Journal of Agr. Research & Extension 33(2): 13-23

การใช้แก๊สโอโซนในการกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ (*Bactrocera latifrons*) ในพริก

Application of Ozone Gas to Disinfest Fruit Fly (*Bactrocera latifrons*) in Chilli

สุรินทราพร ชั่งไชย[1] จตุรภัทร วาฤทธิ์[1*] สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ[1] กาญจนา นาคประสม[1]
ณัฏฐ์พัชร เถียรวรกานต์[2] และพิสุทธิ์ กลิ่นขจร[1]

Surintrapron Changchai[1], Jaturapatr Varith[1*], Somkiat Jaturonglumlert[1], Kanjana Narkprasom[1]
Nutpachara Theanworrakant[2] and Pisuthi Klinkajorn[1]

[1]คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[2]คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[1]Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

[2]Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: jatuphon@mju.ac.th

Abstract

One of the persistent problems for fresh chilli export is fruit fly infestation as it lays eggs in the field, but larvae hatches at the end market-shelf. This research dealt with an application of high concentration ozone fumigation to disinfest fruit fly larvae in fresh chilli cv. Super Hot (*Capsicum frutescens* Linn.). The ozone fumigation system consisting of ozone generator, control system, and 25 L polycarbonate sample container was applied to fresh chilli infested with fruit fly larvae under pressure 12 kPa. Chilli was treated with high concentration ozone in a range of 41,136-83,147 ppm and holding time of 5-15 minutes, equivalent to a dose of concentration-time (CT) of 389,480-1,168,440 ppm·min. Results show that ozone fumigation with CT dose ranging of 831,470-1,168,440 ppm·min disinfested larvae of fruit fly for 100%. With this CT dose, red color index and firmness of chilli fruit did not significantly change ($p>0.05$), but brightness of stemsignificantly darker ($p\leq0.05$) than that of the control.

Keywords: ozone fumigation, disinfestation, fruit fly, chilli, color index

บทคัดย่อ

แมลงศัตรูพืชเป็นปัญหาสำคัญในการส่งออกพริกสด เพราะแมลงวันผลไม้จะเข้าวางไข่ไว้ในพริกตั้งแต่ยังอยู่ในแปลงปลูก และหนอนแมลงจะฟักตัวเมื่ออยู่ในชั้นวางสินค้าปลายทาง งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์การรมแก๊สโอโซนความเข้มข้นสูง เพื่อกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริกสายพันธุ์ซุปเปอร์ฮอท (*Capsicum frutescens* Linn.) ชุดระบบการรมแก๊สโอโซนประกอบด้วยชุดกำเนิดโอโซน อุปกรณ์ควบคุม และถังโพลีคาร์บอเนตขนาด 25

ลิตร เพื่อบรรจุพริกทดลอง ที่ทดสอบภายใต้ความดันในระบบ 12 kPa ใช้ความเข้มข้นของโอโซนที่ 41,136-83,147 ppm และเวลาพักนาน 5-15 นาที ซึ่งเท่ากับค่า Dose ความเข้มข้น กับเวลา (CT) ในช่วง 389,480-1,168,440 ppm·min ผลการวิจัยพบว่า ที่ CT ในช่วง 831,470-1,168,440 ppm·min สามารถใช้กำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริกได้ 100% และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ต่อค่าดัชนีสีแดงและความแน่นเนื้อของเนื้อพริก แต่มีผลทำให้ขั้วพริกมีสีคล้ำขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับพริกตัวอย่างควบคุม

คำสำคัญ: การรมแก๊สโอโซน การกำจัด แมลงวันผลไม้ พริก ดัชนีสี

คำนำ

แก๊สโอโซนมีคุณสมบัติเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรงแต่สามารถใช้ได้อย่างปลอดภัยกับอาหาร (GRAS: Generally Recognized As Safe) (Guzel-Seydim *et al*., 2004) แก๊สโอโซนสามารถทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลและทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโมเลกุลของไขมัน (Lipid peroxidation) เยื่อเมมเบรนที่มีสารอินทรีย์ของสิ่งมีชีวิต ทำให้ผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิตอ่อนแอและแตกสลาย โอโซนจึงนำไปใช้กำจัดเชื้อจุลินทรีย์ แบคทีเรีย เชื้อราต่างๆ รวมทั้งการบำบัดน้ำเสีย การฆ่าเชื้อโรค กำจัดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่อาจติดมากับผิวของผักผลไม้และควบคุมและกำจัดแมลงศัตรูพืช (Kasiviswanathan *et al*., 2009) ในงานวิจัยของ Martin *et al*. (2011) ศึกษาการรมแก๊สโอโซนในบริเวณที่จัดเก็บเมล็ดธัญพืชเพื่อกำจัดตัวมอดแป้ง (Red flour beetle) และตัวอ่อนที่ปริมาณความเข้มข้นแก๊สโอโซน 40 ppm ในเวลา 6 ชั่วโมง สามารถกำจัดและควบคุมได้ 100% Marissa *et al*. (2011) ได้พัฒนาการกำจัดแมลงศัตรูพืช โดยการออกแบบเครื่องสายพานเกลียวแบบสกรูร่วมกับการใช้แก๊สโอโซนซึ่งมีระบบการไหลอย่างต่อเนื่อง ในการทำงานใช้ความเข้มข้นของแก๊สโอโซนประมาณ (C) 47,800 ppm และเวลา (T) ที่ใช้ในการผ่านเครื่องเกลียวสกรู 1 นาที 48 วินาที ซึ่งคิดเป็นปริมาณความเข้มข้นที่ผลิตภัณฑ์ได้รับเป็น CT เท่ากับ 258,120 ppm·min นำผ่านเครื่องสกรู 3 ครั้ง สามารถกำจัดตัวมอดแป้งแดงและด้วงในเมล็ดข้าวโพดได้ 100% และสามารถลดเชื้อราและสารเคมีตกค้างที่ผิวของเมล็ดข้าวโพดได้

