



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประยุกต์ใช้สารออกซิไดส์ซึ่งในการล้างเพื่อลดสารตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต
ในผักสด

Application of Oxidizing Agents on Washing Process to Reduce Organophosphate
Residue on Fresh Vegetables

نامผู้วิจัย นางสาวอัจฉรา แสนคม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วราภา มหากาญจนกุล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชนะบุญ สัจจานันตกุล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณิ จิรภาคย์กุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประยุกต์ใช้สารชนิดออกซิไดส์ซึ่งในการล้างเพื่อลดสารตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในผักสด

Application of Oxidizing Agents on Washing Process to Reduce Organophosphate Residue on
Fresh Vegetables

โดย

นางสาวอังณา แสนคม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อขอความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2555

อัญญา แสนคม 2555: การประยุกต์ใช้สารออกซิไดส์ซึ่งในการล้างเพื่อลดสารตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในผักสด ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์วราภา มหากาญจนกุล, Ph.D. 192 หน้า

ในช่วงปี 2553-2554 ผักสดส่งออกของไทยประสบปัญหาการกักกันของสินค้าเนื่องจากพบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างโดยเฉพาะสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง 3 ชนิด เปรียบเทียบระหว่างน้ำอิเล็กโทรไลซ์ชนิดกรด (น้ำ EO) คลอรีนไดออกไซด์ และน้ำไฮโปคลอไรต์ ในการล้างผักเพื่อลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชและเพิ่มศักยภาพในการส่งออก ทดสอบในผักคะน้า และประยุกต์ใช้ในผักสด 5 ชนิด ได้แก่ คะน้า ผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลี แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุด คือ ชุดที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพการล้างผักด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งในห้องปฏิบัติการ ชุดที่ 2 ศึกษาในแปลงปลูก ทั้งสองชุดวิเคราะห์ปริมาณสารตกค้างด้วยชุดทดสอบจีที ชุดที่ 3 ประยุกต์ใช้กระบวนการล้างในผักสดเพื่อการส่งออก วิเคราะห์ปริมาณสารตกค้างด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี ผลการศึกษาจากห้องปฏิบัติการพบว่า การล้างผัก 5 ชนิดที่สร้างการตกค้างเริ่มต้นของสารโพฟิโนฟอสและคลอไพริฟอสเท่ากับ 10 เท่า ของค่าสารพิษตกค้างสูงสุดของกลุ่มสหภาพยุโรป (EU-MRL) ปี 2010 ด้วยน้ำไฮโปคลอไรต์เข้มข้น 1 พีพีเอ็ม เวลา 10 นาที สามารถลดโพฟิโนฟอสและคลอไพริฟอสได้ 70-86 % และ 67-85 % ตามลำดับ การล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์ 10 พีพีเอ็ม เวลา 10 นาที ลดสารโพฟิโนฟอสและคลอไพริฟอสได้ 60-73% และ 56-70% ตามลำดับ น้ำ EO ชนิดกรด ความเข้มข้น 70 พีพีเอ็ม ที่เวลาเดียวกัน ลดโพฟิโนฟอสได้ 57-74% ในกรณีนี้ไม่สามารถตรวจวัดสารคลอไพริฟอสได้ด้วยชุดทดสอบจีทีโดยเฉพาะกับผักคะน้า สำหรับผลการศึกษาในแปลงปลูกโดยใช้คะน้าเป็นตัวแทนชนิดผัก เปรียบเทียบประสิทธิภาพการล้างในคะน้าเก็บเกี่ยวหลังฉีดพ่น (PHI) ด้วยโพฟิโนฟอสที่ 3 กับ 10 วัน และคลอไพริฟอสที่ 3 กับ 14 วัน จากการตรวจสอบในผักที่ปลูก 2 รุ่น พบว่าน้ำไฮโปคลอไรต์มีประสิทธิภาพในการลดโพฟิโนฟอสได้ดีที่สุดในคะน้ามีปริมาณตกค้างเริ่มต้น 18.6-21.6 พีพีเอ็ม (PHI 3 วัน) ลดได้ 57-59% และ 1.3-2.0 พีพีเอ็ม (PHI 10 วัน) ลดได้ 55-58 % ในทำนองเดียวกันลดปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้างเริ่มต้น 17.9-20.4 พีพีเอ็ม (PHI 3 วัน) ลดได้ 58-60 % และ 1.7-1.8 พีพีเอ็ม (PHI 14 วัน) ลดได้ 62-73 % ส่วนคลอรีนไดออกไซด์ลดโพฟิโนฟอสและคลอไพริฟอสในคะน้าหลังการเก็บเกี่ยว 10 และ 14 วัน ได้ 40-46% และ 43-56 % และการล้างคะน้าด้วยน้ำ EO ชนิดกรด ลดโพฟิโนฟอสได้ 41-52 % สำหรับผลการประยุกต์ใช้สภาวะการล้างที่ดีที่สุดล้างผักสดเพื่อการส่งออก พบว่าน้ำไฮโปคลอไรต์ (1 พีพีเอ็ม) คลอรีนไดออกไซด์ (10 พีพีเอ็ม) และน้ำ EO ชนิดกรด (70 พีพีเอ็ม) นาน 10 นาที ลดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (โพฟิโนฟอส คลอไพริฟอส ไดโครโทฟอสและอีโทออน) ในผักสด (คะน้า ผักชี พริก และผักกาดขาวปลี) ได้จริง ที่สำคัญผักที่มีปริมาณการตกค้างไม่มากเกินไปกว่า 5 เท่า หรือใกล้เคียงค่า EU-MRL วิธีการล้างข้างต้นช่วยลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชให้ผ่านมาตรฐาน EU-MRL ได้ การล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งทั้ง 3 ชนิดจึงช่วยเพิ่มศักยภาพในการส่งออกสู่กลุ่มประเทศยุโรป ลดปัญหาติดกลับของสินค้าได้

Atchara Sankom 2012: Application of Oxidizing Agents on Washing Process to Reduce Organophosphate Residue on Fresh Vegetables. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Assistant Professor Warapa Mahakanchanakul, Ph.D. 191 pages.

In 2010-2011, Thai fresh vegetables faces the problem of detention from overseas customers due to the higher pesticide residues over the regulation limit, especially organophosphate pesticides (OPs). Thus, the objective of this study was to compare the efficiency of three type of oxidizing agents in order to reduce OPs to enhance the safety of exported products. In preliminary study Chinese kale was used as the vegetable model to demonstrate the appropriate washing conditions of each oxidizing agents in washing process, then five kinds of fresh vegetables (Chinese kale, Coriander, Hot chili, Chinese cabbage and Cabbage) were tested in washing conditions. The experiment were divided into 3 sections; the first and second were to investigate the efficiency of oxidizing agents in laboratory scale, and field trials which samples were analyzed for pesticide residue by acetylcholinesterase-bioassay (GT test kit). The third section was to apply the appropriate washing conditions for exported fresh vegetables, which then analyzed by Gas chromatography. Spike fresh vegetables with profenofos or chlorpyrifos solution which had residue content under maximum residue levels of EU-MRL 10 times, were washed with 1.0 ppm ozonated water for 10 min and found profenofos and chlorpyrifos on spike vegetables decreased 70-86% and 67-85%, respectively. Washing with 10 ppm ClO_2 reduced profenofos and chlorpyrifos on fresh vegetables by 60-73% and 56-70 %, respectively, while 70 ppm EO-water reduced profenofos by 57-74%. However, washing Chinese kale with EO-water could not determine the amount of chlorpyrifos by GT test kit. Results from field trials study revealed that after sprayed Chinese kale with profenofos and harvested at Pre-Harvest Interval (PHI) 3 and 10 day compared to spray with chlorpyrifos (PHI 3 and 14 day) found that washing Chinese kale with ozonated water had the highest efficiency. This condition could reduce profenofos residue of 18.6-21.6 ppm (PHI 3 day) by 57%-59% and of 1.3-2.0 ppm (PHI 10 day) by 55-58 %, whereas could reduce chlorpyrifos of 17.9-20.4 ppm (PHI 3 day) by 58-60% and of 1.7-1.8 ppm (PHI 14 day) by 62-73%. ClO_2 reduced profenofos and chlorpyrifos residue on Chinese kale (PHI 10 and 14 day) by 40-46% and 43-56%. Later washing with EO-water could reduce profenofos by 41-52 %. After applied the appropriate conditions, washing fresh vegetables with ozonated water (1 ppm) EO-water (70 ppm) and ClO_2 (10 ppm) for 10 min, could reduce organophosphate pesticide (profenofos chlorpyrifos dicrotofos and ethion) residues on exported fresh vegetables (Chinese kale, Coriander, Hot chili and Chinese cabbage). If the pesticide residues has amount equal or less than 5 fold of EU-MRL, washing with oxidizing water could reduce the pesticide residues to achieve the EU-MRL limits and thus increased the potential of fresh produce export to EU.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. วราภา มหากาญจนกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนะบุญย์ สัจจอนันตกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร. กนิษฐพร วังโน ประธานในการสอบ และ รศ.ดร.นภาพร เชี่ยวชาญ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้คำปรึกษา ตลอดจนการแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนานักศึกษาด้านเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว และทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทบัณฑิตศึกษา สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณบริษัท โพรมิเนนท์ ฟลูอิด คอนโทรลส์ (ประเทศไทย) จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์เครื่องผลิตสารละลายคลอรีนไดออกไซด์ เครื่องผลิตสารละลายไอโซน และบริษัทไบโอเซฟเฟอร์ จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์เครื่องผลิตน้ำอิเล็กโทรไลซ์ เพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์กอบทอง รูปหอม และคุณกัลยวัจน์ รูปหอม ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อมูลการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชด้วยชุดทดสอบยาฆ่าแมลง GT test kit และขอขอบพระคุณครอบครัวคุณชนากา บุญสูงเนิน และครอบครัวคุณพวงบุปผา จุติพล ที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการทำแปลงปลูกคะน้า และเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ รวมทั้งขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยเฉพาะพี่นพ พี่ป๊อง พี่เพ็ญ พี่นะ พี่อ้อม พี่เอ็ม พี่โน พี่เต๋าสวย และเดียร์ ที่ให้คำแนะนำต่างๆ รวมทั้งเป็นกำลังใจ และช่วยเหลือตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ที่ให้โอกาสและสนับสนุนทางการศึกษา และขอขอบคุณกร ที่คอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจและสนับสนุนข้าพเจ้าตลอดมา

อัจฉรา แสนคม

พฤษภาคม 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำอธิบายสัญลักษณ์ คำย่อและอักษรย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	55
อุปกรณ์	55
วิธีการ	57
ผลและวิจารณ์	75
สรุปและข้อเสนอแนะ	132
สรุป	132
ข้อเสนอแนะ	135
เอกสารและเอกสารอ้างอิง	136
ภาคผนวก	149
ภาคผนวก ก การเตรียมสารเคมีและวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำตาลกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง	150
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณสารกำจัดศัตรูพืช	155
ภาคผนวก ค ค่า EU-MRLs รายละเอียดสารกำจัดศัตรูพืช การสร้างการปนเปื้อน	
สารกำจัดศัตรูพืชและวิธีล้างผัก	159
ภาคผนวก ง วิธีการทำแปลงปลูก การปลูก และการเก็บเกี่ยวคะน้า	169
ภาคผนวก จ ประสิทธิภาพการลดสารกำจัดศัตรูพืชด้วยน้ำตาลกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง	173
ภาคผนวก ฉ สมบัติน้ำตาลกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเปรียบเทียบกับก่อนและหลังล้าง	180
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	192

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ระดับความรุนแรงจากพิษของสารกำจัดศัตรูพืชในแต่ละระดับ	10
2	ความเป็นพิษของสารกำจัดศัตรูพืช	11
3	ความเป็นพิษของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่นิยมในประเทศไทย	16
4	สมบัติทางเคมีของสารกำจัดศัตรูพืชชนิดโพธิ์โนฟอสและกลอโฟริฟอส	18
5	ความเป็นพิษของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคาร์บาเมตที่นิยมในประเทศไทย	20
6	ความเป็นพิษของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มไพรีทรอยด์สังเคราะห์ที่นิยมในประเทศไทย	21
7	สารเคมีที่พบในผักและผลไม้ส่งออกจากการแจ้งเตือน RASFF ปี 2553	25
8	เกณฑ์การจัดระดับประสิทธิภาพ	29
9	ประสิทธิภาพของวิธีล้างผักและผลไม้ที่มีสารออร์กาโนฟอสเฟตตกค้าง	30
10	ประสิทธิภาพการล้างเพื่อลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักผลไม้	31
11	สมบัติของน้ำอิเล็กโทรไลซ์	35
12	เปรียบเทียบค่า % Available Chlorine ของสารประกอบคลอรีนชนิดต่างๆ	39
13	สมบัติโดยทั่วไปและสมบัติทางเคมีของโอโซน	43
14	ประสิทธิภาพการลดสารกำจัดศัตรูพืชด้วยการเติมสารเคมีในน้ำล้าง	49
15	สัดส่วนเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสกับอะซิติลโคลีน ที่ % ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสต่างๆ	58
16	การวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง	71
17	การอ่านผล % การยับยั้งเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส เปรียบเทียบกับสีที่ปรากฏ	72
18	เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร	76

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19	ความสัมพันธ์ระหว่าง % การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีน เอสเตอเรส กับความเข้มข้นของสารละลายโพธิ์โนฟอส (พีพีเอ็ม) ที่ระดับต่างๆ เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร	78
20	ความสัมพันธ์ระหว่าง % การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีน เอสเตอเรสกับความเข้มข้นของสารละลายคลอไพริฟอส (พีพีเอ็ม) เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร	79
21	ปริมาณสารตกค้างที่ได้จากการสร้างการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืช กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในผักสด 5 ชนิด	81
22	ปริมาณสารโพธิ์โนฟอสตกค้างในผักคะน้าหลังแช่ในสารละลายโพธิ์โนฟอสความเข้มข้นเท่ากับ 10 และ 50 พีพีเอ็ม	83
23	ปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้างในผักคะน้าหลังแช่ในสารละลายคลอไพริฟอสความเข้มข้นเท่ากับ 1 และ 7 พีพีเอ็ม	83
24	ประสิทธิภาพการล้างผักคะน้าปนเปื้อนสารโพธิ์โนฟอส เปรียบเทียบที่เวลาล้าง 10 15 และ 30 นาที	90
25	ประสิทธิภาพการล้างผักคะน้าปนเปื้อนสารคลอไพริฟอสที่สภาวะเหมาะสม เปรียบเทียบที่เวลาล้าง 10 15 และ 30 นาที	97
26	ประสิทธิภาพการลดสารโพธิ์โนฟอสในผักสดด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซิงค์	104
27	ประสิทธิภาพการลดสารคลอไพริฟอสในผักสดด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซิงค์	109
28	ประสิทธิภาพการล้างคะน้าปนเปื้อนสารโพธิ์โนฟอสด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซิงค์ เมื่อนิคมปนสารที่ 3 และ 10 วัน ก่อนวันเก็บเกี่ยวผลผลิต	117
29	ประสิทธิภาพการล้างคะน้าปนเปื้อนสารคลอไพริฟอส ด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซิงค์ เมื่อนิคมปนยาที่ 3 และ 14 วัน ก่อนวันเก็บเกี่ยวผลผลิต	119
30	ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตบางชนิดที่พบตกค้างในผักสดส่งออก 4 ชนิด	121

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
31	ประสิทธิภาพการล้างผักสดส่งออกด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเพื่อลด สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต
	125
ตารางผนวกที่	
ค1	ค่า EU-MRLs ปี 2010
	160
ง1	ปฏิทินการปฏิบัติงานในแปลงปลูกและการเก็บเกี่ยวผักคะน้ารุ่นที่ 1
	171
ง2	ปฏิทินการปฏิบัติงานในแปลงปลูกและการเก็บเกี่ยวผักคะน้ารุ่นที่ 2
	172
จ1	ประสิทธิภาพการลดปริมาณการตกค้างของสารโปรพิโนฟอส ในผักคะน้า ด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง
	174
จ2	ประสิทธิภาพการลดปริมาณการตกค้างของสารคลอไพริฟอสในผักคะน้าด้วย น้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง
	175
จ3	ประสิทธิภาพการลดปริมาณการตกค้างของสารโปรพิโนฟอสในผักสดด้วย น้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง
	176
จ4	ประสิทธิภาพการลดปริมาณการตกค้างของสารคลอไพริฟอสในผักสดด้วย น้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง
	177
จ5	ประสิทธิภาพการล้างคะน้าปนเปื้อนสารโปรพิโนฟอสด้วยน้ำล้าง กลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง เมื่อนิคมพ่นสารที่ 3 และ 10 วัน ก่อนวันเก็บเกี่ยวผลผลิต
	178
จ6	ประสิทธิภาพการล้างคะน้าปนเปื้อนสารคลอไพริฟอสด้วยน้ำล้าง กลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง เมื่อนิคมพ่นสารที่ 3 และ 14 วัน ก่อนวันเก็บเกี่ยวผลผลิต
	179

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
น1 สมบัติน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งก่อนและหลังล้างคะน้ำ ที่มีสารโพรฟิโนฟอสตค้ำที่ 10 และ 100 เท่าของค่า EU-MRL ปี 2010	181
น2 สมบัติน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งก่อนและหลังล้างคะน้ำ ที่มีสารคลอไพริฟอสตค้ำที่ 10 และ 100 เท่าของค่า EU-MRL ปี 2010	183
น3 สมบัติน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งก่อนและหลังผ่านการล้างผักคะน้ำ	185
น4 สมบัติน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งก่อนและหลังผ่านการล้างผักชี	186
น5 สมบัติน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งก่อนและหลังผ่านการล้างพริกชี้ฟ้า	187
น6 สมบัติน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งก่อนและหลังผ่านการล้างผักกาดขาวปลี	188
น7 สมบัติน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งก่อนและหลังผ่านการล้างกะหล่ำปลี	189
น8 สมบัติน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งก่อนและหลังล้างผักคะน้ำในแปลงปลูก หลังฉีดพ่นสาร โพรฟิโนฟอส	190
น9 สมบัติน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งก่อนและหลังล้างผักคะน้ำในแปลงปลูก หลังฉีดพ่นสารคลอไพริฟอส	191

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ข้อมูลการส่งออกผักของไทย	5
2 โครงสร้างพื้นฐานของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต	13
3 การทำงานภายในเครื่องผลิตน้ำอิเล็กทรอนิกส์	36
4 โครงสร้างทางเคมีของคลอรีนไดออกไซด์	38
5 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของโอโซน	43
6 ส่วนประกอบของชุดทดสอบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง “จีที”	54
7 การแบ่งแปลงปลูกคะน้าเพื่อการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช และเก็บเกี่ยว ที่ระยะเวลาต่างๆ หลังฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชแล้ว	65
8 ความสัมพันธ์ระหว่าง % การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซีติลโคลีน- เอสเตอเรส กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร	76
9 ความสัมพันธ์ระหว่าง % การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซีติลโคลีน- เอสเตอเรสกับความเข้มข้นของสารโพธิ์โนฟอส (พีพีเอ็ม) ที่ระดับต่างๆ เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร	78
10 ความสัมพันธ์ระหว่าง % การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซีติลโคลีน- เอสเตอเรสกับความเข้มข้นของสารละลายคลอไพริฟอส (พีพีเอ็ม) ที่ระดับต่างๆ เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร	80
11 ประสิทธิภาพน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งต่อการลดปริมาณโพธิ์โนฟอส ตกค้างในคะน้าที่ปริมาณตกค้างเริ่มต้นเท่ากับ 10 เท่า และ 100 เท่า ของค่า EU MRL ปี 2010	87
12 ประสิทธิภาพน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งต่อการลดปริมาณคลอไพริฟอส ตกค้างในคะน้าที่ปริมาณตกค้างเริ่มต้นเท่ากับ 10 เท่า และ 100 เท่า ของค่า EU MRL ปี 2010	95
13 ปริมาณสารโพธิ์โนฟอสในผักหลังล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง เปรียบเทียบกับน้ำประปา	102

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
14	ปริมาณสารคลอไพริฟอสในผักหลังล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเปรียบเทียบกับน้ำประปา	108
15	ปริมาณสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในคะน้า (โพรพิโนฟอสและคลอไพริฟอส) เก็บเกี่ยวที่ระยะเวลาต่างๆ หลังการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช	113
16	ประสิทธิภาพการล้างผักด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตระยะต่างๆ หลังการฉีดพ่นสารโพรพิโนฟอส	116
17	ประสิทธิภาพการล้างผักด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตระยะต่างๆ หลังการฉีดพ่นสารคลอไพริฟอส	119
18	ประสิทธิภาพการล้างผักสดส่งออกด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเพื่อลดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต	124
ภาพผนวกที่		
ก1	DPD Tablet No.1 สำหรับวิเคราะห์ปริมาณคลอรีนและสารละลายคลอรีน-ไดออกไซด์ และ DPD Tablet No.4 สำหรับวิเคราะห์ปริมาณไอโชน	153
ก2	เครื่อง Dulcotest DT1 Photometer สำหรับวัดสีของการทำปฏิกิริยาของ DPD Tablet กับน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง	154
ก3	เครื่อง pH / Ion 510 สำหรับวัดค่าความเป็นกรด-เบส และค่า ORP	154
ค1	สร้างการปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชในผักสด	161
ค2	วิธีล้างผักสดปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืช	162
ค3	สารกำจัดศัตรูพืชชนิดโพรพิโนฟอส “การก้ำ”	163
ค4	สารกำจัดศัตรูพืชชนิดคลอไพริฟอส “ไฮนิคซ์ 40”	166
ง1	แปลงปลูกคะน้าตัวอย่าง	170

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ppm	=	ส่วนต่อล้านส่วน
L	=	ลิตร
ml	=	มิลลิลิตร
mg	=	มิลลิกรัม
kg	=	กิโลกรัม
m	=	เมตร
nm	=	นาโนเมตร
mm	=	มิลลิเมตร
cm	=	เซนติเมตร
°C	=	องศาเซลเซียส
%	=	เปอร์เซ็นต์
MRL	=	Maximum Residue Limits

การประยุกต์ใช้สารออกซิไดซ์ซึ่งในการล้างเพื่อลดสารตกค้าง
กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในผักสด

Application of Oxidizing Agents on Washing Process to Reduce
Organophosphate Residue on Fresh Vegetables

คำนำ

ผักและผลไม้เป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และมีประโยชน์ต่อร่างกายมากมาย อย่างไรก็ตามการบริโภคผักและผลไม้อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ เนื่องจากการตกค้างของอันตรายจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ปกป้องกันและกำจัดศัตรูพืช เป็นผลให้ผู้บริโภคผักและผลไม้ที่ปนเปื้อนอันตรายเหล่านั้นเกิดอาการผิดปกติ หรือเจ็บป่วย โดยมีอาการตั้งแต่เจ็บป่วยเพียงเล็กน้อยจนถึงอาการพิษเฉียบพลัน ขึ้นกับปริมาณและชนิดสารเคมีที่ได้รับ แต่การเจ็บป่วยส่วนใหญ่เป็นผลของการสะสมของสารกำจัดศัตรูพืช ลดประสิทธิภาพการทำงานของอวัยวะสำคัญ เช่น ตับและไต บั่นทอนสุขภาพทำให้เกิดเจ็บป่วยเรื้อรัง และร้ายที่สุดทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิตได้ สารเคมีตกค้างเหล่านี้พบทั้งในผัก ผลไม้สด และผลิตภัณฑ์จากผลไม้ที่มีการปลูกในประเทศ รวมไปถึงที่มีการนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งล้วนแล้วก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เศรษฐกิจ สังคม กล่าวคือผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภคในประเทศ สูญเสียงบประมาณของประเทศใช้ไปกับการป้องกันและรักษาผู้เจ็บป่วย นอกจากอันตรายที่เกิดกับผู้บริโภคแล้ว การตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในผัก ผลไม้ และผลิตภัณฑ์ที่ส่งออกหรือนำเข้า ยังก่อให้เกิดการกักกัน การติดฉลากของสินค้า เกิดผลเสียต่อเกษตรกรผู้ผลิต มีผลกระทบต่อเศรษฐกิจการส่งออกและต่ออุตสาหกรรมผักผลไม้ของไทย

ปัจจุบันประเทศคู่ค้ารายสำคัญของไทยในยุโรป สหรัฐอเมริกา และแม้กระทั่งประเทศในแถบเอเชียเอง เช่น ญี่ปุ่น สิงคโปร์ ต่างก็มีการใช้มาตรการกีดกันทางการค้าที่ไม่ใช่ภาษีรุนแรงยิ่งขึ้น โดยเฉพาะมาตรการทางสุขอนามัยเพื่อปกป้องผู้ผลิตในประเทศตนเอง รวมทั้งเพิ่มความคุ้มครองผู้บริโภคให้เกิดความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น การปนเปื้อนสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในผักผลไม้ และผลิตภัณฑ์ จึงเป็นอุปสรรคสำคัญที่ทำให้ไทยไม่สามารถขยายตลาดผักสดและผลิตภัณฑ์สู่ตลาดต่างประเทศได้เท่าที่ควร ดังนั้นจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่ต้องมีการศึกษาหาแนวทางแก้ไขปัญหาดังกล่าว

เพื่อลดปริมาณการตกค้างสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและยาฆ่าแมลงพิษในผักผลไม้ การป้องกันด้วยการปฏิบัติตามการเกษตรที่ดีที่เหมาะสม ตาม Good Agricultural Practices (GAPs) ในการเพาะปลูกผักผลไม้ได้ช่วยลดอันตรายจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชลงได้ แต่อย่างไรก็ตามหากสารเคมีเหล่านั้นยังหลงเหลือในผักผลไม้ ในฐานะผู้บริโภค วิธีการที่ดีที่สุดที่แนะนำแพร่หลายทั่วไป คือผู้บริโภคควรล้างผักด้วยวิธีการต่างๆ ก่อนที่จะนำมารับประทาน เช่นการล้างน้ำและน้ำผสมสารต่างๆ (นิตยา, 2540) สารที่แนะนำให้ใช้ได้แก่ด่างทับทิม น้ำส้มสายชู หรือแม้แต่การแช่น้ำหรือแม้แต่่น้ำขาวข้าว ก็เป็นวิธีแนะนำในระดับครัวเรือน ประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในแต่ละวิธีนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของผักและชนิดของสารกำจัดศัตรูพืชเป็นสำคัญ และไม่สามารถประกันได้ว่าจะลดสารกำจัดศัตรูพืชดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในระบบของการผลิตผักสดเพื่อการบริโภคนั้น การนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาประยุกต์ใช้ในการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในพืชผัก โดยการล้างร่วมกับสารกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง เช่น น้ำอเล็กโทรไลซ์ชนิดกรด คลอรีนไดออกไซด์และโอโซน คาดว่าจะเป็นทางเลือกอีกวิธีหนึ่งเนื่องจากมีรายงานว่าสารเหล่านี้สามารถออกซิไดส์สารกำจัดศัตรูพืชชนิดต่างๆ ได้ เช่น ฟิโนลิก, ฟังก์ฟอก, ของเสียจากขบวนการเคมี, สารประกอบอะโรมาติกและสารกำจัดศัตรูพืชได้ (วีระพงศ์, 2548) มีรายงานเพิ่มเติมว่าโอโซนทำให้สารกำจัดศัตรูพืชที่ดีที่เสื่อมสลายลงจนไม่เกิดอันตราย (ชมภูศักดิ์, 2540) นอกจากนี้สารกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเหล่านี้ยังมีประสิทธิภาพดีในการฆ่าแบคทีเรียและไวรัส (Wang *et al.*, 2004) ช่วยเพิ่มความปลอดภัยในอาหารโดยเฉพาะผักและผลไม้สด ช่วยคุ้มครองสุขภาพอนามัยของผู้บริโภค นอกจากนี้หากประยุกต์เทคโนโลยีเหล่านี้เพื่อใช้ในการผลิตผักผลไม้สดเพื่อการส่งออกย่อมลดการสูญเสียทางเศรษฐกิจของประเทศไทย และสนับสนุนให้สามารถส่งออกอาหารไปยังนานาประเทศ ขยายตลาดผักผลไม้ไทยตามที่ตั้งใจว่าประเทศไทยจะเป็นแหล่งวัตถุดิบหรือ “ครัวของโลก” จากนโยบายของรัฐบาลที่วางไว้ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการล้างผัก ได้แก่ ความเข้มข้นและระยะเวลาของ น้ำอเล็กโตรไลซ์ชนิดกรด สารละลายคลอรีนไดออกไซด์ และน้ำโอโซน ในการล้างผักที่สร้างการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อลดการปนเปื้อนในผักสด 5 ชนิด คือ คะน้า ผักชี พริกชี้ฟ้าเขียว ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลี
2. ทดสอบประสิทธิภาพของสารกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งในการล้างผักคะน้าที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตจากแปลงปลูก ด้วยสภาวะการล้างที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ
3. ทดสอบประสิทธิภาพของสารกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งในการล้างผักสดเพื่อการส่งออก ด้วยสภาวะการล้างที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ

การตรวจเอกสาร

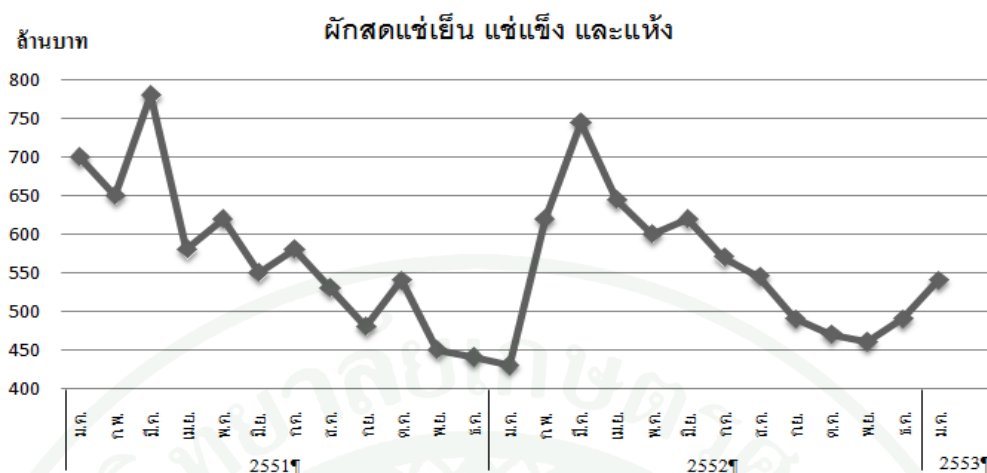
1. ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีการผลิตพืชอาหารทั้งเพื่อการบริโภคภายในประเทศและการส่งออก ประกอบกับในช่วงปี พ.ศ. 2545-2546 รัฐบาลมีนโยบายผลักดันให้ประเทศไทยเป็นครัวของโลก (Kitchen of the World) โดยมุ่งเน้นการควบคุมคุณภาพตั้งแต่แหล่งผลิตจนกระทั่งเป็นผลิตภัณฑ์พร้อมจำหน่าย การตื่นตัวของชาวสวนและสุขภาพทำให้ผู้บริโภคสมัยใหม่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับอาหารมากขึ้น และมีความต้องการอาหารที่มีความปลอดภัยทุกขั้นตอนการผลิตจึงต้องคำนึงถึงสิ่งปนเปื้อนที่อาจติดมากับอาหารและสารเคมีตกค้างอันจะทำให้เกิดอันตรายกับผู้บริโภค รัฐบาลจึงได้กำหนดให้ปี พ.ศ. 2547 เป็นปีแห่งความปลอดภัยด้านอาหาร และปีแห่งสุขภาพอนามัย กระตุ้นให้ผู้ผลิตต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้บริโภคเป็นอันดับหนึ่ง ผลดีที่ตามมาคือ ผู้บริโภคภายในประเทศได้บริโภคอาหารที่มีความปลอดภัยในระดับเดียวกับมาตรฐานสากล และเพิ่มศักยภาพในการส่งออกผลิตภัณฑ์อาหารสู่ตลาดโลก

1.1 สถานการณ์การส่งออกผัก

ภาพรวมเกี่ยวกับสถานการณ์การส่งออกผักของไทย รวบรวมโดยกระทรวงพาณิชย์ พบว่าการส่งออกผักสดแช่เย็น แช่แข็งและแห้ง ในเดือนมกราคม ปี 2553 มีมูลค่ารวม 537.08 ล้านบาท (ภาพที่ 1) ซึ่งเป็นปริมาณที่เพิ่มขึ้นจากเดือนเดียวกันในปี 2552 ซึ่งมีมูลค่ารวมอยู่ที่ 441.59 ล้านบาท หรือมีมูลค่าการส่งออกเติบโตมากกว่า 22% จากปีที่ผ่านมา (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2553)

ตลาดส่งออกผักสดแช่เย็นแช่แข็งสำคัญ 5 อันดับแรกของไทยในปี 2553 ได้แก่ ญี่ปุ่น อังกฤษ มาเลเซีย สหรัฐอเมริกา และไต้หวัน ซึ่งญี่ปุ่นนับเป็นตลาดส่งออกผักสดแช่เย็นแช่แข็งของไทยอันดับหนึ่งมาโดยตลอดตั้งแต่ปี 2532 โดยในปี 2553 มูลค่าการส่งออกไปยังตลาดญี่ปุ่นอยู่ที่ 2,898.8 ล้านบาท คิดเป็นสัดส่วนถึง 47.19% ของมูลค่าการส่งออกผักสดแช่เย็นแช่แข็งของไทยทั้งหมด (ในปี 2534 ถึงปี 2541 มีสัดส่วนมากกว่า 60%) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการส่งออกในรูปแบบผักสดแช่แข็ง



ภาพที่ 1 ข้อมูลการส่งออกผักของไทย

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (2553)

หากพิจารณาตลาดสหภาพยุโรป (รวม 27 ประเทศ) พบว่าไทยส่งออกสินค้าผักสดแช่เย็น ผักสดแช่แข็ง ไปยังตลาดสหภาพยุโรปมากเป็นอันดับสองรองจากตลาดญี่ปุ่นอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ปี 2545 โดยในปี 2553 มูลค่าการส่งออกไปยังตลาดสหภาพยุโรปอยู่ที่ 1,086 ล้านบาท คิดเป็นสัดส่วนการส่งออก 17.68% ของมูลค่าการส่งออกผักสดแช่เย็นแช่แข็งทั้งหมด ซึ่งผักสดที่ไทยส่งออกไปยังตลาดสหภาพยุโรป ได้แก่ หน่อไม้ฝรั่ง หน่อไม้สด ข้าวโพดฝักอ่อน กระเจียบขาว คื่นช่าย และผักในกลุ่มมะเขือ กลุ่มกะหล่ำ ถั่วฝักยาว รวมทั้งพืชผักสวนครัวกลุ่มกะเพรา โหระพา แมงลักและยี่ห่วย กลุ่มพริกหยวก พริกชี้ฟ้า และพริกชี้หนู กลุ่มมะระจีน มะระจีนก กลุ่มมะเขือเปราะ มะเขือยาว มะเขือม่วง มะเขือเหลือง มะเขือขาว และมะเขือขื่น กลุ่มผักชีฝรั่ง และใบผักชี เป็นต้น (สิรินาฏ, 2554)

1.2 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการส่งออก

สินค้าผักเป็นอาหารที่มีการบริโภคกันอย่างต่อเนื่อง เพราะความนิยมบริโภคเมนูอาหารสดในประเศทางตะวันตกซึ่งเป็นอาหารประจำโต๊ะของครอบครัว ตลอดจนความนิยมอาหารไทยในต่างประเทศ ที่ต้องมีการนำเข้าผักจากประเทศไทยเพื่อปรุงอาหาร ทำให้ยอดการส่งออกผักเติบโตในแต่ละปี โดยเฉพาะการส่งออกไปยังกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป หรือ European Union (EU) ที่มีการเติบโตและเป็นตลาดที่น่าสนใจอย่างมาก

แม้ว่าความต้องการสินค้าจากต่างประเทศมีจำนวนมาก แต่เนื่องจากผู้ส่งออกหลักของไทยโดยส่วนใหญ่เป็นผู้ประกอบการขนาดเล็ก ซึ่งไม่มีความสามารถเพียงพอในการบริหารจัดการระดับห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain) หรือการผลิตด้วยตนเองให้มีคุณภาพสม่ำเสมอและเพียงพอ ดังนั้นเมื่อมีคำสั่งซื้อเข้าเป็นจำนวนมากกว่ากำลังการผลิต จึงต้องซื้อสินค้าสดจากศูนย์กระจายสินค้า อาทิ ตลาดไท เป็นต้น เพื่อให้มีปริมาณเพียงพอต่อคำสั่งซื้อนั้น ซึ่งสินค้าจากแหล่งดังกล่าวมักมาจากเกษตรกรทั่วไปที่ขาดความรู้ที่ถูกต้องในการปฏิบัติตามมาตรฐานสากล จึงทำให้สินค้าไทยมีปัญหาเรื่องความปลอดภัยอาหาร ในปี พ.ศ. 2553 กลุ่มประเทศสแกนดิเนเวียมีประกาศไปยังผู้บริโภคลูกให้หลีกเลี่ยงการซื้อสินค้าจากไทย โดยอ้างเหตุผลด้านความปลอดภัย ซึ่งในปัจจุบันสหภาพยุโรปหรือ EU ได้ประกาศให้ผัก 3 ประเภทจากไทย ได้แก่ ผักถั่ว (Beans) ผักในวงศ์มะเขือ (Solanaceae) และผักในวงศ์กะหล่ำ (Brassicacae) ต้องถูกตรวจเข้มร้อยละ 50 ณ ด่านนำเข้า อันเป็นผลมาจากการสุ่มตรวจพบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างระหว่างการตรวจสอบและประเมินผลอุตสาหกรรมเกษตรและการส่งออกของผู้เชี่ยวชาญในช่วงหลายปีที่ผ่านมา และล่าสุดเมื่อวันที่ 13 มีนาคม ปี 2553 EU ได้มีการประกาศกฎระเบียบเพิ่มเติมในเรื่องดังกล่าว ใน EU Official Journal L 65 V 16 ว่าด้วย Commission Regulation (EC) No 212/2010 of 12 March 2010 amending Regulation (EC) No 669/2009 implementing Regulation (EC) No 882/2004 of the European Parliament and of the Council as regards the increased level of official controls on imports of certain feed and food of non-animal origin สรุปสาระสำคัญ คือ

กฎระเบียบฉบับเพิ่มเติมนี้ ระบุชนิดของสารกำจัดศัตรูพืชที่ทางด่านนำเข้าจะต้องสุ่มตรวจหา (แต่เดิมไม่มีการระบุ) มีรายชื่อดังนี้ อะเซฟเตต (Acephate), คาร์เบนดาซิม (Carbendazim), คลอไพริฟอส (Chlorpyrifos), ไดเมทโฮเอท (Dimethoate), มาลาไธออน (Malathion), เมทนามิโดฟอส (Methamidophos), โมโนโครโตฟอส (Monocrotophos), โพรฟิโนฟอส (Profenofos), ควินาลฟอส (Quinalphos), ไตรอะโซฟอส (Triazophos), อีพีเอ็น (EPN), คาร์บาริล (Carbaryl), คาร์โบฟูราน (Carbofuran), คลอไพริฟอส-เอทิล (Chlorpyrifos-ethyl), อีไทออน (Ethion), เมทาแลคซิล (Metalaxyl), เมทโฮมิล (Methomyl), โอเมทโฮเอท (Omethoate), โปรไทโอฟอส (Prothiophos), ไตรอะไดเมฟอน (Triadimefon), ไดโครโทฟอส (Dicrotophos) และ ไตรโฟรีน (Triforine)

สารที่ถูกคัดเลือกมาทั้งหมดนี้ ประมวลจากฐานข้อมูลที่ EU ตรวจพบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในสินค้าผักและจากรายงานระบบ Rapid Alert System for Food and Feed หรือ

RASFF ในช่วง 3 ปีที่ผ่านมา ทั้งนี้ยังคงเป็นการตรวจหาสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผัก 3 ประเภทหลัก อันได้แก่ ถั่วฝักยาว (Yard long beans) พิกัดภาษี 0708 20 00 ผักในวงศ์มะเขือ (Solanaceae) พิกัดภาษี 0709 30 00 และผักในวงศ์กะหล่ำ (Brassicas) พิกัดภาษี 0704 เช่นเดิม ผลจากการร้องเรียนของประเทศสมาชิก EU ส่งผลให้ขณะนี้ EU ตรวจเข้มผักผลไม้ตามรายชื่อสารกำจัดศัตรูพืชที่กำหนดไว้นี้ ขณะนี้การตรวจสอบเป็นภาระหนักของด่านนำเข้าทุกแห่งใน EU อย่างไรก็ตามการกำหนดรายชื่อสารกำจัดศัตรูพืชที่ทางประเทศสมาชิกต้องสุ่มตรวจเมื่อมีรายชื่อชัดเจน เป็นการลดเวลาและบรรเทาภาระที่เป็นอยู่ เพราะในปัจจุบันต้องตรวจหาสารกำจัดศัตรูพืชทุกชนิด เนื่องจากไม่เคยมีการระบุไว้อย่างชัดเจนในกฎระเบียบฉบับแรก ซึ่งสารที่ถูกกำหนดให้ประเทศสมาชิกสุ่มตรวจ ส่วนใหญ่เป็นสารในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต รองลงมาคือกลุ่มคาร์บาเมต กลุ่มออร์กาโนคลอรีน และกลุ่มไพรีทรอยด์ ตามลำดับ (นิรนาม, 2553)

ก่อนหน้านี้อุตสาหกรรมการผลิตผักในประเทศไทยไม่ได้แสดงต่อลูกค้าหรือหน่วยงานของ EU ให้เห็นถึงการแก้ไขปัญหา หรือการพัฒนาในทางที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากสถานการณ์การส่งออกและแนวทางการพัฒนาผักสดส่งออกมีแนวโน้มดีในอนาคต ภาครัฐและเอกชนจึงได้ตื่นตัวเน้นการสร้างมาตรฐานของสินค้าในระบบการเกษตรและห่วงโซ่อุปทานทั้งหมดให้เป็นไปตาม Thai GAP และพัฒนาระบบ Thai GAP ให้สามารถเทียบกับ Global GAP โดยหวังว่าจะสามารถถอดซื้อสินค้าไทยที่ถูกเพ่งเล็งออกจากรายชื่อสินค้าควบคุมของสหภาพยุโรป

การปฏิบัติตามเกษตรที่ดีที่เหมาะสมหรือ Good Agricultural Practices (GAPs) ได้ครอบคลุมและแนะนำการควบคุมการขายปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืชอย่างเป็นระบบ การให้ความรู้แก่เกษตรกรถึงวิธีการที่ถูกต้องและความจำเป็นที่ต้องปฏิบัติตามมาตรฐานสากล การกำหนดระบบการรับรอง (Certified) โดยองค์กรที่เชื่อถือได้ระดับประเทศ หรือสากล ว่าเป็นผู้ส่งออกที่มีการคัดเลือกสินค้าที่ได้มาตรฐาน จากแหล่งเพาะปลูกที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน เป็นระบบที่ประกันคุณภาพของสินค้าผักผลไม้ ทำให้ผู้นำเข้ามีความมั่นใจมากขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นการนำเทคโนโลยีใหม่ เช่นการใช้สารออกซิไดส์ซึ่งช่วยในการล้างเพื่อลดการตกค้างของสารเคมีเกษตรเหล่านี้ก็จะเพิ่มอีกทางหนึ่งที่สร้างความปลอดภัยของผักผลไม้สดทั้งส่งออกและบริโภคในประเทศ

2. วัตถุมีพิษทางการเกษตร

2.1 ความหมาย (ชูชาติ, 2548)

วัตถุมีพิษ (Toxic substance) ตามความหมายของ พ.ร.บ. วัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 หมายถึง วัตถุไม่ว่าจะเป็นเคมีภัณฑ์หรือสิ่งอื่นใดที่อาจทำให้เกิดอันตรายแก่บุคคล สัตว์ พืช ทรัพย์ หรือสิ่งแวดล้อม ในความหมายของทางการเกษตร หมายถึง สารเคมีที่นำมาใช้ในการป้องกันกำจัด ทำลายสิ่งมีชีวิตโดยการรบกวน ยับยั้ง หรือฆ่าศัตรูพืช มนุษย์ สัตว์

2.2 การจำแนกวัตถุมีพิษ โดยวัตถุมีพิษแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่ม (ชูชาติ, 2548) ดังต่อไปนี้

1. แบ่งตามแหล่งที่มาของสาร เช่น

- สารสังเคราะห์
- สารสกัดจากพืช
- สารชีวภาพ
- สารที่มาจากการใช้เทคโนโลยีด้านพันธุวิศวกรรม

2. แบ่งตามลักษณะการใช้งาน เช่น

- สารกำจัดแมลง
- สารกำจัดโรคพืช
- สารกำจัดเชื้อรา
- สารกำจัดวัชพืช

3. แบ่งตามสูตรโครงสร้างทางเคมี

- กลุ่มออร์กาโนคลอรีน
- กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต
- กลุ่มไพรีทรอยด์
- กลุ่มคาร์บาเมต
- กลุ่มอนิลิน
- กลุ่มฟีนอกซีแอซิก

4. ตามลักษณะการเข้าทำลายศัตรูพืช เช่น

- กลุ่มกินตาย

- กลุ่มถูกตัวตาย
- กลุ่มดูดซึม
- กลุ่มรมควัน

5. แบ่งตามความเป็นพิษ ได้แก่

- กลุ่มพิษร้ายแรงมาก $LD_{50} < 5 \text{ mg/kg}$
- กลุ่มพิษร้ายแรง $LD_{50} 5 - 50 \text{ mg/kg}$
- กลุ่มพิษปานกลาง $LD_{50} 50 - 500 \text{ mg/kg}$
- กลุ่มพิษน้อย $LD_{50} > 500 \text{ mg/kg}$

2.3 อาการพิษที่เกิดจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช (นันทนา และคณะ, 2552)

กลุ่มอาการ (Syndromic) เป็นกลุ่มของอาการ (Signs) และอาการแสดง (Symptoms) ของการเกิดพิษจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่เกิดกับระบบต่างๆ ของร่างกาย

อาการและอาการแสดงการเกิดพิษจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช มีทั้งชนิดเฉียบพลันและเรื้อรัง ซึ่งมีทั้งอาการที่สังเกตเห็นได้จากภายนอกและอาการที่ผู้รับสารเคมีรู้สึกจากความผิดปกติภายในของร่างกายซึ่งมองไม่เห็นจากภายนอก และการรับทราบอาการจากการสอบถามพูดคุย

องค์การอนามัยโลกได้จัดลำดับความรุนแรงของสารเคมีในรูปของการจัดค่า LD_{50} ซึ่งค่า LD_{50} นี้หมายถึงระดับความเป็นพิษต่อร่างกายของมนุษย์ โดยคำนวณบนฐานของการทดลองกับสัตว์ทดลอง เช่น หนู ซึ่งจะคิดจากปริมาณของสารเคมีเป็นมิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนูเป็นกิโลกรัมที่มีผลต่อการฆ่าหนูจำนวน 50% ของหนูทดลองทั้งหมด ในกรณีของสารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตถือว่าเป็นสารเคมีที่มีระดับความรุนแรงน้อยถึงร้ายแรงยิ่ง (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ระดับความรุนแรงจากพิษของสารเคมีในแต่ละระดับ

ระดับความรุนแรง	ค่า LD ₅₀ (mg/kg ของน้ำหนักหนูทดลอง) เมื่อรับสารกำจัดศัตรูพืชทางปาก	
	ชนิดผง	ชนิดน้ำ
Ia = ระดับอันตรายร้ายแรงยิ่ง	5 มิลลิกรัม หรือน้อยกว่า	20 มิลลิกรัม หรือน้อยกว่า
Ib = ระดับอันตรายร้ายแรงมาก	5 – 50 มิลลิกรัม	20 – 200 มิลลิกรัม
II = ระดับอันตรายปานกลาง	50 – 500 มิลลิกรัม	200 – 2000 มิลลิกรัม
III = ระดับอันตรายน้อย	500 – 2000 มิลลิกรัม	2000 – 3000 มิลลิกรัม
IV = ระดับอันตรายน้อยที่สุด	มากกว่า 2000 มิลลิกรัม	มากกว่า 3000 มิลลิกรัม

ที่มา: นันทนา และคณะ (2552)

อาการพิษของสารกำจัดศัตรูพืชแบ่งตามกลุ่มสารเคมีเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ตามผลที่มีต่อร่างกายของมนุษย์ ดังนี้

1. ออร์กาโนคลอรีนมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลางในระยะยาว
2. ออร์กาโนฟอสเฟสมีผลต่อระบบประสาท ส่งผลกระทบต่อร่างกายในระยะยาว
3. คาร์บาเมตมีผลต่อระบบประสาทในระยะสั้น
4. ไพรีทรอยด์สร้างความระคายเคืองต่อร่างกายภายนอก
5. ไโซคาร์บาเมตสร้างความระคายเคืองต่อร่างกายภายนอก เช่น ตา ผิวหนัง
6. พาราควอตเป็นสารกำจัดวัชพืช สร้างความระคายเคืองต่อผิวหนัง แต่หากเข้าสู่ระบบการไหลเวียนของโลหิต ผ่านทางผิวหนังหรือบาดแผล จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของอวัยวะสำคัญภายในร่างกาย เช่น ตับ และไต

ในที่นี้ออร์กาโนฟอสเฟตจัดอยู่ในสารเคมีที่มีความเป็นพิษร้ายแรงยิ่ง เช่น เมวินฟอส (Mevinphos) และ พาราไธออน-เมทิล (Parathion-methyl) ความเป็นพิษร้ายแรงมาก เช่น โมโนโครโตฟอส, เมทนามิโดฟอส, ฟอสฟามิดอน (Phosphamedon) และ อะซิลฟอส เอทิล ความเป็นพิษปานกลาง เช่น ไดอะซินอน (Diazinon) และมีความเป็นพิษน้อย เช่น ไดเมทโทเอท และ มาลาไทออน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ความเป็นพิษของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช

ระดับความเป็นพิษ	พิษทางปาก LD ₅₀ mg/kg	ความเข้มข้นโดยประมาณ (เสียชีวิตสำหรับผู้ใหญ่)	ตัวอย่างชื่อสาร
พิษร้ายแรงยิ่ง	<5	2-3 หยด	เมวินฟอส, (Mevinphos) พาราไธออน เมทิล (Parathion-methyl)
พิษร้ายแรง	5-50	2-3 หยด - 1 ช้อนชา	โมนโครโทฟอส (Monocrotophos) เมทามิโดฟอส (Methamidophos), ฟอสฟามิดอน (Phosfamedon), อะซินฟอส เอทิล (Azinphos ethyl)
พิษปานกลาง	50-500	1 ช้อนชา - 2 ช้อนโต๊ะ	ไดอะซินอน (Diazinon)
พิษน้อย	500-5,000	30-450 มิลลิลิตร	ไดเมทโฮเอท (Dimethoate), มัลลาไธออน (Malathion)

ที่มา: จินดนา (2542)

3. สารเคมีที่นิยมใช้ในการเกษตร

สารเคมีที่ใช้ในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืช (Pesticides) เป็นกลุ่มสารเคมีที่ส่วนใหญ่เป็นสารเคมีสังเคราะห์ นำมาใช้ควบคุม ป้องกัน และกำจัดศัตรูพืชรวมทั้งศัตรูสัตว์ด้วย สารเคมีทางการเกษตรเหล่านี้ที่นิยมใช้ได้แก่ สารเคมีกำจัดวัชพืชหรือยาฆ่าหญ้า (Herbicides) สารเคมีกำจัดแมลงหรือสารกำจัดศัตรูพืช (Insecticides) สารเคมีป้องกันกำจัดโรคพืชและสัตว์ชนิดอื่นๆ อีกหลายชนิด ได้แก่ สารเคมีกำจัดเชื้อรา (Fungicides) สารเคมีกำจัดไร (Acaricides) สารเคมีป้องกันกำจัดปลวก (Termite control) นอกจากนี้สารกำจัดศัตรูพืชยังสามารถแบ่งกลุ่มตามชนิดของสารเคมี โดยสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่มีการใช้ในการเกษตรในปัจจุบันนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 กลุ่ม ดังนี้

3.1 กลุ่มออร์กาโนคลอรีน (Organochlorine)

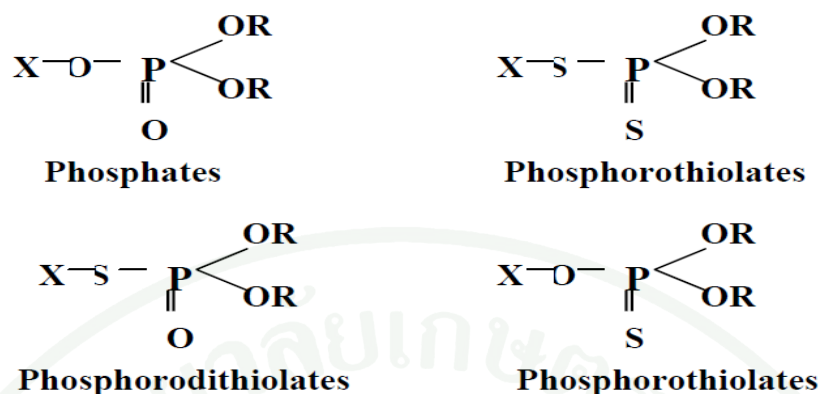
เป็นสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มที่ใช้กันมานานตั้งแต่หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 สารกำจัดศัตรูพืชตกค้างจะสามารถละลายได้ดีในไขมัน มีพิษตกค้างนานไม่เหมาะกับการใช้ฉีดพ่นป้องกันกำจัดศัตรูพืชสำหรับพืชอาหารทั้งหลาย ในปัจจุบันได้ยกเลิกการใช้ทางเกษตรไปแล้วหลายชนิด เนื่องจากเป็นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่สลายตัวยาก ทำให้ตกค้างในสิ่งแวดล้อมและในห่วงโซ่อาหาร (Food chain) ได้นาน เช่น ดีดีที (DDT), ไดเอลดริน (Dieldrin) กระทรงเกษตรและสหกรณ์ได้ประกาศเลิกใช้ ดีดีที ในทางเกษตรในปี 2526 (กรมวิชาการเกษตร, 2542) แต่ยังคงใช้ได้ในการสาธารณสุขและด้านอื่นๆ เช่น ใช้ป้องกันกำจัดยุง เพื่อป้องกันโรคมาลาเรีย ไดเอลดริน ใช้ในการกำจัดปลวก เป็นต้น อย่างไรก็ตามยังคงพบปัญหา ดีดีที ที่นำมาใช้ในการกำจัดแมลงและปนเปื้อนอยู่ในสภาพแวดล้อม ทำให้เกิดการปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์เกษตร พืช สัตว์ และคน แม้ว่าปริมาณที่ตรวจพบจะต่ำกว่าปริมาณตกค้างจากการใช้โดยตรง

ตัวอย่างสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มนี้คือ ดีดีที, ลินเดน (Lindane), คลอเดน (Chlordane), เอ็นโดซัลฟาน (Endosulfan) เป็นต้น นอกจากนี้ ดีดีที แล้วสารเคมีในกลุ่ม ไซคลอดีน (Cyclodiene) ได้แก่ ออลดริน (Aldrin), เอนดริน (Endrin), ไดเอลดริน และเฮปตาคลอ (Heptachlor)

ดังนั้นในประเทศไทย กรมควบคุมโรคจึงไม่อนุญาตให้ใช้ ดีดีที ในการควบคุมไข้มาลาเรียตั้งแต่ปลายปี พ.ศ. 2544 โดยให้ใช้สารทดแทนในกลุ่มไพรีทรอยด์ เช่น เดลต้าเมทริน (Deltamethrin), ไซเปอร์มีทริน (Cypermethrin) และ ไบเฟนทริน (Bifenthrin) พิษวิทยาของสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มนี้จะดูดซับได้ดีทางลำไส้และผิวหนัง เมื่อได้รับในปริมาณมากพอจะเกิดผลกระทบต่อการทำงานของระบบประสาท โดยเฉพาะสมองและส่วนที่ควบคุมระบบหายใจ

3.2 กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphate)

สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตมีสารอินทรีย์ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบสำคัญ โดยมีสูตรโครงสร้างพื้นฐานทางเคมีเป็นกลุ่มอนุพันธ์ของเอสเทอร์ เอมีด หรือไทออลของกรดฟอสโฟริก ฟอสโฟนิค (ภาพที่ 2) (สมิง และยูพา, 2543)



ภาพที่ 2 โครงสร้างพื้นฐานของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต

ที่มา: คัดแปลงจาก สุจินดา (2550)

คุณสมบัติของสารฟอสเฟตที่มีฤทธิ์ฆ่าแมลงได้

1. ซัลเฟอร์หรือออกซิเจนต้องเชื่อมโดยตรงกับฟอสฟอรัส ซึ่งมีวาเลนซ์เป็นห้า (Pentavalent Phosphorus)
2. R1 และ R2 ต้องเป็นกลุ่มอัลคอกซี (Alkoxy), อัลคิล (Alkyl), หรือ อะมิโน (Amino)
3. กลุ่มเอซิล (Acyl) ต้องเป็นกลุ่มที่มีประจุลบในกรดอินทรีย์ หรืออนินทรีย์ เช่น ฟลูออรีน (Fluorine), ไซยาเนต (Cyanate), ไธโอไซยาเนต (Thiocyanate) หรือต้องเป็นส่วนหนึ่งของกรด เช่น ส่วนอินอล (Enol), เมอแคปโต (Mercapto) เป็นต้น

สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตสามารถยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส (AChE) ซึ่งเป็นเอ็นไซม์ที่พบในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของสัตว์ รวมทั้งพบในอวัยวะที่ทำให้เกิดไฟฟ้าของปลา เม็ดเลือดของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เป็นต้น และผลจากการยับยั้งการทำงานดังกล่าวทำให้เกิดการค้างของสารอะซิติลโคลีน (ACh) ตามตำแหน่งต่างๆ ของระบบประสาทอัตโนมัติและในสมอง ซึ่งส่งผลให้เกิดความผิดปกติของระบบประสาท (วิภา, 2541) แต่ความแตกต่างของปฏิกิริยาระหว่างเอ็นไซม์กับสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และเอ็นไซม์กับอะซิติลโคลีน คืออัตราเร็วของปฏิกิริยา ปฏิกิริยาระหว่างเอ็นไซม์กับสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตเกิดขึ้นช้ามาก เอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสจึงไม่สามารถกลับคืนสภาพเดิม ทำให้ไม่สามารถทำหน้าที่ทำลายอะซิติลโคลีนได้ตามปกติ และเมื่อมีอะซิติลโคลีนสะสมมากๆ จะทำให้ระบบประสาท

ถูกกระตุ้นอยู่ตลอดเวลา แมลงจึงแสดงอาการว่องไวผิดปกติ คือ สั่น หรือชัก เป็นอัมพาตและตายในที่สุด (สุภาณี, 2537)

การแบ่งสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตโดยใช้ลักษณะการใช้ ในทางปฏิบัติสามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ 4 กลุ่มดังนี้ (สุภาณี, 2537)

กลุ่มที่ 1 เป็นสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่มีพิษฆ่าแมลงโดยการสัมผัส และมีความคงทนต่ำ สารในกลุ่มนี้มีคุณสมบัติละลายน้ำได้น้อยและสลายตัวได้ง่ายโดยปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส มีความเป็นพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นสูง ตัวอย่างสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มนี้ได้แก่ เมวินฟอส (วัตถุอันตรายห้ามใช้ทางการเกษตร) และ เตตราคลอร์วินฟอส (Tetrachlorvinfos) (ใช้ป้องกันกำจัดหมัดผักกาด เพลี้ยไฟ ข้าวโพด หนอนกระทู้ผัก หนอนเจาะต้นอ้อย เป็นต้น)

กลุ่มที่ 2 เป็นสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่มีพิษฆ่าแมลงโดยการสัมผัสเช่นเดียวกัน แต่สามารถดูดซึมผ่านเข้าไปในพืชได้บ้างเล็กน้อย ทำให้ออกฤทธิ์ฆ่าแมลงได้นานขึ้น มีความคงทนปานกลาง เมื่อฉีดพ่นบนพืชจะซึมผ่านเข้าไปในพืชบริเวณนั้นๆ ได้แต่ไม่มีการเคลื่อนย้ายภายในต้นพืช ตัวอย่างสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มนี้ได้แก่ มาลาไธออน (ใช้ป้องกันกำจัดแมลงปากดูด เช่น เพลี้ยอ่อน เพลี้ยหอย และเพลี้ยแป้ง) พาราไทออน (วัตถุอันตรายห้ามใช้ทางการเกษตร) และ คลอไพริฟอส (ใช้ป้องกันกำจัดเพลี้ยอ่อน เพลี้ยจักจั่น หนอนกระทู้ หนอนเจาะสมอฝ้าย ฯลฯ) เป็นต้น คลอไพริฟอสมีการตกค้างในข้าวโพดฝักอ่อนซึ่งมีข้อสมมุติฐานว่าการตกค้างนั้นมาจากการคลุกเมล็ดข้าวโพดหรือการปฏิบัติของเกษตรกรที่ใช้คลอไพริฟอสมากเกินไป ทั้งนี้คลอไพริฟอสเป็นสารประเภทไม่เคลื่อนย้าย (non systemic insecticide)

