PRAWARUN AGRICULTURAL JOURNAL

https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index

บทความวิจัย

บทบาทของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร: วัสดุทางเลือกสำหรับผลิตแผ่นทำความเย็นแบบระเหย

สมพร กงนะ[1*] คมกฤษณ์ ชูเรือง[2] กัญลยา มิขะมา[3] และ เสาวคนธ์ เหมวงษ์[3]

[1]*บัณฑิตศึกษา สาขาวิชานวัตกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม 48000*

[2]*สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม 48000*

[3]*สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม.จังหวัดนครพนม 48000*

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 11 ตุลาคม 2566

แก้ไข: 6 ธันวาคม 2566

ตอบรับการตีพิมพ์: 9 มกราคม 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 18 มีนาคม 2567

คำสำคัญ

แผ่นทำความเย็น

ระบบทำความเย็นแบบระเหย

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

วัสดุทางเลือก

บทคัดย่อ

การใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยในโรงเรือนเป็นทางเลือกที่ดีในการจัดการปัญหาการทำการเกษตรในภาวะโลกร้อน อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่พบคือราคาแผ่นทำความเย็นที่สูง ทำให้เทคโนโลยีนี้ยังไม่สามารถใช้กับเกษตรกรรายย่อยได้ ดังนั้นบทความปริทัศน์นี้เป็นการรวบรวม วิเคราะห์ และสรุป การวิวัฒนาการ หลักการและวิธีการผลิต เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นแผ่นทำความเย็น รวมถึงแนวทางการนำไปใช้ โดยจากการสังเคราะห์งานวิจัยที่ใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมสำหรับเป็น แผ่นทำความเย็นแบบระเหย พบว่าสามารถลดอุณหภูมิได้ ระหว่าง 3 ถึง 8 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ซึ่งลดได้ประมาณ 5 องศาเซลเซียส ดังนั้นประสิทธิภาพของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในของวัสดุ ขนาดรูพรุนและปริมาตร ความสามารถในการดูดซับและการระเหยของน้ำ ความสามารถในเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ความสามารถในการลดตะกอนสะสม ความคงทนของวัสดุ และปริมาณของวัสดุในพื้นที่ เป็นต้น นอกจากนี้วัสดุที่ใช้ต้องมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำเพื่อให้เกษตรกรรายย่อยสามารถเข้าถึงและใช้งานได้ ซึ่งเป็นการจัดการเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรและก่อให้เกิดการทำการเกษตรต้นทุนต่ำอย่างยั่งยืนในอนาคต

บทนำ

ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ส่งผลกระทบต่อการผลิตพืชอย่างมาก ประเทศไทยซึ่งการทำการเกษตรแบบพึ่งพาธรรมชาติจึงได้รับผลกระทบจากความไม่แน่นอนของฤดูกาลและภัยธรรมชาติ เกิดการระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืช ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตที่จะลดลง ส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น รวมถึงมีแนวโน้มของพื้นที่ทำการเกษตรที่ลดลง ในขณะที่ความต้องการผลผลิตทางการเกษตรเพิ่มขึ้น ผลกระทบของอุณหภูมิที่สูงมากต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช

การที่พืชสัมผัสกับอุณหภูมิที่สูงมากในระยะเริ่มต้นของระยะเจริญพันธุ์ (Reproductive stage) มีผลกระทบอย่างมากต่อการผลิตพืช และระยะการเจริญเติบโตเกิดภาวะช็อกจากอุณหภูมิที่สูง พืชมีอัตราคายน้ำสูง ทำให้เหี่ยวและเกิดการแห้งตาย (Hatfield & Prueger, 2015) อย่างไรก็ตามมีจำนวนนวัตกรรมและเทคโนโลยีจำนวนมากที่ได้รับการส่งเสริมจากภาครัฐ และเอกชนเพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวทั้งเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุน การผลิตพืชในระบบโรงเรือนซึ่งมีความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช เป็นการผลิตพืชอีกแนวทางหนึ่ง (Namhormchan & Muangchan, 2020) ในการควบคุมอุณหภูมิที่พืชต้องการสำหรับการเจริญเติบโตในโรงเรือน การปลูกพืชในโรงเรือน แบ่งได้ 2 แบบ คือ 1) โรงเรือนแบบเปิด เป็นโรงเรือนผนังและหลังคาเป็นตาข่ายป้องกันแมลง อากาศถ่ายเทได้สะดวก มีระบบให้น้ำพืชแบบต่าง ๆ และ 2) โรงเรือนแบบปิด เป็นโรงเรือนที่ผนัง หลังคาเหล็กเป็นแบบโปรงแสงหรือโปร่งใส แบบอ่อน หรือแบบแข็ง มีระบบอื่น ๆ เช่น ระบบพ่นน้ำ ช่วยลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นภายใน ระบบการให้น้ำพืชที่ช่วยดูดซึมธาตุอาหาร ระบบให้ปุ๋ย ระบบเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และระบบทำความเย็นแบบระเหย เป็นต้น (Namhormchan, 2019) โดยการทำความเย็นแบบระเหยเป็นวิธีการลดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ง่ายและประหยัดพลังงานมากที่สุด (Tejero-González & Franco-Salas, 2021) วัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้ในการผลิตแผ่นทำความเย็น (Cooling pad) คือ แผ่นเซลลูโลสที่ผลิตมาจากกระดาษซึ่งการผลิตต้องมีการตัดต้นไม้เพื่อนำมาผลิตแผ่นดังกล่าวจำนวนมากอันเป็นสาเหตุสำคัญให้เกิดโลกร้อน นอกจากนี้ยังมีต้นทุนในการผลิตสูงโดยแผ่นทำความเย็นสำหรับใช้งานในโรงเรือนขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 5 เมตร ต้องใช้แผ่นทำความเย็น 6 แผ่น (ขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร x ยาว 60 เซนติเมตร) หากมีการบำรุงรักษาที่ดีสามารถใช้งานได้ 3-5 ปี ราคาต่อแผ่น 650-2,500 บาท (Alibaba, 2022) ซึ่งแผ่นทำความเย็นซึ่งเป็นตัวสำคัญในการรับน้ำ การกระจายละอองน้ำ การไหลของ

*Corresponding author

E-mail address: sompornrdi@npu.ac.th (S. Kongna)

Online print: 18 March 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2024.1

อากาศและน้ำ ส่งผลโดยตรงต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงเริ่มมีศึกษาที่จะนำวัสดุอื่นที่มีคุณสมบัติในการลดอุณหภูมิมาใช้แทนวัสดุกระดาษเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวกลับมาใช้ประโยชน์ (Reuse) โดยการศึกษามุ่งเป้าไปยังวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรนำมาใช้ปรโยชน์แทนการเผาทิ้งที่จะทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน และมลพิษทางอากาศ โดยในประเทศไทยมีเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร หรือชีวมวล (Biomass) ประมาณปีละ 60 ล้านตัน (Department of Alternative Energy Development and Energy Efficiency Ministry of Energy, 2021) การถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าเพื่อให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืน

