



การวิเคราะห์ประสิทธิภาพวัสดุธรรมชาติทดแทนดินสำหรับเทคโนโลยีหลังคาเขียว

Analysis of Performance on Substrate Culture

Made from Natural Materials for Green Roof Technology

วรินทร์ กิตอนันต์ภัทร์^{1*} สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์¹ และ อารักษ์ ธีรอำพน¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน ²สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

*Email: somsaksi@sut.ac.th

บทคัดย่อ

ปัญหาสภาพอากาศแปรปรวนในปัจจุบัน ซึ่งเกิดจากก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas) และความเจริญเติบโตของเมืองที่เพิ่มขึ้น พื้นที่สีเขียวลดลง ส่งผลให้ความร้อนสะสมในพื้นที่เมืองสูง ดังนั้นเพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้น พื้นที่ดูดซับความร้อนจึงมีบทบาทสำคัญในการลดภาวะโลกร้อน (Greenhouse effect) โดยการเพิ่มพื้นที่สีเขียว ซึ่งการปลูกพืชบนหลังคาเป็นทางเลือกที่สามารถเพิ่มพื้นที่สีเขียวได้ในบริเวณกว้าง แต่การปลูกพืชบนหลังคาโดยใช้น้ำหนักสูงอาจส่งผลกระทบต่อโครงสร้างหลังคาหรือส่งผลต่อต้นทุนโครงสร้างหลังคา ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนของวัสดุปลูกท้องถิ่น ได้แก่ ขุยมะพร้าว กากกาแฟ ถังแกลบ และใช้แยมันสำปะหลังเป็นวัสดุผสมเพิ่มพื้นที่สีเขียวโดยพิจารณา หลังคาแบบไม่ใช้สอย (Extensive green roof) ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง แบบแฟกทอเรียล 2 ระดับ ใช้หุ้มน้ำหนักน้อยต้นอ่อนปลูกในภาชนะประเภทเมทัลลิก ขนาด 50x50x10 เซนติเมตร ชั้นวัสดุปลูกหนา 5 เซนติเมตร และศึกษาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักที่เหมาะสมสำหรับการปลูก ผลการศึกษาพบว่าส่วนผสมที่ให้ผลการเติบโตสูงที่สุดคือ ขุยมะพร้าว:กากกาแฟ:ถังแกลบ 60:30:10 และแยมันสำปะหลัง 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการเติบโตใกล้เคียงกับดิน ให้ปริมาณธาตุ N P K ที่เพียงพอ แต่มีน้ำหนักเบากว่าประมาณ 7 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับดินปลูกทั่วไป

คำสำคัญ: หลังคาเขียว วัสดุปลูกทดแทนดิน การออกแบบการทดลอง

Received: March 04, 2019

Revised: May 15, 2019

Accepted: June 08, 2019

Abstract

Currently, Climate Change caused by greenhouse gas which generated with rate of city's growth and decrease of green area. These led to heat absorbs area as a result is urban heat island. Therefore reducing global warming (Greenhouse effect) is the first priority to deal with the problem. One potential solution was to increase green area by planting the green roof. This study was proposed the analysis of performance on substrate culture made from natural materials for green roof due to lighter weight of natural material than soil which impact to roof structure and its cost. This research was focused on extensive green roof and 3 kinds of materials, coconut fiber-dust, coffee residue and paddy husk charcoals with using starch as binder. Manila grass was selected to plant into the 5 cm thick substrate culture in metal sheet tray size 50x50x10 cm. 2^k factorial design technique was employed to analyze the substrate culture performance. The main nutrients of the substrate, N P K, were measured to describe the results. It was found that the most appropriate substrate was coconut fiber-dust : coffee residue : paddy husk charcoals 60 : 30 : 10 with starch 20 percent which yield the growth of grass in the same level as soil with lower weight than soil by 7 times.

Keywords: Green Roof, Substrate culture, Design of Experiment.

1. บทนำ

Green Roof หรือหลังคาเขียวเป็นลักษณะของการปลูกพืชบนหลังคา เพื่อป้องกันความร้อนหรือความหนาวเย็นเข้าสู่อาคาร ซึ่งปัจจุบันความก้าวหน้าของเทคโนโลยี สิ่งอำนวยความสะดวกที่มีอัตราเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิโลกเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นทุก ๆ ปี ดังนั้นการตระหนักถึงกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญเพื่อลดการใช้พลังงานและดูแลสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ความแออัดและหนาแน่นในชุมชนเมือง ส่งผลให้พื้นที่สีเขียวกลายเป็นที่ปกอาศัยและราคาอสังหาริมทรัพย์พุ่งสูงขึ้น เกิดภาวะขาดแคลนพื้นที่สีเขียว ดังนั้น Green Roof (หลังคาเขียว) จึงเป็น

