



การใช้แก๊สไอโซนในการกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้
(*Bactrocera latifrons*) ในพริก

สุรินทร์พร ชั่งไชย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การใช้แก๊สไอโซนในการกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้
(*Bactrocera latifrons*) ในพริก

สุรินทร์พร ชั่งไชย

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

อาจารย์ที่ปรึกษา

วิมลพร วัชร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จาดุรงค์ วาฤทธิ์)

วันที่ ๗ เดือน มกราคม พ.ศ. ๒๕๕๙

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

J.นส

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ)

วันที่ ๗ เดือน มกราคม พ.ศ. ๒๕๕๙

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

วิมลพร วัชร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพัชร เกียรติวรกานต์)

วันที่ ๗ เดือน มกราคม พ.ศ. ๒๕๕๙

ประธานอาจารย์ประจำหลักสูตร

J.นส

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ)

วันที่ ๗ เดือน มกราคม พ.ศ. ๒๕๕๙

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

วิมลพร วัชร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จาดุรงค์ วาฤทธิ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ๗ เดือน มกราคม พ.ศ. ๒๕๕๙

ชื่อเรื่อง	การใช้แก๊สโอโซนในการกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ (<i>Bactrocera latifrons</i>) ในพริก
ชื่อผู้เขียน	นางสาวสุรินทร์พร ชั่งไชย
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุพงศ์ วาฤทธิ์

บทคัดย่อ

ปัญหาหลักในการส่งออกพริกสด คือเรื่องแมลงศัตรูพืชที่ทำลายคุณภาพของพริกสด ชนิดแมลงศัตรูพืชที่พบมากที่สุดในประเทศคือ แมลงวันผลไม้ (*Bactrocera latifrons*) โดยจะเข้าวางไข่ในพริกตั้งแต่ยังอยู่ในแปลงปลูกทำให้ผลผลิตเกิดความเสียหาย จึงได้มีการคิดวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการรมแก๊สโอโซนความเข้มข้นสูงให้กับพริกสด เพื่อกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริกสายพันธุ์ชุปเปอร์ฮอท ชุดระบบการรมแก๊สโอโซนประกอบด้วยชุดกำเนิดโอโซน อุปกรณ์ควบคุม ระบบบำบัดแก๊สโอโซน และตู้รมภาชนะภายในมีถังโพลีคาร์บอเนตขนาด 25 L มีความดันในระบบ 12 kPa และอัตราการไหลแก๊สออกซิเจน 7.5 L/min นำพริกสดรมแก๊สโอโซนที่ความเข้มข้น 41,136–83,147 ppm และใช้เวลาพักนาน 5–15 min ซึ่งเท่ากับค่าปริมาณความเข้มข้นที่พริกได้รับ CT มีค่า 389,480–1,168,440 ppm-min งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการรมแก๊สโอโซนเพื่อกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริกและคุณภาพของพริกด้านสีและเนื้อสัมผัสของพริก ซึ่งพบว่าที่ปริมาณแก๊สโอโซนที่พริกได้รับช่วง CT ในช่วง 831,470–1,168,440 ppm-min สามารถใช้กำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริกได้อัตราการตาย 100% และที่ CT ในช่วง 389,480–656,430 ppm-min กำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริกที่อัตราการตาย 95% ในส่วนด้านคุณภาพของพริก การรมแก๊สโอโซนความเข้มข้นสูงไม่มีผลต่อค่าความแน่นเนื้อและความเป็นสีแดงของเนื้อพริกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่มีผลทำให้หัวพริกมีสีคล้ำขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับพริกตัวอย่างควบคุม

คำสำคัญ: การรมแก๊สโอโซน แมลงวันผลไม้ พริก ดัชนีสี ความแน่นเนื้อ

Title	Application of Ozone Gas to Control Fruit Fly (<i>Bactrocera latifrons</i>) in Chilli
Author	Miss Surintraporn Changchai
Degree of	Master of Engineering in Food Engineering
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Jatuphong Varith

ABSTRACT

One of the most important problems for fresh chilli export is insect infestation especially fruit fly (*Bactrocera latifrons*) which lays egg in chilli this even in field plots thus reducing the yield. To solve this problem, this research was conducted with application of high concentration ozone gas to control the fruit fly larvae in fresh chilli cv. "Super Hot". The ozone fumigation system consisted of ozone generator, control system, ozone treatment system and 25 L polycarbonate sample container that performed under pressure at 12 kPa and a flow rate of 7.5 L/min of oxygen gas through ozone generator. Chilli was treated with high concentration ozone in a range of 41,136–83,147 ppm and holding time of 5–15 minutes which were equivalent to a concentration-time (CT) value of 389,480–1,168,440 ppm-min. Results showed that ozone fumigation with CT of 831,470–1,168,440 ppm-min, was able to eliminate the larvae of fruit fly at a mortality rate of 100 % and at CT of 389,480–656,430 ppm-min with mortality rate of 95%. On the quality of fresh chilli, the high concentration ozone did not show any significant effect on the firmness and red color of chilli ($p \geq 0.05$) but significantly affected the stem as it became darker than that of the control ($p < 0.05$).

Keywords: Ozone fumigation, Fruit fly, Chilli, Color index, Firmness

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุพงศ์ วาฤทธิ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ จตุรงค์กล้าเลิศ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพัชร เกียรติวรกานต์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางในการศึกษาตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสำเร็จการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา อีกทั้งยังมีส่วนช่วยในการหางบประมาณมาใช้ในการทำวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขจนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.กาญจนา นาคประสม อาจารย์ผู้สอนที่ให้คำแนะนำและแนะแนวทางในการศึกษาการทำวิจัยงานบางส่วนของวิทยานิพนธ์ จนทำให้งานวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร และ อาจารย์ ดร.หยาดฝน ทะนงการกิจ อาจารย์ผู้สอน ที่คอยให้คำแนะนำ และเสนอแนะข้อคิดเห็นต่างๆ ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ถ่ายทอดวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร และเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัย ทุกท่าน ตลอดจนพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ที่คอยช่วยเหลือให้การศึกษาสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสำราญ และคุณแม่ณริศรา ชั่งไชย รวมทั้งญาติพี่น้องทุกคนที่อบรมสั่งสอน ชี้แนะแนวทางในการดำเนินชีวิต ตลอดจนให้การสนับสนุน อุปการะเลี้ยงดูข้าพเจ้าตลอดมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

สุรินทร์พร ชั่งไชย

มกราคม 2559

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญภาพ	(9)
สารบัญตารางภาคผนวก	(11)
สารภาพภาพผนวก	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่ได้รับ	3
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	4
คุณสมบัติของไอโซน	4
ทฤษฎีการผลิตแก๊สไอโซน	5
คุณสมบัติการแพร่ของแก๊ส	7
ลักษณะของแมลงวันผลไม้	8
ลักษณะของพริกขี้หนูพันธุ์ซูเปอร์ฮอท	10
ความรู้เบื้องต้นสำหรับการใช้งานโปรแกรม LabVIEW	11
การตรวจวัดค่าความเป็นกรดและด่าง	14
การวิเคราะห์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการวัดความเข้มสี	14
การวัดค่าสีของผลผลิตการเกษตร	15
การวัดเนื้อสัมผัสของผลผลิตการเกษตร	16
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
แผนภาพกรอบแนวความคิดการวิจัย	20
กรอบแนวความคิดการวิจัย	21

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	24
ชุดระบบการรมแก๊สไอโซน	24
การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถของแก๊สไอโซนในการแพร่ผ่าน	
ชั้นพริกและภายในผลพริก	25
การวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	28
การวิเคราะห์ค่าสี	29
การวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อ	30
การเตรียมตัวอย่างพริกทดสอบ	31
การทดสอบกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ด้วยระบบการแก๊สไอโซน	32
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการทดลอง	34
ผลทดสอบการกระจายตัวของแก๊สไอโซน	34
ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเนื้อพริกและไส้พริก	37
ค่าสีของพริกและหัวพริก	39
ค่าความแน่นเนื้อของพริก	44
การรมแก๊สไอโซนเพื่อกำจัดหนอน	45
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	51
สรุปผลการวิจัย	51
ข้อเสนอแนะ	52
บรรณานุกรม	53
ภาคผนวก	56
ภาคผนวก ก ภาพถ่ายอุปกรณ์และการหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	57
ภาคผนวก ข ข้อมูลปฐมภูมิของการทดลอง	66
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	86
ภาคผนวก ง การออกแบบระบบบำบัดแก๊สไอโซน	89
ประวัติผู้วิจัย	91

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณสมบัติทางกายภาพของแก๊สไอโซน	5
2	ลักษณะการเชื่อมต่อเส้น Wires ในการรับและส่งข้อมูลระหว่าง terminal และ node ในโปรแกรม LabVIEW	13
3	ความหมายของคำศัพท์ในโปรแกรม LabVIEW	13
4	ตารางออกแบบการทดลองการวัดการกระจายตัวของแก๊สไอโซน	28
5	ผลการทดสอบการวัดการกระจายตัวของแก๊สไอโซนด้วยกระดาษลิทมัส	35
6	ชุดการทดลองที่เลือกใช้ในการรวมแก๊สไอโซนเพื่อกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริก	36
7	การวิเคราะห์ค่าสีของเนื้อพริก ด้วยค่าความแตกต่างของสี ค่าความสว่าง และค่ามุมของสี	40
8	การวิเคราะห์ค่าสีของขั้วพริก ด้วยค่าความแตกต่างของสี ค่าความสว่าง และค่ามุมของสี	42
9	ผลการบันทึกการเสื่อมเสียของพริกและการพบจำนวนหนอนในพริก เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	48
10	สรุปผลอัตราการตายของหนอนแมลงวันผลไม้หลังจากการรวมแก๊สไอโซน	49

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิตแก๊สโอโซนในชุดกำเนิดโอโซนด้วยกระแสไฟฟ้า	6
2	จำลองการแพร่ผ่านในชั้นพริกของแก๊สโอโซน	7
3	ลักษณะของแมลงวันผลไม้ (<i>Bactrocera latifrons</i>)	8
4	(ก) ลักษณะไข่แมลงวันผลไม้ที่ฝังตัวบนผิวเปลือกพริก (ข) การเจาะผลพริกของ หนอนที่ทำลายผลพริกพร้อมเจริญเป็นดักแด้	9
5	แผนภาพแสดงวงจรชีวิตของแมลงวันผลไม้	10
6	ลักษณะพริกชี้หนูพันธุ์ซูเปอร์ฮอท	10
7	หน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรม LabVIEW	11
8	สเกลสีบอกระดับค่าความเป็นกรดของกระดาษลิตมัสระหว่าง pH 4-7	14
9	การบรรยายสีในระบบ CIE L* a* b* มองในระนาบ 2 มิติ: Hue บรรยายถึง เฉดสี และ Chroma บรรยายถึงความอิ่มตัวของสี	16
10	กราฟวิเคราะห์เนื้อสัมผัสแสดงค่าระหว่างแรงกับค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง	17
11	แผนภาพกระบวนการทำงานของกรอบแนวคิดงานวิจัย	21
12	ภาพจำลองการแพร่ผ่านของแก๊สโอโซนในถังโพลีคาร์บอเนตที่มีพริกครึ่งถัง	22
13	อัตราการผลิตโอโซนของหลอดกำเนิดโอโซน ที่อัตราการไหลของแก๊ส O ₂ 7.5 l/min (control) ความดันในระบบ 12 kPa	23
14	ชุดเครื่องต้นแบบการผลิตโอโซน ประกอบไป ด้วย 3 ส่วนหลักได้แก่ ส่วนกำเนิด โอโซน ส่วนอุปกรณ์ควบคุม และส่วนตุ้มภาชนะ	24
15	ระบบบำบัดแก๊สโอโซน	25
16	อัตราการผลิตโอโซนของหลอดกำเนิดโอโซนที่ความดันในระบบ 12 kPa	26
17	ตำแหน่งการวางกระดาษลิตมัสเพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของแก๊สโอโซนใน ภาชนะทดลอง ก. ภาพตัดขวางด้านบน ข. ภาพตัดขวางด้านข้าง	27
18	การวัดค่าสีของพริกที่บริเวณ ก. ขั้วพริก ข. เนื้อพริกลักษณะ	30

ภาพที่		หน้า
19	การวัดความแน่นเนื้อของพริกด้วยการเจาะทะลุวัดห่างจากขั้วพริก 1 เซนติเมตร	31
20	ลักษณะการเก็บตัวอย่างพริกเพื่อการทดสอบ	31
21	ขั้นตอนการเตรียมพริกหนอนสำหรับการรมแก๊สเอทิลีน	32
22	การบรรจุพริกหนอนลงบรรจุภัณฑ์เพื่อสังเกตอัตราการตายของหนอน ก. แบบที่ 1 เก็บไว้ในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกใสมีรู แบบที่ 2 ในถุงพลาสติกมีซิปล็อก	33
23	การเปลี่ยนสีของกระดาษลิตมัสหลังการรมแก๊สเอทิลีน	34
24	ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเนื้อพริก เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4-6 °C เป็นเวลา 3 สัปดาห์	37
25	ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในไส้พริกเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4-6 °C เป็นเวลา 3 สัปดาห์	38
26	กราฟแสดงอัตราการเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเนื้อพริกและไส้พริกและเปรียบเทียบกับพริกควบคุม	39
27	กราฟแสดงการค่าแรงสูงสุดที่ใช้เจาะทะลุผ่านเนื้อพริก	44
28	พริกทดสอบ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4-6 °C ในถาดโฟมผ่านการรมแก๊สเอทิลีน	45
29	การเจริญของหนอนที่เจอหลังจากการรมแก๊สเอทิลีนในชุดการทดลอง 1 ที่ CT 389,480 ppm-min เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4-6 °C	45
30	พริกทดสอบ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิภายนอก 30°C ในถาดโฟมที่ผ่านการรมแก๊สเอทิลีน	46
31	กราฟแสดงอัตราการตายของหนอนแมลงวันผลไม้ ที่ปริมาณแก๊สเอทิลีนที่พริกได้รับ (CT) ต่างๆ	50

สารบัญตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่		หน้า
1	การเตรียมสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปริมาตร 10 ml	63
2	ผลการทดสอบค่าความเป็นกรด ที่วัดจากการเปลี่ยนสีของกระดาษลิตมัสเทียบสเกลสีบอกค่าความเป็นกรด pH 4-7	67
3	ค่า OD และปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเนื้อพริกและไส้พริก	72
4	ผลการทดสอบค่าสีของพริกและเนื้อพริกในรูปแบบ L^* , a^* , b^* และการวิเคราะห์ค่าสีด้วยค่า ΔE , Hue และ ΔL	74
5	ผลการทดลองค่าความแน่นเนื้อของพริก	77

สารบัญภาพภาคผนวก

ภาพภาคผนวกที่		หน้า
1	เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ยี่ห้อ Biochrom WPA Spectrawave รุ่น S1200	58
2	เครื่องผสมสารละลาย ยี่ห้อ LMS รุ่น VTX-3000L Mixer Uzusio	58
3	เครื่องปั่นเหวี่ยงสารให้ตกตะกอน ยี่ห้อ GEMMY รุ่น GM PLC-012	59
4	เครื่องปั่นละเอียด ยี่ห้อ Otto รุ่น BE-120	59
5	เครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CP224S	60
6	มีดสแตนเลสและเขียงพลาสติก	60
7	เครื่องดูดจ่ายสารละลาย ไมโครปิเปต ยี่ห้อ Nichiryo รุ่น Nichipet EX II	61
8	หลอดทดลองและหลอดทดลองฝาเกลียว	61
9	ขวดปรับปริมาตรขนาด 500 ml	61
10	สารเคมีใช้สกัดหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (1) PVPP (2) EDTA (3) Potassium phosphates	62
11	สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 30 %	62
12	กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	64
13	หนอนแมลงวันผลไม้ระยะที่ 3 ขนาดตัว 4-5 มิลลิเมตร	78
14	ฟริกควบคุมเก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 4-6 °C เป็นเวลา 14 วัน	78
15	ฟริกที่ผ่านการรมแก๊สไอโซนที่ชุดการทดลอง 1-8 ที่ CT 389,480, 415,735, 617,040, 656,430, 778,960, 831,470, 984,645 และ 1,168,440 ppm-min ตามลำดับ เก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 4-6 °C เป็นเวลา 14 วัน บรรจุในถาดโฟม	78
16	ฟริกควบคุมเก็บที่อุณหภูมิภายนอก 30°C เป็นเวลา 14 วัน	80
17	ฟริกที่ผ่านการรมแก๊สไอโซนแล้วพบการเจริญของหนอนที่ชุดการทดลอง 1, 2, 3 และ 4-ที่ CT 389,480, 415,735, 617,040 และ 656,430 ppm-min ตามลำดับ เก็บในอุณหภูมิภายนอก 30°C เป็นเวลา 14 วัน บรรจุในถาดโฟม	81

18	พริกที่ผ่านการรมแก๊สโอโซนแล้วไม่พบการเจริญของหนอนที่ชุดการ ทดลอง 5, 6, 7 และ 8 ที่ CT 778,960, 831,470, 984,645 และ 1,168,440 ppm-min ตามลำดับ เก็บในอุณหภูมิภายนอก 30°C ที่ เป็นเวลา 14 วัน บรรจุในถาดโฟม	82
19	พริกที่ผ่านการรมแก๊สโอโซนแล้วพบการเจริญของหนอนที่ชุดการ ทดลอง 1, 2, 3 และ 4 ที่ CT 389,480, 415,735, 617,040 และ 656,430 ppm-min ตามลำดับ และไม่พบการเจริญของหนอนที่ชุดการ ทดลอง 5, 6, 7 และ 8 ที่ CT 778,960, 831,470, 984,645 และ 1,168,440 ppm-min ตามลำดับ เก็บในอุณหภูมิภายนอก 30°C ที่ เป็นเวลา 15 วัน บรรจุในถุงพลาสติกซิปล็อก	83
20	ข้อมูลตัวแปรอิสระตัวแปรตาม	87
21	ข้อมูลผลการทดลอง	87
22	หน้าต่าง Out put แสดงการผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	88
23	ถังระบบบำบัดแก๊สโอโซน	90

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์ลาติน

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	การดูดกลืนแสง	Nm
a*	ความเป็นสีแดง (+), ความเป็นสีเขียว (-)	ไร้หน่วย
b*	ความเป็นสีเหลือง (+), ความเป็นสีน้ำเงิน (-)	ไร้หน่วย
C	ความเข้มข้นของแก๊สไอโซน	ppm
E	ค่าสีรวม	ไร้หน่วย
F	การเกิดเชื้อรา	ไร้หน่วย
L*	ค่าความสว่าง	ไร้หน่วย
MW	มวลโมเลกุล	g/mol
O ₃	ปริมาณแก๊สไอโซน	g/h
O _{3app}	ปริมาณแก๊สไอโซน	g/m ³
P	ความดัน	มิลลิเมตรปรอท
R	ค่าคงที่ของก๊าซในอุดมคติ	L·mmHg/mol·K
Ro	การเสื่อมเสียของพริก	ไร้หน่วย
V	ปริมาตร	L
Temp	อุณหภูมิ	K
T	เวลาในการพัก	minute
W	จำนวนหนอน	ตัว

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์กรีกโรมัน

สัญลักษณ์

ความหมาย

หน่วย

Δ

ค่าความเปลี่ยนแปลง

ไร่หน่วย



บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พริกเป็นวัตถุดิบหลักในการปรุงอาหารให้มีรสชาติเผ็ด ร้อน มีสารที่มีคุณประโยชน์มากมาย จึงเป็นส่วนประกอบหลักในการปรุงอาหารของคนชาวเอเชีย ทั้งในรูปพริกสดและพริกแปรรูป จากข้อมูลของกรมศุลกากรในปี พ.ศ. 2557 ประเทศไทยมีมูลค่าการส่งออกพริกสด ประมาณ 188 ล้านบาท พริกจึงเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ มีการเพาะปลูกเป็นอาชีพในทุกภาคของพื้นที่การเกษตร ปัญหาหลักในการส่งออกพริกสด คือเรื่องแมลงศัตรูพืชและสารเคมีตกค้าง แมลงศัตรูพืชที่เป็นปัญหาสำคัญของพริกคือ แมลงวันผลไม้ (*Bactrocera latifrons*) เนื่องจากการเข้าทำลายพริกจะเริ่มตั้งแต่ในระยะพริกติดผล โดยการวางไข่ของแมลงวันผลไม้ ซึ่งระหว่างนั้นเกษตรกรไม่สามารถพบรอยการทำลายภายในผลพริก ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพผลผลิตและการส่งออกพริกสด และในปัจจุบันมีข้อกำหนดทางกฎหมายเรื่องมาตรฐานการส่งออกผลผลิตทางการเกษตร มีกฎข้อบังคับในการตรวจสอบสุขอนามัยพืช เช่น ปริมาณสารพิษตกค้างและเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค รวมทั้งการตรวจหาโรคพืชและแมลงศัตรูพืชที่อาจติดมากับผักและผลไม้ เพื่อเป็นการควบคุมการแพร่ขยายพันธุ์ของแมลงศัตรูพืชจากประเทศหนึ่งไปยังอีกประเทศหนึ่ง (สิรินาฏ, 2554) ซึ่งข้อกำหนดและปัญหาแมลงศัตรูพืช ดังกล่าวทำให้เกษตรกรไม่สามารถควบคุมและกำจัดแมลงศัตรูพืชได้อย่างสมบูรณ์

การป้องกันและกำจัดแมลงวันผลไม้ ในภาคเกษตรกรรมนั้นสามารถทำได้เพียงส่วนหนึ่ง เพราะการเข้าทำลายพริกในระยะเริ่มแรกสังเกตได้ยากทำให้เกษตรกรไม่สามารถป้องกันและกำจัดได้ทันทางที่ ซึ่งพริกที่มีไข่หรือตัวหนอนของแมลงวันผลไม้ฝังตัวอยู่จะถูกเก็บเกี่ยวรวมอยู่กับพริกสดที่ได้คุณภาพ เนื่องจากการฟักตัวของตัวหนอนในพริกระยะเริ่มแรกใช้เวลานานถึง 2 สัปดาห์ ทำให้สังเกตได้ยาก (Shimizu et al., 2007) เมื่อถึงเวลาจัดส่งสินค้าพริกจะต้องได้รับการตรวจสอบมาตรฐานการส่งออก หนอนที่โตเต็มวัยพร้อมเจริญเป็นดักแด้จะเจาะผลพริกออกมาทำให้พริกเหล่านั้นไม่ผ่านการตรวจสอบด้านสุขอนามัยพืช และถูกตีกลับสินค้า ทำให้เกิดความเสียหายทั้งทรัพย์สินและเวลา ทางผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการนำแก๊สไอโซนมาประยุกต์ใช้ในการกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ที่ฝังตัวอยู่ในพริก และปัจจุบันไอโซนเป็นสารที่ใช้ได้อย่างปลอดภัย (GRAS : generally recognized as safe) (Guzel-Seydim et al., 2004) เนื่องจากไอโซนมีคุณสมบัติเป็นสารออกซิไดซ์ที่แรงสามารถทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลได้ง่าย หรือสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโมเลกุลของไขมัน (lipid peroxidation) หรือเยื่อเมมเบรนที่มีสารอินทรีย์ของสิ่งมีชีวิต ทำให้ผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิตอ่อนแอ

และแตกสลาย อีกทั้งยังทำให้เกิดการแตกตัวในกระบวนการสลายตัวทางชีวภาพ โอโซนจึงนำไปใช้กำจัดเชื้อจุลินทรีย์ แบคทีเรีย ไวรัสสปอร์ ราเมือก เชื้อราต่างๆ รวมทั้งการบำบัดน้ำเสีย การฆ่าเชื้อโรค กำจัดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่อาจติดมากับผิวของผักผลไม้สด (Kasiviswanathan et al., 2009) และยังช่วยในเรื่องการเก็บรักษาที่สามารถคงคุณภาพความสดและกลิ่น (Hao et al., 2004) ในปัจจุบันมีการนำแก๊สโอโซนมาใช้ในการควบคุมแมลงศัตรูพืชที่มีอยู่ในบริเวณจัดเก็บธัญพืช (Martin et al., 2011)

โครงการวิจัยนี้ เป็นการศึกษาและพัฒนากระบวนการใช้โอโซนเพื่อกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริก เป็นการศึกษาควบคุมปัญหาด้านแมลงศัตรูพืชที่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่พริก ในระหว่างการส่งออกหรือการจัดจำหน่าย โดยศึกษาปริมาณความเข้มข้นของโอโซน (concentration, C) ซึ่งมีหน่วยเป็น ppm และเวลาในการพัก (Holding time, T) มีหน่วยเป็น min ซึ่งทั้งสองค่ามีค่าเท่ากับค่าปริมาณความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่พริกได้รับ (Dose, CT) (Marissa et al., 2011) ซึ่งมีผลต่อความสามารถการแพร่ผ่านในชั้นพริกและการแทรกซึมผ่านเนื้อพริกส่วนที่เป็นที่ฝังตัวของหนอน เมื่อโอโซนแทรกซึมถึงแล้วทำให้ผนังเซลล์ของหนอนอ่อนแอและตายในที่สุด ทั้งนี้เพื่อเป็นการตอบโจทย์สมมติฐานดังกล่าวจึงได้ศึกษาหาสภาวะที่ดีที่สุดในการกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริกด้วยแก๊สโอโซนที่สามารถทำให้อัตรการตายของหนอนแมลงวันมีปริมาณมากที่สุด และยังคงมีคุณสมบัติทางกายภาพไม่แตกต่างจากพริกสด จากงานวิจัยดังกล่าวสามารถนำไปต่อยอดเพื่อการออกแบบและพัฒนากระบวนการสำหรับใช้งานในระดับอุตสาหกรรม และใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการใช้แก๊สโอโซน ให้สามารถกำจัดศัตรูพืชทุกชนิดที่อาจหลงเหลืออยู่ในผลผลิตทางการเกษตรอื่น ๆ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถการแพร่ผ่านของแก๊สโอโซนภายในถังโพลีคาร์บอเนตขนาด 25 ลิตร ภายใต้สภาวะความดันดัน 12 kPa
2. เพื่อศึกษาหาความสามารถของแก๊สโอโซนในการแทรกซึมผ่านเข้าไปในชั้นเนื้อพริกและไส้พริก
3. เพื่อวิเคราะห์หาสภาวะที่ดีที่สุดในการกำจัดหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ด้วยแก๊สโอโซน และพริกยังคงมีคุณสมบัติทางกายภาพไม่แตกต่างจากพริกสด

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้ความรู้พื้นฐานใหม่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้แก๊สไอโซนในการกำหนดอุณหภูมิในหม้อต้มผลไม้ในหม้อต้มผลไม้ ซึ่งจะทำให้ประหยัดพลังงาน ช่วยให้มีการเพิ่มผลผลิตและการรักษาคุณภาพของหม้อต้มให้ดียิ่งขึ้น
2. ได้ระบบควบคุมการใช้งาน ผ่านโปรแกรม LabVIEW สำหรับกระบวนการกำหนดอุณหภูมิในหม้อต้มผลไม้ในหม้อต้ม และยังเป็นส่วนสำคัญต่อการพัฒนาระบบการกำหนดอุณหภูมิในหม้อต้มในระดับอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออกหม้อต้ม
3. เป็นการเปิดกรอบแนวความคิดในการทำวิจัยแบบสหวิทยาการเพื่อการพาณิชย์ ที่ไม่จำกัดอยู่เพียงวิชาแขนงเดียว ทั้งยังเป็นการกระตุ้นให้เกิดการวิจัยแบบเป็นระบบเพื่อให้เกิดประโยชน์ที่สามารถนำไปใช้ได้จริง
4. เป็นตัวอย่างงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ประยุกต์หลากหลายสาขาวิชา ที่รวมเอาองค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์การเกษตรมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในภาคธุรกิจการส่งออก โดยจะเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีในประเทศเพื่อลดการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ และเป็นรากฐานของงานวิจัยในอนาคต

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

คุณสมบัติของโอโซน

โอโซนถูกพบครั้งแรกในปี พ.ศ. 2383 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ชื่อว่า C.F. Schonbein ต่อมา ปี พ.ศ. 2431 ได้จดลิขสิทธิ์ชื่อว่า “แก๊สโอโซน” (Mordecai, 2001) มีคุณสมบัติทางกายภาพของแก๊สดังตารางที่ 1 ซึ่งแก๊สโอโซนจัดเป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ (oxidizing agent) ที่แรงที่สุดที่อนุญาตให้นำมาใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน โอโซนเป็นสารเคมีที่ผ่านการรับรองโดยองค์การอาหารและยาว่าเป็นสารที่สามารถเติมลงไปในการอาหารได้อย่างปลอดภัย ในปริมาณการใช้ที่กำหนดไว้ตามระบบ GMP โอโซนมีฤทธิ์สูงกว่าคลอรีนถึง 51% และมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ได้เร็วกว่า 3.125 เท่าตัว สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในเยื่อเมมเบรนของแบคทีเรียเมื่อทำปฏิกิริยากับโอโซนทำให้นั่งเซลล์อ่อนแอและแตกออก ทำให้เซลล์ตาย โอโซนสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ รวมทั้งสารอนินทรีย์ ทำให้เกิดการแตกตัวและสลายตัวในกระบวนการสลายตัวทางชีวภาพได้ง่าย สารอินทรีย์บางชนิดทำปฏิกิริยากับโอโซนอย่างสมบูรณ์ได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โอโซนมีคุณสมบัติสามารถละลายน้ำได้ดีมากที่อุณหภูมิต่ำ และสามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส สปอร์ ราเมือก ราน้ำค่าง เชื้อรา อะมีบา เชื้อที่อยู่ในรูปของถุงน้ำ การกำจัดขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของแก๊สโอโซนและระยะเวลาที่ใช้

