก ปานกลาง และน้อย พบว่า วัสดุปลูกความหนาแน่นรวมต่ำให้ผลผลิตสดพืชเฉลี่ยสูงสุด มะพร้าวสับยังมีความพรุนช่องบรรจุอากาศมากที่สุดถึง 50 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าค่าปริมาตรอากาศของวัสดุปลูกที่เหมาะสมซึ่งอยู่ระหว่าง 10-20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (วิทยา, 2531; Criley and Watanabe, 1974; Nelson, 1991) ถึงแม้จะมีความพรุนช่องบรรจุอากาศมากที่สุด แต่เป็นช่องขนาดใหญ่ซึ่งส่งผลในเรื่องการระบายอากาศมากกว่าการอุ้มน้ำ ทำให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำที่สุดเพียง 26.97 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับวัสดุปลูกชนิดอื่น ซึ่งน้อยกว่าช่วงความสามารถในการอุ้มน้ำของวัสดุปลูกที่เหมาะสม 30-60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (Criley and Watanabe, 1974) คุณสมบัติข้อนี้ อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในมะพร้าวสับมีค่าสูงกว่าในวัสดุปลูกชนิดอื่น โดยส่งเสริมให้มีการระบายอากาศบริเวณรากพืชเป็นไปได้ง่ายและมากขึ้น ทำให้ลดผลกระทบจากสภาพอุณหภูมิสูงบนดาดฟ้าได้เป็นอย่างดี และมะพร้าวสับยังมีค่าความพรุนรวมสูงที่สุด ทำให้ปริมาตรของแข็งน้อยที่สุด (ภาพที่ 14 และ 15) ส่งผลให้มีน้ำหนักเบากว่าวัสดุปลูกชนิดอื่นๆ สอดคล้องกับความต้องการวัสดุปลูกที่ใช้ในการจัดสวนบนหลังคา ซึ่งควรมีน้ำหนักเบา เพื่อลดแรงกดของน้ำหนักที่มากเกินไปตรงจุดใดจุดหนึ่ง (ดลยา, 2554) นอกจากนี้ยังมีค่า pH เท่ากับ 5.83 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ระหว่าง 5.5-6.5 (วิทยา, 2523; Criley and Watanabe, 1974) ช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายได้ของธาตุอาหารต่างๆ (วิทยา, 2523) จากปุ๋ยที่ใส่ไว้ระหว่างการทดลอง รวมถึงค่า EC เพียง 0.21 เดซิซิเมนส์/เมตร ทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในวัสดุปลูกสูงขึ้น จากคุณสมบัติที่เหมาะสมส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตได้ดีในวัสดุที่เป็นมะพร้าวสับ สอดคล้องกับรายงานการใช้มะพร้าวสับในการเจริญเติบโตของพืชชนิดต่างๆ ที่ให้ผลดี เช่น แอฟริกันไวโอเล็ต 3 พันธุ์ คือ Neptune, Susie และ China Pink (ชริน, 2528) ไทรย้อยใบแหลม (ธรรมรงค์, 2524) ดาวเรืองฝรั่งเศส (พิชามญช์, 2543) นอกจากนี้มะพร้าว

ลับยังเป็นวัสดุที่หาง่าย ราคาถูก น้ำหนักเบา สะดวกในการขนย้าย ประกอบกับให้ค่าการเจริญเติบโตของพืชสูงที่สุดในการทดลอง จึงมีความเหมาะสมในการพัฒนาเป็นวัสดุปลูกสำหรับสวนบนหลังคาต่อไป

การทดลองที่ 3 ผลของสวนบนหลังคาต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอาคาร

จากการนำพืชที่ได้จากการทดลองที่ 2 คือ หลิวไต้หวัน ว่านหางจระเข้ และเศรษฐีพันล้าน ปลูกในมะพร้าวสับ มาสร้างสวนบนหลังคาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการลดความร้อนเข้าสู่อาคารของอาคารที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา โดยการวัดอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ที่ระดับเพดาน กลางห้อง และพื้นห้อง เป็นเวลา 8 เดือน ได้ผลดังนี้

1. ช่วงเดือนกันยายน-ตุลาคม พ.ศ. 2556 (ฤดูฝน)

พบว่า จำนวนวันที่ฝนตกทั้งหมด 22 วัน วัดได้ 589.9 มิลลิเมตร อุณหภูมิภายนอกมีค่าเฉลี่ยที่ 29.56 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 79.86 เปอร์เซ็นต์ และมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่ 7 องศาเซลเซียส ส่วนภายในห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอก 0.27 และ 3.08 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยแตกต่างกันในแต่ละระดับของห้อง ซึ่งห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดที่ระดับเพดานเท่ากับ 33.39 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าพื้นห้อง และกลางห้อง ประมาณ 1 และ 1.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนห้องที่มีสวนบนหลังคา มีอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นห้องสูงที่สุดเท่ากับ 32.37 องศาเซลเซียส ตามด้วย กลางห้อง และเพดานห้อง ตามลำดับ ทั้งนี้ อุณหภูมินี้มีค่าแตกต่างเพียงเล็กน้อย ประมาณ 0.1-0.2 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองอุณหภูมิที่ระดับเพดาน พบว่า ห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิเฉลี่ย 33.39 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าห้องที่มีสวนบนหลังคา 3.70 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 16) และสูงกว่าภายนอกเท่ากับ 3.84 องศาเซลเซียสตลอดฤดูฝน มีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 10.51 องศาเซลเซียส ส่วนห้องที่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิเฉลี่ย 29.69 องศาเซลเซียส สูงกว่าอากาศภายนอกเพียง 0.14 องศาเซลเซียส และมีความแตกต่างของอุณหภูมิ 7.72 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่ระดับเพดานของทั้ง 2 ห้อง มีค่าสูงกว่าระดับกลางห้องและพื้นห้อง ตามลำดับ

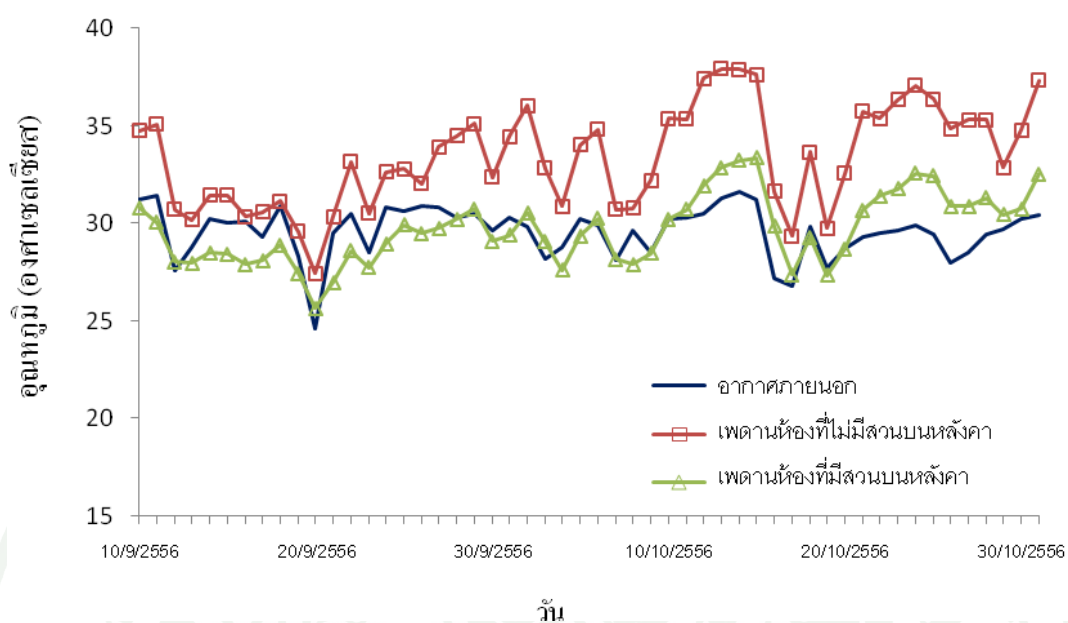
การเปรียบเทียบอุณหภูมิกลางห้อง พบว่า ห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิ 32.16 องศาเซลเซียส สูงกว่าห้องที่มีสวนบนหลังคา 2.38 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 17) และสูงกว่าอากาศภายนอก 2.60 องศาเซลเซียส ห้องที่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิเฉลี่ย 29.78 องศาเซลเซียส สูงกว่าอากาศภายนอก 0.22 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ห้องที่มีสวนมีอุณหภูมิระดับกลางห้องสูงกว่าระดับเพดาน 0.09 องศาเซลเซียส ขณะที่ห้องที่ไม่มีสวนมีอุณหภูมิระดับกลางห้องต่ำกว่าระดับเพดาน 1.23 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิระดับพื้นห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคามีความแตกต่างกันน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับระดับเพดานและกลางห้อง (ภาพที่ 18) โดยห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิระดับพื้นห้อง 32.37 องศาเซลเซียส และสูงกว่าอากาศภายนอก 2.81 องศาเซลเซียส และเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าระดับกลางห้อง 0.21 องศาเซลเซียส แต่ต่ำกว่าระดับเพดาน 1.02 องศาเซลเซียส ห้องที่มีสวนมีอุณหภูมิระดับพื้นห้อง 30.02 องศาเซลเซียส สูงกว่าระดับกลางห้อง และเพดาน 0.24 และ 0.33 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

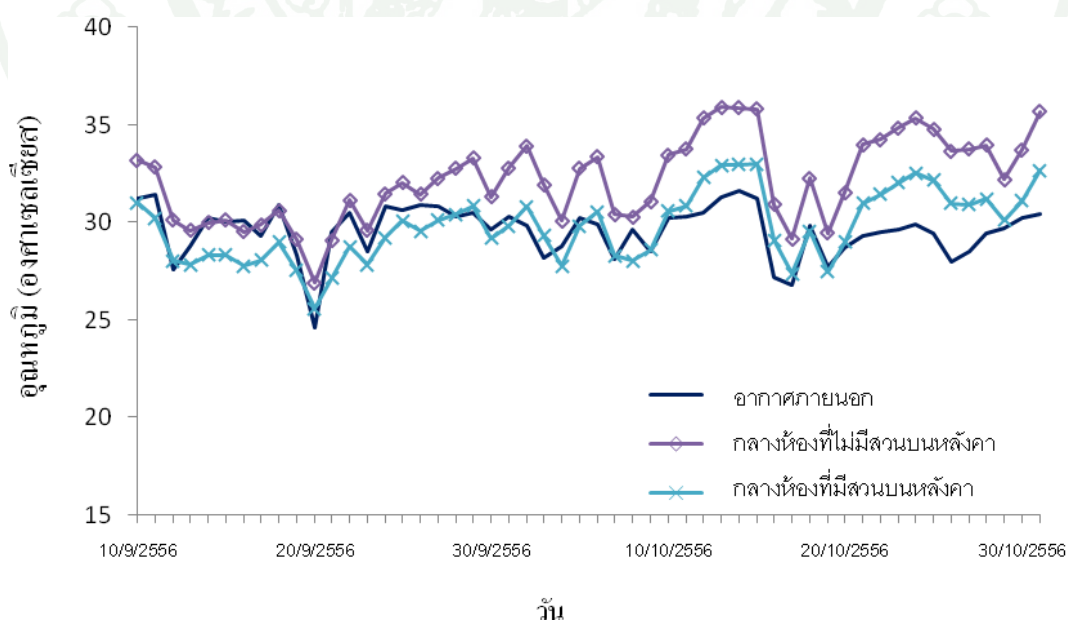
ผลการทดลองเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับเพดาน กลางห้อง และพื้นห้อง พบว่า ห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคามีความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับต่างๆ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ห้องที่มีสวนบนหลังคามีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าห้องที่ไม่มีสวน โดยห้องที่มีสวนบนหลังคามีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 76.12 เปอร์เซ็นต์ ต่ำกว่าภายนอก 3.74 เปอร์เซ็นต์ ส่วนห้องที่ไม่มีสวนมีความชื้นสัมพัทธ์ 73.09 เปอร์เซ็นต์ ต่ำกว่าภายนอก 6.77 เปอร์เซ็นต์ โดยความชื้นสัมพัทธ์มีค่าแตกต่างกันในแต่ละระดับของห้อง ที่ระดับเพดาน พบว่า ห้องที่มีสวนบนหลังคามีความชื้นสัมพัทธ์สูง 76.68 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา 3.86 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 19)

ผลการทดลองที่ระดับกลางห้อง พบว่า ห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคามีความชื้นสัมพัทธ์ 76.84 และ 73.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับเพดานเท่ากับ 0.16 และ 1.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 20)

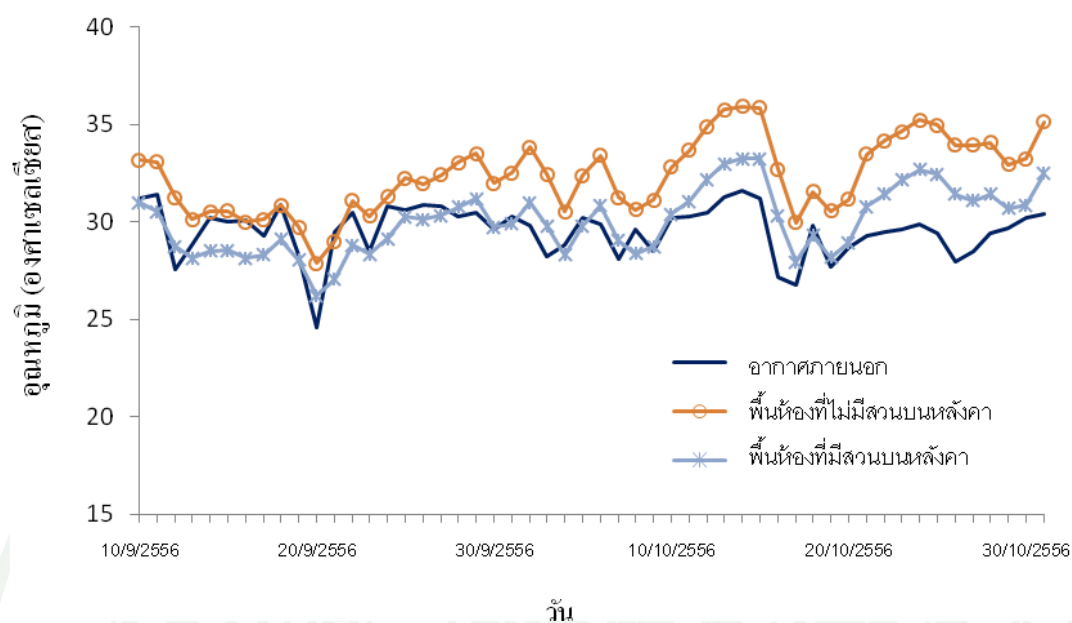
ความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับพื้นห้องของห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีค่าเท่ากับ 72.51 เปอร์เซ็นต์ ต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ของห้องที่มีสวนบนหลังคา 2.32 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 21) ซึ่งแตกต่างกันน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับระดับเพดาน และกลางห้อง ทั้งนี้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับพื้นห้องมีค่าต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับระดับกลางห้อง และเพดานห้อง ตามลำดับ



