สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การพัฒนาชุดโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติ

Development of Evaporative Greenhouse for Hydroponics Plant Set

RCH
SB
126.5
ส232ก
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 83658
วัน,เดือน,ปี 10 ก.ย. 2551

โดย

นายสมเกียรติ สีสนอง
นายอิทธิสุนทร นันทกิจ
ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โครงการวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้ปี 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราคา 119 บาท
ได้รับ.....
ที่.....

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	a
สารบัญตาราง	b
สารบัญภาพ	c
บทคัดย่อ	1
คำนำ	2
วัตถุประสงค์	4
อุปกรณ์และวิธีการ	4
ผลการทดลอง	9
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	14
เอกสารอ้างอิง	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงความต่างของอุณหภูมิอากาศภายในกับภายนอกโรงเรือน (องศาเซลเซียส)	10
2	แสดงความต่างของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในกับภายนอกโรงเรือน (ร้อยละ)	10
3	แสดงความต่างของอุณหภูมิอากาศภายในกับภายนอกโรงเรือน ของการทดลองที่ 2 (องศาเซลเซียส)	12
4	แสดงความต่างของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายใน กับภายนอกโรงเรือนของการทดลองที่ 2 (ร้อยละ)	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาชุดโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็ก แบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติ

Development of Evaporative Greenhouse for Hydroponics Plant Set

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน มีการขยายพื้นที่การปลูกเพิ่มขึ้น แต่การปลูกพืชโดยวิธีนี้ก็มีข้อจำกัดสำหรับประเทศไทยหลายประการ ที่สำคัญคือสภาพอากาศที่ร้อนทำให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนหรือโต๊ะปลูกพืชมีอุณหภูมิสูง ส่งผลให้ผลผลิตที่ได้ต่ำ และไม่สามารถปลูกพืชบางชนิดที่มีมูลค่าสูงได้ การทดลองแบ่งเป็น 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กสองแบบ ได้แก่ แบบดั่งเดิม (หลังคาโค้ง) และแบบปรับปรุง (หลังคาโค้งสองชั้น) พบว่าโรงเรือนทั้งสองแบบมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 41.63 และ 38.70 °C ตามลำดับ และมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 56.03 และ 57.84 ตามลำดับ การทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาวิธีการลดอุณหภูมิภายในของโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบปรับปรุง 4 ระบบ ได้แก่ โรงเรือนแบบปรับปรุงไม่มีระบบลดอุณหภูมิ (T1) แบบติดตั้งระบบอุโมงค์ลมระดับความสูง 60 เซนติเมตรเหนือหลุมปลูกพืช (T2) แบบติดตั้งระบบอุโมงค์ลมระดับความสูง 30 เซนติเมตรเหนือหลุมปลูกพืช (T3) และแบบติดตั้งระบบ Evaporative cooling pad (T4) พบว่า โรงเรือนแบบ T4 สามารถลดอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนได้มากที่สุดมีอุณหภูมิเฉลี่ย 36.29 °C รองลงมาเป็นโรงเรือนแบบ T3 แบบ T2 และแบบ T1 โดยอุณหภูมิเฉลี่ย 37.85, 38.33 และ 38.46 °C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 59.33, 58.63, 55.17 และ 58.07 ตามลำดับ

Abstract

Vegetable production in Thailand by using hydroponics technique has been limited due to high temperature in summer. Two experiments were conducted to determine the design of greenhouse plant set which effected the inside temperature and humidity of the greenhouse. In the first experiment two type of greenhouse which were original type (single step arch roof) and develop type (two step arch roof) were compared. The results showed that the design of the develop type caused the significant difference decrease of the temperature while the RH of both type were almost the same. In the second experiment, the develop greenhouse plant set was improved. Four types of the greenhouse plant set were the develop type (T1); the T1 type with wind tunnel at 60 cm high above planting base (T2); the T1 type with wind tunnel at 30 cm high above planting base (T3); the T1 type with evaporative cooling pad (T4). The best result was found in T4 which cause the lowest temperature of 36.29 °C following by T3, T2 and T1 respectively. The RH of all type were in the range of 55.17-59.33 %.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คำนำ

ในปัจจุบันการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (hydroponics) มีการขยายพื้นที่การปลูกเพิ่มขึ้น และผลผลิตที่ได้ก็ได้รับการยอมรับและเป็นที่นิยมในหมู่ผู้บริโภค แต่การปลูกพืชโดยวิธีนี้ก็มีข้อจำกัดสำหรับประเทศไทยหลายประการ ที่สำคัญคือสภาพอากาศที่ร้อนทำให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนหรือโต๊ะปลูกพืชมีอุณหภูมิสูง ทำให้ผลผลิตที่ได้ต่ำ หรือมีคุณภาพไม่ดี และไม่สามารถปลูกพืชบางชนิดที่มีมูลค่าสูงได้ เช่น ผักสลัด (lettuce) บางชนิด พรรณไม้น้ำ ซึ่งต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมแล้วยังต้องการความชื้นสูงอีกด้วย (ดิเรก, 2548) (อิทธิสุนทร, 2538) (Nelson, 1991) ดังนั้นพืชในกลุ่มนี้จะเจริญเติบโตได้ดี ให้ผลผลิตที่มีปริมาณและคุณภาพสูงในบางฤดู หรือในโรงเรือนที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (evaporative cooling greenhouse) ซึ่งส่วนมากเป็นโรงเรือนขนาดใหญ่และมีราคาสูง (Arbel et al., 2003) หากสามารถปรับปรุงหรือพัฒนาชุดโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็ก (greenhouse planting set) ที่นิยมใช้ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในปัจจุบันให้สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ จะทำให้เกษตรกรและผู้ที่สนใจการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสามารถปลูกพืชผักเพื่อบริโภคในครัวเรือนหรือเพื่อการค้า และสามารถเลือกชนิดของพืชที่ปลูกได้หลากหลายเพิ่มขึ้น เป็นการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของเกษตรกรอีกทางหนึ่ง

การเพาะปลูกพืชในโรงเรือนที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น จะทำให้ได้ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตที่เป็นไปตามความต้องการของตลาด การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นมีหลายวิธีในการจัดการ ซึ่งการพรางแสง และการระบายอากาศเป็นแนวทางพื้นฐานทั่ว ๆ ไปที่ใช้กัน โดยการพรางแสงเป็นการลดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่จะผ่านเข้ามาในโรงเรือน แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในโรงเรือนไม่ได้เป็นอิทธิพลโดยตรงกับอัตราการพรางแสง (Willits and Peet, 1993) การระบายอากาศเป็นการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นภายในโรงเรือน แต่จะสูญเสียความชื้นและเพิ่มการคายน้ำของพืช (Seginer, 1984) ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือนประกอบด้วย อัตราการระบายอากาศ การใช้น้ำของพืชและการระเหยน้ำจากดิน สัดส่วนการพรางแสง การระเหยน้ำจากแผงระเหยน้ำ (pad) หรือหัวพ่นน้ำ (fog) และสัมประสิทธิการสูญเสียความร้อนของโรงเรือน (Mastalerz, 1977) จากปัจจัยที่กล่าวมาสามารถนำมาปรับเพื่อใช้ในโรงเรือนขนาดเล็ก เช่น ชุดโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็ก เพื่อให้สามารถเพาะปลูกพืชที่มีความต้องการความชื้นสูง และอุณหภูมิในการเจริญเติบโตต่ำกว่าสภาพแวดล้อมภายนอกได้ โดยการจัดการเกี่ยวกับ การระบายอากาศ การพรางแสง และการเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือน

จากการทดลองของ Arbel et al. (1999) พบว่าระบบการพ่นหมอกทำให้อุณหภูมิต่ำกว่า และความชื้นสูงกว่าระบบ pad and fan ภายในโรงเรือนขนาด 1,536 ลูกบาศก์เมตร โดยสามารถลดอุณหภูมิได้ 5 องศาเซลเซียส และเพิ่มความชื้นได้ 20%

ระบบ Evaporative cooling system หรือ Fan and pad cooling system หรือระบบ EVAP ได้มีกันใช้อย่างแพร่หลายในต่างประเทศมานานหลายปีแล้ว แต่สำหรับในประเทศไทยระบบนี้เป็นระบบที่ยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใหม่ยังไม่แพร่หลายในการใช้งาน อย่างไรก็ตามปัจจุบันประเทศไทยได้มีผู้นำมาใช้ในทางการค้าแล้ว แต่ต้องใช้งบประมาณในการลงทุนราคาสูง จึงทำให้มีการใช้ระบบนี้กับเกษตรกรรายใหญ่เท่านั้น การทดลองนี้เป็นการทดสอบระบบเพื่อจะนำมาใช้กับโรงเรือนที่ใช้ปลูกพืชแบบปลอดสารพิษและเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับผู้ที่สนใจจะนำไปปรับปรุงเปลี่ยนแปลง เพื่อจะนำระบบนี้ไปใช้สำหรับปลูกพืชหรือใช้ในทางการค้าต่อไป

ปัจจัยสองอย่างที่ต่างกันอย่างเห็นได้ชัดในการทำความเย็นภายในโรงเรือน คือโรงเรือนสำหรับฤดูร้อนและฤดูหนาว ในช่วงฤดูร้อนที่มีความร้อนจัดนั้นจะมีผลกระทบต่อผลผลิตของพืช อุณหภูมิภายในโรงเรือนจะอยู่ในระดับที่สูงกว่าอุณหภูมิภายนอก ซึ่งจะมีผลต่อการสร้างลำต้น ดอกจะมีขนาดเล็กลง การออกดอกช้าลง และมักจะมีการออกช่อดอกก่อนกำหนด การทำงานของระบบทำความเย็นแบบนี้จะขึ้นอยู่กับกระบวนการดูดความร้อนระหว่างการระเหยไปของน้ำ แต่ความร้อนที่เพิ่มขึ้นก็ยังเป็นปัญหา แม้ว่าอุณหภูมิภายในจะลดลงพอ ๆ กับอุณหภูมิด้านนอก การเก็บกักพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ของโรงเรือนก็อาจจะทำให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงขึ้นจนถึงระดับวิกฤตได้

การจัดสภาพอากาศที่เหมาะสมนับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งในการกำหนดผลประโยชน์สูงสุดที่จะได้รับ การสร้างโรงเรือน และโรงเลี้ยงปศุสัตว์ในประเทศที่มีสภาพภูมิอากาศเขตร้อนและร้อนชื้นจะมีปัญหาเกี่ยวกับอุณหภูมิที่สูงมากภายในโรงเรือนเสมอ อัตราผลผลิตของพืชและสัตว์มักได้รับความเสียหายจากที่อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นและอากาศร้อนจัด

ในอดีตได้มีการใช้วิธีการที่เชื่อถือได้ โดยการใช้พลังงานต่ำสุดในการลดอุณหภูมิภายในโรงเรือน จากการทดลองนี้ A Growelectric Handbook (1979) แสดงให้เห็นว่าการทำความเย็นโดยการระเหยน้ำจะมีหลักการคือการใช้แผ่นรังผึ้งระเหยน้ำ (pad) และพัดลม (fan) ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการที่จะเพิ่มผลผลิต ตามปกติแล้วระบบระบายอากาศที่กระทำโดยการทำให้เย็น อุณหภูมิอากาศที่ผ่านเข้ามาในโรงเรือนจะเป็นอุณหภูมิเดียวกับอุณหภูมิภายนอก แต่ก็ขึ้นอยู่กับความร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วย ความร้อนที่ส่งผ่านมายังโรงเรือนจะทำให้ความร้อนภายในเพิ่มสูงขึ้นจนอาจจะสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกได้