แมลงศัตรูพืชเป็นปัญหาต่อเนื่องจากการใช้สารเคมีเกินขนาด ก่อให้เกิดสารตกค้างซึ่งเป็นปัญหาหลักในการส่งออกพริกสด การลดปริมาณสารเคมีกลับส่งผลในทางตรงกันข้าม เพราะไม่สามารถกำจัดแมลงศัตรูพืชได้ 100% เนื่องจากในการเข้าทำลายพริกจะเริ่มตั้งแต่ในระยะพริกติดผล ระยะตัวหนอนจะชอนไชกัดกินอยู่ภายในผลพริกนานถึง 2 สัปดาห์ (กฤษฎา, 2550) ทำให้ผลพริกที่มีตัวอ่อนอยู่จะถูกเก็บเพื่อจำหน่าย ส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพผลผลิตและมาตรฐานสินค้าการส่งออก คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดพัฒนาระบบการรมแก๊สโอโซนมาประยุกต์ใช้ในการกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริก โดยศึกษาปริมาณความเข้มข้นของโอโซน (Concentration; C) และเวลาในการพัก (Holding time; T) คิดเป็นค่าปริมาณความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่พริกได้รับ (Dose; CT) ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการแทรกซึมผ่านเนื้อพริกที่เป็นที่ฝังตัวของหนอน โดยคาดหวังว่าแก๊สโอโซนสามารถเข้าทำลายตัวหนอนภายในเนื้อพริกโดยไม่ส่งผลต่อด้านคุณภาพสีและความแน่นเนื้อของพริก และจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาระบบการกำจัดหนอนในพริกเพื่อการส่งออกได้

อุปกรณ์และวิธีการ

ระบบการรมแก๊สโอโซน

ระบบรมแก๊สโอโซนความเข้มข้นสูง (Figure 1) ประกอบด้วยชุดกำเนิดโอโซนขนาดอัตราการผลิต 5.5 กรัม/ชม. ต่อพ่วงกับตู้รมภาชนะขนาด 0.4x0.4x1.2 ตร.ม. ด้านในบรรจุถังแบบโพลีคาร์บอนเนตขนาด 25 ลิตร ทั้งสองส่วนเชื่อมต่อกันด้วยสายท่อลมและสายซิลิโคน

ส่วนชุดอุปกรณ์ควบคุมมี 2 ส่วน คือ ส่วนระบบควบคุมอุปกรณ์ทางไฟฟ้าและโปรแกรมควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านเครือข่ายไร้สาย (จาตุพงศ์ และคณะ, 2554) ภายในระบบมีการควบคุมอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนเพื่อผลิตเป็นแก๊สโอโซนที่ 7.5 ลิตร/นาที และความดันของระบบ 12 kPa