กลุ่มที่ 3 เป็นสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่มีพิษฆ่าแมลงประเภทเคลื่อนย้ายได้ (systemic insecticide) สารในกลุ่มนี้จะละลายได้ในไขมันและละลายน้ำได้ดี สามารถซึมผ่านชั้นไขที่ผิวใบพืชและเยื่อลิพิดโปรตีนได้ และสามารถผ่านเข้าไปในไซเลม และโฟลเอ็ม มีการลำเลียงเคลื่อนย้ายไปยังส่วนต่างๆ ของต้นพืช ออกฤทธิ์เป็นพิษต่อแมลงกัดกินหรือดูดกินพืชในส่วนนั้นๆ ได้ซึ่งข้อดีของสารกลุ่มนี้คือ ไม่ถูกชะล้างจากพืชโดยน้ำหรือน้ำฝน และสามารถป้องกันการทำลายของแมลงได้ทุกส่วนของพืช แม้ไม่ได้รับสารโดยตรงก็ตาม ตัวอย่างสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มนี้ได้แก่ โมโนโครโตฟอส (วัตถุอันตรายห้ามใช้ทางการเกษตร) ไดเมทโรเอท (ใช้ป้องกันกำจัดเพลี้ยอ่อน เพลี้ยไฟ แมลงวันทอง หนอนชอนใบ เป็นต้น) และ ฟิเลต (วัตถุอันตรายห้ามใช้ทางการเกษตร)

กลุ่มที่ 4 เป็นสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่มีพิษทางการหายใจ เป็นสารเคมีซึ่งมีค่าความดันไอค่อนข้างสูงจึงมีการระเหยเป็นไอได้ในสภาพอุณหภูมิปกติ และไอระเหยนั้นมีพิษมาแมลงได้ เป็นสารที่มีพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นสูง แต่เสื่อมสลายเร็วมาก ตัวอย่างสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มนี้ ได้แก่ ไดโครวอส (Dichlorvos) (ใช้ป้องกันกำจัดเพลี้ยอ่อน เพลี้ยไฟ หนอนกระทู้ หนอนเจาะลำต้น)

สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มนี้มีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชได้ดี มีพิษตกค้างไม่นาน เป็นกลุ่มที่มีความเป็นพิษหลายระดับ มีทั้งชนิดที่เป็นพิษร้ายแรงและพิษปานกลาง มีความหลากหลายของสูตรที่จะเลือกใช้ หรือสลับการใช้เมื่อแมลงสร้างความต้านทาน (กรมวิชาการเกษตร, 2542) สารในกลุ่มนี้มีหลายตัวที่ใช้งานถึงปัจจุบัน เช่น ไดเมทโทเอท มาลาไทออน เฟนิโทรไธออน พาราไธออน เมทิล พาราไธออน สองชนิดหลังนี้แตกต่างที่เป็นกลุ่ม Methyl หรือ Esthyl และ Ester พบว่ามีความเป็นพิษต่างกันมาก Esthyl และ Ester มีความเป็นพิษสูงร้ายแรงยิ่ง เป็นสาเหตุของอุบัติเหตุที่ทำให้เกษตรกรเสียชีวิตทุกปี ในปีพ.ศ. 2531 รัฐบาลจึงได้ประกาศยกเลิกใช้ พาราไธออน โดยห้ามนำเข้า ส่วนพาราไธออน เมทิล นั้น ถ้ามีกลุ่มเมทิลเพิ่มเข้าไปอีกตัวเป็นสารใหม่คือ เฟนิโทรไธออน มีพิษน้อยลง มีประสิทธิภาพดี เป็นที่นิยมใช้มาจนถึงปัจจุบัน

เนื่องจากความเป็นพิษของสารในกลุ่มนี้ คือ เป็นพิษต่อแมลงและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ความเป็นพิษจึงขึ้นกับปริมาณของสารกำจัดศัตรูพืชที่เข้าสู่ร่างกาย ทำให้การส่งสัญญาณประสาทในสมองเสื่อมลง มีผลต่อระบบสัมผัสการเคลื่อนไหว และการทำงานของระบบหายใจ การเสียชีวิตเนื่องจากระบบหายใจถูกกดไว้

ตัวอย่างสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มนี้คือ ชนิดสารกำจัดศัตรูพืชที่มีพิษร้ายแรงมาก โมโนโครโทฟอส, พาราไธออน เมทิล เมทนามิโดฟอส ชนิดสารกำจัดศัตรูพืชที่มีพิษปานกลาง เช่น ไดโครวอส ไตรอะโซฟอส กลอไพริฟอส ไดเมทโทเอท ไดอะซินอล ตัวอย่างความเป็นพิษของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ความเป็นพิษของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่นิยมใช้ในประเทศไทย

ชื่อสามัญ	ชื่อการค้า	ความเป็นพิษ LD ₅₀ (mg/kg)
อะซีเฟต (Acephate)	ออธิน 75 เอสพี อะซีเฟต	866-945
อะซีนฟอส-เมทิล (Azinphos-methyl)	กู่ไรออน	5-20
คาร์โบฟีโนไธออน (Carbophenothion)	ไทรไรออน 4 อี จีอราไมท์ 2 อี	6.8-36.9
คลอเฟนวินฟอส (Chlorfenvinphos)	เบอร์เลน 24 อีซี และ 10 จี ซาฟิครอน 10 จี	10-30
คลอไพริฟอส (Chlorpyrifos)	ลอร์สแบน คลอร์ดิน	97-276
คูมาฟอส (Coumaphos)	โครอล อะซุนโทล	56-230
ไซอาโนเฟนฟอส (Cyanofenphos)	ซัวไซด์	89
ดีมีตอน (Demeton)	ซีสตอก	2.5-12
ไดอะซินอน (Diazinon)	พาโตฟูดาน 3 จี	300-400
ไดคลอวอส (Dichlovos)	วาโปน่า ดิอีวีพี	56-80
ไดโครโตฟอส (Dicrotophos)	ไบดริน 24 อีซี คาร์ไบครอน 24 และ 50	22
ไดซันโฟตัน (Disulfoton)	ไดซันตอน โซวิเร็กซ์	2-12
อี พี เอ็น (EPN)	คูมฟอส ชันฟอส	26
อีทริมฟอส (Etrimfos)	อีคาเมท 50	1,800

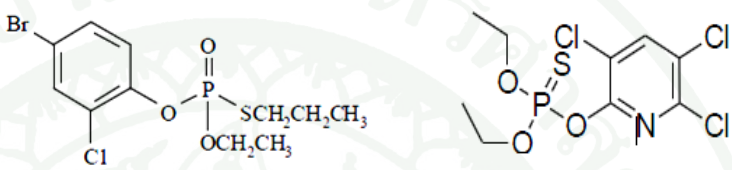
ที่มา: นันทนา และคณะ (2552)

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้สนใจศึกษาสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 2 ชนิด คือ สารโทรฟิโนฟอสและคลอไพริฟอส เนื่องจากพบปัญหาการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชทั้ง 2 ชนิดนี้บ่อยครั้งทั้งในผักและผลไม้ที่มีจำหน่ายภายในประเทศและสินค้าส่งออก รายละเอียดและคุณสมบัติของสารกำจัดศัตรูพืชชนิดโทรฟิโนฟอสและคลอไพริฟอส ดังแสดงในตารางที่ 4

สารโทรฟิโนฟอสเป็นสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ชนิด non-systemetic และเป็นสารกำจัดไร ประเภทถูกตัวตายและออกฤทธิ์เมื่อกินเข้าไป เป็นสารยับยั้งการทำงานของ เอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส (Acytyl Chlorinesterase enzyme inhibition) โทรฟิโนฟอสมี ชื่อทางเคมีว่า O-(4-bromo-2-chlorophenyl) O-ethyl S-propyl phosphorothioate มีน้ำหนักโมเลกุล 373.6 g/mol และสามารถละลายน้ำได้ 28 มก./ล. (25°C) World Health Organization (WHO) จัด ความเป็นพิษอยู่ในระดับ II โดยมีค่า LD₅₀ ในหนูเท่ากับ 358 มก./กก. (จินตนา, 2547)

สารกำจัดศัตรูพืชคลอไพริฟอส (O,O-diethyl O-(3,5,6-trichloro-2-pyridinyl) phosphorothioate) เป็นสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่ม ออร์กาโนฟอสเฟต มีอนุพันธ์ที่สำคัญ คือ 3,5,6, trichloro-2-pyridinol (TCP) คลอไพริฟอสเป็นสารที่มีความเป็นพิษปานกลางโดยมี ค่า LD₅₀ (acute for rat) 95-270 มก./กก. ทั้งนี้ประเทศต่างๆ ได้กำหนดค่าของปริมาณสารตกค้างใน ผลผลิตทางการเกษตร (MRL) ไว้ที่ระดับต่างๆ กัน เช่น EU-MRL ปี 2010 กำหนดค่า MRL ของ คลอไพริฟอสในคะน้าเท่ากับ 0.05 พีพีเอ็ม คลอไพริฟอสสามารถสลายตัวได้จากปฏิกิริยาต่างๆ เช่น ไฮโดรลิซิส (Hydrolysis) และโฟโตลิซิส (Photolysis) อัตราการสลายตัวในปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส ขึ้นกับค่าความเป็นกรดเบส (pH) และอุณหภูมิ โดยอัตราการสลายตัวของคลอไพริฟอสจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิและค่าความเป็นกรดต่ำสูงขึ้น (สุจินดา, 2550)

ตารางที่ 4 สมบัติทางเคมีของสารกำจัดศัตรูพืชชนิดโพรพิโนฟอสและกลอไพริฟอส

สมบัติทางเคมี	สารกำจัดศัตรูพืช	
ชื่อสามัญ	โพรพิโนฟอส ^a	กลอไพริฟอส ^b
ชื่อเคมี	O-4-bromo-2-chlorophenyl O-ethyl S-propyl phosphorothioate	O,O-diethyl O-(3,5,6-trichloro-2-pyridinyl) phosphorothioate
สูตรโมเลกุล	C ₁₁ H ₁₅ BrClO ₃ PS	C ₉ H ₁₁ Cl ₃ NO ₃ PS
โครงสร้างโมเลกุล		
กลุ่มสารกำจัดศัตรูพืช	ออร์กาโนฟอสเฟต	ออร์กาโนฟอสเฟต
การออกฤทธิ์	สารกำจัดศัตรูพืชชนิดถูกตัวตาย	สารกำจัดศัตรูพืชชนิดถูกตัวตาย
น้ำหนักโมเลกุล	373.6 g/mol	350.62 g/mol
LD ₅₀ (หนู)	358 mg/kg	95-270 mg/kg
จุดเดือด	110 °C	119-121 °C
การละลายน้ำ (25 °C)	20 mg/L	1.05 mg/L
ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส	อัตราการสลายตัวขึ้นอยู่กับค่า pH pH 5 t ½ = 93 วัน pH 7 t ½ = 14.6 วัน pH 9 t ½ = 5.7 วัน	อัตราการสลายตัวขึ้นอยู่กับค่า pH และอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 25 °C pH 8 t ½ = 23 วัน pH 7 t ½ = 35 วัน pH 5 t ½ = 63 วัน ที่ pH 7.0 อุณหภูมิ 35 °C t ½ = 12 วัน 25 °C t ½ = 35 วัน 15 °C t ½ = 100 วัน

ที่มา: ดัดแปลงจาก ^a US Environmental Protection Agency Office of Pesticide Programs (2006)

^b US Environmental Protection Agency Office of Chemical Safety and Pollution Prevention (2011)

จากรายงานสรุปการนำเข้าวัตถุดิบทางการเกษตร ปี 2554 โดยสำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตรพบว่า ประเทศไทยมีการนำเข้าสารโพรพิโนฟอส เพื่อจำหน่ายในช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคม ปี พ.ศ. 2554 ปริมาณ 110,701.70 กิโลกรัม คิดเป็นเงิน 21,737,619.16 บาท และการนำเข้าสารคลอไพริฟอสปริมาณ 536,800.30 กิโลกรัม คิดเป็นจำนวนเงิน 82,828,185.48 บาท แสดงถึงการใช้สารโพรพิโนฟอสและสารคลอไพริฟอสในการเกษตรของไทยอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะสารคลอไพริฟอสที่ใช้กับพืชทั่วไป แม้ว่าผลกลางกลางของสารคลอไพริฟอสแนะนำการใช้กับพืชชนิดถั่วลิสง ถั่วเหลือง มันเทศ ข้าว ฯลฯ ซึ่งเป็นพืชไร่เท่านั้น เนื่องจากผลิตผลของพืชไร่ส่วนมากมีเปลือกหุ้ม และใช้เวลาเก็บในโรงเก็บนานก่อนการบริโภคจึงปลอดภัยจากการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชชนิดนี้ ซึ่งแตกต่างจากผักและผลไม้ที่ส่วนมากบริโภคได้ทันทีหลังการเก็บเกี่ยว จึงพบรายงานข้อมูลการตรวจพบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในพืชผักผลไม้ ปีงบประมาณ 2546 ถึง 2548 จากศูนย์บริการทางวิชาการแบบเบ็ดเสร็จ กรมวิชาการเกษตร รายงานชนิดของสารกำจัดศัตรูพืชที่ตรวจพบมากที่สุดแก่ เมทนามิโดฟอส ไซเปอร์มีทริน คลอไพริฟอส และไตรอะโซฟอส ชนิดของผักที่ตรวจพบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างเกินค่ามาตรฐานจำนวนมากในปี 2549 ได้แก่ พริก กระเจี๊ยบเขียว ใบกระเพรา และผักอื่นๆ ซึ่งเป็นสินค้าเพื่อการส่งออกทั้งหมด แสดงถึงการนำมาใช้ในพืชกินใบอื่นๆ นอกเหนือจากที่ระบุในฉลากกลาง

3.3 กลุ่มคาร์บาเมต (Carbamate)

เป็นสารกำจัดศัตรูพืชที่ใช้ได้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะแมลงชนิดปากดูด ศัตรูพืชที่อยู่ในดิน เช่น ไส้เดือนฝอย และหอยทาก สารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มนี้มีทั้งที่เป็นพิษร้ายแรงและพิษปานกลาง มีระยะเวลาในการตกค้างสั้น มีความปลอดภัยสูงแก่ผู้บริโภค ถ้ามีการใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกต้องและปลอดภัย ความเป็นพิษของสารกลุ่มนี้คล้ายกันกับสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต แต่ร่างกายของคนที่ได้รับสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มนี้จะกลับคืนสภาวะปกติได้เร็วกว่าการเกิดพิษจากสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ตัวอย่างสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มนี้คือ

- สารกำจัดศัตรูพืชที่มีพิษร้ายแรง: คาร์โบฟูราน และเมโทมิล
- สารกำจัดศัตรูพืชที่มีพิษปานกลาง: เมทไทโอคาร์ และคาร์บาริล

ค่า LD₅₀ ของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคาร์บาเมต แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความเป็นพิษของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคาร์บาเมตที่นิยมใช้ในประเทศไทย

ชื่อสามัญ	ชื่อการค้า	ความเป็นพิษ LD ₅₀ (mg/kg)
ออลดิคาร์บ (Aldicarb)	เทมมิก 10% จี	7
เบนฟูราคาร์บ (Benfuracarb)	ออน โคล	138
เมโทมิล (Methomyl)	แลนเนท นิวตริน	17-24
คาร์บาริล (Carbaryl)	เซพวิน 50 เอส 85	500-850
คาร์โบฟูแรน (Carbofuran)	ฟูราดาน 3 จี และ 5 จี คูราแทร์	11

ที่มา: นันทนา และคณะ (2552)

3.4 กลุ่มไพรีทรัม และสารสังเคราะห์ไพรีทรอยด์ (Pyrethrum and Pyrethroids)

เป็นสารเคมีกำจัดแมลงที่มีในธรรมชาติ สกัดได้จากดอกไม้ตระกูลเบญจมาศบางชนิด มีประสิทธิภาพทำให้แมลงร่วงเร็ว มีพิษต่อสัตว์เลื้อยคลานด้วยนมต่ำ เนื่องจากคุณสมบัติดังกล่าวจึงมีการสังเคราะห์สารเลียนแบบไพรีทรัม เรียกว่าไพรีทรอยด์ (Pyrethroids) เช่น แอลเลทริน (Allerthrin), เตตระเมทริน (Tetramethrin) เป็นต้น สารเคมีกลุ่มนี้เป็นสารเคมีที่ใช้ป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เพราะมีการสลายตัวได้เร็ว สามารถใช้ทดแทนสารเคมีในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต สารกลุ่มไพรีทรอยด์ได้พัฒนาสูตรจากสารธรรมชาติ คือ ไพรีทริน (Pyrethrins) ซึ่งไม่คงสภาพ ไม่ทนต่อแสง และแมลงสร้างความต้านทานต่อสารเคมี ต่อมาได้รับการปรับเปลี่ยน Functional Group เป็นหลายรูปแบบทำให้ได้สารในกลุ่มนี้เพิ่มขึ้นอีกหลายตัว ซึ่งมีความเป็นพิษ การคงสภาพและมีประสิทธิภาพต่างๆ กัน การที่สารกลุ่มไพรีทรอยด์ยังคงมีแนวโน้มที่จะได้รับความนิยมต่อไป เนื่องจากย่อยสลายเร็วในร่างกายคนและสัตว์ (กรมวิชาการเกษตร, 2542) สมบัติที่ดีคือใช้กำจัดแมลงได้ทุกระยะการเจริญเติบโต ออกฤทธิ์เร็ว และคงสภาพการออกฤทธิ์นาน (ทนแสง) ใช้ปริมาณน้อยมาก ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพราะไม่ถูกชะล้าง สลายเร็วโดยจุลินทรีย์และปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ประหยัดค่าใช้จ่าย สามารถผลิตสูตรที่คิดค้นไม่ถูกฝนชะล้าง ผสมรวมกับสารอื่นได้ ไม่ทำให้ผลผลิตเสียคุณภาพ กลิ่นไม่เหม็นรบกวน มีความเป็นพิษต่ำเมื่อเทียบกับออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต แต่ข้อเสียคือจะมีระยะการดื้อยาได้เร็ว และมีราคาแพงกว่าสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มอื่นๆ (พีระศักดิ์ และคณะ, 2549)

สารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มนี้จะเป็นพิษต่อระบบประสาทของแมลง ทำให้แมลงสลบในทันทีและตายในที่สุด แต่มีพิษน้อยต่อคนและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม มีการออกฤทธิ์โดยตรงต่อระบบประสาทในรายที่ได้รับเข้าไปในปริมาณมากจะทำให้เกิดการชักกระตุก และเป็นอัมพาต ทั้งนี้อันตรายอาจเกิดจากตัวทำลาย เช่น น้ำมันก๊าด ซึ่งมีพิษมากกว่าไพรีทรัม ตัวอย่างสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มนี้คือ เพอเมทริน (Permethrin), ไซเปอร์มีทริน และ เฟนวาเลอเรต (Fenvalerate) สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชกลุ่มไพรีทรอยด์สังเคราะห์ (Synthetic pyrethroids) เป็นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่สังเคราะห์ลอกเลียนแบบสารธรรมชาติไพรีทรัม (Pyrethrum) ได้แก่ ไซเปอร์มีทริน (Cypermethrin), ไซยาโลทริน (Cyhalothrin), ไซฟลูทริน (Cyfluthrin) และ เฟนวาเลอเรต (Fenvalerate) ค่า LD₅₀ ของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มไพรีทรอยด์สังเคราะห์แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความเป็นพิษของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชกลุ่มไพรีทรอยด์สังเคราะห์
ที่นิยมใช้ในประเทศไทย

ชื่อสามัญ	ชื่อการค้า	ความเป็นพิษ LD ₅₀ (mg/kg)
ไซเปอร์มีทริน (Cypermethrin)	ริฟลอร์ด ชิมบุช	4,123
ดีคามิทรินหรือเดลตามิทริน (Decamethrin or Deltamethrin)	เดก้า เดซิส	128.5-138.7
เปอร์มีทริน (Permethrin)	แอมบุช พีราทรอยด์	มากกว่า 4,000

ที่มา: พิระศักดิ์ และคณะ (2549)

4. สถานการณ์การปนเปื้อนสารเคมีชนิดสารกำจัดศัตรูพืชและสารกำจัดศัตรูพืชที่พบ ในประเทศไทย

ประเทศที่กำลังพัฒนาส่วนใหญ่รวมทั้งประเทศไทยมีการใช้สารเคมีเพื่อการเกษตรในปริมาณมาก เกษตรกรส่วนใหญ่มีการใช้อย่างขาดความระมัดระวัง และสารเคมีหลายชนิดที่ใช้กันมีพิษร้ายแรงต่อสุขภาพของมนุษย์ สารกำจัดศัตรูพืชที่นิยมใช้กันมากในการเพาะปลูกส่วนใหญ่เป็นสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ซึ่งสารกลุ่มนี้ได้ถูกควบคุมและห้ามใช้ในหลายประเทศ

องค์กรอนามัยโลกได้จัดระดับความเป็นพิษไว้ในชั้น 1 เอ ซึ่งเป็นสารกำจัดศัตรูพืชที่มีพิษร้ายแรงยิ่ง (กรมวิชาการเกษตร, 2546)

สำนักวิจัยพัฒนาการผลิทางการเกษตร (2550) รายงานว่าสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผัก และผลไม้นำเข้าส่วนใหญ่ มาจากสาธารณรัฐประชาชนจีน โดยมีการเก็บตัวอย่าง (เริ่มตั้งแต่เดือน ก.ย. 2543 –มี.ค. 2550) รวมทั้งหมด 3,114 ตัวอย่าง พบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง 33.8% และเกินค่า กำหนดสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างสูงสุด หรือ Maximum Residue Levels (MRL) 3.2% โดยในปี 2543, 2544, 2547, 2548, 2549 และ 2550 พบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างเกินค่า MRL 1.7, 2.1, 2.8, 2.3, 4.8 และ 6.1 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ผักส่วนใหญ่ที่พบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง ได้แก่ ถั่วงอก ถั่วฝักยาว ถั่วลันเตา กวางตุ้ง ในผลไม้ ได้แก่ ส้ม พุทราจีน สาลี่ ลูกแพร์ ชนิดของวัตถุดิบรายส่วนใหญ่ ได้แก่ ไซเปอร์มีทริน คลอไพริฟอส ไตรอะโซฟอส ไชยาโลตริน โพรพิโนฟอส และ เฟนวาเลอเรต นอกจากนี้พบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างของวัตถุดิบรายชนิดที่ 4 ได้แก่ พาราไรออน เมทามิโดฟอส พาราไรออน เมทิล และ เอ็นโดซัลเฟน

นอกจากนี้สำนักวิจัยพัฒนาการผลิทางการเกษตร (พ.ศ. 2540 ถึง 2549) รายงานผลการ วิเคราะห์ผักและผลไม้ตรา Q ของกรมวิชาการเกษตร พบสารกำจัดศัตรูพืชเกินค่า MRL 3.78% ขณะที่ผักและผลไม้ทั่วไปพบ 6.03% และ 6.85% ตามลำดับ ผักและผลไม้ตรา Q ของ กรมวิชาการเกษตร ที่เกินค่า MRL ได้แก่ ถั่วฝักยาว ฟักทอง บวบ ต้นหอม ดอกกุยช่าย พาสเลย์ พริกชี้ฟ้าแดง ใบกระเพรา ถั่วแขก ผักชี มะเขือเทศ พริกแดง มะเขือยาว ถั่วงอก กวางตุ้ง ส้มโอ แดงโม ฝรั่ง สารกำจัดศัตรูพืชที่เกินค่า MRL ได้แก่ ไซเปอร์มีทริน คลอไพริฟอส โพรพิโนฟอส ไตรอะโซฟอส และไดเมโทเอต นอกจากนี้พบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างของ วัตถุดิบรายชนิดที่ 4 ได้แก่ พาราไรออน เมทามิโดฟอส พาราไรออน-เมทิล และ เอ็นโดซัลเฟน ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ประกาศห้ามใช้ (ค่า MRL = 0)

ในปี 2551 หลังจากพบว่าตั้งแต่ปี 2546 ถึง 2551 พบการตกค้างของสารคลอไพริฟอสในผัก และผลไม้มากที่สุดในสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และสารคลอไพริฟอสมีความเป็น พิษสูงทั้งในสัตว์เลือดอุ่นและระบบนิเวศน์ ทำให้เกิดปัญหาในการส่งออก ประกอบกับทางราชการ ได้รณรงค์ให้เกษตรกรเปลี่ยนมาใช้สารกำจัดศัตรูพืชชนิดอื่นทดแทนสารคลอไพริฟอสเพื่อจะ ได้ลด ปัญหาสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างของคลอไพริฟอส โดยการกำหนดให้สารคลอไพริฟอสเป็น

สารกำจัดศัตรูพืชที่ต้องเฝ้าระวัง (Watch list) ในการนำมาใช้ทางการเกษตร เพื่อจะได้ลดปัญหาการปนเปื้อนของสารคลอไพริฟอสในผักและผลไม้ที่ส่งออกด้วย (อุดมลักษณ์, 2552)

เกษตรกรจึงเปลี่ยนมาใช้สาร โพรพิโนฟอสแทนสารคลอไพริฟอสเหตุนี้เองทำให้สารโพรพิโนฟอสถูกตรวจพบในผักส่งออกปี 2551 สูงถึง 9.7% และในผักผลไม้ถูกตรวจพบ 1.17% โดยเฉพาะในพริกส่งออกถูกตรวจพบสูงสุดถึง 5.69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (พบเกินค่า MRLs 130 ตัวอย่าง จากพริก 1,843 ตัวอย่าง) ในขณะที่ค่า Codex MRLs กำหนดไว้ที่ 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในผักคื่นฉ่ายถูกตรวจพบสูงถึง 9.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (พบเกินค่า MRLs 1 ตัวอย่าง จากผักคื่นฉ่าย 1 ตัวอย่าง) ในขณะที่ค่า Codex MRLs กำหนดไว้ที่ 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในใบมะกรูดถูกตรวจพบสูงถึง 0.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (พบเกินค่า MRLs 3 ตัวอย่าง จากใบมะกรูด 311 ตัวอย่าง) ในขณะที่ค่า Codex MRLs กำหนดไว้ที่ 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในตะไคร้ถูกตรวจพบสูงถึง 0.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (พบเกินค่า MRLs 1 ตัวอย่าง จากตะไคร้ 352 ตัวอย่าง) ในขณะที่ค่า Codex MRLs กำหนดไว้ที่ 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อุดมลักษณ์, 2552)

ลัมย์ และคณะ (2552) ศึกษาชนิดและปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในพืชผัก 5 ชนิด ได้แก่ คื่นฉ่าย กวางตุ้ง คื่นฉ่าย ถั่วลันเตาและถั่วแขก ได้สุ่มเก็บตัวอย่างจากทั่วประเทศ รวมทั้งหมด 257 ตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่าคื่นฉ่ายมีโอกาสพบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างมากที่สุดคิดเป็น 78 % ของตัวอย่างทั้งหมด รองลงมาคือ คื่นฉ่าย ถั่วลันเตา กวางตุ้งและถั่วแขก พบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง 66.7% 57.7% 55.2% และ 53.6% ตามลำดับ สารกำจัดศัตรูพืชตกค้างที่พบบ่อยที่สุดในผักใบ คื่นฉ่าย คื่นฉ่าย กวางตุ้ง ได้แก่ ไซเปอร์มีทริน รองลงมาคือ คลอไพริฟอส โพรพิโนฟอส และอีพีเอ็น สำหรับผักวงศ์ถั่ว (ถั่วลันเตา ถั่วแขก) สารกำจัดศัตรูพืชตกค้างที่พบบ่อยที่สุด ได้แก่ ไซเปอร์มีทริน รองลงมาคืออีพีเอ็น นอกจากนี้ผักทั้ง 5 ชนิดยังพบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างเกินค่ามาตรฐานหรือ MRLs ไม่ว่าจะเปรียบเทียบปริมาณกับ Codex MRLs Japan MRLs หรือ EU MRLs คื่นฉ่ายเป็นผักที่มีจำนวนตัวอย่างพบสารตกค้างสูงเกินค่า MRLs มากกว่าผักชนิดอื่นๆ สารที่พบสูงเกินค่า MRLs ได้แก่ คลอไพริฟอส ไซเปอร์มีทริน โพรพิโนฟอส และโพโรโอฟอส รองลงมาคือ กวางตุ้ง และคื่นฉ่าย ชนิดสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างที่พบปริมาณสูงเกินค่า MRLs ได้แก่ ไซเปอร์มีทริน , โพรพิโนฟอส และ อีพีเอ็น สารตกค้างที่พบปริมาณสูงเกินค่า MRLs ในถั่วลันเตาและถั่วแขก ได้แก่ ไซเปอร์มีทริน อีพีเอ็น และคลอไพริฟอส

จินตนา และ พนิดา (2552) จากการสำรวจพริกเพื่อศึกษาชนิดและปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างจำนวน 107 ตัวอย่าง จากทุกภาคของประเทศไทย ตรวจวิเคราะห์สาร 36 ชนิด ระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม 2552 พบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง 62 ตัวอย่าง (58% ของตัวอย่าง) ปริมาณ 0.01–2.82 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพบในภาคเหนือถึง 71% ของตัวอย่าง ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง 0.01–2.82 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ภาคกลาง 60 % ปริมาณ 0.01–1.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ภาคใต้ 56% ปริมาณ 0.01–0.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ภาคตะวันตก 50% ปริมาณ 0.01–1.94 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 50% ปริมาณ 0.01–1.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อนับจำนวนครั้งที่พบสารตกค้างเกินค่ามาตรฐานต่างๆ พบเกินค่า Codex MRL จำนวน 3 ครั้ง เกินค่า EU MRL จำนวน 35 ครั้ง และเกินค่า Japan MRL จำนวน 15 ครั้ง โดยพบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง 14 ชนิด ในตัวอย่างทั้งหมด และใน 1 ตัวอย่าง มีการพบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างรวมถึง 6 ชนิด นอกจากนี้พบว่าไซเปอร์เมทรินเป็นสารที่พบมากที่สุด จำนวน 44 ตัวอย่าง (41%) ปริมาณ 0.01–0.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่างที่ตรวจพบเกินค่ามาตรฐานทั้ง Codex MRL, EU MRL และ Japan MRL จำนวน 2 ตัวอย่าง ตรวจพบการตกค้างของสารคลอไพริฟอสทั้งหมด 41 ตัวอย่าง (38%) ปริมาณ 0.01–1.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบเกินค่ามาตรฐานทั้ง Codex MRL, EU-MRL และ Japan MRL จำนวน 1 ตัวอย่าง และตรวจพบการตกค้างของสารไพรอพิโนฟอสทั้งหมด 15 ตัวอย่าง (14%) ปริมาณ 0.04–1.94 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เกินค่ามาตรฐานเฉพาะ EU-MRL จำนวน 13 ตัวอย่าง นอกจากนี้พบการตกค้างของสารเอ็นโดซัลแฟนจำนวน 1 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 4 ที่ห้ามใช้ในประเทศไทย สำหรับตัวอย่างที่ตรวจพบสารทั้งไซเปอร์เมทริน และคลอไพริฟอส มีมากถึง 36 ตัวอย่าง

แม้วัตถุมีพิษการเกษตรจะเป็นสารอันตรายที่มีผลกระทบต่อเกษตรกรผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม และมีผลตกค้างในผลิตผลทางการเกษตร ส่งผลกระทบต่อผู้บริโภค อย่างไรก็ตามเกษตรกรยังใช้วัตถุมีพิษการเกษตรกันอย่างกว้างขวาง เพื่อเพิ่มผลผลิตและรักษาผลิตผลทางการเกษตรให้นานขึ้น การใช้สารกำจัดศัตรูพืชในปริมาณมากจนก่อให้เกิดสารตกค้างในระดับที่เกินกำหนดและใช้สารกำจัดศัตรูพืชชนิดที่สหภาพยุโรปห้ามใช้ เกิดจากเกษตรกรไทยสามารถหาซื้อสารเคมีที่ใช้กำจัดศัตรูพืชได้ ประกอบกับสารกำจัดศัตรูพืชถูกลักลอบนำเข้าจากประเทศเพื่อนบ้านมาจำหน่ายอย่างผิดกฎหมาย ทำให้มีการใช้สารกำจัดศัตรูพืชกันอย่างแพร่หลาย และไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ส่งผลให้เกิดปัญหาสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักผลไม้สดและเป็นสาเหตุให้สหภาพยุโรปตรวจพบการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่เกินค่ามาตรฐาน MRLs ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่อาจทำให้ไทยสูญเสียการส่งออกผักผลไม้สดไปยังตลาดสหภาพยุโรป

ตารางที่ 7 สารเคมีที่พบในผักผลไม้ส่งออกจากการแจ้งเดือน RASFF ปี 2553

ลำดับ	ชื่อสารเคมี	สินค้า	ประเทศ
1	Procymidone	ลำไย พริก	อิตาลี
2	Carbendazim	ลำไย ลองกอง กล้วย แก้วมังกร	อิตาลี ฟินแลนด์ สวีเดน เยอรมัน เนเธอร์แลนด์
3	Diclotophos	ผักชีไทย มะเขือยาว กล้วย	ฟินแลนด์ เยอรมัน
4	Chlorpyrifos	โหระพา ผักชีไทย ถั่วฝักยาว	ฟินแลนด์ สวีเดน อิตาลี
5	Dichlofos	โหระพา	ฟินแลนด์
6	Cabofuran	กล้วย ถั่วฝักยาว มะเขือยาว	ฟินแลนด์ เนเธอร์แลนด์
7	Mextalaxyl	กล้วย	ฟินแลนด์ เยอรมัน
8	Dimethoate	ถั่วฝักยาว ผักชีไทย มะเขือยาว มะเขือ	อังกฤษ เนเธอร์แลนด์ อิตาลี เยอรมัน
9	Acephate	ถั่วฝักยาว	เนเธอร์แลนด์
10	Profenofos	ถั่วฝักยาว กล้วย	เนเธอร์แลนด์ เยอรมัน
11	Omethoate	มะเขือเปราะ ชมพู พริก ถั่วฝักยาว	เบลเยียม เยอรมัน ฝรั่งเศส
12	Indoxacarb	ถั่วฝักยาว มะเขือ	เบลเยียม อังกฤษ เยอรมัน
13	Ethion	มะเขือเปราะ พริก	เบลเยียม อิตาลี
14	Tetradifon	มะเขือเปราะ	เบลเยียม
15	Acetamiprid	กล้วย	เยอรมัน
16	Diafenthion	กล้วย	เยอรมัน
17	Dimethomorph	กล้วย	เยอรมัน
18	Triazophos	ถั่วฝักยาว	เนเธอร์แลนด์
19	Procymidone	กล้วย	เยอรมัน อิตาลี
20	Tolfenpyrad	กล้วย	เยอรมัน

ที่มา: คัดแปลงจากห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด (2554)

สารกำจัดศัตรูพืชที่ถูกตรวจพบจากพืชผักส่งออกของไทยจากการแจ้งเตือนของ RASFF ในปี 2553 รวบรวมจากรายงานการแจ้งเตือนโดยห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด บันทึกข้อมูลวันที่ 27 สิงหาคม 2553 มีมากถึง 20 ชนิด (ตารางที่ 7) สารเคมีที่พบมากที่สุดถึง 9 ครั้งคือ ไอเมทโทเอท รองลงมาคือ ไดเมทโทเอท และอินดอกซาคาร์บ (Indoxacarb) 6 ครั้ง ส่วนคาร์โบฟูรานและไดโครโทฟอส ซึ่งมีพิษร้ายแรงถูกตรวจพบมากถึง 5 ครั้ง และในปี 2552 มีการตรวจพบสารอีพีเอ็น ซึ่งเป็นสารที่ไม่เคยมีการอนุญาตให้จดทะเบียนในสหภาพยุโรปเลยถึง 7 ครั้ง จากข้อมูลตัวเลขการแจ้งเตือนผักและผลไม้ป้อนเตือนสารกำจัดศัตรูพืชของสหภาพยุโรปพบว่า สินค้าจากประเทศไทยมีจำนวนการแจ้งเตือนสูงที่สุดในโลก ทั้งๆ ที่ไทยมีปริมาณการส่งออกที่น้อยมาก (นิรนาม, 2554)

5. กระบวนการล้างเพื่อสลายหรือลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผัก

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าความนิยมนำประทานผักและผลไม้ทั้งสดและผลิตภัณฑ์กันมากขึ้น เนื่องจากผู้บริโภคตระหนักถึงคุณค่าทางโภชนาการสูงและประโยชน์ต่อสุขภาพ แต่นอกจากประโยชน์ที่ได้รับจากการรับประทานผักและผลไม้กลับพบว่า มีอันตรายที่แอบแฝงมากับประโยชน์ดังกล่าว คือการได้รับสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างจำพวกสารกำจัดศัตรูพืชที่มักตรวจพบการตกค้างปริมาณที่เกินค่ามาตรฐานกำหนด ซึ่งการแก้ปัญหาสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผลิตภัณฑ์เกษตรกรรมและในอาหารที่วางจำหน่ายในท้องตลาด ได้มีหน่วยงานของราชการหลายแห่งตระหนักถึงความสำคัญและได้พยายามหามาตรการต่างๆ เพื่อลดอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้กับผู้บริโภค เช่น กระทรวงสาธารณสุขได้เฝ้าระวังและติดตามผลสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในอาหาร กรมวิชาการเกษตรได้ตรวจสอบเฝ้าระวังสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผลิตภัณฑ์ทางเกษตรกรรมก่อนออกสู่ท้องตลาด ทางสำนักอนามัยของกรุงเทพมหานครก็ได้พยายามป้องกันไม่ให้ผักผลไม้ที่มีสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างเกินกำหนดจำหน่ายในตลาดสดภายในกรุงเทพมหานครเช่นกัน แต่ทั้งหมดนี้เป็นการแก้ปัญหาที่ปลายเหตุ คือผลผลิตได้ผ่านขั้นตอนของการผลิต ดังนั้นการวิจัยเกี่ยวกับวิธีการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักและผลไม้ก่อนบริโภค เพื่อให้ผู้บริโภคมั่นใจในความปลอดภัยเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ผู้บริโภคหรืออุตสาหกรรมจะช่วยเพิ่มความปลอดภัยของอาหารได้ รายงานหลายฉบับได้เสนอแนะวิธีการล้างเพื่อลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักและผลไม้ ซึ่งวิธีการล้างมีหลายรูปแบบแตกต่างกันออกไป รวบรวมได้ดังนี้

จินตนา (2542) ได้ศึกษาอันตรายจากสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผลไม้ ได้สรุปชนิดสารกำจัดศัตรูพืชที่พบในผลไม้ชนิดต่างๆ และให้คำแนะนำว่าการล้างน้ำจะช่วยลดสารกำจัดศัตรูพืชได้ประมาณ 50% โดยเฉพาะการบริโภคส้มเขียวหวานควรล้างน้ำทำความสะอาดเปลือกส้มก่อนรับประทานหรือคั้นน้ำ เนื่องจากพบสารพาราไธออนเมทิล ในเปลือกส้มมากกว่าในเนื้อส้ม แต่ถ้าสารตกค้างเป็นประเภทดูดซึมอย่างเช่น โมโนโครโทฟอส อาจลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชไม่ได้ ทั้งนี้ต้องควบคุมเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวผลิตผลหลังการใช้สารกำจัดศัตรูพืชเพื่อลดปริมาณสารตกค้างที่จะมีในผลไม้โดยเฉพาะส้ม

ทวีพร และคณะ (2548) ทำการศึกษาผลของการใช้สารเคมีบางชนิด เพื่อใช้ล้างผลิตผลเพื่อลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง โดยนำผลส้มที่ได้รับสารเมทโทมิล สารกลุ่มคาร์บาเมต และไดเมทโทเอท สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตนำไปแช่สารผสมสารเคมีที่ปลอดภัย ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมไบคาร์บอเนต โพแทสเซียมไฮโดรฟอสเฟต โซเดียมซิเตรท กรดอะซิติก และ กรดอโทฟอสฟอริก เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปผ่านน้ำไหลเพื่อล้างอีก 30 วินาที ผึ่งให้แห้งแล้วนำไปวิเคราะห์สารตกค้างบนเปลือกผลส้ม โดยวิธีชุดทดสอบจีที (GT Pesticide Test Kit) พบว่าการแช่ผลส้มในผลิตภัณฑ์ล้างพืชผลที่มีส่วนผสมของโพแทสเซียมไฮโดรฟอสเฟต 8 กรัม/ลิตร + โซเดียมคลอไรด์ 8 กรัม/ลิตร + กรดอโทฟอสฟอริก 8 กรัม/ลิตร สามารถลดปริมาณสารเมทโทมิลและไดเมทโทเอทตกค้างได้ดีที่สุด โดยสามารถลดปริมาณสารทั้งสองได้ 46.1% และ 46.9% ตามลำดับ รองลงมา คือ การแช่ในสารโพแทสเซียมไฮโดรฟอสเฟต 8 กรัม/ลิตร โซเดียมไบคาร์บอเนต 10 กรัม/ลิตร + กรดอโทฟอสฟอริก 8 กรัม/ลิตร สามารถลดปริมาณสารเมทโทมิลและไดเมทโทเอทตกค้างได้ 42.0% และ 37.8%

นิตยา และ รัตนา (2538) ศึกษาการลดปริมาณสารไดคลอเรน ซึ่งเป็นสารกำจัดศัตรูพืชป้องกันกำจัดเชื้อราที่ตกค้างอยู่บนผลองุ่น โดยให้สารไดคลอเรนเหลือตกค้างบนผลองุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 5 พีพีเอ็ม พบว่าการลอกเปลือก การล้างด้วยน้ำผสมเหล้าโรง 1 ช้อนโต๊ะ การล้างด้วยน้ำผสมด่างทับทิม 20-30 เกลิต และการล้างด้วยน้ำชาข้าว ให้ผลดีที่สุดสามารถลดสารไดคลอเรนได้ใกล้เคียงกัน โดยสามารถลดปริมาณได้ 90.3% 86.7% 86.6% และ 86.5% ตามลำดับ การล้างด้วยน้ำประปาทำล้างไหลให้ผลต่ำสุด คือสามารถลดปริมาณได้เพียง 63.5%

อนึ่งค่าปริมาณสารสูงสุดของสารไดคลอเรนตกค้างในองุ่นที่ CODEX กำหนดไว้เท่ากับ 10 พีพีเอ็ม จากการทดลององุ่นที่ผ่านการล้างด้วยกรรมวิธีต่างๆ เหลือสารตกค้างอยู่ในระหว่าง 0.48 ถึง 1.8 พีพีเอ็ม แสดงว่าการล้างองุ่นช่วยลดปริมาณสารตกค้างและมีสารไดคลอเรนเหลืออยู่ในปริมาณที่ต่ำกว่าค่ากำหนดจึงปลอดภัยต่อผู้บริโภค (นิตยา และ รัตนา, 2538)

จากการศึกษาการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชในผักและผลไม้โดยกองวัดภูมิพิษการเกษตร กรมวิชาการเกษตร ปี 2543 สำหรับการล้างตัวอย่างถั่วฝักยาวเพื่อลดสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างชนิด โมโนคลอโดฟอส พบว่าการต้มในน้ำเดือด 3 นาที เป็นวิธีการที่ดีที่สุดสามารถลดได้ 85% การล้าง น้ำผสมน้ำยาล้างเอ 2 เป็นวิธีการที่ได้ผลปานกลาง สามารถลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างได้ 55% การล้างน้ำผสมสารชนิดต่างๆเป็นวิธีการที่ได้ผลในระดับน้อย ได้แก่ การล้างด้วยน้ำผสมเกลือ ผงฟู ด่างทับทิม น้ำยาเอ 5 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารส้มปูน และการล้างด้วยน้ำที่เดิมด่างทับทิม ผสมน้ำส้มสายชู และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งสามารถลดได้ 38-26% สำหรับวิธีการที่ได้ผลในระดับน้อยมาก ได้แก่ การล้างด้วยน้ำปูนใส การล้างด้วยน้ำผสมมะนาว เหล้าโรง น้ำส้มสายชู น้ำยา เอ็น 1 และล้างด้วยน้ำข้าวข้าวสามารถลดได้ตั้งแต่ 24-10% สำหรับการล้างด้วยน้ำไหลและการแช่ น้ำพบว่า เป็นวิธีการที่สามารถลดได้น้อยที่สุด ซึ่งสามารถลดได้เพียง 6% และ 4% ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2543)

สำหรับในตัวอย่างมะเขือเทศที่ศึกษาการล้างเพื่อลดปริมาณสารเมทามิโดฟอส พบว่า กรรมวิธีต่างๆ ที่ใช้สามารถลดปริมาณสารเมทามิโดฟอสได้ดังนี้ คือ การต้มในน้ำเดือดนาน 3 นาที เป็นวิธีการที่ดีที่สุด สามารถลดได้ถึง 90% วิธีการที่ได้ผลในระดับปานกลาง ได้แก่ การล้าง ด้วยน้ำผสมน้ำยาต่างๆ ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ น้ำยาเอ็น 1 เหล้าโรง น้ำยาเอ 4 และการล้าง ด้วยน้ำไหลลดได้ตั้งแต่ 50%-40% ส่วนวิธีอื่นๆ สามารถลดปริมาณสารเมทามิโดฟอสได้น้อย วิธีการที่ได้ผลน้อยที่สุด คือการล้างด้วยน้ำเกลือ สามารถลดได้เพียง 9% เท่านั้น

สำหรับการล้างเพื่อลดปริมาณสารเมทามิโดฟอสตกค้างในผักกาดขาวปลี โดยการฉีดพ่น สารเมทามิโดฟอสในแปลงผักกาดขาวปลีในอัตราแนะนำ ล้างโดยใช้น้ำ 4 ลิตร ผสมสารต่างๆ นาน 10 นาที ตามด้วยการล้างน้ำอีก 4 ลิตร นาน 2 นาที ผลการทดลองพบว่าวิธีการล้างโดยการแช่ น้ำผสมด่างทับทิม+น้ำส้มสายชู+ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ลดสารเมทามิโดฟอสได้ 48.4% วิธีการที่ลดได้รองลงมาคือวิธีการแช่น้ำผสมน้ำมะนาว

การล้างในทำนองเดียวกันในการทดลองล้างผักทั้ง 3 ชนิดคือ ถั่วฝักยาว มะเขือเทศ และ ผักกาดขาวปลี โดยกองวัดภูมิพิษการเกษตร กรมวิชาการเกษตร ปี 2543 สรุปได้ว่า วิธีการล้าง สามารถลดปริมาณโมโนโคร โดฟอสและเมทนามิโดฟอส ซึ่งเป็นสารประเภทดูดซึมได้ ผลการล้าง สามารถลดปริมาณสารตกค้างลงได้ประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณที่ตรวจพบก่อนการล้างเท่านั้น คือ สามารถลดได้ระหว่าง 51%-48%

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการล้างให้อยู่ในเกณฑ์ที่เข้าใจได้ง่ายและเป็นมาตรฐานเดียวกัน ได้แบ่งเกณฑ์ของประสิทธิภาพออกเป็น 7 ระดับ แต่ละระดับห่างกันช่วงละ 15% โดยเริ่มจาก 100% แล้วลดลงไปตามลำดับ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 เกณฑ์การจัดระดับประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพ	% การลดลงของสารตกค้าง
ดีที่สุด	85 ขึ้นไป
ดีมาก	70-84
ดี	55-69
ปานกลาง	40-54
น้อย	25-39
น้อยมาก	10-24
น้อยที่สุด	น้อยกว่า 10

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2543)

ข้อมูลจากกองวัดภูมิพิษการเกษตร กรมวิชาการเกษตร ปี 2543 ได้สรุปและเผยแพร่แนะนำวิธีล้างผักและผลไม้ที่มีสารตกค้างออร์กาโนฟอสเฟต ซึ่งสารกำจัดศัตรูพืชประเภทนี้ส่วนใหญ่จัดอยู่ในระดับร้ายแรงปานกลางและร้ายแรงมาก จึงได้แนะนำวิธีการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างดังตารางที่ 9 และสามารถสรุปประสิทธิภาพของวิธีการล้างแบบต่างๆ ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 9 ประสิทธิภาพของวิธีล้างผักและผลไม้ที่มีสารออร์กาโนฟอสเฟตตกค้าง

ระดับประสิทธิภาพ	วิธีการ	% ที่ลดได้
ดีที่สุด	ปอกเปลือก	92-63
	ต้มในน้ำเดือดนาน 3 นาที	85-90
ดีมาก	ล้างทับทิม+น้ำส้มสายชู+ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	81-72
	น้ำขาวข้าว น้ำยาเ็น 1	
ดี	แช่น้ำผงบี 1 น้ำส้มสายชู ผงฟู น้ำไหล สารส้ม เหล้าโรง	67-55
	น้ำคั้นใบรางจืด น้ำมะนาว น้ำยาเอ 5 น้ำยาเอ 6 น้ำยาเอ 2	
ปานกลาง	ล้างทับทิม ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เกลือ น้ำยาเอ3	52-40
	น้ำยาเอ1 น้ำยาเอ4	
น้อย	น้ำปูนใส น้ำยาเ็น-2	38-36

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2543)

ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพการล้างเพื่อลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักผลไม้

กรรมวิธี	สภาพ กรด-เบส	% ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ลดลง							
		สารกำจัดเชื้อรา				สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต			
		ไดคลอแรน ในองุ่น ^a		โมโนโครโทฟอส ในถั่วฝักยาว ^b		ไดคลอแรน ในองุ่น ^c		โมโนโครโทฟอส ในถั่วฝักยาว ^d	
		% การ ลด	ระดับ ประสิทธิภาพ	% การ ลด	ระดับ ประสิทธิภาพ	% การ ลด	ระดับ ประสิทธิภาพ	% การ ลด	ระดับ ประสิทธิภาพ
1.น้ำประปาไหล	กลาง	63.5	ดี	6	น้อยที่สุด	40	ปานกลาง	20	น้อยมาก
2.แช่น้ำ	กลาง	78	ดีมาก	4	น้อยที่สุด	10	น้อยมาก	26	น้อย
3.น้ำส้มสายชู	กรด	83.1	ดีมาก	15	น้อยมาก	24	น้อยมาก	32	น้อย
4.น้ำมะนาว	กรด	74.2	ดีมาก	23	น้อยมาก	16	น้อยมาก	47	ปานกลาง
5.น้ำปูนใส	เบส	75.9	ดีมาก	24	น้อยมาก	35	น้อย	37	น้อย
6.น้ำชาข้าว	กลาง	86.5	ดีมาก	10	น้อยมาก	10	น้อยมาก	37	น้อย
7.เหล้าโรง	เบส	86.7	ดีมาก	22	น้อยมาก	42	ปานกลาง	25	น้อย
8.น้ำใบรางจืด	กลาง	-	-	-	-	-	-	36	น้อย
9.ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	เบส	-	-	32	น้อย	50	ปานกลาง	-	-
10.โพแทสเซียมเปอร์แมงกา เนต (ต่างทับทิม)	เบส	86.6	ดีมาก	35	น้อย	32	น้อย	44	ปานกลาง
11.ต่างทับทิม+น้ำส้มสายชู+ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	เบส	78.5	ดีมาก	29	น้อย	-	-	48	ปานกลาง

ตารางที่ 10 (ต่อ)

กรรมวิธี	สภาพ กรด-เบส	% ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ลดลง							
		สารกำจัดเชื้อรา				สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต			
		ไดคลอแรน ในองุ่น ^a		โมโนโครโทฟอส ในถั่วฝักยาว ^b		ไดคลอแรน ในองุ่น ^c		โมโนโครโทฟอส ในถั่วฝักยาว ^d	
		% การ ลด	ระดับ ประสิทธิภาพ	% การ ลด	ระดับ ประสิทธิภาพ	% การ ลด	ระดับ ประสิทธิภาพ	% การ ลด	ระดับ ประสิทธิภาพ
12. โซเดียมคลอไรด์ (เกลือแกง)	เบส	75.2	ดีมาก	38	น้อย	9	น้อยที่สุด	27	น้อย
13. โซเดียมไบคาร์บอเนต (ผงฟู)	เบส	78.9	ดีมาก	37	น้อย	20	น้อยมาก	21	น้อย
14. สารส้มปน	กรด	-	-	26	น้อย	18	น้อยมาก	35	น้อย
15. น้ำยาเอ็น 1	ไม่ระบุ	79.5	ดีมาก	13	น้อยมาก	42	ปานกลาง	40	ปานกลาง
16. น้ำยาเอ็น 2	ไม่ระบุ	-	-	-	-	-	-	36	น้อย
17. น้ำยาเอ 3	ไม่ระบุ	-	-	-	-	28	น้อย	44	ปานกลาง
18. น้ำยาเอ 5	ไม่ระบุ	-	-	-	-	10	น้อยมาก	29	น้อย
19. น้ำยาเอ 2	ไม่ระบุ	-	-	-	-	10	น้อยมาก	32	น้อย

ตารางที่ 10 (ต่อ)

กรรมวิธี	สภาพ กรด-เบส	% ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ลดลง							
		สารกำจัดเชื้อรา				สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต			
		ไดคลอแรน		โมโนโครโทฟอส		ไดคลอแรน		โมโนโครโทฟอส	
		ในองุ่น ^a		ในถั่วฝักยาว ^b		ในองุ่น ^c		ในถั่วฝักยาว ^d	
		% การ ลด	ระดับ ประสิทธิภาพ	% การ ลด	ระดับ ประสิทธิภาพ	% การ ลด	ระดับ ประสิทธิภาพ	% การ ลด	ระดับ ประสิทธิภาพ
20.น้ำยาเอ 1	ไม่ระบุ	-	-	-	-	22	น้อยมาก	-	-
21.น้ำยาเอ 6	ไม่ระบุ	-	-	-	-	-	-	-	-
22.น้ำยาเอ 4	ไม่ระบุ	-	-	-	-	40	ปานกลาง	-	-
23.ผงบี 1	ไม่ระบุ	77.9	ดีมาก	-	-	10	น้อยมาก	-	-
24.ต้มในน้ำเดือด 3 นาที	-	-	85	ดีที่สุด	90	ดีที่สุด	-	-	-
25.ปอกเปลือก		90.3	ดีที่สุด	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ ถ้าง 2 ครั้ง ครั้งแรก ถ้างด้วยน้ำ 4 ลิตร ผสมสารต่างๆ ดังตาราง นาน 10 นาที ครั้งที่ 2 ถ้างด้วยน้ำเปล่า 4 ลิตร นาน 2 นาที , ^aอ้างอิงจาก นิตยา และ รัตนา (2538) , ^{b,c} และ ^d อ้างอิงจากกองวัตถุมีพิษการเกษตร กรมวิชาการเกษตร (2543)

6. การใช้สารออกซิไดส์ซึ่งในการลดสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง

จากข้อมูลการวิจัยต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการล้างเป็นกรรมวิธีง่ายที่สุดที่จะช่วยสลายหรือกำจัดสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างที่ติดมากับผักหรือผลไม้ได้ แต่การล้างด้วยน้ำเปล่าอาจไม่เพียงพอที่จะกำจัดหรือลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างออกไปได้มากพอ ดังนั้นการเติมสารเคมีต่างๆ ที่ปลอดภัยเพื่อช่วยให้ประสิทธิภาพของการล้างดีขึ้น จึงเป็นวัตถุประสงค์ของการทดลองนี้ โดยการนำเอาสารชนิดออกซิไดส์ซึ่งซึ่งนับเป็นสารใหม่ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในขณะนี้มาใช้ในการทดลอง เนื่องจากสารออกซิไดส์ซึ่งซึ่งมีประสิทธิภาพในการสลายและทำลายสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ได้ดี สลายตัวง่ายและรวดเร็ว ไม่เหลือตกค้างในตัวอย่าง ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Hwang *et al.*, 2001) สารชนิดออกซิไดส์ซึ่งซึ่งที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้มี 3 ชนิดด้วยกัน คือ น้ำอิเล็กโทรไลซ์ชนิดกรด สารละลายคลอรีนไดออกไซด์และน้ำโอโซน ซึ่งคุณสมบัติและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อแสดงถึงประสิทธิภาพในการสลายหรือลดสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผัก ผลไม้ มีดังนี้

6.1 น้ำอิเล็กโทรไลซ์ชนิดกรด (Electrolyzed Oxidizing Water)

น้ำอิเล็กโทรไลซ์ชนิดกรดหรือน้ำ EO ชนิดกรด เป็นสารออกซิไดส์ซึ่งซึ่งอย่างแรง ตัวใหม่ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรค ใช้ในการบำบัดกลิ่นและทำความสะอาดในโรงพยาบาล ปัจจุบันได้ทดลองมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมภาคการเกษตรเพื่อลดการตกค้างของสารกลุ่มยากำจัดศัตรูพืช เนื่องจากกรรมวิธีในการผลิตน้ำอิเล็กโทรไลซ์ชนิดกรด คือใช้โซเดียมคลอไรด์ เป็นวัตถุดิบในการผลิต ร่วมกับการนำเอาตัวแยกขั้วทางไฟฟ้ามาใช้ ซึ่งสามารถผลิตน้ำอิเล็กโทรไลซ์ออกมาได้สองแบบด้วยกัน คือ แบบแรกผลิตจากขั้วแคโทด (ขั้วบวก) เป็นน้ำอิเล็กโทรไลซ์ชนิดที่เป็นด่าง ที่มีพีเอชเท่ากับ 11.6 ค่า Oxidation-Reduction- Potential เท่ากับ -860 mV และยังมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายปนอยู่ ส่วนขั้วแอโนด (ขั้วลบ) นั้นผลิตน้ำอิเล็กโทรไลซ์ชนิดที่เป็นกรด ที่มีพีเอชเท่ากับ 2.3 ค่า Oxidation-Reduction- Potential เท่ากับ 1170 mV และมีกรดไฮโปคลอรัสละลายปนอยู่ (Hao *et al.*, 2011)

เป็นที่ทราบกันว่ากรดไฮโปคลอรัสเป็นกรดที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร น้ำ EO ชนิดกรดส่วนใหญ่ใช้ในช่วงของพีเอช 2.4-2.7 ค่า Oxidation-Reduction Potential (ORP) เท่ากับ 1150 mV (Kim *et al.*, 2000) น้ำอิเล็กโทรไลซ์ชนิดกรดที่ได้จะมีประสิทธิภาพสูงในการ

กำจัดเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคและออกซิไดส์สารเคมีอันตรายต่างๆ เช่น สารพิษ และสารกำจัดศัตรูพืชที่พบตกค้างในผักและผลไม้ เนื่องจากมีความเป็นกรดและมีค่า Oxidation-Reduction Potential (ORP) ในระดับทำลายสูง ส่วนน้ำด่างอิเล็กโทรไลซ์จะมีคุณสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิว ช่วยให้น้ำกรดอิเล็กโทรไลซ์มีประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อสูงขึ้น สมบัติของน้ำอิเล็กโทรไลซ์ตารางที่ 11

ตารางที่ 11 สมบัติของน้ำอิเล็กโทรไลซ์

น้ำอิเล็กโทรไลซ์	ชนิดอัลคาไลน์	ชนิดกรด
ค่าความเป็นกรด-เบส	9.0-11.6	2.3-2.7
ค่า ORP (มิลลิโวลต์)	-795	1,150
Free chlorine (ppm)	-	50
สมบัติของน้ำ	Reducing water	Oxidizing water
สารสำคัญในการออกฤทธิ์	โซเดียมไฮดรอกไซด์	กรดไฮโปคลอรัส

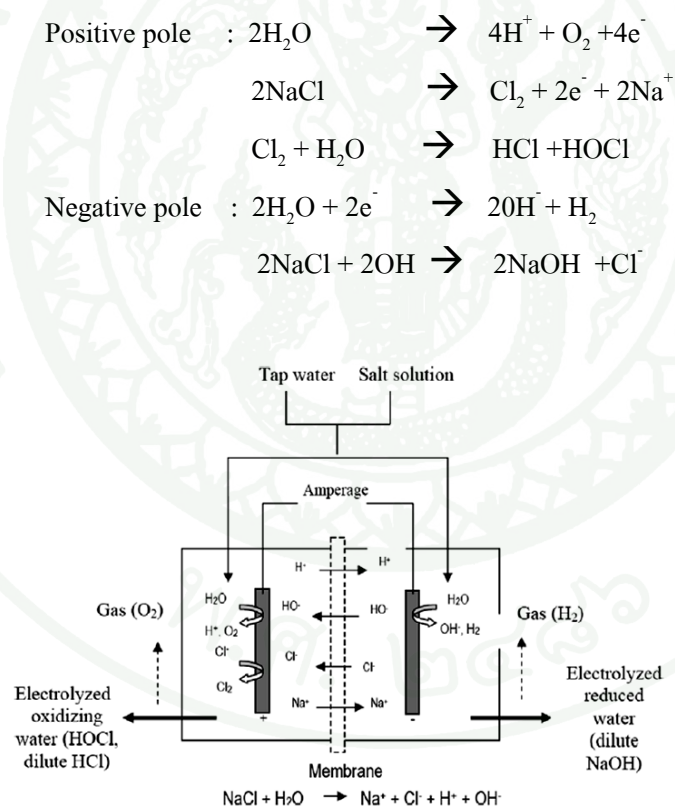
ที่มา: คัดแปลงจาก เบญจวรรณ (2551)

