



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การพัฒนาระบบการระบายความร้อนวัสดุปลูกเพื่อการผลิตสตรอเบอร์รี่นอกฤดู
Development of Medium Cooling System for Out off Season
Strawberry Productions

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2554

จำนวน 70,000 บาท

หัวหน้าโครงการ นายปรีดา นาเทเวศน์
ผู้ร่วมโครงการ นายสิริวัฒน์ สาครวาสี

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

24 กันยายน 2555

กิตติกรรมประกาศ

โครงการ “การพัฒนาระบบการระบายความร้อนวัสดุเพื่อการผลิตสตรอเบอร์รี่นอกฤดู” ขอบขอบพระคุณสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนการวิจัยครั้งนี้

ขอบขอบพระคุณศูนย์ส่งเสริมการเกษตรที่สูง จ.เชียงใหม่ ที่สนับสนุนต้นกล้าสตรอเบอร์รี่เพื่อใช้ในการทดลอง และสาขาพืชผัก หลักสูตรพืชศาสตร์ (พืชสวน) มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดลอง การทดลองครั้งนี้จะสำเร็จมิได้หากไม่ได้รับความร่วมมือจากนักศึกษาปริญญาตรี และโท ตลอดจนนักศึกษาสาขาพืชผักชั้นปีที่สี่ทุกคน และสุดท้ายนี้ขอบขอบพระคุณ คุณวีระพันธ์ ดวงจันทร์ ที่ให้การสนับสนุนช่วยเหลือด้านเทคนิคต่าง ๆ ตลอดมา

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
สารบัญภาพ	ค
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	11
ผลการวิจัย	17
สรุปผลและวิจารณ์ผลการวิจัย	23
เอกสารอ้างอิง	25

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนวันออกดอก จำนวนผลรวมต่อต้น จำนวนผลเฉลี่ยต่อต้น และน้ำหนักผลเฉลี่ยของสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80 และ พันธุ์ 329 ในระบบระบายความร้อนวัสดุปลูกแบบต่าง ๆ

20



สารบัญภาพ

ภาพที่ 1	ภาพร่างของการปลูกแบบยกสูงร่วมกับการลดอุณหภูมิวัสดุปลูกแบบ Airation cooling system โดยการเป่าลมจากพัดลมเป่าอากาศจากภายนอกวัสดุปลูก	12
ภาพที่ 2	ภาพร่างของการปลูกแบบยกสูงร่วมกับการลดอุณหภูมิวัสดุปลูกแบบ Root zone airation cooling system โดยการเป่าลมจากพัดลมเป่าอากาศภายในวัสดุปลูก	13
ภาพที่ 3	ภาพร่างของการปลูกแบบยกสูงร่วมกับการลดอุณหภูมิวัสดุปลูกแบบ Cool water cooling system	14
ภาพที่ 4	ภาพร่างของการปลูกแบบยกสูงร่วมกับการลดอุณหภูมิวัสดุปลูกแบบ High bench culture system (non-cooling)	15
ภาพที่ 5	ภาพร่างระบบรวม การระบายความชื้นวัสดุปลูกด้วยวิธีการต่าง ๆ และการให้น้ำให้ปุ๋ย	15
ภาพที่ 6	แสดงความกว้างใบ และความยาวใบของสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 80 และพันธุ์ 329 ในระบบการระบายความร้อนวัสดุปลูกต่าง ๆ	17
ภาพที่ 7	แสดงอิทธิพลระบบการระบายความร้อนในวัสดุปลูกคือ A) ของความยาวก้านใบ และ B) จำนวนไหล ของสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 80 และพันธุ์ 329	18
ภาพที่ 8	แสดงอิทธิพลระบบการระบายความร้อนในวัสดุปลูกคือ A) จำนวนใบ และ B) จำนวนดาข้าง ของสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 80 และพันธุ์ 329	19
ภาพที่ 9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผล และน้ำหนักผลผลิตของสตรอเบอรี่ ทั้งสองพันธุ์ที่ปลูกในระบบการระบายความร้อนทั้ง 4 ระบบ	20
ภาพที่ 10	แสดง A) อุณหภูมิสูงสุด และ B) อุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวันของอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิภายในวัสดุปลูกของระบบการระบายความร้อนทั้งสี่แบบ	21

การพัฒนาาระบบการระบายความร้อนวัสดุปลูก เพื่อการผลิตสตรอเบอร์รี่นอกฤดู

Development of Medium Cooling System for Out off Season

Strawberry Productions

ปริดา นาเทเวศน์ และ สิริวัฒน์ สาครวาสี

Preeda Nathewet and Siriwat Sakornwasee

คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาการพัฒนาาระบบ Medium cooling เพื่อการผลิตสตรอเบอร์รี่นอกฤดู ด้วยระบบระบายความร้อนแบบ Water cooling Root zone aeration cooling และ Airation cooling เปรียบเทียบกับ High bench (ควบคุม) โดยการใช้ขุยมะพร้าวเป็นวัสดุปลูก ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิภายในวัสดุปลูกของระบบระบายความร้อนทุกระบบลดลงประมาณ 2-3 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับอุณหภูมิภายนอก จำนวนค้าง และจำนวนใบของสตรอเบอร์รี่ทั้งสองสายพันธุ์มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกระบบการระบายความร้อนในวัสดุปลูก จำนวนผลรวมต่อต้น และจำนวนผลเฉลี่ยต่อต้นของสตรอเบอร์รี่ทั้งสองพันธุ์ที่ปลูกในระบบระบายความร้อนในวัสดุปลูกแบบ cooling water สูงกว่าระบบอื่น ๆ

คำสำคัญ: สตรอเบอร์รี่ อุณหภูมิราก การปลูกแบบไร้ดิน

Abstract

This study was conducted to investigate the development of medium cooling system (water cooling, root zone aeration cooling, and aeration cooling) of coir cultured for out of season strawberry productions compared with high bench (control). The results showed that the temperature of any medium cooling system bed was 2-3 degree lower than the air temperature. Number of branches and Number of leaves for two strawberries cultivars were significantly affected by medium cooling systems. Total fruit yield per plant and average number of fruit per plant in both cultivar grown in cooling water system were higher than those other medium cooling system.

Key words: strawberry, root zone temperature, soilless culture

คำนำ

สตรอเบอร์รี่เป็นไม้ผลขนาดเล็กที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของเกษตรกรในเขตภาคเหนือของประเทศไทย เนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีราคาดีและให้ผลตอบแทนสูง ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกสตรอเบอร์รี่รวมกันทั่วประเทศประมาณ 4,000-5,000 ไร่ มีเกษตรกรที่ผู้ปลูกสตรอเบอร์รี่จำนวน 2,000 ราย ซึ่งแบ่งรูปแบบการปลูกออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เกษตรกรผู้ปลูกภายใต้การส่งเสริมของมูลนิธิโครงการหลวง ที่มีเกษตรกรประมาณ 90 คน มีพื้นที่ปลูกที่ประมาณ 100 ไร่ เฉพาะในปี 2552 มีผลผลิตรวม 66,802 กิโลกรัม มูลค่ารวม 8,209,503 บาท โดยผลผลิตส่วนใหญ่จำหน่ายในรูปแบบผลสด และมีราคาที่สูง (มูลนิธิโครงการหลวง, 2552) และกลุ่มที่สองคือ เกษตรกรผู้ปลูกที่อยู่ภายนอกโครงการส่งเสริมของมูลนิธิโครงการหลวง มีเกษตรกรผู้ปลูกจำนวน 1,000 ราย มีพื้นที่ปลูกประมาณ 3,000 ไร่ (ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2552) แหล่งผลิตสตรอเบอร์รี่ที่ใหญ่ที่สุดของประเทศอยู่ที่ ต.บ่อแก้ว อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่ ประมาณ 2,000 ไร่ มีเกษตรกรที่ปลูกสตรอเบอร์รี่จำนวน 500 ราย ในปี 2553-2554 มีการประมาณการผลิตรวม 7,800,000 กิโลกรัม และมีมูลค่ารวมประมาณ 234,000,000 บาทโดยผลผลิตส่วนใหญ่จะขายแบบคละผลในราคา กิโลกรัมเฉลี่ย 30 บาท (องค์การบริหารส่วนตำบลบ่อแก้ว, มปป; ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2552) นอกจากนี้แล้วยังมีพื้นที่อื่น ๆ ที่สามารถปลูกสตรอเบอร์รี่ได้ เช่น อ.แม่ริม และอ.ฝาง ของจังหวัดเชียงใหม่ อ.นาแห้ว และ อ.ภูเรือ จังหวัดเลย อ.เขาค้อ และอ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์ และบางพื้นที่ของ จ.กาญจนบุรี

โดยทั่วไปผลผลิตสตรอเบอร์รี่จะออกสู่ตลาดในช่วงเดือนธันวาคมถึงมีนาคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีอากาศเย็นสบาย เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของสตรอเบอร์รี่ และยังเป็นฤดูกาลการท่องเที่ยวของเขตภาคเหนือ นอกจากนั้นยังตรงกับช่วงเทศกาลสำคัญต่าง ๆ หลายเทศกาล เช่น คริสต์มาส ปีใหม่ วาเลนไทน์ ความต้องการบริโภคสตรอเบอร์รี่จากนักท่องเที่ยวและอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามการขยายตัวของการท่องเที่ยวและอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปในปัจจุบัน แต่ผลผลิตของสตรอเบอร์รี่ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการดังกล่าว และเมื่อพิจารณาช่วงเวลาในการให้ผลผลิตสตรอเบอร์รี่ของประเทศไทยยังถือว่าสั้นอยู่ การขยายช่วงฤดูกาลผลิตให้สามารถออกสู่ตลาดได้ไวและยืดออกไปได้นานขึ้นจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาการขาดผลผลิตที่ตกต่ำ และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตและเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร อย่างไรก็ตามในสภาวะอุณหภูมิที่สูงเกินไปในช่วงฤดูร้อนของประเทศไทยถือเป็นข้อจำกัดสำคัญในปลูกสตรอเบอร์รี่นอกฤดู โดยอุณหภูมิที่สูงมากกว่า 30 องศาเซลเซียส มีผลต่อการดอกดอกและติดผลของสตรอเบอร์รี่ ทำให้มีจำนวนช่อดอกที่น้อย ทางช่อดอกไม่สม่ำเสมอ

ติดผลน้อย ขนาดผลเล็ก ดังจะเห็นได้จากผลผลิตสตรอเบอร์รี่ในช่วงปลายเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคมจะมีขนาดเล็ก นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงยังมีผลทำให้เกิดการยับยั้งตาดอกและมีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นแทน จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิสูงมีผลต่อผลผลิตโดยตรง อีกทั้งในช่วงฤดูฝนยังมีฝนที่ตกหนัก และการปลูกสตรอเบอร์รี่ในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นการปลูกในสภาพแปลงเปิด ทำให้ต้นและผลสตรอเบอร์รี่ได้รับความเสียหาย รวมไปถึงการปลูกในสภาพแปลงเปิดยังทำให้เกิดความยุ่งยากในการจัดการ ดูแลรักษาและควบคุมสภาพปัจจัยต่าง ๆ ที่จะส่งผลกระทบต่อการผลิตสตรอเบอร์รี่นอกฤดู อีกทั้งในปัจจุบันยังขาดข้อมูลที่แน่ชัดที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบ และเทคนิคการการปลูก ที่จะสามารถนำมาใช้เพื่อการผลิตสตรอเบอร์รี่นอกฤดูหรือขยายช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิตให้ยาวนานขึ้น และสายพันธุ์ที่สามารถทนทานกับอุณหภูมิที่สูงของประเทศไทย ดังนั้นการพัฒนาระบบ Medium cooling เพื่อระบายความร้อนในวัสดุปลูก และรักษาอุณหภูมิบริเวณรากให้เหมาะสมกับการออกดอกโดยการเป่าลมและผ่านน้ำเย็นเข้าท่อเพื่อระบายความร้อนในวัสดุปลูก จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีความสำคัญที่จะต้องทำการศึกษาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการปลูกสตรอเบอร์รี่นอกฤดูภายใต้สภาพโรงเรือน