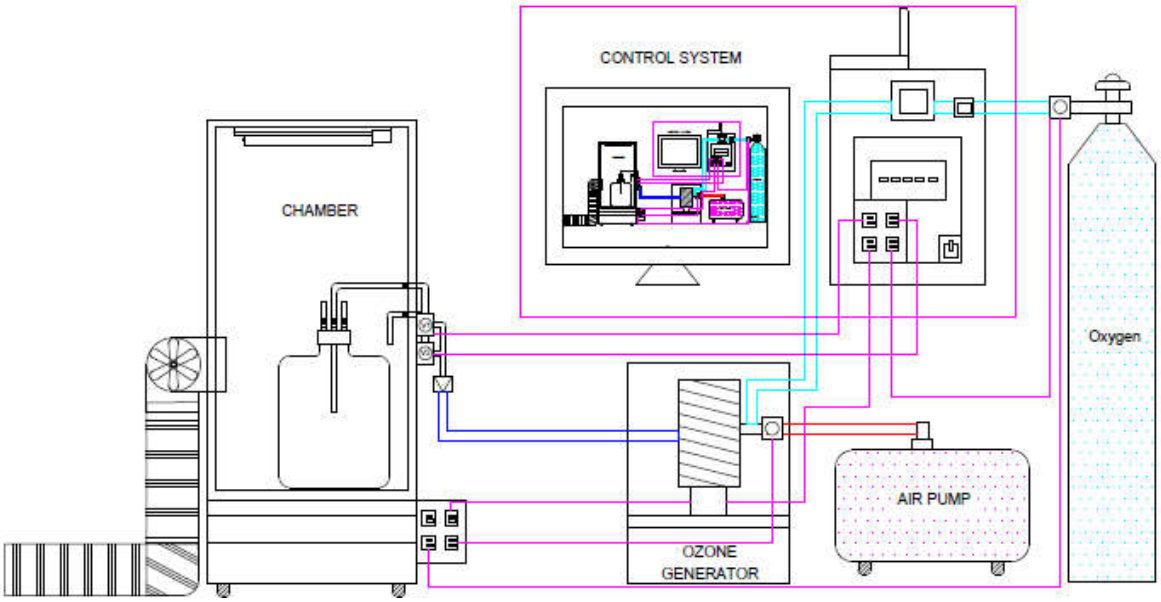

Figure 1 Ozone fumigation system, consisting of ozone generator, control system and chamber

การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

การทดสอบใช้พริกพันธุ์ซุปเปอร์ฮอท (*Capsicum frutescens* Linn.) จากตลาดขายส่งเมืองใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ เลือกพริกที่เก็บเกี่ยวมาแล้วไม่เกิน 1 วัน การทดสอบนำพริกสดบรรจุลงถังโพลีคาร์บอนเนต 25 ลิตร จำนวน 4 กก. จะได้ปริมาตรครึ่งถัง แล้วรมแก๊สโอโซนที่ความเข้มข้น 41,136-83,157 ppm และระยะเวลาในการรมแก๊สโอโซน 5-15 นาที ซึ่งเท่ากับค่าปริมาณ Dose ความเข้มข้น (Concentration·Time; CT) ที่พริกได้รับมีค่า 389,480-1,168,440 ppm·min จากปัจจัยการทดลองถูกเลือกนำมาทดสอบ 8 ขั้นตอน ใน Table 1 ออกแบบการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำเก็บรักษาตัวอย่างโดยการบรรจุลงถาดโฟมหุ้มด้วยถุงพลาสติกใสมีรูแล้วนำเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5°ซ. และที่อุณหภูมิภายนอก 30°ซ. สำหรับทดสอบหาอัตราการตายของหนอนแมลงวันผลไม้

Table 1 Condition of ozone fumigation test on chilli fruit

Condition	Ozone concentration; C (ppm)	Holding time; T (min)	Dose; CT (ppm·min)
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

การวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

วิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเนื้อพริกและไส้พริกดัดแปลงวิธีการจาก Abnova (2012) โดยการนำพริกมาหั่นแยกส่วนเนื้อและไส้พริก จากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นละเอียด นำส่วนพริกบด 0.1 กรัม ใส่หลอดทดลอง เติมสารละลาย K_3PO_4 (pH 6.8) เข้มข้น 50 มิลลิโมล ลงไปปริมาณ 2 มล. สารละลาย EDTA 0.1 มิลลิโมล และ 100%PVPP ผสมให้เข้ากัน ปิดฝาหลอดทดลองแล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20°ซ. นาน 30 นาที จากนั้นนำไปปั่นแยกส่วนที่ความเร็ว 2,500 รอบ/นาที นาน 15 นาที แล้วเก็บของเหลวใสส่วนบน ใช้ 1 ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างต่อ 10 ส่วน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร และคำนวณหาปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จาก Standard curve

การวัดค่าสี

วัดค่าสีของพริกด้วยเครื่อง The Hunter Lab รุ่น MiniScan XE (Hunter Associates Laboratory, Inc., USA) โดยวัดที่เนื้อพริกและขั้วพริก เลือกสุ่มวัด 10 ตัวอย่างต่อ 1 หน่วยการทดลอง นำข้อมูล L* a* และ b* จากทั้ง 10 ตัวอย่าง หาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์หาค่าความแตกต่าง (ΔE) และเฉดสี (Hue angle) ของเนื้อพริกและขั้วพริกเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าสีกับพริกควบคุมในระยะเวลา 14 วัน

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{---(1)}$$

$$Hue\ angle = \text{arctangent (b*/a*);}\ a^*>0, b^*3 \geq 0 \quad \text{---(2)}$$

$$Hue\ angle = \text{arctangent (b*/a*) + 180°;}\ a^*<0 \quad \text{---(3)}$$

$$Hue\ angle = \text{arctangent (b*/a*) + 360°;}\ a^*>0, b^*<0 \quad \text{---(4)}$$

