



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
ปริญญา

.....
.....
พืชสวน
สาขา

.....
.....
พืชสวน
ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาการปลูกผักกาดหอมโดยไม่ใช้ดินแบบแอโรโพนิกส์

Development of Soilless – Grown Lettuce in Aeroponics

นามผู้วิจัย นายอุดมพงษ์ ดวงประยงค์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....
(..... ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
(..... ผู้ช่วยศาสตราจารย์ลพ ภาณุตานนท์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
(..... รองศาสตราจารย์คนพล จูทามณี, D.Agr.)

หัวหน้าภาควิชา

.....
(..... รองศาสตราจารย์กฤษณา กฤษณพุกต์, D.Agr.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....
(..... รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ **เดือน** **พ.ศ.**

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาการปลูกผักกาดหอมโดยไม่ใช้ดินแบบแอโรโพนิกส์

Development of Soilless - Grown Lettuce in Aeroponics

โดย

นายอุดมพงษ์ ตวงประยงค์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

พ.ศ. 2552

อุดมพงษ์ ดวงประยงค์ 2552: การพัฒนาการปลูกผักกาดหอมโดยไม่ใช้ดินแบบเอโรโพนิกส์
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาพืชสวน ภาควิชาพืชสวน
ประธานกรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, Ph.D. 109 หน้า

ศึกษาการพัฒนาการปลูกผักกาดหอมโดยไม่ใช้ดินแบบเอโรโพนิกส์ สร้างโต๊ะปลูก $1 \times 2 \times 1$ เมตร ด้วยเหล็กฉาก มุงด้านข้างทั้ง 4 ด้านและด้านล่างด้วยพลาสติกขาว-ดำ ขนาด 160 ไมครอน ปิดด้านบนด้วยแผ่น โฟมหนา 1 นิ้ว ที่มีรูสำหรับสอดต้นกล้า 40 ต้น แบ่งออกเป็น 3 การทดลองดังนี้ การทดลองที่ 1 ศึกษาการ เจริญเติบโตของผักกาดหอมและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในตู้ปลูกเอโรโพนิกส์ที่ไม่พ่นสารละลาย- ไม่ปลูกพืช พ่นสารละลาย-ไม่ปลูกพืช และพ่นสารละลาย-ปลูกพืช พบว่าตู้ที่พ่นสารละลายทั้งที่ปลูกและไม่ ปลูกพืชมีอุณหภูมิภายในตู้ปลูกใกล้เคียงกันและต่ำกว่าภายนอกตู้ปลูกและตู้ที่ไม่พ่นสารละลายตามลำดับ ต้น กล้าผักกาดหอมที่เพาะอยู่ในระบบ NFT นาน 2 และ 3 สัปดาห์ เมื่อย้ายปลูกในตู้ปลูกเอโรโพนิกส์ต่ออีกอายุละ 1 สัปดาห์ มีการเจริญเติบโตที่ต่ำกว่าที่ปลูกใน NFT มาตลอดอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ เมื่อย้ายต้นกล้ามีอายุมากขึ้น การทดลองที่ 2 ศึกษาการเจริญเติบโตของผักกาดหอมและการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิภายในตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายเป็นจังหวะที่แตกต่างกัน คือ พ่นตลอดเวลา พ่น 1 นาที หยุด 6 นาที และพ่น 1 นาที หยุด 10 นาที พบว่าอุณหภูมิภายในตู้ปลูกทั้งสามจังหวะมีค่าใกล้เคียงกันและต่ำกว่าอากาศ ภายนอก เฉพาะผักที่มีอายุ 2 สัปดาห์หลังเพาะเมล็ดที่ปลูกในตู้ปลูกเอโรโพนิกส์ที่มีการพ่นสารละลาย ตลอดเวลานาน 1 สัปดาห์มีการเจริญเติบโตดีกว่าการปลูกในตู้ปลูกที่พ่นเป็นจังหวะอย่างมีนัยสำคัญ การทดลอง ที่ 3 ศึกษาการเจริญเติบโตของผักกาดหอมและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในตู้ปลูกที่ไม่มีช่องระบายอากาศ- พ่นสารละลายตลอดเวลา ตู้ปลูกที่มีช่องระบายอากาศ-พ่นสารละลายตลอดเวลา และตู้ปลูกที่มีช่องระบาย อากาศ-พ่นสารละลาย 1 นาที หยุด 6 นาที พบว่าอุณหภูมิภายในตู้ปลูกที่มีช่องระบายอากาศทั้งสองจังหวะการ พ่นมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งต่ำกว่าของตู้ปลูกที่ไม่มีการระบายอากาศและอากาศภายนอก 3.5 และ 4°C ตามลำดับ การเจริญเติบโตของผักกาดหอมในสัปดาห์แรกหลังย้ายปลูกไม่ต่างกันทางสถิติ แต่หลังจากนั้นผักที่ปลูกในตู้ ปลูกที่มีช่องระบายอากาศทั้งสองจังหวะการพ่นสารละลายมีการเจริญเติบโตดีกว่าผักที่ปลูกในตู้ที่ไม่มีช่อง ระบายอากาศอย่างมีนัยสำคัญ

Udompong Thungprayoung 2009: Development of Soilless - Grown Lettuce in Aeroponics.

Master of Science (Agriculture), Major Field: Horticulture, Department of Horticulture.

Thesis Advisor: Assistant Professor Thammasak Thongket, Ph.D. 109 pages.

Three experiments were conducted to study the development of growing lettuce in aeroponics culture. Three of $1 \times 2 \times 0.8 \text{ m}^3$ aeroponic tables were built from metal bars lining all walls and bottom side with 160μ black and white plastic sheet. The top side was covered with the styrofoam sheets that were perforated 40 holes of $2.5 \times 2.5 \text{ cm}$ dimension for inserting lettuce seedlings. In the experiment I, the air temperature change was monitored inside the dark chambers of there aeroponic tables that were subjected to different growing condition regimes; no planting with no nutrient spray, no planting with nutrient spraying and planting with nutrient spraying. Growth of lettuce seedlings transferred from a NFT table at different seedling stages to an aeroponic table were compared to those was continuously grown in NFT. It was found that the air temperature inside the two aeroponic tables with nutrient spraying were lowest and not different to each other followed by that of ambient air and the air inside the table with no planting and no nutrient spraying, respectively. Growth of lettuce seedling transferred from a NFT table to an aeroponic tables at 2nd and 3rd weeks old after germinating were significantly lower than those grown continuously in a NFT table. However, non significant difference in growth was found when older seedling of 4 and 5 weeks old were transferred. In experiment II, seedling growth and temperature change inside the aeroponics tables with three nutrient spraying intervals; continuous, 1 min on with 6 min off, and 1 min on with 10 min off were studied. It was found that the air temperature inside all chamber were not different to each others and lower than ambient air temperature outside. Growth of lettuce seedlings grown in the two aeroponic tables with interval nutrient spraying were significantly lower than that of grown in the table with continuous spraying only when two-week old seedling was transferred. In the experiment III, seedling growth and temperature change inside the aeroponic tables with no ventilation, with ventilation and continuous spray, and with ventilation and 1 min on and 6 min off spray interval were studied. It was found that air temperature inside the two ventilated tables were lower than the air inside non-ventilated table and ambient air for 3.5 and 4.0°C , respectively. The growth of lettuce at 2,3 and 4 weeks after transplanting into two ventilated tables were significant greater than those grown in the non – ventilated table.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาของคณาจารย์ท่านต่างๆ ที่ข้าพเจ้าจะได้ขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ ได้แก่ ผศ.ดร.ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ ประธานกรรมการที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา แนะนำ ตั้งแต่เริ่มต้นวางแผนการทดลองจนจนสละเวลาในการตรวจทานและแก้ไขสำนวน ข้อผิดพลาดในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มาโดยตลอด ผศ.ดร.ทพ ภาณุตานนท์ กรรมการวิชาเอก รศ.ดร.คณพล จุฑามณี กรรมการวิชาการรอง อ.ดร.ปญญูญา ตระกูลยิ่งเจริญ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่กรุณาสละเวลาตรวจทานแก้ไข แนะนำ และปรับปรุงข้อผิดพลาดส่วนต่างๆ ให้สมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ อ.ธนา ชีพสมทรง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสนที่กรุณาประดิษฐ์เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้ข้าพเจ้าได้ใช้ในงานทดลอง

ขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่กรุณาเอื้อเฟื้อทุนสำหรับการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาพืชสวน เจ้าหน้าที่ทุกท่านรวมไปถึงเพื่อนพ้องน้องพี่ทั้งหลายตั้งแต่เพื่อนที่ช่วยเหลือในการสมัครเรียน ให้ความรู้ คำแนะนำ ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้แก่ข้าพเจ้าอย่างต่อเนื่องซึ่งมีจากกล่าวนามได้หมดคนในที่นี้แต่นามของท่านเหล่านั้นยังจารึกในใจของข้าพเจ้าเสมอ

ขอกราบพระคุณคุณพ่อสุพรชัย และคุณแม่อารีรัตน์ ดวงประยงค์ พี่ชายและน้องชายของข้าพเจ้าที่เป็นแรงใจผลักดันให้ข้าพเจ้าต่อสู้กับอุปสรรครวมทั้งอบรมสั่งสอนข้าพเจ้าเสมอมา

ประโยชน์อันพึงเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบบรรณาการแด่ผู้มีพระคุณทั้งหลายข้างต้น และครูบาอาจารย์ของข้าพเจ้าตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน

อุดมพงษ์ ดวงประยงค์

พฤษภาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	15
ผล	36
วิจารณ์	93
สรุป	100
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	102
ภาคผนวก	106

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิ่มตัว (saturated value) ของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ(dissolved oxygen) และอุณหภูมิของน้ำ	10
2	ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้า (kW/hr) ที่เกิดจากการพ่นสารละลายธาตุอาหาร จิ้งหะต่าง ๆ กันของปั้มน้ำที่ใช้กำลังไฟฟ้า 0.1 kW/hr อัตราส่งน้ำ 90 ลิตร/ชม.	27
3	น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบ ของผักกาดหอมคอส ที่ย้ายต้นกล้าอายุ 2 สัปดาห์หลังเพาะกล้าใน NFT มาปลูกในแอโรโพนิกส์ อีก 1 สัปดาห์เปรียบเทียบกับที่ปลูกใน NFT ทั้ง 3 สัปดาห์	51
4	น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบ ของผักกาดหอมคอส ที่ย้ายต้นกล้าอายุ 2 สัปดาห์หลังเพาะกล้าใน NFT มาปลูกในแอโรโพนิกส์ อีก 1 สัปดาห์เปรียบเทียบกับที่ปลูกใน NFT ทั้ง 4 สัปดาห์	51
5	น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบ ของผักกาดหอมคอส ที่ย้ายต้นกล้าอายุ 2 สัปดาห์หลังเพาะกล้าใน NFT มาปลูกในแอโรโพนิกส์ อีก 1 สัปดาห์เปรียบเทียบกับที่ปลูกใน NFT ทั้ง 5 สัปดาห์	53
6	น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบ ของผักกาดหอมคอส ที่ย้ายต้นกล้าอายุ 2 สัปดาห์หลังเพาะกล้าใน NFT มาปลูกในแอโรโพนิกส์ อีก 1 สัปดาห์เปรียบเทียบกับที่ปลูกใน NFT ทั้ง 6 สัปดาห์	53
7	น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบของผักกาดหอมคอส หลังย้ายปลูกกล้าผักอายุ 1 สัปดาห์มาปลูกในตู้ปลูกแอโรโพนิกส์ ที่มีจิ้งหะพ่นสารละลายในจิ้งหะต่างกันเป็นเวลานานอีก 1 สัปดาห์	69
8	น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบของผักกาดหอมคอส หลังย้ายปลูกกล้าผักอายุ 2 สัปดาห์มาปลูกในตู้ปลูกแอโรโพนิกส์ ที่มีจิ้งหะพ่นสารละลายในจิ้งหะต่างกันเป็นเวลานานอีก 1 สัปดาห์	69
9	น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบของผักกาดหอมคอส หลังย้ายปลูกกล้าผักอายุ 3 สัปดาห์มาปลูกในตู้ปลูกแอโรโพนิกส์ ที่มีจิ้งหะพ่นสารละลายในจิ้งหะต่างกันเป็นเวลานานอีก 1 สัปดาห์	71

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
10	น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบของผักกาดหอมคอส หลังย้ายปลูกกล้าผักอายุ 4 สัปดาห์มาปลูกในตู้ปลูกแอโรโพนิกส์ ที่มีจังหวะพ่นสารละลายในจังหวะต่างกันเป็นเวลานานอีก 1 สัปดาห์	71
11	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอก ภายในตู้ปลูกที่มีการระบายอากาศและ จังหวะการพ่นสารละลายต่างกัน ความแตกต่างระหว่างภายนอกและ ภายในตู้ปลูก (°C) และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับ อากาศภายนอก (%) ระหว่างเวลา 10.00 น ถึง 14.00 น ในสัปดาห์ที่ 1	75
12	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอก ภายในตู้ปลูกที่มีการระบายอากาศและ จังหวะการพ่นสารละลายต่างกัน ความแตกต่างระหว่างภายนอกและ ภายในตู้ปลูก (°C) และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับ อากาศภายนอก (%) ระหว่างเวลา 10.00 น ถึง 14.00 น ในสัปดาห์ที่ 2	75
13	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอก ภายในตู้ปลูกที่มีการระบายอากาศและ จังหวะการพ่นสารละลายต่างกัน ความแตกต่างระหว่างภายนอกและ ภายในตู้ปลูก (°C) และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับ อากาศภายนอก (%) ระหว่างเวลา 10.00 น ถึง 14.00 น ในสัปดาห์ที่ 3	79
14	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอก ภายในตู้ปลูกที่มีการระบายอากาศและ จังหวะการพ่นสารละลายต่างกัน ความแตกต่างระหว่างภายนอกและ ภายในตู้ปลูก (°C) และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับ อากาศภายนอก (%) ระหว่างเวลา 10.00 น ถึง 14.00 น ในสัปดาห์ที่ 4	79
15	น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบของผักกาดหอมคอส ที่อายุ 1 สัปดาห์หลังย้ายปลูกในตู้ปลูกแอโรโพนิกส์ที่มีการระบายอากาศ และจังหวะการพ่นสารละลายที่แตกต่างกัน	88
16	น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบของผักกาดหอมคอส ที่อายุ 2 สัปดาห์หลังย้ายปลูกในตู้ปลูกแอโรโพนิกส์ที่มีการระบายอากาศ และจังหวะการพ่นสารละลายที่แตกต่างกัน	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบของผักกาดหอมคอสมอส ที่อายุ 1 สัปดาห์หลังย้ายปลูกในตู้ปลูกแอโรโพนิกส์ที่มีการระบายอากาศ และจังหวะการพ่นสารละลายที่แตกต่างกัน	90
18	น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบของผักกาดหอมคอสมอส ที่อายุ 1 สัปดาห์หลังย้ายปลูกในตู้ปลูกแอโรโพนิกส์ที่มีการระบายอากาศ และจังหวะการพ่นสารละลายที่แตกต่างกัน	90
19	ปริมาณการใช้น้ำ (มล./วัน) ของตู้ปลูกแบบปิดที่พ่นสารละลายธาตุอาหาร ตลอดเวลาตู้ปลูกที่มีช่องเปิดระบายที่พ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลา ตู้ปลูกที่มีช่องเปิดระบายที่พ่นสารละลายธาตุอาหาร 1 นาทีหยุด 6 นาที	92
 ตารางผนวกที่		
1	การเจริญเติบโตเริ่มต้นของผักกาดหอมที่สุ่มจากตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFTของการทดลองที่ 1	107
2	การเจริญเติบโตเริ่มต้นของผักกาดหอมที่สุ่มจากตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFTของการทดลองที่ 2	108
3	การเจริญเติบโตเริ่มต้นของผักกาดหอมที่สุ่มจากตำแหน่งต่างๆ บนรางปลูก NFTของการทดลองที่ 3	109

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ความสัมพันธ์ของค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารกับปริมาณของผลผลิต	13
2	แบบแสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ในการทดลอง	17
3	ตู้ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบแอโรโพนิคส์	17
4	โต๊ะปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ NFT	19
5	โรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม	19
6	เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิอัตโนมัติ (Data logger) รุ่น HOBO Pro Series	23
7	เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน	23
8	เครื่องเทียบอุณหภูมิหือ Hart Scientific รุ่น A 42610 Model 9103 ของบริษัท A Fluke company ประเทศสหรัฐอเมริกา	23
9	การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้า (kW/hr) ของจังหวัด การปนสารละลายที่ต่างกันเพื่อคัดเลือกทริทเมนต์ในการทดลอง	26
10	แบบแสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ แบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศในการทดลอง	32
11	ตู้ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเทคนิคแอโรโพนิคส์แบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศ	32
12	อุณหภูมิเฉลี่ยในเวลากลางวันของอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ ที่ไม่ปนสารละลาย-ไม่ปลูกพืช พนสารละลาย-ไม่ปลูกพืช และปนสารละลาย-ปลูกพืชในสัปดาห์ที่ 1	38
13	อุณหภูมิเฉลี่ยในเวลากลางวันของอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ ที่ไม่ปนสารละลาย-ไม่ปลูกพืช พนสารละลาย-ไม่ปลูกพืช และปนสารละลาย-ปลูกพืชในสัปดาห์ที่ 2	38

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
14	อุณหภูมิเฉลี่ยในเวลากลางวันของอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกเอโรโพนิกส์ ที่ไม่พ่นสารละลาย-ไม่ปลูกพืช พ่นสารละลาย-ไม่ปลูกพืช และพ่นสารละลาย-ปลูกพืชในสัปดาห์ที่ 3	41
15	อุณหภูมิเฉลี่ยในเวลากลางวันของอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกเอโรโพนิกส์ ที่ไม่พ่นสารละลาย-ไม่ปลูกพืช พ่นสารละลาย-ไม่ปลูกพืช และพ่นสารละลาย-ปลูกพืชในสัปดาห์ที่ 4	41
16	อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกที่ ไม่พ่นสารละลายและพ่นสารละลายทั้งตู้ที่มีการปลูกพืชและไม่ปลูกพืช เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ ภายในตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 1	43
17	อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกที่ ไม่พ่นสารละลายและพ่นสารละลายทั้งตู้ที่มีการปลูกพืชและไม่ปลูกพืช เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ ภายในตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 2	45
18	อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกที่ ไม่พ่นสารละลายและพ่นสารละลายทั้งตู้ที่มีการปลูกพืชและไม่ปลูกพืช เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ ภายในตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 3	47
19	อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกที่ ไม่พ่นสารละลายและพ่นสารละลายทั้งตู้ที่มีการปลูกพืชและไม่ปลูกพืช เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ ภายในตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 4	49
20	อุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกเอโรโพนิกส์ที่มีจังหวะการพ่น สารละลายที่แตกต่างกัน 3 แบบ ในสัปดาห์ที่ 1 หลังย้ายปลูก	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	อุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ที่มีจังหวะการพ่นสารละลายที่แตกต่างกัน 3 แบบ ในสัปดาห์ที่ 2 หลังย้ายปลูก	56
22	อุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ที่มีจังหวะการพ่นสารละลายที่แตกต่างกัน 3 แบบ ในสัปดาห์ที่ 3 หลังย้ายปลูก	59
23	อุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ที่มีจังหวะการพ่นสารละลายที่แตกต่างกัน 3 แบบ ในสัปดาห์ที่ 4 หลังย้ายปลูก	59
24	อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกที่ไม่พ่นสารละลาย และพ่นสารละลายทั้งตู้ที่มีการปลูกพืชและไม่ปลูกพืชเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 1	61
25	อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกที่ไม่พ่นสารละลาย และพ่นสารละลายทั้งตู้ที่มีการปลูกพืชและไม่ปลูกพืชเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 2	63
26	อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกที่ไม่พ่นสารละลาย และพ่นสารละลายทั้งตู้ที่มีการปลูกพืชและไม่ปลูกพืชเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 3	65
27	อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกที่ไม่พ่นสารละลาย และพ่นสารละลายทั้งตู้ที่มีการปลูกพืชและไม่ปลูกพืชเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 4	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
28	อุณหภูมิอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกเอโร โพนิกส์แบบปิดทึบ และแบบที่มีการระบายอากาศและจังหวะการพ่นสารละลายที่แตกต่างกัน ในสัปดาห์ที่ 1 หลังย้ายปลูก 74
29	อุณหภูมิอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกเอโร โพนิกส์แบบปิดทึบ และแบบที่มีการระบายอากาศและจังหวะการพ่นสารละลายที่แตกต่างกัน ในสัปดาห์ที่ 2 หลังย้ายปลูก 74
30	อุณหภูมิอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกเอโร โพนิกส์แบบปิดทึบ และแบบที่มีการระบายอากาศและจังหวะการพ่นสารละลายที่แตกต่างกัน ในสัปดาห์ที่ 3 หลังย้ายปลูก 78
31	อุณหภูมิอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกเอโร โพนิกส์แบบปิดทึบ และแบบที่มีการระบายอากาศและจังหวะการพ่นสารละลายที่แตกต่างกัน ในสัปดาห์ที่ 4 หลังย้ายปลูก 78
32	อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกแบบปิดทึบ และแบบที่เปิดระบายอากาศทั้งตู้ที่มีการพ่นสารละลายตลอดเวลาและพ่น เป็นจังหวะเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และอุณหภูมิอากาศภายใน ตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 1 81
33	อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกแบบปิดทึบ และแบบที่เปิดระบายอากาศทั้งตู้ที่มีการพ่นสารละลายตลอดเวลาและพ่น เป็นจังหวะเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และอุณหภูมิอากาศภายใน ตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 2 83
34	อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกแบบปิดทึบ และแบบที่เปิดระบายอากาศทั้งตู้ที่มีการพ่นสารละลายตลอดเวลาและพ่น เป็นจังหวะเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และอุณหภูมิอากาศภายใน ตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 3 84

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่

หน้า

- 35 อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกแบบปิดทึบ และแบบที่เปิดระบายอากาศทั้งตู้ที่มีการพ่นสารละลายตลอดเวลาและพ่น เป็นจังหวะเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และอุณหภูมิอากาศภายใน ตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 4

86

การพัฒนาการปลูกผักกาดหอมโดยไม่ใช้ดินแบบแอโรโพนิกส์

Development of Soilless - Grown Lettuce in Aeroponics

คำนำ

ปัจจุบันในประเทศไทยมีการนำวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมาใช้ปลูกผักหลายชนิด โดยเฉพาะผักกาดหอมต่างๆ ได้แก่ ผักสลัดสายพันธุ์ต่างประเทศ ผักจีนต่างๆ เพื่อการผลิตผักคุณภาพสูง รสชาติดี และปลอดสารพิษตกค้างกันมากขึ้น ประเพณีของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่นิยมนำมาใช้คือ แบบที่รากพืชแช่และสัมผัสกับสารละลายตลอดเวลา หรือ hydroponics ซึ่งเทคนิคที่เป็นที่นิยมมากที่สุดในปัจจุบัน คือ เทคนิค Nutrient Film Technique (NFT) และเทคนิค Dynamic Root Floating Technique (DRFT) (ธรรมศักดิ์, 2546) อย่างไรก็ตามการนำวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบที่รากพืชต้องแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลาใช้ในประเทศไทยพบว่าในช่วงฤดูที่อากาศร้อนทำให้อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารสูงตามไปด้วย ส่งผลให้ความสามารถในการกักเก็บอากาศไว้ในสารละลายลดน้อยลงไปด้วย (วัฒนา, 2540) มีผลทำให้รากผักได้รับอากาศเพื่อใช้สำหรับการหายใจไม่เพียงพอ เกิดการตายของเซลล์ราก ทำให้รากอ่อนแอลง และหากมีเชื้อราฟิเทียม (pythium) ปนเปื้อนเข้ามาในระบบ ก็สามารถเข้าทำลายรากพืชได้โดยง่าย นอกจากนี้การปลูกพืชแบบ hydroponics นี้ยังสิ้นเปลืองน้ำ ธาตุอาหารและท้ายที่สุดมีน้ำเสียที่ต้องระบายทิ้งมากกว่าการปลูกในรูปแบบอื่นๆ ซึ่งอาจเป็นปัญหากระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ในอนาคต

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบแอโรโพนิกส์ (aeroponics) เป็นวิธีการที่ช่วยให้รากพืชสัมผัสกับอากาศได้ตลอดเวลา (Resh, 1978) และยังสิ้นเปลืองสารละลายธาตุอาหารน้อยกว่า (Schwarz, 1995) จึงน่าจะเป็นวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่ช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับการปลูกแบบ hydroponics ในสภาพอากาศร้อนและยังให้ความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่า จึงอาจเป็นระบบที่เหมาะสมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในอนาคตสำหรับประเทศไทย นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบรากลอยในอากาศหรือแอโรโพนิกส์นั้นสามารถพ่นและหยุดพ่นสารละลายธาตุอาหารไปยังรากเป็นจังหวะได้โดยไม่ต้องพ่นตลอดเวลา ทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าลงได้ เพียงแต่ต้องทราบจังหวะการพ่นที่เหมาะสม (โสระยา และคณะ, 2547; Morgan, 2005b) ในขณะเดียวกันก็มีรายงานว่า การปลูกพืชแบบแอโรโพนิกส์ในประเทศไทยซึ่งมีอากาศร้อนจัด มีการสะสมความร้อนภายในตู้ปลูก (dark chamber) จนอาจเกิดอันตรายต่อรากพืชได้

(วัฒนา, 2540) อย่างไรก็ตามข้อมูลเกี่ยวกับการสะสมความร้อนภายในตู้ปลูกและผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช และอิทธิพลของการผันสารละลายธาตุอาหารเป็นจังหวะต่อการเจริญเติบโตของพืชในแต่ละช่วงอายุในสภาพแวดล้อมของประเทศไทยนั้นยังมีอยู่อย่างจำกัด

ดังนั้นจึงทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ระหว่างการปลูกพืช และอิทธิพลของการผันสารละลายธาตุอาหารเป็นจังหวะที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืชในแต่ละช่วงอายุ รวมทั้งศึกษาวิธีการลดอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกด้วยการระบายความร้อน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบแอโรโพนิคส์สำหรับประเทศไทยต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในตู้ปลูกเอโร โพนิกส์และอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารที่พ่นเข้าไปภายในตู้ปลูกเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายนอกตู้ปลูก
2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักกาดหอมคอสีในแต่ละช่วงอายุเมื่อปลูกด้วยเทคนิคเอโร โพนิกส์และที่ปลูกด้วยเทคนิค NFT
3. เพื่อศึกษาผลของจังหวะการพ่นสารละลายธาตุอาหารในตู้ปลูกเอโร โพนิกส์ที่มีต่ออุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูก อุณหภูมิสารละลาย และการเจริญเติบโตของผักกาดหอมคอสี
4. เพื่อศึกษาอิทธิพลของการระบายอากาศในตู้ปลูกเอโร โพนิกส์ต่ออุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูก อุณหภูมิสารละลาย และการเจริญเติบโตของผักกาดหอมคอสี

การตรวจเอกสาร

ปัจจุบันในประเทศไทยมีการนำวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมาใช้ในการผลิตพืชผักที่มีความปลอดภัยจากสารพิษตกค้าง มีคุณภาพสูง (สด สะอาด และรสชาติดี) และผลิตผักชนิดที่ไม่มีการผลิตในดิน เช่น ผักสลัดต่างๆ พืชผักสมุนไพร (herbs) บางชนิด ผักกาดหอมสายพันธุ์ต่างประเทศ เป็นผักชนิดหนึ่งที่มีความเหมาะสมที่จะปลูกโดยวิธีการไม่ใช้ดิน ซึ่งให้ผลผลิตที่มีความสะอาด ปลอดภัยต่อการบริโภค สามารถจำหน่ายได้ในราคาแพง คู่คุณค่าต่อการลงทุน ดังจะเห็นได้ว่ามีธุรกิจการปลูกผักกาดหอมโดยไม่ใช้ดินมีเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค (ธรรมศักดิ์, 2549)

ผักกาดหอม

ผักกาดหอม (*Laetuca sativa* L.) หรือผักสลัด (Decoteau, 2000) จัดอยู่ในวงศ์ Compositae มียางสีขาวคล้ายน้ำนม (latex) อันเป็นสาเหตุของรสมข เจริญเติบโตได้ดีในอากาศหนาวเย็น (Splittstoesser, 1990) ที่นิยมปลูกในประเทศไทยมี 2 แบบ (type) ได้แก่ พันธุ์ใบ (Oak Leaf) เช่น Green Oak, Red Oak, Red Coral, Frilled Iceberg, cos, มีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 21 - 26°C และ พันธุ์ห่อหัว (Head type) เช่น Butter Head, ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 15.5 - 21°C (มัญญ, 2544)

ผักกาดหอมในปัจจุบันจำแนกได้เป็น 3 ประเภทตามลักษณะ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2552) คือ

ผักกาดหอมห่อ (head lettuce) เป็นผักกาดหอมที่ใบเรียงซ้อนกันหนาจนห่อเป็นหัว ผักกาดหอมห่อแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดด้วยกันคือ ชนิดห่อหัวแน่น (Crisp Head) ใบห่อเป็นหัวแน่นแข็งคล้ายกะหล่ำปลี ชนิดห่อหัวไม่แน่น (Butter Head) ลักษณะห่อเป็นหัวหลวมๆ ใบข้างในซ้อนทับกันแน่นพอประมาณ และชนิดห่อหัวหลวมก่อนข้างยาว เป็นผักกาดหอมชนิดที่ใบห่อเป็นรูปกลมยาวหรือรูปกรวย ลักษณะห่อคล้ายผักกาดขาวปลี ใบมีลักษณะยาวและแคบ ใบแข็ง ได้แก่ คอส

ผักกาดหอมใบ (leaf lettuce) เป็นผักกาดหอมที่ใบไม่ห่อเป็นหัว ใบจะกว้างใหญ่และหยิก ต้นเป็นพุ่มเตี้ย แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ พวกที่มีสีเขียวทั้งต้น เช่น Grand Rapids และพวกที่ต้นมีสีแดงหรือน้ำตาล เช่น Red Oak เป็นต้น

ผักกาดหอมต้น (stem lettuce) เป็นผักกาดหอมที่มีลำต้นอวบ สูงจึงปลูกไว้เพื่อรับประทาน ลำต้น ไม่ห่อหัว เช่น พันธุ์ Celtuce เป็นต้นโดยทั่วไปไม่ค่อยนิยมปลูกกันแพร่หลายนัก

ความสำคัญทางเศรษฐกิจ

กรรณ (2545) ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบการลงทุนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระหว่าง การปลูกผักกาดหอมแบบใช้ดินกับแบบไม่ใช้ดินในจังหวัดเชียงใหม่ พบว่าการปลูกแบบไม่ใช้ดิน ให้ผลตอบแทนทางการเงินและอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C) สูงกว่าการปลูกแบบใช้ดิน

ธีรินมาศ (2544) และ ธรรมบุญ (2544) ทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจของการปลูกผัก ระบบไฮโดรโปนิกส์ พบว่ามีความเหมาะสมแก่การลงทุน เนื่องจากให้ระยะการคืนทุนสั้น มูลค่า ปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวก อัตราผลตอบแทนภายในสูงกว่าต้นทุนอัตราดอกเบี้ย จึงสรุปว่ามีความ เป็นไปได้ในการลงทุน

ปัจจุบันผลิตผลของผักไฮโดรโปนิกส์ของประเทศไทยยังไม่เพียงพอับความต้องการของ ตลาด ทั้งภายในและภายนอกประเทศ เนื่องจากเป็นผักที่มีคุณภาพและปลอดภัยพิสดาร จึงทำให้ผู้บริโภคมีความต้องการสูง แต่เกษตรกรมีกำลังการผลิตต่ำ ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้น กรมวิชาการเกษตรจึงเตรียมขยายพื้นที่ปลูกทางภาคใต้ โดยได้มีการสร้างห้องเย็นใหม่อีก 2 แห่งที่ จังหวัดยะลา และปัตตานีเพื่อรองรับความต้องการของตลาดผักส่งออก และเป็นการสนับสนุน นโยบายเร่งด่วนของรัฐบาลที่ส่งเสริมให้ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้เป็นฐานการผลิตผักไฮโดรโป นิกส์เพื่อการส่งออก (ดอกสะแบง, 2547) ในเขตภาคใต้ฝั่งอันดามันผักไฮโดรโปนิกส์ยังเป็นที่ ต้องการของผู้บริโภคโดยเฉพาะกลุ่มที่ต้องการผักเพื่อสุขภาพ มีปริมาณการผลิตประมาณเดือนละ 1,000 กิโลกรัม เฉพาะในจังหวัดภูเก็ตมีความต้องการใช้ผักสดถึง 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณผักที่ ผลิตได้ทั้งหมด โดยผลิตและรวบรวมจากฟาร์มใหญ่ในจังหวัดภูเก็ต และฟาร์มย่อยในจังหวัดกระบี่ และพังงา ส่งให้กับธุรกิจโรงแรม 70 เปอร์เซ็นต์ ธุรกิจร้านอาหาร 30 เปอร์เซ็นต์ และคาดว่าในปี พ.ศ. 2552 ธุรกิจการผลิตผักไฮโดรโปนิกส์จะสามารถขยายตัวได้อีก 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากผัก

ไฮโดรโพนิกส์มีส่วนแบ่งการตลาดประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ หรือไม่เกิน 800 ล้านบาทจากมูลค่าผักในตลาด 8 – 9 หมื่นล้านบาท จึงนับว่าผักที่ผลิตจากไฮโดรโพนิกส์เริ่มมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ (วรรณภา, 2551)

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (soilless culture) มีความหมายกว้างครอบคลุมวิธีการปลูกพืชโดยวิธีใดก็ได้ที่ไม่มีดินมาเกี่ยวข้อง มีชื่อเรียกออกไปอีกมากมาย เช่น nutriculture, artificial agriculture, soilless gardening และ hydroponics เป็นต้น ซึ่งคำว่า hydroponics เป็นคำที่นิยมเรียกกันมาก (นพดล, 2546)

hydroponics เป็นคำที่บัญญัติโดย Dr. William F. Gerick แห่งมหาวิทยาลัยแห่งมลรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1929 จากภาษากรีก 2 คำ คือ คำว่า hydro (water) และ ponos (labor) คำว่า hydroponics จึงหมายถึง การทำงานด้วยน้ำ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า hydroponics เป็นวิทยาศาสตร์การผลิตพืชโดยปราศจากดินแต่อาจใช้วัสดุปลูกที่เอื้อในการปลูกได้ เช่น gravel, sand, peat, vermiculite และ pumice มีการให้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตในรูปของสารละลายธาตุอาหาร (Resh, 1978)

หลักของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินนั้น คือ การจัดหาปัจจัย 4 อย่างคืนให้กับพืชเพื่อทดแทนปัจจัยที่หายไปเมื่อไม่มีดิน ซึ่งปัจจัยทั้ง 4 อย่างนั้น ได้แก่ การลำเลียงลำต้น ธาตุอาหาร อากาศ และน้ำ ซึ่งวิธีการทดแทนปัจจัยทั้ง 4 ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตนี้คืนให้กับพืชทำให้เกิดเทคนิคการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบต่างๆขึ้น (ธรรมศักดิ์, 2551)

ประเภทของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบ่งออกได้ตามประเภทของวัสดุที่นำมาใช้เป็น 3 ประเภท คือ

1. การปลูกโดยใช้วัสดุปลูกที่เป็นของแข็ง (substrate culture) การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินประเภทนี้ใกล้เคียงกับการปลูกพืชในดินมากที่สุด จึงนิยมสำหรับปลูกพืชกินผลที่มีต้นขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก ซึ่งไม่สะดวกต่อการจัดการทรงต้นหากปลูกด้วยวิธีอื่น โดยวัสดุปลูกที่ใช้นั้นเป็นวัสดุ

เฉื่อย กล่าวคือเป็นวัสดุที่ไม่มีธาตุอาหาร วัสดุดังกล่าวอาจเป็นอนินทรีย์สาร (inorganic) เช่น ทราย (sand) กรวด (gravel) ใยหิน (rockwool) เม็ดดินเผา (expanded clay, hydrotron) หินภูเขาไฟ (pumice) เพอร์ไลต์ (perlite) เวอร์มิคิวไลต์ (vermiculite) หรือเป็นอินทรีย์สาร (organic) เช่น ขุยมะพร้าว (coconut coir dust) ถ่านแกลบ (carbonized rice hull) จี้เลื่อย (saw dust) แกลบ (rice hull) เปลือกไม้ (bark) เป็นวัสดุปลูกก็ได้ ทำให้บางครั้งเรียกชื่อแยกย่อยออกไปได้อีก เช่น sand culture, gravel culture, rockwool culture เป็นต้น ส่วนการให้สารละลายธาตุอาหารมีหลายวิธี เช่น ให้แบบน้ำหยด (drip irrigation) หรือแบบท่วมและระบาย (flood and drain) (Resh, 1978)

2. การปลูกเลี้ยงในสารละลายโดยตรง (water culture) การปลูกเลี้ยงแบบนี้ นับว่าเป็นการปลูกแบบ hydroponics ที่แท้จริง เป็นการปลูกเลี้ยงโดยให้ระบบรากพืชสัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารโดยตรงและตลอดเวลา (Resh, 1978) ระบบนี้ยังแยกออกไปได้ตามวิธีการให้สารละลายธาตุอาหารสัมผัสรากพืชได้อีกหลายวิธี เช่น แบบรากท่วมน้ำและเป่าอากาศเพื่อเติมออกซิเจน (Deep Water Technique, DWT) หรือใช้การหมุนเวียนสารละลายเพื่อเติมออกซิเจน (Deep Flow Technique, DFT หรือ Dynamic Root Floating Technique, DRFT) หรือแบบที่รากพืชแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารที่ไหลเป็นฟิล์มบางๆ (Nutrient Film Technique, NFT) ซึ่งเป็นที่นิยมในปัจจุบัน NFT เป็นวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่พัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1965 โดย Allen Cooper นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ โดยปลูกพืชในรางปลูกที่มีสารละลายธาตุอาหารไหลต่อเนื่องเป็นฟิล์มบางๆ ซึ่งรางมีความลาดเอียง (slope) 1 – 3 % ความหนาของน้ำในรางไม่ควรเกิน 3 มิลลิเมตร ซึ่งเทคนิคนี้ให้ความสะดวกในการปฏิบัติงาน ไม่ต้องมีการเติมอากาศ ให้ผลผลิตที่สะอาด (Morgan, 1999)

3. การปลูกพืชแบบรากลอยในอากาศหรือแบบแอโรโพนิคส์ (aeroponics) เป็นการปลูกพืชที่รากพืชสัมผัสกับอากาศที่อยู่ภายในตู้ปลูกที่เป็นห้องมืด (dark chamber) และมีการพ่นสารละลายธาตุอาหารเป็นระยะๆ เพื่อรักษาระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ปลูกให้มีระดับความชื้นสัมพัทธ์ ประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ (Resh, 1978) ทำให้มีชื่อเรียกอื่นๆ เช่น nutrient mist, rootmist technique (Schwarz, 1995) Root Wetting System (โสระยา, 2544)

The International Society for Soilless Culture ได้นิยามคำว่า aeroponics ว่า “เป็นระบบการปลูกพืชซึ่งระบบรากอยู่ในสภาพที่อิมมัวด้วยละอองของสารละลายธาตุอาหารอย่างต่อเนื่องหรือเป็นระยะๆ” ได้ถือกำเนิดเป็นครั้งแรกในประเทศอิตาลี โดย Dr. Massantini แห่งมหาวิทยาลัย

Pia ในปี ค.ศ. 1960 (โสระยา, 2544) ปัจจุบันมีการปลูกเป็นฟาร์มขนาดใหญ่ทั้งที่สหรัฐอเมริกา อิสราเอล และเนเธอร์แลนด์ (Schwarz, 1995) การปลูกพืชในเทคนิคนี้รากพืชจะห้อยลอยอยู่ในอากาศภายในตู้ปลูกที่มืด (dark chamber) น้ำที่พ่นไปที่รากจะเป็นฟอยละเอียดที่เกิดจากหัวพ่นขนาดเล็กเป็นระยะๆ เพื่อรักษาระดับความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ปลูกให้มีระดับความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้พืชได้รับความชื้น ธาตุอาหารและอากาศที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต (อิทธิสุนทร, 2538; Resh, 1978) ในประเทศไทยมีการใช้เทคนิค aeroponics นี้ปลูกผักสลัดเป็นการค้าเพียงแห่งเดียว คือที่ไร่วโนทยาน อ.กุเรว จ.เพชรบูรณ์ (วรรณภา, 2549)

ข้อดีของเทคนิคแอโรโพนิกส์

แอโรโพนิกส์เป็นเทคนิคที่ประหยัดพื้นที่ในการเพาะปลูก และได้พืชที่สะอาด ลดโรคที่แพร่ไปได้ทางรากและโรคที่มีไส้เดือนฝอยเป็นพาหะ และประหยัดสารละลายธาตุอาหารได้ 95 – 98% ในขณะที่ปริมาณผลผลิตมีเพิ่มขึ้น 45 – 75% (Schwarz, 1995) สอดคล้องกับโสระยาและคณะ (2547) ที่กล่าวว่าแอโรโพนิกส์สามารถประหยัดสารละลายธาตุอาหารได้มากกว่าระบบ NFT นอกจากนี้แอโรโพนิกส์ยังให้ออกซิเจนแก่รากพืชได้มากกว่าเทคนิคอื่นๆ นอกจากนี้รากพืชที่ปลูกด้วยเทคนิคนี้ไม่ถูกน้ำท่วมขัง (water logging) และไม่ขาดออกซิเจน จึงมีประโยชน์ในการเพาะเมล็ด ใช้ศึกษาการเจริญเติบโตของพืช และใช้ขยายพันธุ์พืชที่ออกรากได้ยากได้หลายชนิดเนื่องจากให้ความชื้น และออกซิเจนอย่างเพียงพอ (Morgan, 2005a) เช่น ใช้ขยายพันธุ์ไม้ที่ออกรากได้ยาก เนื่องจากต้องการออกซิเจนสูงขณะเกิดราก เช่น เบญจมาศ (Carruthers, 2004)

ข้อจำกัดของเทคนิคแอโรโพนิกส์

วัฒนา (2540) กล่าวว่า อุณหภูมิภายในตู้ปลูกแอโรโพนิกส์มักสูงกว่าภายนอก ทำให้พืชแสดงอาการผิดปกติ แคระแกรน ใบเหลืองซีด ความแรงของสารละลายธาตุอาหารที่พ่นออกมาจากหัวฉีดทำให้รากพืชบางส่วนถูกทำลาย มีลักษณะขำเป็นสีน้ำตาล หัวพ่นสารละลายธาตุอาหารอุดตัน และสิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้ามาก สอดคล้องกับ Carruthers (2004) และ Morgan (2005a) ที่กล่าวว่าแอโรโพนิกส์มีค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์ที่มีราคาแพง อาจต้องมีการใช้ปั๊มน้ำขนาดใหญ่เพื่อพ่นสารละลายธาตุอาหารจึงสิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้ามาก และต้องควบคุมการให้น้ำและธาตุอาหารที่พอดีกับความต้องการของพืช

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยไม่ใช้ดินแบบแอโรพอนิกส์

1. คุณภาพของน้ำ

คุณภาพของน้ำถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เนื่องจากน้ำเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช และเป็นต้นทุนของการผลิตพืชที่สำคัญ น้ำที่ใช้ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่ดีควรเป็นน้ำที่บริสุทธิ์ปราศจากแร่ธาตุ และเชื้อโรคเจือปน โดยเฉพาะโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ซึ่งเป็นพิษต่อพืช (ธรรมศักดิ์, 2551) นอกจากนี้ถ้าหากในน้ำมีอนุมูลไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) มาก จะทำให้สารละลายมีค่า pH สูงและส่งผลให้อนุมูลฟอสเฟต (PO_4^{2-}) จับตัวกับอนุมูลแคลเซียม (Ca^{2+}) หรืออนุมูลแมกนีเซียม (Mg^{2+}) จนตกตะกอนและอุดตันหัวพ่นสารละลายธาตุอาหาร (nozzle) ได้ (วัฒนา, 2540; อธิสุนทร, 2544) นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ที่สูงขึ้นจากอนุมูลไบคาร์บอเนตยังทำให้ธาตุอาหารบางตัว เช่น เหล็ก (Fe) ไม่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์กับพืช (อธิสุนทร, 2544)

2. ออกซิเจนในสารละลายธาตุอาหาร

รากพืชต้องการออกซิเจนไปใช้ในกระบวนการหายใจเพื่อให้ได้พลังงานสำหรับการดูดน้ำและธาตุอาหารเข้าสู่ต้นพืช ดังนั้นถ้าออกซิเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืชจะทำให้รากพืชดูดธาตุอาหารอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้พืชชะงักการเจริญเติบโต (รวี, 2540; ธรรมศักดิ์, 2551) และรากพืชอ่อนแอต่อการเข้าทำลายซ้ำของเชื้อโรค เช่น pythium สาเหตุของโรครากเน่าโคนเน่า รากพืชจึงเน่าตายในที่สุด (Morgan, 2004) โดยทั่วไปควรรักษาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำให้ไม่น้อยกว่า 6 มก./ลิตร (ธรรมศักดิ์, 2551; อธิสุนทร, 2544)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเกิดขึ้นได้ด้วยการแพร่ (diffusion) ซึ่งการแพร่กระจายเกิดขึ้นได้มากหรือน้อยปัจจัยต่างๆ เช่น ความหนาของชั้นน้ำ พื้นที่ผิว เทคนิคการให้อากาศ และอุณหภูมิของน้ำ เป็นต้น (วัฒนา, 2540)

2.1 อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร

อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อการละลายได้ของออกซิเจนในสารละลาย เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้ลดลง (ตารางที่ 1) และอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช หากสารละลายมีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 35°C ในขณะที่พืชอยู่ในภาวะที่มีการคายน้ำสูง (ธรรมศักดิ์, 2551) ซึ่งอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมของผักสลัดควรอยู่ในช่วง 20 – 22.2°C Morgan (2005a)

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิ่มตัว (saturated value) ของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen) และอุณหภูมิของน้ำ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มก./ลิตร)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มก./ลิตร)
20	8.84	28	7.75
22	8.53	30	7.53
24	8.25	35	7.04
25	8.11	40	6.85
26	7.99	45	5.78

ที่มา วัฒนา, 2540 อ้างถึง Vestergaard, 1984

Economakis (1997) ศึกษาผลของอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร 3 ระดับ ได้แก่ 10 15 และ 20°C ที่มีผลต่อการเติบโตและการดูดน้ำในผักกาดหอมปัตเตอร์เฮดพันธุ์ Tardisix ที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินด้วยเทคนิค NFT พบว่า สารละลายที่มีอุณหภูมิ 20°C ทำให้ผักกาดหอมปัตเตอร์เฮด มีน้ำหนักสดส่วนยอด และจำนวนใบมากที่สุด แต่ทำให้น้ำหนักแห้งรากน้อยที่สุด

Economakis (2002) ศึกษาผลของอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร 3 ระดับ ได้แก่ 10 15 และ 20°C ต่อการเจริญเติบโตและปริมาณไนเตรตในส่วนยอดของผักกาดหอมชนิดห่อหัวไม่แน่น (crisped lettuce) พันธุ์ Marbello และ Bastion ที่ปลูกด้วยเทคนิค NFT พบว่า สารละลายที่มีอุณหภูมิ 20°C ทำให้ผักกาดหอมพันธุ์ Bastion มีน้ำหนักสดยอดมากที่สุด ส่วนสารละลายที่มีอุณหภูมิ 15°C ทำให้ผักกาดหอมพันธุ์ Marbello มีน้ำหนักสดยอดมากที่สุด แต่สารละลายที่มี

อุณหภูมิ 20°C ทำให้ผักกาดหอมทั้ง 2 พันธุ์มีน้ำหนักแห้งรากน้อยที่สุด และพบว่าส่วนยอดของผักกาดหอมพันธุ์ Marbello มีปริมาณไนเตรตสูงกว่าพันธุ์ Bastion ส่วนอุณหภูมิที่สูงขึ้นไม่มีผลต่อการสะสมไนเตรตในส่วนยอดของทั้ง 2 พันธุ์

Ingrid and Han (1985) ศึกษาการเจริญเติบโตของพาสเลย์ที่ควบคุมอุณหภูมิในเขตราก 5 ระดับ ได้แก่ 18 21 24 27 และ 36°C และควบคุมอุณหภูมิอากาศ 2 ระดับ ได้แก่ 18 และ 24°C พบว่า ที่อุณหภูมิอากาศ 18°C และอุณหภูมิในเขตราก 24°C ทำให้ พาสเลย์มีการเจริญเติบโตดีที่สุด ส่วนอุณหภูมิในเขตรากที่ 18 และ 27°C การเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และพาสเลย์ที่ได้รับอุณหภูมิในเขตราก 36°C นาน 30 นาทีต่อวันจะถูกยับยั้งการเจริญเติบโต

2.2 อุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูก

Morgan (2004) กล่าวว่าถ้าหากอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์สูงจะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในตู้ปลูกลดลงจะทำให้รากพืชเกิดความเสียหายและอาจเกิดการเข้าทำลายซ้ำ (secondary infection) ของเชื้อฟิเทียม (*pythium* sp.) ซึ่งเป็นสาเหตุของโรครากเน่า

Tan *et. al.* (2002) ทดลองปลูกผักกาดหอมพันธุ์ Panama ในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ที่มีอุณหภูมิในเขตราก (root zone temperature) 20°C และตู้ปลูกที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิในเขตราก พบว่า อุณหภูมิภายในตู้ปลูกที่ 20°C ทำให้ผักมีปริมาณปลายราก ความยาวราก พื้นที่ผิวราก และปริมาณธาตุอาหารมากกว่าตู้ปลูกที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิในเขตราก และทดลองย้ายผักกาดหอมที่มีอายุ 3 สัปดาห์จากตู้ปลูกที่มีอุณหภูมิ 20°C มาปลูกในตู้ปลูกที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิในเขตราก จะทำให้จำนวนปลายรากและพื้นที่ผิวรากกลับลดลง

2.3 ออกซิเจนในเขตรากพืช

รากพืชที่ขาดออกซิเจนจะเปลี่ยนกระบวนการหายใจเป็นการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) หรือ การหมัก (fermentation) ทำให้ได้เอทานอล (ethanol) และกรดแลคติก (lactic acid) (รวี, 2540) นอกจากนี้ วัฒนา (2540) ยังอ้างถึง Jackson (1980) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการให้อากาศของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน พบว่าพืชที่จะปลูกให้ได้ผลดีรากต้องได้

ออกซิเจนอย่างเพียงพอต่อการหายใจ ที่สภาพแวดล้อมของราก (root environment) การสะสมของเอทิลีน และการบ่งชี้ไดออกไซด์ต้องน้อยที่สุด

การสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์จากรากที่คายออกมาและการปลดปล่อยเอทิลีน รวมทั้งจุลินทรีย์ในที่อยู่อาศัยจะทำให้เกิด ความชราภาพ รอยร้าว ที่ทำให้ใบร่วง (abscission zone) การบิดเบี้ยว (epinasty) ของก้านใบ รากเสียหายเกิดเป็นรากสีน้ำตาล (root browning) และเกิดการเน่าขึ้นหลังจากรากตายโดยการทำลายของจุลินทรีย์และเชื้อโรคต่างๆ (วัฒนา, 2540)

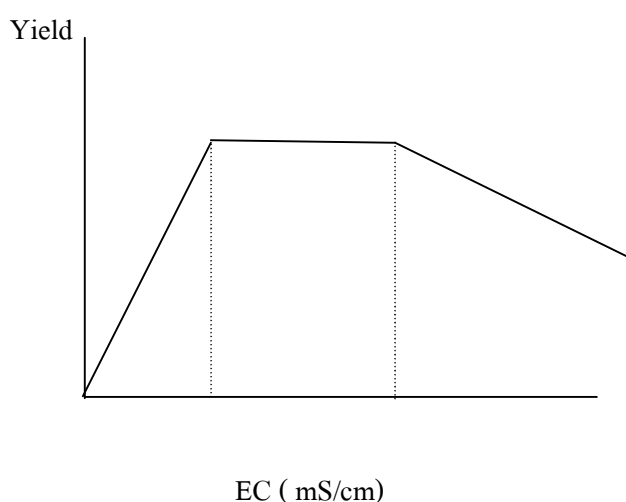
3. สารละลายธาตุอาหาร

3.1 ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร

สารละลายธาตุอาหาร คือ สารละลายที่มีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งธาตุต่างๆที่เป็นของแข็งเหล่านี้เมื่อแตกตัวเป็นสารละลายจะมีประจุไฟฟ้า (ion) ซึ่งมีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นของธาตุอาหารมากอัตรา การเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าก็จะสูงขึ้น ดังนั้น ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (Electrical Conductivity; EC) จึงเป็นตัวแสดงให้เห็นว่าธาตุอาหารโดยรวมในสารละลายมีความเข้มข้นมากหรือน้อย ซึ่งวัดค่าความเข้มข้นนั้นได้ด้วยเครื่องวัดการนำไฟฟ้า (EC meter) (Resh, 1978) มีหน่วยวัดเป็นมิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร (mMho/cm) หรือ มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (mS/cm) เพื่อเป็นเกียรติแก่ Ernst Siemen นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน (ดิเรก, 2546)

ค่า EC มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโต และผลผลิตของพืช ค่า EC ระดับต่ำมากที่มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ เช่น น้ำเปล่า ไม่สามารถทำให้พืชเจริญเติบโตได้ แต่ค่า EC ที่อยู่ในระดับสูงเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองต้นทุนการผลิตและอาจเป็นพิษต่อพืชได้ ดังนั้นการควบคุมค่า EC ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมจะทำให้ได้ผลผลิตสูงที่สุดเมื่อมีการใช้ธาตุอาหารในปริมาณน้อยที่สุด (Optimal nutrient level) (ภาพที่ 1) ซึ่งค่า EC ที่เหมาะสมควรอยู่ ในช่วง 1-4 mS/cm ขึ้นอยู่กับชนิดพืช (Resh, 1978) สำหรับผักกาดใบต้องการความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารต่ำกว่าผักกาดปลี และต้องการปริมาณไนโตรเจนที่สูงกว่า ในขณะที่ผักกาดปลีต้องการความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารสูงกว่าและต้องการปริมาณโพแทสเซียม และแคลเซียมในปริมาณที่มากกว่า นอกจากนี้ความต้องการความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารยังเกี่ยวข้องกับช่วงอายุของการ

เจริญเติบโตของพืช สภาพแวดล้อม (อุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มแสง) เช่น ในสภาพอากาศร้อน หรือความเข้มแสงมากพืชมีการคายน้ำสูงทำให้ดูดธาตุอาหารน้อยกว่าการดูดน้ำ ฉะนั้นการให้สารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นสูงจะทำให้ความสามารถในการดูดน้ำของพืชลดลง พืชจะเหี่ยวเฉาได้ (ธรรมศักดิ์, 2551) นอกจากนี้การตอบสนองของผลผลิตต่อค่า EC จะส่งผลต่อคุณภาพของผลผลิต เช่น ค่า EC ต่ำจะทำให้ผลผลิตมีลักษณะอ่อนนุ่ม ซึ่งเป็นผลดีในผักสลัดแต่ส่งผลให้ผักกินผลอย่างมะเขือเทศมีผลที่อ่อนนุ่มเกินไปรสชาติไม่ดี มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวสั้น ส่วนค่า EC ที่สูงขึ้นจะทำให้ผลผลิตมีความแข็งแรง เติบโตเร็ว น้ำหนักของใบ ดอก ผล สูงขึ้นทำให้คุณภาพผลผลิตดีขึ้น แต่ถ้าใช้ค่า EC ที่สูงมากเกินไปเกินกว่าความต้องการของพืชจะทำให้เกิดอาการผลเน่าที่ปลาย (Blossom-end rot) ในผักกินผล หรือ อาการยอดไหม้ (Tip burn) ในผักสลัดได้ (อิทธิสุนทร, 2538)



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ของค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารกับปริมาณของผลผลิต
ที่มา: อิทธิสุนทร (2538)

อุดมพงษ์ (2543) พบว่าผักกาดหอมคอสปันธุ์ Junior ที่ปลูกด้วยเทคนิค Deep Water Culture ที่ได้รับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหาร 0.75 เท้าในสัปดาห์ที่ 1 ได้รับความเข้มข้นสารละลาย 1 เท้าในสัปดาห์ที่ 2 ได้รับความเข้มข้นสารละลาย 1.5 เท้าในสัปดาห์ที่ 3 และได้รับความเข้มข้นสารละลาย 2 เท้าในสัปดาห์ที่ 4 มีการเจริญเติบโตที่สูงขึ้น แต่การเพิ่มความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารให้กับผักกาดหอมในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ไม่ทำให้ผักกาดหอมมีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันทางสถิติ

วุฒิพงษ์ (2546) พบว่าสารละลายธาตุอาหารสูตร Enshi ที่มีค่า EC 2.4 mS/cm และ 1.2 mS/cm ทำให้ผักกาดหอมที่ปลูกด้วยเทคนิค DWT มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน ทั้งในสภาพอากาศร้อนและสภาพอากาศเย็น

จิตตานันท์ (2545) พบว่าผักกาดหอมใบพันธุ์ Green royal ที่ได้รับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร 0.5 mS/cm ใน 3 สัปดาห์แรกและเพิ่มขึ้นเป็น 0.75 mS/cm ในสัปดาห์สุดท้าย ทำให้ผักกาดหอมมีการเจริญเติบโตที่สูงขึ้น แต่การเพิ่มความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารให้กับผักกาดหอมในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ไม่ทำให้ผักกาดหอมมีการเจริญเติบโตที่แตกต่างทางสถิติ

ปรีชาดิ (2550) พบว่าที่ระดับ pH 6.0 ในสภาพอากาศร้อนการใช้สารละลายธาตุอาหารที่ความเข้มข้น 1.75 mS/cm กับผักกาดหอมที่เริ่มย้ายปลูกจนถึงอายุ 2 สัปดาห์ทำให้การเจริญเติบโตของผักดีที่สุด และผักกาดหอมที่มีอายุตั้งแต่ 2 สัปดาห์ถึง 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูกการใช้ EC 1.0 mS/cm ทำให้การเจริญเติบโตดีที่สุด ส่วนในสภาพอากาศเย็นการใช้สารละลายธาตุอาหารที่ความเข้มข้น 1.5 mS/cm กับผักกาดหอมที่เริ่มย้ายปลูกจนถึง 2 สัปดาห์ทำให้ผักมีการเจริญเติบโตดีที่สุด และผักกาดหอมที่มีอายุตั้งแต่ 2 สัปดาห์ถึง 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูกการใช้ EC 1.75 mS/cm ทำให้ผักมีการเจริญเติบโตดีที่สุด

3.2 ความเป็นกรด – ด่างของสารละลายธาตุอาหาร

ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของสารละลายธาตุอาหาร มีผลต่อการละลายแร่ธาตุ และรูปของประจุเพื่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารที่มีในสารละลายธาตุอาหาร (ธรรมศักดิ์, 2551) เช่น ในสภาพที่ค่า pH สูง จะทำให้ธาตุเหล็กตกตะกอนไม่สามารถเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ การดูดใช้ฟอสฟอรัส และแมงกานีสน้อยกว่าปกติ (อิทธิสุนทร, 2538) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วช่วงความเป็นกรด – ด่าง ที่แร่ธาตุจะละลายได้ดีที่สุดอยู่ในช่วง 5.5 – 6.2 ดังนั้นการปรับค่าความเป็นกรด – ด่าง ด้วยกรดไนตริก (HNO_3) หรือ กรดฟอสฟอริก (H_2PO_4) เพื่อลดค่า pH ให้ต่ำกว่า 6.2 หรือการเพิ่มค่า pH ให้สูงกว่า 5.5 ด้วยน้ำสะอาดที่มีค่า pH เป็นกลางจะทำให้ค่า pH ของสารละลายธาตุอาหารสูงขึ้นได้ (ธรรมศักดิ์, 2551)

อุปกรณ์และวิธีการ

ในการศึกษาการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยเทคนิคแอรโอโพนิกส์ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในและภายนอกตู้ปลูก ผลของจังหวะการผันสารถ่ายธาตุอาหาร และผลของการระบายอากาศในตู้ปลูกต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 การเจริญเติบโตของผักกาดหอม และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในและภายนอกตู้ปลูกแอรโอโพนิกส์

ศึกษาการเจริญเติบโตในแต่ละช่วงอายุของผักกาดหอมคอสที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินด้วยเทคนิคแอรโอโพนิกส์ เปรียบเทียบกับผักที่ปลูกด้วยเทคนิค NFT พร้อมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายใน ภายนอก และอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารของตู้ปลูกแอรโอโพนิกส์ที่แตกต่างกัน 3 ลักษณะได้แก่ ตู้ปลูกที่ไม่มีการผันสารถ่ายธาตุอาหารและไม่ปลูกพืช ตู้ปลูกที่ผันสารถ่ายธาตุอาหารตลอดเวลาแต่ไม่ปลูกพืช และตู้ปลูกที่ผันสารถ่ายธาตุอาหารตลอดเวลาและปลูกพืช

แผนการทดลอง

เปรียบเทียบประชากรสองกลุ่ม (t - test) ประกอบด้วย 2 ทริทเมนต์ คือ เทคนิคการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ทริทเมนต์ละ 10 ซ้ำ (ต้นผักกาดหอม) ดังนี้

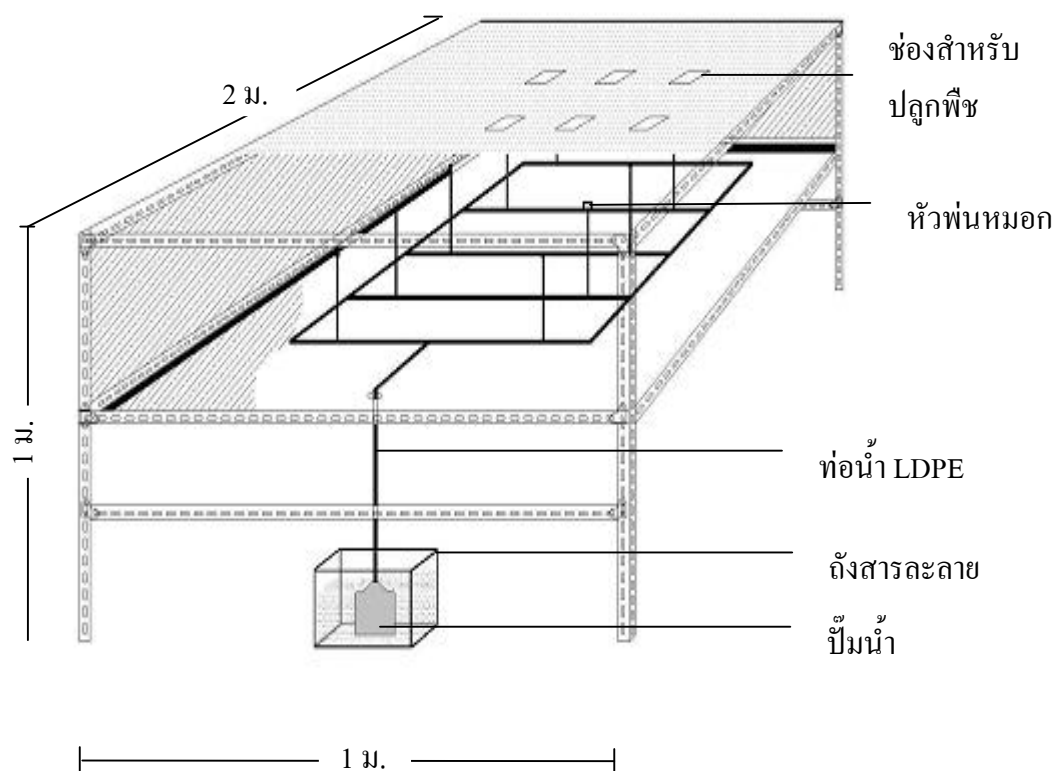
ทริทเมนต์ที่ 1 การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ NFT

ทริทเมนต์ที่ 2 การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบแอรโอโพนิกส์

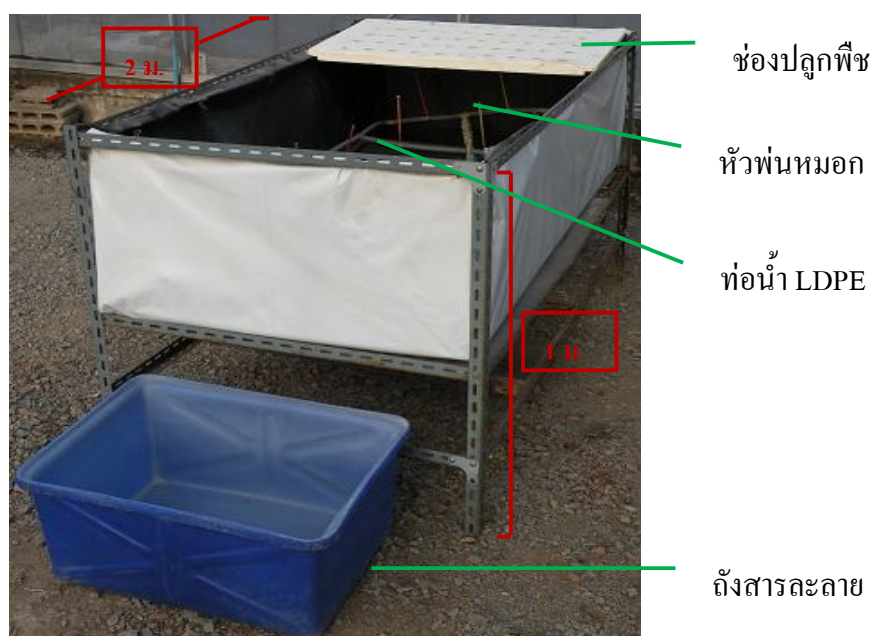
การเตรียมตู้ปลูกแอรโอโพนิกส์

สร้างตู้ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบแอรโอโพนิกส์ (Aeroponics) จำนวน 3 ตู้ ขนาด $1 \times 2 \times 1$ เมตร (กว้าง $\times$ ยาว $\times$ สูง) โครงสร้างทำด้วยเหล็กฉาก ใช้กระเบื้องแผ่นเรียบอย่างหนาขนาด 1×2 เมตร ปูเป็นพื้นตู้ ต่ำจากขอบด้านบน 80 เซนติเมตร จากนั้นปูพื้นตู้และบุด้านข้างทั้ง 4 ด้านด้วยผ้าพลาสติก 2 หน้า (ขาวดำ) หนา 160 ไมครอน โดยหันด้านสีดำเข้าด้านในตู้ให้เป็นตู้ทึบแสง (dark

chamber) ที่มีปริมาตร 1.6 ลบ.ม. ที่พื้นของตู้ทึบแสงวางท่อน้ำชนิด low density polyethylene (LDPE) ขนาด 16 มิลลิเมตร ยาว 160 เซนติเมตร ที่ต่อขึ้นมาจากถังสารละลายธาตุอาหารที่อยู่ด้านล่างแล้วต่อแยกออกเป็น 2 เส้น ขนานไปตามความยาวของตู้และกลับมาเชื่อมสายเข้าด้วยกันที่ปลายสายทั้งสอง และระหว่างสายทั้ง 2 เส้นนั้นทุกระยะ 40 เซนติเมตรจะเชื่อมต่อถึงกันเพื่อความสม่ำเสมอของแรงดันน้ำทุกจุดภายในท่อ บนท่อน้ำติดหัวพ่นหมอก (mist spray) อัตราพ่น 180 ลิตรต่อนาที ซึ่งเมื่อเปิดปั้มน้ำที่ใช้กำลังไฟฟ้า 0.1 kW/hr อัตราส่งน้ำ 90 ลิตร/ชม. จะทำให้หัวพ่นหมอกจะพ่นสารละลายขึ้นด้านบนครอบคลุมทั่วทั้งตู้ทึบแสงและเมื่อตกลงสู่พื้นตู้จะไหลกลับลงมาถังสารละลายได้ตู้ปลูกตรงช่องเดียวกับที่ท่อน้ำขึ้นมา ด้านบนของตู้ปิดด้วยแผ่นโฟมที่เจาะเป็นรูสำหรับสอดต้นกล้าระยะห่างระหว่างต้น 20×20 ซม. จำนวน 40 ช่อง/โต๊ะ บนแผ่นโฟมยังมีช่องสำหรับสอดสายวัดอุณหภูมิ (ภาพที่ 2 และ ภาพที่ 3)



ภาพที่ 2 แบบแสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของตู้ปลูกแอร์โพนิกส์ในการทดลอง



ภาพที่ 3 ตู้ปลูกรูฟโดยไม่ใช้ดินแบบแอร์โพนิกส์
การเตรียมโต๊ะปลูก NFT

โต๊ะปลูก NFT ประกอบด้วย รางปลูก NFT สีขาวของบริษัท Fresh garden hydrofarm จำกัด จำนวน 6 ราง วางอยู่บนขาตั้งที่ทำจากเหล็กกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 ซม. จำนวน 6 ขา ขาตั้งแต่ละขามีความสูงต่างกันไป เพื่อทำให้เกิดความลาดเอียงประมาณ 2% (หัวรางและท้ายรางมีความสูงจากพื้นต่างกัน 12 ซม.) รางแต่ละรางทำจากพลาสติกสีขาว 2 แผ่น (ฝา) ประกอบกันตามความยาว ที่ฝาด้านบนมีช่องที่เจาะเป็นรูกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 ซม. เพื่อเป็นช่องปลูกสำหรับวางถ้วยปลูกให้นั่งอยู่บนฝาด้านล่าง แต่ละรางมี 24 ช่องปลูก ที่หัวรางมีท่อ LDPE ขนาด 7 มม. จำนวน 2 ท่อ เพื่อปล่อยสารละลายธาตุอาหารที่สูบจากถังสารละลายได้โต๊ะ อัตราจ่ายสารละลายเท่ากับ 2 ลิตร/นาฬิกา/ราง ทำให้สารละลายธาตุอาหารไหลเป็นฟิล์มบางๆหนาประมาณ 2 มม. จากหัวรางมายังท้ายราง และกลับลงสู่ถังสารละลายก่อนถูกสูบกลับขึ้นไปจ่ายยังหัวรางอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาตลอดทั้งวัน (ภาพที่ 4)

ตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ทั้ง 3 ตู้ และโต๊ะปลูก NFT วางอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกันในโรงเรือนมุ้งตาข่ายขนาด 32 ช่องค่อนี้ว (mesh) หลังคาพลาสติก หนา แปลงทดลอง 1 ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม (ภาพที่ 5)

การเตรียมต้นกล้าและการย้ายปลูก

เพาะเมล็ดผักกาดหอมชนิดคอสมันธุ์ Tiberius ลงในฟองน้ำขึ้นที่กรีดด้านบนเป็นรูปกากบาทลึกประมาณ 1 เซนติเมตร สำหรับเป็นช่องหยอดเมล็ด ก่อนใส่ฟองน้ำที่เพาะเมล็ดแล้วลงในกล่องเพาะเมล็ดปิดฝา นำเข้าตู้เพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 วัน เมื่อเมล็ดงอกและมีใบเลี้ยงจึงนำออกมาวางไว้ให้ได้รับแสงในตอนเช้าและรดน้ำด้วยน้ำเปล่า 2 วัน จึงย้ายฟองน้ำที่มีต้นกล้าใส่ลงในถ้วยปลูก NFT และย้ายลงอนุบาลในโต๊ะปลูก NFT ที่มีความลาดชัน 2 เปอร์เซ็นต์ ใช้อัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารสูตร Enshi ที่ 2 ลิตร/นาฬิกา ควบคุมความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารในรูปของการนำไฟฟ้าและค่า pH ที่ 0.5 mS/cm และ 5.5 – 6.5 ตามลำดับ จนผักกาดหอมมีอายุได้ 2 สัปดาห์หลังเพาะเมล็ดจึงนำมาใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 4 โต๊ะปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ NFT



ภาพที่ 5 โรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต
กำแพงแสน จ.นครปฐม

การสุ่มตัวอย่าง

หลังจากอนุบาลกล้าผักกาดหอม ด้วยเทคนิค NFT เป็นเวลา 2 สัปดาห์ หลังเพาะเมล็ดแล้ว ก่อนการสุ่มตัวอย่างทำการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ตำแหน่งต่างๆบนรางปลูก NFT เพื่อตรวจสอบความสม่ำเสมอของการเจริญเติบโตพบว่าผักกาดหอมที่ปลูกในตำแหน่งต่างๆบนรางปลูกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 1) จึงเริ่มสุ่มผักกาดหอมจำนวน 40 ต้น จากโต๊ะปลูก NFT มาย้ายปลูกในตู้ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบแอโรโพนิกส์นาน 1 สัปดาห์ จากนั้นจึงสุ่มผักกาดหอมจากทั้งโต๊ะปลูก NFT และตู้ปลูกแบบแอโรโพนิกส์ เทคนิคละ 10 ต้น มาศึกษาการเจริญเติบโต หลังการสุ่มแทนที่ตำแหน่งที่ว่างอยู่บนตู้ปลูกแอโรโพนิกส์ด้วยต้นผักกาดหอมจากโต๊ะ NFT ซึ่งมีอายุเพิ่มขึ้น แล้วมาปลูกต่อในตู้ปลูกแอโรโพนิกส์อีก 1 สัปดาห์ ก่อนนำไปเปรียบเทียบการเจริญเติบโตกับผักที่อยู่ในโต๊ะปลูก NFT ทำเช่นนี้สัปดาห์ละ 1 ครั้งเป็นเวลาติดต่อกัน 4 สัปดาห์

การจัดการสารละลายธาตุอาหารในระหว่างการปลูก

ระหว่างปลูกมีการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารในรูปของค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร (EC) และค่าการเป็นกรด-ด่างของสารละลายธาตุอาหาร (pH) ในถังสารละลายธาตุอาหารของตู้ปลูกแอโรโพนิกส์และโต๊ะปลูก NFT ดังนี้ ควบคุมค่า EC ของสารละลายธาตุอาหาร (Enshi's solution) ให้เท่ากับ 1.2 mS/cm ด้วยการเติมสารละลายธาตุอาหารเข้มข้นเมื่อค่า EC ต่ำกว่าที่กำหนด หรือน้ำเมื่อค่า EC สูงกว่าที่กำหนด รักษาค่า pH ของสารละลายอยู่ในช่วง 5.5 – 6.5 ด้วยการเติมกรดไนตริก (HNO_3) ทุกเช้าและเปลี่ยนถ่ายสารละลายธาตุอาหารทั้ง 2 เทคนิคทุกสัปดาห์เป็นเวลา 4 สัปดาห์ สำรองการทำงานของปั๊มน้ำของทั้ง 2 ระบบ และการอุดต้นของหัวพ่นหมอกสำหรับตู้ปลูกแอโรโพนิกส์ตลอดอายุพืชจนเก็บเกี่ยว

การบันทึกข้อมูล

1. อุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูกแอโรโพนิกส์

บันทึกอุณหภูมิภายนอกตู้ปลูกด้วยเครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิอัตโนมัติ (Data logger) รุ่น HOBO Pro Series (ภาพที่ 6) เหนือทรงพุ่ม 50 เซนติเมตรโดยตั้งค่าการบันทึกข้อมูลทุก 1

ชั่วโมงตั้งแต่เวลา 7.00 น. ถึง 18.00 น. จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์เป็นเวลาติดต่อกัน 4 สัปดาห์นับจากย้ายปลูก

2. อุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกเอโรโพนิกส์

บันทึกอุณหภูมิภายในตู้ปลูกด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลซึ่งออกแบบและสร้างโดย อ.ธนา ชีพสมทรง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม (ภาพที่ 7) ซึ่งเครื่องดังกล่าวได้ผ่านการสอบเทียบค่ากับเครื่องเทียบอุณหภูมิยี่ห้อ Hart Scientific รุ่น A 42610 Model 9103 ของบริษัท A Fluke company ประเทศสหรัฐอเมริกา (ภาพที่ 8) ในการวัดอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกเอโรโพนิกส์ทำโดยสอดหัววัดอุณหภูมิไปกลางตู้ปลูกทันทีหลังจากการหยุดการพ่นสารละลายธาตุอาหารภายในตู้ปลูกนาน 1 นาที บันทึกข้อมูลทุก 1 ชั่วโมงตั้งแต่เวลา 7.00 น. ถึง 18.00 น. จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์เป็นเวลา 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก

3. การเจริญเติบโต

3.1 น้ำหนักสดส่วนยอด (Shoot fresh weight) และส่วนราก (Root fresh weight) แยกส่วนยอดและรากออกจากกันโดยตัดผักที่โคนต้น ก่อนชั่งน้ำหนักส่วนราก ทำการเอียงเล็มฟองน้ำที่เป็นวัสดุปลูกออกให้หมด แล้วนำไปชั่ง บันทึกหน่วยเป็นกรัม

3.2 น้ำหนักแห้งส่วนยอด (Shoot dry weight) และส่วนราก (Root dry weight) นำชิ้นส่วนของพืชที่ผ่านการชั่งน้ำหนักสดแล้วไปอบด้วยตู้อบลมร้อนด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่ง บันทึกหน่วยเป็นกรัม

3.3 จำนวนใบ (Leaf number) บันทึกจำนวนใบผักกาดหอม โดยใบที่บันทึกนั้นไม่ใช่ใบเลี้ยง และเป็นใบกางเต็มที่แล้ว และมีความยาวมากกว่า 2 เซนติเมตร นับเป็น 1 ใบ

3.4 พื้นที่ใบ (Leaf area) ใช้ใบซึ่งนับได้จากการนับจำนวนใบมาวัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ รุ่น Li 3100 Area Meter ของบริษัท

วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์ด้วยการเปรียบเทียบประชากรสองกลุ่ม (t test) ของข้อมูลการเจริญเติบโตที่บันทึกเป็นรายสัปดาห์

ระยะเวลาและสถานที่ทำการทดลอง

ระหว่างเดือน สิงหาคม – กันยายน 2550 ณ โรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน แปลงทดลอง 1 ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม



ภาพที่ 6 เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิอัตโนมัติ (Data logger) รุ่น HOBO Pro Series



ภาพที่ 7 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัลจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน



ภาพที่ 8 เครื่องเทียบอุณหภูมิหือ Hart Scientific รุ่น A 42610 Model 9103 ของบริษัท A Fluke
company ประเทศสหรัฐอเมริกา

การทดลองที่ 2 อิทธิพลของจังหวะการผันสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของ ผักกาดหอมที่ปลูกด้วยเทคนิคแบบแอโรโพนิกส์

ศึกษาการเจริญเติบโตของผักกาดหอมชนิดคอสที่ปลูกด้วยเทคนิคแอโรโพนิกส์ที่ได้รับ
อิทธิพลจากจังหวะในการผันสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน พร้อมทั้งศึกษาอุณหภูมิอากาศ
ภายในและภายนอกตู้ปลูก และอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารระหว่างทำการทดลอง

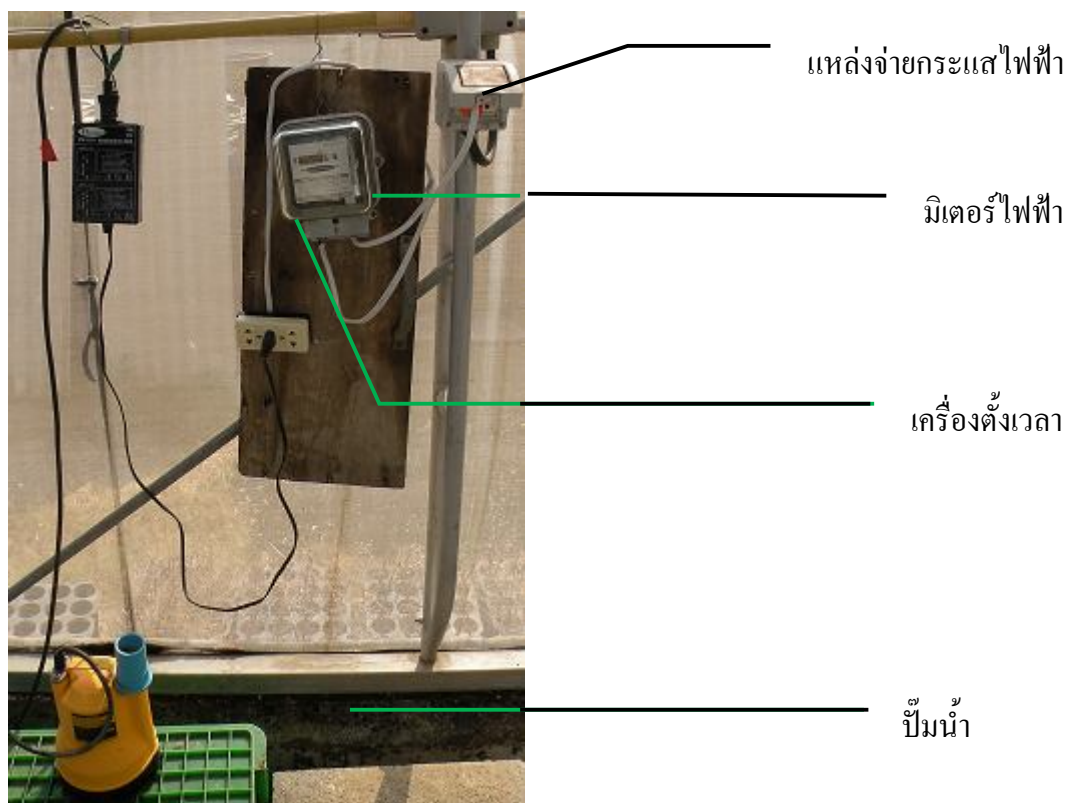
การคัดเลือกจังหวะการผันสารละลายจากค่าพลังงานไฟฟ้า

เพื่อให้ทราบอัตราพลังงานไฟฟ้า (kW/hr) ของจังหวะการผันสารละลายธาตุอาหาร
จังหวะต่างๆ จึงทำการเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ผันสารละลายธาตุอาหาร โดยใช้ปั้มน้ำที่ใช้
กำลังไฟฟ้า 0.1 kW/hr อัตราการส่งน้ำ 90 ลิตร/ชั่วโมง และกำหนดจังหวะการเปิดปิดของปั้มน้ำด้วย
เครื่องตั้งเวลาอัตโนมัติยี่ห้อ PM primus รุ่น pm – 020 และบันทึกปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ไปในแต่ละ
จังหวะการทำงานด้วยมิเตอร์ไฟฟ้า (ภาพที่ 9) จากนั้นเปิดเครื่องให้ปั้มน้ำทำงานตามจังหวะการผัน
สารละลายธาตุอาหาร 21 จังหวะคือ

- | | |
|---------------------------------|-------------------------------|
| 1. พ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลา | 2. พ่น 1 นาที หยุดพ่น 1 นาที |
| 3. พ่น 1 นาที หยุดพ่น 2 นาที | 4. พ่น 1 นาที หยุดพ่น 3 นาที |
| 5. พ่น 1 นาที หยุดพ่น 4 นาที | 6. พ่น 1 นาที หยุดพ่น 5 นาที |
| 7. พ่น 1 นาที หยุดพ่น 6 นาที | 8. พ่น 1 นาที หยุดพ่น 7 นาที |
| 9. พ่น 1 นาที หยุดพ่น 8 นาที | 10. พ่น 1 นาที หยุดพ่น 9 นาที |
| 11. พ่น 1 นาที หยุดพ่น 10 นาที | 12. พ่น 2 นาที หยุดพ่น 1 นาที |
| 13. พ่น 2 นาที หยุดพ่น 2 นาที | 14. พ่น 2 นาที หยุดพ่น 3 นาที |
| 15. พ่น 2 นาที หยุดพ่น 4 นาที | 16. พ่น 2 นาที หยุดพ่น 5 นาที |
| 17. พ่น 3 นาที หยุดพ่น 1 นาที | 18. พ่น 3 นาที หยุดพ่น 2 นาที |
| 19. พ่น 3 นาที หยุดพ่น 3 นาที | 20. พ่น 3 นาที หยุดพ่น 4 นาที |
| 21. พ่น 3 นาที หยุดพ่น 5 นาที | |

ในแต่ละจังหวะให้ปั้มน้ำทำงานเป็นเวลา 1, 2, 5, 10, 20, และ 24 ชั่วโมง โดยจดเลขมิเตอร์
ก่อนและหลังการทำงานของปั้มน้ำแล้วนำข้อมูลที่ได้จากแต่ละเวลาการทำงานของปั้มน้ำที่ดึงไว้มาคิด

เป็นอัตราพลังงานไฟฟ้าต่อชั่วโมง แล้วจึงนำค่าอัตราพลังงานไฟฟ้าต่อชั่วโมงมาเฉลี่ยอีกครั้งเพื่อให้ได้อัตราพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชั่วโมง (kW/hr) (ตารางที่ 2) สำหรับประกอบการตัดสินใจเลือกใช้ ในการทดลอง โดยคัดเลือกจังหวะการพ่นสารละลาย 1 นาที หยุด 10 นาที ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้า 0.01 kW/hr ซึ่งเป็นจังหวะที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด และเลือกจังหวะการพ่นสารละลาย 1 นาที หยุด 6 นาที ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้า 0.02 kW/hr เนื่องจากเป็นจังหวะที่ใช้พลังงานน้อยและมี จังหวะการหยุดพ่นสั้นที่สุด เปรียบเทียบกับการพ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลาซึ่งใช้เป็น จังหวะมาตรฐานและใช้พลังงานไฟฟ้า 0.1 kW/hr



ภาพที่ 9 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้า (kW/hr) ของจังหวะการผันสารละลาย ที่ต่างกันเพื่อคัดเลือกทริทเมนต์ในการทดลอง

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้า (kW/hr) ที่เกิดจากการฟ่นสารละลายธาตุอาหารจังหวะต่างๆกัน
ของปั้มน้ำที่ใช้กำลังไฟฟ้า 0.1 kW/hr อัตราส่งน้ำ 90 ลิตร/ชม.

จังหวะฟ่นสารละลาย เปิด – ปิด (นาทื)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ (kW/hr)
ตลอดเวลา	0.11 *
1 – 1	0.07
1 – 2	0.05
1 – 3	0.04
1 – 4	0.03
1 – 5	0.03
1 – 6	0.02 *
1 – 7	0.02
1 – 8	0.02
1 - 9	0.02
1 - 10	0.01 *
2 – 1	0.12
2 – 2	0.10
2 - 3	0.07
2 – 4	0.07
2 – 5	0.05
3 – 1	0.14
3 – 2	0.15
3 – 3	0.15
3 – 4	0.17
3 - 5	0.15

* จังหวะการฟ่นสารละลายธาตุอาหารที่เลือกนำไปใช้ในการทดลองที่ 2

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design) ประกอบด้วย 3 ทรีทเมนต์ คือ จังหวะในการพ่นสารละลายธาตุอาหาร ทรีทเมนต์ละ 10 ชั่วโมง (ต้นผักกาดหอม) ดังนี้

- ทรีทเมนต์ที่ 1 พ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลา
- ทรีทเมนต์ที่ 2 พ่นสารละลายธาตุอาหาร 1 นาที หยุด 6 นาที
- ทรีทเมนต์ที่ 3 พ่นสารละลายธาตุอาหาร 1 นาที หยุด 10 นาที

การเตรียมตู้ปลูกแอรโอโพนิกส์

เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

การตั้งเวลาในการพ่นสารละลายธาตุอาหาร

ตั้งเวลาการพ่นสารละลายธาตุอาหารตามทรีทเมนต์ที่กำหนดด้วยเครื่องตั้งเวลาอัตโนมัติ ยี่ห้อ PM minus รุ่น pm-020 โดยต่อปั้มน้ำผ่านเครื่องตั้งเวลา

การเตรียมต้นกล้า การย้ายปลูกและการสุ่มตัวอย่าง

เพาะเมล็ดผักกาดหอมชนิดคอสพันธุ์ Tiberius และอนุบาลกล้าผักด้วยเทคนิค NFT เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และเมื่อผักกาดหอมที่อนุบาลด้วยเทคนิค NFT มีอายุครบ 2 สัปดาห์ หลังเพาะเมล็ด ก่อนการสุ่มตัวอย่างทำการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ตำแหน่งต่างๆบนรางปลูก NFT เพื่อตรวจสอบความสม่ำเสมอของการเจริญเติบโตพบว่าผักกาดหอมที่ปลูกในตำแหน่งต่างๆบนรางปลูกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 2) จึงเริ่มสุ่มผักกาดหอมจำนวน 120 ต้น มาย้ายปลูกในตู้ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบแอรโอโพนิกส์ จำนวน 3 ตู้ๆละ 40 ต้นที่มีจังหวะการพ่นสารละลายธาตุอาหารที่ต่างกัน จากนั้นทุกๆสัปดาห์ ทำการสุ่มต้นผักกาดหอมจำนวน 10 ต้นออกจากตู้แอรโอโพนิกส์มาศึกษาการเจริญเติบโต และแทนที่ตำแหน่งที่สุ่มออกมาด้วยผักกาดหอมซึ่งอนุบาลอยู่ในโต๊ะปลูก NFT ที่มีอายุเพิ่มขึ้นเป็น 1, 2, และ 3 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก เป็นเวลานานอีก 1 สัปดาห์ จึงนำออกมาวัดการเจริญเติบโต เพื่อศึกษาอิทธิพลของ

จังหวัดการปนสารละลายในตู้ปลูกแบบแอโรโพนิคส์นาน 1 สัปดาห์ ต่อการเจริญเติบโตของ ผักกาดหอมคอสที่ระดับอายุต่าง ๆ กัน

การปลูก และการจัดการสารละลายธาตุอาหาร

เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

การบันทึกข้อมูล

1. อุณหภูมิอากาศภายใน และภายนอกตู้ปลูกแอโรโพนิคส์

บันทึกอุณหภูมิภายนอกและภายในตู้ปลูกด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลซึ่ง ออกแบบและประดิษฐ์ขึ้นโดย อ.ธนา ชีพสมทรง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ซึ่งผ่านการสอบเทียบกับเครื่องเทียบอุณหภูมิยี่ห้อ Hart Scientific รุ่น A 42610 Model 9103 ของบริษัท A Fluke company ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยอุณหภูมิภายนอกตู้ ปลูกวัดเหนือทรงพุ่ม 50 เซนติเมตร ส่วนอุณหภูมิภายในวัดอุณหภูมิด้วยการสอดหัววัดอุณหภูมิไป กลางตู้ปลูกหลังจากการหยุดพ่นสารละลายธาตุอาหารภายในตู้ปลูกนาน 1 นาที บันทึกข้อมูลทุก 1 ชั่วโมงตั้งแต่วันที่ 7.00 น. ถึง 18.00 น. จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์เป็นเวลา 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก

2. การเจริญเติบโต

2.1 น้ำหนักสดส่วนยอด (shoot fresh weight) และส่วนราก (root fresh weight) ทำ การตัดแยกส่วนและชั่งน้ำหนักสดเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

2.2 น้ำหนักแห้งส่วนยอด (shoot dry weight) และส่วนราก (root dry weight)

เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

2.3 จำนวนใบ (leaf number)

เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

2.4 พื้นที่ใบ (leaf area)

เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ของข้อมูลการเจริญเติบโตที่บันทึกเป็นรายสัปดาห์ เมื่อพบความแตกต่างทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple - Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลาและสถานที่ทำการทดลอง

ระหว่างเดือน กุมภาพันธ์ – มีนาคม 2551 ณ โรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน แปลงทดลอง 1 ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม

การทดลองที่ 3 ผลของการระบายอากาศภายในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์และจังหวะในการพ่น

สารละลายธาตุอาหารที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

ศึกษาผลของวิธีการระบายอากาศ 2 วิธี คือ ไม่มีการระบายอากาศโดยใช้ตู้ปลูกแบบปิดทึบ (common chamber) และการระบายอากาศโดยใช้ตู้ปลูกแบบที่มีช่องระบายอากาศ (ventilated or louver chamber) และจังหวะในการพ่นสารละลายธาตุอาหารที่ต่างกัน 2 จังหวะ คือ พ่นตลอดเวลา และพ่น 1 นาทีหยุด 6 นาที ที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมชนิดคอสที่ปลูกด้วยเทคนิคแอโรโพนิคส์

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) ประกอบด้วย 3 ทรีทเมนต์ ทรีทเมนต์ละ 10 ซ้ำ (ต้นผักกาดหอม)

ทรีทเมนต์ที่ 1 ตู้ปลูกแบบปิดทึบที่พ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลา

ทรีทเมนต์ที่ 2 ตู้ปลูกแบบที่มีช่องระบายอากาศและมีการพ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลา

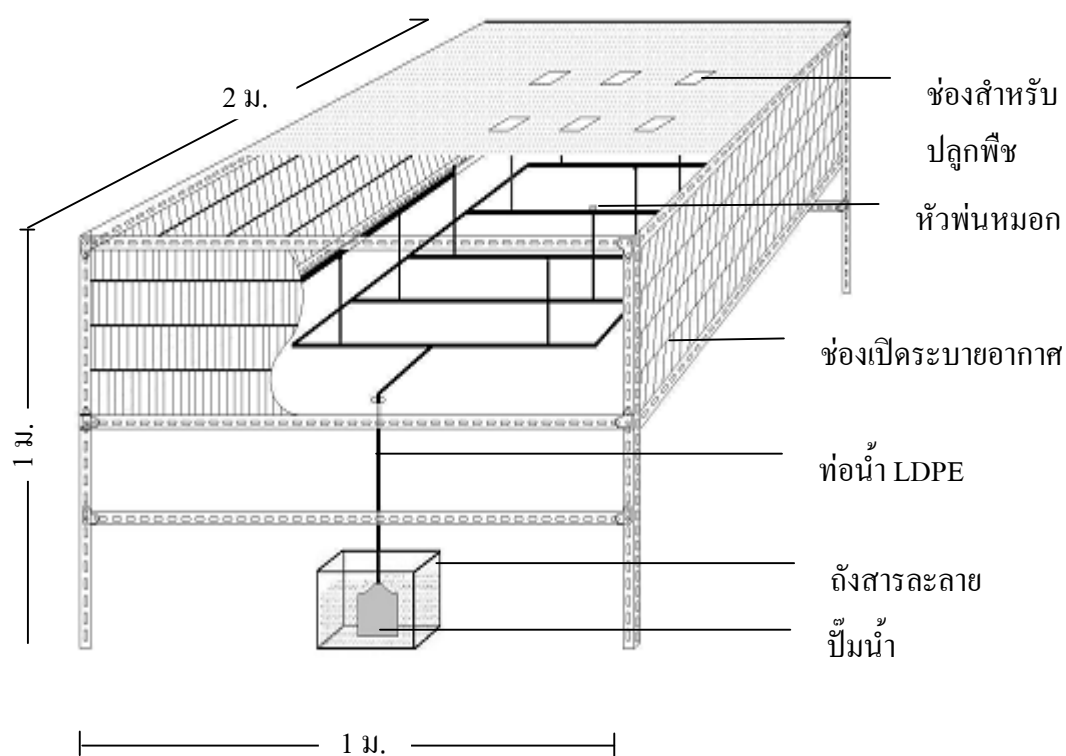
ทรีทเมนต์ที่ 3 ตู้ปลูกแบบที่มีช่องระบายอากาศและมีการพ่นสารละลายในจังหวะพ่น 1 นาที หยุด 6 นาที

การเตรียมตู้ปลูกเอโรโพนิกส์แบบปิดทึบ

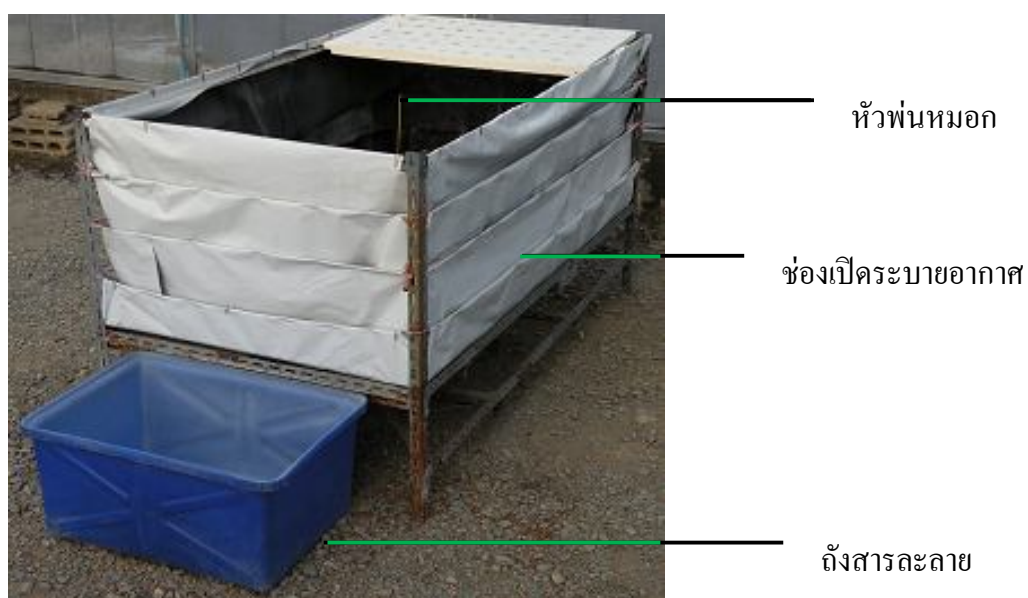
เหมือนกับการทดลองที่ 1

การเตรียมตู้ปลูกเอโรโพนิกส์แบบที่มีเปิดระบายอากาศ

สร้างตู้ปลูกเอโรโพนิกส์ที่มีช่องระบายอากาศด้านข้างตู้โดยรอบทั้ง 4 ด้าน โดยโครงสร้างของตู้ปลูกสร้างด้วยเหล็กฉาก และมีขนาดเช่นเดียวกับตู้ปลูกแบบปิดทึบ ที่ผนังทั้ง 4 ด้านมีกริบระบายอากาศซ้อนกันจากบนลงล่าง กริบทำจากผ้าพลาสติกขาว – ดำ ตัดให้มีความกว้าง 25 เซนติเมตร ยาวตามความยาวของด้านทั้ง 4 ของตู้ วางให้ชายกริบบนซ้อนอยู่ด้านในของกริบล่าง เพื่อป้องกันการกระเด็นออกของสารละลายธาตุอาหารขณะพ่น ภายในตู้มีระบบการพ่นสารละลายธาตุอาหาร และอุปกรณ์อื่นๆเหมือนตู้ปลูกแบบปิดทึบทุกประการ (ภาพที่ 10 และ ภาพที่ 11)



ภาพที่ 10 แบบแสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของตู้ปลูกแอโรโพนิคส์แบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศในการทดลอง



ภาพที่ 11 ตู้ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเทคนิคแอโรโพนิคส์แบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศ

การเตรียมต้นกล้า การย้ายปลูกและการสุ่มตัวอย่าง

เพาะเมล็ดผักกาดหอมชนิดคอสมันธุ์ Tiberius และอนุบาลกล้าผักด้วยเทคนิค NFT เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และเมื่อผักกาดหอมที่อนุบาลด้วยเทคนิค NFT มีอายุครบ 2 สัปดาห์ หลังเพาะเมล็ด ก่อนการสุ่มตัวอย่างทำการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ตำแหน่งต่างๆบนรางปลูก NFT เพื่อตรวจสอบความสม่ำเสมอของการเจริญเติบโตพบว่าผักกาดหอมที่ปลูกในตำแหน่งต่างๆบนรางปลูกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 3) จึงเริ่มสุ่มผักกาดหอมจำนวน 120 ต้น มาย้ายปลูกในตู้ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบแอโร โพนิกส์ทั้ง 3 ตู้ๆละ 40 ต้น จากนั้นทุกๆสัปดาห์ทำการสุ่มผักกาดหอมจำนวน 10 ต้นออกจากตู้ปลูกแอโร โพนิกส์ มาศึกษาการเจริญเติบโต และแทนที่ตำแหน่งที่สุ่มออกมาด้วยผักกาดหอมที่เพาะไว้ในโต๊ะปลูก NFT โดยการสุ่มผักกาดหอมเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตแต่ละสัปดาห์จะไม่สุ่มผักกาดหอมที่นำมาแทนที่ เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกในตู้ปลูกแอโร โพนิกส์นาน 1, 2, 3, และ 4 สัปดาห์

การจัดการสารละลายธาตุอาหาร

เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

การบันทึกข้อมูล

1. อุณหภูมิอากาศภายใน และภายนอกตู้ปลูกแอโร โพนิกส์

เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2

2. การเจริญเติบโต

2.1 นำหนักสดส่วนยอด (shoot fresh weight) และส่วนราก(root fresh weight) ทำการตัดแยกส่วนและชั่งน้ำหนักสดเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

2.2 น้ำหนักแห้งส่วนยอด (shoot dry weight) และส่วนราก (root dry weight)

เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

2.3 จำนวนใบ (leaf number)

เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

2.4 พื้นที่ใบ (leaf area)

เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

ปริมาณการใช้น้ำ

ศึกษาปริมาณการใช้น้ำในเวลากลางวันตลอดฤดูกาลของผักกาดหอม ที่ปลูกในตู้ปลูกเอโรโพนิคส์ทั้ง 3 แบบ ด้วยการวัดระดับสารละลายธาตุอาหารที่ลดลงไปจากขอบบนของถังสารละลายธาตุอาหารขนาด 48 x 66 x 29 ซม. ในเวลากลางวัน โดยการเตรียมสารละลายธาตุอาหารให้เต็มถังสารละลายธาตุอาหารแต่ละถังก่อนการเริ่มเก็บข้อมูลในเวลา 7.00 น. และวัดระดับที่สารละลายลดลงจากขอบบนของถังสารละลายธาตุอาหารในเวลา 18.00 น. โดยเก็บข้อมูลจำนวน 5 วันต่อสัปดาห์เป็นเวลา 4 สัปดาห์หลังเพาะกล้า แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยการใช้น้ำต่อวัน (มล/วัน)

วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ของข้อมูลการเจริญเติบโตที่บันทึกเป็นรายสัปดาห์ เมื่อพบความแตกต่างทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple - Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลาและสถานที่ทำการทดลอง

ระหว่างเดือน เมษายน – พฤษภาคม 2551 ณ โรงเรือนปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน แปลงทดลอง 1
ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.
นครปฐม

ผล

การทดลองที่ 1 การเจริญเติบโตของผักกาดหอม และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายใน และภายนอกตู้ปลูกแอรโพนิกส์

ศึกษาการเจริญเติบโตในแต่ละช่วงอายุของผักกาดหอมคอสที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินด้วยเทคนิคแอรโพนิกส์เปรียบเทียบกับผักที่ปลูกด้วยเทคนิค NFT พร้อมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกตู้ปลูกที่แตกต่างกัน 3 ลักษณะ ได้แก่ ตู้ปลูกที่ไม่มีการพ่นสารละลายธาตุอาหารและไม่ปลูกพืช ตู้ปลูกที่พ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลาแต่ไม่ปลูกพืช และตู้ปลูกที่พ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลาและปลูกพืช ทำการศึกษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ระหว่างเดือนสิงหาคม – กันยายน 2550 มีผลการศึกษาดังนี้

1.1 อุณหภูมิอากาศภายในและในตู้ปลูก

อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในเวลากลางวันตลอด 4 สัปดาห์ของการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาโดยเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 7.00 น จนถึงค่าสูงสุดที่เวลา 15.00 น และมีผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอกตู้ปลูกแอรโพนิกส์ทั้ง 3 แบบ ในแต่ละสัปดาห์ดังนี้