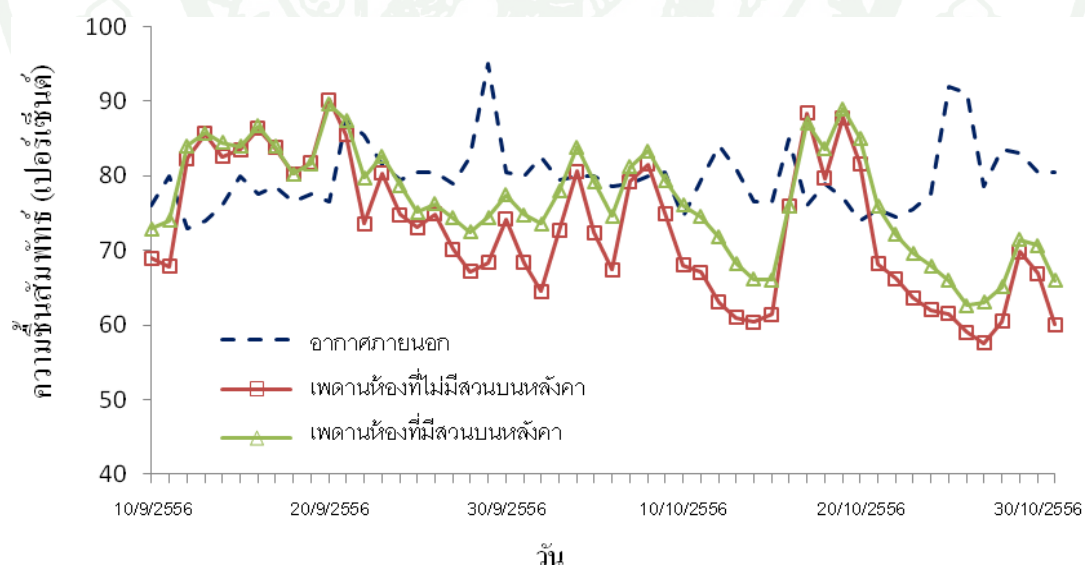
ภาพที่ 16 อุณหภูมิเฉลี่ยในระดับเพดานห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 10 กันยายน ถึง 31 ตุลาคม 2556



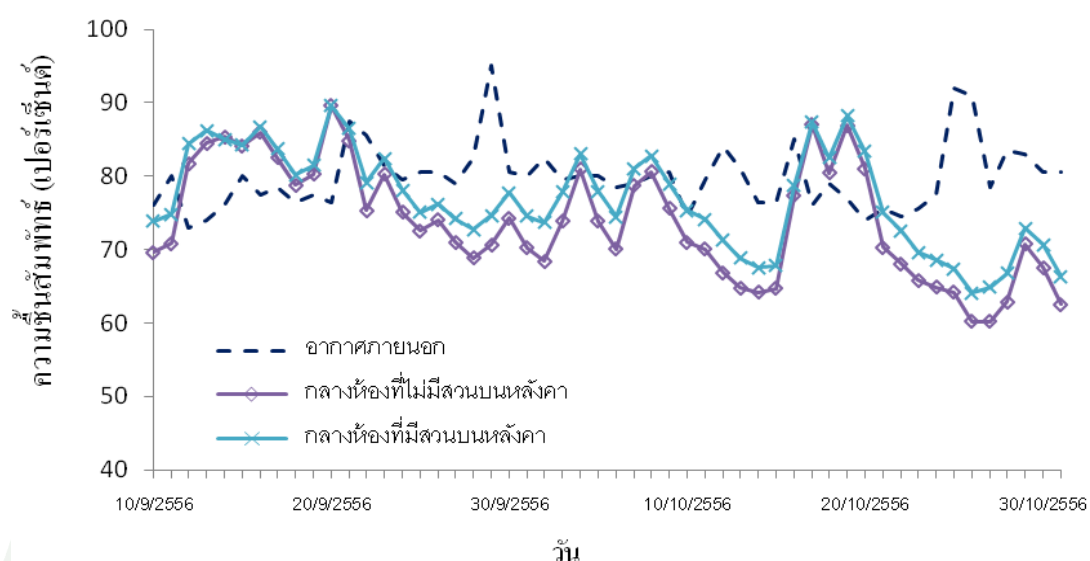
ภาพที่ 17 อุณหภูมิเฉลี่ยในระดับกลางห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 10 กันยายน ถึง 31 ตุลาคม 2556



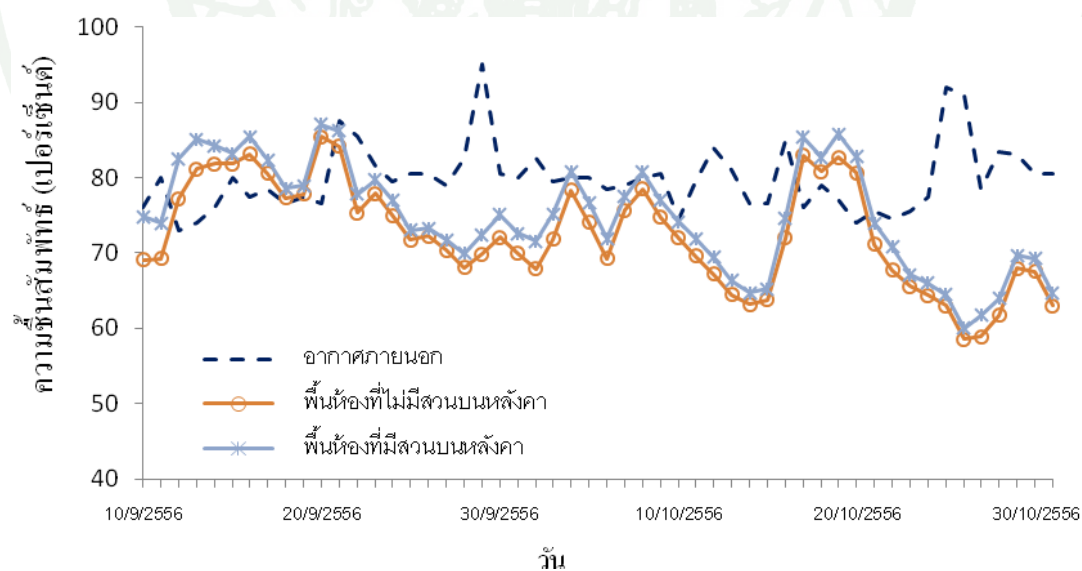
ภาพที่ 18 อุณหภูมิเฉลี่ยในระดับพื้นที่ที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 10 กันยายน ถึง 31 ตุลาคม 2556



ภาพที่ 19 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในระดับเพดานห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 10 กันยายน ถึง 31 ตุลาคม 2556



ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์สัมพัทธ์ในระดับกลางห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 10 กันยายน ถึง 31 ตุลาคม 2556



ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์สัมพัทธ์ในระดับพื้นห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 10 กันยายน ถึง 31 ตุลาคม 2556

2. ช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2556 - มกราคม พ.ศ. 2557 (ฤดูหนาว)

พบว่า อากาศภายนอกมีอุณหภูมิเฉลี่ย 26.64 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 76.52 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าช่วงเดือนกันยายน-ตุลาคม ที่เป็นฤดูฝน โดยอุณหภูมิต่ำกว่าประมาณ 2.9 องศาเซลเซียส แต่ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 9.3 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องทั้ง 2 ห้อง ในทุกระดับมีค่าสูงกว่าภายนอก ห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละระดับแตกต่างกันไม่เกิน 0.7 องศาเซลเซียส ส่วนห้องที่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละระดับต่างกันเพียง 0.2 องศาเซลเซียส โดยความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคานั้น มีค่าสูงที่สุดที่ระดับเพดาน เช่นเดียวกับการทดลองในฤดูฝน

ผลการทดลองอุณหภูมิที่ระดับเพดาน (ภาพที่ 22) พบว่า ห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิเฉลี่ย 31.98 องศาเซลเซียส สูงกว่าห้องที่มีสวน 3.65 องศาเซลเซียส สูงกว่าอุณหภูมิภายนอก 5.33 องศาเซลเซียส ส่วนห้องที่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอกเพียง 1.68 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในระดับเพดานของห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีค่าเท่ากับ 14.45 องศาเซลเซียส ซึ่งมากกว่าช่วงเดือนกันยายน-ตุลาคม ประมาณ 4 องศาเซลเซียส ขณะที่ความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในระดับเพดานของห้องที่มีสวนบนหลังคามีค่าเท่ากับ 10.50 องศาเซลเซียส

การเปรียบเทียบอุณหภูมิระดับกลางห้อง พบว่า ห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิกลางห้องเท่ากับ 31.28 องศาเซลเซียส สูงกว่าห้องที่มีสวนบนหลังคา 2.98 องศาเซลเซียส สูงกว่าภายนอก 4.64 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่ระดับกลางห้องของห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคามีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่ระดับเพดานเท่ากับ 0.03 และ 0.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ นอกจากนี้ห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 11.97 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าความแตกต่างของห้องที่มีสวนบนหลังคา 2.16 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 23)

ห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิระดับพื้นห้องเฉลี่ย 31.3 องศาเซลเซียส สูงกว่าห้องที่มีสวนบนหลังคา 2.75 องศาเซลเซียส และสูงกว่าภายนอก 4.66 องศาเซลเซียส โดยความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิพื้นห้องของห้องที่มีและไม่มีสวนมีค่าน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับที่ระดับ

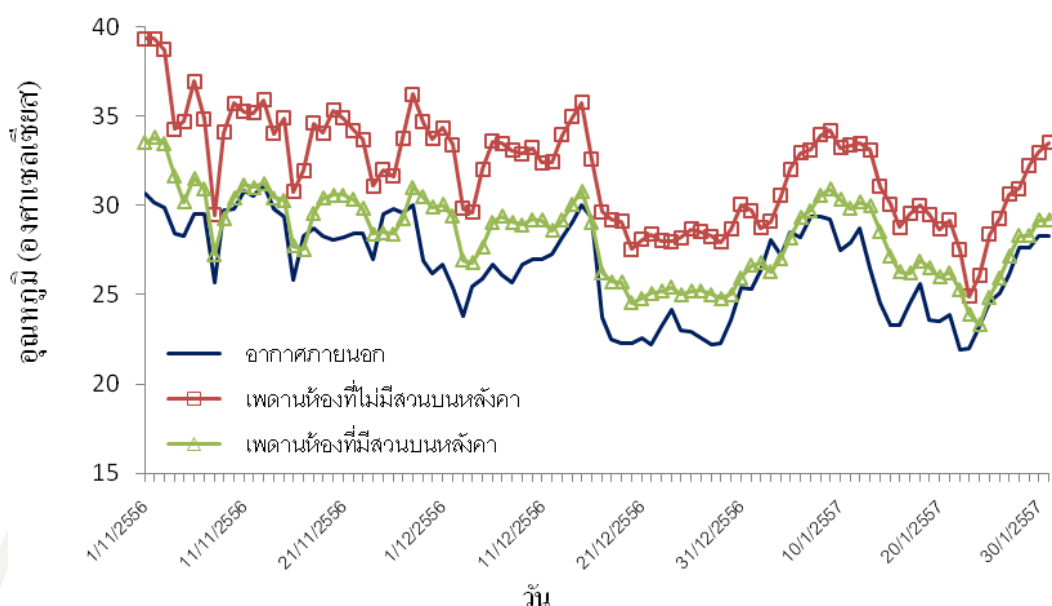
เพดาน และกลางห้อง (ภาพที่ 24) ทั้งนี้อุณหภูมิของห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคาที่ระดับพื้นห้อง มีค่าสูงกว่าระดับกลางห้องเล็กน้อยเท่ากับ 0.25 และ 0.02 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ผลการทดลองเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับต่างๆ ของห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา มีค่าไปในทิศทางเดียวกัน โดยห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับ 61.51 และ 59.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าอากาศภายนอก 15.01 และ 17.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับช่วงเดือน กันยายน-ตุลาคมที่ผ่านมา พบว่า ความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคาในระดับต่างๆ มีค่าน้อยลง โดยมีความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกันน้อยที่สุดที่ระดับพื้นห้อง และแตกต่างกันมากที่สุดที่ระดับกลางห้อง