ค่า Hue angle แสดงช่วงสีของวัตถุมีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 องศา คือ ค่า 0-45 องศา แสดงสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง ค่า 45-90 องศา แสดงสีส้มแดงถึงสีเหลือง ค่า 90-135 องศา แสดงสีเหลืองถึงเหลืองเขียว ค่า 135-180 องศา แสดงสีเหลืองเขียวถึงเขียว ค่า 180-225 องศา แสดงสีเขียวถึงสีน้ำเงิน ค่า 225-270 องศา แสดงสีน้ำเงินเขียวถึงน้ำเงิน ค่า 270-315 องศา แสดงสีน้ำเงินถึงสีม่วง ค่า 315-360 องศา แสดงสีม่วงถึงม่วงแดง (อรัญ, 2554)

การวัดเนื้อสัมผัส

การวัดค่าเนื้อสัมผัสของพริกโดยจำลองการทดสอบแบบเจาะทะลุด้วยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT Plus (Stable Micro Systems Ltd., UK) ใช้หัวกดสแตนเลสทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มม. เจาะทะลุตัวอย่างด้วยความเร็ว 2 มม./วินาที เลือกสุ่มตัวอย่าง 5 ตัวอย่างต่อหน่วยการทดลอง เจาะทะลุห่างจากขั้วพริกประมาณ 1 ซม. ค่าความแน่นเนื้อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของแรงกดสูงสุดในการเจาะทะลุจากกราฟระหว่างแรงและระยะกด (จาตุพงศ์, 2547)

การทดสอบกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ด้วยระบบการรมแก๊สโอโซน

การทดสอบรมแก๊สโอโซนเพื่อกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริก ใช้หนอนในระยะวัยที่ 3 ซึ่งเป็นหนอนวัยสุดท้ายก่อนการเจริญเติบโตเป็นดักแด้ โดยเพาะลงในเนื้อพริก 2 ตัวต่อ 1 ผล (10 ผล/หน่วยทดลอง) นำพริกที่เพาะหนอนมาวางไว้ก้นถัง ซึ่งเป็นตำแหน่งที่คาดว่าการแพร่กระจายของแก๊สโอโซนจะเข้าถึงพริกได้ยากที่สุด แล้วนำพริกทดสอบอีก 4 กก. ใส่ลงไปให้ได้ปริมาตรครึ่งถัง จากนั้นทำการทดสอบปริมาณการปล่อยแก๊สโอโซนและระยะเวลาตาม Table 1 นำพริกที่ผ่านการรมแก๊สโอโซนมาจัดเก็บที่ 5 และ 30°ซ. สังเกตการเจริญเติบโตของหนอนและอัตราการตายของหนอนทุก 2 วัน เป็นเวลา 15 วัน เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมซึ่งไม่ได้ผ่านการรมแก๊สโอโซน

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS (IBM Corporation, USA) เพื่อทดสอบหาค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญของแต่ละการทดลองโดยใช้วิธี One-Way ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัย

ค่าสีของพริกและขั้วพริก

ค่าสีของเนื้อพริกและขั้วพริกวิเคราะห์จากค่าความแตกต่างของสี ($\triangle E$) และเฉดสี (Hue) ดัง Table 2 พบว่า ค่าความแตกต่างของสีเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมตลอดอายุการเก็บรักษา ในระยะเวลา 14 วัน มีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อยู่ในช่วง 0.65-2.08 แต่ค่าความแตกต่างของสีบอกเฉพาะปริมาณความแตกต่างของสีเป็นตัวเลข ซึ่งเฉดสีบ่งบอกทิศทางความแตกต่างของสี พบว่าในวันที่ 1 หลังจากการรมแก๊สโอโซน พริกมีเฉดสีไม่แตกต่างจากพริกตัวอย่างควบคุม แสดงว่าการใช้แก๊สโอโซนความเข้มข้นสูงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของพริกอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่ชุดการทดลองที่ 8 พริกมีสีแดงเข้มขึ้นเล็กน้อย เพราะเมื่อเวลาผ่านไปความเสื่อมของพริกมีผลต่อเฉดสีของเนื้อพริก และยังอยู่ในเฉดสีเดียวกันตลอดอายุการเก็บรักษา 14 วัน อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

Table 2 Color difference ΔE and hue angle of chilli fruit after ozone fumigation

Condition	ΔE					Hue				
	Day1	Day4	Day8	Day11	Day14	Day1	Day4	Day8	Day11	Day14
Chilli fruit										
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}

Alphabet letters indicate least significant difference within column ($^{a-c}$) and row ($^{A-B}$) between means of 10 samples using Duncan's New Multiple Range Test at 95% confidence level.