6.1.1 สมบัติทางเคมี

น้ำอิเล็กโทรไลซ์ได้รับการพัฒนาครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่น มีรายงานว่าน้ำอิเล็กโทรไลซ์ทำลายแบคทีเรียชนิดก่อโรคส่วนใหญ่ที่นำมาศึกษาได้ดีมาก น้ำอิเล็กโทรไลซ์ผลิตได้จากการปล่อยสารละลายเกลือที่เจือจางแล้วให้ไหลผ่านเซลล์อิเล็กโทรไลซ์ ซึ่งภายในประกอบไปด้วยขั้วแอโนดและแคโทดที่กั้นระหว่างกันไว้ด้วยเยื่อเมมเบรน เมื่อต่อกระแสไฟฟ้าเข้ากับเซลล์อิเล็กโทรไลต์นี้ ไอออนที่มีประจุลบอย่างคลอไรด์และไฮดรอกไซด์ ในสารละลายเกลือเจือจางจะเคลื่อนมายังขั้วแอโนดเพื่อให้อิเล็กตรอนและกลายเป็นก๊าซออกซิเจน ก๊าซคลอรีนไฮโปคลอไรต์ ไอออน กรดไฮโปคลอรัสและกรดไฮโดรคลอริก ในขณะที่ไอออนที่มีประจุบวกอย่างไฮโดรเจน ไอออนและโซเดียมไอออน จะเคลื่อนไปยังขั้วแคโทดเพื่อรับอิเล็กตรอนและกลายเป็นก๊าซไฮโดรเจนและโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Hsu, 2005)

ในการทำงานของเครื่องแต่ละครั้งจะมีการผลิตน้ำอิเล็กโทรไลซ์ออกมา 2 แบบ ในระยะเวลาใกล้เคียงกันชนิดแรก คือ น้ำอิเล็กโทรไลซ์ที่เรียกว่า Electrolyzed Oxidized (EO) Water

ซึ่งจะมี pH ต่ำ (2.3–2.7) ศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันสูง (high oxidation–reduction potential; ORP, >1000 mV) มีค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงและมีคลอรีนอิสระ ซึ่งจะถูกผลิตขึ้นที่ขั้วแอโนด (ความเข้มข้นของคลอรีนอิสระขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตน้ำอิเล็กโทรไลซ์) ในขณะเดียวกันก็มีการผลิตน้ำอิเล็กโทรไลซ์ชนิดที่สองซึ่งเรียกว่า Electrolyzed Reduced (ER) Water เกิดขึ้นที่ขั้วแคโทด ซึ่งมี pH สูง (10.0–11.5) มีไฮโดรเจนที่ละลายน้ำสูง (high dissolved hydrogen) และมีศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันต่ำ (low ORP; -800 ถึง -900 mV) ER water ซึ่งเป็นน้ำที่มีความสามารถในการรีดิวซ์สูง สามารถนำมาใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรกและคราบไขมันจากสิ่งของต่างๆ เช่น เบียงและอุปกรณ์เครื่องใช้ในครัวอื่นๆ (Hsu, 2005) บางครั้งอาจเรียกชนิดที่ 1 และ 2 นี้ว่าน้ำอิเล็กโทรไลซ์ชนิดกรด และน้ำอิเล็กโทรไลซ์ชนิดเบสตามลำดับ ซึ่งหลักการผลิตน้ำอิเล็กโทรไลซ์แสดงได้ดังภาพที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3 การทำงานภายในเครื่องผลิตน้ำอิเล็กโทรไลซ์

ที่มา: ดัดแปลงจาก Huang *et al.* (2008)

6.1.2 การล้างสารกำจัดศัตรูพืชปนเปื้อนออกจากผักผลไม้ด้วยน้ำอิเล็กโทรไลต์

ชนิดกรด

สำหรับข้อมูลการประยุกต์ใช้น้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดในการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชในผักผลไม้ มีดังนี้

Hao *et al.* (2011) ศึกษาการสลายตัวของสารกำจัดศัตรูพืช 3 ชนิด คือ อะซีเฟต โอเมโทตและไดเมทิลคลอโรไวนิลฟอสเฟต หรือ DDVP (สารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต) ด้วยน้ำอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งสารกำจัดศัตรูพืชดังกล่าวเป็นชนิดที่นิยมใช้กันทั่วไปเพื่อควบคุมแมลง และมักพบตกค้างปริมาณสูงในผักสด จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าน้ำอิเล็กโทรไลต์ออกซิไดส์ซิงค์ หรือน้ำ EO (น้ำ EO ชนิดกรด พีเอช 2.3 ปริมาณคลอรีนอิสระ เท่ากับ 70 พีพีเอ็ม ค่า ORP เท่ากับ 1170 mV) และน้ำอิเล็กโทรไลต์รีดิวซิงค์ หรือน้ำ ER (น้ำ EO ชนิดเบส พีเอช 11.6 ปริมาณ ค่า ORP เท่ากับ -860 mV) ลดสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักสดได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับผักโขม (Spinach) หลังล้างด้วยน้ำอิเล็กโทรไลต์ นาน 30 นาที ลดสารกำจัดศัตรูพืชชนิดอะซีเฟต ได้ 74% (EO) และ 86% (ER) ลดสารกำจัดศัตรูพืชชนิดโอเมโทต ได้ 62% (EO) และ 75% (ER) และลดสารกำจัดศัตรูพืชชนิด DDVP ได้ 59% (EO) และ 46% (ER) ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าผลการล้างผักสดในน้ำอิเล็กโทรไลต์สามารถลดการตกค้างของยาฆ่าแมลงได้ดีกว่าการล้างด้วยน้ำประปาและน้ำยาทำความสะอาดผัก (ลดได้มากกว่า 25%) ในส่วนของผักโขม กะหล่ำปลี และกระเทียมต้น (Leek) ที่มีสารกำจัดศัตรูพืชชนิด DDVP ตกค้างพบว่าประสิทธิภาพในการสลายสารกำจัดศัตรูพืชให้ผลในการทำงานเดียวกันกับในผักโขม และพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการล้างผักทำให้ระดับปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างลดลง ยิ่งกว่านั้นพบว่าการล้างผักด้วยน้ำอิเล็กโทรไลต์คือน้ำ EO หรือ น้ำ ER ไม่มีผลต่อปริมาณวิตามินซีและคุณภาพของผัก

พวงแก้ว และ ธวัชวินทร์ (2550) ศึกษาวิธีการล้างผักและผลไม้ด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง โดยล้างผัก 4 ชนิด คือ ผักชีไทย ผักคะน้า พริกชี้ฟ้า และองุ่นเขียวราชบุรี โดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูงร่วมกับสารทำความสะอาด 3 ชนิด คือ โซเดียมไฮคาร์บอเนต (1 ช้อนชาต่อน้ำ 10 ลิตร) น้ำส้มสายชู (90 มล. ต่อน้ำ 2 ลิตร) และน้ำยาล้างจานแอมเวย์ (0.4 มล. ต่อน้ำ 2 ลิตร) ล้างนาน 7 นาที จากนั้นล้างซ้ำอีกครั้งด้วยน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรด นาน 3 นาที ตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการล้าง ด้วยชุดตรวจสอบ GT เพื่อดูค่า

% การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส พบว่าผักชีไทยและคะน้าที่ล้างด้วยน้ำส้มสายชูร่วมกับแช่ด้วยด้วยน้ำอเล็กโทรไลซ์ชนิดกรดมีสารเคมีตกค้างน้อยที่สุด สำหรับองุ่นเขียวราชบุรี และพริกชี้ฟ้าพบว่าตัวอย่างที่ล้างด้วยน้ำยาแอมเวย์ร่วมกับแช่ด้วยน้ำอเล็กโทรไลซ์ชนิดกรดมีสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างน้อยที่สุด คือเท่ากับ 0 22.86 32.15 และ 6.45 พีพีเอ็ม

6.2 คลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine dioxide, ClO_2)

6.2.1 สมบัติทางเคมี

คลอรีนไดออกไซด์ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางเป็นสารฟอกขาวในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษตั้งแต่ปี 1944 และในปัจจุบันยุโรปและอเมริกาใช้คลอรีนไดออกไซด์ในการกำจัดเชื้อโรคอย่างกว้างขวาง คลอรีนไดออกไซด์ไม่เสถียรเมื่ออยู่ในสถานะก๊าซ มีจุดเดือดที่ 11 องศาเซลเซียส มีกลิ่นฉุนคล้ายกลิ่นคลอรีน คลอรีนไดออกไซด์เหลวเกิดระเบิดได้เมื่อมีอุณหภูมิมากกว่า 40 องศาเซลเซียสและเมื่อมีความเข้มข้นมากกว่า 11% ในอากาศ จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมและบำรุงรักษาเครื่องมือผลิตก๊าซอย่างเข้มงวด เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายสีเหลืองค่อนข้างเสถียรเมื่อเป็นสารละลาย ลักษณะทางโครงสร้างพื้นฐานของคลอรีนไดออกไซด์แสดงในภาพที่ 4 และเปรียบเทียบค่า % Available Chlorine ของสารประกอบคลอรีนชนิดต่างๆ สรุปในตารางที่ 12 ตามลำดับ



ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของคลอรีนไดออกไซด์

ที่มา: ดัดแปลงจาก Anonymous (2010a)

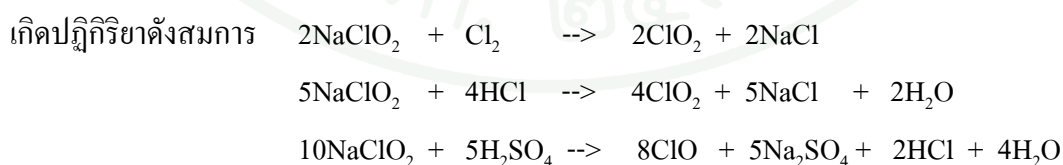
ตารางที่ 12 เปรียบเทียบค่า % Available Chlorine ของสารประกอบคลอรีนชนิดต่างๆ

สารประกอบคลอรีน	% Available Chlorine
Chlorine, Cl ₂	100 (โดยคำจำกัดความ)
Bleaching powder	35-37
Calcium Hypochlorite, Ca(OCl) ₂	99.2
Sodium Hypochlorite, NaOCl	95.2
Chlorine Dioxide, ClO ₂	263.0
Trichloroisocyanuric Acid	91.5
Dichloroisocyanuric Acid	71.7
Sodium Dichloroisocyanurate	64.5

ที่มา: คัดแปลงจาก บริษัท ซีบี เอ็นจิเนียริง เซอร์วิส แอนด์ ซัพพลาย จำกัด (2553)

ตารางที่ 12 แสดงให้เห็นว่าคลอรีนไดออกไซด์มีประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์มากกว่าก๊าซคลอรีน (Cl₂) 2.5 เท่า แต่เนื่องจากคลอรีนไดออกไซด์เกิดการระเหิดได้ง่าย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเล็กน้อย และสัมผัสกับสารอินทรีย์ ไม่สามารถเก็บรักษาได้อย่างปลอดภัย ไม่สะดวกในการขนส่ง เมื่อต้องการใช้จึงจำเป็นต้องมีการผลิตในพื้นที่ที่ใช้งาน

วิธีเตรียมคลอรีนไดออกไซด์ที่ใช้ทั่วไปมี 2 วิธีคือ จากโซเดียมคลอไรด์ทำปฏิกิริยากับก๊าซคลอรีน และโซเดียมคลอไรด์ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก หรือกรดซัลฟูริก



เมื่ออยู่ในสารละลายที่มีสถานะเป็นเบส คลอรีนไดออกไซด์จะเกิดการแตกตัวได้คลอไรต์ (ClO₂) และ คลอเรท (ClO₃)



การเกิด by products ที่เป็นคลอไรท์ (ClO_2) และ คลอเรท (ClO_3) เป็นข้อจำกัดของการใช้คลอรีนไดออกไซด์ในการกำจัดเชื้อโรค เนื่องจากสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา หรือ United States Environmental Protection Agency (USEPA, 1998) กำหนดให้มีการปนเปื้อนต่ำสุดของคลอไรท์ (Maximum Contaminant Level, MCL) ต้องไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร จึงต้องมีการควบคุมและพัฒนาการใช้คลอรีนไดออกไซด์ในการกำจัดเชื้อโรค เพื่อลดการเกิดคลอไรท์

ประสิทธิภาพในการกำจัดจุลินทรีย์ของคลอรีนไดออกไซด์จะขึ้นอยู่กับ pH และอุณหภูมิของสารละลาย โดยจะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH เพิ่มขึ้นและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ช่วงของ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดเชื้อโรค คือ pH อยู่ระหว่าง 5-9 มีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อโรคดีกว่าการใช้คลอรีนและสารประกอบคลอรีนชนิดอื่น ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์เกิดเป็นผลผลิตข้างเคียงที่เกิดขึ้นจากการใช้สารกำจัดเชื้อโรคในกลุ่มของ Trihalomethanes (THMs) จึงมีการใช้คลอรีนไดออกไซด์ในการกำจัดเชื้อโรคเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในปี ค.ศ. 1988 มีการอนุญาตให้ใช้คลอรีนไดออกไซด์ในน้ำที่ใช้ในการผลิตและล้างซากเนื้อสัตว์ (red meat carcasses) โดยกำหนดความเข้มข้นที่ 0.05-5 พีพีเอ็ม ต่อมาในปี 1995 U.S. FDA อนุญาตให้ใช้สารละลายคลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 3 พีพีเอ็ม ในน้ำแช่เย็นสำหรับการลดอุณหภูมิซากสัตว์ (cooling water) ในกระบวนการชำแหละสัตว์ปีก (Federal Register, 1995) และในปี 1998 U.S. Food and Drug Administration อนุญาตให้ใช้คลอรีนไดออกไซด์เป็นสารฆ่าเชื้อในการล้างผักและผลไม้ได้ที่มีความเข้มข้น 5 ppm (Singh *et al.*, 2002)

คลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) ได้รับความนิยมอย่างมากในการเพิ่มและสร้างสุขาภิบาลที่ดีของโรงงานอุตสาหกรรมและกระบวนการผลิตอาหารต่างๆทั้งในส่วนของการผลิต การเก็บรักษา ตลอดจนการฆ่าเชื้อเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร เพราะทำให้ผลการทำลายจุลินทรีย์ที่ดีและรวดเร็ว โดยสามารถใช้คลอรีนไดออกไซด์ ทั้งในรูปของแก๊สและของเหลว สามารถทำลาย *Escherichia coli* O157:H7, *Enterobacter sakazakii*, *Listeria monocytogenes*, vegetative cells และสปอร์ของ *Bacillus cereus*, *B. thuringiensis* ได้ (Kim, 2006) มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของสารละลายภายในเซลล์ (Bearson, 1997 และ Russel, 1998) แต่ข้อเสียอย่างหนึ่งของการใช้คลอรีนไดออกไซด์ คือ สารมีสมบัติไม่เสถียรและไม่สามารถเก็บไว้นานได้

6.2.2 การล้างสารกำจัดศัตรูพืชปนเปื้อนออกจากผัก ผลไม้ด้วยสารละลายคลอรีนไดออกไซด์

การล้างสารกำจัดศัตรูพืชปนเปื้อนออกจากผักผลไม้ด้วยสารละลายคลอรีนไดออกไซด์นั้น ปัจจุบันพบว่ามีการนำเอาสารละลายคลอรีนไดออกไซด์มาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งคลอรีนไดออกไซด์เป็นสารกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งที่มีประสิทธิภาพในการออกซิไดส์สูง มีความสามารถในการสลายและลดประสิทธิภาพของสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ที่มีปนเปื้อนในน้ำ เช่น สารกำจัดศัตรูพืช ยาปราบวัชพืชและยากำจัดศัตรูพืชต่างๆ ที่ปนเปื้อนในน้ำ ซึ่งสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์อันตรายเหล่านี้ก่อให้เกิดความเป็นพิษแก่สิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังพบว่าการนำเอาคลอรีนไดออกไซด์มาประยุกต์ใช้ในการสลายหรือลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในผักและผลไม้ เพื่อลดอันตรายจากสารกลุ่มดังกล่าวสู่ผู้บริโภค โดยประสิทธิภาพของคลอรีนไดออกไซด์ในการสลายและทำลายสารประกอบเคมีอันตรายเหล่านี้พบว่าให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้คลอรีนและไม่ก่อให้เกิดสารกำจัดศัตรูพืชตัวอื่นที่เป็นอันตรายเพิ่มขึ้น เช่น การใช้คลอรีนก่อให้เกิด Trihalomethane ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง (Fang *et al.*, 2010) งานวิจัยดังกล่าว มีดังนี้

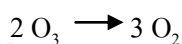
Hwang *et al.* (2002) ศึกษาผลของคลอรีนไดออกไซด์ในการสลายหรือลดประสิทธิภาพของสารกำจัดศัตรูพืชชนิดแมนโคเซบ (Mancozeb) เปรียบเทียบกับสารละลายคลอรีนโดยใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรด์และคลอรีนไดออกไซด์ในการศึกษา ภายใต้สภาวะของพีเอช เวลาที่สารสัมผัสกับสารละลายคลอรีนไดออกไซด์ สารละลายคลอรีน และอุณหภูมิ เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารแมนโคเซบ เท่ากับ 2 พีพีเอ็ม ผลการสลายสารแมนโคเซบด้วยแคลเซียมไฮโปคลอไรด์พบว่าขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของสารละลาย โดยใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 10 และ 21 องศาเซลเซียส พีเอช 4.6 สามารถสลายแมนโคเซบได้อย่างสมบูรณ์ที่เวลา 5 นาที ขณะที่แคลเซียมไฮโปคลอไรด์ที่สภาวะเดียวกันแต่เพิ่มค่าพีเอชเป็น 10.7 พบว่าประสิทธิภาพการลดปริมาณสารแมนโคเซบลดลง โดยสามารถลดได้ประมาณ 20 และ 36% สำหรับเวลา 5 และ 30 นาที ตามลำดับ นอกจากนั้นแม้เพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียมไฮโปคลอไรด์เป็น 250 และ 500 พีพีเอ็ม ที่พีเอช 10.7 ณ อุณหภูมิห้อง พบว่ายังคงมีปริมาณสารแมนโคเซบ ตกค้างอยู่เท่ากับ 50 และ 30% สำหรับความเข้มข้น 250 และ 500 พีพีเอ็ม ตามลำดับ

สำหรับกลไกการสลายหรือลดปริมาณสารแมนโคเซบ โดยคลอรีนไดออกไซด์ นั้น เนื่องจากคลอรีนไดออกไซด์เป็นสารออกซิไดส์ซึ่งชนิดแรง มีประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีมาก จึงสามารถออกซิไดส์สารต่างๆ ได้ดี และร่วมกับผลจากประสิทธิภาพของอนุภาค HOCl จากโมเลกุลคลอรีน ซึ่งเป็นอีกกลไกหนึ่ง que เพิ่มความสามารถในการสลายหรือทำลายแบคทีเรียและสารต่างๆ ของคลอรีนไดออกไซด์ จากผลการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำสารละลายคลอรีนไดออกไซด์ไปประยุกต์ใช้ในการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักและผลไม้ต่อไป

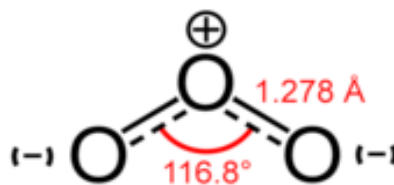
6.3 โอโซน

6.3.1 สมบัติทางเคมี

โอโซนคืออะตอมของออกซิเจน 3 อะตอมรวมกันเป็น 1 โมเลกุลของโอโซน (O_3) ตามปกติออกซิเจนจะประกอบกันเป็นลักษณะ 2 อะตอม เป็น 1 โมเลกุล (O_2) ซึ่งมีคุณสมบัติต่างกันมากคือ O_2 จะสามารถคงสภาพอยู่ได้หลายสภาวะ หรือกล่าวได้ว่ามีความเสถียร (stable) นั้นเอง แต่ก๊าซโอโซน (O_3) จะไม่คงตัวหรือไม่เสถียร (Unstable) เนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความร้อน ความดันและการสัมผัสกับสารที่มีพลังงานต่ำกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) อย่างรวดเร็ว ซึ่ง O_3 มีปฏิกิริยาสูงถึง 2.07 Volt (Kim *et al.*, 1999) โอโซนเป็นก๊าซธรรมชาติที่ปราศจากสีและ มีพลังงานในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันสูง โดยไม่เหลือสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างใดๆ นอกจากออกซิเจน แก๊สโอโซนเป็นตัวออกซิไดส์ที่ดีมาก และในขณะเดียวกันก็เป็นสารที่ไม่อยู่ตัว มักจะสลายเป็นแก๊สออกซิเจนได้ง่าย ดังสมการ



ถ้าเราเพิ่มอุณหภูมิและลดความดัน ปฏิกิริยาข้างต้นจะไปข้างหน้าได้เร็วมาก โดยปกติโอโซนมักออกซิไดส์โลหะ (ยกเว้นทองคำ แพลทินัม และแพลเลเดียม) โอโซนเข้มข้นมีสีฟ้าที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (Standard Temperature and Pressure; 25 °C, 100 kPa) เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง -112 °C โอโซนจะเป็นของเหลวสีน้ำเงิน และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า -193 °C จะกลายเป็นของแข็งสีดำ ลักษณะทางโครงสร้างพื้นฐานของโอโซนแสดงในภาพที่ 5 สมบัติทั่วไปและสมบัติด้านเคมีสรุปในตารางที่ 13 ตามลำดับ



ภาพที่ 5 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของโอโซน

ที่มา: คัดแปลงจาก Anonymous (2010b)

ตารางที่ 13 สมบัติโดยทั่วไปและสมบัติทางเคมีของโอโซน

สมบัติทั่วไป ^a	
ชื่อตามระบบ	ไตรออกซิเจน
สูตรโมเลกุล	O ₃
มวลโมเลกุล	47.998 g/mol
ลักษณะภายนอก	แก๊สสีน้ำเงิน
เลขทะเบียน CAS	[10028-15-6]
สมบัติทางเคมี ^b	
ความหนาแน่น และสถานะที่อุณหภูมิห้อง	2.144 g/l (0 °C) ,แก๊ส
ความสามารถในการละลายในน้ำ	0.105 g/100 ml (0 °C)
จุดหลอมเหลว	80.7 K, -192.5 °C
จุดเดือด	161.3 K, -111.9 °C
พิษภัย	
EU classification	ไม่ได้ระบุ
NFPA 704	

หมายเหตุ ^a และ ^b ข้อมูลของสาร ณ ภาวะมาตรฐาน ที่ 25 °C, 100 kPa

ที่มา: คัดแปลงจาก Anonymous (2010b)

ก๊าซโอโซนมีปฏิกิริยาออกซิไดซ์รุนแรงมาก มีสมบัติจะทำลายเซลล์เนื้อเยื่อของจุลินทรีย์โดยเฉพาะเชื้อก่อโรคแบบเฉียบพลัน โดยเฉพาะแบคทีเรียจะตายภายใน 2 นาที ในขณะที่คลอรีนจะใช้เวลาถึง 4 วัน ดังนั้นในการใช้งานจึงต้องออกแบบให้เกิดความเหมาะสม ซึ่งมีความสัมพันธ์กันของปัจจัยต่อไปนี้คือ ปริมาณก๊าซโอโซนที่เครื่องผลิตออกมาต้องเหมาะสม ปริมาณน้ำและปริมาณสิ่งเจือปนในน้ำ การผสมโอโซนกับน้ำ เวลาที่ก๊าซโอโซนละลายในน้ำ อุณหภูมิ ค่าพีเอชของน้ำที่ต้องการบำบัด จากปัจจัยดังกล่าวจำเป็นต้องมีการออกแบบทางวิศวกรรม โดยผู้ชำนาญงานเฉพาะด้าน ถ้านำไปใช้อย่างไม่ถูกวิธีก็จะไม่เกิดประโยชน์ ข้อสำคัญที่ทำให้โอโซนมีความปลอดภัยคือคนสามารถได้กลิ่นของโอโซนหากมีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01 พีพีเอ็ม และกลิ่นจะแรงมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นโอโซนมากขึ้น ดังนั้นคนจะไม่สามารถทนต่อกลิ่นของโอโซนได้ก่อนที่จะโอโซนจะมีผลกระทบต่อสุขภาพ

6.3.2 การล้างสารกำจัดศัตรูพืชปนเปื้อนออกจากผักผลไม้ด้วยน้ำโอโซน

การใช้สารกำจัดศัตรูพืชเพื่อป้องกันและกำจัดศัตรูพืช มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการผลิตพืชผลการเกษตร เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับพืชผัก หากกระบวนการเก็บเกี่ยวและการจัดจำหน่ายไม่รัดกุมเพียงพอแล้ว มีความเป็นไปได้สูงที่สารกำจัดศัตรูพืชยังคงตกค้างอยู่ ผลกระทบที่ร้ายแรงจึงตกอยู่ที่ผู้บริโภค และที่สำคัญผู้บริโภคไม่สามารถมั่นใจได้ว่า ผักปลอดสารกำจัดศัตรูพืช มีความปลอดภัยเท่าที่คาดหวังหรือไม่ โอโซนสามารถจัดการกำจัดศัตรูพืชได้ดีกว่าการล้างด้วยวิธีอื่นๆ ไม่ทั้งสิ่งตกค้างโลหะหนัก ไม่ก่อผลตกค้างและผลข้างเคียง เพราะโอโซนจะสลายตัวเป็นออกซิเจน นอกจากนั้นยังพบอีกว่าผักที่ล้างด้วยน้ำโอโซนจะมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน มีรายงานการใช้น้ำโอโซนในการล้างสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง หรือสารปนเปื้อนออกจากผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์ต่างๆ ได้ดี

Ayala *et al.* (2010) ได้ศึกษาจลนศาสตร์และกลไกการการสลายตัวของยาปราบวัชพืช 2 ชนิด คือ โบรโมไซนิล (Bromoxynil) และ ทริฟลิราลิน (Trifluralin) ด้วยสารละลายโอโซน พบว่ากลไกการสลายตัวของยาปราบวัชพืชทั้งสองชนิดเกิดจากการเข้าทำปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของยาปราบวัชพืชกับโมเลกุลของโอโซนโดยตรง และทำปฏิกิริยาระดับอนุมูลอิสระของหมู่ไฮดรอกซิล ($\cdot\text{OH}$) ที่เกิดจากการสลายตัวของโอโซนในน้ำ เนื่องจากโครงสร้างของสาร โบรโมไซนิลมีหมู่ไฮดรอกซิล สามารถเกิดปฏิกิริยา Hydroxylation และ Debromination กับโมเลกุลของโอโซนได้ ทำให้สาร โบรโมไซนิลเกิดการสลายตัว และสำหรับโครงสร้างของสารทริฟลิราลินนั้น

พบว่าประกอบด้วยหมู่ N-propyl เป็นพวก NO_2 ซึ่งเป็นหมู่ที่ไม่แข็งแรง สลายตัวได้ง่าย ดังนั้นเมื่อรวมตัวกับโมเลกุลของโอโซนหรือหมู่ไฮดรอกซิลในสารละลายโอโซนจึงทำให้เกิดปฏิกิริยา Hydroxylation และ Dealkylation ซึ่งทั้งสองปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาหลักที่ทำให้เกิดการออกซิไดส์ของยาปราบวัชพืชชนิดทรูฟลิราลิน

จากการทำปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับยาปราบวัชพืชทั้งสองชนิดคือ โบรโมไซนิลและ ทรูฟลิราลินพบว่า สาร โบรโมไซนิลสามารถสลายตัวได้ถึง 98% เมื่อสัมผัสกับสารละลายโอโซนพีเอช 2 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที ขณะที่สามารถสลายสาร ทรูฟลิราลิน ได้เพียง 50% เมื่อใช้สารละลายโอโซนที่สภาวะเดียวกัน เป็นเวลา 5 นาที นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการสลายยาปราบวัชพืชทั้งสองชนิดยังขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของสารละลาย เมื่อเพิ่มค่าพีเอชของสารละลายส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพการสลายตัวของยาปราบศัตรูพืชทั้งสองชนิดด้วย

Ong *et al.* (1996) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของสารละลายคลอรีนโดยใช้ แคลเซียมไฮโปคลอไรต์และสารละลายโอโซนต่อการสลายตัวของสารอะซินฟอส-เมทิล (Azinphos-methyl) กัปตัน (Captan) และ ฟอเมทานต ไฮโดรคลอไรด์ (Formetanate hydrochloride) ที่มีอยู่ในผลแอปเปิ้ลสดและผลิตภัณฑ์ โดยทดลองฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชทั้งสามชนิดในแปลงปลูกแอปเปิ้ล ผลแอปเปิ้ลสดที่นำมาทดลองมีปริมาณสารอะซินฟอส-เมทิล กัปตัน และฟอเมทานตไฮโดรคลอไรด์ เริ่มต้นเท่ากับ 0.67 0.488 และ 0.657 พีพีเอ็ม ตามลำดับ เมื่อทดสอบล้างผลแอปเปิ้ลสดด้วยสารละลายชนิดต่างๆ นาน 30 นาที พบว่าการล้างด้วยน้ำเปล่าสามารถลดอะซินฟอส เมทิล กัปตัน และฟอเมทานตไฮโดรคลอไรด์ได้เท่ากับ 53% 50% และ 23 % ตามลำดับ และเมื่อแช่แอปเปิ้ลในสารละลายโอโซนเข้มข้น 0.25 พีพีเอ็ม ลดอะซินฟอส-เมทิล กัปตัน และฟอเมทานตไฮโดรคลอไรด์ได้เท่ากับ 75% 72% และ 46% ตามลำดับ และการแช่ในสารละลายคลอรีนที่ความเข้มข้น 50 และ 500 พีพีเอ็ม สามารถลดอะซินฟอส-เมทิล ได้เท่ากับ 76% และ 83% ตามลำดับ สำหรับกัปตันลดได้ 66% และ 77% ตามลำดับ และสำหรับฟอเมทานตไฮโดรคลอไรด์นั้นพบว่าให้ผลไม่แตกต่างกันคือสามารถลดได้เท่ากับ 50% (Ong *et al.*, 1996)

นอกจากนี้จากการศึกษาโดย Ong *et al.* (1996) พบว่ากระบวนการผลิตซอสแอปเปิ้ลมีผลต่อการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืช อะซินฟอส-เมทิล กัปตัน และฟอเมทานตไฮโดรคลอไรด์อย่างเห็นได้ชัด โดยซอสแอปเปิ้ลที่ผลิตจากผลแอปเปิ้ลสดที่ไม่ผ่านการล้างสามารถลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชได้ในช่วง 84.2-96 % และสำหรับซอสแอปเปิ้ลที่ผลิตจากผลแอปเปิ้ลที่

ผ่านการล้างทั้งด้วยสารละลายไอโซนและสารละลายคลอรีนสามารถลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชได้ในช่วง 91-98% แต่ยังคงพบปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในซอสแอปเปิ้ลเนื่องมาจากการปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างที่มีในผลแอปเปิ้ลที่ผ่านการล้างในช่วง 2-9%

ยุทธชัย และคณะ (2544) ได้ศึกษาการกำจัดสารกำจัดศัตรูชนิด เอ็นโดซัลแฟน ซึ่งเป็นสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มออร์กาโนคลอรีนออกจากผักโดยใช้ไอโซน เปรียบเทียบกับการล้างด้วยน้ำผสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% น้ำผสมน้ำส้มสายชู 25% น้ำผสมจีเล้า 10% น้ำผสมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (ต่างทับทิม) 0.01% และน้ำสะอาด โดยทำการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชตกค้างเอ็นโดซัลแฟนในพืชผัก 5 ชนิด ได้แก่ ผักคะน้า ผักกาดขาวปลี ผักกวางตุ้ง แตงกวา และมะเขือเทศ พบว่าการล้างผักด้วยน้ำซึ่งผ่านเครื่องกำเนิดไอโซนเป็นเวลา 20-30 นาที มีประสิทธิภาพในการลดสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างได้ และมีแนวโน้มดีกว่าวิธีการอื่นๆ โดยสามารถลดปริมาณสารเอ็นโดซัลแฟน ในผักคะน้า ผักกาดขาวปลี ผักกวางตุ้ง แตงกวา และมะเขือได้เท่ากับ 36.31% 56.48% 42.60% 48.77% และ 44.24% ตามลำดับ

วิญญู และคณะ (2542) ศึกษาผลของโซเดียมไบคาร์บอเนต (ผงฟู) โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (ต่างทับทิม) และไอโซน ในการลดปริมาณมาลาไรซอน และเมทิลพาราไรซอนซึ่งเป็นสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตบนกะหล่ำปลี โดยเสริมสารมาลาไรซอน และเมทิลพาราไรซอนลงในกะหล่ำปลีให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 1.30 พีพีเอ็ม ทดสอบประสิทธิภาพการล้างโดยใช้วิธีการแช่ผักในน้ำเปล่า แช่น้ำผสมต่างทับทิม แช่น้ำผสมผงฟู และแช่น้ำพร้อมฟั่นไอโซน เป็นเวลา 15 นาที ผลการวิเคราะห์พบว่าประสิทธิภาพการลดสารตกค้างทั้งสองชนิดด้วยวิธีการแช่ผักกะหล่ำปลีในน้ำผสมผงฟูความเข้มข้น 3 พีพีเอ็ม สามารถลดปริมาณของมาลาไรซอน และเมทิลพาราไรซอนได้มากที่สุด คือ 81.3% และ 78.3% การแช่ผักในน้ำที่ฟั่นไอโซนที่อัตราการผลิตไอโซนเท่ากับ 7.5 มิลลิกรัมต่อนาที มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการแช่น้ำผสมต่างทับทิม โดยสามารถมาลาไรซอน และเมทิลพาราไรซอนได้เท่ากับ 67.6% และ 61.8% ตามลำดับ

Wu *et al.* (2007) ศึกษาการกำจัดสารกำจัดศัตรูพืชในกวางตุ้งด้วยน้ำไอโซน โดยพิจารณาผลของไอโซนต่อการลดประสิทธิภาพของสารกำจัดศัตรูพืช 4 ชนิด คือ เมทิลพาราไรซอน พาราไรซอน ไดอะซินอล และ ไชเปอร์มีทริน ซึ่งสารกำจัดศัตรูพืชเหล่านี้เป็นชนิดที่ถูกควบคุมปริมาณการใช้และมักตรวจพบบ่อยในตัวอย่างผัก ทำการทดลองโดยสร้างการปนเปื้อน

สารกำจัดศัตรูลงบนผัก จากผลการศึกษาพบว่า สารละลายไอโซนที่ความเข้มข้น 1.4 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เวลาสัมผัสกับสารละลายไอโซน 15 นาที มีประสิทธิภาพในการลดได้ที่ 27-34% และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไอโซนเป็น 2 พีพีเอ็ม ที่สภาวะเดียวกันพบว่า ประสิทธิภาพในการลดเพิ่มขึ้นเป็น 30-54% นอกจากนั้นสารละลายไอโซนความเข้มข้น 2 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มเวลาในการสัมผัสกับสารละลายไอโซนเป็น 30 นาที สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการลดได้เพิ่มขึ้นเป็น 45-61%

นอกจากนั้นพบว่าอุณหภูมิของสารละลายไอโซนมีผลต่อประสิทธิภาพการลด ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชทั้ง 4 ชนิดดังกล่าวด้วยเช่นกัน กล่าวคือ สารละลายไอโซนความเข้มข้น 2 พีพีเอ็ม เวลาสัมผัสกับสารกำจัดศัตรูพืช 30 นาที ที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส สามารถลดปริมาณ เมทิลพาราไรออน พาราไรออน ไดอะซินอล และ ไชเปอร์มีทริน ได้เท่ากับ 24.8 19.7 36.2 และ 44.3% ตามลำดับ ขณะที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส สามารถลดปริมาณสารเมทิลพาราไรออน พาราไรออน ไดอะซินอล และ ไชเปอร์มีทริน ได้เท่ากับ 47.9 55.3 53.4 และ 61.1% ตามลำดับ

ในตัวอย่างเดียวกัน บริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายเครื่องผลิตไอโซนสำหรับล้างผัก และผลไม้ห่อ Oxygenie 2009 ได้รายงานประสิทธิภาพการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืช 2 ชนิด คือ ลินเดน (กลุ่มออร์กาโนคลอรีน) และ โพรพิโนฟอส (กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต) ซึ่งเป็นสองชนิดที่ พบบ่อยในผักกาดเขียวทางดั่ง โดยการเติมมาตรฐานของสารกำจัดศัตรูพืชทั้งสองชนิด ดังกล่าวซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 50 และ 5000 พีพีเอ็ม สำหรับ ลินเดน และ โพรพิโนฟอส ตามลำดับ เปรียบเทียบผลการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชระหว่างผักกาดขาวปลีทางดั่งที่ไม่ผ่านการล้างและผ่านการล้างด้วยน้ำไอโซน พบว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการล้างด้วยน้ำไอโซนมีปริมาณของ ลินเดนและโพรพิโนฟอสเท่ากับ 50 และ 5000 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างที่ผ่านการล้าง ด้วยน้ำไอโซนมีปริมาณของลินเดนและโพรพิโนฟอสลดลงเหลือเท่ากับ 1.02 และ 124 พีพีเอ็ม ตามลำดับ

นอกจากนี้งานวิจัยของธรรมศักดิ์ และคณะ (2548) ได้ศึกษาการลดปริมาณ สารโพรพิโนฟอสในผักคะน้า ที่ทดลองฉีดพ่นสารโพรพิโนฟอสในแปลงปลูก อัตราแนะนำที่ 1 และ 3 วันก่อนการเก็บเกี่ยว ทำให้ใบคะน้ามีสารโพรพิโนฟอส ตกค้างเริ่มต้น 15.87 และ 11.28 พีพีเอ็ม ล้างด้วยไอโซนความเข้มข้น 0.5-0.7 พีพีเอ็ม นาน 10-15 นาที พบว่าสามารถลดสารตกค้าง ได้ระหว่าง 20-37% และสำหรับการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ทดลองจุ่มใบคะน้าในสารละลาย

โพรฟิโนฟอสเข้มข้น 5 10 250 และ 500 พีพีเอ็ม นาน 5 วินาที พบสารตกค้างที่ 1.77 3.60 26.34 และ 32.48 พีพีเอ็ม ตามลำดับ เมื่อล้างในน้ำไฮโซนแบบหมุนเวียนความเข้มข้น 0.5 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พีเอช 8 เป็นเวลา 30 นาที สามารถลดปริมาณสาร โพรฟิโนฟอส ตกค้าง ได้ 30.0% 31.9% 27.0% และ 31.9% ตามลำดับ แต่ผลการทดลองพบว่าไม่สามารถลดสาร ตกค้างให้ต่ำกว่าค่า MRL เนื่องจากความเข้มข้นสารตกค้างเริ่มต้นในการทดลองครั้งนี้มีค่าสูงมาก

จากการรวบรวมงานวิจัยข้างต้น ซึ่งได้นำสารละลายไฮโซนมาประยุกต์ใช้ ในกระบวนการล้าง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีการล้างแบบต่างๆ สามารถสรุปสถานะการใช้สารละลายไฮโซน และประสิทธิภาพการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักและผลไม้ ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ประสิทธิภาพการลดสารกำจัดศัตรูพืชด้วยการเติมสารเคมีในน้ำล้าง

ชนิดสาร	กลุ่ม	ตัวอย่าง ทดลอง	สารกำจัด ศัตรูพืช (พีพีเอ็ม)	วิธีล้าง	สารออกซิไดส์ (พีพีเอ็ม)	พีเอช	อุณหภูมิ °C	เวลาดำรง (นาที)	% การลด	อ้างอิง
Azinphos- methyl	ออร์กาโนฟอสเฟต	แอปเปิ้ล	0.67	น้ำเปล่า			21	30	53	Ong et al. (1996)
				โอโซน	0.25	7	21	30	75	
				คลอรีน	50, 500	7	21	30	76, 83	
Captan	ยากำจัดเชื้อรา กลุ่ม Organosulphur	แอปเปิ้ล	0.488	น้ำเปล่า			21	30	50	
				โอโซน	0.25	7	21	30	72	
				คลอรีน	50, 500	7	21	30	66, 77	
Formetanate - HCL	Insecticide/ Acaricide	แอปเปิ้ล	0.657	น้ำเปล่า			21	30	23	
				โอโซน	0.25	7	21	30	46	
				คลอรีน	50, 500	7	21	30	50, 50	
Endosulfan	ออร์กาโนคลอรีน	คะน้า	97.52	โอโซน			25	30	36-60	ยุทธชัย และคณะ (2544)
		ผักกาดขาว	95.54	น้ำผสมไฮโดรเจนเปอร์						
		ปลี		ออกไซด์	5%		25	30	12-55	
		ผักกวางตุ้ง	71.85	น้ำผสมน้ำส้มสายชู	25 %		25	30	10-55	
		แตงกวา	25.22	น้ำผสมซีเถ้า	10 %		25	30	10-60	
		มะเขือ	11.37	น้ำผสมโพแทสเซียม						
				เปอร์แมงกาเนต	0.01%		25	30	10-40	

ตารางที่ 14 (ต่อ)

ชนิดสาร	กลุ่ม	ตัวอย่าง ทดลอง	สารกำจัด ศัตรูพืช (พีพีเอ็ม)	วิธีล้าง	สารออกไซด์ (พีพีเอ็ม)	พีเอช	อุณหภูมิ °C	เวลาดำง (นาที)	% การลด	อ้างอิง
Endosulfan	ออร์กาโนคลอรีน	มะเขือ	11.37	น้ำสะอาด			25	30	10-50	ยุทธชัย และคณะ (2544)
Bromoxynil	ยากำจัดเชื้อรา	น้ำ	9.0 µM	น้ำไอโซน	0.21 mM	7	20	2	98	Ayala <i>et al.</i>
Trifluralin	ยากำจัดเชื้อรา	น้ำ	0.45 µM	ไอโซน	0.19 mM	7	20	5	50	(2010)
Malathion	ออร์กาโนฟอสเฟต	กะหล่ำปลี	1.30	ไอโซน	7.5 มก. ต่อ นาที่		25	15	67.6	วิญญู และ คณะ (2542)
				โซเดียมไบคาร์บอเนต	3		25	15	81.3	
				โพแทสเซียมเปอร์แมง การเนต			25	15	64	
				น้ำเปล่า			25	15	23.9	
				ไอโซน	7.5 มก./นาที่		25	15	61.8	
Methyl- Parathion	ออร์กาโนฟอสเฟต	กะหล่ำปลี	1.30	โซเดียมไบคาร์บอเนต	3		25	15	78.3	
				โพแทสเซียมเปอร์แมง	5		25	15	55.4	
				การเนต						
				น้ำเปล่า			25	15	21.9	

ตารางที่ 14 (ต่อ)

ชนิดสาร	กลุ่ม	ตัวอย่าง ทดลอง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	วิธีล้าง	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	พีเอช	อุณหภูมิ °C	เวลาดำง (นาที)	% การลด	อ้างอิง
Methyl - Parathion	ออร์กาโนฟอสเฟต	ผักกวางตุ้ง	0.617	โอโซน	2		24	30	47.9	Wu <i>et al.</i> (2007)
Parathion	ออร์กาโนฟอสเฟต	ผักกวางตุ้ง	0.777	โอโซน	2		24	30	55.3	
Diazinon	ออร์กาโนฟอสเฟต	ผักกวางตุ้ง	0.624	โอโซน	2		24	30	53.4	
Cypermethrin	ไพรีทรอยด์	ผักกวางตุ้ง	0.777	โอโซน	2		24	30	61.1	
โปรพิโนฟอส	ออร์กาโนฟอสเฟต	คะน้า	30	โอโซน	0.5	8	10	30	30	ธรรมศักดิ์ และคณะ (2548)
				คลอรีนไดออกไซด์	6	4-6		15	50-77	
Cypermethrin	ไพรีทรอยด์	คะน้า	8	โอโซน	0.5	8	10	30	35-55	

7. วิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตตกค้างในผักสด

การวิเคราะห์สารพิษตกค้างในผลผลิตทางการเกษตรในปัจจุบันมีวิธีการต่างๆ ที่หลากหลาย และการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ในหลายระดับของความยากง่าย คือ การวิเคราะห์ในเบื้องต้นโดยใช้ชุดตรวจสอบอย่างง่าย เพื่อเป็นการควบคุมความปลอดภัยในเบื้องต้น เช่น ชุดทดสอบจีที (GT Test Kit) ชุดตรวจสอบสารกำจัดแมลงโดยวิธี Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) และ Thin Layer Chromatography (TLC) ซึ่งข้อดีของการวิเคราะห์ในเบื้องต้นนี้ คือ รวดเร็วใช้เวลาในการวิเคราะห์เพียง 2-3 ชั่วโมง ค่าใช้จ่ายไม่สูง ง่ายต่อการวิเคราะห์ ส่วนการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (GC), เครื่องจีซีแมส (GC MASS), เครื่องเอช พี แอล ซี (HPLC) เป็นต้น ซึ่งเป็นวิธีที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากลโดยเฉพาะในด้านการส่งออกผลผลิตทางการเกษตร ประเทศคู่ค้าจะยอมรับผลการวิเคราะห์สารพิษตกค้างจากวิธีเครื่องมือชั้นสูงเท่านั้น แต่วิธีนี้มีความยุ่งยากในการวิเคราะห์ ค่าใช้จ่ายสูง ใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน 1-2 วัน และผู้ที่ทำการวิเคราะห์ต้องมีความรู้ความชำนาญในการวิเคราะห์ และในข้อกำหนดมาตรฐาน EUREPGAP ต้องเป็นการวิเคราะห์สารพิษตกค้างจากห้องปฏิบัติการที่ได้รับมาตรฐาน ISO 17025 เท่านั้น การวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชในผลผลิตทางการเกษตรในปัจจุบันมีวิธีการวิเคราะห์หลายวิธี ซึ่งการวิเคราะห์แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ผู้วิเคราะห์จะต้องเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ให้เหมาะสมกับงานที่นำไปใช้ (สุจินดา, 2550)

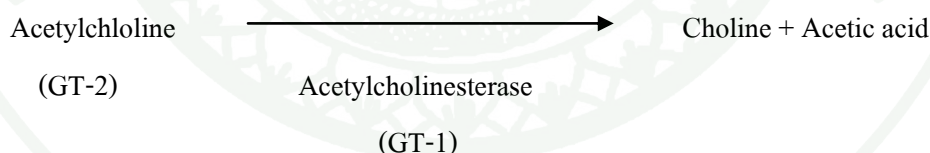
7.1 การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography: GC)

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตโดยวิธีการใช้เครื่อง GC เป็นวิธีมาตรฐานที่ยอมรับและใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน GC เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกและวิเคราะห์สารผสมที่ระเหยกลายเป็นไอได้ง่าย (Volatile compounds) เมื่อสารผสมที่ระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายถูกผ่านเข้าไปในคอลัมน์ที่มีตัวแยกเป็นเฟสที่อยู่กับที่ สารผสมดังกล่าวจะถูกแก๊สที่ใช้เป็นเฟสที่เคลื่อนที่ชะออกจากคอลัมน์ ส่วนประกอบต่างๆ ของสารผสมจะถูกแยกออกจากคอลัมน์ด้วยเวลาที่ต่างกัน อันเนื่องมาจากการกระจายของสารผสมในระหว่างเฟสทั้งสองที่แตกต่างกัน เทคนิค GC ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวางในงานต่างๆ เช่น ชีวเคมี สิ่งแวดล้อม และการเกษตร เป็นต้น (นิพนธ์และคณะ, 2536)

7.2 การวิเคราะห์โดยใช้หลักการการยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส

เทคนิคการยับยั้งเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสเป็นวิธีการตรวจสอบการตกค้างของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต โดยอาศัยคุณสมบัติที่สารกลุ่มนี้สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส

การวิเคราะห์ด้วยชุดทดสอบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต “จีที” ใช้สำหรับตรวจหาความเป็นพิษของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช 2 กลุ่ม คือ กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต และสารอื่นๆ ที่เป็นสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส โดยหลักการการทำงานของชุดทดสอบนี้ คือ ถ้าตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์มีสารกำจัดศัตรูพืช หรือสารเคมีตกค้างอยู่ สารเคมีจะยับยั้งการทำงานของยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส (GT-1) ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถไฮโดรไลซ์อะซิติลโคลีน (GT-2) ได้ โดยปริมาณของอะซิติลโคลีน (GT-2) ที่เหลืออยู่จะเป็นตัวกำหนดความเข้มของสีในชุดตรวจ ยิ่งถ้าตัวอย่างที่นำมาตรวจวิเคราะห์มีค่าความเป็นพิษสูง เอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสจะถูกยับยั้งการทำงานมากยิ่งขึ้น ทำให้อะซิติลโคลีนเหลืออยู่ในปริมาณมากเช่นกัน สีที่ได้จากการทดสอบก็จะเข้มมากขึ้น (กองควบคุมอาหาร ปี 2552) ซึ่งให้ผลเป็นบวกคือสีแดง แสดงว่าไม่ปลอดภัย (ตามระดับที่ชุดตรวจสอบจีทีกำหนด) ดังปฏิกิริยา คือ



การวิเคราะห์ในเบื้องต้นโดยใช้ชุดตรวจสอบอย่างง่าย เพื่อเป็นการควบคุมความปลอดภัยในเบื้องต้นด้วยชุดทดสอบจีที ข้อดีของการวิเคราะห์ในเบื้องต้นนี้ คือ รวดเร็ว ใช้เวลาในการวิเคราะห์เพียง 2-3 ชั่วโมง ค่าใช้จ่ายไม่สูง สะดวก และง่ายต่อการวิเคราะห์ ชุดทดสอบจีทีประกอบด้วยสารเคมีต่างๆ ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ส่วนประกอบของชุดทดสอบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่ม “จีที”

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ตัวอย่างทดสอบ

1.1 ตัวอย่างผักสด คือ คะน้า (*Brassica oleraceae* convar. *Acephalea*) ผักชี (*Coriandrum sativum* Linn) พริกชี้ฟ้าเขียว (*Capsicum annuum* Linn. *Var acuminatum* Fingerh) ผักกาดขาวปลี (*Brassica rapa* var. *pekinensis* (Lour) Olsson) และกะหล่ำปลี (*Brassica oleracea* var. *capitata* Linn) ซื้อมาจากตลาดยิ่งเจริญ สะพานใหม่ กรุงเทพฯ

1.2 ตัวอย่างคะน้าจากแปลงทดลองปลูก 2 รุ่นการทดลอง เมื่อรุ่นที่ 1 ปลูกในช่วงเดือนธันวาคม ปี 2554 ถึงกุมภาพันธ์ ปี 2555 และรุ่นที่ 2 ทดลองปลูกในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2555 ถึงเดือนมีนาคม ปี 2555 บนที่ดินของ น.ส. พวงบุปผา จุฑิพล หมู่บ้านบ่อชลบ ตำบลนาพรุ อำเภอยะรัง จังหวัดนครศรีธรรมราช

1.3 ตัวอย่างผักสดจากแปลงเกษตรกรและผักจากบริษัทส่งออก

2. สารเคมี

2.1 สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 2 ชนิด คือ โพรฟิโนฟอส (Profenofos, 50% w/v EC) ชื่อทางการค้าคือ การูก้า สูตรทางเคมี คือ O-4-bromo-2-chlorophenyl, O-ethyl, S- propyl phosphorothioate (เอกสารกำกับสาร โพรฟิโนฟอส ภาคผนวก ค) และ คลอไพริฟอส (Chlorpyrifos, 40% w/v EC) ชื่อทางการค้าคือ ไฮนิคซ์ 40 สูตรทางเคมี คือ 0,0- diethyl 0-3.5,6-trichloro-2-pyridyl phosphorothioate (เอกสารกำกับสารคลอไพริฟอส ภาคผนวก ค)

2.2 ชุดทดสอบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต GT-test kit ของห้างจิติการค้า จ.นนทบุรี

2.3 แอลกอฮอล์ 95% (AR grade)

2.4 Dichloromethane 99% (AR grade)

2.5 น้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรด

2.6 น้ำคลอรีนไดออกไซด์

2.7 น้ำไอโซน

3. เครื่องมือ

- 3.1 เครื่องผลิตโอโซน รุ่น (Bello Zon model OZVA 1021E ProMinent Fluid Controls Co. Ltd., Thailand) โดยบริษัทโพรมิเนนท์ ฟลูอิด คอนโทรลส์ (ประเทศไทย) จำกัด
- 3.2 เครื่องผลิตคลอรีนไดออกไซด์ (Bello Zon model CDV 35, ProMinent Fluid Controls Co., Ltd., Thailand) โดยบริษัทโพรมิเนนท์ ฟลูอิด คอนโทรลส์ (ประเทศไทย) จำกัด
- 3.3 เครื่องผลิตน้ำอิเล็กโทรไลซ์ชนิดกรด (Electrolyzed water generator) โมเดล ROX-10 WA- E, Oshizaki Electric Co., Ltd., Japan นำเข้าโดยบริษัทไบโอเซฟเฟอร์ จำกัด
- 3.4 เครื่องวัดค่า Oxidation-Reduction Potential และความเป็นกรดต่าง รุ่น pH / Ion 510 ยี่ห้อ Eutech Instrument โดย บริษัท โพสเชส ซายน์ จำกัด
- 3.5 เครื่องวัดค่าปริมาณคลอรีน ปริมาณคลอรีนไดออกไซด์ และปริมาณโอโซน รุ่น Dulcutest DT1 Photomete โดยบริษัทโพรมิเนนท์ ฟลูอิด คอนโทรลส์ (ประเทศไทย) จำกัด
- 3.6 ตู้ laminate flow cabinet (Gelman Science model no. CF43S, United Kingdom)
- 3.7 เครื่องผสมสารละลายในหลอด (Vortex mixer model Genie II, USA)
- 3.8 เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบหยาบ (Electron Balance) สามารถชั่งน้ำหนักได้ 0.01 กรัม
- 3.9 เครื่องเป่าอากาศ
- 3.10 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่ 35-37 องศาเซลเซียส
- 3.11 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Genesys 10 UV
- 3.12 เครื่องมือและอุปกรณ์อื่นๆ ที่จำเป็นในห้องปฏิบัติการ

4. อุปกรณ์

- 4.1 เครื่องบดตัวอย่าง (blender) มีด และเขียง
- 4.2 ถัง กะละมัง ถาดและตะแกรงตากผัก
- 4.3 Auto Pipette ขนาด 1-100 และ 100-1000 ไมโครลิตร
- 4.4 กระดาษกรอง Whatman No.1
- 4.5 เครื่องแก้วชนิดต่างๆ ได้แก่ ปีกเกอร์ ขวดปรับปริมาตร และหลอดทดลอง
- 4.6 cuvette พลาสติก
- 4.7 นาฬิกาจับเวลา (Canon Electric Business Machines Co. Ltd, China)
- 4.8 ถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีน ขนาด 14x18 นิ้ว

วิธีการ

1. การหาปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างโดยชุดทดสอบสารกำจัดศัตรูพืช “จีที” ด้วยความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและ % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซีติลโคลีน เอสเตอเรส

1.1 สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่า % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซีติลโคลีน เอสเตอเรส กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

หลักการชุดทดสอบ“จีที” ใช้สำหรับตรวจหาความเป็นพิษของสารกำจัดศัตรูพืช 2 กลุ่ม คือ กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต และสารอื่นๆ ที่เป็นสารยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซีติลโคลีนเอสเตอเรส โดยหลักการการทำงานของชุดทดสอบนี้ คือ ถ้าตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์มีสารกำจัดศัตรูพืช หรือสารเคมีตกค้างอยู่ สารเคมีจะยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซีติลโคลีนเอสเตอเรส (GT-1) ทำให้เอ็นไซม์ไม่สามารถไฮโดรไลซ์อะซีติลโคลีน (GT-2) ได้ โดยปริมาณของอะซีติลโคลีน (GT-2) ที่เหลืออยู่จะเป็นตัวกำหนดความเข้มของสีในชุดทดสอบ ยิ่งถ้าตัวอย่างที่นำมาตรวจวิเคราะห์มีค่าความเป็นพิษสูง เอ็นไซม์อะซีติลโคลีนเอสเตอเรสจะถูกยับยั้งการทำงานมากยิ่งขึ้น ทำให้อะซีติลโคลีนเหลืออยู่ในปริมาณมากขึ้น สีที่ได้จากการทดสอบก็จะเข้มมากขึ้น (สีเหลือง-แดงเข้ม) (กองควบคุมอาหาร ปี 2552)

สร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงหรือ Optical Density (OD) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร กับ % ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซีติลโคลีนเอสเตอเรสที่ 0 10 30 50 80 และ 100% โดยการปรับสัดส่วนเอ็นไซม์อะซีติลโคลีนเอสเตอเรส กับอะซีติลโคลีน ดังตารางที่ 15 จากนั้นทำการตรวจสอบสารกำจัดศัตรูพืช ตามขั้นตอนการตรวจสอบสารกำจัดศัตรูพืช วิธีการข้อ 8.1.3 (กอบทอง, 2553)

เมื่อเสร็จขั้นตอนการตรวจสอบสารกำจัดศัตรูพืช นำสารละลายที่ได้กรองผ่านกระดาษกรอง What man No.1 แล้ววัดค่า OD ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร นำค่าที่ได้มา plot ลงบนกราฟ หาสมการเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่างค่า OD กับ % ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซีติลโคลีนเอสเตอเรส เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหาปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างจากการทดลองต่อไป

ตารางที่ 15 สัดส่วนเอ็นไซม์อะซิติลโคลิโนเอสเตอเรสกับอะซิติลโคลิน ที่ % ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลิโนเอสเตอเรสต่างๆ

% ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ อะซิติลโคลิโนเอสเตอเรส	เอ็นไซม์อะซิติลโคลิโนเอสเตอเรส (มล.)	อะซิติลโคลิน (มล.)
0	0.50	0.000
10	0.50	0.275
30	0.50	0.325
50	0.50	0.375
80	0.50	0.450
100	0.50	0.500

ที่มา: กอบทอง (2553)

1.2 สร้างกราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตทั้ง 2 ชนิด คือ โพรพิโนฟอสและคลอไพริฟอส กับค่า % ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลิโนเอสเตอเรสของชุดทดสอบสารกำจัดศัตรูพืช “จีที”

สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงหรือค่า OD ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 540 นาโนเมตร กับ % ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลิโนเอสเตอเรสกับอะซิติลโคลินของสารโพรพิโนฟอส ที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 0.1 0.3 0.5 0.7 และ 1 พีพีเอ็ม เนื่องจากค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจได้สำหรับสารโพรพิโนฟอสเท่ากับ 0.005 พีพีเอ็ม (กอบทอง, 2553) และสำหรับสารคลอไพริฟอสที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 1 3 5 7 และ 10 พีพีเอ็ม เนื่องจากค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจได้สำหรับสารคลอไพริฟอสเท่ากับ 0.5 พีพีเอ็ม (กอบทอง, 2553) นำค่าที่ได้มา plot ลงบนกราฟ หาสมการที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหาปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างจากการทดลองต่อไป

2. การสร้างการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในผัก

ตัวอย่างผักคะน้า ผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลี ที่ผ่านการวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชด้วยชุดทดสอบจีที ให้ผลการวิเคราะห์ % การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสเท่ากับ 0 % (คือผักสดที่ไม่มีการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต และสารอื่นๆ ที่เป็นสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส) โดยนำตัวอย่างผักที่ผ่านการวิเคราะห์ดังกล่าวน้ำหนัก 500 กรัม สำหรับคะน้าแยกเอาเฉพาะใบและก้านใบที่มีขนาดใกล้เคียงกัน (25 กรัมต่อใบ) ผักชีใช้ทั้งต้นรวมราก (15 กรัมต่อต้น) พริกชี้ฟ้าเขียวใช้ทั้งเม็ดรวมก้าน (10 กรัมต่อเม็ด) ผักกาดขาวปลีแยกใช้เฉพาะกาบใบที่มีขนาดใกล้เคียงกัน (ประมาณ 50 กรัมต่อใบ) และกะหล่ำปลีแยกกาบใบที่มีขนาดใกล้เคียงกัน (ประมาณ 20 กรัมต่อใบ) สร้างการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตเพื่อให้มีปริมาณการตกค้างในผักสดทั้ง 5 ชนิด ที่ 10 เท่าของค่า EU-MRL ปี 2010 (ค่า EU-MRL ปี 2010 ของสารโปรฟิโนฟอสและคลอไพริฟอสในผักคะน้า ผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลี แสดงในตารางภาคผนวกที่ ค1) โดยแช่ผักสดในสารละลายสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตแต่ละชนิดคือสารละลายโปรฟิโนฟอสและสารละลายคลอไพริฟอสที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 10 ลิตร นาน 2 นาที จากนั้นนำผักที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตเรียบร้อยแล้ว ปล่อยให้แห้งในตู้เป่าลม (Laminar Air Flow) ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 2 ชม. (ดัดแปลงวิธีการจาก Wu *et al.*, 2007)