จากข้อมูลที่ผ่านมา พบว่าวัสดุที่ใช้ในการผลิตแผ่นทำความเย็นในการปลูกพืชและเลี้ยงสัตว์ในโรงเรือนมีราคาสูงและส่วนใหญ่ใช้วัสดุสังเคราะห์ที่มีต้นทุนสูง มีอายุการใช้งานที่สั้น การบำรุงรักษายาก และเกษตรกรไม่สามารถผลิตใช้เองได้ ในขณะที่การศึกษาเกี่ยวกับการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ในการทำวัสดุที่ใช้งานการลดอุณหภูมิในโรงเรือนยังมีไม่มากนัก ซึ่งเป็นวัสดุที่มีปริมาณมากและต้นทุนต่ำ มีขนาดรูพรุนที่สูง สามารถผลิตได้เองดังนั้น บทความนี้เป็นการรวบรวมงานวิจัยที่ใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ผลิตแผ่นลดอุณหูมิในโรงเรือน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรหรือบุคคลที่สนใจในการลดต้นทุนการทำเกษตรในสภาพโรงเรือน และสามารถลดปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช โดยบทความนี้นำเสนอถึงวิวัฒนาการใช้แผ่นทำความเย็นในระบบทำความเย็นแบบระเหย หลักการสำคัญของแผ่นทำความเย็นวิธีการผลิตแผ่นทำความเย็น วัสดุทางการเกษตรและคุณสมบัติแผ่นทำความเย็น ปัจจัยที่มีผลในการปลูกพืชในโรงเรือนโดยการใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหย เปรียบเทียบประสิทธิภาพของใช้วัสดุ และแนวทางการนำลดแผ่นทำความเย็นไปใช้ประโยชน์

วิวัฒนาการใช้แผ่นทำความเย็นในระบบทำความเย็นแบบระเหย

ระบบทำความเย็นแบบระเหยถูกใช้ครั้งแรก ในอียิปต์โบราณและเปอร์เซียเมื่อหลายพันปีก่อนในรูปแบบ ของปล่องลมบนหลังคารับลมพัดผ่านน้ำใต้ดินในกาแนทในประเทศกาตาร์และปล่อยอากาศเย็นเข้าสู่อาคาร ชาวอิหร่านสมัยใหม่ได้นำเครื่องทำความเย็นแบบระเหยที่ใช้พลังงานมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เครื่องทำความเย็นแบบระเหยจึงมีการเริ่มสนใจศึกษาเป็นหัวข้อของสิทธิบัตรของสหรัฐอเมริกา จำนวนมากในศตวรรษที่ 20 และมีวิวัฒนาการการใช้งานและการศึกษา (Table 1)

จากวิวัฒนาการใช้และการศึกษาแผ่นทำความเย็นพบว่าการประยุกต์ใช้ระบบทำความเย็น มีวัตถุประสงค์หลักในการลดอุณหภูมิในโรงเรือน หรือระบบห้องซึ่งส่วนใหญ่มุ่งเน้นในด้านการใช้วัสดุธรรมชาติที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาสร้างเป็นแผ่นทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิมีค่าความอิ่มตัวของน้ำที่ดี มีความคงทน รวมถึงทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดโดยยังมีประสิทธิภาพที่ดีเหมาะสมกับการใช้งานของกลุ่มผู้ใช้งานเพื่อให้ได้ผลผลิตที่สูงขึ้นในพื้นที่การทำเกษตรเท่าเดิม จึงมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในโรงเรือนเกษตรผลิตพืช การทำฟาร์มปศุสัตว์ โรงงานอุตสาหกรรม และพื้นที่กลางแจ้งในเมือง (Tejero-González & Franco-Salas, 2021)

Table 1 Evolution of use and study of temperature reducing plates in evaporative cooling systems

Year	Evolution uses and education.	Reference
	Abroad	
1906	Used padding making from wool to absorbed water for household uses.	Zellweger (1906)
1993	Design basic a passive cooling tower.	Givoni (1993)
2010	Created cooling pad from pine apple leave with different of PAE and CMC ratio.	Khampan et al. (2010)
2013	Fruits and vegetables are preserved using evaporative cooling systems to reduce temperature and increase humidity for reduced deterioration and extend the shelf life of fruits and vegetables.	Liberty et al. (2013)
2018	Testing cooling pad made from activated charcoal and loofahs.	Aziz et al. (2018)
	Thailand	
2007	Study mulberry paper physical properties for the evaporative cooling system.	Maneewan (2007)
2008	Design and development cooling pad made from coconut husk use in the greenhouse.	Kanla (2009)
2011	Study efficiency of cooling pad made from coconut husk for chicken house. It reduced the temperature outlet to 5 degrees Celsius.	Premjai & Poolkrajang (2011)

หลักการสำคัญของแผ่นทำความเย็น

ในระบบทำความเย็นแบบระเหย หลักของการใช้งานแผ่นทำความเย็น (Cooling pad) คือ การแปลงความร้อนเป็นความเย็นห้องในหรือโรงเรือน ซึ่งอากาศภายนอกที่แห้งและร้อน (Outdoor air) จะถูกดึงด้วยลม (Fan) เพื่อให้อากาศไหลผ่านรูพรุนของแผ่นทำความเย็นที่เปียกน้ำโดยการสเปย์จากด้านบน (Water spray) ให้กระจายและระบายลงไปยังถังเก็บน้ำหรือถังเก็บความเย็น (Water tank) และมีการนำน้ำหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่โดยใช้ปั๊ม (Pump) เมื่ออากาศร้อนและแห้งผ่านแผ่นทำความเย็นที่เปียกก็จะเปลี่ยนจากอากาศร้อนเป็นอากาศเย็น (Outlet cool and humid) เนื่องจากการระเหยซึ่งส่งผลให้ห้องหรือโรงเรือนเย็นลง (Babaremu et al., 2018) (Figure 1)

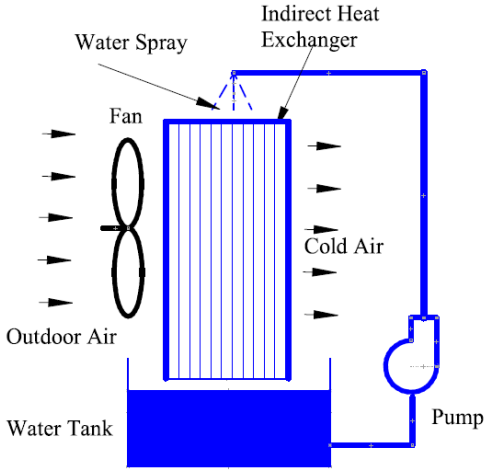

Figure 1 Evaporative cooling process.
Source: Kapilan et al. (2023)