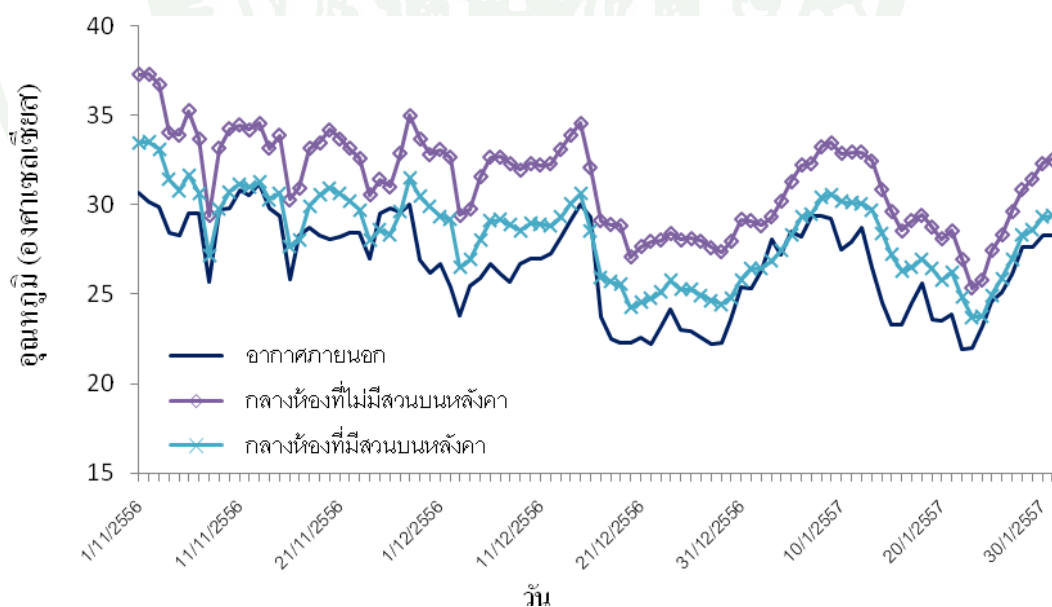
ผลการทดลองเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับเพดานห้อง พบว่า ห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา มีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 61.63 และ 59.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ต่ำกว่าอากาศภายนอก 14.89 และ 16.99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 25)

การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ระดับกลางห้อง พบว่า ห้องที่ไม่มีสวนมีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 60.10 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์สัมพัทธ์ระดับเพดาน 0.53 เปอร์เซ็นต์ ส่วนห้องที่มีสวนบนหลังคา มีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 63.15 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์ระดับเพดาน 2.48 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าภายนอก 13.37 และ 16.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 26)

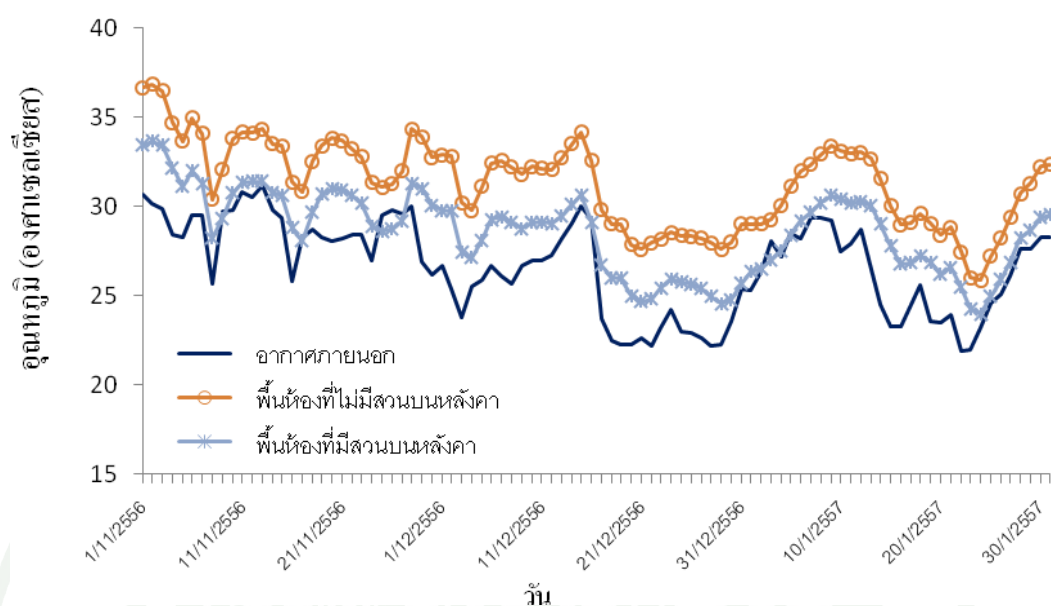
ความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับพื้นห้องของห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีค่าเท่ากับ 58.78 เปอร์เซ็นต์ ต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ของห้องที่มีสวนบนหลังคาและอากาศภายนอก 0.95 และ 1.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 27) ซึ่งห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา มีความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับพื้นห้องต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับระดับกลางห้อง และเพดานห้อง ตามลำดับ



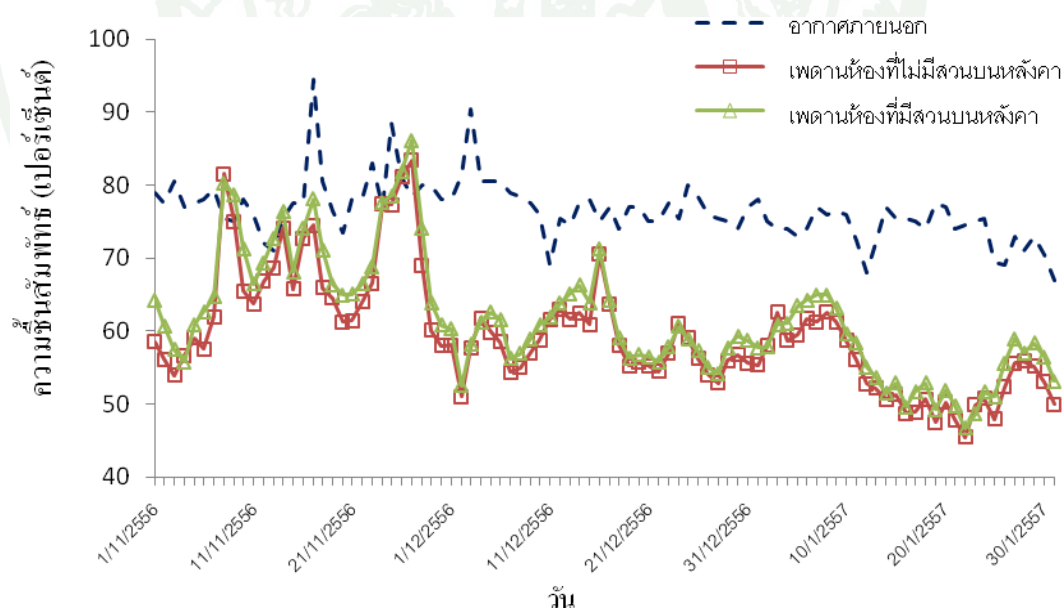
ภาพที่ 22 อุณหภูมิเฉลี่ยในระดับเพดานห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 ถึง 31 มกราคม 2557



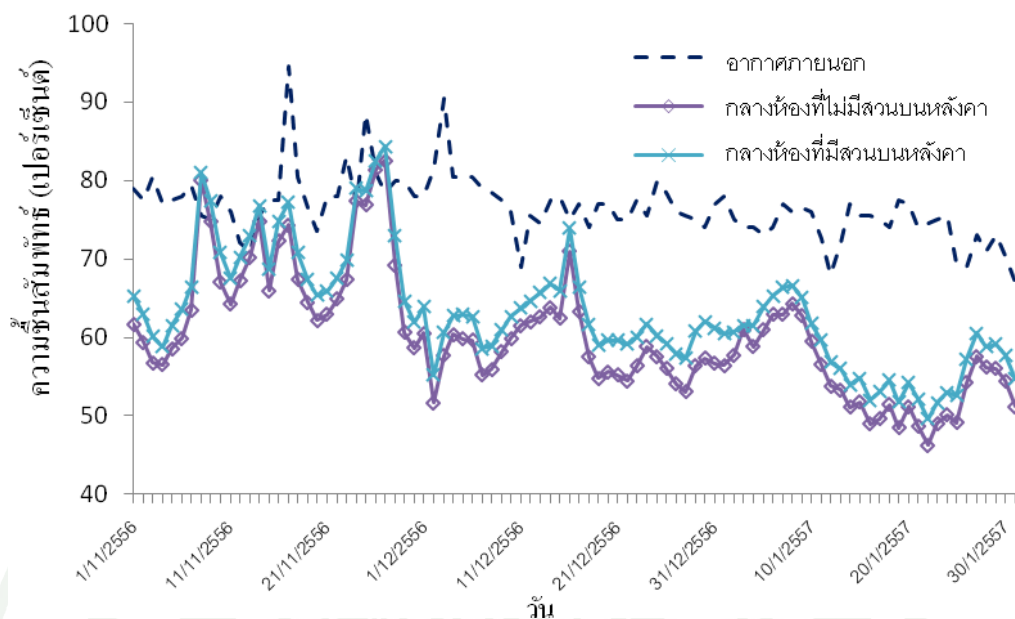
ภาพที่ 23 อุณหภูมิเฉลี่ยในระดับกลางห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 ถึง 31 มกราคม 2557



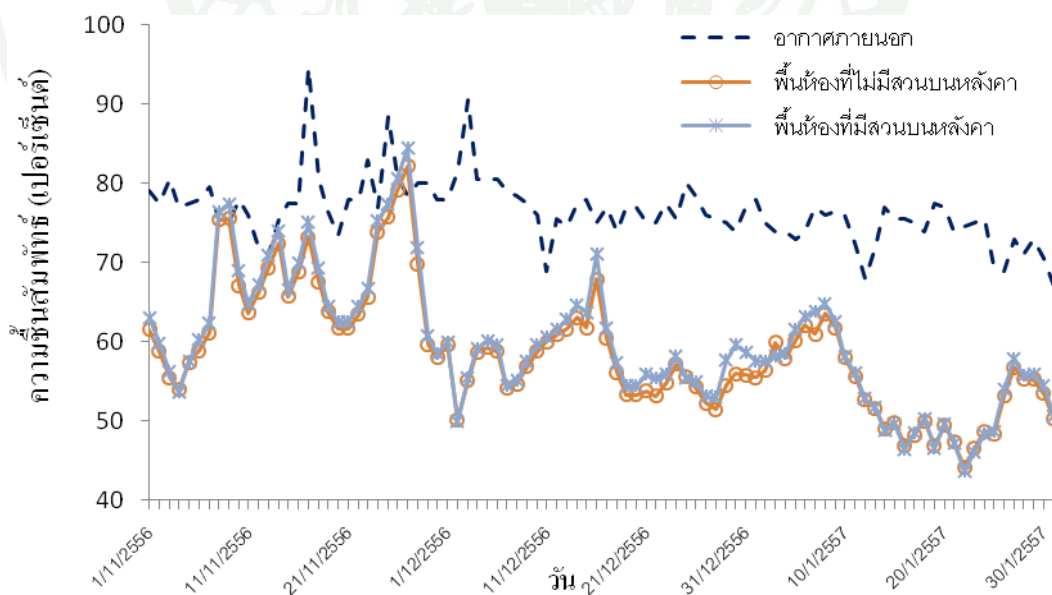
ภาพที่ 24 อุณหภูมิเฉลี่ยในระดับพื้นที่ห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 ถึง 31 มกราคม 2557



ภาพที่ 25 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในระดับเขตแดนห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 ถึง 31 มกราคม 2557



ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์เฉลี่ยในระดับกลางห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 ถึง 31 มกราคม 2557



ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์เฉลี่ยในระดับพื้นห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน 2556 ถึง 31 มกราคม 2557

3. ช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน พ.ศ. 2557 (ฤดูร้อน)

พบว่า อากาศภายนอกมีอุณหภูมิเฉลี่ย 32.48 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 70.04 เปอร์เซ็นต์ โดยอุณหภูมิสูงกว่าช่วงฤดูฝนและฤดูหนาวที่ผ่านมา ประมาณ 2.9 และ 5.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องที่มีสวนบนหลังคามีค่าเท่ากับ 31.59 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าอากาศภายนอก 0.91 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีค่า 35.57 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าภายนอก 3.10 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของห้องที่มีและไม่มีสวนในระดับต่างๆ มีค่าน้อยกว่าช่วงฤดูฝนและฤดูหนาวที่ผ่านมา โดยแตกต่างกันมากที่สุดที่ระดับเพดาน

ผลการทดลองอุณหภูมิที่ระดับเพดาน พบว่า ห้องที่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิเฉลี่ยระดับเพดานเท่ากับ คือ 31.63 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าภายนอก 0.85 องศาเซลเซียส และ ห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิระดับเพดานเท่ากับ 38.26 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก 5.79 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 28) และมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 9.53 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในระดับเพดานห้องที่มีสวนบนหลังคามีค่าเท่ากับ 2.87 องศาเซลเซียส

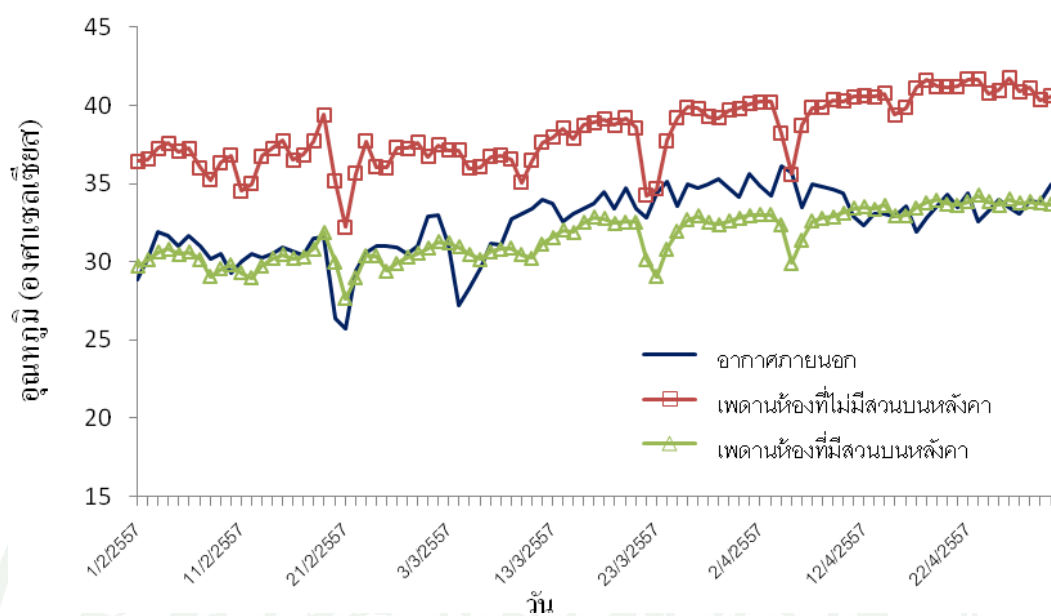
ในระดับกลางห้อง พบว่า ห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิเฉลี่ยระดับกลางห้องเท่ากับ 35.49 องศาเซลเซียส สูงกว่าห้องที่มีสวน 4.07 องศาเซลเซียส และสูงกว่าภายนอก 3.01 องศาเซลเซียส ส่วนห้องที่มีสวนมีอุณหภูมิต่ำกว่าภายนอก 1.06 องศาเซลเซียส โดยความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในระดับกลางห้องของห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคามีค่าเท่ากับ 6.64 และ 6.82 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทั้งนี้อุณหภูมิระดับกลางห้องของห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคามีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิในระดับเพดาน 0.21 และ 2.77 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ภาพที่ 29)

การทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิในระดับพื้นห้อง พบว่า ห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิระดับพื้นห้องเท่ากับ 32.96 องศาเซลเซียส สูงกว่าห้องที่มีสวน 1.24 องศาเซลเซียส และสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก 0.48 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิระดับเพดาน และกลางห้อง เท่ากับ 5.90 และ 2.53 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ขณะที่ห้องที่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิระดับพื้นห้องเท่ากับ 31.72 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าภายนอก 0.48 องศาเซลเซียส และสูงกว่าอุณหภูมิระดับเพดาน และกลางห้อง เท่ากับ 0.09 และ 0.3 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ภาพที่ 30)

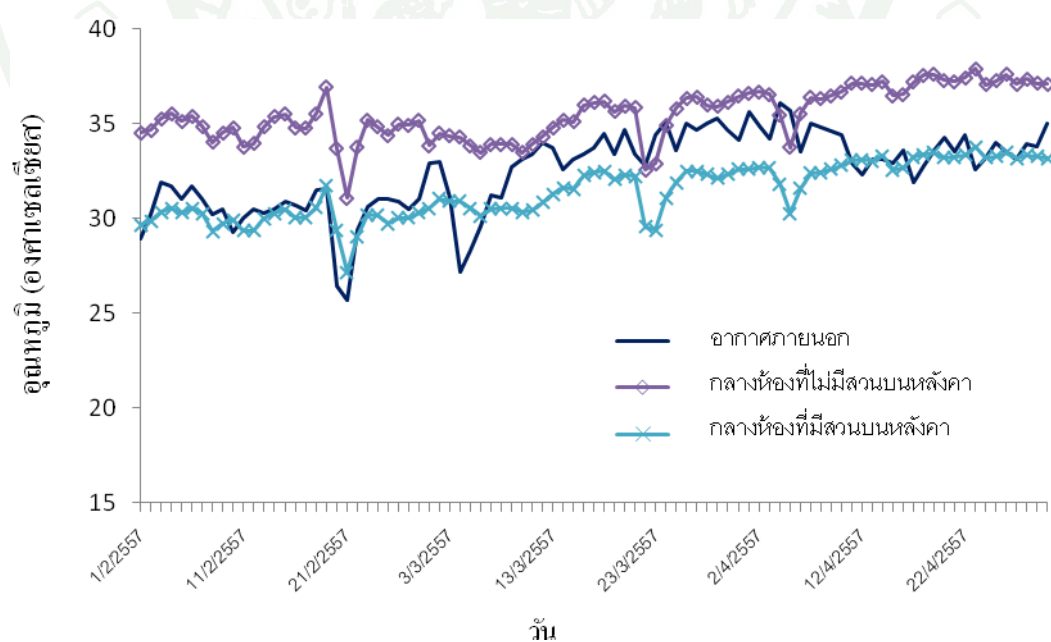
ผลการทดลองเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ พบว่า ห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคามีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 65.43 และ 62.07 เปอร์เซ็นต์ ต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอก 4.61 และ 7.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกันในแต่ละระดับของห้อง โดยความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา มีค่าสูงสุดที่ระดับเพดานเท่ากับ 5.24 เปอร์เซ็นต์ การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับเพดานพบว่า ห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคามีความชื้นสัมพัทธ์ระดับเพดานเท่ากับ 64.79 และ 59.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก 5.25 และ 10.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 31)

การทดลองที่ระดับกลางห้อง พบว่า ห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคามีความชื้นสัมพัทธ์ 67.22 และ 64.01.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก 2.78 และ 6.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ระดับกลางห้องของห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา มีค่าสูงกว่าระดับเพดานเท่ากับ 2.43 และ 6.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 32)

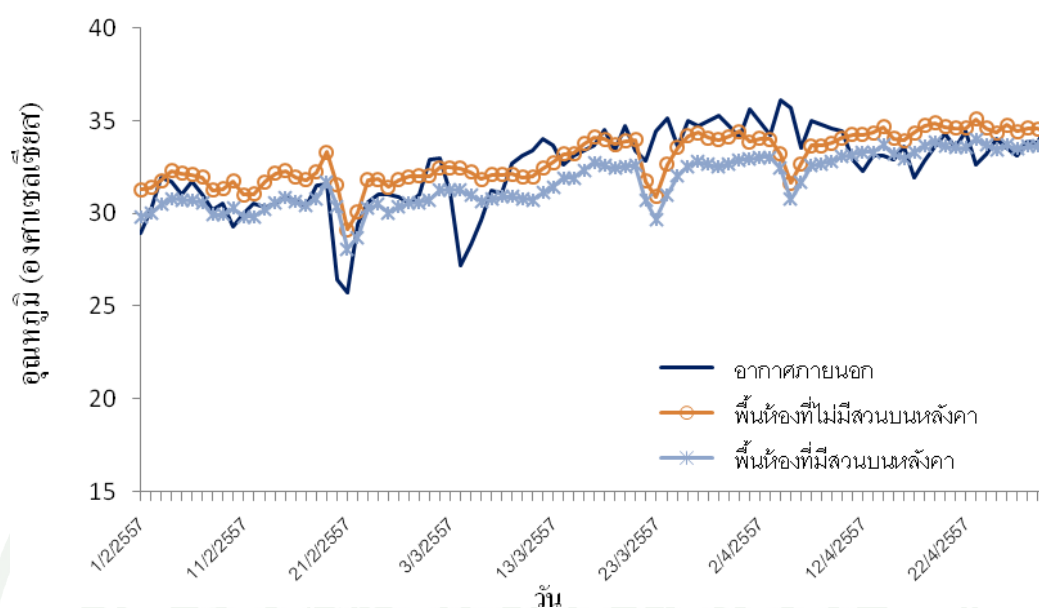
ความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับพื้นห้องของห้องที่มีสวนบนหลังคามีค่าเท่ากับ 64.29 เปอร์เซ็นต์ ต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ระดับเพดานและกลางห้อง 0.5 และ 2.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีความชื้นสัมพัทธ์ระดับพื้นห้องเท่ากับ 62.65 เปอร์เซ็นต์ ต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ระดับกลางห้อง 1.36 เปอร์เซ็นต์ แต่สูงกว่าระดับเพดาน 3.10 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ ความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา มีค่าน้อยสุดในระดับพื้นห้อง เท่ากับ 1.64 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 33)



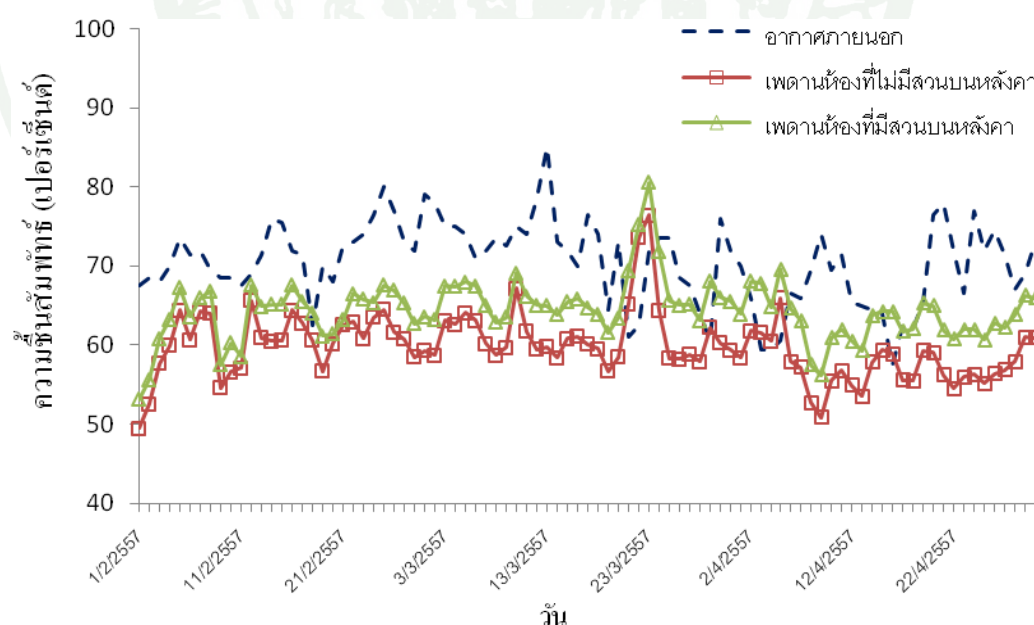
ภาพที่ 28 อุณหภูมิเฉลี่ยในระดับเพดานห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ ถึง 30 เมษายน 2557



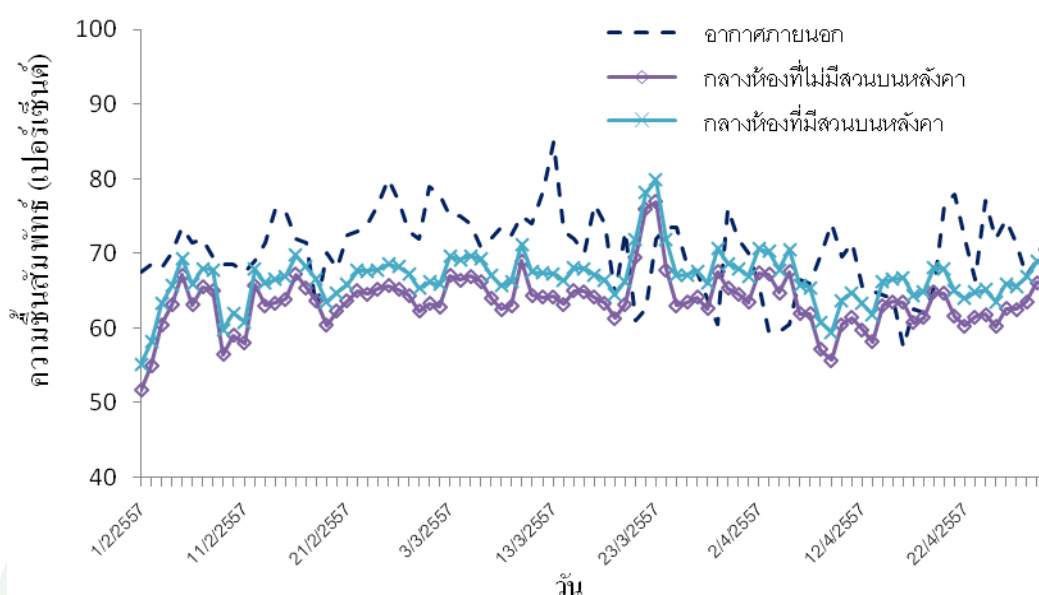
ภาพที่ 29 อุณหภูมิเฉลี่ยในระดับกลางห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ ถึง 30 เมษายน 2557



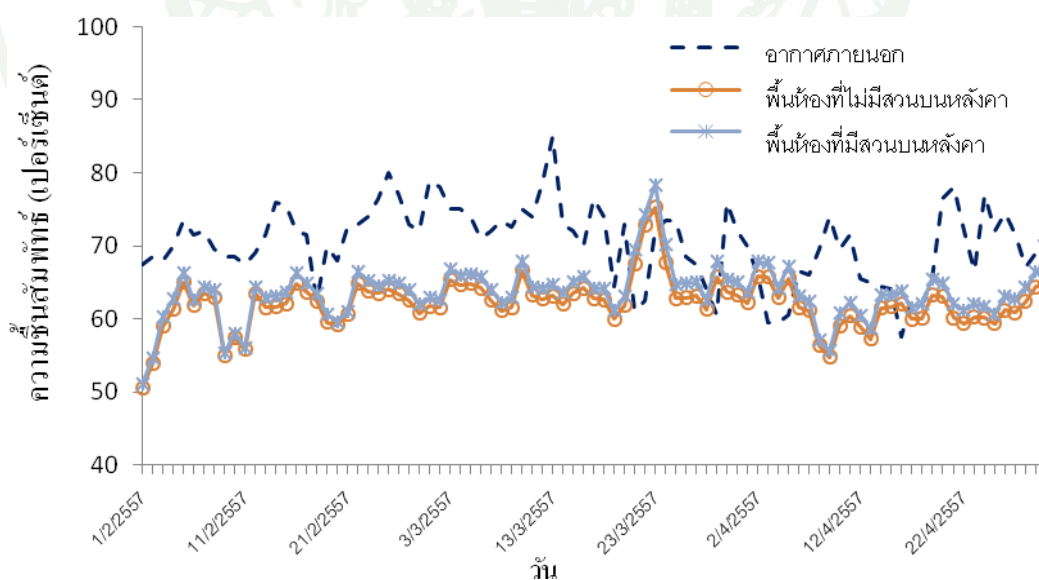
ภาพที่ 30 อุณหภูมิเฉลี่ยในระดับพื้นที่ห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ ถึง 30 เมษายน 2557



ภาพที่ 31 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในระดับเพดานห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ ถึง 30 เมษายน 2557