อันตรายของโอโซนในปริมาณความเข้มข้นสูงจัดเป็นแก๊สพิษ การมีปริมาณโอโซนสูงมากผิดปกติในบางพื้นที่น่าจะเป็นผลเสียต่อสุขภาพมากกว่าที่จะเป็นผลดี มีการกำหนดเกณฑ์ปริมาณความเข้มข้นสูงสุดที่ได้รับโดยเฉลี่ยไม่เกิน 0.1 ppm ในช่วงระยะเวลาของการทำงานนาน 8 ชั่วโมง ในบริเวณสถานที่ไม่มีการควบคุมอันตรายจากการได้รับโอโซนเป็นประจำอาจจะเป็นอันตรายต่อปอด โดยเฉพาะในวัยเด็กที่ปอดกำลังพัฒนา อาจก่อให้เกิดความเสียหายกับระบบสืบพันธุ์และพันธุกรรม ทำให้เกิดโรคปอดกำเริบ ทำให้ภูมิคุ้มกันในระบบหายใจลดลง อาการหอบหืดและโรคหัวใจกำเริบ ลดปริมาณลมหายใจ รวมทั้งทำให้ปริมาณของเหลวในปอดเพิ่มขึ้นทำให้หายใจขัด แก๊สโอโซนทำให้เกิดอาการระคายเคืองในระบบหายใจ ทำให้ไอระคายคอหรือแน่นหน้าอก ปวดศีรษะ ท้องเสีย แน่นท้อง มีอาการป่วยและอาเจียน การสัมผัสโอโซนที่อยู่ในสภาพของเหลวที่มีความเข้มข้นสูงที่ผิวหนังหรือดวงตาอาจจะทำให้เกิดอาการระคายเคือง อาการไหม้รุนแรง ปวดแสบปวดร้อน ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับแก๊สโอโซนที่มีความเข้มข้นสูงโดยตรง ควรมีพื้นที่ป้องกันไว้อย่างชัดเจนและควรมีระบบบำบัดก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศภายนอก (Kasiviswanathan et al., 2009)

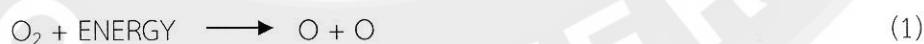
ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของแก๊สโอโซน

Physical properties	Value
Density (kg/m ³)	2.14
Heat of formation (kJ/mol)	144.7
Molecular weight (g/mol)	47.9982
Oxidation strength	2.075
Specific gravity	1.658

ที่มา: ดัดแปลงจาก Kasiviswanathan et al. (2009)

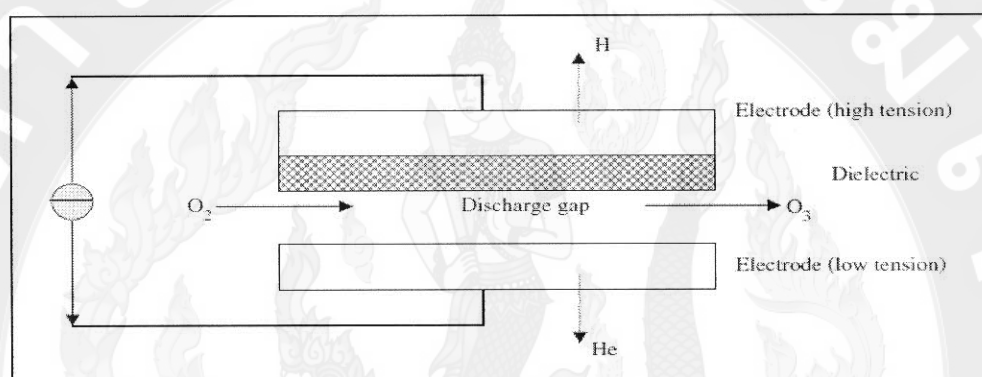
ทฤษฎีการผลิตแก๊สโอโซน

โอโซนเกิดจากอากาศหรือแก๊สออกซิเจนสัมผัสกับแหล่งพลังงานสูง เช่นกระแสไฟฟ้าแรงสูง รังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยแหล่งพลังงานสูงจะเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของออกซิเจน ทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลของออกซิเจนเป็นอนุมูลออกซิเจนอิสระและไปรวมตัวกับโมเลกุลของออกซิเจนจนกลายเป็นแก๊สโอโซน โดยออกซิเจน 2 โมเลกุลจะผลิตแก๊สโอโซนได้ 1 โมเลกุล ดังสมการสูตรเคมีที่ (1) และ (2) แก๊สโอโซนไม่เสถียรสามารถสลายตัวกลายเป็นออกซิเจนได้ง่าย จึงต้องผลิตขึ้นมาใช้ ณ สถานที่ใช้งานเลย หรือเป็นแบบติดอยู่กับที่ (Generated on-site) การสลายตัวของโอโซนที่ละลายในน้ำ 20 °C ใช้เวลา 20-30 นาที แต่จะสลายตัวทันทีหากมีการสัมผัสกับอากาศร้อน และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อสัมผัสกับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ การผลิตแก๊สโอโซน ในปัจจุบันสามารถทำได้ อยู่ 3 วิธีคือ การใช้กระแสไฟฟ้า วิธีการทางไฟฟ้าเคมี และการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งวิธีการใช้กระแสไฟฟ้าจะสามารถให้ปริมาณแก๊สโอโซนได้ดีที่สุด



ในงานวิจัยนี้เลือกวิธีการผลิตแก๊สโอโซนด้วยกระแสไฟฟ้า (Electrical corona discharge) เพราะสามารถให้ปริมาณการผลิตแก๊สโอโซนมากที่สุด และการลงทุนไม่สูงมากนัก ในการผลิตแก๊สโอโซนวิธีนี้คือ การใช้พลังงานจากกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงเป็นพลังงานเพื่อผลิตแก๊สโอโซนมีวิธีการคือ เมื่อมีการปล่อยส่งแก๊สออกซิเจน ผ่านบริเวณที่มีกระแสไฟฟ้าแรงดันสูง โดยอุปกรณ์ที่มีชื่อว่าแท่งอิเล็กโทรดเป็นอุปกรณ์ปล่อยกระแสไฟฟ้าและทำให้เกิดโคโรนา แท่งอิเล็กโทรดมีทั้งแบบแผ่นและ

อิเล็กโทรดเป็นอุปกรณ์ปล่อยกระแสไฟฟ้าและทำให้เกิดโคโรนา แท่งอิเล็กโทรดมีทั้งแบบแผ่นและแบบแท่ง โดยระบบจะอยู่ในวัสดุที่หุ้มฉนวน หลักการเกิดโอโซนคือ เมื่อกระแสไฟฟ้าถูกปล่อยไปยังขั้วทั้งสองจะเกิดโคโรนาระหว่างสองขั้วไฟฟ้า เมื่อโอโซนถูกส่งผ่านไปยังช่องว่างที่มีโคโรนาจะเกิดการแตกตัวของแก๊สออกซิเจน (O_2) กลายเป็นแก๊สที่มีชื่อว่า โอโซน (O_3) ในการนำแก๊สโอโซนไปใช้ควรนำไปใช้ในทันที เพราะแก๊สโอโซนเป็นแก๊สที่มีความเป็นสารออกซิไดซ์สูง และสลายตัวได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นในระบบควรมีการติดตั้งชุดระบายความร้อนเพื่อไม่ให้เกิดกระบวนการที่มีอุณหภูมิสูงป้องกันสลายตัวของแก๊สโอโซน



ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิตแก๊สโอโซนในชุดกำเนิดโอโซนด้วยกระแสไฟฟ้า

ที่มา: Kasiviswanathan et al. (2009)

นอกจากนี้ยังมีการผลิตแก๊สโอโซนอีกหลากหลายวิธี เช่น การผลิตแก๊สโอโซนด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี (Electrochemical cold plasma) ในการผลิตแก๊สโอโซนวิธีนี้เป็นการนำเทคนิคทางไฟฟ้าเคมีมาใช้ในการผลิตแก๊สโอโซน โดยกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านสองขั้วไฟฟ้าคือ แอโนดและแคโทด ที่วางอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ประกอบด้วยน้ำและสารละลายไอออนที่มีความสามารถในการดึงดูดอิเล็กตรอนในพันธะเข้ามาหาตนเอง และเมื่อมีการปล่อยกระแสไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องที่บริเวณขั้วแอโนดจะเกิดออกซิเจนและโอโซนขึ้น ข้อดีของการใช้วิธีไฟฟ้าเคมีในการผลิตโอโซนคือ เป็นวิธีที่ใช้กระแสไฟฟ้าแรงดันต่ำ และเป็นกระแสดตรง ไม่ต้องใช้แก๊สออกซิเจน อุปกรณ์มีขนาดเล็กและยังสามารถผลิตโอโซนให้มีค่าความเข้มข้นสูงได้ หรือผลิตโอโซนที่ละลายในน้ำได้

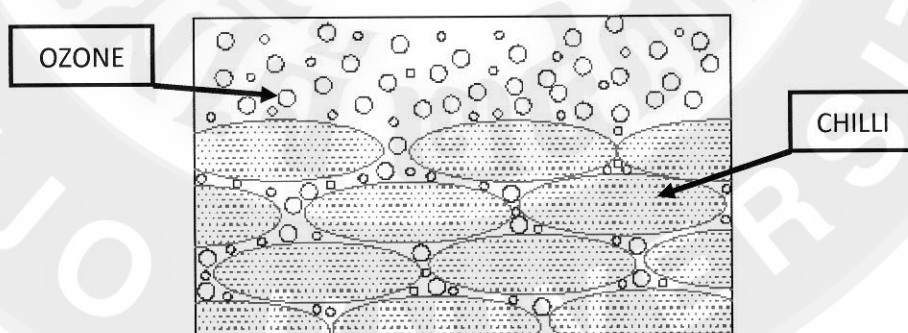
การผลิตแก๊สโอโซนอีกวิธีหนึ่งคือ การผลิตแก๊สโอโซนด้วยวิธีรังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet method) สำหรับวิธีการใช้รังสีอัลตราไวโอเลตในการผลิตแก๊สโอโซน ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ และเกิดจากการสังเคราะห์มีวิธีการคือ เมื่อแก๊สออกซิเจนสัมผัสกับแสงยูวีที่ค่าความยาวคลื่นระหว่าง 140–190 nm จะทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลออกซิเจนกลายเป็น อะตอมออกซิเจนแล้วไปรวมตัวกับโมเลกุลของออกซิเจนจนกลายเป็นแก๊สโอโซน เป็นวิธีที่

treatment: Application and engineering (1992) แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ยังให้โอโซนในปริมาณที่น้อย และยังมีข้อจำกัดในการใช้งาน (Kasiviswanathan et al., 2009)

คุณสมบัติการแพร่ของแก๊ส

จากคุณสมบัติของแก๊สที่ว่า แก๊สมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคน้อยมาก ทำให้อนุภาคฟุ้งกระจายจนเต็มภาชนะบรรจุตลอดเวลา ดังนั้นแก๊สจึงมีปริมาตรและรูปร่าง ตามภาชนะที่บรรจุ และปริมาตรก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดัน ถ้าความดันเปลี่ยนไปจะทำให้ปริมาตรเปลี่ยนแปลงตามความดันและปริมาตรเป็นสมบัติของแก๊สที่มีส่วนสัมพันธ์กัน กล่าวคือ เมื่อมีความดันมากขึ้น แก๊สจะหดตัวลงทำให้ปริมาตรลดลง จึงนำหลักการนี้มาใช้ในการอัดแก๊สโอโซนเข้าถังทดสอบโพลีคาร์บอเนตที่บรรจุฟริกสัดในการทดลอง

การแพร่ผ่าน (Diffusion) เป็นกระบวนการที่โมเลกุลของแก๊สเคลื่อนที่กระจายออกไปจากบริเวณที่มีความหนาแน่นมากไปหาบริเวณที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า และหลังจากนั้นแก๊สก็จะกระจายตัวให้มีความเข้มข้นโดยเฉลี่ยทุกบริเวณเท่าๆกัน (ฟิสิกส์ราชมงคล, 2553) ดังภาพที่ 2 จำลองสมมติฐานการแพร่ของแก๊สโอโซนในถังโพลีคาร์บอเนตภายใต้สภาวะแรงดันว่าแก๊สจะแพร่ผ่านจากด้านบนลงด้านล่างผ่านชั้นฟริกที่ระดับหนึ่ง และความสามารถในการแพร่ผ่านนี้ยังส่งผลให้แก๊สโอโซนสามารถแพร่ซึมเข้าไปยังในเนื้อฟริก และเข้าไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโมเลกุลไขมัน (lipid peroxidation) หรือทำลายเยื่อเมมเบรนของตัวหนอน ทำให้หนอนอ่อนแอ และตายลงในที่สุด

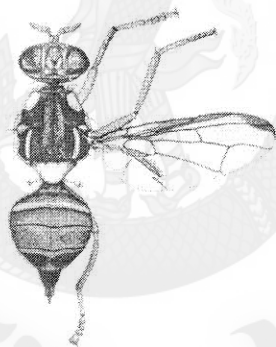


ภาพที่ 2 จำลองการแพร่ผ่านในชั้นฟริกของแก๊สโอโซน

ลักษณะของแมลงวันผลไม้

รูปร่างและลักษณะ

แมลงวันผลไม้ชนิดที่ทำลายพริกมากที่สุด หรืออาจเรียกว่า แมลงวันพริก มีชื่อสามัญว่า Fruit fly ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Bactrocera latifrons* จัดอยู่ในวงศ์ Tephritidae ซึ่งวงจรชีวิตของแมลงวันผลไม้ใช้เวลาประมาณ 3-4 สัปดาห์ เป็นแมลงศัตรูพืชที่พบมากในประเทศไทย (วนิดา และคณะ, 2552) ฉันทน์ และจารุวรรณ (2533) ได้อธิบายลักษณะทางกายภาพของแมลงวันผลไม้ตัวเต็มวัยไว้ดังนี้ ลักษณะหัวแมลงกว้างมีสีเหลือง มีขนแบบ superior fronto-orbital 1 คู่ และแบบ inferior fronto-orbital 2 คู่ มีจุดดำใต้หนวดค่อนข้างกลมมีสีน้ำตาล หนวดสีเหลืองบริเวณปลายมีสีเข้ม ลักษณะอกมีสีดำ 2 แถบ ด้านข้างนอก scutellum มีสีเหลืองฐานสีดำ ขามีสีเหลืองแกมน้ำตาล ปลายปีกมีแถบสีน้ำตาลหนา ลักษณะท้องยาวสีน้ำตาลแดง ปล้องที่ 1 และ 2 มีสีจาง ตัวผู้มี pecten ปล้องที่ 3 อวัยวะเพศผู้มี pandrium เป็น 2 lobe sunstyli ปลายมีขนแข็งสีดำ ส่วนอวัยวะเพศเมีย piercer มีปลายเป็น trilobe, spermathecae ขดแน่นเป็นวง ดังแสดงในภาพที่ 3



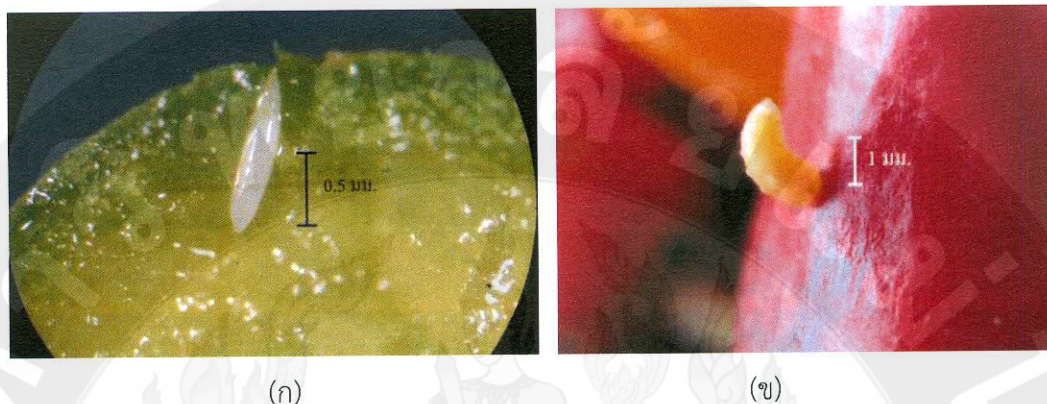
ภาพที่ 3 ลักษณะของแมลงวันผลไม้ (*Bactrocera latifrons*)

ที่มา: White and Elson-Harris (1992)

ลักษณะการเข้าทำลายพริก

การทำลายของแมลงวันผลไม้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพผลผลิต โอนทัย และ นุชรี (2554) ได้ศึกษาการทำลายของแมลงวันผลไม้ในผลพริก 8 สายพันธุ์ พบว่า การเข้าทำลายพบตั้งแต่ระยะติดผลถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยระยะตัวหนอนชอบไชกัดกินอยู่ภายในผล พบรอยการทำลายเป็นทางภายในผลพริก เนื้อภายในถูกกัดกินจนหมดเหลือแต่เปลือก ความเสียหายของผลพริกจากการทำลายของแมลงวันผลไม้ขึ้นกับระยะเวลาการติดผลของพริก และความเสียหายของพริกพบตลอดระยะที่มีผลพริกบนต้นพริก ลักษณะผลพริกทั้ง 8 สายพันธุ์ที่แตกต่างกันมีผลต่อจำนวนดักแด้ต่อผลพริก โดยความยาวของผลมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับจำนวนดักแด้ต่อผล ในการทำวิจัยเพื่อ

ทดสอบการกำจัดหนอนในพริก จากความรู้ในการเข้าทำลายพริกดังกล่าวในการทำวิจัยจึงต้องทำในช่วงที่หนอนเริ่มฟักตัวอยู่ในพริกในระยะ 2-3 และก่อนจะมีการพบรอยการทำลายเจาะผลพริกออกมาเจริญเป็นดักแด้



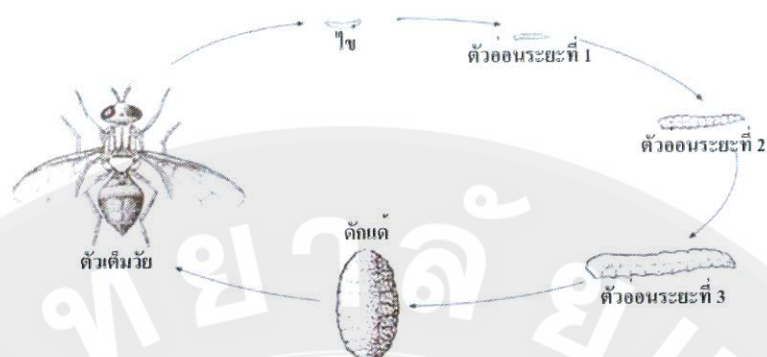
ภาพที่ 4 (ก) ลักษณะไข่แมลงวันผลไม้ที่ฝังตัวบนผิวเปลือกพริก (ข) การเจาะผลพริกของหนอนที่ทำลายผลพริกพร้อมเจริญเป็นดักแด้

ที่มา: กฤษฎา (2550)

วงจรชีวิตของแมลงวันผลไม้

การเจริญเติบโตของแมลงวันผลไม้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ ระยะไข่ ระยะตัวหนอน ระยะดักแด้ และระยะตัวเต็มวัย ดังภาพที่ 5

1. ระยะไข่มีระยะเวลา 2 วัน ไข่มีรูปร่างคล้ายผลกล้วยขนาดกว้าง 0.2 mm. ยาว 0.4 mm. สีขาวขุ่น ผิวเป็นมันสะท้อนแสงที่อุณหภูมิ 28-32 °C
2. ระยะหนอนมีการเจริญอยู่ 3 ระยะ ระยะที่ 1 เป็นระยะฟักตัวใช้เวลา 1-2 วัน ระยะที่ 2 ประมาณ 7 วันเป็นช่วงที่ตัวหนอนเริ่มทำลายผลพริกจนเจริญเป็นตัวหนอน ระยะที่ 3 ซึ่งเป็นระยะหนอนโตเต็มวัย ตัวหนอนมีลักษณะตัวยาวรี หัวแหลมท้ายป้านไม่มีขา สีขาวขุ่น มีขนาดลำตัวกว้าง 2 mm ยาวประมาณ 7-10 mm เมื่อหนอนโตเกือบเต็มที่จะเจาะรูผลพริก และเคลื่อนที่โดยการดีดตัว
3. ระยะดักแด้ประมาณ 10-12 วัน มีลักษณะกลมรี ขนาดกว้าง 2 มิลลิเมตร ยาว 4 mm สีน้ำตาลเห็นปล้องตามแนวขวางชัดเจน เป็นระยะที่แมลงจะอยู่เฉย ๆ ไม่เคลื่อนไหวและอาศัยในดินลึกประมาณ 2-5 cm
4. ระยะตัวเต็มวัย เป็นแมลงวันที่มีสีมีสีน้ำตาลอมแดง และมักมีแถบสีเหลืองที่ส่วนนอกของแมลง ปีกบางใสสะท้อนแสง ระยะตัวเต็มวัยไม่ทำลายพืชผล ตัวเต็มวัยหลังจากออกจากดักแด้ประมาณ 10 วัน จึงเริ่มผสมพันธุ์ และวางไข่ เพศเมียวางไข่เวลากลางวันประมาณ 1,000-3,000 ฟองต่อตัว แมลงมีอายุเฉลี่ย 1-3 เดือน (กฤษฎา, 2550)

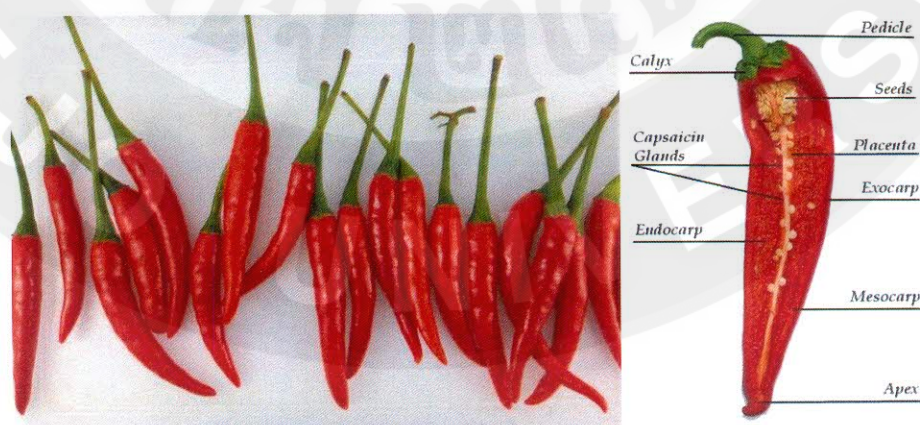


ภาพที่ 5 แผนภาพแสดงวงจรชีวิตของแมลงวันผลไม้

ที่มา: วันวิสาข์ และปาริชาติ (2548)

ลักษณะของพริกชี้หนูปันธุ์ซูบเปอร์ฮอท

พริกชี้หนูปันธุ์ซูบเปอร์ฮอท (*Capsicum frutescens* Linn.) เป็นพริกชี้หนูสายพันธุ์ใหม่ พัฒนาสายพันธุ์โดย บริษัท อีสท์ เวสต์ ซีด จำกัด ซึ่งได้รับรางวัลถ้วยพระราชทานจากสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ในงาน Thailand's BEST Innovation Awards 2003 พริกชี้หนูปันธุ์ซูบเปอร์ฮอทเป็นพริกชี้หนูลูกผสมที่พัฒนาสายพันธุ์มาจากพริกชี้หนูไทยผสมเข้ากับพันธุ์พริกชี้หนูเกาหลี โดยพริกชี้หนูปันธุ์ซูบเปอร์ฮอทมีคุณสมบัติที่โดดเด่น คือ เนื้อผลหนา แน่น สีแดงสด และเผ็ดกว่าพริกทั่วไปถึง 2 เท่า ลักษณะพันธุ์ต้นสูงใหญ่ ขนาดผลพริกยาว 5-7 cm ผลดิบสีเขียว-เขียวเข้ม ผลสุกสีแดง-แดงเข้ม อายุการเก็บเกี่ยว 60-65 วัน ปัจจุบันเกษตรกรให้การยอมรับและมีการเพาะปลูกเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผลผลิตที่ได้มีความสด เก็บไว้ได้นานโดยข้อผลไม่เน่า ติดผลดกทนทานโรค และเป็นที่ต้องการในตลาดต่างประเทศ

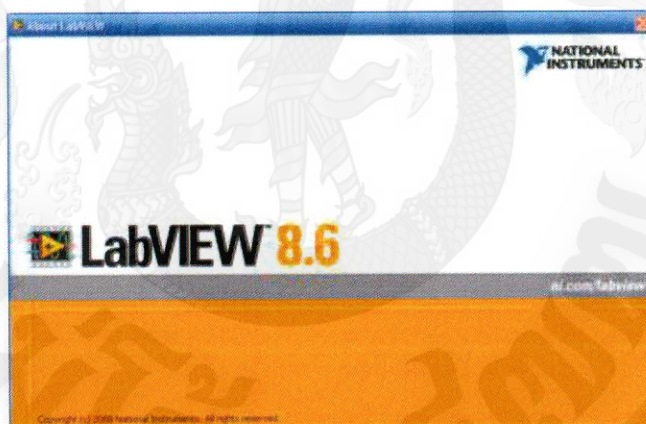


ภาพที่ 6 ลักษณะพริกชี้หนูปันธุ์ซูบเปอร์ฮอท

ความรู้เบื้องต้นสำหรับการใช้งานโปรแกรม LabVIEW

ในการสร้างระบบการรวมแก๊สไอโซนใช้โปรแกรม LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในการจัดการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม ซึ่งเป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphic User Interface) นั่น คือผู้ใช้พัฒนาโปรแกรมไม่จำเป็นต้องเขียน code หรือ คำสั่งใดๆ ทั้งสิ้น และภาษาที่ใช้ในโปรแกรมจะเรียกว่าเป็น ภาษารูปภาพ หรือเรียกอีกอย่างว่าภาษา G (Graphical Language) ซึ่งจะแทนการเขียนโปรแกรมเป็นบรรทัดภาษาพื้นฐาน เช่น C, BASIC หรือ FORTRAN ด้วยรูปภาพหรือสัญลักษณ์ทั้งหมด (จิรันดร, 2556)

สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดย LabVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument (VI) คือลักษณะที่ปรากฏทางจอภาพ เหมือนกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางวิศวกรรม ในขณะเดียวกันหลังฉากของอุปกรณ์เสมือนจริงเหล่านั้นจะเป็นการทำงานของฟังก์ชัน ซึ่งในหนึ่ง Virtual Instrument จะประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ



ภาพที่ 7 หน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรม LabVIEW

Front Panel

หน้าปัทม์ เป็นส่วนที่ใช้สื่อความกันระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม ซึ่งทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับหน้าปัทม์ของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานด้านการวัดทั่วไป เช่น มีสวิตช์ปิดเปิด ปุ่มกด จอแสดงผล เป็นต้น ดังนั้น Front Panel นี้จึงเปรียบเสมือนเป็น GUI ของโปรแกรมหรือ VI นั้นเอง สำหรับหน้าปัทม์ของ LabVIEW จะมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 แบบ คือ ตัวควบคุม (Control) และ ตัวแสดงผล (Indicator) ซึ่งส่วนประกอบทั้ง 2 จะมีการทำงานต่างกันและหน้าที่ตรงกันข้ามกัน

1. Controls มีหน้าที่เป็นตัวควบคุม โดยการใส่ค่า (Input) จากผู้ใช้ ลักษณะของ Controls เช่น ปุ่มปรับค่า สะพานปิด-เปิดไฟ แท่งเลื่อนเพื่อปรับค่า การให้ค่าด้วยตัวเลข Digital เป็นต้น ดังนั้น Controls เป็นการกำหนดค่าหรือแหล่ง (source) ข้อมูล

2. Indicators มีหน้าที่เป็นตัวแสดงผลเพียงอย่างเดียวโดยจะรับค่าที่ได้จากแหล่งข้อมูลมาแสดงผลซึ่งอาจปรากฏในรูปของกราฟ, เข็มชี้, ระดับของเหลว หรืออื่นๆ Indicators นี้เปรียบเสมือน output เพื่อให้ผู้ใช้ได้ทราบค่าสิ่งที่เรากำลังวิเคราะห์อยู่ และผู้ใช้งานจะไม่สามารถปรับค่าต่างๆ บน Indicators ได้โดยตรงแต่จะต้องมีแหล่งข้อมูลที่ส่งให้กับ Indicators

Block Diagram

Block Diagram หรือ Source Code พัฒนาขึ้นด้วย LabVIEW ปรากฏอยู่ในรูปของภาษา G ซึ่ง Block Diagram นี้จะถือว่าเป็น Executable Program ที่สามารถทำงานได้ทันที และข้อดีอีกประการหนึ่งคือ LabVIEW จะมีการตรวจสอบข้อผิดพลาดของโปรแกรมตลอดเวลา ทำให้โปรแกรมจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อไม่มีข้อผิดพลาดในโปรแกรม โดยผู้เขียนโปรแกรมสามารถที่จะดูรายละเอียดของข้อผิดพลาดแสดงให้เห็น ทำให้การเขียนโปรแกรมนั้นง่ายขึ้นส่วนประกอบภายใน Block Diagram ประกอบด้วย ฟังก์ชัน, ค่าคงที่, โปรแกรมควบคุมการทำงานหรือโครงสร้าง จากนั้นจะปรากฏอยู่ในรูปของ Block เราจึงได้รับการต่อสาย (wire) สำหรับ Block ที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน เพื่อกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่าง block เหล่านั้น ทำให้ข้อมูลได้รับการประมวลผลตามที่ต้องการ สำหรับ Block Diagram จะมีส่วนที่ทำหน้าที่หลักคือการควบคุมการส่งผ่านหรือเราอาจเรียกว่าการไหลของข้อมูล (Data Flow) และกำหนดถึงวิธีการประมวลผลข้อมูลมี 4 ส่วนดังนี้

1. Terminal ปกติที่เราสร้าง Control หรือ Indicator บนหน้าปัทม์ในหน้าต่างของ Block Diagram จะปรากฏ Terminal ขึ้น Terminal จึงคล้ายกับสถานีของข้อมูล จะเป็นทั้งสถานีต้นทางของข้อมูล ถ้า Terminal เป็นของ Control และขณะเดียวกันจะเป็นทั้งสถานีปลายทางของข้อมูลถ้า Terminal นั้นเป็น Terminal ของ Indicator

2. Node เป็นจุดต่อบนบล็อกไดอะแกรม แสดงเป็นแบบอินพุต และ เอาท์พุต จะทำงานเมื่อสั่ง RUN VI

3. Functions คือ ตัวดำเนินการต่างๆ ที่สำเร็จรูปเช่น sine, cos, tan และ log เป็นต้น ซึ่งสามารถเรียกแสดง Functions Palette นี้ได้โดยการคลิกขวาพื้นที่ว่าง ๆ ในฝั่ง Block Diagram จะแสดง Functions Palette

4. Wires คือ การเชื่อมต่อการรับและส่งข้อมูลระหว่าง terminal และ node ต่างๆ ที่มีใน Block Diagram นี้เข้าด้วยกัน โดย wires จะเป็นตัวกำหนดเส้นทางของข้อมูลเมื่อออกจาก terminal แล้วจะกำหนดการไหลข้อมูลไปที่ node ต่างๆ ตามลำดับ ซึ่งลักษณะต่าง ๆ ของเส้นจะมีรูปแบบและ