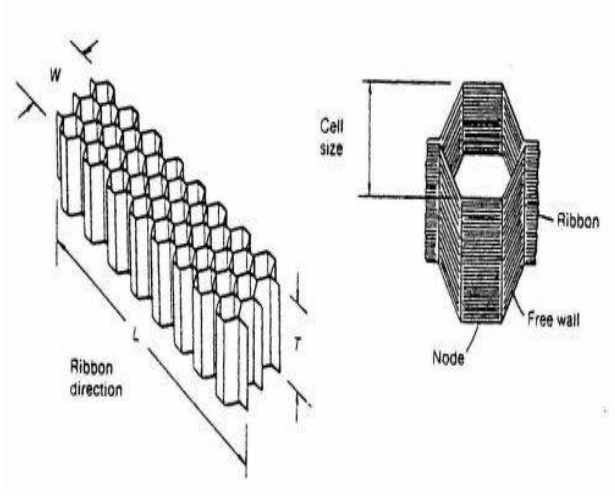

Figure 2 Honeycomb terminology.
Source: Rupani et al. (2017)

ในกระบวนการทำความเย็นแบบระเหย อุณหภูมิของอากาศขาเข้าจะลดลงโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) เป็นกระบวนการ “ขจัดความร้อนของอากาศเข้าโดยการเพิ่มปริมาณไอน้ำเข้าไปในแผ่นทำความเย็นในปริมาณที่เท่ากัน” กระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการอิ่มตัวอะเดียแบติก (Adiabatic process) อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศเป็นค่าคงที่ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศลดลงจาก T1 เป็น T2 เมื่ออากาศขาเข้าผ่านแผ่นทำความเย็นจะเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิที่ด้านร้อน (T1) และด้านเย็น (T2) ตามลำดับ ทำให้อุณหภูมิสามารถลดลงได้ (Kapilan et al, 2023) จะเห็นได้ว่าแผ่นทำความเย็นเป็นตัวกลางสำคัญในการในการดูดซับและการระเหยของน้ำ เพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศซึ่งจะทำให้อุณหภูมิลดลง จึงได้มีนักวิจัยจำนวนมากศึกษาวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการนำมาผลิตแผ่นทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง

วิธีการผลิตแผ่นทำความเย็น

Rupani et al. (2017) ได้ทำการศึกษารวบรวมวิธีการผลิตแผ่นทำความเย็นโดยได้แบ่งกระบวนการผลิตแผ่นทำความเย็นออกเป็น 2 วิธี ตามวิธีการขึ้นรูปแผ่นทำความเย็น ประกอบด้วย

1) การดึงขยาย เป็นการนำม้วนวัสดุ (ม้วนพลาสติก หรือม้วนกระดาษ) ตัดเป็นแผ่นแล้วทากาวแต่ละแผ่นเป็นแถบเว้นแถบทั้งด้านหน้าและด้านหลังโดยให้แถบกาวด้านหน้าและด้านหลังเว้นสลับกันแล้วนำแผ่นวัสดุเหล่านี้มาเรียกซ้อนกันให้กาวยึดติดแผ่นต่อแผ่นภายใต้แรงกดก็จะได้วัสดุที่เรียกว่า Expansion block เมื่อกาวแห้งแล้วบล็อกดังกล่าวจะถูกนำมาตัดสไลด์ให้ได้ความหนาของแผ่นทำความเย็นตามที่ต้องการ จากนั้นนำมาจับให้ยืดออกในแนวตั้งส่วนที่ไม่มีกาวก็จะถูกดึงยืดออกเป็นผนังของเซลล์ ซึ่งจะได้เป็นแผ่นทำความเย็นตามความหน้าที่ต้องการ (Figure 2)

2) การขึ้นรูปลอนลูกฟูก เป็นวิธีการนำม้วนวัสดุที่ขึ้นรูปได้โดยการกด เช่น ม้วนโลหะมาผ่านลูกกลิ้งมีลักษณะเป็นลอนตามลักษณะของเซลล์ที่ออกแบบไว้ นำลูกฟูกที่ไหลออกมาจากลูกกลิ้งมาตัดเป็นแผ่นตามความยาวของแผ่นทำความเย็นที่ต้องการ แล้วนำไปติดกาวหรือเชื่อมในแต่ละแผ่น

จากนั้นวางแผ่นลูกฟูกทับซ้อนกันให้ได้ความสูงตามความกว้างของแผ่นทำความเย็นต้องการ เมื่อกาวหรือรอยเชื่อมแห้งสนิทแล้วจะได้เป็นแม่แบบแผ่นทำความเย็นที่จะถูกสไลด์เป็นแผ่นรังผึ้ง 1 รอบ ในปัจจุบันมีการผลิตเพียงร้อยละ 5.00 ของการผลิตแผ่นทำความเย็นที่ยังใช้วิธีนี้อยู่สาเหตุที่ไม่นิยมเนื่องจากวิธีการขึ้นรูปลอนลูกฟูกมีขั้นตอนการทำงานที่มากกว่าและยาวกว่าทั้งในการทากาวหรือการเชื่อมระหว่างแผ่น รวมไปถึงการนำแผ่นวัสดุนั้น ๆ มาซ้อนกัน นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดในการให้น้ำหนักกดทับในขั้นตอนการติดกาวระหว่างแผ่นที่จะใช้แรงกดสูงไม่ได้ (Figure 3)

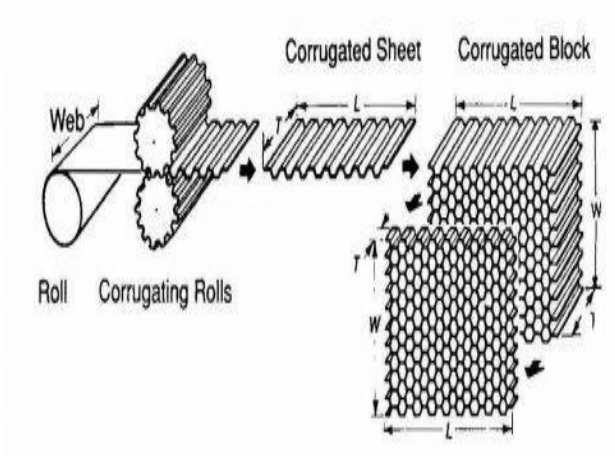

Figure 3 Corrugation method of core manufacturing.
Source: Rupani et al. (2017)