ทางเลือกหนึ่งสำหรับการลดพลังงาน การลดปัญหาภาวะโลกร้อนและเพิ่มพื้นที่สีเขียว ปัจจุบันแยกความหมายได้ 2 แห่ง คือ

1.1 Green roofs ในแง่ของเทคโนโลยีอาคาร

1.2 Green roofs ในแง่ของการมีพืชปกคลุมอยู่ด้านบนอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 1

จากงานวิจัยของ (วรวัช พวงพริศรี, 2560) ได้ทดลองพัฒนาและติดตั้งหลังคาเขียว (Green Roof) เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาสู่ภายในอาคารจำลอง โดยพิจารณาปลูกหญ้าขนาดเล็ก ความหนาดินของชั้นปลูก 3 และ 5 เซนติเมตร ปลูกบนหลังคา A ขนาด 2x2 เมตร ประเภท Metal sheet จำนวน 2 ห้อง

ตารางที่ 1 ประเภทของหลังคาเขียวในแง่ของการมีพืชพันธุ์ปกคลุมอยู่ด้านบน

Type of Green roof	Intensive Green roof	Semi-Intensive Green roof	Extensive Green roof
การดูแลรักษา	แบบต้องการการดูแลมาก	แบบกึ่งดูแล	แบบต้องการการดูแลน้อย
ความหนา	ชั้นปลูกหนา > 30 cm.	ชั้นปลูกหนา > 15 cm.	ชั้นปลูกหนา < 15 cm.
ลักษณะพืช	พืชพันธุ์หลากหลาย	พืชพันธุ์ได้หลากหลาย	พืชพันธุ์จำกัด
ทัศนียภาพ	มีความสวยงาม	มีความสวยงาม	กลิ่นธรรมชาติ
การออกแบบ	ซับซ้อนต้องใช้ผู้ชำนาญ	ซับซ้อนต้องใช้ผู้ชำนาญ	ปล่อยพืชพันธุ์เติบโต
พื้นที่ใช้สอย	ใช้สอยได้หลากหลาย	ปรับเปลี่ยนใช้สอยได้	ใช้สอยพื้นที่หลังคาไม่ได้
น้ำหนัก	น้ำหนักมาก	น้ำหนักปานกลาง	น้ำหนักน้อย
ต้นทุน	ต้นทุนสูง	ต้นทุนสูง	ต้นทุนน้อย
การบำรุงรักษา	บำรุงรักษาสูง	บำรุงรักษาสูง	บำรุงรักษาต่ำ

ตารางที่ 2 แสดงอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างอาคารที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งหลังคาเขียว (Green Roof)

เวลา	ติดตั้ง Green roof (องศาเซลเซียส)						ไม่ติดตั้ง Green roof (องศาเซลเซียส)					
	o	i	w	n	t	s	o	i	w	n	t	s
6:00	24	24	23.5	23.5	24	24	24	23.5	23.5	23.8	24.5	24
8:00	26	25	24.5	24.7	25	24	26	25	24.8	24.9	29.6	24
10:00	29	27.5	26.3	26.6	27	26	29	28.1	26.6	26.7	32.3	26.8
12:00	35	30	25	26.6	30	28	35	32.5	28.6	29.3	37.7	32.4
14:00	36	31	21.9	23.7	27	25	36	33.5	27.1	27.3	41.2	31.4
16:00	35	32	34	35.3	33	32	35	35	37.6	34.4	34.2	33.6
18:00	28	30.5	29	31.6	29	29	28	32	33.7	30.8	27.3	30.3

หมายเหตุ o = ภายนอก,

i = ภายใน,

w = ผิวผนังทิศตะวันตก,

n = ผิวผนังทิศเหนือ,

t = ผิวใต้หลังคาภายใน,

s = ผิวผนังทิศใต้

A = ประเภท Metal Sheet

พบว่า ช่วงเวลา 12:00-16:00 น. เป็นช่วงที่อุณหภูมิสูงที่สุดของวันจะมีอุณหภูมิภายในลดลงห้องที่ติดตั้งหลังคาเขียว (Green Roof) เฉลี่ย 4.3 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นสามารถลดอุณหภูมิผิวด้านล่างของหลังคา ณ เวลา 14:00 ได้ 14.2 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 2

อย่างไรก็ตาม การใช้ดินปลูกมีน้ำหนักสูงอาจส่งผลต่อโครงสร้างหลังคาในระยะยาวและมีผลต่อต้นทุนการสร้างอาคาร เพราะฉะนั้นเพื่อการเข้าถึงของหลังคาเขียวในประชากรกลุ่มใหญ่ในการ

เพิ่มพื้นที่สีเขียว งานวิจัยนี้จึงเลือกพัฒนาการปลูกพืชบนหลังคาประเภท Extensive Green Roof แบบไม่มุ่งเน้นประโยชน์ใช้สอย ดังแสดงในตารางที่ 1 และใช้วัสดุปลูกจากท้องถิ่นทดแทนดินที่มีน้ำหนักสูง เพื่อลดภาระการรับน้ำหนักของโครงสร้างหลังคา ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ศึกษาอัตราส่วนของวัสดุปลูกและการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมสำหรับการใช้ปลูกหญ้าขนาดเล็กทดแทนการใช้ดิน