สีที่แตกต่างกันไปกันขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูลแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะการเชื่อมต่อของเส้น Wires ในการรับและส่งข้อมูลระหว่าง terminal และ node ในโปรแกรม LabVIEW

Type	Scalars 1	D Array 2	D Array Color	Type	Scalars 1	D Array 2
เลขทศนิยม	=====	=====	=====	=====	=====	=====
เลขจำนวนเต็ม	=====	=====	=====	=====	=====	=====
Boolean	=====	=====	=====	=====	=====	=====
ตัวอักษร	=====	=====	=====	=====	=====	=====

ที่มา: จิรินทร์ และปิยะ (2556)

Icon และ Connector

Icon และ Connector เปรียบเหมือนโปรแกรมย่อยของ Subroutine ในโปรแกรมปกติ icon หมายถึง block diagram ตัวหนึ่งที่มีการส่งข้อมูลเข้าและออกผ่านทาง Connector ซึ่งใน LabVIEW จะเรียก Subroutine นี้ว่า sub-VI ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา G นี้คือ เราสามารถสร้าง VI ขึ้นมาทีละส่วนให้ทำงานด้วยตัวเองได้อย่างอิสระ จากนั้นเราก็สามารถเขียนโปรแกรมอื่นเพื่อเรียกใช้งาน VI ที่เราเคยสร้างขึ้นก่อนหน้านี้ทีละตัวได้ ซึ่งทำให้ VI ที่เราเขียนขึ้นก่อนกลายเป็น sub-VI การเขียนในลักษณะนี้เราเรียกว่า module สำหรับคำศัพท์ต่างๆ ที่ใช้กันใน LabVIEW ดังแสดงตาราง 3 คำศัพท์ที่ควรรู้ในโปรแกรม LabVIEW ดังนี้

ตารางที่ 3 ความหมายของคำศัพท์ในโปรแกรม LabVIEW

LabVIEW	โปรแกรมพื้นฐาน	รายละเอียด
VI	Program	ตัวโปรแกรมหลัก
Function	function	ฟังก์ชันสำเร็จรูปที่สร้างขึ้นกับโปรแกรมต่างๆ
SubVI	Subroutine	โปรแกรมย่อยที่ถูกเรียกใช้โดยโปรแกรมหลัก
Front Panel	user interface	ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้
Block Diagram	Program code	การเขียนตามขั้นตอนของทีแต่ละโปรแกรมกำหนดขึ้น

ที่มา: จิรินทร์ และปิยะ (2556)

การตรวจวัดค่าความเป็นกรดและด่าง

ในการตรวจวัดการแพร่ของแก๊สไอโซนในถังโพลีคาร์บอเนตที่บรรจุพริกครั้งถึงว่าสามารถกระจายไปยังกันถังได้หรือไม่ ใช้วิธีทดสอบค่า pH ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความเป็นกรดและด่าง ของสารละลายได้ด้วยอินดิเคเตอร์ เป็นวิธีที่ใช้บอกสมบัติในปฏิกิริยาเคมี โดยการเปลี่ยนสีหรือการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางอย่างที่มองเห็นได้ อินดิเคเตอร์แต่ละชนิดจะมีการตรวจสอบความเป็นกรดและด่างของสารละลายแตกต่างกัน อินดิเคเตอร์ที่นิยมใช้กันมากมี 2 ประเภท คือ กระดาษลิตมัสและยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ ในที่นี้จะเปรียบเทียบกระดาษลิตมัสในความเป็นกรดโดยเทียบจากระดับสี pH 4-7 ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 สเกลสีบอกระดับค่าความเป็นกรดของกระดาษลิตมัสระหว่าง pH 4-7

การวิเคราะห์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการวัดความเข้มสี

การวิเคราะห์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการวัดความเข้มสี (Hydrogen Peroxide Colorimetric Detection) หรือการวัดความเข้มของแสง โดยใช้เครื่อง Photoelectric Colorimeter หรือ Photometer งานวิจัยนี้ เป็นการวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อนำค่ามาคำนวณหาปริมาณสารการวัดค่าการดูดกลืนแสงสัมพัทธ์ (Relative absorbance) เป็นการวัดค่าการดูดกลืนแสงเปรียบเทียบกับระหว่างสารละลายมาตรฐานที่ทราบค่า (Standard solution) กับสารละลายที่ต้องการหาปริมาณ วิธีนี้นิยมใช้มากเนื่องจากลดความผิดพลาดจากความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (ซูชาติ,

2539) ช่วงความยาวคลื่นที่แนะนำในการอ่านค่าดูกลืนแสงของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คือ 540-570 nm

การวัดค่าสี

ค่าสีเป็นสมบัติเชิงแสงที่สามารถใช้บรรยายคุณลักษณะของพริก ในการอธิบายสีของวัสดุ เกษตรด้วยคำพูดอาจทำให้มาตรฐานของการบรรยายลักษณะสีแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ประการ เช่น แหล่งกำเนิดแสง (light source) ลักษณะของวัตถุที่มอง (specimen) และผู้ สังเกตการณ์ (observer) นั้นมีผลอย่างยิ่งต่อการบรรยายสีที่มองเห็น ดังนั้นการวัดและบรรยายสีใน เชิงวิชาการจึงต้องมีการจัดมาตรฐานเพื่อเป็นการลดความไม่เป็นกลางของผู้บรรยายสีของวัสดุ นั้นๆ

ปัจจุบันมีการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อใช้วัดสีที่มีมาตรฐานและลดความไม่เป็นกลาง องค์กรที่มี บทบาทสำคัญในการกำหนดมาตรฐานด้านสี คือ Commission International de l'Eclairage (CIE) ซึ่งในปัจจุบันมีองค์กรกำหนดมาตรฐานการวัดสีซึ่งเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างในวงการวิชาการและการ วิจัย คือระบบ CIE $L^* a^* b^*$ scale ซึ่งใช้บรรยายสีในระบบ L^* a^* และ b^* ซึ่งเป็นระบบการบรรยาย สีแบบ 3 มิติหรือสามารถดูแบบ 2 มิติ โดยที่แกน L^* จะบรรยายถึงความสว่าง (lightness) จากค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาว จนไปถึง $-L^*$ แสดงถึงสีดำ แกน a^* จะบรรยายถึงแกนสีเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงแดง ($+a^*$) ส่วนแกน b^* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปเหลือง ($+b^*$) ลักษณะการบรรยายสีของ CIE (จาตุพงค์, 2547)

การศึกษาคุณภาพสีของพริก วัดโดยใช้เครื่องวัดสี Hunter lab รุ่น MiniScan EZ ตาม มาตรฐานของ CIE Lab scale ซึ่งบรรยายสีเป็นแบบ 2 มิติ ดังภาพที่ 9

ค่าความแตกต่างของสีรวม หาได้จากสมการ

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

เมื่อ

ΔE คือ ค่าความแตกต่างของสีรวม

ΔL^* คือ ค่าแตกต่างของความสว่าง

Δa^* คือ ค่าแตกต่างความเป็นสีเขียวและสีแดง

Δb^* คือ ค่าแตกต่างความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน

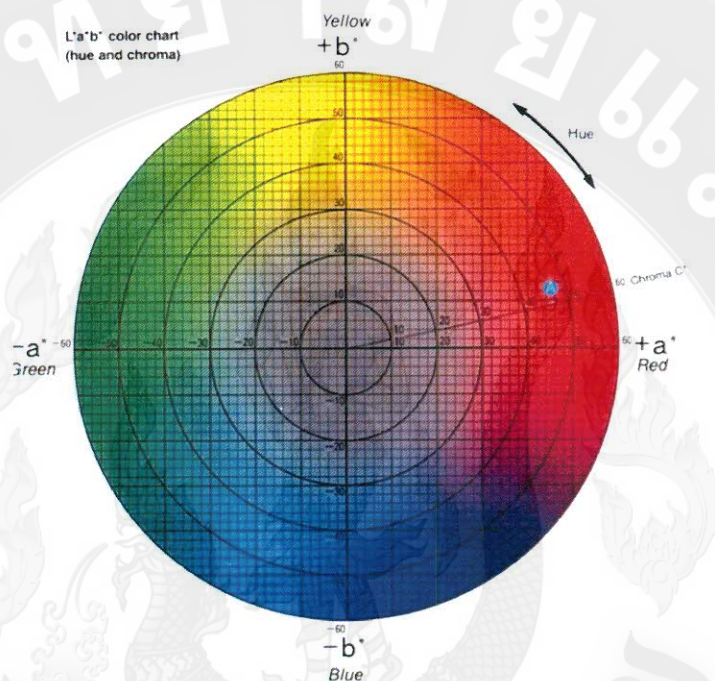
ค่ามุมของสี หาได้จากสมการ

$$\text{Hue angle} = \arctangent(b^*/a^*) \quad ; a^* > 0, b^* \geq 0 \quad (4)$$

$$\text{Hue angle} = \arctangent(b^*/a^*) + 180^\circ \quad ; a^* < 0 \quad (5)$$

$$\text{Hue angle} = \arctangent(b^*/a^*) + 360^\circ \quad ; a^* > 0, b^* < 0 \quad (6)$$

ค่ามุมของสีบอกสเกลอยู่ในช่วง 0-360 องศา ดังนี้ 0-45 องศา คือค่าสีช่วง ม่วงแดง-ส้มแดง, 45-90 องศา คือค่าสีช่วง ส้มแดง-เหลือง, 90-135 องศา คือค่าสีช่วง เหลือง-เขียวเหลือง, 135-180 องศา คือค่าสีช่วง เหลือง-เขียว, 180-225 องศา คือค่าสีช่วง เขียว-น้ำเงิน, 225-315 องศา คือค่าสีช่วง น้ำเงิน-ม่วง และในช่วง 315-360 องศา คือค่าสีช่วง ม่วง-ม่วงแดง (อรัญ, 2554)



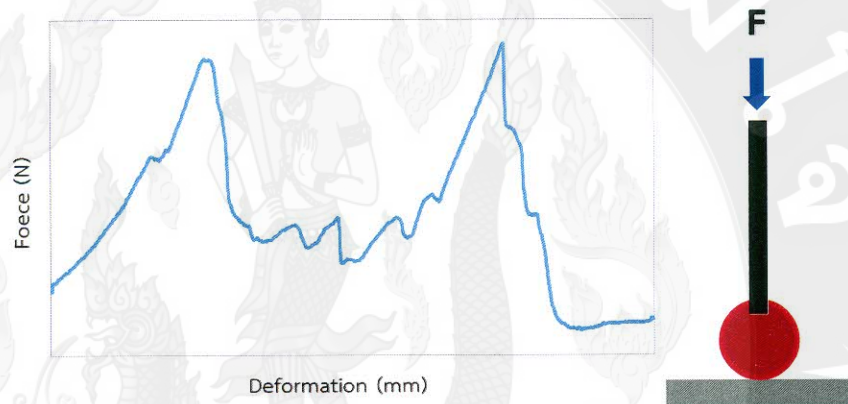
ภาพที่ 9 การบรรยายสีในระบบ CIE Lab มองในระนาบ 2 มิติ: Hue บรรยายถึงเฉดสี และ Chroma บรรยายถึงความมันวาวหรือความเข้มของโทนสี
ที่มา: Minolta (1997)

การวัดเนื้อสัมผัส

การวัดค่าความแน่นเนื้อ (firmness) ของพริก วัดโดยการใช้เครื่อง Texture Analyzer TA-XT2i Plus โดยจำลองการทดสอบแบบกดทะลุ (Penetration test) หรืออาจเรียกว่าการทดสอบแบบเจาะ (puncture test) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ทดสอบเนื้อสัมผัส (Texture analysis) ของอาหาร โดยการใช้หัววัดขนาดเล็กกว่าชิ้นตัวอย่างกดลงไปบนเนื้อพริกทะลุ ด้วยความเร็ว 2 mm/s ใช้สำหรับวัดค่า ความแน่นเนื้อ โดยพิจารณาจากแรงกดสูงสุดของกราฟวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TPA: Texture profile analysis) แสดงค่าระหว่าง แรง (Force) กับเวลาหรือค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformation)

หรือความชันของกราฟ ดังภาพที่ 10 ซึ่งพริกที่มีความแน่นเนื้อน้อยจะต้านทานต่อการเสียหายจากแรงกระทำได้น้อย ส่งผลให้มีค่าความชันน้อย พริกที่มีความแน่นเนื้อมากจะมีค่าความชันสูงกว่า และกราฟ TPA สามารถนำมาหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายลักษณะเนื้อสัมผัสของพริกได้ กราฟ TPA สามารถนำมาหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายเนื้อสัมผัสของอาหารได้ ดังนี้

1. Factorability ค่าความเปราะ คือแรงที่จุดยอดแรกซึ่งทำให้ตัวอย่างหรืออาหารแตกในช่วงการกดหรือการเคี้ยวครั้งที่ 1 (เดิมเรียกว่า Brittleness) มีหน่วยเป็นหน่วยของแรง เช่น นิวตัน
2. Hardness แรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกดหรือเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรกมีหน่วยเป็นหน่วยของแรง เช่น นิวตัน (พิมพ์เพ็ญ และคณะ, 2549)



ภาพที่ 10 กราฟวิเคราะห์เนื้อสัมผัสแสดงค่าระหว่างแรงกับค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้โอโซนเพื่อการเกษตรและอาหาร โดยทั่วไปจะเน้นการวิจัยเกี่ยวกับการนำโอโซนมาใช้ประโยชน์ ซึ่งแก๊สโอโซนจัดเป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ (oxidizing agent) ที่แรงที่สุดที่อนุญาตให้ใช้กับอาหารได้อย่างปลอดภัย เพราะสามารถกำจัดสารเคมีตกค้าง การฆ่าเชื้อโรค กำจัดเชื้อจุลินทรีย์ และกำจัดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ติดมากับผิวของผักและผลไม้สดมีฤทธิ์สูงกว่าคลอรีนถึง 51% ซึ่งการกำจัดขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของแก๊สโอโซนและระยะเวลาที่ใช้ โอโซนสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ รวมทั้งสารอินทรีย์ ทำให้เกิดการแตกตัวและสลายตัวในกระบวนการสลายตัวทางชีวภาพได้ง่าย สารอินทรีย์บางชนิดทำปฏิกิริยากับโอโซนอย่างสมบูรณ์ได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (Kasiviswanathan et al., 2009)

Hua et al. (2004) มีการทดสอบล้างผักชีเพื่อลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ โดยเปรียบเทียบการล้าง 5 วิธี คือ ล้างด้วยน้ำเปล่า น้ำผสมคลอรีน น้ำอเล็กโทรไลต์ น้ำโอโซน และล้างด้วยน้ำอเล็กโทรไลต์ (AEW) และน้ำโอโซน โดยศึกษาคุณภาพผักชีตลอดอายุการเก็บรักษา พบว่าน้ำโอโซนสามารถลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และผักชียังคงคุณภาพความสดและกลิ่นได้อย่างดี

นอกจากการใช้แก๊สโอโซนในการกำจัดกลิ่น และฆ่าเชื้อโรคต่างๆ แล้ว ในปัจจุบันโอโซนยังถูกนำไปใช้ในการกำจัดและควบคุมแมลงศัตรูพืช ดังในงานวิจัยของ Martin et al. (2011) ศึกษาปัญหา มอดแป้ง (red flour beetle) ซึ่งเป็นแมลงที่พบมากในบริเวณห้องจัดเก็บธัญพืช ทำการทดสอบการรมโอโซนในบริเวณห้องจัดเก็บธัญพืชที่มีตัวหนอนและตัวมอดแป้งในปริมาณความเข้มข้นแก๊สโอโซน 40 ppm นาน 6 ชั่วโมง สามารถทำให้อัตราการตายของตัวหนอน 100% แต่ยังคงเหลือตัวมอดแป้งที่มีอาการอ่อนแอหรือเกือบเสียชีวิต จะต้องมีการเพิ่มเวลาในการสัมผัสโอโซนมากขึ้นนานถึง 24 ชั่วโมง ถึงสามารถทำให้ตัวมอดแป้งมีอัตราการตาย 100% โอโซนที่เป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรงซึ่งทำให้มีผลเป็นพิษต่อแมลง หากแมลงมีการสัมผัสโอโซนในปริมาณที่มากในเวลาหนึ่ง โอโซนจะไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันโมเลกุลของไขมัน (lipid peroxidation) ทั้งในไข่และในตัวมอดแป้ง

Marissa et al. (2011) ได้พัฒนาการกำจัดแมลงศัตรูพืช โดยการออกแบบเครื่องสายพานเกลียวแบบสกรูรวมกับการใช้แก๊สโอโซน ซึ่งมีระบบการไหลอย่างต่อเนื่อง ในการทำงานใช้ความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่ใช้ประมาณ 47,800 ppm และเวลาที่ใช้ในการผ่านเครื่องเกลียวสกรู 1 min 48 sec โดยผ่านเครื่อง 3 ครั้ง จะสามารถกำจัดตัวมอดแป้งแดงและตัวในเมล็ดข้าวโพดได้ 100% ซึ่งคิดเป็นปริมาณความเข้มข้นที่ผลิตภัณฑ์ได้รับเป็น (concentration) ซึ่งมีหน่วยเป็น mg/L หรือ ความเข้มข้น $\times$ เวลาที่ได้สัมผัส (contact time) หรืออาจเรียกว่า ค่า CT 258,120 ppm-min และยังสามารถลดเชื้อราและสารเคมีตกค้างที่ผิวของเมล็ดข้าวโพดได้ในการผ่านสกรูเพียงครั้งเดียว

จากคุณสมบัติโอโซนเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรง มีผลต่อผนังเซลล์พืชและเซลล์สิ่งมีชีวิต เกิดการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาออกซิเดชันภายในเนื้อพืช มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเปอร์ออกไซด์ ดังเช่นในงานวิจัยของ ศรีณยา และคณะ (2549) ได้ศึกษาผลของโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเปอร์ออกไซด์ในผลลำไยพันธุ์ดอระหวางการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C หลังจากรมด้วยโอโซนความเข้มข้น 200 ppm แล้วนำมาเก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 5°C วิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยใช้การวิเคราะห์แบบ titanium พบว่าปริมาณเปอร์ออกไซด์ทั้งหมดในเปลือกผลลำไยมีมากกว่าในเนื้อทุกระบบวิธีทดลอง และในเปลือกผลทุกระบบการทดลองมีปริมาณเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ชนินทร์ และคณะ (2549) ศึกษาผลของแก๊สโอโซนที่มีต่อการตอบสนองของสารต่อต้านอนุมูลอิสระในข้าวโดยเลือกข้าวที่มีคุณสมบัติตอบสนองไว คือ สายพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และข้าวที่มีคุณสมบัติต้านทานต่อโอโซน คือ สายพันธุ์สุพรรณบุรี 90 โดยนำมารมโอโซนที่ความเข้มข้น 70 ppb

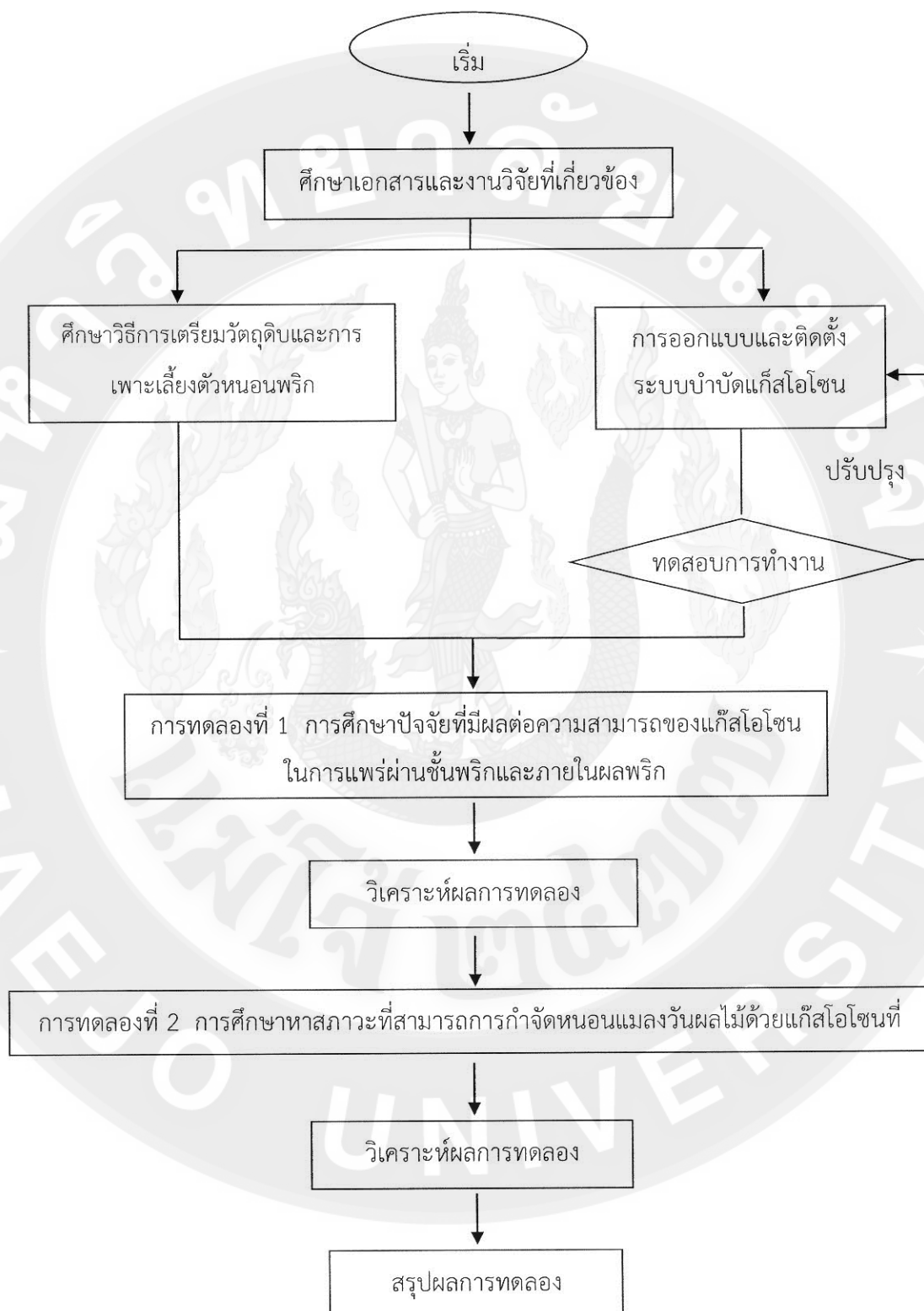
และ 40 ตามลำดับ นำทั้งมารวมแก๊สนาน 8 ชั่วโมง/วัน เป็นเวลา 15 วัน แล้วสังเกตการณ์เจริญของต้นข้าวในทุกช่วงเพื่อวัดสารต่อต้านอนุมูลอิสระในข้าว พบว่าการรมแก๊สโอโซนมีผลต่อปริมาณ Superoxide dismutase (SOD) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ Total ascorbate ในข้าวทั้งสองสายพันธุ์ มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าในชุดควบคุม ในระยะแรกจนถึงระยะกำเนิดช่อดอก เนื่องจากโอโซนทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่รุนแรง แล้วแทรกซึมผ่านเข้าสู่เซลล์ทางปากใบไปอยู่ในส่วนของ apoplast cells และถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสารก่อปฏิกิริยาที่ประกอบด้วยอะตอมออกซิเจนที่เป็นสารอนุมูลอิสระ (ROS) ในเซลล์พืช ดังนั้นสามารถใช้การเปลี่ยนแปลงของสารก่อปฏิกิริยาที่ประกอบด้วยอะตอมออกซิเจนในเซลล์พืชมาเป็นตัวชี้วัดความสามารถในการแทรกซึมของแก๊สโอโซนได้

ในการเลือกใช้อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการรมแก๊สโอโซนที่ใช้สำหรับการในการทดสอบงานวิจัยนี้ ได้พัฒนาวิธีการรมแก๊สโอโซนจากชุดต้นแบบการรมแก๊สโอโซนของงานวิจัย จาตุพงศ์ และคณะ (2554) :ซึ่งเป็นการออกแบบชุดอุปกรณ์ทางไฟฟ้า ควบคุมระบบการรมแก๊สโอโซนจากคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม LabVIEW ผ่านเครือข่ายสื่อสารไร้สาย การรมแก๊สโอโซนสามารถทำให้ภาชนะเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อแบบจุ่มชั่วคราวในถังโพลีคาร์บอเนตปลอดเชื้อ ซึ่งในการทดสอบสามารถทำให้แก๊สโอโซนกระจายทั่วทุกส่วนของถังรวมถึงจุดอับต่างๆ ทำให้ภาชนะปลอดเชื้อในเวลา 15 นาที ซึ่งสามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ *E. aerogenes* *B. pumilus* และ *B. amyloliquefaciens* ซึ่งพบทั่วไปในห้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ทั้งในระยะที่สร้างสปอร์และไม่สร้างสปอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ 100%

แมลงวันผลไม้ที่เข้าทำลายพริก เรียกอีกชื่อว่า แมลงวันพริก อนโทย และนุชรี (2554) ได้ศึกษาการทำลายของแมลงวันพริก พบว่าการทำลายของแมลงวันผลไม้พบตั้งแต่ระยะติดผลถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต พบในผลทุกขนาดที่ความยาวของผลพริก 2.50-13.76 cm. และน้ำหนัก 0.66 - 15.14 g วนิดา และคณะ (2552) ศึกษาความชอบในการวางไข่ของแมลงวันผลไม้ในห้องปฏิบัติการ พบว่าจำนวนไข่ในผลพริกชี้หนูสีเขียวน้อยกว่าในผลสีแดงโดยมีค่าเฉลี่ย 0.2 และ 0.8 ฟอง/ผล ตามลำดับ แสดงว่าสีผลพริกมีผลต่อความชอบในการวางไข่ ซึ่งทำให้เกษตรกรสังเกตการณ์ทำลายของแมลงวันผลไม้ได้ยาก และไม่สามารถป้องกันและกำจัดได้ทันที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพและการส่งออกพริกสด

การใช้แก๊สโอโซนในการกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริกมีแนวโน้มที่จะถูกนำมาใช้เป็นวิธีการทางเลือกได้อีกวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาคุณภาพการส่งออกพริกสดให้เป็นไปตามมาตรฐานด้านสุขอนามัยและสุขอนามัยพืช (Sanitary and Phytosanitary Measures, SPS) เป็นการควบคุมการนำเข้าสินค้าเกษตรและอาหารเพื่อป้องกันความเสี่ยงหรืออันตรายที่จะเกิดขึ้นกับคน สัตว์ และพืชในประเทศหนึ่งไปยังอีกประเทศหนึ่ง (สิรินาท, 2554) ได้ดั่งนั้นโครงการวิจัยนี้จึงเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาและประยุกต์ใช้เทคนิคการรมแก๊สโอโซนเพื่อให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมต่อเศรษฐกิจด้านการส่งออกพริกสดของประเทศไทย

แผนภาพกรอบแนวความคิดและสมมติฐานการวิจัย

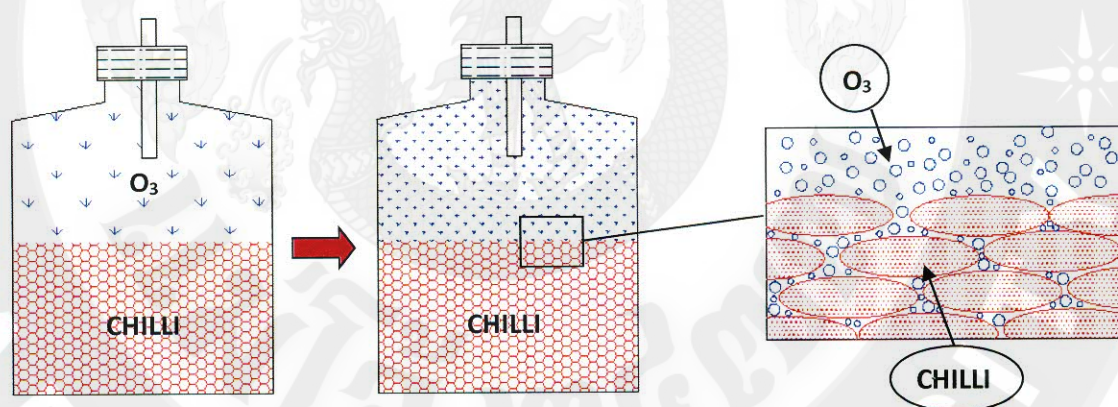


ภาพที่ 11 แผนภาพกระบวนการทำงานของกรอบแนวคิดงานวิจัย

กรอบแนวความคิดการวิจัย

เนื่องจากแก๊สโอโซนปริมาณความเข้มข้นสูง มีคุณสมบัติเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรงสามารถทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลได้ง่าย หรือสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโมเลกุลของไขมัน (lipid peroxidation) หรือเยื่อเมมเบรนที่มีสารอินทรีย์ของสิ่งมีชีวิต เมื่อตัวหนอนสัมผัสกับแก๊สโอโซนทำให้ผนังเซลล์ของตัวหนอนแตกสลาย และอ่อนแอแล้วตายในที่สุด ดังนั้นแก๊สโอโซนปริมาณความเข้มข้นสูงจึงสามารถป้องกันและควบคุมหนอนหลังการเก็บเกี่ยวได้