1.1.1 สัปดาห์ที่ 1

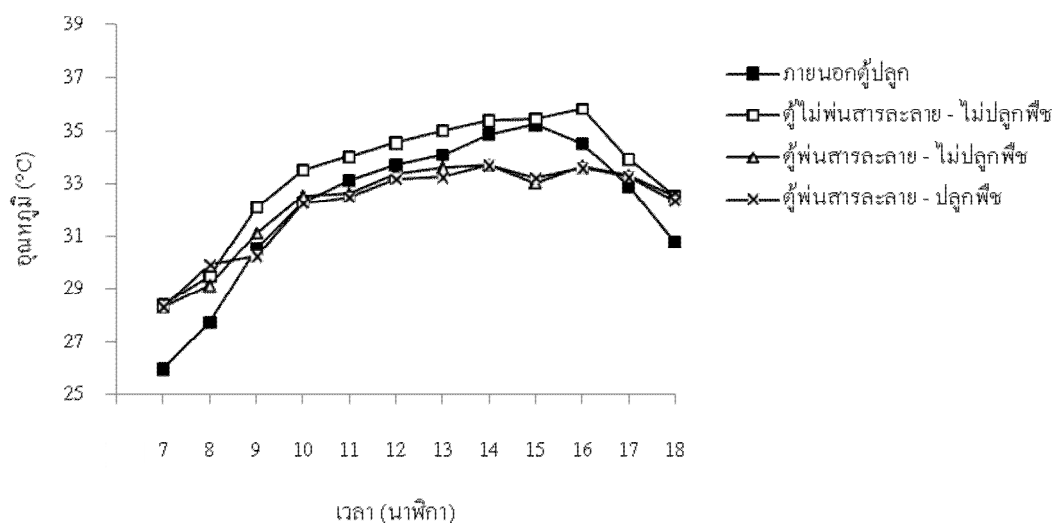
อุณหภูมิของอากาศภายในตู้ปลูกแบบที่ไม่มีการพ่นสารละลายและไม่ปลูกพืช ในเวลากลางวันมีค่าระหว่าง $28.4 - 35.8^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ย 33.3°C สูงกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกตู้ปลูกที่มีค่าระหว่าง $26 - 35.2^{\circ}\text{C}$ มีค่าเฉลี่ย 32.1°C และสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศภายในตู้ปลูกแบบที่มีการพ่นสารละลายทั้ง 2 แบบ (ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช) ซึ่งทั้งสองแบบหลังมีค่าใกล้เคียงกัน โดยอุณหภูมิในตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายแต่ไม่ปลูกพืชและปลูกพืชมีค่าระหว่าง $28.3 - 33.7^{\circ}\text{C}$ และ $28.3 - 33.6^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ย 32.3°C และ 32.1°C ตามลำดับ (ภาพที่ 12)

เมื่อพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิอากาศระหว่างเวลา 10.00 น ถึง 14.00 น ซึ่งเป็นช่วงที่อากาศภายนอกสูงที่สุดของวัน พบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในตู้ปลูกที่ไม่พ่นสารละลายและไม่ปลูกพืชมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 0.9°C หรือคิดเป็น 3.78% ส่วนตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายทั้งตู้ที่ไม่ปลูกพืชและปลูกพืชมีอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก 0.4°C และ 0.6°C หรือคิดเป็น 1.19% และ 1.79% ตามลำดับ

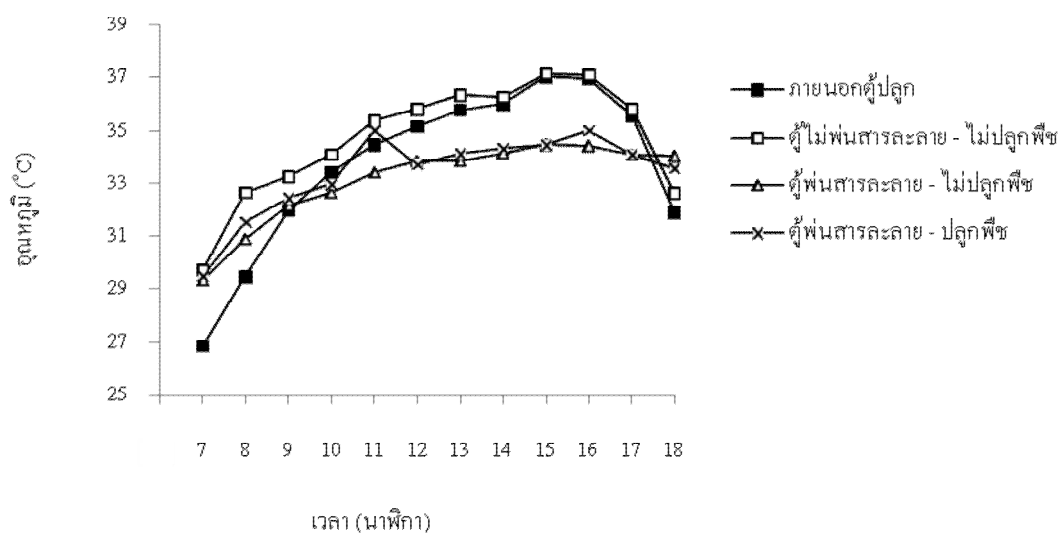
1.1.2 สัปดาห์ที่ 2

อุณหภูมิของอากาศภายในตู้ปลูกแบบที่ไม่มีการพ่นสารละลายและไม่ปลูกพืชในเวลากลางวันมีค่าระหว่าง $29.7 - 37.1^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ยที่ 34.7°C สูงกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกตู้ปลูกที่มีค่าระหว่าง $26.8 - 37.0^{\circ}\text{C}$ มีค่าเฉลี่ย 33.7°C สูงกว่าอุณหภูมิของอากาศภายในตู้ปลูกแบบที่มีการพ่นสารละลายทั้ง 2 แบบ (ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน โดยอุณหภูมิในตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายแต่ไม่ปลูกพืชและปลูกพืชมีค่าระหว่าง $29.3 - 34.4^{\circ}\text{C}$ และ $29.5 - 35.0^{\circ}\text{C}$ มีค่าเฉลี่ย 33.1°C และ 33.4°C ตามลำดับ (ภาพที่ 13)

เมื่อพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิอากาศระหว่างเวลา 10.00 น ถึง 14.00 น ซึ่งเป็นช่วงที่อากาศภายนอกสูงที่สุดของวัน พบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในตู้ปลูกที่ไม่พ่นสารละลายและไม่ปลูกพืชมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 0.6°C หรือคิดเป็น 1.77% ส่วนตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายทั้งตู้ที่ไม่ปลูกพืชและปลูกพืชมีอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก 1.4°C และ 1.0°C หรือคิดเป็น 3.95% และ 2.69% ตามลำดับ



ภาพที่ 12 อุณหภูมิเฉลี่ยในเวลากลางวันของอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกเอโรโพนิคส์ที่ไม่พ่นสารละลาย-ไม่ปลูกพืช พ่นสารละลาย-ไม่ปลูกพืช และพ่นสารละลาย-ปลูกพืชในสัปดาห์ที่ 1



ภาพที่ 13 อุณหภูมิเฉลี่ยในเวลากลางวันของอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกเอโรโพนิคส์ที่ไม่พ่นสารละลาย-ไม่ปลูกพืช พ่นสารละลาย-ไม่ปลูกพืช และพ่นสารละลาย-ปลูกพืชใน

สัปดาห์ที่ 2

1.1.3 สัปดาห์ที่ 3

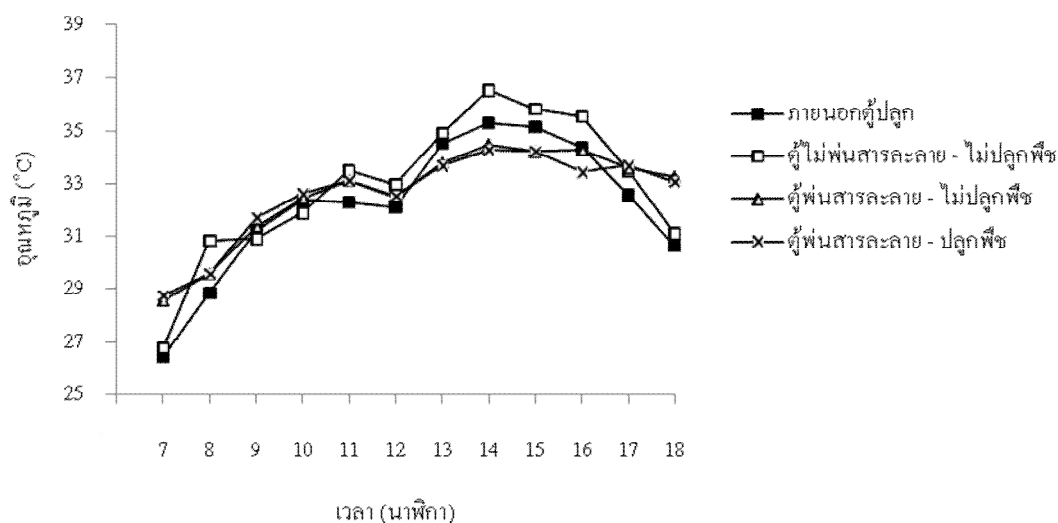
อุณหภูมิของอากาศภายในตู้ปลูกแบบที่ไม่มีการพ่นสารละลายและไม่ปลูกพืช ในเวลากลางวันมีค่าระหว่าง $26.8 - 35.5^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ยที่ 32.9°C สูงกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกตู้ปลูกที่มีค่าระหว่าง $26.4 - 35.3^{\circ}\text{C}$ มีค่าเฉลี่ย 32.1°C สูงกว่าอุณหภูมิของอากาศภายในตู้ปลูกแบบที่มีการพ่นสารละลายทั้ง 2 แบบ (ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน โดยอุณหภูมิในตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายแต่ไม่ปลูกพืชและปลูกพืชมีค่าระหว่าง $28.6 - 34.4^{\circ}\text{C}$ และ $28.7 - 34.3^{\circ}\text{C}$ มีค่าเฉลี่ย 32.6°C และ 32.6°C ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา พบว่า ในช่วงเวลาเช้าตั้งแต่ 7.00 – 12.00 น อุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในตู้ปลูกทั้งสามยังมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่หลังจาก 13.00 น เป็นต้นไป ความแตกต่างของอุณหภูมิเริ่มเห็นได้ชัดเจนขึ้น ดังกล่าวข้างต้น (ภาพที่ 14)

เมื่อพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิอากาศระหว่างเวลา 10.00 น ถึง 14.00 น ซึ่งเป็นช่วงที่อากาศภายนอกสูงที่สุดของวัน พบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในตู้ปลูกที่ไม่พ่นสารละลายและไม่ปลูกพืชมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 0.6°C หรือคิดเป็น 1.80% ส่วนตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายทั้งตู้ที่ไม่ปลูกพืชและปลูกพืชมีอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกไม่แตกต่างกันและต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก 0.1°C หรือคิดเป็น 0.30%

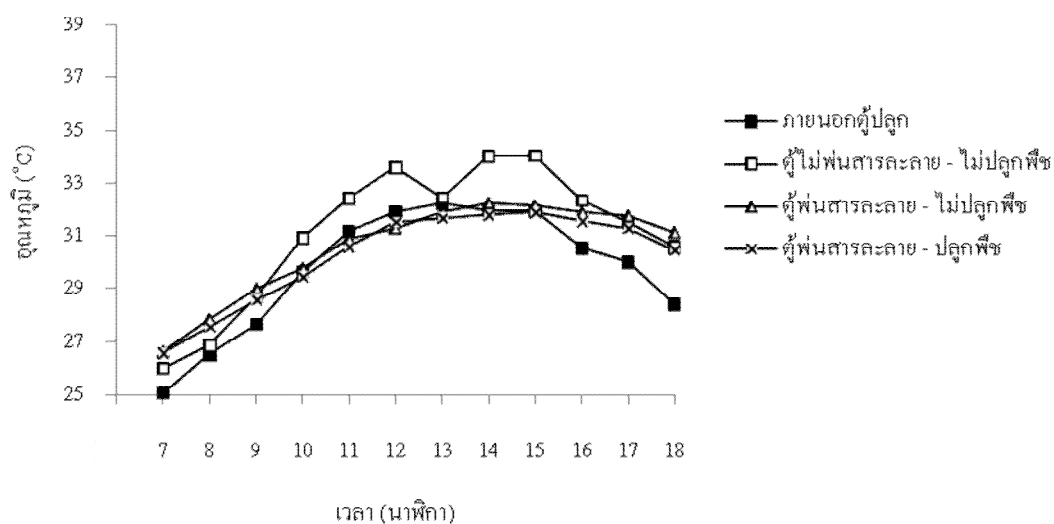
1.1.4 สัปดาห์ที่ 4

อุณหภูมิของอากาศภายในตู้ปลูกแบบที่ไม่มีการพ่นสารละลายและไม่ปลูกพืช ในเวลากลางวันมีค่าระหว่าง $26.0 - 34.0^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ยที่ 31.1°C สูงกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกตู้ปลูกที่มีค่าระหว่าง $25.1 - 32.2^{\circ}\text{C}$ มีค่าเฉลี่ย 29.7°C สูงกว่าอุณหภูมิของอากาศภายในตู้ปลูกแบบที่มีการพ่นสารละลายทั้ง 2 แบบ (ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน โดยอุณหภูมิในตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายแต่ไม่ปลูกพืชและปลูกพืชมีค่าระหว่าง $26.6 - 32.2^{\circ}\text{C}$ และ $26.3 - 31.9^{\circ}\text{C}$ มีค่าเฉลี่ย 30.6°C และ 30.2°C ตามลำดับ (ภาพที่ 15)

เมื่อพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิอากาศระหว่างเวลา 10.00 น ถึง 14.00 น ซึ่งเป็นช่วงที่อากาศภายนอกสูงที่สุดของวัน พบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในตู้ปลูกที่ไม่พ่นสารละลายและไม่ปลูกพืชมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 1.3°C หรือคิดเป็น 4.15% ส่วนตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายทั้งตู้ที่ไม่ปลูกพืชและปลูกพืชมีอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก 0.2°C และ 0.4°C หรือคิดเป็น 0.51% และ 1.78% ตามลำดับ



ภาพที่ 14 อุณหภูมิเฉลี่ยในเวลากลางวันของอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกเอโรโพนิกส์ที่ไม่พ่นสารละลาย-ไม่ปลูกพืช พ่นสารละลาย-ไม่ปลูกพืช และพ่นสารละลาย-ปลูกพืชในสัปดาห์ที่ 3



ภาพที่ 15 อุณหภูมิเฉลี่ยในเวลากลางวันของอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกเอโรโพนิกส์ที่ไม่พ่นสารละลาย-ไม่ปลูกพืช พ่นสารละลาย-ไม่ปลูกพืช และพ่นสารละลาย-ปลูกพืชในสัปดาห์ที่ 3

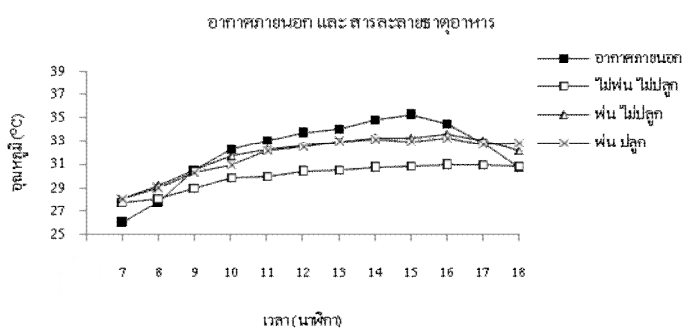
สัปดาห์ที่ 4

1.2 อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร

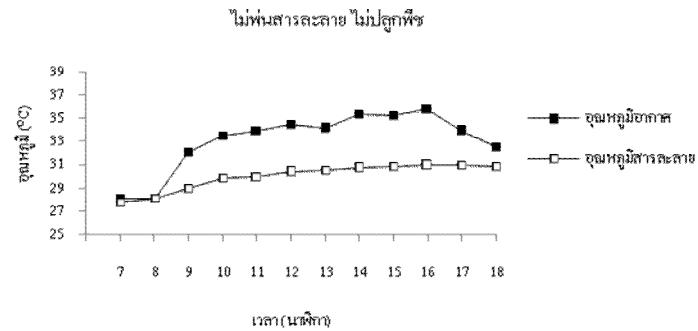
จากการบันทึกอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในถังพลาสติกขนาด 90 ลิตร ซึ่งวางอยู่ใต้โต๊ะปลูกแบบแอโรโพนิคส์ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในตู้ปลูก พบว่า

1.2.1 สัปดาห์ที่ 1

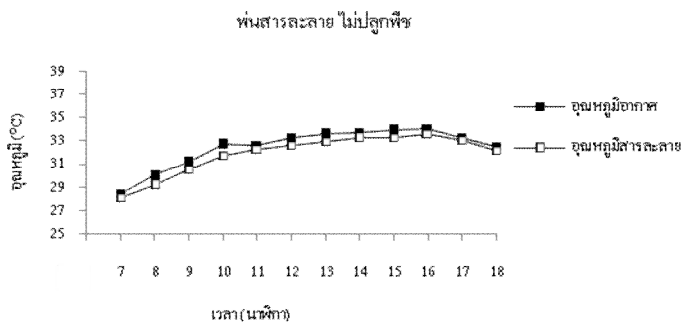
อุณหภูมิของสารละลายในถังสารละลายในเวลากลางวันมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามอุณหภูมิของอากาศภายนอก (ภาพที่ 16 a) และอุณหภูมิของสารละลายในถังสารละลายของตู้ปลูกทั้งสามมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ตู้ปลูกที่ไม่มีการพ่นสารละลายและไม่ปลูกพืช อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารที่ไม่ถูกพ่นเข้าไปในตู้ปลูกมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในเวลากลางวัน เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูก โดยมีอุณหภูมิที่ 27.8°C ในเวลา 7.00 น และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่อุณหภูมิ 31.0°C ที่เวลา 17.00 น ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในตู้ของตนเองประมาณ 3°C (ภาพที่ 16 b) ในขณะที่ตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายเข้าไปในตู้ปลูกทั้ง 2 ตู้ ทั้งแบบที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช พบว่า อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารของทั้ง 2 ตู้ มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างใกล้เคียงกันกับอุณหภูมิของอากาศภายในแต่ละตู้ โดยตู้ที่ไม่มีการปลูกพืช อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 28.1°C ในเวลา 7.00 น จนถึงค่าสูงสุดที่ 33.6°C ในเวลา 16.00 น ต่ำกว่าอุณหภูมิสูงสุดของอากาศภายในตู้ประมาณ 1°C ในเวลาเดียวกัน (ภาพที่ 16 c) ในขณะที่ตู้ปลูกที่มีการปลูกพืช อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 28.1°C ในเวลา 7.00 น จนมีค่าสูงสุดที่ 33.3°C ที่เวลา 16.00 น ต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายในตู้ประมาณ 1°C (ภาพที่ 16 d)



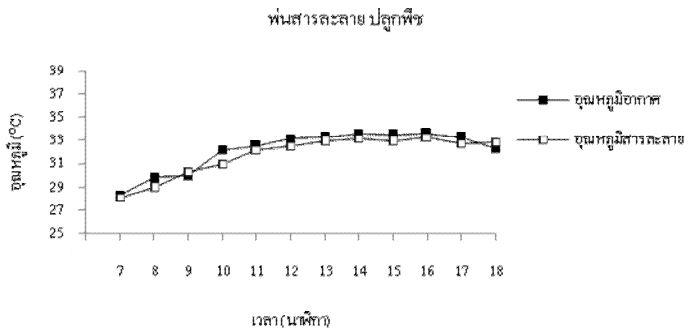
(a)



(b)



(c)

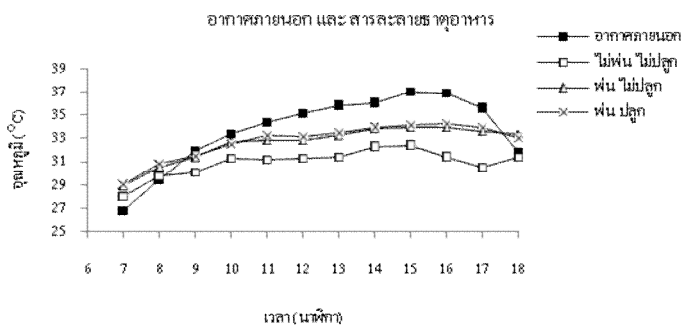


(d)

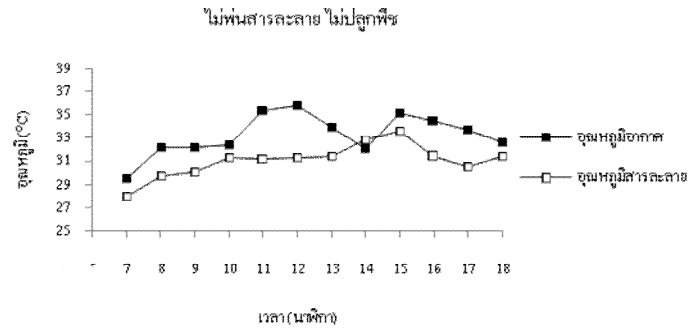
ภาพที่ 16 อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกที่ไม่พ่นสารละลายและพ่นสารละลายทั้งตู้ที่มีการปลูกพืชและไม่ปลูกพืช เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 1

1.2.2 สัปดาห์ที่ 2

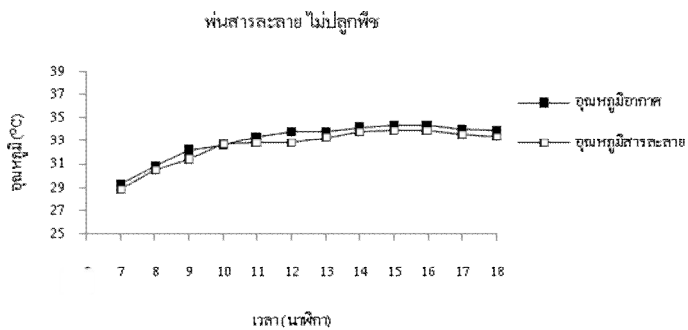
อุณหภูมิของสารละลายในถังสารละลายในเวลากลางวันมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามอุณหภูมิของอากาศภายนอก (ภาพที่ 17 a) และอุณหภูมิของสารละลายในถังสารละลายของตู้ปลูกทั้งสามมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ตู้ปลูกที่ไม่มีการพ่นสารละลายและไม่ปลูกพืช อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารที่ไม่ถูกพ่นเข้าไปในตู้ปลูกมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในเวลากลางวัน เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูก โดยมีอุณหภูมิที่ 28.2°C ในเวลา 7.00 น และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่อุณหภูมิ 31.0°C ที่เวลา 16.00 น ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในตู้ของตนเองประมาณ 3°C (ภาพที่ 17 b) ในขณะที่ตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายเข้าไปในตู้ปลูกทั้ง 2 ตู้ ทั้งแบบที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช พบว่า อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารของทั้ง 2 ตู้ มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างใกล้เคียงกันกับอุณหภูมิของอากาศภายในแต่ละตู้ โดยตู้ที่ไม่มีการปลูกพืช อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 28.3°C ในเวลา 7.00 น จนถึงค่าสูงสุดที่ 33.8°C ในเวลา 16.00 น ต่ำกว่าอุณหภูมิสูงสุดของอากาศภายในตู้ประมาณ 0.5°C ในเวลาเดียวกัน (ภาพที่ 17 c) ในขณะที่ตู้ปลูกที่มีการปลูกพืช อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 28.6°C ในเวลา 7.00 น จนมีค่าสูงสุดที่ 34.0°C ที่เวลา 16.00 น ต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายในตู้ประมาณ 0.5°C (ภาพที่ 17 d)



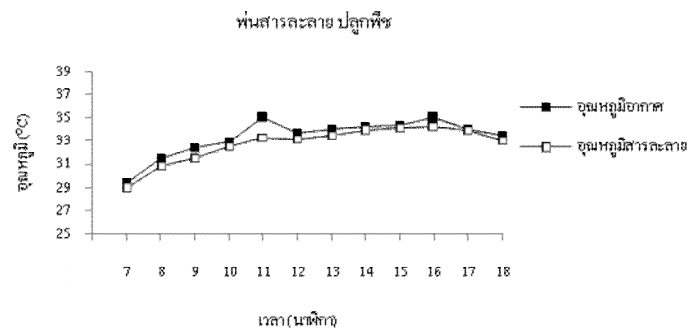
(a)



(b)



(c)

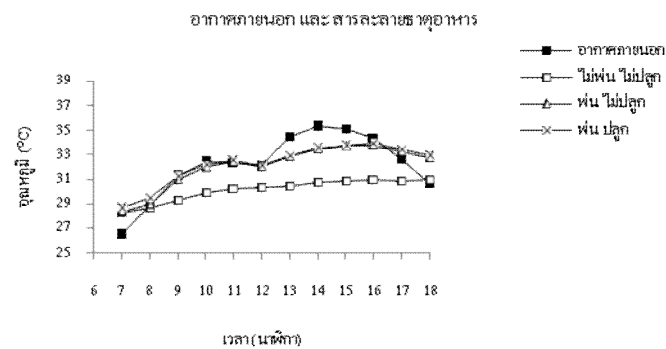


(d)

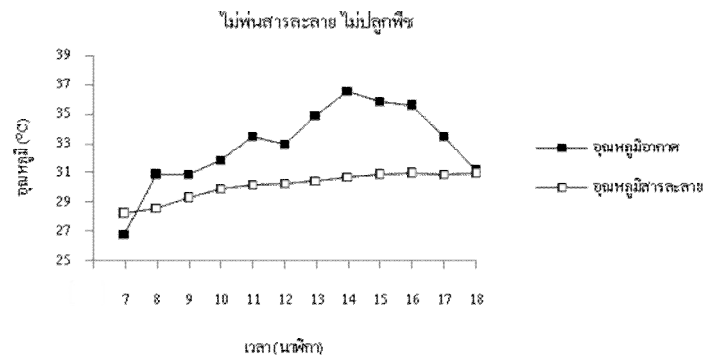
ภาพที่ 17 อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกที่ไม่พ่นสารละลายและพ่นสารละลายทั้งตู้ที่มีการปลูกพืชและไม่ปลูกพืช เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 2

1.2.3 สัปดาห์ที่ 3

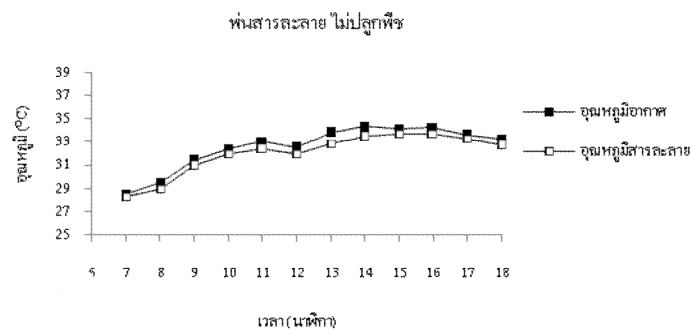
อุณหภูมิของสารละลายในถังสารละลายในเวลากลางวันมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามอุณหภูมิของอากาศภายนอก (ภาพที่ 18 a) และอุณหภูมิของสารละลายในถังสารละลายของตู้ปลูกทั้งสามมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ตู้ปลูกที่ไม่มีการพ่นสารละลายและไม่ปลูกพืช อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารที่ไม่ถูกพ่นเข้าไปในตู้ปลูกมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในเวลากลางวัน เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูก โดยมีอุณหภูมิที่ 28.0°C ในเวลา 7.00 น และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่อุณหภูมิ 32.4°C ที่เวลา 15.00 น ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในตู้ของตนเองประมาณ 3°C (ภาพที่ 18 b) ในขณะที่ตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายเข้าไปในตู้ปลูกทั้ง 2 ตู้ ทั้งแบบที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช พบว่า อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารของทั้ง 2 ตู้ มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างใกล้เคียงกันกับอุณหภูมิของอากาศภายในแต่ละตู้ โดยตู้ที่ไม่มีการปลูกพืช อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 28.9°C ในเวลา 7.00 น จนถึงค่าสูงสุดที่ 34.0°C ในเวลา 15.00 น ต่ำกว่าอุณหภูมิสูงสุดของอากาศภายในตู้ประมาณ 0.5°C ในเวลาเดียวกัน (ภาพที่ 18 c) ในขณะที่ตู้ปลูกที่มีการปลูกพืช อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 29.0°C ในเวลา 7.00 น จนมีค่าสูงสุดที่ 34.3°C ที่เวลา 16.00 น ต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายในตู้ประมาณ 0.5°C (ภาพที่ 18 d)



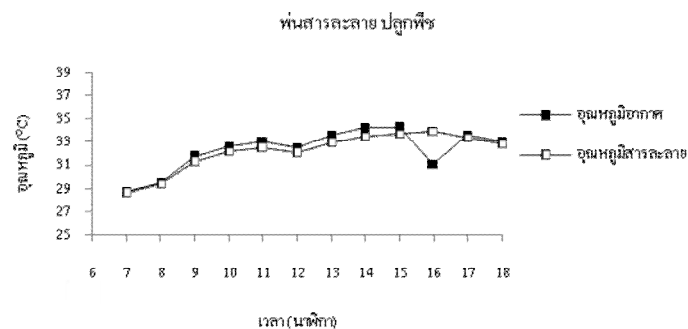
(a)



(b)



(c)

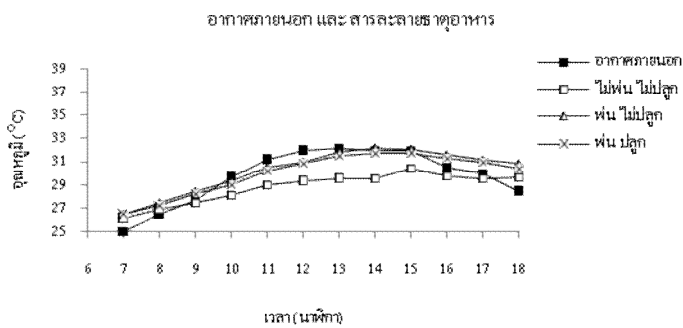


(d)

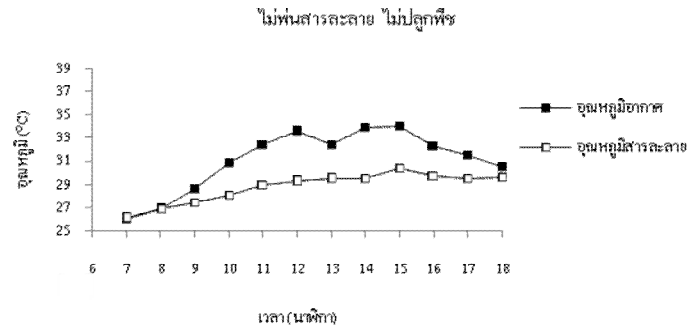
ภาพที่ 18 อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกที่ไม่พ่นสารละลายและพ่นสารละลายทั้งตู้ที่มีการปลูกพืชและไม่ปลูกพืช เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 3

1.2.4 สัปดาห์ที่ 4

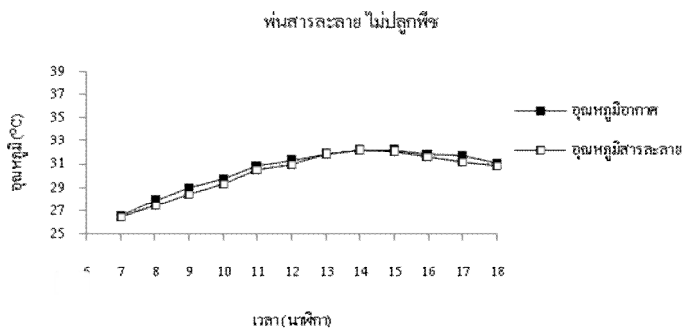
อุณหภูมิของสารละลายในถังสารละลายในเวลากลางวันมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามอุณหภูมิของอากาศภายนอก (ภาพที่ 19 a) และอุณหภูมิของสารละลายในถังสารละลายของตู้ปลูกทั้งสามมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ตู้ปลูกที่ไม่มีการพ่นสารละลายและไม่ปลูกพืช อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารที่ไม่ถูกพ่นเข้าไปในตู้ปลูกมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในเวลากลางวัน เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูก โดยมีอุณหภูมิที่ 26.0°C ในเวลา 7.00 น และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่อุณหภูมิ 30.4°C ที่เวลา 15.00 น ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในตู้ของตนเองประมาณ 3°C (ภาพที่ 19 b) ในขณะที่ตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายเข้าไปในตู้ปลูกทั้ง 2 ตู้ ทั้งแบบที่ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช พบว่า อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารของทั้ง 2 ตู้ มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างใกล้เคียงกันกับอุณหภูมิของอากาศภายในแต่ละตู้ โดยตู้ที่ไม่มีการปลูกพืช อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 26.5°C ในเวลา 7.00 น จนถึงค่าสูงสุดที่ 32.1°C ในเวลา 14.00 น ต่ำกว่าอุณหภูมิสูงสุดของอากาศภายในตู้ประมาณ 1°C ในเวลาเดียวกัน (ภาพที่ 19 c) ในขณะที่ตู้ปลูกที่มีการปลูกพืช อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 26.4°C ในเวลา 7.00 น จนมีค่าสูงสุดที่ 31.7°C ในเวลา 14.00 น ต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายในตู้ประมาณ 0.5°C (ภาพที่ 19 d)



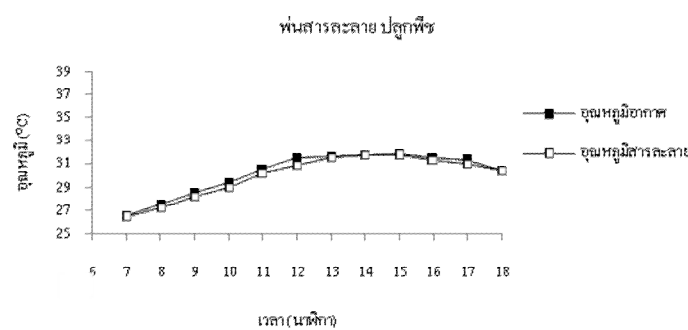
(a)



(b)



(c)



(d)

ภาพที่ 19 อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกที่ไม่พ่นสารละลายและพ่นสารละลายทั้งตู้ที่มีการปลุกพืชและไม่ปลุกพืช เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 4

1.3 การเจริญเติบโต

เมื่อย้ายกล้าผักกาดหอมคอสที่มีอายุกล้า 2 สัปดาห์หลังเพาะกล้าจากโต๊ะปลูก NFT ซึ่งเพาะในรุ่นเดียวกันมาย้ายปลูกต่อในตู้ปลูกแอโรโพนิกส์เป็นเวลานานอีก 1 สัปดาห์ เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของระบบ NFT และแอโรโพนิกส์ที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักในช่วงอายุต่างกัน มีผลการศึกษาดังนี้

1.3.1 เมื่อย้ายต้นกล้าอายุ 2 สัปดาห์หลังเพาะ

น้ำหนักสดส่วนต้น น้ำหนักแห้งส่วนต้น น้ำหนักแห้งส่วนราก และพื้นที่ใบของผักกาดหอมคอสอายุ 1 สัปดาห์หลังย้ายปลูกที่ปลูกด้วยเทคนิค NFT และแอโรโพนิกส์เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่น้ำหนักสดส่วนราก และจำนวนใบของผักที่ปลูกด้วย NFT มีค่าเฉลี่ยมากกว่าผักที่ปลูกด้วยแอโรโพนิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3)