ภาพที่ 32 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในระดับกลางห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ ถึง 30 เมษายน 2557



ภาพที่ 33 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในระดับพื้นห้องที่มีสวนบนหลังคา เปรียบเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ ถึง 30 เมษายน 2557

การคำนวณภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศระหว่างห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา

จากกราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคาตลอดระยะเวลาการทดลอง จะพบว่าห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิสูงกว่าห้องที่มีสวนบนหลังคา ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความร้อนที่ผ่านหลังคาคอนกรีตที่ไม่มีสวนบนหลังคานั้นสูงกว่าหลังคาคอนกรีตที่มีสวนบนหลังคามาก ทำให้ความร้อนผ่านเข้ามาภายในอาคารตลอดเวลา ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับอาคารที่มีสวนบนหลังคาแล้ว พบว่า ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาภายในอาคาร จะมีปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับหลังคาคอนกรีต ตลอดระยะเวลาการทดลอง 8 เดือน พบว่า ห้องที่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิเพดานสูงสุด 37.5 องศาเซลเซียส และต่ำสุด 19 องศาเซลเซียส ขณะที่ห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิเพดานสูงสุดถึง 47.9 องศาเซลเซียส และต่ำสุด 27.5 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีภาระในการทำความเย็นที่มากกว่าห้องที่มีสวนบนหลังคา

การคำนวณภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ที่ใช้ในการลดความร้อนที่ถูกส่งผ่านมาทางหลังคาซึ่งเป็นคอนกรีต สามารถคำนวณได้จากปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของเพดานคอนกรีตให้เท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการ คือ 25 องศาเซลเซียส โดยตลอดระยะเวลาการทดลอง อุณหภูมิระดับเพดานของห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคาสูงสุดเท่ากับ 47.9 องศาเซลเซียส ส่งผลต่อภาระการทำความเย็นมากที่สุด ซึ่งหากต้องการลดอุณหภูมิให้เหลือเพียง 25 องศาเซลเซียส ต้องลดอุณหภูมิลงถึง 22.9 องศาเซลเซียส ขณะที่ห้องที่มีสวนบนหลังคาสามารถลดภาระการทำความเย็นได้มากที่สุด จากอุณหภูมิระดับเพดานที่ต่ำที่สุด 19 องศาเซลเซียส โดยต้องเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นอีก 6 องศาเซลเซียส จึงจะได้อุณหภูมิเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

จากความแตกต่างในการลดและเพิ่มอุณหภูมิระหว่างเพดานคอนกรีตของห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา พบว่า ห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคาต้องใช้ปริมาณความร้อนหรือพลังงานเท่ากับ 342 และ 1,305.22 บีทียู ตามลำดับ ในการเปลี่ยนอุณหภูมิของเพดาน ให้เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นปริมาณความร้อนที่ใช้ในห้องที่มีพื้นที่เพดานเท่ากับ 58.13 ตารางฟุต โดยสามารถคำนวณเป็นปริมาณความร้อนในหนึ่งหน่วยตารางฟุตได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศของห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา

ห้อง	ภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (บีทียู/ชั่วโมง/ตารางฟุต.)
ไม่มีสวนบนหลังคา	22.45
มีสวนบนหลังคา	5.88

ทำให้สามารถกล่าวได้ว่าสวนบนหลังคา ช่วยลดภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลงได้ถึง 73.81 เปอร์เซ็นต์

การเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา พบว่าลักษณะของอุณหภูมิอากาศที่พบทั้ง 3 ช่วงเวลา (ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน) มีความคล้ายคลึงกัน คือ ห้องที่มีสวนบนหลังคา ซึ่งพื้นที่หลังคาประกอบด้วยต้นไม้และวัสดุปลูก มีอุณหภูมิอากาศในห้องต่ำกว่าห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา ที่มีลักษณะหลังคาเป็นพื้นคอนกรีตว่างเปล่า จากกราฟเส้นแสดงอุณหภูมิอากาศ พบว่า ห้องที่มีสวนบนหลังคามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้อยกว่าห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคาและอากาศภายนอก กล่าวคือ สวนบนหลังคาช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างวัน (Liu, 2004) เนื่องจากหลังคาคอนกรีตสามารถดูดความร้อนได้ดี ประกอบกับอากาศภายนอกในตอนกลางวันมีอุณหภูมิสูง ทำให้หลังคาคอนกรีตมีอุณหภูมิสูงมาก ส่วนเวลากลางคืน หลังคาคอนกรีตจะคายความร้อนออกสู่บรรยากาศได้เร็ว และอากาศภายนอกมีอุณหภูมิต่ำ ทำให้อุณหภูมิของหลังคาคอนกรีตลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิหลังคาคอนกรีตมีค่าสูงในระหว่างวัน ขณะที่สวนบนหลังคามีต้นไม้ช่วยดูดซับความร้อน ส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างช้าๆ ในเวลากลางวันและค่อยๆ คายความร้อนในเวลากลางคืน จากการทดลองในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน (ฤดูร้อน) เป็นช่วงที่อุณหภูมิภายนอกมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด มากกว่าช่วงการทดลองอื่นๆ คือ 10.40 องศาเซลเซียส พบว่าที่ระดับเพดานซึ่งเป็นจุดที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันมากที่สุดระหว่างห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา ห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 9.53 องศาเซลเซียส ขณะที่ห้องที่มีสวนบนหลังคามีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเพียง 6.60 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 26) ส่งผลให้ห้องที่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละวันค่อนข้างคงที่ สอดคล้องกับ Connolly and Liu (2005) และ Liu and Baskaran (2003) ที่พบความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวหลังคาคอนกรีตสูงถึง 50 องศาเซลเซียส ในระหว่างวัน ขณะที่ความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวสวนบนหลังคามีเพียง 3 องศาเซลเซียส ซึ่งความแตกต่างของอุณหภูมิ

หลังคาที่ลดลงจากสวนบนหลังคา สามารถรักษาพื้นผิวหลังคาให้มีอายุการใช้งานนานขึ้น 2-3 เท่า จากปกติ (Peck *et al.*, 1999) นอกจากนี้ ยังพบว่าห้องที่มีสวนบนหลังคามีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคาทั้ง 3 ช่วงเวลาเช่นกัน โดยความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องที่จะทำให้เกิดสภาวะน่าสบายของมนุษย์ที่อาศัยอยู่ในเขตร้อนชื้น มีค่าอยู่ระหว่าง 60-90 เปอร์เซ็นต์ (ASHRAE, 1995) ซึ่งตลอดการทดลอง พบว่า ในฤดูฝนจะเป็นช่วงที่ความชื้นสัมพัทธ์ทุกระดับภายในห้องมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับฤดูหนาว และฤดูร้อน ตามลำดับ ซึ่งห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคามีค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วงที่ก่อให้เกิดสภาวะน่าสบาย (ASHRAE, 1995) โดยห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเท่ากับ 73.24 เปอร์เซ็นต์ ต่ำกว่าภายนอก 6.60 เปอร์เซ็นต์ และห้องที่มีสวนบนหลังคามีความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง 76.25 เปอร์เซ็นต์ ต่ำกว่าภายนอก 3.59 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ อาจเนื่องจากอุณหภูมิของห้องที่มีสวนบนหลังคามีค่าต่ำกว่าห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา จึงทำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มสูงกว่าด้วย

นอกจากนี้พบว่าสวนบนหลังคาช่วยลดความร้อนจากอุณหภูมิอากาศภายนอกที่ผ่านเข้ามาทางหลังคา เห็นได้ชัดเจนในช่วงฤดูร้อน สอดคล้องกับ Peck *et al.* (1999) ที่กล่าวว่า สวนบนหลังคาสามารถลดรังสีจากดวงอาทิตย์ได้มากถึง 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับหลังคาคอนกรีตที่ไม่มีสวน ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศภายในห้องที่อยู่ใต้สวนบนหลังคาลดลงจากปกติ 3-4 องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ระหว่าง 25-40 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับความชื้นสัมพัทธ์ ที่พบว่าในฤดูร้อนอากาศภายนอกมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดเมื่อเทียบกับทุกฤดู โดยมีค่าเท่ากับ 70.40 เปอร์เซ็นต์ โดยห้องที่มีสวนบนหลังคามีความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละระดับอยู่ในสภาวะน่าสบาย โดยเฉลี่ยเท่ากับ 64.79 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 61.75 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้พบว่าห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีความชื้นสัมพัทธ์ระดับเพดานต่ำกว่าระดับสภาวะน่าสบายของความชื้นสัมพัทธ์ในอาคาร โดยมีความชื้นสัมพัทธ์เพียง 59.67 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ระดับเพดานของห้องที่มีสวนบนหลังคามีความชื้นสัมพัทธ์ 64.26 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ สุมนา (2551) พบว่า ในช่วงที่สภาพอากาศร้อนที่สุด ระบบปลูกที่มีพืชคลุมดินสามารถช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคารได้ดีกว่าระบบปลูกที่ไม่ปลูกพืชคลุมดิน เช่นเดียวกับผลจากงานวิจัยของ สรยุทธ (2553) ที่ศึกษาประสิทธิภาพการกันความร้อนจากดวงอาทิตย์ ของแผ่นปลูกพืชรางใหม่ติดตั้งไว้บนหลังคากระเบื้องลอนคู่ พบว่า ในช่วงที่สภาพอากาศร้อนที่สุด หลังคาที่มีแผ่นรางใหม่พร้อมปลูกพืชคลุมดิน สามารถช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคารได้ดีกว่ากระเบื้องลอนคู่ที่ไม่มีสิ่งใดปกคลุม โดยสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่า 12 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับ Wong *et al.* (2007) ได้ทำการวิจัยการใช้ระบบการปลูกพืชบนหลังคาแบบ extensive ในภูมิอากาศแบบร้อน

ขึ้นในสิงคโปร์ พบว่าสามารถลดความร้อนที่ถ่ายเทสู่อาคารทางหลังคาได้มากถึง 60 เปอร์เซ็นต์ และยังลดการแผ่รังสีความร้อนของหลังคากลับสู่อากาศเหนือหลังคาได้อีกด้วย ซึ่งสวนบนหลังคาขนาดใหญ่อาจช่วยบรรเทาภาวะเกาะความร้อนในฤดูร้อน โดยลดการไหลเวียนของคลื่นความร้อน ในขณะที่พืชเกิดการคายระเหยน้ำขึ้นสู่อากาศ (Liu, 2004; Denardo *et al.*, 2005; Van Woert *et al.*, 2005a; Getter and Rowe, 2006) ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุปลูก และพืชพันธุ์ชนิดต่างๆ ที่ประกอบกันเป็นส่วนบนหลังคามีสวนช่วยในการบรรเทาการสะสมความร้อนของพื้นหลังคาคอนกรีต โดยสามารถดูดซับความร้อนได้มาก ขณะเดียวกันก็สามารถปลดปล่อยความร้อนออกสู่บรรยากาศและถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้ช้าลง

อุณหภูมิระดับเพดานในอาคารของห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคาสูงกว่าห้องที่มีสวนบนหลังคา เนื่องจากสวนบนหลังคามีสันไม้และวัสดุปลูกสามารถช่วยทำหน้าที่ในการกรองแสงอาทิตย์ และสะท้อนแสงบางส่วน ซึ่งช่วยลดความร้อนได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับหลังคาคอนกรีต เช่นเดียวกับ Liu and Baskaran (2003) ที่ได้ทดสอบการป้องกันความร้อนของสวนบนหลังคา พบว่า อุณหภูมิพื้นผิวหลังคาคอนกรีตในเวลากลางวันสูงถึง 70 องศาเซลเซียส ในขณะที่พื้นผิวหลังคาที่มีสวนมีอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส และ Wong *et al.* (2003) ที่ทำการศึกษาสภาพความร้อนจากระบบปลูกพืชสีเขียวที่ปกคลุมหลังคาในภูมิอากาศเขตร้อน พบว่า อุณหภูมิพื้นผิวของสวนบนหลังคามีค่าต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส ซึ่งน้อยกว่าเมื่อเทียบกับอุณหภูมิหลังคาคอนกรีต นอกจากนี้ พืชพันธุ์ของสวนบนหลังคายังมีกระบวนการคายระเหยน้ำ และการระบายความชื้นผ่านปากใบในเวลากลางวันส่งผลให้อุณหภูมิในรอบวันลดลงอย่างเห็นได้ชัด และทำให้ความชื้นสัมพัทธ์โดยรวมเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากพืชพันธุ์มีการคายความร้อนอย่างช้าๆ จึงทำให้อุณหภูมิบริเวณสวนลดต่ำลง (สุตสวัสดิ์, 2545) สอดคล้องกับสุนทร (2542) ที่กล่าวว่าต้นไม้ใหญ่ในเขตร้อนชั้น 1 ต้น สามารถลดความร้อนแก่สิ่งแวดล้อมได้มากเท่ากับเครื่องปรับอากาศขนาด 1 ตัน (12,000 บีทียู) จะเห็นได้ว่า ต้นไม้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการลดอุณหภูมิอากาศให้ต่ำลงได้ ทั้งยังส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น และยังสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในระบบการปรับอากาศของอาคาร จากการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยการป้องกันรังสีจากดวงอาทิตย์แล้วยังสามารถดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ส่วนหนึ่งเพื่อนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสง และการคายน้ำ ทำให้อุณหภูมิความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารได้ดี (พาสินี และคณะ, 2550) ซึ่งในการทดลอง พบว่า ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางหลังคาของห้องที่มีสวนบนหลังคาน้อยกว่าห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา ซึ่งเมื่อคำนวณเป็นปริมาณความร้อนที่เครื่องปรับอากาศต้องขจัดออกแล้ว ห้องที่มีสวนบนหลังคาสามารถลดภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศได้มากที่สุดถึง 73.81 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับห้องที่ไม่มีสวน