วัสดุทางการเกษตรและคุณสมบัติแผ่นทำความเย็น

ในปัจจุบันแผ่นทำความเย็นแยกชนิดเป็น 2 กลุ่ม Rupani et al. (2017) ได้แก่ กลุ่มโลหะ และกลุ่มอโลหะ โดยในกลุ่มโลหะประกอบไปด้วยวัสดุประเภท อลูมิเนียม เหล็กสแตนเลส หรือไทเทเนียม ที่พบเห็นกันโดยทั่วไปคืออลูมิเนียมตั้งแต่เกรดทั่วไปจนถึงเกรดพิเศษ ซึ่งแผ่นทำความเย็นที่ต้องการจะต้องมี

ประสิทธิภาพทนความร้อนสูง (216 องศาเซลเซียส) ในขณะที่แผ่นทำความเย็นอโลหะจะประกอบด้วยวัสดุประเภทไฟเบอร์กลาสกระดาษ หรือกระดาษคราฟท์ นิยมนำมาผลิตเป็นแผ่นทำความเย็น เนื่องมีจากราคาถูกกว่าแต่ก็ให้ความแข็งแรงที่ต่ำกว่าด้วยเช่นเดียวกัน และยังคงมีปัญหาเรื่องการติดไฟด้วย ส่วนไฟเบอร์กลาสหรือผ้าใยแก้วที่มีขนาดบางทั้งแบบทอลายตรง (Plain weave) หรือลายเฉียง 45 องศา (Biaxial) สามารถทำแผ่นทำความเย็นที่ต้องการความเบาและมีขนาดเซลล์เล็ก โดยแผ่นทำความเย็นไฟเบอร์กลาสที่ทำจากผ้าใยแก้วลายเฉียงจะทนแรงเฉือนได้ดีกว่าแต่จะทนแรงกดได้น้อยกว่าชนิดที่ทำจากผ้าใยแก้วลายตรง ในขณะที่กระดาษคราฟท์ต้องผ่านการเคลือบด้วยสารประกอบเกลือให้ทนไฟจนกระทั่งผ่านมาตฐานก่อนจึงจะสามารถนำมาใช้ได้นอกจากนี้ยังมีวัสดุอื่นที่ใช้ทำแผ่นทำความเย็นแต่มีจำนวนน้อย เช่น ทองแดง ตะกั่ว อเบสทอส ไมล่าร์ หรือ เคฟลาร์ รวมไปถึงวัสดุใหม่อย่างคาร์บอนไฟเบอร์ (Rupani et al., 2017)

ในขณะเดียวกันยังมีการศึกษาการใช้วัสดุทางการเกษตรที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาใช้ในการผลิตด้วยการผลิตแผ่นทำความเย็นโดยมักจะนิยมใช้กระดาษ เนื่องจากผลิตง่ายและหาได้ทั่วไปในท้องตลาด จากการศึกษาของ Franco-Salas et al. (2019) พบว่าการทำงานของแผ่นทำความเย็นกระดาษที่ติดตั้งในเรือนกระจกเป็นเวลา 3 ปี เปรียบเทียบกับการทำงานของแผ่นใหม่ในรุ่นเดียวกัน พบว่าการบำรุงรักษายากความพรุนของแผ่นรองจะลดลงเนื่องจากการเกาะตัวของเกลือ ซึ่งการสะสมของเกลือทำให้การไหลเวียนของอากาศยากขึ้นในแผ่นรอง ทำให้แรงดันลดลง ร้อยละ 170.04 อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพความอิ่มตัวของอากาศของแผ่นรองเพิ่มขึ้น ร้อยละ 6.60 เนื่องจากเวลาในการสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำมากขึ้น แต่ยังมีค่าใช้จ่ายที่สูงในปัจุบันทำให้เกิดข้อจำกัดสำหรับเกษตรรายย่อยทั่วไปที่ใช้ในโรงเรือนทางการเกษตร

การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่นำมาใช้ผลิตแผ่นทำความเย็นเพื่อให้มีต้นทุนต่ำและมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับที่มีในท้องตลาดจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้กับเกษตรกร โดย Dhakulkar et al. (2017) ได้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงโดยใช้แผ่นทำความเย็นของวัสดุ 4 ชนิดที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย แผ่นกระดาษเซลลูโลส เส้นใยไม้แอสเพน และเส้นใยมะพร้าว จากผลการวิเคราะห์พบว่า แผ่นกระดาษเซลลูโลส และแผ่นใยไม้แอสเพนให้ความเย็นได้ดีแต่เพิ่มความชื้นได้สูงมาก และแผ่นใยมะพร้าวมีความชื้นน้อยที่สุด ในขณะเดียวกัน Khampan et al. (2010) ได้ทำการปรับปรุงความแข็งแรงแบบเปียกของกระดาษใบสับปะรดสำหรับแผ่นทำความเย็นแบบระเหยเช่นเดียวกับ Dhamneya et al. (2017) ได้ศึกษาแผ่นทำความเย็นแบบต่าง ๆ ที่ทำจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร วัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้มีอยู่ 5 ประเภท ได้แก่ 1) เส้นใยต้นกล้วย 2) เส้นใยอ้อย 3) เส้นใยมะพร้าว 4) เส้นใยคุส และ 5) กระดาษรังผึ้ง ผลศึกษาพบว่า เส้นใยมะพร้าวมีประสิทธิภาพการทำความเย็นร้อยละ 73.44 เส้นใยกล้วย มีประสิทธิภาพการทำความเย็นร้อยละ 67.73 เส้นใยคูสมีประสิทธิภาพการทำความเย็นร้อยละ 67.00 เส้นใยอ้อยมีประสิทธิภาพการทำความเย็นร้อยละ 65.65 และแผ่นรังผึ้งมีประสิทธิภาพการทำความเย็นร้อยละ 40.29 มีประสิทธิภาพอิ่มตัวที่ความเร็วลมเข้า 1.30 เมตรต่อวินาที แผ่นทำความเย็นเส้นใยอ้อยให้ประสิทธิภาพความอิ่มตัวสูงเมื่อเทียบกับแผ่นทำความเย็นแบบรังผึ้ง นอกจากนี้ Kouchakzadeh & Brati (2013) ได้มีการศึกษาประเมินความเหมาะสมของถ่านอัดแท่งเพื่อใช้เป็นวัสดุแผ่นทำความเย็นแบบระเหยทางเลือกที่ใช้ในโรงเรือน โดยมีการติดตั้งการทดสอบแบบพิเศษ ซึ่งออกแบบมาเพื่อประเมินประสิทธิภาพของแผ่นถ่าน และประเมินประสิทธิภาพการทำความเย็นและความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการระบายความร้อนโดยเฉลี่ยดีที่สุดในความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ 209.58 กิโลกรัม ที่สามารถลออุณหภูมิร้อยละ 70.00 ด้วยความเร็วลม 1.38 เมตรต่อวินาที และการไหลของน้ำ 0.19 กิโลกรัมต่อวินาทีต่อตารางเมตร ของแผ่น D

จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของแผ่นทำความเย็นที่ทำมากจากวัสดุทางการเกษตรมีประสิทธิภาพใกล้เคียงหรือมากว่าแผ่นทำความเย็นที่ทำมาจากกระดาษ นอกจากนี้ยังมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าเนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้จากชุมชน สอดคล้องกับงานวิจัย Salins et al. (2021) พบว่าถ่านมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับแผ่นทำความเย็นในท้องตลาด การบำรุงรักษาต่ำกว่า ค่าใช้จ่ายต่ำกว่า ถ่านมีค่าใช้จ่ายทั้งระบบ 6,713.37 บาท ในขณะที่แผ่นทำความเย็นกระดาษมีค่าใช้จ่าย 913.38 บาทต่อบล็อค 1 ตารางเมตร และมีประสิทธิภาพการระบายอากาศที่ดีขึ้น โดยถ่านสามารถลดอุณหภูมิได้ร้อยละ 77.45 และแผ่นทำความเย็นในท้องตลาดลดอุณหภูมิได้ร้อยละ 57.40 ซึ่งมีเป้าหมายในการใช้เทคโนโลยีที่มีต้นทุนต่ำให้เกษตรสามารถเข้าถึงได้ซึ่งถ่านเป็นวัสดุหนึ่งที่ได้รับความสนใจเนื่องจากมีคุณสมบัติในการดูดซับความชื้นและระบายอากาศเนื่องจากมีรูพรุนสูง (Hemwong, 2013) (Table 2) ดังนั้นการศึกษาพัฒนาแผ่นทำความเย็นให้มีประสิทธิภาพสูง และสามารถใช้วัสดุทางการเกษตรของท้องถิ่นมาผลิตจะช่วยให้มีการใช้งานได้ทั้งในโรงเรือน การทำฟาร์มปศุสัตว์ โรงงานอุตสาหกรรม และพื้นที่กลางแจ้งในเมือง ซึ่งจะส่งผลดีต่อการลดปริมาณขยะเหลือใช้ทางการเกษตรให้กับโลกในอนาคตได้

ปัจจัยที่มีผลการใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยในโรงเรือน

Namhormchan & Muangchan (2020) ได้อธิบายว่าอุณหภูมิมีผลกระทบโดยตรงต่อการพัฒนาทางสรีรวิทยาของพืช ซึ่งอุณหภูมิในโรงเรือนเพาะปลูกที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ปลูก พืชแต่ละชนิดมีกระบวนการพัฒนาการตอบสนองต่ออุณหภูมิที่ต่างกัน ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิกลางวันและกลางคืนตลอดจนอุณหภูมิเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช สภาพภูมิอากาศจึงมีบทบาทอย่างมากในการออกแบบโครงสร้างโรงเรือนเพาะปลูกและระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ (Vapour pressure deficit-VPD) โดยความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของพืช อยู่ในช่วงร้อยละ 60.00-90.00 ค่าที่ต่ำกว่าร้อยละ 60.00 อาจทำให้พืชเกิดความเครียดจากน้ำ และหากความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าร้อยละ 95.00 เป็นเวลานานโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเวลากลางคืนจะส่งผลให้เชื้อราเกิดการพัฒนาอย่างรวดเร็วได้ และยังพบว่าอัตราการไหลของอากาศที่ต่ำจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความเย็นยิ่งอัตราการไหลของอากาศสูงขึ้นประสิทธิภาพการทำความเย็นก็จะยิ่งต่ำลง

(Hassan et al., 2021) นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอิ่มตัวของอากาศในระบบอุณหภูมิแบบระเหยมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิสูงกว่าระบบพ่นหมอกมีมีราคาต่ำกว่า มีการใช้น้ำและพลังงานน้อยกว่า (Franco et al., 2014) จึงมีการศึกษาวัสดุต่างๆ ที่มีราคาต่ำและเหลือทิ้งอันจะก่อให้เกิดขยะต่อโลกอันจะส่งผลทำให้ภาวะโลกร้อนที่ทวีคุณขึ้น ในขณะเดียวกันได้มีการศึกษาของ Aziz et al. (2018) เปรียบเทียบการศึกษาของแผ่นทำความเย็นแบบระเหยประกอบด้วย แอสเพน โลหะ ซีเมนต์ วัสดุเซรามิก ขุยมะพร้าว เส้นใยขนแกะ เส้นใยปอกระเจา เส้นใยปาล์มอินทผาลัม เส้นใยคุส กระดาษเซลลูโลส พลาสติก และแก้ว พบว่าส่วนใหญ่กระดาษเซลลูโลสมีประสิทธิภาพที่ดี น้ำหนักเบา ต้นทุนต่ำ และประสิทธิภาพความอิ่มตัวสูง มีประสิทธิภาพการทำความเย็นที่ดีมากถึง ร้อยละ 80.00 และยังมีผลต่อการเพิ่มความชื้นอีกด้วย แม้จะมีการใช้แผ่นทำความเย็นที่ทำจากกระดาษเซลลูโลสจะมีการใช้อย่างแพร่หลาย แต่ประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแผ่นทำความเย็นแบบระเหยเหล่านี้จะเสื่อมลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการใช้น้ำกร่อย แร่ธาตุ สาหร่าย และฝุ่นที่สะสมตัวอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการอุดตันของแผ่นลดลดอุณหภูมิทำให้อายุการใช้งานสั้นลง กระดาษเซลลูโลสค่อนข้างมีราคาสูงซึ่งทำให้เพิ่มต้นทุนของการใช้ นอกจากนี้การผลิตแผ่นทำความเย็นของแผ่นเซลลูโลสใช้กระดาษในการผลิตทำให้ต้องมีการตัดต้นไม้สำหรับการนำมาทำเยื่อกระดาษจึงสวนทางกันกับการลดปัญหาโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมโดยตรง ดังนั้นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีความสามารถในการดูซับน้ำลดอุณหภูมิในโรงเรือน จึงมีการศึกษาที่สำคัญในการนำมาใช้ในการผลิตแผ่นทำความเย็นสำหรับการใช้ในโรงเรือนในอนาคต

Table 2 Efficiency of cooling pad under different materials

Packing type	Flow type	Operating parameters	Wind speed Range	Performance parameters		
				COP	Humidification efficiency (%)	DP (PA)
Coconut fibers	Cross	Air velocity	1.4 m/s	2.10 ↑↓	69.39 % ↓	39.19 ↑
Cellulose	Cross	Air velocity	1.8-4.0 m/s	2.50 ↑↓	85 % ↓	70.00 ↑
Eucalyptus Fiber	Cross	Air velocity	0.1-1.2 m/s	4.05 ↑↓	65 % ↓	60.00 ↑
Charcoal	Counter	Air velocity	4-6 m/s	1.41	Rise to optimum value then fall 57.40 %	87.00 ↑
Cellulose	Counter	Air velocity	4-6 m/s	3.17 ↑	Rise to optimum value then fall 77.45 %	75.00 ↑