แผนงานวิจัยการพัฒนาระบบ Medium cooling และคัดเลือกหาสายพันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสตรอเบอร์รี่นอกฤดู เพื่อเป็นทางเลือกให้เกษตรกร จึงเป็นแผนงานวิจัยที่ควรต้องสนับสนุนให้มีการเริ่มต้น เนื่องจากเป็นการพัฒนาระบบปลูกที่สามารถควบคุมโรคแมลง และปัจจัยด้านสารเคมีอย่างมีประสิทธิภาพ และไม่มีการปฏิบัติในประเทศไทย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาระบบการปลูกสตรอเบอร์รี่นอกฤดูโดยใช้ระบบการระบายความร้อนในวัสดุปลูก (Medium cooling) ภายใต้การปลูกแบบยกสูง (High bench culture) ที่เหมาะสมกับสภาพอากาศของจังหวัดเชียงใหม่

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

มีข้อมูลพื้นฐานระบบการปลูกและพันธุ์สตรอเบอร์รี่ที่เหมาะสมเพื่อการขยายระยะเวลาการผลิตสตรอเบอร์รี่นอกฤดู

การตรวจเอกสาร

ปัญหาการปลูกสตรอเบอร์รี่

สตรอเบอร์รี่ (*Fragaria × ananassa* Duch.) เป็นไม้ผลขนาดเล็กที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีการปลูกทั่วโลก สตรอเบอร์รี่เป็นผลไม้ที่มีรสชาติอร่อย กลิ่นหอมและอุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระ (Ayala-Zavala et al., 2005; Penˆa Moreno et al., 2010; Silva Pinio, 2007) และเป็นผลไม้ที่มีความต้องการของผู้บริโภคสูง สามารถปลูกและเจริญเติบโตได้ดีในเกือบทุกสภาพอากาศตั้งแต่เขตอบอุ่น เมดิเตอร์เรเนียน และเขตร้อน โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการปลูกอยู่ที่ 15-30 องศาเซลเซียส (Darrow, 1969; Hancock, 1999)

โดยทั่วไปอุณหภูมิต่ำ และช่วงแสงของวันสั้นในช่วงฤดูหนาวจะชักนำให้เกิดการสร้างดอกในสตรอเบอร์รี่ และเริ่มต้นการพักตัว แต่ถ้าสตรอเบอร์รี่ได้รับความหนาวเย็นที่เพียงพอก็จะสามารถทำลายการพักตัว เมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูใบไม้ผลิ หรือฤดูร้อนที่มีอุณหภูมิสูง และช่วงแสงของวันยาวขึ้น จะส่งเสริมให้มีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น มีการยืดยาวของใบ มีการบานของดอก และมีการพัฒนาของไหล (Mochizuki et al., 2009) ตามช่วงวงจรการเจริญของสตรอเบอร์รี่นี้ ทำให้ในพื้นที่สูงของไทยที่มีอากาศหนาวเย็นในช่วงหน้าหนาว และมีการการปลูกสตรอเบอร์รี่ในสภาพแปลงเปิด สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตสตรอเบอร์รี่ได้ ตั้งแต่ในเดือน มกราคม ถึง มีนาคม (ณรงค์ชัย, 2549; พิทยา, 2540) ซึ่งยังถือว่าสั้นอยู่เมื่อเทียบกับประเทศอื่น เช่น ญี่ปุ่น ไต้หวัน จีน และเกาหลี ที่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ตั้งแต่ช่วงกลางเดือนพฤษภาคมจนถึงให้ผลผลิตต่อเนื่องไปจนถึงเดือนมิถุนายนด้วยการพัฒนาเทคโนโลยีระบบการปลูกสตรอเบอร์รี่ในมีความทันสมัย และทันต่อสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงของโลก

ถึงแม้ว่าในประเทศไทยได้เริ่มปลูกสตรอเบอร์รี่มานานเกือบ 40 ปี ด้วยการนำมาปลูกทดลองครั้งแรกในปี พ.ศ. 2515 เพื่อต้องการลดพื้นที่การปลูกฝิ่น โดยได้รับพระมหากรุณาธิคุณของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ พระราชทานพันธุ์สตรอเบอร์รี่จากประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่นำมาทดลองปลูกครั้งแรก และหลังจากนั้นก็ได้มีการนำสายพันธุ์สตรอเบอร์รี่จากต่างประเทศที่มีลักษณะดีมาปลูกทดสอบตามสถานีทดลองเกษตรที่สูงต่าง ๆ เพื่อหาสายพันธุ์ที่มีความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมของประเทศไทย พร้อมกับการส่งเสริมแนะนำให้ชาวบ้านในพื้นที่สูงปลูกเพื่อลดพื้นที่ปลูกฝิ่นขณะนั้น และเพื่อเป็นการยกฐานะความเป็นอยู่ของเกษตรกรให้ดีขึ้น (ชูพงษ์, 2530; ณรงค์ชัย, 2550)

แต่ปัจจุบันเกษตรกรยังประสบปัญหาต่าง ๆ ในด้านเทคโนโลยีการผลิต เช่น ดินไหลที่ไม่มีคุณภาพ การขาดดินพ่อแม่พันธุ์ จำนวนสายพันธุ์ที่ใช้ในการปลูกมีจำกัด ขาดระบบการปลูกที่

เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงในปัจจุบัน และการระบาดของโรคทางดิน (ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2552) จะเห็นได้จากพื้นที่ปลูกสตรอเบอร์รี่ในประเทศไทยมากกว่า 90% เป็นการปลูกในสภาพแปลงเปิด ด้วยการกร่องและให้น้ำตามร่องแปลงปลูก การปลูกในสภาพเช่นนี้ถึงแม้จะเป็นวิธีที่ใช้เงินทุนน้อย แต่เป็นระบบการปลูกที่ต้องใช้น้ำมาก และง่ายต่อการแพร่ระบาดของโรคไปยังพื้นที่ใกล้เคียง ควบคุมการระบาดได้ยาก ทำให้ต้องมีการย้ายพื้นที่การปลูก หรือบางพื้นที่หยุดทำการเพาะปลูกไปเลย เพราะฉะนั้นการพัฒนากระบวนการปลูกที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้การปลูกสตรอเบอร์รี่ของประเทศไทยสามารถอยู่รอดและยั่งยืนอยู่ได้ ในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งด้านความต้องการของผู้บริโภค การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ความรุนแรงของโรคและแมลงต่าง ๆ รวมทั้งการใช้เทคโนโลยีในการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรจึงมีความจำเป็น

สภาวะสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงต่อระบบการเกษตร

ตั้งแต่ราวปี 1970 เป็นต้นมาอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว อันเป็นผลสืบเนื่องมาจากการเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิลรูปแบบต่างๆ ทำให้มีปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณมหาศาลออกมาปกคลุมชั้นบรรยากาศจนทำให้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ถูกกักเก็บไว้บนผิวโลกสูงผิดปกติหรือที่เรียกกันทั่วไปว่าสภาวะเรือนกระจก (Gore, 2005) ปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกนี้มีผลกระทบโดยตรงต่อการเกษตรกรรมทั่วโลก เนื่องจากอุณหภูมิถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชทุกชนิด งานวิจัยจากสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นเพียง 1 องศาเซลเซียส อาจทำให้ผลผลิตข้าวลดลงถึงราว 10% (Peng et al., 2004) นอกจากนี้ผลผลิตของพืชชนิดอื่นๆ ก็มีแนวโน้มลดลงเช่นกันหากอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น (Wahid et al., 2007; Cruz et al., 2007) ในทางตรงกันข้ามผลการวิจัยบางส่วนก็แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยอาจมีส่วนในการเพิ่มปริมาณผลผลิตด้วย (Malla, 2008) ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะนอกจากอุณหภูมิแล้วปัจจัยทางสภาพแวดล้อมอื่นๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ความอุดมสมบูรณ์ของดินและน้ำอาจมีความแตกต่างกันไปตามแต่ละสถานที่ถูกทำการประเมิน จึงทำให้ผลการทดลองมีความแปรผันตามกันไป ยกตัวอย่าง เช่น ในทวีปยุโรปซึ่งตามปกติมีอากาศหนาวเย็น หากอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะเป็นประโยชน์ต่อการเกษตรกรรมในหลายพื้นที่ (Olesen and Bindi, 2002) DØving (2009) พบว่าสภาพแวดล้อมที่ไม่คงที่เป็นสาเหตุของความแปรปรวนของคุณภาพและปริมาณของผลผลิตในระบบการปลูกสตรอเบอร์รี่ในประเทศนอร์เวย์ เช่น การสุกแก่ของผลจะไวขึ้นมาอย่างน้อยหนึ่งเดือนเมื่อเทียบกับปีที่ผ่านๆ มาตั้งแต่ปี 1970-2000 และในทางกลับกันเป็นที่

ทราบกันว่าอุณหภูมิที่สูงเหนือกว่า 30 องศาเซลเซียสทำให้ขนาดผล น้ำหนักผลของสตรอเบอร์รี่ (Kumakura and Shishido, 1994; Ledesma et al., 2008; Wang and Camp, 2000;) ตลอดจนการเจริญเติบโตลดลง (Hellman and Travis, 1988). Mori (1998) พบว่าจำนวนของเมล็ดต่อผลของสตรอเบอร์รี่ลดลงเมื่อปลูกที่อุณหภูมิ 32/27 องศาเซลเซียส (กลางวัน/กลางคืน)

อย่างไรก็ตามหากพิจารณาจากสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อน การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมิมีแนวโน้มก่อให้เกิดผลกระทบในทางลบต่อผลผลิตทางการเกษตร โดยสาเหตุหลักเกิดจากการที่ความร้อนไปบั่นทอนประสิทธิภาพการทำงานของโปรตีนคอมเพล็กซ์ภายใน photosystem II (PSII) ซึ่งเปรียบเสมือนจุดเริ่มต้นของกระบวนการสังเคราะห์แสง (Allakhverdiev et al., 2008) และความร้อนยังเหนี่ยวนำให้พืชเจริญเข้าสู่ระยะการสืบพันธุ์และแก่ตัวเร็วขึ้นจึงทำให้ผลผลิตที่ได้มักมีขนาดเล็กหรือมีคุณภาพด้อยกว่าปกติ (Wahid et al., 2007) นอกจากนี้ในแง่ของการสืบพันธุ์ความร้อนมีผลยับยั้งการงอกของละอองเรณูในพืชหลายชนิดส่งผลให้อัตราการติดผลลดลงอีกด้วย (Zinn et al., 2010) และมีรายงานไม่กี่ฉบับที่ศึกษาเปรียบเทียบการแสดงออกของพืชภายใต้สภาพอุณหภูมิสูง (Ledesma et al., 2008)

