รายงานผลการวิจัย

เรื่อง อิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปริมาณผลผลิตและสารต่อต้านอนุมูลอิสระของสตรอเบอรีในระบบปลูกเกษตรอินทรีย์

Effect of Carbon Dioxide Enrichments on Yield and Anti-Oxidant Compounds of Strawberry Under Organic Agriculture

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2558

จำนวน 273,000 บาท

หัวหน้าโครงการ ปรีดา นาเทเวศน์

ผู้ร่วมโครงการวิจัย สิริวัฒน์ สาครวาสี

งานวิจัยเสร็จสิ้นเมื่อ

25 สิงหาคม 2559

สารบัญ

สารบัญ	**ก**
สารบัญภาพ	**ข**
สารบัญตาราง	**ค**
บทคัดย่อ	**1**
Abstract	**3**
คำนำ	**5**
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	7
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
การตรวจเอกสาร	8
การผลิตสตรอว์เบอร์รี	9
คาร์บอนไดออกไซด์ต่อการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระ	11
สตรอว์เบอร์รีอินทรีย์	12
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	**17**
การทดลองที่ 1 การสร้างแบบจำลองการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์	17
การทดลองที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและสารต้านอนุมูลอิสระในสตรอว์เบอร์รีระบบปลูกอินทรีย์	19
การบันทึกข้อมูล	20
ผลการวิจัย	**25**
การทดลองที่ 1 การสร้างแบบจำลองการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์	25
การทดลองที่ 2 อิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และสารต้านอนุมูลอิสระในสตรอว์เบอร์รีระบบปลูกอินทรีย์	29
วิจารณ์ผลการทดลอง	**45**
สรุป	**49**
เอกสารอ้างอิง	**51**

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1	ภาพจำลองแบบการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ขนาดถัง 10 ลิตร	19
ภาพที่ 2	กราฟมาตรฐานสำหรับการเปรียบเทียบหาปริมาณฟลาโววอยส์	23
ภาพที่ 3	กราฟมาตรฐานสำหรับเปรียบหาปริมาณฟีโนลิคส์	24
ภาพที่ 4	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตได้หลังจากการหมักโดยใช้น้ำตาลทรายแดงเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในอัตราที่แตกต่างกันภายใต้อุณหภูมิบรรยากาศปกติ (ก) และภายใต้สภาพอุณหภูมิควบคุม 25 องซาเซลเซียส (ข)	26
ภาพที่ 5	ปริมาณการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลาของการหมักโดยใช้น้ำตาลทรายแดงเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในอัตราที่แตกต่างกันภายใต้สภาพอุณหภูมิควบคุม 25 องซาเซลเซียส (ก) และภายใต้อุณหภูมิบรรยากาศปกติ (ข)	28
ภาพที่ 6	อิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อจำนวนใบของสตรอว์เบอร์รี	29
ภาพที่ 7	อิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อความกว้างใบของสตรอว์เบอร์รี	30
ภาพที่ 8	อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อความยาวใบของสตรอว์เบอร์รี	30
ภาพที่ 9	อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อความยาวก้านใบของสตรอว์เบอร์รี	31
ภาพที่ 10	อิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อจำนวนช่อดอกของสตรอว์เบอร์รี	32
ภาพที่ 11	อิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่ 2 (Phi PSII)	35
ภาพที่ 12	แสดงอิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดของระบบ	35
ภาพที่ 13	อิทธิพลของการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสง	36
ภาพที่ 14	อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่ออัตราการนำไหลของปากใบ	37
ภาพที่ 15	อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่ออัตราการคายระเหยของน้ำ	37
ภาพที่ 16	อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่ออุณหภูมิใบ	38
ภาพที่ 17	อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลต่อปริมาณแป้งรวมในลำต้นของสตรอว์เบอร์รี	38
ภาพที่ 18	อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตที่เป็นความต้องการของตลาด	40
ภาพที่ 19	อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณผลรวมเฉลี่ยต่อต้น	40
ภาพที่ 20	อิทธิพลของการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณน้ำหนักผลผลิตรวมต่อต้น	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ 21 อิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศต่อปริมาณวิตามินซีในผลสตรอว์เบอร์รีที่ปลูกภายในระบบเปิด 42
ภาพที่ 22 ปริมาณฟีโนลิคส์รวมในผลสตรอว์เบอร์รีที่ปลูกภายในระบบเปิดด้วยการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และคลุมเหนือแปลง 43
ภาพที่ 23 อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลต่อปริมาณฟลาโวนอยส์ 44

สารบัญตาราง

ตาราง 1 อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณชีวมวลของสตรอว์เบอร์รีในระบบปลูกอินทรีย์ภายใต้การเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 33

อิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปริมาณผลผลิต และสารต้านอนุมูลอิสระของสตรอว์เบอร์รีในระบบปลูกเกษตรอินทรีย์

ปรีดา นาเทเวศน์[1] และ สิริวัฒน์ สาครวาสี[1]

[1]คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและสารต้านอนุมูลอิสระในสตรอว์เบอร์รีในระบบปลูกอินทรีย์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 การทดลองคือ การทดลองที่ 1 การสร้างแบบจำลองการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อหาอัตราส่วนของวัตถุดิบที่ใช้เป็นสารตั้งต้นประกอบไปด้วยน้ำตาลทรายและกากน้ำตาล ร่วมกับน้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกันในสองสภาวะ คือ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิบรรยากาศธรรมชาติ พบว่าที่อุณหภูมิบรรยากาศธรรมชาติ สิ่งทดลองน้ำตาลทรายแดงต่อน้ำในอัตรา 200 กรัม:1000 มิลลิลิตร คาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุดเฉลี่ย 640.00 พีพีเอ็ม และในอุณหภูมิควบคุม 25 องศาเซลเซียส สิ่งทดลองกากน้ำตาล 200 กรัมต่อน้ำ 500 มิลลิลิตร สามารถผลิตคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยสูงที่สุด คือ 701.75 พีพีเอ็ม และสิ่งทดลองน้ำตาลทรายแดงต่อน้ำในอัตรา 200 กรัม:1000 มิลลิลิตร ถูกนำไปใช้จริงในสภาพแปลงเปิดเพื่อศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและสารต้านอนุมูลอิสระในสตรอว์เบอร์รีระบบปลูกอินทรีย์ โดยมีการจัดสิ่งทดลองแบบ Randomize Complete Block Design (RCBD) ประกอบด้วย 6 สิ่งทดลองคือ 1) สิ่งทดลองควบคุมในระบบเคมีแบบไม่มีการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ (Chem) 2.การปลูกระบบเคมีร่วมกับการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (Chem+CO2) 3.สิ่งทดลองควบคุมในระบบอินทรีย์ (Org) 4.การปลูกระบบอินทรีย์ร่วมกับการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (Org+CO2) 5.การปลูกระบบอินทรีย์ร่วมกับการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์โดยมีการคลุมเหนือแปลงด้วยพลาสติก (Org+Pt+CO2) 6.การปลูกระบบอินทรีย์ร่วมกับการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์โดยมีการคลุมเหนือแปลงด้วยผ้าสปันบอนด์ (Org+Sp+CO2) ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศให้กับสตรอบเบอรี่ที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ใสภาพแปลงเปิดไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นของสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน ๘๐ ทั้งที่มีการคลุมและไม่คลุมเหนือแปลงปลูก และเมื่อเทียบกับการไม่เพิ่ม

คาร์บอนไดออกไซด์ทำให้น้ำหนักแห้งชีวมวลของสตรอว์เบอร์รีเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับสตรอว์เบอร์รีร่วมกับการคลุมเหนือแปลงทำให้ดัชนีทางสรีรวิทยาของทั้งปฏิกิริยาแสงและปฏิกิริยาคาร์บอนลดต่ำลงหลายค่า เช่น อัตราการนำไหลของปากใบ ประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดของระบบแสงที่ 2 (Fv/Fm) อัตราการสังเคราะห์แสง อัตราการคายระเหยของน้ำ โดยเฉพาะต้นสตรอว์เบอร์รีที่มีการคลุมเหนือแปลงด้วยผ้าใยสังเคราะห์สปันด์บอนด์ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อปลูกในระบบอินทรีย์ร่วมการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์โดยมีการคลุมเหนือแปลงด้วยพลาสติกทำให้มีปริมาณผลผลิตที่เป็นความต้องการของตลาด ผลผลิตรวมและน้ำหนักผลผลิตรวมต่อต้นสูงที่สุด ผลการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระพบว่าปริมาณวิตามินซีและปริมาณ Flavonoids มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบสูงสุดในการปลูกระบบเคมีร่วมกับการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในขณะที่ Total Phenolic compound ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

คำสำคัญ: วิตามินซี ปริมาณ Flavonoids ปฏิกิริยาแสง และปฏิกิริยาคาร์บอน

Effect of Carbon Dioxide Enrichments on Yield and Anti-Oxidant Compounds of Strawberry Under Organic Agriculture

Preeda Nathewet[1] and Siriwat Sakornwasee[1]

[1]Faculty of Agricultural Production, Maejo University, ChiangMai, Thailand 50290

Abstract

This study was aimed to evaluate an enrichment of carbon dioxide on growth, yield and ant-oxidative compounds in strawberry plant under organic culture system. The study was classified into two experimental. The first experiment was reproduced for carbon dioxide production by using sugar and molasses as source of starters with different of rational of water. The experiment were tested under 25 °C and naturally temperature condition. The results show that under 25 °C and naturally temperature condition the highest amount of carbon dioxide produce by treatments of molasses: water (200g:500 ml) and sugar: water (200g:1000 ml), with 701.75 PPM and 640.00 PPM carbon dioxide, respectively. The sugar: water (200g:1000 ml) were utilized in experiment two under open field cultivation to assess the effect of carbon dioxide on growth, yield and anti-oxidative compound of strawberry plant. The experiment was designed as Randomize Complete Block Design (RCBD) with four replications. The treatments were comprised of 1) strawberry plants grown under chemical system without carbon dioxide enrichment (Chem) 2) strawberry plants grown under chemical system with carbon dioxide enrichment (Chem+CO2) 3) strawberry plants grown under organic system without carbon dioxide enrichment (Org) 4) strawberry plants grown under organic system and enrich carbon dioxide without row cover (Org+CO2) 5) strawberry plants grown under organic system and enrich carbon dioxide with cover row by clear plastic (Org+Pt+CO2) and 6) strawberry plants grown under organic system and enrich carbon dioxide with cover row by spun-bond fabric (Org+Sp+CO2). It was found that carbon dioxide enrichment to open filed grown strawberry had no effects on vegetative growth of strawberry under organic system for both row covering and non-covering. Carbon dioxide enrichment combined with row covering, especially covered with spun-bond fabric resulted to

decrease physiological index for light and carbon reactions such as stomatal conductance, maximum quantum efficiency of Photosystem II (Fv/Fm), Photosynthesis rate and transpiration rate. However, growing strawberry under organic systems combined with carbon dioxide enrichment and row covering resulted in higher number of marketable fruits and total yield. Analysis of anti-oxidative compounds in strawberry fruit indicated that the highest vitamin c and flavonoids were obtained from Chem+CO2, while there were no significant difference for total phenolic compound

Key words: Vitamin C, Flavonoids, Light and Carbon reaction

คำนำ

ในปัจจุบันพื้นที่ที่การทำการปลูกสตรอว์เบอร์รีในประเทศไทยส่วนใหญ่ได้มีการนำวิทยาการที่ทันสมัยด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านสารป้องกันกำจัดโรคแมลง และวัชพืชรวมไปถึงการใช้ปุ๋ยเคมีเข้ามาเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน เริ่มตั้งแต่การเตรียมดินปลูกที่มีการเผาตอซังข้าว เศษซากพืชในแปลง ใส่ปุ๋ยเคมีรองพื้น การปลูกและการดูแลรักษาที่มีการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชชนิดต่างในปริมาณที่มากเกินความจำเป็นจนก่อให้เกิดการตกค้างของสารเคมีในธรรมชาติ รวมไปจนถึงการเก็บรักษาผลผลิตที่มีการใช้สารบางชนิดช่วยในการยืดอายุการเก็บรักษาเพื่อการจำหน่าย สิ่งที่กล่าวมาเหล่านี้ก่อให้เกิดความไม่สมดุลในเคมีและกายภาพของดิน รวมไปถึงสภาพแวดล้อมที่ใช้ปลูกสตรอว์เบอร์รี เช่น การสูญเสียความสามารถในการดูดซับแร่ธาตุอาหารต่าง ๆ ในดินของสตรอว์เบอร์รี ทำให้ผลผลิตมีแร่ธาตุและวิตามินต่ำ เป็นผลทำให้เกิดการขาดแคลนธาตุอาหารรองของพืช ทำให้จุลินทรีย์สิ่งมีชีวิตที่มีประโยชน์ในดินนั้นสูญหายและไร้สมรรถภาพ ทำลายแมลงปฏิปักษ์ที่สำคัญ ส่งผลให้สตรอว์เบอร์รีอ่อนแอขาดภูมิต้านทานโรค และทำให้การคุกคามของแมลง เชื้อโรคเกิดขึ้นได้ง่าย และที่สำคัญคือการทำให้ขาดความสมดุลในพื้นที่ทำการเกษตร ตลอดจนการเพิ่มต้นทุนการผลิตเกินความจำเป็นไม่สอดคล้องกับรายได้ และสุขภาพเสื่อมโทรม ซึ่งเป็นผลกระทบจากการใช้สารเคมีเกษตร ความไม่สมดุลนี้เป็นจุดเริ่มที่ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างต่อเนื่องเป็นอันตรายอย่างยิ่ง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2548 : www.doae.go.th) ผลเสียที่เกิดจาการการใช้สารเคมีดังกล่าวก่อให้เกิดวิกฤติในห่วงโซ่อาหาร และระบบชีวภาพทางการเกษตร ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาทางสุขภาพแก่เกษตรกร ผู้บริโภค สิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมอย่างยิ่งในโลกปัจจุบัน ถ้าหากปัญหาเหล่านี้ไม่ได้รับการแก้ไขปัญหาก็จะเพิ่มทวีขึ้นจนยากที่จะเยียวยาแก้ไขได้ ดังนั้นหนทางหนึ่งที่จะแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างเบ็ดเสร็จก็คือ “การทำการเกษตรภายใต้ระบบการสร้างสมดุลในพื้นที่ทำการเกษตร ด้วยการปรับเปลี่ยนวิถีการทำงานด้านการเกษตรให้อยู่บนพื้นฐานความพอเพียง ใช้วัสดุต่าง ๆ ที่เหลือใช้นำกลับมาทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด ระบบการเกษตรแบบอินทรีย์จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะก่อให้เกิดความยั่งยืนต่อไป

ในช่วงระยะเวลาประมาณ 100,000 ปีที่ผ่านมาระดับของคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศเป็นคงที่อยู่ที่ 280 พีพีเอ็ม แต่หลังจากที่มีการปฏิวัติอุตสาหกรรมเกิดที่มีการเผาผลาญน้ำมันเชื้อเพลิง รวมถึงการตัดทำลาบป่าไม่มากขึ้นจนทำให้ระดับของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจนถึงปัจจุบันอยู่ที่ระดับ 360 พีพีเอ็ม และมีการคาดการณ์ว่าภายในอีกหนึ่งศตวรรษข้างหน้าจะเพิ่มขึ้นถึง 550 พีพีเอ็ม (Watson *et al.*, 1990) โดยทั่วไปแล้วการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2 enrichment) ให้กับพืชมีผลโดยตรงต่อการกระตุ้นอัตราการสังเคราะห์ การเจริญเติบโต ชีวมวล ปริมาณและคุณภาพของผลผลิต

อย่างไรก็ตามการตอบสนองก็ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ธาตุอาหารและสภาพแวดล้อมที่ปลูกพืชชนิดต่างๆ ด้วย โดยเฉพาะอย่างพืชที่ปลูกภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีความแปรปรวนสูง นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยหลายชิ้นที่แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับพืชยังส่งเสริมให้มีการเพิ่มขึ้นของสารประกอบทุติยภูมิ(secondary metabolites) (Veteli *et al*., 2002) และ สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) (Wang *et al*., 2003; Sina *et al*., 2011;) ซึ่งเป็นมีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ในการช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง และเบาหวาน รวมไปถึงต่อต้านการอักเสบได้

สตรอว์เบอร์รี (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) เป็นไม้ผลขนาดเล็กที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีการปลูกทั่วโลก สตรอว์เบอร์รีเป็นผลไม้ที่มีรสชาติอร่อย กลิ่นหอมและอุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระ (Ayala-Zavala *et al*., 2005, Pen˜a Moreno *et al*., 2010, Silva Pinto, 2007) สำหรับประเทศไทยแหล่งผลิตสตรอว์เบอร์รีที่สำคัญอยู่ในพื้นจังหวัดเชียงใหม่และเชียงราย โดยสตอรเบอรีนั้นได้ถูกจัดอันดับให้เป็นพืชในกลุ่มไม้ผลที่มีมูลค่าผลผลิต และโอกาสทางการตลาดสูงชนิดหนึ่งของภาคเหนือ ซึ่งการปลูกสตรอว์เบอร์รีสามารถสร้างรายได้และพัฒนาความเป็นอยู่ของเกษตรกรผู้ปลูกให้ดีขึ้น และเป็นผลไม้ที่มีความต้องการของผู้บริโภคสูง สามารถปลูกและเจริญเติบโตได้ดีในเกือบทุกสภาพอากาศตั้งแต่เขตอบอุ่น เมดิเตอเรเนียน และเขตร้อน โดยอุณหภูมิที่เหมาะสำหรับการปลูกอยู่ที่ 15-30 องศาเซลเซียส (Darrow, 1969; Hancock, 1999) โดยทั่วไปในประเทศไทยเกษตรกรเริ่มปลูกสตรอว์เบอร์รีตั้งแต่เดือนสิงหาคมถึงตุลาคม และผลผลิตสตรอว์เบอร์รีจะออกสู่ตลาดในช่วงเดือนธันวาคมถึงมีนาคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีอากาศเย็น เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของสตรอเบอรรี แต่อย่างไรก็ตามในช่วงแรกที่สตรอว์เบอร์รีออกดอกนั้นเป็นช่วงที่ต้นสตรอว์เบอร์รีมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในต้นลดต่ำลง ที่เกิดจากการแข่งขันกันระหว่างผลและการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น ซึ่งอาจเป็นปัจจัยหลักที่นำไปสู่การให้ผลผลิตที่ลดลง วิธีการปฏิบัติทางเกษตรกรรมและระบบการปลูกที่จำเพาะก็มีผลต่อแหล่งของคาร์โบไฮเดรตในต้นสตรอว์เบอร์รีในช่วงที่มีการออกดอก ติดผล ซึ่งจากรายงานการวิจัยพบว่าในสตรอว์เบอร์รีที่ปลูกในสภาพโรงเรือนปิดและมีการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงระยะเวลานาน ๆ ทำให้มีการเจริญเติบโตและผลผลิตที่เพิ่มขึ้น

พื้นที่ปลูกสตรอว์เบอร์รีทั้งหมดในประเทศไทยมีประมาณ 4,000-5,000 ไร่ มีจำนวนเกษตรกรประมาณ 500 ราย ผลผลิตรวมประมาณ 7,800,000 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่ารวมประมาณ 234,000,000 บาท (องค์การบริหารส่วนตำบลบ่อแก้ว, 2554) เป็นการปลูกภายใต้ระบบแปลงเปิดทั้งหมด ซึ่งยากต่อการจัดการและดูแลรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูฝนที่มีฝนตกหนักและกรณีเกิดฝนหลงฤดูในช่วงผลผลิตกำลังออกสู่ตลาด ทำให้ผลผลิตสตรอว์เบอร์รีได้รับความเสียหาย การนำระบบการปลูกเพื่อ