การทำความเย็นแบบการทำให้น้ำระเหยไป เป็นการทำให้เย็นโดยอาศัยหลักการทางธรรมชาติ คือ ลม ตัวอย่างเช่น ลมพัดผ่านเหนือผิวน้ำในทะเลจะทำให้น้ำส่วนนี้ระเหยไป ผลจากปรากฏการณ์นี้จะทำให้อุณหภูมิในอากาศลดลง เพราะว่ากระบวนการนี้จะเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นลมเย็น การนำกระบวนการนี้มาจำลองใช้ในโรงเรือนหรือโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ปีกจะต้องทำให้พื้นผิวของน้ำอยู่เหนือสิ่งที่จะทำให้เกิดการระเหยและสามารถนำไอน้ำที่ระเหยออกไปสู่โรงเรือนได้ จึงได้มีการนำระบบนี้มาใช้โดยจะมีวิธีการที่จะควบคุมการไหลของอากาศผ่านมายังพื้นผิวของน้ำและจะต้องควบคุมระบบทั้งหมดอย่างดีและถูกต้อง

ระบบ evaporative cooling pads (EVAP) เกิดขึ้นมาตั้งแต่ ค.ศ. 954 และยังเป็นระบบที่ธรรมดาที่สุด แต่นิยมใช้กันมากในแถบยุโรป อเมริกา และประเทศที่มีสภาพภูมิอากาศแห้งแล้ง หลักการคือที่ผนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านหนึ่งของโรงเรือนจะเป็นส่วนที่น้ำไหลผ่านแผ่นระเหยน้ำ (pad) ลงมาตามแนวยาวของแผ่น ตามปกติแล้วแผ่น pad จะผลิตจาก Cellulose แต่ปัจจุบันนี้จะทำมาจากส่วนประกอบของ cross-fluted cellulose อากาศภายนอกจะผ่านไปสู่แผ่น pad ที่ชื้นน้ำในแผ่น pad ก็จะระเหยไปโดยการดูดเอาพลังงานความร้อนรอบ ๆ แผ่นมาใช้ระเหย โครงสร้างของโรงเรือนจะมีเครื่องระบายอากาศติดอยู่บนหลังคา เมื่อเวลาที่ต้องการความเย็นก็จะเปิดเครื่องระบายอากาศนี้ แล้วความเย็นก็จะปกคลุมอากาศภายในโรงเรือนทั่วไปหมดผลที่ได้ อุณหภูมิที่พืชได้รับจะลดลงทีละน้อย

การใช้อุโมงค์ลมเป็นระบบที่ใช้กันมากในแถบเขตหนาว เพราะในแถบบริเวณนี้เมื่ออากาศที่หนาวเย็นมาก ๆ จะส่งผลกระทบต่อพืชทำให้เกิดความเสียหาย จึงนำหลักการอุโมงค์ลมมาใช้ในการแก้ปัญหาอุณหภูมิภายในโรงเรือนที่ต่ำเกินไป หลักการทำงานก็คือดูดอากาศทางด้านหลังผ่านแผงทำความร้อนที่อยู่ทางด้านหน้าของพัดลมส่งต่อไปยังท่อพลาสติกที่เจาะรู ทำให้ลมที่ผ่านเข้ามาภายในท่อมีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอก แล้วลมที่มีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอกนี้ก็จะกระจายออกไปยังช่องว่างที่เจาะเอาไว้ทำให้อากาศที่ปล่อยออกมาจากท่อพลาสติกผสมกับอากาศภายนอก ที่อยู่ภายในโรงเรือนเกิดการหมุนเวียนเป็นผลให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงขึ้น Nelson.P.V.(1991) ได้ทำการศึกษาระบบอุโมงค์ลมในเขตอากาศหนาว จึงนำมาประยุกต์ใช้โดยการแทนที่การเป่าลมร้อนเป็นลมเย็นที่ผ่านแผ่นระเหยน้ำแล้วให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศที่ร้อนของประเทศไทย

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษารูปแบบของชุดโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้

2. เพื่อพัฒนาชุดโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้เกษตรกรนำไปใช้ได้

3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์

3.1.1 ชุดโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบดั่งเดิม

3.1.2 ชุดโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบปรับปรุง

3.1.3 เครื่องวัดความชื้นในอากาศ

3.1.4 เทอร์โมมิเตอร์แบบวัดอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การวางแผนการทดลอง

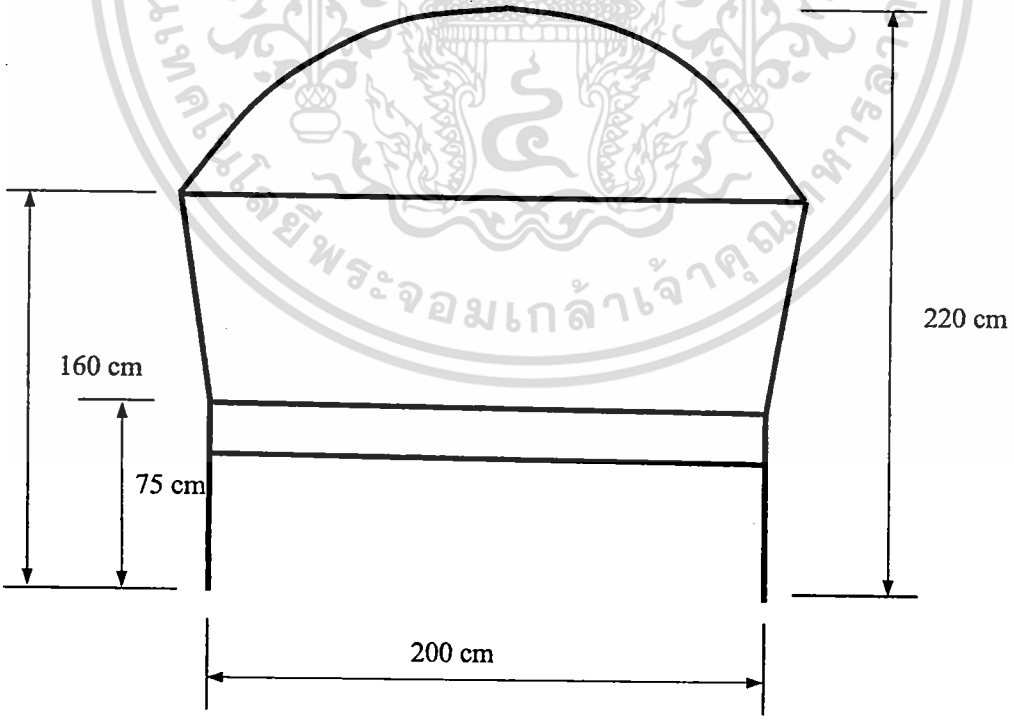
<u>การทดลองที่ 1</u> การทดสอบประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของชุดโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็ก

1. ชุดโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบดั่งเดิม

โรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบดั่งเดิมมีขนาด 2.0 x 7.2 เมตร หลังคาเป็นรูปโค้งมุงด้วยพลาสติกใสชนิด Low-density polyethylene (LDPE) ด้านข้างทั้ง 4 ด้าน ปิดด้วยมุ้งไนลอน ขนาด 32 ช่องต่อตารางนิ้ว ระบบที่ใช้สำหรับการปลูกพืช ออกแบบให้ใช้ระบบปลูกแบบ Deep flow technique (DFT) มีจำนวน 1,200 ช่องปลูก ดังแสดงในภาพที่ 1

2. ชุดโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบปรับปรุง

ออกแบบโรงเรือนให้มีขนาด 2.0 x 7.2 เมตร โดยโครงสร้างทั้งหมดทำด้วยเหล็ก มีลักษณะเป็นหลังคาโค้ง 2 ระดับ และมีช่องเปิดด้านบนเพื่อการระบายอากาศ ขาตั้งสามารถปรับระดับได้ หลังคาด้านบนมุงด้วยพลาสติกใสชนิด LDPE ช่องเปิดระหว่างหลังคาทั้งสองชั้นปิดด้วยมุ้งไนลอน ด้านข้างทั้ง 4 ด้าน ปิดด้วยมุ้งไนลอน ขนาด 32 ช่องต่อตารางนิ้ว ระบบที่ใช้สำหรับการปลูกพืช ออกแบบให้ใช้ระบบปลูกแบบ DFT มีจำนวน 1,200 ช่องปลูก ดังแสดงในภาพที่ 2 องค์ประกอบของโรงเรือนประกอบด้วย มุ้งกันแมลง ขนาด 32 ช่องต่อตารางนิ้ว พลาสติกใสคลุมโรงเรือน ระบบเพื่อการปลูกพืช ได้แก่ โฟมรางปลูก



ภาพที่ 1 ลักษณะของโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบดั่งเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทดสอบประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของชุดโรงเรือน ทำโดยการวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน 2 ระดับความสูงเหนือหลุมปลูกพืช 25 และ 45 เซนติเมตร วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์นอกโรงเรือนที่ระดับความสูง 100 เซนติเมตร เหนือระดับพื้น

การทดลองที่ 2 วิธีการลดอุณหภูมิภายในของโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบปรับปรุง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) โดยให้ระบบที่ใช้เพื่อลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนมี 4 แบบ จำนวน 7 ซ้ำหรือช่วงเวลา ๆ ละ 1 สัปดาห์ ดังนี้

T1 = โรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบปรับปรุงไม่มีระบบลดอุณหภูมิ

T2 = โรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบปรับปรุงที่ติดตั้งระบบอุโมงค์ลมระดับความสูง 60 เซนติเมตรเหนือหลุมปลูกพืช

T3 = โรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบปรับปรุงที่ติดตั้งระบบอุโมงค์ลมระดับความสูง 30 เซนติเมตรเหนือหลุมปลูกพืช

T4 = โรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบปรับปรุงที่ติดตั้งระบบ Evaporative cooling pad

การติดตั้งระบบลดอุณหภูมิระบบอุโมงค์ลม และระบบ Evaporative cooling pad

1. ทำท่ออุโมงค์ลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว
2. เจาะรูท่ออุโมงค์ลมห่างกัน 60 เซนติเมตร
3. ติดตั้งพัดลมโดยมีท่อพลาสติกที่เจาะรูแล้วต่อเข้ากับด้านหน้าพัดลม
4. ติดตั้งพัดลมดูดอากาศออกเพื่อให้ระบบมีการหมุนเวียน
5. ทำการติดตั้งอุโมงค์ลมในระดับบนของโรงเรือนเหนือหลุมปลูกพืช 60 เซนติเมตร และระดับล่างของโรงเรือนเหนือหลุมปลูกพืช 30 เซนติเมตร
6. ทำการติดตั้ง Evaporative cooling pad ขนาด 50 x 50 เซนติเมตร หน้าพัดลมขนาด 1/3 แรงม้า ที่ความเร็วรอบ 1,400 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

83658

3.3 การบันทึกผลการทดลอง

บันทึกข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนเพาะปลูกขนาดเล็ก และภายนอกโรงเรือน

3.4 การวิเคราะห์ผลข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาทดสอบค่าพารามิเตอร์แบบ T-Test วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยโปรแกรม SPSS

4. ผลการทดลอง

1. ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของชุดโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็ก

จากการทดสอบโรงเรือนทั้งสองแบบ คือ โรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบดั่งเดิม และโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบปรับปรุง พบว่า อุณหภูมิภายในของโรงเรือนทั้งสองแบบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยที่โรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบดั่งเดิมมีอุณหภูมิสูงกว่าแบบปรับปรุง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 41.63 และ 38.70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนมีค่าเฉลี่ย 34.92 องศาเซลเซียส และเมื่อเปรียบเทียบเป็นความต่างของอุณหภูมิภายในกับภายนอกโรงเรือน ก็พบว่าโรงเรือนแบบดั่งเดิมมีค่าสูงกว่าแบบปรับปรุง โดยมีค่าเฉลี่ยของความต่างเท่ากับ 6.71 และ 3.80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เมื่อพิจารณาช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิสูงของวัน คือ ระหว่างเวลา 12.00-15.00 น. พบว่า อุณหภูมิภายในของโรงเรือน และความแตกต่างของอุณหภูมิภายในกับภายนอกโรงเรือนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยอุณหภูมิภายในโรงเรือนแบบดั่งเดิมมีค่าสูงกว่าเฉลี่ยเท่ากับ 44.44 องศาเซลเซียส และแบบปรับปรุงต่ำกว่าเฉลี่ยเท่ากับ 40.56 องศาเซลเซียส ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในกับภายนอกโรงเรือน ก็พบว่าโรงเรือนแบบดั่งเดิมมีค่าสูงกว่าแบบปรับปรุง โดยมีค่าเฉลี่ยของความแตกต่างเท่ากับ 8.90 และ 5.01 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สำหรับอุณหภูมิสูงสุดของแต่ละแบบพบว่าแบบดั่งเดิมมีอุณหภูมิสูงกว่าด้านนอกโรงเรือนเท่ากับ 9.3 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 14.00 น. และแบบปรับปรุงเท่ากับ 5.4 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 14.00 น. เช่นเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 6

ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนทั้งสองแบบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้งตลอดช่วงเวลาและในช่วงเวลาที่มีค่าอุณหภูมิสูงของวัน โดยมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนแบบดั่งเดิมเท่ากับร้อยละ 56.03 แบบปรับปรุงเท่ากับร้อยละ 57.84 และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 58.07 ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาความต่างระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในกับภายนอกโรงเรือน ก็ไม่มีความแตกต่าง

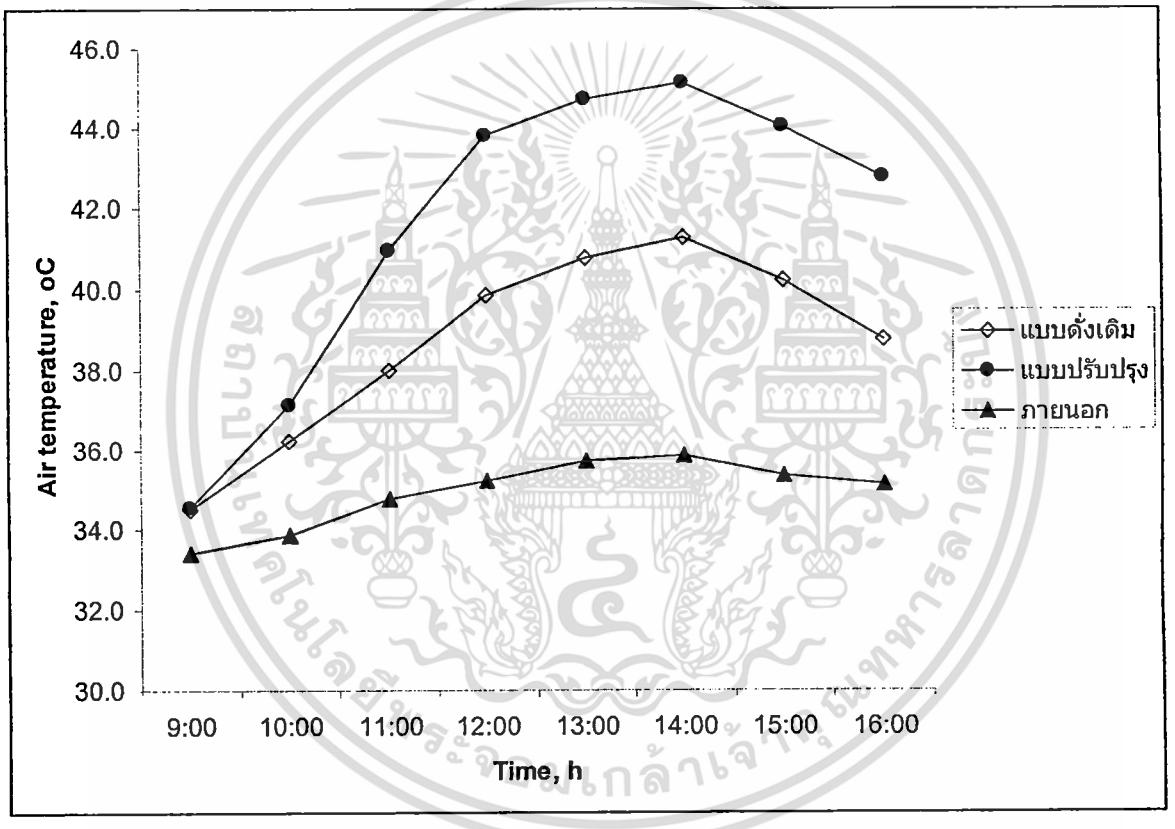
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันทางสถิติ (P>0.05) โดยโรงเรือนแบบดั่งเดิมมีความต่างของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่ำกว่าภายนอกร้อยละ 2.04 และแบบปรับปรุงเฉลี่ยต่ำกว่าร้อยละ 0.21 ดังแสดงในตารางที่ 2 และภาพที่ 7

ตารางที่ 1 แสดงความต่างของอุณหภูมิอากาศภายในกับภายนอกโรงเรือน (องศาเซลเซียส)

เวลา	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	เฉลี่ย
แบบดั่งเดิม	1.13	3.28	6.18	8.59	9.03	9.26	8.68	7.61	6.72±0.31[a]
แบบปรับปรุง	1.06	2.35	3.23	4.66	5.06	5.42	4.86	3.64	3.79±0.30[b]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย (Mean) ใน Column เดียวกัน ตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ *P*=0.05