บนหลังคา สอดคล้องกับการทดลองของ Liu and Mino (2005) ที่กล่าวว่า ส่วนบนหลังคาลดอุณหภูมิในอาคารได้มากกว่าหลังคาแบบธรรมดา โดยเปรียบเทียบกับการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ส่วนบนหลังคาสามารถลดค่าใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากถึง 75 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ ญญิณี (2545) ยังพบว่าส่วนบนหลังคาสามารถลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้มากกว่า 15 องศาเซลเซียส และสามารถลดภาระการทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศได้อย่างน้อย 89 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Wong *et al.* (2003) กล่าวว่า อุณหภูมิพื้นผิวของส่วนบนหลังคามีน้อยกว่าเมื่อเทียบกับอุณหภูมิหลังคาคอนกรีต ซึ่งอุณหภูมิแตกต่างกันวัดได้สูงสุดถึง 18 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ลดการใช้ไฟฟ้าได้มากถึง 15 เปอร์เซ็นต์/ปี

ความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับต่างๆ ระหว่างห้องที่มีและไม่มีส่วนบนหลังคานั้น นอกจากส่วนบนหลังคาจะมีผลโดยตรงในการลดอุณหภูมิอากาศแล้ว ระดับความสูงภายในห้อง อากาศภายนอก และฤดูกาลก็เป็นปัจจัยหนึ่งในการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นภายในห้อง เห็นได้จากที่ระดับเพดานห้อง จะมีอุณหภูมิสูงกว่าระดับกลางห้องและพื้นห้อง ตามลำดับ เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุประเภทพื้นแข็งที่มีการสะสมความร้อนไว้ได้มาก (เดชา, 2543) จึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกผ่านเข้าสู่หลังคาคอนกรีตได้มาก ที่ระดับเพดานจึงได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิสูงมากที่สุด จากนั้นความร้อนจึงแผ่ลงมายังกลางห้อง และพื้นห้อง โดยอากาศจะมีอุณหภูมิลดลงเรื่อยๆ (ภาพที่ 16, 17, 18, 22, 23, 24, 28, 29 และ 30) นอกจากนี้ เมื่ออากาศภายนอกมีอุณหภูมิสูงก็จะทำให้พื้นคอนกรีตสะสมความร้อนไว้ได้มากยิ่งขึ้น ทำให้การถ่ายเทความร้อนของห้องที่ไม่มีส่วนบนหลังคาลงมาที่ระดับเพดานสูงมากขึ้น เป็นผลให้อุณหภูมิภายในห้องสูงขึ้นด้วย โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของเพดานในแต่ละวันจะมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันกับอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายนอก และยังทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับเพดานมีค่าผันแปรกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกมากที่สุดด้วย และเมื่อพิจารณาในแต่ละฤดูกาลจะพบว่ามีความแตกต่างกันคือ อุณหภูมิอากาศในฤดูร้อนค่อนข้างสูงกว่าฤดูอื่นอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะในเดือนเมษายนดวงอาทิตย์อยู่เกือบตรงศีรษะในเวลาเที่ยงวันทำให้ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์เต็มที่ นอกจากนี้ในช่วงฤดูร้อนท้องฟ้าค่อนข้างโปร่งมีเมฆน้อยจึงได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ได้โดยตรง ขณะที่ในช่วงฤดูฝนมีเมฆมากและมีฝนตก ซึ่งเมฆมีส่วนช่วยลดซับและลดการส่องผ่านของรังสีดวงอาทิตย์ที่ลงมายังโลกได้โดยตรง และในฤดูหนาว (เดือนพฤศจิกายน-มกราคม) พบว่าเป็นช่วงที่มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกในเวลากลางวันซึ่งจะมีอุณหภูมิสูงมาก และในเวลากลางคืนซึ่งจะมีอุณหภูมิต่ำมาก ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมিরะหว่างห้องที่มีและไม่มีส่วนบนหลังคามากที่สุดเมื่อเทียบกับช่วงเวลาอื่นๆ

ซึ่งหลังคาคอนกรีตจะสะสมอุณหภูมิที่สูงมากในตอนกลางวันจะลดลงอย่างรวดเร็วในตอนกลางคืน เมื่ออากาศภายนอกเย็นลง คอนกรีตเริ่มคายความร้อนกลับสู่อากาศ ประกอบกับฤดูหนาวเป็นช่วงเวลาที่อากาศมีอุณหภูมิต่ำกว่าปกติในตอนกลางคืน ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในแต่ละวันลดลง และมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิมากขึ้น โดยอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่ระดับเพดานของห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา มีค่าแตกต่างกัน 14.45 องศาเซลเซียส ซึ่งมากกว่าช่วงฤดูฝนที่มีค่าแตกต่างกัน 10.51 และฤดูร้อนที่มีค่าแตกต่างกัน 9.53 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เช่นเดียวกับห้องที่มีสวนบนหลังคา ที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิมากที่สุดในช่วงฤดูหนาว 10.50 องศาเซลเซียส ขณะที่ความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงฤดูฝนและฤดูร้อนเท่ากับ 7.72 และ 6.60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคามีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด มากกว่าห้องที่มีสวนบนหลังคา

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การทดลองเกี่ยวกับสวนบนหลังคา ในการคัดเลือกพันธุ์พืชและวัสดุปลูกที่เหมาะสม รวมถึงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการลดความร้อนเข้าสู่ห้องของห้องที่มีสวนและ ไม่มีสวนบนหลังคา สามารถสรุปได้ว่า

1. การทดสอบพันธุ์พืชร่วมกับวัสดุปลูก พบว่า หลิวไต้หวัน ว่านหางจระเข้ และเศรษฐีพันล้าน เป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตเฉลี่ยรวมทุกวัสดุปลูกสูงสุด 3 อันดับแรก ซึ่งสูงที่สุดในมะพร้าวสับ โดยการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของมะพร้าวสับ พบว่า มีความหนาแน่นรวมน้อยที่สุด 0.31 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร มีความพรุนช่องบรรจุอากาศมากที่สุดเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ มีความสามารถในการอุ้มน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 26.97 เปอร์เซ็นต์ มีค่า pH 5.83 และค่า EC 0.21 เดซิซิเมนส์/เมตร ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุปลูกสำหรับสวนบนหลังคา ดังนั้นหลิวไต้หวัน ว่านหางจระเข้ และเศรษฐีพันล้าน ที่ปลูกในมะพร้าวสับ จึงมีความเหมาะสมในการใช้สำหรับสวนบนหลังคา

2. ห้องที่มีสวนบนหลังคามีอุณหภูมิต่ำกว่าและความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา และห้องที่มีสวนบนหลังคาสามารถช่วยลดภาระการทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศได้มากถึง 73.81 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับห้องที่ไม่มีสวนบนหลังคา

ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาพันธุ์พืชที่เหมาะสม อาจมีการเพิ่มชนิดพืชให้หลากหลายมากขึ้น เพื่อให้ได้ฐานข้อมูลที่หลากหลายสำหรับการจัดสวนบนหลังคา รวมถึงศึกษาลักษณะต่างๆ ของพืชที่อาจส่งผลต่อการอยู่รอดในสภาพแวดล้อมบนหลังคา การเจริญเติบโต และอุณหภูมิภายในอาคารเมื่อถูกนำมาสร้างเป็นสวนบนหลังคา เช่น ลักษณะความหนาแน่นของทรงพุ่ม ความสูงต้น และอัตราการคายน้ำ เป็นต้น
2. เพิ่มความหลากหลายของอัตราส่วนผสมของวัสดุปลูกให้มากขึ้น รวมถึงการทดลองใช้วัสดุชนิดอื่นที่มีน้ำหนักเบาสำหรับสวนบนหลังคา ซึ่งมีราคาถูก และหาได้ในประเทศ
3. ศึกษาเรื่องการออกแบบสวนบนหลังคา สำหรับหลังคาที่มีความชัน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กนกวลี สุธีธร. ม.ป.ป. หลังคาเขียว: ทางเลือกเพื่อการจัดการน้ำฝน. แหล่งที่มา:

<http://www.land.arch.chula.ac.th/pdf/greenroof.pdf>, วันที่ 17 พฤศจิกายน 2556

กาญจนา สิริภทรวณิช. 2541. การใช้ไม้ยืนต้นในการปรับแต่งสภาพแวดล้อมเพื่อลดการใช้พลังงานภายในอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 251 น.

จริณ ไส้สุวรรณ. 2528. ผลการใช้เครื่องปลูกชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของแอฟริกันไวโอเล็ต. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี, ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 12 น.

คณะกรรมการจัดทำอนุกรมวิธานพืช. 2538. อนุกรมวิธานอักษร ก ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. ราชบัณฑิตยสถาน, กรุงเทพฯ. 495 น.

คณะกรรมการฝ่ายหาทุนมูลนิธิสวนหลวง ร. 9. 2539. พรรณไม้ในสวนหลวง ร. 9. ด้านสุทธาการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 283 น.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2547. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 730 น.

คณะบรรณาธิการสำนักพิมพ์บ้านและสวน. 2540. สารานุกรมไม้ประดับในประเทศไทย เล่ม 1. อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, กรุงเทพฯ. 541 น.

คณะบรรณาธิการสำนักพิมพ์บ้านและสวน. 2543. สารานุกรมไม้ประดับในประเทศไทย เล่ม 2. อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, กรุงเทพฯ. 573 น.

เครือข่ายกาญจนาภิเษก. 2556. “โรงบด – อัดแกลบ” โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา.

แหล่งที่มา: <http://kanchanapisek.or.th/kp1/data/29/index.html>, วันที่ 9 กันยายน 2555

ญาณากร สุทัศน์มาลี. 2536. การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของหน่อไม้ฝรั่ง. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 133 น.

ณัฐฉิณี นวลสกุล. 2545. การเปรียบเทียบศักยภาพของการป้องกันความร่อนระหว่างการใช้สวน
หลังคากับระบบหลังคาชั้นดีทั่วไป. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
259 น.

ดลยา หนูแก้ว. 2554. การศึกษาวัสดุปลูกสำหรับสวนหลังคา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 70 น.

ดวงพร นพคุณ. 2536. ภูมิอากาศวิทยา. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 238 น.

ดิเรก ทองอร่าม, วิทยา ตั้งก่อสกุล, นาวิ จิระชีวี และ อธิธิสุนทร นันทกิจ. 2545. การออกแบบ
และเทคโนโลยีการให้น้ำแก่พืช. บริษัทฐานการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 268 น.

เดชา บุญค้ำ. 2543. ต้นไม้ใหญ่ในงานก่อสร้างและพัฒนาเมือง. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 463 น.

ทักษิณย์ อัดตะนันท์ และ สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน. 2531. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. วารสารดินและ
ปุ๋ย. 10: 59-66.

ธรรมรงค์ วนิชชานนท์. 2524. การเปรียบเทียบเครื่องปลูกที่เหมาะสมในการปลูกเลี้ยงไทรย้อยใบ
แหลม. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 15 น.

นันทิยา วรรณะภูติ. 2545. คู่มือการปลูกไม้ดอก. ห้างหุ้นส่วนจำกัด สำนักพิมพ์ดรัสวิน (ซิลค์
เวอร์มบูกส์), กรุงเทพฯ. 250 น.

ปิยะ ดวงพัตรา. 2553. สารปรับปรุงดิน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 256
น.

พาสินี สุนากร, พูนพิภพ เกษมทรัพย์, ชนิกานต์ ยิ้มประยูร. 2550. **ผนังสีเขียว**.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 14 น.

พาสินี สุนากร และทิพาพรรณ ศิริเวชฎารักษ์. 2554. **Vertical & roof garden** จัดสวนสวยบน
ผนังและหลังคา. สำนักพิมพ์บ้านและสวน, กรุงเทพฯ. 157 น.

พิชามญช์ ทรัพย์สมบูรณ์. 2543. **การเจริญเติบโตของดาวเรืองฝรั่งเศสในวัสดุปลูกที่มีดินและ
เปลือกมะพร้าวสับในอัตราส่วนต่างๆ**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, ภาควิชาพืชสวน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 21 น.

พิสมัย จูฑะมงคล. 2534. **ผลของเครื่องปลูก ชนิด อัตราและวิธีการให้น้ำ ที่มีต่อการเจริญเติบโต
และผลผลิตของแตงกวาในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 140 น.

มนตรี คำชู. 2531. **อนาคตการปลูกพืชไร้ดิน**. เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการดินและปุ๋ย
ครั้งที่ 6. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 217 น.

ขงยุทธ โอสธสกา. 2538. **หลักการผลิตและการใช้ปุ๋ย**. ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ. 278 น.

วิเชียร สุวรรณรัตน์. 2537. **ภูมิอากาศวิทยาและการออกแบบสถาปัตยกรรม**. ภาควิชา
สถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. 138 น.

วรัปสร อัครนิยุทธ. 2548. **อิทธิพลของขนาดพื้นที่สีเขียวที่มีต่ออุณหภูมิอากาศและความชื้น
สัมพัทธ์ในเขตเมือง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
กรุงเทพฯ. 170 น.

วิชัย อิทธิวิศวกุล. 2539. **อิทธิพลของสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติที่มีผลต่ออุณหภูมิบริเวณ
อาคาร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
กรุงเทพฯ. 164 น.

- วิเชียร สุวรรณรัตน์. 2537. ภูมิอากาศวิทยาและการออกแบบสถาปัตยกรรม. ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. 138 น.
- วิทยา สุริยภณานนท์. 2523. อาหารและเครื่องปลูกของพืชสวน. เอกสารคำสอนวิชาพืชสวน. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 188 น.
- วิทยา สุริยภณานนท์. 2524. ดินผสมพืชสวน. ข่าวเกษตรศาสตร์. 26: 12-23.
- วิทยา สุริยภณานนท์. 2528. อาหารและเครื่องปลูกของพืชสวน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 112 น.
- วิทยา สุริยภณานนท์. 2531. อาหารและเครื่องปลูกของพืชสวน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 188 น.
- ศุภกิจ ยิ้มสรวล. 2541. การใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน. ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 167 น.
- เศรษฐมนตร์ กาญจนกุล. 2551. ร้อยพรรณพฤกษา รอบรู้เรื่องเครื่องปลูก. เศรษฐศิลป์, กรุงเทพฯ. 111 น.
- สนั่น จำเลิศ. 2526. หลักและวิธีการขยายพันธุ์พืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 374 น.
- สนั่น รัตนานุกูล และปิยะ ดวงพัตรา. 2538. ผลของสารเทอรากอตเต็มและสารดูดน้ำโพลิเมอร์ต่อการเจริญเติบโตและความทนแล้งของกล้าไม้ยืนต้น. วารสารวิชาการเกษตร. 13: 175-185.
- สมเพียร เกษมทรัพย์. 2524. ไม้ดอกกระถาง. โรงพิมพ์อักษรพิทย, กรุงเทพฯ. 224 น.