โดยทั่วไปแล้วธาตุอาหารหลักในดินจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. ไนโตรเจน (N) เป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการส่งเสริมให้พืชตั้งได้รวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโตทำให้ลำต้น กิ่งก้าน และใบเจริญเติบโตได้ดี (ศิริพร กาทอง และ ดร.เฉลิม เรืองวิริยะชัย, 2557)

2. ฟอสฟอรัส (P) เป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการแพร่กระจายของรากในระยะแรกและส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้น การออกดอกออกผลและสร้างเมล็ดของพืช ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีนและสารอินทรีย์ที่สำคัญในพืช เป็นองค์ประกอบของสารที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงานในกระบวนการต่าง ๆ (ศิริพร กาทอง และ ดร.เฉลิม เรืองวิริยะชัย, 2557)

3. โพแทสเซียม (K) เป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการสร้างและเคลื่อนย้ายอาหารพวกแป้งและน้ำตาลไปเลี้ยงส่วนที่กำลังเติบโต และส่งไปเก็บไว้เป็นเสบียงที่หัวหรือที่ลำต้น กระบวนการต่างๆของเซลล์พืช ช่วยในการสังเคราะห์ น้ำตาล และแป้ง การเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลจากใบไปยังผล กระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ทำให้พืชแข็งแรงสามารถต้านทานโรค (ศิริพร กาทอง และ ดร.เฉลิม เรืองวิริยะชัย, 2557)

จากธาตุอาหารดังกล่าว การเลือกวัสดุปลูกทดแทนดินให้เหมาะสมสำหรับการปลูกหนุ่ย นวลน้อย จะพิจารณาวัสดุทดแทนจากธรรมชาติ โดยคำนึงถึงต้นทุนและธาตุอาหาร วัสดุปลูกธรรมชาติที่นำมาศึกษา มีทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่

1. ขุยมะพร้าว

ขุยมะพร้าวมีประโยชน์ในการปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์ของวัสดุปลูกให้ดีขึ้น โดยเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำ อาหาร การ

ระบายน้ำและอากาศในดิน จึงนิยมนำขุยมะพร้าวมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เช่น ผสมดินปลูกหรือเพาะเมล็ด ทำปุ๋ยหมัก คลุมหน้ากระถางดินปลูกและทำเป็นวัสดุปลูก เนื่องจากในขุยมะพร้าวมีปริมาณธาตุโพแทสเซียม(K) สูง ในขณะที่ไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) ต่ำ เมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ (อุมาวดี ล้อมเสถียรกุล, 2546) จากอัตราการดูดซับน้ำสูง จึงไม่ควรใส่เป็นวัสดุปลูกเพาะเพียงชนิดเดียว อาจส่งผลให้อุ้มน้ำมากเกินไป ดังนั้นควรผสมกับวัสดุชนิดอื่นก่อนนำไปใช้งาน หรือหากต้องการใช้เป็นวัสดุเพาะเพียงอย่างเดียวก็ควรมีการปรับปรุงสมบัติบางประการของขุยมะพร้าวเสียก่อน (สุเมธ รอดหิรัญ, 2558)

2. ขี้เถ้าแกลบดำ

ขี้เถ้าแกลบดำ เป็นแกลบที่ได้จากการเผาอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิไม่เกิน 1200 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ โดยไม่เกิดเปลวไฟขณะเผาไหม้เมื่อขี้เถ้ามีการคงรูปของแกลบบางส่วน เนื้อแกลบแข็งและเปราะกว่าแกลบสีเทา แดกละเอียดหากได้รับแรงกดบีบ ประโยชน์ของขี้เถ้าแกลบดำ ช่วยปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มความร่วนซุย เพิ่มแร่ธาตุดิน อุ้มน้ำได้ดี รวมถึงนิยมนำมาเป็นวัสดุปลูกผสมกับดินสำหรับการปลูกพืชในกระถาง (อิทธิสุนทร นันทกิจ, ม.ป.ป.) ซึ่งถึงแม้ว่าขี้เถ้าแกลบจะมีสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้เป็นวัสดุปลูกทดแทนดิน และมีผลดีกับการงอกของลำต้น แต่ขี้เถ้าแกลบมีองค์ประกอบทางเคมีร้อยละ 89.9% เป็นซิลิกา (บุรฉัตร ฉัตรวิระ และ พิชัย นิमितยงสกุล, 2537) และมีความเป็นด่างสูง (คริษฐ์สพล หนูพรหม, 2559) ซึ่งไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงควรใช้ขี้เถ้าแกลบร่วมกับวัสดุเพาะกล้าชนิดอื่น ๆ จึงจะทำให้ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตที่ดี