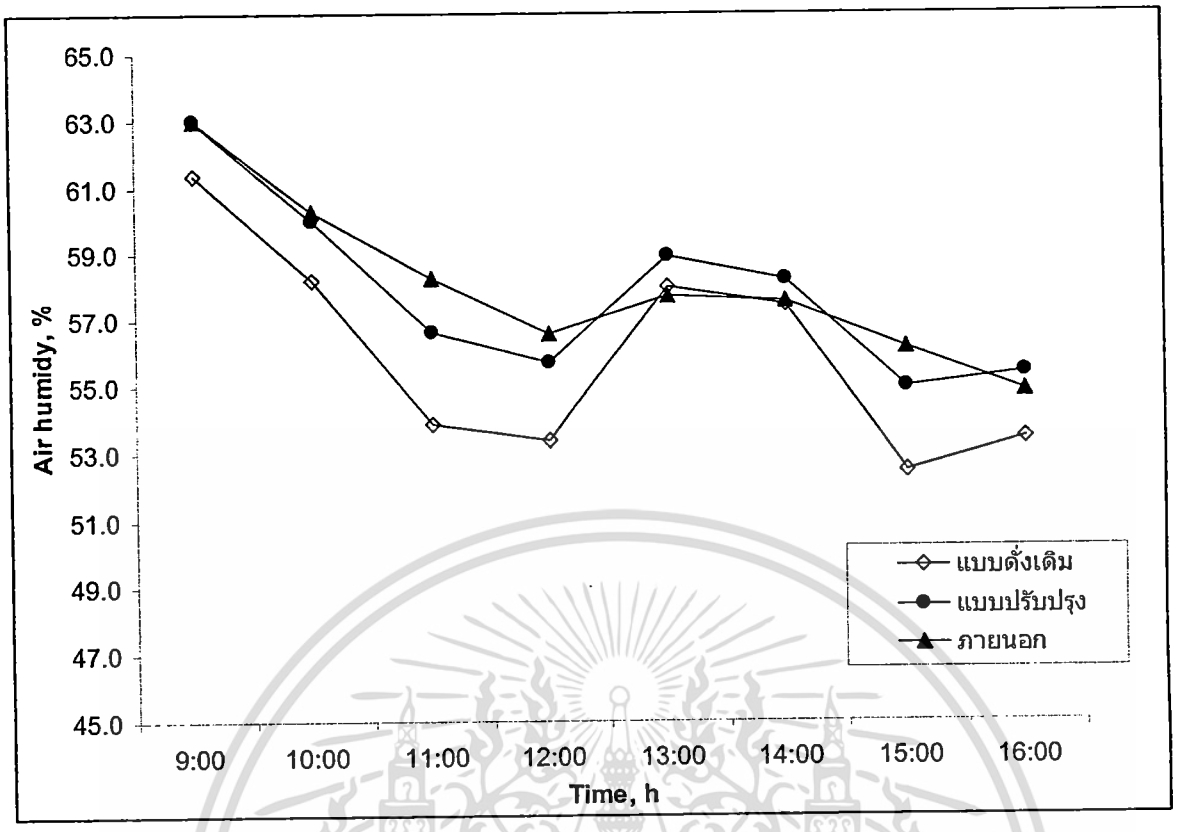
ภาพที่ 6 อุณหภูมิเฉลี่ยตามช่วงเวลาภายในและภายนอกโรงเรือน

ตารางที่ 2 แสดงความต่างของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในกับภายนอกโรงเรือน (ร้อยละ)

เวลา	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	เฉลี่ย
แบบดั่งเดิม	-1.63	-2.06	-4.40	-3.23	0.29	-0.14	-3.69	-1.46	-2.04±0.81[a]
แบบปรับปรุง	-1.34	-1.77	-4.11	-2.94	0.57	0.14	-3.40	-1.17	-0.21±0.95[a]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย (Mean) ใน Column เดียวกัน ตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ *P*=0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



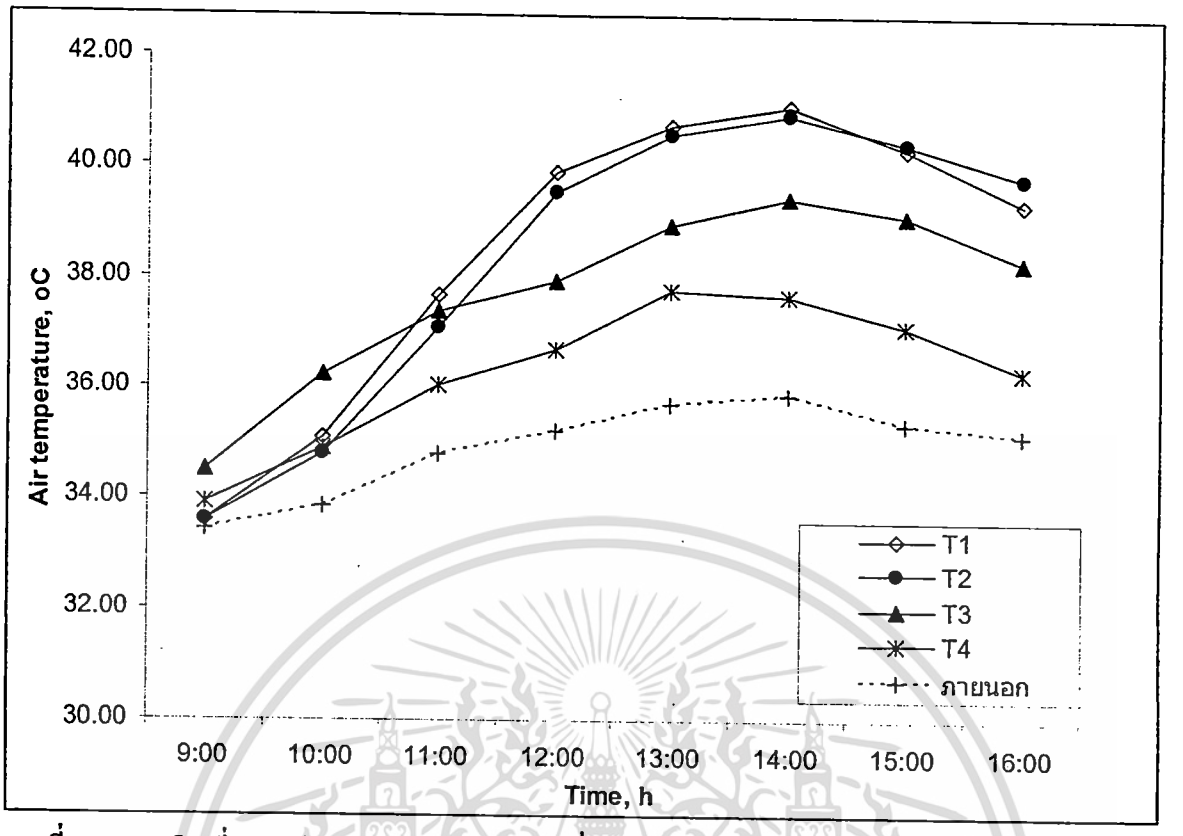
ภาพที่ 7 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ยตามช่วงเวลาภายในและภายนอกโรงเรือน