- สุดสวาท ศรีสถาปัตย์. 2545. การออกแบบวัสดุพืชพันธุ์และการประหยัดพลังงาน. ภาควิชาภูมิสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 146 น.
- สุนทร บุญญาธิการ. 2542. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 268 น.
- สุปรียา จันทะเหลา. 2547. ดอกไม้สีม่วง (คู่มือคนรักต้นไม้ 23). พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์บ้านและสวน, กรุงเทพฯ. 94 น.
- สุนนา โรจนวิภาต. 2551. แผ่นปลูกพืชบนดาดฟ้าอาคารเพื่อช่วยลดความร้อน. การศึกษาค้นคว้าอิสระ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 46 น.
- สรยุทธ รัชต์ตระกูล. 2553. แผ่นปลูกพืชจากถังใหม่เพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนบนหลังคาลาดเอียง. การศึกษาค้นคว้าอิสระ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 83 น.
- สหพรหม วงศ์วิระ. 2551. การศึกษาแผงกันแดดไม้เลื้อยเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 118 น.
- สันต์ ไกยนาม. 2551. ไม้ดอกกระถาง. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 241 น.
- อภิรักษ์ หลักชัยสกุล. 2540. การศึกษาวัสดุอินทรีย์เป็นวัสดุในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 117 น.
- อชรร พงษ์ไสว. 2544. ไม้เลื้อยประดับ. สำนักพิมพ์บ้านและสวน, กรุงเทพฯ. 96 น.
- อเนก ชีระวัฒน์ชัย. 2539. การทำความเย็นอาคารโดยการใช้ผิวสัมผัสพื้นดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 173 น.
- เอี่ยมพร วิสมหมาย, ศศิยา ศิริพานิช, อลิศรา มีนะทนิษฐ, ณัฏฐ พิชกรรม. 2551. พรรณไม้ในงานภูมิสถาปัตยกรรม 1, บริษัทอมรินทร์บุ๊คเซ็นเตอร์ จำกัด, กรุงเทพฯ. 335 น.

American Society of Heating. 1995. **ASHRAE Applications handbook**. Atlanta, Georgia. 187 p.

Baumann, N. 2006. Ground-nesting birds on green roofs in Switzerland: preliminary observations. **Urban Habitats**. 4: 37-44.

Beattie, D.J., and R. Berghage. 2004. Green roof media characteristics: The basic, p. 411-416. *In Proceedings of 2nd North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities*, Portland, Oregon. 2-4 June 2004. The Cardinal Group, Toronto.

Boivin, M., M. Lamy, A. Gosselin, and B. Dansereau. 2001. Effect of artificial substrate depth on freezing injury of six herbaceous perennials grow in a green roof system. **HortTechnology**. 11: 409-412.

Brenneisen, S. 2003. The benefits of biodiversity from green roofs: Key design consequences, p. 323-329. *In Proceeding of 1st North American Green Roof Conference: Greening rooftops for sustainable communities*, Chicago. 29-30 May 2003. The Cardinal Group, Toronto.

Brenneisen, S. 2004. Green roofs- How nature returns to the city. **Acta Horticulturae**. 643: 289-293.

Brown, E.F. and F.A. Pokorny. 1975. Physical and chemical properties of media composed of milled pine bark and sand. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. 100: 119-121.

Bunt, A.C. 1976. **Modern potting composts. A manual on the preparation and use of growing media for pot plants**. The Pennsylvania State University Press, Pennsylvania. 277 p.

Chong-lyuck Park, Byoung-Gon Kim, Ho-Seok Joen, Gye-Seung Lee and Jae-Ryeong Lee.

2010. Improved calcined clay with spherical layer structure and its characteristics as a medium for plant growth. **Applies Clay Science**. 49: 298-305.

Connelly, M. and K. Liu. 2005. Green roof research in British Columbia: An overview, p. 416-432. *In Proceeding of 3rd North American Green Roof Conference: Greening rooftops for sustainable communities*, Washington, DC. 4-6 May 2005. The Cardinal Group, Toronto.

Criley, R.A. and R.T. Watanabe. 1974. Response of chrysanthemum in four soilless media. **HortScience**. 9: 385-387.

Cushman, J.C. 2001. Crassulacean acid metabolism. A plastic photosynthetic adaptation to arid environments. **Plant Physiology**. 127: 1439-1488.

Darius, F., and J. Drepper. 1984. **Rasendächer in WestBerlin. Das Gartenamt**. 33: 309-315.

Dean, M. 2005. **ECOROOFS- Questions and Answers**. Portland, Oregon. 13 p.

Denardo, J.C., A.R. Jarrett, H.B. Manbeck, D.J. Beattie, and R.D. Berghage. 2005. Stormwater mitigation and surface temperature reduction by green roofs. **Transactions of the ASAE (American Society of Agricultural Engineers)**. 48: 1491-1496.

Derek T. 2007. **Study on green roof application in Hong Kong**. final report. Leigh and Orange Ltd., Hong Kong. 157 p.

Dunnett, N. P. and A. Nolan. 2004. The effect of substrate depth and supplementary watering on the growth of nine herbaceous perennials in a semi-extensive green roof. **Acta Horticulturae**. 643: 305-309.

- Dunnett, N. and N. Kingsbury. 2004. **Planting green roofs and living walls**. Timber Press. Portland, Oregon. 254 p.
- Dunnett, N. and N. Kingsbury. 2010. **Planting green roofs and living walls**. 2nd Ed. Timber Press, Cambridge.
- Durhman, A., N.D. VanWoert, D.B. Rowe, C.L. Ruhg, and D. Ebert-May. 2004. Evaluation of Crassulacean species on extensive green roofs, p. 504-517. *In* Proceeding of 2nd North American Green Roof Conference: **Greening rooftops for sustainable communities**, Portland, OR. 2-4 June 2004. The Cardinal Group, Toronto.
- Evans, M.R., S. Konduru, and R.H. Stamps. 1996. Source of variation in physical and chemical properties of coconut coir dust. **HortScience**. 31: 965-967.
- Fukui E. 1969. The recent rise of temperature in Japan. **Science Reports of the Tokyo Kyoiku Daigaku Section C**. 10: 145-164.
- Garbutt, S. 2005. The Garden: Gardens in the sky. **Journal of the Royal Horticultural Society**. 130: 792-797.
- Gedge, D. 2003. From rubble to redstarts, p. 233-241. *In* Proceeding of 1st North American Green Roof Conference: **Greening rooftops for sustainable communities**, Chicago. 29-30 May 2003. The Cardinal Group, Toronto.
- Getter, K.L. and D.B. Rowe. 2006. The role of green roofs in sustainable development. **HortScience**. 41: 1276-1285.
- Gibbs, J., K. Luckett, V. Jost, S. Morgan, T. Yan, and W. Retzlaff. 2006. Evaluating performance of a green roof system with different rowing mediums, *Sedum* species and

fertilizer treatments, p. 135-155. *In Proceedings of Midwest Regional Green Roof Symposium., Edwardsville, IL, 30 June 2006.*

Gómez-Campo, C. 1994. Plantas para la naturaciÓn de azoteas: El género *Sedum* L. **Agricultura (Espana).** 749: 1041-1042.

Gómez-Campo, C., and Gómez-Tortosa. 1996. Especies vegetales en las azoteas verdes. **Agricultura (Espana).** 773: 1029-1031.

Graham, P., and M. Kim. 2003. Evaluating the storm water management benefits of green roofs through water balance modeling, p. 151-206. *In Proceedings of the 1st International Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference; 2003 May 29-30; Chicago, Illinois.*

Gravatt, D.A. 2003. Crassulacean acid metabolism and survival of asexual propagules of *Sedum wrightii*. **Photosynthetica.** 41: 449-452.

Gravatt, D.A., and C.E. Martin. 1992. Comparative ecophysiology of five species of *Sedum* (Crassulacean) under well-watered and drought-stressed conditions. **Oecologia.** 92: 532-541.

Graves, C.J., P. Adam and G.W. Winsor. 1978. Some Effects of Micronutrient and Liming on the Yield, Quality and Micronutrients and Liming on the Yield, Quality and Micronutrients Status of Tomato Grown in Peat. **Plant and Soil.** 50: 343-354.

Green Roofs for Healthy Cities (GRHC). 2005. **Green roof design 101–Introductory course.** Participant’s manual. Toronto. 286 p.

Green Roofs for Healthy Cities (GRHC). 2006. **Green roof infrastructure design and installation 201.** Participant’s manual. Toronto. 313 p.

Handreck, K.A. and N.D. Black. 1994. **Growing media for ornamental plants and turf.** University of New South Wales Press, New South Wales, Australia. 488 p.

Huxley, A., M. Griggiths, and M. Levy. 1992. **Dictionary of Gardening: The new Royal Horticultural Society.** Morton Word Processing Ltd, Mexico. 353 p.

Jauch, M. 1993. Extensive Dachbegruenung. Die. Fetten sind nicht fit genug. **Deutscher-Garten- bau.** 47: 36–37.

Jennifer M.B., J.E. Klett, and R.D. Koski. 2010. Extensive Green Roof Species Evaluations Using Digital Image Analysis. **HortScience.** 45: 1288–1292.

Jun Yang, Qian Yu, and Peng Gong. 2008. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. **Atmospheric Environment.** 42: 7266–7273.

Kaplan, S., J.F. Talbot, and R. Kaplan. 1988. Coping with daily hassles: **The impact of the nearby natural environment.** (Project report number 23-85-08) USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, Urban Forestry Unit Cooperative Agreement.

Kirschstein, C. 1997. Die dürreresistenz einiger *Sedum*-arten. Abgeleitet aus der Bedeutung der Wurzelsaugspannung- Teil 1. **Stadt und Grün.** 46: 252-256.

Kluge, M. 1997. Is *Sedum acre* L. a CAM plant? **Oecologia.** 29: 77-83.

Koehler, M. 2003. Plant survival research and biodiversity: lessons from Europe, p. 165-190. **In Proceedings of the 1st International Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference;** 2003 May 29-30; Chicago, Illinois.

Kolb, W. 2004. Good Reasons for Roof Planting: Green Roofs and Rainwater. **Acta Horticulturae.** 643: 295-300.

- Kristin L.G., and D.B. Rowe. 2006. The role of extensive green roofs in sustainable development. **HortScience**. 41: 1276–1285.
- Lassalle, F. 1998. Wirkung von trockensteß auf xerophile pflanzen. **Stadt und Grün**. 47: 437-443.
- Lee, K.S., and J. Kim. 1994. Changes in *Crassulacean* acid metabolism (CAM) of *Sedum* plants with special reference to soil moisture conditions. **Journal of Plant Biology**. 37: 9-15.
- Lemaire, F. 1995. Physical, Chemical and biological properties of growing medium. **Acta Horticulturae**. 396: 273-284.
- Liesecke, H.J., and H. Borgwardt. 1997. Abbau von luftschadstoffen durch extensive dachbegrünungen (Degradation of air pollutants by extensive green roofs). **Stadt und Grün**. 46: 245-251.
- Liesecke, H.-J., 1999. Extensive Begrünung bei 5° Dachneigung; Ergebnisse eines vierjährigen Freilandversuchs zu Bauweisen, Vegetationsentwicklung, ökologisch wirksamer Wasserrückhaltung und entwässerungstechnisch zuücksichtigendem Wasserabfluss. **Stadt und Grün**. 48: 337–346.
- Liu, K. 2004. Engineering performance of rooftop gardens through field evaluation. **Journal of the Roofing Consultants Institute**. 22: 4-12.
- Liu, K., and B. Baskaran. 2003. Thermal performance of green roofs through field evaluation, p. 273-282. *In* Proceedings of 1st North American Green Roof Conference: **Greening Rooftops for Sustainable Communities**, Chicago 29-30 May 2003. The Cardinal Group, Toronto.

- Liu, K., and J. Minor. 2005. Performance evaluation of an extensive green roof, p. 8-12. *In* **Proceedings of the 3rd International Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference**; 4-6 May 2005; Washington, DC.
- Marfa, O., A. Martinaz, R. Orozco, L. Serrano and S.X. Martinez. 1993. The use of fine grade perlites in lettuce bag cultures. II. Physical properties, rheologic effects and productivity. **Acta Horticulturae**. 342: 339–348.
- Miller, R.W. 1997. **Urban forestry: planning and managing urban green spaces**. 2nd ed. Prentice–Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey. 404 p.
- Monterusso, M.A., D.B. Rowe, and C.L. Rugh. 2005. Establishment and persistence of *Sedum* spp. and native taxa for green roof applications. **HortScience**. 40: 391–396.
- Moran, A., Hunt, B., and G. Jennings. 2004. A North Carolina field study to evaluate green roof runoff quantity, runoff quality, and plant growth, p. 111-144. *In* **Proceedings of the 2nd International Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference**; 2004 June 2-4; Portland, Oregon.
- Nektarios P.A., I. Amountzias, I. Kokkinou, and N. Ntoulas. 2011. Green roof substrate type and depth affect the growth of the native species *Dianthus fruticosus* under reduced irrigation regimens. **HortScience**. 46: 1208–1216.
- Nelson, P.V. 1991. **Greenhouse operation and management**. Prentice Hall, Inc. New Jersey. 612 p.
- Oke, T.R. 1982. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**. 108: 1-24.