ป้องกันความเสียหายต่อผลผลิตจากปัจจัยธรรมชาติที่คาดการณ์ไม่ได้ที่มีความจำเพาะกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ปฏิบัติได้ง่าย และเห็นผลชัดเจน จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะต้องทำการศึกษาการใช้วัสดุในการทำอุโมงค์คลุมแปลงสตรอว์เบอร์รี ร่วมกับการให้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตจากกากน้ำตาลซึ่งมีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในระบบเกษตรอินทรีย์ในการผลิตปุ๋ยหมัก/น้ำหมักชีวภาพ เข้ามาใช้เพื่อป้องกันความเสียหายจากปัจจัยทางธรรมชาติที่ควบคุมไม่ได้และเป็นการเพิ่มอัตราการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับสตรอว์เบอร์รีที่จะนำไปสู่การชักนำให้มีการสร้างใบใหม่ และลดอัตราการแข่งขันระหว่างแหล่งสะสมอาหารของระบบสืบพันธุ์ รวมไปถึงการเพิ่มปริมาณสารประกอบ phenolic และวิตามินซี จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีความสำคัญที่จะต้องทำการศึกษาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มปริมาณและคุณภาพผลผลิตของ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษาการตอบสนองของสตรอว์เบอร์รีในระบบเกษตรอินทรีย์ด้านการเจริญเติบโตผลผลิตและสารต้านอนุมูลอิสระต่อการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ แบบกึ่งปิด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ข้อมูลเบื้องต้นในการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์จากวัสดุธรรมชาติ เพื่อใช้ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตของสตรอว์เบอรรีภายใต้ระบบเกษตรอินทรีย์

การตรวจเอกสาร

สตรอว์เบอร์รีจัดอยู่ในวงศ์ *Fragaria* มีการกระจายตัวอยู่ตามธรรมชาติทั้งในเขตกึ่งร้อนในทวีปเอเชีย ยุโรป อเมริกาเหนือและใต้ พืชในวงศ์นี้ถูกจำแนกออกเป็น 22 สกุล ตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาและมีระดับจำนวนโครโมโซมพื้นฐานตั้งแต่ 2*n*=2x=14 ถึง 2*n*=10x=70 พืชในวงศ์นี้สตรอว์เบอร์รีกลุ่มพันธุ์ปลูกเพื่อการค้าคือ *Fragaria* x *ananassa* Duch. (2n=8x=56) ซึ่งเป็นลูกผสมเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติระหว่าง *F. chiloensis* (L.) Mill. (2*n*=8x=56) และ *F. virginiana* Mill. (2*n*=8x=56) (Darrow, 1966) จัดอยู่ในกลุ่มพืชที่มีอายุหลายปี (perennial หรือ herbaceous) มีลักษณะลำต้นสั้นหนา ขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม ใบเป็นใบแบบกลุ่มประกอบด้วยใบย่อยสามใบ ใบแต่ละใบจะสลับกันเจริญเติบโต โดยจะแทงใบอ่อนออกมาจากส่วนยอดของเหง้า (crown) มีระบบรากแบบรากตื้นที่แข็งแรง ดอกเป็นดอกแบบช่อแต่ละช่อจะมี 5-14 ดอก ในหนึ่งรอบการออกดอกจะมีการแทงช่อดอกประมาณ 4-7 ช่อ มีกลีบเลี้ยง 5 กลีบและกลีบดอก 5 กลีบ ผล (berry) ตาดอก เจริญจากตายอด ซึ่งเกิดจากเหง้าที่เจริญขึ้นมาใหม่ เมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส ร่วมกับช่วงแสงสั้น (ต่ำกว่า 10 ชั่วโมง/วัน) และมีผลเป็นแบบ aggregate fruit มีเมล็ด อยู่ด้านนอกหรือเปลือกของผล การขยายพันธุ์ ส่วนใหญ่จะใช้ไหล (runner) ซึ่งเจริญจาก stolon หรือส่วนที่เจริญจากตา ข้าง ด้านโคนของก้านใบ เจริญในแนวราบเหนือดิน โดยเจริญเมื่อมีช่วงแสงเกินกว่า 12 ชั่วโมง/วัน สายพันธุ์ที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสง จะมีไหลน้อย ประเทศไทยสตรอว์เบอร์รีได้ถูกนำมาปลูกทดลองครั้งแรกในปี พ.ศ. 2515 เพื่อต้องการลดพื้นที่การปลูกฝิ่น โดยได้รับพระมหากรุณาธิคุณของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ พระราชทานพันธุ์สตรอว์เบอร์รีจากประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่นำมาทดลองปลูกครั้งแรก และหลังจากนั้นก็ได้มีการนำสายพันธุ์สตรอว์เบอร์รีจากต่างประเทศที่มีลักษณะดีมาปลูกทดสอบตามสถานีทดลองเกษตรที่สูงต่าง ๆ เพื่อหาสายพันธุ์ที่มีความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมของประเทศไทย พร้อมกับการส่งเสริมแนะนำให้ชาวบ้านในพื้นที่สูงปลูกเพื่อลดพื้นที่ปลูกฝิ่นขณะนั้น และเพื่อเป็นการยกฐานะความเป็นอยู่ของเกษตรกรให้ดีขึ้น (ชูพงษ์, 2530; ณรงค์ชัย, 2550)

สตรอว์เบอร์รีนอกจากจะเป็นไม้ผลขนาดเล็กมีความสำคัญทางเศรษฐกิจและสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรในพื้นทางภาคเหนือของประเทศไทยรวมไปถึงบางพื้นที่ ๆ มีอากาศหนาวเย็นและเหมาะสมในการปลูกสตรอว์เบอร์รีของภาคอิสานแล้ว สตรอว์เบอร์รียังเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูงอุดมไปด้วยวิตามิน สารต้านอนุมูลอิสระ รสชาติหอมหวาน สีสันแดงสดดึงดูผู้บริโภค จึงทำให้ความต้องการในการบริโภคสตรอว์เบอร์รีทั้งในรูปผลสดและแปรรูปนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่อย่างไรก็ตาม

เนื่องจากสภาพแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศโลกที่เปลี่ยนแปลง และความต้องการของผู้บริโภคมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เรื่อย ๆ ทำให้ส่งผลโดยตรงต่อระบบการผลิตสตรอว์เบอร์รีในประเทศไทยอย่างหลีกเหลี่ยงไม่ได้ อีกอย่างพันธุ์สตรอว์เบอร์รีที่ปลูกอยู่ในปัจจุบันทั้งเพื่อการแปรรูปและบริโภคผลสดนั้นยังมีอยู่ในจำนวนที่จำกัด เนื่องจากการปรับปรุงพันธุ์สตรอว์เบอร์รีจำเป็นต้องอาศัยเวลาและนักวิจัย ปรับปรุงพันธุ์ที่มีความชำนาญ เมื่อเทียบกับต่างประเทศเช่น ประเทศญี่ปุ่น จีน สหรัฐอเมริกา สเปน เนเธอแลนด์ ออสเตรเลีย และแคนาดา จะให้ความสำคัญกับการพัฒนาสายพันธุ์มากในการผลิตสตรอว์เบอร์รี โดยจะมีโครงการและแผนพัฒนาสายพันธุ์ของสตรอว์เบอร์รีที่ชัดเจนและเป็นรูปธรรม ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้ววัตถุประสงค์ในการพัฒนาสายพันธุ์สตรอว์เบอร์รีคือ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ปรับปรุงให้มีผลผลิตสูง รสชาติ กลิ่น และคุณภาพที่ดี รวมไปถึงความทนทานและ/หรือต้านทานต่อโรคและแมลง และสภาพแวดล้อม

การผลิตสตรอว์เบอร์รี

ในประเทศไทยพัฒนาการด้านการปลูกสตรอว์เบอร์รีเริ่มมีมาตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2540 จนถึงปัจจุบัน ระบบการปลูกสตรอเบอร์รีเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีความสำคัญในการเพิ่มผลผลิตของสตรอเบอร์รี ซึ่งในประเทศไทย สามารถแบ่งระบบการปลูกสตรอเบอร์รีออกได้เป็น 4 ระดับ ได้แก่ การปลูกในแปลงแบบยกร่องและให้น้ำตามร่องของแปลงปลูก ระบบปลูกในโรงเรือนแบบแปลงยกร่องให้น้ำด้วยสปริงเกอร์ ระบบปลูกในโรงเรือนโดยการให้ปุ๋ยร่วมกับน้ำ และระบบการปลูกพืชแบบไร้ดิน ระบบทั้งหมดที่ปลูกในประเทศไทยในขณะนี้เป็นระบบการปลูกแบบยกร่องสูง ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เงินลงทุนน้อย แต่ยากลำบากต่อการจัดการและควบคุมการระบาดของโรคและแมลง (ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2552) ที่สำคัญคือการผลิตสตรอว์เบอร์รีทั้งหมดเป็นการผลิตแบบใช้สารเคมี และจากจำนวนเกษตรผู้สตรอเบอร์รีในพื้นที่ตำบลบ่อแก้ว อำเภอสะเมิง 1,000 ราย พบว่ามีเพียง 80 รายเท่านั้นที่เข้าร่วมโครงการการเกษตรที่ดีและเหมาะสม หรือ Good Agriculture Practices (GAP) เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่เชื่อว่ามีความยุ่งยากและเห็นผลไม่ทันใจ ขั้นตอนที่สำคัญของระบบการปลูกสตรอเบอร์รี จะเริ่มจากการเตรียมต้นไหล ซึ่งในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการปลูกสตรอเบอร์รีเพื่อให้ผลผลิตมีคุณภาพและผลผลิตที่สูง โดยต้นตอที่ใช้ในการผลิตไหลจะต้องมีความแข็งแรง ปราศจากโรคที่เกิดจากไวรัส และเชื้อรา ต้นแม่พันธุ์ต้องอยู่ในสภาพวันยาวที่มีความยาวแสงของวันประมาณ 16 ชั่วโมง และอุณหภูมิสูงประมาณ 26 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมเหมาะสำหรับการผลิตไหล ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเริ่มทำการผลิตไหลตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม จากนั้นต้นไหลจะถูกนำเข้าสู่การชักนำให้เกิดตาดอกในสภาพวันสั้นที่มีความยาววัน 12 ชั่วโมง และอุณหภูมิต่ำ ระหว่าง 15-20 องศา

เซลเซียส ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ที่ใช้ปลูก นอกจากนี้ยังพบว่าความยาววัน 14 ชั่วโมง อุณหภูมิต่ำระหว่าง 15-20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำ 15 องศาเซลเซียส ในสภาพวันยาวก็สามารถชักนำให้เกิดตาดอกได้เช่นกัน (Yanagi *et al.*, 2005) ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการชักนำให้เกิดการตาดอกนั้นแตกต่างกันออกไป เพื่อทำให้สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ในช่วงที่ต้องการ และประเทศญี่ปุ่นเป็นประเทศหนึ่งที่มีการพัฒนาระบบการปลูกสตรอเบอร์รีไปอย่างรวดเร็วเพื่อเพิ่มผลผลิตและขยายช่วงเวลาการเก็บให้ได้ยาวนานขึ้น ด้วยการใช้เทคนิคต่าง ๆ เข้ามาช่วย เช่น การควบคุมการพักตัว การควบคุมการชักนำการออกดอกด้วยการใช้เทคนิควันสั้น อุณหภูมิต่ำ ในที่มืด (The Japanese Society for Horticultural Science, 2006) และยังได้มีการพัฒนาเทคนิคต่าง ๆ เพื่อใช้ในการผลิตสตรอเบอร์รีให้มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของแต่ละภูมิภาคของประเทศ เช่น การพัฒนาระบบปลูกแบบยกสูง (High bench) เพื่อหลีกเลี่ยงการแพร่ระบาดของโรคทางดิน และในพื้นที่การเพาะปลูกที่จำกัด การปลูกแบบยกสูงยังสามารถทำให้ปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่สูงขึ้น การเตรียมไหลสำหรับระบบเกษตรอินทรีย์นั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการแยกจากพื้นที่ ที่เป็นการปลูกเพื่อเก็บผลผลิต และจะต้องเป็นพื้นที่ที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน หรือพื้นที่ ๆ ไม่มีใช้สารเคมีมาก่อน

โดยทั่วอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของสตรอเบอร์รีอยู่ระหว่าง15-30 องศาเซลเซียส (Darrow, 1969; Hancock, 1999) และอุณหภูมิดินอยู่ระหว่าง 15 – 23 องศาเซลเซียส (Sakamoto, *et al.*, 2016) ซึ่งทั้งอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิของดินมีผลโดยตรงต่อการดูดซับธาตุอาหารที่จะนำไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของสรอเบอร์รี รวมไปถึงการออกดอกด้วย Fukumoto et al (2003) พบว่าการเจริญ และอัตราการสังเคราะห์แสงของสตรอเบอร์รีสายพันธุ์ Toyonoka จะดีขึ้นเมื่อปลูกในสภาพที่อุณหภูมิบริเวณราก 17 องศาเซลเซียส และมีจำนวนผลผลิตสูงที่สุดที่อุณหภูมิบริเวณราก 21 องศาเซลเซียส และ ณ อุณหภูมิบริเวณรากเดียวกันนี้ยังพบว่าระดับของโพแทสเซียมและแคลเซียมเพิ่มขึ้นสูงด้วย Kim *et al* (2009) พบว่าการการให้ความร้อนแก่บริเวณรากในช่วงเวลากลางวันในฤดูหนาว ในช่วงที่มีการพัฒนาของของตาดอกทำให้มีการเพิ่มขึ้นของจำนวนตาดอกและนำไปสู่ผลผลิตที่สูงขึ้น นอกจากนี้แล้ว Black *et al* (2005) พบว่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่า หรือเท่ากับ 29 องศาเซลเซียส มีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการสูงสุดของสตรอเบอร์รี โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุณหภูมิบริเวณรากที่สูงขึ้นใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศจะส่งผลให้สตรอเบอร์รีออกดอกไม่สม่ำเสมอ หรือหยุดการออกดอก แต่ไปเจริญเติบโตทางด้านลำต้นแทน (Leshem and Koller, 1965) ซึ่งสอดคล้องกับ Yamazaki (2009) ที่พบว่าในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะอุณหภูมิที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อุณหภูมิที่

สูงในวัสดุปลูกของสตรอเบอร์รีในระบบปลูกแบบยกสูงมีแนวโน้มในการชักนำให้เกิดการออกดอกช้าและทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของการแทงตาดอก

คาร์บอนไดออกไซด์ต่อการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระ

เป็นที่ทราบกันดีว่าในผลของสตรอว์เบอร์รีเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่ดี (Kahket *et al*., 2001; Wang *et al*., 1996) นอกเหนือไปจากสารอาหารปกติเช่น วิตามินและเกลือแร่ ที่มีในผลแล้ว สตรอว์เบอร์รียังอุดมไปด้วยสารประกอบกลุ่ม anthocyanins flavonoids และ phenolic acids (Wang *et al*., 2003; Wang and Bunce, 2004; Heinonen *et al*., 1998) สารประกอบเหล่านี้มีคุณสมบัติที่ดีต่อสุขภาพของคนที่อาจช่วยป้องกันสุขภาพของคนจากการเจ็บป่วยจากโรคหัวใจ มะเร็ง การติดเชื้อ หรือโรคที่เกิดจากการติดเชื้อเรื้อรังในระบบทางเดินอาหาร (Ames *et al*., 1993; Rice and Miller, 1996) จากผลการศึกษาของ Wang *et al* (2003) ที่ศึกษาการปลูกสตรอว์เบอร์รีภายใต้สภาวะการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศสามารถทำให้ปริมาณพฤกษเคมี สารต้านอนุมูลอิสระ ในผลสตรอว์เบอร์รีเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ยังส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของกรดแอสคอร์บิค (ascorbic acid) และกลูต้าไทโอน (glutathione) และอัตราส่วนระหว่างกรดแอสคอร์บิคต่อกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิค (dehydroascorbic acid) กับ กลูต้าไทโอนต่อออกซิไดซ์กลูต้าไทโอน (oxidized glutathione) อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงมากเกินไปยังส่งผลต่อการลดลงของกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิคในผลสตรอว์เบอร์รี อีกอย่างการปลูกสตรอว์เบอร์รีภายใต้สภาวะการเพิ่มความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เพียงแต่ทำให้ระดับของแอนโทไซยานิน (anthocyanins) ฟีโนลิครวม (total phenolics) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ในผลเพิ่มสูงขึ้น (Wang *et al*., 2003) แต่ยังทำให้มีการเพิ่มขึ้นกิจกรรมของ oxygen radical absorbance ในการต่อต้านกิจกรรมของ oxygen species และยังมีงานวิจัยอีกหลายชิ้นที่ได้มีการนำการใช้เทคนิคการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศในการเพิ่มสารประกอบแอนตี้ออกซิเดทีฟในพืชหลายชนิด เช่น งานวิจัยของ Ibrahim and Jaafar (2011) พบว่าการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับ 1,200 พีพีเอ็มทำให้ปริมาณฟีโนลิครวมและฟลาโวนอยด์รวมในใบ ลำต้น และรากของ Malaysian Herb Kacip Fatimah (*Labisia pumila* Blume) เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับ 400 และ 800 พีพีเอ็ม ในขณะที่ปริมาณฟลาโวนอยด์รวมในลำต้นของ *Centella asiatica* เพิ่มสูงขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 800 พีพีเอ็ม (Moghaddam *et al*., 2011) ผลงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศช่วยเพิ่มสารประกอบทุติยภูมิได้อย่างแท้จริง

สตรอว์เบอร์รีอินทรีย์

เกษตรอินทรีย์ เป็นระบบเกษตรที่คำนึงถึงสภาพแวดล้อม รักษาสมดุลของธรรมชาติและความหลากหลายทางชีวภาพ มีการจัดการนิเวศวิทยาที่คล้ายคลึงกับธรรมชาติ ร่วมกับการประยุกต์ใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นและเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่เหมาะสม และหลีกเหลี่ยงการใช้สารสังเคราะห์ที่ก่อให้เกิดมลพิษในสภาพแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับกระแสความต้องการบริโภคอาหารที่ปลอดภัยจากสารพิษต่างๆ (สำนักงานเกษตรจังหวัดเชียงใหม่และมหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2555: ไชยวัฒน์, 2544)

ปัจจุบันการปลูกพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ เน้นการใช้ปัจจัยการและทรัพยากรการผลิตที่มีอยู่ในท้องถิ่น เพื่อลดต้นทุนการผลิต ในปี พ.ศ.2553 ทั่วโลกมีพื้นที่ทำการเกษตรอินทรีย์มีมากกว่า 233 ล้านไร่ (The World of Organic Agriculture: Statistic and Emerging Trends 2009) ซึ่งแสดงให้เห็นความต้องการสินค้าเกษตรของประชาคมโลกมีเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากผู้บริโภคเรียกหาความมั่นใจในด้านคุณภาพและความปลอดภัย ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีศักยภาพที่สูงด้านผลิตสินค้าเกษตรอินทรีย์สู่ตลาดโลก ทั้งในฐานะตลาดผู้ผลิตและผู้ขาย (สมคิด, มปป) ในปี ค.ศ. 2011 มูลค่าการตลาดของเกษตรอินทรีย์ทั่วโลกมีประมาณ 1,832,100 ล้านบาท ตลาดอาหารอินทรีย์ที่สำคัญ คือ ตลาดประเทศอุตสาหกรรมหรือประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น เนื่องจากมีอำนาจในการซื้อที่สูง ความต้องการบริโภคอาหารและเครื่องดื่มอินทรีย์สูง และผู้บริโภคส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มคนที่รักสุขภาพ ต้องการสินค้าที่ปลอดภัยและมีคุณภาพ มีฐานะปานกลางถึงสูง และมีการศึกษาดี