2. วิธีการลดอุณหภูมิภายในของโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบปรับปรุง

จากการทดสอบโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบปรับปรุง โดยการติดตั้งระบบลดอุณหภูมิ 3 แบบ และมีโรงเรือนที่ไม่มีการติดตั้งระบบลดอุณหภูมิเป็นตัวเปรียบเทียบ พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบปรับปรุงที่ติดตั้งระบบ Evaporative cooling pad (T4) สามารถลดอุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนได้มากที่สุดมีอุณหภูมิเฉลี่ย 36.29 องศาเซลเซียส และต่างกับอุณหภูมิภายนอกโรงเรือน 1.37 องศาเซลเซียส รองลงมาเป็นโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบปรับปรุงที่ติดตั้งระบบอุโมงค์ลมระดับความสูง 30 เซนติเมตรเหนือหลุมปลูกพืช (T3) แบบปรับปรุงที่ติดตั้งระบบอุโมงค์ลมระดับความสูง 60 เซนติเมตรเหนือหลุมปลูกพืช (T2) และแบบปรับปรุงไม่มีระบบลดอุณหภูมิ (T1) โดยอุณหภูมิเฉลี่ย 37.85, 38.33 และ 38.46 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และความต่างกับอุณหภูมิภายนอกโรงเรือน 2.93, 3.41, และ 3.54 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิสูงของวัน คือ ระหว่างเวลา 12.00-15.00 น. พบว่า อุณหภูมิภายในของโรงเรือน และความต่างของอุณหภูมิภายในกับภายนอกโรงเรือนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยอุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนแบบ T1 สูงที่สุด รองลงมาเป็น T2, T3 และ T4 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 40.50, 40.35, 38.84 และ 37.30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



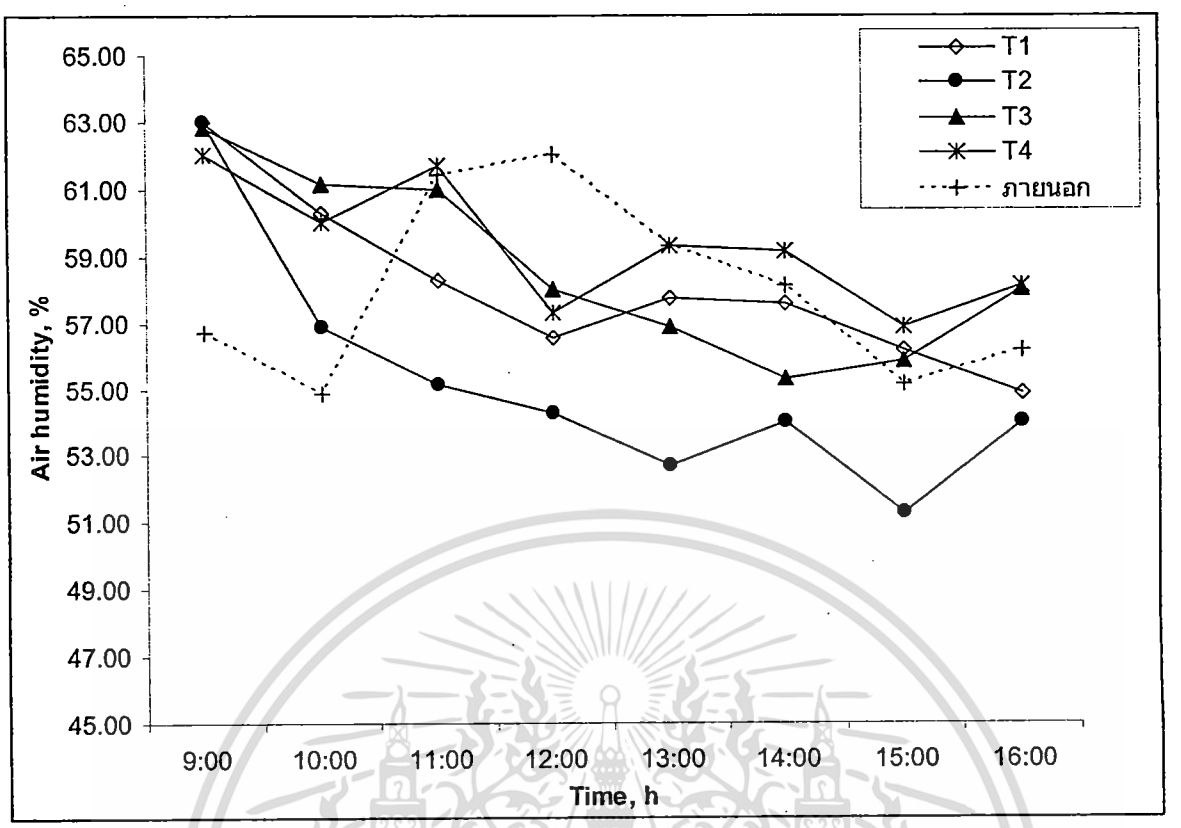
ภาพที่ 8 อุณหภูมิเฉลี่ยตามช่วงเวลาภายในโรงเรือนที่มีระบบลดอุณหภูมิแต่ละแบบและภายนอกโรงเรือน

ตารางที่ 4 แสดงความต่างของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในกับภายนอกโรงเรือน ของการทดลองที่ 2 (ร้อยละ)

เวลา	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	เฉลี่ย
แบบ T1	6.29	5.43	-3.14	-5.43	-1.57	-0.57	1.00	-1.29	0.09[a]
แบบ T2	6.29	2.00	-6.29	-7.71	-6.57	-4.14	-3.86	-2.14	-2.80[a]
แบบ T3	2.14	0.86	-0.29	-3.71	-3.29	-3.71	-3.86	-3.43	-1.91[a]
แบบ T4	3.14	0.14	0.57	-2.00	-0.57	3.71	0.29	-0.71	0.57[a]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย (Mean) ใน Column เดียวกัน ตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ P=0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 9 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตามช่วงเวลาภายในโรงเรือนที่มีระบบลดอุณหภูมิแต่ละแบบและภายนอกโรงเรือน