จากนั้นนำผักปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชดังกล่าวไปศึกษาวิธีการลดปริมาณสารตกค้าง ด้วยวิธีการล้างผักโดยใช้น้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซิง (น้ำอ็อกซิโกลีโซไซด์ชนิดกรด สารละลายคลอรีนไดออกไซด์ และน้ำไอโซน) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการล้างกับน้ำประปา

3. ศึกษาประสิทธิภาพการล้างผักด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง โดยใช้กะน้ำเป็นตัวแทนชนิดผัก

3.1 สร้างการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชในใบคะน้า

สร้างการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืช 2 ชนิด คือ โพรพิโนฟอสและคลอไพริฟอส ที่ระดับการตกค้างของสารแตกต่างกัน 2 ระดับ คือ การตกค้างของสารที่ 10 และ 100 เท่า ของค่า EU-MRLs (เมื่อค่า EU-MRLs ปี 2010 ของสารโพรพิโนฟอสและคลอไพริฟอสในคะน้าเท่ากับ 0.05 พีพีเอ็ม) ทดลองสร้างการปนเปื้อนด้วยสารกำจัดศัตรูพืชแต่ละชนิดๆ ละ 3 ซ้ำ (ทำ 2 การทดลอง) โดยกะน้ำแยกเอาเฉพาะใบและก้านใบที่มีขนาดใกล้เคียงกัน (25 กรัมต่อใบ) น้ำหนัก 500 กรัม แช่ในสารละลายสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตแต่ละชนิด ปริมาตร 10 ลิตร (สัดส่วนผักต่อสารละลายสารกำจัดศัตรูพืชเท่ากับ 1:20) สำหรับสารละลายโพรพิโนฟอสใช้ความเข้มข้นเท่ากับ 10 และ 50 พีพีเอ็ม และสารละลายคลอไพริฟอสความเข้มข้นเท่ากับ 1 และ 7 พีพีเอ็ม แช่นาน 2 นาที จากนั้นนำคะน้าที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตเรียบร้อยแล้ว ผึ่งให้แห้งในตู้เป่าลม (Laminar Air Flow) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 2 ชม. (ดัดแปลงวิธีการจาก Wu *et al.*, 2007) วิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างด้วยชุดทดสอบจีที (วิธีการทดลองในข้อที่ 8.1)

3.2 ศึกษาประสิทธิภาพการล้างใบคะน้าด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง เพื่อลดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต

ทดลองล้างใบคะน้าปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (โพรพิโนฟอสและคลอไพริฟอส) จากวิธีการทดลองที่ 3.1 เมื่อระดับการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชเท่ากับ 10 เท่า และ 100 เท่า ค่า EU-MRLs ปี 2010 ด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง 3 ชนิด คือ น้ำ EO ชนิดกรด ปริมาณคลอรีนอิสระ 50 และ 70 พีพีเอ็ม สารละลายคลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม และน้ำโอโซนเข้มข้น 0.5 และ 1 พีพีเอ็ม เวลาล้าง 15 และ 30 นาที เปรียบเทียบประสิทธิภาพการล้างกับน้ำประปา โดยล้างใบคะน้า 100 กรัม ต่อน้ำล้าง 2 ลิตร (สัดส่วนผัก:น้ำล้างเท่ากับ 1:20) เวลาล้าง 15 และ 30 นาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในการศึกษาประสิทธิภาพการล้างด้วยวิธีการต่างๆ ใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ประกอบด้วยวิธีการล้างผักรวม 15 วิธีๆ ละ 3 ซ้ำ (ทำ 2 ชุดการทดลอง) ดังต่อไปนี้

วิธีที่ 1	คะน้ำแช่สารกำจัดศัตรูพืช (คลอไพริฟอสหรือโพรพิโนฟอส) แต่ไม่ผ่านการล้าง
วิธีที่ 2	คะน้ำแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยน้ำประปา นาน 15 นาที
วิธีที่ 3	คะน้ำแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยน้ำประปา นาน 30 นาที
วิธีที่ 4	คะน้ำแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด 50 พีพีเอ็ม นาน 15 นาที
วิธีที่ 5	คะน้ำแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด 50 พีพีเอ็ม นาน 30 นาที
วิธีที่ 6	คะน้ำแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด 70พีพีเอ็ม นาน 15 นาที
วิธีที่ 7	คะน้ำแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด 70 พีพีเอ็ม นาน 30 นาที
วิธีที่ 8	คะน้ำแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์ 5 พีพีเอ็ม นาน 15 นาที
วิธีที่ 9	คะน้ำแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์ 5 พีพีเอ็ม นาน 30 นาที
วิธีที่ 10	คะน้ำแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์ 10 พีพีเอ็ม นาน 15 นาที
วิธีที่ 11	คะน้ำแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์ 10 พีพีเอ็ม นาน 30 นาที
วิธีที่ 12	คะน้ำแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยโอโซน 0.5 พีพีเอ็ม นาน 15 นาที
วิธีที่ 13	คะน้ำแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยโอโซน 0.5 พีพีเอ็ม นาน 30 นาที
วิธีที่ 14	คะน้ำแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยโอโซน 1 พีพีเอ็ม นาน 15 นาที
วิธีที่ 15	คะน้ำแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยโอโซน 1 พีพีเอ็ม นาน 30 นาที

เมื่อครบเวลาล้างนำผักจุ่มในถังน้ำประปา (ปริมาตร 2 ลิตร) โดยแกว่งเบาๆ ประมาณ 1 นาที ก่อนเอาขึ้นและนำไปผึ่งให้แห้งในตู้เป่าลม (Laminar Air Flow) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำผักไปวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างด้วยชุดทดสอบ “จีที” (วิธีการทดลองข้อ 8.1)

4. ศึกษาประสิทธิภาพการล้างผักสดด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเพื่อลดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในผักสด

จากผลการทดลองข้อที่ 3.2 พบว่าการล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ดีในการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตตกค้างในผักคะน้า โดยคะน้ำที่มีปริมาณสารตกค้างที่ระดับต่ำ (10 เท่าของค่า EU-MRL) หลังล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง พบว่า ปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตมีแนวโน้มลดลงใกล้เคียงหรือผ่านค่า EU-MRL การทดลองในข้อที่ 4 จึงได้ทดลองล้างผักเพิ่มขึ้นเป็น 5 ชนิด คือ คะน้า ผักชี พริกชี้ฟ้า

ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลีที่สร้างการปนเปื้อนโดยเดิม (spike) สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 2 ชนิด คือสาร โพรพิโนฟอสและคลอไพริฟอส ที่ปริมาณการตกค้าง 10 เท่าของค่า EU-MRLs ปี 2010 โดยกำหนดความเข้มข้นของน้ำล้างชนิดออกซิไดส์ซึ่ง คือ น้ำไฮโซความเข้มข้น 0.5 และ 1 พีพีเอ็ม สารละลายคลอรีนไดออกไซด์ความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม และน้ำ EO ชนิดกรด ความเข้มข้นของคลอรีนอิสระเท่ากับ 50 และ 70 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการล้างที่ระยะเวลาต่างๆ กัน ลดลงจากข้อ 3.2 เป็น 5 และ 10 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ผ่านการล้างด้วยน้ำประปาตามวิธีการเดียวกัน (ตัวอย่างควบคุม) และตัวอย่างผักที่ไม่ผ่านการล้าง (เพื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างเริ่มต้น) โดยนำตัวอย่างผัก 100 กรัม (กรรมวิธีการเตรียมผัก แสดงในวิธีการทดลองข้อ 2) ใส่ในกะละมังเติมน้ำล้างออกซิไดส์ซึ่งข้างต้นชนิดใดชนิดหนึ่งที่ปริมาตร 2 ลิตร ล้างนาน 5 และ 10 นาที จากนั้นนำผักไปล้างในน้ำประปานานประมาณ 1 นาที แล้วผึ่งตัวอย่างผักให้แห้งในตู้เป่าลม (Laminar Air Flow) (ภาพผนวกที่ ค3) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 2 ชม. (ดัดแปลงวิธีการจาก Wu *et al.*, 2007) ในการศึกษาประสิทธิภาพการล้างด้วยวิธีการต่างๆ ใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ประกอบด้วยการล้างผัก 15 วิธีๆ ละ 3 ซ้ำ (ทำ 2 ชุดการทดลอง) ดังต่อไปนี้

วิธีที่ 1	ผักแช่สารกำจัดศัตรูพืช (คลอไพริฟอสหรือโพรพิโนฟอส) แต่ไม่ผ่านการล้าง
วิธีที่ 2	ผักแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยน้ำประปา นาน 5 นาที
วิธีที่ 3	ผักแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยน้ำประปา นาน 10 นาที
วิธีที่ 4	ผักแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด 50พีพีเอ็ม นาน 5 นาที
วิธีที่ 5	ผักแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด 50 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที
วิธีที่ 6	ผักแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด 70 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที
วิธีที่ 7	ผักแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด 70 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที
วิธีที่ 8	ผักแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์ 5 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที
วิธีที่ 9	ผักแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์ 5พีพีเอ็ม นาน 10 นาที
วิธีที่ 10	ผักแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์ 10 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที
วิธีที่ 11	ผักแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์ 10 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที
วิธีที่ 12	ผักแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยไฮโซ 0.5 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที
วิธีที่ 13	ผักแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยไฮโซ 0.5 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที
วิธีที่ 14	ผักแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยไฮโซ 1 พีพีเอ็ม นาน 5 นาที
วิธีที่ 15	ผักแช่สารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยไฮโซ 1 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที

จากนั้นนำตัวอย่างผักที่ผ่านวิธีการล้าง (วิธีการล้าง ภาพผนวกที่ ค3) ข้างต้น ตรวจสอบวิเคราะห์หาปริมาณสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่เหลือตกค้างในตัวอย่างผักด้วยชุดทดสอบจีที (วิธีการทดลองข้อ 8.1)

5. ศึกษาประสิทธิภาพน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งต่อการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืช ในผักปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และส้มเก็บเกี่ยวผักที่ระยะเวลาต่างๆ หลังการฉีดพ่นสาร

ทดลองปลูกคะน้า 2 รุ่นการปลูก เมื่อรุ่นที่ 1 ปลูกในช่วงเดือน ธันวาคม ปี 2554 ถึง กุมภาพันธ์ ปี 2555 และรุ่นที่ 2 ปลูกในช่วงเดือนมกราคม 2555 ถึงเดือนมีนาคม ปี 2555 โดยสร้างแปลงปลูกคะน้าบนพื้นที่ซึ่งไม่เคยผ่านการใช้สารกำจัดศัตรูพืชหรือสารเคมีชนิดอื่นมาก่อน เพื่อลดการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชและสารเคมีชนิดอื่นๆ ในตัวอย่างคะน้าที่ทดลองปลูก วิธีการปลูกและการเก็บเกี่ยวดังต่อไปนี้

5.1 การปลูก และการเก็บเกี่ยวคะน้า

5.1.1 การปลูก และการเก็บเกี่ยวผักคะน้า

การเตรียมดิน

การเตรียมดินพลิกหน้าดินด้วยรถไถ ดากหน้าดินให้ได้รับแสงแดดไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ แล้วนำปุ๋ยคอกมาหว่านให้ทั่วแปลง เพื่อเป็นการเพิ่มธาตุอาหารในดิน และให้ดินมีความสมบูรณ์และร่วนซุยมากขึ้น จากนั้นไถย่อยดินให้ร่วนด้วยรถไถอีกครั้ง พร้อมทั้งเจาะร่อง 3 ร่อง เป็นร่องระบายน้ำของแปลงปลูกขนาด 6 x 20 เมตร

การเพาะกล้าเมล็ด

การเพาะกล้าเมล็ด ใช้เมล็ดคะน้าพันธุ์บางบัวทอง 25 (ตราครุฑแดง) ประมาณ 1000 เมล็ด หว่านลงในแปลง พร้อมทั้งรดน้ำให้ชุ่ม หลังจากนั้นประมาณ 2-3 วัน เมื่อดันกล้าเริ่มออก ถอนแยกต้นกล้าคะน้าปลูกในแปลงปลูกที่มุงหลังคาด้วยพลาสติกใสชนิด Polyethylene (PE) ขนาด 6 x 20 เมตร (ภาพผนวกที่ ง2) ระยะห่างระหว่างต้นคะน้าเท่ากับ 20 x 20 ซม.

การให้น้ำและปุ๋ย

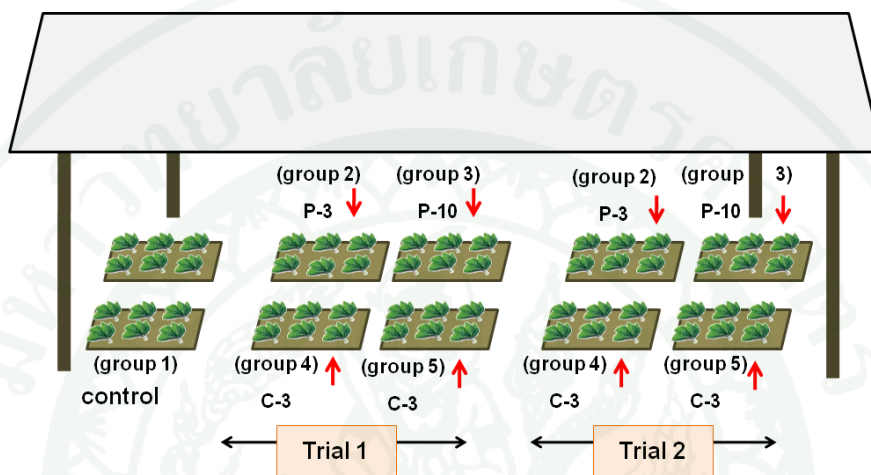
ต้นกล้าอ่อนให้น้ำวันละ 2 ครั้ง คือ เช้าและเย็น โดยใช้แบบระบบสปริงเกอร์ หลังจากปลูกไปแล้วประมาณ 15-20 วัน ค่ะน้ำจะเริ่มเจริญเติบโตมากขึ้น ให้ปุ๋ยครั้งแรกโดยใช้ปุ๋ยยูเรียสูตร 46-0-0 ผสมกับปุ๋ยสูตร 16-8-8 ในอัตราส่วน 1:1 แล้วหว่านให้ทั่วแปลงในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับการให้ปุ๋ยครั้งแรกเน้นไปที่ปุ๋ยสูตรที่มีธาตุไนโตรเจนสูง เพื่อเป็นการเร่งการเจริญเติบโตของลำต้น หลังจากนั้นอีกประมาณ 10 วัน ให้ปุ๋ยครั้งที่ 2 สูตร 16-8-8 ในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากให้ปุ๋ยแล้วต้องให้น้ำตามทันที เพื่อให้เม็ดปุ๋ยละลาย หลังจากปลูกไปแล้วประมาณ 20 วัน แยกต้นคะน้าออก ให้แต่ละต้นห่างกันประมาณ 20 เซนติเมตร ไม่ให้ต้นคะน้าชิดกันเกินไป เพราะทำให้ต้นคะน้าไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควร (ตารางผนวกที่ ง1 และ ง2)

5.1.2 การฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช

ก่อนการเก็บเกี่ยวคะน้า ถูกแยกออกเป็นกลุ่มๆ (กลุ่มละประมาณ 150 ต้น) เพื่อฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 2 ชนิด คือ โพรพิโนฟอสหรือคลอไพริฟอส การฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชโพรพิโนฟอสและคลอไพริฟอสนั้น ผสมสารกำจัดศัตรูพืชตามอัตราส่วนที่แนะนำข้างขวด (ภาคผนวก ก4) ตามคำแนะนำของบริษัทและระยะเวลาเก็บเกี่ยว ผลผลิตตามคำแนะนำของฉลากสารกำจัดศัตรูพืชแต่ละชนิด คือ โพรพิโนฟอสฉีดพ่นยาที่อัตราส่วนยา 20 มล. ต่อน้ำ 20 ลิตร และเก็บผลผลิตหลังจากฉีดพ่นยาแล้ว 10 วัน สำหรับคลอไพริฟอสฉีดพ่นยาที่อัตราส่วนยา 20 มล. ต่อน้ำ 20 ลิตร และเก็บผลผลิตหลังจากฉีดพ่นยาแล้ว 14 วัน เปรียบเทียบกับคะน้าที่มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ 3 วันหลังจากฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช ซึ่งเป็นระยะเก็บเกี่ยวหลังการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชเลียนแบบเกษตรกรนิยมเก็บจริง (ธรรมศักดิ์ และคณะ, 2548) โดยแยกกลุ่มตัวอย่างคะน้า ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ไม่ฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชตลอดการเก็บเกี่ยว กลุ่มที่ 2 ฉีดพ่นสารโพรพิโนฟอส ที่ 10 วันก่อนการเก็บเกี่ยว (อายุเก็บเกี่ยว 50 วัน ฉีดวันที่ 40) กลุ่มที่ 3 ฉีดพ่นสารโพรพิโนฟอส ที่ 3 วันก่อนการเก็บเกี่ยว (อายุเก็บเกี่ยว 50 วัน ฉีดวันที่ 47) กลุ่มที่ 4 ฉีดพ่นสารคลอไพริฟอส ที่ 14 วันก่อนการเก็บเกี่ยว (อายุเก็บเกี่ยว 50 วัน ฉีดวันที่ 36) และกลุ่มที่ 5 ฉีดพ่นสารคลอไพริฟอส ที่ 3 วันก่อนการเก็บเกี่ยว (อายุเก็บเกี่ยว 50 วัน ฉีดวันที่ 47) (ตารางผนวกที่ ง1 และ ง2) การฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชในแต่ละกลุ่มคะน้า (กลุ่มที่ 2-5 ตารางผนวกที่ ง1) ต้องกั้นแปลง

คะน้ำด้วยแผ่นพลาสติกใส ชนิด PE เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของสารกำจัดศัตรูพืชปนเปื้อนสู่คะน้ำกลุ่มอื่น (ภาพผนวกที่ 1) สำหรับวิธีการปลูกและดูแลแปลงคะน้ำปฏิบัติตามคำแนะนำของคุณธนาภา บุญสูงเนิน เกษตรกรผู้ปลูกผักคะน้ำเพื่อจำหน่าย (ปฐมพงศ์, 2554) การแบ่งคะน้ำ แสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การแบ่งแปลงปลูกคะน้ำเพื่อการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช และเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลาต่างๆ หลังฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชแล้ว

หมายเหตุ control คือ ไม่ฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช, P-3 และ P-10 คือ คะน้ำที่ฉีดพ่นสารไพรอพิโนฟอส 3 และ 10 วัน ก่อนวันเก็บเกี่ยว, C-3 และ C-14 คือ คะน้ำที่ฉีดพ่นสารคลอไพริฟอส 3 และ 14 วัน ก่อนวันเก็บเกี่ยว (ทำการทดลองปลูก 2 ครั้ง)

5.1.3 การเก็บเกี่ยว

เมื่อครบอายุเก็บเกี่ยวที่ 50 วัน คะน้ำถูกเก็บเกี่ยวโดยแยกเก็บตามการทดลองแต่ละกลุ่ม (กลุ่มที่ 1-5) วิธีการเก็บเกี่ยวคัดแปลงจากวิธีการเก็บตัวอย่างผลผลิตการเกษตร (วิสุทธิ, 2544) สำหรับแปลงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือกึ่งจัตุรัส สุ่มโดยคัดแถวที่ปลูกหัวแปลงท้ายแปลงและด้านข้าง 2 ข้างทิ้งไป เก็บในแนวทะแยงโดยเว้นต้นให้ได้ปริมาณตามต้องการ จากนั้นนำผักคะน้ำที่ได้ใส่ถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน (Polyethylene) หรือถุง PE น้ำหนักคะน้ำ 5 กิโลกรัม ต่อถุง มัดปากถุงให้แน่นด้วยยางรัด บรรจุถุงผักคะน้ำ 10 กิโลกรัมต่อกล่อง บรรจุในกล่องโฟมปิดสนิทที่เก็บรักษาความเย็นด้วยเจลเก็บความเย็น (Ice Pack) โดยรองก้นกล่องโฟมด้วยเจลเก็บความ

เย็น จากนั้นวางถุงตัวอย่างผักคะน้า แล้ววางทับด้วยเจลเก็บความเย็นปิดคลุมด้านบนสุดอีกชั้น เพื่อรักษาความสดของผัก กล่องโฟมตัวอย่างคะน้าทั้ง 5 กลุ่มการทดลองข้างต้น ขนส่งโดยรถประจำทางจากจังหวัดนครราชสีมาถึงห้องปฏิบัติการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร (เวลาเดินทางประมาณ 10 ชั่วโมง)

5.2 ศึกษาผลของระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชต่อปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชในผัก

ทดลองปลูกผักคะน้า (ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างผักในระหว่างการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยว ดังวิธีการข้อ 5.1) คะน้าทั้ง 2 รุ่นการปลูกถูกนำมาศึกษาผลของระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชต่อปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชด้วยวิธีเดียวกัน คือ ก่อนการเก็บเกี่ยวต้นคะน้าในแปลงถูกแยกออกเป็นกลุ่มๆ (กลุ่มละประมาณ 150 ต้น) เพื่อฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตทั้ง 2 ชนิด คือ สารโทรฟิโนฟอสหรือคลอไพริฟอส (ทำ 2 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ) โดยแบ่งกลุ่มดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1	ไม่ฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช (ควบคุม)
กลุ่มที่ 2	ฉีดพ่นสารโทรฟิโนฟอส ที่ 3 วันก่อนการเก็บเกี่ยว
กลุ่มที่ 3	ฉีดพ่นสารโทรฟิโนฟอส ที่ 10 วันก่อนการเก็บเกี่ยว
กลุ่มที่ 4	ฉีดพ่นสารคลอไพริฟอส ที่ 3 วันก่อนการเก็บเกี่ยว
กลุ่มที่ 5	ฉีดพ่นสารคลอไพริฟอส ที่ 14 วันก่อนการเก็บเกี่ยว

เมื่อครบอายุเก็บเกี่ยวที่ 50 วัน คะน้าทั้ง 5 กลุ่มถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชด้วยชุดทดสอบจีที (วิธีการทดลองข้อที่ 8.1) และศึกษาประสิทธิภาพการล้างผักด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง ต่อการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต

5.3 ศึกษาประสิทธิภาพการล้างผักด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง ต่อการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในผัก ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชแตกต่างกัน

คะน้ำทั้ง 2 รุ่นการปลูก (คะน้ำจากการทดลองที่ 5.1) ถูกนำมาศึกษาประสิทธิภาพการล้างด้วยวิธีการล้างเดียวกัน กล่าวคือคะน้ำถูกนำมาคัดแยก เลือกเฉพาะใบคะน้ำที่มีขนาดใบและก้านใบใกล้เคียงกัน (ประมาณ 25 กรัมต่อน้ำ) ล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง โดยคัดเลือกสภาวะการล้างที่ดีจากการทดลองที่ 4 คือ น้ำ EO ชนิดกรด 70 พีพีเอ็ม สารละลายคลอรีนไดออกไซด์ 10 พีพีเอ็ม และน้ำไอโซน 1 พีพีเอ็ม นำตัวอย่างผัก 100 กรัม ใส่ในกะละมัง เติมน้ำล้างออกซิไดส์ซึ่ง ปริมาตร 2 ลิตร ล้างนาน 10 นาที จากนั้นนำผักไปล้างในน้ำประปานานประมาณ 1 นาที แล้วผึ่งตัวอย่างผักให้แห้งในตู้เป่าลม (Laminar Air Flow) ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 2 ชม. ในการศึกษาประสิทธิภาพการล้างด้วยวิธีการต่างๆ ใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ประกอบด้วยวิธีการล้างผักรวม 5 วิธีๆ ละ 3 ซ้ำ (ทำ 2 ชุดการทดลอง) ดังต่อไปนี้

- | | |
|-----------|--|
| วิธีที่ 1 | ผักที่ฉีดพ่นสารโพรฟิโนฟอส (3 และ 10 วัน) หรือ
ผักสารคลอไพริฟอส (3 และ 14 วัน) แต่ไม่ผ่านการล้าง |
| วิธีที่ 2 | ผักที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยน้ำประปานาน 10 นาที (ตัวอย่างควบคุม) |
| วิธีที่ 3 | ผักที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด 70 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที |
| วิธีที่ 4 | ผักที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์ 10 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที |
| วิธีที่ 5 | ผักที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยไอโซน 1 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที |

จากนั้นนำตัวอย่างผักที่ผ่านวิธีการล้างข้างต้น ตรวจสอบวิเคราะห์หาปริมาณสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตตกค้างในตัวอย่างผักด้วยชุดทดสอบจีที (วิธีการทดลองข้อที่ 8.1)

6. ประยุกต์ใช้สภาวะการล้างจากข้อ 4 เพื่อลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในผักสดเพื่อการส่งออก

สุ่มเก็บตัวอย่างผักสดส่งออกที่พบการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (จากผลการตรวจจากห้องปฏิบัติการ A) ครั้งที่ 1 วันที่ 27 กุมภาพันธ์ ถึง 3 มีนาคม ปี 2555 และครั้งที่ 2 วันที่ 10 มีนาคม ถึง 17 มีนาคม ปี 2555 มาทำการศึกษาผลของการล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง โดยใช้ตัวแทนผักสดส่งออก 4 ชนิด คือ คะน้า ผักชี พริก และผักกาดขาวปลี ทดลองล้างผักคะน้าทั้งต้น (100 กรัมต่อต้น) ผักชีทั้งต้นรวมราก (25 กรัมต่อต้น) พริกทั้งเม็ดรวมก้าน (3 กรัมต่อเม็ด) และผักกาดขาวปลีทั้งหัว (500 กรัมต่อหัว) ทดลองล้างผักตัวอย่างน้ำหนัก 500 กรัม ด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง ปริมาตร 10 ลิตร (สัดส่วนผัก:น้ำล้าง คือ 1:20) โดยคัดเลือกสภาวะการล้างที่

ดีจากการทดลองข้อที่ 4 คือ น้ำ EO ชนิดกรด ปริมาณคลอรีนอิสระเท่ากับ 70 พีพีเอ็ม คลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 10 พีพีเอ็ม และน้ำไอโซนเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม ที่เวลา 10 นาที ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในการศึกษาประสิทธิภาพการล้างด้วยวิธีการต่างๆ ประกอบด้วยวิธีการล้างฝักรวม 4 วิธีๆ ละ 2 ชั่วโมง (ทำ 2 ชุดการทดลอง) ดังต่อไปนี้

- วิธีที่ 1 ฝักที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชแต่ไม่ผ่านการล้าง (ตัวอย่างควบคุม)
- วิธีที่ 2 ฝักที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด 70 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที
- วิธีที่ 3 ฝักที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยน้ำคลอรีนไดออกไซด์ 10 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที
- วิธีที่ 4 ฝักที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชล้างด้วยไอโซน 1 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที

จากนั้นนำฝักที่ผ่านการล้างด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้น วิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างด้วยเทคนิค Gas Chromatography/Flame Photometric Detector หรือ GC/FPD (วิธีการทดลองข้อที่ 8.2) โดยห้องปฏิบัติการของบริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด

7. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ น้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งระหว่างน้ำล้างก่อนและหลังผ่านกรรมวิธีการล้างฝักปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืช

7.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติของน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งระหว่างก่อนและหลังล้างใบคะน้าที่มีปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง วิเคราะห์ค่าความเข้มข้น ค่าพีเอช และค่า Oxidation-Reduction Potential หรือค่า ORP ของน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งทั้ง 3 ชนิด คือ น้ำ EO ชนิดกรด สารละลายคลอรีนไดออกไซด์ และน้ำไอโซน (วิธีวิเคราะห์ ภาคผนวก ก) เปรียบเทียบคุณสมบัติ น้ำล้างก่อนและหลังล้างฝักสดปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืช (ที่เวลาล้าง 10 15 และ 30 นาที)

7.2 ตรวจสอบในทำนองเดียวกันกับข้อ 7.1 เปรียบเทียบสมบัติน้ำก่อนล้างและหลังล้างฝักสดปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืช (ที่เวลาล้าง 5 และ 10 นาที)

8. การวิเคราะห์

การวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในการทดลองข้อ 3 4 และ 5 ตรวจสอบด้วยชุดทดสอบ “จีที” ส่วนข้อ 6 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gas Chromatography

8.1 การวิเคราะห์ด้วยชุดทดสอบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต “จีที”

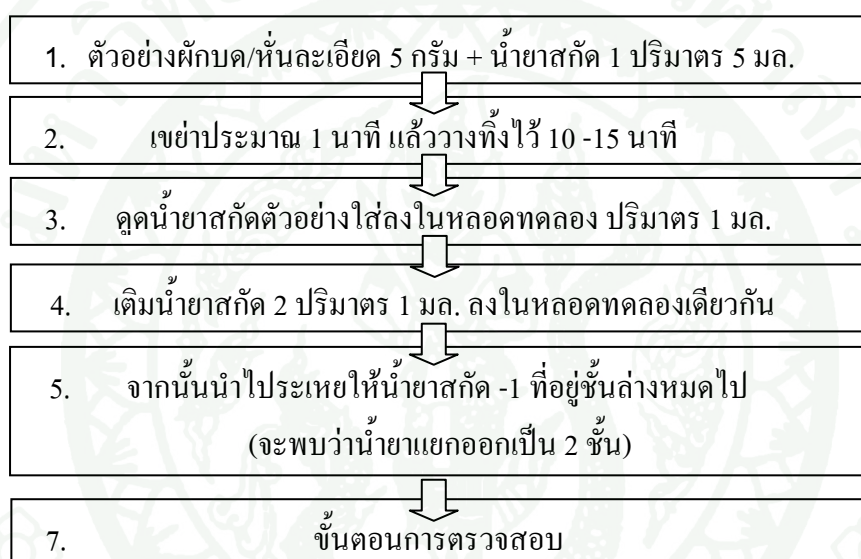
8.1.1 ส่วนประกอบของชุดทดสอบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง “จีที”

ชุดทดสอบเบื้องต้นสำหรับตรวจวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง ของห้างจีที ตรวจสอบความเป็นพิษตกค้างจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืช (Pesticide) หรือสารกำจัดศัตรูพืชอื่นๆ ที่อาจปนเปื้อนหรือตกค้างในอาหาร โดยสามารถตรวจหาความเป็นพิษของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช 2 กลุ่ม คือกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต คาร์บาเมต และสารกำจัดศัตรูพืชอื่นๆ ที่เป็นสารยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส ชุดทดสอบ “จีที” หรือ GT-Test Kits ภายในประกอบด้วย สารเคมีต่างๆ ดังนี้ (หน่วยเคลื่อนที่เพื่อความปลอดภัยด้านอาหารฯ, 2551)

1. Solvent 1 คือ ไดคลอโรมีเทน
2. Solvent 2 คือ 5% เอทานอล
3. GT1 คือ เอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส
4. GT2 คือ สารสื่อประสาทอะซิติลโคลีน
5. GT2.1 คือ ตัวทำละลาย
6. GT3 คือ ไฮดรอกซีอะมีน ตัวยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา
7. GT3.1 คือ ตัวทำละลาย
8. GT4 คือ กรด HCl
9. GT5 คือ FeCl_3

8.1.2 การสกัดสารละลายตัวอย่างผัก

สุ่มตัวอย่างผัก คือ กระน้ำ ผักชี ผักกาดขาวปลีและกะหล่ำปลี ซึ่งน้ำหนักให้ได้ 100 กรัม และบดละเอียด จากนั้นสุ่มชั่งผัก 5 กรัม สกัดด้วยสารสกัด No.1 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร (ยกเว้นพริกชี้ฟ้า ที่ชั่ง 2.5 กรัม แล้วเติมสารสกัด No.1 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร) จากนั้นเขย่าให้เข้ากัน ประมาณ 1 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 – 15 นาที ได้สารสกัดจากผัก (กอบทอง, 2553) แผนภูมิขั้นตอนการสกัด (ขั้นตอน 1-7) แสดงดังนี้



8.1.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืช

ดำเนินการเติมน้ำยาต่างๆ ตามที่ระบุในตารางที่ 16 ดังนี้ แต่ละครั้งมีหลอดทดลองเปรียบเทียบ 3 หลอด ดังนี้

หลอดควบคุม หมายถึง	0 % การยับยั้งเอนไซม์อะซีทิลโคลีนเอสเตอเรส
หลอดตัดสิน หมายถึง	50 % การยับยั้งเอนไซม์อะซีทิลโคลีนเอสเตอเรส
หลอดตัวอย่าง หมายถึง	หลอดทดสอบสารสกัดจากตัวอย่าง

ตารางที่ 16 การวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง

สาร	หลอดตัดสิน	หลอดควบคุม	หลอดตัวอย่าง	หมายเหตุ
Solvent 1	-	-	0.25	
Solvent- 2	0.25	0.25	-	
GT 1	0.50	0.50	0.50	วางไว้ 5 -10 นาที
GT 2 + GT -2.1	0.375	0.25	0.25	วางไว้ 60 นาที
GT 3 + GT -3.1	1	1	1	เขย่า
GT 4	0.5	0.5	0.5	เขย่า
GT 5	0.5	0.5	0.5	เขย่า

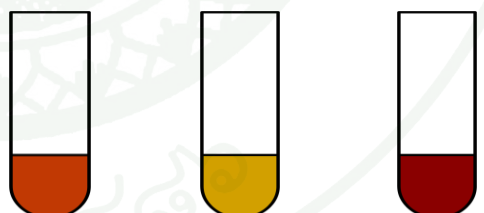
หมายเหตุ ขั้นตอนการวิเคราะห์จะต้องทำในอ่างน้ำอุ่นที่ควบคุมอุณหภูมิในช่วง 32-36 °C ,
ปริมาตรสารในหน่วยมิลลิลิตร

ที่มา: กอบทอง (2553)

8.1.4 ขั้นตอนการรายงานผลวิเคราะห์

อ่านผลจากหลอดทดลองทั้ง 3 หลอด การแปลผลแบบเชิงคุณภาพ คือ
ปลอดภัย หรือไม่ปลอดภัย ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 การอ่านผล % การยับยั้งเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส เปรียบเทียบกับสีที่ปรากฏ

สีสารละลายในหลอด	เกณฑ์ตัดสินและเกณฑ์รายงานผล
1. หลอดตัวอย่างมีสีอ่อนกว่าหรือเท่ากับหลอดควบคุม	 หลอดตัดสิน หลอดควบคุม ตัวอย่าง ไม่พบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง (% Inhibition = 0)
2. หลอดตัวอย่างมีสีเข้มกว่าหลอดควบคุมแต่อ่อนกว่าหลอดตัดสิน	 หลอดตัดสิน หลอดควบคุม ตัวอย่าง พบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างแต่อยู่ในระดับที่ปลอดภัย (% Inhibition น้อยกว่า 50)
3. หลอดตัวอย่างมีสีเท่ากับหรือเข้มกว่าหลอดตัดสิน	 หลอดตัดสิน หลอดควบคุม ตัวอย่าง พบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างแต่อยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัย (% Inhibition มากกว่า 50)

หมายเหตุ % Inhibition คือ % การยับยั้งเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส

8.1.5 วัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อแปลผลการวิเคราะห์ในเชิงปริมาณ

วัดค่าการดูดกลืนแสงของสีที่เกิดขึ้นในแต่ละหลอดการทดลอง โดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง UV ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร เปรียบเทียบสีที่เกิดขึ้นระหว่างหลอดควบคุม หลอดตัดสี และหลอดตัวอย่าง สามารถแปลผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเป็นเชิงปริมาณโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับค่า % การยับยั้งเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของสารกำจัดศัตรูพืช คำนวณหาปริมาณสารตกค้างโดยเทียบกับกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่า % การยับยั้งเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส กับค่าความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชทั้ง 2 ชนิด คือสารไพรีฟิโนฟอส และสารคลอไพริฟอส

8.2 วิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตามมาตรฐานห้องปฏิบัติการ โดยบริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ด้วยเทคนิค CG/FPD (วิธีทดสอบอ้างอิง : In-house method based on Steinwandter, H.1985. Universal 5 min on-line method for extracting and isolating pesticide residues and industrial chemicals. Fresenius Z. Anal. Chem. No. 1155.)

9. การคำนวณหาปริมาณของสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในตัวอย่าง

9.1 วิธีการคำนวณหาปริมาณของสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในตัวอย่าง (แสดงตัวอย่างในภาคผนวก ข)

9.2 การคำนวณ % reduction

$$\% \text{ reduction} = (A - B)/A \times 100$$

เมื่อ A = ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่มีอยู่เริ่มต้น (พีพีเอ็ม)
B = ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่เหลืออยู่ (พีพีเอ็ม)

10. การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

ออกแบบการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ Completely Randomized Design หรือ CRD ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผัก โดยแยกวิเคราะห์ตามความเข้มข้นและชนิดของสารกำจัดศัตรูกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (สาร โพรพิโนฟอสและกลอไพริฟอส) หลังผ่านการล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งแต่ละชนิด ที่ระดับความเข้มข้นและเวลาล้างที่ต่างกัน ด้วยวิธีของ Duncan's Multiple Range Test

11. สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

11.1 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการ Food safety ดิโกอุตสาหกรรมเกษตร 2 ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

11.2 สถานที่ทดลองปลูกผัก

พื้นที่แปลงเกษตรของ น.ส. พวงบุปผา จุติพล หมู่บ้านบ่อชลบ ตำบลนาพรุ อำเภอพระพรหม จังหวัดนครศรีธรรมราช

11.3 ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืช

ห้องปฏิบัติการของบริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

12. ระยะเวลาทำการวิจัย

เริ่มทำการวิจัยเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2553 และสิ้นสุดการวิจัยเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555

ผลและวิจารณ์

1. การตรวจปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชในเชิงปริมาณด้วยชุดทดสอบจีที และกราฟมาตรฐาน

โดยปกติชุดทดสอบจีทีออกแบบเพื่อใช้ในการตรวจสอบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในในผักแบบคัดกรองให้ค่าสีดูด้วยตาเปล่า (สีเหลือง-แดงเข้ม) จะให้ผลบวก (สีเหลือง) คือปลอดภัย หรือผลลบ (สีแดง) คือไม่ปลอดภัย เท่านั้น หากต้องการทราบปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชนั้นๆ มีในสารสกัดตัวอย่างเท่าไรจำเป็นต้องมีการสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (ค่าสีที่ได้) และปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชนั้นๆ ทั้งนี้โดยอาศัยการแปลผลจาก % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสจึงจำเป็นต้องสร้างกราฟ 2 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (ค่า OD) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร กับค่า % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส และสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่า OD กับความเข้มข้นของปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (โพรพิโนฟอสและคลอไพริฟอส) ดังนี้

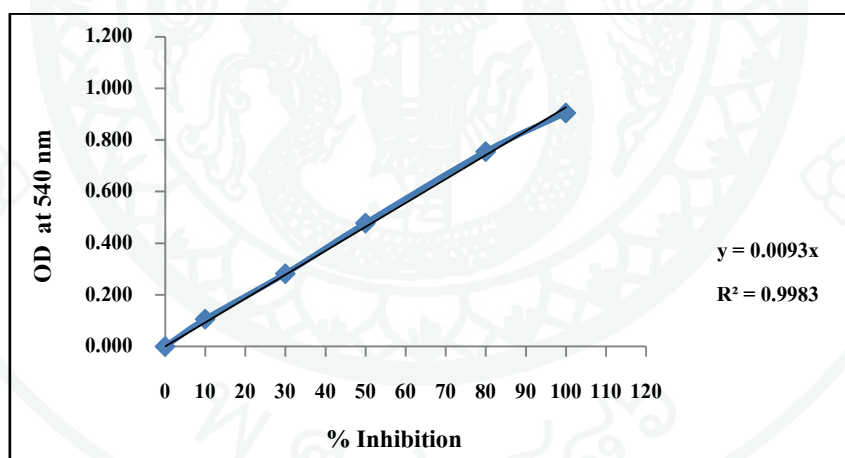
1.1 กราฟความสัมพันธ์ของ % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสกับอะซิติลโคลีน

จากการแปรสัดส่วนของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสกับอะซิติลโคลีน (จากหัวข้อวิธีการทดลอง ที่ 1.1) ทดสอบด้วยชุดทดสอบจีที กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (ภาพที่ 8) พบว่าค่าการดูดกลืนแสงแปรผันตาม % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส ที่ 0 10 30 50 80 และ 100 กล่าวคือค่า OD เพิ่มขึ้นเมื่อค่า % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสเพิ่มขึ้นตามลำดับ (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 18 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

เอ็นไซม์อะซิติลโคลีน เอสเตอเรส (มล.)	อะซิติลโคลีน (มล.)	% การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น ^a
0.50	0.000	0	0.000±0.000
0.50	0.275	10	0.106±0.019
0.50	0.325	30	0.282±0.006
0.50	0.375	50	0.478±0.008
0.50	0.450	80	0.755±0.014
0.50	0.500	100	0.905±0.009

^a ค่าเฉลี่ยและค่า SD จากการทำการทดลอง 5 ครั้งๆ ละ 3 ซ้ำ



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีน-เอสเตอเรส กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

จากกราฟสามารถหาสมการเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่าง % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสกับค่า OD ได้ คือ $y = 0.0093x$ เมื่อค่า $R^2 = 0.9983$

1.2 สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตทั้ง 2 ชนิด คือ สารโทรฟิโนฟอส และคลอไพริฟอส กับค่า % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสจากการตรวจด้วยชุดทดสอบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง “จีที”

ได้กล่าวในเบื้องต้นแล้วว่าเมื่อสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่า % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสกับความเข้มข้นของโทรฟิโนฟอสและคลอไพริฟอส ด้วยวิธีการวิเคราะห์ด้วยชุดทดสอบสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต “จีที” (ใช้หลักการของAcetyl Cholinesterase Inhibition Technique) นำหลอดทดสอบที่ได้วัดค่าสีโดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์จะสามารถใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารตกค้างของสารคลอไพริฟอสและโทรฟิโนฟอสในระดับมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (พีพีเอ็ม) ได้ดังนี้

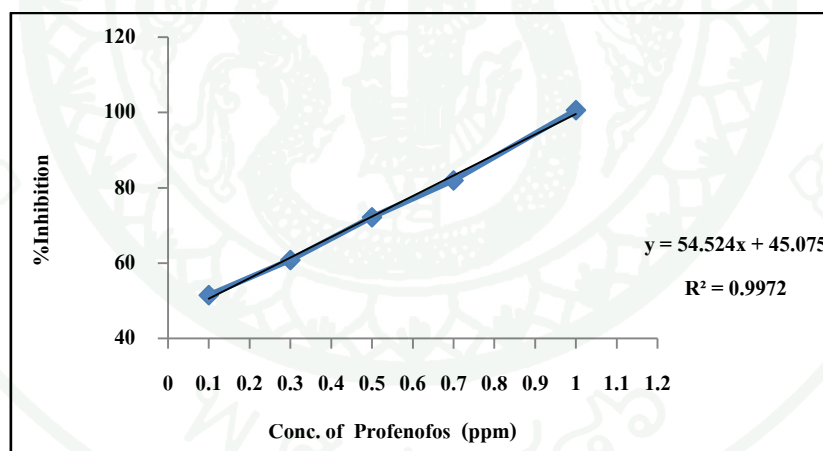
1.2.1 กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารโทรฟิโนฟอส กับ % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส

ได้ทดลองแปรผันความเข้มข้นของสารโทรฟิโนฟอส ที่ระดับความเข้มข้นสารโทรฟิโนฟอส เท่ากับ 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 และ 1 พีพีเอ็ม (เนื่องจากค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจได้สำหรับสารโทรฟิโนฟอส เท่ากับ 0.005 พีพีเอ็ม) ต่อ % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส ทำการทดลอง 5 ครั้งๆ ละ 3 ชั่วโมง พบว่าเมื่อความเข้มข้นสารโทรฟิโนฟอสสูงขึ้นมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับการเพิ่มสูงขึ้นของ % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส (ตารางที่ 19) สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสกับความเข้มข้นของโทรฟิโนฟอส (พีพีเอ็ม) ได้ดังภาพที่ 9

ตารางที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่าง % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส
กับความเข้มข้นของสารละลายโปรฟีโนฟอส (พีพีเอ็ม) ที่ระดับต่างๆ เมื่อวัดค่าการ
ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

ปริมาณสารโปรฟีโนฟอส (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร	% การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะ ซิติลโคลีนเอสเตอเรส ^a
0.1	0.479±0.019	51.50±0.02
0.3	0.566±0.020	60.83±0.02
0.5	0.671±0.020	72.18±0.02
0.7	0.762±0.020	81.98±0.02
1.0	0.936±0.016	100.64±0.02

^a ค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทำการทดลอง 5 ครั้งๆ ละ 3 ซ้ำ



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีน
เอสเตอเรสกับความเข้มข้นของสารละลายโปรฟีโนฟอส (พีพีเอ็ม) ที่ระดับต่างๆ
เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

จากกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสกับความเข้มข้นของสารโพรพิโนฟอส ที่ระดับ 0.1-1 พีพีเอ็ม สามารถหาสมการเส้นตรงได้ คือ $y = 54.524x + 45.075$ มีค่า $R^2 = 0.9972$ นำสมการเส้นตรงที่ได้ใช้ไปคำนวณหาปริมาณสารโพรพิโนฟอส (พีพีเอ็ม) ในผักสดต่อไป

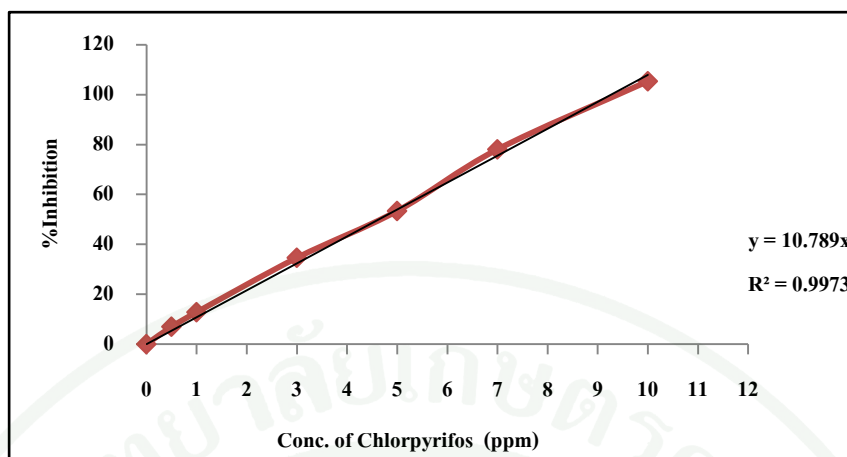
1.2.2 กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่าง % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสกับความเข้มข้นของสารคลอไพริฟอส

ในทำนองเดียวกันกับข้อ 1.2.1 ได้แปรความเข้มข้นของสารคลอไพริฟอส ที่ระดับความเข้มข้นสารคลอไพริฟอส เท่ากับ 0.5, 1, 3, 5, 7 และ 10 พีพีเอ็ม (เนื่องจากค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจได้สำหรับสารคลอไพริฟอส เท่ากับ 0.5 พีพีเอ็ม) ต่อ % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส ทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้งๆ ละ 3 ซ้ำ พบว่าเมื่อความเข้มข้นสารคลอไพริฟอสสูงขึ้นมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับการเพิ่มขึ้นของ % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส (ตารางที่ 20) สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสกับความเข้มข้นของคลอไพริฟอส (พีพีเอ็ม) (ภาพที่ 10)

ตารางที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่าง % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสกับความเข้มข้นของสารละลายคลอไพริฟอส (พีพีเอ็ม) เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

ปริมาณสารคลอไพริฟอส (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาว คลื่น 540 นาโนเมตร	% การยับยั้งการทำงานของ เอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส ^a
0.5	0.074±0.016	8.00±0.02
1.0	0.119±0.013	12.81±0.01
3.0	0.331±0.012	35.64±0.01
5.0	0.524±0.018	59.39±0.02
7.0	0.726±0.022	78.10±0.02
10.0	0.980±0.012	105.40±0.01

^a ค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทำการทดลอง 5 ครั้งๆ ละ 3 ซ้ำ



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีน เอสเตอเรสกับความเข้มข้นของสารละลายคลอไพริฟอส (พืพีเอ็ม) ที่ระดับต่างๆ เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

จากกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสกับความเข้มข้นของสารละลายคลอไพริฟอส (พืพีเอ็ม) ที่ระดับ 0.5-10 พืพีเอ็ม เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ได้หาสมการเส้นตรง คือ $y = 10.789x$ และค่า $R^2 = 0.9973$ นำสมการเส้นตรงที่ได้ใช้คำนวณหาปริมาณสารคลอไพริฟอส (พืพีเอ็ม) ในผักสดต่อไป

2. ปริมาณการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในผักสด

ทดลองสร้างปริมาณการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 2 ชนิด คือ สารโทรฟิโนฟอสและคลอไพริฟอสในผักสด 5 ชนิด คือ คื่นช่าย ผักชี พริกขี้หนู ผักกาดขาวปลีและกะหล่ำปลี โดยการแช่ผักลงในสารละลายสารกำจัดศัตรูพืชแต่ละชนิดที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน (ตารางที่ 21) เพื่อให้ผักมีปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชเท่ากับ 10 เท่าของค่า EU-MRL ปี 2010 ทำการทดลองในผักสดแต่ละชนิดๆ ละ 3 ซ้ำ (ทำ 2 ชุดการทดลอง)

ตารางที่ 21 ปริมาณสารตกค้างที่ได้จากการสร้างการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในผักสด 5 ชนิด

ผัก	ชนิดสารกำจัดศัตรูพืช	ความเข้มข้นสารละลายสารกำจัดศัตรูพืชที่ใช้แช่ (พีพีเอ็ม)	ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผัก (พีพีเอ็ม) ^a
คะน้า	โพรพิโนฟอส	10	0.53±0.02
	คลอไพริฟอส	1	0.62±0.06
ผักชี	โพรพิโนฟอส	25	0.59±0.04
	คลอไพริฟอส	10	0.61±0.03
พริก	โพรพิโนฟอส	27	0.50±0.06
	คลอไพริฟอส	60	5.15±0.42
ผักกาดขาวปลี	โพรพิโนฟอส	15	0.49±0.05
	คลอไพริฟอส	30	5.01±0.14
กะหล่ำปลี	โพรพิโนฟอส	25	0.55±0.54
	คลอไพริฟอส	60	9.53±0.30

^a ค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทดลอง 6 ซ้ำ

จากการทดลองพบว่าผักต่างชนิดกันมีปริมาณของการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชต่างกัน คาดว่าเป็นผลจากการเกาะติดของสารกำจัดศัตรูพืชแต่ละชนิดบนผิวผักแตกต่างกัน รวมทั้งลักษณะทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมีของผักใบ รวมทั้งขนาดของใบ และพื้นผิวสัมผัสที่แตกต่างกัน ปัจจัยที่อ้างถึงมีผลต่อการยึดติดของสารกำจัดศัตรูพืชที่ต่างกันด้วย (ยูทรัช และคณะ, 2544) ในการทดลองนี้พบว่าคะน้าเป็นผักใบที่มีการเกาะติดของสารกำจัดศัตรูพืชทั้ง 2 ชนิด คือ สารโพรพิโนฟอสและคลอไพริฟอสได้ดีที่สุด แม้ว่าความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชทั้ง 2 ชนิดที่ใช้จุ่มต่ำกว่าความเข้มข้นที่ใช้ในผักชนิดอื่น แต่ให้ค่าการตกค้างที่สูง อาจเนื่องมาจากคะน้ามีลักษณะใบที่ใหญ่ มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับสารกำจัดศัตรูพืชได้มาก มีโอกาสสัมผัสกับสารกำจัดศัตรูพืชได้ง่ายขึ้น เช่นเดียวกับผักกาดขาวปลีก็ให้ผลในทำนองเดียวกับคะน้า ผักชีพบว่าเนื่องจากใบมีลักษณะเล็กจึงมีพื้นที่การสัมผัสกับสารกำจัดศัตรูพืชน้อย ส่วนพริกและกะหล่ำปลีพบว่าเนื่องจากผิวสัมผัสลื่นทำให้ยากต่อการเกาะติดของสารกำจัดศัตรูพืช รวมทั้งค่า EU-MRLs ของสารกำจัดศัตรูพืชกำหนดไว้

ค่อนข้างสูง (EU-MRL ปี 2010 กำหนดค่า MRL ของสารคลอไพริฟอสในพริกและกะหล่ำปลี เท่ากับ 0.5 และ 1 พีพีเอ็ม) ความเข้มข้นของสารละลายสารกำจัดศัตรูพืชที่ใช้จุ่มผักอยู่ในระดับที่สูงกว่าตัวอย่างผักอื่นๆ (เช่น 60 พีพีเอ็ม) (ตารางที่ 21)

สอดคล้องกับยุทธชัย และคณะ (2544) พบว่าผักกึ๋นใบ เช่น ผักคะน้าและผักกาดขาวปลี สามารถดูดซับสารกำจัดศัตรูพืชได้มากที่สุด ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในผักจะมากน้อย เพียงใดขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสสารกำจัดศัตรูพืชเป็นสำคัญ คณะผู้วิจัยให้ความเห็นว่าผักคะน้าและผักกาดขาวหากมีสารกำจัดศัตรูพืชปนเปื้อน คาดว่าจะเป็นผักที่สามารถกำจัดสารกำจัดศัตรูพืชได้ยากที่สุด

3. สถานะการล้างคะน้าด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง เพื่อลดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต

3.1 ปริมาณการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชในคะน้า

จากงานวิจัยที่ผ่านมา คณะผู้วิจัยมีแนวโน้มสร้างการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชในผักและผลไม้ในระดับความเข้มข้นสูง หรือตามอัตราส่วนที่แนะนำข้างขวดสาร (ธรรมชาติและคณะ, 2548) ในการทดลองครั้งนี้ได้พยายามสร้างปริมาณการตกค้างต่ำที่สุดให้ใกล้เคียงค่า MRL เพื่อประเมินสถานะการล้างที่ใกล้เคียงกับปริมาณที่พบในผัก โดยเฉพาะผักเพื่อการส่งออก แต่อย่างไรก็ดีไม่สามารถสร้างการปนเปื้อนในระดับ MRL ได้ เพราะมีข้อจำกัดในการตรวจวิเคราะห์ การตรวจวิเคราะห์ด้วยชุดทดสอบจีที Limit of Detection หรือ LOD ของชุดทดสอบสำหรับไพรฟิโนฟอส และคลอไพริฟอส คือ 0.05 และ 0.5 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (กอบทอง, 2553)

ผลการทดลองเพื่อสร้างการปนเปื้อนให้ผักคะน้าที่มีสารกำจัดศัตรูพืช 2 ชนิด คือ สารไพรฟิโนฟอสและคลอไพริฟอสตกค้างที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน 2 ระดับ คือ ความเข้มข้น 10 และ 100 เท่า ของค่า EU- MRLs (เมื่อค่า EU- MRLs ปี 2010 ของสารไพรฟิโนฟอสและคลอไพริฟอสในผักคะน้าเท่ากับ 0.05 พีพีเอ็ม) พบว่าคะน้าที่แช่ในสารละลายไพรฟิโนฟอสเข้มข้นเท่ากับ 10 และ 50 พีพีเอ็ม มีปริมาณสารไพรฟิโนฟอสตกค้างเริ่มต้นในผักเท่ากับ 0.53 และ 5.26 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 22)

ตารางที่ 22 ปริมาณสารโพรพิโนฟอสตกค้างในผักคะน้าหลังแช่ในสารละลายโพรพิโนฟอสความเข้มข้นเท่ากับ 10 และ 50 พีพีเอ็ม

การทดลอง	ปริมาณสารโพรพิโนฟอส ตกค้าง (พีพีเอ็ม) ^a	EU-MRL (เท่า)
คะน้าเริ่มต้น	0.00±0.00	0
คะน้าแช่สารละลายโพรพิโนฟอสเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม	0.53±0.02	10
คะน้าแช่สารละลายโพรพิโนฟอสเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม	5.26±0.17	100

^aค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทดลอง 6 ซ้ำ

ค่า EU-MRL ของสารโพรพิโนฟอสในคะน้าเท่ากับ 0.05 พีพีเอ็ม

ในการทำนองเดียวกันพบว่าคะน้าที่แช่ในสารละลายคลอไพริฟอสที่ 1 และ 7 พีพีเอ็ม มีปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้างเริ่มต้นเท่ากับ 0.62 พีพีเอ็ม และ 5.89 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 23)

ตารางที่ 23 ปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้างในผักคะน้าหลังแช่ในสารละลายคลอไพริฟอสความเข้มข้นเท่ากับ 1 และ 7 พีพีเอ็ม

การทดลอง	ปริมาณสารคลอไพริฟอส ตกค้าง (พีพีเอ็ม) ^a	EU-MRL (เท่า)
คะน้าเริ่มต้น	0.00±0.00	0
คะน้าแช่สารละลายคลอไพริฟอสเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม	0.62±0.06	10
คะน้าแช่สารละลายคลอไพริฟอสเข้มข้น 7 พีพีเอ็ม	5.89±0.37	100

^aค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทดลอง 6 ซ้ำ

ค่า EU-MRL ของสารคลอไพริฟอสในคะน้าเท่ากับ 0.05 พีพีเอ็ม

3.2 ศึกษาประสิทธิภาพการล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซิง (น้ำ EO ชนิดกรด สารละลาย คลอรีนไดออกไซด์ และน้ำโอโซน) ในการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างกลุ่มออร์กาโน ฟอสเฟตในผักคะน้า

การล้างคะน้าที่มีปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างที่ 2 ระดับ คือ ปริมาณสารตกค้าง ระดับต่ำที่ 10 เท่าของค่า EU-MRLs ปี 2010 และปริมาณสารตกค้างระดับสูงที่ 100 เท่าของค่า EU-MRLs ปี 2010 ผลการทดลองพบว่าน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซิงมีประสิทธิภาพที่ดีในการลด ปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชชนิดโพฟิโนฟอสและคลอไพริฟอสในคะน้า โดยมีผล การลดลงของสารกำจัดศัตรูพืชในผักดังนี้ (วิธีการทดลองข้อ 3.2)

3.2.1 โพฟิโนฟอส

การล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด

น้ำ EO ชนิดกรดมีผลต่อการลดปริมาณโพฟิโนฟอสในใบคะน้าคือใบคะน้าที่มี ปริมาณการตกค้างของโพฟิโนฟอสเริ่มต้น 0.68 พีพีเอ็ม ล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด 70 พีพีเอ็ม (ค่า ORP เท่ากับ 1148 mV พีเอช 2.63) สามารถวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชหลังล้างที่เวลา 15 และ 30 นาที มีค่าเท่ากับ 0.27 และ 0.24 พีพีเอ็ม กล่าวคือลดได้ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) (ภาพที่ 11a) หรือลดลงประมาณ 60% และ 64% เมื่อล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรดเข้มข้นต่ำกว่าคือ 50 พีพีเอ็ม (ค่า ORP เท่ากับ 1048 mV พีเอช 3.04) พบว่าประสิทธิภาพในการลดสารกำจัดศัตรูพืชที่ วิเคราะห์ได้น้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับ การล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรดเข้มข้น 70 พีพีเอ็ม คือ ลดได้ 48% และ 53% ตามลำดับ (ตารางภาคผนวกที่ จ1)

ในกรณีที่การตกค้างของโพฟิโนฟอสเริ่มต้นที่สูงขึ้นเท่ากับ 5.16 พีพีเอ็ม ด้วย น้ำ EO ชนิดกรดเข้มข้น 70 พีพีเอ็ม ที่เวลา 15 และ 30 นาที พบว่าให้ผลไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) (ภาพที่ 11a) คือลดลงเท่ากับ 60% และ 71% ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันเมื่อล้างด้วยน้ำ EO ชนิด กรดเข้มข้นลดลงเหลือ 50 พีพีเอ็ม พบว่าประสิทธิภาพการล้างลดลง สามารถลดได้ 50% และ 57% ตามลำดับ (ตารางภาคผนวกที่ จ1) หากอ้างอิงเกณฑ์ประสิทธิภาพการล้างสารมีพิษจากผัก โดยกองวัตถุมีพิษการเกษตร กรมวิชาการเกษตร (2543) ประสิทธิภาพของน้ำ EO ชนิดกรดอยู่ใน เกณฑ์ปานกลาง (มีค่าระหว่าง 40-54%) และเกณฑ์ดี (มีค่าระหว่าง 55-69%)