1.3.2 เมื่อย้ายต้นกล้าอายุ 3 สัปดาห์หลังเพาะ

เมื่อย้ายต้นกล้าผักกาดหอมอายุ 3 สัปดาห์หลังเพาะจากโต๊ะปลูก NFT มาปลูกต่อในตู้แอโรโพนิกส์นาน 1 สัปดาห์ ก่อนนำมาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตกับที่ปลูกอยู่ใน NFT ตลอดเวลา พบว่าน้ำหนักสดส่วนราก จำนวนใบ และพื้นที่ใบของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยเทคนิค NFT ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับผักที่ปลูกต่อในตู้ปลูกแอโรโพนิกส์ น้ำหนักสดส่วนต้นและน้ำหนักแห้งส่วนรากของผักที่ปลูกด้วยเทคนิค NFT มีค่าเฉลี่ยมากกว่าผักที่ปลูกด้วยแอโรโพนิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่น้ำหนักแห้งส่วนต้นของผักที่ปลูกด้วย NFT มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าผักที่ปลูกด้วยแอโรโพนิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบ ของผักกาดหอมคอสที่ย้ายต้นกล้า อายุ 2 สัปดาห์หลังเพาะกล้าใน NFT มาปลูกในแอโรโพนิกส์อีก 1 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับที่ปลูกใน NFT ทั้ง 3 สัปดาห์

เทคนิค การปลูก	น้ำหนักสด		น้ำหนักแห้ง		จำนวนใบ (ใบ)	พื้นที่ใบ (ซม. ²)
	ส่วนต้น (กรัม)	ส่วนราก (กรัม)	ส่วนต้น (กรัม)	ส่วนราก (กรัม)		
NFT	1.00	0.25 a ^{1/}	0.08	0.01	4.5 a ^{1/}	32.45
แอโรโพนิกส์	0.94	0.14 b	0.08	0.01	3.5 b	27.33
<i>t</i> – test	ns	*	ns	ns	*	ns
%CV	29.31	57.72	27.83	45.95	24.30	32.79

ตารางที่ 4 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบ ของผักกาดหอมคอสที่ย้ายต้นกล้า อายุ 3 สัปดาห์หลังเพาะกล้าใน NFT มาปลูกลงแอโรโพนิกส์ต่ออีก 1 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับที่ปลูกใน NFT ทั้ง 4 สัปดาห์

เทคนิค การปลูก	น้ำหนักสด		น้ำหนักแห้ง		จำนวนใบ (ใบ)	พื้นที่ใบ (ซม. ²)
	ส่วนต้น (กรัม)	ส่วนราก (กรัม)	ส่วนต้น (กรัม)	ส่วนราก (กรัม)		
NFT	4.33 a ^{1/}	0.99	0.29 b ^{1/}	0.09 a ^{1/}	5.30	95.12
แอโรโพนิกส์	2.99 b	0.76	0.37 a	0.05 b	5.50	104.09
<i>t</i> – test	**	ns	*	*	ns	ns
%CV	27.65	37.50	19.73	50.78	9.36	40.29

^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามหลังด้วยอักษรที่ต่างกัน แตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.3.3 เมื่อย้ายต้นกล้าอายุ 4 สัปดาห์หลังเพาะ

เมื่อย้ายต้นกล้าผักกาดหอมอายุ 4 สัปดาห์หลังจากได้ะปลูก NFT มาปลูกต่อในตู้ไฮโดรโปนิกส์นาน 1 สัปดาห์ ก่อนนำมาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตกับที่ปลูกอยู่ใน NFT ตลอดเวลา พบว่าน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบของผักกาดหอมคอสาอายุ 3 สัปดาห์ที่ปลูกด้วยเทคนิค NFT นาน 3 สัปดาห์และไฮโดรโปนิกส์เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดส่วนต้น และพื้นที่ใบของผักกาดหอมคอสาที่ปลูกด้วยไฮโดรโปนิกส์มากกว่าผักที่ปลูกด้วยเทคนิค NFT (ตารางที่ 5)

1.3.4 เมื่อย้ายต้นกล้าอายุ 5 สัปดาห์หลังเพาะกล้า

เมื่อย้ายต้นกล้าผักกาดหอมอายุ 5 สัปดาห์หลังจากได้ะปลูก NFT มาปลูกต่อในตู้ไฮโดรโปนิกส์นาน 1 สัปดาห์ ก่อนนำมาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตกับที่ปลูกอยู่ใน NFT ตลอดเวลา พบว่าน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และจำนวนใบของผักกาดหอมคอสาอายุ 4 สัปดาห์ที่ปลูกด้วยเทคนิค NFT นาน 4 สัปดาห์และไฮโดรโปนิกส์เป็นเวลา 1 สัปดาห์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งส่วนต้น และจำนวนใบของผักกาดหอมคอสาที่ปลูกด้วยไฮโดรโปนิกส์มากกว่าผักที่ปลูกด้วย NFT ส่วนน้ำหนักแห้งส่วนรากของผักที่ปลูกด้วยไฮโดรโปนิกส์น้อยกว่าผักที่ปลูกด้วย NFT ส่วนพื้นที่ใบของผักที่ปลูกด้วยไฮโดรโปนิกส์มากกว่าผักที่ปลูกด้วยเทคนิค NFT (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 5 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบ ของผักกาดหอมคอสที่ย้ายต้นกล้า อายุ 4 สัปดาห์หลังเพาะกล้าใน NFT มาปลูกในแอโรโพนิกส์ต่ออีก 1 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับที่ปลูกใน NFT ทั้ง 5 สัปดาห์

เทคนิค การปลูก	น้ำหนักสด		น้ำหนักแห้ง		จำนวนใบ (ใบ)	พื้นที่ใบ (ซม. ²)
	ส่วนต้น (กรัม)	ส่วนราก (กรัม)	ส่วนต้น (กรัม)	ส่วนราก (กรัม)		
NFT	23.59	8.98	1.21	0.29	12.30	489.60
แอโรโพนิกส์	28.69	8.31	1.22	0.30	12.20	580.36
<i>t</i> – test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	26.22	17.19	23.11	27.74	9.75	23.38

ตารางที่ 6 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบ ของผักกาดหอมคอสที่ย้ายต้นกล้า อายุ 5 สัปดาห์หลังเพาะกล้าใน NFT มาปลูกลงในแอโรโพนิกส์ต่ออีก 1 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับที่ปลูกใน NFT ทั้ง 6 สัปดาห์

เทคนิค การปลูก	น้ำหนักสด		น้ำหนักแห้ง		จำนวนใบ (ใบ)	พื้นที่ใบ (ซม. ²)
	ส่วนต้น (กรัม)	ส่วนราก (กรัม)	ส่วนต้น (กรัม)	ส่วนราก (กรัม)		
NFT	38.88	14.83	2.38	0.53	16.10	783.08 b ^{1/}
แอโรโพนิกส์	48.32	15.90	2.41	0.46	17.10	975.68 a
<i>t</i> – test	ns	ns	ns	ns	ns	*
%CV	27.43	17.07	28.53	26.95	10.41	22.45

^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามหลังด้วยอักษรที่ต่างกัน แตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

การทดลองที่ 2 อิทธิพลของจังหวะการปนสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของ ผักกาดหอมที่ปลูกด้วยเทคนิคแบบแอโรโพนิกส์

ศึกษาการเจริญเติบโตของผักกาดหอมคอสที่ปลูกด้วยเทคนิคแอโรโพนิกส์ที่ได้รับอิทธิพลจากจังหวะในการปนสารละลายธาตุอาหารจังหวะต่าง ๆ กัน 3 จังหวะ ได้แก่ ปนสารละลายธาตุอาหาร 1 นาที่หยุด 6 นาที่ และปน 1 นาที่หยุด 10 นาที่ เปรียบเทียบกับการปนตลอดเวลา พร้อมทั้งศึกษาอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกตู้ปลูก และอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารระหว่างทำการทดลอง โดยทำการศึกษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ – มีนาคม 2550 มีผลการศึกษาดังนี้

2.1 อุณหภูมิอากาศภายในและในตู้ปลูก

2.1.1 สัปดาห์ที่ 1

อุณหภูมิของอากาศภายในตู้ปลูกที่มีการปนสารละลายธาตุอาหารด้วยจังหวะการพ่นทั้ง 3 แบบ มีอุณหภูมิเฉลี่ยในเวลากลางวันที่ต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกเล็กน้อย และแตกต่างกันในระหว่างตู้ปลูก อุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูกในเวลากลางวันมีค่าอยู่ระหว่าง $25.1^{\circ}\text{C} - 32.7^{\circ}\text{C}$ ทำให้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 29.6°C สูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในเวลากลางวันของตู้ปลูกทั้งสามแบบ รองลงมาได้แก่อุณหภูมิของอากาศในตู้ปลูกที่มีจังหวะการปนสารละลาย 1 นาที่หยุด 10 นาที่ ที่มีค่าอยู่ระหว่าง $25.6^{\circ}\text{C} - 32.2^{\circ}\text{C}$ และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 28.8°C สำหรับอุณหภูมิของอากาศภายในตู้ปลูกที่มีจังหวะการปนสารละลาย 1 นาที่หยุด 6 นาที่ และที่พ่นตลอดเวลา มีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าของตู้ปลูกที่มีจังหวะการพ่น 1 นาที่หยุด 10 นาที่ กล่าวคือ ในตู้ปลูกที่มีการปนสารละลาย 1 นาที่หยุด 6 นาที่ มีอุณหภูมิของอากาศในเวลากลางวันอยู่ระหว่าง $25.2^{\circ}\text{C} - 31.3^{\circ}\text{C}$ และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 28.4°C และตู้ปลูกที่มีการพ่นตลอดเวลา มีอุณหภูมิของอากาศในเวลากลางวันอยู่ระหว่าง $25.9^{\circ}\text{C} - 30.7^{\circ}\text{C}$ และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 28.4°C (ภาพที่ 20)

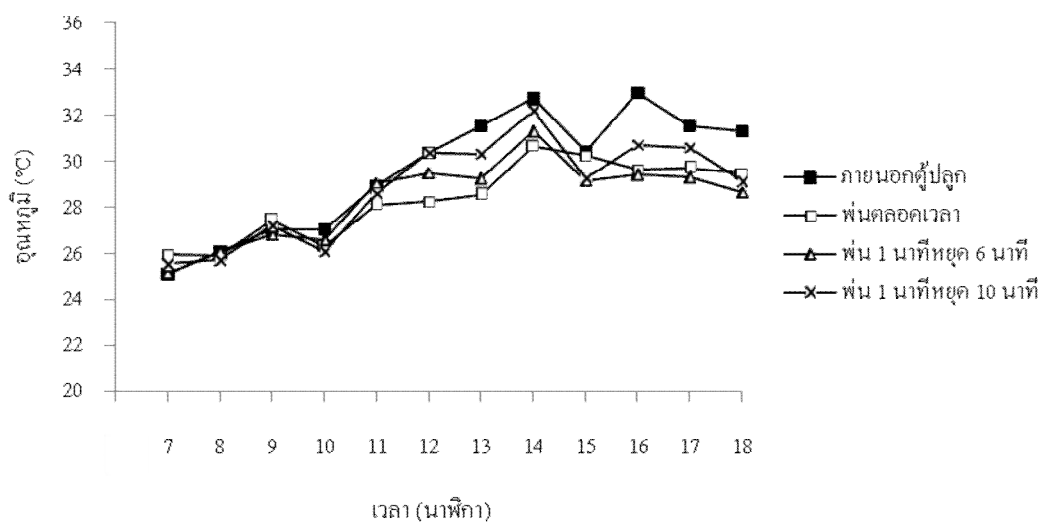
เมื่อพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิอากาศระหว่างเวลา 10.00 น ถึง 14.00 น พบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในตู้ปลูกทั้ง 3 ตู้ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก โดยตู้ปลูกที่พ่นสารละลายตลอดเวลา มีค่าต่ำกว่าภายนอกตู้ปลูก 1.7°C หรือคิดเป็น 5.78% ตู้ปลูกที่พ่นสารละลาย 1

นาที่ หยุด 6 นาที่มีอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก 1.0°C หรือคิดเป็น 3.25% และตู้ปลูกที่พ่นสารละลาย 1 นาที่ หยุด 10 นาที่มีอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูกภายนอกตู้ปลูก 0.6°C หรือคิดเป็น 1.96%

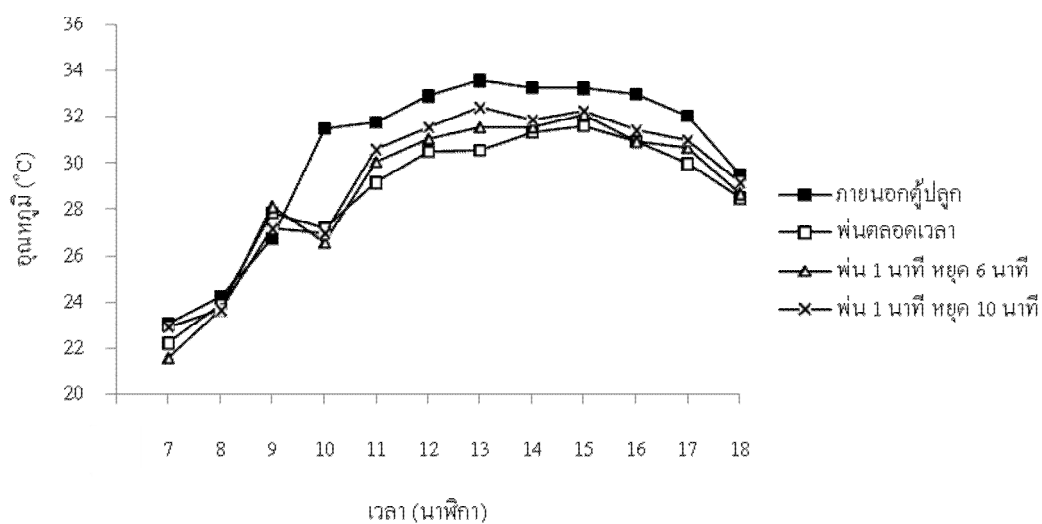
2.1.2 สัปดาห์ที่ 2

อุณหภูมิของอากาศภายในตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายธาตุอาหารด้วยจังหวะการพ่นทั้ง 3 แบบ มีอุณหภูมิเฉลี่ยในเวลากลางวันที่ต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกเล็กน้อย และแตกต่างกันในระหว่างตู้ปลูก แต่ก็มีค่าใกล้เคียงกันมากกว่าสัปดาห์ที่ 1 อุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูกในเวลากลางวันมีค่าอยู่ระหว่าง $23.3^{\circ}\text{C} - 33.0^{\circ}\text{C}$ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 29.5°C สูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในเวลากลางวันของตู้ปลูกทั้งสาม รองลงมาได้แก่อุณหภูมิของอากาศในตู้ปลูกที่มีจังหวะการพ่นสารละลาย 1 นาที่หยุด 10 นาที่ ที่มีค่าอยู่ระหว่าง $22.9^{\circ}\text{C} - 32.4^{\circ}\text{C}$ และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 28.9°C สำหรับอุณหภูมิของอากาศภายในตู้ปลูกที่มีจังหวะการพ่นสารละลาย 1 นาที่หยุด 6 นาที่ และที่พ่นตลอดเวลา มีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าของตู้ปลูกที่มีจังหวะการพ่น 1 นาที่หยุด 10 นาที่ กล่าวคือ ในตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลาย 1 นาที่หยุด 6 นาที่ มีอุณหภูมิของอากาศในเวลากลางวันอยู่ระหว่าง $24.9^{\circ}\text{C} - 28.3^{\circ}\text{C}$ และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 27.1°C และตู้ปลูกที่มีการพ่นตลอดเวลา มีอุณหภูมิของอากาศในเวลากลางวันอยู่ระหว่าง $22.0^{\circ}\text{C} - 32.3^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ย 28.6°C (ภาพที่ 21)

เมื่อพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิอากาศระหว่างเวลา 10.00 น ถึง 14.00 น พบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในตู้ปลูกทั้ง 3 ตู้ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก โดยตู้ปลูกที่พ่นสารละลายตลอดเวลา มีค่าต่ำกว่าภายนอกตู้ปลูก 2.0°C หรือคิดเป็น 6.27% ตู้ปลูกที่พ่นสารละลาย 1 นาที่ หยุด 6 นาที่มีอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก 1.9°C หรือคิดเป็น 5.92% และตู้ปลูกที่พ่นสารละลาย 1 นาที่ หยุด 10 นาที่มีอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูกภายนอกตู้ปลูก 1.4°C หรือคิดเป็น 4.54%



ภาพที่ 20 อุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกเอโร โพนิกส์ที่มีจังหวะการพ่น
สารละลายที่แตกต่างกัน 3 แบบ ในสัปดาห์ที่ 1 หลังย้ายปลูก



ภาพที่ 21 อุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกเอโร โพนิกส์ที่มีจังหวะการพ่น
สารละลายที่แตกต่างกัน 3 แบบ ในสัปดาห์ที่ 2 หลังย้ายปลูก

2.1.3 สัปดาห์ที่ 3

อุณหภูมิของอากาศภายในตู้ปลูกที่มีการปนสารละลายธาตุอาหารด้วยจิ้งหะ การพ่นทั้ง 3 แบบ มีอุณหภูมิเฉลี่ยในเวลากลางวันต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกเล็กน้อย และแตกต่างกันในระหว่างตู้ปลูก อุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูกในเวลากลางวันมีค่าอยู่ระหว่าง $26.8^{\circ}\text{C} - 34.2^{\circ}\text{C}$ ทำให้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30.3°C สูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในเวลากลางวันของตู้ปลูกทั้งสาม รองลงมาได้แก่อุณหภูมิของอากาศในตู้ปลูกที่มีจิ้งหะการพ่นสารละลาย 1 นาที่หยุด 10 นาที ที่มีค่าอยู่ระหว่าง $26.1^{\circ}\text{C} - 32.3^{\circ}\text{C}$ และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 29.3°C สำหรับอุณหภูมิของอากาศภายในตู้ปลูกที่มีจิ้งหะการพ่นสารละลาย 1 นาที่หยุด 6 นาที และที่พ่นตลอดเวลา มีค่าใกล้เคียงกันและค่าเฉลี่ยต่ำกว่าตู้ปลูกที่มีจิ้งหะการพ่น 1 นาที่หยุด 10 นาที กล่าวคือ ในตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลาย 1 นาที่หยุด 6 นาที มีอุณหภูมิของอากาศในเวลากลางวันอยู่ระหว่าง $26.4^{\circ}\text{C} - 31.6^{\circ}\text{C}$ และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 29.3°C และตู้ปลูกที่มีการพ่นตลอดเวลา มีอุณหภูมิของอากาศในเวลากลางวันอยู่ระหว่าง $26.7^{\circ}\text{C} - 32.2^{\circ}\text{C}$ และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30.0°C (ภาพที่ 22)

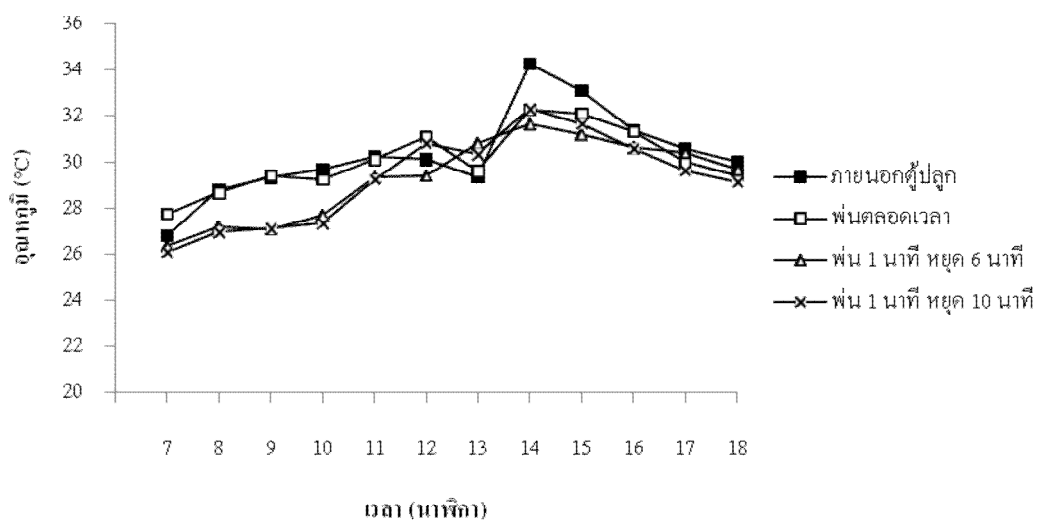
เมื่อพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิอากาศระหว่างเวลา 10.00 น ถึง 14.00 น พบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในตู้ปลูกทั้ง 3 ตู้ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก โดยตู้ปลูกที่พ่นสารละลายตลอดเวลา มีค่าต่ำกว่าภายนอกตู้ปลูก 1.4°C หรือคิดเป็น 4.65% ตู้ปลูกที่พ่นสารละลาย 1 นาที่ หยุด 6 นาที มีอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก 2.4°C หรือคิดเป็น 7.81% และตู้ปลูกที่พ่นสารละลาย 1 นาที่ หยุด 10 นาที มีอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก 2.7°C หรือคิดเป็น 8.85%

2.1.4 สัปดาห์ที่ 4

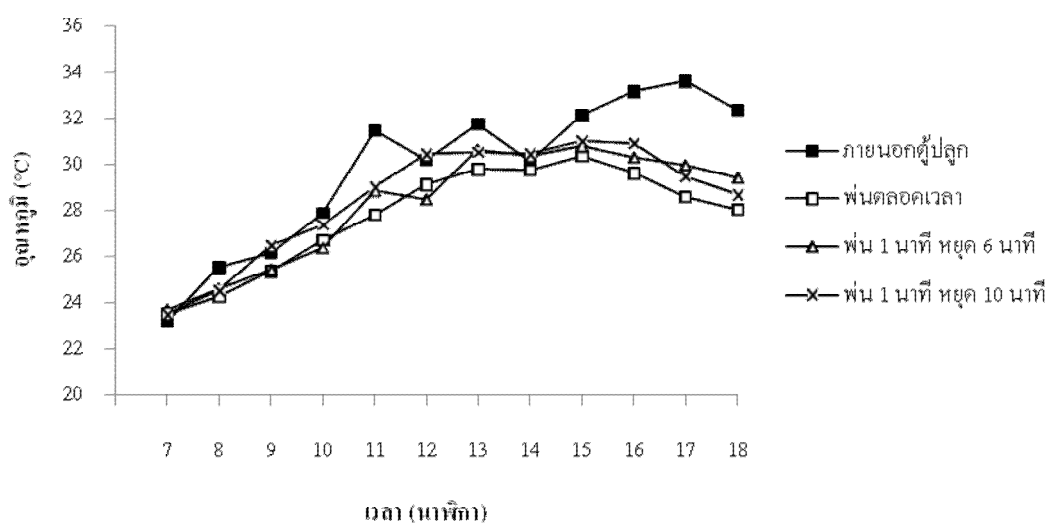
อุณหภูมิของอากาศภายในตู้ปลูกที่มีการปนสารละลายธาตุอาหารด้วยจิ้งหะ การพ่นทั้ง 3 แบบ มีอุณหภูมิเฉลี่ยในเวลากลางวันต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกเล็กน้อย และแตกต่างกันในระหว่างตู้ปลูก อุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูกในเวลากลางวันมีค่าอยู่ระหว่าง $23.2^{\circ}\text{C} - 33.6^{\circ}\text{C}$ ทำให้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 29.8°C สูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในเวลากลางวันของตู้ปลูกทั้งสาม รองลงมาได้แก่อุณหภูมิของอากาศในตู้ปลูกที่มีจิ้งหะการพ่นสารละลาย 1 นาที่หยุด 10 นาที ที่มีค่าอยู่ระหว่าง $23.5^{\circ}\text{C} - 31.0^{\circ}\text{C}$ และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 28.5°C สำหรับอุณหภูมิของอากาศภายในตู้

ปลูกที่มีจังหวะการพ่นสารละลาย 1 นาที่หยุด 6 นาที่ และที่พ่นตลอดเวลา มีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าตู้ปลูกที่มีจังหวะการพ่น 1 นาที่หยุด 10 นาที่ กล่าวคือ ในตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลาย 1 นาที่หยุด 6 นาที่ มีอุณหภูมิของอากาศในเวลากลางวันอยู่ระหว่าง $23.7^{\circ}\text{C} - 30.8^{\circ}\text{C}$ และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 28.2°C และตู้ปลูกที่มีการพ่นตลอดเวลา มีอุณหภูมิของอากาศในเวลากลางวันอยู่ระหว่าง $23.5^{\circ}\text{C} - 30.4^{\circ}\text{C}$ และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 27.7°C (ภาพที่ 23)

เมื่อพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิอากาศระหว่างเวลา 10.00 น ถึง 14.00 น พบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในตู้ปลูกทั้ง 3 ตู้ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก โดยตู้ปลูกที่พ่นสารละลายตลอดเวลา มีค่าต่ำกว่าภายนอกตู้ปลูก 1.4°C หรือคิดเป็น 4.50% ตู้ปลูกที่พ่นสารละลาย 1 นาที่ หยุด 6 นาที่มีอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก 1.0°C หรือคิดเป็น 3.47% และตู้ปลูกที่พ่นสารละลาย 1 นาที่ หยุด 10 นาที่มีอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูกภายนอกตู้ปลูก 0.4°C หรือคิดเป็น 1.40%



ภาพที่ 22 อุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกแอร์โพนิคส์ที่มีจังหวะการฟ้น
สารละลายที่แตกต่างกัน 3 แบบ ในสัปดาห์ที่ 3 หลังย้ายปลูก



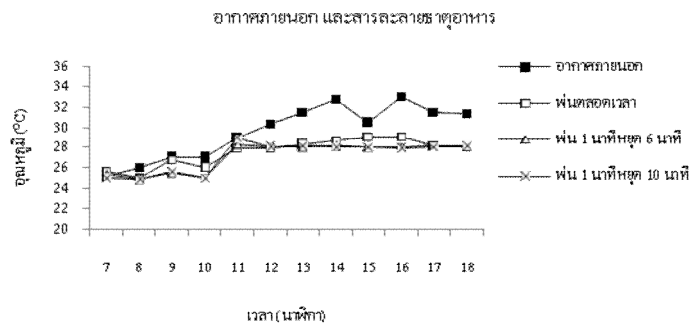
ภาพที่ 23 อุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกแอร์โพนิคส์ที่มีจังหวะการฟ้น
สารละลายที่แตกต่างกัน 3 แบบ ในสัปดาห์ที่ 4 หลังย้ายปลูก

2.2 อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร

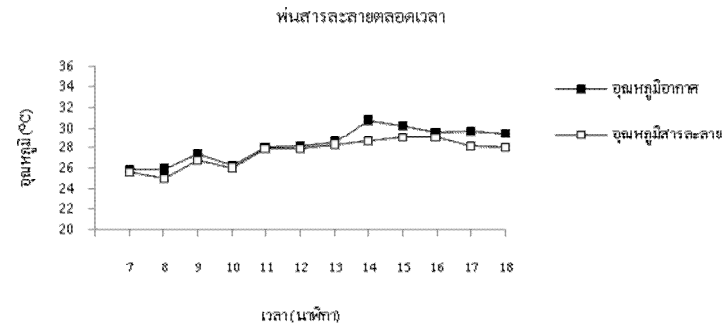
จากการบันทึกอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในถังพลาสติกขนาด 90 ลิตร ซึ่งวางอยู่ใต้โต๊ะปลูกแบบแอโรโพนิคส์ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในตู้ปลูก พบว่า

2.2.1 สัปดาห์ที่ 1

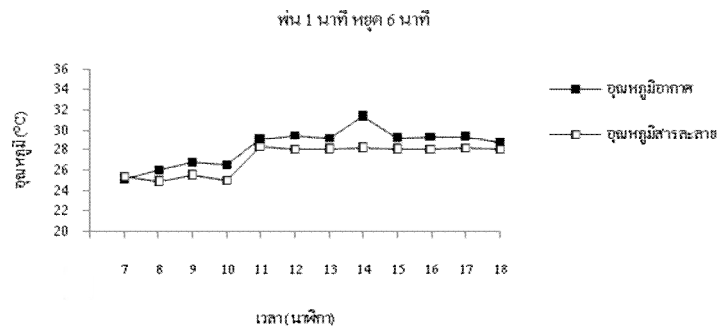
อุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูกมีค่าระหว่าง $25.1 - 33.0^{\circ}\text{C}$ และค่าเฉลี่ยตลอดวันเท่ากับ 29.6°C สูงกว่าอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร (ภาพที่ 24 a) และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารของตู้ปลูกทั้งสาม กับอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกของตนเอง พบว่าอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารที่พ่นเข้าไปในตู้ปลูกตลอดเวลามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นและลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในตู้ปลูก โดยมีอุณหภูมิที่ 25.1°C ในเวลา 7.00 น และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่อุณหภูมิ 29.1°C ที่เวลา 15.00 น ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกของตนเองประมาณ 1°C (ภาพที่ 24 b) ในขณะที่ตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายเข้าไปในตู้ปลูกเป็นจังหวะเปิดปิดทั้ง 2 ตู้ มีการเพิ่มขึ้นในระดับที่น้อยกว่า โดยตู้ที่พ่นสารละลาย 1 นาติหยุด 6 นาติ มีอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 24.9°C ในเวลา 7.00 น จนถึงค่าสูงสุดที่ 28.3°C ในเวลา 16.00 น ต่ำกว่าอุณหภูมิสูงสุดของอากาศภายในตู้ประมาณ 1°C ในเวลาเดียวกัน (ภาพที่ 24 c) ในขณะที่ตู้ปลูกที่พ่นสารละลาย 1 นาติหยุด 10 นาติ มีอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 24.9°C ในเวลา 7.00 น จนมีค่าสูงสุดที่ 28.9°C ในเวลา 17.00 น ต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายในตู้ประมาณ 1.5°C (ภาพที่ 24 d)



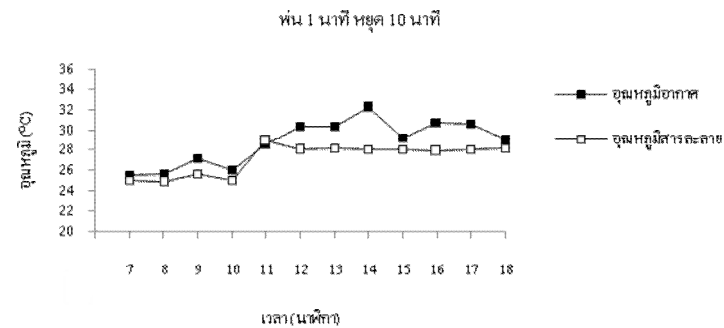
(a)



(b)



(c)

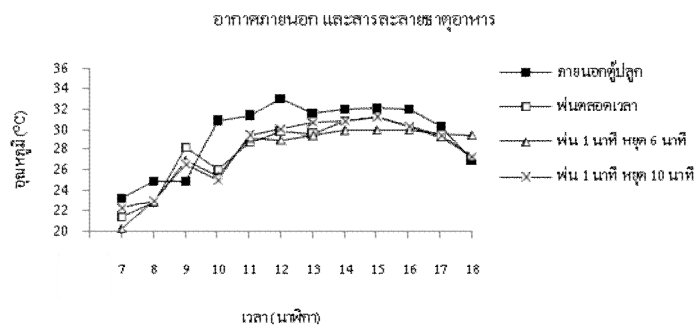


(d)

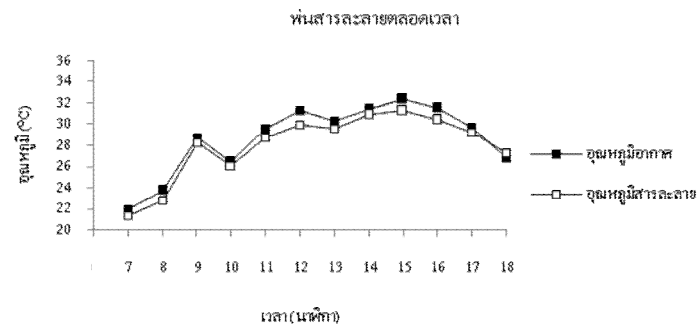
ภาพที่ 24 อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกที่ไม่ฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสทั้งตู้ที่มีการปลูกพืชและไม่ปลูกพืชเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 1

2.2.2 สัปดาห์ที่ 2

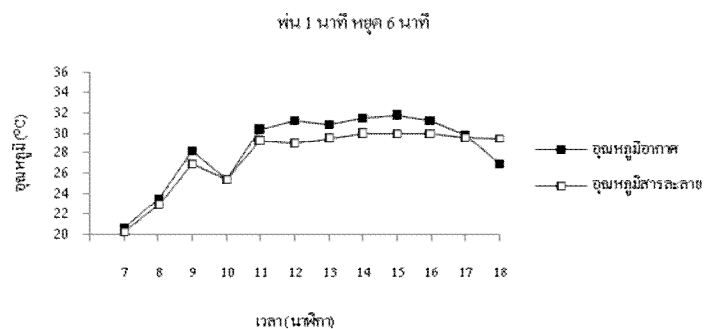
อุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูกมีค่าระหว่าง $23.3 - 33.0^{\circ}\text{C}$ และค่าเฉลี่ยตลอดวันเท่ากับ 29.5°C สูงกว่าอุณหภูมิของสารละลายของตู้ปลูกทั้ง 3 แบบ (ภาพที่ 25 a) และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารกับอุณหภูมิของอากาศภายในของตู้ปลูกทั้งสาม พบว่าอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารที่พ่นเข้าไปในตู้ปลูกตลอดเวลาในเวลากลางวันมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในตู้ปลูก โดยมีอุณหภูมิที่ 21.4°C ในเวลา 7.00 น และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่อุณหภูมิ 31.2°C ที่เวลา 16.00 น ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในตู้ของตนเองประมาณ 0.5°C (ภาพที่ 25 b) ในขณะที่ตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายเข้าไปในตู้ปลูกเป็นจังหวะเปิดปิดทั้ง 2 ตู้ มีการเพิ่มขึ้นในระดับที่น้อยกว่า โดยตู้ที่พ่นสารละลาย 1 นาทีหยุด 6 นาที มีอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 20.2°C ในเวลา 7.00 น จนถึงค่าสูงสุดที่ 30.0°C ในเวลา 16.00 น ต่ำกว่าอุณหภูมิสูงสุดของอากาศภายในตู้ประมาณ 1.5°C ในเวลาเดียวกัน (ภาพที่ 25 c) ในขณะที่ตู้ปลูกที่พ่นสารละลาย 1 นาทีหยุด 10 นาที มีอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 22.3°C ในเวลา 7.00 น จนมีค่าสูงสุดที่ 31.2°C ในเวลา 16.00 น ต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายในตู้ประมาณ 1°C (ภาพที่ 25 d)



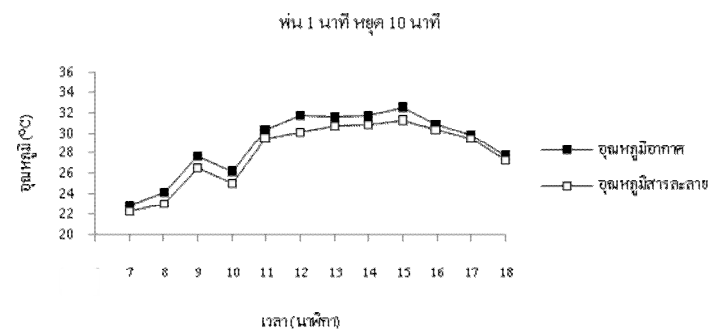
(a)



(b)



(c)