3. กากกาแฟ

กากกาแฟคือเมล็ดกาแฟที่ผ่านกระบวนการขง คั่วหรือบด จัดเป็นชีวมวลที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตกาแฟสำเร็จรูปหรือจากร้านขายกาแฟสดทั่วไป ซึ่งมักจะเหลือกากทิ้งเป็นจำนวนมาก โดยกากกาแฟที่เหลือทิ้งนี้ยังคงมีสารประกอบสำคัญหลายชนิดเหลืออยู่ (รพีพรรณ กองตุม, 2560) อาทิเช่น ไนโตรเจน เป็นธาตุอาหารที่สำคัญในการส่งเสริมการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว

ของพืช อีกทั้งยังมีโพแทสเซียม ที่มีความสำคัญในการสร้างและเคลื่อนย้ายอาหารพวกแป้งและน้ำตาลไปเลี้ยงส่วนที่กำลังเติบโต และส่งไปเก็บไว้เป็นเสบียงที่หัวหรือที่ลำต้น รวมไปถึงฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของรากพืช อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นวัสดุคลุมชั้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ดี

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1. ถาดปลูก ทำจาก Metal sheet พับเป็นกล่องสี่เหลี่ยมขนาด 50x50x10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 1

2.1.2. วัสดุปลูก วัสดุปลูกในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ขุยมะพร้าว กากกาแฟ ขี้เถ้าแกลบ โดยวัสดุปลูกทั้ง 3 ชนิดนี้นำไปผ่านการตากแดดให้ได้ความชื้น 10-15% (Dry basis) และใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัสดุประสาน โดยใช้อัตราส่วนน้ำ:แป้งมันสำปะหลัง (1:5) ผ่านความร้อน 100 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของหญ่กับการปลูกในดินปลูก (วัสดุปลูกอ้างอิง) ที่หาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด

2.1.3 หญ้า ใช้หญ่พันธุ์วลน้อยต้นอ่อนความสูง 4-5 เซนติเมตร ล้างทำความสะอาดดินออกจากรากด้วยการแช่น้ำ ดังรูปที่ 2

2.2 การเตรียมวัสดุปลูก

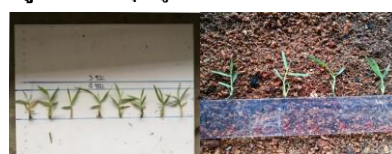
วัสดุปลูกจะถูกกำจัดความชื้น โดยการตากแดด จนได้ความชื้นที่ต้องการ จากนั้นชั่งน้ำหนักวัสดุปลูกตามสัดส่วนดังแสดงในตารางที่ 4 และกดอัดให้ได้ความหนา 5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 จากนั้นนำต้นอ่อนลงปลูกและอนุบาลในถาด รดน้ำครั้งละ 6 ลิตร (เช้า, กลางวัน และ เย็น) ในช่วง 7 วันแรก จากนั้นนำขึ้นปลูกบนหลังคา ควบคุมการรดน้ำครั้งละ 1.5 ลิตร (เช้าและเย็น) และเก็บข้อมูลการเติบโตของหญ่พันธุ์วลน้อย

2.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคออกแบบการทดลองแบบ 2^3 Factorial Design ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อศึกษาสัดส่วนของวัสดุปลูกที่คาดว่าจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของหญ่พันธุ์วลน้อย โดยใช้สถิติในการวิเคราะห์ผลการทดลอง และใช้หลักการวิเคราะห์ข้อมูลในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ซึ่งมีปัจจัย 3 ปัจจัย 2 ระดับ ได้แก่ ขุยมะพร้าว กากกาแฟ และแป้งมันสำปะหลัง ส่วนปริมาณขี้เถ้าแกลบสามารถคำนวณได้จากการสมมูลปริมาณวัสดุปลูกดังแสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 1 วัสดุปลูก หนา 5 เซนติเมตร



รูปที่ 2 ต้นหญ่พันธุ์วลน้อย อายุ 30-45 วัน

ตารางที่ 3 ปัจจัยในการออกแบบการทดลอง

วัสดุปลูก	ระดับการทดลอง	
	(-)	(+)
ขุยมะพร้าว (A)	50	60
กากกาแฟ (B)	20	30
แป้งมันสำปะหลัง (C)	20	25
ขี้เถ้าแกลบ	100-A-B	

หน่วย : ร้อยละของวัสดุปลูกรวม

2.4 การวิเคราะห์ธาตุอาหารในวัสดุปลูก

2.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน

ตารางที่ 4 น้ำหนักวัสดุปลูกสำหรับ 1 ภาชนะสำหรับปลูกขนาด 50x50x5 เซนติเมตร

สูตรที่	อัตราส่วนผสม (กรัม)				รวม (กรัม)
	ขุยมะพร้าว	กากกาแฟ	ขี้เถ้าแกลบ	แป้งมันสำปะหลัง	
FCA1	715	286	429	286	1,716
FCA2	858	286	286	286	1,716
FCA3	715	429	286	286	1,716
FCA4	858	429	143	286	1,716
FCA5	715	286	429	357.5	1,787.5
FCA6	858	286	286	357.5	1,787.5
FCA7	715	429	286	357.5	1,787.5
FCA8	858	429	143	357.5	1,787.5
SOIL					7,920