Remarks: 1. Coefficient of performance (COP) 2. Change in pressure (DP).
↑↓ Performance parameters increase with the rise in air velocity.
↓ Performance parameters decrease with the rise in air velocity.
Source: Salins et al. (2021)

แนวทางการนำแผ่นทำความเย็นจากวัสดุทางการเกษตรไปใช้ประโยชน์

แผ่นลดอุณหภมิในระบบทำความเย็นแบบระเหย ได้มีการศึกษาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาในการทำการเกษตรทั้งด้านการเลี้ยงสัตว์และด้านการผลิตพืชในโรงเรือน โดยมีการศึกษาของ Premjai & Poolkrajang (2011) ได้ศึกษาประสิทธิภาพแผ่นทำความเย็นจากวัสดุธรรมชาติสำหรับโรงเรือนเลี้ยงไก่ โดยผลิตแผ่นทำความเย็นจากกาบมะพร้าวและแกลบ จากการศึกษาพบว่าแผ่นทำความเย็นที่ทำขึ้นมาจากกาบมะพร้าวเพื่อเป็นวัสดุทดแทนแผ่นทำความเย็นแบบกระดาษมีความสามารถในการลดอุณหภูมิของอากาศที่ผ่านแผ่นทำความเย็นลงได้ประมาณ 5 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนไม่ให้เกินค่าที่กำหนดไว้ คือ 25-35 องศาเซลเซียส และยังพบว่าแผ่นทำความเย็นจากกาบมะพร้าวมีประสิทธิภาพการในการทำความเย็นอยู่ที่ประมาณร้อยละ 71.00 ใกล้เคียงกับแผ่นทำความเย็นแบบกระดาษที่ใช้กันในโรงเรือนจริง ซึ่งมีประสิทธิภาพการทำความเย็นอยู่ที่ประมาณร้อยละ 75.00 ส่วนแผ่นทำความเย็นแบบแกลบสามารถลดอุณหภูมิได้ประมาณ 3 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการทำความเย็นอยู่ที่ร้อยละ 26.56 ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนไม่ให้เกินค่าที่กำหนดไว้เช่นเดียวกัน ในขณะที่ด้านการปลูกพืช Yamfang et al. (2021) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบการทำความเย็นแบบระเหยร่วมกับระบบการทำความเย็นแบบอัดไอมาใช้ในโรงเรือนเลี้ยงไหมพบว่าระบบการทำความเย็นแบบระเหยอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์อากาศเฉลี่ยในโรงเรือนที่ได้จากการศึกษาคือ 27.9 องศาเซลเซียส 27.5 องศาเซลเซียส และ 27.4 องศาเซลเซียส โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 83.91 ร้อยละ 85.61 และ ร้อยละ 83.29 ตามลำดับ ในขณะที่ Puttaraksa et al. (2017) ได้ศึกษาศักยภาพการทำความเย็นแบบระเหยในโรงเรือนปลูกสตรอเบอรี่เขตร้อน จากการศึกษาพบว่าระบบทำความเย็นแบบระเหยสามารถลดอุณหภูมิอากาศในโรงเรือนได้ตั้งแต่ 1.1-2.7 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.50 และเมื่อใช้ร่วมกับตาข่ายพรางแสงสามารถลดอุณหภูมิอากาศในโรงเรือนได้มากที่สุด 3.30 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์อากาศเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 10.00 ทำให้ผลผลิตของสตรอเบอรี่เพิ่มขึ้นได้มากกว่า 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบการเพาะปลูกในโรงเรือนที่ไม่มีการทำความเย็น

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาประสิทธิภาพการนำถ่านมาใช้ในระบบทำความเย็นแบบระเหย โดย Oliy (2020) ได้เปรียบเทียบ

ประสิทธิภาพของห้องทำความเย็นแบบระเหย (Evaporative cooling chamber) ที่ทำจากอิฐและถ่านเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของมะเขือเทศ พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยรายวันสูงสุดและต่ำสุด เท่ากับ 26.20-17.00 องศาเซลเซียส และ 24.40-17.00 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิภายนอกห้องในเวลาเที่ยงวันมีสูงสุดและต่ำสุด เท่ากับ 32.50-21.00 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าห้องที่ทำจากอิฐสามารถลดอุณหภูมิที่ได้ต่ำสุด 4 องศาเซลเซียส และสูงสุด 5.90 องศาเซลเซียส ส่วนห้องที่ทำจากถ่านสามารถลดอุณหภูมิที่ได้ต่ำสุด 4 องศาเซลเซียส และสูงสุด 8.10 องศาเซลเซียส ทำให้มีระยะเวลาในการเก็บรักษามะเขือเทศได้นานขึ้น รวมถึงลดอัตราการสลายตัวและความสูญเสียน้ำ

จากข้อมูลการใช้วัสดุทางการเกษตรเพื่อผลิตแผ่นทำความเย็นที่ผ่านมา พบว่า วัสดุแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพการทำความเย็นที่แต่กต่างกันซึ่งอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้ ได้แก่ โครงสร้างและช่องว่างของวัสดุ ปริมาณรูพรุน ความสามารถในการดูดซับและการระเหยของน้ำ การไหลผ่านของน้ำ ความสามารถในเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ความสามารถในการลดตะกอนสะสม รวมถึงความคงทนของวัสดุซึ่งส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนของระบบทำความเย็นแบบระเหย โดยจากการสังเคราะห์ข้อมูลวัสดุแต่ละชนิด พบว่า วัสดุจากการเกษตรที่มีโครงสร้างภายในคล้ายฟองน้ำและไม่ผ่านกระบวนการเผา (ใยกล้วย ขุยมะพร้าว ใยมะพร้าว ใยบวบ เส้นใยขนแกะ เส้นใยปอกระเจา และเส้นใยปาล์มอินทผาลัม) ทำให้สามารถกักเก็บน้ำได้ดี แต่มีข้อจำกัดในการทนการกัดกร่อนได้น้อย เกิดเชื้อรา และมีการเน่าเปื่อยได้ง่ายทำให้อายุการใช้งานที่ต่ำหากมีการผลิตใช้งานบ่อยครั้งจะต้องมีการพิจารณาความคุ้มทุนของวัสดุ ในขณะที่วัสดุจากเกษตรที่ผ่านกระบวการเผา (ถ่าน และถ่านอัดแท่ง) จะมีปริมาณรูพรุนที่สูงกว่าเนื่องจากเกิดกระบวนการย่อยสลายของผนังเซลล์ในระหว่างกระบวนการเผา เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ส่งผลทำให้ความสามารถในการเก็บกักน้ำได้ดี และมีความคงทนนานกว่า 10 ปี รวมถึงความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อนของน้ำและเชื้อรา เนื่องจากมีค่า pH ที่สูง อย่างไรก็ตามปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงคือปริมาณของวัสดุซึ่งต้องเพียงพอต่อการนำไปผลิตแผ่นทำความเย็นสำหรับติดตั้งในโรงเรือนขนาดใหญ่ซึ่งต้องใช้วัสดุปริมาณมาก ดังนั้นการใช้วัสดุอยู่ในพื้นที่จะลดปัญหาการเกิดต้นทุนในการขนส่งของเกษตรกรได้ นอกจากนี้หากหมดอายุการใช้งานแล้วสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ หรือนำมาผลิตเป็นปุ๋ยเพื่อใช้ในการผลิตพืชในพื้นที่ได้อีกด้วย (Figure 4)