Table 3 แสดงการวิเคราะห์ค่าสีของขั้วพริก พบว่า มีค่าสีความแตกต่างของสี (ΔE) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมในระยะเวลา 14 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตลอดอายุการเก็บรักษา โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.25-5.67 แสดงว่า สีของขั้วพริกที่ได้หลังจากการทดสอบรมแก๊สโอโซนมีค่าความแตกต่างจากสีขั้วพริกตัวอย่างควบคุม แต่ค่าความแตกต่างของสีบอกเฉพาะปริมาณความแตกต่างของสีเป็นตัวเลข ซึ่งเฉดสีบ่งบอกทิศทางความแตกต่างของสีพบว่า ในวันที่ 1 หลังจากการรมแก๊สโอโซน พริกมีเฉดสีของขั้วแตกต่างจากเฉดสีของขั้วพริกตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยสีของขั้วพริกทุกชุดการทดลองมีค่าเฉดสีมากกว่าพริกตัวอย่างควบคุมและมีความเป็นสีเขียวเข้มมากกว่า และความแตกต่างตลอดอายุการเก็บรักษาทุกชุดการทดลองมีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ค่ามุมของสีขั้วพริกตัวอย่างควบคุมที่วันที่ 1 และวันที่ 14 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แสดงว่าการใช้แก๊สโอโซนความเข้มข้นสูงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของขั้ว

Table 3 Color measurements of chilli particle, values of color different (ΔE) and hue angle

Condition	ΔE					Hue				
	Day1	Day4	Day8	Day11	Day14	Day1	Day4	Day8	Day11	Day14
Chilli particle										
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}

Alphabet letters indicate least significant difference within column ($^{a-c}$) and row ($^{A-B}$) between means of 10 samples using Duncan's New Multiple Range Test at 95% confidence level.

ค่าความแน่นเนื้อ

ค่าความแน่นเนื้อของพริกที่ผ่านการรมแก๊สโอโซนทุกชุดการทดลองเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ดังแสดงใน Figure 2 พบว่ามีค่าน้อยกว่าเล็กน้อย เมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าความแน่นเนื้อของพริกทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกับพริกตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และความแน่นเนื้อมีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา 14 วัน

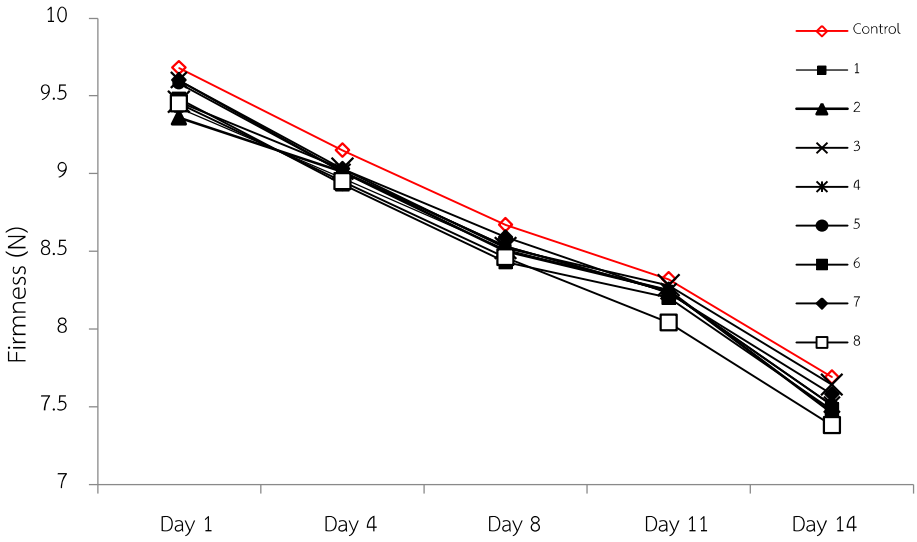

Figure 2 Effect of ozone fumigation on firmness of chilli

remark: Numeric labels indicate treatment number.

ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

การรมแก๊สโอโซนมีผลต่อปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทั้งในเนื้อพริกและไส้พริก ดังใน Figure 3 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเนื้อพริกและไส้พริกทุกชุดการทดลองมีค่ามากกว่าพริกตัวอย่างควบคุม ค่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สูงสุดในเนื้อพริกและในไส้พริก ที่ชุดการทดลองที่ 8 เมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน 12 วัน มีค่า 2%(v/v) และ 0.95%(v/v) ตามลำดับ การที่ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเนื้อพริกมีมากกว่าในไส้พริกอาจเกิดจากการสัมผัสแก๊สโอโซนมากกว่า และแก๊สโอโซนมีการแทรกซึมผ่านเนื้อพริกและทำปฏิกิริยากับเซลล์พืช ทำให้เซลล์เนื้อพริกได้รับความเสียหาย ศรัณยา และคณะ (2549) ได้กล่าวว่า ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากแก๊สโอโซนมีการซึมผ่านแล้วเข้าไปทำให้เกิดปฏิกิริยากับเซลล์เมมเบรน ทำให้เซลล์พืชได้รับความเสียหาย และในขณะที่พืชเกิดความเสียหายนั้นเกิดการสร้างสารอนุมูลอิสระต่างๆ เช่น ซูเปอร์ออกไซด์-เรดิเคิล และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น จึงทำให้สามารถวัดค่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ในช่วงเวลาต่อมาหลังจากการรมแก๊สโอโซน