นำวัสดุปลูกแต่ละชนิดมาชั่งโดยเครื่องชั่งสารระบบไมโครเวฟ (Microwave digester) ให้อยู่ในรูปสารละลายไอออน โดยใช้วัสดุปลูก 1 กรัม ละลายในสารละลายผสมระหว่างกรดซัลฟูริกเข้มข้น 65% 30 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

ปริมาณไนโตรเจนจะถูกวัดโดยวิธีเจดดาห์ (Kjeldahl method) ตามมาตรฐาน AOAC, ISO, EPA, DIN ด้วยการเปลี่ยน $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ไปเป็นแก๊ส NH_3 ด้วย NaOH และจับ NH_3 ด้วยสารละลายบอริก จากนั้นนำไปไทเทรต ด้วยสารละลายมาตรฐาน

กรดซัลฟูริก แล้วนำไปคำนวณปริมาณของธาตุไนโตรเจน (พิมพ์เพ็ญ, 2545)

2.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

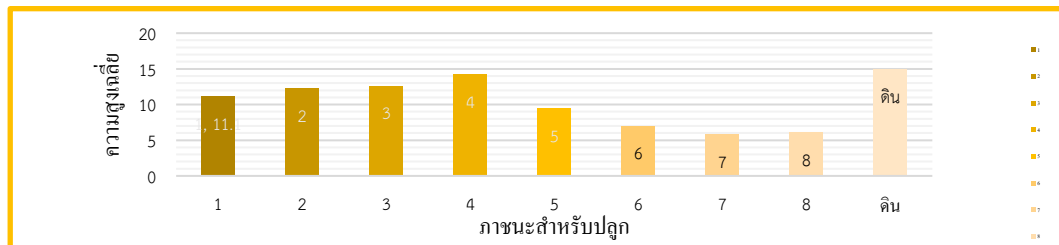
นำวัสดุปลูกแต่ละชนิดย่อยโดยเครื่องย่อยสารระบบไมโครเวฟ (Microwave digester) ให้อยู่ในรูปสารละลายไอออน โดยใช้วัสดุปลูก 1 กรัม ละลายในสารละลายผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้น 68% 30 มิลลิลิตร และ กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% 5 มิลลิลิตร

ปริมาณฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมจะถูกวัดโดยเครื่องวิเคราะห์ Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP – OES) โดยสารละลายของวัสดุปลูกที่ผ่านการย่อย จะถูกเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:5 แล้วนำเข้า

ทดสอบ สารละลายจะถูกเปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมาเพื่อให้สารที่วิเคราะห์นั้นเปล่งแสงออกมาเพื่อแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าจากนั้นคำนวณเป็นปริมาณธาตุที่ต้องการ (กรมทรัพยากรธรณี, 2551)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการทดลอง โดยวิเคราะห์จากความสูงของฐานเวลาน้อยพบว่า ภาชนะปลูกที่ 4 มีการเจริญเติบโตดีที่สุด ได้แก่ อัตราส่วน ขุยมะพร้าว:กากกาแฟ:เถ้าแกลบ (60:30:10) และแบ่งมันสำปะหลัง 20%: ชั้นปลูกหนา 5 เซนติเมตร ให้การเติบโตใกล้เคียงกับดิน ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยมีน้ำหนักน้อยกว่าดินถึงประมาณ 7 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 4



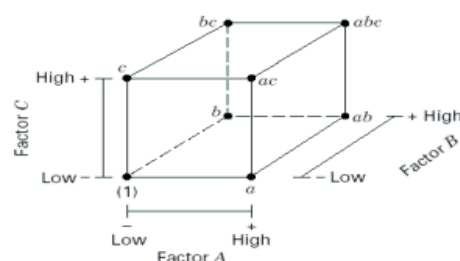
รูปที่ 3 ความสูงเฉลี่ยฐานเวลาน้อยระยะเวลา 30 วัน

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนของวัสดุปลูกโดยใช้ โปรแกรม Minitab (14)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	297.87	99.29	99.29	36.5	0.000
ขุยมะพร้าว	1	0.23	0.23	0.23	0.08	0.775
กากกาแฟ	1	0.63	0.63	0.63	0.23	0.635
แยมมะพร้าว	1	297.02	297.03	297.03	109.24	0.000
2-Way Interactions	3	60.80	20.27	20.27	7.45	0.001
ขุยมะพร้าว*กากกาแฟ	1	6.40	6.40	6.40	2.35	0.135
ขุยมะพร้าว*แยมมะพร้าว	1	14.40	14.40	14.40	5.3	0.028
กากกาแฟ*แยมมะพร้าว	1	40.00	40.00	40.00	14.71	0.001
Residual Error	33	89.73	89.73	2.72		
Lack of Fit	1	3.03	3.03	3.03	1.12	0.299
Pure Error	32	86.70	86.70	2.71		
Total	39	448.40				

จากผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง โดยใช้โปรแกรม Minitab (14) ดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งพิจารณาปัจจัยทั้งหมดสามปัจจัยพบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของเห็ดหลินน้อย อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ที่ความเชื่อมั่น 95% โดยมีค่า $R\text{-sq (adj)} = 76.35\%$ คือ แยมมะพร้าว เป็นปัจจัยที่มีผลในเชิงลบ ดังแสดงในรูปที่ 4 สอดคล้องกับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ

ในรูปที่ 5 แยมมะพร้าวไม่พบปริมาณธาตุฟอสฟอรัส ที่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของราก ซึ่งเป็นส่วนสำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของลำต้น



รูปที่ 4 Cube Plot สำหรับการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k (Montgomery, 2005)

นอกจากนี้ ปัจจัยร่วม (อันตรกิริยา) ส่งผลต่อการเจริญเติบโตอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อพิจารณารูปของอันตรกิริยา ดังแสดงในรูปที่ 6 จะพบว่ามีสองอันตรกิริยาที่มีผลในเชิงบวก คือ อันตรกิริยาระหว่างกากกาแฟกับแยมมะพร้าว

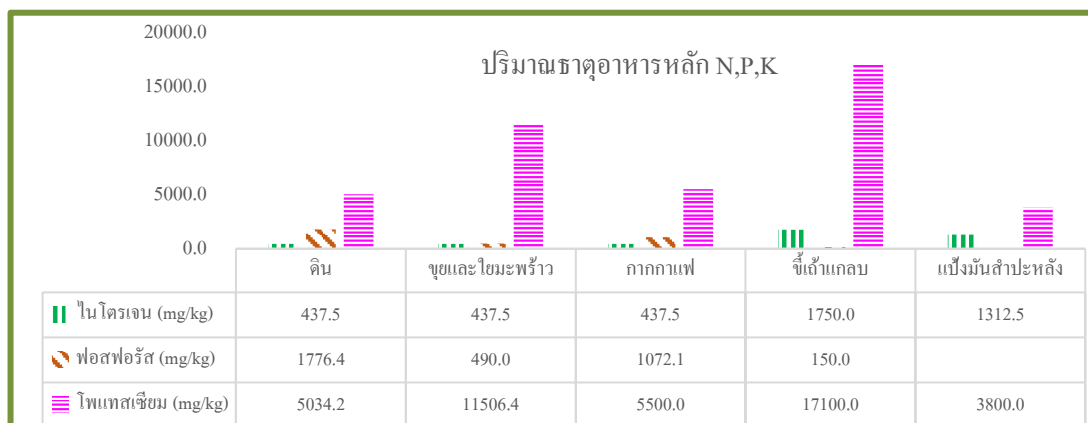
และอันตรกิริยาระหว่างขุยมะพร้าวกับแป้งมันสำปะหลัง ดังแสดงในตารางที่ 5

อันตรกิริยาระหว่างกากกาแฟกับแป้งมันสำปะหลัง โดยที่กากกาแฟมีปริมาณฟอสฟอรัสสูง เทียบเท่ากับดิน เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของราก และมีปริมาณไนโตรเจนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของลำต้น อีกทั้งยังมีโพแทสเซียม ที่มีความสำคัญสำหรับการสร้างและเคลื่อนย้ายอาหารพวกแป้งและน้ำตาลไปเลี้ยงส่วนที่กำลังเติบโต และส่งไปเก็บไว้เป็นเสบียงที่หัวหรือที่ลำต้น แต่อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของกากกาแฟควรใส่ในปริมาณที่เหมาะสม เพราะกากกาแฟไม่มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ

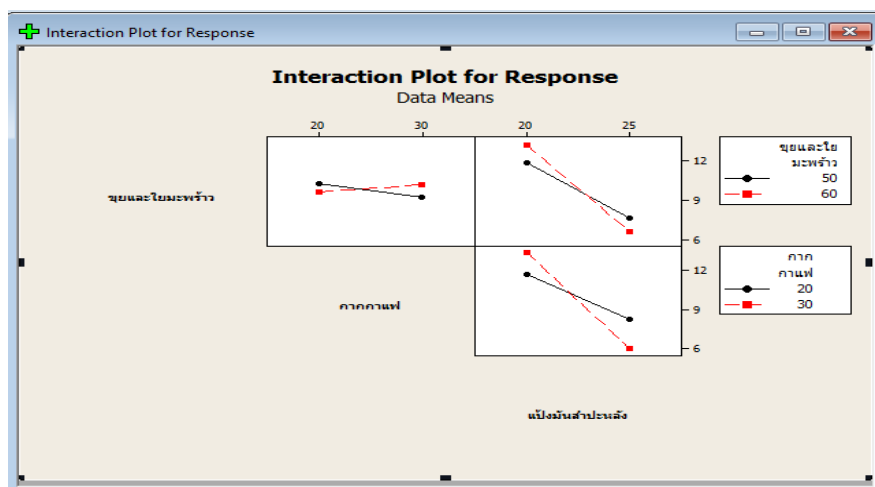
อันตรกิริยาระหว่างขุยมะพร้าวกับแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งขุยมะพร้าวมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและปริมาณธาตุโพแทสเซียม (K) สูง ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของหน่วนวลน้อยในปริมาณสูง เพิ่มความสามารถในการดูดซับอาหารการระบายน้ำและอากาศในดินอย่างมาก ทำให้ราก

สามารถชอนไชหาอาหารและหายใจได้ดี นอกจากนั้นยังมีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต เพราะฉะนั้นการใส่ขุยมะพร้าวในปริมาณมากจะส่งผลดีสำหรับการปลูก

ขี้เถ้าแกลบ ซึ่งเป็นอัตราส่วนสมดุลของปริมาณวัสดุปลูก ถึงแม้ว่าขี้เถ้าแกลบจะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้เป็นวัสดุปลูกทดแทนดินและมีผลดีกับการเติบโตของลำต้น เนื่องจากมีปริมาณธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียมสูง แต่องค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าแกลบ ร้อยละ 89.9% เป็นซิลิกา (บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ พิชัย นิมิตรขงสกุล, 2537) ซึ่งจะไม่มีประโยชน์ต่อพืช หากพืชสามารถเจริญเติบโตเป็นปกติ และมีค่าความเป็นด่างสูง ซึ่งหากวัสดุปลูกมีส่วนผสมของขี้เถ้าแกลบมากเกินไปผลทำให้การเติบโตของต้นกล้าต่ำ จึงควรใช้ขี้เถ้าแกลบร่วมกับวัสดุชนิดอื่นๆ ตามสัดส่วนที่กำหนดจึงจะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดี



รูปที่ 5 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม



รูปที่ 6 แสดงผลอันตรกิริยา

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการปลูกหญ้าขนาดเล็ก โดยใช้วิธีการของหลังคาเขียวที่ไม่ต้องการประโยชน์ใช้สอยเน้นประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม (Extensive green roofs) ต้องการการดูแลน้อยมาก ชั้นปลูกที่หนาเพียง 1-5 นิ้ว ซึ่งวัสดุปลูกสำหรับงานวิจัยเป็นวัสดุปลูกจากธรรมชาติไม่ส่งผลผลิตผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การประเมิน green building ในการออกแบบและสร้างอาคารเขียวตามเกณฑ์มาตรฐาน LEED อีกทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและอุตสาหกรรม รวมทั้งยังมีธาตุอาหารหลัก N, P, K ที่พืชต้องการ คุณสมบัติทางกายภาพที่ช่วยในการดูดซึม แต่การนำไปใช้จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ดาดแดเพื่อไล่ความชื้นก่อนนำไปใช้แล้วจึงผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่งดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีขายในท้องตลาดทั่วไปที่มีน้ำหนักเบาและนำไปใช้ได้หลายแต่ราคาสูงไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า วัสดุปลูก ขุยมะพร้าว

มะพร้าว:กากกาแฟ:ขี้เถ้าแกลบ (60:30:10) และ ปุ๋ยคอก:ปุ๋ยหมัก (20:30) ชั้นปลูกหนา 5 เซนติเมตร มีความเหมาะสมสำหรับการปลูกหญ้าขนาดเล็กบนหลังคา โดยพิจารณาจากปัจจัยหลักและอันตรกิริยา พบว่าเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของหญ้าขนาดเล็ก โดยปัจจัยหลัก คือ ปุ๋ยคอก:ปุ๋ยหมัก เป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในเชิงลบ และปัจจัยร่วม (อันตรกิริยา) เมื่อพิจารณาผลของอันตรกิริยา จะพบว่ามีสองอันตรกิริยาที่มีผลในเชิงบวก อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) คือ อันตรกิริยาระหว่างกากกาแฟกับปุ๋ยคอก:ปุ๋ยหมัก และอันตรกิริยาระหว่างขุยมะพร้าวกับปุ๋ยคอก:ปุ๋ยหมัก จากการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสต่อโพแทสเซียมเท่ากับ 4.38:5.70:110 สามารถปลูกพืชเจริญเติบโตได้ดี ปริมาณเพียงพอเทียบเท่ากับดิน ดังนั้นจึงส่งผลให้การปลูกพืชบนหลังคาเป็นไปได้มากขึ้น โดยต้นทุนของวัสดุปลูกและค่าเมล็ดพืชมีต้นทุนเพียง 400 บาทต่อตารางเมตร สามารถเพิ่มพื้นที่สีเขียว ให้กับอาคารหรือที่พักอาศัยช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในอาคาร

มีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม สร้างความเป็นไปได้ในการเพิ่มพื้นที่ดูดซับความร้อนในปัจจุบันเนื่องจากน้ำหนักเบา สามารถลดภาระของโครงสร้างหลังคาในการรับน้ำหนักดินในการปลูกพืชบนหลังคาซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยถึง 7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หลังคาเขียวไม่เพียงแค่เพิ่มพื้นที่สีเขียวยังช่วยยืดอายุหลังคาจากกรดสีดวงอาทิตย์ให้มีอายุการใช้งานนานขึ้น 2-3 เท่าจากปกติ (เนอริชด์พัชร เขียววิชัย, 2557) ประหยัดพลังงานและค่าไฟในการใช้งานเครื่องปรับอากาศ ลดเสียงรบกวนจากภายนอก ลดมลพิษทางอากาศ ลดปริมาณน้ำฝน (stormwater) ที่ไหลลงระบบสาธารณะ ซึ่งสร้างปัญหาน้ำท่วมฉับพลัน หลังคาเขียวเปรียบเป็นพื้นที่ดูดซับ ชะลอสายฝนที่ตกลงมา รวมทั้งสามารถกรองโลหะหนักที่ปนเปื้อนมาคือน้ำฝนซึ่งเป็นทางเลือกที่ดี สำหรับระบบการจัดการน้ำฝนเป็นต้น



รูปที่ 7 ตัวอย่างการปลูกหญ้าบนหลังคา

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] รุ่งทิพย์ แสงกลาง และ ดร.ศิริลักษณ์ เจริญรากร, “การกักเก็บคาร์บอนของหญ้าในหลังคาเขียว” ในการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 34, นำเสนอที่ อาคารเรียนรวม คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, จังหวัดขอนแก่น 27 มีนาคม 2558.
- [2] วรวัช พวงพชรศรี และ ดร.สมศักดิ์ ศิวคำรังพงศ์, “การพัฒนา และติดตั้งกรีนรูฟเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาสู่ภายในบ้าน” ในการประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10, นำเสนอที่ หอประชุมเฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง, จังหวัดพัทลุง 30 พฤศจิกายน 2560.
- [3] นายวรวิทย์ ธนาวิวัฒนา. (2552). ประสิทธิภาพในการใช้หลังคาปลูกต้นไม้เพื่อลดความร้อนสำหรับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยศิลปากร).
- [4] ศิริพร กาทอง และ ดร.เฉลิม เรืองวิริยะชัย. การหาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียมในปุ๋ยอินทรีย์น้ำ. KRU Res J (GS). วารสารวิจัย มข. 2557. 4(14) : 57-68.
- [5] รศ.พาสินี สุนากร และ รศ.ทรงกลด จารุสมสมบัติ. (2555). แผ่นปลูกพืชบนหลังคา. เกษตรนวัตกรรม รวบรวมผลงานนวัตกรรมทางการค้นคว้าวิจัยในวาระครบรอบ 72 ปี แห่งมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, 221-222.
- [6] คริสต์พล หนูพรหม (2559). ผลของวัสดุเพาะกล้าจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่อความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าบรอกโคลี, ประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ครั้งที่ 6.
- [7] อุมาวดี ลิ้มเสถียรกุล. (2546). การเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์ red oak ที่ปลูกในวัสดุขุยมะพร้าวผสมทราย เมื่อได้รับธาตุอาหารไนโตรเจน แคลเซียม และโพแทสเซียม ในระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน.

- (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).
- [8] สุเมธ รอดหิรัญ. (2558). การพัฒนาขุมมะพร้าวหมักเป็นวัสดุเพาะกล้า. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).
- [9] รพีพรรณ กองคุ้ม. “กากกาแฟ : มูลค่าเพิ่มและการใช้ประโยชน์” การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 5, นำเสนอที่ มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง, 1 มีนาคม 2560. อิทธิสุนทร นันทกิจ. (2535). เครื่องมือควบคุมการให้น้ำโดยอัตโนมัติ ในการปลูกพืชในภาชนะปลูก. รายงานการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 30 สาขาพืช 29 มกราคม - 1 กุมภาพันธ์ กรุงเทพมหานคร, หน้า 35-41 (752 หน้า).
- [10] Jun Yang et al. (2008). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago., *Atmospheric Environment*. 42:7266-7273.
- [11] Dunnett and Kingsbury. 2004. Planting green roofs and living walls. Timber Press. Portland, Oregon 254 p.
- [12] Peck and Kuhn. (2001). Design Guidelines for Green Roofs, National Research Council Canada, Toronto. 22 p.