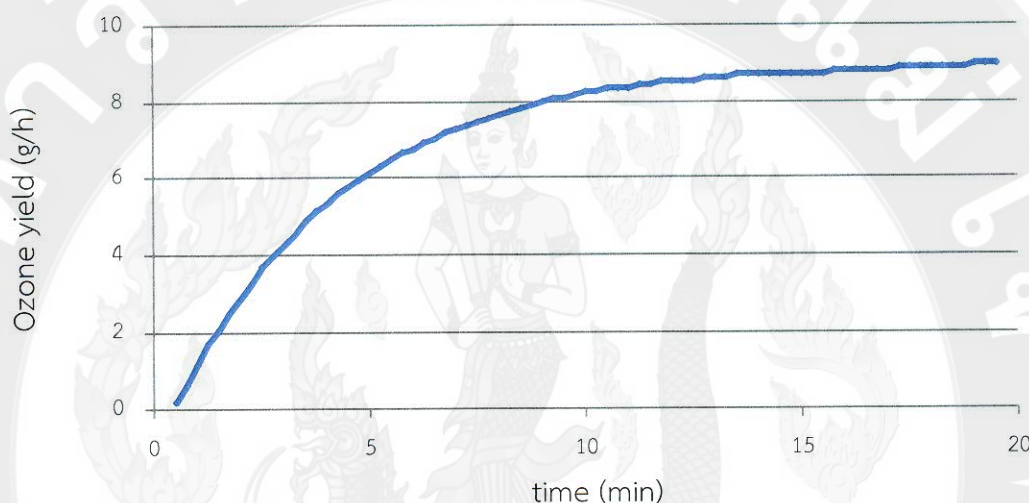
งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการรมแก๊สโอโซนเพื่อกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริก โดยเริ่มจากการศึกษาการแพร่ผ่านของแก๊สโอโซนในชั้นพริกภายในถังโพลีคาร์บอเนต ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานจากทฤษฎีการแพร่ผ่านของแก๊ส คือ เป็นกระบวนการที่โมเลกุลของแก๊สเคลื่อนที่กระจายออกไปจากบริเวณที่มีความหนาแน่นมากไปหาบริเวณที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า และหลังจากนั้นแก๊สก็จะกระจายตัวให้ความเข้มข้นโดยเฉลี่ยทุกบริเวณเท่าๆกัน จากทฤษฎีดังกล่าวอาจเกิดเช่นเดียวกันกับในระบบการรมแก๊สโอโซนที่สภาวะความดันในระบบ 12 kPa



ภาพที่ 12 ภาพจำลองการแพร่ผ่านของแก๊สโอโซนในถังโพลีคาร์บอเนตที่มีพริกครึ่งถึง

จากภาพที่ 12 ภาพจำลองการแพร่ผ่านของแก๊สโอโซนในถัง เมื่อเริ่มการรมแก๊สโอโซน โมเลกุลแก๊สโอโซนจะเกิดการชนกัน ทำให้เกิดการอัดบีบตัวตามคุณสมบัติของแก๊ส แล้วเกิดความดันขึ้นบริเวณพื้นที่ว่างด้านบนในถังแก๊สโอโซน ทำให้แก๊สโอโซนที่อัดตัวอยู่ด้านบนแพร่ผ่านมายังชั้นพริกด้านล่าง เนื่องจากอัตราการแพร่ขึ้นอยู่กัเวลาในการแพร่ ดังนั้นจึงได้ศึกษาเวลาในการพักในระหว่างการรมแก๊สโอโซนและปริมาณความเข้มข้นของแก๊สโอโซน และเมื่อเกิดความดันในถังเพิ่มขึ้นโมเลกุลของโอโซนก็จะบีบอัดตัวเล็กลงจนสามารถแทรกซึมเข้าภายในพริก แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโมเลกุลไขมันของตัวหนอน ทำให้ตัวหนอนอ่อนแอและตายในที่สุด ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบ

และยืนยันความสามารถการแพร่ผ่านของแก๊สโอโซนในการแทรกซึมเข้าไปยังเนื้อพริกและไส้พริก ด้วยการวัดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเนื้อพริกและไส้พริก เพราะเมื่อโอโซนเกิดการแทรกซึมผ่านเข้าสู่เซลล์พืช แล้วทำให้เกิด stress และสร้างสารอนุมูลอิสระในเซลล์เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น ดังนั้นการวัดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเนื้อพริกและไส้พริกจึงสามารถใช้เป็นดัชนีวัดความสามารถในการแทรกซึมผ่านของแก๊สโอโซนได้



ภาพที่ 13 อัตราการผลิตโอโซนของหลอดกำเนิดโอโซน ที่อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 7.5 L/min (control) ความดันในระบบ 12 kPa

การหาปริมาณความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่นำมาใช้สำหรับการรมแก๊สโอโซนเพื่อกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริก ผู้วิจัยได้อ้างอิงอัตราการสร้างปริมาณโอโซนของชุดกำเนิดโอโซนจากงานวิจัยของ จาตุพงศ์และคณะ (2554) ดังกราฟในภาพที่ 13 แสดงอัตราการผลิตโอโซน ที่อัตราการไหลของแก๊ส O_2 ที่ 7.5 L/min ผู้วิจัยเลือกทำการทดลองที่ความดันในระบบ 12 kPa มีปริมาณแก๊สโอโซนเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรงในช่วง 3 นาทีแรกและจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นทีละนิดจนได้ปริมาณคงที่สูงสุด 9.0 g/h และเป็นปริมาณแก๊สโอโซนที่คาดว่าเพียงพอต่อการนำมาใช้กำจัดหนอนหนอนแมลงวันผลไม้ในพริกได้ และไม่ส่งผลต่อคุณภาพพริกสด ทั้งทางด้านเนื้อสัมผัสและสีของพริกสด

ในการวิเคราะห์อัตราการตายของหนอนแมลงวันผลไม้ในพริกหลังจากผ่านการรมแก๊สโอโซน เพื่อให้สอดคล้องกับความสามารถการแทรกซึมผ่านของแก๊สโอโซนและคุณภาพของพริก ผู้วิจัยอ้างอิงการวิเคราะห์ของ Varith et al. (2007) ศึกษาการใช้คลื่นไมโครเวฟในการให้ความร้อนแก่มะม่วงเพื่อกำจัดหนอนแมลงวันทอง (*Dacus dorsalis* H.) ได้พัฒนากระบวนการอบร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับไอน้ำ และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความร้อน อัตราการตายของหนอน และเวลา ซ้อนทับกับ

กราฟของความร้อน คุณภาพของมะม่วง และเวลา แสดงช่วงเวลาและความร้อนที่เหมาะสมในการกำจัดหนอนแมลงวันทอง พบว่าอุณหภูมิที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดกักกันหนอนแมลงวันทองต้องสูงกว่า 46°C และควรอยู่ในช่วงเวลา 20 min โดยการพัฒนากระบวนการอบร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับไอน้ำ แล้วทำให้อุณหภูมิภายในผลมะม่วงมีค่า $48-55^{\circ}\text{C}$ สามารถทำให้มีอัตราการตายของหนอน 100 % ดังนั้นจึงนำแนวคิดดังกล่าวมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแก๊สไอโซนและเวลา ที่มีผลต่ออัตราการตายของหนอนแมลงวันผลไม้ ช้อนทับกับความสามารถการแทรกซึมผ่านของแก๊สไอโซนและคุณภาพของพริก



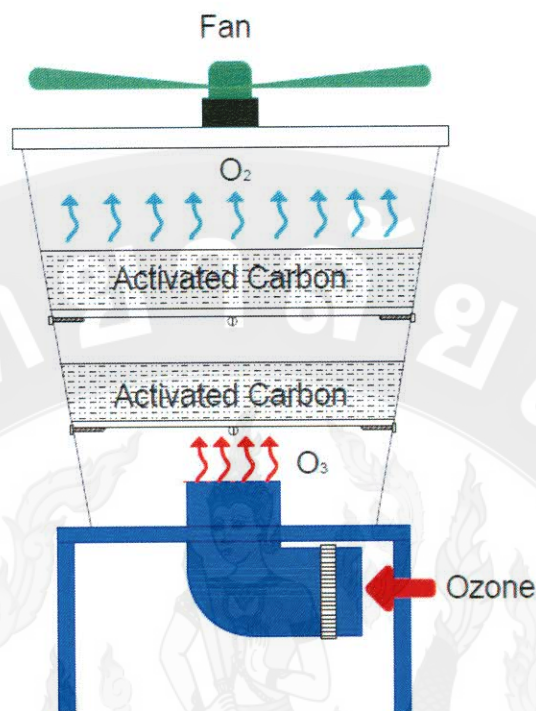
ชุดระบบการรมแก๊สไฮโดรเจน

The diagram illustrates the experimental setup for the ozonolysis of 1,2-dichloroethane. The main components are:

- CHAMBER:** A large vertical vessel where the reaction takes place. It contains a stirrer and a gas inlet.
- CONTROL SYSTEM:** A computer monitor displaying a schematic of the setup, connected to a control unit with various buttons and a digital display.
- OZONE GENERATOR:** A device that produces ozone gas, connected to the chamber via a tube.
- AIR PUMP:** A pump that draws air from the atmosphere and pushes it into the chamber.
- Oxygen:** A gas cylinder providing a source of oxygen to the system.

The diagram shows the flow of gases (air, oxygen, ozone) into the chamber and the electrical connections between the control system, the ozone generator, the air pump, and the chamber.

เนื่องจากแก๊สโอโซนมีปริมาณความเข้มข้นสูง จึงคำนึงถึงความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อมจึงได้ทำระบบบำบัดแก๊สโอโซน ใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) แบบเกล็ดที่ทำมาจากกากมะพร้าว จำนวน 8 kg สามารถใช้งานได้นาน 51 h โดยแบ่งช่วงกรองออกเป็นเป็นสองชั้น ด้านบนติดตั้งพัดลมเพื่อช่วยการระบายของแก๊สหลังถูกบำบัดเป็นแก๊สออกซิเจน ดังภาพที่ 15



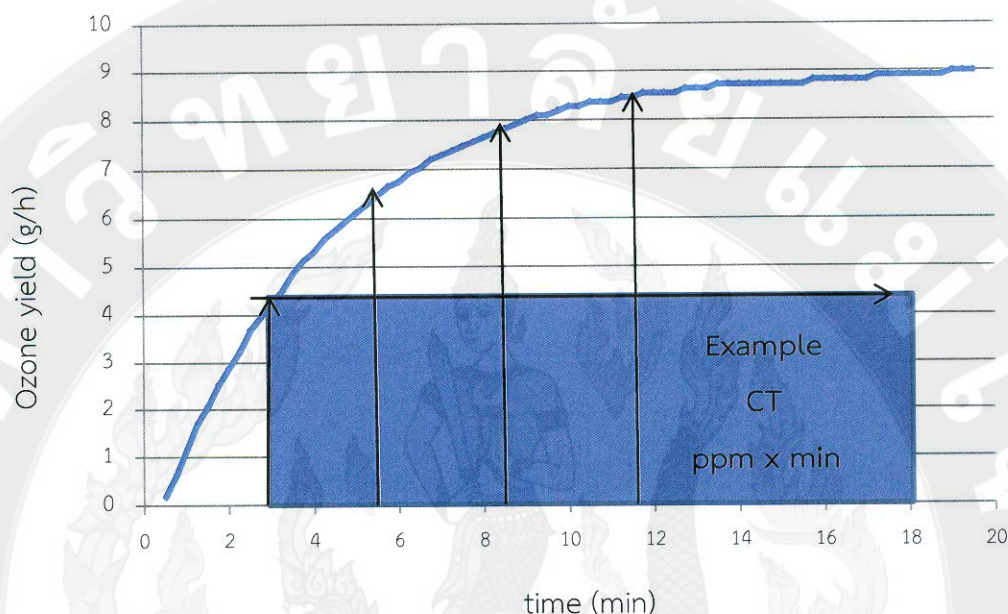
ภาพที่ 15 ระบบบำบัดแก๊สโอโซน

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถของแก๊สโอโซนในการแพร่ผ่านชั้นพริกและภายในผลพริก

การเลือกระดับการทดสอบการกระจายตัวของแก๊สโอโซน

ปริมาณความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่ใช้ทดสอบอ้างอิงจากกราฟแสดงอัตราการผลิตโอโซนของหลอดกำเนิดโอโซน ดังแสดงในภาพที่ 16 โดยช่วงแรกเลือกค่าปริมาณการเกิดแก๊สโอโซนที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 3 min ซึ่งได้ปริมาณแก๊สโอโซน 4.23 g/h และช่วงต่อไปคือที่การปล่อยแก๊สโอโซนนาน 6 9 และ 12 min มีปริมาณการเกิดแก๊สโอโซนอยู่ที่ 6.75 8.01 8.55 g/h ตามลำดับ จากนั้นทำการแปลงหน่วยให้อยู่ในค่าปริมาณความเข้มข้นในหน่วย ppm จากสมการที่ 7 จะได้ค่าปริมาณความเข้มข้นที่ใช้สำหรับการทดสอบการรวมแก๊สโอโซนที่ 41,136 65,643 77,896 และ 83,147 ppm ตามลำดับ โดยหลังจากรวมแก๊สจะปล่อยพักให้แก๊สโอโซนแทรกซึมและกระจายเข้าสู่เนื้อพริกที่ 5 10 และ 15 min ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของแก๊สโอโซน (C) และระยะเวลาในการพัก (T) มีค่าเท่ากับปริมาณแก๊สโอโซนที่พริกได้รับ (CT) มีหน่วยเป็น ppm-min เช่น ตัวอย่างแสดงส่วนของพื้นที่แรเงาในภาพกราฟที่ 16 เป็นพื้นที่ค่าปริมาณแก๊สโอโซนที่พริกได้รับเมื่อปล่อยแก๊สโอโซน

นาน 3 min ได้ปริมาณความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่ 41,136 ppm และใช้เวลาในการพักนาน 15 min ดังนั้นปริมาณแก๊สโอโซนที่พริกได้รับ หรือ CT มีค่า 617,040 ppm-min เป็นต้น



ภาพที่ 16 อัตราการผลิตโอโซนของหลอดกำเนิดโอโซนแก๊สโอโซนที่ความดันในระบบ 12 kPa

การหาหน่วยวัดค่าความเข้มข้น ppm (part per million) (ACGIH, 2001)

$$ppm = \frac{R \times (273 + \text{Temp}^{\circ}\text{C}) K \times (\text{mg}/\text{m}^3)}{P \times MW} \quad (7)$$

เมื่อ R คือ ค่าคงที่ของก๊าซในอุดมคติ เท่ากับ 62.4 เมื่ออุณหภูมิอยู่ในหน่วย เคลวิน (K)
 ความดันอยู่ในหน่วย mmHg ปริมาตรอยู่ในหน่วย L
 Temp คือ อุณหภูมิในหน่วย เคลวิน ($273.16 + T^{\circ}\text{C}$)
 P คือ ความดันในหน่วย mmHg
 MW คือ มวลโมเลกุลของแก๊สโอโซน มีค่าเท่ากับ 48

และ (mg/m^3) หาได้จากค่า O_{3app} ในสมการดังต่อไปนี้ (จาทุงศ์ และคณะ, 2554)

$$O_3 = P_o \times F \times O_{3app} \quad (8)$$

เมื่อ O_3 คือ ปริมาณของแก๊สโอโซนที่ถูกผลิตขึ้นในสภาวะที่อัตราการไหลและแรงดันของแก๊สออกซิเจนที่แตกต่างกัน (g/h)

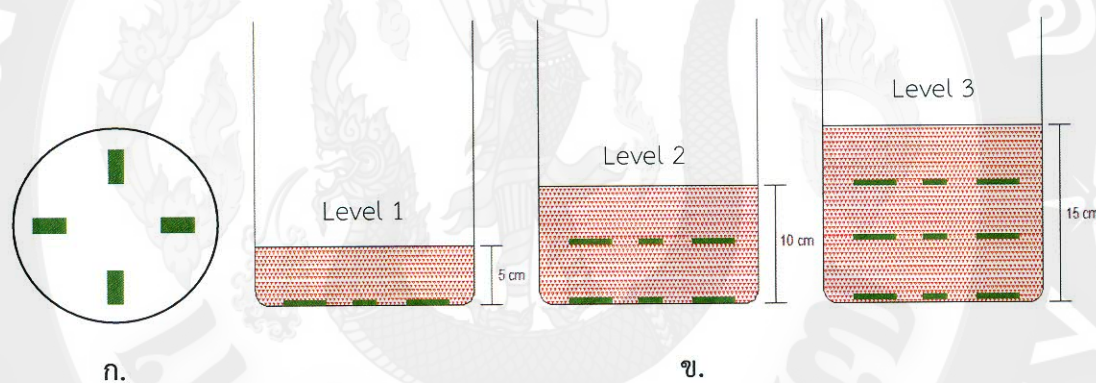
P_o คือ ความดันรวมของระบบ (atm)

F คือ อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน (l/min)

O_{3app} คือ ปริมาณแก๊สโอโซนที่อ่านค่าได้เครื่องวัดปริมาณแก๊สโอโซน (g/m^3)

การวัดการกระจายตัวของแก๊สโอโซน

จากคุณสมบัติเฉพาะของก๊าซโอโซนเป็นก๊าซที่มีฤทธิ์เป็นกรด จึงนำคุณสมบัติเฉพาะดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในการดูการกระจายตัวและการแพร่ผ่านของแก๊สโอโซน วัดด้วยกระดาษลิตมัส ซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์นำมาใช้ระบุการไหลผ่านของแก๊สโอโซนผ่านในชั้นฟริก แล้วเทียบกับสเกลสีวัดค่า pH โดยการทดลองนี้แบ่งดูการกระจายเป็น 3 ชั้น ดังภาพที่ 17 วางกระดาษลิตมัสที่เปียกน้ำ pH 7 แบ่งเป็น 3 ระดับ โดยเริ่มวางที่ก้นของถังเป็นระดับที่ 1 แต่ละระดับวางห่าง 5 เซนติเมตร คั่นด้วยฟริก



ภาพที่ 17 ตำแหน่งการวางกระดาษลิตมัสเพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของแก๊สโอโซนในภาชนะทดลอง ก. ภาพตัดขวางด้านบน ข. ภาพตัดขวางด้านข้าง

ออกแบบการทดลองแบบ Full factorial ซึ่งมี 2 ปัจจัยคือ ปริมาณความเข้มข้นของแก๊สโอโซน 4 ระดับคือ 41,136 65,643 77,896 และ 83,147 ppm และเวลาในการพัก 3 ระดับ 5 10 15 min ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ดังนั้นมีทั้งหมด 36 การทดลอง และนำข้อมูลการทดลองมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS (IBM Corporation, USA) เพื่อทดสอบหาค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญของแต่ละการทดลองโดยใช้วิธี One-Way ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's multiple range test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4 ตารางออกแบบการทดลองการวัดการกระจายตัวของแก๊สโอโซน

RUN	Ozone concentration (ppm)	Hold time (minute)
1	41,136	5
2	41,136	10
3	41,136	15
4	65,643	5
5	65,643	10
6	65,643	15
7	77,896	5
8	77,896	10
9	77,896	15
10	83,147	5
11	83,147	10
12	83,147	15

การวัดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในผลพริกและในไส้พริก มีดังนี้

1. เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Biochrom WPA Spectrawave รุ่น S1200
2. เครื่องปั่นเหวี่ยงสารให้ตกตะกอน ยี่ห้อ GEMMY รุ่น GM PLC-012
3. เครื่องผสมสารละลาย ยี่ห้อ LMS รุ่น VTX-3000L Mixer Uzusio
4. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CP224S
5. อุปกรณ์ใส่สารเคมี ได้แก่ หลอดทดลอง และ ปีกเกอร์,
6. อุปกรณ์ชั่งตวงปริมาตรสารละลาย ได้แก่ ขวดปรับปริมาตร ข้อนตวงสาร ปีเปต และ

กระบอกตวง

7. ชุดอุปกรณ์เตรียมตัวอย่างทดสอบ ได้แก่ มีด เขียง และ เครื่องปั่น

8. สารเคมีใช้ทดสอบ ได้แก่ Potassium phosphate tribasic (K_3PO_4),

Ethylenediaminetetra-acetic acid (EDTA), Polyvinylpolypyrrolidon (PVPP) และ น้ำกลั่น

วิธีการทดสอบหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

การทดสอบหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเนื้อพริกและไส้พริก ได้ดัดแปลงวิธีการวิเคราะห์จาก Abnova, 2012 ซึ่งเป็นวิธีการการวัดความเข้มข้นจากเครื่องวัดการดูดกลืนแสง

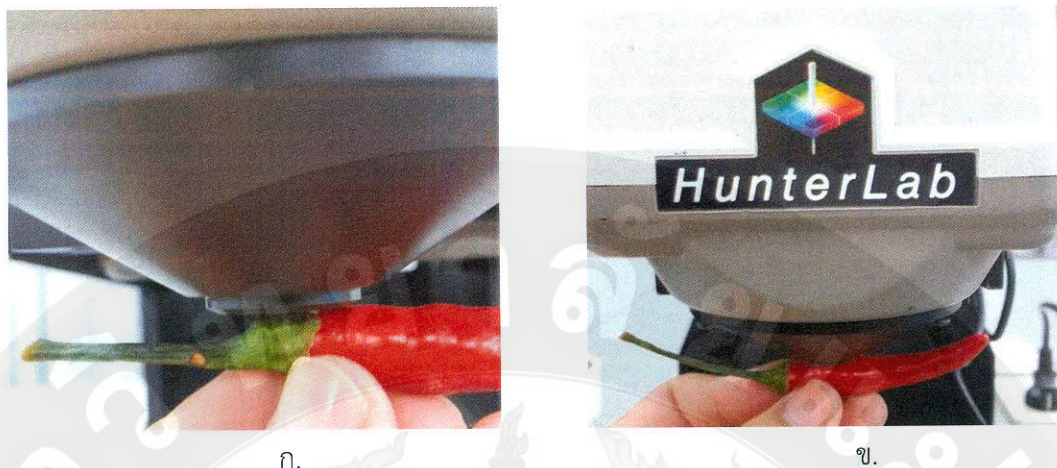
เริ่มต้นนำพริกมาหั่นแยกส่วนเนื้อและไส้พริก จากนั้นนำไปแยกปั่นด้วยเครื่องปั่นละเอียด จากนั้นนำส่วนพริกบด 0.1 กรัม ใส่หลอดทดลอง เติมสารละลาย K_3PO_4 (pH 6.8) เข้มข้น 50 mmol ลงไปปริมาณ 2 ml สารละลาย EDTA 0.1 mmol และ 100%PVPP 0.1 g ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม ปิดฝาหลอดทดลองแล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ $20^{\circ}C$ นาน 30 min เมื่อครบเวลาแช่เย็นแล้วนำไปปั่นแยกส่วนด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,500 RPM นาน 15 min จะได้ของเหลวใสส่วนบน เก็บเฉพาะส่วนนี้เพื่อวิเคราะห์ อัตราส่วนผสมใช้ 1 ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างต่อ 10 ปริมาตร แล้วนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 nm นำข้อมูลที่อ่านได้ไปคำนวณหาปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จาก standard curve ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำการทดสอบตลอดอายุการเก็บรักษาที่ศึกษาเป็นเวลา 3 อาทิตย์

นำข้อมูลการทดลองมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS (IBM Corporation, USA) เพื่อทดสอบหาค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญของแต่ละการทดลองในแต่ละวันโดยใช้วิธี One-Way ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's multiple range test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การวิเคราะห์ค่าสี

วัดค่าสีของพริกด้วยเครื่อง Hunter Lab รุ่น MiniScan XE โดยจะวัดที่เนื้อพริกและหัวพริก ดังภาพที่ 18 เลือกสุ่มวัด 5 ตัวอย่าง โดยจะนำข้อมูล L^* , a^* และ b^* จากทั้ง 10 ตัวอย่างมาหาค่าเฉลี่ย แล้ว คำนวณหาค่าความแตกต่างของสี (ΔE) และค่ามุมของสี (Hue angle) พริกและหัวพริกของตัวอย่างดังสมการที่ 3-6 เปรียบเทียบกับพริกควบคุมเป็นพริกตามธรรมชาติที่ไม่ได้รมแก๊สโอโซน แล้วนำข้อมูลการทดลองมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS (IBM Corporation, USA) เพื่อทดสอบหาค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญของแต่ละการทดลองในแต่ละวันโดยใช้วิธี One-Way ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's multiple range test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เนื้อพริกควบคุมมีค่าเฉลี่ยค่าสี a^* อยู่ในช่วง 46.68 ± 2.91 b^* อยู่ในช่วง 32.62 ± 3.44 และ L^* อยู่ในช่วง 35.73 ± 3.03 และหัวพริกมีค่าเฉลี่ยค่าสี a^* อยู่ในช่วง -7.69 ± 0.94 b^* อยู่ในช่วง 29.73 ± 5.06 และ L^* อยู่ในช่วง 41.15 ± 3.60 โดยเป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดตัวอย่างพริกควบคุมที่เป็นพริกตามธรรมชาติ



ภาพที่ 18 การวัดค่าสีของพริกที่บริเวณ ก. ขั้วพริก ข. เนื้อพริก

การวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อ

การทดสอบเนื้อสัมผัส ของพริกใช้การทดสอบแบบเจาะทะลุด้วยเครื่อง Texture Analyzer TA-XT2i Plus ใช้หัวกดสแตนเลสทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm เชื่อมต่อดำวยหัวต่อขนาด 60 mm เจาะทะลุตัวอย่างด้วยความเร็ว 2 mm/s เลือกสุ่มตัวอย่าง 5 ตัวอย่าง เลือกบริเวณเจาะห่างจากขั้วพริกประมาณ 1 cm ดังภาพที่ 19

การวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อของพริก วิเคราะห์จากค่าแรงสูงสุดค่าแรกที่เจาะทะลุเนื้อพริก โดยปกติการวัดค่าความแน่นเนื้อโดยใช้วิธีการเจาะทะลุจะมีค่าแรงสูงสุดที่ใช้เจาะอยู่ 2 ค่าคือค่าแรงที่ใช้เจาะทะลุด้านบนและด้านล่างของตัวชิ้นทดสอบ แต่จากการสังเกตระหว่างการทดสอบพบว่าค่าแรงสูงสุดที่ใช้เจาะเนื้อพริกด้านล่างมีค่าแตกต่างจากด้านบน ซึ่งมีค่าสูงมากกว่า เกิดจากเมื่อแทงเจาะทะลุเข้าด้านในแล้วเจอเมล็ดพริก ทำให้เกิดการดันเมล็ดพริกออกมาด้วยทำให้ใช้แรงกดมากขึ้นกว่าด้านบน ทำให้ผู้วิจัยเลือกใช้ค่าแรงสูงสุดที่ใช้เจาะด้านบนเท่านั้น เพื่อความแม่นยำในการทดสอบ นำข้อมูลการทดลองมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS (IBM Corporation, USA) เพื่อทดสอบหาค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญของแต่ละการทดลองในแต่ละวันโดยใช้วิธี One-Way ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's multiple range test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 19 วัดความแน่นเนื้อของพริกด้วยการเจาะทะลุวัดห่างจากขั้วพริก 1 cm

การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

การทดสอบงานวิจัยนี้ใช้พริกสายพันธุ์ซูเปอร์ฮอท ซื้อจากตลาดขายของสด จังหวัดเชียงใหม่ เลือกใช้พริกที่เก็บเกี่ยวมาแล้วไม่เกิน 1 วัน หนึ่งชุดการทดลองใช้พริก 4 kg จะให้ปริมาณครึ่งถึงพอดี หลังจากรมแก๊สเอทิลีน เก็บตัวอย่างการทดลองใส่ในถาดโฟมปริมาณ 200 g หุ้มด้วยพลาสติกพอลิโพรไพลีนมีรูอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm ปิดด้วยเทปใสดังภาพที่ 20 จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4-6 °C



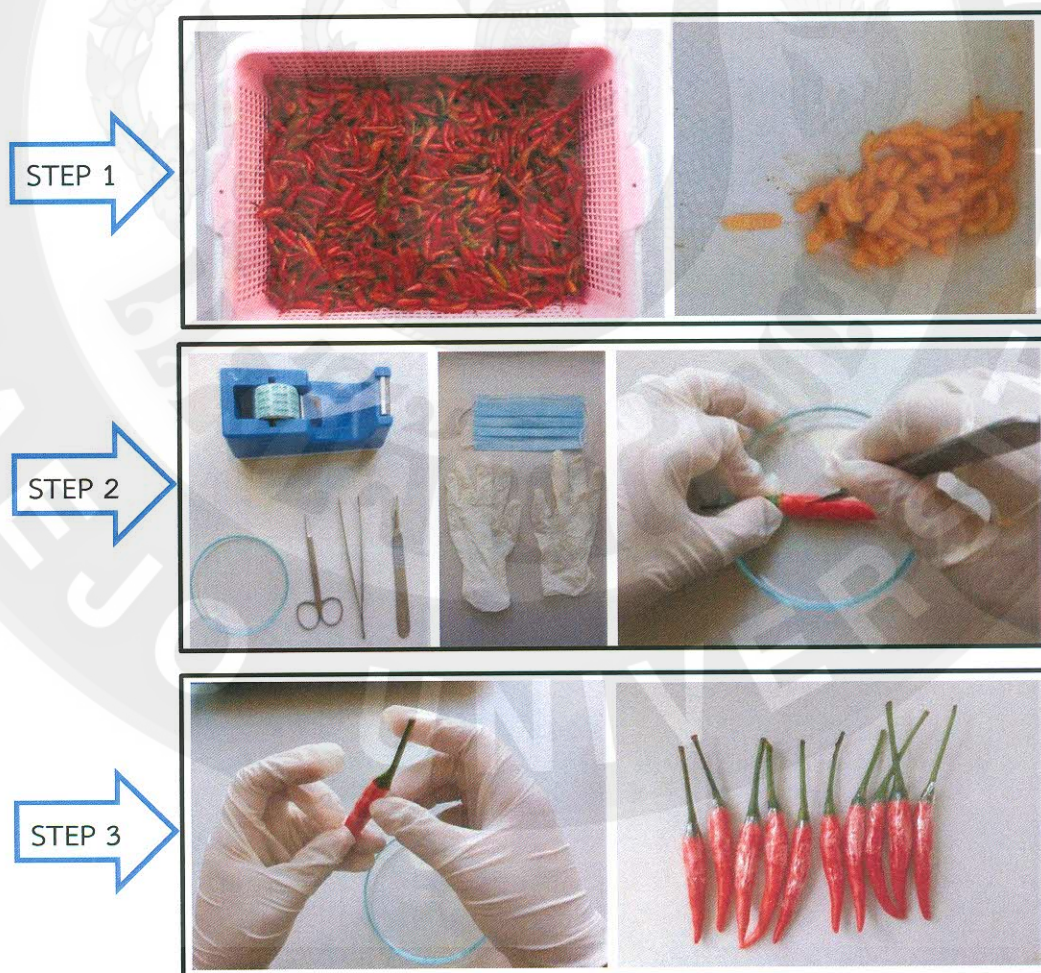
ภาพที่ 20 ลักษณะการเก็บตัวอย่างพริกเพื่อการทดสอบ

การทดสอบกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ด้วยระบบการแก๊สไอโซน

การทดสอบการรมแก๊สไอโซนเพื่อกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริก โดยใช้หนอนในระยะวัยที่ 2 และ 3 มีขนาดตัวยาว 7-10 mm ซึ่งเป็นวัยที่สามารถสังเกตเห็นได้ง่ายมากเจอในพริกที่ถูกทำลายและเริ่มมีการเน่าเสีย