อิทธิพลของอุณหภูมิบริเวณรากต่อการเจริญของพืช

สภาพอากาศในเขตร้อนชื้น ที่มีอุณหภูมิและความเข้มแสงสูง หากไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิบริเวณรากได้จะส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชฝกตกลง ดังนั้นอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิบริเวณรากเป็นสองปัจจัยหลักที่จะต้องคำนึงถึง และจำเป็นต้องมีการจัดการให้เหมาะสม อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงการพัฒนาการของพืชนับตั้งแต่การงอก การเจริญเติบโต ตลอดจนการชักนำให้เกิดการออกดอก และการเจริญทางด้านระบบสืบพันธุ์ของพืช ปกติรากพืชต้องการออกซิเจนสำหรับการหายใจ โดยทั่วไปแล้วรากที่กำลังเจริญจะถูกหุ้มไว้ด้วยชั้นของแผ่นน้ำบางๆ และจะคูดน้ำไปใช้เพียงแต่ในช่วงที่สูญเสียน้ำ ซึ่งรายงานการวิจัยพบว่า กลไกที่ขยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชในสถานะที่อุณหภูมिरากไม่เหมาะสมจะรบกวนการดูดธาตุอาหาร และการดูดซึมน้ำของพืช (Dodd et al., 2000) ในมะเขือเทศการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมिरากจาก 12 องศาเซลเซียส เป็น 20 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาพแสง ความชื้นในอากาศ และอุณหภูมิเหนือดินคงที่ มีผลทำให้อัตราการไหลของน้ำผ่านท่อลำเลียงในต้นมะเขือเทศเพิ่มขึ้น 25 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่าอัตราการดูดซึมน้ำธาตุอาหารพวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ลดลงอย่างมากเมื่ออุณหภูมิบริเวณรากต่ำ (Kafkafi, 2000) ในพริกที่ปลูกในระบบ aeroponic พบว่าการย้ายพืชที่ปลูกในสภาพอุณหภูมिरากที่สภาพปกติ ไปสู่สถานะที่อุณหภูมिरาก 20 องศาเซลเซียส มีผลทำให้น้ำหนักแห้ง ขนาดใบ จำนวนใบ ค่าศักย์ของน้ำภายในต้นพริกเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่เมื่อทำการสลับ

พริกจากสภาวะอุณหภูมิราก 20 องศาเซลเซียส ปลูกในสภาพอุณหภูมิรากที่สภาพปกติ ให้ผลในทางตรงกันข้าม (Dodd et al., 2000) ในแตงกวากลุ่ม African snake tomato (*Trichosanthes cucumerina*) ที่ปลูกในสภาวะอุณหภูมิรากที่แตกต่างกัน คือ 20, 25 และ 30 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิบริเวณรากที่ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม มีปริมาณธาตุแคลเซียม และโพแทสเซียมสูงขึ้นในราก และเป็นสาเหตุทำให้เกิดการลดลงของการทำงานของโปรตีนต่าง ๆ ที่มีผลต่อระบบการสังเคราะห์แสง เนื่องจากไปยับยั้งการทำงานของ Photosystem II (PS II) และกีดกันการดูดแร่ธาตุอาหารที่จำเป็น ในขณะที่อุณหภูมิบริเวณรากที่ 25 และ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิปกติ แคลเซียมเพิ่มสูงขึ้น ในลำต้น และประมาณ 50% ของปริมาณที่พบในลำต้นพบในส่วนของใบ และมีปริมาณของ ฟอสฟอรัส ในปริมาณที่เท่ากันในส่วนของราก ลำต้น และใบ (Adebooye et al., 2010) ในข้าวโพดพบว่าที่อุณหภูมิบริเวณรากที่แตกต่างกันการเจริญของข้าวโพดมีความสัมพันธ์กับความต้องการธาตุอาหารแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิบริเวณเหนือรากซึ่งรวมไปถึงบริเวณเนื้อเยื่อเจริญของต้นด้วย (Engels and Marschner, 1996)

ระบบการปลูกสตรอเบอร์รี่ในประเทศไทย

ระบบการปลูกสตรอเบอร์รี่เป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีความสำคัญในการเพิ่มผลผลิตของสตรอเบอร์รี่ ซึ่งในประเทศไทย สามารถแบ่งระบบการปลูกสตรอเบอร์รี่ออกได้เป็น 4 ระดับ ได้แก่ การปลูกในแปลงแบบขร่องและให้น้ำตามร่องของแปลงปลูก ระบบปลูกในโรงเรือนแบบแปลงยกร่องให้น้ำด้วยสปริงเกอร์ ระบบปลูกในโรงเรือนโดยการให้ปุ๋ยร่วมกับน้ำ และระบบการปลูกพืชแบบไร้ดิน ระบบทั้งหมดที่ปลูกในประเทศไทยในขณะนี้ เป็นระบบการปลูกแบบขร่องสูง ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เงินลงทุนน้อย แต่ยากลำบากต่อการจัดการและควบคุมการระบาดของโรคและแมลง (ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2552) และที่สำคัญคือสตรอเบอร์รี่สามารถให้ผลผลิตได้ในเฉพาะในฤดูกาลผลิตเท่านั้น จึงเป็นข้อจำกัดของการผลิตสตรอเบอร์รี่ในประเทศไทย

ขั้นตอนที่สำคัญของระบบการปลูกสตรอเบอร์รี่จะเริ่มจากการเตรียมต้นไหล ซึ่งในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการปลูกสตรอเบอร์รี่เพื่อให้ผลผลิตมีคุณภาพและผลผลิตที่สูง โดยต้นคอกที่ใช้ในการผลิตไหลจะต้องมีความแข็งแรง ปราศจากโรคที่เกิดจากไวรัส และต้องอยู่ในสภาพวันยาวที่มีความยาวแสงของวันประมาณ 16 ชั่วโมง และอุณหภูมิสูงประมาณ 26 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมเหมาะสำหรับการผลิตไหล ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเริ่มทำการผลิตไหลตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม จากนั้นต้นไหลจะถูกนำเข้าสู่การชักนำให้เกิดดอกในสภาพวันสั้นที่มีความยาววัน 12 ชั่วโมง และอุณหภูมิต่ำ ระหว่าง 15-20 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับสาย

พันธุ์ที่ใช้ปลูก นอกจากนี้ยังพบว่าความยาววัน 14 ชั่วโมง อุณหภูมิต่ำระหว่าง 15-20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำ 15 องศาเซลเซียส ในสภาพวันยาวก็สามารถชักนำให้เกิดการติดดอกได้เช่นกัน (Yanagi *et al.*, 2005) ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการชักนำให้เกิดการติดดอกนั้นแตกต่างกันออกไป เพื่อให้สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ในช่วงที่ต้องการ และประเทศญี่ปุ่นเป็นประเทศหนึ่งที่มีการพัฒนาระบบการปลูกสตรอเบอร์รี่ไปอย่างรวดเร็วเพื่อเพิ่มผลผลิตและขยายช่วงเวลาการเก็บให้ได้ยาวนานขึ้น ด้วยการใช้เทคนิคต่าง ๆ เข้ามาช่วย เช่น การควบคุมการพักตัว การควบคุมการชักนำการออกดอกด้วยการใช้เทคนิควันสั้น อุณหภูมิต่ำ ในที่มีด (The Japanese Society for Horticultural Science, 2006) และยังสามารถมีการพัฒนาเทคนิคต่าง ๆ เพื่อใช้ในการผลิตสตรอเบอร์รี่ให้มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของแต่ละภูมิภาคของประเทศ เช่น การพัฒนาระบบปลูกแบบยกสูง (High bench) เพื่อหลีกเลี่ยงการแพร่ระบาดของโรคทางดิน และในพื้นที่การเพาะปลูกที่จำกัด การปลูกแบบยกสูงยังสามารถทำให้ปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่สูงขึ้น

โดยทั่วอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของสตรอเบอร์รี่อยู่ระหว่าง 15-30 องศาเซลเซียส (Darrow, 1969; Hancock, 1999) และอุณหภูมิดินอยู่ระหว่าง 15 – 23 องศาเซลเซียส (Dong *et al.*, 2009) ซึ่งทั้งอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดินมีผลโดยตรงต่อการดูดซับธาตุอาหารที่จะนำไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของสตรอเบอร์รี่ รวมไปถึงการออกดอกด้วย Fukumoto *et al.* (2003) พบว่าการเจริญ และอัตราการสังเคราะห์แสงของสตรอเบอร์รี่สายพันธุ์ Toyonoka จะดีขึ้นเมื่อปลูกในสภาพที่อุณหภูมิบริเวณราก 17 องศาเซลเซียส และมีจำนวนผลผลิตสูงที่สุดที่อุณหภูมิบริเวณราก 21 องศาเซลเซียส และ ณ อุณหภูมิบริเวณรากเดียวกันนี้ยังพบว่าระดับของโพแทสเซียมและแคลเซียมเพิ่มขึ้นสูงด้วย Kim *et al.* (2009) พบว่าการให้ความร้อนแก่บริเวณรากในช่วงเวลากลางวันในฤดูหนาว ในช่วงที่มีการพัฒนาของของดอกทำให้มีการเพิ่มขึ้นของจำนวนดอกและนำไปสู่ผลผลิตที่สูงขึ้นตามมา นอกจากนี้แล้ว Black *et al.* (2005) พบว่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่า หรือเท่ากับ 29 องศาเซลเซียส มีผลต่อการเจริญเติบโตและการสูงสุดของสตรอเบอร์รี่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุณหภูมิบริเวณรากที่สูงขึ้นใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศจะส่งผลให้สตรอเบอร์รี่ออกดอกไม่สม่ำเสมอ หรือหยุดการออกดอก แต่ไปเจริญเติบโตทางด้านลำต้นแทน (Leshem and Koller, 2011) ซึ่งสอดคล้องกับ Yamazaki (2009) ที่พบว่าในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอุณหภูมิที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อุณหภูมิที่สูงในวัสดุปลูกของสตรอเบอร์รี่ในระบบปลูกแบบยกสูงมีแนวโน้มในการชักนำให้เกิดการออกดอกช้าและทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของการแทงดอก Fukumoto (2003) ได้ศึกษาการพัฒนาระบบปลูกโดยการควบคุมอุณหภูมิวัสดุปลูก พบว่า สตรอเบอร์รี่พันธุ์ “Toyonoka” ที่ปลูกในวัสดุปลูกที่มีอุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียสมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น และให้ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์บrikที่สูงกว่าปลูกในวัสดุปลูกที่มีอุณหภูมิ 25

องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่สูงในวัสดุปลูกมีแนวโน้มในการชักนำให้เกิดการออกดอกช้าและทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของการแทงช่อดอก (Yamazaki, 2009) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อปลูกสตรอเบอร์รี่พันธุ์ “Benihope” ด้วยระบบการปลูกแบบยกสูงในช่วงต้นของเดือนกันยายนซึ่งเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิสูง และมีการลดอุณหภูมิของวัสดุปลูกด้วยการเป่าลม เพื่อระบายความร้อนแฝงของวัสดุปลูกสามารถลดอุณหภูมิของวัสดุปลูกลงได้ 5-6 องศาเซลเซียส และสามารถกระตุ้นให้แตกช่อดอกได้ไวขึ้นถึง 5 วัน รวมทั้งออกดอกอย่างสม่ำเสมอ (Iwasaki, 2008; Ikeda et al., 2006; Yamazaki, 2009)