5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดสอบโรงเรือนทั้งสองแบบ คือ โรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบดั่งเดิม และโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบปรับปรุง มีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกโรงเรือนที่ต่างกัน โดยโรงเรือนแบบดั่งเดิมมีผลต่างของอุณหภูมิสูงกว่าแบบปรับปรุงมาก โดยมีอุณหภูมิของอากาศภายในสูงสุดที่ 42.19 °C (เฉลี่ย 41.6 °C) ความต่างของอุณหภูมิมากที่สุดถึง 8.01 °C (เฉลี่ย 6.7 °C) ในขณะที่โรงเรือนแบบปรับปรุงมีอุณหภูมิสูงที่สุดที่ 39.39 °C (เฉลี่ย 38.7 °C) ทำให้เกิดความต่างของอุณหภูมิ 5.21 °C (เฉลี่ย 3.8) องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างของอุณหภูมิของโรงเรือนทั้งสองแบบ โรงเรือนแบบปรับปรุงสามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนได้มากกว่าแบบดั่งเดิม โดยที่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีค่าลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Arbel et al. (1999) ทั้งนี้หากภายในโรงเรือนมีอุณหภูมิสูงเกินไปพืชที่ปลูกจะมีการเจริญเติบโตลดลง และการดูดใช้น้ำและธาตุอาหารจะลดลงด้วย ทั้งนี้อุณหภูมิที่เพิ่มสูงในระดับนี้จะส่งผลต่ออุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในระบบปลูกพืช ซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของรากพืชอีกทางหนึ่งด้วย (อิทธิสุนทร, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดอุณหภูมิของโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กที่ปรับปรุงแล้วทั้งสี่ระบบ พบว่าโรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินขนาดเล็กแบบปรับปรุงที่ติดตั้งระบบ Evaporative cooling pad มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการติดตั้งระบบอุโมงค์ลม ทั้งที่เป็นอุณหภูมิเฉลี่ย และผลต่างเมื่อเทียบกับอุณหภูมิภายนอกโรงเรือน โดยระบบ Evaporative cooling pad มีอุณหภูมิเฉลี่ย 36.29 °C ระบบอุโมงค์ลมที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตรเหนือหลุมปลูกพืชมีอุณหภูมิเฉลี่ย 37.85 °C ระบบอุโมงค์ลมที่ระดับความสูง 60 เซนติเมตรเหนือหลุมปลูกพืชมีอุณหภูมิเฉลี่ย 38.33 °C ส่วนโรงเรือนที่ไม่มีระบบลดอุณหภูมิมีอุณหภูมิเฉลี่ย 38.46 °C ซึ่งเมื่อเทียบกับอุณหภูมิของอากาศภายนอกเฉลี่ย 34.92 °C จะได้ความต่างของอุณหภูมิเท่ากับ 1.37, 2.93, 3.41 และ 3.54 °C ตามลำดับ ในช่วงเวลาที่มีอากาศร้อนที่สุดของวัน (12.00-15.00 น.) อุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของวันประมาณ 1.01-2.04 °C โดยสูงถึง 40.05 °C หากไม่มีการติดตั้งระบบลดอุณหภูมิ ในโรงเรือนที่ติดตั้งระบบ Evaporative cooling pad การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้อยที่สุด (1.01 °C) การติดตั้งระบบ Evaporative cooling pad จะมีความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองระดับ และภายนอกโรงเรือนน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ Arbel et al. (2003) และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในโรงเรือนมีค่าแปรผกผันกับอุณหภูมิของโรงเรือน คือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Arbel et al. (1999)

การลดอุณหภูมิด้วยระบบ Evaporative cooling pad เป็นระบบที่สามารถลดอุณหภูมิได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก หากมีการศึกษาแก้ไขและปรับปรุงต่อไปคาดว่าจะเป็นประโยชน์อย่างมากในด้านเศรษฐกิจ เนื่องจากในปัจจุบันคนไทยได้ตื่นตัวในด้านการบริโภคพืชผักที่ปลอดจากสารพิษและสารกำจัดแมลง อีกทั้งระบบนี้เหมาะกับสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย ดังนั้นการทดลองนี้จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในประเทศไทย

6. เอกสารอ้างอิง

ดิเรก ทองอร่าม. 2548. การวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตร การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน รุ่นที่ 6 วันที่ 16-18 กุมภาพันธ์ 2548 ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2538. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 146 หน้า.

อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2548. การปลูกพืชในระบบ NFT (Nutrient film technique). เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตร การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน รุ่นที่ 6 วันที่ 16-18 กุมภาพันธ์ 2548 ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Growelectric Handbook. 1979. Ventilation for greenhouse. The electricity Council. Warwickshire. 17-21 p.

Aldrich R. A. and Bartok J. W. 1994 Greenhouse engineering ; Greenhouse series. Northeast regional agricultural engineering service cooperative extension. New York. 212 p.

Arbel A., Barak M. and Shkyar A. 2003. Combination of forced ventilation and fogging systems for cooling greenhouses. Biosystems Engineering. 84,45-55.

Arbel A., Yekutieli O. and Barak M. 1999. Performance of fogging systems for cooling greenhouses. Agricultural Engineering research. 72,129-136.

Kittas C., Bartzanas T. and Jaffrin A. 2003. Temperature gradients in a partially shaded large greenhouse equipped with evaporative cooling pads. Biosystems Engineering. 85,87-94.

Mastalerz J. W. 1977. The greenhouse environment. John Wiley & Sons. New York. 629 p.

Nelson.K.S. 1980. Greenhouse management for flower and Plant Production. The Interstate & Publishers, Inc. 63-64 p.

Nelson.P.V. 1981. Greenhouse operation and Management. A Prentice-hall company, Reston, Virginia,No. 2.

Nelson P. V. 1991. Greenhouse operation and management. Prentice Hall. New Jersey. 611 p.

Virhammer K.1982 . Plastic Greenhouse for warm climates. Food and Agriculture Organization of the united Nation, Rome. 8-10 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้