ในปัจจุบันผู้บริโภคจำนวนมากได้หันมาให้ความสนใจบริโภคผลผลิตผัก และผลไม้ที่มาจากเกษตรระบบอินทรีย์ เนื่องจากเป็นระบบเกษตรที่มีความปลอดภัยมากกว่าระบบการปลูกแบบทั่วไป ไม่มีการใช้สารเคมีต่าง ๆ ทั้งเพื่อป้องกันกำจัดวัชพืช โรค แมลง และปุ๋ยเคมี อีกอย่างผลผลิตแบบเกษตรอินทรีย์ยังพบว่ามีปริมาณของสารสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าผลผลิตแบบการปลูกโดยทั่วไป Faller and Fialho (2008) พบว่าแครอท มันฝรั่ง บล๊อคโคลี และกะหล่ำปลีที่ปลูกในระบบอินทรีย์มีปริมาณฟีนอลที่สูงกว่าการปลูกในระบบเกษตรเคมี สอดคล้องกับการศึกษาของ Fernandes *et al* (2012) ระบุว่าสตรอว์เบอร์รีที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์มีปริมาณแอนตีออกซิแดนซ์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) มีค่าสูงกว่าสตรอว์เบอร์รีที่ปลูกในระบบการบริหารจัดการศัตรูพืชที่ดี (Integrated pest management) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และยังมีรายงานก่อนหน้านี้ที่แสดงให้เห็นว่าผักและผลไม้ที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์มีระดับของฟลาโวนอยด์ และกรดแอสคอลบิกสูงกว่าผลผลิตที่ปลูกในระบบเกษตรทั่วไป (Asami *et al*, 2003) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการปลูกพืชในระบบเกษตรอินทรีย์นอกจากจะสามารถเพิ่มคุณค่าทางอาหารในพืชให้สูงขึ้นแล้วยังส่งเสริมให้ผู้บริโภคมีสุขภาพที่ดี จึงทำ

ให้ระบบการผลิตแบบอินทรีย์มีความปราณีตและต้องดูแลเอาใจใส่มากกว่าระบบการปลูกทั่วไปในระบบเกษตรอินทรีย์สิ่งหนึ่งที่เป็นความท้าทายสำหรับเกษตรกรผู้ปลูกสตรอว์เบอร์รี คือ การปลูกซ้ำในพื้นที่เดิมเป็นเวลาต่อเนื่องกันหลายปี ทำให้เกิดการระบาดของโรคทางดิน และแมลง เช่น โรคเหี่ยวของที่เกิดจากเชื้อรา *Phytophthora cacutorum*, *Fusarium*,และ *Anthracnose* spp. ที่จะส่งผลโดยตรงต่อการลดผลผลิต (Martínez *et al*., 2003) โดยทั่วไปแล้วเกษตรกรส่วนมากจะทำการแก้ไขปัญหาการแพร่ระบาดของโรคด้วยการขุดดินขึ้นมาตากดินแดดทิ้งไว้ (Baysal-Gurel *et al*, 2012) เปลี่ยนพื้นที่ปลูก การปลูกพืชแซมพืชหมุนเวียน (Armstrong and Armstrong, 1978) ใช้ไหลปลอดโรค หรือการใช้เชื้อราหรือแบคทีเรียปฏิปักษ์ เช่น *Aspergillus niger* และ *Trichoderma* แต่วิธีการที่กล่าวมาข้างต้นนี้ยังมิได้ทำการศึกษาและนำมาปฏิบัติอย่างเป็นรูปธรรมในการผลิตสตรอว์เบอร์รีอินทรีย์ในประเทศไทย

ความท้าทายสำหรับการวิจัยสตรอว์เบอร์รีอินทรีย์ คือ การผลิตส่วนขยายพันธุ์ การจัดการดินและธาตุอาหาร โรคแมลง ซึ่งทั้งหมดคือการสร้างองค์ความรู้ที่เป็นรูปธรรม และเป็นการวิจัยที่เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับตัวและพัฒนาระบบการปลูก สายพันธุ์ หรือส่วนขยายพันธุ์ให้ได้มาตรฐาน เนื่องจากข้อจำกัดในการห้ามใช้สารเคมีเกษตรในการควบคุมวัชพืช แมลงและโรค ในการผลิตสรอเบอรีแบบอินทรีย์จึงทำให้ต้องใช้ความประณีตในการปฏิบัติและนำเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามาใช้ Walte *et al* (2005) ประยุกต์การผลิตไหลในโรงเรือนของการปลูกสตรอว์เบอร์รีแบบเคมีมาใช้กับระบบเกษตรอินทรีย์โดยทำการเปรียบเทียบการให้ผลผลิต คุณภาพของผลสตรอว์เบอร์รีที่มาจากการผลิตไหลในระบบอินทรีย์แบบ plug และ bare-root เปรียบเทียบกับการไหลแบบ bare-root ที่มาจากการผลิตแบบเกษตรเคมีเป็นระยะเวลา 2 ปี ซึ่งการผลิตไหลทั้งหมดทำในโรงเรือนพลาสติกพบว่าไหลสตรอว์เบอร์รีที่มาจากระบบอินทรีย์แบบ plug และ bare-root ให้ผลผลิตเท่ากับไหลแบบ bare-root ที่มาจากการผลิตแบบเกษตรเคมี ไม่ว่าจะเป็นการผลิตไหลหรือการผลิตผลสดสิ่งหนึ่งที่มีผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณ และคุณภาพของผลผลิตสตรอว์เบอร์รีคือ การจัดการดินและธาตุอาหาร และการป้องกันกำจัดศัตรูพืช Carroll *et al* (2013) ได้อธิบายถึงการผลิตสตรอว์เบอร์รีอินทรีย์ว่า ถ้าหากมีการจัดการวัชพืช ศัตรูพืชที่ดี และการสร้างแหล่งสำรองธาตุอาหารโดยเฉพาะอย่างไนโตเจนที่เพียงพอในดิน การผลิตสตรอว์เบอร์รีแบบอินทรีย์ย่อมสำเร็จได้ โดยเฉพาะอย่างขั้นตอนการเตรียมดินสำหรับผลิตไหลหรือผลิตผลสด การทำให้ดินมีปนเปื้อนของโรคทางดินน้อยลงรวมกับการปรับปรุงสภาพดินและเตรียมแหล่งสำรองธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของสตรอว์เบอร์รีเป็นสิ่งหนึ่งสำคัญเนื่องจากในระบบเกษตรอินทรีย์ไม่อนุญาตให้ใช้สารเคมีในการรมฆ่าเชื้อโรคในดิน และห้ามใช้ปุ๋ยเคมีทุกชนิด Porras *et al* (2009) ทำการศึกษาการอบฆ่าเชื้อโรคในดินด้วยแสงสุริยะโดยใช้พลาสติกใสความหนา 50 ไมโครเมตร ร่วมกับการใช้เชื้อรา

Trichoderma ผ่านทางท่อน้ำหยด หยดลงในหลุมปลูก และรองก้นหลุมก่อนปลูก 7 วัน ที่เป็นเชื้อรา ปฏิปักษ์และสามารถมีชีวิตอยู่ใต้ภายใต้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ และยังสามารถผลิตเอนไซม์บางชนิดที่ชักนำให้พืชต่อต้านการเข้าทำลายของเชื้อโรค รวมถึงส่งเสริมให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น พบว่าการอบฆ่าเชื้อโรคในดินด้วยแสงสุริยะร่วมกับการใช้เชื้อรา *Trichoderma* ในระยะเวลา 2 ปีทำให้ผลผลิตของสตรอว์เบอร์รีเพิ่มขึ้น 78 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังทำให้ปริมาณเชื้อรา *Trichoderma* บริเวณผิวดิน น้ำหนักราก จำนวนราก และผลผลิตเพิ่มขึ้น 85 เปอร์เซ็นต์ ในปีที่ 3 และพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญระหว่างปริมาณเชื้อรา *Trichoderma* บริเวณผิวดิน และผลผลิตของสตรอว์เบอร์รี Hartz *et al* (1993) พบว่าการอบฆ่าเชื้อโรคในดินด้วยแสงสุริยะเพียงอย่างเดียวส่งเสริมให้ผลผลิตสตรอว์เบอร์รีเพิ่มสูงกว่าการไม่อบฆ่าเชื้อดินถึง 12 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ผลของการคลุมแปลงด้วยพลาสติกยังเป็นการควบคุมความชื้นในดิน และควบคุมวัชพืชไปในตัวด้วย (Guerena and Born, 2007)

ดังได้กล่าวไว้ข้างต้นเกี่ยวกับการออกดอกของสตรอว์เบอร์รีที่ต้องได้รับอากาศหนาวเย็นที่เพียงพอ และที่สำคัญคือสตรอว์เบอร์รีจะต้องไม่เครียดจากการขาดธาตุอาหาร ฉะนั้นแล้วการให้ปุ๋ยจึงต้องให้ ๆ ถูกและตรงกับช่วงเวลา โดยทั่วไปการให้ปุ๋ยอินทรีย์จะให้ในช่วงหน้าร้อนเพื่อให้มีการย่อยสลายได้ง่ายและเป็นการเตรียมธาตุอาหารสำหรับสตรอว์เบอร์รีระหว่างการสร้างตาดอก เวลาในการให้ปุ๋ยไนโตรเจนเป็นเรื่องที่สำคัญในสตรอว์เบอร์รี และอัตราการปลดปล่อยในโตเจนของปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิดก็มีความแตกต่างกันและอาจไม่เหมาะกับความต้องการของพืช ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปริมาณไนโตเจนสูง ส่วนใหญ่ได้แก่ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยขี้ไก่อัดเม็ด น้ำหมักปลา เป็นต้น โดยทั่วไปปุ๋ยหมักและปุ๋ยพืชสดจะรักษาระดับของไนโตเจนในดินในปริมาณที่เพียงพอ (50-75 พีพีเอ็ม) ประมาณสามถึงสี่สัปดาห์ และหลังจากนั้นจะลดลงจนถึงระดับปกติของไนโตเจนในดินต่ำกว่า 10 พีพีเอ็ม (Gaskell, 2004; Preusch *et al*, 2004) ปุ๋ยอีกชนิดหนึ่งที่ถือได้ว่าเป็นแหล่งของแร่ธาตุอาหารที่สมบูรณ์สำหรับสตรอว์เบอร์รีคือปุ๋ยหมักไส้เดือน ซึ่งมีองค์ประกอบของธาตุอาหารส่วนใหญ่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น nitrates, phosphates, exchangeable calcium และ soluble potassium (Orozco et al., 1996; Edwards, 1998) ซึ่งหากมีการให้ปุ๋ยหมักไส้เดือนในอัตรา 4 ตัน ต่อเอเคอร์ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของสตรอว์เบอร์รีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Arancon *et al*., 2004) การตอบสนองของสตรอว์เบอร์รีต่อปุ๋ยหมักไส้เดือนน่าจะมาจากสารเร่งการเจริญเติบโตที่สร้างมาจากจุลินทรีย์ในช่วงระหว่างการย่อยสลายของปุ๋ยไส้เดือน

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่าการสร้างองค์ความรู้อย่างเป็นรูปธรรมและศึกษาวิจัยขั้นพื้นฐานเป็นเรื่องสำคัญในการนำไปสู่การปฏิบัติจริงที่สามารถอยู่แบบยั่งยืน และมีความสมดุลย์ การนำเทคนิคด้านการจัดการดินและธาตุอาหารมาใช้ในการสร้างองค์ความรู้ ควบคู่ไปกับการดูแลรักษาแบบชีววิธีจึงเป็นหัวใจหลักในการผลิตสตรอว์เบอร์รีอินทรีย์

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การทดลองที่ 1 การสร้างแบบจำลองการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์

การสร้างแบบจำลองการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์เป็นการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนของวัตถุดิบที่ใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับน้ำตาล ที่แตกต่างในการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ ในการสร้างแบบจำลองครั้งนี้จะใช้ขวดน้ำหรือขวดน้ำอัดลมพลาสติกขนาด 1.5 ลิตร จำนวน 2 ขวดเป็นถังหมัก ทำการเจาะรูที่ฝาขวดเพื่อทำการเชื่อมกับท่อพลาสติกไปยังถังดักเพื่อตรวจจำนวนฟองอากาศ โดยใช้ขวดน้ำพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร บรรจุน้ำปริมาณ 400 มิลลิลิตร โดยสายท่อจะแยกออกเป็นสองสายโดยสายแรกจะออกมาจากถังหมักแล้วจุ่มลงไปในน้ำเพื่อดักจับตะกอนเหนียวซึ่งเกิดจากการหมักและสายที่สองจะต่อไว้เหนือผิวน้ำเพื่อส่งคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปยังปลายท่ออีกเส้นเพื่อปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยศึกษาการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยวัตถุดิบเริ่มต้นที่แตกต่างกันสองชนิดคือ น้ำตาลทรายแดงและกากน้ำตาลในอัตราส่วนที่แตกต่างกันด้วยแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ แบ่งออกเป็น 2 การทดลองย่อยดังนี้

การทดลองย่อยที่ 1.1 การผลิตคาร์บอนไดออกไซด์จากน้ำตาลทรายแดง

T1 คือ น้ำตาลทรายแดง 200 กรัม + น้ำ 500 มิลลิลิตร

T2 คือ น้ำตาลทรายแดง 200 กรัม + น้ำ 1000 มิลลิลิตร

T3 คือ น้ำตาลทรายแดง 400 กรัม + น้ำ 500 มิลลิลิตร

T4 คือ น้ำตาลทรายแดง 400 กรัม + น้ำ 1000 มิลลิลิตร

การทดลองย่อยที่ 1.2 การผลิตคาร์บอนไดออกไซด์จากกากน้ำตาล

T1 คือ กากน้ำตาล 200 กรัม + น้ำ 500 มิลลิลิตร

T2 คือ กากน้ำตาล 200 กรัม + น้ำ 1000 มิลลิลิตร

T3 คือ กากน้ำตาล 400 กรัม + น้ำ 500 มิลลิลิตร

T4 คือ กากน้ำตาล 400 กรัม + น้ำ 1000 มิลลิลิตร

ในทุกสิ่งทดลองของทั้งสองการทดลองย่อยทำการเติมยีสต์จำนวน 5 กรัม เพื่อทำให้เกิดกระบวนการหมัก และเติมผงฟูเพื่อลดการเกิดฟองเมื่อเติมส่วนผสมทุกอย่างแล้วทำการเขย่าให้ส่วนผสมเข้ากันดีโดยสิ่งทดลองของทั้งสองการทดลองย่อยถูกจัดวางไว้ในสภาวะที่แตกต่างกันสองสภาวะ ประกอบไปด้วยในสภาวะห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส และในสภาวะห้องอุณหภูมิบรรยากาศปกติ หลังจากทำการเติมยีสต์ไปแล้ว 12 ชั่วโมง ทำการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกผลิตขึ้นมาโดยการวัดค่าความเข้มข้นด้วยเครื่องวัดคาร์บอนไดออกไซด์ (Teนาโนเมตรars, ST501) โดยทำการวัดทุก ๆ 12 ชั่วโมง จากนั้นนำข้อมูลที่บันทึกได้ไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยโปรแกรม Sirichai V. 6.1

การทดลองที่ 2 การศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และสารต้านอนุมูลอิสระในสตรอว์เบอร์รีระบบปลูกอินทรีย์

จากการทดลองที่ 1 เมื่อทราบชนิดและอัตราส่วนวัตถุดิบสำหรับการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว จึงนำมาขยายขนาดในถังขนาด 10 ลิตร เพื่อศึกษาผลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับการปลูกสตอเบอรี่สตอเบอรีในระบบปลูกอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งการทดลองครั้งนี้ได้ทำการการคลุมเหนือแปลงปลูกด้วยวัสดุคลุมสองชนิด คือ ผ้าใยสังเคราะห์สปันด์บอนด์และพลาสติกพีอี 100 ไมโครเมตร เปรียบเทียบร่วมกับการไม่คลุมเหนือแปลง รวมไปถึงการปลูกในระบบเคมีที่มีการให้คาร์บอนไดออกไซด์และไม่ให้คาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ โดยวางแผนการทดลองในแฟคทอเรียลในแบบสุ่มบล็อคสมบูรณ์ 2x3 (Factorial in RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ มีสิ่งทดลองดังนี้

T1 คือ ปลูกระบบอินทรีย์ (Org)

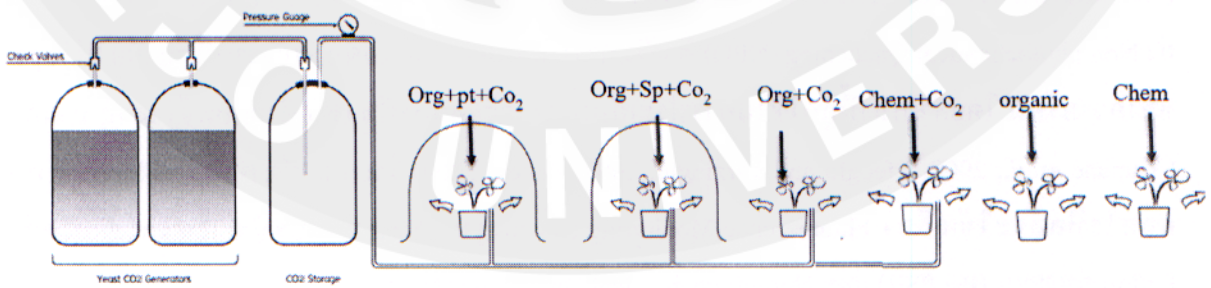
T2 คือ ปลูกระบบอินทรีย์ + คาร์บอนไดออกไซด์ (Org+CO_2)

T3 คือ ปลูกระบบอินทรีย์+คลุมเหนือแปลงด้วยพลาสติก+คาร์บอนไดออกไซด์ (Org+Pt+CO_2)

T4 คือ ปลูกระบบอินทรีย์+คลุมเหนือแปลงด้วยผ้าใยสังเคราะห์สปันบอนด์+คาร์บอนไดออกไซด์ (Org+Sp+CO_2)

T5 คือ ปลูกระบบเคมี (Chem)

T6 คือ ปลูกระบบเคมี+ให้คาร์บอนไดออกไซด์ (Chem+CO_2)



ภาพที่ 1 ภาพจำลองแบบการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ขนาดถัง 10 ลิตร

การบันทึกข้อมูล

ข้อมูลด้านการเจริญเติบโต ทำการบันทึกข้อมูลดังต่อไปนี้ จำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาว ความยาวก้านใบ จำนวนตาข้าง จำนวนไหล จำนวนดอก น้ำหนักสดใบและราก น้ำหนักแห้งใบและราก นอกจากนี้ยังได้ทำการบันทึกข้อมูลดัชนีด้านสรีรวิทยา ประกอบไปด้วยปฏิกิริยาใช้แสงที่ทำการวัดประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดของระบบแสงที่สอง (Fv/Fm) ประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สอง (Phi PSII) และปฏิกิริยาคาร์บอน ที่ทำการวัดและบันทึกค่าอัตราการสังเคาร์แสง (A) อัตราการนำไหลของปากใบ (gs) อัตราการระเหยของน้ำ (E) และอุณหภูมิใบ(TI) ข้อมูลด้านผลผลิตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ จำนวนผลผลิตที่เป็นความต้องการของตลาด จำนวนผลผลิตรวม ปริมาณน้ำหนักรวม สารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณวิตามินซี Phenolic compound และ Flavonoids

การวัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์

พลังงานแสงที่ถูกดูดซับโดยรงควัตถุคลอโรฟิลล์ภายในเซลล์พืชสามารถถูกเปลี่ยนแปลงไปได้ในสามรูปแบบกล่าวคือ หนึ่งถูกใช้ไปในกระบวนการสังเคราะห์แสง สองถูกระบายออกในรูปความร้อน และสามคือถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของการเรืองแสง โดยทั้งสามกระบวนการนี้ต่างมีความสัมพันธ์กันอย่างลึกซึ้งโดยเมื่ออัตราการเกิดกระบวนการหนึ่งเพิ่มมากขึ้นอัตราการเกิดของอีกกระบวนการจะลดลง เช่น เมื่อประสิทธิภาพของกระบวนการสังเคราะห์แสงลดลงเนื่องมาจากสภาวะเครียด ปริมาณพลังงานส่วนที่ต้องถูกระบายออกมาในรูปความร้อนก็จะมีมากขึ้นด้วย (Maxwell and Johnson, 2000) จากหลักการนี้ ทำให้การวัดค่าการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์สามารถนำมาใช้ประเมินประสิทธิภาพในการทำงานของระบบแสงที่สอง (PSII) ของกระบวนการสังเคราะห์แสงซึ่งมีความสัมพันธ์กับระดับความเครียดของเซลล์พืช (Baker, 2008) ค่าที่มักใช้ในการประเมินความเครียดของพืชได้แก่ค่า Fv/Fm ซึ่งเป็นการประเมินประสิทธิภาพสูงสุดของการการทำงานของ PSII ค่า ØPSII (Psi PSII) เป็นการประเมินประสิทธิภาพของการทำงานของPSIIในสภาพการสังเคราะห์แสงจริง และค่า Non-photochemical Quenching (NPQ) ซึ่งเป็นการประเมินอัตราส่วนของพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของความร้อน โดยค่าเหล่านี้ถูกใช้ในการประเมินความเครียดของพืช เช่น ข้าวและข้าวสาลี มาแล้ว (Yamane *et al.*, 2008; Efeoglu and Terzioglu, 2009; Zlatev, 2009) ในการวัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์จะใช้เครื่อง Fluorescence Monitoring System รุ่น FMS2 ของบริษัท Hansatech วัดค่า Fv/Fm ค่าØPSII (Psi PSII) และ Non-photochemical Quenching (NPQ)