การล้างด้วยสารน้ำคลอรีนไดออกไซด์

คะน้ำที่มีปริมาณสารโพรฟิโนฟอสตกค้างเริ่มต้นเท่ากับ 0.52 พีพีเอ็ม ล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ลดปริมาณการตกค้างของสารโพรฟิโนฟอสได้ 57% และ 60% เมื่อล้างนาน 15 และ 30 นาที ตามลำดับ (ภาพที่ 11b) เมื่อลดความเข้มข้นของน้ำคลอรีนไดออกไซด์ลงเป็น 5 พีพีเอ็ม พบว่าสามารถลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในตัวอย่างได้น้อยลง คือลดได้ 42% และ 50% เมื่อล้างนาน 15 และ 30 นาที ตามลำดับ (ตารางภาคผนวกที่ จ1)

หากมีการตกค้างของสารโพรฟิโนฟอสมากขึ้นเท่ากับ 6.95 พีพีเอ็ม พบว่าผลการลดลงของปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในทำนองเดียวกับคะน้ำที่มีปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างเท่ากับ 0.52 พีพีเอ็ม คือการล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 5 พีพีเอ็ม ที่เวลา 15 และ 30 นาที ลดได้ 43% และ 53% การล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 10 พีพีเอ็ม สามารถลดปริมาณการตกค้างของสารโพรฟิโนฟอสได้ดีกว่าการล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 5 พีพีเอ็ม เวลาที่นานขึ้นจาก 15 เป็น 30 นาที ลดได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 60% และ 62% ตามลำดับ (ตารางภาคผนวกที่ จ1)

การล้างด้วยน้ำไฮโซน

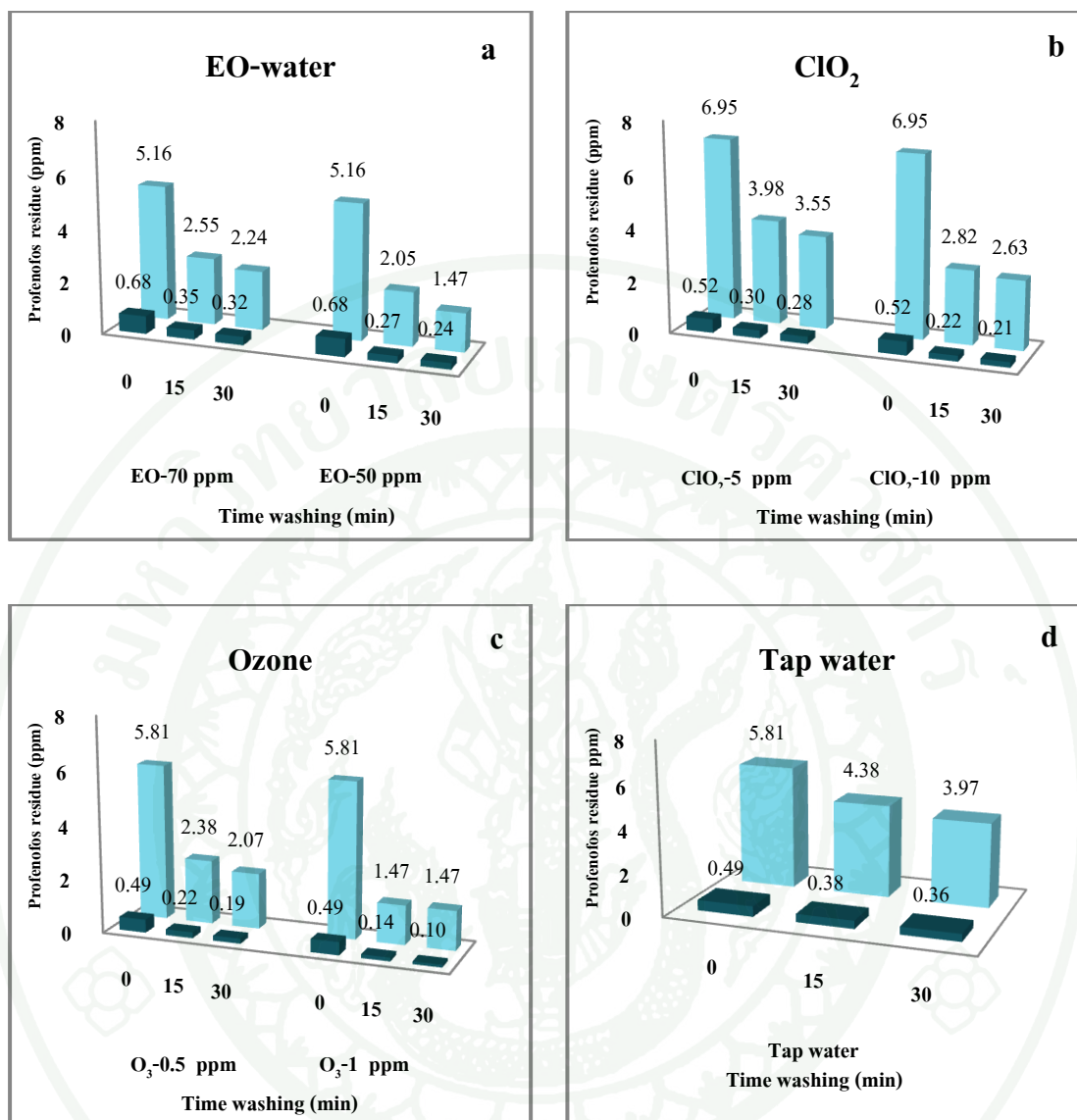
ผลการล้างคะน้ำที่มีปริมาณสารโพรฟิโนฟอสตกค้างเท่ากับ 0.49 พีพีเอ็ม ด้วยน้ำไฮโซนเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม ที่เวลา 15 และ 30 นาที ลดปริมาณสารโพรฟิโนฟอสตกค้างได้ 72% และ 80% ตามลำดับ วิเคราะห์ปริมาณสารโพรฟิโนฟอสตกค้างหลังล้างที่เวลา 15 และ 30 นาที ได้ 0.14 และ 0.10 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ภาพที่ 11c) ประสิทธิภาพการล้างอยู่ในเกณฑ์ดีมาก (กรมวิชาการเกษตร, 2543) และเมื่อล้างด้วยไฮโซนเข้มข้น 0.5 พีพีเอ็ม ที่เวลา 15 และ 30 นาที ลดได้เท่ากับ 55% และ 60% ตามลำดับ (ตารางภาคผนวกที่ จ1)

หากปริมาณการตกค้างของโพรฟิโนฟอสเริ่มต้นสูงเท่ากับ 5.81 พีพีเอ็ม ล้างด้วยน้ำไฮโซนเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม สารโพรฟิโนฟอสตกค้างหลังผ่านการล้างที่เวลา 15 และ 30 นาที พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) (ลดลงเท่ากับ 72% และ 75% ตามลำดับ) ความเข้มข้นของไฮโซนต่ำลง 0.5 พีพีเอ็ม ลดลงได้เท่ากับ 59% และ 63% ตามลำดับ ประสิทธิภาพการล้างอยู่ในเกณฑ์ปานกลางและเกณฑ์ดี (กรมวิชาการเกษตร, 2543)

การล้างด้วยน้ำประปา

สำหรับการล้างคะน้าที่มีปริมาณโพฟิโนฟอสตกค้างเริ่มต้นเท่ากับ 0.49 พีพีเอ็ม ด้วยน้ำประปาเป็นเวลา 15 และ 30 นาที พบว่าสามารถสารลดโพฟิโนฟอสได้ 22% และ 24% ตามลำดับ (ภาพที่ 11d) ประสิทธิภาพการล้างอยู่ในเกณฑ์น้อยมากเมื่ออ้างอิงเกณฑ์กรมวิชาการเกษตร (2543)

หากปริมาณโพฟิโนฟอสตกค้างเริ่มต้นสูงเท่ากับ 5.81 พีพีเอ็ม น้ำประปาช่วยลดปริมาณโพฟิโนฟอสได้เท่ากับ 25% และ 30% ตามลำดับ : การล้างด้วยน้ำประปามีประสิทธิภาพการล้างอยู่ในเกณฑ์น้อยมาก (กรมวิชาการเกษตร, 2543) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการล้างอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง-ดี แสดงให้เห็นว่าน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเหมาะสมในการใช้ล้างผักสดเพื่อลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตตกค้างในผัก



ภาพที่ 11 ประสิทธิภาพน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งต่อการลดปริมาณโปรพิโนฟอสตกค้างในคะน้า ที่ปริมาณการตกค้างเริ่มต้นเท่ากับ 10 เท่า (■) และ 100 เท่า (□) ของค่า EU-MRL ปี 2010 เมื่อ a คือน้ำ EO ชนิดกรด, b คือล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์, c คือล้างด้วยน้ำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ d คือล้างด้วยน้ำประปา

จากการทดลองข้างต้นศึกษาประสิทธิภาพการล้างด้วยน้ำล้างออกซิไดส์ซึ่งต่อการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักคะน้า ดัดแปลงเวลาล้างจากงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งคณะผู้วิจัยมีแนวโน้มใช้เวลาล้างนาน 15 และ 30 นาที (ธรรมศักดิ์และคณะ, 2548) พบว่าวิธีการล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งทั้ง 3 ชนิด คือ น้ำ EO ชนิดกรด น้ำคลอรีนไดออกไซด์ และ

น้ำไอโซน ในการล้างเพื่อลดปริมาณสารโพรฟิโนฟอสตกค้างในคะน้ำให้ผลการลดลงของปริมาณสารโพรฟิโนฟอสที่เวลาล้าง 15 และ 30 นาที ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) (ตารางภาคผนวกที่ จ1) ดังนั้นจึงได้ทดลองลดเวลาล้างเป็น 10 นาที เนื่องจากทางการค้าต้องการวิธีการล้างผักที่ใช้น้ำล้างเร็วที่สุด เพื่อป้องกันความเสียหายของผักจากการฉ่ำน้ำ และเน่าเสียง่าย

ตารางที่ 24 แสดงผลการทดลองว่าคะน้ำที่มีปริมาณสารโพรฟิโนฟอสตกค้างเริ่มต้นใกล้เคียง 10 เท่าค่า EU- MRLs ปี 2010 หรือเท่ากับ 0.49-0.68 พีพีเอ็ม เมื่อทดลองล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรดเข้มข้น 70 พีพีเอ็ม (ค่า ORP เท่ากับ 1148 mV พีเอช 2.7) ที่เวลาล้าง 10 15 และ 30 นาที ให้ประสิทธิภาพการลดลงของปริมาณสารโพรฟิโนฟอสหลังล้างไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยสามารถลดได้ในช่วง 60-64% และในทำนองเดียวกันเมื่อล้างคะน้ำที่มีปริมาณสารโพรฟิโนฟอสตกค้างที่ปริมาณเท่ากัน ด้วยคลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ที่เวลาล้าง 10 นาทีสามารถลดสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างได้เท่ากับ 45% หากเพิ่มเวลาเป็น 15 และ 30 นาที จึงจะลดได้ 57% และ 60% ในทำนองเดียวกันการล้างด้วยน้ำไอโซนเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม เปรียบเทียบเวลาล้างที่ 10 15 และ 30 นาที พบว่าประสิทธิภาพการลดลงของปริมาณโพรฟิโนฟอสในคะน้ำหลังล้างไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยสามารถลดได้ช่วง 72%-80% (ตารางที่ 24)

สำหรับคะน้ำที่มีปริมาณสารโพรฟิโนฟอสตกค้างเริ่มต้นสูงขึ้นไป (100 เท่าค่า EU- MRLs) หรือเท่ากับ 5.16-6.95 พีพีเอ็ม เมื่อทดลองลดเวลาล้างจาก 15 และ 30 นาที เป็น 10 นาที พบว่าประสิทธิภาพการล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) กล่าวคือล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด 70 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที ลดได้ 60% ขณะที่การล้างด้วยสารละลายคลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 10 พีพีเอ็ม และน้ำไอโซน 1 พีพีเอ็ม ลดได้ 46% และ 74% ตามลำดับ (ตารางที่ 24)

ในกรณีตัวอย่างคะน้ำที่มีปริมาณโพรฟิโนฟอสตกค้างเริ่มต้นมากขึ้นคือ ใกล้เคียง 100 เท่าของค่า EU- MRLs (หรือเท่ากับ 5.16-6.95 พีพีเอ็ม) นั้น พบว่าให้ประสิทธิภาพการลดลงของปริมาณสารโพรฟิโนฟอสตกค้างหลังล้างมีแนวโน้มดีกว่าการล้างคะน้ำที่มีปริมาณสารตกค้าง 10 เท่าของค่า EU- MRLs ในทุกชนิดของน้ำล้าง คาดว่าเมื่อปริมาณตกค้างสูงกว่าการลดลงจะเห็นชัดกว่า เช่นเดียวกับการทดลองของบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายเครื่องผลิตไอโซนสำหรับล้างผักและผลไม้ห่อ Oxygenie 2009 พบว่าล้างผักกวางตุ้งด้วยน้ำไอโซนลดสารโพรฟิโนฟอสตกค้างจากปริมาณเริ่มต้นที่สูงมากถึง 5000 พีพีเอ็ม ลดเหลือ 124 พีพีเอ็ม หรือลดได้ถึง 98% แต่

พบว่าปริมาณการตกค้างหลังล้างสูงกว่าค่าEU-MRL ถึง 2480 เท่า สำหรับปริมาณการตกค้างสาร โพรพิโนฟอสในผักหลังล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งด้วยสภาวะดังกล่าวข้างต้น พบว่าผักที่มี ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างปริมาณสูง (100 เท่าของค่า EU-MRLs) หลังล้างด้วยน้ำล้างกลุ่ม ออกซิไดส์ซึ่งปริมาณการตกค้างของสาร โพรพิโนฟอสยังคงสูงกว่า EU-MRL ถึง 80 เท่า แม้ว่าจะใช้ น้ำ EO ชนิดกรด สารละลายคลอรีนไดออกไซด์ และน้ำไอโซนที่ความเข้มข้นเช่นนี้ล้างผัก คาดว่าก็ ยังไม่สามารถลดให้เหลือในระดับที่ผ่าน EU-MRL ส่วนการล้างผักมีปริมาณสาร โพรพิโนฟอส ตกค้างต่ำ (10 เท่าของ EU-MRL) พบว่าหลังการล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งมีแนวโน้มลด ปริมาณสาร โพรพิโนฟอสตกค้างในผักให้ใกล้เคียงหรือผ่านค่า EU-MRL

ประสิทธิภาพการล้างของสารกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเพื่อลดปริมาณโพรพิโนฟอส ตกค้างในคะแนจากมากไปน้อยคือ น้ำไอโซน น้ำ EO ชนิดกรด และคลอรีนไดออกไซด์ (ตารางที่ 24)

ตารางที่ 24 ประสิทธิภาพการล้างผักคะน้าปนเปื้อนสารโพธิ์โนฟอส เปรียบเทียบที่เวลาดำง 10 15 และ 30 นาที

การทดลอง	ความเข้มข้น น้ำล้าง (พีพีเอ็ม)	เวลาดำง (นาที)	ปริมาณสารโพธิ์โนฟอส ^a (พีพีเอ็ม)					
			10 เท่าของค่า EU- MRL			100 เท่าของค่า EU- MRL		
			เริ่มต้น	หลังล้าง	% การลดลง ^a	เริ่มต้น	หลังล้าง	% การลดลง ^a
น้ำ EO ชนิดกรด	70	10	0.55±0.02	0.22±0.01	59.49±2.30 cd	5.91±0.29	2.38±0.23	59.75±3.85 c
		15	0.68±0.04	0.27±0.03	60.40±3.82 cd	5.81±0.16	1.80±0.51	60.21±9.95 c
		30	0.68±0.04	0.24±0.02	63.97±2.87 c	5.16±0.22	1.47±0.07	71.47±1.43 ab
น้ำกลอรีนไดออกไซด์	10	10	0.55±0.02	0.30±0.02	45.12±2.89 e	5.91±0.29	3.18±0.23	46.21±3.85 d
		15	0.52±0.020	0.22±0.03	56.59±5.21cd	5.81±0.16	2.82±0.17	59.52±2.42 c
		30	0.52±0.020	0.21±0.03	60.26±4.99cd	6.95±0.20	2.63±0.13	62.25±1.91 bc
น้ำผสมไอโซน	1	10	0.55±0.02	0.14±0.01	75.16±1.77ab	5.91±0.29	1.53±0.28	74.16±4.68 a
		15	0.49±0.02	0.14±0.02	72.15±3.34 b	5.81±0.16	1.47±1.47	71.52±9.12 ab
		30	0.49±0.02	0.10±0.02	79.55±4.64 a	5.81±0.16	1.40±1.40	74.77±2.82 a

^aค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทำการทดลอง 6 ซ้ำ

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสัณณัแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

3.2.2 คลอไพริฟอส

การล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด

การล้างผักคะน้าที่ผ่านการสร้างการปนเปื้อนของสารคลอไพริฟอสด้วยน้ำ EO ชนิดกรด พบว่าคะน้าที่มีปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้างเริ่มต้นเท่ากับ 0.64 พีพีเอ็ม เมื่อล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด ปริมาณคลอรีนเข้มข้น 70 พีพีเอ็ม (ค่า ORP เท่ากับ 1194 mV พีเอช 2.71) และน้ำ EO ชนิดกรด ปริมาณคลอรีนเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม (ค่า ORP เท่ากับ 1078 mV พีเอช 3.06) เวลาล้างนาน 15 และ 30 นาที ให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 9.90 ถึง 10.46 พีพีเอ็ม (ภาพที่ 12a) และการลดลง (%) เป็นลบ (ตารางภาคผนวกที่ จ2)

เช่นเดียวกับผลการล้างคะน้าที่มีปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้างเริ่มต้นที่สูงขึ้นเท่ากับ 6.29 พีพีเอ็ม ล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรดที่สภาวะเดียวกัน คือ EO ชนิดกรด ปริมาณคลอรีนเข้มข้น 70 และ 50 พีพีเอ็ม ล้างนาน 15 และ 30 นาที ให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 10.18 ถึง 10.73 พีพีเอ็ม (ภาพที่ 12a) และการลดลง (%) เป็นลบ (ตารางภาคผนวกที่ จ2)

อธิบายได้ว่าอาจเป็นผลมาจากน้ำ EO ชนิดกรดอาจมีผลทำให้สารคลอไพริฟอสเปลี่ยนเป็นสารคลอไพริฟอสออกซอนซึ่งมีผลต่อการยับยั้งเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสเพิ่มขึ้นในระหว่างการวิเคราะห์ด้วยวิธี AChE-bioassay ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Stephen และคณะ (2005) ได้ศึกษาผลการลดสารกำจัดศัตรูพืชในน้ำดื่ม โดยใช้สารคลอไพริฟอสในการศึกษาพบว่าคลอไพริฟอสเมื่ออยู่ในสารละลายที่มีปริมาณคลอรีนอิสระจะถูกออกซิไดส์ได้อย่างรวดเร็วแล้วเปลี่ยนรูปเป็นคลอไพริฟอสออกซอน กลไกการถูกออกซิไดส์เป็นผลเนื่องจากกรดไฮโปคลอรัส (HOCl) ซึ่งสามารถเกิดการออกซิไดส์ได้ดีและเกิดขึ้นได้ในสภาวะที่ค่าพีเอชต่ำๆ (เช่น ต่ำกว่าค่า pKa ของกรดไฮโปคลอรัสที่ 7.5) ซึ่งการทำปฏิกิริยาที่พีเอชต่ำๆ ดังกล่าวทำให้เกิดสารคลอไพริฟอสออกซอนที่มีความเป็นพิษสูงกว่าสารตัวเดิม และสลายตัวได้ยาก สามารถเข้าสะสมในร่างกายสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และมีผลรบกวนการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสในระบบประสาท จากตารางผนวกที่ จ2 แสดงให้เห็นว่าน้ำ EO ชนิดกรดก่อนและหลังล้างมีพีเอชเป็นกรด (พีเอช 2.7- 3.1) ซึ่งแน่นอนว่าในสภาวะที่มีคลอรีนอิสระในสภาพกรดย่อมเกิด

สารประกอบออกซอน ทั้งนี้ยังเป็นผลจากชนิดของผักที่แตกต่างกัน พบว่าในผักอื่นไม่มีปรากฏการณ์เช่นนี้

นอกจากนี้คาดว่าองค์ประกอบทางเคมีของผักคะน้า เมื่อทำปฏิกิริยากับสารคลอโรฟิฟอสแล้วผ่านการล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด อาจทำให้เกิดสารเคมีตัวใหม่ที่มีผลต่อการเพิ่มค่า OD ที่ 540 นาโนเมตร เมื่อใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ หรือ FeCl_3 (GT-5) เป็นอินดิเคเตอร์ อนึ่งในใบคะน้ามีสารประกอบฟีนอลิก (Total phenolic content) ในปริมาณสูงถึง 1366 ng/g เมื่อเปรียบเทียบกับกะหล่ำปลีที่มีเพียง 150 ng/g (Ayaz *et al.*, 2008) โดยทั่วไปสารประกอบฟีนอลในพืชแสดงสมบัติเป็นกรด ซึ่งจะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลอื่นอย่างรวดเร็ว และพบบ่อยที่เข้าทำปฏิกิริยากับพันธะเปปไทด์ของโปรตีน และโปรตีนนี้เป็นเอนไซม์พันธะที่เกิดขึ้นอาจทำให้เอนไซม์เปลี่ยน ทำให้เอนไซม์หมดสภาพ ซึ่งมักเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเอนไซม์ในพืช (นิรนาม, 2555) จากการทดลองในครั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าสารดังกล่าวมีผลต่อการยับยั้งเอนไซม์อะซีติลโคลีนเอสเตอเรสในชุดทดสอบจีที สอดคล้องกับ Federico *et al.* (2009) รายงานว่าอนุพันธ์ของกรดฟีนอลิกและฟราโวอยด์ในคะน้ามีผลต่อการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์อะซีติลโคลีนเอสเตอเรส โดยปกติแล้วสารประกอบฟีนอลจะไวต่อการเกิดออกซิเดชันโดยเอนไซม์ phenolases ซึ่งเปลี่ยน monophenols ไปเป็น diphenols และเปลี่ยนต่อไปเป็น quinones นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลบางตัวยังสามารถ chelate กับโลหะ (นิรนาม, 2555) สอดคล้องกับทรงพล และคณะ (2546) ได้อธิบายอธิบายปฏิกิริยาการเกิดเอสเทอร์ (Ester formation) จากฟีนอลทำปฏิกิริยากับแอซิดคลอไรด์ (Acid chloride) หรือแอซิดแอนไฮไดรด์ (Acid anhydride) แล้วให้เอสเทอร์สนับสนุนว่าสารประกอบฟีนอลเป็นสารเคมีที่ไวต่อการทำปฏิกิริยา

นอกจากนี้พบว่าวิธี Ferric Chloride Test เป็นการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล โดยหลักการวิเคราะห์ความสามารถในการคีเลทไอออนของโลหะ (ปริญญช, 2551) ซึ่งสาร Ferric Chloride ใช้วิเคราะห์ผลของหมู่ hydroxy group ที่มีอยู่ใน aromatic nucleus หากมีปริมาณหมู่ hydroxy group มากให้ค่าสีแดง ส่วนกลุ่มโครงสร้าง (functional groups) อื่นๆ เช่น กลุ่ม aliphatic acids ให้ค่าสีเหลือง และ กลุ่ม aromatic acids ให้ตะกอนสีน้ำตาลแดง (Anonymous, 2012) ในชุดทดสอบจีทีสีในหลอดทดสอบหากปรากฏเป็นสีแดงแสดงว่าไม่ปลอดภัย หากเป็นสีเหลืองแสดงว่าปลอดภัย เป็นไปได้ว่าหากสารสกัดคะน้าในสถานะที่เป็นกรดและถูกออกซิไดส์ให้อยู่ในรูปอื่นจะสามารถทำให้สีของชุดทดสอบจีทีเกิดขึ้นเป็นสีแดงจากสารประกอบฟีนอลที่มีอยู่ในคะน้าเปลี่ยน

การล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์

สำหรับการล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์พบว่าคะน้ำที่มีปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างเริ่มต้นเท่ากับ 0.66 พีพีเอ็ม เมื่อล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 10 พีพีเอ็ม (ค่า ORP เท่ากับ 923 mV พีเอช 6.16) และคลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 5 พีพีเอ็ม (ค่า ORP เท่ากับ 769 mV พีเอช 6.90) เวลาล้างนาน 15 และ 30 นาที สามารถลดปริมาณคลอไพริฟอสได้ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยสามารถวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างหลังการล้างได้เท่ากับ 0.25-0.34 พีพีเอ็ม (ภาพที่ 12b) หรือคิดเป็น % การลดลงเท่ากับ 48-62% ตามลำดับ (ตารางภาคผนวกที่ จ2)

สำหรับคะน้ำที่มีปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างเริ่มต้นสูงกว่าเท่ากับ 6.62 พีพีเอ็ม เมื่อล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม เวลาล้างนาน 15 และ 30 นาที .ให้ประสิทธิภาพการล้างในทำนองเดียวกัน คือลดปริมาณคลอไพริฟอสได้ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างหลังการล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์ทั้งสองความเข้มข้น เท่ากับ 2.55-4.20 พีพีเอ็ม (ภาพที่ 12b) หรือคิดเป็น % การลดลงเท่ากับ 37-61% ตามลำดับ (ตารางภาคผนวกที่ จ2)

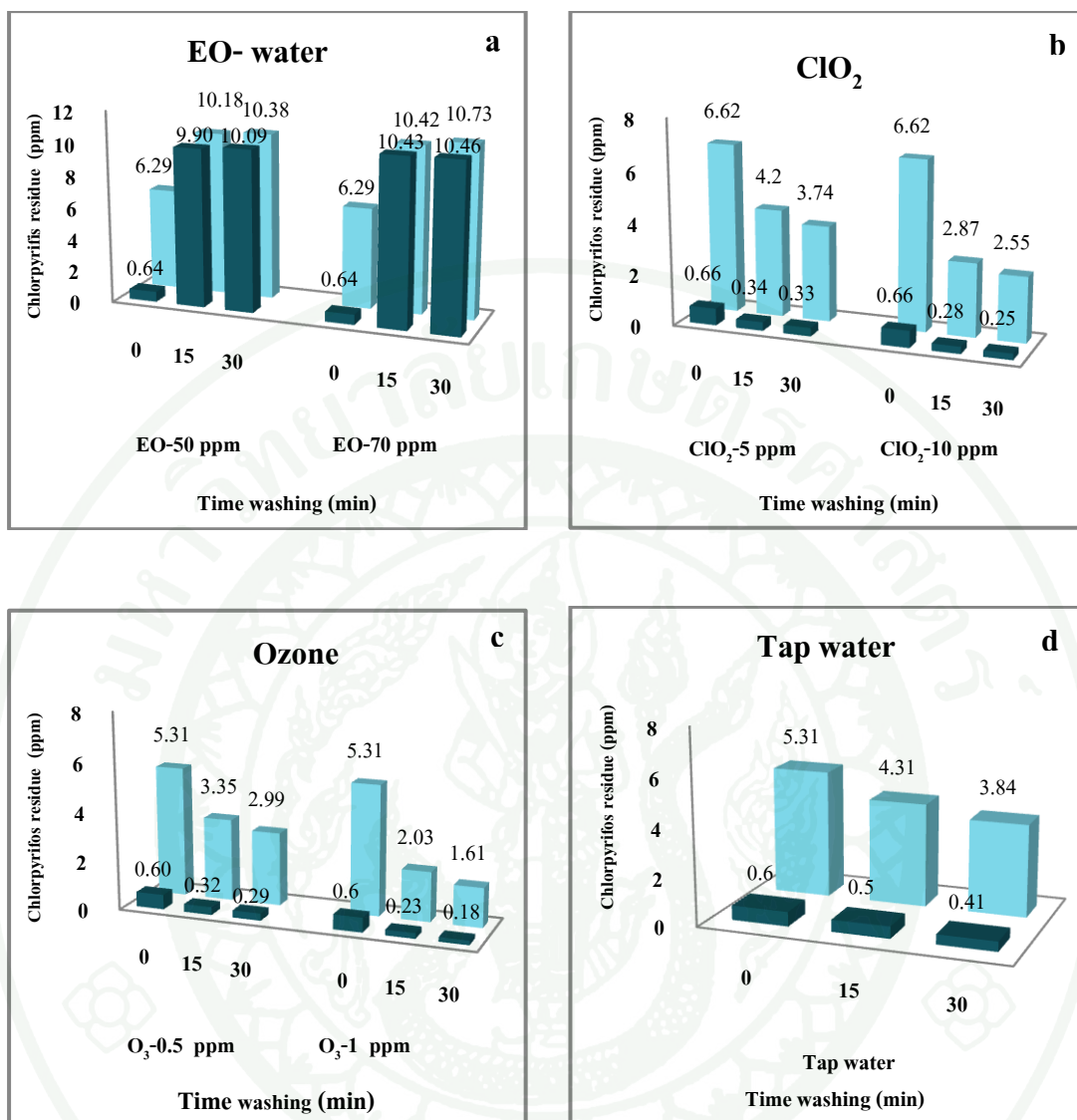
การลดลงของปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักคะน้ำในการทดลองนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hwang *et al.* (2002) ซึ่งได้อธิบายกลไกการสลายหรือลดปริมาณสารฆ่าเชื้อราชนิดแมนโคเซบ (Mancozeb) โดยคลอรีนไดออกไซด์ เนื่องจากคลอรีนไดออกไซด์ เป็นสารออกซิไดส์ซึ่งชนิดแรง มีประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีมาก จึงสามารถออกซิไดส์สารต่างๆ ได้ดี และร่วมกับผลจากประสิทธิภาพของอนุภาค HOCl ซึ่งเป็นอีกกลไกหนึ่ง ที่เพิ่มความสามารถในการสลาย หรือทำลายแบคทีเรียและสารเคมีต่างๆ ได้ดี

การล้างด้วยน้ำไอโซน

สำหรับการล้างคะน้ำด้วยน้ำไอโซน พบว่าการล้างคะน้ำที่มีปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้างเริ่มต้นเท่ากับ 0.60 พีพีเอ็ม ด้วยน้ำไอโซนเข้มข้น 0.5 พีพีเอ็ม เวลาล้างนาน 15 และ 30 นาที สามารถลดปริมาณคลอไพริฟอสได้ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ปริมาณคลอไพริฟอสตกค้างหลังล้างที่ 15 และ 30 นาที เท่ากับ 0.32 และ 0.29 พีพีเอ็ม (ภาพที่ 12c) หรือลดได้ 47% และ 51% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นน้ำไอโซนเป็น 1 พีพีเอ็ม เวลาล้างที่ 15 และ 30 นาที พบว่าให้ผล

เช่นเดียวกันคือลดปริมาณสารคลอไพริฟอสหลังล้างเท่ากับ 0.23 และ 0.18 พีพีเอ็ม (ภาพที่ 12c) หรือลดได้ 62% และ 71% ตามลำดับ (ตารางภาคผนวกที่ จ2) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ประสิทธิภาพการล้างช่วงปานกลาง-ดี ซึ่งแตกต่างจากกรณีการล้างผักที่มีโพธิ์โนฟอสตกค้าง พบว่าน้ำโอโซนให้ประสิทธิภาพในการลดสารตกค้างชนิดนี้ได้ดีมาก จากการเปรียบเทียบสภาวะการล้างที่เวลาล้าง 15 และ 30 นาทีข้างต้นซึ่งให้ค่าการลดลงที่ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

จากภาพที่ 12 จะเห็นได้ว่าการล้างคะน้าที่มีปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้างที่ระดับใกล้เคียง 10 และ 100 เท่าค่า EU MRL- 2010 (0.49-0.66 และ 5.31-6.29 พีพีเอ็ม) พบว่าน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งคือน้ำคลอรีนไดออกไซด์และน้ำโอโซนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการล้างเพื่อลดปริมาณคลอไพริฟอสตกค้างได้ดีกว่าการล้างด้วยน้ำประปา คะน้าที่มีปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างเริ่มต้นเท่ากับ 0.60 พีพีเอ็ม ผ่านการล้างด้วยน้ำประปาที่เวลา 15 และ 30 นาที มีปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้าง เท่ากับ 0.50 และ 0.41 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (คิดเป็นการลดลงเท่ากับ 16 % และ 28%) ใกล้เคียงกับคะน้าที่มีปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างเริ่มต้นสูงขึ้นเท่ากับ 5.31 พีพีเอ็ม การลดลงเท่ากับ 16% และ 28% (ภาพที่ 12d) ซึ่งจัดว่าอยู่ในเกณฑ์น้อยมาก-ไม่ดี (กรมวิชาการเกษตร, 2543)



ภาพที่ 12 ประสิทธิภาพน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งต่อการลดปริมาณคลอไพริฟอสตกค้างในคะน้า ที่ปริมาณการตกค้างเริ่มต้นเท่ากับ 10 เท่า (■) และ 100 เท่า (■) ของ EU-MRL ปี 2010 เมื่อ a คือล้างด้วย EO ชนิดกรด, b คือล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์, c คือล้างด้วยน้ำโอโซน และ d คือล้างด้วยน้ำประปา

ในทำนองเดียวกันกับกรณีของสารโพธิโนฟอส พบว่าการล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งทั้ง 2 ชนิดลดปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้างในคะน้า ที่เวลาล้างเท่ากับ 15 และ 30 นาที ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) (ตารางภาคผนวกที่ จ2) เพื่อลดเวลาล้างให้เหลือน้อยที่สุด และป้องกันความเสียหายของผักสดจากการดูดซับน้ำ ดังนั้นจึงทดลองลดเวลาล้างเป็น 10 นาที สำหรับการล้างด้วยสารละลายคลอรีนไดออกไซด์และน้ำโอโซน ส่วนการล้างด้วยน้ำ EO จากการทดลอง

ที่ผ่านมาการล้างด้วยน้ำ EO เพื่อลดสารคลอไพริฟอสตกค้างในคะน้าให้ผล % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสทางลบ จึงไม่ได้นำมาเปรียบเทียบการล้างที่เวลา 10 15 และ 30 นาที ในที่นี้จึงทดลองเฉพาะการล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์ที่ 5 และ 10 พีพีเอ็ม และโอโซนที่ 1 พีพีเอ็ม ที่ระยะเวลาการล้าง 3 เวลาข้างต้น

การล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์นั้นเมื่อลดเวลาล้างเป็น 10 นาที ให้ประสิทธิภาพการลดลงของสารคลอไพริฟอสไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เมื่อเทียบกับเวลาล้างที่ 15 และ 30 นาที (ตารางที่ 25) คะน้าที่มีปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้างเริ่มต้น 0.51 พีพีเอ็ม ล้างด้วยน้ำคลอรีนไดออกไซด์ความเข้มข้นที่ 5 พีพีเอ็ม มีปริมาณคลอไพริฟอสหลังล้างเท่ากับ 0.27 พีพีเอ็ม หรือลดได้ 47% และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นคลอรีนไดออกไซด์เป็น 10 พีพีเอ็ม พบว่ามีประสิทธิภาพในการลดสารคลอไพริฟอสในคะน้าที่ดีกว่า โดยมีปริมาณคลอไพริฟอสหลังล้างเท่ากับ 0.20 พีพีเอ็ม หรือลดได้เพิ่มขึ้นเป็น 61%

การล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์ในกรณีของผักที่มีคลอไพริฟอสตกค้างสูงขึ้นไปเท่ากับ 4.68 พีพีเอ็ม การล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 5 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที สามารถลดได้ 40% ซึ่งประสิทธิภาพการลดปริมาณสารคลอไพริฟอสไม่แตกต่างกับที่ 15 และ 30 นาที ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของคลอรีนไดออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มประสิทธิภาพการลดลงของปริมาณสารตกค้างได้ดีขึ้น คลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 10 พีพีเอ็ม สามารถลดได้ 60%

เช่นเดียวกันกับโอโซนเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม (ค่า ORP เท่ากับ 791 mV พีเอช 7.87) ให้ผลการลดลงของคลอไพริฟอส ที่เวลาล้าง 10 15 และ 30 นาที ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) (ตารางที่ 25) เมื่อปริมาณการตกค้างเริ่มต้นของคลอไพริฟอสเท่ากับ 0.51 พีพีเอ็ม (10 เท่าของค่า EU-MRL) สามารถลดได้ 70% และคะน้าที่มีปริมาณการตกค้างเริ่มต้นสูงเท่ากับ 4.68 พีพีเอ็ม (100 เท่าของค่า EU-MRL) สามารถลดได้ 74% สำหรับที่เวลา 10 นาที

ตารางที่ 25 ประสิทธิภาพการล้างผักคะน้าปนเปื้อนสารคลอไพริฟอสที่สภาวะเหมาะสม เปรียบเทียบที่เวลาล้าง 10 15 และ 30 นาที

การทดลอง	ความเข้มข้นน้ำล้าง (พีพีเอ็ม)	เวลาล้าง (นาที)	ปริมาณสารคลอไพริฟอส ^a (พีพีเอ็ม)					
			10 เท่าของค่า EU- MRL			100 เท่าของค่า EU- MRL		
			เริ่มต้น	หลังล้าง	% การลดลง	เริ่มต้น	หลังล้าง	% การลดลง
คลอรีนไดออกไซด์	5	10	0.51±0.17	0.27±0.03	46.72±5.12 c	4.68±0.13	2.84±0.10	39.24±2.11 cd
		15	0.66±0.12	0.34±0.12	47.78±18.43 c	6.62±0.11	4.20±0.24	36.48±3.60 d
		30	0.66±0.12	0.33±0.09	50.56±14.17 c	6.62±0.11	3.74±0.12	43.54±1.74 c
คลอรีนไดออกไซด์	10	10	0.51±0.17	0.20±0.02	61.48±3.76 b	4.68±0.13	1.88±0.08	59.86±1.76 b
		15	0.66±0.12	0.28±0.09	56.67±13.33 bc	6.62±0.11	2.87±0.09	56.68±2.82 b
		30	0.66±0.12	0.25±0.07	62.22±10.18 b	6.62±0.11	2.55±0.51	61.42±7.68 b
โอโซน	1	10	0.51±0.17	0.15±0.03	70.49±4.92 a	4.68±0.13	1.24±0.07	73.54±1.50 a
		15	0.60±0.07	0.23±0.14	62.20±22.85 b	5.31±0.32	2.03±0.07	61.72±1.35 b
		30	0.60±0.07	0.18±0.09	70.73±14.67 a	5.31±0.32	1.61±0.11	69.69±1.98 a

^a ค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทำการทดลอง 6 ซ้ำ

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสมรค์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

สรุปได้ว่าการล้างคะน้ำที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตทั้ง 2 ชนิด คือ โพรพิโนฟอสและคลอไพริฟอส ที่ระดับการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชทั้ง 2 ระดับ คือ 10 และ 100 เท่า ของค่า EU-MRLs ปี 2010 ด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งทั้ง 2 ชนิด คือ สารละลายคลอรีนไดออกไซด์ (5 และ 10 พีพีเอ็ม) และน้ำไอโซน (0.5 และ 1 พีพีเอ็ม) เวลาล้าง 10, 15 และ 30 นาที ให้ผลประสิทธิภาพการล้างเพื่อลดสารโพรพิโนฟอสและคลอไพริฟอสในคะน้ำทั้ง 2 ระดับการตกค้างในทำนองเดียวกัน คือลดสารโพรพิโนฟอสและคลอไพริฟอสในคะน้ำได้ 50-70% ขณะที่การปนเปื้อนสารโพรพิโนฟอสและคลอไพริฟอสในคะน้ำที่ 100 เท่า ของค่า EU-MRLs ปี 2010 พบว่าหลังผ่านการล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งทั้ง 2 ชนิดแล้ว ยังคงมี ปริมาณโพรพิโนฟอสและคลอไพริฟอสในคะน้ำปริมาณที่สูงมาก จึงเป็นไปได้ว่าหากล้างผักสดที่ พบการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในระดับที่ใกล้เคียงค่า EU-MRLs ด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งทั้ง 2 ชนิดที่เวลาล้าง 10 นาที มีศักยภาพในการลดปริมาณสารกำจัด ศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตให้ต่ำหรือเท่ากับค่า EU-MRLs ได้ ซึ่งข้อแนะนำจะเป็นประโยชน์ แก่ภาคอุตสาหกรรม อย่างไรก็ดีจำเป็นต้องมีการทดสอบในภาคสนามต่อไป (Field test) เพื่อยืนยันประสิทธิภาพของการล้าง ส่วนการล้างคะน้ำที่ปนเปื้อนสารคลอไพริฟอสด้วย น้ำ EO ชนิดกรดแล้ววิเคราะห์ปริมาณสารตกค้างด้วยชุดทดสอบจีทีพบว่าให้ค่าการวิเคราะห์ที่เป็น ลบนั้น คาดว่าเกิดจากสารประกอบของผักทำปฏิกิริยากับสารคลอไพริฟอสและสารออกซิไดส์ใน สภาพกรด จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าชุดทดสอบจีทีไม่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ ปริมาณคลอไพริฟอสตกค้างในคะน้ำแล้วล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด

3.3 สมบัติของน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งก่อนและหลังล้างใบคะน้ำที่มีปริมาณ สารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง

สมบัติของน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งทั้ง 3 ชนิด คือ น้ำ EO ชนิดกรด สารละลาย คลอรีนไดออกไซด์ และไอโซน เปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังจากล้างใบคะน้ำที่มีปริมาณสาร กำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตตกค้าง โดยวัดค่าความเข้มข้น (พีพีเอ็ม) ค่า Oxidation Reduction Potential หรือค่า ORP (mV) และค่าพีเอช พบว่าน้ำล้างทั้ง 3 ชนิดก่อนและหลังผ่านการ ล้างมีคุณสมบัติของค่าความเข้มข้น (พีพีเอ็ม) ค่า ORP (mV) และค่า pH เปลี่ยนแปลงไปจากเริ่มต้น (ตารางผนวกที่ ๑1) พบว่าที่เวลาการล้างนานขึ้นมีผลทำให้ค่าความเข้มข้นของน้ำล้างทั้ง 3 ชนิดลง สำหรับน้ำ EO ชนิดกรด และคลอรีนไดออกไซด์พบว่าหลังล้างนาน 10 นาที ความเข้มข้น ลดลง 10-15 พีพีเอ็ม แตกต่างจากน้ำไอโซนที่พบว่าสลายตัวได้หมดภายในเวลา 10 นาที สอดคล้องกับ

ค่า ORP ของน้ำล้างที่พบว่าหลังล้างผักที่เวลานานขึ้น ค่า ORP ลดลง เนื่องจากเกิดกระบวนการออกซิเดชันของน้ำล้างกับสารกำจัดศัตรูพืชหรือสารอื่นๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเกิดปฏิกิริยากับสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผัก และมีผลในการลดสารตกค้าง

4. ประสิทธิภาพการล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง เพื่อลดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตตกค้างในผักสด 5 ชนิด

จากผลการทดลองข้อที่ 3.2 พบว่าการล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ดีในการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตตกค้างในผักคะน้า โดยคะน้าที่มีปริมาณสารตกค้างที่ระดับต่ำ (10 เท่าของค่า EU-MRL) หลังล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง พบว่าปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตมีแนวโน้มลดลงใกล้เคียงหรือผ่านค่า EU-MRL การทดลองในข้อที่ 4 จึงได้ทดลองล้างผักเพิ่มขึ้นเป็น 5 ชนิด คือ คะน้า ผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลีที่สร้างการปนเปื้อนโดยเสริม (spiked) สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 2 ชนิด คือสาร โพรพิโนฟอสและคลอไพริฟอส ที่ปริมาณการตกค้าง 10 เท่าของค่า EU-MRLs ปี 2010 แล้วล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง เปรียบเทียบเวลาล้างที่ 5 นาที และ 10 นาที เพื่อพยายามลดเวลาในการแช่ผักให้น้อยที่สุดตามความต้องการของภาคอุตสาหกรรม พบว่าน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งมีประสิทธิภาพการล้างที่ดี เมื่อเทียบกับน้ำประปาในการลดปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตทั้ง 2 ชนิด ดังนี้

4.1 โพรพิโนฟอส

เมื่อเปรียบเทียบแนวโน้มการลดปริมาณสาร โพรพิโนฟอสในผักคะน้า ผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลีที่ 5 และ 10 นาที พบว่าเวลาล้างที่ 10 นาทีให้ผลการลดลงของปริมาณสาร โพรพิโนฟอสในทุกผักดีกว่าเวลาล้างที่ 5 นาที ($p \leq 0.05$) โดยการล้างผักปนเปื้อนสาร โพรพิโนฟอส (10 เท่าของค่า EU-MRL) ด้วยน้ำ EO ชนิดกรด ปริมาณคลอรีนอิสระ 70 พีพีเอ็ม คลอรีนไดออกไซด์ 10 พีพีเอ็ม ที่เวลาล้าง 5 นาที ลดโพรพิโนฟอสในผักสดทั้ง 5 ชนิดได้ในช่วง 43-58% และโอโซน 1 พีพีเอ็ม ที่ 5 นาที ลดได้ 61-70% (ตารางที่ 26)

เมื่อเพิ่มเวลาล้างจาก 5 เป็น 10 นาที ล้างผักสดทั้ง 5 ชนิดดังกล่าวข้างต้น คือ ผักคะน้า ผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลี ด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง 3 ชนิด คือ

น้ำ EO ชนิดกรด คลอรีนไดออกไซด์ และน้ำโอโซน พบว่าให้ประสิทธิภาพการลดโพธิ์โนฟอส ในทุกชนิดผักในทำนองเดียวกัน การล้างผักสดด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งให้ประสิทธิภาพการ ลดสารกำจัดศัตรูพืชชนิดโพธิ์โนฟอสได้ดีกว่าการล้างด้วยน้ำประปา ($p < 0.05$) เมื่อใช้น้ำ EO ชนิดกรด ปริมาณคลอรีนอิสระ 70 พีพีเอ็ม ล้างนาน 10 นาที ลดโพธิ์โนฟอสในผักคะน้า ผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลีได้ 57-74% (ตารางที่ 26) โดยพบปริมาณการตกค้างหลัง ล้างอยู่ในช่วง 0.16-0.23 พีพีเอ็ม (เมื่อปริมาณการตกค้างของสารโพธิ์โนฟอสเริ่มต้นในทุกผัก ทดสอบประมาณ 0.5 พีพีเอ็ม) ดังภาพที่ 13 สำหรับคลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ล้างนาน 10 นาที พบว่าลดสารโพธิ์โนฟอสในทุกผักทดสอบเช่นเดียวกับการล้างผักด้วยน้ำ EO ชนิดกรด คือลดสารโพธิ์โนฟอสได้ 60-73% (ตารางที่ 26)

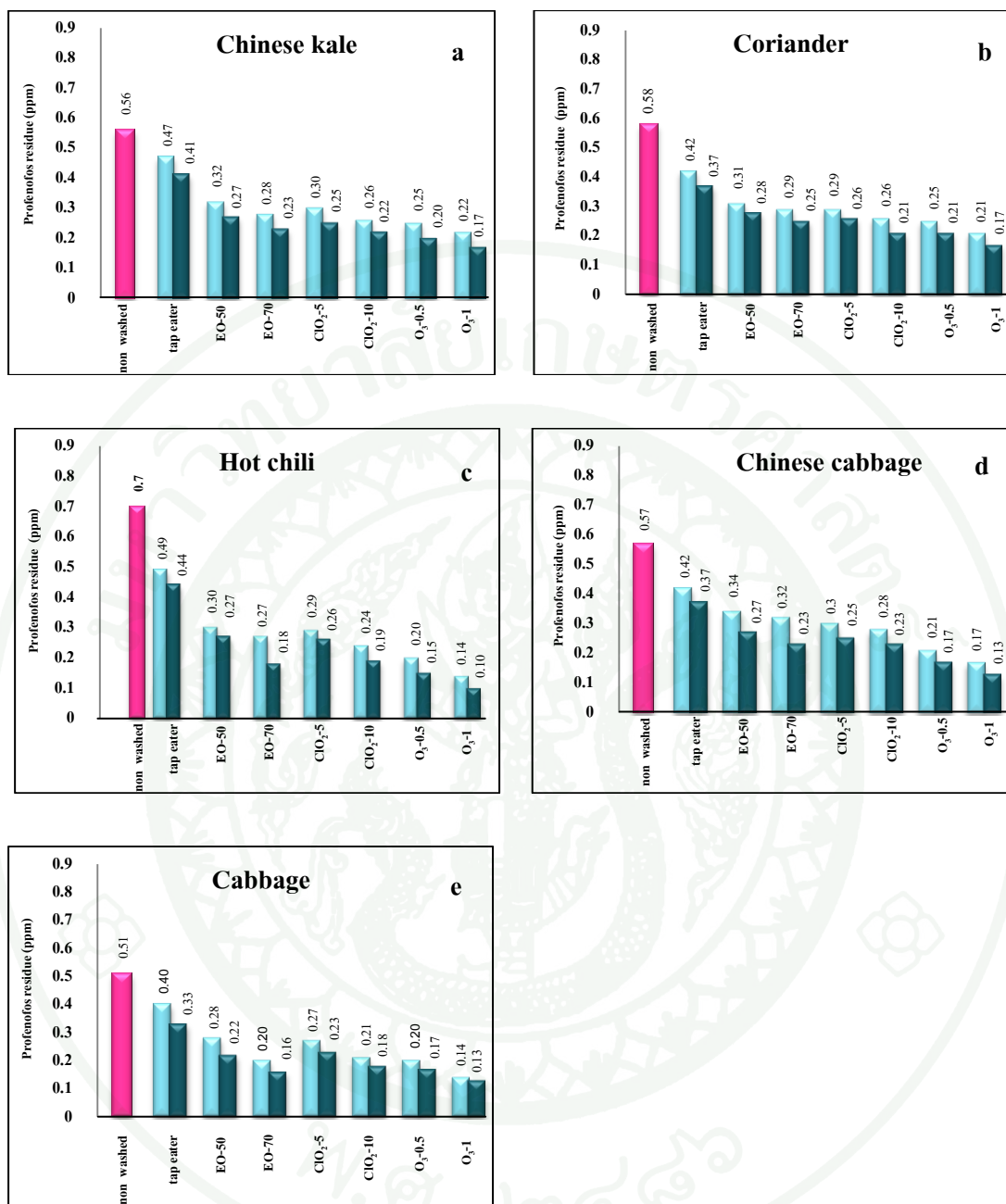
ผลการล้างสอดคล้องกับงานวิจัย Jianxiong *et al.* ปี 2011 ที่ได้ศึกษาผลของน้ำอเล็ก โทโรไลซ์ทั้งชนิดกรดและเบส ต่อการลดสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต คือ อะเซเฟท โอเมทโทเอท และ DDVP ในผักโขม กะหล่ำปลี และกระเทียมต้น พบว่าน้ำอเล็กโทโรไลซ์ทั้ง 2 ชนิด สามารถลดสารกำจัดศัตรูพืชดังกล่าวในผักสดทั้ง 3 ชนิดได้ดี โดยลดได้ 50-70% ในครั้งนั้น พบว่าชนิดของผักไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการขจัดสารกำจัดศัตรูพืช คณะผู้วิจัยยังได้อธิบายถึง กลไกการลดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวว่า น้ำอเล็กโทโรไลซ์ชนิด กรดมีสมบัติความเป็นกรดสูง (พีเอช < 2.7) มีค่า ORP สูง (> 1100 mV) และมีค่าปริมาณคลอรีน อิสระที่สูง (30-200 พีพีเอ็ม) จึงมีศักยภาพที่ดีในการขจัดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ออกจากผักสด เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่มี พันธะคู่ระหว่าง P=O และ C=O เช่น อะเซเฟท (Acephate), โอเมทโทเอท และ DDVP ยอมให้สาร หรือไอออนที่มีประจุลบ หรือโมเลกุลเป็นกลางที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (nucleophilic reagent) สามารถเข้าทำลายตรงพันธะคู่ดังกล่าวได้ ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นเมื่อล้างผักด้วยน้ำอเล็กโทโรไลซ์ ชนิดกรดทำให้สารกำจัดศัตรูพืชทั้ง 3 ชนิด คือ อะเซเฟท โอเมทโทเอท และ DDVP ในผักสดลดลง ได้ ส่วนน้ำอเล็กโทโรไลซ์ชนิดเบสที่มีคุณสมบัติของค่าเป็นเบสสูง (พีเอช > 11) มีค่า ORP ต่ำ (-850 mV) มีสมบัติเป็นสารลดแรงดึงผิวที่ดี ช่วยลดสารกำจัดศัตรูพืชออกจากผักได้เช่นกันคือ 50-70% แต่ไม่ได้อธิบายสมบัติอื่นที่นอกเหนือจากการเป็นสารลดแรงดึงผิว

สำหรับการล้างผักสดด้วยน้ำโอโซนเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม ที่เวลาล้างนาน 10 นาที พบว่ามี ประสิทธิภาพการลดปริมาณสารตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่ดีที่สุด ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ คือการล้างด้วยน้ำประปา น้ำ EO ชนิดกรด และคลอรีนไดออกไซด์ สามารถลดปริมาณ

สารโพฟิโนฟอสในผักคะน้า ผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลีได้ถึง 70-86% (ตารางที่ 26) โดยพบปริมาณการตกค้างหลังล้างอยู่ในช่วง 0.10-0.17 พีพีเอ็ม ขณะที่ล้างด้วยน้ำประปานิานาน 10 นาที ลดสารโพฟิโนฟอสได้เพียง 36-39% และพบสารโพฟิโนฟอสหลังล้างผักคะน้า ผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลี ด้วยน้ำประปาเท่ากับ 0.33-0.44 พีพีเอ็ม ดังภาพที่ 13

นอกจากนี้จากการศึกษาถึงผลของความเข้มข้นของน้ำล้างและเวลาดำรง พบว่าความเข้มข้นและเวลาดำรงของน้ำ EO ชนิดกรด คลอรีนไดออกไซด์ และโอโซน มีผลต่อการลดสารโพฟิโนฟอสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับน้ำ EO ชนิดกรด ปริมาณคลอรีนอิสระเท่ากับ 50 พีพีเอ็ม ลดโพฟิโนฟอสในผักคะน้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลีได้ 41-62% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นปริมาณคลอรีนอิสระในน้ำ EO ชนิดกรด เป็น 70 พีพีเอ็ม ลดโพฟิโนฟอสได้เพิ่มขึ้นเป็น 50-70% และเมื่อเพิ่มเวลาในการล้างพบว่าสามารถลดโพฟิโนฟอสได้ดีขึ้น เช่นเดียวกับการล้างผักคะน้า ผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลี และเช่นเดียวกันพบว่าคลอรีนไดออกไซด์เมื่อเพิ่มความเข้มข้นจาก 5 พีพีเอ็ม เป็น 10 พีพีเอ็มและเวลาดำรงจาก 5 นาที เป็น 10 นาที พบว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการลดสารโพฟิโนฟอสที่ดีขึ้น โดยพบว่าการลดสารโพฟิโนฟอสเพิ่มขึ้นประมาณ 10-15%

ส่วนการล้างผักทดสอบด้วยน้ำโอโซน พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำโอโซนจาก 0.5 เป็น 1 พีพีเอ็ม และเพิ่มเวลาดำรงจาก 5 นาที เป็น 10 นาที พบว่าลดโพฟิโนฟอสได้เพิ่มขึ้นประมาณ 10-15 % อย่างไรก็ตามน้ำโอโซนที่ 0.5 และ 1 พีพีเอ็ม 10 นาที และที่ 10 พีพีเอ็ม 5-10 นาที ให้ค่าการลดลงของสารตกค้างดีกว่าวิธีอื่นๆ คือให้ค่า 61-86% อยู่ในช่วงดี-ดีที่สุด (กรมวิชาการเกษตร, 2534) เวลาดำรงที่เพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 10 นาที มีผลทำให้สารกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งทั้ง 3 สัมผัสกับผักได้นานขึ้น ตลอดจนความเข้มข้นของน้ำล้างที่เพิ่มขึ้น มีผลต่อการเพิ่มโอกาสการสัมผัสของน้ำล้างกับสารกำจัดศัตรูพืชที่ดีขึ้น มีผลทำให้ลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในผักได้ดีขึ้น ทั้งนี้แนะนำให้ใช้เวลาในการล้างที่ 10 นาที น่าจะให้ผลดีที่สุดในการล้างผัก



ภาพที่ 13 ปริมาณสารโปรฟิโนฟอสในผักหลังล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเปรียบเทียบกับน้ำประปา โดย a คือ คะน้า, b คือ ผักชี, c คือ พริกชี้ฟ้าเขียว, d คือ ผักกาดขาวปลี และ e คือ กะหล่ำปลี เมื่อ (■) คือ ไม่ล้าง, (■) ล้างนาน 5 นาที และล้างนาน (■) 10 นาที ตามลำดับ

ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wu *et al.* (2007) พบว่าสารละลายโอโซนที่ความเข้มข้น 1.4 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส ให้ความสัมผัสกับสารละลายโอโซน 15 นาที มีประสิทธิภาพในการลดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 3 ชนิด คือ เมทิลพาราไรออน พาราไรออน และไดอะซินอน กับสารกลุ่มไพรีทรอยด์สังเคราะห์ คือไซเปอร์มีทริน ในผักกวางตุ้ง ได้ที่ 27-34% และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโอโซนเป็น 2 พีพีเอ็ม ที่สภาวะเดียวกันพบว่าประสิทธิภาพในการลดเพิ่มขึ้นเป็น 30-54% เมื่อเพิ่มเวลาในการสัมผัสเป็น 30 นาที ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการลดได้เพิ่มขึ้น เป็น 45-61% ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโอโซนและเวลาที่สารกำจัดศัตรูพืชสัมผัสกับสารละลายโอโซน มีผลอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชในผัก อธิบายกลไกการลดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตว่าเกิดจากอนุภาคของหมู่ไฮดรอกซิล ($\cdot\text{OH}$) ที่เกิดจากการสลายตัวของโอโซนในน้ำ ทำปฏิกิริยากับพันธะ $\text{P}=\text{S}$ ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ทำให้สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มนี้เสียสภาพ และขจัดออกจากผักได้ เช่นเดียวกันกับ Ayala *et al.* (2010) อธิบายกลไกการสลายตัวของยาปราบวัชพืช 2 ชนิด คือ สารโบรโมไนล และสารทริฟิราลิน ด้วยสารละลายโอโซน ว่าเกิดจากการเข้าทำปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของโอโซนกับโมเลกุลของยาปราบวัชพืชโดยตรง และทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของหมู่ไฮดรอกซิล ($\cdot\text{OH}$) ที่เกิดจากการสลายตัวของโอโซนในน้ำ ทำให้โครงสร้างสารทั้ง 2 ชนิดไม่แข็งแรงจึงถูกออกซิไดส์ได้ง่าย

ตารางที่ 26 ประสิทธิภาพการลดสารโพรพิโนฟอสในผักสดด้วยน้ำล้างกลุ่มออกไซด์ซึ่ง

การทดลอง	ความเข้มข้นน้ำล้าง (พีพีเอ็ม)	เวลาล้าง (นาที)	% การลดปริมาณสารโพรพิโนฟอส ^a				
			คะน้า	ผักชี	พริกขี้หนูเขียว	ผักกาดขาวปลี	กะหล่ำปลี
น้ำประปา	-	5	16.04±2.39 j	29.15±7.78 e	31.02±2.48 i	26.34±7.25 j	19.78±6.99 i
		10	25.52±2.00 i	36.40±9.02 e	38.90±3.66 h	36.02±6.51 i	35.17±3.79 h
น้ำ EO ชนิดกรด	50	5	43.44±2.26 h	45.71±7.53 d	57.59±2.92 g	40.90±7.78 h	44.63±5.31 g
		10	51.92±3.24 ef	52.89±9.16 cd	62.40±3.12 efg	53.39±11.46 def	55.36±5.37 ef
	70	5	49.50±3.38 fg	50.56±8.28 cd	62.47±9.57 efg	43.59±6.53 ghi	61.15±4.65 cd
		10	57.33±5.15 cd	57.63±9.24 bc	73.88±2.09 cd	59.97±12.12 cd	68.41±2.54 b
กลอรีนไดออกไซด์	5	5	47.19±3.73 gh	50.75±8.45 cd	59.51±3.21 fg	46.96±4.62 fgh	46.30±3.88 g
		10	54.74±3.40 de	56.41±8.97 bc	63.38±2.49 ef	56.29±4.14 cde	54.54±3.47 f
	10	5	53.45±2.42 def	56.63±3.79 bc	65.85±4.85 e	50.23±4.50 efg	58.45±4.02 def
		10	60.02±4.47 bc	64.08±6.36 ab	73.13±4.33 cd	60.33±7.59 cd	63.66±4.29 bc
โอโซน	0.5	5	54.50±3.96 de	58.16±2.82 bc	72.16±3.05 d	62.65±3.97 bc	59.93±3.29 cde
		10	63.66±2.74 b	64.21±4.71 ab	78.18±5.62 bc	70.28±3.32 ab	66.40±4.08 b
	1	5	60.92±3.52 bc	64.36±2.50 ab	80.28±4.49 b	70.29±3.28 ab	67.25±3.12 b
		10	69.75±5.50 a	70.20±4.70 a	86.30±3.29 a	77.08±2.36 a	73.68±2.88 a