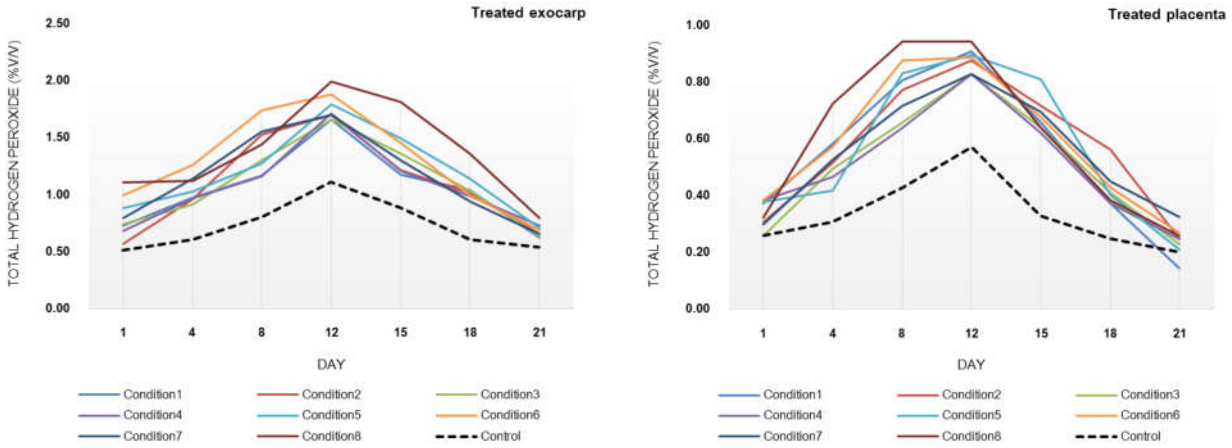

Figure 3 Total hydrogen peroxide in exocarp and placenta of chilli, stored at 5°C for 21 day

ผลการรมแก๊สโอโซนเพื่อกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริก

การกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริก สังเกตจากการเจริญเติบโตและการตายของหนอนเป็นเวลา 15 วัน ที่อุณหภูมิ 5 และ 30°ซ. พบว่า จาก Table 4 พริกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5°ซ. ทั้งสองแบบ คือ พริกที่มีหนอนแบบเพาะเลี้ยงและพริกที่มีหนอนตามธรรมชาติไม่พบการเจริญเติบโตของหนอน และพริกไม่เกิดการเน่าเสียทุกชุดการทดลองเช่นเดียวกับในพริกตัวอย่างควบคุม ในขณะที่พริกเก็บที่อุณหภูมิภายนอก 30°ซ. ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการเน่าเสียของพริก พบว่า ในชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งมีปริมาณ Dose ที่พริกได้รับที่ CT เท่ากับ 389,480 ppm·min สามารถกำจัดหนอนในพริกได้ คิดเป็นอัตราการตาย 90% และในชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 มีปริมาณ Dose ที่พริกได้รับที่ CT เท่ากับ 415,735-656,430 ppm·min สามารถกำจัดหนอนในพริกได้ คิดเป็นอัตราการตาย 95% ส่วนชุดการทดลองที่ 5, 6, 7 และ 8 ซึ่งมีปริมาณ Dose ที่พริกได้รับที่ CT เท่ากับ 778,960-1,168,440 ppm·min เป็นชุดการทดลองที่มีอัตราการตายของหนอนถึง 100%

Table 4 Mortality rate of fruit fly larvae in chilli after ozone fumigation

Condition	CT (ppm·min)	Mortality rate of larvae (%)			
		Cultured larvae chilli		Natural larvae chilli	
		Temp 4-6°C	Temp 30°C	Temp 4-6°C	Temp 30°C
1	389,480	95%	90%	N/A	85%
2	415,735	N/A	95%	N/A	90%
3	617,040	N/A	85%	N/A	95%
4	656,430	N/A	90%	N/A	95%
5	778,960	N/A	100%	N/A	100%
6	831,470	N/A	100%	N/A	100%
7	984,645	N/A	100%	N/A	100%
8	1,168,440	N/A	100%	N/A	100%