ขั้นตอนการเตรียมพริกที่มีหนอน

- 1 นำพริกที่เน่าและมีตัวหนอนมาบ่มพักในตะกร้าที่มีรูแล้ววางซ้อนด้วยถังพลาสติก นำไปตากแดดเพื่อให้หนอนซ่อนไขลงด้านล่างแล้วตกลงในถังเพื่อง่ายต่อการนำหนอนออกจากผลพริก
- 2 นำพริกที่มีลักษณะดี ไซ้มีดเล็กเปิดรู แล้วใช้เข็มคีบตัวหนอนใส่ลงไปในรู พริก 1 ผลพริกใส่หนอนจำนวน 3 ตัว
- 3 ปิดรูด้วยเทปใส จากนั้นนำพริกใส่ถุงใส่แล้วพับไว้ในตู้แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4-6 °C เพื่อให้หนอนพักตัวไม่ซ่อนไขออกมานอกพริก เพื่อการทดสอบการรมแก๊สไอโซน



ภาพที่ 21 ขั้นตอนการเตรียมพริกที่มีหนอนสำหรับการรมแก๊สไอโซน

วิธีการทดสอบกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้

1. นำพริกทดสอบผสมกับตัวอย่างพริกที่มีหนอนโดย 1 การทดลอง ใช้พริกที่มีหนอนที่ได้จากการเตรียม 10 ผล วางไว้ด้านล่างสุดของถัง แล้วนำพริกทดสอบที่มีหนอนตามธรรมชาติ 4 kg ไล่ลงไปให้ได้ปริมาตรครึ่งถัง จากนั้นทำการทดสอบที่ปริมาณการปล่อยแก๊สไอโซนและระยะเวลา ดังตารางที่ 5

2. เก็บตัวอย่างพริกเพื่อสังเกตอัตราการตายของหนอน 2 แบบ แบบที่ 1 นำพริกที่ควบคุมปริมาณหนอนที่ผ่านการรมแก๊สไอโซนแล้วแบ่งใส่ถาดโฟม 2 ถาด ถาดละ 5 ผล ดังภาพที่ 22 แล้วนำพริกที่มีหนอนตามธรรมชาติที่รมแก๊สไอโซนชุดการทดลองเดียวกันใส่เพิ่มให้เต็มถาด หุ้มด้วยพลาสติกพอลิโพรไพลีนมีรูอากาศ ปิดด้วยเทปใส แบบที่ 2 นำพริกที่มีหนอนตามธรรมชาติใส่ในถุงพลาสติกปิดซิปล็อกแบ่งเป็นสองถุง ทั้งสองแบบนี้เก็บที่อุณหภูมิ 4-6 °C และที่อุณหภูมิภายนอก 30 °C สังเกตอัตราการตายและการเจริญของหนอน ทุกๆ 2 วัน รวมระยะเวลานาน 15 วัน



ภาพที่ 22 ก.แบบที่ 1 การบรรจุพริกที่มีหนอนลงในถาดโฟมหุ้มด้วยพลาสติกใสมีรูเพื่อสังเกตอัตราการตายของหนอน ข. แบบที่ 2 การบรรจุพริกที่มีหนอนตามธรรมชาติในถุงพลาสติกมีซิปล็อก

เนื่องจากการเน่าเสียมีความสัมพันธ์กับการเจริญของหนอน เพราะโดยธรรมชาติหากพริกที่มีหนอนอยู่ด้านใน ตัวหนอนวัยที่ 1-2 จะอาศัยและซ่อนไข่กักกันอยู่ภายในผลพริกจนหมด ภายในผลกลวง และทำให้ผลพริกเน่าเสีย จนหนอนเข้าสู่ระยะวัยที่ 3 หนอนจะเจาะออกมาด้านนอกผลพริก และเจริญเป็นดักแด้ต่อไป ดังนั้นจึงสังเกตการระดับการเน่าเสียของพริกพร้อมกับการเจริญและการตายของหนอน โดยเปรียบเทียบกับพริกควบคุมที่แบ่งเป็นการสังเกต 2 แบบเช่นเดียวกัน

บทที่ 4

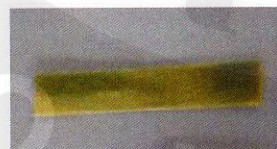
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลทดสอบการกระจายตัวของแก๊สโอโซน

การวัดการกระจายตัวของแก๊สโอโซนด้วยกระดาษลิตมัส เป็นการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่างจากการเปลี่ยนสีของกระดาษลิตมัส เพื่อทดสอบการกระจายตัวและการแทรกซึมผ่านของแก๊สโอโซนในชั้นพริกทั้ง 3 ระดับ ซึ่งบางแผ่นมีการเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเต็มแผ่น หมายถึงแก๊สโอโซนความเข้มข้นสูงสามารถกระจายตัวและแทรกซึมเข้าไปทั่วบริเวณนั้นโดยสมบูรณ์ แต่ถ้ากระดาษลิตมัสมีการเปลี่ยนสีเป็นต่างมีสีเขียวอ่อนหรือเขียวเข้มและสีเหลืองปนกัน นั้นหมายถึงบริเวณนั้นแก๊สโอโซนไม่สามารถกระจายตัวได้อย่างสมบูรณ์ และมีผลต่อการแทรกซึมผ่านของแก๊สโอโซนในเนื้อพริกด้วยเช่นกัน ทำให้ต้องเลือกสภาวะที่เหมาะสมแก่การทดสอบที่มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเพื่อประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย พบว่าที่ความเข้มข้นของแก๊สโอโซน 41,136 ppm และพักที่เวลา 5 และ 10 min และที่ 65,643 ppm พักที่เวลา 5 นาที ทั้ง 3 สภาวะมีค่า pH > 5 ซึ่งแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาความเป็นกรดของแก๊สโอโซนยังไม่สมบูรณ์ ดังนั้นทั้ง 3 สภาวะนี้ จึงเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมในการรวมแก๊สโอโซนและที่ในระดับการใช้ความเข้มข้นของแก๊สโอโซน 83,147 ppm พักเป็นเวลา 15 min พบว่าที่ระดับชั้น 2 และ 3 กระดาษลิตมัสเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีขาว (Light) ซึ่งเกิดจากการสัมผัสแก๊สโอโซนที่เกินไป แสดงดังภาพที่ 23



การดาษลิตมัสเปลี่ยนสีเต็มแผ่น



การดาษลิตมัสเปลี่ยนสีไม่เต็มแผ่น



การดาษลิตมัสเป็นสีขาว light

ภาพที่ 23 การเปลี่ยนสีของกระดาษลิตมัสหลังการรวมแก๊สโอโซน

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบการวัดการกระจายตัวของแก๊สโอโซนด้วยกระดาษลิตมัส

Ozone con. C (ppm)	Holding time T (min)	ค่า pH		
		Level 1	Level 2	Level 3
41,136	5	5.73±0.46 ^{aA}	5.40±0.35 ^{aA}	5.07±0.12 ^{aB}
	10	5.20±0.10 ^{aB}	5.40±0.26 ^{aA}	5.40±0.20 ^{aA}
	15	4.60±0.10 ^{bcA}	4.57±0.06 ^{bcA}	4.40±0.10 ^{bcA}
65,643	5	5.33±0.38 ^{aA}	5.33±0.30 ^{aA}	5.17±0.45 ^{aB}
	10	4.37±0.12 ^{bcA}	4.30±0.17 ^{bcA}	4.20±0.00 ^{bcA}
	15	4.03±0.06 ^{cA}	4.13±0.06 ^{cA}	4.13±0.06 ^{cA}
77,896	5	4.13±0.06 ^{cA}	4.13±0.15 ^{cA}	4.17±0.06 ^{cA}
	10	4.07±0.12 ^{cA}	4.13±0.06 ^{cA}	4.10±0.10 ^{cA}
	15	4.03±0.06 ^{cA}	4.00±0.00 ^{cA}	4.00±0.00 ^{cA}
83,147	5	4.37±0.21 ^{bcA}	4.33±0.15 ^{bcA}	4.27±0.06 ^{bcA}
	10	4.07±0.12 ^{cA}	4.00±0.00 ^{cA}	4.00±0.00 ^{cA}
	15	4.00±0.00 ^c	light	light

หมายเหตุ - light คือ กระดาษลิตมัสเปลี่ยนสีเป็นสีขาว ไม่สามารถวัดระดับสีบอกระดับค่าความเป็นกรดได้ เพราะได้รับแก๊สโอโซนมากเกินไป

- a-c และ A-B คือ อักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแต่ละองค์ประกอบ แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยเมื่อมีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบ a-c ในแนวนอน และ A-B ในแนวนอน

จากตารางที่ 5 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของกระดาษลิตมัสในชุดการทดลองที่ความเข้มข้นของแก๊สโอโซน 41,136 ppm และพักที่เวลา 5 และ 10 นาที และที่ความเข้มข้นของแก๊สโอโซน 65,643 ppm พักที่เวลา 5 นาที กระดาษลิตมัสมีค่า pH แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยชั้นที่ 3 มีค่า pH เป็นความเป็นกรดมากกว่าบริเวณชั้น 1 และ 2 เนื่องจากกระดาษลิตมัสชั้นที่ 3 เป็นชั้นด้านบนมีสัมผัสกับแก๊สโอโซนมากกว่า ดังนั้นสถานะทั้ง 3 ชุดการทดลองนี้มีการกระจายของแก๊สโอโซนไม่สม่ำเสมอ และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถของแก๊สโอโซนในการกระจายตัวถึงกันถึงค่าความเป็นกรดที่ได้จากการเปลี่ยนของกระดาษลิตมัสที่ระดับชั้นที่ 1 สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มที่

เหมือนกัน ซึ่งในชุดการทดลองที่ความเข้มข้นของแก๊สโอโซน 41,136 ppm และพักที่เวลา 5 และ 10 นาที และที่ความเข้มข้นของแก๊สโอโซน 65,643 ppm พักที่เวลา 5 นาที ทั้งสามชุดการทดลองนี้เปลี่ยนสีเป็นด่างมีสีเขียวอ่อนหรือเขียวเข้มและสีเหลืองปนกัน เป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมในการรวมแก๊สโอโซน และมีความแตกต่างจากชุดการทดลองที่เหลืออีก 8 ชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกันกับค่าความเป็นกรดที่ได้จากการเปลี่ยนของกระดาษลิตมัสที่ระดับชั้นที่ 2 และ 3 แต่ที่ชุดการทดลองความเข้มข้นของแก๊สโอโซน 83,147 ppm พักที่เวลา 10 และ 15 นาที ไม่ได้อยู่ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเนื่องจากไม่สามารถอธิบายระดับสีบอกระดับค่าความเป็นกรดได้ ในขณะที่ค่าความเป็นกรดที่ได้จากการเปลี่ยนของกระดาษลิตมัสที่ชุดการทดลองเดียวกันในแต่ละระดับชั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและลักษณะการเปลี่ยนสีของกระดาษลิตมัส สามารถเลือกชุดการทดลองที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบการรวมแก๊สโอโซนเพื่อกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ได้ ดังในตารางที่ 6

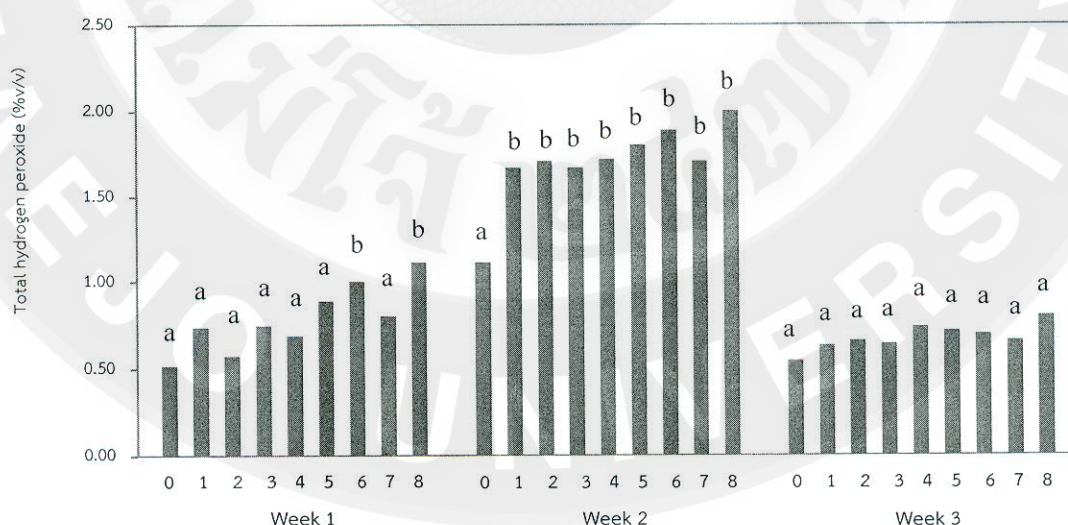
การเปลี่ยนแปลงสีของกระดาษลิตมัสที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของแก๊สโอโซนและเวลาที่สัมผัสกับกระดาษลิตมัส ซึ่งแก๊สโอโซนสามารถเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากมีสีเขียวเข้มมีค่า pH 7 เปลี่ยนเป็นสีเหลืองถึงเขียวอ่อน ซึ่งเป็นค่าในช่วงของการเป็นกรดมีค่า pH 4-6 จากผลทดสอบการกระจายตัวและการแพร่ผ่านของแก๊สโอโซนและลักษณะการเปลี่ยนสีของกระดาษลิตมัส ผู้วิจัยจึงได้เลือกสภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการทดสอบการรวมแก๊สโอโซนโดยเป็นสภาวะที่แก๊สโอโซนทำให้กระดาษลิตมัสเปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง pH 4-4.6 ดังในตารางที่ 6 โดยแสดงการเรียงลำดับสภาวะการทดสอบตามค่าการคูณกันของ CT เนื่องจากเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณแก๊สโอโซนที่พริกได้รับ มีทั้งหมด 8 ชุดการทดลอง (Condition)

ตารางที่ 6 ชุดการทดลองที่เลือกใช้ในการรวมแก๊สโอโซนเพื่อกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริก

Condition	Ozone concentration	Holding time	Dose
	C (ppm)	T (min)	CT (ppm×minute)
1	77,896	5	389,480
2	83,147	5	415,735
3	41,136	15	617,040
4	65,643	10	656,430
5	77,896	10	778,960
6	83,147	10	831,470
7	65,643	15	984,645
8	77,896	15	1,168,440

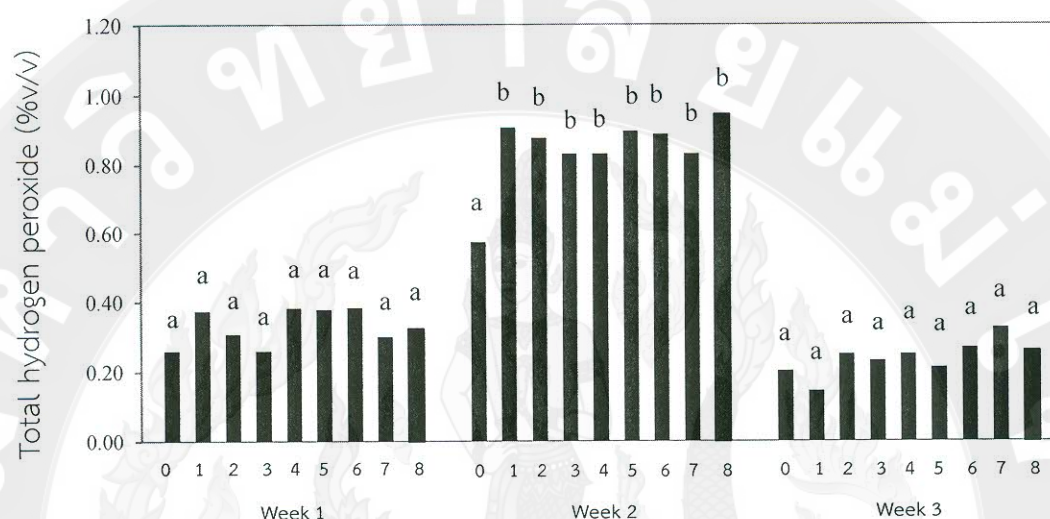
ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเนื้อพริกและไส้พริก

ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเนื้อพริกและไส้พริก นำมาวิเคราะห์ออกมาเป็นแผนภาพกราฟแท่ง และบอกความแตกต่างทางสถิติ ดังภาพที่ 24 และ 25 แท่งกราฟ 0 คือพริกควบคุม แท่งกราฟ 1-8 คือชุดการทดลองที่ CT เท่ากับ 389,480 415,735 617,040 656,430 778,960 831,470 984,645 และ 1,168,440 ppm-min ตามลำดับ ค่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเนื้อพริก ในช่วงสัปดาห์แรกที่ชุดการทดลองที่ 1 2 3 4 5 และ 7 มีค่าใกล้เคียงกับเนื้อพริกตัวอย่างควบคุม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ในขณะที่ชุดการทดลอง 6 และ 8 มีค่ามากกว่าเล็กน้อย แต่มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเวลาผ่านไปเข้าอาทิตย์ที่สองค่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลอง และมีค่ามากกว่าพริกควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีแนวโน้มลดลงในสัปดาห์ที่ 3 ทุกชุดการทดลองและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ศรีธยา และคณะ (2549) ได้กล่าวว่า ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากแก๊สโอโซนมีการซึมผ่านแล้วเข้าไปทำให้เกิดปฏิกิริยากับเซลล์เมมเบรน และเซลล์พืชได้รับความเสียหาย และในขณะที่พืชเกิดความเสียหายนั้น เกิดการสร้างสารอนุมูลอิสระต่างๆ เช่น ซูเปอร์ออกไซด์-เรดิเคิล ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ singlet oxygen เป็นต้น จึงทำให้สามารถวัดค่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ในเวลาต่อมาหลังจากการรมแก๊สโอโซน



ภาพที่ 24 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเนื้อพริก เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4-6 °C เป็นเวลา 3 สัปดาห์

หมายเหตุ ^{a-b} คืออักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแต่ละองค์ประกอบ แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยเมื่อมีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



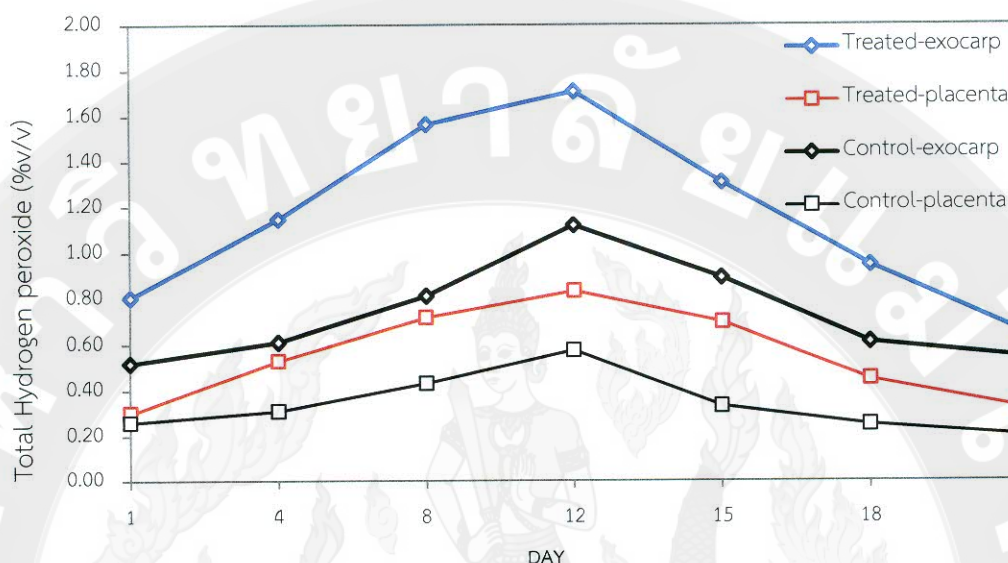
ภาพที่ 25 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในไส้พริก เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4-6 °C เป็นเวลา 3 สัปดาห์

หมายเหตุ ^{a-b} คืออักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแต่ละองค์ประกอบ แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยเมื่อมีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากแผนภาพที่ 25 ค่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในไส้พริกในช่วงสัปดาห์แรกทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่เมื่อเวลาผ่านไปเข้าอาทิตย์ที่สองค่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลองและมีค่ามากกว่าพริกควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีแนวโน้มลดลงในสัปดาห์ที่ 3 และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ทุกชุดการทดลองและตัวอย่างควบคุม

การวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทั้งในเนื้อพริกและไส้พริกที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 4-6 °C เป็นเวลา 3 สัปดาห์ หรือ 21 วัน พบว่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทั้งในเนื้อพริกและไส้พริกมีแนวโน้มไปทิศทางเดียวกัน และมีค่ามากกว่าพริกควบคุม ซึ่งค่าสูงสุดจะอยู่ในวันที่ 12 และมีปริมาณลดลงเมื่อเริ่มเข้าสู่สัปดาห์ 3 ดังแสดงในภาพที่ 26 เป็นการเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเนื้อพริกและไส้พริก กับพริกควบคุม ดังนั้นการพัฒนานำระบบการรมแก๊สไอโซนมาใช้ในการรมพริกสามารถทำให้แก๊สไอโซนแทรกซึมผ่านเนื้อพริกเข้าไปยังใน

ใส่พริกได้ ซึ่งเป็นบริเวณที่หนอนอาศัยอยู่ ดังนั้นทุกชุดการทดลอง 1-8 สามารถนำไปใช้ทดสอบการรมแก๊สโอโซนเพื่อกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริกได้



ภาพที่ 26 กราฟแสดงอัตราการเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเนื้อพริกและใส่พริกและเปรียบเทียบกับพริกควบคุม

ค่าสีของพริกและข้าวพริก

ค่าสีเนื้อพริก

ค่าสีของเนื้อพริกที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากการรมโอโซน โดยวัดค่าสีในระบบ $L^* a^* b^*$ วิเคราะห์ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) และ ค่ามุมของสี (Hue angle) เปรียบเทียบกับพริกตัวอย่างควบคุม ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 7 พบว่าการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของสีพริกเทียบกับค่าสีพริกตัวอย่างควบคุม ในวันที่ 1 ที่ชุดการทดลอง 3 มีค่าความแตกต่างของสีพริกน้อยที่สุด และที่ชุดการทดลอง 1 4 6 และ 7 มีค่าความแตกต่างของสีพริกน้อยกว่าชุดการทดลองที่ 2 3 5 และ 8 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในวันที่ 4 ที่ชุดการทดลอง 3 4 และ 5 มีค่าความแตกต่างของสีพริกน้อยกว่าชุดการทดลองที่ 1 2 6 7 และ 8 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในวันที่ 8 ที่ชุดการทดลอง 2 มีค่าความแตกต่างของสีพริกน้อยที่สุด และที่ชุดการทดลอง 3 5 6 และ 8 มีค่าความแตกต่างของสีพริกน้อยกว่าชุดการทดลองที่ 1 4 และ 7 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในวันที่ 11 ที่ชุดการทดลอง 1 2 4 6 7 และ 8 มีค่าความแตกต่างของสีพริกน้อยกว่าชุดการทดลองที่ 3 และ 5 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และในวันที่ 14 มีที่ชุดการทดลอง 2 4 5 และ 7 มีค่าความแตกต่างของสีพริกน้อยกว่าชุดการทดลองที่ 1 3 6 และ 8 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

พริกมีความเสื่อมเสียในแต่ละช่วงเวลาแตกต่างกันทำให้สีพริกในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดการเสื่อมเสียในแต่ละวันแตกต่างกันทุกชุดการทดลอง จึงทำให้ค่าความแตกต่างของสีเนื้อพริกเทียบกับค่าสีเนื้อพริกตัวอย่างควบคุมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่หากเปรียบเทียบช่วงค่าความแตกต่างค่าสีของพริกหลังจากการรมแก๊สโอโซนมีค่าความแตกต่างของสีจากพริกควบคุมเพียงเล็กน้อย และค่าความแตกต่างของสีบอกระดับปริมาณความแตกต่างของสีเป็นตัวเลขเพียงอย่างเดียว แต่ไม่ได้บอกทิศทางความแตกต่างของสี ซึ่งดูได้จากค่ามุมของสีที่บอกค่าความเป็นสีส้มของเนื้อพริก

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ค่าสีของเนื้อพริก ด้วยค่าความแตกต่างของสี และค่ามุมของสี ตลอดอายุการเก็บรักษา 14 วัน

Condition	ΔE					Hue				
	Day1									
	Day1	Day4	Day8	1	Day14	Day1	Day4	Day8	Day11	Day14
เนื้อพริก										
control	-	-	-	-	-	0.60 ^{aB}	0.60 ^{aB}	0.59 ^{aB}	0.62 ^{aB}	0.65 ^{cA}
1	0.99 ^{bC}	1.76 ^{aA}	1.91 ^{aA}	1.54 ^{bB}	1.91 ^{aA}	0.59 ^{aB}	0.58 ^{bB}	0.54 ^{bB}	0.60 ^{abA}	0.68 ^{aA}
2	1.75 ^{aA}	1.87 ^{aA}	1.30 ^{cC}	1.04 ^{cB}	1.36 ^{bB}	0.59 ^{aB}	0.58 ^{bB}	0.58 ^{aB}	0.60 ^{abB}	0.67 ^{aA}
3	0.65 ^{cC}	1.25 ^{cC}	1.72 ^{bB}	1.92 ^{aA}	1.01 ^{cA}	0.60 ^{aB}	0.58 ^{bB}	0.54 ^{bB}	0.60 ^{abB}	0.67 ^{aA}
4	1.37 ^{bA}	1.02 ^{cC}	2.08 ^{aA}	1.62 ^{bB}	1.55 ^{bB}	0.59 ^{aB}	0.59 ^{abB}	0.56 ^{abB}	0.58 ^{bB}	0.66 ^{bA}
5	1.83 ^{aA}	1.12 ^{cC}	1.64 ^{bB}	1.89 ^{aA}	1.67 ^{bB}	0.60 ^{aB}	0.58 ^{bB}	0.58 ^{aB}	0.58 ^{bB}	0.65 ^{cA}
6	1.56 ^{bA}	1.76 ^{aA}	1.22 ^{cB}	1.10 ^{cB}	1.93 ^{aA}	0.60 ^{aB}	0.58 ^{bB}	0.55 ^{abB}	0.62 ^{aB}	0.64 ^{cA}
7	1.25 ^{bB}	1.76 ^{aA}	1.90 ^{aA}	1.00 ^{cB}	1.11 ^{cB}	0.60 ^{aB}	0.60 ^{aB}	0.58 ^{aB}	0.61 ^{aB}	0.66 ^{bA}
8	1.82 ^{aA}	1.50 ^{bB}	1.35 ^{cB}	1.56 ^{bB}	1.86 ^{aA}	0.62 ^{bB}	0.58 ^{bB}	0.54 ^{bB}	0.62 ^{aB}	0.66 ^{bA}

หมายเหตุ ^{a-c} และ ^{A-C} คืออักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแต่ละองค์ประกอบ แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย เมื่อมีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบ ^{a-c} ในแนวนิ่ง และ ^{A-B} ในแนวนอน

จากตารางที่ 7 การวิเคราะห์พบว่าค่ามุมของสีพริกวันที่ 1 ในชุดการทดลอง ที่ 1-7 และไม่มี ความแตกต่างกับพริกควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่ในชุดการทดลองที่ 8 มีความแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่หากเปรียบเทียบกับค่ามุมของสีแล้วช่วงค่าสียังอยู่ในสีเดียวกันแต่ที่ชุดการทดลองที่ 8 มีค่าใกล้เคียงความเป็นสีเหลืองมากกว่าหรือมีสีซีดกว่าเล็กน้อย ในวันที่ 4 . ค่ามุมของสีในชุดการทดลองที่ 4 และ 7 มีค่าไม่แตกต่างกับพริกควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

แต่ในชุดการทดลองที่ 1 2 3 5 6 และ 8 มีความแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่หากเปรียบเทียบกับค่ามุมของสีแล้วช่วงค่าสียังอยู่ในสีเดียวกันแต่มีสีแดงเข้มขึ้นเล็กน้อย ในวันที่ 8 ค่ามุมของสีของชุดการทดลองที่ 2 5 และ 7 ไม่มีความแตกต่างกับพริกควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่ที่ชุดการทดลอง 1 3 4 6 และ 8 มีความแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งมีสีแดงเข้มกว่าเล็กน้อย ในวันที่ 11 ค่ามุมของสีของชุดการทดลองที่ 1 2 3 6 7 และ 8 ไม่มีความแตกต่างกับพริกควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่ที่ชุดการทดลอง 4 และ 5 มีความแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) มีสีแดงเข้มกว่าเล็กน้อย ในวันที่ 14 ค่ามุมของสีของชุดการทดลองที่ 5 และ 6 ไม่มีความแตกต่างกับพริกควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่ที่ชุดการทดลอง 1 2 3 4 7 และ 8 มีความแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งค่าใกล้เคียงความเป็นสีเหลืองมากกว่าหรือมีสีซีดกว่าเล็กน้อย

ค่ามุมของสีเนื้อพริกเปรียบเทียบความแตกต่างตลอดอายุการเก็บรักษา 14 วัน ทุกชุดการทดลองและพริกควบคุม ในวันที่ 1-11 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) และค่ามุมของสีเนื้อพริกทุกชุดการทดลองและพริกควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้น มีสีแดงซีดลงมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกัน แสดงว่าการรมแก๊สโอโซนความเข้มข้นสูงทุกชุดการทดลองไม่มีผลต่อค่าสีของเนื้อพริกค่าสีหัวพริก