ผลการวิจัยเหล่านี้เป็นดัชนีที่แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของช่อดอกในพืชหลาย ๆ ชนิดรวมทั้งสตรอเบอร์รี่ และสตรอเบอร์รี่เป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีความอ่อนไหวต่อสภาพอากาศทั้งส่วนบนและบริเวณราก และเมื่อพิจารณาสภาพแปลงปลูกจริงในสภาพธรรมชาตินั้นอุณหภูมิตอนกลางวันในช่วงฤดูร้อนอาจเพิ่มขึ้นไปได้สูงถึงประมาณ 40 องศาเซลเซียส และที่สำคัญคือไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมและปัจจัยต่าง ๆ ได้ เมื่อเทียบกับการปลูกในสภาพโรงเรือน จึงไม่น่าแปลกใจที่การปลูกพืชที่มีถิ่นกำเนิดมาจากเขตอบอุ่นในฤดูร้อนมักประสบกับปัญหาปริมาณและคุณภาพผลผลิตตกต่ำมากกว่าการปลูกในฤดูหนาว ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อพิจารณาถึงผลกระทบของสภาวะโลกร้อนที่ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปีจึงมีความเป็นไปได้สูงที่ปัญหาเหล่านี้จะทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นงานวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของสภาวะอุณหภูมิสูงต่อการเจริญเติบโตของพืชและการศึกษาหนทางแก้ไขทั้งในระยะสั้นและระยะยาวจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการรักษาเสถียรภาพทางการเกษตรของประเทศไทยในอนาคต ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาหาวิธีการปลูกเพื่อขยายช่วงเวลาปลูกสตรอเบอร์รี่เพื่อการผลิตนอกฤดูด้วยระบบ Medium cooling เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหาและรับมือกับปัญดังกล่าว

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ประกอบไปด้วยระบบปลูกด้วยเทคนิค Medium cooling จำนวน 4 ระบบ ซึ่งดัดแปลงมาจาก Ikeda et al (2006) และใช้สตรอเบอร์รี่จำนวน 2 พันธุ์ คือ พันธุ์พระราชทาน 80 และพันธุ์ 329 ในการปลูกทดสอบภายใต้สภาพโรงเรือนพลาสติก

การชักนำให้ออกดอก

นำไหลของสตรอเบอร์รี่ พันธุ์พระราชทาน 80 และพันธุ์ 329 ไปเก็บในห้องเย็น ในที่มีดที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 16 องศาเซลเซียส นาน สามสัปดาห์ จากนั้นนำต้นไหลทั้งหมดไปปลูกในระบบการปลูกทั้ง 4 ระบบ

การขยายเพิ่มช่วงแสง

หลังจากปลูกแล้วต้นสตรอเบอร์รี่ที่ปลูกในทุกระบบจะถูกให้แสงจำนวน 16 ชั่วโมงต่อวัน เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 พฤศจิกายน วันที่ 15 ธันวาคม 2554 นาน 45 วัน จากนั้นหยุดการให้แสง และปล่อยให้ได้รับแสงตามสภาพธรรมชาติ

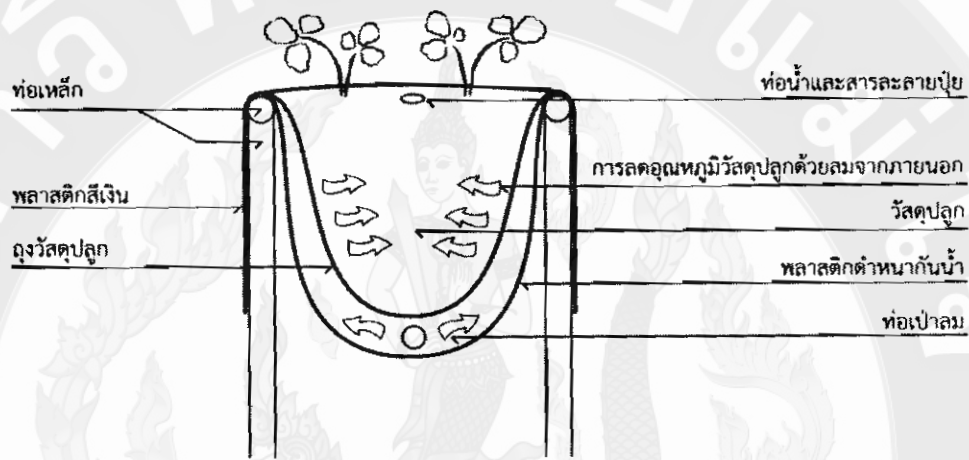
ระบบการปลูก

ขนาดของชั้นปลูกทุกระบบมีขนาดที่เท่ากันทั้งหมด คือ มีความสูง 1.3 เมตร กว้าง 0.2 เมตร และยาว 4 เมตร โดยเป็นการปลูกแบบยกสูง (High bench culture system) และใช้ขุยมะพร้าว มะพร้าวสับ และแกลบดำเป็นวัสดุปลูก

Airation cooling system

ในระบบนี้กระบะปลูกจะเป็นการใช้ผ้าปานซึดติดไว้กับท่อน้ำที่เป็นเหล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยกสูงจากพื้นดิน 1.3 เมตร แล้วใส่วัสดุปลูกลงไปในกระบะปลูกทำการวางระบบน้ำสำหรับให้สารละลายปุ๋ยไว้บนวัสดุปลูก วางท่อพีวีซีที่เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ไว้ด้านล่างวัสดุปลูกเพื่อพ่นอากาศให้กับวัสดุปลูก โดยการต่อเข้ากับเครื่องเป่าลม ติดตั้งเครื่องตรวจและบันทึกอุณหภูมิแบบบันทึกข้อมูลได้ไว้ในวัสดุปลูก ลึกประมาณ 15 เซนติเมตร และติดตั้งท่อระบายน้ำไว้ด้านล่างอีกครั้งแล้วปิดทับด้วยพลาสติกดำหนาขนาด 100 ไมโครเมตร ปิดทับด้วยพลาสติกสีเงินไว้ด้านบนเพื่อคุมส่วนบนของวัสดุปลูก จากนั้นปลูกสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80 และพันธุ์ 329 พันธุ์ละ 80 ต้น ด้วยระยะปลูก 20 x 20 เซนติเมตร ดังรูป 1 การเป่าลมเข้าสู่ระบบทำการเป่าโดยเครื่อง

เป่าลมขนาด 0.75 กิโลวัตต์ ผ่านเข้าท่อพีวีซีที่มีรูพรุนแขวนไว้ด้านล่างวัสดุปลูก เป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่เวลา 08.00-17.00 น ซึ่งการเป่าลมเป็นการเป่าเพื่อไล่ความร้อนแฝงที่มีอยู่ในวัสดุปลูกที่เกิดขึ้นในช่วงกลางวัน การให้น้ำและสารละลายปุ๋ยจะให้ผ่านท่อจำนวน 4 ครั้งต่อวัน ครั้งละ 15 นาที อุณหภูมิภายในวัสดุปลูกที่ถูกบันทึกในเครื่องเครื่องตรวจและบันทึกอุณหภูมิจะถูกนำมาวิเคราะห์ทุก ๆ หนึ่งเดือนตลอดระยะเวลาการปลูกทดลอง

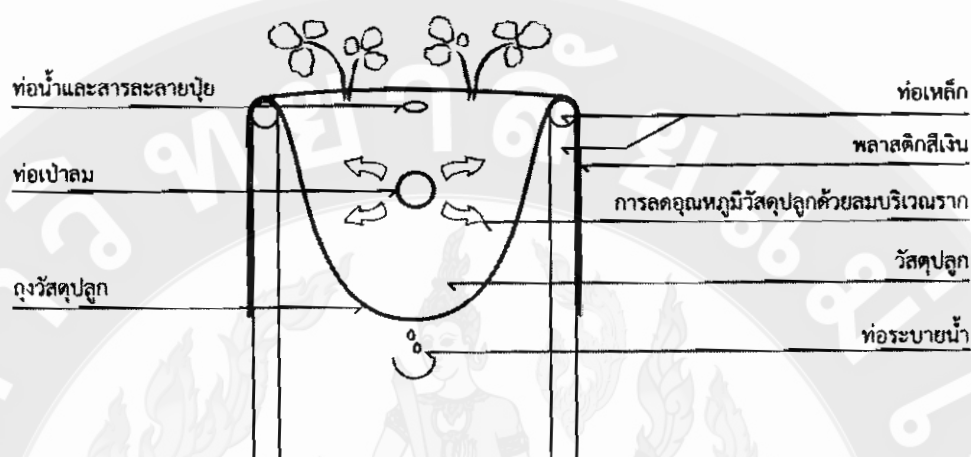


ภาพที่ 1 ภาพร่างของการปลูกแบบยกสูงร่วมกับการลดอุณหภูมิวัสดุปลูกแบบ Airation cooling system โดยการเป่าลมจากพัดลมเป่าอากาศจากภายนอกวัสดุปลูก

Root zone aeration cooling system

ในระบบนี้กระเพาะปลูกจะเป็นรางที่ทำด้วยโฟมและพลาสติกดำหนาขนาด 100 ไมโครเมตร บนโครงสร้างของท่อน้ำที่เป็นเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยกสูงจากพื้น 1.3 เมตร แล้วใส่วัสดุปลูกลงไปใ้ในกระเพาะปลูกประมาณ 10 เซนติเมตร และวางท่อพีวีซีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้วที่มีรูไว้ด้านบนวัสดุปลูก เพื่อเป็นแนวท่อในการผ่านลมเพื่อลดความร้อนให้กับวัสดุปลูก จากนั้นกลับด้วยวัสดุปลูกอีกชั้นหนาประมาณ 10 เซนติเมตร และวางระบบน้ำสำหรับให้สารละลายปุ๋ยไว้บนวัสดุปลูก ติดตั้งเครื่องตรวจและบันทึกอุณหภูมิแบบบันทึกข้อมูลได้ไว้ในวัสดุปลูก ลึกประมาณ 15 เซนติเมตร แล้วปิดทับด้วยพลาสติกสีดำนเงิน พร้อมทั้งติดตั้งท่อระบายน้ำไว้ด้านล่าง จากนั้นปลูกสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80 และพันธุ์ 329 พันธุ์ละ 80 ต้น ด้วยกระเพาะปลูก 20 x 20 เซนติเมตร ดังรูป 2 สำหรับการให้น้ำและสารละลายปุ๋ยจะให้ผ่านท่อจำนวน 4 ครั้งต่อวัน ครั้งละ 15 นาที การเป่าลมเข้าสู่ระบบจะใช้เครื่องเป่าลมเช่นเดียวกับกับระบบ Airation cooling system ดังรูป 5 โดยผ่านเข้าท่อพีวีซีที่มีรูพรุนที่ถูกฝังไว้ด้านล่างในวัสดุปลูก เป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่เวลา 08.00-17.00น เพื่อไล่ความร้อนแฝงที่มีอยู่ในวัสดุปลูกที่เกิดขึ้นในช่วงกลางวัน อุณหภูมิภายในวัสดุปลูกที่ถูกบันทึกใน