การวัดค่าการนำของปากใบ การระเหยของน้ำจากใบ อัตราการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์

กระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์นั้นมีความสัมพันธ์กับกระบวนการอื่น ๆ เช่น การนำของปากใบ การระเหยของน้ำออกจากใบและประสิทธิภาพของเอนไซม์ Ribulose 1,5 bis phosphate carboxylase (Rubisco) โดยการทำงานของกระบวนการเหล่านี้ล้วนได้รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อม เช่น แสงและอุณหภูมิ การวัดค่าการนำของปากใบ การระเหยของน้ำจากใบและการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์จะใช้เครื่อง LCi-SD ของบริษัท BioScientific Ltd. (สนับสนุนโดยศูนย์เครื่องมือมหาวิทยาลัยแม่โจ้)

การหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

- **การหาปริมาณวิตามินซี** การวิเคราะห์หาทำได้โดยการนำผลสตรอว์เบอร์รีผลสดในแต่ละสิ่งทดลองนำมาปั่นแยกสิ่งทดลองละ 4 ซ้ำ ด้วยเครื่องปั่นหลังจากนั้นชั่งเนื้อตัวอย่างที่ผ่านการปั่นละเอียดปริมาณ 5 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร ทำการเติมสารละลาย 0.4 เปอร์เซ็นต์ Oxalic acid ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันดีแล้วทำการกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (whatman) จากนั้นทำการดูดสารละลายสตรอว์เบอร์รีที่ผ่านการกรองแล้วปริมาตร 10 มิลลิลิตร ไปทำการไตรเตรทด้วยสารละลาย 2,6-dichlorophenol ความเข้มข้น 0.04เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการบันทึกค่าและคำนวณปริมาณวิตามินซี ดังวิธีคำนวณต่อไปนี้

ปริมาณ indophenol dye A มิลลิลิตร มี ascorbic acid 1 มิลลิกรัม
ปริมาณ indophenol dye B มิลลิลิตร มี ascorbic acid (1×B)/A มิลลิกรัม
ปริมาณ สารละลาย 10 มิลลิลิตร มี ascorbic acid C มิลลิกรัม
ปริมาณ สารละลาย 100 มิลลิลิตร มี ascorbic acid (100×C)/10 มิลลิกรัม
ปริมาณเนื้อตัวอย่าง X กรัม มี ascorbic acid D มิลลิกรัม
ปริมาณเนื้อตัวอย่าง 100 กรัม มี ascorbic acid (100×D)/X มิลลิกรัม
ปริมาณวิตามินซี mg/100 กรัม fresh weight

เมื่อ

A คือ ปริมาณที่ไตรเตรทจากค่ามาตรฐาน

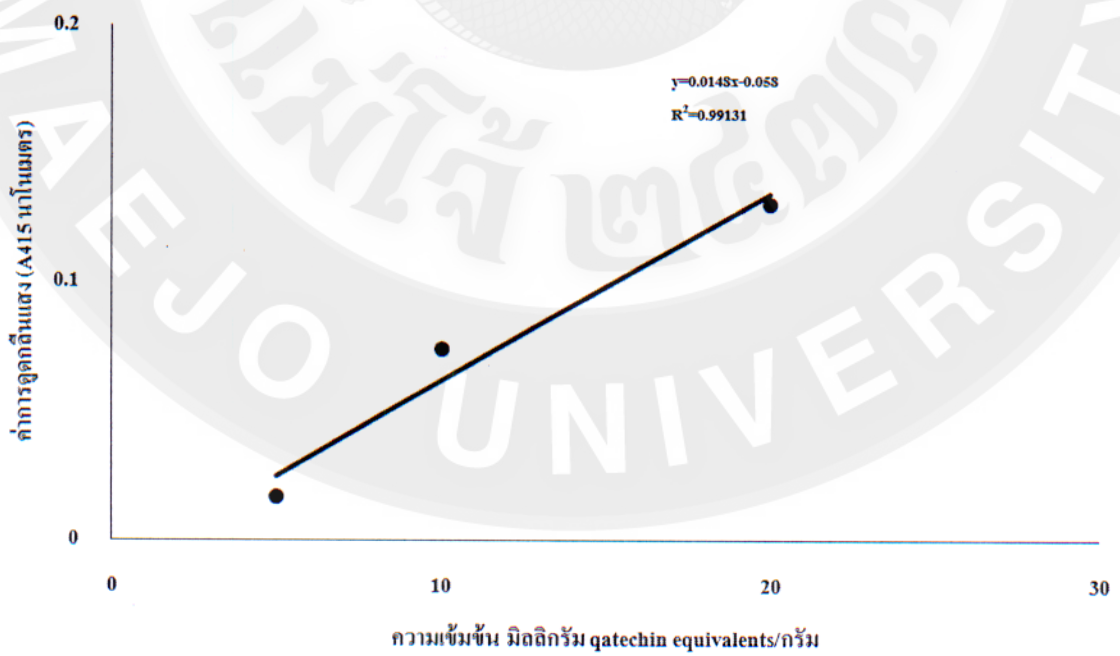
B คือ ปริมาณที่ไตรเตรทได้จากสารตัวอย่าง

$C = (1 \times B)/A$

$D = (100 \times C)/10$

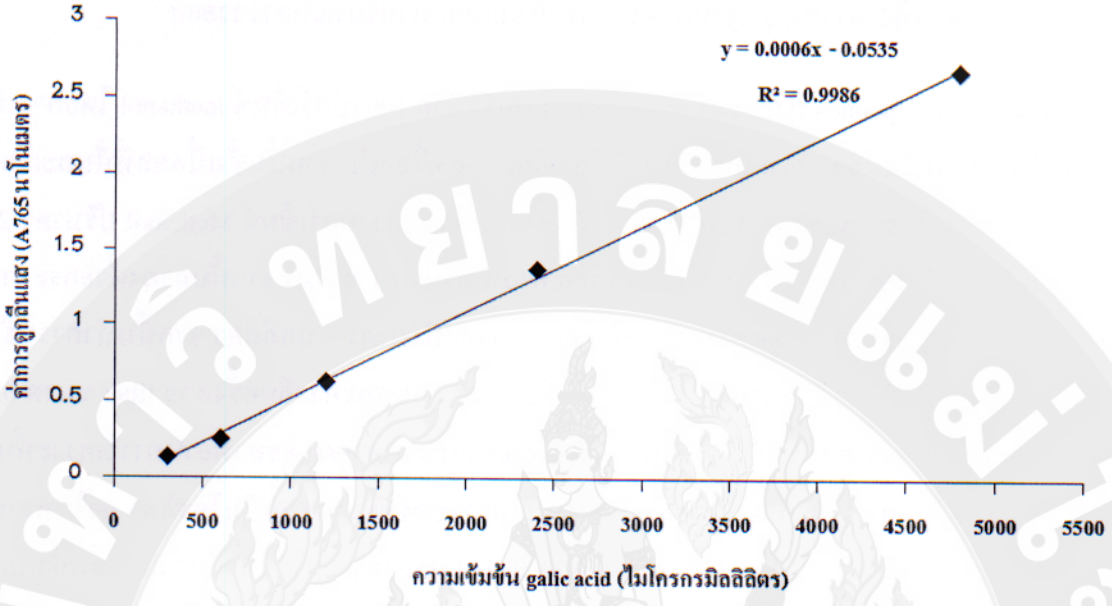
X = ปริมาณเนื้อตัวอย่าง

การวิเคราะห์ Flavonoid ทำโดยการนำผลสตรอว์เบอร์รีสดในแต่ละสิ่งทดลองถูกนำมาสกัดด้วย 100 เปอร์เซ็นต์ Methanol จากนั้นทำการดูดสารสกัดจากผลสตรอว์เบอร์รีปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วเติมด้วย 10 เปอร์เซ็นต์ aluminum chloride ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันดีด้วยการกลับหลอดไปมาและเติม 1M Potassium acetate ปริมาตร 200 ไมโครลิตร เติมน้ำกลั่น 5600 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ในสภาพมืด 30 นาที หลังจากนั้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ค่าการดูดกลืนแสงที่ (A) 415 นาโนเมตร จากนั้นเทียบค่ากับกราฟค่ามาตรฐาน (ภาพที่ 2) โดยการทำกราฟมาตรฐานสามารถทำได้โดย ชั่ง quercetin 0.005 กรัม ในน้ำ25 มิลลิลิตร(ความเข้มข้นที่ได้ 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) เป็นสารละลายตั้งต้นจากนั้นดูดสารละลายตั้งต้นปริมาตร 5.0 10.0 20.0 40.0 และ 80.0 ไมโครลิตรต่อ100 มิลลิลิตร ใน 80 เปอร์เซ็นต์ ethanol จากนั้นทำการดูดสารละลายที่ได้ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วเติมด้วย 10 เปอร์เซ็นต์ aluminum chloride ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันดีด้วยการกลับหลอดไปมาและเติม 1M Potassium acetate ปริมาตร 200 ไมโครลิตร เติมน้ำกลั่น 5,600 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ในสภาพมืด 30 นาที หลังจากนั้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ค่าการดูดกลืนแสงที่ (A) 415 นาโนเมตร เมื่อทำครบทุกความเข้มข้นแล้วนำมาสร้างเป็นกราฟมาตรฐานดังภาพที่ 2a



ภาพที่ 2 กราฟมาตรฐานสำหรับการเปรียบเทียบหาปริมาณฟลาโววอยส์

Phenolic compounds ทำการสกัดเนื้อสตรอว์เบอร์รีด้วย 100 เปอร์เซ็นต์ methanol โดยการนำผลสตรอว์เบอร์รีสดในแต่ละสิ่งทดลองมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น จากนั้นชั่งเนื้อผลที่ปั่นละเอียดจำนวน 10 กรัม ลงในหลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร เติมด้วย 100 เปอร์เซ็นต์ Methanol ปริมาตร 20 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน เก็บไว้ในสภาพมืดที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (whatman) ทำการดูดสารละลายที่ผ่านการกรองปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นทำการปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตรด้วย 100เปอร์เซ็นต์ Methanol กรองสารละลายอีกครั้งด้วย filter ขนาด 0.4 ไมโครเมตรเก็บสารละลายที่กรองได้ไว้ในสภาพมืดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณฟีโนลิคส์ในผลสตรอว์เบอร์รีทำการดูดสารสกัดสตอเบอรีปริมาตร 50 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร เติมด้วย100เปอร์เซ็นต์ Methanol ปริมาตร 50 ไมโครลิตร และเติมน้ำกลั่นปริมาตร 1000 ไมโครลิตร จากนั้นเติมด้วยสารละลาย 7.5 เปอร์เซ็นต์ Sodium carbonate จำนวน 375 ไมโครลิตร ทิ้ง 5 นาทีที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นเติม Folin-ciocalteu's phenol reagent 125 ไมโครลิตร เติมน้ำกลั่น 1000 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ในสภาพมืด 2 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ค่า A 765 นาโนเมตร จากนั้นเทียบค่ากับกราฟค่ามาตรฐาน(ภาพที่ 2) โดยการทำกราฟมาตรฐานสามารถทำได้โดย เตรียม Gallic acid 0.532 มิลลิกรัม/น้ำ10 มิลลิลิตร เป็นสารละลายเข้มข้นและดูดสารละลาย Gallic acid จากสารละลายเข้มข้นมาเจือจางกับน้ำ 300 600 1200 2400 4800 ไมโครลิตร/100มิลลิลิตร จากนั้น ดูดสารละลายที่ได้ปริมาณ 50 ไมโครลิตร เติม 100 เปอร์เซ็นต์ methanol ปริมาตร 50 ไมโครลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 1000 ไมโครลิตร จากนั้นเติม 7.5 เปอร์เซ็นต์ Sodium carbonate ปริมาตร 375 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 5 นาที หลังจากนั้นเติม Folin-ciocalteu's phenol reagent ปริมาตร 125 ไมโครลิตร และเติมน้ำกลั่นปริมาตร 1000 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ในสภาพมืดที่อุณหภูมิห้องนาน 2 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ค่า A 765 นาโนเมตร เมื่อทำครบทุกความเข้มข้นแล้วนำมาสร้างเป็นกราฟมาตรฐานดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กราฟมาตรฐานสำหรับเปรียบหาปริมาณฟีโนลิคส์

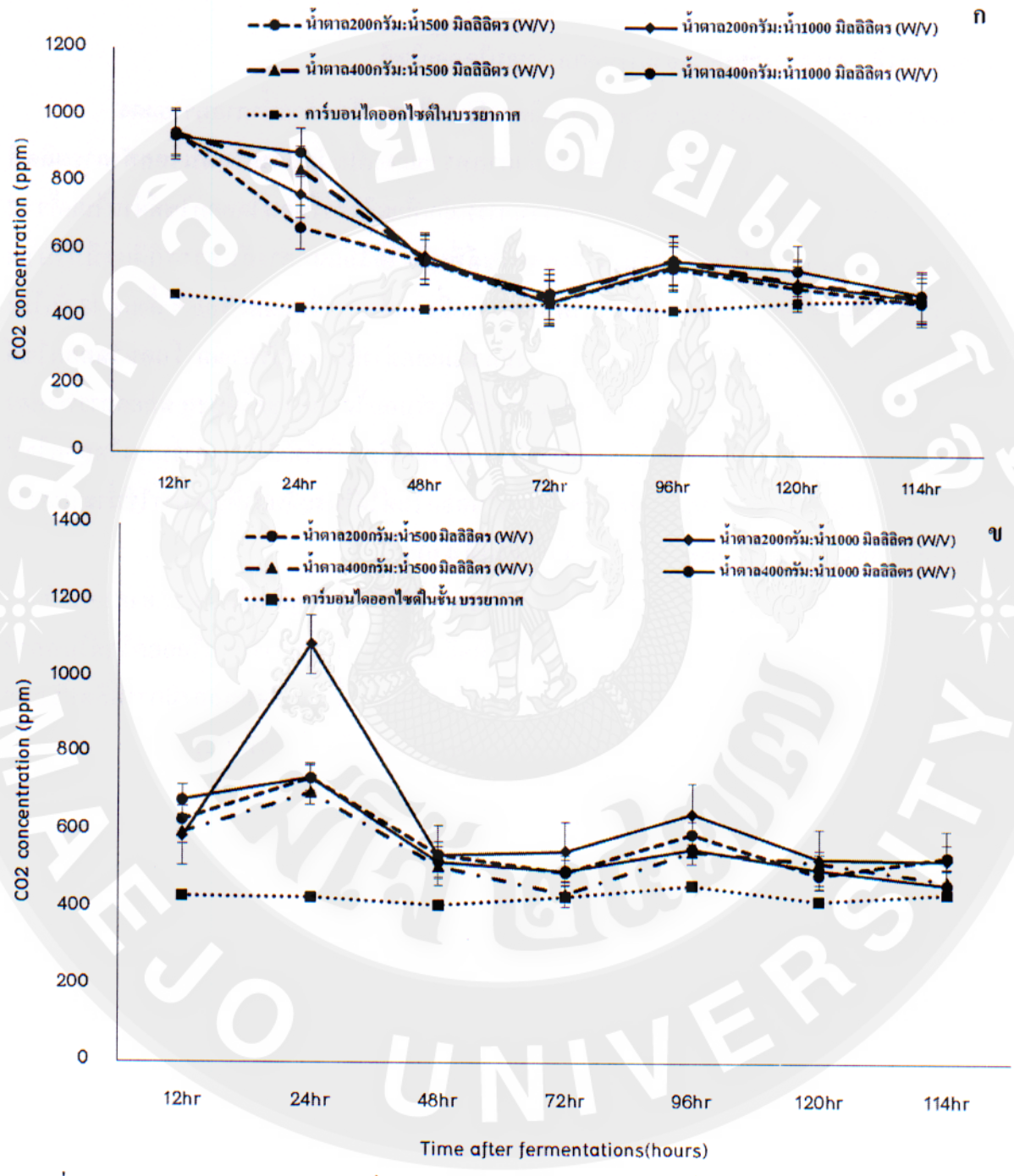
ผลการวิจัย

การทดลองที่ 1 การสร้างแบบจำลองการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์

การทดลองย่อยที่ 1.1 การสร้างแบบจำลองการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยน้ำตาลทรายแดง

การผลิตคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้น้ำตาลทรายแดงเป็นวัตถุดิบเริ่มต้น โดยทำการผลิตที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าหลังจากกิจกรรมการหมักเพื่อผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านไปแล้ว 12 ชั่วโมง ทุกสิ่งทดลองมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติแต่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตได้สูงกว่าในสภาพบรรยากาศถึง 2 เท่าและเริ่มลดลงเรื่อย ๆ ตั้งแต่ 48 ชั่วโมงของกิจกรรมการผลิต โดยที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมงมีความแตกต่างกันของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างสิ่งทดลองอย่างชัดเจน สิ่งทดลองที่สามารถผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงสุ ตลอดการทดลองคือการใช้น้ำตาลทรายแดงต่อน้ำในอัตรา 400 กรัม:1000 มิลลิลิตร ซึ่งให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย 952.64 พีพีเอ็ม และสิ่งทดลองที่ผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในระดับต่ำที่สุด การใช้น้ำตาลทรายแดงต่อน้ำในอัตราส่วน 200 กรัม : 500 มิลลิลิตร (ภาพที่ 4 ก)

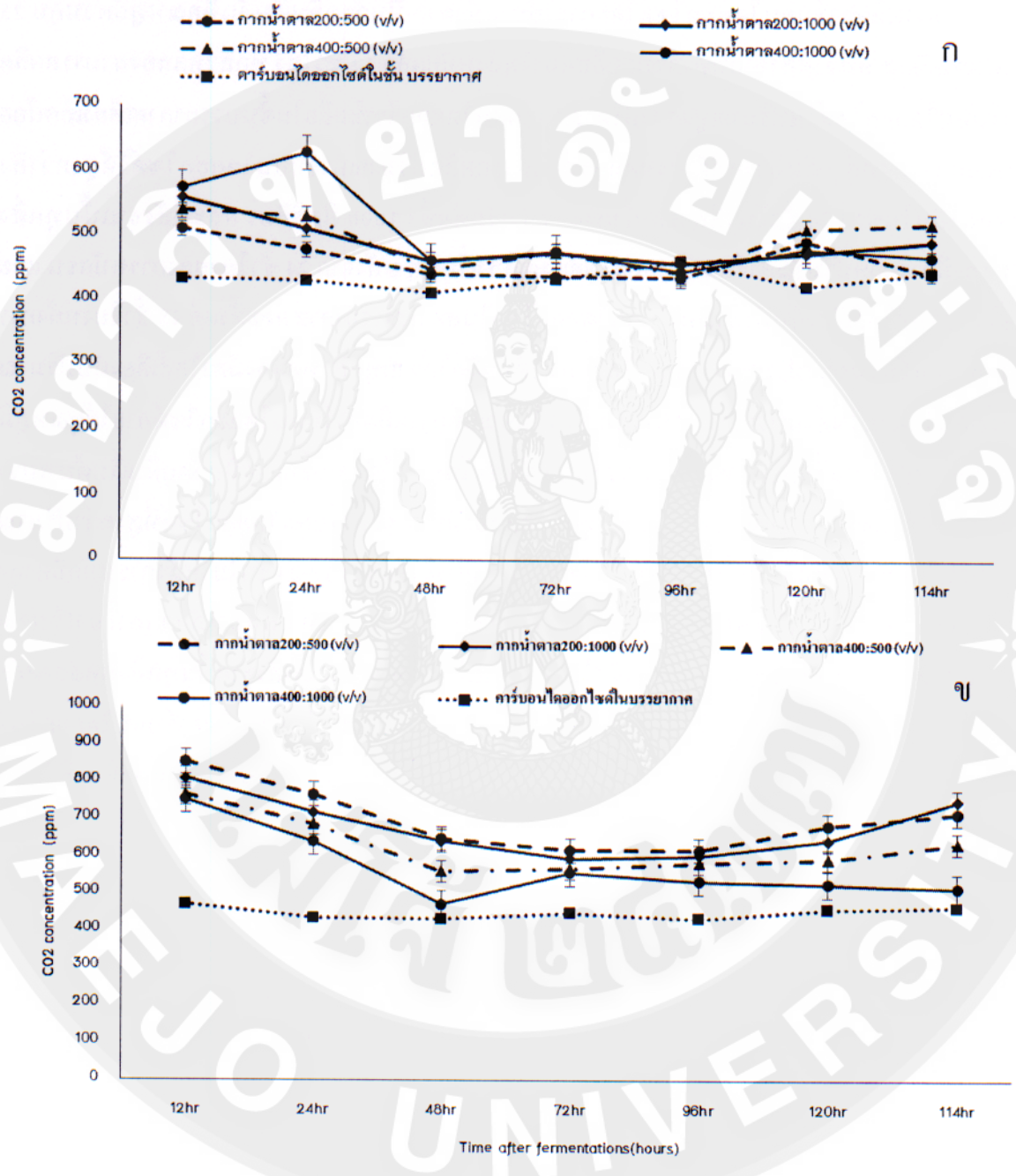
การผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิบรรยากาศปกติ (อุณหภูมิเฉลี่ย 29.27 องศาเซลเซียส) พบว่าในทุกสิ่งทดลองมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตสูงกว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพบรรยากาศหลังจากกิจกรรมการหมักผ่านไปแล้ว 48 ชั่วโมง จากนั้นทุกสิ่งทดลองมีการผลิตปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเพียงเล็กน้อย (ภาพที่ 4 ข)