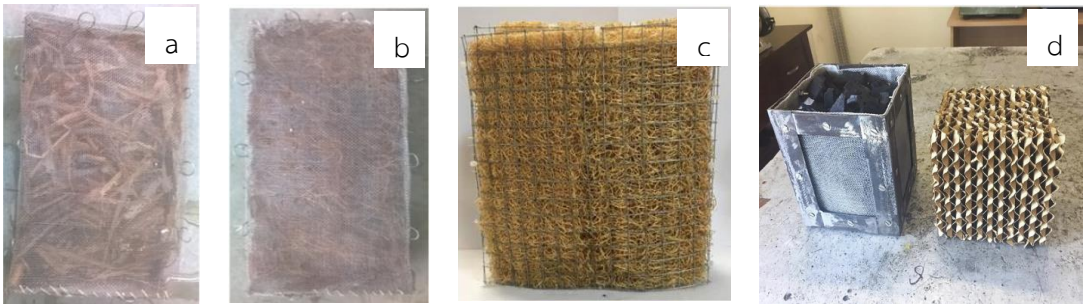

Figure 4 Some example of cooling pads make from a) banana fiber b) coconut fiber c) luffa and d) charcoal.
Source: Aziz et al. (2018); Dhamneya et al. (2017); Salins et al. (2021)

สรุปผลการวิจัย

การทำการเกษตรในปัจจุบันมีต้นทุนสูง โดยเฉพาะต้นทุนด้านพลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อันมีปัจจัยมาจากต้องทำการเกษตรควบคู่ไปกับการใช้เทคโนโลยีเพื่อรักษาผลผลิตให้มีปริมาณและคุณภาพสูง การใช้ระบบการทำความเย็นแบบระเหยนับได้ว่าเป็นระบบที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับระบบลดอุณหภูมิแบบอื่น มีการใช้พลังงานน้อยเนื่องจากมีการหมุนเวียนน้ำในระบบกลับมาใช้ใหม่ทำให้มีการสูญเสียน้ำออกจากระบบต่ำมาก ขณะที่หากมีการประยุกต์ใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาประยุกต์ใช้ในเป็นวัสดุทางเลือกในการผลิตเป็นแผ่นทำความเย็นจะยิ่งทำให้ต้นทุนในการใช้ระบบต่ำลงไปอีก โดยวัสดุที่จะนำมาผลิตแผ่นทำความเย็นจะต้องมีคุณสมบัติที่เอื้อต่อการลดอุณหภูมิในโรงเรือน และเป็นวัสดุที่มีท้องถิ่นเพื่อให้มีต้นทุนต่ำทำให้เกษตรกรรายย่อยเข้าถึงได้ ซึ่งเกษตรกรจะสามารถบำรุงรักษาเองส่งผลให้เกษตรกรสามารถใช้งานได้ง่ายและปรับใช้ได้ตามเงื่อนไขของพื้นที่นั้น ๆ ได้ การนำเสนอแนวคิดในการใช้เทคโนโลยีและวัสดุท้องถิ่นนี้อาจนำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีและวัสดุรวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมของการเกษตรในโรงเรือน จึงควรให้ความสำคัญในการศึกษาและส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อสนับสนุนการเกษตรที่ยั่งยืนและทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ นอกจากนี้ การให้ความสำคัญในการพัฒนาทรัพยากรธรรมชาติที่มีจำกัดจะช่วยลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ในการเกษตรและช่วยเพิ่มศักยภาพให้ภาคเกษตรให้มีการพัฒนาที่ยั่งยืนมากขึ้น

References

Alibaba. (2022). *Coolingpad price. Resources.* Accessed February 20, 2022. Retrieved from https://thai.alibaba.com/p-detail/Evaporative-1600089660153.html (in Thai)

Aziz., R. A, Zamrud, N. F., & Rosli, N. (2018). Comparison on cooling efficiency of cooling pad materials for evaporative cooling system. *Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology*, *1*(1) , 61- 68. doi: 10.15282/jmmst.v1i1.199

Babaremu, K. O., Omodara, M. A., Fayomi, O. S. I., Okokpujie, I. P., & Oluwafemi J. O. (2018). Design and optimization of an active evaporative cooling system. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, *9*(10), 1051-1061.

Department of Alternative Energy Development and Energy Efficiency Ministry of Energy. (2021). *Biomass green energy that is friendly to the world. Resources.* Accessed August 15, 2023. Retrieved from https://www.thebangkokinsight.com/news/environmental-sustainability/558298 (in Thai)

Dhamneya, A. K., Rajput, S. P. S., & Singh, A. (2017). Experimental performance analysis of alternative cooling pad made by agricultural waste for direct evaporative cooling system. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, *8*(7), 199-212.

Franco, A., Valera, D. L., & Peña, A. (2014). Energy efficiency in greenhouse evaporative cooling techniques: cooling boxes versus cellulose pads. *Energies*, *7*(3), 1427-1447. doi: 10.3390/en7031427

Franco-Salas, A., Peña-Fernández, A., & Valera-Martínez, D. L. (2019). Refrigeration capacity and effect of ageing on the operation of cellulose evaporative cooling pads, by wind tunnel analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(23), 4690.. doi: org/10.3390/ijerph16234690

Givoni, B. (1993). Semiempirical model of a building with a passive evaporative cool tower. *Solar Energy*, *50*(5), 425-434. doi: 10.1016/0038-092X(93)90064-U

Hassan, Z., Misaran, M. S., Siambun, N. J., & Adzrie, M. (2022). The effect of air velocity on the performance of the direct evaporative cooling system. *Proceeding of the IOP conference series: materials science and engineering for sustainable advancement (MEESA 2021)* (pp. 1-7). Sabah, Malaysia: IOP Publishing Ltd. doi: 10.1088/1757-899X/1217/1/012016

Hatfield, J. L., & Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes: effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, *10*, 4-10. doi: 10.1016/j.wace.2015.08.001

Hemwong, S. (2013). Biochars: carbon sequestration and soil fertility. *King Mongkut's Agricultural Journal, 31*(1), 104-113. (in Thai)

Kanla, S. (2009). A comparison of physical properties between evaporative cooling pad prototype from coconut fiber with cellulose pad. *Air- Conditioning Engineering Association of Thailand*. *15*, 49-57. (in Thai)

Kapilan N., Isloor, A. M., & Karinka, S. (2023). A comprehensive review on evaporative cooling systems. *Results in Engineering*, *18*, 101059. doi: 10.1016/j.rineng.2023.101059

Khampan, T., Thavarungkul, N., Tiansuwan, J., & Kamthai, S. (2010). Wet strength improvement of pineapple leaf paper for evaporative cooling pad. *Proceedings of the world academy of science, engineering and technology (2010-376X)* (pp.254-257) Istanbul, Turkey: World Academy of Science, Engineering and Technology.