^a ค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทำการทดลอง 6 ซ้ำ

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสัปดาห์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.2 คลอไพริฟอส

จากการล้างผักสด 5 ชนิด คือ ผักคะน้า ผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลี ด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง 3 ชนิด คือ น้ำ EO ชนิดกรด ปริมาณคลอรีนเท่ากับ 50 และ 70 พีพีเอ็ม คลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม และน้ำโอโซนเข้มข้น 0.5 และ 1 พีพีเอ็ม ล้างนาน 5 และ 10 นาที เปรียบเทียบประสิทธิภาพการล้างกับน้ำประปา พบว่าผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลี หลังผ่านการล้างด้วยน้ำล้างทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การล้างผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลี ที่มีปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้างเริ่มต้นเท่ากับ 0.61 5.66 5.82 และ 9.49 พีพีเอ็ม เมื่อล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด (ปริมาณคลอรีนเท่ากับ 70 พีพีเอ็ม) ล้างนาน 10 นาที ลดสารคลอไพริฟอสในผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลี ได้ 62-72% (ภาพที่ 14) ในขณะที่ล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 10 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที ลดได้ 60-71% (ตารางที่ 27) ส่วนการล้างผักทั้ง 4 ชนิด ข้างต้นด้วยน้ำโอโซนเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม ล้างนาน 10 นาที พบว่าลดสารคลอไพริฟอสตกค้างในผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลีได้ดีที่สุด ($p < 0.05$) อยู่ในช่วงเกณฑ์ดีมาก คือลดได้ 70-85% ขณะที่การล้างด้วยน้ำประปาลดสารคลอไพริฟอสในผัก 4 ชนิดได้อยู่ในช่วงเกณฑ์ปานกลางคือลดได้ 27-40% (กรมวิชาการเกษตร, 2543)

เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำ EO ชนิดกรด พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำล้าง และเพิ่มเวลาล้างเป็น 10 นาที พบว่าสามารถลดสารคลอไพริฟอสได้เพิ่มขึ้น 10-15% ทั้งในผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลี (ตารางที่ 27)

สอดคล้องกับงานวิจัยของพวงแก้ว และ รัชวินทร์ (2550) พบว่าการล้างผักและผลไม้ (ผักชีไทย ผักคะน้า พริกชี้ฟ้า และองุ่นเขียวราชบุรี) ด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงร่วมกับสารทำความสะอาด 3 ชนิด คือ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ น้ำส้มสายชู และน้ำยาล้างจานแอมเวย์ ล้างเป็นเวลา 7 นาที จากนั้นล้างซ้ำอีกครั้งด้วยน้ำอิเล็กโทรไลซ์ชนิดกรด เวลา 3 นาที ตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างทั้งกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต คาร์บาเมต ด้วยชุดทดสอบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างจีที พบว่าผักชีไทยและคะน้าที่ล้างด้วยน้ำส้มสายชูและแช่ด้วยน้ำอิเล็กโทรไลซ์ชนิดกรดมีสารเคมีตกค้างน้อยที่สุด คือ 0 และ 22.86 พีพีเอ็ม สำหรับองุ่นเขียวราชบุรี และพริกชี้ฟ้าพบว่าตัวอย่างที่ล้างด้วยน้ำยาแอมเวย์และแช่ด้วยน้ำอิเล็กโทรไลซ์ชนิดกรดมีสารเคมีตกค้างน้อยที่สุด คือ เท่ากับ 32.15 และ 6.45 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ซึ่ง Hwang และคณะ (2002) ได้อธิบายกลไกการสลายตัว

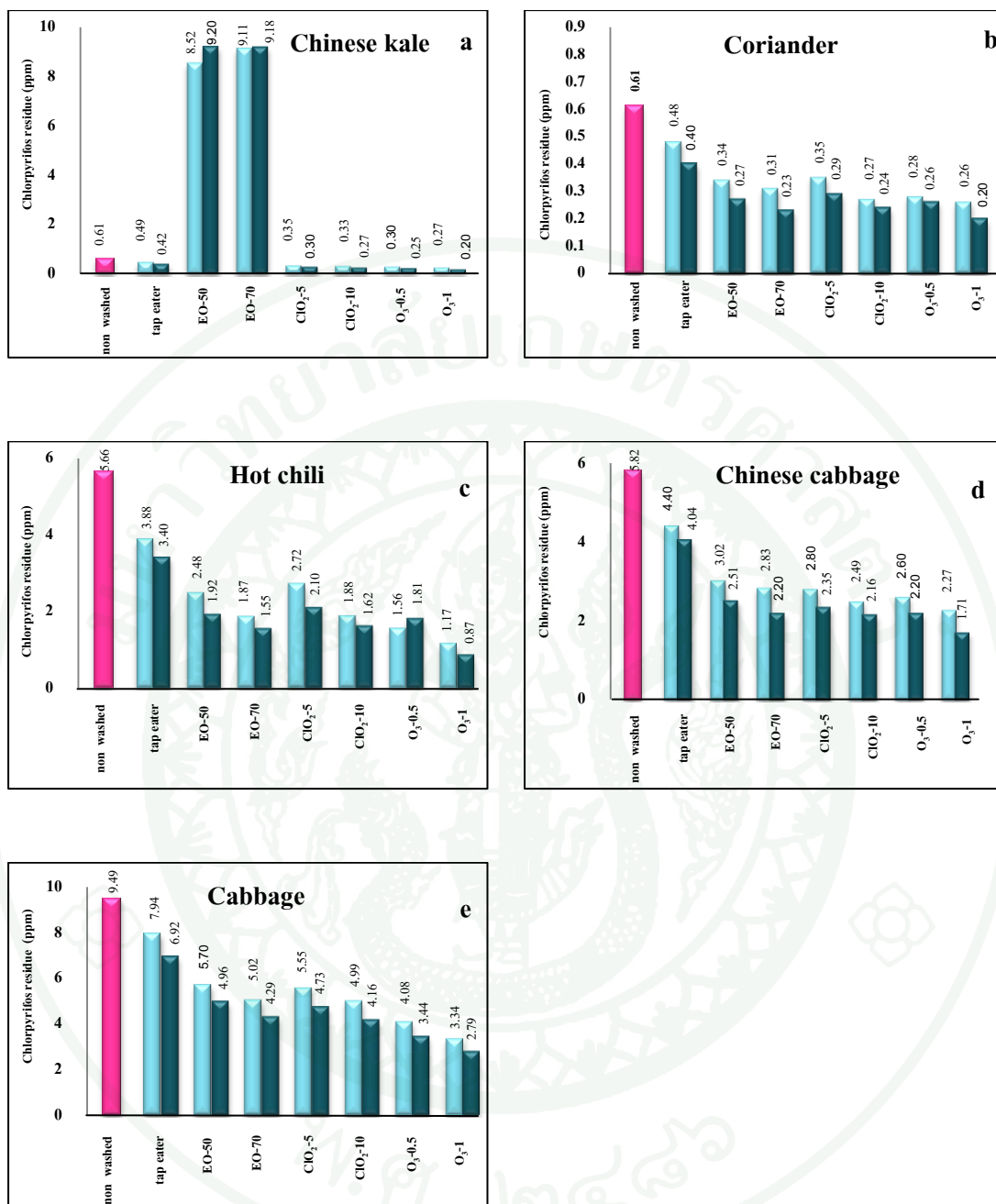
ของสารแมนโคเซบ ด้วยสารละลายคลอรีนพบว่าเมื่อคลอรีนละลายในน้ำจะเปลี่ยนรูปเป็น HOCl และ OCl⁻ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอชในสารละลายนั้น กล่าวคือที่พีเอชเป็นกรดจะมีอนุภาคของ HOCl มากกว่า 90% (ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) และที่พีเอชเป็นเบสจะมีอนุภาคของ ไฮโปคลอไรท์ หรือ OCl⁻ เป็นตัวสำคัญในการออกฤทธิ์สลายสารสารแมนโคเซบ ยิ่งกว่านั้นพบว่า ประสิทธิภาพในการสลายและทำลายแบคทีเรียและสารต่างๆด้วย HOCl สูงกว่า OCl⁻ ถึง 80 เท่า ดังนั้นที่พีเอชเป็นกรดทำให้มีอนุภาคของ HOCl เพิ่มขึ้น จึงมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการ เกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเป็นสารฆ่าเชื้อหรือสลายสารต่างๆ ของคลอรีน ดีขึ้น ดังนั้นจึงชี้ให้เห็นว่าที่พีเอชต่ำลงทำให้ประสิทธิภาพในการสลายหรือลดสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ชนิดแมนโคเซบดีขึ้นด้วย ด้วยเหตุนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอรีนอิสระ (จาก 50 เป็น 70 พีพีเอ็ม) และระยะเวลาในการล้าง (จาก 5 เป็น 10 นาที) จึงมีผลอย่างยิ่งต่อการเพิ่มการทำปฏิกิริยาของ สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ปัจจัยเหล่านี้เพิ่มประสิทธิภาพในการสลายสารเคมีกำจัดศัตรูพืชได้ดีขึ้น

สำหรับผลการล้างคะน้ำที่มีสารคลอไพริฟอสตกค้างเริ่มต้นเท่ากับ 0.61 พีพีเอ็ม ด้วย น้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง พบว่าคะน้ำที่ผ่านกรรมวิธีการล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม น้ำไอโซนเข้มข้น 0.5 และ 1 พีพีเอ็ม เวลาล้าง 5 และ 10 นาที ลดสารคลอไพริฟอสใน คะน้ำได้ 42 – 67% (ตารางที่ 27) คะน้ำที่ล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม น้ำไอโซนเข้มข้น 0.5 และ 1 พีพีเอ็ม เวลาล้าง 5 และ 10 นาที ให้ผลการลดลงของปริมาณ สารคลอไพริฟอสในคะน้ำที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และมีปริมาณสาร คลอไพริฟอสในคะน้ำหลังล้างอยู่ในช่วง 0.20 – 0.35 พีพีเอ็ม (ภาพที่ 14) แสดงให้เห็นว่าความ เข้มข้นของน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง และเวลาการล้างที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการลดลงของสาร คลอไพริฟอสในคะน้ำ (ปริมาณคลอไพริฟอสเริ่มต้น 0.61 พีพีเอ็ม)

การที่น้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งสามารถลดสารคลอไพริฟอสในผักได้นั้น วิญญูและ คณะ (2542) ได้อธิบายว่าไอโซนมีผลทำให้พาราไรออน และไดอะซินอลในกะหล่ำปลีลดลง เนื่องจากการที่โครงสร้างของสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตมีหมู่ P=S เป็น องค์ประกอบ จึงสามารถถูกออกซิไดส์ด้วยไอโซนแล้วทำให้หมู่ P=S เปลี่ยนเป็น หมู่ P=O ซึ่ง สารประกอบที่มีพันธะ P=O นี้สามารถถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่ายและเร็ว ซึ่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมีผล ทำให้ความเป็นพิษของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตลดลงได้

แต่ในกรณีที่ล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด ที่มีปริมาณคลอรีนอิสระ 50 และ 70 พีพีเอ็ม (ค่าพีเอช ค่า ORP เท่ากับ 2.6-3.3) ปรากฏผลเช่นเดียวกับการศึกษาเบื้องต้นข้อ 3.3.2 พบว่าให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตรเพิ่ม สืบจากการวิเคราะห์ด้วยชุดทดสอบจิติรายงานค่าการวิเคราะห์ในเกณฑ์ที่ไม่ปลอดภัย เมื่อยืนยันผลการวิเคราะห์ปริมาณสารคลอไพริฟอสในค่น้ำที่ล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรดด้วยวิธี Gas Chromatography จากผลการทดลองข้อที่ 6 พบว่าน้ำ EO ชนิดกรดที่สภาวะเดียวกันคือ ปริมาณคลอรีนอิสระ 70 พีพีเอ็ม ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 2.7-2.8 ค่า ORP อยู่ในช่วง 1100-1200 mV ลดปริมาณคลอไพริฟอสในค่น้ำได้ (25%) แสดงให้เห็นว่าชุดทดสอบจิติที่ไม่เหมาะสมในการใช้เพื่อวิเคราะห์ปริมาณคลอไพริฟอสในค่น้ำที่ล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด

สรุปจากผลการทดลองข้อ 4.2 ในการล้างผักทั้ง 5 ชนิด คือ ผักคะน้า ผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลี ด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง เปรียบเทียบกับน้ำประปา พบว่าวิธีการล้างมีผลต่อการลดลงของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตทั้ง 2 ชนิด คือ สาร โพรพิโนฟอส และคลอไพริฟอส โดยพบว่าการล้างผักสดด้วยน้ำ EO ชนิดกรด คลอรีนอิสระ 70 พีพีเอ็ม สารละลายคลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 10 พีพีเอ็ม และน้ำโอโซนเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม ที่เวลาล้าง 10 นาที ให้ผลประสิทธิภาพการล้างที่ดีที่สุด คือลดสาร โพรพิโนฟอสและคลอไพริฟอสในผักสดได้ 51-86% ซึ่งประสิทธิภาพของการล้างอยู่ในเกณฑ์ปานกลางถึงดีที่สุด (กองวัตถุมีพิษการเกษตร กรมวิชาการเกษตร ปี 2543) แล้วแต่ชนิดของผักและชนิดของสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง อธิบายได้ว่า จากสมบัติของสาร โพรพิโนฟอสและคลอไพริฟอสมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้บางส่วน และเมื่อผ่านการล้างด้วยสารกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง ที่มีประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูง เช่น น้ำ EO คลอรีนไดออกไซด์และโอโซน สารกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเหล่านี้สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตตรงพันธะคู่ระหว่าง P=S ได้ดีทำให้ โครงสร้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตเปลี่ยนรูปเป็น P=O ที่มีคุณสมบัติการละลายน้ำที่ดียิ่งขึ้น และเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ง่ายขึ้น จึงทำให้ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชทั้ง 2 ชนิด คือ โพรพิโนฟอสและคลอไพริฟอสที่ตกค้างในผักให้มีปริมาณลดลง (Krieger *et al.*, 2010)



ภาพที่ 14 ปริมาณสารคลอไพริฟอสในผักหลังล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเปรียบเทียบกับน้ำประปา โดย a คือ คะน้า, b คือ ผักชี, c คือ พริกชี้ฟ้าเขียว, d คือ ผักกาดขาวปลี และ e คือ กะหล่ำปลี เมื่อ (■) คือ ไม่ล้าง, (■) ล้างนาน 5 นาที และล้างนาน (■) 10 นาที ตามลำดับ

ตารางที่ 27 ประสิทธิภาพการลดสารคลอไพริฟอสในผักสดด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซิง

การทดลอง	ความเข้มข้นน้ำล้าง (พีพีเอ็ม)	เวลาดำรง (นาที)	% การลดปริมาณสารคลอไพริฟอส ^a				
			คะน้า	ผักชี	พริกชี้ฟ้าเขียว ^b	ผักกาดขาวปล ^a	กะหล่ำปลี
น้ำประปา	-	5	20.38±9.10 cd	22.36±10.88 e	31.62±3.34 i	24.20±4.86 e	16.41±1.53 f
		10	31.43±10.81 bc	34.60±8.83 de	40.01±4.94 h	30.36±3.09 e	27.14±1.86 e
น้ำ EO ชนิดกรด	50	5	-1303.20±71.26 e	44.57±15.90 cd	56.22±2.81 f	45.43±11.27 d	39.90±5.75 d
		10	-1411.50±24.32 f	55.96±18.59 abc	66.14±3.05 de	55.97±14.63 bc	47.14±5.18 dc
	70	5	-1394.60±24.10 f	49.36±17.30 bc	67.14±2.59 d	51.47±6.54 cd	46.98±8.29 dc
		10	-1,422.80±7.05 f	62.50±11.44 ab	72.58±2.23 c	61.98±4.11 b	54.73±8.46 bc
คลอรีนไดออกไซด์	5	5	42.55±14.27 abc	43.74±13.21 cd	52.15±3.89 g	51.50±6.30 cd	41.48±8.55 d
		10	51.36±16.91 ab	53.13±9.28 abc	62.89±2.81 e	59.40±4.33 bc	49.54±8.21 dc
	10	5	45.88±13.25 abc	55.92±9.81 abc	66.75±2.18 d	56.90±5.59 bc	47.35±11.10 dc
		10	56.35±12.02 ab	60.47±9.46 ab	71.42±2.69 c	62.57±4.83 b	56.09±10.71 bc
โอโซน	0.5	5	51.47±13.83 ab	54.25±8.43 abc	72.52±2.58 c	55.46±2.19 bc	56.99±12.70 bc
		10	59.49±7.12 ab	58.22±11.66 abc	78.43±1.62 b	61.99±3.98 b	63.71±12.17 ab
	1	5	55.88±18.70 ab	60.20±8.97 ab	79.44±2.56 b	61.40±3.40 b	64.70±12.96 ab
		10	67.07±18.92 a	68.46±7.10 a	84.64±2.77 a	70.15±6.53 a	70.55±9.38 a

^a ค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทำการทดลอง 6 ซ้ำ

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสัปดาห์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

5. ประสิทธิภาพการล้างผักด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซีไดส์ซึ่งเพื่อลดปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชแตกต่างกัน

5.1 ผลของระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชต่อปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชในผัก

การศึกษาถึงผลของระยะเวลาเก็บเกี่ยวคะแน้น้ำหลังการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชต่อปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืช ทดลองปลูกคะแน้น้ำ 2 รุ่น (วิธีการทดลองข้อที่ 5.1) โดยฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชด้วยอัตราส่วนและระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิตตามคำแนะนำของฉลากสารกำจัดศัตรูพืชแต่ละชนิด คือ โพรฟิโนฟอสฉีดพ่นยาที่อัตราส่วนยา 20 มล. ต่อน้ำ 20 ลิตร และเก็บผลผลิตหลังจากฉีดพ่นยาแล้ว 10 วัน สำหรับคลอไพริฟอสฉีดพ่นยาที่อัตราส่วนยา 20 มล. ต่อน้ำ 20 ลิตร และเก็บผลผลิตหลังจากฉีดพ่นยาแล้ว 14 วัน เปรียบเทียบกับคะแน้น้ำที่มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ 3 วันหลังจากฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช ซึ่งเป็นระยะเก็บเกี่ยวหลังการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชที่เกษตรกรบางรายปฏิบัติ อ้างโดยธรรมศักดิ์ และคณะ (2548) เมื่อฉีดพ่นยาและเก็บเกี่ยวผลผลิตตามคำแนะนำของฉลากข้างขวดสารกำจัดศัตรูพืชแต่ละชนิด คือสารโพรฟิโนฟอสและคลอไพริฟอส แนะนำให้เก็บเกี่ยวผลผลิตได้ที่ 10 และ 14 วัน หลังการฉีดพ่น ผักคะแน้น้ำที่ได้วิเคราะห์หาสารกำจัดศัตรูพืชด้วยชุดตรวจสอบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างจีที (ทำการทดลอง 2 ครั้งๆ ละ 3 ซ้ำ) พบว่าให้ค่าสี (ค่า OD ที่ 540 นาโนเมตร) ของการวิเคราะห์ปริมาณสารโพรฟิโนฟอสอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัย สารคลอไพริฟอส เก็บเกี่ยวที่ระยะเวลา 14 วันพบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับที่ปลอดภัย แต่พบว่าปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชยังคงสูงกว่าค่า EU-MRL ปี 2010 คือ ปริมาณสารโพรฟิโนฟอสเท่ากับ 1.66 พีพีเอ็ม และปริมาณสารคลอไพริฟอสเท่ากับ 1.85 พีพีเอ็ม (เมื่อค่า EU-MRL ปี 2010 ของสารโพรฟิโนฟอสและคลอไพริฟอสในคะแน้น้ำ เท่ากับ 0.05 พีพีเอ็ม) แสดงดังภาพที่ 15

5.1.1 โพรฟิโนฟอส

ผักคะแน้น้ำจากแปลงปลูกทั้ง 2 รุ่น ที่ฉีดพ่นสารโพรฟิโนฟอสตามอัตราแนะนำ 20 มล. ต่อน้ำ 20 ล. และเก็บผลผลิตหลังการฉีดพ่น 3 และ 10 วัน เมื่อตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชด้วยชุดทดสอบสารกำจัดศัตรูพืชจีที (ทำการทดลอง 2 ครั้งๆ ละ 3 ซ้ำ) พบปริมาณสาร

กำจัดศัตรูพืชตกค้างในทานองเดียวกันสำหรับคะน้าจากแปลงปลูกทั้ง 2 รุ่น เมื่อเก็บเกี่ยวคะน้าหลังการฉีดพ่นสารโพรฟิโนฟอสที่ระยะเวลา 3 และ 10 วัน พบปริมาณสารโพรฟิโนฟอสตกค้างเท่ากับ 21.61 และ 1.97 พีพีเอ็ม (ผักรุ่นที่ 1) และเท่ากับ 18.60 และ 1.35 พีพีเอ็ม (ผักรุ่นที่ 2) ตามลำดับ (ภาพที่ 15a)

ผักที่เก็บเกี่ยว 3 วันหลังการฉีดพ่นสารโพรฟิโนฟอส พบว่ามีปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในปริมาณที่สูงมาก (21.61 และ 18.60 พีพีเอ็ม) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Uraichuen (1993) ทำการศึกษาปริมาณสารโพรฟิโนฟอสในคะน้า พบว่าการฉีดพ่นด้วยความเข้มข้นที่ 375 ถึง 1125 พีพีเอ็ม (1-3 เท่าของความเข้มข้นแนะนำ) ทุกๆ 5 วัน เป็นเวลา 6 ครั้ง ทำให้มีสารตกค้างมากถึง 22.2-64.44 พีพีเอ็มเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ระยะเวลา 0 วันหลังการฉีดพ่นตกค้าง 14.5-43.0 พีพีเอ็มเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ระยะเวลา 1 วันหลังการฉีดพ่น และตกค้าง 7.1-15.5 พีพีเอ็มเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ระยะเวลา 3 วันหลังการฉีดพ่นสาร แสดงว่าสารโพรฟิโนฟอสเป็นสารที่สามารถสะสมและตกค้างในผัก (คะน้า) ได้ในปริมาณสูง และใช้เวลานานในการสลายตัว ซึ่ง Uraichuen ปี 1993 รายงานเพิ่มเติมว่าระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังฉีดพ่นสารโพรฟิโนฟอส เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีสารตกค้างอยู่ในระดับปลอดภัย ต้องใช้เวลาถึง 10 วัน

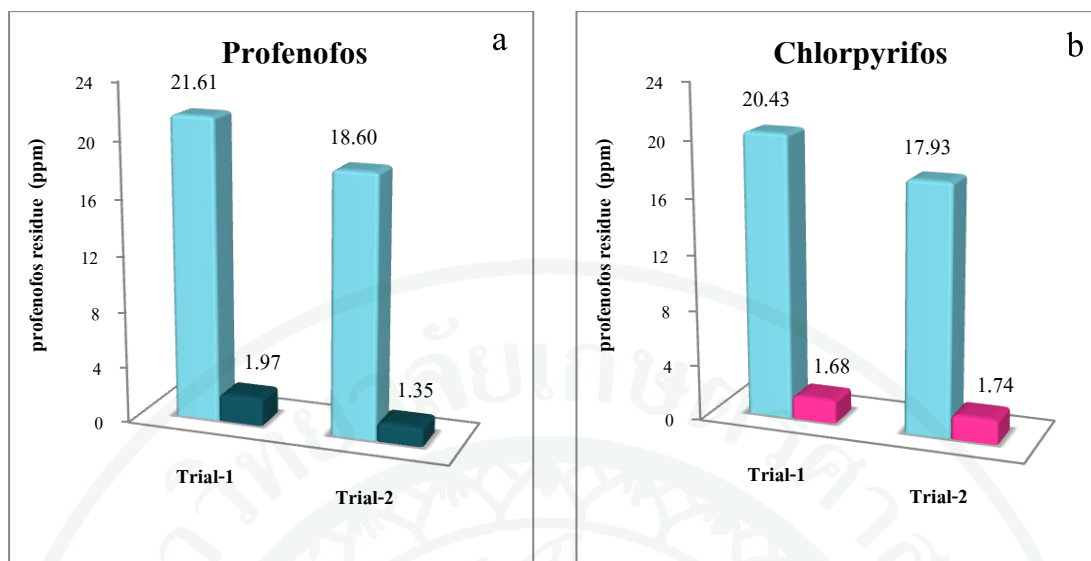
การที่เกษตรกรไม่ได้ปฏิบัติตามคำแนะนำข้างขวด ทั้งส่วนในการผสมสารเคมี และระยะเวลาที่แนะนำในการเก็บเกี่ยวผลผลิต เพราะราคาของผลิตผลหากขายได้ราคาสูงกว่ารายได้มากขึ้น เกษตรกรจะเร่งดำเนินการเก็บเกี่ยวผลผลิต เพื่อจำหน่ายก่อนกำหนดเวลาถึงช่วงเก็บเกี่ยว นอกจากนี้เกษตรกรยังต้องการให้ผลผลิตที่ได้มีรูปลักษณะที่สวยงามเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เกินกว่าที่ไถ่เวลานแมลงกัดกินทำให้ผักไม่สวย เหล่านี้จึงทำให้มักตรวจพบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักสดมีปริมาณสูงและบ่อยครั้ง (สายันต์, 2542)

จากผลการทดลองในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชครั้งสุดท้ายที่นานขึ้นมีผลต่อปริมาณการตกค้างของสารโพรฟิโนฟอสในคะน้าที่ลดลง กล่าวคือคะน้าที่เก็บเกี่ยวในวันที่ 10 หลังการฉีดพ่นสาร มีปริมาณสารโพรฟิโนฟอสตกค้างในปริมาณที่ต่ำกว่าคะน้าที่เก็บเกี่ยวในวันที่ 3 วัน หลังการฉีดพ่นสาร ถึง 20 เท่า เนื่องจากการเว้นระยะเวลาลงการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชที่นานขึ้นมีผลต่อการสลายตัวของสารในสิ่งแวดล้อม เช่น การระเหย การสลายตัวโดยแสง อุณหภูมิ และความชื้น (จิราวัฒน์, 2542) ทำให้คะน้าเก็บเกี่ยวที่ 10 วัน มีปริมาณสารโพรฟิโนฟอสน้อย แต่อย่างไรก็ตามพบว่าคะน้าทั้ง 2 กลุ่ม คือ

ฉีดพ่นสารโพฟิโนฟอสที่ระยะเวลา 3 และ 10 วัน ก่อนวันเก็บเกี่ยว ให้ผลการวิเคราะห์ค่าสีด้วยชุดทดสอบสารกำจัดศัตรูพืชจีที อยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัย (% การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส >50)

ในครั้งนี้นำปริมาณสารโพฟิโนฟอสตกค้างในค่น้ำมีปริมาณสูง อาจเนื่องมาจากจากผลผลิตค่น้ำเก็บเกี่ยวจากแปลงทดลองปลูกที่มีหลังคาพลาสติกใส ช่วยป้องกันน้ำฝนทำให้การชะล้างสารกำจัดศัตรูพืชจากน้ำฝนน้อยลง นอกจากนี้ยังอาจขึ้นกับการให้น้ำค่น้ำหลังจากการฉีดพ่นสารโพฟิโนฟอส คือระหว่างต้นกล้าเจริญจนถึงก่อนฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชให้น้ำแบบพ่นฝอย (springer) เหนือผักแต่หลังจากฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชให้น้ำทางดิน จึงอาจเป็นไปได้ว่าน้ำชะล้างสารกำจัดศัตรูพืชน้อยกว่าสภาพการปลูกจริง ชีรพลและคณะ ปี 2547 อธิบายว่าหากฉีดพ่นสารโพฟิโนฟอสในค่น้ำตามอัตราแนะนำ คือวัตถุดิบพิษชนิด 50% ใน Emulsifiable concentrates (EC) ปริมาณ 40 มล. ต่อน้ำ 20 ลิตร พ่นวัตถุดิบพิษทุก 7 วัน รวม 3 ครั้ง และเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณสารตกค้าง ที่ระยะเวลา 0 3 5 7 10 และ 12 วันหลังการพ่นครั้งสุดท้าย พบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง 38.40 5.94 2.44 1.36 0.22 และ 0.05 พีพีเอ็ม ที่ระยะต่างๆ ตามลำดับ ระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังการฉีดพ่นสารที่นานขึ้น (12 วัน เปรียบเทียบกับ 3 วัน) มีผลต่อการลดลงของปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง ที่ 12 วันหลังการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชครั้งสุดท้าย พบว่าปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในปริมาณน้อยและใกล้เคียงค่า EU-MRL ปี 2010 ที่กำหนดให้มีสารโพฟิโนฟอสในค่น้ำได้ไม่เกิน 0.05 พีพีเอ็ม กล่าวคือเกษตรกรสามารถปฏิบัติได้ตามคุณภาพเพื่อการส่งออก (ปริมาณสารตกค้างที่กำหนด) หากเก็บเกี่ยวตามคำแนะนำ

สอดคล้องกับกองวัตถุดิบพิษการเกษตร กรมวิชาการเกษตร ปี 2554 กำหนดค่า Post Harvest Individual หรือค่า PHI ของสารกำจัดศัตรูพืชสำหรับผลิตผลทางการเกษตรแต่ละชนิด โดยระบุค่า PHI ของสารโพฟิโนฟอสในค่น้ำที่ 10 วัน กล่าวคือสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตค่น้ำได้ 10 วันหลังจากฉีดพ่นสารโพฟิโนฟอสครั้งสุดท้าย ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่ปลอดภัยภายหลังการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชครั้งสุดท้าย จะให้ผลผลิตทางการเกษตรที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค และมีคุณภาพที่ดีในการส่งออกต่างประเทศ (กลุ่มวิจัยวัตถุดิบพิษการเกษตร, กรมวิชาการเกษตร ปี 2546) จากผลการทดลองครั้งนี้จึงเป็นไปได้ว่า ระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิตค่น้ำอย่างน้อย 10 วัน หลังการฉีดพ่นสารโพฟิโนฟอส น่าจะเหมาะสมและปลอดภัยกับผู้บริโภค



ภาพที่ 15 ปริมาณสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในค่น้ำ; ภาพ a คือ สารโปรฟิโนฟอส เมื่อ (■) ฉีดพ่นที่ 3 วันก่อนวันเก็บเกี่ยว และ (■) ฉีดพ่นที่ 10 วันก่อนวันเก็บเกี่ยว; ภาพ b คือ สารคลอไพริฟอส เมื่อ (■) ฉีดพ่นที่ 3 วันก่อนวันเก็บเกี่ยว และ (■) ฉีดพ่นที่ 14 วันก่อนวันเก็บเกี่ยว

5.1.2 คลอไพริฟอส

สำหรับผลของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิตค่น้ำหลังการฉีดพ่นสารคลอไพริฟอสที่มีต่อปริมาณการตกค้างในค่น้ำในครั้งนี้ โดยทดลองในแปลงปลูกค่น้ำ 2 รุ่น ที่ออกแบบการทดลองในแบบเดียวกัน ทำการฉีดพ่นสารคลอไพริฟอส 40% EC ที่อัตรา 20 มล. ต่อ น้ำ 20 ล. และเก็บผลผลิตหลังการฉีดพ่น 3 และ 14 วัน ตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชด้วยชุดทดสอบสารกำจัดศัตรูพืชจีที (ทำการทดลอง 2 ครั้งๆ ละ 3 ซ้ำ) พบว่าค่น้ำจากแปลงปลูกทั้ง 2 รุ่นมีปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้างในปริมาณใกล้เคียงกัน เท่ากับ 20.43 และ 1.68 พีพีเอ็ม (ผักรุ่นที่ 1) เท่ากับ 17.93 และ 1.74 พีพีเอ็ม (ผักรุ่นที่ 2) ตามลำดับ (ภาพที่ 15b) ซึ่งให้ผลการทดลองในทำนองเดียวกันกับการศึกษาในสาร โปรฟิโนฟอสข้างต้น คือเมื่อเปรียบเทียบเกณฑ์ความปลอดภัยต่อการบริโภคพบว่าระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิตที่นานขึ้นมีผลต่อการลดลงของสารคลอไพริฟอสในค่น้ำ การเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลา 14 วันหลังการฉีดพ่นสารคลอไพริฟอสให้ค่าการวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างด้วยชุดทดสอบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง จีที อยู่ในระดับที่ปลอดภัย (% การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส <50) แต่ผัkc่น้ำเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลา 3 วัน

หลังการฉีดพ่นสารคลอไพริฟอส เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยชุดทดสอบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างจีทีพบว่าอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัย (% การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส >50)

อย่างไรก็ตามสารคลอไพริฟอสนั้นพบว่าไม่แนะนำให้ใช้กับพืชทั่วไป รวมทั้งผักและผลไม้ โดยปกติอนุญาตให้ใช้สารคลอไพริฟอสได้ในพืชไร่ เช่น ข้าว ถั่วเหลือง และถั่วลิสง โดยกองวัตถุมีพิษการเกษตร กรมวิชาการเกษตร ปี 2554 กำหนดค่า PHI สำหรับพืชไร่ไว้ที่ 14-21 วัน เนื่องจากเป็นพืชไร่ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่นาน และมีการเก็บผลผลิตไว้ในโรงเก็บนาน ก่อนการบริโภค ระยะเวลาที่นานขึ้นจึงช่วยลดการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชชนิดนี้ได้ แต่จากการสำรวจสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผลิตผลการเกษตร ของศูนย์บริการทางวิชาการแบบเบ็ดเสร็จ กรมวิชาการเกษตร ปี 2552 พบการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชชนิดนี้ในพืชผักหลายชนิด เนื่องจากคลอไพริฟอสเป็นสารกำจัดศัตรูพืชที่มีความเป็นพิษและความคงตัวสูง เกษตรกรผู้ปลูกผักจึงนิยมใช้ในแปลงเกษตร ดังนั้นเกษตรกรจึงต้องระวังในการใช้สารชนิดนี้เพราะมีการสลายตัวที่ช้ามาก ต้องทิ้งระยะเวลาเก็บเกี่ยวนานถึง 14-21 วัน ซึ่งกองวัตถุมีพิษการเกษตร กรมวิชาการเกษตร ปี 2546 แนะนำให้เก็บเกี่ยวพืชที่ฉีดพ่นสารคลอไพริฟอสครั้งสุดท้าย 14 วัน แต่อย่างไรก็ดีไม่ได้ระบุค่า PHI สำหรับผักคะน้า

จากผลการทดลองครั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิตคะน้าที่ 14-21 วัน หลังการฉีดพ่นสารคลอไพริฟอส น่าจะเป็นวันที่เหมาะสมและปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค และผลผลิตคะน้าที่ได้ อาจจะมีปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้างในระดับที่ผ่านค่า MRLs ของประเทศคู่ค้า ทั้งนี้ต้องผ่านการยืนยันด้วยวิธีวิเคราะห์มาตรฐาน เช่น เทคนิค HPLC หรือ GC ซึ่ง EU ขอมรับ โดยปกติใช้ค่าใช้จ่ายสูงมากถึง 2500 บาทต่อครั้งต่อชนิดสาร ทั้งๆ ที่ในทางปฏิบัติหากเกษตรกรทำตามคำแนะนำจะช่วยลดความเสี่ยงอย่างยิ่งในการป้องกันสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผัก

เนื่องจากการทดลองปลูกคะน้าและฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชดังกล่าวข้างต้น พบการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชในคะน้าที่ทดลองปลูกจากทุกกลุ่มทดลองที่มีการฉีดพ่นสาร ยกเว้นกลุ่มที่ไม่ฉีดพ่นสาร ผักคะน้ากลุ่มนี้พบว่าผลการวิเคราะห์อยู่ในระดับที่ปลอดภัย (% การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส = 0) ผักคะน้ากลุ่มที่ฉีดพ่นไพรฟิโนฟอสที่ 3 และ 10 วัน และผักคะน้ากลุ่มที่ฉีดพ่นคลอไพริฟอส ที่ 3 วัน ก่อนวันเก็บเกี่ยว ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างด้วยชุดทดสอบจีทีพบว่าอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัย (% การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส >50)

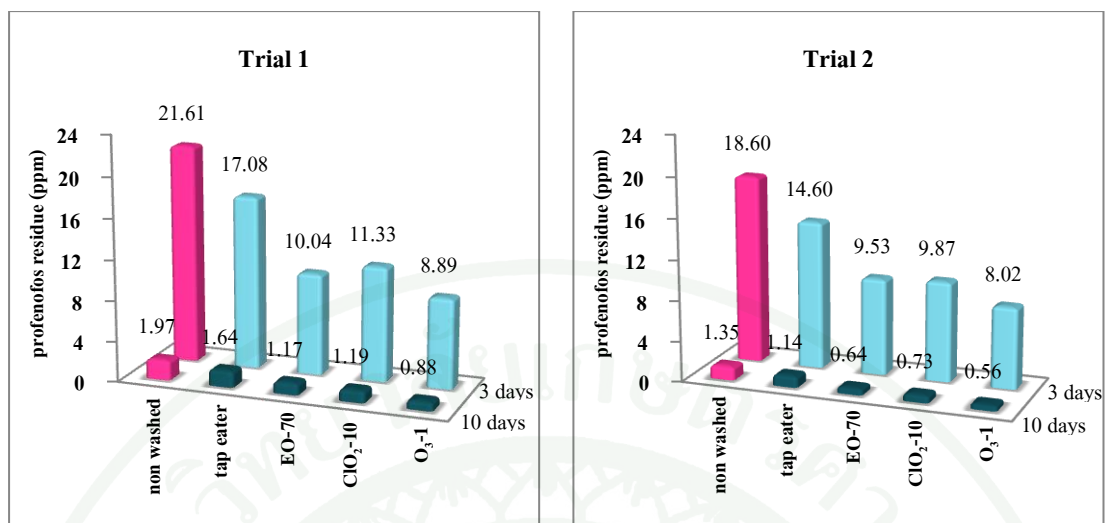
แต่น้ำกลุ่มที่ฉีดพ่นสารคลอไพริฟอสที่ 14 วัน ก่อนวันเก็บเกี่ยว ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างด้วยชุดทดสอบจีที พบว่าอยู่ในระดับที่ปลอดภัย (% การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส <50) อย่างไรก็ตามการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชทั้งหมดยังคงมีปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชในระดับที่สูงกว่าค่า EU-MRLs ปี 2010 ดังนั้นการล้างจึงเป็นอีกวิธีที่ช่วยลดการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืช

5.2 ประสิทธิภาพการล้างผักด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง ต่อการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในผัก ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชแตกต่างกัน

ประสิทธิภาพการล้างผักด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง ต่อการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในผักคะน้าจากแปลงปลูกทั้ง 2 รุ่น โดยแต่ละรุ่นแบ่งเป็น 4 กลุ่มทดลอง เมื่อกลุ่มที่ 2 และ 3 คือ ผักฉีดพ่นสารโพรฟิโนฟอสที่ระยะเวลา 3 และ 10 วัน ก่อนเก็บเกี่ยว กลุ่มที่ 4 และ 5 คือ ผักฉีดพ่นสารคลอไพริฟอสที่ระยะเวลา 3 และ 14 วัน ก่อนเก็บเกี่ยว โดยคะน้าทั้งหมดถูกนำมาล้างด้วยวิธีการล้างในแบบเดียวกัน ให้ผลดังนี้

5.2.1 โพรฟิโนฟอส

ผลการล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งในผักคะน้าทั้ง 2 รุ่นเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลา 3 วันหลังการฉีดพ่นสารโพรฟิโนฟอส มีปริมาณสารโพรฟิโนฟอสตกค้างเริ่มต้นในผักคะน้ารุ่นที่ 1 และ 2 เท่ากับ 21.61 และ 18.60 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ภาพที่ 16) พบว่าการล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งทั้ง 3 ชนิด คือน้ำ EO ชนิดกรด สารละลายคลอรีนไดออกไซด์ และน้ำโอโซน (ความเข้มข้นและเวลาระบุนในตารางที่ 28) ลดโพรฟิโนฟอสตกค้างในคะน้ารุ่นที่ 1 และ 2 ให้ผลในทำนองเดียวกัน กล่าวคือการล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด ลดได้ 54% และ 49% ตามลำดับ (ปริมาณสารตกค้างเท่ากับ 10.04 และ 9.53 พีพีเอ็ม) การล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์ลดได้ 48% และ 47% ตามลำดับ (ปริมาณสารตกค้างเท่ากับ 11.33 และ 9.87 พีพีเอ็ม) สำหรับการล้างคะน้าทั้ง 2 รุ่นด้วยน้ำโอโซนให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารโพรฟิโนฟอสที่ดีที่สุด ($p < 0.05$) ลดได้ถึง 59% และ 57% สำหรับคะน้ารุ่นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (ปริมาณสารตกค้างเท่ากับ 8.89 และ 8.02 พีพีเอ็ม) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดี (กรมวิชาการเกษตร, 2543) ขณะที่การล้างด้วยน้ำประปามีประสิทธิภาพการลดสารโพรฟิโนฟอสตกค้างในคะน้ารุ่นที่น้อยที่สุดคือลดได้ 21% และ 22% ตามลำดับ (ตารางที่ 28)



ภาพที่ 16 ประสิทธิภาพการล้างผักคะน้าด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง เมื่อ a คือผักคะน้ารุ่นที่ 1 และ b คือ ผักคะน้ารุ่นที่ 2 โดยเก็บเกี่ยวผลผลิตระยะ (■) 3 วัน และ (■) 10 วัน หลังการฉีดพ่นสารโปรพิโนฟอส และ (■) คือ ผักไม่ผ่านการล้าง

สอดคล้องกับธรรมศักดิ์ และคณะ ปี 2548 ที่ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดสารโปรพิโนฟอสตกค้างในคะน้าที่เก็บเกี่ยวผลผลิตระยะเวลา 3 วัน เมื่อปริมาณสารโปรพิโนฟอสเริ่มต้นเท่ากับ 62.38 พีพีเอ็ม แล้วนำผักมาผ่านกระบวนการล้างต่างๆ พบว่าการล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 6 พีพีเอ็ม ที่เวลา 15 นาที ทำให้มีปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างน้อยที่สุดมีค่า 14.65 พีพีเอ็ม หรือลดได้ 76% นอกจากนี้พบว่าการตกค้างของสารที่ปริมาณสูงหรือต่ำจะให้ค่าประสิทธิภาพการลดปริมาณสารที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าคลอรีนไดออกไซด์มีประสิทธิภาพที่ดีในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารโปรพิโนฟอสซึ่งเป็นสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต

สอดคล้องกับ Magara *et al.* (1984) ซึ่งรายงานว่าการกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่มีพันธะ P=S มักสลายตัวได้ง่ายด้วยคลอรีนและอนุพันธ์คลอรีน นอกจากนี้พบว่าการล้างด้วยน้ำประปาแม้ว่าล้างเป็นเวลานาน 15 นาที ก็สามารถลดโปรพิโนฟอสได้ปานกลาง เมื่อเทียบกับการไม่ล้าง ทั้งนี้จะเป็นเพราะสารโปรพิโนฟอสซึ่งเป็นสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตมีการสลายตัวได้บางส่วนจากกระบวนการไฮโดรไลซิส (Ong *et al.*, 1995)

ตารางที่ 28 ประสิทธิภาพการล้างคะแน้นาปนเปื้อนสารโพรพิโนฟอสด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง
เมื่อนิคมปนสารที่ 3 และ 10 วัน ก่อนวันเก็บเกี่ยวผลผลิต

วิธีการล้าง	ความเข้มข้นน้ำ ล้าง (พีพีเอ็ม)	% การลดลง ^a			
		รุ่นที่ 1		รุ่นที่ 2	
		3 วัน	10 วัน	3 วัน	10 วัน
ไม่ล้าง	-	0.00±0.00 d	0.00±0.00 d	0.00±0.00 d	0.00±0.00 e
น้ำประปา	-	20.96±3.21 c	16.81±4.43 c	21.56±9.99 c	15.09±3.93 d
น้ำ EO ชนิดกรด	70	53.55±1.00 ab	40.56±2.76 b	48.754±1.84 ab	52.18±2.50 b
คลอรีนไดออกไซด์	10	47.56±10.13 b	39.47±2.76 b	46.94±1.35 b	45.99±1.33 c
โอโซน	1	58.87±3.21 a	55.30±4.03 a	56.90±0.28 a	58.48±3.10 a

^a ค่าเฉลี่ยได้จากการทดลองปลูกพืช 2 ครั้ง และล้างตัวอย่างฝักอย่างละ 3 ซ้ำ (n=6)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความ
เชื่อมั่น 95 %

ส่วนคะแน้นาทั้ง 2 รุ่นการปลูกเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ระยะเวลา 10 วัน มีปริมาณ
โพรพิโนฟอสตกค้างในปริมาณที่ต่ำลง (1.97 และ 1.35 พีพีเอ็ม) หลังล้างด้วยน้ำล้างกลุ่ม
ออกซิไดส์ซึ่งทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณสารโพรพิโนฟอสตกค้างเท่ากับ 0.88- 1.19 พีพีเอ็ม และ 0.56-0.73
พีพีเอ็ม สำหรับคะแน้นารุ่นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ หรือลดได้เท่ากับ 40-55% และ 46-58% ตามลำดับ
ขณะที่การล้างด้วยน้ำประปาลดสารโพรพิโนฟอสได้ 15-17% และยังมีปริมาณสารกำจัดศัตรูพืช
ตกค้างเท่ากับ 1.14-1.64 พีพีเอ็ม น้ำโอโซนสามารถลดสารโพรพิโนฟอสในฝักคะแน้นาที่เก็บเกี่ยว
10 วันหลังการนิคมปนสารชนิดนี้ได้ดีที่สุดในทั้ง 2 รุ่นการปลูก คือลดได้ 55-58% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดี
(กรมวิชาการเกษตร, 2543)

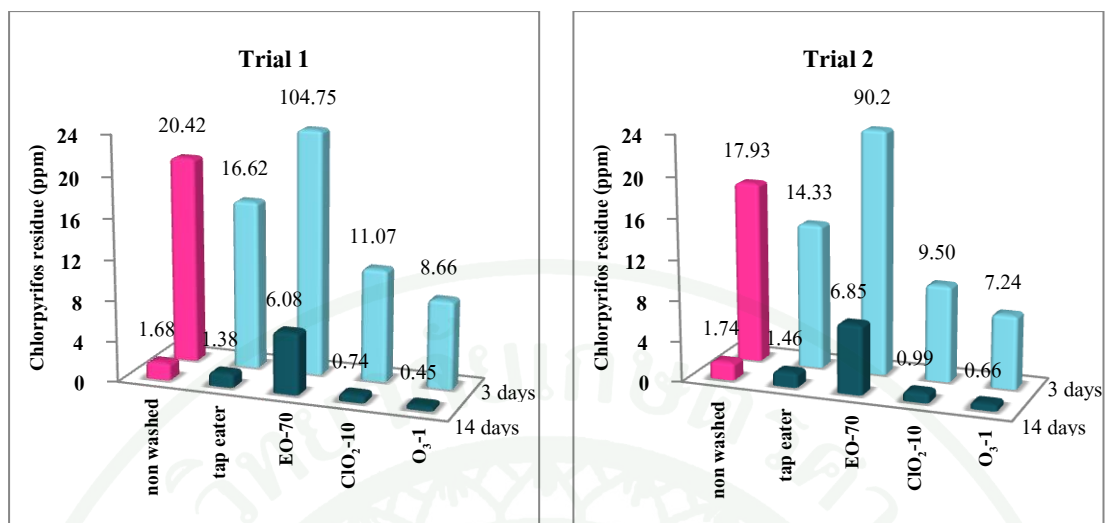
แสดงให้เห็นว่าการทิ้งระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิตหลังการนิคมปนสาร
โพรพิโนฟอสให้นานขึ้น มีผลต่อการลดลงของสารโพรพิโนฟอสในฝักคะแน้นาเริ่มต้น และมีผลต่อ
ปริมาณสารโพรพิโนฟอสในคะแน้นาหลังผ่านการล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง คาดว่าหาก
ปริมาณการตกค้างเริ่มต้นในฝักหลังนิคมปนสารอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงค่า EU MRL ปี 2010 ยิ่งขึ้น

(~0.05 พีพีเอ็ม) อาจเป็นไปได้ว่าจะสามารถลดสารโพर्फิโนฟอสจากค่น้ำให้มีปริมาณการตกค้างสุดท้ายใกล้เคียงกับค่า EU MRL ปี 2010 ได้

5.2.2 คลอไพริฟอส

ผลการล้างค่น้ำจากแปลงปลูกทั้ง 2 รุ่น เก็บเกี่ยวผลผลิตที่ระยะเวลา 3 วันหลังการฉีดพ่นสารคลอไพริฟอส ด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง 3 ชนิด คือน้ำ EO ชนิดกรด คลอรีนไดออกไซด์ และน้ำโอโซน (ความเข้มข้นและเวลาล้างแสดงในตารางที่ 29) ปริมาณโพर्फิโนฟอสตกค้างเริ่มต้นในผักค่น้ำรุ่นที่ 1 และ 2 เท่ากับ 20.43 และ 17.93 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ภาพที่ 17) พบว่าน้ำโอโซนมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการลดสารคลอไพริฟอสตกค้างในผักค่น้ำรุ่นที่ 1 และ 2 คือลดได้ 58% และ 60% ตามลำดับ (ปริมาณสารตกค้างเท่ากับ 8.66 และ 7.24 (พีพีเอ็ม) ส่วนการล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์ ลดได้ 46 และ 47% ตามลำดับ (ปริมาณสารตกค้างเท่ากับ 11.07 และ 9.50 พีพีเอ็ม) หลังล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งทั้ง 2 ชนิดดังกล่าว ผักค่น้ำมีปริมาณสารคลอไพริฟอสลดลงแต่ยังคงไม่ผ่านค่า EU-MRL ปี 2010 ที่ระบุ (0.05 พีพีเอ็ม) สำหรับค่น้ำที่ผ่านการล้างด้วยน้ำประปา พบว่าลดคลอไพริฟอสได้เพียง 19% อยู่ในเกณฑ์ประสิทธิภาพน้อยมาก (กรมวิชาการเกษตร, 2543)

ส่วนค่น้ำทั้ง 2 รุ่นการปลูกเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ระยะเวลา 14 วัน มีปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้างในปริมาณที่ต่ำลง (1.68 และ 1.74 พีพีเอ็ม) (ภาพที่ 17) การล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์ลดปริมาณสารคลอไพริฟอสในผักค่น้ำรุ่นที่ 1 และ 2 ได้ 56% และ 43% ตามลำดับ (ปริมาณสารตกค้างเท่ากับ 0.74 และ 0.99 พีพีเอ็ม) การล้างด้วยน้ำโอโซนลดสารคลอไพริฟอสในผักค่น้ำที่เก็บเกี่ยว 14 วันหลังการฉีดพ่นสารชนิดนี้ได้ดีที่สุดในทั้ง 2 รุ่นการปลูก คือ 73% และ 62% ซึ่งประสิทธิภาพการล้างอยู่ในเกณฑ์ดี-ดีมาก (กรมวิชาการเกษตร, 2543) ขณะที่การล้างด้วยน้ำประปาลดสารคลอไพริฟอสได้เพียง 18% ซึ่งประสิทธิภาพการล้างอยู่ในเกณฑ์น้อยมาก (กรมวิชาการเกษตร, 2543)



ภาพที่ 17 ประสิทธิภาพการล้างผักด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง เมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตระยะ (■) 3 วัน และ (■) 14 วัน หลังการฉีดพ่นสารคลอไพริฟอส เมื่อ (■) คือ ผักไม่ผ่านการล้าง

ตารางที่ 29 ประสิทธิภาพการล้างคะน้าปนเปื้อนสารคลอไพริฟอส ด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง เมื่อฉีดพ่นยาที่ 3 และ 14 วัน ก่อนวันเก็บเกี่ยวผลผลิต

วิธีการล้าง	ความเข้มข้น น้ำล้าง (พีพีเอ็ม)	% การลดลง ^a			
		รุ่นที่ 1		รุ่นที่ 2	
		3 วัน	14 วัน	3 วัน	14 วัน
ไม่ล้าง	-	0.00±0.00 d	0.00±0.00 d	0.00±0.00 c	0.00±0.00 b
น้ำประปา	-	18.60±4.17 c	17.77±6.70 c	20.08±4.59 b	15.82±3.65 b
น้ำ EO ชนิดกรด	70	-412.88±5.16 e	-262.10±17.12 e	-402.95±16.18 d	294.31±23.30 c
คลอรีน ไดออกไซด์	10	45.80±5.58 b	56.10±3.65 b	47.05±3.25 a	42.68±4.00 a
โอโซน	1	57.60±2.67 a	73.02±6.80 a	59.65±5.49 a	61.79±7.12 a

^a ค่าเฉลี่ยได้จากการทดลองปลูกพืช 2 ครั้ง และล้างตัวอย่างผักอย่างละ 3 ซ้ำ (n=6)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

คะน้ำจากแปลงปลูกทั้ง 2 รุ่น ที่มีการตกค้างของสารคลอไพริฟอสทั้ง 2 ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว (ภาพที่ 17) เมื่อผ่านการล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด (วิธีการล้างเดียวกัน สำหรับคะน้ำทั้ง 2 รุ่น) ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ที่สูงขึ้น หรือค่าที่ได้ อยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัย (% การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส > 50%) สอดคล้องกับผลการทดลองในข้อ 3.2 และ 4.2 ที่พบว่าหลังการล้างคะน้ำที่สร้างการปนเปื้อนด้วย สารละลายคลอไพริฟอสแล้วผ่านกรรมวิธีการล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด พบว่าค่า OD ที่สูงขึ้น ซึ่งบ่งชี้ว่าการตรวจปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างด้วยชุดทดสอบจีทีไม่เหมาะสมกับคะน้ำที่ผ่านการฉีดพ่นด้วยสารคลอไพริฟอสแล้วล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด ซึ่งไม่พบในกรณีการล้างผักชนิดอื่น การตรวจสอบปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้างในผักคะน้ำล้างด้วย EO ชนิดกรด ควรตรวจด้วย เทคนิคอื่นๆ เช่น HPLC หรือ GC ที่เชื่อมั่นได้มากกว่า สอดคล้องกับผลการทดลองข้อที่ 6 วิเคราะห์ ปริมาณสารคลอไพริฟอสในคะน้ำหลังล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรดด้วยเทคนิค GC พบว่าคะน้ำ ปนเปื้อนสารคลอไพริฟอส (2.2 พีพีเอ็ม) ล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด ปริมาณคลอรีนอิสระ 70 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที ลดสารคลอไพริฟอสได้ 25% (1.64 พีพีเอ็ม) แสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำ EO ชนิดกรด ในการล้างผักมีประสิทธิภาพในการลดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตได้

สรุปได้ว่าการล้างคะน้ำที่เก็บเกี่ยวผลผลิตที่ระยะเวลา 3 และ 10 วัน หลังการ ฉีดพ่นสาร โพรพิโนฟอส และเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลา 3 และ 14 วัน หลังการฉีดพ่นสารคลอไพริฟอส ด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งทั้ง 3 ชนิด คือ น้ำ EO ชนิดกรด สารละลายคลอรีนไดออกไซด์ และน้ำ โอโซน สามารถลดปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตทั้ง 2 ชนิด คือ โพรพิโนฟอสและคลอไพริฟอสได้ 40-73% คะน้ำที่ฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชทั้ง 2 ชนิดข้างต้น หากเกษตรกรได้ใช้สารกำจัดศัตรูพืชตามอัตราส่วนแนะนำและเก็บเกี่ยวผลผลิตตามวันที่ฉลากข้างขวด แนะนำ จะได้ผลผลิตผักคะน้ำที่ปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค จึงอาจเป็นไปได้ว่าวิธีการล้างด้วยน้ำล้าง กลุ่มออกซิไดส์ซึ่งร่วมกับผักที่ปลูกตาม GAP เกษตรกรที่ดีที่เหมาะสมจะสามารถลดสารกำจัด ศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ทั้งนี้มีข้อแม้ว่าปริมาณที่ตกค้างนั้นควรมีปริมาณต่ำๆ ใกล้เคียงค่า MRL ได้ เพื่อช่วยลดปัญหาการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชในผักสด เพิ่มศักยภาพในการส่งออก นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้บริโภคได้

6. ผลการประยุกต์ใช้สภาวะการล้างที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างผักสดส่งออกเพื่อลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต

6.1 สุ่มเก็บตัวอย่างผักสดส่งออก พบการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตวิเคราะห์โดยห้องปฏิบัติการ A ปริมาณสารตกค้างที่สูงเกินค่า EU-MRLs ปี 2010 แสดงในตารางที่ 30 (สุ่มเก็บตัวอย่างผัก 2 ครั้งๆ ละ 2 ซ้ำ)

จากการทดลองสุ่มเก็บตัวอย่างผักสดส่งออกทั้ง 4 ชนิด คือ กระบี่ ผักชี พริก และผักกาดขาวปลี พบการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 5 ชนิด คือ โพรพิโนฟอส คลอไพริฟอส ไดโครโตฟอส และอีโทออน (ตารางที่ 30) รายงานผลการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ A ด้วยเทคนิค GC/FPD การตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตบางชนิดในผักสดเพื่อการส่งออกแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 30

ตารางที่ 30 ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่พบตกค้างในผักสดส่งออก 4 ชนิด

ชนิดผัก	สุ่มเก็บ ^a ครั้งที่	สารกำจัดศัตรูพืช ตกค้าง	ปริมาณที่พบ ^b (พีพีเอ็ม)	ค่า EU-MRLs ปี 2010 (พีพีเอ็ม)	มากกว่าค่า EU-MRL (เท่า)
กระบี่	1	โพรพิโนฟอส	1.43	0.05	29
		ไดโครโตฟอส	1.68	0.01	168
		อีโทออน	0.05	0.01	5
	2	คลอไพริฟอส	2.20	0.05	44
ผักชี	1	โพรพิโนฟอส	0.07	0.05	1
		อีโทออน	0.02	0.01	2
	2	โพรพิโนฟอส	1.77	0.05	35.4
พริก	1	คลอไพริฟอส	0.52	0.50	1
	2	คลอไพริฟอส	0.84	0.50	1.68
		โพรพิโนฟอส	0.32	0.05	6.4
ผักกาดขาวปลี	1	โพรพิโนฟอส	2.82	0.05	56
	2	โพรพิโนฟอส	3.15	0.05	63

^a ได้จากการสุ่มเก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง ระหว่างวันที่ 1-22 มีนาคม พ.ศ. 2555

^b ค่าเฉลี่ยได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

คะน้ำปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืช (ตารางที่ 31) จากการสุ่มเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกไซด์ซึ่งทั้ง 3 ชนิด พบว่าน้ำ EO ชนิดกรด ลดโพธิ์โนฟอส และอีโทออนได้ 22 และ 50% ตามลำดับ โดยเฉพาะคลอรีนโพธิ์โนฟอสเมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารตกค้างด้วยเทคนิค GC/FPD พบว่าน้ำ EO ชนิดกรดลดสารคลอรีนโพธิ์โนฟอสในคะน้ำ (2.20 พีพีเอ็ม) ได้ 25% จากผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าน้ำ EO ชนิดกรดมีประสิทธิภาพในการลดสารกำจัดศัตรูพืชชนิดคลอรีนโพธิ์โนฟอสในคะน้ำได้ เนื่องจากน้ำ EO ชนิดกรดมีค่าสัมประสิทธิ์การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน หรือค่า ORP ที่สูง (1100-1200 mV) จึงสามารถออกซิไดส์โครงสร้างทางเคมีของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่มี P=S และ P=O ได้ การล้างผักปนเปื้อนสารคลอรีนโพธิ์โนฟอสด้วยน้ำ EO ชนิดกรดจึงช่วยลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในผักสด สำหรับคะน้ำปนเปื้อนโพธิ์โนฟอส ไดโครโตฟอส อีโทออนและคลอรีนโพธิ์โนฟอสล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์ 10 พีพีเอ็มนาน 10 นาที ลดสารกำจัดศัตรูพืชทั้ง 4 ชนิดได้อยู่ในช่วง 7-40% ตามลำดับ และน้ำไอโซนมีแนวโน้มลดโพธิ์โนฟอส ไดโครโตฟอส และอีโทออนในคะน้ำได้ดีที่สุด คือลดอยู่ในช่วง 22-50% ตามลำดับ