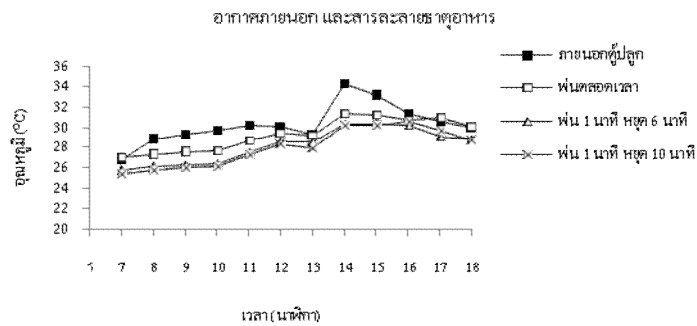


(d)

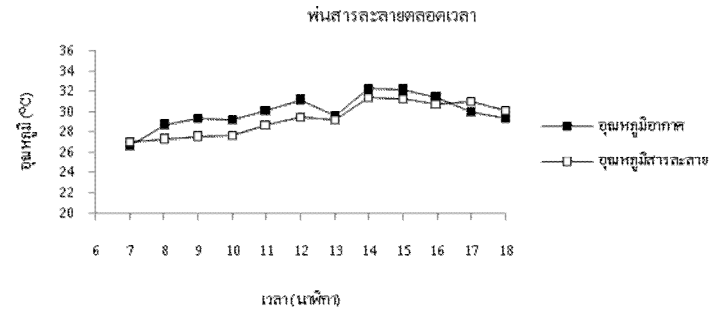
ภาพที่ 25 อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกที่ไม่ฟันสารละลายและฟันสารละลายทั้งตู้ที่มีการปลูกพืชและไม่ปลูกพืชเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 2

2.2.3 สัปดาห์ที่ 3

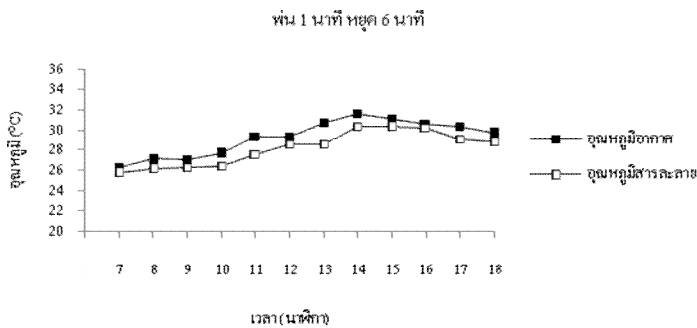
อุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูกมีค่าระหว่าง $26.8 - 34.2^{\circ}\text{C}$ และค่าเฉลี่ยตลอดวันเท่ากับ 30.3°C สูงกว่าอุณหภูมิสารละลายของตู้ปลูกทั้ง 3 แบบ (ภาพที่ 26 a) และเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารกับอุณหภูมิอากาศภายในของตู้ปลูกทั้งสาม พบว่า อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารที่พ่นเข้าไปในตู้ปลูกตลอดเวลาในเวลากลางวันมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นและลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในตู้ปลูก โดยมีอุณหภูมิที่ 27.1°C ในเวลา 7.00 น และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่อุณหภูมิ 31.3°C ที่เวลา 14.00 น ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในตู้ประมาณ 0.5°C (ภาพที่ 26 b) ในขณะที่ตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายเข้าไปในตู้ปลูกเป็นจังหวะเปิดปิดทั้ง 2 ตู้ มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นน้อยกว่า โดยตู้ที่พ่นสารละลาย 1 นาที่หยุด 6 นาที มีอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 25.8°C ในเวลา 7.00 น จนถึงค่าสูงสุดที่ 30.3°C ในเวลา 14.00 น ต่ำกว่าอุณหภูมิสูงสุดของอากาศภายในตู้ประมาณ 2°C ในเวลาเดียวกัน (ภาพที่ 26 c) ในขณะที่ตู้ปลูกที่พ่นสารละลาย 1 นาที่หยุด 10 นาที มีอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 25.5°C ในเวลา 7.00 น จนมีค่าสูงสุดที่ 30.6°C ในเวลา 16.00 น ต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายในตู้ประมาณ 1°C (ภาพที่ 26 d)



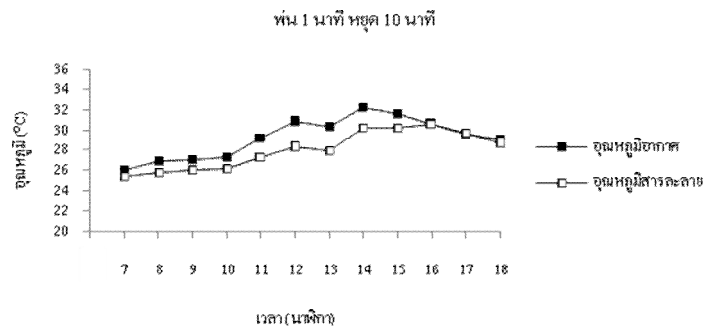
(a)



(b)



(c)

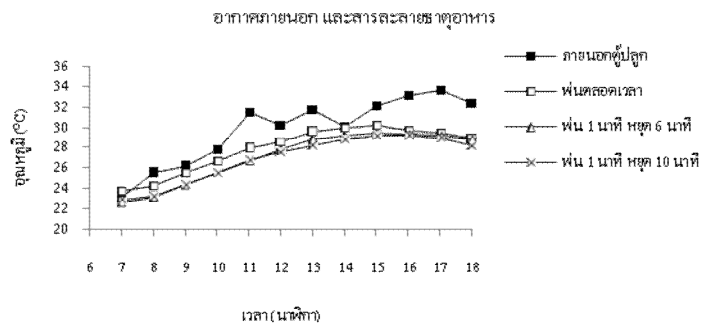


(d)

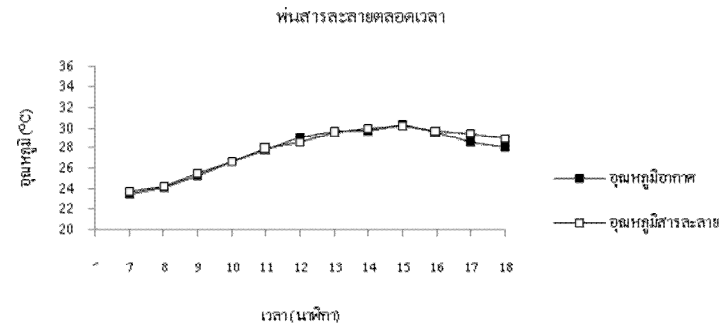
ภาพที่ 26 อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกที่ไม่ฟันสารละลายและฟันสารละลายทั้งตู้ที่มีการปลูกพืชและไม่ปลูกพืชเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 3

2.2.4 สัปดาห์ที่ 4

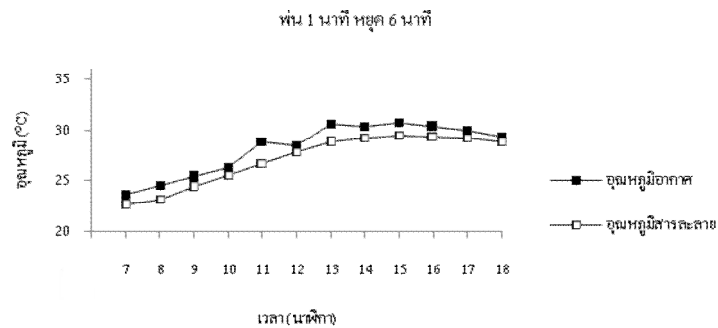
อุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูกมีค่าระหว่าง $23.2 - 33.6^{\circ}\text{C}$ และค่าเฉลี่ยตลอดวันเท่ากับ 29.8°C สูงกว่าอุณหภูมิของสารละลายของตู้ปลูกทั้ง 3 แบบ (ภาพที่ 27 a) และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารกับอุณหภูมิของอากาศภายในของตู้ปลูกทั้งสาม พบว่าอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารที่พ่นเข้าไปในตู้ปลูกตลอดเวลาในเวลากลางวันมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในตู้ปลูก โดยมีอุณหภูมิที่ 23.8°C ในเวลา 7.00 น และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่อุณหภูมิ 30.3°C ที่เวลา 16.00 น ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในตู้ของตนเองประมาณ 0.1°C (ภาพที่ 27 b) ในขณะที่ตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายเข้าไปในตู้ปลูกเป็นจังหวะเปิดปิดทั้ง 2 ตู้ มีการเพิ่มขึ้นในระดับที่น้อยกว่า โดยตู้ที่พ่นสารละลาย 1 นาที่หยุด 6 นาที่ มีอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 22.6°C ในเวลา 7.00 น จนถึงค่าสูงสุดที่ 29.5°C ในเวลา 15.00 น ต่ำกว่าอุณหภูมิสูงสุดของอากาศภายในตู้ประมาณ 1°C ในเวลาเดียวกัน (ภาพที่ 27 c) ในขณะที่ตู้ปลูกที่พ่นสารละลาย 1 นาที่หยุด 10 นาที่ มีอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 22.9°C ในเวลา 7.00 น จนมีค่าสูงสุดที่ 29.2°C ในเวลา 16.00 น ต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายในตู้ประมาณ 2°C (ภาพที่ 27 d)



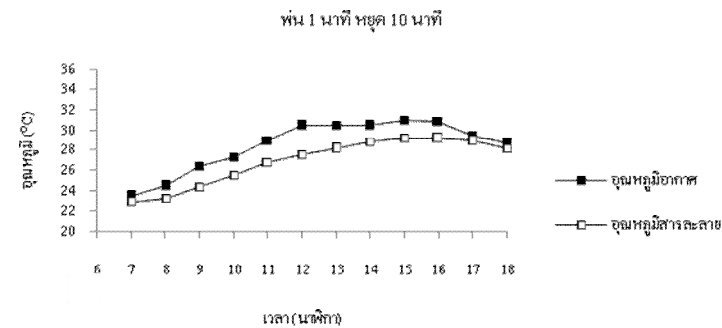
(a)



(b)



(c)



(d)

ภาพที่ 27 อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกที่ไม่พ่นสารละลายและพ่นสารละลายทั้งตู้ที่มีการปลูกพืชและไม่ปลูกพืชเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 4

2.2 การเจริญเติบโต

เมื่อทำการย้ายกล้าผักกาดหอมคอสมี่ที่มีอายุกล้า 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ หลังเพาะกล้ามาปลูกต่อในตู้ปลูกแอรโพนิกส์ที่มีจังหวะการพ่นสารละลายที่แตกต่างกันเป็นเวลานานอีก 1 สัปดาห์ เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของจังหวะการพ่นสารละลายที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมคอสมี่ที่อายุต่างกัน มีผลการศึกษาดังนี้

2.2.1 เมื่อย้ายกล้าผักที่มีอายุ 1 สัปดาห์มาปลูก

เมื่อย้ายต้นกล้าผักวัย 1 สัปดาห์หลังเพาะเมล็ดมาปลูกในตู้ปลูกแอรโพนิกส์ที่มีการพ่นสารละลายในจังหวะที่ต่างกันเป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่า การพ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลาทำให้ผักกาดหอมคอสมี่มีน้ำหนักสดส่วนยอด น้ำหนักแห้งส่วนยอด มากกว่าการพ่นสารละลายเป็นจังหวะทั้งสองจังหวะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การพ่นสารละลายตลอดเวลาและการพ่นสารละลายเป็นจังหวะเปิด 1 นาที หยุด 6 นาที ทำให้ผักกาดหอมคอสมี่มีน้ำหนักสดราก จำนวนใบ และพื้นที่ใบ มากกว่าการพ่นสารละลายเป็นจังหวะเปิด 1 นาที หยุด 10 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 7)

2.2.2 เมื่อย้ายกล้าผักที่มีอายุ 2 สัปดาห์มาปลูก

เมื่อย้ายต้นกล้าผักวัย 2 สัปดาห์หลังเพาะกล้ามาปลูกต่อในตู้ปลูกแอรโพนิกส์ที่มีการพ่นสารละลายในจังหวะต่างกันเป็นเวลานาน 1 สัปดาห์ พบว่าการพ่นสารละลายธาตุอาหารทั้ง 3 จังหวะไม่ทำให้การเจริญเติบโตของผักกาดหอมคอสมี่แตกต่างกันในทุกด้าน ยกเว้นน้ำหนักสดส่วนราก กล่าวคือ ผักกาดหอมที่ได้รับการพ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลามีน้ำหนักสดส่วนรากที่มากกว่าการพ่นและหยุดทั้ง 2 จังหวะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 7 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบของผักกาดหอมคอสดหลังย้ายปลูกกล้า ผักอายุ 1 สัปดาห์มาปลูกในตู้ปลูกเอโรโพนิกส์ที่มีจังหวะปนสารละลายในจังหวะ ต่างกันเป็นเวลานานอีก 1 สัปดาห์

จังหวะในการปน สารละลายธาตุอาหาร	น้ำหนักสด		น้ำหนักแห้ง		จำนวนใบ (ใบ)	พื้นที่ใบ (ซม ²)
	ยอด	ราก	ยอด	ราก		
	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)		
ปนตลอดเวลา	7.58 a ^{1/}	3.85 a ^{1/}	0.52 a ^{1/}	0.09	5.9 a ^{1/}	149.35 a ^{1/}
ปน 1 นาทีหยุด 6 นาที	6.03 b	3.68 a	0.40 b	0.07	5.8 a	145.85 a
ปน 1 นาทีหยุด 10 นาที	5.14 b	2.39 b	0.32 b	0.09	4.4 b	107.61 b
F – test	*	**	**	ns	**	*
%CV	24.82	23.14	30.31	48.41	16.39	27.77

ตารางที่ 8 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบของผักกาดหอมคอสดหลังย้ายปลูกกล้า ผักอายุ 2 สัปดาห์มาปลูกในตู้ปลูกเอโรโพนิกส์ที่มีจังหวะปนสารละลายในจังหวะ ต่างกันเป็นเวลานานอีก 1 สัปดาห์

จังหวะในการปน สารละลายธาตุอาหาร	น้ำหนักสด		น้ำหนักแห้ง		จำนวนใบ (ใบ)	พื้นที่ใบ (ซม ²)
	ยอด	ราก	ยอด	ราก		
	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)		
ปนตลอดเวลา	15.12	7.58 a ^{1/}	0.93	0.19	7.3	289.61
ปน 1 นาทีหยุด 6 นาที	12.86	5.88 b	0.72	0.20	7.0	265.14
ปน 1 นาทีหยุด 10 นาที	12.57	5.56 b	0.75	0.19	6.8	243.45
F – test	ns	*	ns	ns	ns	ns
%CV	22.99	26.69	27.37	52.65	14.40	21.46

^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามหลังด้วยอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ด้วยวิธี DMRT

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

2.2.3 เมื่อย้ายกล้าผักที่มีอายุ 3 สัปดาห์มาปลูก

เมื่อย้ายต้นกล้าผักวัย 3 สัปดาห์หลังเพาะกล้ามาปลูกในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ที่มีการปนสารละลายในจังหวะต่างกันเป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่าพบว่าการปนสารละลายธาตุอาหารทั้ง 3 จังหวะไม่ทำให้การเจริญเติบโตของผักกาดหอมคอสดแตกต่างกันทางสถิติในทุกด้าน ยกเว้นน้ำหนักแห้งราก ผักกาดหอมที่ได้รับการปนสารละลายธาตุอาหาร 1 นาที่ หยุด 10 นาที่ มีน้ำหนักแห้งรากที่มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 9)

2.2.4 เมื่อย้ายกล้าผักที่มีอายุ 4 สัปดาห์มาปลูก

เมื่อย้ายต้นกล้าผักวัย 4 สัปดาห์หลังเพาะกล้ามาปลูกในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ที่มีการปนสารละลายในจังหวะต่างกันเป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่าการปนสารละลายธาตุอาหารทั้ง 3 จังหวะไม่ทำให้น้ำหนักสดราก น้ำหนักแห้งราก จำนวนใบ และพื้นที่ใบของผักกาดหอมแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นน้ำหนักสดยอด ผักกาดหอมที่ได้รับการปนสารละลายธาตุอาหาร 1 นาที่ หยุด 10 นาที่ มีน้ำหนักสดยอดที่มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมากกว่าการปนด้วยจังหวะอื่น และน้ำหนักแห้งยอดผักกาดหอมที่ได้รับการปนสารละลายธาตุอาหาร 1 นาที่ หยุด 6 นาที่ มีน้ำหนักแห้งยอดที่มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมากกว่าการปนด้วยจังหวะอื่น (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 9 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบของผักกาดหอมคอสดหลังย้ายปลูกกล้า
ผักอายุ 3 สัปดาห์มาปลูกในตู้ปลูกเอโร โพนิกส์ที่มีจังหวะปนสารละลายในจังหวะ
ต่างกันเป็นเวลานานอีก 1 สัปดาห์

จังหวะในการปน สารละลายธาตุอาหาร	น้ำหนักสด		น้ำหนักแห้ง		จำนวนใบ (ใบ)	พื้นที่ใบ (ซม ²)
	ยอด (กรัม)	ราก (กรัม)	ยอด (กรัม)	ราก (กรัม)		
ปนตลอดเวลา	95.82	21.32	2.69	0.78 b ^{1/}	18.7	1560.0
ปน 1 นาทีหยุด 6 นาที	81.08	19.52	3.55	0.63 b	18.6	1396.3
ปน 1 นาทีหยุด 10 นาที	93.91	22.20	3.24	1.00 a	18.8	1460.9
F – test	ns	ns	ns	**	ns	ns
%CV	25.80	23.63	32.03	23.49	12.01	21.64

ตารางที่ 10 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบของผักกาดหอมคอสดหลังย้ายปลูกกล้า
ผักอายุ 4 สัปดาห์มาปลูกในตู้ปลูกเอโร โพนิกส์ที่มีจังหวะปนสารละลายในจังหวะ
ต่างกันเป็นเวลานานอีก 1 สัปดาห์

จังหวะในการปน สารละลายธาตุอาหาร	น้ำหนักสด ^{1/}		น้ำหนักแห้ง ^{1/}		จำนวนใบ ¹ (ใบ)	พื้นที่ใบ ^{1/} (ซม ²)
	ยอด (กรัม)	ราก (กรัม)	ยอด (กรัม)	ราก (กรัม)		
ปนตลอดเวลา	121.05 b	28.88	3.91 b	1.63	24.9	1814.0
ปน 1 นาทีหยุด 6 นาที	151.55 a	33.76	5.18 a	1.79	27.1	2053.2
ปน 1 นาทีหยุด 10 นาที	160.00 a	28.86	3.74 b	1.45	26.6	2051.0
F – test	*	ns	*	ns	ns	ns
%CV	22.11	22.78	24.29	26.95	11.29	16.62

^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามหลังด้วยอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
ด้วยวิธีการ DMRT

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

การทดลองที่ 3 ผลของวิธีการระบายอากาศภายในตู้ปลูกเอโรโพนิกส์และจังหวะในการพ่นสารละลายธาตุอาหารที่มีต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

ศึกษาผลของตู้ปลูกแบบปิดทึบ (common chamber) และแบบเปิดระบายอากาศ (ventilated or louver chamber) และจังหวะในการพ่นสารละลายธาตุอาหารที่ต่างกัน 2 จังหวะ คือ พ่นตลอดเวลา และพ่น 1 นาทีหยุด 6 นาที ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมคอสที่ปลูกด้วยเทคนิคเอโรโพนิกส์ พร้อมทั้งศึกษาอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกตู้ปลูก อุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารและการใช้น้ำในเวลากลางวัน มีผลการศึกษาดังนี้

3.1 อุณหภูมิอากาศภายนอกและในตู้ปลูก

3.1.1 สัปดาห์ที่ 1

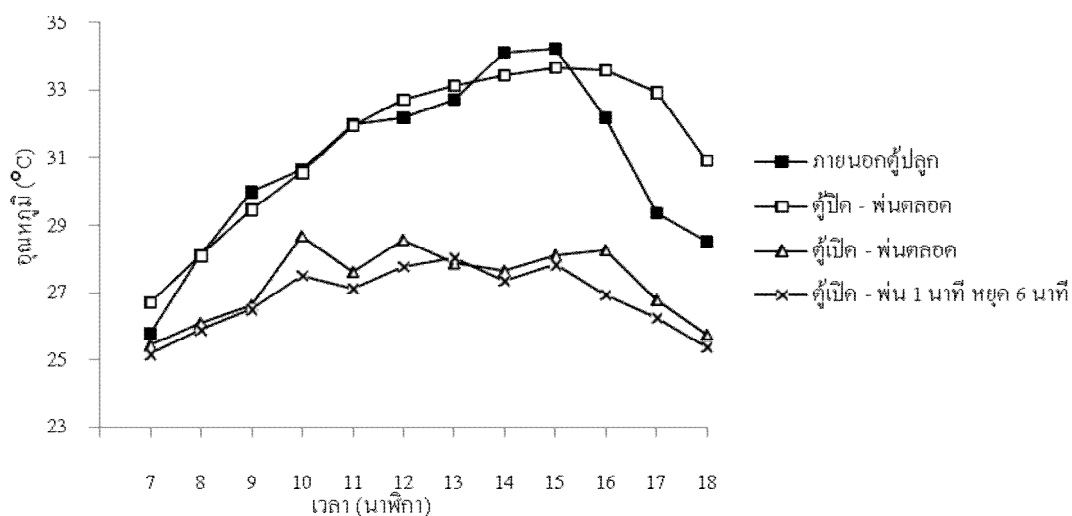
อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในเวลากลางวันภายนอกตู้ปลูกเอโรโพนิกส์ ในระหว่างสัปดาห์ที่ 1 มีค่าระหว่าง $25.8 - 34.2^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ยตลอดวันเท่ากับ 30.8°C อุณหภูมิภายในตู้ปลูกแบบปิดทึบที่มีการพ่นสารละลายตลอดเวลา มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอก มีค่าระหว่าง $26.7 - 33.7^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ยตลอดวันเท่ากับ 31.4°C นอกจากนี้อุณหภูมิภายในตู้ปลูกแบบปิดทึบมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกตั้งแต่ 6.00 น จนถึงเวลาที่อากาศภายนอกมีอุณหภูมิสูงสุดคือที่เวลา 14.00 น แต่หลังจากนั้นอุณหภูมิภายในตู้แบบปิดทึบกลับลดลงได้มากกว่าอากาศภายนอก อุณหภูมิภายในตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกัน และต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกและของตู้ปลูกแบบปิด กล่าวคืออุณหภูมิของอากาศในตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายตลอดเวลามีค่าระหว่าง $25.4 - 28.3^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 27.3°C ในขณะที่อุณหภูมิในตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายเป็นจังหวะเปิดปิดมีค่าระหว่าง $25.2 - 28.0^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 26.8°C ต่ำกว่าตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลาประมาณ 0.5°C (ภาพที่ 28)

เมื่อพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิอากาศระหว่างเวลา 10.00 น ถึง 14.00 น พบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในตู้ปลูกที่ไม่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายตลอดเวลา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.4°C ซึ่งเท่ากับอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก ส่วนตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศทั้งตู้ที่พ่นสารละลายตลอดเวลาและพ่น 1 นาที หยุด 6 นาที มีค่าต่ำกว่าอากาศภายนอกตู้ปลูก โดยตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายตลอดเวลา มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 4.3°C หรือคิดเป็น 13.27% และตู้ปลูกที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลาย 1 นาที หยุด 6 นาที มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 4.8°C หรือคิดเป็น 14.81% (ตารางที่ 11)

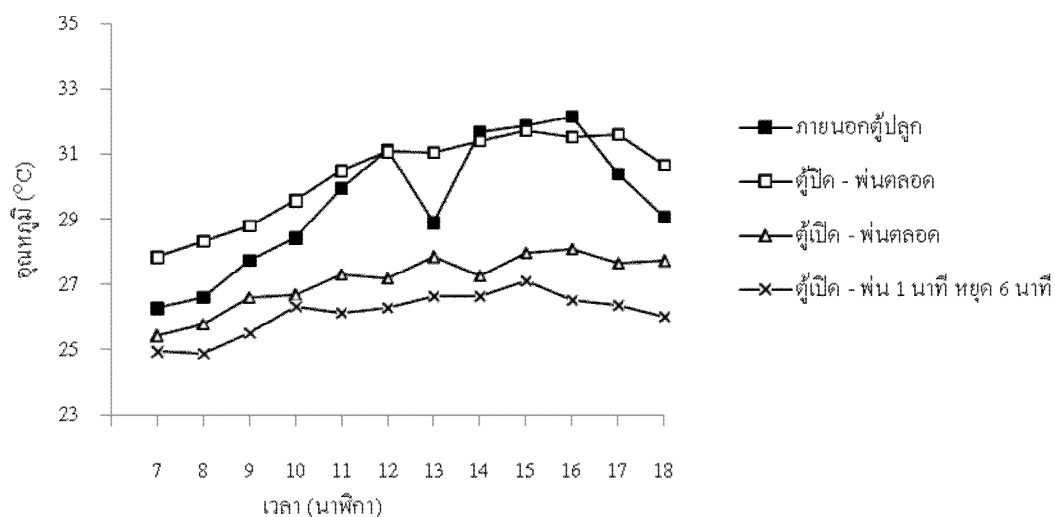
3.1.2 สัปดาห์ที่ 2

อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในเวลากลางวันภายนอกตู้ปลูกแอโรโพนิกส์ ในระหว่างสัปดาห์ที่ 2 มีค่าระหว่าง $26.3 - 31.9^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ยตลอดวันเท่ากับ 29.7°C อุณหภูมิภายในตู้ปลูกแบบปิดทึบที่มีการพ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลา มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยมีค่าระหว่าง $27.8 - 31.7^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ยตลอดวันเท่ากับ 30.3°C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศทั้งสองซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน กล่าวคืออุณหภูมิของอากาศในตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายตลอดเวลา มีค่าระหว่าง $25.4 - 28.1^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 27.1°C ในขณะที่อุณหภูมิในตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายเป็นจังหวะเปิดปิดมีค่าระหว่าง $24.9 - 27.1^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 26.1°C ซึ่งต่ำกว่าแบบพ่นตลอดเวลาประมาณ 1°C (ภาพที่ 29)

เมื่อพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิอากาศระหว่างเวลา 10.00 น ถึง 14.00 น พบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในตู้ปลูกที่ไม่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายตลอดเวลา มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก 0.7°C หรือคิดเป็น 2.33% ส่วนตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศทั้งตู้ที่พ่นสารละลายตลอดเวลาและพ่น 1 นาที หยุด 6 นาที มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก โดยตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายตลอดเวลา มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 2.7°C หรือคิดเป็น 9% และตู้ปลูกที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลาย 1 นาที หยุด 6 นาที มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 3.6°C หรือคิดเป็น 12.00% (ตารางที่ 12)



ภาพที่ 28 อุณหภูมิอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกเอโรโพนิคส์แบบปิดทึบและแบบที่มีการระบายอากาศและจังหวะการฟ้นสารละลายที่แตกต่างกันในสัปดาห์ที่ 1 หลังย้ายปลูก



ภาพที่ 29 อุณหภูมิอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกเอโรโพนิคส์แบบปิดทึบและแบบที่มีการระบายอากาศและจังหวะการฟ้นสารละลายที่แตกต่างกันในสัปดาห์ที่ 2 หลังย้ายปลูก

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอก ภายในตู้ปลูกที่มีการระบายอากาศและจังหวะการผัน
สสารละลายต่างกัน ความแตกต่างระหว่างภายนอกและภายในตู้ปลูก (°C) และ
เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับอากาศภายนอก (%) ระหว่างเวลา 10.00
น ถึง 14.00 น ในสัปดาห์ที่ 1

ตู้ปลูก	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความแตกต่างระหว่างภายนอก และภายในตู้ปลูก (°C)	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อ เปรียบเทียบกับอากาศภายนอก (%)
ภายนอกตู้ปลูก	32.4	-	-
ตู้ปิดทึบ-พ่นตลอดเวลา	32.4	0	0
ตู้แบบเปิด-พ่นตลอดเวลา	28.1	-4.3	-13.27
ตู้แบบเปิด-พ่น 1 นาที			
หยุด 6 นาที	27.6	-4.8	-14.81

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอก ภายในตู้ปลูกที่มีการระบายอากาศและจังหวะการผัน
สสารละลายต่างกัน ความแตกต่างระหว่างภายนอกและภายในตู้ปลูก (°C) และ
เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับอากาศภายนอก (%) ระหว่างเวลา 10.00
น ถึง 14.00 น ในสัปดาห์ที่ 2

ตู้ปลูก	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความแตกต่างระหว่างภายนอก และภายในตู้ปลูก (°C)	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อ เปรียบเทียบกับอากาศภายนอก (%)
ภายนอกตู้ปลูก	30.0	-	-
ตู้ปิดทึบ-พ่นตลอดเวลา	30.7	+0.7	+2.33
ตู้แบบเปิด-พ่นตลอดเวลา	27.3	-2.7	-9.00
ตู้แบบเปิด-พ่น 1 นาที			
หยุด 6 นาที	26.4	-3.6	-12.00

3.1.3 สัปดาห์ที่ 3

อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในเวลากลางวันภายนอกตู้ปลูกแอโรโพนิกส์ ในระหว่างสัปดาห์ที่ 3 มีค่าระหว่าง $27.5 - 33.6^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ยตลอดวันเท่ากับ 31.0°C อุณหภูมิภายในตู้ปลูกแบบปิดทึบที่มีการพ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลามีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยมีค่าระหว่าง $28.4 - 33.0^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ยตลอดวันเท่ากับ 31.5°C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศทั้งสองซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่อุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายตลอดเวลาสูงกว่าตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายเป็นจังหวะประมาณ 0.1°C กล่าวคืออุณหภูมิของอากาศในตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายตลอดเวลามีค่าระหว่าง $25. - 27.50^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 26.5°C ในขณะที่อุณหภูมิในตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายเป็นจังหวะเปิดปิดมีค่าระหว่าง $25.2 - 27.5^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 26.8°C ซึ่งต่ำกว่าแบบพ่นตลอดเวลาประมาณ 1°C (ภาพที่ 30)

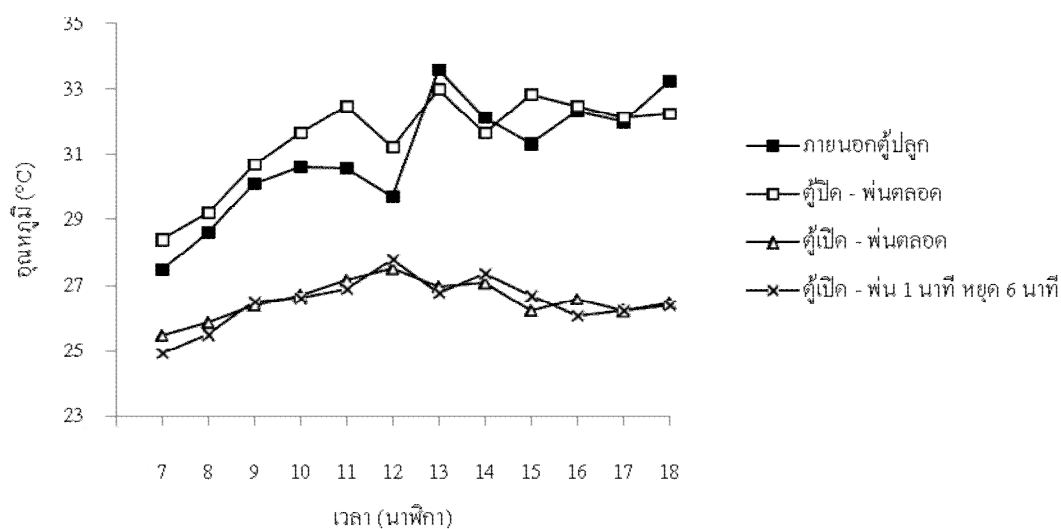
เมื่อพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิอากาศระหว่างเวลา 10.00 น ถึง 14.00 น พบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในตู้ปลูกทั้ง 3 ลักษณะมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก โดยตู้ปลูกแบบที่ไม่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายตลอดเวลามีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าอากาศภายนอกตู้ปลูก 0.7°C หรือคิดเป็น 2.24% ส่วนอุณหภูมิภายในตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศทั้งตู้ที่พ่นสารละลายตลอดเวลาและตู้ที่พ่นสารละลาย 1 นาที หยุด 6 นาทีมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าอากาศภายนอกตู้ปลูก 4.2°C หรือคิดเป็น 13.42% (ตารางที่ 13)

3.1.4 สัปดาห์ที่ 4

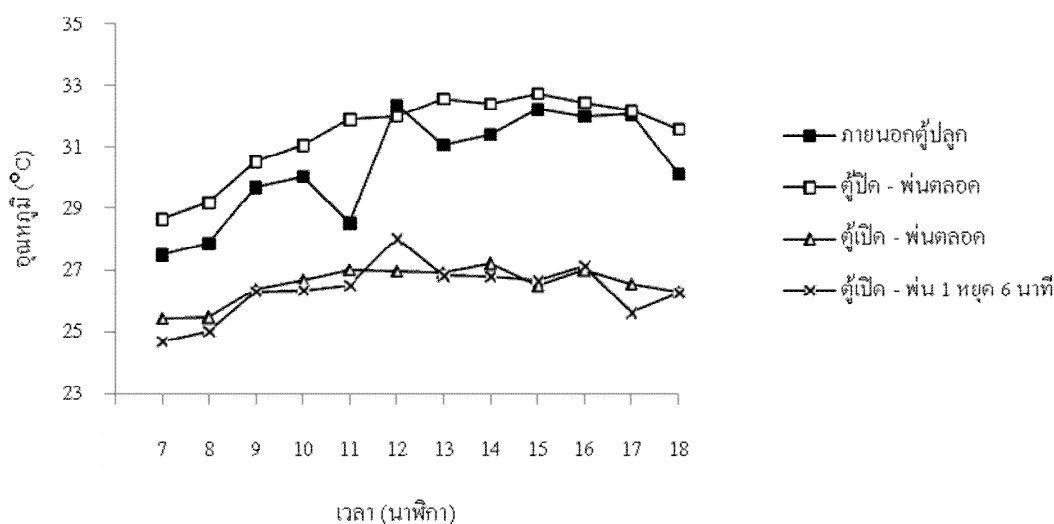
อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในเวลากลางวันภายนอกตู้ปลูกแอโรโพนิกส์ ในระหว่างสัปดาห์ที่ 4 มีค่าระหว่าง $27.5 - 32.4^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ยตลอดวันเท่ากับ 30.4°C ต่ำกว่าอุณหภูมิภายในตู้ปลูกแบบปิดทึบที่มีการพ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลามีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยมีค่าระหว่าง $28.7 - 32.8^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ยตลอดวันเท่ากับ 31.5°C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศทั้งสองซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่อุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายตลอดเวลา

สูงกว่าตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายเป็นจังหวะประมาณ 0.2°C กล่าวคือ อุณหภูมิของอากาศในตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายตลอดเวลา มีค่าระหว่าง $25.4 - 27.2^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 26.5°C ในขณะที่อุณหภูมิในตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายเป็นจังหวะเปิดปิดมีค่าระหว่าง $24.7 - 28.0^{\circ}\text{C}$ และมีค่าเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 26.4°C ซึ่งต่ำกว่าแบบพ่นตลอดเวลาประมาณ 1°C (ภาพที่ 31)

เมื่อพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิอากาศระหว่างเวลา 10.00 น ถึง 14.00 น พบว่า อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในตู้ปลูกทั้ง 3 ลักษณะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก โดยตู้ปลูกแบบที่ไม่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายตลอดเวลา มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าอากาศภายนอกตู้ปลูก 1.3°C หรือคิดเป็น 4.23% ส่วนอุณหภูมิภายในตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศ ส่วนอุณหภูมิภายในตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายตลอดเวลา มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก 3.7°C หรือคิดเป็น 12.05% และตู้ปลูกที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลาย 1 นาที หยุด 6 นาที มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 3.8°C หรือคิดเป็น 12.38% (ตารางที่ 14)



ภาพที่ 30 อุณหภูมิอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกเอโรโพนิกส์แบบปิดทึบและแบบที่มีการระบายอากาศและจังหวะการฟ้นสารละลายที่แตกต่างกันในสัปดาห์ที่ 3 หลังย้ายปลูก



ภาพที่ 31 อุณหภูมิอากาศภายนอก และภายในตู้ปลูกเอโรโพนิกส์แบบปิดทึบและแบบที่มีการระบายอากาศและจังหวะการฟ้นสารละลายที่แตกต่างกันในสัปดาห์ที่ 4 หลังย้ายปลูก

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอก ภายในตู้ปลูกที่มีการระบายอากาศและจังหวะการผัน
สารถะลายต่างกัน ความแตกต่างระหว่างภายนอกและภายในตู้ปลูก (°C) และ
เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับอากาศภายนอก (%) ระหว่างเวลา 10.00
น ถึง 14.00 น ในสัปดาห์ที่ 3

ตู้ปลูก	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความแตกต่างระหว่างภายนอก และภายในตู้ปลูก (°C)	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อ เปรียบเทียบกับอากาศภายนอก (%)
ภายนอกตู้ปลูก	31.3	-	-
ตู้ปิดทึบ-พ่นตลอดเวลา	32.0	-0.7	-2.24
ตู้แบบเปิด-พ่นตลอดเวลา	27.1	-4.2	-13.42
ตู้แบบเปิด-พ่น 1 นาที			
หยุด 6 นาที	27.1	-4.2	-13.42

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอก ภายในตู้ปลูกที่มีการระบายอากาศและจังหวะการผัน
สารถะลายต่างกัน ความแตกต่างระหว่างภายนอกและภายในตู้ปลูก (°C) และ
เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับอากาศภายนอก (%) ระหว่างเวลา 10.00
น ถึง 14.00 น ในสัปดาห์ที่ 4

ตู้ปลูก	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความแตกต่างระหว่างภายนอก และภายในตู้ปลูก (°C)	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อ เปรียบเทียบกับอากาศภายนอก (%)
ภายนอกตู้ปลูก	30.7	-	-
ตู้ปิดทึบ-พ่นตลอดเวลา	32.0	-1.3	-4.23
ตู้แบบเปิด-พ่นตลอดเวลา	27.0	-3.7	-12.05
ตู้แบบเปิด-พ่น 1 นาที			
หยุด 6 นาที	26.9	-3.8	-12.38

3.2 อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหาร

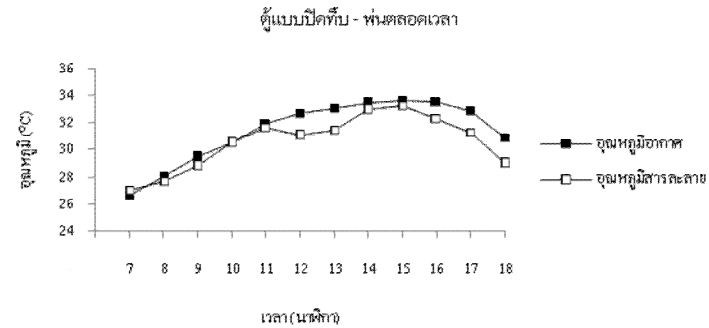
จากการบันทึกอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในถังพลาสติกขนาด 90 ลิตร ซึ่งวางอยู่ใต้โต๊ะปลูกแบบแอโร โพนิกส์ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในตู้ปลูก พบว่า

3.2.1 สัปดาห์ที่ 1

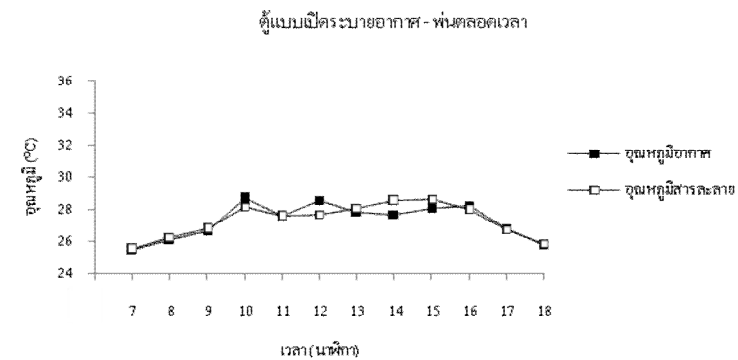
เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารของตู้ปลูกทั้งสามกับอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก (ภาพที่ 32 a) พบว่า อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารที่พ่นเข้าไปในตู้ปลูกแบบปิดที่ตลอดเวลา มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นและลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในและภายนอกตู้ปลูกในเวลากลางวัน โดยมีอุณหภูมิที่ 26.7°C ในเวลา 7.00 น และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่อุณหภูมิ 33.7°C ที่เวลา 16.00 น (ภาพที่ 32 b) ส่วนสารละลายธาตุอาหารของตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศทั้ง 2 ตู้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกันและต่ำกว่าอุณหภูมิสารละลายของตู้ปลูกแบบปิดที่บและอากาศภายนอกตู้ปลูกประมาณ 5°C กล่าวคือสารละลายของตู้แบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายตลอดเวลา มีอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 25.4°C ในเวลา 7.00 น จนถึงค่าสูงสุดที่ 28.3°C ในเวลา 15.00 น (ภาพที่ 32 c) ในขณะที่ตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศซึ่งพ่นสารละลาย 1 นาทีหยุด 6 นาที มีอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 25.2°C ในเวลา 7.00 น จนมีค่าสูงสุดที่ 28.0°C ในเวลา 17.00 น (ภาพที่ 32 d)



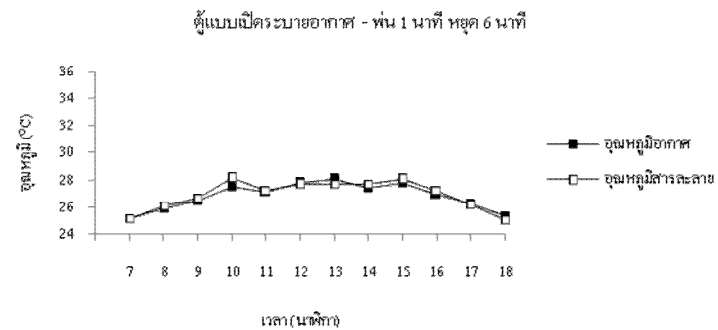
(a)



(b)



(c)



(d)

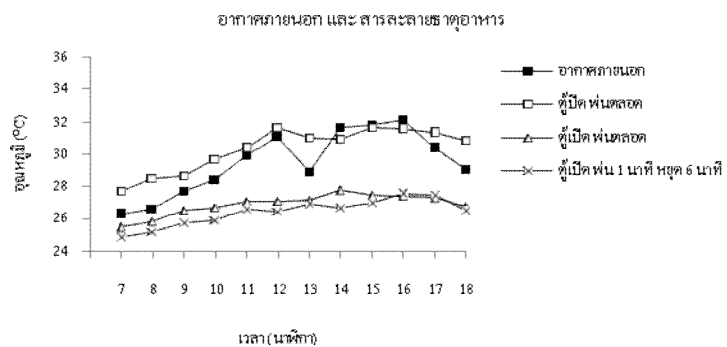
ภาพที่ 32 อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกแบบปิดทึบและแบบที่เปิดระบายอากาศทั้งตู้ที่มีการฟันสารละลายตลอดเวลาและฟันเป็นจังหวะเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 1

3.2.2 สัปดาห์ที่ 2

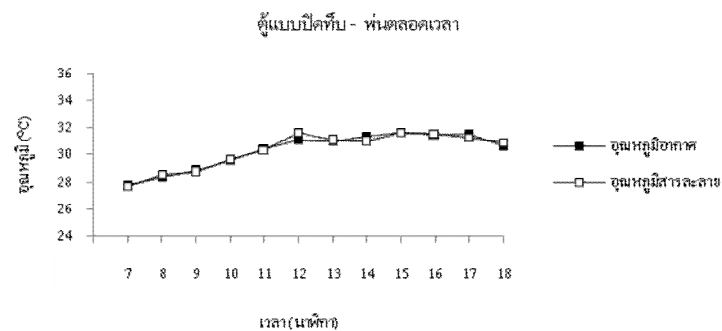
เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารของตู้ปลูกทั้งสามกับอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก (ภาพที่ 33 a) พบว่า อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารที่พ่นเข้าไปในตู้ปลูกแบบปิดที่ตลอดเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในและภายนอกตู้ปลูก ในเวลากลางวัน โดยมีอุณหภูมิที่ 27.0°C ในเวลา 7.00 น และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่อุณหภูมิ 31.7°C ที่เวลา 15.00 น (ภาพที่ 33 b) ส่วนสารละลายของตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศทั้ง 2 ตู้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกันและต่ำกว่าอุณหภูมิสารละลายของตู้ปลูกแบบปิดที่และอากาศภายนอกตู้ปลูกประมาณ 5°C กล่าวคือสารละลายของตู้แบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายตลอดเวลามีอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 25.5°C ในเวลา 7.00 น จนถึงค่าสูงสุดที่ 27.8°C ในเวลา 14.00 น (ภาพที่ 33 c) ในขณะที่ตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศซึ่งพ่นสารละลาย 1 นาทีหยุด 6 นาที มีอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 24.9°C ในเวลา 7.00 น จนมีค่าสูงสุดที่ 27.5°C ในเวลา 16.00 น (ภาพที่ 33 d)

3.2.3 สัปดาห์ที่ 3

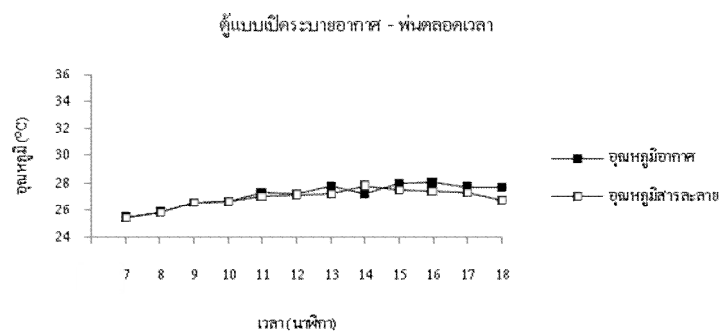
เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารของตู้ปลูกทั้งสามกับอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก (ภาพที่ 34 a) พบว่า อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารที่พ่นเข้าไปในตู้ปลูกแบบปิดที่ตลอดเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในและภายนอกตู้ปลูกในเวลากลางวัน โดยมีอุณหภูมิที่ 28.8°C ในเวลา 7.00 น และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่อุณหภูมิ 33.0°C ที่เวลา 14.00 น (ภาพที่ 34 b) ส่วนสารละลายของตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศทั้ง 2 ตู้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกันและต่ำกว่าอุณหภูมิสารละลายของตู้ปลูกแบบปิดที่และอากาศภายนอกตู้ปลูกประมาณ 5°C กล่าวคือสารละลายของตู้แบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายตลอดเวลามีอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 25.5°C ในเวลา 7.00 น จนถึงค่าสูงสุดที่ 27.2°C ในเวลา 13.00 น (ภาพที่ 34 c) ในขณะที่ตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศซึ่งพ่นสารละลาย 1 นาทีหยุด 6 นาที มีอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 25.2°C ในเวลา 7.00 น จนมีค่าสูงสุดที่ 27.5°C ในเวลา 12.00 น (ภาพที่ 34 d)



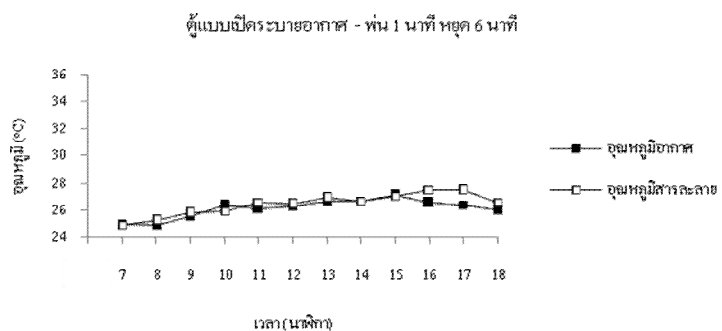
(a)



(b)

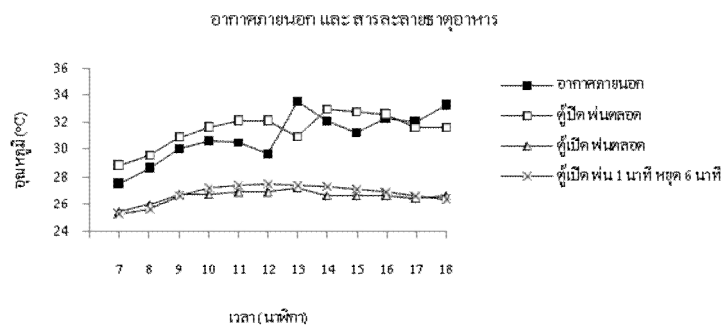


(c)

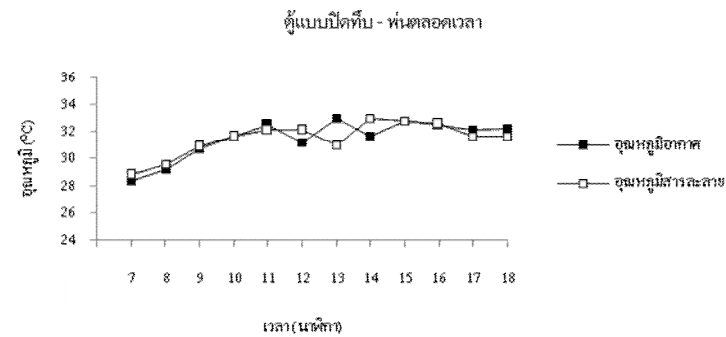


(d)

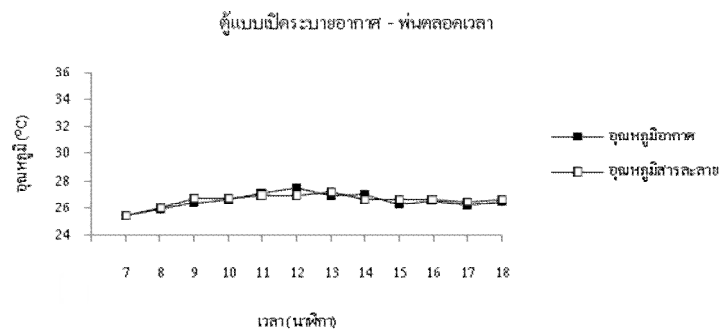
ภาพที่ 33 อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกแบบปิดทึบและแบบที่เปิดระบายอากาศทั้งตู้ที่มีการผันสารละลายตลอดเวลาและผันเป็นจังหวะเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 2



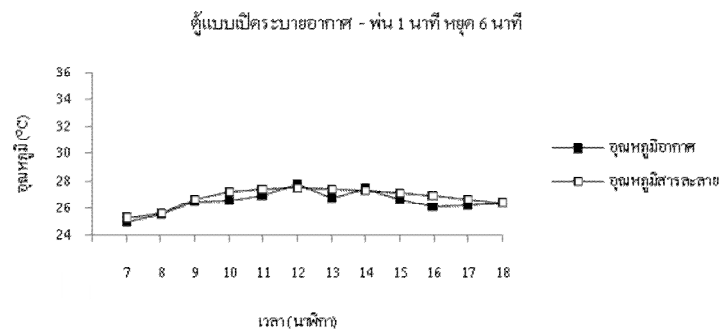
(a)



(b)



(c)

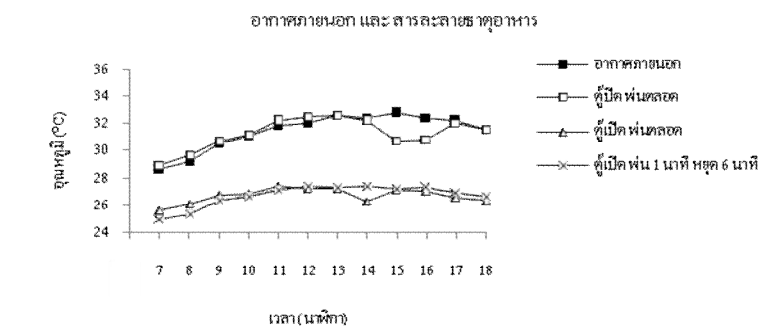


(d)

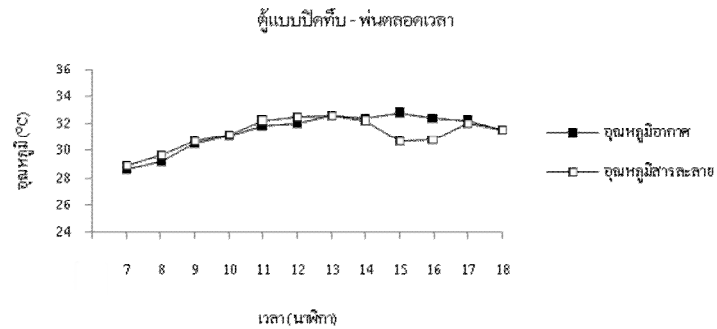
ภาพที่ 34 อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกแบบปิดทึบและแบบที่เปิดระบายอากาศทั้งตู้ที่มีการผันสารละลายตลอดเวลาและผันเป็นจังหวะเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 3

3.2.4 สัปดาห์ที่ 4

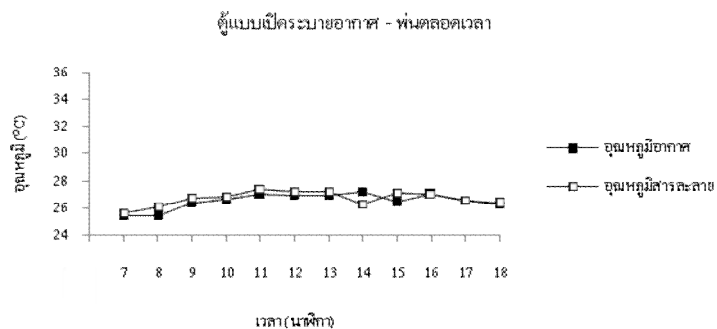
เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารของตู้ปลูกทั้งสามกับอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก (ภาพที่ 35 a) พบว่า อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารที่พ่นเข้าไปในตู้ปลูกแบบปิดที่ตลอดเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในและภายนอกตู้ปลูกในเวลากลางวัน โดยมีอุณหภูมิที่ 28.9°C ในเวลา 7.00 น และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่อุณหภูมิ 32.6°C ที่เวลา 13.00 น (ภาพที่ 35 b) ส่วนสารละลายของตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศทั้ง 2 ตู้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกันและต่ำกว่าอุณหภูมิสารละลายของตู้ปลูกแบบปิดที่และอากาศภายนอกตู้ปลูกประมาณ 5°C กล่าวคือสารละลายของตู้แบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายตลอดเวลามีอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 25.6°C ในเวลา 7.00 น จนถึงค่าสูงสุดที่ 27.4°C ในเวลา 13.00 น (ภาพที่ 35 c) ในขณะที่ตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศซึ่งพ่นสารละลาย 1 นาทีหยุด 6 นาที มีอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจาก 25.0°C ในเวลา 7.00 น จนมีค่าสูงสุดที่ 27.4°C ในเวลา 13.00 (ภาพที่ 35 d)



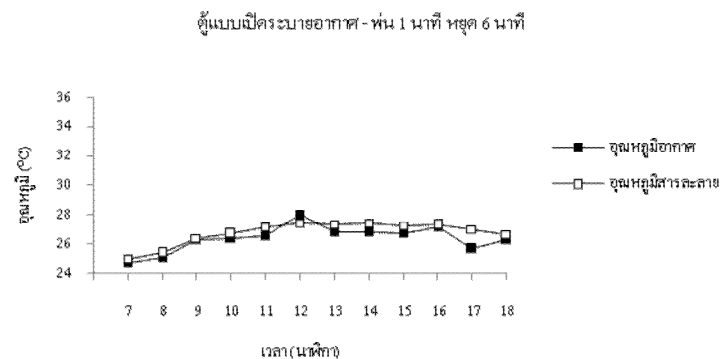
(a)



(b)



(c)



(d)

ภาพที่ 35 อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในเวลากลางวันของตู้ปลูกแบบปิดทึบและแบบที่เปิดระบายอากาศทั้งตู้ที่มีการพ่นสารละลายตลอดเวลาและพ่นเป็นจังหวะเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก (a) และอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกเดียวกัน (b, c และ d) ในสัปดาห์ที่ 4

3.2 การเจริญเติบโต

3.2.1 อายุ 1 สัปดาห์หลังย้ายปลูก

เมื่อย้ายต้นกล้าผักกวย 2 สัปดาห์หลังเพาะเมล็ดมาปลูกในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ที่มีตู้ปลูกต่างกัน 3 แบบ คือ แบบปิดทึบที่พ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลา แบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศที่พ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลา และแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศที่พ่นสารละลายธาตุอาหาร 1 นาที หยุด 6 นาที เป็นเวลานาน 1 สัปดาห์ พบว่า ผักกาดหอมคอสที่ย้ายมาปลูกในตู้ปลูกทั้ง 3 ลักษณะมีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และจำนวนใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่พื้นที่ใบของผักกาดหอมคอสที่ปลูกในตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศทั้ง 2 ตู้ มีค่ามากกว่าผักกาดหอมคอสที่ปลูกในตู้ปลูกแบบปิดทึบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 15)

3.2.2 อายุ 2 สัปดาห์หลังย้ายปลูก

เมื่อย้ายต้นกล้าผักกวย 2 สัปดาห์หลังเพาะเมล็ดมาปลูกในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ที่มีตู้ปลูกต่างกัน 3 แบบ คือ แบบปิดทึบที่พ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลา แบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศที่พ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลา และแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศที่พ่นสารละลายธาตุอาหาร 1 นาที หยุด 6 นาที เป็นเวลานาน 2 สัปดาห์ พบว่าผักกาดหอมคอสที่ย้ายมาปลูกในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ที่มีการระบายอากาศและจังหวะในการพ่นสารละลาย 1 นาที หยุด 6 นาที มีการเจริญเติบโตในทุกๆด้าน ได้แก่ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และพื้นที่ใบ ยกเว้นจำนวนใบที่มากที่สุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากที่ปลูกในตู้แบบปิดทึบและพ่นสารละลายตลอดเวลา รองลงมาได้แก่ผักกาดหอมที่ปลูกในตู้ที่มีการระบายอากาศและพ่นสารละลายเป็นจังหวะนาน 1 นาที หยุด 10 นาที ซึ่งมีเฉพาะน้ำหนักสดส่วนยอดที่น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากตู้ที่พ่น 1 นาที หยุด 6 นาที แต่มีน้ำหนักสดยอดและราก น้ำหนักแห้งยอด และพื้นที่ใบที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากของตู้แบบปิดทึบและพ่นสารละลายตลอดเวลา (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 15 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบของผักกาดหอมคอสที่อายุ 1 สัปดาห์
หลังย้ายปลูกในตู้ปลูกแอรโอโพนิกส์ที่มีการระบายอากาศ และจังหวะการพ่น
สารละลายที่แตกต่างกัน

แบบตู้ปลูกแอรโอโพนิกส์	น้ำหนักสด		น้ำหนักแห้ง		จำนวนใบ (ใบ)	พื้นที่ใบ (ซม ²)
	ยอด (กรัม)	ราก (กรัม)	ยอด (กรัม)	ราก (กรัม)		
ตู้ปิดทึบ-พ่นตลอดเวลา	1.31	0.20	0.11	0.03	3.6	34.65 a ^{1/}
ตู้แบบเปิด-พ่นตลอดเวลา	1.33	0.22	0.08	0.03	3.4	33.56 a
ตู้แบบเปิด-พ่น 1 นาทีหยุด 6 นาที	1.21	0.31	0.11	0.02	3.9	49.63 b
F – test	ns	ns	ns	ns	ns	**
%CV	35.19	54.76	38.19	38.19	14.70	33.04

ตารางที่ 16 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบของผักกาดหอมคอสที่อายุ 2 สัปดาห์
หลังย้ายปลูกในตู้ปลูกแอรโอโพนิกส์ที่มีการระบายอากาศ และจังหวะการพ่น
สารละลายที่แตกต่างกัน

แบบตู้ปลูกแอรโอโพนิกส์	น้ำหนักสด		น้ำหนักแห้ง		จำนวนใบ (ใบ)	พื้นที่ใบ (ซม ²)
	ยอด (กรัม)	ราก (กรัม)	ยอด (กรัม)	ราก (กรัม)		
ตู้ปิดทึบ-พ่นตลอดเวลา	5.95 c ^{1/}	0.93b ^{1/}	0.37 b ^{1/}	0.08 b ^{1/}	6.0	124.85 b ^{1/}
ตู้แบบเปิด-พ่นตลอดเวลา	11.08 b	2.17 a	0.54 a	0.11 ab	6.8	225.70 a
ตู้แบบเปิด-พ่น 1 นาทีหยุด 6 นาที	15.67 a	2.07 a	0.74 a	0.15 a	7.3	305.82 a
F – test	**	**	**	*	ns	**
%CV	38.37	44.67	34.21	47.67	17.16	34.69

^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามหลังด้วยอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ด้วยวิธีการ DMRT

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

3.2.3 อายุ 3 สัปดาห์หลังย้ายกล้า

เมื่อย้ายต้นกล้าผักวัย 2 สัปดาห์หลังเพาะเมล็ดมาปลูกในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ที่มีตู้ปลูกต่างกัน 3 แบบ คือ แบบปิดทึบที่พ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลา แบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศที่พ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลา และแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศที่พ่นสารละลายธาตุอาหาร 1 นาที หยุด 6 นาที เป็นเวลานาน 3 สัปดาห์ พบว่า ผักกาดหอมที่ย้ายมาปลูกในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ที่มีการระบายอากาศทั้งสองตู้ ทั้งตู้ที่พ่นสารละลายตลอดเวลา และพ่นสารละลาย 1 นาที หยุด 6 นาที มีน้ำหนักสดทั้งส่วนยอดและส่วนราก น้ำหนักแห้งส่วนยอด และพื้นที่ใบ ไม่แตกต่างกัน แต่มากกว่าผักกาดหอมที่ปลูกในตู้ปลูกแบบปิดทึบที่พ่นสารละลายตลอดเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนน้ำหนักแห้งราก และจำนวนใบของผักกาดหอมที่ปลูกในตู้ปลูกทั้ง 3 แบบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 17)

3.2.4 อายุ 4 สัปดาห์หลังย้ายกล้า

เมื่อย้ายต้นกล้าผักวัย 2 สัปดาห์หลังเพาะเมล็ดมาปลูกในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ที่มีตู้ปลูกต่างกัน 3 แบบ คือ แบบปิดทึบที่พ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลา แบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศที่พ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลา และแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศที่พ่นสารละลายธาตุอาหาร 1 นาที หยุด 6 นาที เป็นเวลานาน 4 สัปดาห์ พบว่า ผักกาดหอมที่ย้ายมาปลูกในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ที่มีการระบายอากาศทั้งสองตู้ ทั้งตู้ที่พ่นสารละลายตลอดเวลา และพ่นสารละลาย 1 นาที หยุด 6 นาที มีการเจริญในทุกด้านไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมากกว่าผักกาดหอมที่ปลูกในตู้ปลูกแบบปิดทึบที่พ่นสารละลายตลอดเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 17 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบของผักกาดหอมคอสที่อายุ 3 สัปดาห์
หลังย้ายปลูกในตู้ปลูกแอรโอโพนิกส์ที่มีการระบายอากาศ และจังหวะการพ่น
สารละลายที่แตกต่างกัน

แบบตู้ปลูกแอรโอโพนิกส์	น้ำหนักสด ^{1/}		น้ำหนักแห้ง		จำนวนใบ (ใบ)	พื้นที่ใบ (ซม. ²)
	ยอด (กรัม)	ราก (กรัม)	ยอด (กรัม)	ราก (กรัม)		
ตู้ปิดทึบ-พ่นตลอดเวลา	20.22 b ^{1/}	3.31 b ^{1/}	1.07 b ^{1/}	0.43	11.5	419.54 b ^{1/}
ตู้แบบเปิด-พ่นตลอดเวลา	53.09 a	5.93 a	2.10 a	0.35	13.2	935.12 a
ตู้แบบเปิด-พ่น 1 นาทีหยุด 6 นาที	46.64 a	5.51 a	2.00 a	0.33	11.8	813.37 a
F – test	**	*	**	ns	ns	**
%CV	38.45	42.72	35.20	10.81	16.26	34.03

ตารางที่ 18 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และพื้นที่ใบของผักกาดหอมคอสที่อายุ 4 สัปดาห์
หลังย้ายปลูกในตู้ปลูกแอรโอโพนิกส์ที่มีการระบายอากาศ และจังหวะการพ่น
สารละลายที่แตกต่างกัน

แบบตู้ปลูกแอรโอโพนิกส์	น้ำหนักสด		น้ำหนักแห้ง		จำนวนใบ ¹ (ใบ)	พื้นที่ใบ (ซม. ²)
	ยอด (กรัม)	ราก (กรัม)	ยอด (กรัม)	ราก (กรัม)		
ตู้ปิดทึบ-พ่นตลอดเวลา	59.98 b ^{1/}	11.10 b ^{1/}	2.49 b ^{1/}	0.89 b ^{1/}	17.6 b ^{1/}	1128.63 b ^{1/}
ตู้แบบเปิด-พ่นตลอดเวลา	132.81 a	18.49 a	4.51 a	1.06 ab	20.10 ab	2115.43 a
ตู้แบบเปิด-พ่น 1 นาทีหยุด 6 นาที	143.32 a	17.86 a	4.68 a	1.13 a	22.30 a	2239.82 a
F – test	**	**	**	*	*	**
%CV	28.00	23.79	27.87	19.77	17.03	23.51

^{1/} ค่าเฉลี่ยที่ตามหลังด้วยอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
ด้วยวิธีการ DMRT

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

3.3 การใช้น้ำ

ในการเก็บปริมาณน้ำที่หายไปจากการปลูกผักกาดหอมคอสนิในแต่ละวันด้วยเทคนิคแอโรโพนิกส์ ที่อยู่ในถังสารละลายธาตุอาหารปริมาตร 90 ลิตร ซึ่งตั้งอยู่ใต้ตู้ปลูกแอโรโพนิกส์ 3 แบบ ได้แก่ ตู้ปลูกแบบปิดทึบที่พ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลา ตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศที่พ่นสารละลายธาตุอาหาร และตู้ปลูกที่มีช่องเปิดระบายอากาศที่พ่นสารละลายธาตุอาหารเป็นจังหวะ พบว่า มีการใช้น้ำในเวลากลางวันตลอดฤดูกาลไม่แตกต่างกัน แต่ตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลาสูญเสียน้ำมากกว่าตู้แบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศที่พ่นสารละลายธาตุอาหารเป็นจังหวะ และตู้ปลูกแบบปิดทึบ ตามลำดับ (ตารางที่ 19)

ตารางที่ 19 ปริมาณการใช้น้ำ (มล./วัน) ของตู้ปลูกแบบปิดที่บที่พ่นสารละลายธาตุอาหาร
 ตลอดเวลาตู้ปลูกที่มีช่องเปิดระบายที่พ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลา ตู้ปลูกที่มี
 ช่องเปิดระบายที่พ่นสารละลายธาตุอาหาร 1 นาทีหยุด 6 นาที

แบบตู้ปลูกแอโร โพนิกส์	ปริมาณสารละลายเฉลี่ยที่ใช้ไป (มล./วัน)
ตู้ปิดที่บ-พ่นตลอดเวลา	4,004
ตู้แบบเปิด-พ่นตลอดเวลา	5,053
ตู้แบบเปิด-พ่น 1 นาทีหยุด 6 นาที	5,014

วิจารณ์

ในการศึกษาการเจริญเติบโตของผักกาดหอมคอสีในแต่ละช่วงอายุหลังย้ายปลูกที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินด้วยเทคนิคแอโรโพนิคส์เปรียบเทียบกับผักที่ปลูกด้วยเทคนิค NFT ตลอดเวลา ผลของจังหวัดการปนสารละลาย และผลของการระบายอากาศในตู้ปลูกต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม พร้อมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูก อุณหภูมิสารละลายของแต่ละตู้ปลูกได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ทำการศึกษาการเจริญเติบโตในแต่ละช่วงอายุของผักกาดหอมคอสีที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินด้วยเทคนิคแอโรโพนิคส์ เปรียบเทียบกับผักที่ปลูกด้วยเทคนิค NFT ตลอดเวลาพร้อมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายใน ภายนอก และอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารของตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ที่ไม่ปนสารละลายและไม่ปลูกพืช ปนสารละลายและไม่ปลูกพืช และปนสารละลายและปลูกพืช พบว่าภายในตู้ปลูกที่ไม่ปนสารละลายธาตุอาหารและไม่ปลูกพืชมีอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก และสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกที่ปนสารละลายทั้งตู้ที่ปลูกและไม่ปลูกพืช ส่วนการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสารละลายพบผลการทดลองในทางตรงกันข้ามกับอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูก กล่าวคือสารละลายของตู้ที่ไม่ปนสารละลายและไม่ปลูกพืชมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิสารละลายของตู้ที่ปนสารละลายเข้าไปภายในตู้ปลูกทั้งสองตู้ (ปลูกพืชและไม่ปลูกพืช)