ภาพที่ 4 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตได้หลังจากการหมักโดยใช้น้ำตาลทรายแดงเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในอัตราที่แตกต่างกันภายใต้อุณหภูมิบรรยากาศปกติ (ก) และภายใต้สภาพอุณหภูมิควบคุม 25 องซาเซลเซียส (ข)

การทดลองย่อยที่ 1.2 การสร้างแบบจำลองการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยกากน้ำตาล

การผลิตคาร์บอนไดออกไซด์โดยการใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นที่อุณหภูมิควบคุม 25 องศาเซลเซียส พบว่าหลังจากที่ทำการเติมยีสต์ลงในถังหมักแล้ว 12 ชั่วโมง ทุกสิ่งทดลองสามารถผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณสูงกว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยในชั้นบรรยากาศเพียงเล็กน้อย และมีความแตกต่างกันทางสถิติ สิ่งทดลองที่สามารถผลิตปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงกว่าสิ่งทดลองอื่นในช่วง 24 ชั่วโมงคือ กากน้ำตาล 400 กรัมต่อน้ำ 1000 มิลลิลิตร และหลังจากนั้นทุกสิ่งทดลองมีการผลิตปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มลดลงเรื่อย ๆ หลังจาก 24 ชั่วโมงของการหมักจน และอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพบรรยากาศ และตั้งแต่ 48 ชั่วโมงหลังการหมักความเข้มข้นของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตได้จากทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (ภาพที่ 5 ก) ในขณะที่การผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้อุณหภูมิบรรยากาศปกติ (เฉลี่ยประมาณ 29.27 องศาเซลเซียส) โดยการใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นพบว่าตั้งแต่ 12 ชั่วโมงของการหมัก (ภาพที่ 5 ข) ทุกสิ่งทดลองมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยในชั้นบรรยากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 12-24 ชั่วโมงหลังการหมักมีค่าสูงกว่าคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยในชั้นบรรยากาศ ประมาณ 2 เท่า และหลังจากนั้นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ค่อย ๆ ลดลงจนถึงชั่วโมงที่ 72 หลังการหมัก และหลังจากนั้นทุกสิ่งทดลองผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณใกล้เคียงกัน โดยสิ่งทดลองที่มีแนวโน้มในการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงที่สุดคือ สิ่งทดลองการใช้กากน้ำตาล 200 กรัมต่อน้ำ 500 มิลลิลิตร

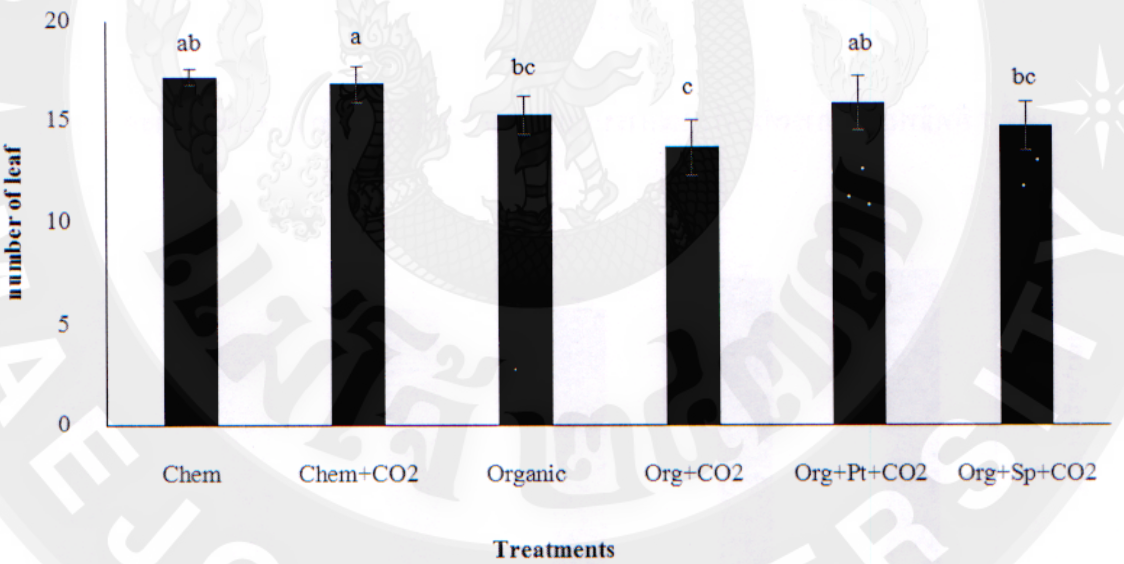


ภาพที่ 5 ปริมาณการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลาของการหมักโดยใช้น้ำตาลทรายแดงเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในอัตราที่แตกต่างกันภายใต้สภาพอุณหภูมิควบคุม 25 องซาเซลเซียส (ก) และภายใต้อุณหภูมิบรรยากาศปกติ (ข)

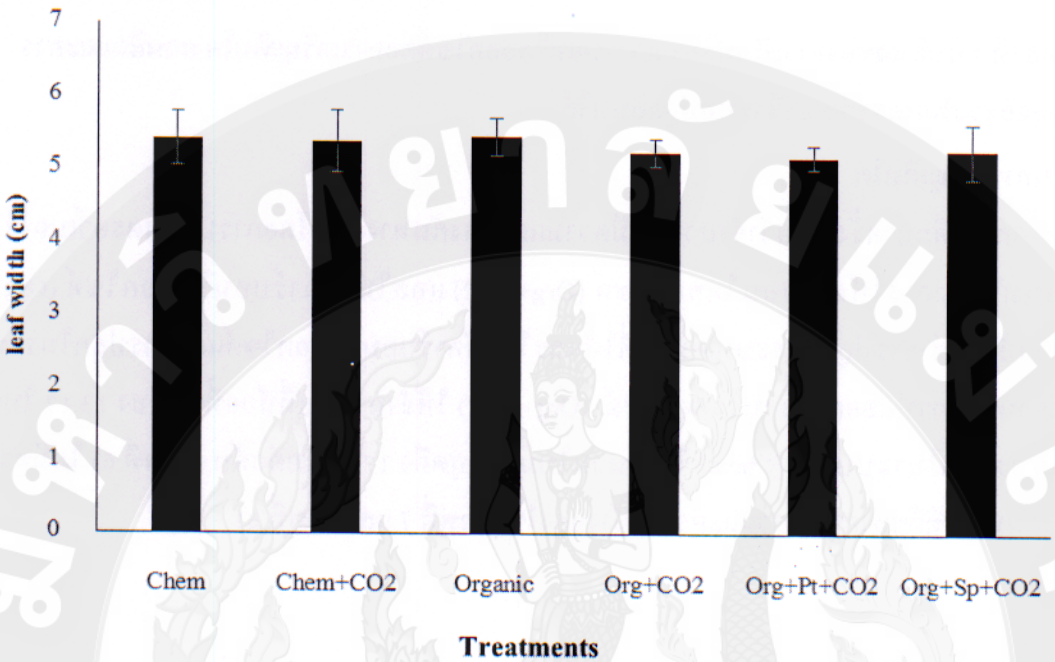
การทดลองที่ 2 อิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและสารต้านอนุมูลอิสระในสตรอว์เบอร์รีระบบปลูกอินทรีย์

ดัชนีด้านการเจริญเติบโต

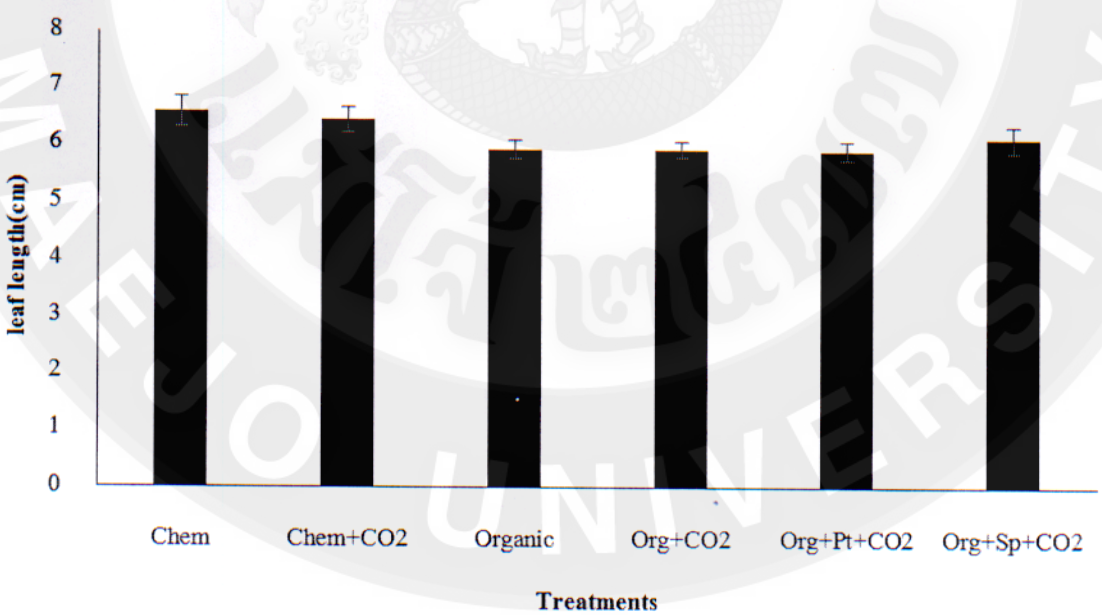
จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าจำนวนใบมีความแตกต่างกันทางสถิติโดยการปลูกสตรอว์เบอร์รีในระบบอินทรีย์ทั้งการให้คาร์บอนไดออกไซด์ (Org+CO2) และไม่ให้คาร์บอนไดออกไซด์ (Org) มีจำนวนใบน้อยกว่าการปลูกในระบบเคมีทั้งที่ให้และไม่ให้คาร์บอนไดออกไซด์และการปลูกในระบบอินทรีย์ร่วมกับการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (Org+CO2) ให้จำนวนใบที่น้อยที่สุดพียง 13.17 ใบต่อต้น และการปลูกในระบบเคมี (Chem) ให้จำนวนใบมากที่สุดถึง 17.16 ใบต่อต้น (ภาพที่ 6) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติของความยาวและความกว้างของใบ (ภาพที่ 7 และ ภาพที่ 8)



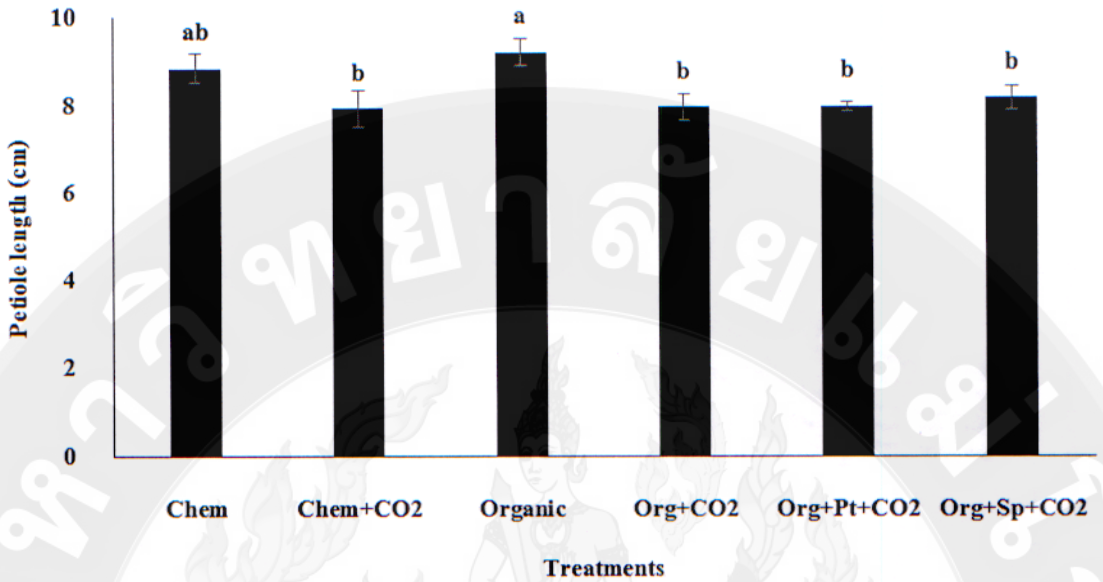
ภาพที่ 6 อิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อจำนวนใบของสตรอว์เบอร์รี



ภาพที่ 7 อิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อความกว้างใบของสตรอว์เบอร์รี

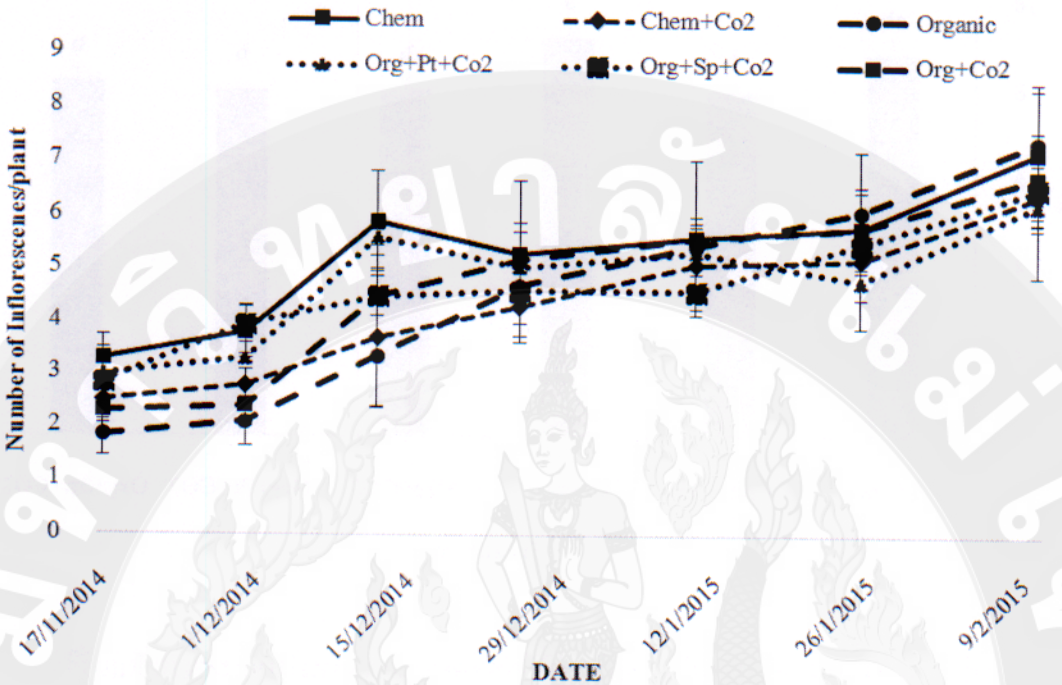


ภาพที่ 8 อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อความยาวใบของสตรอว์เบอร์รี



ภาพที่ 9 อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อความยาวก้านใบของสตรอว์เบอร์รี

นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อความยาวของก้านใบอย่างมีนัยสำคัญ จากการทดลองพบว่าไม่ว่าจะมีการคลุมเหนือแปลงหรือไม่ก็ตามร่วมกับการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีผลทำให้ความยาวก้านใบสั้นลงกว่าสิ่งทดลองควบคุมในระบบเคมีและอินทรีย์ (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 10 อิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อจำนวนช่อดอกของสตรอว์เบอร์รี

จำนวนช่อดอก จากการทดลองพบว่าการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มีผลทำให้จำนวนช่อดอกต่อต้นเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในช่วงสามสัปดาห์แรกของการบันทึกข้อมูลมีการแทงช่อดอกและมีจำนวนดอกเพิ่มขึ้นในทุกสิ่งทดลอง และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงครั้งสุดท้ายแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 10) โดยจำนวนช่อดอกมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6.4-7.4 ต่อต้น

ปริมาณชีวมวล จากการทดลองพบว่าการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งราก (RDW) และน้ำหนักชีวมวลรวม (TBS) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเป็นที่สังเกตว่าน้ำหนักชีวมวลรวม (TBS) ของทุกสิ่งทดลองที่ปลูกในระบบอินทรีย์ค่าสูงกว่าการปลูกในระบบเคมี สิ่งทดลองที่ทำให้สตรอว์เบอร์รีมีน้ำหนักรากแห้ง (RDW) และชีวมวลรวม (TBS) สูงที่สุดคือ Org ส่วนน้ำหนักสดต้นและราก นำหนักแห้งต้น และอัตราส่วนระหว่างรากต่อต้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตาราง 1)

ตาราง 1 อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณชีวมวลของสตรอว์เบอร์รีในระบบปลูกอินทรีย์ภายใต้การเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์

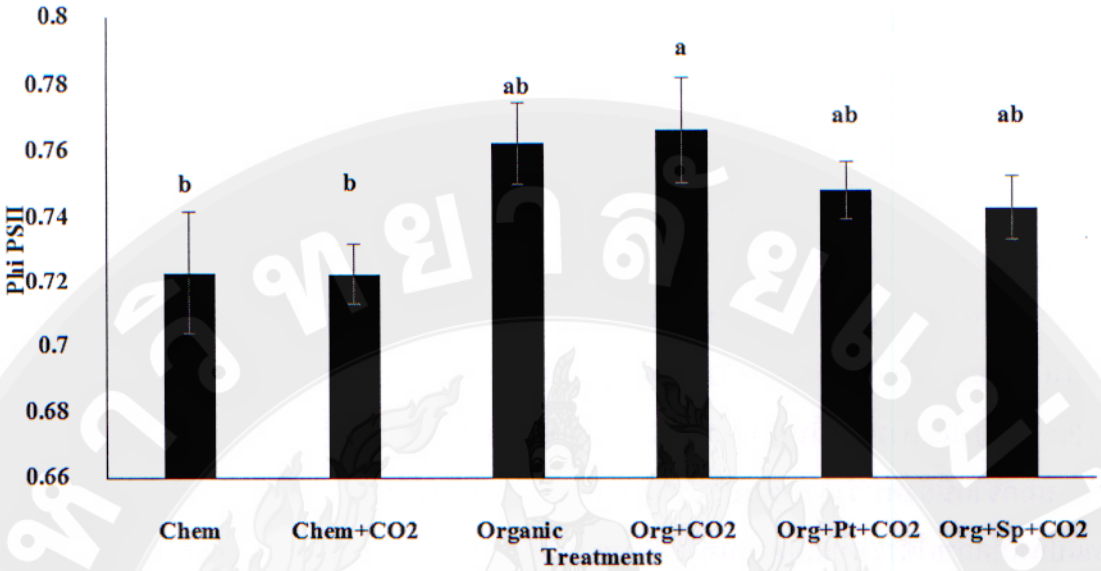
Treatments	DWS	DWR	FWS	FWR	TBS	R/S
Chem	18.87	25.61 b	78.81	25.61	44.47 b	0.35
Chem+CO_2	19.58	23.60 b	75.08	23.60	43.17 b	0.33
Org+Pt+CO_2	11.44	37.01ab	46.95	13.42	48.45 b	0.28
Org+Sp+CO_2	16.70	41.72 ab	77.37	16.11	58.41 ab	0.22
Org+CO_2	16.05	51.34 a	67.96	14.33	67.39 ab	0.22
Org	19.38	56.15a	83.67	14.43	75.53 a	0.18
F-test	**ns**	*	**ns**	**ns**	*	**ns**
c.v.%	**36.50 %**	**36.42%**	**31.60%**	**60.34%**	**27.59%**	**65.26%**