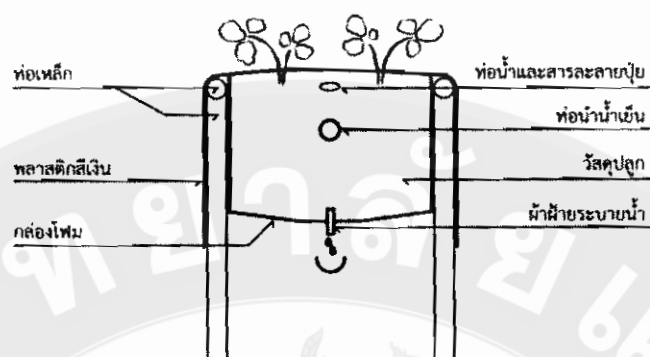
เครื่องเครื่องตรวจและบันทึกอุณหภูมิจะถูกนำมาวิเคราะห์ทุก ๆ หนึ่งเดือนตลอดระยะเวลาการปลูกทดลอง



ภาพที่ 2 ภาพร่างของการปลูกแบบยกสูงร่วมกับการลดอุณหภูมิวัสดุปลูกแบบ Root zone aeration cooling system โดยการเป่าลมจากพัดลมเป่าอากาศภายในวัสดุปลูก

Cold water cooling system

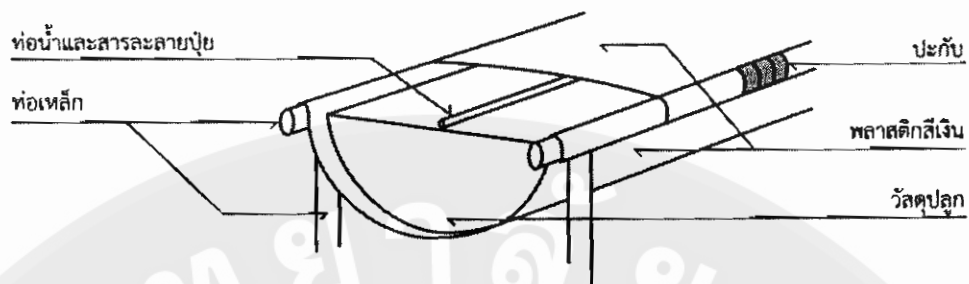
ในระบบนี้กระบะปลูกจะเป็นรางที่ทำด้วยโฟมและพลาสติกกำหนดขนาด 100 ไมโครเมตร บนโครงสร้างของท่อน้ำที่เป็นเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยกสูงจากพื้น 1.3 เมตรแล้วใส่วัสดุปลูกลงไปใกระบะปลูกประมาณ 10 เซนติเมตร และวางท่ออะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ไว้ด้านบนของวัสดุปลูกภายในรางปลูก เพื่อเป็นท่อในการผ่านน้ำเย็นในการลดความร้อนให้กับวัสดุปลูกจากนั้นกลบด้วยวัสดุปลูกอีกชั้นหนาประมาณ 10 เซนติเมตร และวางระบบน้ำสำหรับให้สารละลายปุ๋ยไว้บนวัสดุปลูก จากนั้นปิดทับด้วยพลาสติกสีดำเงิน และติดตั้งท่อระบายน้ำไว้ด้านล่างอีกครั้งแล้วปิดทับด้วยจากนั้นปลูกสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80 และพันธุ์ 329 พันธุ์ละ 80 ต้น ด้วยระยะปลูก 20 x 20 เซนติเมตร (รูป 2) น้ำเย็นอุณหภูมิประมาณ 15-23 องศาเซลเซียส จะถูกปล่อยไหลเวียนผ่านเข้าท่ออะลูมิเนียมไปมาในระบบเข้าไปในท่อทุกๆ 1 ชั่วโมง นานครั้งละ 30 นาทีตั้งแต่เวลา 08.00-17.00 น ทุกวัน จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ดังรูป 5 การให้น้ำและสารละลายปุ๋ยจะให้ผ่านท่อจำนวน 4 ครั้งต่อวัน ครั้งละ 15 นาที อุณหภูมิภายในรางปลูกของวัสดุปลูกที่ความลึก 15 เซนติเมตร ถูกบันทึกในเครื่องเครื่องตรวจและบันทึกอุณหภูมิจะถูกนำมาวิเคราะห์ทุก ๆ หนึ่งเดือนตลอดระยะเวลาการปลูกทดลอง



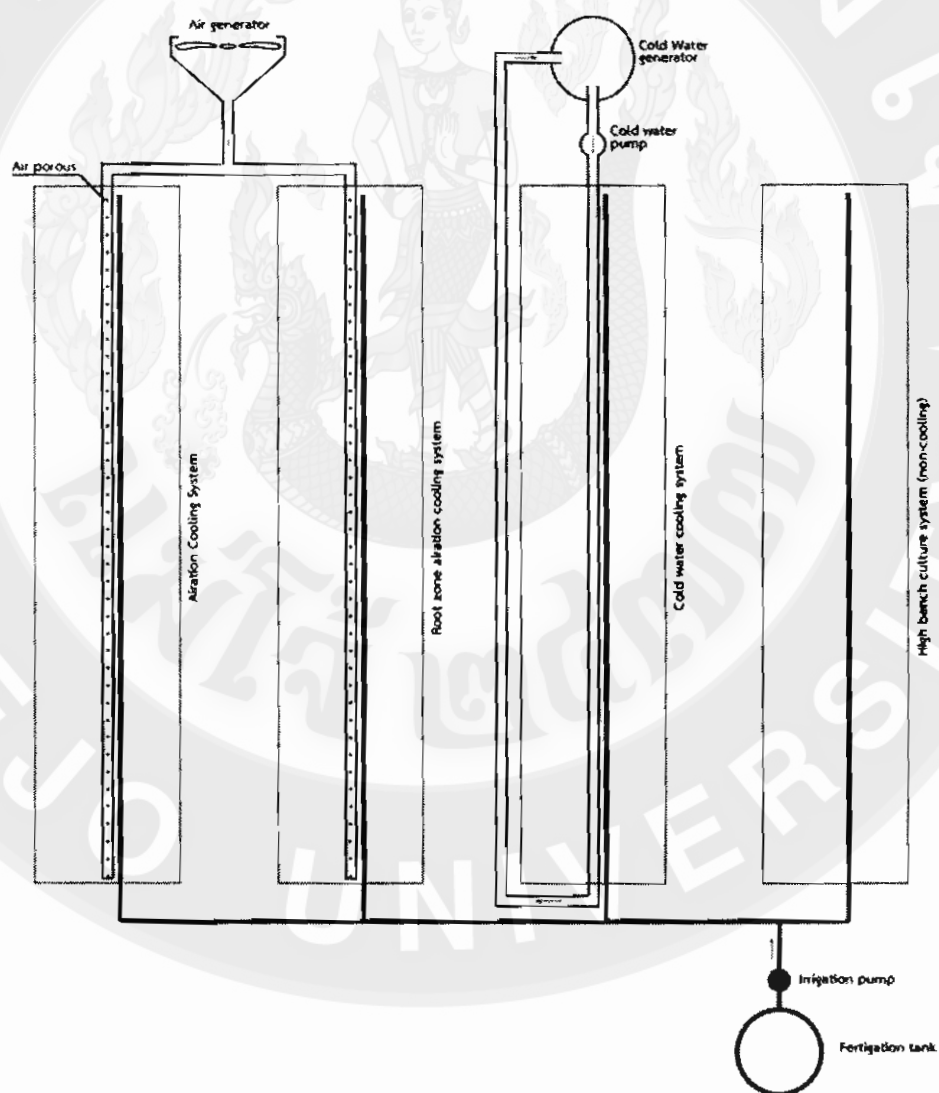
ภาพที่ 3 ภาพร่างของการปลูกแบบยกสูงร่วมกับการลดอุณหภูมิวัสดุปลูกแบบ Cool water cooling system

High bench culture system (non-cooling)

ในระบบนี้ใช้เป็นระบบเปรียบเทียบ (control) โดยไม่มีการระบายความร้อนของวัสดุปลูก ซึ่งกระบะปลูกจะเป็นรางพลาสติกกำหนดขนาด 100 ไมโครเมตรบนโครงสร้างของท่อน้ำที่เป็นเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยกสูงจากพื้น 1.3 เมตรและยึดพลาสติกเข้ากับท่อเหล็กด้วยปะกัพลาสติก แล้วใส่วัสดุปลูกลงไปใกระบะปลูกประมาณ 20 เซนติเมตร และวางระบบน้ำสำหรับให้สารละลายปุ๋ยไว้บนวัสดุปลูก จากนั้นปิดทับด้วยพลาสติกสีเงิน และ ติดตั้งท่อระบายน้ำไว้ด้านล่างอีกครั้งแล้วปิดทับด้วยเพื่อเป็นระบบควบคุมในการศึกษาเปรียบเทียบการลดอุณหภูมิแบบต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น จากนั้นปลูกสตรอเบอร์รี่พันธุ์พระราชทาน 80 และพันธุ์ 329 พันธุ์ละ 80 ต้นด้วยกระบะปลูก 20 x 20 เซนติเมตร ดังรูป 4 การให้น้ำและสารละลายปุ๋ยจะให้ผ่านท่อจำนวน 4 ครั้งต่อวัน ครั้งละ 15 นาที อุณหภูมิภายในรางปลูกของวัสดุปลูกที่ความลึก 15 เซนติเมตร ถูกบันทึกในเครื่องเครื่องตรวจและบันทึกอุณหภูมิจะถูกนำมาวิเคราะห์ทุก ๆ หนึ่งเดือนตลอดระยะเวลาการปลูกทดลอง



ภาพที่ 4 ภาพร่างของการปลูกแบบยกสูงร่วมกับการลดอุณหภูมิวัสดุปลูกแบบ High bench culture system (non-cooling)



ภาพที่ 5 ภาพร่างระบบรวม การระบายความร้อนวัสดุปลูกด้วยวิธีการต่าง ๆ และการให้น้ำให้ปุ๋ย

การบันทึกข้อมูล

อุณหภูมิวัสดุปลูก ทำการติดตั้งอุปกรณ์การบันทึกอุณหภูมิลงไปยังวัสดุปลูกของทุกระบบ ลึกประมาณ 10 เซนติเมตร จากผิวด้านบนของรางปลูก ระบบละ 1 จุด คือ บริเวณกลางรางปลูก และติดตั้งอุปกรณ์การบันทึกอุณหภูมิไว้ภายในโรงเรือนอีก 1 จุด เพื่อบันทึกอุณหภูมิเหนือดินของแต่ละวันตลอดระยะเวลาทำการทดลอง

อุณหภูมิอากาศ ติดตั้งอุปกรณ์การบันทึกอุณหภูมิไว้ภายในโรงเรือนอีก 1 จุด เพื่อบันทึกอุณหภูมิเหนือดินของแต่ละวันตลอดระยะเวลาทำการทดลอง ตั้งแต่เดือนเดือนพฤศจิกายน ถึง มีนาคม