ค่าสีของหัวพริกที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากการรมโอโซน โดยวัดค่าสีในระบบ $L^* a^* b^*$ วิเคราะห์ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) และ ค่ามุมของสี (Hue angle) เปรียบเทียบกับพริกตัวอย่างควบคุม ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 8 พบว่าการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของสีหัวพริกเทียบกับค่าสีพริกตัวอย่างควบคุม ในวันที่ 1 ที่ชุดการทดลอง 4 6 และ 7 มีค่าความแตกต่างของสีหัวพริกน้อยที่สุด และที่ชุดการทดลอง 2 และ 3 มีค่าความแตกต่างของสีพริกน้อยกว่าชุดการทดลองที่ 1 5 และ 8 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในวันที่ 4 ที่ชุดการทดลอง 3 6 และ 7 ค่าความแตกต่างของสีหัวพริกน้อยที่สุด และที่ชุดการทดลอง 1 และ 4 มีค่าความแตกต่างของสีพริกน้อยกว่าชุดการทดลองที่ 2 5 และ 8 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในวันที่ 8 ที่ชุดการทดลอง 3 6 7 และ 8 มีค่าความแตกต่างของสีหัวพริกน้อยที่สุด และที่ชุดการทดลอง 2 4 และ 5 มีค่าความแตกต่างของสีพริกน้อยกว่าชุดการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในวันที่ 11 ที่ชุดการทดลอง 3 6 7 และ 8 มีค่าความแตกต่างของสีหัวพริกน้อยที่สุด และที่ชุดการทดลอง 1 และ 2 มีค่าความแตกต่างของสีพริกน้อยกว่าชุดการทดลองที่ 4 และ 5 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในวันที่ 14 ที่ชุดการทดลอง 1 2 และ 7 มีค่าความแตกต่างของสีหัวพริกน้อยที่สุด และที่ชุดการทดลอง 3 4 5 และ 8 มีค่าความแตกต่างของสีพริกน้อยกว่าชุดการทดลองที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ค่าความแตกต่างของสีหัวพริกมีค่าแตกต่างจากพริกควบคุมค่อนข้างมาก แต่หากเปรียบเทียบความแตกต่างตลอดอายุการเก็บรักษาทุกชุดการทดลองมีค่าความแตกต่างของสีพริกเทียบกับค่าสี

พริกตัวอย่างควบคุมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากข้าวพริกมีความเสื่อมเสียในแต่ละช่วงเวลาแตกต่างกันทำให้สีข้าวพริกในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดการเสื่อมเสียในแต่ละวันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์ค่าสีของข้าวพริก ด้วยค่าความแตกต่างของสี และค่ามุมของสี ตลอดอายุการเก็บรักษา 14 วัน

Condition	ΔE					Hue				
	Day1	Day4	Day8	Day11	Day14	Day1	Day4	Day8	Day11	Day14
ข้าวพริก										
control	-	-	-	-	-	178.70 ^{cB}	178.72 ^{bA}	178.68 ^{bC}	178.68 ^{bC}	178.70 ^{bB}
1	5.67 ^{aA}	4.18 ^{bB}	5.08 ^{aB}	3.75 ^{bC}	3.18 ^{cC}	178.73 ^{bA}	178.71 ^{bB}	178.68 ^{bC}	178.71 ^{aB}	178.67 ^{cC}
2	4.89 ^{bA}	4.90 ^{aA}	4.16 ^{bB}	4.14 ^{bB}	2.95 ^{cC}	178.72 ^{bA}	178.72 ^{bA}	178.70 ^{aB}	178.68 ^{bC}	178.68 ^{bC}
3	4.05 ^{bA}	1.93 ^{cC}	2.47 ^{cB}	3.39 ^{cB}	4.28 ^{bA}	178.72 ^{bA}	178.68 ^{cB}	178.66 ^{bB}	178.65 ^{cC}	178.64 ^{cC}
4	2.56 ^{cC}	4.03 ^{bB}	3.38 ^{bB}	4.77 ^{aA}	4.24 ^{bB}	178.72 ^{bA}	178.71 ^{bA}	178.71 ^{aA}	178.73 ^{aA}	178.69 ^{bB}
5	4.70 ^{bA}	4.45 ^{aA}	3.58 ^{bB}	4.54 ^{aA}	4.46 ^{bA}	178.72 ^{bA}	178.72 ^{bA}	178.70 ^{aB}	178.68 ^{bB}	178.70 ^{bB}
6	2.07 ^{cC}	2.76 ^{cB}	1.62 ^{cC}	3.27 ^{cB}	4.77 ^{aA}	178.74 ^{bA}	178.74 ^{bA}	178.71 ^{aB}	178.71 ^{aB}	178.71 ^{bB}
7	3.73 ^{cA}	2.50 ^{cC}	1.25 ^{cC}	3.34 ^{cB}	3.04 ^{cB}	178.71 ^{cA}	178.73 ^{bA}	178.70 ^{aB}	178.69 ^{bB}	178.69 ^{bB}
8	5.56 ^{aA}	4.79 ^{aB}	2.62 ^{cC}	3.18 ^{cC}	4.05 ^{bB}	178.79 ^{aA}	178.77 ^{aA}	178.72 ^{aC}	178.70 ^{bC}	178.74 ^{aB}

หมายเหตุ a-c และ A-C คืออักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแต่ละองค์ประกอบ แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ย เมื่อมีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบ a-c ในแนวนอง และ A-B ในแนวอน

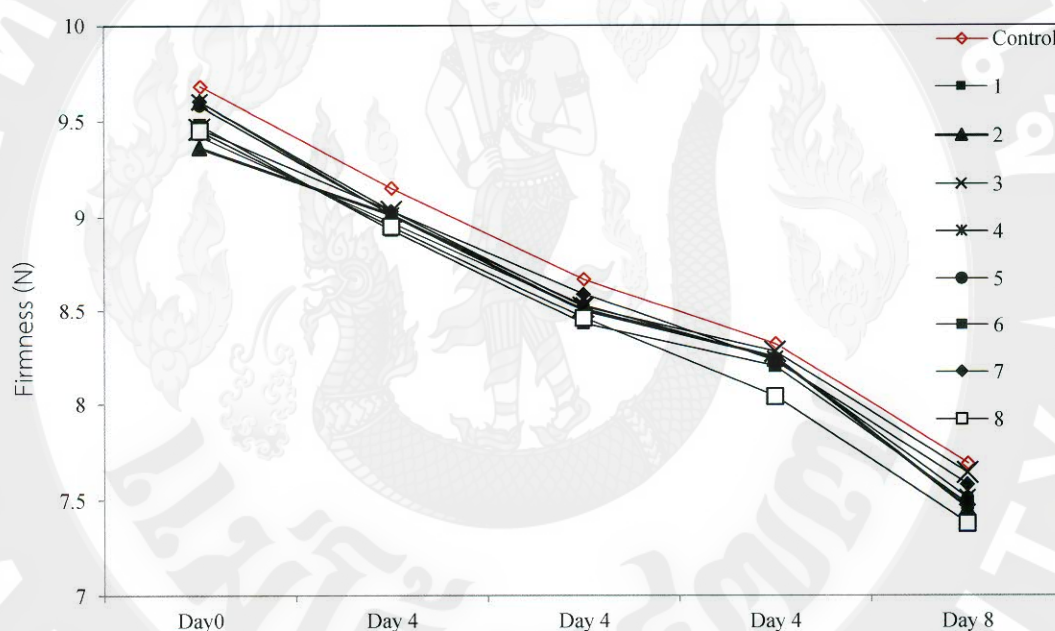
พบว่าค่ามุมของสีข้าวพริกที่ผ่านการทดสอบการรมแก๊สโอโซนทุก Condition ในวันที่ 1 ค่ามุมของสีของข้าวพริกที่ชุดการทดลองที่ 7 มีค่าไม่แตกต่างกับพริกควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่ที่ชุดการทดลองที่ 1 2 3 4 5 6 และ 8 มีค่าแตกต่างกับพริกควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) มีสีเขียวเข้มขึ้น ในวันที่ 4 ค่ามุมของสีของข้าวพริกในชุดการทดลองที่ 1 2 4 5 6 และ 7 มีค่าไม่แตกต่างกับพริกควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่ชุดการทดลองที่ 3 มีสีเขียวซีดกว่า และ 8 สีเขียวเข้มกว่าพริกควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในวันที่ 8 ค่ามุมของสีของข้าวพริกที่ชุดการทดลองที่ 1 และ 3 มีค่าไม่แตกต่างกับพริกควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่ที่ชุดการทดลอง 2 4 5 6 7 และ 8 มีค่าแตกต่างกับพริกควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยสีเขียวเข้มกว่าสีข้าวพริกควบคุม ในวันที่ 11 ค่ามุมของสีของข้าวพริกที่ชุดการทดลองที่ 2 7 และ 8 มีค่าไม่แตกต่างกับพริกควบคุมอย่างมี

นัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่ชุดการทดลองที่ 3 มีสีเขียวชืดกว่า และที่ชุดการทดลอง 1 4 5 และ 6 มีสีเขียวเข้มกว่าพริกควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในวันที่ 14 ค่ามุมของสีของข้าวพริกที่ชุดการทดลองที่ 2 4 5 6 และ 7 มีค่าไม่แตกต่างกับพริกควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่ชุดการทดลองที่ 1 และ 3 มีสีเขียวชืดกว่า และที่ชุดการทดลอง 8 มีสีเขียวเข้มกว่าพริกควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ค่ามุมสีของข้าวพริกมีมุมสีไม่แตกต่างกันมากอยู่ในมุมสีสีเขียว แต่มีค่าความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของสี ΔE แสดงว่าค่าสีที่แตกต่างคือค่าความสว่าง L^* ของสีข้าวพริก

ค่ามุมของสีข้าวพริกเปรียบเทียบความแตกต่างตลอดอายุการเก็บรักษาทุกชุดการทดลองมีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากข้าวพริกมีความเสื่อมเสียในแต่ละช่วงเวลาแตกต่างกันทำให้สีข้าวพริกในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดการเสื่อมเสียในแต่ละวันแตกต่างกัน แต่ในวันสุดท้ายค่ามุมของสีข้าวพริกทุกชุดการทดลองมีค่าน้อยกว่าวันแรกอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่ค่ามุมของสีข้าวพริกควบคุมที่วันที่ 1 และ วันที่ 14 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แสดงว่าแก๊สโอโซนความเข้มข้นสูงมีผลต่อข้าวพริก ทำให้ข้าวพริกมีสีเขียวเข้มขึ้น

ค่าความแน่นเนื้อของพริก

การวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อของพริก วิเคราะห์จากค่าแรงสูงสุดค่าแรกที่เจาะทะลุเนื้อพริก โดยปกติการวัดค่าความแน่นเนื้อโดยใช้วิธีการเจาะทะลุจะมีค่าแรงสูงสุดที่ใช้เจาะอยู่ 2 ค่าคือค่าแรงที่ใช้เจาะทะลุด้านบนและด้านล่างของตัวขึ้นทดสอบ แต่จากการสังเกตระหว่างการทดสอบพบว่าค่าแรงสูงสุดที่ใช้เจาะเนื้อพริกด้านล่างมีค่าแตกต่างจากด้านบน ซึ่งมีค่าสูงมากกว่า เกิดจากเมื่อแทงเจาะเจาะทะลุเข้าด้านในแล้วเจอเมล็ดพริก ทำให้เกิดการดันเมล็ดพริกออกมาด้วยทำให้ใช้แรงกดมากขึ้นกว่าด้านบน ทำให้ผู้วิจัยเลือกใช้ค่าแรงสูงสุดที่ใช้เจาะบริเวณช่วงด้านบนเท่านั้น เพื่อความแม่นยำในการวัดและทดสอบ



ภาพที่ 27 กราฟแสดงการค่าแรงสูงสุดที่ใช้เจาะทะลุผ่านเนื้อพริก

จากภาพที่ 27 ค่าความแน่นเนื้อของพริกที่ผ่านการรมโอโซนทุกชุดการทดลองเมื่อเทียบกับตัวควบคุม มีค่าน้อยกว่าเล็กน้อย นำค่ามาเปรียบเทียบวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าความแน่นเนื้อของพริกทุกชุดการทดลอง มีค่าแตกต่างกับพริกควบคุม อย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) และค่าความแน่นเนื้อของพริกทุกชุดการทดลองมีค่าค่อยๆ ลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา 15 วัน เป็นการเสื่อมเสียตามธรรมชาติของผลผลิตทางการเกษตร แสดงว่าแก๊สโอโซนไม่มีผลต่อค่าความแน่นเนื้อของพริก แต่การที่พริกที่ได้รับการรมแก๊สโอโซนมีค่าความแน่นเนื้อน้อยกว่าควบคุมเล็กน้อยนั้น อาจเกิดจากการซ้ำของพริกที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบการรมโอโซน

ผลการรมแก๊สเอทิลีนเพื่อกำจัดหนอน

การเก็บรักษาพริกทดสอบที่อุณหภูมิ 4-6 °C ดังภาพที่ 28 พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ พริกทุกชุดการทดลองไม่เกิดการเน่าเสียที่อายุการเก็บรักษา 15 วัน และพริกควบคุมไม่สามารถสังเกต การเจริญและการตายของหนอนได้เช่นเดียวกัน แต่พบหนอนวัยที่ 3 ด้านนอกบนสภาพโคมที่ชุดการ ทดลอง 1 ที่ CT 389,480 ppm-min ดังภาพที่ 29



ภาพที่ 28 ลักษณะพริกทดสอบ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4-6 °C ในสภาพโคมที่ผ่านการรมแก๊สเอทิลีน



ภาพที่ 29 การเจริญของหนอนที่เจอหลังจากการรมแก๊สเอทิลีนในชุดการทดลอง 1 ที่ CT 389,480 ppm-min เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4-6 °C ในวันที่ 3

การที่หนอนระยะวัยที่ 3 ทุกชุดการทดลองและพริกควบคุมไม่เจริญเติบโตเป็นดักแด้แต่ยังมี ชีวิตอยู่ที่อุณหภูมิต่ำ อาจเป็นเพราะหนอนชะงักการเจริญเติบโตหรือเกิดการเจริญเติบโตช้าลง เป็น การปรับตัวเพื่อการดำรงชีวิตได้ช่วงหนึ่ง และหากมีอุณหภูมิที่เหมาะสม ก็สามารถดำรงชีวิตต่อไปได้ ตามธรรมชาติการปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมของสิ่งมีชีวิต

การเก็บพริกทดสอบที่อุณหภูมิ 30 °C สามารถสังเกตการเจริญและการตายของหนอนได้ชัดเจนมากกว่า ดังแสดงในภาพที่ 30 เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตและเกิดการเน่าเสีย ซึ่งการเน่าเสียมีผลต่อการเจริญของหนอนและระยะเวลาในการสังเกต พบว่าในวันที่ 3 เจอหนอน ที่รอดจากการรมแก๊สไอโซนเจริญเป็นดักแด้ ที่ชุดการทดลอง 1 และหนอนมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นบางส่วนตายและบางส่วนรอดชีวิต เมื่อผ่านไป 15 วัน พบว่าพริกมีการเน่าเสียและพบจำนวนหนอนรอดชีวิตที่ชุดการทดลอง 1 2 3 และ 4 คิดอัตราการตายไม่เกิน 95% ในขณะที่ชุดการทดลองที่ 5 6 7 และ 8 เมื่อเวลาผ่านไป 15 วันพริกมีการเน่าเสีย แต่ไม่พบการเจริญของหนอนคิดเป็นอัตราการตาย 100%



389,480 ppm-min



415,735 ppm-min



617,040 ppm-min



656,430 ppm-min



778,960 ppm-min



831,470 ppm-min



984,645 ppm-min



1,168,440 ppm-min

ภาพที่ 30 พริกทดสอบ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิภายนอก 30°C ในสภาพโคมที่ผ่านการรมแก๊สไอโซน

สำหรับพริกตัวอย่างควบคุมที่หนอนไม่ได้รับการรมแก๊สไอโซน นำเก็บไว้บนสภาพโคมในอุณหภูมิ 30 °C ในวันที่ 3 พบหนอนบางส่วนซ่อนไขออกมาทางปากแผลที่ปิดทึบใส แล้วเจริญออกมาเป็นดักแด้ด้านนอก และบางส่วนเป็นดักแด้ภายในผลพริก หนอนทุกตัวที่นำมาทดสอบสามารถเจริญและดำรงชีวิตตามวงจรชีวิตต่อไปได้

ข้อสังเกตอีกประการหนึ่ง จากการพบหนอนรอดชีวิตจากการรมไอโซนอาจเกิดจากการพันเทปพลาสติกที่หนาเกินไปในบริเวณที่หนอนฝังตัวอยู่ ทำให้บริเวณนั้นแก๊สไอโซนไม่สามารถแทรกซึมถึงเนื้อพริก ดังนั้นการพันเทปใสจึงเป็นปัจจัยสำคัญทำให้ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญในการเป็นตัวแปรสำคัญในการทดสอบครั้งนี้ จึงได้สังเกตพริกที่มีหนอนตามธรรมชาติ ที่ทำการทดสอบชุดการทดลองเดียวกันกับกับพริกที่มีหนอน เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างการเจริญและการตายของหนอน โดยนำมาเก็บไว้ในถุงพลาสติกปิดซิปล็อก พบว่าการเก็บรักษาพริกที่อุณหภูมิ 4-6 °C พริกหลังการทดสอบรมแก๊สไอโซนในถุงซิปล็อก ทำการสังเกตการเจริญของหนอนทุกๆ 2 วันจนครบเวลา 15 วัน

พบว่า ไม่พบการเจริญของหนอนและพริกยังไม่เกิดการเน่าเสียทุกชุดการทดลอง และส่วนในพริก ควบคุมไม่พบหนอนตลอดอายุการเก็บรักษา 15 วัน และไม่เกิดการเน่าเสียเช่นเดียวกัน แสดงว่า อุณหภูมิเก็บรักษามีผลต่อการเจริญของหนอน ดังนั้นจึงสังเกตการเจริญและการตายของหนอน แมลงวันผลไม้ในพริกที่อุณหภูมิภายนอก 30 °C ทำการสังเกตการเจริญของหนอนทุกๆ 2 วัน ดัง ตารางที่ 9 พบว่า ใน 3 วันแรกพริกยังคงความสดและไม่มีการเจริญของหนอนออกมาให้เห็นในทุกชุด การทดลอง รวมถึงพริกควบคุม วันที่ 5 พบหนอนวัยที่ 3 ซ่อนไข่ออกมานอกพริกในชุดการทดลองที่ 1 2 3 และในพริกควบคุม ในวันที่ 7 และ 11 พบหนอนเพิ่มในชุดการทดลองที่ 1 2 3 4 5 และ 6 ในวันที่ 13 ยังคงพบหนอนมีชีวิตรังชุดการทดลอง 1 2 3 และ 4 และพบหนอนตายที่ชุดการทดลอง 5 และ 6 เมื่อเข้าวันที่ 15 พริกเกิดการเน่าเสีย มีกลิ่นหมัก ผลและ มีน้ำเน่าเสีย พบหนอนมีชีวิตรังชุด การทดลองที่ 1 2 3 และ 4 แสดงว่าปริมาณแก๊สไอโซนที่พริกได้รับที่ CT 389,480 415,735 617,040 และ 656,430 ppm-min ไม่สามารถฆ่าหนอนแมลงวันผลไม้ได้อย่างสมบูรณ์ ตายด้านนอก พริก แสดงว่าการที่พบตัวหนอนมีชีวิตรังหลังการรมไอโซนที่ ชุดการทดลอง 5 และ 6 ปริมาณแก๊ส ไอโซนที่พริกได้รับที่ CT 778,960 และ 831,470 ppm-min และเมื่อเวลาต่อมาหนอนได้ตายลง ใน ที่สุด อาจเป็นผลจากความเป็นพิษของไอโซน โดยจะไม่ทำให้หนอนตายในทันทีหลังจากการรม แต่จะ ทำให้หนอนอ่อนแอลงจากการได้รับแก๊สไอโซนความเข้มข้นสูง และหากหนอนได้รับแก๊สไอโซนมาก พอหนอนจะตายในที่สุด ในชุดการทดลอง 7 และ 8 ไม่พบการเจริญของหนอนหลังจากการรมแก๊ส ไอโซน แสดงว่า ปริมาณแก๊สไอโซนที่พริกได้รับที่ CT 984,645 และ 1,168,440 ppm-min สามารถ กำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ได้ 100 %

ตารางที่ 9 ผลการบันทึกการเสื่อมเสียของพริกและการพบจำนวนหนอนในพริก เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30°C

Condition	Day 1		Day 3		Day 5		Day 7		Day 9		Day 11		Day 13		Day 15	
	Ro	W	Ro	W	Ro	W	Ro	W	Ro	W	Ro	W	Ro	W	Ro	W
1	0	0	0	0	0	3	1	3	1	2	2	2	2	2	3	3
2	0	0	0	0	0	2	1	2	1	2	2	2	2	2	3	2
3	0	0	0	0	0	3	1	3	1	3	2	3	2	3	3	1
4	0	0	0	0	0	0	1	3	1	1	2	1	2	1	3	1
5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	0	2	0	3	0
6	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	2	0	2	0	3	0
7	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	0	2	0	3	0
8	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	0	2	0	3	0
Control	0	0	0	0	0	5	1	7	1	10	2	>10	2	>10	3	>10

หมายเหตุ Ro คือ ระดับการเน่าเสีย 0 = ผลสด, 1 = ผลนิ่ม, เหี่ยว, 2 = มีกลิ่นหมัก, เกิดเชื้อรา, 3 = ผลเลอะ, เน่า, มีน้ำเน่าเสีย

W คือ จำนวนหนอนที่พบและยังมีชีวิต

ตารางที่ 10 สรุปผลอัตราการตายของหนอนแมลงวันผลไม้หลังจากการรมแก๊สโอโซน เมื่อเก็บรักษานาน 15 วัน

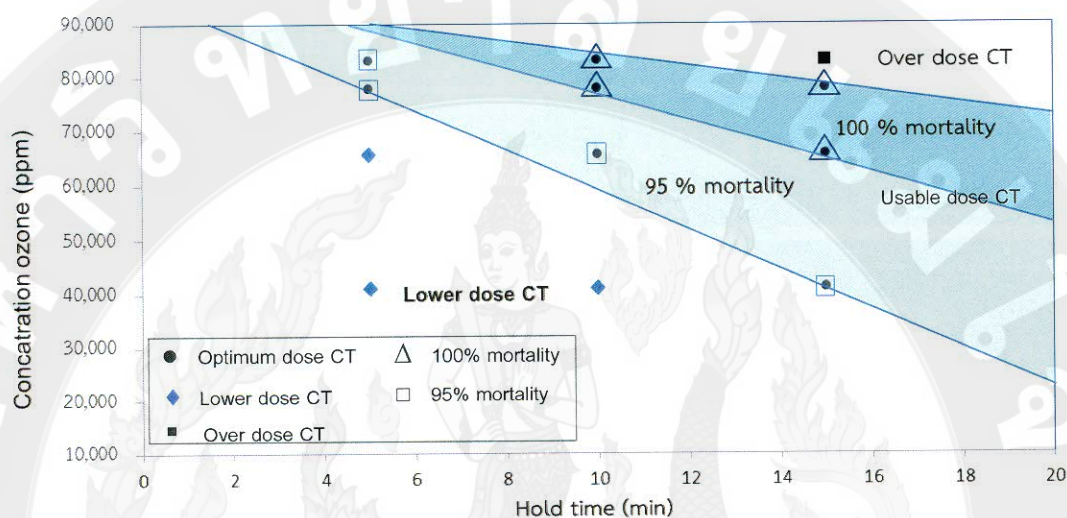
condition	CT (ppm×min)	อัตราการตายของหนอน (%)			
		พริกที่มีการเพาะหนอน		พริกที่มีหนอนตามธรรมชาติ	
		Temp 4-6°C	Temp 30 °C	Temp 4-6°C	Temp 30 °C
1	389,480	95%	90%	ไม่พบ	85%
2	415,735	ไม่พบ	95%	ไม่พบ	90%
3	617,040	ไม่พบ	85%	ไม่พบ	95%
4	656,430	ไม่พบ	90%	ไม่พบ	95%
5	778,960	ไม่พบ	100%	ไม่พบ	100%
6	831,470	ไม่พบ	100%	ไม่พบ	100%
7	984,645	ไม่พบ	100%	ไม่พบ	100%
8	1,168,440	ไม่พบ	100%	ไม่พบ	100%

หมายเหตุ ไม่พบ หมายถึงพริกทดสอบไม่เกิดการเน่าเสียและไม่พบการเจริญของหนอน

จากตารางที่ 10 การเก็บรักษาพริกทดสอบที่อุณหภูมิ 4-6 °C เป็นการช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของพริกไม่ทำให้พริกเน่าเสียในช่วงเวลานาน 15 วัน ทำให้ไม่พบอัตราการตายของหนอน และการเจริญของหนอนออกมาด้านนอกพริกและหนอนอาจตายเพราะอยู่ที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากหนอนไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ที่อุณหภูมิต่ำในระยะเวลาสั้น ส่วนในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิภายนอก 30°C สามารถสังเกตการเจริญและการตายของหนอนได้ ผลการกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริกในตัวอย่างพริกที่มีการเพาะหนอน พบว่าที่ชุดการทดลองที่ 1 สามารถกำจัดหนอนในพริกได้คิดเป็นอัตราการตาย 90% ในชุดการทดลองที่ 2 สามารถกำจัดหนอนในพริกได้คิดเป็นอัตราการตาย 95% ชุดการทดลองที่ 3 สามารถกำจัดหนอนในพริกได้คิดเป็นอัตราการตาย 85% และชุดการทดลองที่ 4 สามารถกำจัดหนอนในพริกได้คิดเป็นอัตราการตาย 90% สำหรับชุดการทดลองที่ 5 6 7 และ 8 สามารถกำจัดหนอนในพริกได้คิดเป็นอัตราการตาย 100%

ตัวอย่างพริกที่มีหนอนตามธรรมชาติ และสังเกตที่อุณหภูมิห้อง 30°C พบว่าที่ชุดการทดลองที่ 1 สามารถกำจัดหนอนในพริกได้คิดเป็นอัตราการตาย 85% ในชุดการทดลองที่ 2 สามารถกำจัดหนอนในพริกได้คิดเป็นอัตราการตาย 90% ชุดการทดลองที่ 3 สามารถกำจัดหนอนในพริกได้คิดเป็นอัตราการตาย 95% และชุดการทดลองที่ 4 สามารถกำจัดหนอนในพริกได้คิดเป็นอัตราการตาย 95%

สำหรับชุดการทดลองที่ 5 6 7 และ 8 สามารถกำหนดนอนในพริกได้คิดเป็นอัตราการตาย 100% จากข้อมูลดังกล่าว นำมาเขียนแสดงความสัมพันธ์เป็นเส้นกราฟแสดงอัตราการของนอนซ้อนทับกับความสามารถในการกระจายตัวของแก๊สโอโซนที่สภาวะต่างได้ ดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 กราฟแสดงอัตราการตายของหนอนแมลงวันผลไม้ ที่ปริมาณแก๊สโอโซนที่พริกได้รับ (CT)

- หมายเหตุ - Optimum dose CT คือ จุดที่แก๊สโอโซนสามารถกระจายตัวทั่วบริเวณถึงและมีประสิทธิภาพแทรกซึมได้อย่างสมบูรณ์ซึ่งอยู่ในโซน Usable dose CT
- Lower dose CT คือ จุดที่แก๊สโอโซนมีการกระจายตัวไม่ทั่วบริเวณถึง
 - Over dose CT คือ จุดที่แก๊สโอโซนมีความเข้มข้นสูงเกินไป จนทำให้มีผลต่อคุณภาพของพริกและทำให้กระดากลิ้นเปลี่ยนเป็นสีขาว
 - % mortality คือ อัตราการตายของหนอนแมลงวันผลไม้

จากภาพที่ 33 เป็นกราฟสรุปแสดงผลของอัตราการตายของหนอนที่ผ่านการรมแก๊สโอโซน ปริมาณความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่พริกได้รับ CT ในช่วง 389,480-1,168,440 ppm-min โดยบริเวณพื้นที่ในโซน Usable dose CT ที่สำหรับใช้ในการกำหนดนอนแมลงวันผลไม้ในพริกมีอัตราการตาย 100% คือพื้นที่แรงไฟฟ้าเข้ม ที่ปริมาณแก๊สโอโซนที่พริกได้รับ CT ในช่วง 778,960-1,168,440 ppm-min และที่สีฟ้าอ่อน เป็นบริเวณขอบเขตของหนอนแมลงวันทองที่มีอัตราการตายไม่เกิน 95% ที่ปริมาณแก๊สโอโซนที่พริกได้รับ CT ในช่วง 389,480-656,430 ppm-min และทุกชุดการทดลองแก๊สโอโซนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนของสีเนื้อพริกและค่าความแน่นเนื้ออย่างมีนัยสำคัญ แต่มีผลต่อสีของข้าวพริกทำให้ข้าวพริกคล้ำขึ้น

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการกำจัดหนอนแมลงวันทองในพริก ด้วยระบบการรมแก๊สไอโซน ความเข้มข้นสูง ภายใต้แรงดัน โดยศึกษาหาปัจจัยที่เหมาะสมในการกำจัดหนอนและไม่ส่งผลต่อคุณภาพของพริก จากงานวิจัยสามารถสรุปประเด็นสำคัญของผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ดังนี้

สรุปผลการวิจัย

1. การรมแก๊สไอโซน ที่ปริมาณ Dose ที่พริกได้รับ CT ในช่วง 389,480-1,168,440 ppm-min เป็นสถานะที่ทำให้แก๊สไอโซน มีการกระจายทั่วภาชนะโพลีคาร์บอเนตที่บรรจุพริกปริมาณครึ่งถึง และทำให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มมากขึ้นทั้งในเนื้อพริกและเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในไส้พริก และมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับพริกควบคุม แสดงว่าการพัฒนาระบบการรมแก๊สไอโซน สามารถทำให้แก๊สไอโซนเข้าแทรกซึมไปยังเนื้อพริกจนถึงไส้พริกได้

2. คุณภาพทางกายภาพของพริก หลังจากการรมแก๊สไอโซนความเข้มข้นสูงในช่วง Usable dose CT ไม่มีผลต่อค่าสีพริกและค่าความแน่นเนื้อของพริกในทุกชุดการทดลอง แต่มีผลทำให้สีของข้าวพริกมีสีเขียวคล้ำขึ้นทุกชุดการทดลอง

3. ค่าปริมาณแก๊สไอโซนที่พริกได้รับที่ CT ในช่วง 778,960-1,168,440 ppm-min สามารถกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริกได้ มีอัตราการตาย 100% และที่ปริมาณแก๊สไอโซนที่พริกได้รับ CT ในช่วง 389,480-656,430 ppm-min สามารถกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริกอัตราการตาย 95%

จากการทดลองงานวิจัยนี้ สามารถเป็นแนวทางในการกำจัดและควบคุมหนอน และอาจรวมถึงไข่แมลงวันผลไม้ในพริกหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ รวมทั้งสามารถนำไปปรับใช้ในระดับอุตสาหกรรมการส่งออกพริกสดเพื่อให้มีคุณภาพเพิ่มมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

การทำงานวิจัยนี้มีปัญหาและอุปสรรคเกิดขึ้นตลอดเวลา ซึ่งบางปัญหาสามารถแก้ไขได้ และบางปัญหายังคงแก้ไขไม่ได้ จึงได้รวบรวมปัญหาและคำแนะนำเพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัยในอนาคตต่อไป

1. ควรปรับปรุงภาชนะในการใส่ตัวอย่างเพื่อรมแก๊สไอโซน เพราะถังโพลีคาร์บอเนตที่ใช้มีปากถังที่แคบ ไม่สะดวกในบรรจุและนำออกและยังทำให้ผลพริกขี้เขียวเสียหาย อาจหาภาชนะโพลีคาร์บอเนตที่มีปริมาตรใกล้เคียงและมีปากถังกว้างขึ้นเพื่อสะดวกในการขนถ่ายตัวอย่างทดสอบ
2. ควรศึกษาขยายขนาดการทดลองให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงในระดับอุตสาหกรรมเพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาระบบการรมแก๊สไอโซนเพื่อกำจัดแมลงศัตรูพืช
3. การรมแก๊สไอโซนไอโซนความเข้มข้นสูงมีผลทำให้ขั้วพริกมีสีคล้ำขึ้น เป็นปัญหาต่อคุณภาพของผลผลิต ยังเป็นปัญหาที่ต้องการการศึกษาต่อไป แต่หากมีการชี้แจงต่อผู้บริโภคและเป็นเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของมาตรฐานคุณภาพที่ลูกค้ากำหนด ก็สามารถละเว้นปัญหานี้ได้
4. เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและไม่พบการเจริญของหนอนในทุกชุดการทดลอง แสดงว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำอาจนำมาเป็นปัจจัยร่วมกับการรมแก๊สไอโซนเพื่อกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริกได้ แต่ในระยะเวลาเวลานานอาจทำให้พริกเกิดการสั่ท้านหนาว ดังนั้นอาจใช้การรมแก๊สไอโซนร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อกำจัดและควบคุมหนอนแมลงวันผลไม้ในพริก ซึ่งเป็นแนวทางในการศึกษางานวิจัยครั้งต่อไป

บรรณานุกรม

- กฤษฎา จาตุรัส. 2550. ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสัณฐานวิทยาของผลพริกกับการเข้าทำลายของแมลงวันพริก (*Bactrocera latifrons*). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จิรันดร บุษวดิษฐ์ และ ปิยะ ไควรินทร์วิวัฒน์. 2556. การพัฒนาสื่อการสอนโดยใช้โปรแกรม SCILAB. นครปฐม: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.
- จาดุพงศ์ วาฤทธิ. 2547. คุณสมบัติทางกายภาพของผลผลิตทางการเกษตร. เชียงใหม่: คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 103 น.
- จาดุพงศ์ วาฤทธิ, นลิน วงศ์ขัตติยะ และนพณีย์ โทบุญญานนท์. 2554. การพัฒนาระบบปลอดเชื้อภาชนะเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อด้วยโอโซนสำหรับระบบไบโอรีแอคเตอร์จุ่มชั่วคราวระดับอุตสาหกรรม. ใน การออกแบบและพัฒนาระบบไบโอรีแอคเตอร์จุ่มชั่วคราวขนาดใหญ่เพื่อรองรับการผลิตต้นอ้อยปลอดโรคระดับอุตสาหกรรม. รายงานโครงการวิจัย. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ฉันทน์ เฮงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ ศุภเศียร. 2533. การศึกษาอนุกรมวิธานของแมลงวันผลไม้ที่พบในภาคเหนือของประเทศไทย. 57-95 น. ใน เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการกองกีฏและสัตววิทยา. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.
- ชูชาติ อารีจิตราอนุสรณ์. 2539. เครื่องมือวิทยาศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. ขอนแก่น: โรงพิมพ์ศิริภรณ์ออฟเซ็ท.
- ชนินทร์ อัมพรสถิร, สุวดี ถาวรยศนนท์ และ นิวัฒน์ นีกรังค์. 2549. ผลของโอโซนต่อการตอบสนองของซูเปอร์ออกไซด์ดิสมูเลสไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และปริมาณรวมแอสคอร์เบตข้าว (*Oryza sativa* L.). วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง, 12(2), 25-31.
- นพภาพร พานิช, แสงสันต์ พานิช, วันชัย รั้วไพบูลย์, พูนศิริ สีนฤรัตน์, ปรัชญ์ สง่างาม และ ปัทมา บุณนาค. 2558. การออกแบบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/design_absorbtion.htm (20 สิงหาคม 2558).
- พิสิทธ์ราชมงคล. 2553. กฎการแพร่และการแพร่ผ่านของเกรทึม. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/285/22/gas1/grahaggra.htm> (26 สิงหาคม 2557).