DWS=Dry weight of shoot, DWR=Dry weight of root, FWS=Fresh weight of shoot, FWR=Fresh weight of root, TBS=Total biomass, R/S=root/shoot (n=10) ns=non-significant difference

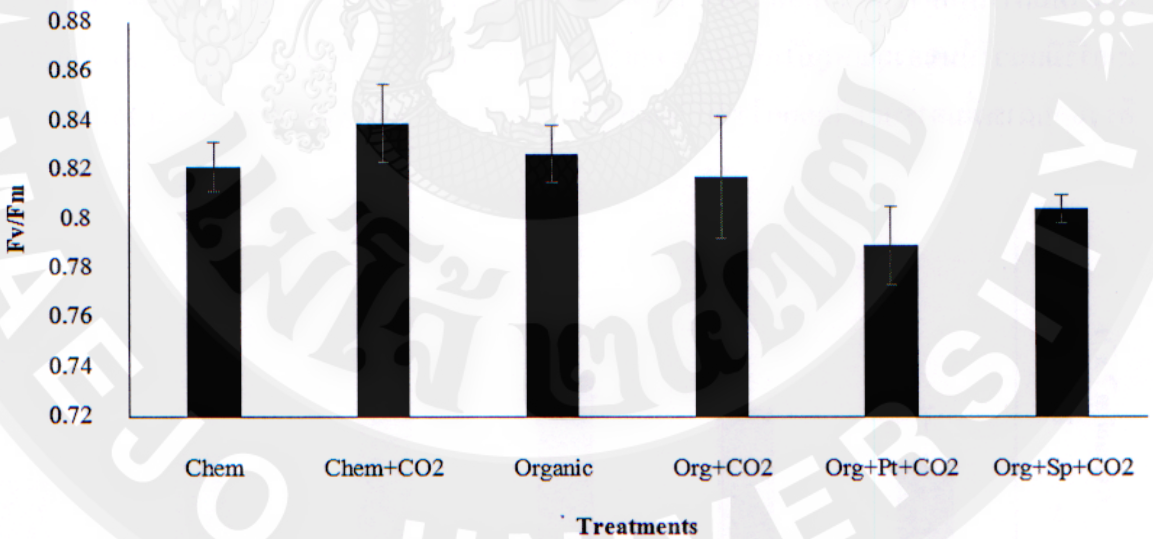
*=significance level of 0.05

ดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์

ดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของแสงในระบบแสงที่สองของพืช โดยค่าที่เป็นดัชนีที่นำมาวัดนั้นประกอบไปด้วย ค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองภายใต้สภาวะที่มีแสง (Phi PSII) ค่าประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดของระบบแสงที่สอง (Fv/Fm) ทั้งสองค่านี้เป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นที่นิยมนำมาประเมินสภาวะเครียดของพืช โดยทั่วไปแล้วค่าเหล่านี้จะอยู่ประมาณ 0.8 จากผลการทดลองครั้งนี้ค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองภายใต้สภาวะที่มีแสง (Phi PSII) ในสตรอว์เบอร์รีที่ได้รับการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศร่วมกับการคลุมเหนือแปลงภายใต้ระบบเกษตรอินทรีย์ พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยสตรอว์เบอร์รีที่ปลูกภายใต้ระบบเกษตรอินทรีย์ทุกสิ่งทดลองมีค่า Phi SPII สูงกว่าในระบบเคมี แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สิ่งทดลองปลูกในระบบอินทรีย์ร่วมกับการให้คาร์บอนไดออกไซด์ (Org+ CO2) มีค่า Phi PS II สูงสุด คือ 0.767 และมีค่าต่ำสุดในการปลูกในระบบเคมี (Chem) และการปลูกในระบบเคมีร่วมกับการให้คาร์บอนไดออกไซด์ (Chem+CO2) (ภาพที่ 11) ส่วนค่าประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดของระบบแสงที่สอง (Fv/Fm) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.78-0.84 ค่า Fv/Fm ในใบสตรอว์เบอร์รีที่ปลูกภายใต้ระบบเกษตรอินทรีย์ร่วมกับการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศสูงสุดพบในการปลูกในระบบเคมีร่วมกับการให้คาร์บอนไดออกไซด์ (Chem+CO2) และการปลูกในระบบเคมี (Chem) ตามลำดับ (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 11 อิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่ 2 (Phi PSII)

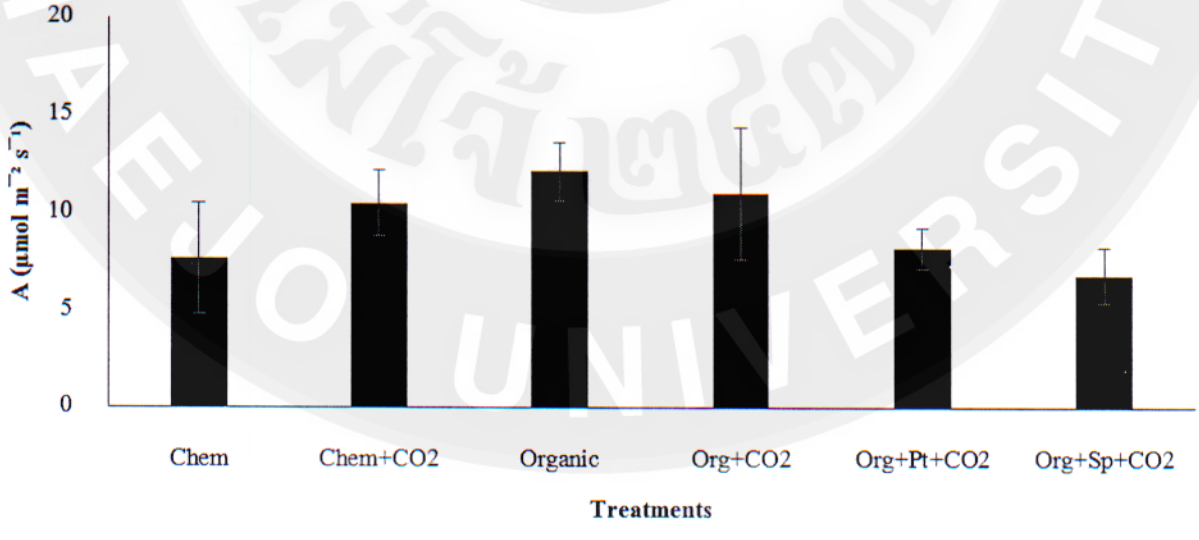


ภาพที่ 12 แสดงอิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดของระบบแสงที่สอง (Fv/Fm)

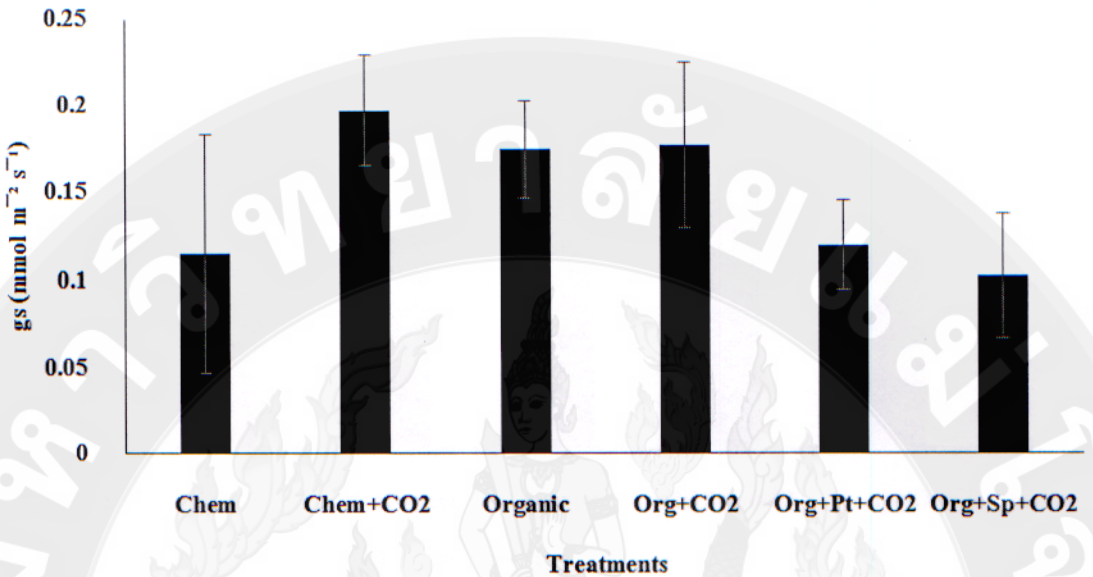
ดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนแก๊ส

ผลการศึกษาค่าที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนแก๊ส พบว่าการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศต่อการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์ในสตอเบอรีที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ภายใต้สภาพแปลงเปิด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติของค่าอัตราการสังเคราะห์แสง (Net CO2 assimilation rate: A) อัตราการนำไหลของปากใบ(Stomata conductance: gs) โดยค่าเหล่านี้มีค่าที่ต่ำในสิ่งทดลองปลูกในระบบอินทรีย์ร่วมกับการคลุมด้วยผ้าใยสังเคราะห์สปันบอนด์และมีการให้คาร์บอนไดออกไซด์ (Org+Sp+ CO2) การคลุมด้วยพลาสติกและมีการให้คาร์บอนไดออกไซด์ (Org+Pt+ CO2) และการปลูกในระบบเคมี (Chem) ดังภาพที่ 13 และภาพที่ 14

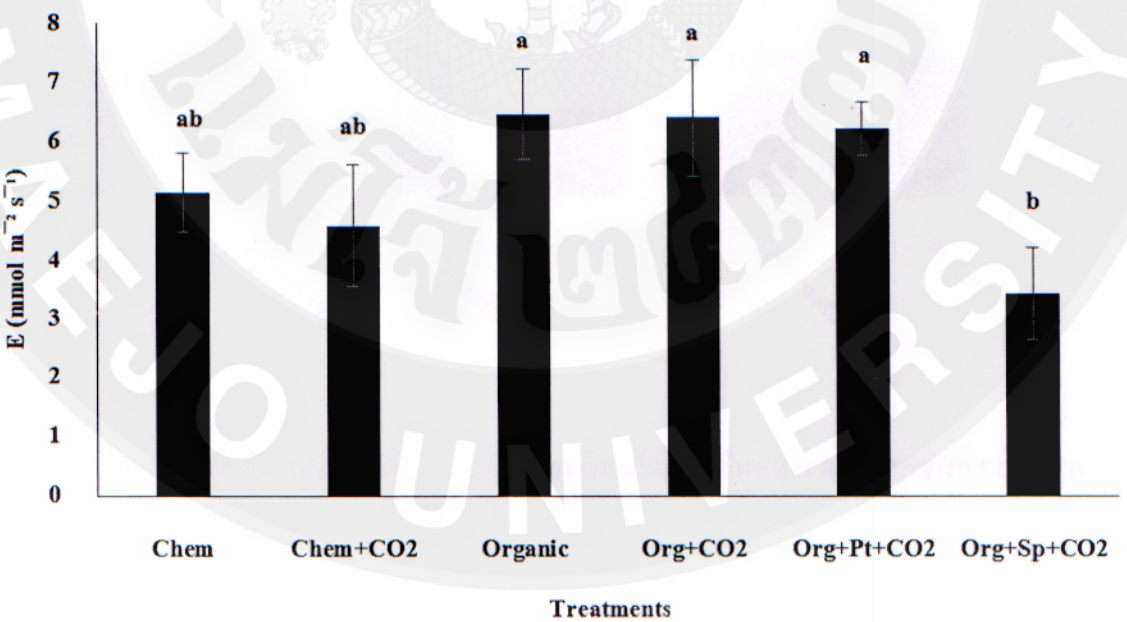
นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศกับสตรอว์เบอร์รีที่ปลูกในสภาพแปลงเปิดภายใต้ระบบเกษตรอินทรีย์ มีผลทำให้เกิดความแตกต่างกันทางสถิติของค่าอัตราการคายระเหยของน้ำ(E) เห็นได้ว่าในสิ่งทดลองการคุมเหนือแปลงด้วยผ้าใยสังเคราะห์สปันบอนด์ร่วมกับการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (Org+Sp+ CO2) มีอัตราการคายระเหยของน้ำน้อยที่สุด (ภาพที่ 15) ส่วนอุณหภูมิใบพบว่าในระหว่างสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับสภาพการปลูกแบบเคมีและไม่มีการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ โดยหากมีการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศให้กับสตรอว์เบอร์รีมีแนวโน้มของอุณหภูมิใบที่ต่ำกว่า ยกเว้นในสิ่งทดลองที่มีการคลุมเหนือแปลงด้วยพลาสติกใสพีอีร่วมกับการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอุณหภูมิใบสูงสุด (40.2 องศาเซลเซียส) (ภาพที่ 16)



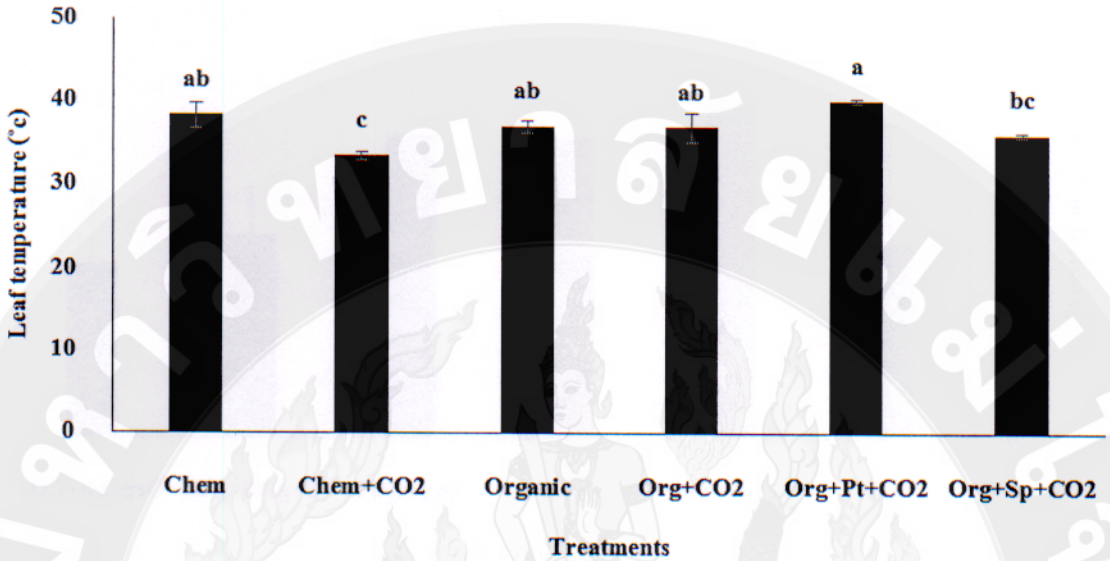
ภาพที่ 13 อิทธิพลของการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสง



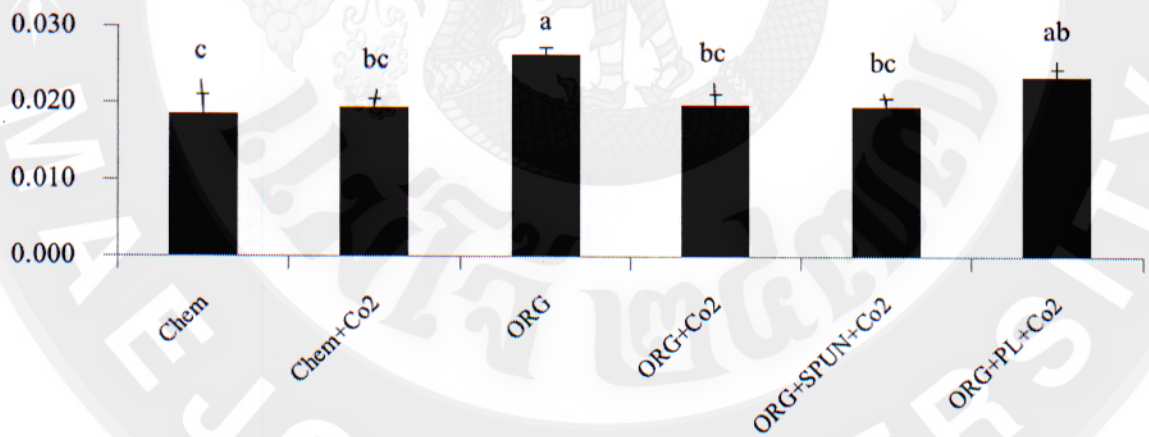
ภาพที่ 14 อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่ออัตราการนำไหลของปากใบ



ภาพที่ 15 อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่ออัตราการคายระเหยของน้ำ



ภาพที่ 16 อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่ออุณหภูมิใบ

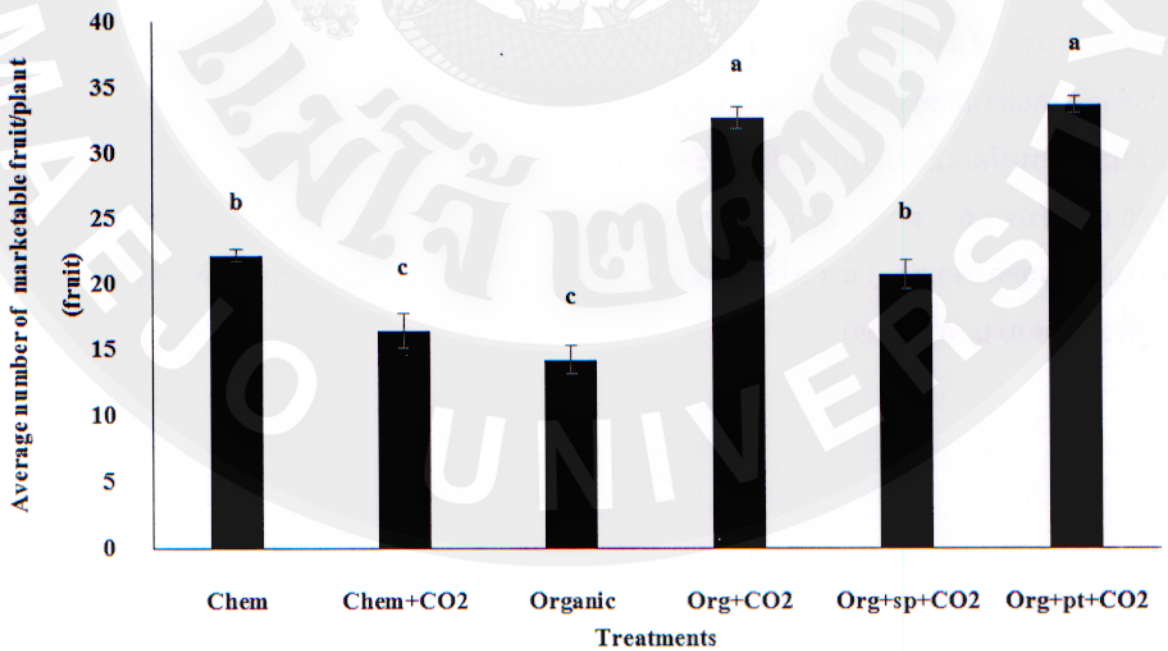


ภาพที่ 17 อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลต่อปริมาณแป้งรวมในลำต้นของสตรอว์เบอร์รี่