- Peck, S.W., C. Callaghan, M.E. Kuhn, and B. Bass. 1999. **Greenbacks from green roofs: Forging a new industry in Canada.** Canada Mortgage and Housing Corporation. Ottawa. 78 p.
- Peck, S.W., M.E. Kuhn. 2001. **Design Guidelines for Green Roofs.** National Research Council Canada, Toronto. 22 p.
- Reinikainen, O. 1993. Choice of growing media for pot plants. **Acta Horticulturae.** 324: 357-360.
- Rosenzweig, C., S. Gaffin, and L. Parshall. 2006. **Green Roofs in the New York Metropolitan Region;** Research Report. Columbia University Center for Climate Systems Research and NASA Goddard Institute for Space Studies. New York. 59 p.
- Rowe, D.B., C.L. Rugh, N. VanWoert, M.A. Monterusso, and D.K. Russell. 2003. Green roof slope, substrate depth, and vegetation influence runoff, p. 354-362. **In Proceedings of 1st North American Green Roof Conference: Greening rooftops for sustainable communities,** Chicago. 29-30 May 2003. The Cardinal Group, Toronto.
- Rowe, D.B., M.A. Monterusso, and C.L. Rugh. 2005. Evaluation of *sedum* species and Michigan native taxa for green roof applications, p. 469-481. **In Proceedings of 3rd North American Green Roof Conference: Greening rooftops for sustainable communities,** Washington, DC. 4-6 May 2005. The Cardinal Group, Toronto.
- Rowe, D.B., Monterusso, M.A., & Rugh, C.L. 2006. Assessment of Heat-expanded slate and fertility requirements in green roof substrates. **HortTechnology.** 16: 471-477.
- Sayed, O.H., M.J. Earnshaw, and M. Cooper. 1994. Growth, water relations, and CAM induction in *Sedum album* in response to water stress. **Biologia Plantarum.** 36: 383-388.

Scrivens, S. 1990. Urban landscape and roof gardens, p. 131–151. *In*: Clouston, B. (ed.).

Landscape design with plants. 2nd Ed. Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford, U.K.

Self, R.L. 1976. Potting mix studies analyzed in Alabama. **American Nurseryman.** 144: 100-104.

Snodgrass, E. 2005. 100 Extensive green roofs: Lessons Learned, p.209-214. **Proceeding of 3rd North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities**, Washington DC. 4-6 May 2005. The Cardinal Group, Toronto.

Spronken-Smith, R.A. and T.R. Oke. 1998. The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. **International Journal of Remote Sensing.** 19: 2085–2104.

Takebayashi, H. and M. Moriyama. 2009. Study on the urban heat island mitigation effect achieved by converting to grass-covered parking. **Solar Energy.** 83: 1211–1223.

Teeri, J.A., M. Turner, and J. Gurevitch. 1986. The response of leaf water potential and *Crassulacean* acid metabolism to prolonged drought in *Sedum rubrotinctum*. **Plant Physiology.** 81: 678-680.

Tere's, V., V. Arrieta and M. Rozas, 1995. A method for evaluation of air volumes in substrates. **Acta Horticulturae.** 401: 14-18.

Theodore O. 1999. **Roof Garden History Design and Construction.** W.W Norton & Company, New York.

Ulrich, R.S. 1984. View through a window may influence recovery from surgery. **Science.** 224: 420-421.

- Ulrich, R.S., and R. Simons. 1986. Recovery from stress during exposure to everyday outdoor environments. *In* J. Wineman, R. Barnes, and C. Zimring (eds.). *The cost of not knowing. Proceedings of the 17th Annual Conference of the Environmental Research Association.* Washington, D.C.
- Van Woert, N.D., D.B. Rowe, J.A. Andresen, C.L. Rugh, R.T. Fernandez, and L. Xiao. 2005a. Green roof stormwater retention: Effects of roof surface, slope, and media depth. *Environmental Quality.* 34: 1036-1044.
- Van Woert, N.D., D.B. Rowe, J.A. Andresen, C.L. Rugh, and L. Xiao. 2005b. Watering regime and green roof substrate design affect *Sedum* plant growth. *HortScience.* 40: 659-664.
- White, J.W., and E. Snodgrass. 2003. Extensive green roof plant section and characteristics, p. 166-176. *In* **Proceeding of 1st North American Green Roof Conference: Greening rooftops for sustainable communities**, Chicago. 29-30 May 2003. The Cardinal Group, Toronto.
- Wong, N.H., P.Y. Tan, and C. Yu. 2007. Study of Thermal Performance of Extensive Roof Greenery Systems in the Tropical Climate. *Building and Environment.* 42: 25-54.
- Wong, N.H., Y. Chen, C.L. Ong, and A. Sia. 2003. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. *Building and Environment.* 38: 261-270.
- Wu, Y., D. Cosgrove, B. Davies, and B. Sharp. 2000. Adaptation of roots to low water potentials by changes in cell wall extensibility and cell wall proteins. *Experimental Botany.* 51: 1543-1553.
- Yok T. P., and A. Sia. 2005. A pilot green roof research project in Singapore, p. 399-415. *In* **Proceedings of 3rd North American Green Roof Conference: Greening rooftops for**

sustainable communities, Washington, DC. 4-6 May 2005. The Cardinal Group,
Toronto.







ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุปลูก

1. ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูก ตามวิธีการของ Handreck and Black (1994) ดังนี้

1.1 ความหนาแน่นรวม (ρ)

ความหนาแน่นรวมของวัสดุปลูก หมายถึง สัดส่วนระหว่างมวลแห้งของวัสดุปลูก (M) และปริมาตรมวลรวม (V) โดยวิธีการดังนี้

1. ใช้กระป๋องวิเคราะห์ดินทรงกระบอก ที่ทราบปริมาตรแน่นอนและหาท่อหรือภาชนะที่จะต่อได้พอดีกับด้านบนของภาชนะ
2. บรรจุวัสดุปลูกนั้นลงไปจนถึงระดับบนสุดของภาชนะที่สวมด้านบน
3. เคาะภาชนะนั้นจากความสูง 50 มิลลิเมตร จำนวน 5 ครั้ง
4. ค่อยๆ นำภาชนะส่วนบนออก แล้วปาดวัสดุปลูกที่ล้นภาชนะฐานล่างออก
5. จะได้วัสดุปลูกที่ทราบปริมาตรแน่นอน (V)
6. ทำให้อากาศในแห้งโดยการนำไปอบที่ 105-110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จนน้ำหนักวัสดุปลูกคงที่
7. ชั่งน้ำหนักของวัสดุปลูกนั้น โดยให้มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม (M)

จากนั้นคำนวณความหนาแน่นรวมตามสมการ $\rho = M/V$

โดยที่ ρ = ความหนาแน่นรวมของวัสดุปลูก (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

M = มวลแห้งของวัสดุปลูก (กรัม)

V = ปริมาตรมวลรวมของวัสดุปลูก (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

1.2 ความพรุนช่องบรรจุอากาศ (air-filled porosity, E_a)

สสารที่บรรจุในช่องของวัสดุปลูกมี 2 ชนิด คือ น้ำ และอากาศ ดังนั้นปริมาตรรวมของช่อง (V_p) มีค่าเท่ากับปริมาตรของอากาศ (V_a) รวมกับปริมาตรของน้ำ (V_w) โดยวิธีการดังนี้

1. ทำให้อากาศในช่องของวัสดุปลูกที่ทดสอบเปื่อยขึ้นอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาทดสอบ

2. บรรจุวัสดุปลูกลงในกระป๋องวิเคราะห์ดินทรงกระบอกจนถึงระดับบนสุดของกระบอกที่สวมไว้ด้านบน

3. เคาะภาชนะจากระดับสูงจากพื้นประมาณ 50 มิลลิเมตร จำนวน 5 ครั้ง

4. นำภาชนะที่มีวัสดุปลูกอัดเม็ดไปแช่น้ำในถังน้ำขนาด 2 ลิตร แล้วค่อยๆ เทน้ำทิ้ง

5. ยกภาชนะที่มีวัสดุปลูกขึ้นตรงๆ ช้าๆ แล้วปล่อยให้ น้ำระบายออกระยะหนึ่ง

6. ทำซ้ำข้อ 3, 4 และ 5 โดยแช่น้ำและให้ระบายออกมากกว่า 2 ครั้ง แต่แต่ละครั้งห่างกัน 10 นาที

7. เมื่อทำครบ 3 ครั้ง ให้เอาฝาคอภาชนะด้านบนออก แล้ววัสดุปลูกที่มีปริมาตรส่วนภาชนะออก โดยปราศจากแรงกดที่กระทำต่อผิวหน้าของวัสดุปลูกที่อยู่ในฐานล่าง

8. ปิดหน้าวัสดุปลูกด้วยผ้าขาวบาง

9. นำไปวางในถังเติมน้ำให้สูงกว่าฐานภาชนะ 20-40 มิลลิเมตร หลังจาก 10 นาที ให้ยกภาชนะขึ้นมา

10. นำภาชนะมาวางในถาดหรือภาชนะที่สามารถรองรับน้ำ โดยปล่อยให้ น้ำไหลออกจากภาชนะ ใช้วัตถุหนุนฐานของภาชนะให้สูงจากผิวของภาชนะรองรับน้ำ ใช้เวลาประมาณ 30 นาที และวัดปริมาตรของน้ำที่ระบายออกมา

จากนั้นคำนวณพรุนช่องบรรจุอากาศตามสมการ $E_a = (V/\text{ปริมาตรภาชนะ}) \times 100 \%$

โดยที่ $V =$ ปริมาตรวัสดุปลูก หาได้จากปริมาตรของภาชนะทดสอบที่บรรจุวัสดุปลูก (มิลลิลิตร)

1.3 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water-filled porosity, E_w)

เนื่องจากปริมาตรของช่องในวัสดุหนึ่งๆ มีจำนวนจำกัด ดังนั้นความสามารถในการอุ้มน้ำจะแปรผันโดยกลับกับความพรุนช่องบรรจุอากาศ

1. นำกระป๋องวิเคราะห์ดินทรงกระบอกที่บรรจุวัสดุปลูกที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ปล่อยให้ น้ำระบายออกจากฐานของภาชนะทรงกระบอกเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก

2. นำอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก

3. ค่าความแตกต่างของน้ำหนักวัสดุปลูกที่เปียกและแห้งเป็นน้ำหนักของน้ำที่ได้ คือ ความสามารถในการอุ้มน้ำ

จากนั้นคำนวณตามสมการ $E_w = (V_w/V) \times 100 \%$

V_w = ค่าความแตกต่างของน้ำหนักระหว่างวัสดุเปียกและแห้ง หรือน้ำหนักของ น้ำที่วัสดุสามารถอุ้มได้ (มิลลิลิตร) (คิดจากน้ำมีความหนาแน่น 1 กรัม/ มิลลิลิตร)

V = ปริมาตรวัสดุปลูก หาได้จากปริมาตรของภาชนะทดสอบที่บรรจุวัสดุปลูก (มิลลิลิตร)

2. ทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุปลูก ตามวิธีการของ อภิรักษ์ (2540) และ คณาจารย์ ภาควิชาปฐพีวิทยา (2544) ดังนี้

2.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของวัสดุปลูกด้วยเครื่อง pH meter รุ่น Satorius-PB20 โดยใช้อัตราส่วนของวัสดุ: น้ำกลั่น เท่ากับ 1:10 โดยวิธีการดังนี้

1. วัดค่า pH ของน้ำกลั่น ด้วย pH meter
2. นำวัสดุปลูกใส่ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นลงไปในอัตราส่วน 1:10 โดยปริมาตร
3. วัดค่า pH ของสารละลาย

2.2 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) โดยวิธีการดังนี้

1. นำวัสดุมาทำให้อิ่มตัวด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วนของวัสดุ: น้ำกลั่น เท่ากับ 1:10
2. วัดค่า EC ของสารละลายด้วย EC meter



ภาคผนวก ข

การคำนวณภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศระหว่างห้องที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา

คำนวณหาปริมาณความร้อนที่วัสดุต้องการในการเปลี่ยนอุณหภูมิ ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิวัสดุให้เท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการ โดยมีสมการดังนี้

$$Q = mc \times \Delta T$$

Q = ปริมาณความร้อน (บีทียู)

m = มวลของวัตถุ (ปอนด์)

c = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุ (บีทียู/ปอนด์/องศาฟาเรนไฮต์)

ΔT = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ต้องการ (องศาฟาเรนไฮต์)

โดยคอนกรีตมีมวลเฉลี่ยเท่ากับ 144 ปอนด์ และค่าความจุความร้อนจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 0.22 บีทียู/ปอนด์/องศาฟาเรนไฮต์ (ASHRAE, 1997)

เมื่อนำค่าปริมาณความร้อนที่ได้ (Q) หารกับขนาดพื้นที่ของหลังคา จะได้ค่าปริมาณความร้อน หรือภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ที่มีหน่วย บีทียู/ชั่วโมง/ตารางฟุต



ตารางผนวกที่ 1 เปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด เฉลี่ย ที่ระดับเพดาน กลางห้อง และพื้นห้อง
ที่มีและไม่มีสวนบนหลังคา ตลอดจนการทดลอง ตั้งแต่ 10 กันยายน 2556 ถึง 30
เมษายน 2557 เป็นเวลา 8 เดือน

	ไม่มีสวนบนหลังคา			มีสวนบนหลังคา		
	เพดาน	กลางห้อง	พื้นห้อง	เพดาน	กลางห้อง	พื้นห้อง
อุณหภูมิสูงสุด	47.9	42.8	40.3	37.5	39.0	36.5
อุณหภูมิต่ำสุด	27.5	27.9	28.3	19.0	18.0	20.5
อุณหภูมิเฉลี่ย	39.2	36.6	34.4	29.83	29.79	30.0

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวณอรัชต์พัชร เขียววิชัย
วัน เดือน ปี ที่เกิด	29 สิงหาคม 2530
สถานที่เกิด	ตำบลลาดหญ้า อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ปีการศึกษา 2552
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-