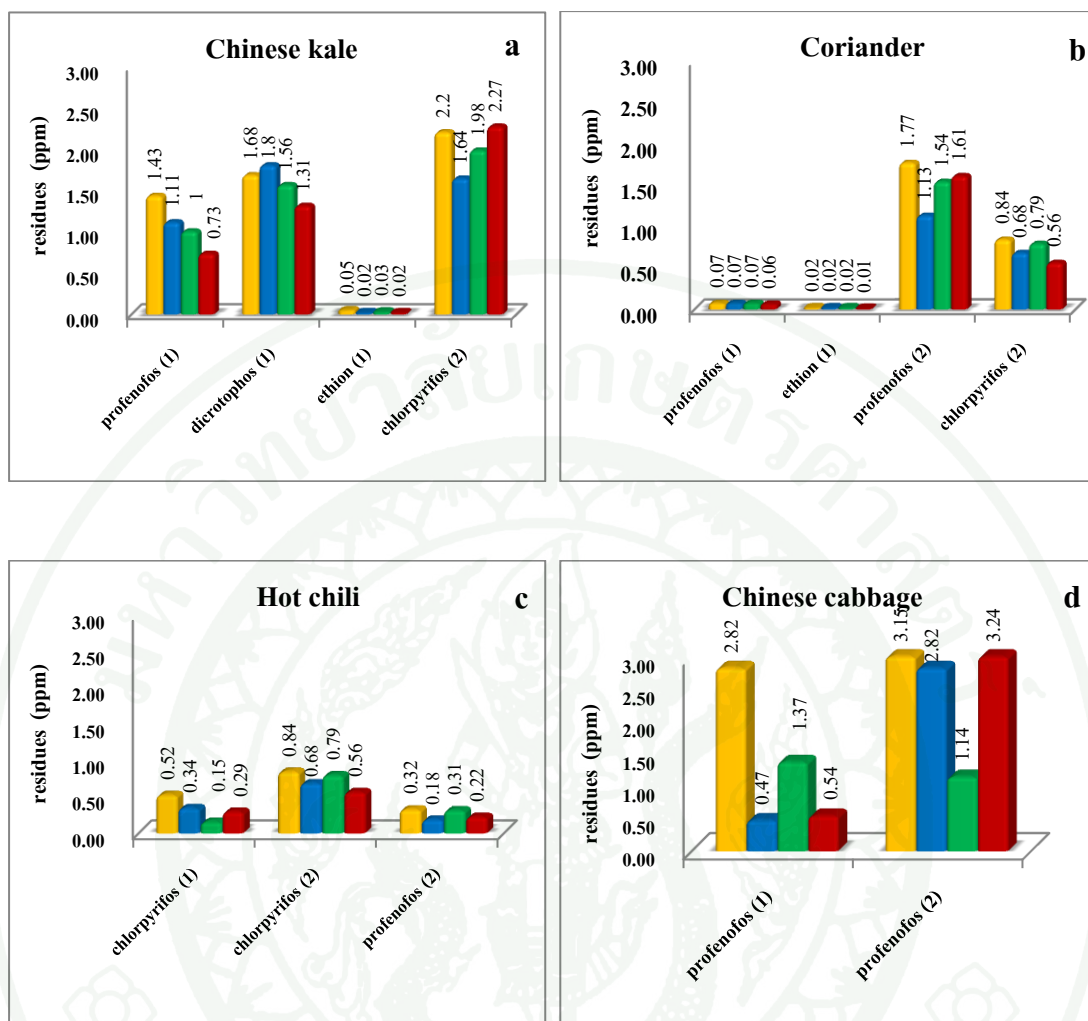
การสุ่มเก็บตัวอย่างผักคะน้ำในครั้งที่ 2 พบการตกค้างสารคลอรีนโพธิ์โนฟอสเริ่มต้นที่ 2.20 พีพีเอ็ม การล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด และสารละลายคลอรีนไดออกไซด์ ลดปริมาณคลอรีนโพธิ์โนฟอสได้ 10 และ 25% ส่วนการล้างด้วยน้ำไอโซนพบว่าไม่สามารถทำให้ปริมาณสารคลอรีนโพธิ์โนฟอสลดลงได้ (ตารางที่ 31) ซึ่งไม่น่าเกิดขึ้นจากผลการล้างเองแต่น่าจะเกิดจากการที่ผักมีปริมาณสารตกค้างเริ่มต้นไม่สม่ำเสมอจนมาก่อนทำการล้าง (ธรรมศักดิ์ และคณะ, 2548)

ส่วนตัวอย่างผักจากการสุ่มเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้ง พบว่าการล้างด้วยน้ำไอโซนและน้ำ EO ชนิดกรดมีประสิทธิภาพดีกว่าน้ำคลอรีนไดออกไซด์ คือลดโพธิ์โนฟอส และอีโทออนได้อยู่ในช่วง 8-50% ตามลำดับ เช่นเดียวกับพริกจากการสุ่มเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้ง พบว่าการล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด คลอรีนไดออกไซด์ และน้ำไอโซน ลดปริมาณคลอรีนโพธิ์โนฟอสได้ในช่วง 6-71 % ตามลำดับ เช่นเดียวกับผักกาดขาวปลีที่พบว่าการล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกไซด์ซึ่งทั้ง 3 ชนิดข้างต้น ลดโพธิ์โนฟอสได้อยู่ในช่วง 11-83% ตามลำดับ

ในกรณีของผักกาดขาวปลีพบว่าการใช้น้ำ EO ชนิดกรด ความเข้มข้น 70 พีพีเอ็มนาน 10 นาที ล้างผักกาดขาวปลีที่มีสารโพธิ์โนฟอสตกค้าง 2.82 พีพีเอ็ม ลดได้ 83% ทำให้สามารถเพิ่มโอกาสการจำหน่ายในประเทศได้โดยผ่านค่า MRL ที่กำหนดไว้ 0.5 พีพีเอ็ม

ในขณะนี้เห็นว่าค่า MRL ที่กำหนดในประเทศส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าค่า EU-MRL ที่ 10 เท่า (กรณีสารโพรพิโนฟอสในคะน้าและโพรพิโนฟอสในผักกาดขาวปลี) การใช้น้ำไอโซนความเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม 10 นาทีที่มีโอกาสได้เช่นเดียวกัน คือลดปริมาณการตกค้างของโพรพิโนฟอสใกล้เคียงกับค่า MRL ของไทย (ปริมาณสารตกค้าง 0.54 พีพีเอ็ม)

หากมีการปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชสูงกว่า EU-MRL หรือ ไทย-MRL ไม่มากนัก ปริมาณการปนเปื้อนที่ 1-5 เท่า มีโอกาสที่จะล้างสารกำจัดศัตรูพืชเพื่อสามารถส่งออก เห็นได้ชัดจากกรณีการตกค้างของสารอีไทออนในพริก เมื่อล้างด้วยน้ำไอโซนให้คุณภาพผ่านค่ามาตรฐาน EU-MRL หรือล้างเพื่อให้ได้เกณฑ์ภาพตามกรมวิชาการเกษตรกำหนด เพื่อการบริโภคในประเทศ แต่หากมีการปนเปื้อนสูง 10-100 เท่า มีโอกาสน้อยในการล้างเพื่อให้ได้คุณภาพตามที่กำหนด การผลิตที่ถูกต้องตาม GAPs ร่วมกับการลดการใช้สารกำจัดศัตรูพืชเป็นวิธีที่ดีที่สุด เพื่อให้ปริมาณสารตกค้างน้อยในผัก และเพิ่มความปลอดภัยในการบริโภค



ภาพที่ 18 ประสิทธิภาพการล้างผักสดส่งออกด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเพื่อลดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต โดย a คือ คะน้า b คือ ผักชี c คือ พริก และ d คือ ผักกาดขาวปลี เมื่อ (■) คือ ไม่ล้าง, (■) คือ น้ำ EO ชนิดกรด 70 พีพีเอ็ม, (■) คือ ClO₂ 10 พีพีเอ็ม และ (■) คือ น้ำโอโซน 1 พีพีเอ็ม เมื่อ (1) คือ ตัวอย่างจากการสุ่มเก็บครั้งที่ 1 และ (2) คือ ตัวอย่างจากการสุ่มเก็บครั้งที่ 2

ตารางที่ 31 ประสิทธิภาพการล้างผักสดส่งออกด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเพื่อลดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต

ชนิดผัก	ลุ่มเก็บครั้งที่	ชนิดน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง	ชนิดสารกำจัดศัตรูพืช	ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืช ^a (พีพีเอ็ม)			ค่า MRL (พีพีเอ็ม)		ผ่านมาตรฐานค่า MRL	
				ก่อนล้าง	หลังล้าง	% การลด ^a	EU	ไทย	EU	ไทย
คะน้า	1	EO	โพรพิโนฟอส	1.43	1.11	22.73	0.05	0.5	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
		ClO ₂			1.0	30.42			ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
		O ₃			0.73	49.30			ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
	1	EO	ไดโครโตฟอส	1.68	1.8	-7.46	0.01	ไม่กำหนด	ไม่ผ่าน	ไม่กำหนด
		ClO ₂			1.56	7.16			ไม่ผ่าน	ไม่กำหนด
		O ₃			1.31	21.79			ไม่ผ่าน	ไม่กำหนด
	1	EO	อีไทออน	0.05	0.02	50.00	0.01	ไม่กำหนด	ไม่ผ่าน	ไม่กำหนด
		ClO ₂			0.03	0.00			ไม่ผ่าน	ไม่กำหนด
		O ₃			0.02	50.00			ไม่ผ่าน	ไม่กำหนด
	2	EO	คลอไพริฟอส	2.20	1.64	25.45	0.05	ไม่กำหนด	ไม่ผ่าน	ไม่กำหนด
		ClO ₂			1.98	10.00			ไม่ผ่าน	ไม่กำหนด
		O ₃			2.27	-3.18			ไม่ผ่าน	ไม่กำหนด
ผักชี	1	EO	โพรพิโนฟอส	0.07	0.07	0.00	0.05	ไม่กำหนด	ไม่ผ่าน	ไม่กำหนด
		ClO ₂			0.07	0.00			ไม่ผ่าน	ไม่กำหนด
		O ₃			0.06	7.69			ไม่ผ่าน	ไม่กำหนด

ตารางที่ 31 (ต่อ)

ชนิดผัก	สุ่มเก็บ ครั้งที่	ชนิดน้ำล้างกลุ่ม ออกซิไดส์ซิง	ชนิดสาร กำจัดศัตรูพืช	ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืช ¹ (พีพีเอ็ม)			ค่า MRL (พีพีเอ็ม)		ผ่านมาตรฐานค่า MRL	
				ก่อนล้าง	หลังล้าง	% การลด	EU	ไทย	EU	ไทย
ผักชี	1	EO	อีโทออน	0.02	0.02	0.00	0.01	ไม่กำหนด	ไม่ผ่าน	ไม่กำหนด
		ClO ₂			0.02	0.00			ไม่ผ่าน	ไม่กำหนด
		O ₃			0.01	50.00			ผ่าน	ไม่กำหนด
	2	EO	โพรพิโนฟอส	1.77	1.13	36.16	0.05	ไม่กำหนด	ไม่ผ่าน	ไม่กำหนด
		ClO ₂			1.54	12.99			ไม่ผ่าน	ไม่กำหนด
		O ₃			1.61	9.32			ไม่ผ่าน	ไม่กำหนด
พริก	1	EO	คลอไพริฟอส	0.52	0.34	34.62	0.5	0.5	ผ่าน	ผ่าน
		ClO ₂			0.15	71.15			ผ่าน	ผ่าน
		O ₃			0.29	44.23			ผ่าน	ผ่าน
	2	EO	คลอไพริฟอส	0.84	0.68	19.05	0.5	0.5	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
		ClO ₂			0.79	5.95			ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
		O ₃			0.56	33.33			ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
	2	EO	โพรพิโนฟอส	0.32	0.18	43.75	0.05	5	ไม่ผ่าน	ผ่าน
		ClO ₂			0.31	1.56			ไม่ผ่าน	ผ่าน
		O ₃			0.22	31.25			ไม่ผ่าน	ผ่าน
ผักกาดขาวปลี	1	EO	โพรพิโนฟอส	2.82	0.47	83.33	0.05	0.5	ไม่ผ่าน	ผ่าน
		ClO ₂			1.37	51.42			ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
		O ₃			0.54	80.85			ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน

ตารางที่ 31 (ต่อ)

ชนิดผัก	ดุ่มเก็บ ครั้งที่	ชนิดน้ำล้างกลุ่ม ออกซิไดส์ซึ่ง	ชนิดสาร กำจัดศัตรูพืช	ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืช ^a (พีพีเอ็ม)			ค่า MRL (พีพีเอ็ม)		ผ่านมาตรฐานค่า MRL	
				ก่อนล้าง	หลังล้าง	% การลด	EU	ไทย	EU	ไทย
ผักกาดขาวปลี	2	EO	โพรพิโนฟอส	3.15	2.82	10.63	0.05	0.5	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
		ClO ₂			1.14	63.81			ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
		O ₃			3.24	-2.70			ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน

^a ค่าเฉลี่ยได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

หมายเหตุ การล้างผักสดส่งออกปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืช น้ำหนัก 500 กรัมต่อน้ำล้าง 10 ลิตร (สัดส่วนผัก:น้ำล้าง, 1:20) เมื่อ EO-water คือ น้ำ EO ชนิดกรด ปริมาณคลอรีนอิสระเท่ากับ 70 พีพีเอ็ม, ClO₂ คือ คลอรีนไดออกไซด์ เข้มข้น 10 พีพีเอ็ม และ O₃ คือ น้ำโอโซนเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม ล้างนาน 10 นาที (2 การทดลองๆ ละ 2 ซ้ำ)

บริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายเครื่องผลิตโอโซนสำหรับล้างผักและผลไม้ห่อ Oxygenic 2009 ได้รายงานประสิทธิภาพการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืช 2 ชนิด คือ ลินเดน (กลุ่มออร์กาโนคลอรีน) และ โพรพิโนฟอส (กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต) ซึ่งเป็นสองชนิดที่พบบ่อยในผักกาดกวางตุ้ง โดยการเติมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 50 และ 5000 พีพีเอ็ม แล้วนำไปล้างด้วยน้ำ โอโซนพบว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการล้างมีปริมาณของสารลินเดน และ โพรพิโนฟอส เท่ากับ 50 และ 5000 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างที่ผ่านการล้างด้วยน้ำโอโซนมีปริมาณของสารลินเดน และ โพรพิโนฟอส ลดลงเหลือเท่ากับ 1.02 และ 124 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ซึ่งให้เห็นว่าโอโซนมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชดังกล่าวให้อยู่ในระดับที่ต่ำลงจากปริมาณที่พบเริ่มต้น การล้างผักกาดกวางตุ้งด้วยน้ำโอโซนยังมีผลต่อการยืดอายุการเก็บได้นานขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ การล้างด้วยน้ำประปา ผักกาดกวางตุ้งที่ล้างด้วยน้ำประปามีลักษณะไม่เป็นที่ยอมรับในวันที่ 7 ของอายุการเก็บ ขณะที่ตัวอย่างผักกาดกวางตุ้งที่ล้างด้วยน้ำโอโซนยังคงความสดและสามารถเก็บรักษาได้นานกว่าผักกาดกวางตุ้งที่ล้างด้วยน้ำประปา 1-2 วัน

ผลจากการประยุกต์ใช้วิธีการล้างผักสดปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง แสดงให้เห็นว่าน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ดีในการลดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และอาจเป็นไปได้ว่าผักสดที่พบการตกค้างในปริมาณที่ใกล้เคียงค่า MRLs เมื่อผ่านกรรมวิธีการล้างด้วยน้ำล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งแล้ว จะสามารถลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างให้อยู่ในระดับที่ผ่านค่า MRLs ของประเทศคู่ค้าได้ เพิ่มศักยภาพในการส่งออกอย่างยิ่ง

6.2 ผลเปรียบเทียบสมบัติของน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งก่อนและหลังผ่านการล้างผักคะน้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลีปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืช

สมบัติของน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งทั้ง 3 ชนิด คือ น้ำ EO ชนิดกรด สารละลาย คลอรีนไดออกไซด์ และน้ำโอโซน เปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังล้างผักที่มีปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตตกค้าง โดยทดสอบวัดค่าความเข้มข้น (พีพีเอ็ม) ค่า Oxidation Reduction Potential หรือค่า ORP (mV) และค่าพีเอช พบว่าน้ำล้างก่อนและหลังผ่านการล้างมี สมบัติของค่าความเข้มข้น (พีพีเอ็ม) ค่า Oxidation Reduction Potential (mV) และค่า pH เปลี่ยนแปลงไปจากเริ่มต้น (ภาคผนวก ฉ3-ฉ7) ทุกการทดลองให้ค่าการวิเคราะห์ในตนเอง เดียวกัน สำหรับผลการวิเคราะห์น้ำล้างก่อนและหลังการล้างผักคะน้า ผักกาดขาวปลี และ

กะหล่ำปลี นั้นพบว่าความเข้มข้นและค่า ORP ของน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งทั้ง 3 ชนิด ลดลง และให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ผลการวิเคราะห์พบว่าน้ำ EO ชนิดกรด ปริมาณคลอรีนเท่ากับ 50 และ 70 พีพีเอ็ม หลังผ่านการล้างผักมีความเข้มข้นลดลง 10-15 พีพีเอ็ม ในช่วง 5 นาทีแรก และลดลงอีก 15-20 พีพีเอ็ม หลังล้างนาน 10 นาที สำหรับค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำ EO ชนิดกรด ปริมาณคลอรีนอิสระ 50 พีพีเอ็ม อยู่ในช่วง 3.1-3.3 และค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำ EO ชนิดกรด ปริมาณคลอรีนอิสระ 70 พีพีเอ็ม อยู่ในช่วง 2.6-2.8 พบว่าผ่านกรรมวิธีการล้างผักสดทั้ง 3 ชนิดข้างต้น ที่เวลาล้าง 5 นาที ค่าพีเอชของน้ำ EO ชนิดกรด ที่มีปริมาณคลอรีนอิสระ 50 และ 70 พีพีเอ็ม เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยค่าพีเอชของน้ำ EO ชนิดกรด ที่มีปริมาณคลอรีนอิสระ 50 พีพีเอ็มหลังล้างนาน 10 นาที ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.2-3.7 และ ค่าพีเอชของ EO ชนิดกรด ที่มีปริมาณคลอรีนอิสระ 70 พีพีเอ็ม หลังล้างนาน 10 นาที ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 2.8-3.2 สำหรับผลของการวิเคราะห์ค่า ORP ของน้ำ EO ชนิดกรด มีปริมาณคลอรีนอิสระ 50 พีพีเอ็ม พบว่ามีค่า ORP เริ่มต้นในช่วง 1000 -1100 mV หลังล้างนาน 5 นาที พบว่าค่า ORP ลดลงอยู่ในช่วง 700-800 mV และ 10 นาที ค่า ORP ลดลงอยู่ในช่วง 600-700 mV สำหรับน้ำ EO ชนิดกรด ที่มีปริมาณคลอรีนอิสระ 70 พีพีเอ็ม พบว่าค่ามีค่า ORP เริ่มต้นในช่วง 1100 -1200 mV หลังล้างนาน 5 นาที พบว่าค่า ORP ลดลงอยู่ในช่วง 900-1100 mV และ 10 นาที ค่า ORP ลดลงอยู่ในช่วง 800-1000 mV

สำหรับผลการวิเคราะห์คลอรีนไดออกไซด์ พบว่าให้ผลในการทำงานเดียวกันกับการวิเคราะห์น้ำ EO ชนิดกรด คลอรีนไดออกไซด์ที่เข้มข้นเริ่มต้น 10 พีพีเอ็ม พบว่าหลังล้างผักสด นาน 5 และ 10 นาที เหลือความเข้มข้นอยู่ในช่วง 7.3-8.5 และ 5.9-7.7 พีพีเอ็ม ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์ค่าพีเอชของคลอรีนไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 5 พีพีเอ็ม พบว่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.7-7.2 หลังล้างนาน 5 และ 10 นาที พีเอชอยู่ในช่วง 7-8 สำหรับค่า ORP ของคลอรีนไดออกไซด์ ที่เข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม มีค่า ORP เริ่มต้นเท่ากับ 766-795 mV และ 926-989 mV หลังล้างนาน 10 นาที พบว่าค่า ORP ลดลงอย่างเห็นได้ชัด สำหรับคลอรีนไดออกไซด์ที่เข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม ORP อยู่ในช่วง 595-686 mV และ 644-863 mV

สำหรับผลการวิเคราะห์น้ำไอโซน เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติ น้ำล้างก่อนและหลัง ผ่านการล้างผัก พบว่าไอโซนมีอัตราการสลายตัวที่เร็วเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำ EO ชนิดกรด และ คลอรีนไดออกไซด์ ที่ผ่านการล้างในแบบเดียวกัน และเวลาเท่ากัน โดยไอโซนเข้มข้น 0.5 พีพีเอ็ม

พีเอช 7.58-7.81 มีค่า ORP เริ่มต้นเท่ากับ 542-565 mV ผ่านกรรมวิธีการล้างที่ 5 และ 10 นาที พบว่าความเข้มข้นลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่ 5 นาทีแรก เหลือ 0.1-0.2 พีพีเอ็ม และที่ 10 นาที เหลือความเข้มข้นไอโชน 0.03-0.07 ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 7.6-7.9 และค่า ORP ลดลงที่ 5 และ 10 นาที เหลือค่า ORP เท่ากับ 418-451 mV และที่ 10 นาที เหลือค่า ORP เท่ากับ 342-392 mV ไอโชนเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม พีเอช 7.4-7.6 และมีค่า ORP เริ่มต้นเท่ากับ 790-817 mV หลังผ่านกรรมวิธีการล้างผักสดปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืช นาน 5 และ 10 นาที พบว่าความเข้มข้นไอโชนลดลงอย่างรวดเร็ว โดยเหลือความเข้มข้นที่เวลา 5 นาที เท่ากับ 0.30-0.40 พีพีเอ็ม และที่ 10 นาที เหลือความเข้มข้นเท่ากับ 0.05-0.1 พีพีเอ็ม ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังล้างที่ 10 นาที เท่ากับ 7.6-8.0 และมีค่า ORP ลดลงอย่างรวดเร็วหลังล้างนาน 5 และ 10 นาที จากระดับ 800 เหลือค่า ORP เท่ากับ 511-562 mV หลังผ่านการล้างที่เวลา 5 นาที และเหลือค่า ORP เท่ากับ 430-453 mV หลังผ่านการล้างที่เวลา 10 นาที (ภาคผนวก จ)

สอดคล้องกับผลการทดลองล้างผักสดด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเพื่อลดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ที่พบว่าน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตได้ดี และลดสารกำจัดศัตรูพืชได้มากกว่า 50% เนื่องจากเมื่อพิจารณาค่าการลดลงของปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักที่ผ่านการล้าง การล้างผักสดที่มีสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเหล่านี้ หากสารมีปริมาณคลอรีนอิสระก็ถูกใช้ไปเนื่องจากการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารกำจัดศัตรูพืช จึงทำให้ค่าความเข้มข้นลดลง ในกรณีที่สารมีสมบัติออกซิไดส์อย่างแรงเช่น ไอโชน ค่า ORP ของน้ำไอโชนลดลงอย่างเห็นได้ชัด ปริมาณไอโชนที่เหลืออยู่หลังการล้างลดลงอย่างรวดเร็ว จะสลายหมดภายใน 10 นาที เนื่องจากไอโชนเป็นสารออกซิไดส์ซึ่งที่รุนแรงที่สุด และทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอินทรีย์ได้ทุกชนิด โดยไม่เลือกชนิดสาร ซึ่งตรงกันข้ามกับน้ำ EO ชนิดกรดและคลอรีนไดออกไซด์ที่มีคุณสมบัติในการเลือกทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์บางชนิดเท่านั้น (ธรรมศักดิ์ และคณะ, 2548) และสำหรับการทดลองในครั้งนี้เป็นการทดลองล้างผักในระบบเปิด ยังทำให้ไอโชนสลายตัวได้ง่ายและเร็ว

นอกจากนี้นอกเหนือจากการทำปฏิกิริยากับสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต หรือทำปฏิกิริยากับจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในผักสด อาจเป็นไปได้ว่าสารกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งถูกใช้ไปเนื่องจากอาจทำปฏิกิริยากับสารเคมีชนิดอื่น เนื่องจากมีงานวิจัยที่แสดงถึงประสิทธิภาพการล้างที่ดีของน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งว่าสามารถลดเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อนในผักสดได้ (Wang *et al.*, 2004; Olmez *et al.*, 2009; Vicente *et al.*, 2009) ในสารเคมีชนิดอื่นเช่นสารกำจัดวัชพืช เช่น

สารโบรโมไชนิล (Ayala *et al.*, 2010) สารฆ่าเชื้อรา เช่น แมนโคเซบ (Hwang *et al.*, 2002) และ สารฟิโนล (ภาณุมาศ, 2548) ดังนั้นการล้างผักสดด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งจึงเป็นการเพิ่มความปลอดภัยทั้งทางด้านเคมีและจุลินทรีย์ให้กับผักสด

จากผลการทดลองทั้งหมดข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการล้างด้วยน้ำล้างออกซิไดส์ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ดีในการลดสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตตกค้างในผัก (ลดได้ 50-83%) แต่ไม่สามารถลดการตกค้างได้หมด (100%) นอกจากการล้างแล้ว วิธีการแปรรูปอาหารอื่นๆ เช่น การลวก การหุงต้ม การปรุงอาหาร การอบ และการทอดมีผลต่อการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผัก กรมวิชาการเกษตร (2543) แนะนำการปอกเปลือก หรือต้มในน้ำเดือด นาน 3 นาที พบว่าให้ประสิทธิภาพดีที่สุด (ลดมากกว่า 85%) สอดคล้องกับ Keikotlhaile *et al.* (2010) อธิบายว่าการแปรรูปอาหาร เช่น ลวก ต้ม อบ หรือทอด ลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชในผักได้มากกว่า 95% เช่นเดียวกับ Ling *et al.* (2011) อธิบายว่าการแปรรูปอาหารมีผลต่อการลดปริมาณสารคลอไพริฟอสในผัก เนื่องจากการล้างเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้คลอไพริฟอสหลุดออกจากผัก ยิ่งกว่านั้น การหุงต้มอาหารมีประสิทธิภาพดีกว่าการล้าง กล่าวคือสารคลอไพริฟอสจะสลายตัวในระหว่างหุงต้มโดยที่ไม่เกิดสารประกอบตัวใหม่ที่มีความเป็นพิษมากขึ้น (สารประกอบออกซอน) ดังนั้นหากผู้บริโภคต้องการเพิ่มความปลอดภัยในการบริโภคผัก อาจเป็นไปได้ว่าการล้าง ร่วมกับการแปรรูปอาหารวิธีอื่นๆ เช่น ลวก ต้ม อบ หรือทอด น่าจะเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชในผัก

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในหลักการ AChE-Bioassay ด้วยชุดทดสอบจีที สามารถใช้วิเคราะห์ปริมาณสารโทรฟิโนฟอสและสารคลอไพริฟอสตกค้างในเชิงปริมาณในผักสดได้ โดยสร้างกราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่า % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส กับค่าความเข้มข้นสารโทรฟิโนฟอสและสารคลอไพริฟอส โดยช่วงความเข้มข้นของสารโทรฟิโนฟอสที่วิเคราะห์ได้คือ 0.1-1.0 พีพีเอ็ม และช่วงความเข้มข้นของสารคลอไพริฟอสที่วิเคราะห์ได้คือ 0.5-10 พีพีเอ็ม สมการเส้นตรงที่ได้ใช้เป็นสมการสำหรับคำนวณหาปริมาณสารโทรฟิโนฟอสและสารคลอไพริฟอส

2. การสร้างการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (สารโทรฟิโนฟอสและคลอไพริฟอส) ในผักสด (คะน้า ผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลี) ที่ระดับการปนเปื้อนใกล้เคียง 10 เท่า ค่า EU-MRLs ปี 2010 พบว่าการเกาะติดของสารกำจัดศัตรูพืชทั้ง 2 ชนิดในผักสด 5 ชนิดแตกต่างกันขึ้นกับลักษณะทางกายภาพและสมบัติของพืช คะน้าและผักกาดขาวปลีเป็นผักใบที่มีการเกาะติดของสารกำจัดศัตรูพืชทั้ง 2 ชนิด คือ สารโทรฟิโนฟอสและคลอไพริฟอสที่ดีที่สุด นำสภาวะการสร้างการปนเปื้อนศึกษาประสิทธิภาพการล้างคะน้าด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างน้ำ EO ชนิดกรด สารละลายคลอรีนไดออกไซด์ และน้ำโอโซน เมื่อระดับการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (สารโทรฟิโนฟอสและคลอไพริฟอส) ในคะน้าที่ต่างกัน คือ 10 และ 100 เท่าของค่า EU-MRLs ปี 2010

พบว่าให้ผลประสิทธิภาพการลดสารโทรฟิโนฟอสและคลอไพริฟอสทั้ง 2 ระดับการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชในทำนองเดียวกัน เมื่อนำสารละลายคลอรีนไดออกไซด์ 10 พีพีเอ็ม และน้ำโอโซน 1 พีพีเอ็ม ล้างผักเป็นเวลา 10 นาที ลดสารโทรฟิโนฟอสและคลอไพริฟอสได้ 45-75 % สำหรับน้ำ EO ชนิดกรด คลอรีนอิสระ 70 พีพีเอ็ม ลดสารโทรฟิโนฟอสได้ 60 % แต่การล้างคะน้าปนเปื้อนสารคลอไพริฟอสด้วยน้ำ EO ชนิดกรด พบว่าให้ค่า OD ที่สูงขึ้น เมื่อวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในคะน้าด้วยวิธี AChE-Bioassay วิธีนี้ไม่เหมาะในการตรวจปริมาณสาร

คลอไพริฟอสตกค้างในคะน้าที่ล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด แต่สามารถใช้ตรวจสอบในวิธีการล้างอื่น นอกเหนือจากวิธีนี้ได้

3. สรุปสถานะที่เหมาะสมในการล้างผักสดบนแป้นสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่ปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชใกล้เคียง 10 เท่าของค่า EU-MRL ปี 2010 ด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดซ์ซิง เพื่อลดปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชในผัก พบว่าการล้างผักด้วยน้ำ EO ชนิดกรด ปริมาณคลอรีนอิสระ 70 พีพีเอ็ม ล้างนาน 10 นาที ลดสารโพธิ์โนฟอสในผักคะน้า ผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลีได้ 57-74% และการล้างผักสดด้วยคลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ล้างนาน 10 นาที ลดสารโพธิ์โนฟอสในผักทั้ง 5 ชนิดข้างต้นได้ 60-73% สำหรับการล้างผักสดด้วยน้ำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 1 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที พบว่าลดสารโพธิ์โนฟอสในผักสดได้ดีที่สุด ($p < 0.05$) คือลดได้ 70-86% ขณะที่ล้างด้วยน้ำประปา นาน 10 นาที ลดสารโพธิ์โนฟอสได้เพียง 26-39%

ในกรณีของสารคลอไพริฟอส พบว่าการล้างผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลี ที่มีการตกค้างของสารคลอไพริฟอสใกล้เคียง 10 เท่าของค่า EU-MRLs ปี 2010 ด้วยน้ำ EO ชนิดกรด ที่มีปริมาณคลอรีนอิสระเท่ากับ 70 พีพีเอ็ม ล้างนาน 10 นาที ลดสารคลอไพริฟอสในผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลี ได้ 55-73% (แต่ชุดทดสอบวิธีที่ไม่สามารถตรวจสอบปริมาณสารตกค้างในกรณีการล้างคะน้าบนแป้นสารคลอไพริฟอสด้วยน้ำ EO ชนิดกรด) สำหรับการล้างด้วยคลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 10 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที ลดสารคลอไพริฟอสในคะน้า ผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลี ได้ 56-71% การล้างผักสดด้วยน้ำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 1 พีพีเอ็ม ล้างนาน 10 นาที พบว่าให้ผล % การลดสารคลอไพริฟอสตกค้างในคะน้า ผักชี พริกชี้ฟ้า ผักกาดขาวปลี และกะหล่ำปลี ที่ดีที่สุด ($p < 0.05$) คือสามารถลดได้ 67-85% ขณะที่การล้างผักด้วยน้ำประปาลดสารคลอไพริฟอสได้ 27-40%

4. การทดสอบในแปลงปลูก จากการปลูกคะน้าแล้วฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 2 ชนิด คือ โพธิ์โนฟอสและคลอไพริฟอส พบว่าเมื่อฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชตามอัตราที่บริษัทแนะนำ และเว้นระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวผลผลิตคะน้า คือ เก็บเกี่ยวผลผลิตที่ระยะเวลาอย่างน้อย 10 วัน หลังการฉีดพ่นสารโพธิ์โนฟอส และเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลา 14 วัน หลังการฉีดพ่นสารคลอไพริฟอส ผลผลิตคะน้าที่ได้มีปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในปริมาณต่ำ (1.3-2.0 พีพีเอ็ม) โดยเฉพาะเก็บเกี่ยวที่ 14 วัน หลังฉีดพ่นสารคลอไพริฟอส ได้ผลผลิต

คะน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย (อ้างอิงเกณฑ์ปลอดภัยโดยชุดทดสอบจีทีกำหนด) อย่างไรก็ตามค่าปริมาณการตกค้างของสารโพรพิโนฟอสและคลอไพริฟอสในคะน้ำ ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิตดังกล่าวไม่ผ่านค่า EU-MRL แต่เมื่อนำไปล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด ที่มีปริมาณคลอรีนอิสระ เท่ากับ 70 พีพีเอ็ม คลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 10 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที สามารถลดสารโพรพิโนฟอสในคะน้ำที่เก็บเกี่ยวระยะเวลา 10 วัน หลังการฉีดพ่นสารได้ 40-52% การล้างด้วยน้ำไอโซนเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม ล้างนาน 10 นาที ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด ลดสารโพรพิโนฟอสได้ 58% ผลการทดลองในการทำนองเดียวกันพบว่าการล้างคะน้ำด้วยน้ำคลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ล้างนาน 10 นาที ลดสารคลอไพริฟอสในผักคะน้ำที่เก็บเกี่ยว 14 วัน ได้ 43-56% ในขณะที่การล้างด้วยน้ำไอโซนเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด ลดสารคลอไพริฟอสได้ 62-73% และเช่นเดียวกับผลการทดลองข้างต้นไม่สามารถวิเคราะห์ค่าการลดลงของสารคลอไพริฟอสเมื่อล้างคะน้ำด้วยน้ำ EO ชนิดกรด ด้วยชุดทดสอบจีทีได้

5. ผักสดส่งออกที่พบการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต คือ คะน้ำ ผักชี พริก และผักกาดขาวปลี หลังผ่านการล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซิง และวิเคราะห์ปริมาณสารตกค้างด้วยวิธี GC/FPD พบว่าน้ำ EO ชนิดกรด ความเข้มข้นคลอรีนอิสระ 70 พีพีเอ็มและคลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 10 พีพีเอ็ม สามารถลดโพรพิโนฟอส ไครโครโทฟอส และอีไทออน ได้ 7-30% โดยเฉพาะคลอไพริฟอสในคะน้ำ ล้างด้วยน้ำ EO ชนิดกรด พบว่าลดได้ 25% :ซึ่งแสดงว่าน้ำ EO ชนิดกรดสามารถลดปริมาณคลอไพริฟอสในการล้างคะน้ำโดยวิธีนี้ได้

น้ำไอโซนเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม ล้างเป็นเวลา 10 นาที ลดโพรพิโนฟอส ไครโครโทฟอส และอีไทออนในคะน้ำได้ 22-50% สำหรับตัวอย่างผักชี พบว่าการล้างด้วยน้ำไอโซนเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม ลดโพรพิโนฟอสและอีไทออนได้ 8 และ 50% ตามลำดับ ตัวอย่างพริกที่พบการปนเปื้อนสารคลอไพริฟอส พบว่าการล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซิงลดการตกค้างของคลอไพริฟอสในพริกได้ 35-71%

สำหรับตัวอย่างผักกาดขาวปลีที่พบสารโพรพิโนฟอสตกค้าง หลังผ่านกรรมวิธีการล้างด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซิงทั้ง 3 ชนิด คือ น้ำ EO ชนิดกรด ความเข้มข้นคลอรีนอิสระ 70 พีพีเอ็ม คลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 10 พีพีเอ็ม และน้ำไอโซนเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม ล้างนาน 10 นาที พบว่าให้ผลการลดสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างดีที่สุด คือลดสารโพรพิโนฟอสในผักกาดขาวปลีได้ 51-83% คาดว่าสารกลุ่มออกซิไดส์ซิง เช่น น้ำ EO คลอรีนไดออกไซด์ และ ไอโซนมีประสิทธิภาพใน

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตตรงพันธะคู่ระหว่าง P=S ทำให้โครงสร้างเปลี่ยนรูปเป็น P=O ที่มีสมบัติการละลายน้ำที่ดียิ่งขึ้น และเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ง่ายขึ้น จึงทำให้ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักลดลง (Krieger and *et al.*, 2010) ด้วยเหตุนี้จึงมีความเป็นไปได้ที่สามารถผลิตผักสดเพื่อส่งออกสู่ประเทศแถบยุโรปที่กำหนดค่า EU-MRL ไว้ต่ำมาก โดยการร่วมมือกับเกษตรกรในการเข้มงวดการใช้สารกำจัดศัตรูพืชให้น้อยที่สุด ร่วมกับการจัดการการปลูกผักด้วย GAP และการปฏิบัติที่ดีหลังการเก็บเกี่ยว โดยการล้างด้วยน้ำกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเหล่านี้

ข้อเสนอแนะ

1. การทดลองเพื่อสร้างการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในผักสด หากเลือกใช้ผักสดที่มีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด พบว่ามีสิ่งรบกวนต่อการวิเคราะห์ปริมาณสารด้วยชุดทดสอบสารกำจัดศัตรูพืชจีที เนื่องจากอาจมีสารกำจัดศัตรูพืช หรือสารเคมีอื่นๆ ในผักก่อนสร้างการปนเปื้อนด้วยสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ที่มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซีติลโคลีนเอสเตอเรส การทดลองในระดับฟาร์มที่มีการควบคุมที่ดีจะให้ผลการตกค้างที่ใกล้เคียงมากกว่าการสร้างการปนเปื้อนในห้องปฏิบัติการ
2. การล้างผักด้วยน้ำผสมสารออกซิไดส์ซึ่งเป็นการล้างที่สมมติฐานว่าผักเหล่านั้นถูกฉีดพ่นด้วยสารกำจัดศัตรูพืชแบบไม่ดูดซึม (non-systemic pesticides) จึงมีประสิทธิภาพในการลดได้มากกว่า 50% ของปริมาณสารตกค้างเริ่มต้น (10 เท่าของค่า EU-MRL) ในปัจจุบันสารกำจัดศัตรูพืช เช่น เมทามิโดฟอส และ โมโนโครโทฟอส เป็นสารประเภทดูดซึม (systemic pesticides) ส่วนใหญ่ได้ถูกงดการใช้ (banned) เพราะหากตกค้างจะไม่สามารถลดปริมาณได้ง่าย (จินตนา, 2542) แต่อาจมีสารกำจัดศัตรูพืชบางชนิดที่เกษตรกรลักลอบใช้ การล้างผักด้วยวิธีการเหล่านี้จึงไม่สามารถประกันว่าสามารถลดปริมาณสารตกค้างได้ทุกชนิด ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพการล้างต่อชนิดของสารกำจัดศัตรูพืชหลายชนิด เพื่อแนะนำเกษตรกรและอุตสาหกรรมในการเลือกใช้ ทั้งต้องประชาสัมพันธ์และเข้มงวดเรื่อง GAPs โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเว้นระยะเวลาก่อนการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชก่อนการเก็บเกี่ยว (PHI) จักช่วยให้ผักสดปลอดภัยต่อการบริโภค และเพิ่มศักยภาพในการส่งออก

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2542. คุณภาพและความปลอดภัยของวัตถุดิบตรายทางการเกษตร.
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. น. 7-18. ใน พิระศักดิ์ ฉายประสาท, ชนิตา หัน
สวาสดี, เสมอ ฉาน้อย, วิสาข์ สุพรรณไพบูรณ์, อัจฉริยา เนตรเชย และ นุศุล บำรุงไทย.
2549. โครงการการวิจัยสถานการณ์ความปลอดภัยด้านผักและผลไม้กรณีตลาดนัดและ
รถเร่ (ภาคเหนือตอนล่าง). ศูนย์ศึกษาระบบความปลอดภัยอาหารและโภชนาการสถาบัน
คลังสมองของชาติ.
- กรมวิชาการเกษตร. 2542. คุณภาพและความปลอดภัยของวัตถุดิบตรายทางการเกษตร.
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2542. โครงการเฝ้าระวังความปลอดภัยของผักปลอดสารเคมี
พ.ศ. 2537-2543. กระทรวงสาธารณสุข, นนทบุรี.
- กรรณิกา สิริสิงห. 2544. เหมียน้ำและการวิเคราะห์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
สถาบันราชภัฏจันทรเกษม, กรุงเทพฯ.
- กัลยาณี จันทิมา. 2549. การใช้สารกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรในเขตสาธารณสุข 13.
สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 5 นครราชสีมา. ใน รายงานผลการ
ศึกษาวิจัยของสำนักงานป้องกันและควบคุมโรคที่ 5. นครราชสีมา.
- กองควบคุมอาหาร. 2552. อันตรายที่เกิดจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชทางการเกษตร.
Fact Sheet หมวดวัตถุดิบตราย. กองควบคุมอาหาร. สำนักงานคณะกรรมการอาหาร
และยา, กรุงเทพฯ.
- กอบทอง ฐูปหอม, บุญไพ สัจจวานนท์, กนกพร อธิสุข, ชูดี เลิศเรืองเดช,
ลัดดา แก้วกล้าปัญญาเจริญ, จิตผกา สันต์ตรบ และพัชรวรรณ จงมีวาสนา. 2541.
สารเคมีกำจัดศัตรูพืช พิษภัย และยาสัต์ดักก้างในอาหาร พ.ศ. 2537-2539. วารสาร
กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 40(4): 485-497.

กอบทอง ฐป|หอม. 2553. **Hand book GT-Pesticide test kit**. ห้างจิติการค้า. อำเภอบางกรวย, นนทบุรี.

คมขวัญ หนูฤทธิ์. 2543. การศึกษาคุณภาพเบื้องต้นของผักคะน้าจากแหล่งผลิตต่างๆ ที่พบในตลาดไท. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จินตนา ภู่มงกุฎชัย. 2542. อันตรายจากสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผลไม้.

วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ. (11): 12-13.

_____ และ พนิดา ไชยยันต์บุรณ์. 2552. วิจัยเฝ้าระวังปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง ในพริก. ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2552. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรมวิชาการเกษตร. หน้า 115-123.

_____, _____ และ ชีรพล อุ่ณจิตต์วรธนะ. 2547. วิจัยชนิดสารกำจัด ศัตรูพืชตกค้างของ Profenofos ในพริกชี้ฟ้า เพื่อกำหนดค่าปริมาณสูงสุดของสารกำจัด ศัตรูพืชตกค้าง (MRL) ครั้งที่ 1-2. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2547. สำนักวิจัย พัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรมวิชาการเกษตร.

_____, _____ และ เนาวรัตน์ เอื้ออัจฉิมกุล. 2550. วิจัยสารกำจัด ศัตรูพืชตกค้างของไพรฟิโนฟอสในพริกเพื่อกำหนดค่าปริมาณสูงสุดของสารกำจัดศัตรูพืช ตกค้าง ครั้งที่ 1 และ 2. ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2550. สำนักวิจัยพัฒนา ปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรมวิชาการเกษตร. หน้า 15-21.

ชูชาติ สันทรทรัพย์. 2548. การวิเคราะห์สารเคมีตกค้างในผลผลิตทางการเกษตร. เอกสาร ประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่องเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการลดการใช้สารเคมี เกษตรเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค. วันที่ 10 พฤษภาคม 2548 ณ ห้องประชุมใหญ่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ชมภูศักดิ์ พูลเกษ. 2540. การใช้ไอโซนทาการแพทย์และสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทไบรท์ กรีนเทรดดิ้ง จำกัด, กรุงเทพฯ.

ทวีพร สุทธิไส, จ่านง อุทัยบุตร และ ค้าง พุทธสุกร. 2548. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ล้างพิษเพื่อลด
ยาฆ่าแมลงที่ตกค้างในส้มสายน้ำผึ้ง. เครือข่ายข้อมูลวิชาการหลังการเก็บเกี่ยว.
ที่มา: <http://www.phtnet.org/download/FullPaper/pdf/3rdSeminarKu/18.pdf>,
22 พฤษภาคม 2553.

ทรงพล รัตนพงศ์, กรรณิการ์ บุตรเอก และชนินฐา อัสวชัยณรงค์. 2546. สารประกอบฟีนอลิก.
ที่มา: http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/pep_12_2546_phenolic.pdf,
18 เมษายน 2555.

ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ, สุเทวี สุขปการ, ธนะบุญย์ สัจจาอนันตกุล, จารนัย พานิชกุล,
บงกชรัตน์ ปิณฑน์ และ กรุง สีตะธนี. 2548. การลดปริมาณสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืช
ตกค้างหลังการเก็บเกี่ยว. รายงานการวิจัย. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

ธีรพล อุ๋นจิตต์วรรณะ, พนิดา ไชยยนต์ต์บุรณ์ และ จินตนา ภูมมงคลชัย. 2547. วิจัยปริมาณ
สารกำจัดศัตรูพืชตกค้างของโพรพิโนฟอสในคะน้ำเพื่อกำหนดค่าปริมาณสูงสุดของสาร
กำจัดศัตรูพืชตกค้าง (MRL) ครั้งที่ 6. ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2547
เล่มที่ 1. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรมวิชาการเกษตร.

นางพาง ดวงแก้ว และ จันทรทิพย์ ชำรงศรีสกุล. 2538. วิจัยชนิดและปริมาณสารกำจัดศัตรูพืช
ตกค้างในคะน้ำ ถั่วฝักยาวและถั่วเหลืองฝักสด จากแหล่งจำหน่ายในภาคกลาง. ใน เอกสาร
การประชุมวิชาการ กองวัตถุมีพิษการเกษตร ครั้งที่ 1 วันที่ 23-25 สิงหาคม 2538.
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นันทนา แต่ประเสริฐ, กัลยาณี จันธิมา, กุศล ชื่นเมืองปัก และ สมศักดิ์ พึ่งภูมิ. 2552. รายงาน
ผลการวิจัยเรื่อง ความชุกของอาการจากพิษสารกำจัดศัตรูพืชในพื้นที่สาธารณสุข
เขต 13 ปี 2551 – 2552. สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 5 นครราชสีมา.
กรมควบคุมโรค, กระทรวงสาธารณสุข.

นิตยา วีระกุล และ รัตนา สีตะยัง.2538. การลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างไดโคโลเรนบนองุ่น ด้วยวิธีการล้าง. เอกสารการประชุมวิชาการ กองวัดภูมิพิษการเกษตร ครั้งที่ 1 วันที่ 23-25 สิงหาคม 2538. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า. 169-176.

นิตนา วีระกุล. 2540. การลดสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างของเมทิลพาราไธออนในองุ่นและเมทามิโดฟอสในผักกาดขาวปลี. การประชุมวิชาการกองวัดภูมิพิษการเกษตร ปี 2540. กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นรินาม. 2553. มาตรการการคุ้มครองผักนำเข้า. กรองยุโรปเพื่อไทย. แหล่งที่มา : <http://news.thaieurope.net>, 25 เมษายน 2553.

นรินาม. 2554. รายงานผลการประชุมหารือแลกเปลี่ยนข้อคิดเห็นเกี่ยวกับลู่ทางและปัญหาการส่งออกสินค้าเกษตรและอาหารจากประเทศไทย มายังสหภาพยุโรป วันที่ 29 เมษายน พ.ศ. 2554. ณ ห้องประชุม สถานเอกอัครราชทูต ณ กรุงบรัสเซลล์. ที่มา: http://www.thaiembassy.be/index.php?option=com_content&task=view&id=779&Itemid=16, 22 มกราคม 2555”

นรินาม. 2555. ชีวิตเคมีของผลิตผลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว. คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้. ที่มา: <http://coursewares.mju.ac.th:81/elearning47/section2/pt331/08.htm>, 14 เมษายน 2555.

บริษัท ซีบี เอ็นจิเนียริง เซอร์วิส แอนด์ ซัพพลาย จำกัด. 2553. ความรู้เกี่ยวกับคลอรีนไดออกไซด์. ที่มา: <http://cbest2006.multiply.com/journal/item/2>, 14 มิถุนายน 2553.

บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด. 2554. **2010 Weekly Notifications on Thailand.** ที่มา: <http://www.centallabthai.com/web/th/main/content.php?page=content&category=70&id=358>, 16 มกราคม 2555.

บุญเยี่ยม ชมเมฆ. 2542. วิธีการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักผลไม้. สถาบันวิจัย
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

เบญจวรรณ พุทไธสง. 2551. การลด *Salmonella Typhimurium* ปนเปื้อนในเมล็ดถั่วเขียว
และในกระบวนการผลิตถั่วงอกโดยใช้สารฆ่าเชื้อกลุ่มออกซิโดสซิง.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปฐมพงศ์ จำปาทอง. 2554. ธนาภา หว่านสูงเนิน ปลุกคะน้ำป้อนตลาดสุรนครเก็บผลผลิต
5 ตัน/ไร่. ผักเศรษฐกิจ. นิตยสารส่งเสริมการผลิตและการตลาดผักอย่างมืออาชีพ.
รหัส 02/27 กันยายน 2554: 64-77.

ปริยานุช อินทร์รอด. 2551. ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันและปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมของสารสกัด
จากต้นเร่วหอมและว่านสาวหลง. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.

พวงแก้ว เตชะภัทร และ รัชวินทร์ ยิ้มละมัย. 2550. การล้างผักและผลไม้ด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง.
เทคนิควิจัยปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พีระศักดิ์ ฉายประสาท, ชนิกา หันสวาสดี, เสมอ ถาน้อย, วิสาข์ สุพรรณไพบูรณ์,
อัจฉริยา เนตรเชย และ นุศุล บำรุงไทย. 2549. โครงการการวิจัยสถานการณ์ความ
ปลอดภัยด้านผักและผลไม้กรณีตลาดนัดและรถเร่ (ภาคเหนือตอนล่าง). ศูนย์ศึกษาระบบ
ความปลอดภัยอาหารและโภชนาการสถาบันคลังสมองของชาติ.

ภาณุมาศ พวงแก้ว. 2548. กระบวนการไอโซเนนซ์ในการย่อยสลายฟีนอล.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ยุทธชัย อนุรักติพันธุ์, โรจน์ คุณอนน และ บุศรินทร์ แสงวลาภ. 2544. การกำจัดสารกำจัดศัตรูพืช
จากสารฆ่าแมลงเอ็นโดซัลแฟนออกจากพืชผักโดยใช้ไอโซน. สาขาการจัดการทรัพยากร
และสิ่งแวดล้อม การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39: 374-354.

รัตนา สิตะยัง และ นิตยา วีระกุล. 2538. การลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างของ
โมโนโครโทฟอสในถั่วฝักยาว และเมทรามิโดฟอสในมะเขือเทศ, หน้า 105-111.
เอกสารการประชุมวิชาการ กองวัตตุมิพิษการเกษตร ครั้งที่ 1 วันที่ 23-25 สิงหาคม 2538.
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ลัมัย ชูเกียรติวัฒนา, บังเอิญ สีมา และ ปิยะศักดิ์ อรรถบุตร. 2552. ศึกษาชนิดและปริมาณ
สารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในพืชผัก, หน้า 153-162. ใน ผลการปฏิบัติงานประจำปี
งบประมาณ 2552. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรมวิชาการเกษตร.

วิญญู จิตสัมพันธเวช, นิตยา เกตุแก้ว, พรพิมล เอื้อการวะ และ เขวามาลย์ อังกิจไพบูลย์. 2542.
การศึกษาผลของด่างทับทิมและโอโซน ในการลดปริมาณมาลาไทออนและ
เมทิลพาราไทออนบนกะหล่ำปลี. ใน เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการของ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41: สาขาวิทยาศาสตร์ สาขาการจัดการทรัพยากรและ
สิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ, หน้า 276-283.

วิภา ตั้งนิพนธ์. 2541. ความเป็นพิษของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์แกนโนฟอสเฟตและ
คาร์บาเมต. ข่าวสารวัตตุมิพิษ. 25(3): 113-122.

_____ และ ธวัชชัย หงษ์ตระกูล. 2550. ความเสี่ยงจากการใช้คลอรีนฟอสต่อผู้ใช้
ผู้บริโภคและพื้นที่เกษตรกรรม, หน้า 112-127. ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ
2550. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรมวิชาการเกษตร.

วิสุทธิ เขวงศรี. 2544. เทคนิคการวิเคราะห์สารพิษตกค้าง. เอกสารประกอบคำบรรยายใน
การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ หลักสูตรความรู้พื้นฐาน การวิเคราะห์คุณภาพและสารพิษ
ตกค้างของวัตตุมิพิษการเกษตร จัดโดยกองวัตตุมิพิษการเกษตร 14-19 มีนาคม 2544.
สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรมวิชาการเกษตร.

วีระพงศ์ เลิศรัตนเทวี. 2548. การลดสีจากน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงงานสุราโดย
กระบวนการโอโซนเนชั่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

ศักดิ์ดา ศรีนิเวศน์. 2546. พิษภัยของสารเคมีการเกษตร. วารสารส่งเสริมการเกษตร. 35(184): 16-24.

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. 2553. สถานการณ์ส่งออกทรายอุตสาหกรรม

ประจำเดือน มีนาคม 2553. แหล่งที่มา :

http://www.tnsc.com/html/images/stories/logistic_center/Export/ExportReport04-53.pdf,
30 เมษายน 2553.

ศูนย์บริการทางวิชาการแบบเบ็ดเสร็จ. 2546. รายงานผลการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง

ตั้งแต่วันที่ 1 ต.ค. -30 พ.ย. 2546. แหล่งที่มา :

http://www.doaweb.doa.go.th/onestop/news/dec/dec_2.htm, 27 เมษายน 2553.

ศูนย์บริการทางวิชาการแบบเบ็ดเสร็จ. 2549. รายงานข้อมูลการตรวจพบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างใน

พืชผักผลไม้ปี 2546-2548. กรมวิชาการเกษตร. ใน วิชา ตัณิพนธ์ และวัชชัย หงษ์ตระกูล.

ความเสี่ยงภัยจากการใช้คลอไพริฟอสต่อผู้ใช้ ผู้บริโภค และพื้นที่เกษตรกรรม. ผลการ

ปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2550. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรม
วิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สกุลรัตน์ อุณาวรงค์, ธนาคุณ เมืองนาง และ อริศรา สุกแสน. 2004. การศึกษาหาสาร

Methamidophos และ Methyl-Paration ตกค้างในผักปลอดสารกำจัดศัตรูพืชใน

ห้างแม่โครจังหวัดขอนแก่น. วารสารวิจัย มข. 9(1): ม.ค.-มิ.ย. 2547. หน้า. 23-28.

สมสมัย ปาลกุล, ศิริพันธ์ สุขมาก และ บัณฑิต คำรักษ์. 2538. การศึกษาสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง

ของวัตถุดิบพืชตกค้างในผักและผลไม้, หน้า 96-104. ใน เอกสารการประชุมวิชาการ กอง

วัตถุดิบพืชการเกษตร ครั้งที่ 1 วันที่ 23-25 สิงหาคม 2538. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สมิง เก้าเจริญ และ ชุพา ลีลาพฤทธิ. 2537. เกณฑ์มาตรฐานในการรักษาผู้ป่วยที่ได้รับพิษ

จากสารเคมีกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต. ครั้งที่ 1.

โรงพิมพ์พิมพ์ดี, กรุงเทพฯ.

สายันต์ จินดา มาตย์. 2542. ปริมาณสารเอนโดเฟนตกค้างในกระหล่ำปลี กรณีศึกษา

อำเภอบ้านแท่น จังหวัดชัยภูมิ. เล่มวิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยขอนแก่น,
ขอนแก่น.

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. 2554. สรุปการนำเข้าวัตถุดิบอันตรายทางการเกษตร

ปี 2554. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ที่มา:

http://m.doa.go.th/ard/stat/stat_410.pdf, 15 มกราคม 2555.

สิรินาฏ พรศิริประทาน. 2554. การส่งออกผักและผลไม้สดไทยไปสหภาพยุโรป. บทความวิจัย

วิชาการของสถาบันระหว่างประเทศเพื่อการค้าและการพัฒนา. ที่มา:

<http://www.itd.or.th/articles?download=74%Aar40>, 5 มกราคม 2555.

สุจินดา อัสวสุจินดารัตน์. 2550. การศึกษาเปรียบเทียบและประสิทธิภาพของระบบการ

ตรวจวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

สุพัตรา พิชัย, เจริญ พิชัย, นิตยา วงศ์จันทร์สม และ นงคราญ เรืองประพันธ์. 2542. สารเคมี

กำจัดศัตรูพืชตรวจพบในผักสด. วารสารวิชาการสาธารณสุข. 9 (3). หน้า 21-25.

สุภาณี พิมพ์สมาน. 2537. สารฆ่าแมลง. โครงการตำราและเอกสารทางวิชาการ,

คณะศึกษาศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

หน่วยเคลื่อนที่เพื่อความปลอดภัยด้านอาหารฯ. 2551. คู่มือการตรวจวิเคราะห์ทางด้านเคมี

และจุลินทรีย์. กองควบคุมอาหาร, สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา.

อุดมลักษณ์ อุ่นจิตต์วรรณะ. 2552. วิจัยและพัฒนาชุดตรวจสอบพิษตกค้างของโพรพิโนฟอสใน

ผักผลไม้. ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2552, หน้า. 375-383. สำนักวิจัยพัฒนา

ปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, กรมวิชาการเกษตร.

Alfafara, C.G., V.P. Migo, J.A. Amarante, R.F. Dallo and M. Matsumura. 1999. 7th ed.

Ozone Treatment of Distillery Slop Waste. **IAWQ Asia-pacific Regional Conference, Taipei: 565-570.**

Anonymous. 2010a. **Chlorine dioxide**. Available Source:

http://en.wikipedia.org/wiki/Chlorine_dioxide, June 14, 2010.

Anonymous. 2010b. **Ozone**. Available Source: <http://en.wikipedia.org/wiki/Ozone>, June 2010.

Anonymous. 2012. **Chem 4563 organic qualitative analysis, phenols, enols and carboxylic acid function group test**. Available Source:

<http://faculty.swosu.edu/wiliam.kelly/pdf/g08.pdf>, April 14, 2012.

Ayala, P.C., M.G. Din, and D.W. Smith. 2010. Kinetics and mechanism of the degradation of two pesticides in aqueous solution by ozonation. **Chemosphere**. 78: 557-562.

Ayaz, F.A., S.H. Ayaz, S.A. Karaogul, J. Gruz, K. Valentova, J. Ulrichova and M. Strnad.

2008. Phenolic acid contents of kale (*Brassica oleraceae L. var acephala* DC.) Extracts and their antioxidant and antibacterial activities. **Food Chemistry**. (107): 19-25.

Federal Register. 1995. 1189921, CFR Part 173, March 3, pp. 1089. **Cited** J.M. Kim,

T.S. Huang, M.R. Marshall and C.I. Wei. Chlorine dioxide treatment of seafood to reduce bacterial loads. **J. Food Sci**. 64: 1089-1093.

Ferreres, F., F. Fernandes, C. Sousa, P. Valentao, J.A. Pereira and P.B. Andrade. 2009.

Methabolic and bioactivity insights into *Brassica oleracea var. acephala*.

J. Agric. Food Chem. (57): 8884-8892.

Francis, L.E. 1977. Ozone in water and wastewater treatment. 4 th ed. Ann Arbor

Science Publ. Inc., Michigan.

- Hao, J., Wuyundalai, L. Haijie, C. Tianpeng, Z. Yanxin, S.Y. Cheng and L. Lit. 2011. Reduction of pesticide residues on fresh vegetables with electrolyzed water treatment. **J. Food Sci.** 76: 520-524.
- Hsu, S.Y. 2003. Effect of water flow rate, salt concentration and water temperature on efficiency of an electrolyzed oxidizing water generator. **J. Food Eng.** 60: 469–473.
- _____. 2005. Effects of flow rate, temperature and salt concentration on chemical and physical properties of electrolyzed oxidizing water. **J. Food Eng.** 66: 171–176.
- Huang, Y.R., Y.C. Hung, S.Y. Hsu, Y.W. Huang and D.F. Hwang. 2008. Application of electrolyzed water in the food industry. **Food Control** .19: 329–345.
- Hwang, E.S., J.N. Cash and M.J. Zabik. 2001. Postharvest treatments for the reduction of mancozeb in fresh apples. **J. Agric. Food Chem.** 49:3127-3132.
- _____, _____ and _____. 2002. Chlorine and chlorine dioxide treatment to reduce or remove EBDCs and ETU residues in solution. **J. Agric. Food Chem.** 50: 4734-4742.
- Jianxiong, H., W.L. Haijie, C. Tianpeng, Z. Yanxin, S.Y. Cheng and L. Lit. 2011. Reduction of pesticide residues on fresh vegetables with electrolyzed water treatment. **J. Food Sci.** 76: 520-524.
- Kaushik, G., S. Satya. and S.N. Naik. 2009. Food processing a tool to pesticide residue dissipation: A review. **Food Res. Int.** (42): 26-40.
- Keikotlhaile, B.M., P. Spanoghe and W. Steurbaut. 2010. Effect of food processing on pesticide residues in fruit and vegetables: A meta-analysis approach. **Food and Chemical Toxicology**. (48): 1-6.