Kouchakzadeh, A., & Brati, A. (2013). The evaluation of bulk charcoal as greenhouse evaporative cooling pad. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, *15*(2), 188-193.

Liberty, J. T., Ugwuishiwu, B. O., Pukuma, S. A., & Odo, C. E. (2013). Principles and application of evaporative cooling systems for fruits and vegetables preservation. *International Journal of Current Engineering and Technology*, *3*(3), 1000-1006.

Maneewan, S. (2007). Investigation of physical properties of mulberry paper for evaporative cooling system. *Naresuan University Journal*, *15*(2), 63-72. (in Thai)

Namhormchan, T. (2019). Plant factory. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, *13*(2), 46-62. (in Thai)

Namhormchan, T., & Muangchan, N. (2020). Energy conservation in the closed-system greenhouse. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, *14*(1), 1-13. (in Thai)

Oliy, G. B. (2020). Comparative effect of brick and charcoal made evaporative cooling storage on shelf life of tomato. *International Journal of Scientific and Research Publications*, *10*(5), 729-734. doi: 10.29322/ijsrp.10.05.2020.p10184

Premjai, N., & Poolkrajang, A. (2011). Study on the efficiency of cooling pad made of natural materials for a broiler house. *Proceeding of Academic conference Khon Kaen University* (pp.770-774). Khon Kaen, Thailand: Khon Kaen University. (in Thai)

Puttaraksa, P., Nathewet, P., & Mongkon, S. (2017). Potential of evaporative cooling system in a tropical strawberry greenhouse. *Proceeding of the 13th conference on energy network of Thailand* (pp.56-64)., Chiang Mai, Thailand: Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai)

Rupani, S. V., Jani, S. S., & Acharya, G. D., (2017). Design, modelling and manufacturing aspects of honeycomb sandwich structures: a review. *International Journal of Scientific Development and Research, 2*(4), 526-532. doi: 10.1712/ijsdr.17013

Salins, S. S., Kota Reddy, S. V. K., Kumar, S., & Stephen, C. (2021). Experimental investigation of humidification parameters using biomass-based charcoal as an alternative packing

material. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences. 35*(7), 495- 505. doi: 10. 1016/ j.jksues.2021.04.005

Tejero-González, A., & Franco-Salas, A. (2021). Optimal operation of evaporative cooling pads: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *151*, 111632. doi: 10.1016/j.rser. 2021.111632

Yamfang, M, Boonwan, C., Laongwan, C., Assanee, N., Pairintra, R., & Guptasa, M., (2021). The application of combined systems including evaporative cooling and vapor compression air conditioning system for a silkworm rearing house. *Journal of Engineering, RMUTT*, *19*(1): 13-23. (in Thai)

Zellweger, J. (1906). *Air filter and cooler. U.S. patent 838602*. Accessed February 20, 2022. Retrieved from https://patents.google.com/patent/US838602A/en.

Research article

Role of agricultural waste: alternative materials for evaporative cooling pad

Somporn Kongna[1*] Komkrit Chooruang[2] Kanlaya Mikhama[3] and Saowakon Hemwong[3]

[1]*Graduate School in Agricultural Innovation and Technology, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom Province 48000*
[2]*Division of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom Province 48000*
[3]*Division of Plant Science, Faculty of Agriculture and Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom Province 48000*

ARTICLE INFO

Article history
Received: 11 October 2023
Revised: 6 December 2023
Accepted: 9 January 2024
Online published: 18 March 2024

Keyword
Cooling pads
Evaporative cooling systems
Agricultural waste material
Alternative materials

ABSTRACT

The use of evaporative cooling systems in greenhouse cultivation is a promising option for addressing agricultural challenges in the face of global warming. However, a notable issue is the high cost of cooling pads, making this technology The use of evaporative cooling systems in greenhouse cultivation is a promising option for addressing agricultural challenges in the face of global warming. However, a notable issue is the high cost of cooling pads, making this technology inaccessible to small-scale farmers. This article aims to compile, analyze, and summarize the evolution, principles, and production methods of utilizing agricultural waste materials as evaporative cooling pads. It also compares the efficiency of using agricultural waste materials as cooling pads, highlighting their potential to reduce temperatures by 3 to 8 degrees Celsius. In comparison, conventional paper-based panels typically achieve a reduction of approximately 5 degrees Celsius. The efficiency of using agricultural waste materials for evaporative cooling depends on various factors, including the internal structure of the material, the pore size and pore volume, water absorption and evaporation capabilities, moisture retention capacity, and resistance to clogging. Additionally, the sustainability of these materials relies on their ability to minimize accumulated debris and their cost-effectiveness, enabling widespread adoption among small-scale farmers. In conclusion, this research synthesizes findings from studies that utilize efficient agricultural waste materials for sustainable evaporative cooling. The development of low-cost materials holds the key to ensuring that small-scale farmers can access and benefit from this technology, ultimately contributing to the establishment of sustainable and cost-effective agricultural practices in the future for small-scale farmers. This article aims to compile, analyze, and summarize the evolution, principles, and production methods of utilizing agricultural waste materials as evaporative cooling pads. It also compares the efficiency of using agricultural waste materials as cooling pads, highlighting their potential to reduce temperatures by 3 to 8 degrees Celsius. In comparison, conventional paper-based panels typically achieve a reduction of approximately 5 degrees Celsius. The efficiency of using agricultural waste materials for evaporative cooling depends on various factors, including the internal structure of the material, the pore size and pore volume, water absorption and evaporation capabilities, moisture retention capacity, and resistance to clogging. Additionally, the sustainability of these materials relies on their ability to minimize accumulated debris and their cost-effectiveness, enabling widespread adoption among small-scale farmers. In conclusion, this research synthesizes findings from studies that utilize efficient agricultural waste materials for sustainable evaporative cooling. The development of low-cost materials holds the key to ensuring that small-scale farmers can access and benefit from this technology, ultimately contributing to the establishment of sustainable and cost-effective agricultural practices in the future.

*Corresponding author
E–mail address: sompornrdi@npu.ac.th (S. Kongna)
Online print: 18 March 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. https://doi.org/10.14456/paj.2024.1