- วนิดา เพ็ชรลมูล, อริญ งามผ่องใส, และ จิราพร เพชรรัตน์. 2552. ความชอบในการวางไข่ของแมลงวันผลไม้. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 12(2), 43-49.
- วันวิสาข์ ลิจวน และ ปาริชาติ กรวยนอก. 2548. การใช้สารสกัดจากพืชเพื่อควบคุมแมลงวันผลไม้. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://science.sut.ac.th/gradbio/stupresent/2548/gr3/fly.htm> (20 ธันวาคม 2556).
- ศรัณยา เฟ่งผล, กานดา หวังชัย, และ พีระวุฒิ วงศ์สวัสดิ์. 2549. ผลของโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเปอร์ออกไซด์ในผลลำไยพันธุ์ดอกระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร มช., 37(5), 160-163.
- สิรินาท พรศิริประทาน. 2554. การส่งออกผักและผลไม้สดไทยไปสหภาพยุโรป. สถาบันระหว่างประเทศเพื่อการค้าและการพัฒนา(ITD). แหล่งที่มา <http://thaifranchise.download.com/dl/group12720130102143938.pdf> (11 พฤษภาคม 2555).
- อริญ หาญสืบสาย. 2554. การสื่อสารอย่างแม่นยำและการควบคุมสีจากการรับรู้ไปสู่อุปกรณ์วัดสี. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อโนทัย วิงสรน้อย และ นุชรีย์ ศิริ. 2554. การทำลายของแมลงวันพริก *Bactrocera latifrons* (Diptera: Tephritidae) ในผลพริก 8 สายพันธุ์. แก่นเกษตร, 39(2554), 25-32.
- Abnova. 2012. Hydrogen Peroxide Colorimetric Detection Kit, Catalog Number KA1017, 12. [Online]. Available <http://www.abnova.com> (26 May 2013).
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 2001. Threshold Limit Values (TLVs™) for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices (BEIs™). 5thed. Ohio: ACGIH.
- Fisk W. J., Spears M., Sullivan D. P. & Mendell M. 2012. Ozone removal by filters containing activated carbon. pp. 1-4. In Published in Proceedings of the Healthy Buildings 2009 Conference. New York: General Services Administration
- Guzel-seydim, Z. B., Greene, A. K. & Seydim, A. C. 2004. Use of ozone in the food industry. Society of Food Science and Technology, 37 (2004), 453–460.

- Hua, W., Hao, F. & Yaguang, L. 2004. Microbial reduction and storage quality of fresh-cut cilantro washed with acidic electrolyzed water and aqueous ozone. *Food Research International*, 37 (2004), 949–956.
- Kasiviswanathan, M., Colm, P. O. & Patrick, J. C. 2009. Ozone Treatment of Food Materials. In Joseph M. I. & Soojin J. (Eds.). *Food Processing Operations Modeling Design and Analysis* (pp. 263–280). England: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Marissa, X. M., Carlos, A. C., Linda, J. M., Dirk, E. M., Adrian, D. & Charles, W. 2011. Ozone application in a modified screw conveyor to treat grain for insect pests, fungal contaminants, and mycotoxins. *Journal of Stored Products Research*, 47 (2011), 249–254.
- Martin, H., Jesper, G. S., Lars-Henrik, H., Stine, S., Peer, H. & Lise, S. H. 2011. Effects of ozone on gene expression and lipid peroxidation in adults and larvae of the red flour beetle (*Tribolium castaneum*). *Journal of Stored Products Research*, 47(2011), 378–384.
- Minolta. 1997. *A User Manual: Spectrophotometer CM508c*. [Online]. Available http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551/enen0351pm_ch2.pdf (3 April 2014).
- Mordecai, B. R. 2001. The history of ozone, Technion-Israel Institute of Technology. *Journal of Bulletin for the History of Chemistry*, 26(2001), 40–56.
- Purvis, A. C. & Shewfelt, R. L. 1993. Does the alternative pathway ameliorate chilling injury in sensitive plant tissue. *Journal of Physiol. Plant*, 88, 712–718.
- Shimizu, Y., Kohama, T., Uesato, T., Matsuyama, T. & Yamagishi, M. 2007. Invasion of solanum fruit fly *Bactrocera latifrons* (Diptera: Tephritidae) to Yonsguni Island, Okinawa Prefecture, Japan, Appl. Entomol. *Journal of Applied Entomology and Zoology*, 42(2), 269–275.
- Varith, J., Sirikajornjaru, W. & Kiatsiriroat, T. 2007. Microwave-Vapor heat disinfestation on oriental fruit fly eggs in mangoes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 31, 253–269.

White, I.M. & Elson-Harris, M.M. 1992. Fruit Flies of Economic Significance: Their Identification and Bionomics. *Journal of Bulletin of entomological research*, 82(3), 433-463.





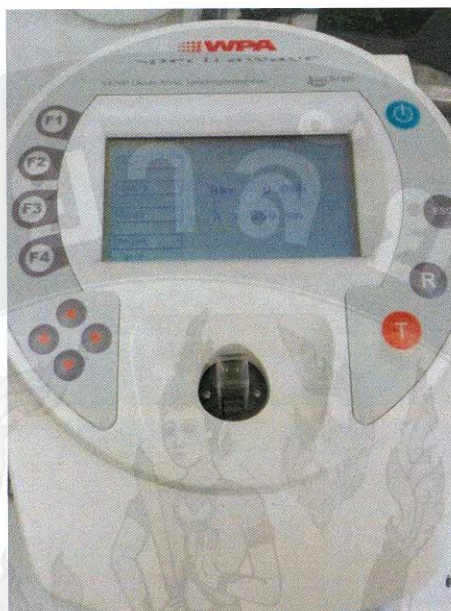
ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ภาพถ่ายอุปกรณ์และการหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ภาพอุปกรณ์



ภาพภาคผนวกที่ 1 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ยี่ห้อ Biochrom WPA Spectrawave รุ่น S1200



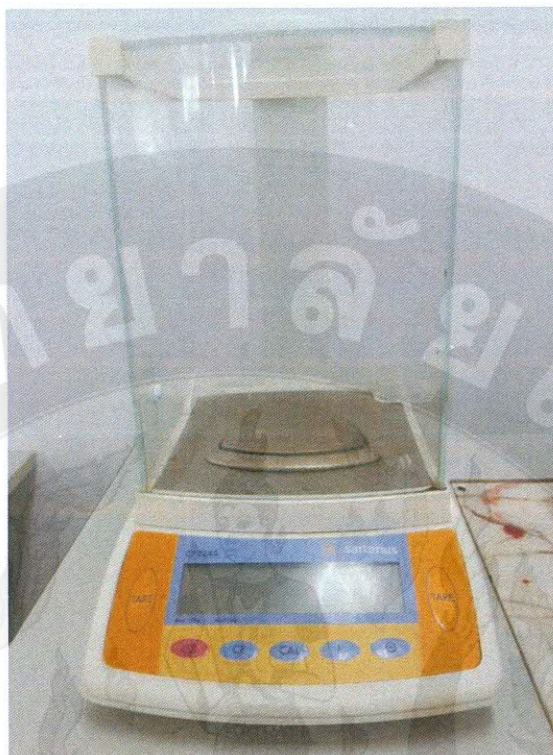
ภาพภาคผนวกที่ 2 เครื่องผสมสารละลาย ยี่ห้อ LMS รุ่น VTX-3000L Mixer Uzusio



ภาพภาคผนวกที่ 3 เครื่องปั่นเหวี่ยงสารให้ตกตะกอน ยี่ห้อ GEMMY รุ่น GM PLC-012



ภาพภาคผนวกที่ 4 เครื่องปั่นละเอียด ยี่ห้อ Otto รุ่น BE-120



ภาพภาคผนวกที่ 5 เครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CP224S



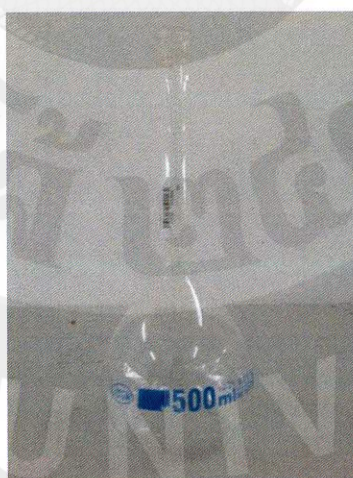
ภาพภาคผนวกที่ 6 มีดสแตนเลสและเขียงพลาสติก



ภาพภาคผนวกที่ 7 เครื่องดูดจ่ายสารละลาย ไมโครปิเปต ยี่ห้อ Nichiryo รุ่น Nichipet EX II (NPX2-1000)



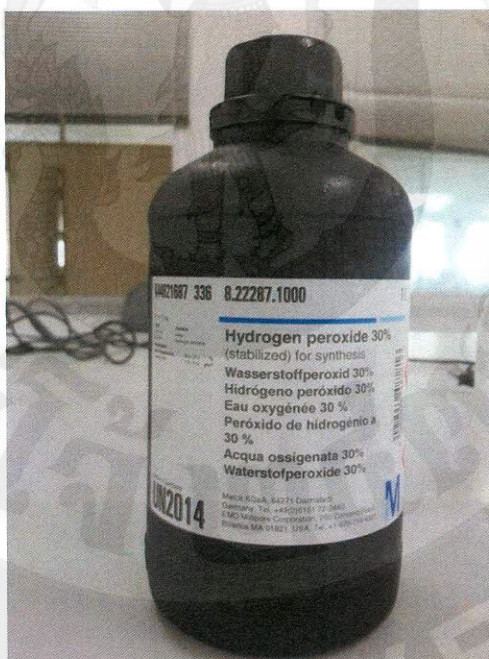
ภาพภาคผนวกที่ 8 หลอดทดลองและหลอดทดลองฝาเกลียว



ภาพภาคผนวกที่ 9 -ขวดปรับปริมาตรขนาด 500 ml



ภาพภาคผนวกที่ 10 สารเคมีใช้สกัดหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (1) PVPP (2) EDTA (3) Potassium phosphates



ภาพภาคผนวกที่ 11 สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 30 %

การหากราฟมาตรฐานปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

การวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ดัดแปลงวิธีมาจาก Abnova catalog No.KA1-17 จากสื่อออนไลน์ www.abnova.com ซึ่งการหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเนื้อพริกและไส้พริก ต้องทำการหากราฟมาตรฐานปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับ OD และคำนวณกลับหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีในเนื้อพริกและไส้พริกจากกราฟ โดยมีขั้นตอนการเตรียมสารละลายมาตรฐานดังนี้

1. การเตรียมสารละลายเพื่อใช้วิเคราะห์หากราฟความเข้มข้นมาตรฐาน

1.1 การเตรียมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 5 , 10, 15, 20, 25 และ 30%v/v จากสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 30%v/v ดังตารางภาคผนวกที่ 1 ด้วยการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 10 ml

ตารางภาคผนวกที่ 1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปริมาตร 10 ml

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (%v/v)	ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30 %v/v (ml)	ปริมาณน้ำกลั่น (ml)
0	0	10
5	1.67	8.33
10	3.33	6.67
15	5	5
20	6.67	3.33
25	8.33	1.67
30	10	0

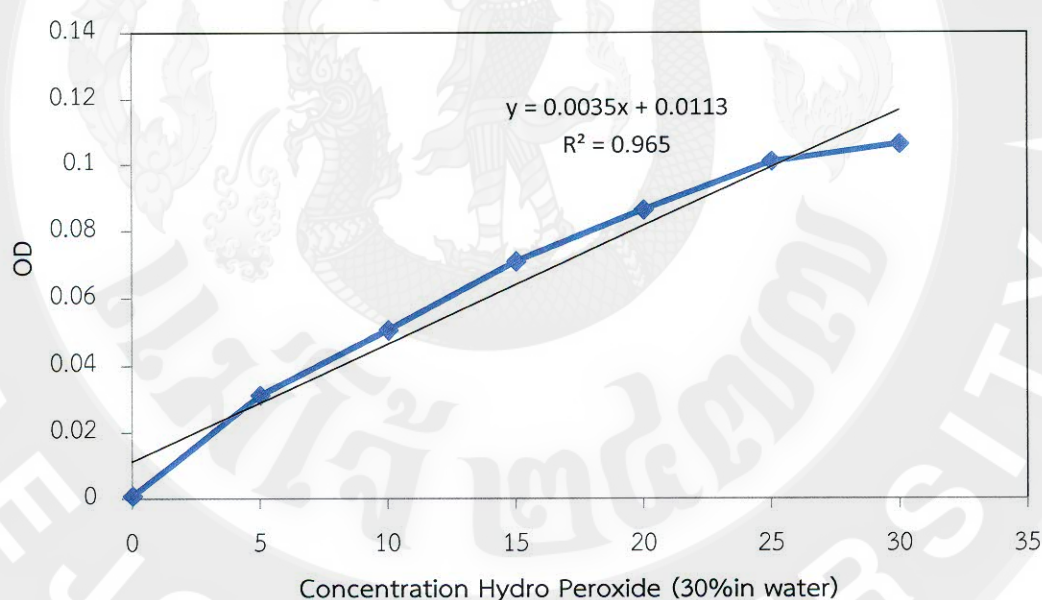
จากตารางภาคผนวกที่ 1 อธิบายได้ว่าหากต้องการเตรียมสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 5 %v/v ในน้ำกลั่น 10 ml จะต้องใช้ปิเปตดูดสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30 %v/v ออกมา 1.67 ml แล้วผสมกับน้ำกลั่นอีก 8.33 ml เพื่อให้ได้สารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 5 %v/v ในน้ำกลั่น 10 ml

1.2 การเตรียมสารละลาย K_3PO_4 เข้มข้น 50 mmol ในน้ำกลั่น ทำโดยชั่งสาร K_3PO_4 มา 10.61 g มาละลายด้วยน้ำกลั่น จนละลายหมด จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1000 ml จะได้สารละลาย K_3PO_4 เข้มข้น 50 mmol ปริมาณ 1000 ml

1.3 การเตรียมสารละลาย EDTA เข้มข้น 0.1 mmol ในน้ำกลั่น ทำโดยชั่งสาร EDTA มา 0.03 g ละลายมาละลายด้วยน้ำกลั่น จนละลายหมด จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1000 ml จะได้สารละลาย EDTA เข้มข้น 0.1 mmol ปริมาณ 1000 ml

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

การวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยนำสารละลายมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมไว้ ที่ระดับความเข้มข้น 5 , 10, 15, 20, 25 และ 30%v/v มา 0.1 ml .นำมาใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย K_3PO_4 เข้มข้น 50 mmol ปริมาณ 2 ml สารละลาย EDTA เข้มข้น 0.1 mmol 2 ml และ PVPP 100% ปริมาณ 0.1 g แล้วผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 20 นาที แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 nm อ่านค่า OD จากนั้นนำข้อมูลมาพล็อตกราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ดังภาพภาคผนวกที่ 12



ภาพภาคผนวกที่ 12 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเนื้อพริกและไส้พริก หาได้จากสมการเส้นตรงจากกราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

$$y = 0.0035x + 0.0113 \quad (1)$$

เมื่อ y = ค่า OD ที่วัดได้จากเครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง

x = ค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ตัวอย่างการคำนวณ พริกที่ชุดการทดลอง 1 เนื้อพริกอ่านค่า OD ด้วยเครื่องวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 550 นาโนเมตร ได้ 0.069 แทนค่าลงในสมการที่ 1 จะได้

$$0.069 = 0.0035x + 0.0113$$

$$x = 1.67$$

แสดงว่าในเนื้อพริกมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อยู่ 1.67 %v/v



ภาคผนวก ข

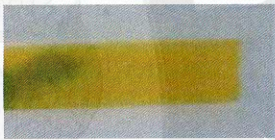
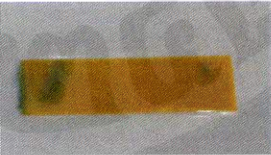
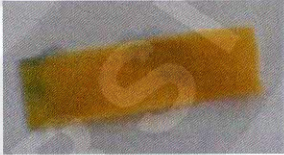
ข้อมูลปฐมภูมิของการทดลอง

ผลการทดสอบการกระจายตัวของแก๊สไอโซนด้วยกระดาษลิตมัส

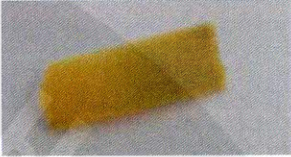
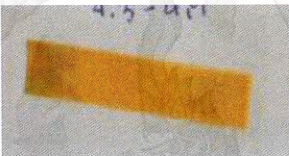
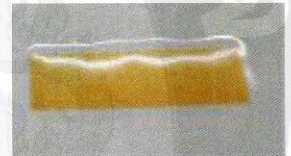
ตารางภาคผนวกที่ 2 ผลการทดสอบค่าความเป็นกรด ที่วัดจากการเปลี่ยนสีของกระดาษลิตมัส
เทียบสเกลสีบอกค่าความเป็นกรด pH 4-7

Condition	ค่าเฉลี่ย pH		
	Level 1	Level 2	Level 3
ภาพสี กระดาษ ลิตมัส O3H5			
R1O3H5	6.0	5.2	5.0
R2O3H5	5.2	5.8	5.2
R3O3H5	6.0	5.2	5.0
$\bar{X} \pm SD$	5.73±0.46	5.40±0.35	5.07±0.12
ภาพสี กระดาษ ลิตมัส O3H10			
R1O3H10	5.2	5.2	5.6
R2O3H10	5.3	5.8	5.2
R3O3H10	5.1	5.2	5.4
$\bar{X} \pm SD$	5.20±0.10	5.40±0.26	5.40±0.20
ภาพสี กระดาษ ลิตมัส O3H15			
R1O3H15	4.7	4.6	4.3
R2O3H15	4.5	4.6	4.4
R3O3H15	4.6	4.5	4.5
$\bar{X} \pm SD$	4.60±0.10	4.57±0.06	4.40±0.10

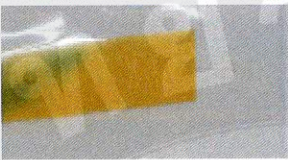
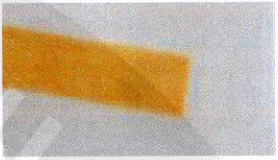
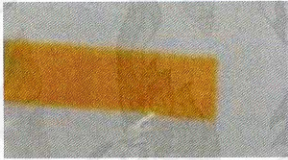
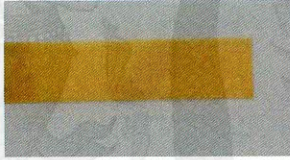
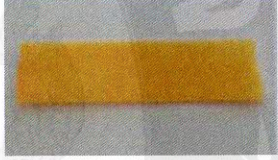
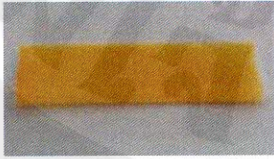
ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

Condition	ค่าเฉลี่ย pH		
	Level 1	Level 2	Level 3
ภาพสี กระดาษ ลิทมัส O6H5			
R1O6H5	5.6	5.4	5.6
R2O6H5	5.5	5.6	5.2
R3O6H5	4.9	5.0	4.7
$\bar{X} \pm SD$	5.33±0.38	5.33±0.30	5.17±0.45
ภาพสี กระดาษ ลิทมัส O6H10			
R1O6H10	4.3	4.4	4.1
R2O6H10	4.5	4.1	4.1
R3O6H10	4.3	4.4	4.2
$\bar{X} \pm SD$	4.37±0.12	4.30±0.17	4.10±0.00
ภาพสี กระดาษ ลิทมัส O6H15			
R1O6H15	4.0	4.1	4.1
R2O6H15	4.1	4.2	4.1
R3O6H15	4.0	4.1	4.2
$\bar{X} \pm SD$	4.03±0.06	4.13±0.06	4.13±0.06

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

Condition	ค่าเฉลี่ย pH		
	Level 1	Level 2	Level 3
ภาพสี กระดาษ ลิตมัส O9H5			
R1O9H5	4.1	4.3	4.2
R2O9H5	4.2	4.1	4.1
R3O9H5	4.1	4.0	4.2
$\bar{X} \pm SD$	4.13 ± 0.06	4.13 ± 0.15	4.17 ± 0.06
ภาพสี กระดาษ ลิตมัส O9H10			
R1O9H10	4.2	4.1	4.0
R2O9H10	4.0	4.1	4.1
R3O9H10	4.0	4.2	4.2
$\bar{X} \pm SD$	4.07 ± 0.12	4.13 ± 0.06	4.10 ± 0.10
ภาพสี กระดาษ ลิตมัส O9H15			
R1O9H15	4.1	4.0	4.0
R2O9H15	4.0	4.0	4.0
R3O9H15	4.0	4.0	4.0
$\bar{X} \pm SD$	4.03 ± 0.06	4.00 ± 0.00	4.00 ± 0.00

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

Condition	ค่าเฉลี่ย pH		
	Level 1	Level 2	Level 3
ภาพสี กระดาษ ลิตมัส O12H5			
R1O12H5	4.3	4.3	4.3
R2O12H5	4.6	4.2	4.3
R3O12H5	4.2	4.5	4.2
$\bar{X} \pm SD$	4.37±0.21	4.33±0.15	4.27±0.06
ภาพสี กระดาษ ลิตมัส O12H10			
R1O12H10	4.2	4.0	4.0
R2O12H10	4.0	4.0	4.0
R3O12H10	4.0	4.0	4.0
$\bar{X} \pm SD$	4.07±0.12	4.00±0.00	4.00±0.00
ภาพสี กระดาษ ลิตมัส O12H15			
R1O12H15	4.0	4.0	light
R2O12H15	4.0	light	light
R3O12H15	4.0	light	light
$\bar{X} \pm SD$	4.00±0.00	light	light

หมายเหตุ กำหนดสัญลักษณ์ชุดการทดลอง มีลักษณะตัวย่อ code ดังนี้

- ความเข้มข้นของแก๊สโอโซน

ปล่อยแก๊สโอโซนนาน 3 นาที ได้ปริมาณแก๊ส 41,136 ppm ใช้ตัวย่อ O3

ปล่อยแก๊สโอโซนนาน 6 นาที ได้ปริมาณแก๊ส 65,643 ppm ใช้ตัวย่อ O6

ปล่อยแก๊สโอโซนนาน 9 นาที ได้ปริมาณแก๊ส 77,896 ppm ใช้ตัวย่อ O9

ปล่อยแก๊สโอโซนนาน 12 นาที ได้ปริมาณแก๊ส 83,147 ppm ใช้ตัวย่อ O12

- เวลาในการพักแก๊สโอโซน

พักนาน 5 นาที ใช้ตัวย่อ H5

พักนาน 10 นาที ใช้ตัวย่อ H10

พักนาน 15 นาที ใช้ตัวย่อ H15

ผลทดสอบค่าการดูดกลืนแสงของเนื้อพริกและไส้พริก

ตารางภาคผนวกที่ 3 ค่า OD และปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเนื้อพริกและไส้พริก

Concentration	Hold	Day 1		Day 4		Day 8		Day 12		Day 15		Day 18		Day 21	
ozone	time	ค่า OD	H ₂ O ₂	ค่า OD	H ₂ O ₂	ค่า OD	H ₂ O ₂	ค่า OD	H ₂ O ₂	ค่า OD	H ₂ O ₂	ค่า OD	H ₂ O ₂	ค่า OD	H ₂ O ₂
(ppm)	(min)		(%v/v)		(%v/v)		(%v/v)		(%v/v)		(%v/v)		(%v/v)		(%v/v)
เนื้อพริก															
control		0.029	0.62 ^a	0.032	0.61 ^a	0.039	0.81 ^a	0.050	1.12 ^a	0.042	0.89 ^a	0.032	0.61 ^a	0.030	0.55 ^a
77,896	5	0.037	0.74 ^a	0.045	0.98 ^b	0.052	1.17 ^b	0.069	1.67 ^b	0.052	1.18 ^b	0.048	1.05 ^b	0.033	0.63 ^a
83,147	5	0.031	0.57 ^a	0.045	0.97 ^b	0.065	1.53	0.071	1.71 ^b	0.054	1.22 ^b	0.047	1.02 ^b	0.034	0.66 ^a
41,136	15	0.037	0.75 ^a	0.043	0.92 ^b	0.057	1.31 ^{bc}	0.069	1.67 ^b	0.059	1.36	0.047	1.04 ^b	0.033	0.64 ^a
65,643	10	0.035	0.69 ^a	0.045	0.97 ^b	0.052	1.17 ^b	0.071	1.72 ^b	0.053	1.21 ^b	0.046	0.99	0.037	0.74 ^a
77,896	10	0.042	0.89 ^a	0.047	1.03 ^b	0.056	1.28 ^b	0.074	1.80 ^b	0.063	1.50 ^{bc}	0.051	1.51 ^c	0.036	0.72 ^a
83,147	10	0.046	1.00 ^b	0.055	1.27 ^c	0.072	1.65 ^c	0.077	1.89 ^b	0.062	1.4 ^b	0.046	1.00 ^b	0.035	0.70 ^a
65,643	15	0.039	0.80 ^a	0.051	1.15 ^b	0.066	1.56 ^{bc}	0.071	1.71 ^b	0.057	1.31 ^b	0.044	0.95 ^b	0.034	0.66 ^a
77,896	15	0.050	1.12 ^b	0.050	1.13 ^b	0.062	1.45 ^{bc}	0.081	2.00 ^b	0.075	1.82 ^c	0.059	1.36 ^c	0.039	0.70 ^a

ตารางภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

Concentration	Hold	Day 1		Day 4		Day 8		Day 12		Day 15		Day 18		Day 21	
ozone (ppm)	time (min)	ค่า OD	H ₂ O ₂ (%v/v)	ค่า OD	H ₂ O ₂ (%v/v)	ค่า OD	H ₂ O ₂ (%v/v)	ค่า OD	H ₂ O ₂ (%v/v)	ค่า OD	H ₂ O ₂ (%v/v)	ค่า OD	H ₂ O ₂ (%v/v)	ค่า OD	H ₂ O ₂ (%v/v)
ไส้พริก															
control		0.020	0.26 ^a	0.022	0.31 ^a	0.026	0.43 ^a	0.031	0.57 ^a	0.023	0.33 ^a	0.020	0.25 ^a	0.018	0.20 ^a
77,896	5	0.024	0.37 ^a	0.031	0.58 ^b	0.039	0.81 ^{bc}	0.043	0.91 ^b	0.034	0.66 ^b	0.024	0.37 ^a	0.016	0.15 ^a
83,147	5	0.022	0.31 ^a	0.029	0.52 ^b	0.038	0.77 ^{bc}	0.042	0.88 ^b	0.036	0.72 ^b	0.031	0.56 ^c	0.020	0.25 ^a
41,136	15	0.020	0.26 ^a	0.028	0.50 ^b	0.034	0.66 ^b	0.040	0.83 ^b	0.033	0.64 ^b	0.025	0.41 ^a	0.019	0.23 ^a
65,643	10	0.024	0.38 ^a	0.027	0.47 ^b	0.033	0.64 ^b	0.040	0.83 ^b	0.033	0.62 ^b	0.024	0.37 ^a	0.020	0.25 ^a
77,896	10	0.024	0.38 ^a	0.026	0.42 ^b	0.040	0.83 ^{bc}	0.042	0.90 ^b	0.039	0.81 ^c	0.025	0.40 ^a	0.018	0.21 ^a
83,147	10	0.024	0.38 ^a	0.031	0.57 ^b	0.042	0.88 ^c	0.042	0.89 ^b	0.035	0.68 ^b	0.026	0.43 ^b	0.020	0.27 ^a
65,643	15	0.021	0.30 ^a	0.029	0.53 ^b	0.036	0.72 ^b	0.040	0.83 ^b	0.035	0.70 ^b	0.027	0.45 ^b	0.022	0.30 ^a
77,896	15	0.022	0.32 ^a	0.036	0.73 ^c	0.044	0.95 ^c	0.044	0.95 ^b	0.033	0.64 ^b	0.024	0.38 ^a	0.020	0.26 ^a

หมายเหตุ ^{a-c} คืออักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแต่ละองค์ประกอบ แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวดิ่ง เมื่อมีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการทดสอบค่าสีของพริก

ตารางภาคผนวกที่ 4 ผลการทดสอบค่าสีของพริกและเนื้อพริกในรูปแบบ L*, a*, b* และการวิเคราะห์ค่าสีด้วยค่า ΔE , Hue และ ΔL^*

Concentration ozone(ppm)	Hold time (min)	สีพริกวันที่ 1			สีข้าวพริกวันที่ 1		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
control		34.32 ^a	43.78 ^a	29.31 ^a	40.75 ^a	-7.61 ^{ab}	25.85 ^b
77,896	5	33.75 ^{ab}	42.81 ^a	29.27 ^a	36.32 ^b	-7.21 ^b	22.89 ^c
83,147	5	34.34 ^a	42.26 ^a	27.94 ^b	37.45 ^b	-6.92 ^b	22.73 ^c
41,136	15	34.32 ^a	43.80 ^b	29.45 ^a	37.14 ^b	-7.03 ^b	25.67 ^{ab}
65,643	10	35.06 ^a	42.82 ^a	28.35 ^b	39.47 ^{ab}	-7.10 ^b	23.98 ^b
77,896	10	32.99 ^b	43.38 ^a	28.83 ^b	36.51 ^b	-7.41 ^{ab}	25.10 ^b
83,147	10	34.48 ^a	43.37 ^a	30.82 ^a	39.18 ^b	-8.22 ^a	26.02 ^b
65,643	15	32.63 ^b	42.77 ^a	27.83 ^b	39.99 ^{ab}	-8.32 ^a	29.32 ^a
77,896	15	32.89 ^b	42.76 ^a	28.75 ^b	37.47 ^b	-8.24 ^a	21.73 ^c
		สีพริกวันที่ 4			สีข้าวพริกวันที่ 4		
control		32.32 ^a	42.22 ^{ab}	25.67 ^{ab}	41.54 ^a	-7.55 ^{ab}	24.96 ^a
77,896	5	32.68 ^a	43.31 ^a	24.33 ^b	35.54 ^c	-6.15 ^b	21.61 ^b
83,147	5	33.63 ^a	41.43 ^b	24.59 ^{ab}	36.36 ^c	-6.37 ^b	21.04 ^b
41,136	15	32.96 ^a	41.08 ^b	27.50 ^a	39.65 ^b	-6.51 ^b	25.31 ^a
65,643	10	32.26 ^a	42.31 ^{ab}	26.69 ^a	37.94 ^c	-6.69 ^{ab}	23.59 ^{ab}
77,896	10	31.49 ^b	41.64 ^b	27.54 ^a	35.64 ^c	-6.85 ^{ab}	22.57 ^{ab}
83,147	10	32.06 ^b	40.13 ^b	27.46 ^a	38.89 ^b	-7.87 ^a	24.28 ^a
65,643	15	32.19 ^b	40.71 ^b	24.77 ^{ab}	38.98 ^b	-7.60 ^a	24.62 ^a
77,896	15	32.30 ^a	41.11 ^b	24.66 ^{ab}	34.72 ^c	-7.60 ^a	21.46 ^b

ตารางภาคผนวกที่ 4 (ต่อ)

Concentration ozone(ppm)	Hold time (min)	สีพริกวันที่ 8			สีข้าวพริกวันที่ 8		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
control		32.98 ^b	41.78 ^b	31.74 ^a	39.93 ^a	-7.29 ^a	26.13 ^a
77,896	5	32.36 ^b	42.81 ^{ab}	28.02 ^b	36.83 ^b	-5.52 ^c	21.49 ^b
83,147	5	32.69 ^b	42.07 ^{ab}	27.45 ^b	36.29 ^b	-6.19 ^b	22.46 ^b
41,136	15	33.36 ^{ab}	44.33 ^a	30.88 ^{ab}	39.02 ^a	-6.10 ^b	25.59 ^a
65,643	10	32.68 ^b	42.82 ^{ab}	28.85 ^b	37.72 ^b	-6.61 ^{ab}	22.82 ^b
77,896	10	34.29 ^a	44.96 ^a	30.55 ^{ab}	38.07 ^{ab}	-6.40 ^{ab}	22.66 ^b
83,147	10	34.37 ^a	45.72 ^a	32.30 ^a	38.76 ^{ab}	-7.18 ^a	24.74 ^{ab}
65,643	15	32.99 ^{ab}	44.48 ^a	30.67 ^{ab}	37.93 ^b	-6.97 ^{ab}	24.92 ^{ab}
77,896	15	32.47 ^b	44.89 ^a	32.89 ^a	37.83 ^b	-7.16 ^a	23.52 ^b
		สีพริกวันที่ 11			สีข้าวพริกวันที่ 11		
control		34.83 ^a	43.69 ^a	30.67 ^a	38.93 ^a	-6.74 ^a	25.99 ^a
77,896	5	32.14 ^a	41.79 ^b	28.56 ^b	35.75 ^b	-6.41 ^{ab}	22.26 ^b
83,147	5	33.20 ^{ab}	41.58 ^b	28.35 ^b	34.98 ^b	-5.72 ^b	22.09 ^b
41,136	15	32.32 ^a	43.79 ^a	29.65 ^{ab}	38.65 ^a	-5.55 ^b	24.37 ^a
65,643	10	33.22 ^a	42.02 ^{ab}	27.50 ^b	36.69 ^b	-6.55 ^{ab}	21.28 ^b
77,896	10	33.38 ^{ab}	43.90 ^a	28.48 ^b	37.47 ^{ab}	-5.69 ^b	21.85 ^b
83,147	10	34.20 ^{ab}	43.46 ^a	31.13 ^a	38.16 ^a	-6.82 ^a	23.59 ^{ab}
65,643	15	35.01 ^a	43.66 ^a	30.51 ^{ab}	36.89 ^b	-6.01 ^b	22.78 ^b
77,896	15	34.17 ^{ab}	43.83 ^a	31.48 ^a	36.88 ^b	-6.49 ^{ab}	22.96 ^{ab}

ตารางภาคผนวกที่ 4 (ต่อ)

Concentration ozone(ppm)	Hold time (min)	สีฟรุ้งวันที่ 8			สีข้าวฟรุ้งวันที่ 8		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
control		34.13 ^{ab}	44.09 ^a	33.34 ^a	39.77 ^a	-8.31 ^a	29.59 ^a
77,896	5	35.32 ^{ab}	44.77 ^a	36.74 ^a	36.36 ^b	-7.91 ^{ab}	32.69 ^a
83,147	5	34.91 ^{ab}	43.65 ^{ab}	37.07 ^a	37.65 ^b	-7.72 ^{ab}	30.52 ^a
41,136	15	35.87 ^{ab}	42.75 ^b	34.15 ^a	37.65 ^b	-6.74 ^b	31.86 ^a
65,643	10	36.77 ^a	43.83 ^{ab}	34.83 ^a	38.47 ^{ab}	-8.28 ^a	30.47 ^a
77,896	10	33.81 ^{ab}	43.25 ^b	28.83 ^b	36.43 ^b	-6.65 ^b	23.51 ^b
83,147	10	33.47 ^{ab}	44.22 ^a	28.68 ^b	37.50 ^b	-6.32 ^b	22.29 ^b
65,643	15	33.75 ^{ab}	43.78 ^{ab}	28.26 ^b	39.02 ^a	-6.49 ^b	24.43 ^b
77,896	15	32.77 ^b	44.46 ^a	31.70 ^b	35.92 ^b	-6.97 ^b	21.51 ^b

หมายเหตุ ^{a-c} คืออักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแต่ละองค์ประกอบ แสดงถึงความแตกต่างกัน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวดิ่ง เมื่อมีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ
Duncan test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการทดลองค่าความแน่นเนื้อของพริก

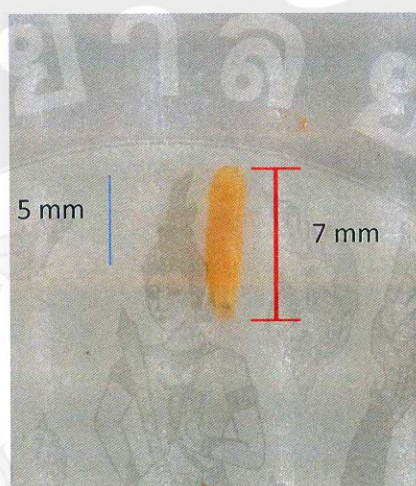
ตารางภาคผนวกที่ 5 ผลการทดลองค่าความแน่นเนื้อของพริก

Concentration ozone (ppm)	Holding time (min)	Firmness (kN)				
		Day0	Day 4	Day 8	Day 11	Day 14
control		9.68±2.21 ^a	9.15±1.61 ^a	8.67±1.63 ^a	8.32±1.21 ^a	7.69±1.87 ^a
77,896	5	9.42±2.3 ^{ab}	8.97±1.51 ^a	8.51±0.76 ^{ab}	8.25±0.96 ^a	7.46±1.54 ^{ab}
83,147	5	9.36±1.07 ^b	9.01±1.46 ^a	8.50±0.87 ^{ab}	8.25±1.47 ^a	7.46±0.95 ^{ab}
41,136	15	9.46±1.19 ^{ab}	9.03±1.09 ^a	8.52±1.11 ^{ab}	8.28±0.71 ^a	7.64±1.15 ^a
65,643	10	9.60±1.60 ^a	9.01±1.10 ^a	8.53±0.99 ^{ab}	8.24±0.92 ^a	7.51±1.21 ^{ab}
77,896	10	9.58±1.60 ^a	9.01±1.68 ^a	8.53±0.96 ^{ab}	8.24±1.38 ^a	7.51±0.95 ^{ab}
83,147	10	9.48±1.17 ^{ab}	8.96±1.12 ^a	8.43±0.68 ^b	8.20±0.76 ^a	7.48±0.67 ^{ab}
65,643	15	9.60±0.96 ^a	9.03±1.06 ^a	8.59±0.98 ^{ab}	8.23±0.64 ^a	7.58±1.03 ^{ab}
77,896	15	9.45±0.73 ^{ab}	8.95±0.41 ^a	8.46±0.75 ^b	8.04±1.15 ^b	7.38±0.96 ^b

หมายเหตุ ^{a-c} คืออักษรกำกับที่มีความแตกต่างกันในแต่ละองค์ประกอบ แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวดิ่ง เมื่อมีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการทดสอบอัตราการตายของหนอน

การทดสอบอัตราการตายของหนอนเลือกใช้หนอนในระยะวัยที่ 3 มีขนาดตัวยาวประมาณ 5-7 มิลลิเมตร ดังภาพผนวกที่ 13



ภาพภาคผนวกที่ 13 หนอนแมลงวันผลไม้ระยะวัยที่ 3 ขนาดตัว 7-10 มิลลิเมตร

ผลการทดสอบพริกที่ผ่านการรมแก๊สเอทิลีน นำเก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 4-6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน ไม่เกิดการเน่าเสียและไม่พบการเจริญของหนอนไม่สามารถระบุอัตราการตายของหนอนได้ ดังภาพภาคผนวก 14 และ 15



ภาพภาคผนวกที่ 14 พริกควบคุมเก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 4-6 °C เป็นเวลา 15 วัน



ชุดการทดลองที่ 1 CT 389,480 ppm-min



ชุดการทดลองที่ 2 CT 415,735 ppm-min



ชุดการทดลองที่ 3 CT 617,040 ppm-min



ชุดการทดลองที่ 4 CT 656,430 ppm-min



ชุดการทดลองที่ 5 CT 778,960 ppm-min



ชุดการทดลองที่ 6 CT 831,470 ppm-min

ภาพภาคผนวกที่ 15 พริกที่ผ่านการรมแก๊สโอโซนที่ชุดการทดลอง 1-8 ที่ CT 389,480, 415,735, 617,040, 656,430, 778,960, 831,470, 984,645 และ 1,168,440 ppm-min ตามลำดับ เก็บในตู้เย็นอุณหภูมิตั้งแต่ 4-6 °C เป็นเวลา 15 วัน บรรจุในภาชนะโฟม



ชุดการทดลองที่ 7 CT 778,960 ppm-min



ชุดการทดลองที่ 8 CT 831,470 ppm-min

ภาพภาคผนวกที่ 15 (ต่อ)

ผลการทดสอบพริกที่ผ่านการรมแก๊สโอโซน นำเก็บในอุณหภูมิภายนอกที่ 30 °C เป็นเวลา 15 วัน พริกเกิดการเน่าเสียและพบการเจริญของหนอนในในชุดการทดลองที่ 1, 4, 5 และ 6 ดังภาพภาคผนวก 16 และไม่พบการเจริญของหนอนในชุดการทดลองที่ 2, 3, 7 และ 8 ดังภาพภาคผนวก 17



ภาพภาคผนวกที่ 16 พริกควบคุมเก็บที่อุณหภูมิภายนอก 30°C เป็นเวลา 15 วัน



ชุดการทดลองที่ 1 CT 389,480 ppm-min



ชุดการทดลองที่ 2 CT 415,735 ppm-min



ชุดการทดลองที่ 3 CT 617,040 ppm-min



ชุดการทดลองที่ 4 CT 656,430 ppm-min

ภาพภาคผนวกที่ 17 พริกที่ผ่านการรมแก๊สไอโซนแล้วพบการเจริญของหนอนที่ชุดการทดลอง 1, 2, 3 และ 4-ที่ CT 389,480, 415,735, 617,040 และ 656,430 ppm-min ตามลำดับ เก็บในอุณหภูมิภายนอก 30°C เป็นเวลา 15 วัน บรรจุในภาตโพน



ชุดการทดลองที่ 5 CT 778,960 ppm-min



ชุดการทดลองที่ 6 CT 831,470 ppm-min



ชุดการทดลองที่ 7 CT 984,645 ppm-min



ชุดการทดลองที่ 8 CT 1,168,440 ppm-min

ภาพภาคผนวกที่ 18 พริกที่ผ่านการรมแก๊สโอโซนแล้วไม่พบการเจริญของหนอนที่ชุดการทดลอง 5, 6, 7 และ 8-ที่ CT 778,960, 831,470, 984,645 และ 1,168,440 ppm-min ตามลำดับ เก็บในอุณหภูมิภายนอก 30°C ที่ เป็นเวลา 15 วัน บรรจุในถาดโฟม

ผลการทดสอบพริกที่ผ่านการรมแก๊สโอโซน ซึ่งเป็นพริกที่ไม่ได้ควบคุมปริมาณหนอน นำเก็บในอุณหภูมิภายนอกที่ 30 °C เป็นเวลา 15 วัน ในถุงพลาสติกซิปล็อก พริกเกิดการเน่าเสียและพบการเจริญของหนอนในในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ดังภาพภาคผนวก 18 และไม่พบการเจริญของหนอนในชุดการทดลองที่ 5, 6, 7 และ 8 ดังภาพภาคผนวก 19



ชุดการทดลองที่ 1 CT 389,480 ppm-min และภาพหนอนที่พบภายในถุงบรรจุพริก



ชุดการทดลองที่ 2 CT 415,735 ppm-min และภาพหนอนที่พบภายในถุงบรรจุพริก

ภาพภาคผนวกที่ 19 พริกที่ผ่านการรมแก๊สโอโซนแล้วพบการเจริญของหนอนที่ชุดการทดลอง 1, 2, 3 และ 4-ที่ CT 389,480, 415,735, 617,040 และ 656,430 ppm-min ตามลำดับ และไม่พบการเจริญของหนอนที่ชุดการทดลอง 5, 6, 7 และ 8-ที่ CT 778,960, 831,470, 984,645 และ 1,168,440 ppm-min ตามลำดับ เก็บในอุณหภูมิภายนอก 30°C ที่ เป็นเวลา 15 วัน บรรจุในถุงพลาสติกซิปล็อก



ชุดการทดลองที่ 3 CT 617,040 ppm-min และภาพหนอนที่พบภายในถุงบรรจุพริก



ชุดการทดลองที่ 4 CT 656,430 ppm-min และภาพหนอนที่พบภายในถุงบรรจุพริก



ชุดการทดลองที่ 5 CT 778,960 ppm-min ไม่พบหนอน

ภาพภาคผนวกที่ 19 (ต่อ)



ชุดการทดลองที่ 6 CT 831,470 ppm-min ไม่พบหนอน



ชุดการทดลองที่ 7 CT 984,645 ppm-min ไม่พบหนอน



ชุดการทดลองที่ 8 CT 1,168,440 ppm-min ไม่พบหนอน

ภาพภาคผนวกที่ 19 (ต่อ)



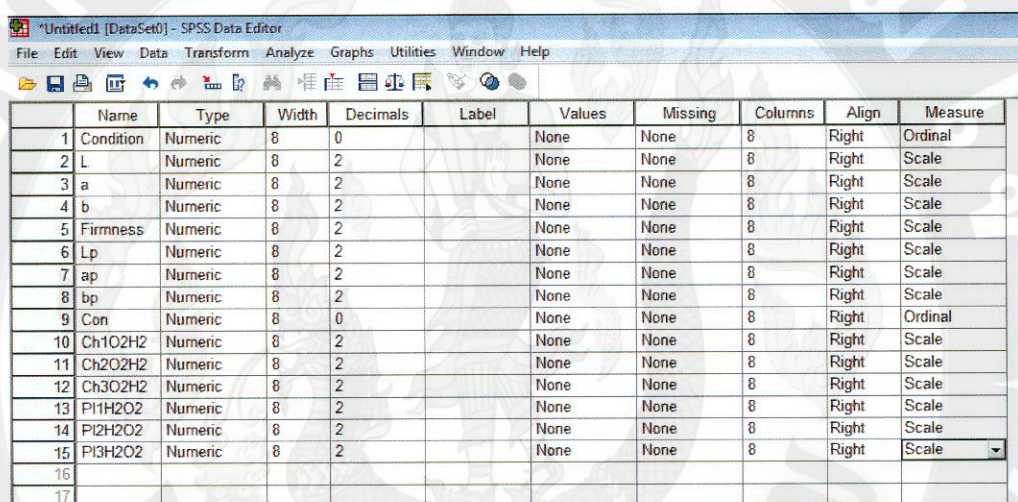
ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ข้อมูล

ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

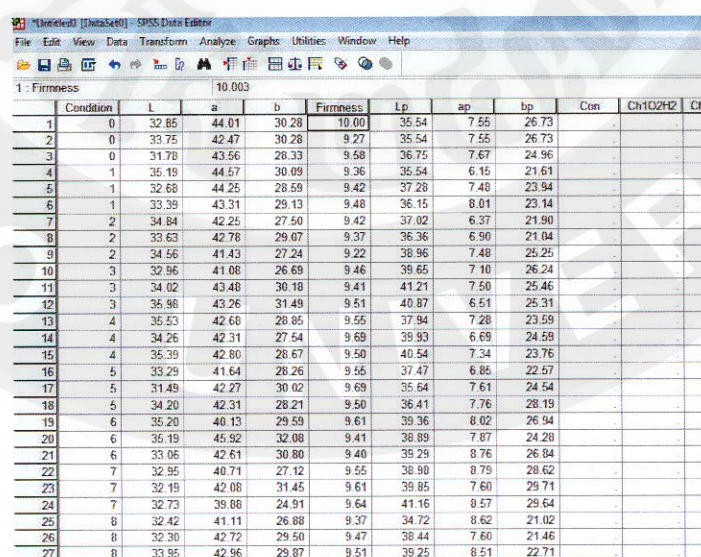
การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบโดยการนำค่าต่างๆ มาวิเคราะห์ค่าความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งหากค่า sig ที่ได้มีค่าน้อยกว่าแสดงว่าปัจจัยนั้นๆ มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม โดยใช้โปรแกรม Statistical Package for the Social Science (SPSS) 15.0 for Windows มีรายละเอียดขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ดังนี้

กรอกข้อมูลตัวแปรอิสระและตัวแปรตามต่างๆ ลงในตารางหน้า Variable view ดัง ภาพภาคผนวกที่ 20 แล้วจึงกรอกข้อมูลผลการทดลองลงในตารางหน้า Data view ดังภาพภาคผนวก 21



	Name	Type	Width	Decimals	Label	Values	Missing	Columns	Align	Measure
1	Condition	Numeric	8	0		None	None	8	Right	Ordinal
2	L	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
3	a	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
4	b	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
5	Firmness	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
6	Lp	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
7	ap	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
8	bp	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
9	Con	Numeric	8	0		None	None	8	Right	Ordinal
10	Ch1O2H2	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
11	Ch2O2H2	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
12	Ch3O2H2	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
13	PI1H2O2	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
14	PI2H2O2	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
15	PI3H2O2	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
16										
17										

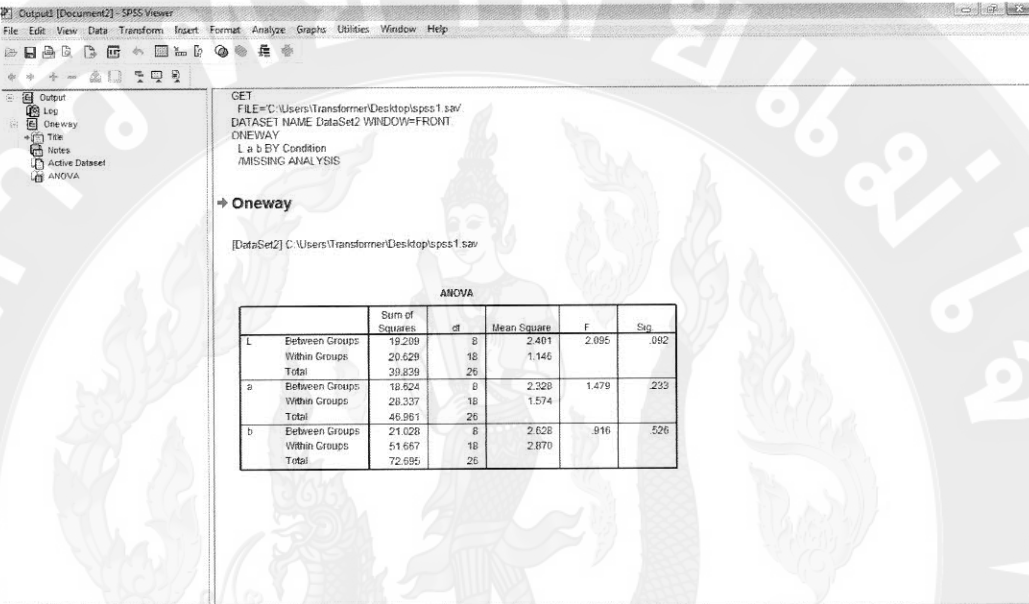
ภาพภาคผนวกที่ 20 ข้อมูลตัวแปรอิสระตัวแปรตาม



	Condition	L	a	b	Firmness	Lp	ap	bp	Con	Ch1O2H2	Ch
1	0	32.85	44.01	30.28	10.00	35.54	7.55	26.73			
2	0	33.75	42.47	30.28	9.27	35.54	7.55	26.73			
3	0	31.78	43.56	28.33	9.68	36.75	7.67	24.96			
4	1	36.19	44.57	30.09	9.36	35.54	6.15	21.61			
5	1	32.68	44.25	28.59	9.42	37.28	7.48	23.94			
6	1	33.39	43.31	29.13	9.48	36.15	8.01	23.14			
7	2	34.84	42.25	27.50	9.42	37.02	6.37	21.90			
8	2	33.63	42.78	29.07	9.37	36.36	6.90	21.04			
9	2	34.56	41.43	27.24	9.22	38.96	7.48	25.25			
10	3	32.96	41.08	26.69	9.46	39.65	7.10	26.24			
11	3	34.02	43.48	30.18	9.41	41.21	7.50	25.46			
12	3	36.98	43.26	31.49	9.51	40.87	6.51	25.31			
13	4	35.53	42.68	28.85	9.55	37.94	7.28	23.59			
14	4	34.26	42.31	27.54	9.69	39.93	6.69	24.58			
15	4	36.39	42.80	28.67	9.50	40.54	7.34	23.76			
16	5	33.29	41.64	28.26	9.55	37.47	6.85	22.57			
17	5	31.45	42.27	30.02	9.69	35.64	7.61	24.54			
18	5	34.20	42.31	28.21	9.50	36.41	7.76	28.19			
19	6	35.20	40.13	29.59	9.61	39.36	8.02	26.94			
20	6	36.19	45.92	32.08	9.41	38.89	7.87	24.28			
21	6	33.06	42.61	30.80	9.40	39.29	8.76	26.84			
22	7	32.95	40.71	27.12	9.55	38.98	8.79	28.62			
23	7	32.19	42.08	31.45	9.61	39.85	7.60	29.71			
24	7	32.73	39.88	24.91	9.64	41.16	8.57	29.64			
25	8	32.42	41.11	26.88	9.37	34.72	8.62	21.02			
26	8	32.30	42.72	29.50	9.47	38.44	7.60	21.46			
27	8	33.95	42.96	29.87	9.51	39.25	8.51	22.71			

ภาพภาคผนวกที่ 21 ข้อมูลผลการทดลอง

เมื่อกรอกข้อมูลครบแล้ว เริ่มการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้คำสั่งของโปรแกรม Statistics(Analyze) > Compare mean > One way ANOVA จากนั้นผลการวิเคราะห์จะแสดงขึ้นในหน้าต่าง Out put ดังแสดงในภาคผนวก 22 กำหนดที่ระดับความเชื่อมั่น Significance level 0.05



SPSS Processor is ready

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
L	Between Groups	19.209	8	2.401	2.895	.082
	Within Groups	20.629	18	1.146		
	Total	39.838	26			
a	Between Groups	18.524	8	2.328	1.479	.233
	Within Groups	28.337	18	1.574		
	Total	46.861	26			
b	Between Groups	21.028	8	2.628	.916	.526
	Within Groups	51.657	18	2.870		
	Total	72.685	26			

ภาพภาคผนวกที่ 22 หน้าต่าง Out put แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

หากพบว่าผลการทดสอบมีค่า $Sig < 0.05$ แสดงว่าชุดการทดลองมีความแตกต่างกันให้นำผลส่วนนั้นมาวิเคราะห์ post hoc test หรือ การเปรียบเทียบเชิงซ้อน ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ทำให้เราทราบว่าค่าเฉลี่ยของชุดการทดลองคู่ใดบ้างที่แตกต่างกันหรือไม่แตกต่างกัน



ภาคผนวก ง

การออกแบบระบบบำบัดแก๊สไอโซน

แนวคิดในการออกแบบระบบบำบัดแก๊สโอโซนด้วยถ่านกัมมันต์

คุณสมบัติในการดูดซับสารเคมีของถ่านกัมมันต์

- พื้นที่ผิว (Surface Area) $1100 \text{ m}^2/\text{g}$
- ความหนาแน่น (Apparent Density) 0.48 g/cm^3
- เนื้อที่ในการดูดซับสูงสุด $0.6 \text{ cm}^3/\text{g}$
- ค่า pH 9-11
- คุณสมบัติในการดูดซับโอโซน $0.129 \text{ g of ozone/1 kg of activated carbon}$ (Fisk et al., 2009)

การออกแบบระบบบำบัดแก๊สโอโซนด้วยถ่านกัมมันต์ ได้ดัดแปลงแนวคิดมาจาก กรมควบคุมมลพิษ (นพภาพร และคณะ, 2558)

จากคุณสมบัติในการดูดซับโอโซนของถ่านกัมมันต์ มีค่า $0.129 \text{ g of ozone/1 kg of activated carbon}$ ที่อุณหภูมิห้อง ออกแบบใส่ถ่านกัมมันต์ในระบบ 8 kg

$$\begin{aligned} \text{ความสามารถในการดูดซับแก๊สโอโซนของถ่าน } 8 \text{ kg} &= 8 \times 0.129 \text{ g of ozone} \\ &= 1,032 \text{ g of ozone} \end{aligned}$$

ในการใช้งานการรมแก๊สโอโซนในระบบมีการปล่อยแก๊สออกสู่ถังบำบัดในอัตราสูงสุด 20 g/h

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น อายุการใช้งานของถ่านกัมมันต์ } &1,032 \text{ g of ozone} / (20 \text{ g/h}) \\ &= 51.6 \text{ h (51 ชั่วโมง 36 นาที)} \end{aligned}$$



ภาพภาคผนวกที่ 23 ถังระบบบำบัดแก๊สโอโซน

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวสุรินทรพร ชั่งไชย
เกิดเมื่อ	20 มีนาคม 2533
ประวัติการศึกษา	2550 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนลำปางกัลยาณี ลำปาง 2554 ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่
ประวัติการทำงาน	2556-2558 ตำแหน่งธุรการ/บัญชี/ผู้ประกันคุณภาพ บริษัท คริสป์ เวจ แอนด์ ฟรุต จำกัด เชียงใหม่