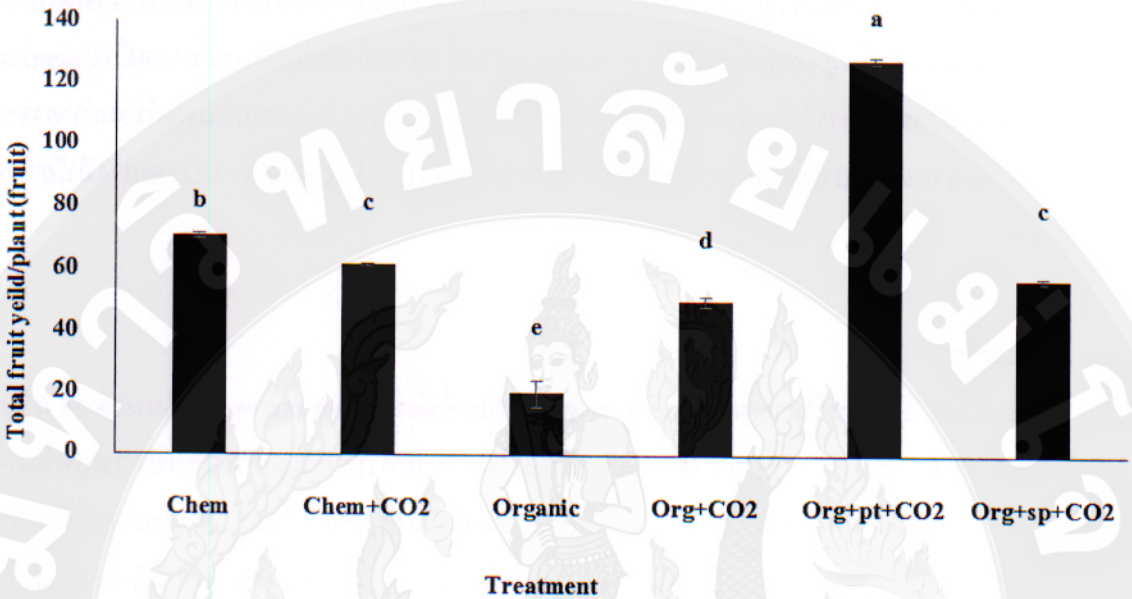
ผลการวิเคราะห์ปริมาณแป้งรวมในลำต้น พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ สิ่งทดลองที่มีปริมาณแป้งรวมในลำต้นสูงที่สุดคือ Org และแตกต่างจากสิ่งทดลองที่ปลูกในระบบเคมี (Chem) และในระบบอินทรีย์ร่วมกับการให้คาร์บอนไดออกไซด์ (Org+ CO2) และ ในระบบอินทรีย์ร่วมกับการคลุมด้วยผ้าใยสังเคราะห์สปันบอนด์และมีการให้คาร์บอนไดออกไซด์ (Org+Sp+ CO2)อย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 17)

ผลผลิต

เมื่อทำการบันทึกปริมาณผลผลิตที่มีขนาดผลที่เป็นที่ต้องการของตลาด (ผลมีขนาด 25 กรัมขึ้นไป) พบว่าการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมในอากาศกับการคลุมเหนือแปลงปลูกมีผลต่อปริมาณผลผลิตที่เป็นที่ต้องการของตลาดเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในสิ่งทดลองที่มีการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับการคลุมด้วยพลาสติกใสพีอี (Org+Pt+CO2) ให้ผลผลิต ที่มีขนาดผลตั้งแต่ 25.0 กรัมขึ้นไปเฉลี่ยจำนวน 33.75 ผลต่อต้น และสิ่งทดลองที่มีจำนวนผลที่มีขนาดต่ำกว่า 25.00 กรัมเฉลี่ย น้อยที่สุดคือการปลูกในระบบอินทรีย์ (Org) เพียงอย่างเดียว(14.25 ผลต่อต้น) แสดงในภาพที่ 18

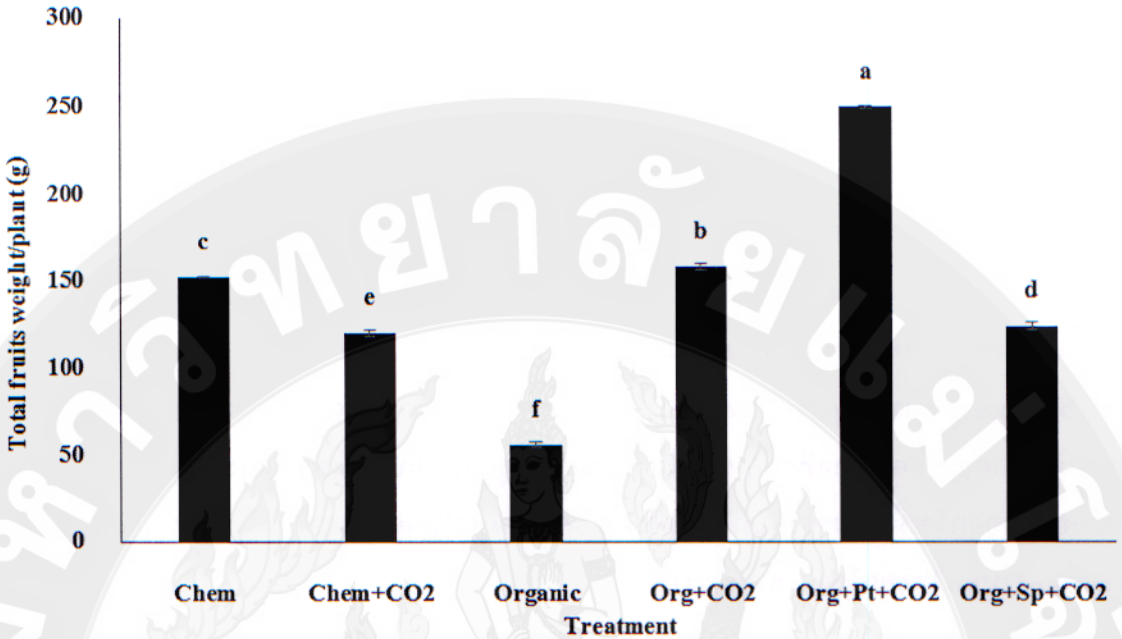


ภาพที่ 18 อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตที่เป็นความต้องการของตลาด



ภาพที่ 19 อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณผลรวมเฉลี่ยต่อต้น

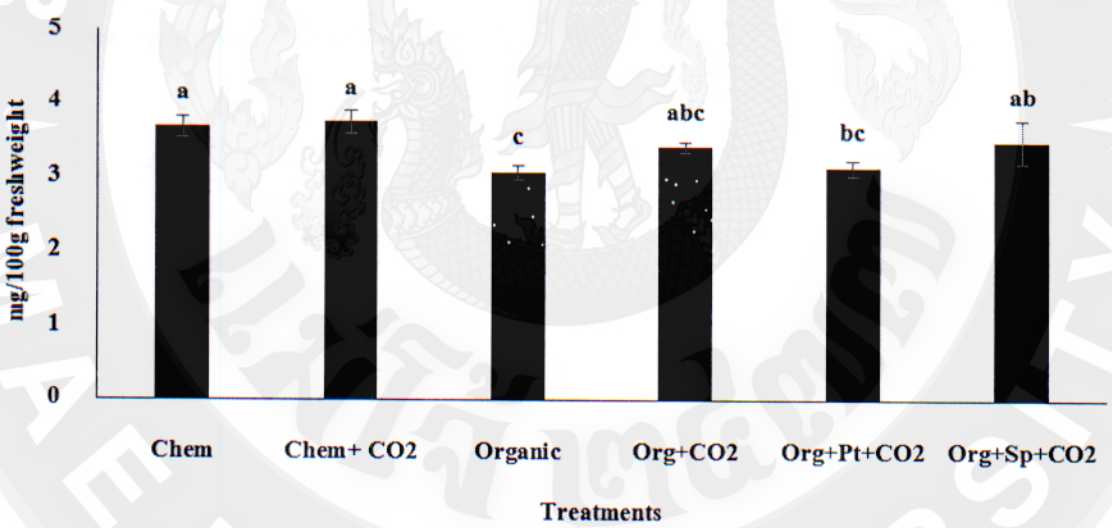
ในทางเดียวกันในการทดลองนี้พบว่าการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศร่วมกับการคลุมเหนือแปลงทำให้น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ต่อต้น และจำนวนผลรวมเฉลี่ยต่อต้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยสิ่งทดลองที่มีการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับการคลุมพลาสติกใสพีอี (Org+Pt+CO2) มีจำนวนน้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ต่อต้น และจำนวนผลรวมเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ 127.75 ผล/ต้น และ 250.00 กรัมต่อต้น ตามลำดับ และพบว่าการปลูกในระบบอินทรีย์ที่ไม่มีการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (Org) ส่งผลให้น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ต่อต้น และจำนวนผลรวมเฉลี่ยต่อต้นน้อยที่สุดอยู่ที่ 20 ผลต่อต้น (ภาพที่ 19)



ภาพที่ 20 อิทธิพลของการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณน้ำหนักผลผลิตรวมต่อต้น

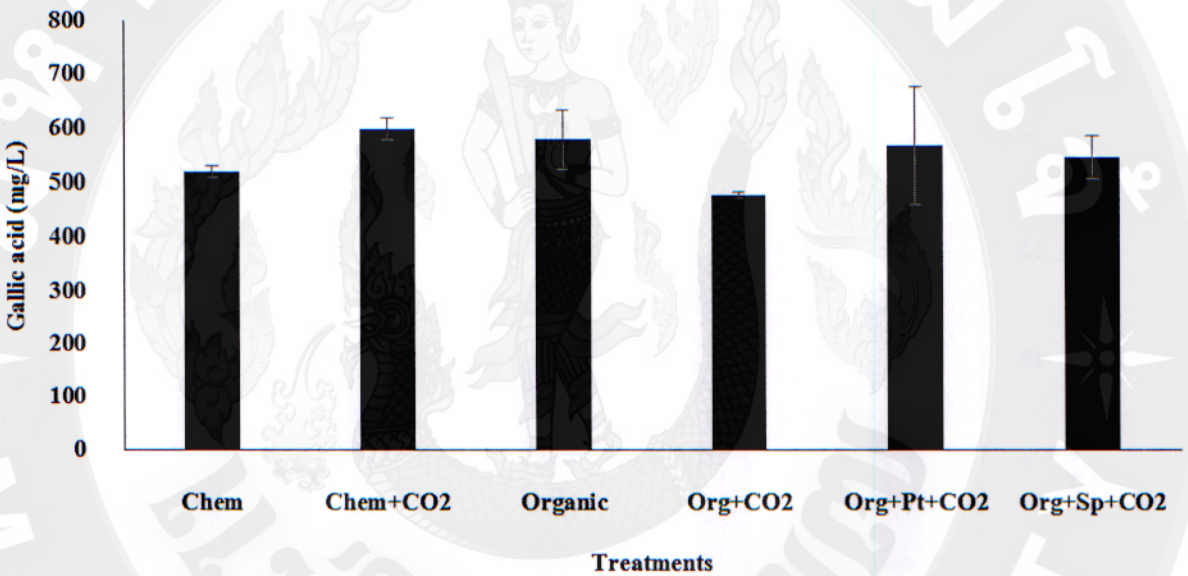
สารต้านอนุมูลอิสระ

เพื่อศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสตระในผลของสตรอว์เบอร์รี การทดลองครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์วิตามินซี ฟีโนลิคส์รวม และฟลาโวนอยส์ จากทดลองพบว่าปริมาณวิตามินซีในผลสตรอว์เบอร์รีมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยสตรอว์เบอร์รีที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างระหว่างกัน และเมื่อเทียบกับระบบเคมี ยกเว้นในสิ่งทดลอง Organic และ Org+Pt+CO2 ที่มีปริมาณวิตามินซีต่ำกว่าสิ่งทดลองที่ปลูกในระบบเกษตรเคมีอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกันภายในระบบการปลูกแบบอินทรีย์เพียงอย่างเดียว เห็นได้ว่าการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศทำให้ปริมาณวิตามินซีสูงในผลสตรอว์เบอร์รีสูงกว่าสิ่งทดลองที่ไม่มีการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ (ภาพที่ 21)



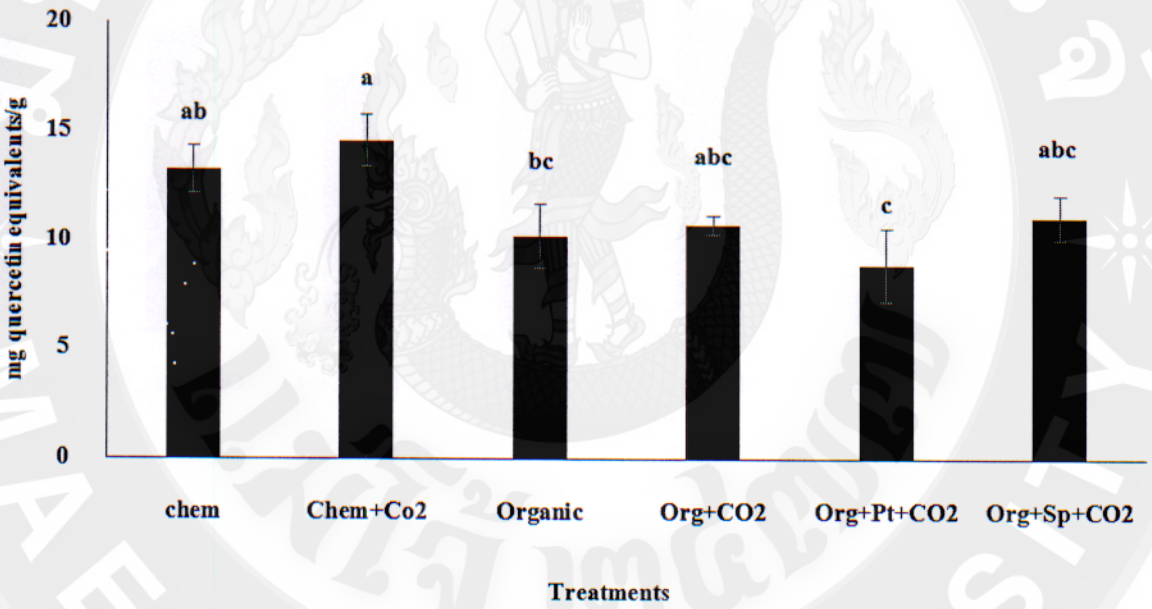
ภาพที่ 21 อิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศต่อปริมาณวิตามินซีในผลสตรอว์เบอร์รีที่ปลูกภายในระบบเปิด

ส่วนปริมาณฟีโนลิคส์รวม ในผลสตรอว์เบอร์รีจากการทดลองพบว่าปริมาณฟีโนลิคส์รวม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ทั้งในระบบเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ที่มีการคลุมและไม่คลุมเหนือแปลง โดยสิ่งทดลองที่มีปริมาณสูงที่สุดคือ การปลูกในระบบเกษตรเคมีร่วมกับการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (ภาพที่ 22)



ภาพที่ 22 ปริมาณฟีโนลิคส์รวมในผลสตรอว์เบอร์รีที่ปลูกภายในระบบเปิดด้วยการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และคลุมเหนือแปลง

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณ Flavonoids พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติโดยสิ่งทดลองที่ทำการปลูกในระบบอินทรีย์ร่วมกับการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์และไม่เพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณฟลาโวนอยส์ ต่ำกว่าการปลูกในระบบเคมีทั้งที่มีเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์และไม่เพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ และสิ่งทดลองที่มีปริมาณฟลาโวนอยส์ มากที่สุดคือการปลูกในระบบเคมีร่วมกับการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์โดยมีปริมาณ ปริมาณฟลาโวนอยส์อยู่ที่ 14.63 มิลลิกรัม quercetin equivalents/g และสิ่งทดลองที่ให้ปริมาณปริมาณฟลาโวนอยส์ต่ำที่สุดคือสิ่งทดลองที่ทำการปลูกในระบบอินรีย์ที่มีการคุลมเหนือแปลงด้วยพลาสติกร่วมกับการให้คาร์บอนไดออกไซด์ให้เพียง 8.9 มิลลิกรัม quercetin equivalents/g (ภาพที่ 23)



ภาพที่ 23 อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลต่อปริมาณฟลาโวนอยส์

วิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นอิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในในบรรยากาศที่มีผลต่อการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของสตรอว์เบอร์รีที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ โดยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้เพิ่มในบรรยากาศนั้นเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตด้วยการใช้วัสดุที่แตกต่างกันคือน้ำตาลทรายแดงและกากน้ำตาลในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน พบว่าที่อัตราส่วนของกากน้ำตาลและน้ำตาลทรายต่อน้ำที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตได้ และในสภาพที่มีอุณหภูมิคงที่มีปริมาณระยะเวลาที่สูงและยาวนานขึ้นกว่าในสภาพอุณหภูมิปกติ โดยภายใต้สภาวะควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส การใช้น้ำตาลทรายแดงต่อน้ำในอัตราส่วน 400 กรัม: 1,000 มิลลิลิตร มีการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยสูงที่สุดคือ 701.8 พีพีเอ็ม ส่วนในสภาพอุณหภูมิธรรมชาติ (อุณหภูมิเฉลี่ย 29.27 องศาเซลเซียส) พบว่าการใช้น้ำตาลทรายแดงต่อน้ำในอัตราส่วน 200 กรัม: 1,000 มิลลิลิตร มีการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยสูงที่สุดคือ 640.8 พีพีเอ็ม ซึ่งมีค่าสูงกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในสภาพธรรมชาติประมาณ 234.75 พีพีเอ็ม และ 153.8 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Smallegange et al. (2010) และ Mweresa et al., (2014) ทำการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์โดยการใช้น้ำตาลและกากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบอินทรีย์เริ่มต้นสำหรับการผลิตคาร์บอนไออกไซด์สำหรับล่อยุงในสภาพแปลงเปิดซึ่งพบว่าการใช้น้ำตาลทรายต่อน้ำในอัตรา 250 กรัม: 2,000 มิลลิลิตร ร่วมยีสต์ 17.5กรัม มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าการใช้กากน้ำตาลต่อน้ำในอัตรา 125 กรัม: 2,000 มิลลิลิตร ร่วมยีสต์ 8.5 กรัมและ17.5 กรัมตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเพิ่มปริมาณกากน้ำตาลและยีสต์ขึ้นหนึ่งเท่าตัวทำให้มีปริมาณทำให้มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าการใช้น้ำตาลทรายเป็นวัตถุดิบเริ่มต้น แต่ในการศึกษาครั้งนี้ทำการเติมยีสต์เพียง 5 กรัมและมีปริมาณของกากน้ำตาลที่สูงกว่าซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบอินทรีย์เริ่มต้นมีการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำกว่าการใช้กากน้ำตาล เพราะความเข้มข้นของกากน้ำตาลที่ใช้มีสูงและมีสัดส่วนที่ไม่สมดุลกับปริมาณของยีสต์ในการเกิดกิจกรรมการหมัก ดังนั้นปัจจัยที่มีความสำคัญและมีอิทธิพลต่อการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์คืออัตราส่วนของวัตถุดิบเริ่มต้นต่อปริมาณของยีสต์ที่เหมาะสมสามารถทำให้มีอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่คงตัว และยาวนานเพิ่มขึ้น (Mweresa *et al.*, 2014) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตในสภาวะธรรมชาติด้วยวัสดุทั้งสองชนิดมีระยะเวลาที่มีการผลิตปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าในอากาศสั้นกว่าในสภาพที่มีอุณหภูมิคงที่ เนื่องจากในสภาวะที่อุณหภูมิตั้งแต่ที่ 30 องศาเซลเซียสขึ้นไป อัตราการหมักของยีสต์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจนโดยการจะ

เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและจะเริ่มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่าหรือใกล้เคียง 40 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกิจกรรมการหมักที่เกิดขึ้นในสภาวะที่แตกต่างกันย่อมมีกิจกรรมที่แตกต่างกันไปด้วย (Daniel Qu *et al*., 2011)