ข้อมูลด้านการเจริญเติบโต ทำการบันทึกข้อมูลดังต่อไปนี้

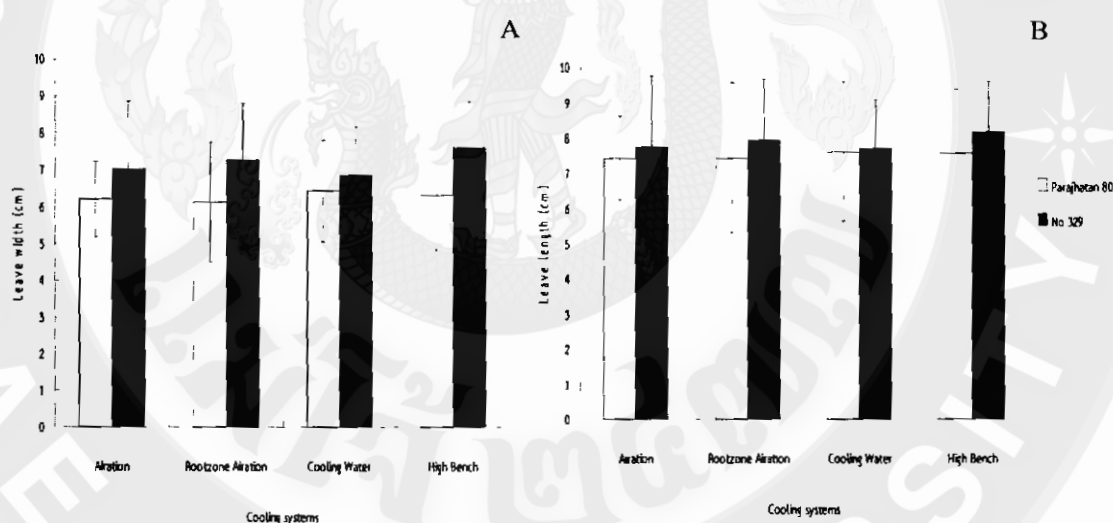
- วันที่เริ่มแทงดอก
- จำนวนช่อดอก
- จำนวนใบ
- ความยาวใบ
- จำนวนผลต่อต้นต่อเดือน
- จำนวนผลต่อต้น
- ขนาดของผล
- น้ำหนักผลผลิตรวม
- น้ำหนักต่อผล
- ผลผลิตรวม
- ระยะเวลาในการให้ผลผลิต

ผลการวิจัย

ผลของระบบการระบายความร้อนในวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตของสตรอเบอรี่

ความกว้างของใบ และความยาวใบ

ผลการเปรียบเทียบระบบการระบายความร้อนในวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตด้านความกว้างใบ และความยาวใบของสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 80 และ พันธุ์ 329 ผลปรากฏดังนี้ ระบบการระบายความร้อนในวัสดุปลูกทั้ง 4 ชนิด ไม่มีผลทำให้ความกว้างและความยาวของใบของสตรอเบอรี่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามทั้งความกว้างและความยาวของใบของสตรอเบอรี่พันธุ์ 329 มีค่าสูงกว่าสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 80 เล็กน้อย โดยความกว้างเฉลี่ยของใบในสตรอเบอรี่พันธุ์ 329 มีค่าสูงสุดในระบบ High bench หรือ control (รูป 6)

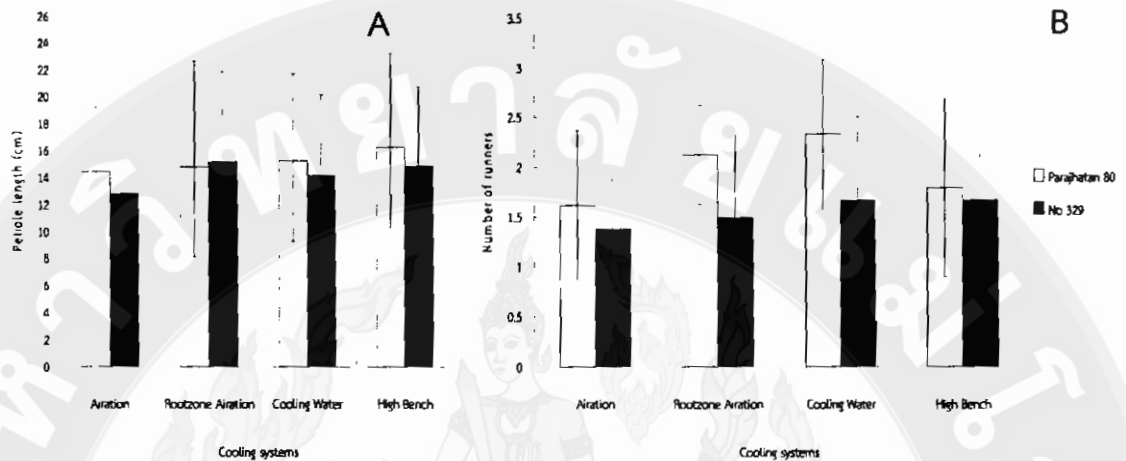


ภาพที่ 6 แสดงความกว้างใบ และความยาวใบของสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 80 และพันธุ์ 329 ในระบบการระบายความร้อนวัสดุปลูกต่าง ๆ

ความยาวก้านใบและจำนวนไหล

ผลการศึกษพบว่าระบบการระบายความร้อนในวัสดุปลูกทุกระบบ ไม่มีผลทำให้ความยาวก้านใบและจำนวนไหลแตกต่างกัน และพบว่าสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 80 มีจำนวนไหลมากกว่าพันธุ์ 329 โดยความยาวก้านใบของสตรอเบอรี่ทั้งสองพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และระบบที่ทำให้สตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 80 มีจำนวนไหลสูงที่สุด คือ ระบบ cooling water

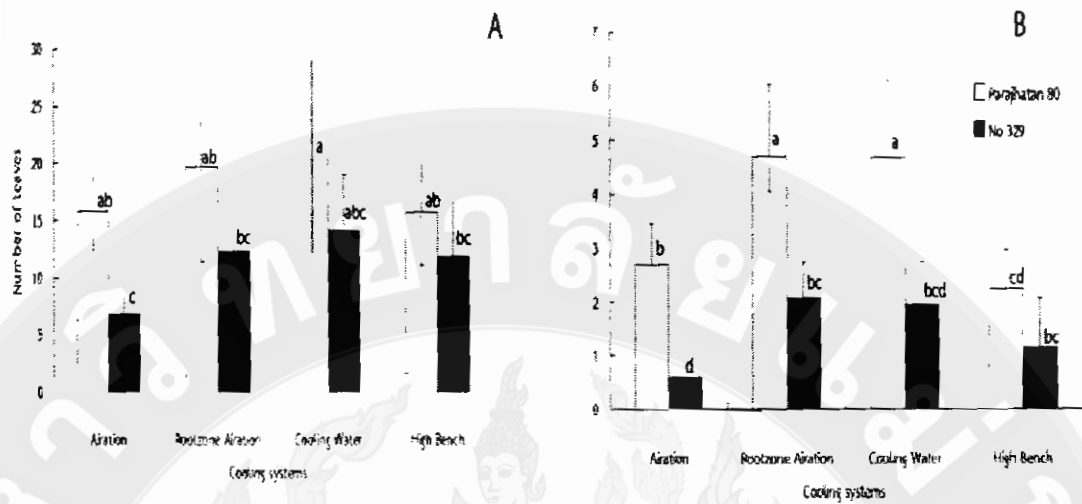
รองลงมา rootzone aeration, high bench และ aeration ตามลำดับ พันธุ์ 329 มีจำนวนไหลต่อต้านเฉลี่ยประมาณ 1-1.5 ในทุกระบบการระบายความร้อนในวัสดุปลูก (รูป 7)



ภาพที่ 7 แสดงอิทธิพลระบบการระบายความร้อนในวัสดุปลูกต่อ A) ของความยาวก้านใบ และ B) จำนวนไหล ของสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 80 และพันธุ์ 329

จำนวนใบและตา

ระบบการระบายความร้อนในวัสดุปลูกมีผลต่อจำนวนใบและตาข้างของพันธุ์สตรอเบอรี่ทั้งสองอย่างมีนัยสำคัญ และพันธุ์สตรอเบอรี่ทั้งสองพันธุ์มีความแตกต่างกันทางสถิติในด้านจำนวนใบและตาข้างอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 80 มีจำนวนใบและตาข้างสูงกว่าพันธุ์ 329 อย่างชัดเจนในทุกระบบการระบายความร้อนในวัสดุปลูก และระบบการระบายความร้อนในวัสดุปลูกที่ทำให้สตรอเบอรี่ทั้งสองพันธุ์มีจำนวนใบและตาข้างมากที่สุด คือ ระบบ cooling water และ rootzone aeration รองลงมา คือ ระบบ aeration และ high bench ตามลำดับ (รูป 8)



ภาพที่ 8 แสดงอิทธิพลระบบการระบายความร้อนในวัสดุปลูกต่อ A) จำนวนใบ และ B) จำนวนคาข้าง ของสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 80 และพันธุ์ 329

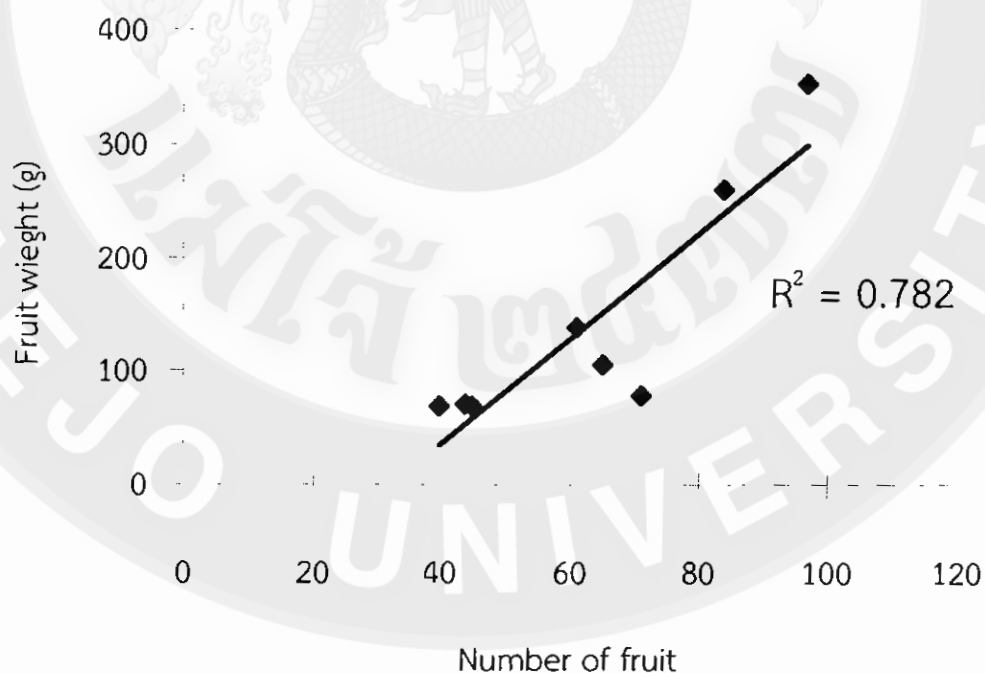
ผลของระบบการระบายความร้อนในวัสดุปลูกต่อผลผลิตของสตรอเบอรี่

ผลของการระบายความร้อนในวัสดุปลูกทั้ง 4 ระบบต่อจำนวนวันในการออกดอกหลังจากปลูก จำนวนผลรวมต่อต้น จำนวนผลเฉลี่ยต่อต้น และน้ำหนักผลเฉลี่ยในสตรอเบอรี่พันธุ์ทั้ง 2 พันธุ์ แสดงไว้ในตารางที่ 1 พบว่าระบบการระบายความร้อนในวัสดุปลูกทุกแบบ ทำให้สตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 80 ออกดอกช้ากว่าพันธุ์ 329 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพันธุ์ 329 มีช่วงระยะเวลาในการบานของดอกหลักจากย้ายปลูกอยู่ระหว่าง 7-9 วัน ส่วนพันธุ์พระราชทาน 80 อยู่ระหว่าง 13-58 วัน และระบบที่ทำให้สตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 80 และพันธุ์ 329 ออกดอกไวที่สุดคือระบบ cooling water นอกจากนี้ยังพบว่าระบบระบายความร้อนในวัสดุปลูกแบบ cooling water ยังมีผลทำให้จำนวนผลรวมต่อต้น และจำนวนผลเฉลี่ยต่อต้น ของสตรอเบอรี่ทั้งสองพันธุ์สูงกว่าระบบอื่น ๆ ยกเว้นน้ำหนักผลเฉลี่ย ร่องลงมา คือ ระบบ high bench ส่วนระบบที่ทำให้สตรอเบอรี่ทั้งสองพันธุ์มีน้ำหนักผลเฉลี่ยมากที่สุดคือ ระบบ aeration มีน้ำหนักผลเฉลี่ย 9.23 กรัม และ 5.15 กรัม ในพันธุ์พระราชทาน 80 และพันธุ์ 329 ตามลำดับ