การที่ตู้ปลูกมีอุณหภูมิสูงขึ้นเกิดจากการพาความร้อน (convection) ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) ลักษณะหนึ่งจากการถ่ายเทความร้อน 3 ลักษณะอันได้แก่ การนำความร้อน (conduction) ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งไปสู่อีกโมเลกุลที่อยู่ติดกัน การแผ่รังสี (radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน และการพาความร้อน (convection) ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการเคลื่อนที่ของอะตอมและโมเลกุลของสารซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวและก๊าซ ซึ่งการถ่ายเทความร้อนอาจเกิดขึ้นได้ด้วยกลไกมากกว่าหนึ่งลักษณะร่วมกัน (นักสิทธิ, 2536) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ในเวลากลางวันที่สูงขึ้นน่าจะเกิดจากการรับพลังงานความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกตู้ปลูกเข้าสู่ภายในตู้ปลูกทำให้อุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกสูงขึ้น และเมื่อตู้ปลูกรับพลังงานจากภายนอกมากกว่าการที่ตู้ปลูกจะระบายความร้อนกลับออกสู่ภายนอกได้จึงเกิดความร้อนสะสมขึ้นภายในตู้ปลูก ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกที่ไม่ปนสารละลายเข้าไป

ภายในตู้ปลูกสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก ส่วนตู้ปลูกที่มีการพันสารละลายเข้าไปภายในตู้ปลูกนั้นมีการระบายความร้อนออกมาได้มากกว่าตู้ปลูกที่ไม่ได้พันสารละลายเข้าไปภายในตู้ด้วยการใช้น้ำที่พันเข้าไปในตู้ปลูกไปพาความร้อนจากภายในตู้ปลูกออกมายังภายนอกตู้ปลูก จึงทำให้มีอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูกได้ ดังจะเห็นได้จากอุณหภูมิสารละลายของตู้ที่มีการพันสารละลายเข้าไปภายในตู้ปลูกทั้งสองตู้ทั้งตู้ที่ปลูกและไม่ปลูกพืชสูงกว่าอุณหภูมิสารละลายของตู้ที่ไม่ได้พันสารละลายเข้าไปภายในตู้ปลูก จึงกล่าวได้ว่าการพันสารละลายเข้าไปภายในตู้ปลูกเป็นการช่วยพาความร้อนจากภายในตู้ปลูกออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกตู้ปลูก

การที่ตู้ปลูกที่มีการพันสารละลายธาตุอาหารทั้งสองตู้ทั้งตู้ที่มีการปลูกและไม่ปลูกพืชมีอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกใกล้เคียงกัน แสดงว่าความร้อนที่เกิดจากการหายใจของรากนั้นมีน้อยมาก จนไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในตู้ปลูกที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

อย่างไรก็ตามผลของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์นี้ไม่ตรงกับความเห็นของ วัฒนา (2540) ที่รายงานว่าอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบแอโรโพนิคส์สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากตู้ปลูกที่ใช้ศึกษามีลักษณะและขนาดที่ต่างกับของวัฒนา (2540) จึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความร้อนภายในตู้ปลูกต่างกัน

ในการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมที่ปลูกอยู่ในเทคนิค NFT ที่อายุต่าง ๆ กันก่อนย้ายมาปลูกต่อในตู้แอโรโพนิคส์นาน 1 สัปดาห์เปรียบเทียบกับที่ปลูกในเทคนิค NFT ตลอดเวลา ซึ่งพบว่าเมื่อย้ายต้นกล้าที่มีอายุเพียง 2 และ 3 สัปดาห์หลังเพาะเมล็ดมาปลูกต่อในแอโรโพนิคส์มีการเจริญเติบโตที่ลดลงเมื่อเทียบกับการปลูกในเทคนิค NFT อย่างต่อเนื่องแต่เมื่อย้ายต้นกล้าผักที่มีอายุมากขึ้น (4 และ 5 สัปดาห์หลังเพาะเมล็ด) กลับไม่พบความแตกต่างทางสถิติ แสดงว่าสภาพแวดล้อมในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์อาจไม่เหมาะสมกับต้นกล้าผักกาดหอมที่ยังเล็กอยู่ เพราะที่อายุเพียง 2 – 3 สัปดาห์หลังเพาะเมล็ดผักกาดหอมยังมีขนาดเล็ก มีรากน้อย การปลูกในตู้แอโรโพนิคส์ที่อาศัยการพันสารละลายธาตุอาหารทำให้การพันสารละลายธาตุอาหารอาจไม่ครอบคลุมสม่ำเสมอทั่วทั้งตู้ปลูก รากพืชจึงไม่ได้สัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารหรือสัมผัสได้น้อยส่งผลให้รากพืชดูดน้ำและธาตุอาหารได้ไม่เต็มที่ หรือความแรงของการพันสารละลายอาจทำอันตรายแก่ราก

พืชที่มีความอ่อนแอจนสร้างความเสียหายแก่รากพืชได้ ในขณะที่การปลูกในเทคนิค NFT รากพืชได้สัมผัสกับสารละลายอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา แม้ต้นกล้ายังมีขนาดเล็กอยู่ก็ตาม

เมื่อผักมีอายุ 3 – 4 สัปดาห์หลังย้ายกล้า เป็นระยะที่ผักมีอายุมากขึ้น จึงมีจำนวนราก พื้นที่ผิว และมีความยาวรากมากขึ้น โอกาสที่รากพืชจะสัมผัสกับสารละลายจึงมากขึ้นส่งผลให้พืชดูดน้ำและธาตุอาหารได้อย่างเพียงพอ นอกจากนี้แอโรโพนิคส์ยังเป็นเทคนิคที่ให้ออกซิเจนแก่รากพืชอย่างเพียงพอ (Morgan, 2005a) จึงเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของผักกาดหอมคอสในช่วงอายุ 3 – 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูก และสอดคล้องกับโสระยาและคณะ (2547) ที่พบว่า การเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์ Desert Queen ที่ปลูกด้วย NFT และแอโรโพนิคส์ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ผักกาดหอมพันธุ์ Okayama ที่ปลูกด้วยแอโรโพนิคส์มีน้ำหนักสดมากกว่าการปลูกด้วย NFT

การทดลองที่ 2 ทำการศึกษาอิทธิพลของจังหวะการผันสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกด้วยเทคนิคแบบแอโรโพนิคส์ พร้อมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายใน ภายในนอก และอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารของผู้ปลูกแอโรโพนิคส์ที่ผันสารละลายตลอดเวลา ผันสารละลาย 1 นาที หยุดผัน 6 นาที และผันสารละลาย 1 นาที หยุดผัน 10 นาที พบว่าภายในตู้ปลูกทุกตู้ทั้งตู้ที่ผันสารละลายตลอดเวลาและผันสารละลายเป็นจังหวะทั้งสองตู้มีอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก โดยที่อุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกที่ผันสารละลายเป็นจังหวะทั้งสองตู้มีค่าใกล้เคียงกันและสูงกว่าตู้ปลูกที่ผันสารละลายตลอดเวลา นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิสารละลายของทุกตู้ปลูกต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก และอุณหภูมิสารละลายของตู้ปลูกที่ผันสารละลายเป็นจังหวะทั้งสองจังหวะมีค่าใกล้เคียงกันและสูงกว่าอุณหภูมิสารละลายของตู้ปลูกที่ผันสารละลายตลอดเวลา

การที่อุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกและอุณหภูมิของสารละลายของตู้ปลูกที่มีการผันสารละลายต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูกนั้นสอดคล้องกับการทดลองที่ 1 ที่พบว่าตู้ปลูกที่มีการผันสารละลายเข้าไปภายในตู้ปลูกมีอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก และอุณหภูมิสารละลายมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูกซึ่งเป็นการยืนยันว่าการผันสารละลายเข้าไปภายในตู้ปลูกช่วยลดความร้อนภายในตู้ปลูกลงได้จากขบวนการพาความร้อน และการที่พบว่าอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกที่ผันสารละลายตลอดเวลาต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในตู้ที่ผันสารละลายเป็นจังหวะ ในขณะที่อุณหภูมิสารละลายของตู้ปลูกที่ผันตลอดเวลากลับสูงกว่าตู้ที่

พ่นเป็นจังหวะทั้งสองด้านนั้นสามารถอธิบายได้ด้วยหลักการถ่ายเทความร้อนเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 กล่าวคือ การที่อุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกที่พ่นสารละลายตลอดเวลาที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าตู้ปลูกที่พ่นสารละลายเป็นจังหวะทั้งสองด้าน เนื่องจากการพาความร้อนออกจากตู้ปลูกของสารละลายที่พ่นเข้าไปภายในตู้ปลูก ดังนั้นการพ่นสารละลายตลอดเวลาจึงเป็นการพาความร้อนออกจากตู้ปลูกตลอดเวลาด้วยเช่นเดียวกัน การพาความร้อนจึงเกิดได้อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องมากกว่าตู้ที่ใช้สารละลายเข้าไปพาความร้อนออกจากตู้ที่มีการหยุดเป็นจังหวะ ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายตลอดเวลาต่ำกว่าตู้ที่พ่นเป็นจังหวะทั้งสองด้าน และการที่สารละลายเข้าไปพาความร้อนออกจากตู้ปลูกตลอดเวลาถือเป็นสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิสารละลายของตู้ที่พ่นตลอดเวลาสูงกว่าตู้ที่พ่นเป็นจังหวะทั้งสองด้านด้วย

การเจริญเติบโตของผักกาดหอมคอสดที่ปลูกด้วยตู้ปลูกแอโรโพนิกส์ที่ได้รับการพ่นสารละลายธาตุอาหารจังหวะต่างๆกัน ได้แก่ พ่นสารละลายตลอดเวลา พ่นสารละลาย 1 นาที หยุดพ่น 6 นาที และพ่นสารละลาย 1 นาที หยุดพ่น 10 นาที ซึ่งพบว่าผักกาดหอมคอสดที่มีอายุ 1 และ 2 สัปดาห์หลังย้ายปลูกที่ได้รับการพ่นสารละลายตลอดเวลามีการเจริญเติบโตดีกว่าการพ่นเป็นจังหวะเปิด-ปิด น่าจะเป็นเพราะผักที่มีอายุ 1 และ 2 สัปดาห์เป็นผักที่มีอายุน้อยจึงมีจำนวนและความยาวรากน้อย การพ่นสารละลายตลอดเวลาทำให้รากสัมผัสกับสารละลายได้ต่อเนื่องกว่าการพ่นสารละลายเป็นจังหวะ จึงทำให้รากมีความชุ่มชื้นมากกว่าการพ่นเป็นจังหวะเปิด-ปิด ส่งผลให้รากดูดน้ำและธาตุอาหารเกิดขึ้นได้อย่างสม่ำเสมอและเพียงพอมากกว่าการพ่นสารละลายเป็นจังหวะ ผักที่ได้รับการพ่นสารละลายตลอดเวลาจึงมีการเจริญเติบโตดีกว่าผักที่ได้รับการพ่นสารละลายเป็นจังหวะเปิด-ปิด สอดคล้องกับการทดลองของโสระยา (2547) ที่ทดลองปลูกผักสลัดพันธุ์ red oak leaf ด้วยตู้ปลูกแอโรโพนิกส์ที่พ่นสารละลายธาตุอาหาร 1 นาที หยุด 10 นาที เปรียบเทียบกับการพ่น 1 นาที หยุด 30 นาที พบว่าผักกาดหอมที่ได้รับการพ่นสารละลาย 1 นาที หยุด 10 นาที มีความสูง จำนวนใบ และความยาวรากดีกว่าการพ่น 1 นาที หยุด 30 นาที จึงทำการปรับลดอัตราการพ่นเพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตอีกครั้ง โดยใช้อัตราการพ่น 1 นาที หยุด 10 นาที เปรียบเทียบกับการพ่น 1 นาที หยุด 5 นาที พบว่าผักสลัดที่ได้รับการพ่น 1 นาที หยุด 5 นาที มีความสูง จำนวนใบ และความยาวรากมากกว่าผักที่ได้รับการพ่น 1 นาที หยุด 10 นาที อาจเนื่องมาจากจังหวะการหยุดพ่นนานถึง 30 นาที เป็นเวลานานเกินไป รากพืชขาดความต่อเนื่องในการดูดสารละลายธาตุอาหาร หรือได้รับสารละลายธาตุอาหารไม่เพียงพอจึงส่งผลกระทบต่อ

เจริญเติบโต และการปนสารละลาย 1 นาที่ หยุด 5 นาที่ เป็นจังหวะที่เหมาะสมมากกว่าการปน 1 นาที่ หยุด 10 นาที่จึงทำให้ผักมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่า

ผักกาดหอมคออายุ 3 และ 4 สัปดาห์หลังย้ายปลูกในตู้ปลูกแอโรโพนิกส์ที่ได้รับการปนสารละลายจังหวะต่างก้นาน 1 สัปดาห์ พบว่าผักที่ได้รับการปนสารละลายเป็นจังหวะมีการเจริญเติบโตดีกว่าผักที่ได้รับการปนสารละลายตลอดเวลา น่าจะเป็นเพราะผักที่มีอายุ 3 และ 4 สัปดาห์ เป็นผักที่มีอายุมากขึ้นจึงมีจำนวน ความยาว พื้นที่ผิว และความแข็งแรงของรากมากขึ้น จึงทำให้สามารถดูดน้ำและธาตุอาหารได้ทันและเพียงพอต่อความต้องการ นอกจากนี้รากพืชมีความต้องการอากาศเพื่อใช้ในการหายใจ การปนและหยุดสารละลายเป็นจังหวะเป็นการเพิ่มโอกาสที่ให้พืชได้รับอากาศมากขึ้นกว่าการที่ได้รับการปนตลอดเวลา ดังนั้นจึงทำให้ผักที่ได้รับการปนสารละลายเป็นจังหวะเมื่อมีอายุมากขึ้นมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น

เมื่อพิจารณาเจริญเติบโตของผักกาดหอมคอที่มีอายุ 4 สัปดาห์ซึ่งเป็นระยะเก็บเกี่ยวระหว่างการทดลองที่ 1 และ 2 พบว่าผักที่ปลูกในการทดลองที่ 2 มีน้ำหนักสด 150 กรัมต่อต้นดีกว่าการทดลองที่ 1 ที่มีน้ำหนักสดเพียง 64 กรัมต่อต้น ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิในเขตรากของตู้ปลูกที่ปนสารละลายธาตุตลอดเวลาในการทดลองที่ 2 มีอุณหภูมิเฉลี่ย ต่ำกว่าอุณหภูมิในเขตรากของตู้ที่ปนสารละลาย-ปลูกพืชของการทดลองที่ 1 กล่าวคืออุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกที่ปนสารละลายและปลูกพืชของการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.2°C และอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกที่ปนสารละลายตลอดเวลาในการทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.7°C Morgan (2005a) แนะนำว่าอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมของผักสลัดควรอยู่ในช่วง $20 - 22.2^{\circ}\text{C}$ และสอดคล้องกับการทดลองของ Economakis (2008b) และ Tan (2002) *et al* ที่พบว่าอุณหภูมิในเขตรากที่ 20°C ทำให้ผักกาดหอมมีน้ำหนักสดดีกว่าอุณหภูมิเขตรากอื่นๆ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าอุณหภูมิเขตรากของการทดลองที่ 2 มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่เหมาะสมมากกว่าของการทดลองที่ 2 จึงส่งผลให้ผักมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่า

การทดลองที่ 3 ทำการศึกษาการเจริญเติบโต และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในภายนอก และอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารของตู้ปลูกแอโรโพนิกส์แบบปิดทึบที่ปนสารละลายตลอดเวลา ตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศรอบตู้และปนสารละลายตลอดเวลา และตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศรอบตู้และปนสารละลาย 1 นาที่ หยุด 6 นาที่ จึงพบว่าอุณหภูมิอากาศ

ภายในตู้ปลูกทั้งสามลักษณะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูก และอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกแบบปิดทึบสูงกว่าตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศทั้งสองตู้ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิสารละลายของตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศทั้งสองตู้ ทั้งตู้ที่พ่นสารละลายตลอดเวลาและพ่นสารละลายเป็นจังหวะมีค่าใกล้เคียงกันและต่ำกว่าอุณหภูมิสารละลายของตู้แบบปิดทึบที่พ่นสารละลายตลอดเวลา

นอกเหนือจากการถ่ายเทความร้อนจากภายในตู้ปลูกออกสู่ภายนอกตู้ปลูกด้วยการพ่นสารละลายเข้าไปภายในตู้ปลูกจะเป็นการช่วยพาความร้อนจากภายในตู้ปลูกออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกตู้ปลูกสู่ถึงสารละลายเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และ การทดลองที่ 2 ได้ทางหนึ่งแล้ว ปัจจัยที่สำคัญอีกสองประการที่ทำให้ตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศมีอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกต่ำกว่าตู้ปลูกแบบปิดทึบ คือ ลม และการเปลี่ยนสถานะของสาร จากความรู้เรื่องการถ่ายเทความร้อนจึงกล่าวได้ว่าอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกแอโรโพนิคส์ที่สูงขึ้นเกิดจากการถ่ายเทความร้อนโดยการรับพลังงานความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกตู้ปลูกเข้าสู่ภายในตู้ปลูกทำให้อุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกสูงขึ้น และเมื่อตู้ปลูกรับพลังงานจากสิ่งแวดล้อมภายนอกมากกว่าการที่ตู้ปลูกจะระบายความร้อนกลับออกสู่ภายนอกได้จึงเกิดความร้อนสะสมขึ้นภายในตู้ปลูก ดังจะเห็นได้จากการที่อุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกแบบปิดทึบที่พ่นสารละลายตลอดเวลาที่มีอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศทั้งสองตู้ซึ่งใกล้เคียงกัน แต่ถ้าตู้ปลูกรับพลังงานจากสิ่งแวดล้อมภายนอกแล้วระบายความร้อนออกได้ทันทั่วทั้งตู้จึงไม่เกิดการสะสมความร้อนขึ้นภายในตู้ปลูก ซึ่งตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศนั้นสามารถระบายความร้อนออกได้ดีกว่าตู้ปลูกแบบปิดทึบ ดังจะเห็นได้จากการทดลองที่พบว่าตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศมีอุณหภูมิอากาศภายในตู้ปลูกต่ำกว่าตู้ปลูกแบบปิดทึบ

ลม (wind) หมายถึง อากาศที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งในแนวราบ เกิดขึ้นโดยความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศ เมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะลอยตัวสูงขึ้นและในขณะเดียวกันอากาศที่เย็นกว่าจะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ (วิไลลักษณ์, 2540) ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิภายในตู้ปลูกสูงขึ้นและลอยตัวขึ้นทำให้อากาศที่เย็นกว่าเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่หรือที่เรียกว่าปรากฏการณ์ stack effect หรือ buoyancy (เกษรา, 2540) ในกรณีนี้อากาศภายนอกตู้ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจึงเคลื่อนที่เข้าสู่ตู้ปลูกทางช่องว่างด้านล่างตู้ปลูกและผลักให้อากาศร้อนออกจากตู้ปลูกทางช่อง

เปิดบริเวณช่องว่างด้านบนตู้ปลูกจึงเป็นสาเหตุให้ตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศสามารถระบายความร้อนได้เร็วกว่าตู้ปลูกแบบปิดทึบ

คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำทำให้น้ำมีสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์ โดยที่สมบัติที่สำคัญประการหนึ่งคือ การที่น้ำมีความร้อนจำเพาะ (specific heat) สูงกว่าสารอื่นๆ จึงทำให้การเปลี่ยนสถานะของน้ำจากน้ำเหลวเป็นไอน้ำ (heat of vaporization) นั้นต้องใช้พลังงานความร้อนที่สูงมากเมื่อเทียบกับสารอื่นๆ โดยที่การเปลี่ยนสถานะของน้ำเหลว 1 กรัมเป็นไอน้ำ 1 กรัมได้นั้นต้องดึงพลังงาน 540 แคลอรีจากสิ่งแวดล้อม และผลจากการระเหยนํ้ากลายเป็นไอน้ำจะทำให้อุณหภูมิโดยรอบลดต่ำลง (cooling effect) (มาลี, 2549) ดังนั้นการที่น้ำระเหยออกจากตู้ปลูกจึงพาความร้อนออกไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกตู้ปลูกด้วย สอดคล้องกับผลการศึกษาระดับปริญญาโทพบว่าตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศทั้งสองตู้มีการสูญเสียไอน้ำใกล้เคียงกัน และมากกว่าตู้ปลูกแบบปิดทึบ โดยการพ่นสารละลายตลอดเวลาที่มีการสูญเสียไอน้ำออกไปทางช่องเปิดโดยการระเหยของน้ำออกไปน้อยกว่าตู้ปลูกแบบปิดทึบ และการพ่นสารละลายตลอดเวลาที่มีการระเหยมากกว่าการพ่นเป็นจังหวะเปิด-ปิด จึงพบว่าปริมาณการใช้น้ำของตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศที่พ่นสารละลายตลอดเวลามากกว่าตู้ปลูกที่มีช่องเปิดระบายอากาศที่พ่นสารละลายเป็นจังหวะเปิด-ปิด และตู้ปลูกแบบปิดทึบที่พ่นสารละลายตลอดเวลา

ในด้านการเจริญเติบโตของผักกาดหอมคอสที่ปลูกด้วยตู้ปลูกแอโรโพนิกส์ที่มีการระบายอากาศและจังหวะในการพ่นสารละลายต่างกันพบว่าภายในสัปดาห์แรกหลังการย้ายปลูกไม่พบความแตกต่างทางสถิติของการเจริญเติบโต แต่เมื่อปลูกด้วยตู้ปลูกแอโรโพนิกส์นาน 2, 3 และ 4 สัปดาห์ พบว่าผักกาดหอมคอสที่ปลูกในตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศทั้งสองจังหวะการพ่นสารละลายมีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันทางสถิติแต่ดีกว่าผักที่ปลูกในตู้ปลูกแบบปิดทึบ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายตลอดเวลาให้อุณหภูมิอากาศภายในตู้ที่ต่ำกว่า 27°C และตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศและพ่นสารละลายเป็นจังหวะเปิด - ปิดให้อุณหภูมิภายในตู้ 26 °C ทำให้รากผักกาดหอมที่ปลูกในตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศทั้งสองตู้ได้รับอุณหภูมิในเขตรากที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตมากกว่าตู้แบบปิดทึบ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ingrid and Han (1985) และคำแนะนำของ Morgan (2005) ที่รายงานว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับปลูกผักสลัดควรอยู่ในช่วง 20 – 22°C จึงทำให้ผักที่ปลูกด้วยตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศมีการเจริญเติบโตดีกว่าผักที่ปลูกด้วยตู้ปลูกแบบปิดทึบ

สรุป

1. อุณหภูมิของอากาศภายในตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายทั้งที่มีการปลูกและไม่ปลูกพืชมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในตู้ปลูกที่ไม่มีการพ่นสารละลาย
2. สารละลายธาตุอาหารที่อยู่ภายนอกตู้ปลูกที่ไม่ได้พ่นสารละลายธาตุอาหารมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตู้ปลูกและต่ำกว่าของตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายธาตุอาหารทั้งตู้ที่มีการปลูกพืชและไม่ปลูกพืชซึ่งค่าใกล้เคียงกัน
3. การย้ายปลูกต้นกล้าผักกาดหอมในขณะที่มีอายุเพียง 3 ถึง 4 สัปดาห์หลังเพาะเมล็ดลงปลูกในตู้ปลูกแอโรโพนิกส์ที่มีการพ่นสารละลายตลอดเวลาทำให้การเจริญเติบโตลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับที่ปลูกด้วยเทคนิค NFT ตลอดเวลา
4. ตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายตลอดเวลามีอุณหภูมิอากาศภายในตู้ที่ต่ำกว่าตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายเป็นจังหวะเปิด-ปิด
5. สารละลายธาตุอาหารที่อยู่ภายนอกตู้ปลูกที่พ่นสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลามีอุณหภูมิสูงกว่าตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายธาตุอาหารเป็นจังหวะทั้งสองตู้ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน
6. การปลูกผักกาดหอมในตู้ปลูกที่มีการพ่นสารละลายเป็นจังหวะเปิด-ปิด 1 นาที ปิด 6 นาที และเปิด 1 นาที ปิด 10 นาที ให้การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่น้อยกว่าการพ่นสารละลายตลอดเวลาในสัปดาห์ที่ 1 และพบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ใน 2 และ 3 หลังย้ายปลูกและดีกว่าการพ่นตลอดเวลาในสัปดาห์ที่ 4 หลังย้ายปลูก
7. การมีช่องระบายอากาศที่ด้านข้างตู้แอโรโพนิกส์ช่วยลดอุณหภูมิของอากาศภายในตู้ปลูกและอุณหภูมิของสารละลายในถังให้ต่ำกว่าของตู้ปิดทึบ สารละลายธาตุอาหารที่อยู่ภายนอกตู้ปลูกแบบปิดทึบมีอุณหภูมิสูงกว่าสารละลายของตู้ปลูกแบบที่มีช่องเปิดระบายอากาศทั้งสองตู้ที่มีค่าใกล้เคียงกัน

8. ตู้ปลูกแอรโพนิกส์ที่มีช่องระบายอากาศให้การเจริญเติบโตของผักกาดหอมคอสดที่ดีกว่าที่ปลูกด้วยตู้ปลูกที่ปิดทึบในช่วงอายุตั้งแต่ 2 ถึง 4 สัปดาห์หลังย้ายกล้า

9. ในตู้ปลูกแอรโพนิกส์ที่มีช่องระบายอากาศที่ด้านข้างตู้ปลูก การพ่นสารละลายเป็นจังหวะเปิด 1 นาที หยุด 6 นาทีให้การเจริญเติบโตในช่วงสัปดาห์ที่ 2 หลังย้ายกล้าที่ดีกว่าตู้ที่มีการพ่นสารละลายตลอดเวลา แต่ทั้งคู่ไม่ทำให้การเจริญเติบโตแตกต่างกันในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 หลังย้ายกล้า

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2552. ชนิดและพันธุ์ผักกาดหอม. ผักกาดหอม. แหล่งที่มา:

http://www.doae.go.th/libraly/html/detail/lettuce/lettuce02_html, 1 เมษายน 2552

กรุณา ตรงเมธีรัตน์. 2545. การวิเคราะห์ต้นทุนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระหว่างการปลูกผักกาดหอมแบบใช้ดินกับแบบไม่ใช้ดินในจังหวัดเชียงใหม่ วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เกชา ชีระโกเมน. 2540. ความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมงานระบบปรับอากาศ. เทคนิค. 14(147): 83-89

จิตตานันท์ รังสิมันตุชาติ. 2545. อิทธิพลของระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่มีต่อระดับการเจริญเติบโตของผักกาดหอมใบ (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*). ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดอกสะเบง. 2547. คอลัมน์หลังตู้ฟักน้ำสุ่ดิน. หนังสือพิมพ์ไทยรัฐ. 55 (17030): 5.

ดิเรก ทองอร่าม. 2547. การปลูกพืชไม่ใช้ดินหลักการจัดการการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. ธรรมรักษ์การพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ธรรมบุญ หุตากรณ์. 2544. การศึกษาความเป็นไปได้สำหรับการลงทุนธุรกิจการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. ปัญหาพิเศษปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. 2546. การปลูกผักกาดหอมโดยไม่ใช้ดินด้วยเทคนิค NFT พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักโรงพิมพ์สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม กำแพงแสน สำนักส่งเสริมและฝึกอบรมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

_____. 2549. เรื่องราวของ Hydroponics ที่คุณอาจยังไม่รู้(ตอนจบ). เกษการเกษตร 30(11): 200-203

_____. 2551. เอกสารประกอบการฝึกอบรมการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน สำนักส่งเสริม
และฝึกอบรมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, กรุงเทพฯ.

ธีรนาถ บางหวด. 2544. การวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจของการปลูกผักระบบไฮโดรโปนิกส์.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,

นพดล เรียบเลิศหิรัญ. 2546. เอกสารประกอบการสอนวิชาการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. ภาควิชา
พฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นักสิทธิ์ คูวัฒนาชัย. 2536. การถ่ายเทความร้อน. ฟิสิกส์เซนเตอร์, กรุงเทพฯ.

ปรีชาดิ คิชฌกิจ. 2550. ผลของความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารและระดับ pH ต่อการ
เจริญเติบโตและการดูดใช้ธาตุอาหารของผักกาดหอม วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มนูญ ศิริบุบผะ. 2544. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสู่การปฏิบัติในประเทศไทย เจริญรัฐการพิมพ์,
กรุงเทพฯ.

มาลี ณ นคร. 2549. ความสัมพันธ์ของน้ำและพืช, น. 3-37. ใน ลิลลี่ กาวิตะ, บรรณาธิการ. วิทยา
ของพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

รวี เสฐฐักดิ์. 2540. ต้นไม้ผลในสภาวะถูกน้ำท่วมขังและแนวทางการแก้ไข, น. 9-20. ใน อุทกภัย
ผลกระทบต่อสวนไม้ผลและแนวทางแก้ไข, สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วรรณา เสนาคี. 2549. ผักแอโรโพนิกส์ธุรกิจผักของภูเรือวโนทยาน. เกษตรการเกษตร. 30 (5) :
234-239

วัฒนา เสถียรสวัสดิ์. 2540. รายงานเรื่องการพัฒนาเทคโนโลยีการปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์.

วิไลลักษณ์ ตั้งเจริญ. 2540. อุตุณิยมวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 1. อักษราพิพัฒน์, กรุงเทพฯ.

วุฒิพงษ์ พิมพ์โคตร. 2546. การเจริญเติบโต การสะสมไนเตรท และการลดไนเตรทก่อนเก็บเกี่ยวในผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

โสระยา ร่วมรังษี. 2544. การผลิตพืชสวนแบบไม่ใช้ดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

โสระยา ร่วมรังษี ชีรพล พรสวัสดิ์ชัย และประดิษฐ์ เทอดทูล. 2547. โครงการอุปกรณ์ปลูกพืชแบบ **Aeroponics** สำหรับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2538. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Hydroponics) ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

อุดมพงษ์ ดวงประยงค์. 2543. การศึกษาการเจริญเติบโตและการใช้ธาตุไนโตรเจนของผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) ที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินด้วยเทคนิค Deep Water Culture ด้วยความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Carruthers, S. 2004. **Aeroponics**. Availble Source :

http://www.hydroponics.com.au/back_issue/issue05.html, Sep 1, 2004.

Decoteau, D.R. 2000. **Vegetable Crops**. Prentice-Hall, Inc, New Jersey.

Economakis, C.D. 1997. Effect of root zone temperature on growth and water uptake by lettuce plant in solution culture. **Acta Hort** . 449(1): 199-203.

_____. 2002. Effect of solution temperature on growth and shoot nitrate content of lettuce grown in solution culture. **Acta Hort**. 579: 411-415.

- Ingrid, M. E. and H. R. 1986. The effect of root temperature on growth of curled parsley. **Plant and Soil**. 92(1): 23-28.
- Tan, L.P., J. He and S.K. Lee. 2002. Effect of root-zone temperature on the root development and nutrient uptake of *Lactuca sativa* L. "Panama" grown in an aeroponics system in the tropics. **Journal of Plant Nutrition**. 25(2): 297-314.
- Morgan, L. 1999. **Hydroponic Lettuce Production**. Casper Publication, Australia.
- _____. 2004. **Nutrient Temperature, Oxygen and Pythium in Hydroponic**. Hydro Mall. Available Source: http://www.hydomall.com/grower/pythium_in_hydroponics.html, Aug 21, 2004.
- _____. 2005a. **Why Aeroponics?**. Quick grow. Available Source: http://quickgrow.com/gardening_articles/aeroponics.html, April 13, 2005.
- _____. 2005b. **Aeroponics – Misting Frequency and The Root Systems**. Quick grow. Available Source: http://quickgrow.com/gardening_article/misting.html April 13, 2005
- Resh, M.H. 1978. **Hyroponics for Food Production**. Woodridge Press Publishing Company, California.
- Schwarz, M. 1995. **Soilless Culture Management**. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- _____. 2004. Algae affecting lettuce growth in hydroponic system. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**. 79(4): 554-559
- Splittstoesser, W.E. 1990. **Vegetable Growing Handbook**. Van Nostrand Reinhold, New York.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 การเจริญเติบโตเริ่มต้นของผักกาดหอมที่สุ่มจากตำแหน่งต่างๆบนรางปลูก NFT ของการทดลองที่ 1

	ต้นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
น้ำหนักสด (กรัม)	ส่วนยอด	0.27	0.36	0.29	0.31	0.28	0.29	0.46	0.38	0.42	0.41
	ส่วนราก	0.10	0.12	0.10	0.13	0.06	0.09	0.15	0.12	0.12	0.12
	รวม	0.37	0.48	0.39	0.44	0.34	0.38	0.71	0.5	0.54	0.53
น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ส่วนยอด	0.027	0.03	0.023	0.022	0.022	0.014	0.025	0.023	0.03	0.018
	ส่วนราก	0.008	0.006	0.004	0.004	0.002	0.003	0.006	0.01	0.006	0.006
	รวม	0.035	0.036	0.027	0.026	0.024	0.017	0.031	0.033	0.036	0.024
จำนวนใบ (ใบ)		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
พื้นที่ใบ (ซม. ²)		5.47	8.36	5.18	7.01	6.13	5.61	8.24	6.75	7.28	7.08

ตารางผนวกที่ 2 การเจริญเติบโตเริ่มต้นของผักกาดหอมที่สุ่มจากตำแหน่งต่างๆบนรางปลูก NFT ของการทดลองที่ 2

	ต้นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
น้ำหนักสด (กรัม)	ส่วนยอด	0.31	0.39	0.29	0.34	0.31	0.32	0.47	0.38	0.44	0.43
	ส่วนราก	0.11	0.12	0.10	0.13	0.06	0.09	0.17	0.12	0.17	0.13
	รวม	0.42	0.51	0.39	0.47	0.37	0.41	0.64	0.5	0.61	0.56
น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ส่วนยอด	0.027	0.03	0.023	0.022	0.022	0.014	0.025	0.023	0.03	0.018
	ส่วนราก	0.008	0.006	0.004	0.004	0.002	0.003	0.006	0.01	0.006	0.006
	รวม	0.035	0.036	0.027	0.026	0.024	0.017	0.031	0.033	0.036	0.024
จำนวนใบ (ใบ)		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
พื้นที่ใบ (ซม. ²)		5.57	8.53	5.23	7.01	6.08	5.81	8.36	6.85	7.36	7.18

ตารางผนวกที่ 3 การเจริญเติบโตเริ่มต้นของผักกาดหอมที่สุ่มจากตำแหน่งต่างๆบนรางปลูก NFT ของการทดลองที่ 3

	ต้นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
น้ำหนักสด (กรัม)	ส่วนยอด	0.36	0.25	0.26	0.15	0.22	0.40	0.24	0.25	0.32	0.44
	ส่วนราก	0.07	0.02	0.03	0.01	0.02	0.06	0.02	0.03	0.04	0.01
	รวม	0.43	0.27	0.30	0.16	0.24	0.46	0.26	0.28	0.36	0.45
น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ส่วนยอด	0.026	0.02	0.017	0.01	0.015	0.026	0.016	0.018	0.022	0.030
	ส่วนราก	0.02	0.05	0.01	0.01	0.003	0.003	0.001	0.001	0.002	0.001
	รวม	0.046	0.07	0.027	0.02	0.018	0.029	0.017	0.019	0.024	0.031
จำนวนใบ (ใบ)		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
พื้นที่ใบ (ซม. ²)		4.36	5.57	8.53	5.23	7.01	6.08	5.81	8.36	6.85	7.36