เมื่อทำการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศให้กับสตรอบเบอรีที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ใสภาพแปลงเปิดไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นของสตรอเบอรรีพันธุ์พระราชทาน ๘๐ ทั้งที่มีการคลุมและไม่คลุมเหนือแปลงปลูก เมื่อเทียบกับการไม่เพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้น้ำหนักแห้งชีวมวลของสตรอว์เบอร์รีเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเป็นที่น่าสังเกตุว่าการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับสตรอว์เบอร์รีแล้วมีการคลุมเหนือแปลงทำให้ดัชนีทางสรีรวิทยาของทั้งปฏิกิริยาแสงและปฏิกิริยาคาร์บอนลดต่ำลงหลายค่า เช่น อัตราการนำไหลของปากใบ ประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดของระบบแสงที่สอง (Fv/Fm) อัตราการสังเคราะห์แสง อัตราการคายระเหยของน้ำ โดยเฉพาะต้นสตรอว์เบอร์รีที่มีการคลุมเหนือแปลงด้วยผ้าใยสังเคราะห์สปันด์บอนด์ (Org+Sp+CO2) กิจกรรมเหล่านี้เป็นไปได้ว่าถูกรบกวนโดยปริมาณความเข้มแสงที่ผ่านลงมาได้น้อยเนื่องจากผ้าใยสังเคราะห์สปันด์บอนด์มีลักษณะสีขาวขุ่นแสงผ่านได้น้อยทำให้แสงตกกระทบลงมาถึงใบสตรอว์เบอร์รีได้น้อยจึงส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดต่ำลง โดยทั่วไปแล้วการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับสตรอว์เบอร์รีในสภาพอุณหภูมิอบอุ่น (25-28 องศาเซลเซียส) และแสงที่อิ่มตัวจะมีประโยชน์ในการส่งเสริมประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของสตรอว์เบอร์รีเพิ่มสูงขึ้น (Brushway and Pritts, 2002) แต่อย่างไรก็ตามการค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Fv/Fm และ Phi PSII ยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ และไม่ส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์ แสดงให้เห็นว่าสตรอว์เบอร์รีในระบบเกษตรอินทรีย์ทั้งนี้ไม่ได้อยู่ในสภาวะเครียดจากธาตุอาหาร สอดคล้องกับ Brushway and Pritts (2002) ที่รายงานว่าการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับการคลุมเหนือแปลงด้วยผ้าในสังเคราะห์สปันด์บอนด์ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงดีขึ้นเนื่องจากการคลุมเหนือแปลงสามารถรักษาให้คาร์บอนไดออกไซด์บริเวณทรงพุ่มและใบของสตรอว์เบอร์รีได้ ซึ่งสาเหตุหนึ่งน่าเกิดมาจากอุณหภูมิภายใต้ใยผ้าสปันด์บอนด์และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมมีสูงกว่างานทดลองของ Brushway and Pritts, (2002) ที่พบว่าถ้าหากความเข้มของแสงลดลง 25เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการสังเคราะห์จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิอยู่ที่ 15 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อมีการคลุมเหนือแปลงด้วยผ้าใยสังเคราะห์ สปันบอนด์ยังส่งผลต่ออัตราการนำไหลของปากใบและอัตราการคายระเหยของสตรอว์เบอร์รีในระบบเกษตรอินทรีย์ที่มีการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ลดต่ำมากที่สุด จากการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการคลุมเหนือแปลงมี

แนวโน้มทำให้การเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและค่าดัชนีทางสรีรวิทยาดีกว่าการคลุมร่วมเหนือแปลง นอกจากนี้ผลการทดลองแสดงให้เห็นชัดเจนว่าการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตของสตรอเบอร์ได้ และยังสามารถส่งเสริมด้านคุณภาพของผลผลิตที่ตลาดต้องการให้สูงขึ้น ตลอดจนจำนวนผลรวมต่อต้น น้ำหนักเฉลี่ยต่อผลด้วย (Chen et al. 1997; Sun *et al.*, 2012) นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศให้กับสตรอว์เบอร์รีที่ปลูกในสภาพแปลงยังส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของวิตามินซีและฟลาโวนอยด์ด้วยเช่นกันสอดคล้องกับ Wang et al (2003) พบว่าปลูกสตรอว์เบอร์รีภายใต้สภาวะการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศสามารถทำให้ปริมาณพฤกษเคมี สารต้านอนุมูลอิสระ ในผลสตรอว์เบอร์รีเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ยังส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของกรดแอสคอร์บิค (ascorbic acid) และกลูต้าไทโอน (glutathione) และอัตราส่วนระหว่างกรดแอสคอร์บิคต่อกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิค (dehydroascorbic acid) กับ กลูต้าไทโอนต่อออกซิไดซ์กลูต้าไทโอน (oxidized glutathione) อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงมากเกินไปยังส่งผลต่อการลดลงของกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิคในผลสตรอว์เบอร์รี อีกอย่างการปลูกสตรอว์เบอร์รีภายใต้สภาวะการเพิ่มความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เพียงแต่ทำให้ระดับของแอนโทไซยานิน (anthocyanins) ฟีโนลิครวม (total phenolics) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ในผลเพิ่มสูงขึ้น (Wang et al., 2003) แต่ยังทำให้มีการเพิ่มขึ้นกิจกรรมของ oxygen radical absorbance ในการต่อต้านกิจกรรมของ oxygen species และยังมีงานวิจัยอีกหลายชิ้นที่ได้มีการนำการใช้เทคนิคการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศในการเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในพืชหลายชนิด

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

สรุป

การศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าน้ำตาลทรายแดงและกากน้ำตาลสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในสภาวะที่แตกต่างกัน คือ น้ำตาลทรายแดงต่อน้ำในอัตรา 200 กรัม: 1000 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิปกติให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุดเฉลี่ย 640.0 พีพีเอ็ม และในอุณหภูมิควบคุม 25 องศาเซลเซียส สิ่งทดลองที่ใช้กากน้ำตาล 200 กรัมต่อน้ำ 500 มิลลิลิตร ทำให้มีการผลิตปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยสูงที่สุด คือ 701.75 พีพีเอ็ม การเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศให้กับสตรอบเบอรีที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ใสภาพแปลงเปิดไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นของสตรอเบอรรีพันธุ์พระราชทาน ๘๐ ทั้งที่มีการคลุมและไม่คลุมเหนือแปลงปลูก เมื่อเทียบกับการไม่เพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้น้ำหนักแห้งชีวมวลของสตรอว์เบอร์รีเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับสตรอว์เบอร์รีร่วมกับการคลุมเหนือแปลงทำให้ดัชนีทางสรีรวิทยาของทั้งปฏิกิริยาแสงและปฏิกิริยาคาร์บอนลดต่ำลงหลายค่า เช่น อัตราการนำไหลของปากใบ ประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดของระบบแสงที่สอง (Fv/Fm) อัตราการสังเคราะห์แสง อัตราการคายระเหยของน้ำ โดยเฉพาะต้นสตรอว์เบอร์รีที่มีการคลุมเหนือแปลงด้วยผ้าใยสังเคราะห์สปันด์บอนด์ ด้านของผลผลิตการทดลองที่ปลูกระบบอินทรีย์ร่วมการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์โดยมีการคลุมเหนือแปลงพลาสติกจะมีปริมาณผลผลิตที่เป็นความต้องการของตลาด ผลผลิตรวมและน้ำหนักผลผลิตรวมต่อต้นสูงที่สุด ทางด้านของสารต้านอนุมูลอิสระสิ่งทดลองที่ให้ปริมาณวิตามินซีและปริมาณ ฟลาโวนอยด์ สูงที่สุดคือสิ่งทดลองที่ในระบบเคมีร่วมกับการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนปริมาณสารประกอบฟีโนลิคส์ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร, 2548 : www.doae.go.th

ชูพงษ์ สุกุมลนันท์. 2530. สตรอว์เบอร์รี. โรงพิมพ์โอ. เอส. พริ้นติ้งเฮาส์ กรุงเทพมหานคร.

ไชยวัฒน์ วัฒนไชย. 2544. กรอบแนวคิด-การดำเนินงานส่งเสริมการทำเกษตรอินทรีย์. เอกสารประกอบคำบรรยาย "แนะนำโครงการเกษตรอินทรีย์". กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

รงค์ชัย พิพัฒธนวงศ์. 2550. การผลิตไม้ผลเมืองหนาวขนาดเล็กในเขตร้อน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.

ภานุมาศ ฤทธิไชย, เยาวพา จิระเกียรติกุล และ รัชชพร เรืองศรี. 2555. ผลของการพรางแสงต่อการเจริญเติบโต การให้ผลผลิตและสารต้านอนุมูลอิสระของดอกพระจันทร์ (*Ipomoea alba* L.). วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 20:339-347.

สำนักงานเกษตรจังหวัดเชียงใหม่และมหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2555. โครงการพัฒนาการผลิตและคุณภาพพืชผักปลอดภัยทั้งระบบ ภายใต้โครงการกลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนบน 1. สำนักงานเกษตรจังหวัดเชียงใหม่ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สมคิด ดิสถาพร. มปป. แนวทางการผลิตพืชอินทรีย์. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ. 2552. ผลกระทบของเทคโนโลยีชีวภาพต่อประสิทธิภาพการผลิตสตรอว์เบอร์รีของเกษตรกรไทย. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

องค์การบริหารส่วนตำบลบ่อแก้ว. มปป. การผลิตสตรอว์เบอร์รีในพื้นที่ตำบลบ่อแก้ว อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่. มปพ.

Ames, B.M., Shigena, M.K., and T.M.Hagen. 1993. Oxidants, antioxidants and the degenerative diseases of aging.Proc Natl Acad Sci USA 90:7915–7922.

Arancon, N. Q., C. A. Edwards, P. Bierman, C. Welch, J. D Metzger. 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. Bioresource Technology, 2004, Vol. 93, No.2, pp.145-153.

Asami, D.K., Hong, Y.J,. Barrett, D.M, Mitchell, AE. 2003. Comparison of the Total Phenolic and Ascorbic Acid Content of Freeze-Dried and Air-Dried Marionberry, Strawberry, and Corn Grown Using Conventional, Organic, and Sustainable Agricultural Practices. *J. Agric. Food Chem.*, 2003, 51 (5), pp 1237–1241

Baysal-Gurel, F., Gardener, B.M., Miller, S.A. 2012. Soilborne disease management in organic vegetable production. Available on: www.extension.org/pages/64951. [Accessed: February 28, 2016]

Benson D.M., Grand L.Heinonen IM, Meyer AS and Frankel EN, 1998.Antioxidant activity of berry phenolics on human low-density lipoprotein and liposome oxidation. J Agric Food Chem46:4107–4112.

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.

Bushway, L.J. and Pritts, M.P. 2002. Enhancing early spring microclimate to increase carbon resources and productivity in June-bearing strawberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **127**: 415-422.

Bushra, S. Farooq, A.; Muhammad, A. 2009. Effect of extraction solvent/technique on the antioxidant activity of selected medicinal plant extracts. Molecules, 14, 2167–2180.

Carroll, J., Pritts, M., Heidenreich, C. 2013. "2013 Production Guide for Organic Strawberries." New York State Integrated Pest Management Program, Cornell University, Ithaca, New York.

Chen K, Hu GQ, Lenz F. 1997. Effect of CO_2 concentration on strawberry. IV. Carbohydrate production and accumulation. J Appl Bot-Angew Bot 71: 183–188.

Darrow, G.M. 1969. The Strawberry. The new England Institute for Medical Research.

Daniel, Qu., Ani, K., Yixin, Zhu., Atanas, B., Mostafa, A. 2011. The Combined Effect of Sucrose and Other Essential Substances on the Yeast Growth in an Anaerobic Enviroนาโนเมตรent. J. of. Youth in Sci. 9-18 11:38

DØving, A. 2009. Climate Change and Strawberry Season in Norway. Act hort. 842: 753-757.

Edwards, C.A., 1998. The use of earthworms in the breakdown and management of organic wastes. In: Earthworm Ecology. CRC Press LLC, Boca Raton, Fl, pp. 327–354.

Elad, Y. Nikolaos E. Malathrakist and Aleid J. Dik. 1996. Biological control of Botrytis-incited diseases and powdery mildews in greenhouse crops. Crop Protection. V 15. 229-240.

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.

Frank J. Louws. 2004. Specific Detection of Phytophthora Crown Rot and Anthracnose in Strawberry. PRODUCTION RESEARCH. Dept. Plant Pathology. North Carolina State University, USA.

Faller, A.L.K. E. Fialho.2009. The antioxidant capacity and polyphenol content of organic and conventional retail vegetables after domestic cooking. Food Research International. 42 ; 210–215.

Fernandes, V., C., Domingues, V., F., De Freitas, V., Delerue-Matos, C., Mateus, N. 2012. Strawberries from integrated pest management and organic farming: Phenolic composition and antioxidant properties. Food Chemistry, vol. 134, no. 4, p. 1926-1931. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.130 .

Guerena M, Born H. Fayetteville: ATTRA; 2007. Strawberries: Organic Production. Available: www.attra.ncat.org/attra-pub/PDF/strawberry.pdf. Accessed on 2014 October 25.

Gaskell, M. 2004. Nitrogen availability, supply, and sources in organic row crops. p. 13-20. California Conference on Biological Control CCBC IV. Proceedings of California Organic Production and Farming in the New Millennium: A Research Symposium. International House, Berkeley, California.

Gast, K.L.B. and J.E. Pollard. 1989. Seaonal difference in soluble and insoluble nonstructural carbohydrates in rowcovered and non-rowcovered strawberry. Acta. Hort. 265:369-376.

Gent, M.P.N. 1990. Rippening and fruit weight of eight strawberry cultivars respond to row covered removal date. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115:202-207.

Hamamota, H. 1996. Effect of no-woven rowcover on plant enviroนาโนเมตรent and growth. Jpn. Agr. Res. Quarterly 30:49-53.

Hartz, T.K., J.E. DeVay and C.I. Elmore. 1993. Solarization is an effective solar disinfestation technique for strawberry production. HortScience 28: 104-106.

Heinonen IM, Meyer AS and Frankel EN, 1998.Antioxidant activity of berry phenolics on human low-density lipoprotein and liposome oxidation. J Agric Food Chem46:4107–4112Ibrahim, M.H.and H.Z.E. Jaafar.2011. Increased Carbon Dioxide Concentration Improves the Antioxidative Properties of the Malaysian Herb Kacip Fatimah (*Labisia pumila* Blume). Molecules, 16: 6068-6081.

Kahk ¨ onen MP, Hopia AI and Heinonen M,. 2001. Berry phenolics and their antioxidant activity. J. Agric Food Chem 49:4076–4082.

Kim, D.; Jeond, S.; Lee, C.Y. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. Food Chem. 2003, 81, 321–326.

Kim, Y. S., Endo. M., Kiriiwa, 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.

Leshem, Y., Koller, D. (1964): Control of Flowering in Strawberry Fragaria ananassa Duch .I. Interaction of Positional and Environmental Effects. Annals of Botany 28 [112]

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.

Lee, J., C.E. Finn, and R.E. Wrolstad. 2004. Anthocyanin pigment and total phenolic content of three Vaccinium species native to the Pacific Northwest of North America. HortScience 39:959-964.

Loy, J.B. and O.S. Wells. 1982. A comparison of slitted polyethylene and spun-bonded polyester for plant row covers. HortScience 17:405-407.

Martinez M, Lopez-Solanilla E, Rodriguez-Palenzuela P, CarboHancock, J. F. 1999. Strawberries. CABI. Publication. 237 p.

Martinez M, Lopez-Solanilla E, Rodriguez-Palenzuela P, Carbonero P, Diaz I.2003. Inhibition of plant-pathogenic fungi by the barley cystatin Hv-CPI (gene Icy) is not associated with its cysteine-proteinase inhibitory properties. Molecular Plant–Microbe Interactions16,876–883.

Martin Guerena and Holly Born. 2007. Strawberries: Organic Production. National Sustainable Agriculture Information Service, USA.

Moghaddam S.S., Jaafar, H.B, Aziz,M.A., Ibrahim, R., Rahmat, A. B., and Philip, E. 2011. Flavonoid and Leaf Gas Exchange Responses of *Centella asiatica* to Acute Gamma Irradiation and Carbon Dioxide Enrichment under Controlled Environment Conditions. Molecules, 16: 8930-8944.

Mweresa, C.K., Omusula,P., Otieno, B., Loon, J. JA van., Takken, W., Mukabann, R.W.2014. Molasses as a source of carbon dioxide for attracting the malaria mosquitoes *Anopheles gambiae* and *Anopheles funestus*. Malaria Journal , 13:160 .

Orozco, F.H., Cegarra, J., Trujillo, L.M., Roig, A., 1996. Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm Eisenia fetida: effects on C and N contents and the availability of nutrients. Biology and Fertility of Soils 22, 162–166.

Pollard, J.E. and C.m. Cundari. 1988. Overwintering strawberries under rowcover increases fruit production. HortSciecnce 23:32-33.

Pritts, M.P., K.A. Worden, and M. Eames-Sheavly. 1989. Rowcover material and time of application and removal affect rippening and yield of strawberries. J.Amer. Soc. Hort. Sci. 114:531-536.

Porras, M. C. Barrau and F. Romero. 2009. Influence of *Trichoderma* and Soil Solarization on Strawberry Yield. Acta Hort. 842; 389-393.

The Japanese Society for Horticultural Science. 2006. Horticulture in Japan 2006. Nakanishi Printing. Kyoto. Japan.

The World of Organic Agriculture: Statistic & Emerging Trends. 2009. http://www.organic-world.net/fileadmin/documents/yearbook/2009/world-of-organic-agriculture-2009-small-2009-02-15.pdf.

Preusch, P.L., F. Takeda, T.J. Tworkoski. 2004. N and P uptake by strawberry plants grown with composted poultry litter. Scientia Horticulturae 102; 91–103.

Rice-Evans CA and Miller NJ, 1996. Antioxidant activities of flavonoids as bioactive components of food. Biochem Soc Trans 24:790–795 .

Sakamoto, M., Uenishi1, M., Miyamoto1, K. and Suzuki, T. 2016. Effect of root-zone temperature on the growth and fruit quality of hydroponically grown strawberry plants. J of Agri Sci. 8;122-131.

Smallegange, R.C., Schmied, W.H.,, Roey, K.J van., Verhulst, N.O., Spitzen, J., Mukabana, W.R., Takken, W., 2010. Sugar-fermenting yeast as an organic source of carbon dioxide to attract the malaria mosquito *Anopheles gambiae* s.s. Malaria Journal. 9:292.

Sun, P., Mantri, N., Lou, H., Hu, Y., Sun, D., Zhu, Y., Dong, T., Lu, H. Effects of Elevated CO_2 and Temperature on Yield and Fruit Quality of Strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) at Two Levels of Nitrogen Application.. PLoS ONE 7(7): e41000. doi:10.1371/journal.pone.0041000.

Virg nia C. Fernandes, V. F. Domingues b, V. de Freitas, C. Delerue-Matos, and N. Mateus 2012. Strawberries from integrated pest management and organic farming: Phenolic composition and antioxidant properties. Food Chemistry. 134 ; 1926–1931.

Walter, M., C. Snelling, K.S.H. Boyd-Wilson, G. Williams, and G.I. Langford. 2006. Development of a commercially vi-able system for organic strawberry-runner production. HortTech.15(4): 787-797.

Wang H, Caog and Prior RL.1996. Total antioxidant capacity of fruits. J Agric Food Chem 44:701–705.

Wang SY, Bunce J.A. and Maas J.L, 2003. Elevated carbon dioxide increases contents of antioxidant compounds in fieldgrown strawberries. J Agric Food Chem 51:4315–4320.

Wang, S.Y. and J.A. Bunce. 2004. Elevated carbon dioxide affects fruit flavor in field-grown strawberries (*Fragaria* × *annanassa* Duch). J. Sci.f Food Agri. 84:1464-11468.

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. × ananassa*. EUPHYTICA. 144: 79-84, DOI: 10.1007/s10681-005-4337-6.

Yen, G.C. and H.Y. Chen. 1995. Antioxidant activity of various tea extracts in relation their antimutagenicity. J. Agri. Food Chem. 43:27-32.