N/A indicates non-appearance of larvae emerged or fruit spoilage

จากข้อมูลอัตราการตายของหนอนแมลงวันผลไม้ สามารถนำมาแสดงความสัมพันธ์เป็นเส้นกราฟแนวโน้มความสามารถของแก๊สโอโซน ในการกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริก ดังแสดงใน Figure 3 แสดงอัตราการตายของหนอนที่ผ่านการรมแก๊สโอโซนซ้อนทับกับความสามารถในการกระจายตัวของแก๊สโอโซน โดยที่จุด Optimum dose CT คือ จุดที่แก๊สโอโซนสามารถกระจายตัวทั่วบริเวณถัง และมีประสิทธิภาพแทรกซึมได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งอยู่ในโซน Usable dose CT มีปริมาณความเข้มข้นของแก๊สโอโซนที่พริกได้รับ CT ในช่วง 389,480-1,168,440 ppm·min ในจุดที่ Lower dose CT คือ จุดที่แก๊สโอโซนมีการกระจายตัวไม่ทั่วบริเวณถัง และจุด Over dose CT คือ จุดที่แก๊สโอโซนมีความเข้มข้นสูงเกินไป จนทำให้มีผลต่อคุณภาพของพริกและทำให้กระดาษลิตมัสเปลี่ยนเป็นสีขาว ค่า %Mortality คือ อัตราการตายของหนอนแมลงวันผลไม้ พบว่า บริเวณพื้นที่สำหรับใช้ในการกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริกมีอัตราการตาย 100% คือ พื้นที่แรเงาสีฟ้าเข้ม มีปริมาณ Dose โอโซนที่พริกได้รับ CT ในช่วง 778,960-1,168,440 ppm·min พื้นที่แรเงาสีฟ้าอ่อนเป็นบริเวณขอบเขตของหนอนแมลงวันผลไม้ที่มีอัตราการตาย 95% ที่ปริมาณ Dose โอโซนที่พริกได้รับ CT ในช่วง 389,480-656,430 ppm·min

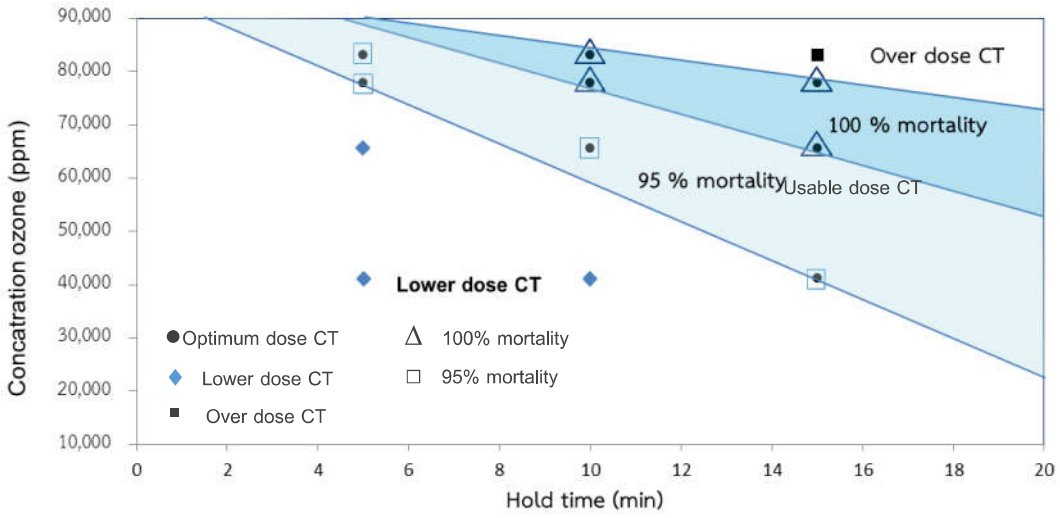

Figure 3 Mortality rate of fruit fly at various concentration and time of ozone fumigation

วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย

การพัฒนาระบบการรมแก๊สโอโซนให้เหมาะสมกับการรมพริกสดหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต สามารถทำให้แก๊สโอโซนแทรกซึมเข้าไปยังเนื้อพริกจนถึงไส้พริกได้ ที่ปริมาณ Dose โอโซนที่พริกได้รับ CT ในช่วง 389,480-1,168,440 ppm·min ทำให้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มมากขึ้น และเมื่อเวลาผ่านไป 3 สัปดาห์ ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทุกชุดการทดลองและพริกตัวอย่างควบคุมมีค่าลดลงทั้งในเนื้อพริกและไส้พริก แสดงว่าแก๊สโอโซนสามารถแทรกซึมเข้าไปยังไส้พริกได้และสามารถฆ่าหนอนแมลงวันผลไม้ได้ ค่าปริมาณ Dose โอโซนที่พริกได้รับที่ CT ในช่วง 778,960-1,168,440 ppm·min สามารถกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริกได้ โดยมีอัตราการตาย 100% และที่ปริมาณ Dose โอโซนที่พริกได้รับ CT ในช่วง 389,480-656,430 ppm·min กำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ในพริก โดยมีอัตราการตาย 95% การที่พบตัวหนอนมีชีวิตหลังการรมแก๊สโอโซนในชุดการทดลองที่ 5 และ 6 ที่ CT เท่ากับ 778,960 และ 831,470 ppm·min ตามลำดับ และเมื่อเวลาต่อมาหนอนได้ตายลงในที่สุด อาจเป็นผลจากความเป็นพิษของแก๊สโอโซน ซึ่งเป็นไปได้ว่าแก๊สโอโซนไม่สามารถทำให้หนอนตายในทันทีหลังจากการรมแก๊ส แต่จะทำให้หนอนอ่อนแอลงและตายในเวลาต่อมา ซึ่งหากหนอนได้รับแก๊สโอโซนปริมาณมากหนอนจะตายทันที ดังในชุดการทดลอง 7 และ 8 ที่ CT เท่ากับ 984,645 และ 1,168,440 ppm·min ตามลำดับ ที่ไม่พบการเจริญเติบโตของหนอนหลังจากการรมแก๊สโอโซน แสดงว่า เป็นปริมาณ Dose โอโซนที่พริกได้รับมากพอที่ทำให้หนอนตายทันทีหลังจากการรมแก๊สโอโซน ซึ่งสามารถกำจัดหนอนแมลงวันผลไม้ได้ 100 %

ด้านคุณภาพของพริกการรมแก๊สโอโซนความเข้มข้นสูงไม่มีผลต่อค่าสีเนื้อพริกและค่าความแน่นเนื้อของพริกในทุกชุดการทดลอง แต่การที่พริกได้รับการรมแก๊สโอโซนมีค่าความแน่นเนื้อน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมเล็กน้อยนั้น อาจเกิดจากการช้ำของพริกที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบการรมแก๊สโอโซน แต่การรมแก๊สโอโซนความเข้มข้นสูงมีผลทำให้สีของขั้วพริกมีสีเขียวเข้มขึ้นทุกชุดการทดลอง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กฤษฎา จาตุรัส. 2550. **ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสัณฐานวิทยาของผลพริกกับการเข้าทำลายของแมลงวันพริก (*Bactrocera latifrons* (Hendel))**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 111 น.

จาตุพงศ์ วาฤทธิ์. 2547. **คุณสมบัติทางกายภาพของผลผลิตทางการเกษตร**. เอกสารประกอบการสอน. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 103 น.

จาตุพงศ์ วาฤทธิ์ นลิน วงศ์ขัตติยะ และนพมณี โทปุญญานนท์. 2554. การพัฒนาระบบปลอดเชื้อภาชนะเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อด้วยโอโซนสำหรับระบบไบโอรีแอคเตอร์จมชั่วคราวระดับอุตสาหกรรม. *ใน* **การออกแบบและพัฒนาระบบไบโอรีแอคเตอร์จมชั่วคราวขนาดใหญ่เพื่อรองรับการผลิตต้นอ้อยปลอดโรคระดับอุตสาหกรรม**. รายงานโครงการวิจัย. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 38 น.

ศรัณยา เพ่งผล กานดา หวังชัย และพีระวุฒิ วงศ์สวัสดิ์. 2549. ผลของโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเปอร์ออกไซด์ในผลลำไยพันธุ์ดอระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** 37(5)(พิเศษ): 160-163.

อรัญ หาญสืบสาย. 2554. **การสื่อสารสีอย่างแม่นยำและการควบคุมสีจากการรับรู้ไปสู่อุปกรณ์วัดสี**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 59 น.

Abnova. 2012. **Hydrogen Peroxide Colorimetric Detection Kit, Catalog Number KA1017.** [Online]. Available http://www.abnova.com (24 September 2012).

Kasiviswanathan M., C.P.O'Donnell and P.J. Cullen. 2009. Ozone Treatment of Food Materials. *In* Jun, S. and J.M. Irudayaraj (ed.). **Food Processing Operations Modeling, Design and Analysis.** New York: CRC Press. 368 p.

Guzel-Seydim, Z.B., A.K. Greene and A.C. Seydim. 2004. Use of ozone in the food industry. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol.** 37: 453-460.

Marissa, X.M., A.C. Carlos, J.M. Linda, E.M. Dirk, D. Adrian and W. Charles. 2011. Ozone application in a modified screw conveyor to treat grain for insect pests, fungal contaminants, and mycotoxins. **J. Stored Prod. Res.** 47: 249-254.

Martin, H., G.S. Jesper, H. Lars-Henrik, S. Stine, H. Peer and S.H. Lise. 2011. Effects of ozone on gene expression and lipid peroxidation in adults and larvae of the red flour beetle (*Tribolium castaneum*). **J. Stored Prod. Res.** 47: 378-384.