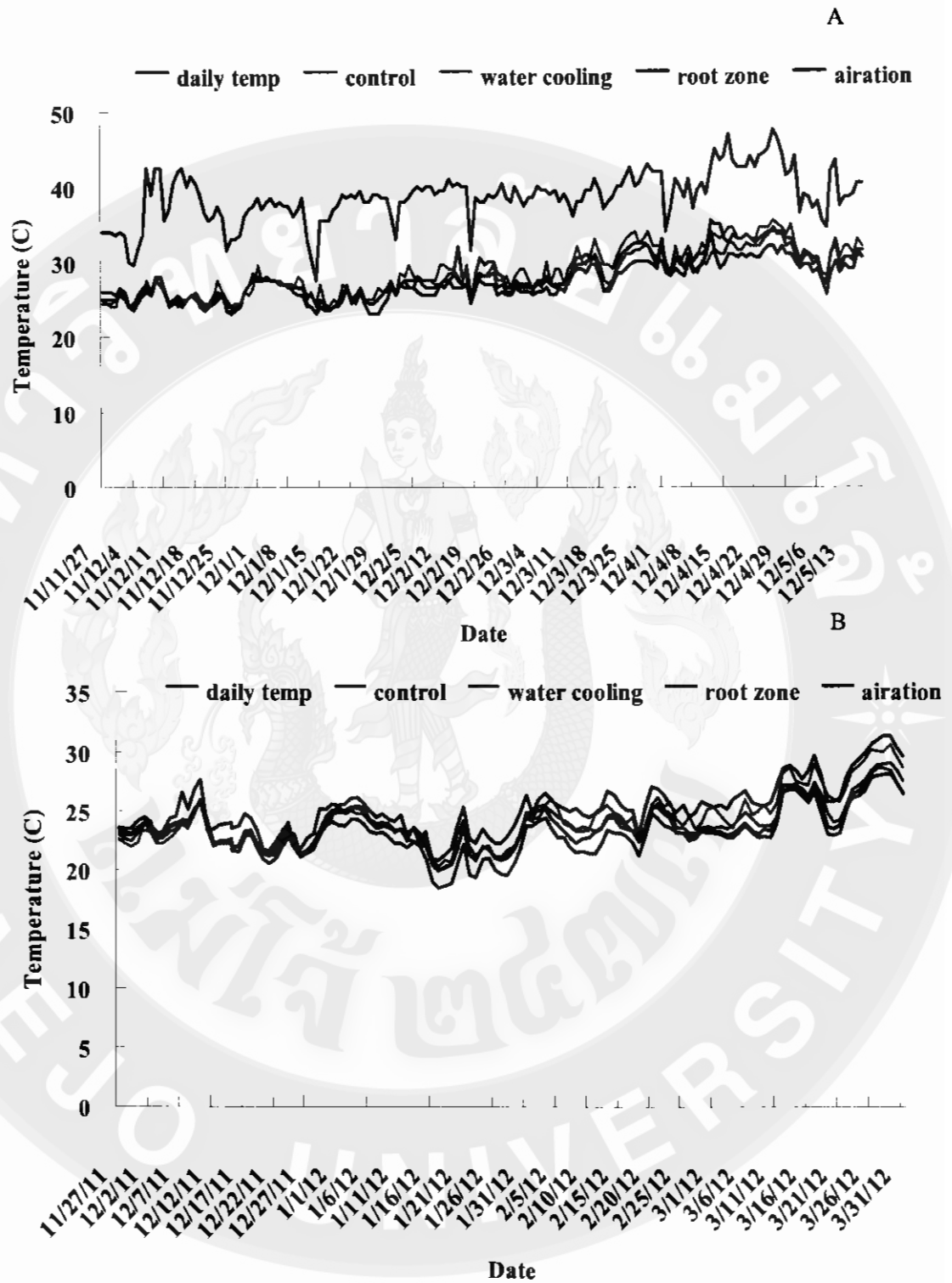
การหาค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ระหว่างจำนวนผลและน้ำหนักผลผลิต พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองเป็นไปในทางบวก และมีค่าในระดับสูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อจำนวนผลเพิ่มขึ้นมีผลทำให้น้ำหนักผลผลิตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังรูป 8

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนวันออกดอก จำนวนผลรวมต่อต้น จำนวนผลเฉลี่ยต่อต้น และน้ำหนักผลเฉลี่ยของสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 80 และพันธุ์ 329 ในระบบระบายความร้อนวัสดุปลูกแบบต่าง ๆ

Cultivar	Cooling systems	Day of flowering	Total no.of fruit/plant	No. of fruit/plant	Average of fruit weigh (g)
Parajhatan 80	Airation	58.8a	27.71c	12.33	9.23a
	Rootzone Airation	45.0b	14.17d	9.00	6.49b
	Cooling Water	14.60c	70.27a	20.00	5.86bc
	High Bench	13.60cd	51.94b	15.67	5.26bc
No 329	Airation	9.00de	13.86d	7.00	5.15bc
	Rootzone Airation	7.60e	13.91d	7.67	4.72bc
	Cooling Water	7.20e	21.06c	13.00	4.64bc
	High Bench	7.00e	15.44d	12.00	4.62c
cooling system		*	*	*	*
cultivars		*	*	NS	*
cooling system x cultivars		*	*	NS	*



ภาพที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผล และน้ำหนักผลผลิตของสตรอเบอรี่ทั้งสองพันธุ์ที่ปลูกในระบบการระบายความร้อนทั้ง 4 ระบบ



ภาพที่ 10 แสดง A) อุณหภูมิสูงสุด และ B) อุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวันของอุณหภูมิอากาศ และ อุณหภูมิภายในวัสดุปลูกของระบบการระบายความร้อนทั้งสี่แบบ

ผลของระบบระบายความร้อนในวัสดุปลูกต่ออุณหภูมิภายในวัสดุปลูก

รูป 9 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุด (A) และอุณหภูมิจเฉลี่ย (B) ระหว่างอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิภายในวัสดุปลูกในแต่ละระบบการระบายความร้อน ในการศึกษานี้พบว่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดระหว่างอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิในวัสดุปลูกในแต่ละระบบการระบายความร้อนมีค่าเฉลี่ยประมาณ 11 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิอากาศสูงสุดวัดได้ที่ 47.5 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิจเฉลี่ยภายในวัสดุปลูกแต่ละระบบอยู่ระหว่าง 27.2 – 28.6 องศาเซลเซียส และระบบระบายความร้อนแบบ aeration cooling และ water cooling มีค่าที่สูงที่สุดประมาณ 28.6 องศาเซลเซียส

ส่วนอุณหภูมิจเฉลี่ยพบว่าภายในวัสดุปลูกมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยประมาณ 2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจเฉลี่ยภายในวัสดุปลูก 24.5-25.5 องศาเซลเซียส ระบบระบายความร้อนแบบ water cooling มีค่าอุณหภูมิจเฉลี่ยที่สูงที่สุดประมาณ 25.5 องศาเซลเซียส (รูป 9B) ระบบที่มีอุณหภูมิภายในวัสดุปลูกเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ ระบบระบายความร้อนแบบ aeration cooling นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิภายในวัสดุปลูกมีแนวโน้มสูงขึ้นตั้งแต่ช่วงต้นเดือนกุมภาพันธ์ เป็นไปตามแนวโน้มของอุณหภูมิของอากาศ

สรุปผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลจากการระบายความร้อนในวัสดุปลูกในระบบต่าง ๆ สามารถลดความร้อนในวัสดุปลูกได้ประมาณ 2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยภายในวัสดุปลูกอยู่ระหว่าง 24.5-25.5 องศาเซลเซียส โดยระบบที่สามารถลดอุณหภูมิภายในวัสดุปลูกได้ดีที่สุด คือ ระบบ aeration cooling และพบว่าอุณหภูมิภายในวัสดุปลูกด้วยระบบการระบายความร้อนแบบ water cooling สูงกว่าทุกระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่มีอุณหภูมิอากาศที่สูง ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากน้ำที่ใช้ในการทำความเย็นไม่เย็นพอ และการแพร่ความร้อนของน้ำผ่านรอบ ๆ ท่อไม่สามารถแพร่ไปในรัศมีที่ไกล ทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yamazaki, Kumakura and Hamamoto (2009) ทำการให้ความเย็นในวัสดุปลูกด้วยการเป่าลมผ่านด้านล่างวัสดุปลูก และ Iwazaki (2008) ทำการให้ความเย็นในวัสดุปลูกด้วยการเป่าลมเย็นเข้าไปด้านในวัสดุปลูกสามารถลดอุณหภูมิภายในวัสดุปลูกได้ประมาณ 2.5 ถึง 3.0 องศาเซลเซียส ซึ่งในงานทดลองครั้งนี้ยังพบว่าไม่มีความแตกต่างกันของอุณหภูมิโดยทั่วไปแล้ว อุณหภูมิวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของรากสตรอเบอรี่อยู่ระหว่าง 18-23 องศาเซลเซียส และถ้าหากอุณหภูมิสูงเกินกว่า 25 เซลเซียสจะส่งผลทำให้เกิดการยับยั้งการยืดตัวของราก

ด้านการเจริญเติบโตพบว่ามีเพียงจำนวนใบต่อต้น และจำนวนตาข้างเท่านั้นที่มีความแตกต่างกันในทุกระบบการระบายความร้อนและสายพันธุ์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Iwazaki (2008) ที่พบว่าระบบการระบายความร้อนในวัสดุปลูกของสตรอเบอรี่พันธุ์ Elan ด้วยการเป่าลมเย็นเข้าไปภายในวัสดุปลูกทำให้ผลทำให้เกิดความแตกต่างกันในด้านจำนวนตาข้างและจำนวนช่อดอก นอกจากนี้ในการศึกษานี้พบว่าจำนวนผลผลิตรวมและจำนวนผลต่อต้นของสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 80 และพันธุ์ 329 ที่ปลูกในระบบการระบายความร้อนแบบ water cooling และ High bench (ระบบควบคุม) มีจำนวนสูงกว่าระบบการระบายความร้อนแบบอื่น ๆ เมื่อพิจารณาจากวิธีการระบายความร้อนแล้วการระบายความร้อนด้วยการเป่าลมไม่ว่าด้วยวิธีการผ่านเข้าไปภายในหรือด้านล่างวัสดุที่เป็นขุยมะพร้าว่นั้นสามารถลดอุณหภูมิภายในวัสดุปลูกได้จริง แต่ส่งผลทำให้วัสดุปลูกแห้งซึ่งอาจมีผลต่อการคุดน้ำและธาตุอาหารของสตรอเบอรี่ ในทางกลับกันก็เป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กับรากสตรอเบอรี่ ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าคุณลักษณะทางสรีระวัสดุที่ใช้ปลูกสตรอเบอรี่นั้นมีผลอย่างชัดเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตสตรอเบอรี่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณลักษณะด้านสัดส่วนของอากาศต่อน้ำ รวมไปถึงอัตราส่วนของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ ซึ่งเมื่อมีการให้น้ำแก่รากออกซิเจนที่อยู่ในสถานะแก๊สในบริเวณรากจะละลายไปในของเหลวหรือ ชั้นของน้ำ บริเวณผิวราก ไอน้ำสตรอเบอรี่วัสดุปลูกที่มีสัดส่วนของอากาศกับน้ำที่สูง เช่น ขุยมะพร้าวจึงมีความเหมาะสมในการเพาะปลูกและแสดงให้เห็นว่าขุยมะพร้าวเป็นวัสดุที่สามารถนำมาใช้แทนพีทมอสที่

มีราคาแพง และต้องนำเข้าจากต่างประเทศ นอกจากนี้เทคนิคการระบายความร้อนในวัสดุปลูกด้วยการเป่าลมเข้าภายในหรือด้านล่างวัสดุปลูกในครั้งนี้สามารถช่วยลดการขาดออกซิเจนของรากได้อย่างชัดเจนจากการเจริญเติบโตของสตรอเบอรี่ อีกอย่างถึงแม้การระบายความร้อนในวัสดุปลูกด้วยระบบ Root zone aeration และ aeration ยังเป็นการเพิ่มอากาศบริสุทธิ์เข้าไปในวัสดุปลูกและยังส่งเสริมการแพร่กระจายของออกซิเจน

นอกจากนี้ถึงแม้ว่าการลดอุณหภูมิภายในวัสดุปลูกด้วยการผ่านน้ำเย็นเข้าท่อและให้ผ่านบริเวณรากสตรอเบอรี่จะไม่สามารถลดอุณหภูมิลงได้ค่าเท่าวิธีการอื่นๆ แต่การระบายความร้อนด้วยวิธีนี้ไม่ทำให้เกิดการแห้งของวัสดุปลูกเนื่องจากการระเหยของน้ำในวัสดุปลูก ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพการนำน้ำและอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการอื่นๆ ซึ่งผลการทดลองยังนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Iwazaki (2008) ที่พบว่าจำนวนผลต่อต้น น้ำหนักผลเฉลี่ยของสตรอเบอรี่ที่ปลูกในระบบ water cooling สูงกว่าระบบ aeration และระบบควบคุม และยังส่งเสริมให้มีการผลิตตาดอกอย่างต่อเนื่อง และจากการสังเกตในระบบการระบายความร้อนแบบ water cooling พบว่าอุณหภูมิภายในบริเวณรากมีผลต่อการออกดอกของสตรอเบอรี่ทั้งสองสายพันธุ์ไวกว่าวิธีอื่น ๆ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าวิธีการระบายความร้อนแบบ Root zone aeration และ aeration เป็นการช่วยการขาดออกซิเจนบริเวณราก ส่วนระบบการระบายความร้อนแบบ water cooling นั้นส่งเสริมให้มีการสร้างตาดอกที่ไวและต่อเนื่อง

เอกสารอ้างอิง

- ชูพงษ์ สุกมลนันท์. 2531. **สตรอเบอรี่**. โรงพิมพ์โอ. เอส. พรินต์ติ้งเฮาส์ กรุงเทพมหานคร.
- ณรงค์ชัย พิพัฒน์วงษ์. 2543. **สตรอเบอรี่: พืชเศรษฐกิจใหม่**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.
- ณรงค์ชัย พิพัฒน์วงษ์. 2550. **การผลิตไม้ผลเมืองหนาวขนาดเล็กในเขตร้อน**. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.
- พิทยา สรวมศิริ. 2540. **การตอบสนองของสตรอเบอรี่พันธุ์โทโอเก้ต่ออุณหภูมิ, จิบเบอริลลิก แอซิด และเอทิลฟอน**. วารสารเกษตร. 13: 201-208.
- มูลนิธิโครงการหลวง. 2552. **รายงานด้านการพัฒนามูลนิธิโครงการหลวง ปีงบประมาณ พ.ศ. 2552**. ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ. 2552. **ผลกระทบของเทคโนโลยีชีวภาพต่อประสิทธิภาพการผลิตสตรอเบอรี่ของเกษตรกรไทย**. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- องค์การบริหารส่วนตำบลบ่อแก้ว. มปป. **การผลิตสตรอเบอรี่ในพื้นที่ตำบลบ่อแก้ว อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่**. มปป.
- Adebooye, O. C., Schmitz-Eiberger, M., Lankes, C., Noga, G. J. **Inhibitory effects of sub-optimal root zone temperature on leaf bioactive components, photosystem II (PS II) and minerals uptake in *Trichosanthes cucumerina* L., Cucurbitaceae**. 32, 1, 67-73, DOI: 10.1007/s11738-009-0379-z
- Allakhverdiev SI, Kreslavski VD, Klimov VV, Los DA, Carpentier R, Mohanty P. 2008. **Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis**. PhotoSynth Res. 98(1-3):541-50.
- Ayala-Zavala, J. F., Wang, S.Y., Wang, C. Y., González-Aguilar, G. A. , 2005. **Methyl jasmonate in conjunction with Methyl jasmonate in conjunction with ethanol treatment increases antioxidant capacity, volatile compounds and post harvest life of strawberry fruit**. Eur Food Res Technol 221: 731–738.
- Black, B.L., Enns, J.M., Hokanson, S.C. 2002. **A comparison of temperature climate strawberry production system using eastern genotypes**. HortTech. 12:670-675.

- Cruz R.V., Harasawa H., Lal M., Wu S., Anokhin Y., Punsalmaa B., Honda Y., Jafari M., Li C. and Huu Ninh N. 2007. **Asia Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press, Cambridge, UK, 469-506.
- Darrow, G.M. 1969. **The Strawberry.** The new England Institute for Medical Research.
- DØving, A. 2009. **Climate Change and Strawberry Season in Norway.** Act hort. 842: 753-757.
- Dodd, I.C., He, J., Turnbull C.G.N., Lee, S.K., Critchley, C. 2000. **The influence of supra-optimal root-zone temperatures on growth and stomatal conductance in *Capsicum annuum* L.** J. Exp. Bot. 51 (343): 239-248. doi: 10.1093/jexbot/51.343.239
- Economakois, C.D., Krulji., L. 2001. **EFFECT OF ROOT-ZONE ARMING ON STRAWBERRY PLANTS GROWN WITH NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT).** Acta Hort. 548:189-95.
- Engels., C. and Marschner., H. 1996. **Effects of suboptimal root zone temperatures and shoot demand on net translocation of micronutrient from the roots to the shoot of maize.** Plant and Soil 186:311-320.
- Hellman, E.W., Travis, J.D., 1988. **Growth inhibition of strawberry at high temperatures.** Adv. Strawberry Prod. 7, 36-38.
- Kumakura, H., Shishido, Y., 1994. **The effect of daytime, nighttime, and mean diurnal temperatures on the growth of Morioka-16 strawberry fruit and plants.** J. Jpn. Soc. Hortic. Sci. 62, 827-832.
- Fukumoto, Y., Nishimura, Y., Shamasaki, K., Fujimoto, Y. 2003. **Effects of Root Zone Temperature on Growth, Fruit Yield and Mineral Composition of "Toyonoka" Strawberry.** Jap. Soc. Agri. Tech. Man. 10: 99-106.
- Gore, A. (2005). **An Inconvenient Truth.** Thai Edition, Matichon Press.
- Hancock, J.F. 1999. **Strawberries.** CABI. Publishing.

- Ikeda, T., Kumakura, H., Hamamoto, H. , Fujiwara, T., Shimazu, T.2006. **USING LATENT HEAT OF WATER EVAPORATION TO COOL THE CULTURE MEDIUM FOR HIGH-BENCH STRAWBERRY CULTURE.** Acta Hort. 708:393-396.
- Iwasaki, Y. **ROOT ZONE AERATION IMPROVES GROWTH AND YIELDS OF COIR-CULTURED STRAWBERRY (*FRAGARIA ANANASSA* DUCH.) DURING SUMMER.** Acta Hort. 779:251-254.
- Kafkafi, U. 2000. **ROOT ZONE PARAMETERS CONTROLLING PLANT GROWTH IN SOILLESS CULTURE.** Acta Hort. 554:27-38.
- Kim, Y. S., Endo. M., Kiriwa, Y., Chen, L., Nukaya, A.2009. **Effects of Root Zone Heating during Daytime at Different Growth Stages on the Flowering, Growth and Yield of Strawberry 'Akihime' Grown in Substrate Culture.** Hort. Res. Japan. 8 : 315–320.
- Ledesma, N.A., Nakata, M., Sugiyama, N. 2007. **Effect of high temperature stress on the reproductive growth of strawberry cvs. 'Nyoho' and 'Toyonoka'.** Scientia Horticulturae 116 (2008) 186–193
- Malla G. 2008. **Climate Change and Its Impacts on Nepalese Agriculture.** J. of Agri. Env. 9: 62-71
- Moreno, F. P., Monagas, M., Blanch, G. P., Bartolome', B., Ruiz del Castillo, M. L., Pinto, M. D. S., Mari, F. 2010. **Enhancement of anthocyanins and selected aroma compounds in strawberry fruits through methyl jasmonate vapor treatment.** Eur Food Res Technol . 230:989–999.
- Mochizuki, T., Yoshida, Y., Yanagi, T., Okimura, M., Yamasaki, A., Takahashi, H. 2009. **FORCING CULTURE OF STRAWBERRY IN JAPAN - PRODUCTION TECHNOLOGY AND CULTIVARS.** Acta Hort. 824:107-110.
- Peng S., Huang J, Sheehy J.E., Laza R.C., Visperas R.M., Zhong X., Centeno G.S., Khush G.S., Cassman K.G. 2004. **Rice yields decline with higher night temperature from global warming.** Proc. Nat. Acad. of Sc.101:9971-9975.
- Silva Pinto, M. D., Lajolo, F. M., Genovese, M. I. 2007. **Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Strawberry Jams.** Plant Foods Hum Nutr. 62:127–131.
- The Japanese Society for Horticultural Science. 2006. **Horticulture in Japan 2006.** Nakanishi Printing. Kyoto. Japan.

- Wahid A., Gelani S., Ashraf M., and Foolad M. R. (2007) **Heat tolerance in plants: an overview.** Env. Exp.Bot. 61: 199–223.
- Wang, S.Y., Camp, M.J., 2000. **Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry.** Sci. Hortic. 85, 183–199.
- Yamazaki, K., Kumakura, H., Hamamoto, H. 2009. **SHORTENING OF NON-HARVEST PERIOD IN HIGH-BENCH STRAWBERRY FORCING CULTURE BY A SIMPLE CONTROL METHOD OF MEDIUM TEMPERATURE.** Acta Hort. 824:733-734.
- Yanagi, T. Okuda, N., Takamura, T. 2005. **Introgression of unique characteristics of floral initiation under 24 hour day-length of *Fragaria chiloensis* 'CHI-24-1' into *F. x ananassa*.** EUPHYTICA. 144: 79-84, DOI: 10.1007/s10681-005-4337-6
- Zinn KE, Tunc-Ozdemir M, Harper JF. 2010. **Temperature stress and plant sexual reproduction: uncovering the weakest links.** J. Exp. Bot. 61:1959-68.