- Kim, J.M., T.S. Huang, M.R. Marshall and C.I. Wei. 1999. Chlorine dioxide treatment of seafood to reduce bacterial loads. **J. Food Sci.** 64: 1089-1093.
- Kim, C., Y.C. Hung and R.E. Brackett. 2000. Roles of oxidation-reduction potential in electrolyzed oxidizing and chemically modified water for the inactivation of food related pathogens. **J. Food Prot.** 63: 19-24.
- Kim, H., Y. Kang, L.R. Beuchat, J.H. Ryu. 2008. Production and stability of chlorine dioxide in organic acid solutions as affected by pH, type of acid, and concentration of sodium chlorite, and its effectiveness in inactivating *Bacillus cereus* spores. **Food Micro.** 25: 964– 969.
- Kousba, A.A., L.G. Sultatos, T.S. Poet and C. Timchalk. 2004. Comparison of chlorpyrifos oxon and paraoxon acetylcholinesterase inhibition dynamics: Potential role of a peripheral binding site. **Toxicol Sci.** 80: 239-248.
- Krieger, R., D. John, J.V. Hemmen, E. Hodgson, H. Maibach, L. Reiter, L. Riter, J. Rose and W. Slikker. 2010. **Hayes' Handbook of Pesticide Toxicology. Third Edition, volume 1.** Academic Press is imprint of Elsevier. California, USA.
- Lin, L.Z. and J.M. Harnly. 2009. Identification of the phenolic compounds of collard greens, kale, and chinese broccoli. **J. Agric. Food. Chem.** (57): 7401-7408.
- Ling, Y., H. Wang, F. Zhang, L. Sun, M.L. Yang, Y.N. Wu and X.G. Chu. 2011. The effect of washing and cooking on chlorpyrifos and its toxic metabolites in vegetable. **Food Control.** (22): 54-58.

- Magara, Y., T. Aizawa, N. Matumoto and F. Souna. 1994. Degradation of pesticides by chlorination during water purification. Groundwater Contamination, Environment Restoration, and diffuse Source Pollution. **Water Science and Technology**. **30 (7)**: 119-128.
- Olmez, H. and M.Y. Akbas. 2009. Optimization of ozone treatment of fresh cut green leaf lettuce. **J. Food Eng.** 90: 487-494.
- Ong, K.C., J.N. Cash, M.J. Zabik, M. Siddig, and A.L. Jones. 1995. Chlorine and ozone wash for pesticide removal from apple and processed apple sauce. **J. Food Chemistry**. **55(2)**: 153-160.
- _____, _____, _____, _____ and _____. 1996. Chlorine and ozone washes for pesticide removal from apples and processed apple sauce. **Food Chemistry**. **55**: 153-160.
- Oxygenie 2009. 2010. **Effect of ozone on vegetables (pesticide removal)**. Available Source: <http://www.oxygenie.com/ozone-food-tests.php>, 15 May 2010.
- Pesticide EU-MRLs. 2010a. **Chlorpyrifos**. Available Source: http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/index.cfm?event=substance.resultat&s=1, March 13, 2010.
- Pesticide EU-MRLs. 2010b. **Profenofos**. Available Source: http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/index.cfm?event=substance.resultat&s=1, March 13, 2010.
- Radwan, M.A., M.M. Abu-Elamayem, M.H. Shiboob and A. Abdel-Aal. 2005. Residual behavior of profenofos on some field-grown vegetables and household processing. **Food Chem Toxicol**. **43**: 553-557.

- Singh, N., R.K. Singh, A.K. Bhunia and R.L. Stroshine. 2002. Efficacy of chlorine dioxide, ozone, and thyme essential oil or a sequential washing in killing *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce and baby carrots. **Ledensm.-Wiss. u.-Technol.** 35: 720-729.
- Uraicheun, P. 1993. **Residual studies of profenofos and prothiofos insecticides in chinese kale (*Brassica alboglabra* Bail.)**. M.S. Thesis. Kasetsart University, Bangkok.
- US Environmental Protection Agency Office of Pesticide Programs. 2006. **Interin Reregistration Eligibility Decision (IRED) for Profenofos**. Available Source: <http://www.epa.gov/oppsrrd1/REDs/2540ired.pdf>, November 14, 2011.
- US Environmental Protection Agency Office of Chemical Safety and Pollution Prevention. 2011. **Revised Chlorpyrifos Preliminary Registration Review Drinking Water Assessment PC Code: 059101; DP Barcode: 368388, 389480**. Available Source: [http://www.epa.gov/oppsrrd1/registration_review/chlorpyrifos/EPA-HQ-OPP-2008-0850-DRAFT-0025\[1\].pdf](http://www.epa.gov/oppsrrd1/registration_review/chlorpyrifos/EPA-HQ-OPP-2008-0850-DRAFT-0025[1].pdf), November 14, 2011.
- Vicente, M., G. Lopeza, A. Rajkovic, P. Ragaert, N. Smigic and F. Devlieghere. 2009. Chlorine dioxide for minimally processed produce preservation : A review. **Trends in Food Sci. Technol.** 20: 17-26.
- Watson, R.R., J.K. Gerald and R.Preedy. 2011. **Nutrients, Dietary Supplements, and Nutraceuticals**. Spriger New York Dordrechi Heideberg, London.
- Wang, H., H. Feng and Y. Luo. 2004. Microbial reduction and storage quality of fresh cut cilantro washed with acidic electrolyzed water and aqueous ozone. **Food Res. Int.** 37: 949-956.
- Wu, J., T. Luan, C. Lan, T.W.H. Lo, and G.Y.S. Chan. 2007. Removal of residual pesticides on vegetable using ozonated water. **Food Control.** 18: 466-472.





ภาคผนวก ก

การเตรียมสารเคมีและวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำเลี้ยงกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง

(1) การเตรียมสารเคมี

(1.1) การเตรียมสารละลายมาตรฐานของสารกำจัดศัตรูพืช (Standard Solution)

การเตรียมสารละลายมาตรฐานของสารกำจัดศัตรูพืชเพื่อใช้สำหรับ Spike ลงในตัวอย่าง ซึ่งเตรียมจากสารละลายสารกำจัดศัตรูพืชทางการค้า 2 ชนิด คือ โพรพิโนฟอส (50% w/v, EC) และคลอไพริฟอส (40% w/v, EC) โดยใช้ปิเปตดูดสารละลายโพรพิโนฟอส (50% w/v) ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร และสำหรับสารละลาย คลอไพริฟอส (40% w/v) 1 มิลลิลิตร ตามลำดับ เตรียมโดยละลายในสารละลาย 5% เอทานอล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ได้สารละลายโพรพิโนฟอส และคลอไพริฟอสเข้มข้น 4000 พีพีเอ็ม หรือ stock solution จากนั้นทำการเจือจางสารละลายโพรพิโนฟอส และคลอไพริฟอสข้างต้น (4000 พีพีเอ็ม) ให้ได้ความเข้มข้นเท่ากับ 10 พีพีเอ็ม โดยปิเปตสารละลายที่มีความเข้มข้นดังกล่าวมา 0.25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยสารละลาย 5% เอทานอล

(2) การเตรียมสารละลายน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง

(2.1) การเตรียมน้ำอิเล็กโทรไลซ์ชนิดกรด

สารละลายน้ำ EO ชนิดกรดซึ่งเตรียมจากเครื่องผลิตน้ำอิเล็กโทรไลซ์ (Electrolyzed water generator model ROX – 10 WA- E, Hoshizaki Electric CO., Ltd., Japan) ความเข้มข้นปริมาณคลอรีนอิสระเท่ากับ 50 และ 70 พีพีเอ็ม น้ำอิเล็กโทรไลซ์ชนิดกรดเตรียมได้จากการนำสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 10% ผ่านเข้าในเครื่องผลิตน้ำอิเล็กโทรไลซ์ที่มีขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ขั้วไฟฟ้าทั้งสองถูกกั้นให้แยกจากกันด้วยเมมเบรน เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขั้วทั้งสองจะเกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิส (electrolysis) ของสารละลายเกลือขึ้น เกิดน้ำอิเล็กโทรไลซ์ 2 ชนิด คือ น้ำอิเล็กโทรไลซ์ชนิดกรดและเบส วัดปริมาณของคลอรีนทั้งหมดที่นำไปใช้งานได้ ดังวิธีข้อ 3.1 โดยวิธี DPD Colorimetric Method (กรรณิการ์, 2544)

(2.2) การเตรียมสารละลายคลอรีนไดออกไซด์

สารละลายคลอรีนไดออกไซด์เตรียมจากเครื่องผลิตคลอรีนไดออกไซด์ (Bello Zon model CDV 35, ProMinent Fluid Controls Co., Ltd., Thailand) ความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม เตรียมจากการป้อนสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้นร้อยละ 9 และสารละลาย โซเดียมคลอไรต์ (NaClO_2) ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ให้เข้าทำปฏิกิริยากันในถังปฏิกิริยาของเครื่อง ผลิตคลอรีนไดออกไซด์ด้วยระบบเบลโลโซน (Bello Zon) model CDV 35 เพื่อให้เกิดสารละลาย คลอรีนไดออกไซด์ แรงดันของสารละลายทั้งสองจากปั๊มจ่ายน้ำยา จะช่วยให้คลอรีนไดออกไซด์ที่ เกิดขึ้นถูกฉีดออกไปใช้งานได้โดยผ่านไปผสมกับน้ำประปา ปรับความเข้มข้นตามความต้องการ นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณคลอรีนไดออกไซด์ หลังจากทราบความเข้มข้นที่แน่นอน ของคลอรีนไดออกไซด์ stock solution แล้วคือ 20 พีพีเอ็ม สามารถเตรียมสารละลายคลอรีนได ออกไซด์ตามความเข้มข้นที่ต้องการได้ โดยการเจือจางด้วยน้ำประปา วัดปริมาณของคลอรีนได ออกไซด์ ดังวิธีข้อ 3.1

(2.3) การเตรียมสารละลายโอโซน

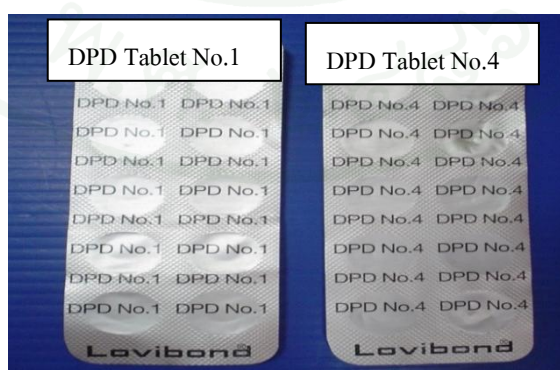
สารละลายโอโซนซึ่งเตรียมจากเครื่องผลิตโอโซน (Bello Zon model OZVA 1021E ProMinent Fluid Controls Co., Ltd., Thailand) ความเข้มข้น 0.5 และ 1 พีพีเอ็ม เตรียมจากเครื่อง ผลิตโอโซน ด้วยวิธี Corona Electric Discharge Method โดยให้กระแสไฟฟ้าสลับที่มี แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงผ่านเข้าไปใน discharge gap ที่มีออกซิเจนอยู่กระแสไฟฟ้าจะกระตุ้น อิเล็กตรอนของออกซิเจนทำให้โมเลกุลของออกซิเจนแตกออกเป็น 2 อะตอมออกซิเจน จากนั้นแต่ ละอะตอมออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของออกซิเจนอื่น ทำให้เกิดโมเลกุลของโอโซน เมื่อ ผ่านน้ำประปาเข้าไปยังเครื่อง เครื่องจะผลิตสารละลายโอโซนพร้อมทั้งแสดงปริมาณโอโซนที่ ละลายอยู่ในน้ำในหน่วยส่วนในล้านส่วน (พีพีเอ็ม) วัดปริมาณของโอโซนในน้ำ ดังวิธีข้อ 3.1

(3) วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง

(3.1) ความเข้มข้นน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง

วิเคราะห์ปริมาณคลอรีนอิสระในน้ำ EO ชนิดกรด ความเข้มข้นน้ำคลอรีนไดออกไซด์ และน้ำไอโซน ด้วยเครื่อง Dulcotest DT1 Photometer (ภาพผนวกที่ ก2) จากบริษัท โพรมินนท์ ฟลูอิด คอนโทรลส์ (ประเทศไทย) จำกัด หลักการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPD Colorimetric Method วิธีนี้ใช้หา free และ combined chlorine หรือ total chlorine (0.05-6.0 mg/l) รวมทั้ง bromine (0.1-13 mg/l) chlorine dioxide (0.1-11 mg/l) และ ozone (0.03-4 mg/l) โดยใช้ N, N-diethyl-p-phenylenediamine (DPD) เป็นอินดิเคเตอร์ ในตัวอย่างที่ไม่มีไอโอไดด์ไอออน free chlorine จะทำปฏิกิริยาทันทีกับ DPD อินดิเคเตอร์ ได้เป็นสีแดง การเติมไอโอไดด์ไอออนในปริมาณเล็กน้อยตามลงไปจะทำหน้าที่จะดลีสไปเร่งปฏิกิริยาของคลอรามีนให้เกิดขึ้น วัดความเข้มของสีที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ 515 นาโนเมตร (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2544) สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Dulcotest DT1 Photometer ใช้ DPD Tablet (ภาพผนวกที่ ก1) ในการวิเคราะห์หาปริมาณคลอรีนอิสระ ปริมาณคลอรีนไดออกไซด์ และปริมาณไอโซน โดยเลือกใช้ DPD Tablet หมายเลขต่างๆ ดังนี้

DPD Tablet No.1	วิเคราะห์ปริมาณคลอรีนอิสระ และ ความเข้มข้นสารละลายคลอรีนไดออกไซด์
DPD Tablet No.4	วิเคราะห์ความเข้มข้นน้ำไอโซน



ภาพผนวกที่ ก1 DPD Tablet No.1 สำหรับวิเคราะห์ปริมาณคลอรีนและสารละลายคลอรีนไดออกไซด์ และ DPD Tablet No.4 สำหรับวิเคราะห์ปริมาณไอโซน



ภาพผนวกที่ ก2 เครื่อง Dulcotest DT1 Photometer สำหรับวัดสีของการทำปฏิกิริยาของ DPD Tablet กับน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซิง

(3.2) วิเคราะห์ค่าพีเอช และค่า Oxidation-Reduction Potential (ORP)

วัดค่าพีเอช และค่า ORP (mV) ของน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซิง ทั้ง 3 ชนิด คือ น้ำ EO ชนิดกรด สารละลายคลอรีนไดออกไซด์ และน้ำโอโซน ด้วยเครื่อง pH / Ion 510



ภาพผนวกที่ ก3 เครื่อง pH / Ion 510 สำหรับวัดค่าความเป็นกรด-เบส และค่า ORP



3. คำนวณหาปริมาณสารโพर्फิโนส

จากขั้นตอนที่ 2 คำนวณ %การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส ของตัวอย่าง ได้เท่ากับ 63.65 แทนค่า %การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส ของตัวอย่าง ในสมการเส้นตรงจากกราฟมาตรฐานระหว่างค่า OD กับความเข้มข้นสาร โพर्फิโนส (พีพีเอ็ม) ดังสมการที่ 3 $y = 54.524x + 45.075$ (สมการที่ 3)

เมื่อ y คือ การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส และ x คือ ความเข้มข้นสารโพर्फิโนส แทนค่า $x = (63.65 - 45.075) / 54.524 = 0.34$ พีพีเอ็ม แสดงว่าหลอดตัวอย่างมีสารโพर्फิโนส เท่ากับ 0.34 พีพีเอ็ม

4. การคำนวณปริมาณสารคลอไพริฟอส

ในการทำงานเดียวกัน เมื่อวัดค่า OD ของหลอดตัวอย่าง ได้เท่ากับ 0.587 แล้วคำนวณหาค่า OD ของหลอดตัวอย่างจาก สมการที่ 1 ดังนั้นค่า OD ของตัวอย่าง คือ $0.587 - 0.335$ เท่ากับ 0.252 คือ ค่า OD ของตัวอย่าง เท่ากับ 0.252 แล้ว แทนค่าในสมการเส้นตรงความสัมพันธ์ระหว่างค่า OD กับ %การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส

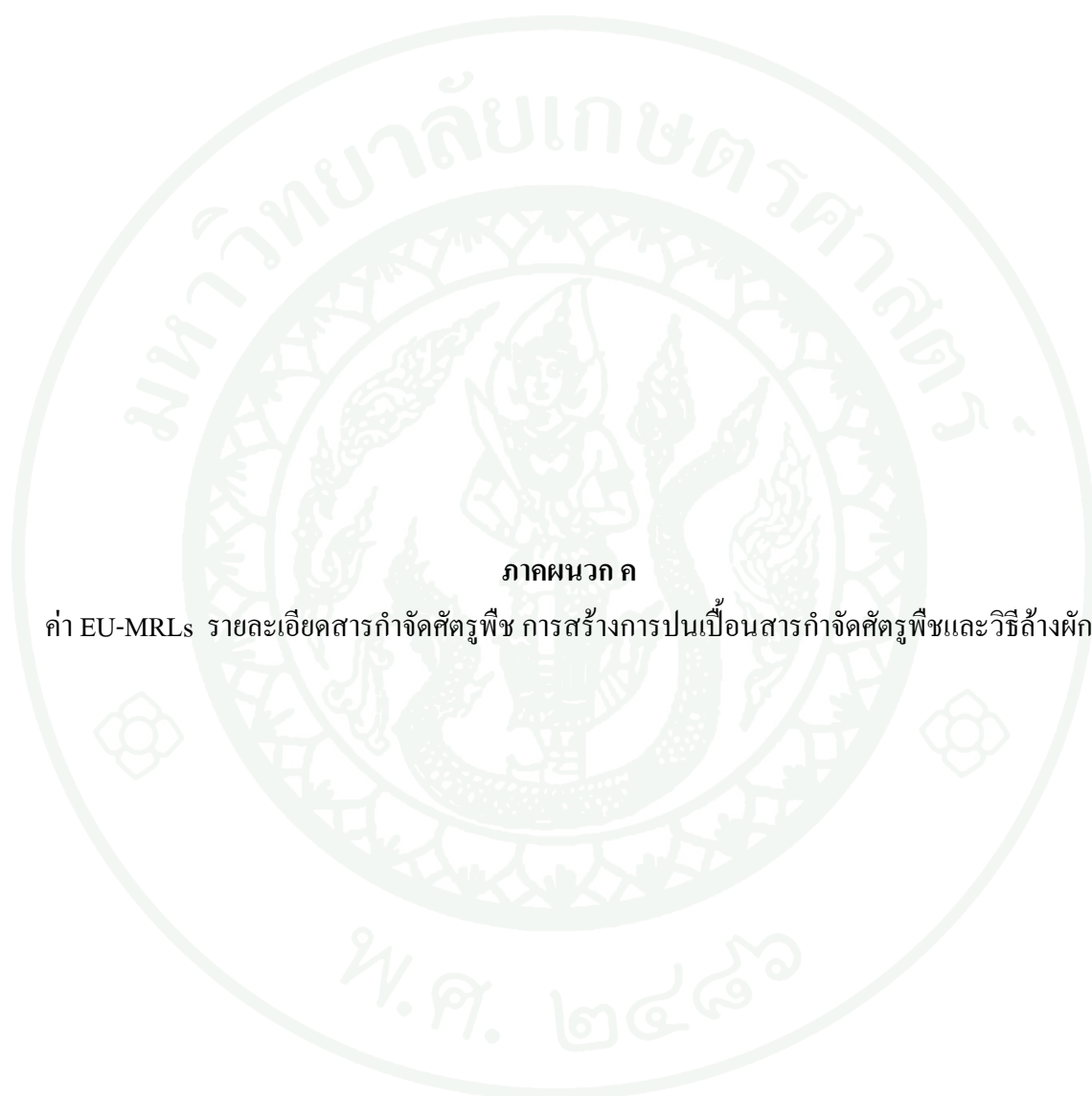
เมื่อ สมการเส้นตรงความสัมพันธ์ระหว่างค่า OD กับ %การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส คือ $y = 0.0093x$ (สมการที่ 2)

เมื่อ y คือ ค่า OD ที่ 540 นาโนเมตร x คือ การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส ดังนั้น %การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสของตัวอย่าง คือ $0.252 / 0.0093 = 27.10$

ให้แทนค่า % การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส ของตัวอย่าง ในสมการเส้นตรงจากกราฟมาตรฐานระหว่างค่า OD กับความเข้มข้นสารคลอไพริฟอส (พีพีเอ็ม) ดังสมการที่ 4 $y = 10.789x$ (สมการที่ 4)

เมื่อ y คือ %การยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส และ x คือ ความเข้มข้นสารกลอไพริฟอส (พีพีเอ็ม) เมื่อแทนค่า $x = 27.10/10.789$ เท่ากับ 2.51 พีพีเอ็ม ดังนั้นหลอดตัวอย่างจะมีสาร โพรพิโนฟอส เท่ากับ 2.51 พีพีเอ็ม





ภาคผนวก ค

ค่า EU-MRLs รายละเอียดสารกำจัดศัตรูพืช การสร้างการปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชและวิธีล้างผัก

ภาคผนวก ก (1) ค่า EU-MRLs ปี 2010 ของสารกำจัดศัตรูพืชชนิดโปรพิโนฟอสและคลอไพริฟอส
ในผัก

ตารางผนวกที่ 11 ค่า EU-MRLs ปี 2010

ชนิดผัก	ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืช (พีพีเอ็ม)	
	โปรพิโนฟอส ^a	คลอไพริฟอส ^b
คะน้า	0.05	0.05
ผักชี	0.05	0.05
พริก	0.05	0.5
ผักกาดขาวปลี	0.05	0.5
กะหล่ำปลี	0.05	1

ที่มา: ^a Pesticide EU-MRLs (2010a)

^b Pesticide EU-MRLs (2010b)

ภาพผนวก ค (2) การสร้างการปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชในผัก



a



b



c



d

ภาพผนวกที่ ค1 สร้างการปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชในผักสด เมื่อ a คือ ผักสดก่อนการตัดแต่ง
 b คือ การจุ่มผักในสารละลายสารกำจัดศัตรูพืช
 c คือ ผึ่งผักให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง นาน 2 ชั่วโมง และ
 d คือ ผักปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืช

ภาพผนวก ค (3) วิธีการล้างผัก



a



b



c



d

ภาพผนวกที่ ค2 วิธีการล้างผัก เมื่อ a คือ ผักปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืช

b คือ น้ำล้างปริมาตร 2 ลิตร c คือ ล้างผัก 100 กรัม ด้วยน้ำ 2 ลิตร ในกะละมัง

d คือ ผึ่งผักให้แห้งในตู้ Laminar flow ที่อุณหภูมิห้อง นาน 2 ชั่วโมง

ภาพผนวก ก (4) รายละเอียดสารกำจัดศัตรูพืช นวัตกรรมและข้อมูลแสดงโดยบริษัท
ผู้นำเข้าและผลิต

4.1 โพรพิโนฟอส

ชื่อสามัญ : โพรพิโนฟอส ชื่อทางการค้า : การูก้า (KARUKA)

วันที่ผลิต 28/06/53

ปริมาณสุทธิ 1000 ซีซี.

สารสำคัญ : O-4-bromo-2-chlorophenyl, O-ethyl, S-propyl phosphorothioate,

ความเข้มข้น 50% W/V EC

ทะเบียนวัตถุอันตรายเลขที่ 53/2541

ประโยชน์ : ใช้ในการป้องกันกำจัดด้วงหมัดผักในกวางตุ้งและคะน้า



ภาพผนวกที่ ค3 สารกำจัดศัตรูพืชชนิดโพรพิโนฟอส (ชื่อทางการค้า “การูก้า”)

วิธีใช้ : ใช้ในอัตรา 20 มล. ต่อน้ำ 20 ลิตร (2 ซ่อนแกต่อน้ำ 1 ปี๊บ) ฉีดพ่นเมื่อพบการระบาดของตัว
อ่อนด้วงหมัดผัก 2 ตัวต่อต้น ฉีดพ่น 4-5 วันต่อครั้ง ติดต่อกัน 3 ครั้ง แล้วจึงฉีดพ่นด้วยสลับด้วย
สารเคมีอื่น

วิธีเก็บรักษา : ต้องเก็บ การูก้า ให้มิดชิดในภาชนะเดิมที่ปิดแน่น และมีฉลากอยู่ห่างจากเด็ก อาหาร
น้ำดื่ม สัตว์เลี้ยง และเปลวไฟ

คำเตือน : การก้ำ เป็นวัตถุอันตรายที่มีพิษสูง ต้องใช้ด้วยความระมัดระวังเพื่อป้องกันมิให้เป็นอันตรายต่อผู้ใช้และสิ่งมีชีวิตอื่น ผู้ใช้ต้องปฏิบัติดังนี้ :

1. ขณะผสมต้องสวมถุงมือและหน้ากากเพื่อป้องกันมิให้สารเข้มข้นถูกผิวหนัง และกระเด็นเข้าตา
2. ขณะพ่นต้องอยู่เหนือลมเสมอ ควรสวมถุงมือและหน้ากากขณะพ่น
3. ระวังอย่าให้การก้ำ เข้าปาก ตา จมูก และผิวหนังและเสื้อผ้า
4. ห้ามดื่มน้ำ กินอาหารหรือสูบบุหรี่ขณะปฏิบัติงาน
5. ล้างมือและหน้าให้สะอาดด้วยน้ำและสบู่ ก่อนกินอาหาร ดื่มน้ำหรือสูบบุหรี่
6. หลังจากทำงานเสร็จแล้วต้องอาบน้ำ สระผม เปลี่ยนเสื้อผ้า และซักชุดที่สวมปฏิบัติงานให้สะอาด
7. ภาชนะบรรจุเมื่อใช้หมดแล้วให้กลั้วล้างด้วยน้ำ 3 ครั้งก่อนทำลาย แล้วฝังดินเสีย ห้ามเผาไฟ หรือนำกลับมาใช้อีก
8. ห้ามเทสารที่เหลือหรือล้างภาชนะบรรจุ อุปกรณ์เครื่องพ่นสารลงในแม่น้ำลำคลอง
9. การก้ำ เป็นอันตรายกับผึ้งและปลา
10. หลังจากพ่น การก้ำ ครั้งสุดท้ายแล้ว **ต้องเว้นระยะ 10 วัน** จึงเก็บพืชผลไปกินได้

อาการเกิดพิษ : ผู้ได้รับพิษของ การก้ำ จะมีอาการมึนงงและเวียนศีรษะ ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย กระวนกระวาย ม่านตาหรี่ ตาพร่า เหนื่อยและน้ำลายออกมาก คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้องเกร็ง ท้องเสีย กล้ามเนื้อกระตุก พุดไม่ชัด หายใจขัด หัวใจเต้นช้า ชักเกร็ง และชักกระตุก บางรายอาจหมดสติ

การแก้พิษเบื้องต้น :

1. ถ้าเกิดอาการเป็นพิษเนื่องจาก การก้ำ ให้รีบนำผู้ป่วยออกจากบริเวณที่ใช้และพักผ่อนในที่ที่อากาศถ่ายเทสะดวก
2. ถ้า การก้ำ ถูกผิวหนัง ให้รีบล้างออกด้วยน้ำและสบู่หลายๆจนสะอาด
3. ถ้าเข้าตาให้รีบล้างออกด้วยน้ำสะอาดจำนวนมากๆ
4. ถ้าเปื้อนเสื้อผ้าให้รีบอาบน้ำและเปลี่ยนเสื้อผ้าใหม่ทันที

5. หากเป็นกรณีฉุกเฉิน การกู้ ให้รีบนำผู้ป่วยส่งแพทย์ทันที พร้อมด้วยภาชนะบรรจุและฉลาก การกู้

คำแนะนำสำหรับแพทย์ :

1. ฉีดยา atropine sulphate ขนาด 2-4 mg. ทาง IV และฉีดซ้ำทุก 15 นาที จนมีอาการ atropinization
2. ให้ cholinesterase reactivator โดยใช้ 2-PAM (pyridinealdoxime methochloride) 1 g ทาง IV ซ้ำๆ ให้ซ้ำทุก 30 นาที หากยังมีการหายใจขัดอาจให้ซ้ำได้ใน 24 ชั่วโมง หรือจะใช้ Obidoxim หรือ toxogonin (obidoxime chloride) ก็ได้
3. ห้ามให้ morphine หรือยาเข้าฝิ่นอื่นๆ theophylline หรือ aminophylline แก่ผู้ป่วย

นำเข้าและผลิตโดย: บริษัท ลัดดา จำกัด เลขที่ 99/220 ถ.เทศบาลสงเคราะห์ ลาดยาว จตุจักร กทม. 10900

สถานที่ผลิต : 151 ม.8 ต.สามควายเผือก อ.เมือง จ.นครปฐม

จำหน่ายโดย : บริษัท ไคนามิคอะโกรเซอวิส จำกัด เลขที่ 99/220 ถ.เทศบาลสงเคราะห์ ลาดยาว จตุจักร กทม. 10900 โทร. 02-954-3120-6 แฟกซ์. 02-954-3128

4.2 คลอไพริฟอส

ชื่อสามัญ : คลอไพริฟอส

ชื่อทางการค้า : ไฮนิคซ์ 40

วันที่ผลิต : 01-13/05/53

ปริมาตรสุทธิ 1000 ซีซี.

สารสำคัญ : 0,0- diethyl 0-3.5,6-trichloro-2-pyridyl phosphorothioate, 40% W/V EC

ทะเบียนวัตถุอันตรายเลขที่: 2571/2542



ภาพผนวกที่ ค4 สารกำจัดศัตรูพืชชนิดคลอไพริฟอส “ไฮนิคซ์ 40”

ประโยชน์และวิธีใช้ : ไฮนิคซ์ 40 ใช้ในการกำจัดแมลงศัตรูพืชต่างๆ ดังต่อไปนี้

- | | |
|------------|--|
| ส้ม | - ไรแดงใช้อัตรา 25 มล. ผสมน้ำ 20 ลิตร เพี้ยหอย เพี้ยแปง
ใช้อัตรา 15-30 มล.. ผสมน้ำ 20 ลิตร |
| ถั่วเหลือง | - หนอนเจาะสมอฝ้าย ใช้อัตรา 50 มล. ผสมน้ำ 20 ลิตร พ่นเมื่อพบหนอน
2-3 ตัว/แถวถั่วยาว 1 เมตร หรือพ่น 1-2 ครั้ง ห่างกัน 7-10 วัน ในระยะถั่ว
เริ่มออกดอก เพี้ยจักจั่น ใช้อัตรา 50 มล. ผสมน้ำ 20 ลิตร พ่นเมื่อพบ
แมลง 6 ตัว ต่อไร่ พ่น 2-3 ครั้ง ห่างกัน 10 วัน |
| ถั่วลิสง | - เฝ้านดิน ใช้อัตรา 375 มล. ต่อไร่ พ่นลงดินระหว่างแถวถั่ว โดยพ่นครั้ง
แรกเมื่อถั่วอายุ 30-35 วัน พ่นซ้ำหลังจากพ่นครั้งแรก 3-4 สัปดาห์ ปลูก
ใช้อัตรา 375 มล.ต่อไร่ เพี้ยอ่อนใช้อัตรา 100 มล.ผสมน้ำ 20 ลิตร
เพี้ยจักจั่น ใช้อัตรา 50 มล.ผสมน้ำ 20 ลิตร พ่นเมื่อพบแมลง 6 ตัวต่อไร่
พ่น 2-3 ครั้ง ห่างกัน 10 วัน |

ข้าวเปลือก (เฉพาะที่ใช้ทำพันธุ์)	- ฝักร้างข้าวเปลือก มอดข้าวสาร มอดสยาม ใช้อัตรา 2.5 มล.ผสมน้ำ 300-500 ซีซี. กลุ่มเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก 100 กก. ก่อนนำไปเก็บหรือรอจำหน่าย หรือใช้ในอัตรา 200 มล.ผสมน้ำ 20 ลิตร ใช้หุบกระสอบ
มะพร้าว	- แผลงค้ำหนาม ใช้อัตรา 35 มล.ผสมน้ำ 20 ลิตร พ่นบริเวณยอดและใบอ่อนที่ยังไม่คลี่ในช่วงเป็นต้นกล้า
ฝ้าย	- เพี้ยอ่อนฝ้าย หนอนกระทู้ผัก ใช้อัตรา 12.5-45 มล.ผสมน้ำ 20 ลิตร
นุ่น	- หนอนเจาะลำต้น ใช้อัตรา 1.2 มล. ใช้เข็มฉีดยาฉีดสารเข้มข้นไม่ผสมน้ำเข้าไปในรอยแผลที่มีขุยนุ่นอยู่ หนอนเจาะฝัก อัตรา 20 มล.ผสมน้ำ 20 ลิตร พ่น 2 ครั้ง ระยะนุ่นติดฝักแล้วประมาณ 7-15 วัน โดยพ่นห่างกัน 15 วัน
มันเทศ	- ค้างคาวมันเทศ อัตรา 75 มล.ผสมน้ำ 20 ลิตร
ปาล์มน้ำมัน	- หนอนหน้าแมว หนอนร่านโพธิ์ตา ใช้อัตรา 20-30 มล.ผสมน้ำ 20 ลิตร

วิธีเก็บรักษา : ต้องเก็บไอนิกซ์ 40 ให้มิดชิดในภาชนะเดิมที่ปิดแน่นและมีฉลาก ห่างจากเด็ก อาหาร น้ำดื่ม สัตว์เลี้ยง และเปลวไฟ

คำเตือน : ไอนิกซ์ 40 เป็นวัตถุอันตรายที่มีพิษ ต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง เพื่อป้องกันมิให้เป็นอันตรายต่อผู้ใช้และสิ่งมีชีวิตอื่น ผู้ใช้ควรปฏิบัติดังนี้ :

1. ขณะผสมต้องสวมถุงมือและหน้ากากเพื่อป้องกันมิให้สารเข้มข้นถูกผิวหนังและกระเด็นเข้าตา
2. ห้ามผสมไอนิกซ์ 40 กับสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง
3. ขณะพ่นไอนิกซ์ 40 ต้องอยู่เหนือลมเสมอ ควรสวมถุงมือและหน้ากากขณะพ่น
4. ระวังอย่าให้ละอองไอนิกซ์ 40 เข้าปาก ตา จมูกหรือถูกผิวหนังและเสื้อผ้า
5. ล้างมือและหน้าให้สะอาดด้วยน้ำและสบู่ก่อนกินอาหาร ดื่มน้ำหรือสูบบุหรี่
6. หลังจากทำงานเสร็จแล้วต้องอาบน้ำ สระผม เปลี่ยนเสื้อผ้าและซักชุดที่สวมทำงานให้สะอาด
7. ห้ามล้างภาชนะบรรจุไอนิกซ์ 40 อุปกรณ์ และเครื่องพ่นลงในแม่น้ำลำคลอง
8. ภาชนะบรรจุไอนิกซ์ 40 เมื่อใช้หมดแล้วให้กลั้วล้างด้วยน้ำ 3 ครั้ง ก่อน แล้วต้องทำลายหรือฝังดินเสีย ห้ามเผาไฟหรือนำกลับมาใช้อีก
9. ห้ามผสมไอนิกซ์ 40 กับสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง

10. ไฮนิคซ์ 40 เป็นพิษต่อปลาสูงมาก เป็นพิษต่อตัวห้ำ ตัวเบียนและผึ้ง ให้ใช้ด้วยความระมัดระวัง

11. หลังจากการพ่นไฮนิคซ์ 40 ครั้งสุดท้ายแล้ว ต้องเว้นระยะก่อนการเก็บเกี่ยว 7-14 วัน

อาการเกิดพิษ : ผู้ที่ได้รับพิษของไฮนิคซ์ 40 จะมีอาการเซื่องซึม ตาพร่า ปวดเกร็งในช่องท้อง กล้ามเนื้อเปลี่ยน ปวดศีรษะ หายใจขัด ม่านตาหรี่ น้ำลายไหล คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง เหงื่อออกมาก ตัวสั่น

การแก้ไขเบื้องต้น :

1. หากมีผู้แสดงอาการได้รับพิษให้รีบนำผู้ป่วยออกจากบริเวณนั้นทันที และให้พักผ่อนในที่ที่มีอากาศถ่ายเทสะดวกและให้ร่างกายได้รับคสามอบอุ่น

2. ถ้าไฮนิคซ์ 40 ถูกผิวหนัง ให้รีบล้างออกด้วยสบู่และน้ำจำนวนมากๆ หากเข้าตาให้รีบล้างออกด้วยน้ำสะอาดจำนวนมากๆ หากเปื้อนเสื้อผ้าให้รีบอาบน้ำและเปลี่ยนเสื้อผ้าใหม่ทันที

3. หากมีกรณีคลื่นกินไฮนิคซ์ 40 รีบทำให้อาเจียนโดยการใช้นิ้วล้วงคอแล้วรีบนำผู้ป่วยส่งแพทย์ทันที พร้อมภษณะบรรจุและฉลากไฮนิคซ์ 40 (หากผู้ป่วยมีอาการชักหรือหมดสติห้ามให้น้ำหรือของเหลวหรือพยายามทำให้ผู้ป่วยอาเจียน

คำแนะนำสำหรับแพทย์ :

4. ช่วยให้ผู้ป่วยหายใจสะดวก

5. ให้ Atropine sulphate 1-2 mg.IV ทุก 15 นาที จนเกิดอาการ atropinization (เส้นเลือดบริเวณพื้นผิวขยาย คือตัวและหน้าแดง กล้ามเนื้อคลายตัว ปากแห้ง ม่านตาขยาย หัวใจเต้นเร็วอาจถึง 140 ครั้ง/นาที

6. รักษาตามอาการ

ผลิตโดย : บริษัท โฟโมไทย คอร์ปอเรชั่น จำกัด 47 ถนนอุดมสุข แขวงหนองบอน เขตประเวศ
กรุงเทพฯ 10250

สถานที่ผลิต : 383 หมู่ 4 ซอย 6 นิคมอุตสาหกรรมบางปู ตำบล แพรกษา อำเภอเมือง จังหวัด
สมุทรปราการ 10280

จัดจำหน่ายโดย : บริษัทไฮพลัส จำกัด 47 ถนนอุดมสุข แขวงหนองบอน เขตประเวศ
กรุงเทพฯ 10250 โทร 02-7297700-4 แฟกซ์ 02-398-4657



ภาคผนวก ง
วิธีการแปลงปลูก การปลูก และการเก็บเกี่ยวคะน้า



ภาพผนวกที่ ง1 แปลงปลูกคะน้าตัวอย่าง เมื่อ a-1 ลักษณะโรงเรือนปลูกคะน้าด้านหน้า
a-2 ลักษณะโรงเรือนปลูกคะน้าด้านข้าง b-1 แปลงปลูกเมื่อคะน้าอายุ 30 วัน
b-2 ต้นคะน้าอายุ 30 วัน ความสูง 8-10 นิ้ว และ c-1 ม่านพลาสติกกันแต่ละ
กลุ่มการทดลองเพื่อฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช c-2 ฉีดพ่นด้วยกระป๋องขนาด
เล็ก ฉีดพ่นด้วยมือทุกใบใน 150 ต้น

ตารางผนวกที่ 1 ปฏิทินการปฏิบัติงานในแปลงปลูกและการเก็บเกี่ยวผักคะน้ารุ่นที่ 1

อายุผัก (วัน)	วัน เดือน ปี	การปฏิบัติงาน	วัสดุ
0	20 ธ.ค. 2554	สร้างแปลงปลูกคะน้า ขนาด 6x20 เมตร พร้อมหลังคา	-พลาสติกใสชนิด PE เคลือบด้วย 7 % สารดูดกลืนแสง Ultra-violet (UV Absorber) มุงหลังคาแปลงผัก -ไม่สำหรับทำเสา และหลังคา
1	27 ธ.ค. 2554	หยอดเมล็ดพันธุ์คะน้า	-เมล็ดคะน้าพันธุ์บางบัวทอง 25 ตราสรแดง
15	11 ม.ค. 55	ให้น้ำ (ผสมน้ำ) อัตราส่วน 50 กก.ต่อไร่	-ปุ๋ยยูเรียสูตร 46-0-0 ผสมกับปุ๋ยสูตร 16-8-8 อัตรา 1:1
20	16 ม.ค. 55	ถอนแยกต้นคะน้า พร้อมถอนกำจัดวัชพืช	
25	21 ม.ค. 55	ให้น้ำ (ผสมน้ำ) อัตราส่วน 50 กก.ต่อไร่	-ปุ๋ยสูตร 16-8-8
30	26 ม.ค. 55	ให้น้ำคอก	-ปุ๋ยมูลวัว 1 กระสอบ
36	1 ก.พ. 55	ฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช (14 วันก่อนเก็บเกี่ยว) สำหรับผักในกลุ่มที่ 3	-ไฮนิกซ์ 40 (คลอไพริฟอส) 20 มล. ต่อน้ำ 20 ลิตร
40	5 ก.พ. 55	ฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช (10 วันก่อนเก็บเกี่ยว) สำหรับผักในกลุ่มที่ 1	-การันท์ (ไพรฟอส) 20 มล. ต่อน้ำ 20 ลิตร
45	10 ก.พ. 55	ให้น้ำคอก	-ปุ๋ยมูลวัว 1 กระสอบ
47	12 ก.พ. 55	ฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช (3 วันก่อนเก็บเกี่ยว) สำหรับผักในกลุ่มที่ 2 และ 4 ตามลำดับ	-ไฮนิกซ์ 40 (คลอไพริฟอส) 20 มล. ต่อน้ำ 20 ลิตร การันท์ (ไพรฟอส) 20 มล. ต่อน้ำ 20 ลิตร
50	15 ก.พ. 55	เก็บเกี่ยว	-กล่องโฟม ถุงพลาสติก ชนิด PE -เจลเก็บความเย็น

หมายเหตุ การให้น้ำวันละ 2 ครั้ง เช้า-เย็น ทุกวัน หลังจากพ่นสารกำจัดศัตรูพืชจะให้น้ำไกล์ดินเพื่อไม่ให้โคนใบพืช

ตารางผนวกที่ ๒ ปฏิทินการปฏิบัติงานในแปลงปลูกและการเก็บเกี่ยวผักคะน้ารุ่นที่ 2

อายุผัก (วัน)	วัน เดือน ปี	การปฏิบัติงาน	วัสดุ
1	2 ก.พ. 55	หยอดเมล็ดพันธุ์คะน้า	-เมล็ดคะน้าพันธุ์บางบัวทอง 25 ตราศรแดง
15	16 ก.พ. 55	ให้ปุ๋ย (ผสมน้ำ) อัตราส่วน 50 กก.ต่อไร่	-ปุ๋ยยูเรียสูตร 46-0-0 ผสมกับปุ๋ยสูตร 16-8-8 อัตรา 1:1
20	21 ก.พ. 55	ถอนแยกต้นคะน้า พร้อมถอนกำจัด วัชพืช	
25	26 ก.พ. 55	ให้ปุ๋ย (ผสมน้ำ) อัตราส่วน 50 กก.ต่อไร่	-ปุ๋ยสูตร 16-8-8
30	2 มี.ค.55	ให้ปุ๋ยคอก	-ปุ๋ยมูลวัว 1 กระสอบ
36	8 มี.ค.55	ฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช (14 วัน ก่อนเก็บเกี่ยว) สำหรับผักในกลุ่มที่ 3	-ไฮนิกซ์ 40 (คลอไพริฟอส) 20 มล. ต่อน้ำ 20 ลิตร
40	12 มี.ค.55	ฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช (10 วัน ก่อนเก็บเกี่ยว) สำหรับผักในกลุ่มที่ 1	-การรูก้า (โพธิ์ฟอส) 20 มล. ต่อน้ำ 20 ลิตร
45	17 มี.ค.55	ให้ปุ๋ยคอก	-ปุ๋ยมูลวัว 1 กระสอบ
47	19 มี.ค.55	ฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช (3 วันก่อน เก็บเกี่ยว) สำหรับผักในกลุ่มที่ 2 และ 4 ตามลำดับ	-ไฮนิกซ์ 40 (คลอไพริฟอส) 20 มล. ต่อน้ำ 20 ลิตร การรูก้า (โพธิ์ฟอส) 20 มล. ต่อน้ำ 20 ลิตร
50	22 มี.ค.55	เก็บเกี่ยว	-กล่องโฟม ถุงพลาสติก ชนิด PE เจลเก็บความเย็น

หมายเหตุ การให้น้ำวันละ 2 ครั้ง เช้า-เย็น ทุกวัน หลังจากพ่นสารกำจัดศัตรูพืชจะให้น้ำไกล์ดิน
เพื่อไม่ให้โคนใบพืช



ภาคผนวก จ

ประสิทธิภาพการลดสารกำจัดศัตรูพืชด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซิง

ตารางผนวกที่ จ1 ประสิทธิภาพการลดปริมาณการตกค้างของสาร โพรพิโนฟอส ในผักคะน้าด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซิง

การทดลอง	ความเข้มข้น น้ำล้าง (พีพีเอ็ม)	เวลาล้าง (นาที)	ปริมาณสาร โพรพิโนฟอส (พีพีเอ็ม)					
			10 เท่า EU- MRLs			100 เท่า EU- MRLs		
			ปริมาณสารตกค้าง เริ่มต้น	ปริมาณสารตกค้าง หลังล้าง	% การลดลง ^a	ปริมาณสาร ตกค้างเริ่มต้น	ปริมาณสาร ตกค้างหลังล้าง	% การลดลง ^a
น้ำประปา	-	15	0.49±0.02	0.38±0.02	22.31±3.47 i	5.81±0.16	4.38±0.21	24.64±3.63 g
	-	30	0.49±0.02	0.36±0.03	24.22±3.18 i	5.81±0.16	3.97±0.17	30.28±4.89 g
น้ำ EO ชนิดกรด	50	15	0.68±0.04	0.35±0.02	48.37±3.58 gh	5.16±0.22	2.55±0.22	50.67±4.17 ef
		30	0.68±0.04	0.32±0.02	53.37±2.38 efg	5.16±0.22	2.24±0.28	56.61±5.40 cde
	70	15	0.68±0.04	0.27±0.03	60.40±2.87 cde	5.16±0.22	2.05±0.51	60.21±9.95 cd
		30	0.68±0.04	0.24±0.02	63.97± 3.82 c	5.16±0.22	1.47±0.07	71.47±1.43 ab
กลอรีนไดออกไซด์	5	15	0.52±0.020	0.30±0.03	41.64±4.96 h	6.95±0.20	3.98±0.22	42.71±3.16 f
		30	0.52±0.020	0.28±0.04	49.61±7.09 fg	6.95±0.20	3.55±0.17	53.07±4.95 de
	10	15	0.52±0.020	0.22±0.03	56.59±5.21 cdef	6.95±0.20	2.82±0.17	59.52±2.42 cde
		30	0.52±0.020	0.21±0.03	60.26±4.99 cde	6.95±0.20	2.63±0.13	62.25±1.91 cd
น้ำโอโซน	0.5	15	0.49±0.02	0.22±0.02	55.07±3.06 defg	5.81±0.16	2.38±0.14	59.04±2.36 cde
		30	0.49±0.02	0.19±0.02	61.32±4.05 cd	5.81±0.16	2.07±0.17	63.27±4.80 bc
	1	15	0.49±0.02	0.14±0.02	72.15±3.34 b	5.81±0.16	1.47±0.22	71.52±9.12 ab
		30	0.49±0.02	0.10±0.02	79.55±4.64 a	5.81±0.16	1.47±0.16	74.77±2.82 a

^aค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทดลอง 6 ซ้ำและตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางผนวกที่ จ2 ประสิทธิภาพการลดปริมาณการตกค้างของสารคลอไพริฟอสในผักคะน้าด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง

การทดลอง	ความเข้มข้น น้ำล้าง (พีพีเอ็ม)	เวลาดำรง (นาที)	ปริมาณสารคลอไพริฟอส (พีพีเอ็ม)					
			10 เท่า EU- MRLs			100 เท่า EU- MRLs		
			ปริมาณสาร ตกค้างเริ่มต้น	ปริมาณสาร ตกค้างหลังล้าง	% การลดลง ^a	ปริมาณสารตกค้าง เริ่มต้น	ปริมาณสาร ตกค้างหลังล้าง	% การลดลง ^a
น้ำประปา	-	15	0.60±0.07	0.50±0.08	16.46±12.80 c	5.31±0.32	4.31±0.14	18.76±2.58 g
	-	30	0.60±0.07	0.41±0.02	28.05± 3.81 bc	5.31±0.32	3.84±0.13	27.70±2.47 f
น้ำ EO ชนิดกรด	50	15	0.64±0.08	9.90±0.2	-1472.19±26.89 d	6.29±0.12	10.18±0.06	-61.78±1.03 h
		30	0.64±0.08	10.09±0.04	-1468.00±6.02 d	6.29±0.12	10.38±0.02	-65.05±0.36 h
	70	15	0.64±0.08	10.43±0.02	-1520.57±2.62 e	6.29±0.12	10.42±0.02	-65.63±0.36 h
		30	0.64±0.08	10.46±0.05	-1525.71±7.14 e	6.29±0.12	10.73±0.09	-70.60±1.50 i
กลอรีนไดออกไซด์	5	15	0.66±0.12	0.34±0.12	47.78±18.43 ab	6.62±0.11	4.20±0.24	36.48±3.60 e
		30	0.66±0.12	0.33±0.09	50.56±14.17 ab	6.62±0.11	3.74±0.12	43.54±1.74 d
	10	15	0.66±0.12	0.28±0.09	56.67±13.33 a	6.62±0.11	2.87±0.09	56.68±2.82 c
		30	0.66±0.12	0.25±0.07	62.22±10.18 a	6.62±0.11	2.55±0.51	61.42±7.68 b
น้ำโอโซน	0.5	15	0.60±0.07	0.32±0.05	46.95±8.64 ab	5.31±0.32	3.35±0.20	36.84±3.74 e
		30	0.60±0.07	0.29±0.09	51.22±14.97 ab	5.31±0.32	2.99±0.08	43.57±1.56 d
	1	15	0.60±0.07	0.23±0.14	62.20±22.85 a	5.31±0.32	2.03±0.07	61.72±1.35 b
		30	0.60±0.07	0.18±0.09	70.73±14.67 a	5.31±0.32	1.61±0.11	69.69±1.98 a

^aค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทดลอง 6 ซ้ำและตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางผนวกที่ ๑3 ประสิทธิภาพการลดปริมาณการตกค้างของสารโพรพิโนฟอสในผักสดด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซิง

การทดลอง	ความเข้มข้นน้ำล้าง (พีพีเอ็ม)	เวลาล้าง (นาที)	ปริมาณสารโพรพิโนฟอสตกค้างในผักสด ^a (พีพีเอ็ม)				
			คะน้า	ผักชี	พริกชี้ฟ้า	ผักกาดขาวปลี	กะหล่ำปลี
ผักสดไม่ล้าง			0.56±0.08 a	0.58±0.06a	0.70±0.64 a	0.57±0.08 a	0.51±0.03 a
น้ำประปา	-	5	0.47±0.06 b	0.42±0.03 b	0.49±0.04 b	0.42±0.05 b	0.40±0.05 b
	-	10	0.41±0.05 c	0.37±0.06 bc	0.44±0.06 c	0.37±0.05 c	0.33±0.04 c
น้ำ EO ชนิดกรด	50	5	0.32±0.04 d	0.31±0.05 cd	0.30±0.04 d	0.34±0.05 cd	0.28±0.03 d
		10	0.27±0.03 def	0.28±0.06 def	0.27±0.04 de	0.27±0.07 efgh	0.22±0.02 e
	70	5	0.28±0.03 de	0.29±0.06 de	0.27±0.09 de	0.32±0.05 cde	0.20±0.03 efg
		10	0.23±0.01 fgh	0.25±0.06 defg	0.18±0.02 gh	0.23±0.07 gh	0.16±0.01 hij
คลอรีนไดออกไซด์	5	5	0.30±0.05 de	0.29±0.06 de	0.28±0.03 de	0.30±0.03 def	0.27±0.02 d
		10	0.25±0.03 efg	0.26±0.06 defg	0.26±0.04 de	0.25±0.03 fgh	0.23±0.01 e
	10	5	0.26±0.03 efg	0.26±0.03 defg	0.24±0.04 ef	0.28±0.03 defg	0.21±0.03 ef
		10	0.22±0.04 fgh	0.21±0.04 fgh	0.19±0.03 fgh	0.23±0.04 gh	0.18±0.03 fgh
โอโซน	0.5	5	0.25±0.04 efg	0.25±0.02 defg	0.20±0.01 fg	0.21±0.02 hi	0.20±0.02 efg
		10	0.20±0.03 gh	0.21±0.03 fgh	0.15±0.03 gh	0.17±0.02 ij	0.17±0.02 ghi
	1	5	0.22±0.04 fgh	0.21±0.02 gh	0.14±0.03 hi	0.17±0.02 ij	0.14±0.02 ij
		10	0.17±0.03 h	0.17±0.03 h	0.10±0.02 i	0.13±0.01 j	0.13±0.01 j

^aค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทดลอง 6 ซ้ำและตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางผนวกที่ จ4 ประสิทธิภาพการลดปริมาณการตกค้างของสารคลอไพริฟอสในผักสดด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง

การทดลอง	ความเข้มข้นน้ำล้าง (พีพีเอ็ม)	เวลาล้าง (นาที)	ปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้างในผักสด ^a (พีพีเอ็ม)				
			คะน้า	ผักชี	พริกชี้ฟ้า	ผักกาดขาวปลี	กะหล่ำปลี
ผักสดไม่ล้าง			0.61±0.10 c	0.61±0.12a	5.66±0.41 a	5.82±5.67 a	9.49±0.25 a
น้ำประปา	-	5	0.49±0.07 cd	0.48±0.06 b	3.87±0.28 b	4.40±0.20 b	7.94±0.17 b
	-	10	0.42±0.07 cd	0.40±0.05 bc	3.40±0.38 c	4.04±0.24 b	6.92±0.22 c
น้ำ EO ชนิดกรด	50	5	8.52±0.08 b	0.34±0.10 cde	2.48±0.24 d	3.02±0.38 c	5.70±0.50 d
		10	9.20±0.44 a	0.27±0.11 defg	1.92±0.23 e	2.51±0.75 de	4.96±0.50 de
	70	5	9.11±0.65 a	0.31±0.10 cdef	1.86±0.19 ef	2.83±0.49 cd	5.02±0.74 de
		10	9.18±0.74 a	0.23±0.07 fg	1.61±0.1 fg	2.20±0.09 e	4.29±0.76 ef
คลอรีนไดออกไซด์	5	5	0.35±0.09 cd	0.35±0.08 cd	2.71±0.30 d	2.80±0.22 cd	5.55±0.76 d
		10	0.30±0.11 cd	0.29±0.06 defg	2.10±0.16 e	2.35±0.15 e	4.73±0.69 de
	10	5	0.33±0.08 cd	0.27±0.06 defg	1.88±0.16 ef	2.49±0.11 de	4.99±1.01 de
		10	0.27±0.07 cd	0.24±0.06 efg	1.61±0.17 fg	2.16±0.01 e	4.16±0.96 ef
โอโซน	0.5	5	0.30±0.09 cd	0.28±0.05 defg	1.56±0.15 g	2.60±0.30 de	4.08±1.17 ef
		10	0.25±0.04 cd	0.26±0.07 defg	1.18±0.15 h	2.20±0.09 e	3.44±1.12 fg
	1	5	0.27±0.11 cd	0.26±0.06 defg	1.17±0.16 h	2.27±0.10 e	3.34±1.20 fg
		10	0.20±0.11 d	0.20±0.04 g	0.87±0.16 i	1.71±0.22 f	2.79±0.87 g

^aค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทดลอง 6 ซ้ำและตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางผนวกที่ ๑5 ประสิทธิภาพการล้างคะแนียนปนเปื้อนสารโพรพิโนฟอสด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเมื่อนิดฟ่นสารที่ 3 และ 10 วัน ก่อนวันเก็บเกี่ยวผลผลิต

การทดลอง	ความเข้มข้นน้ำล้าง (พีพีเอ็ม), เวลา (นาท)	ปริมาณสารโพรพิโนฟอสตกค้าง ^๑ (พีพีเอ็ม)			
		รุ่นที่ 1		รุ่นที่ 2	
		3 วัน	10 วัน	3 วัน	10 วัน
ไม่ล้าง	-	21.61±0.82 a	1.97±0.48 a	18.60±2.45 a	1.35±0.25 a
น้ำประปา	-, 10	17.08±0.69 b	1.64±0.09 a	14.60±1.84 b	1.14±0.05 a
น้ำ EO ชนิดกรด	70, 10	10.04±0.22 cd	1.17±0.06 b	9.53±0.34 c	0.64±0.04 b
คลอรีนไดออกไซด์	10, 10	11.33±2.19 c	1.19±0.06 b	9.87±0.25 c	0.73±0.02 b
โอโซน	1, 10	8.89±0.69 d	0.88±0.08 b	8.02±0.05 c	0.56±0.04 b

^๑ค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทำการทดลอง 6 ซ้ำ

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางผนวกที่ ๖6 ประสิทธิภาพการล้างค่าน้ำปนเปื้อนสารคลอไพริฟอสด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเมื่อฉีดพ่นสารที่ 3 และ 14 วัน ก่อนวันเก็บเกี่ยวผลผลิต

การทดลอง	ความเข้มข้นน้ำล้าง (พีพีเอ็ม), เวลา (นาท)	ปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้าง ^a (พีพีเอ็ม)			
		รุ่นที่ 1		รุ่นที่ 2	
		3 วัน	14 วัน	3 วัน	14 วัน
ไม่ล้าง	-	20.43±2.23 b	1.68±0.21 b	17.93±2.31 b	1.74±0.16 b
น้ำประปา	-, 10	16.62±0.85 c	1.38±0.12 b	14.33±0.82 c	1.46±0.06 b
น้ำ EO ชนิดกรด	70, 10	104.75±1.06 a	6.08±0.29 a	90.20±2.90 a	6.85±0.40 a
คลอรีนไดออกไซด์	10, 10	11.07±1.14 d	0.74±0.06 c	9.50±0.58 d	0.99±0.07 c
โอโซน	1, 10	8.66±0.55 e	0.45±0.11 c	7.24±0.99 d	0.66±0.12 c

^aค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทำการทดลอง 6 ซ้ำ

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสมรค์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาคผนวก จ
สมบัติน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเปรียบเทียบก่อนและหลังล้าง

ตารางผนวกที่ ๑1 สมบัติน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งก่อนและหลังล้างคะน้ำที่มีสารโพรพิโนฟอสตค้างที่ 10 และ 100 เท่าของค่า EU-MRL ปี 2010

สารตกค้างเริ่มต้น (พีพีเอ็ม)	ชนิดน้ำล้าง	เวลาล้าง (นาท)	ก่อนล้าง			หลังล้าง		
			ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า ORP (mV)	ค่า pH	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า ORP (mV)	ค่า pH
0.5	น้ำ EO ชนิดกรด	10	50	1048±2	3.04±0.01	44±2.00	847±3	3.25±0.05
		15				38±1.53	788±3	3.36±0.02
		30				32±1.53	685±2	3.46±0.02
		10	70	1148±3	2.63±0.02	63±2.00	1069±3	2.84±0.01
		15				58±1.00	1036±6	2.94±0.02
		30				52±1.53	887±2	2.98±0.01
0.5	กลอรีนไดออกไซด์	10	5	746±3	6.64±0.02	3.8±0.15	596±3	6.92±0.02
		15				3.0±0.20	474±4	6.98±0.02
		30				2.0±0.26	427±3	7.07±0.02
		10	10	885±3	6.26±0.02	7.3±0.15	685±3	6.32±0.01
		15				6.5±0.15	586±3	6.44±0.02
		30				6.2 ±0.06	575±2	6.44±0.01
0.5	ไอโซน	10	0.5	582±2	7.73±0.01	0.03±0.01	348±2	7.26±0.01
		15				0.00±0.00	333±1	8.14±0.01
		30				0.00±0.00	332±2	8.26±0.01
		10	1	764±2	7.65±0.01	0.05±0.01	366±2	7.84±0.01
		15				0.04±0.01	353±3	7.92±0.02
		30				0.00±0.00	334±1	8.21±0.02

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

สารตกค้างเริ่มต้น (พีพีเอ็ม)	ชนิดน้ำล้าง	เวลาดำง (นาท)	ก่อนล้าง			หลังล้าง		
			ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า ORP (mV)	ค่า pH	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า ORP (mV)	ค่า pH
5	น้ำ EO ชนิดกรด	10	50	1037±1	3.06±0.02	39±1.00	832±4	3.47±0.01
		15				32±3.00	806±2	3.54±0.01
		30				29±3.00	775±2	3.57±0.01
		10	70	1156±3	2.57±0.01	57±1.00	963±2	3.25±0.02
		15				44±1.00	854±3	3.33±0.01
		30				41±1.00	854±1	3.33±0.02
5	กลอรีนไดออกไซด์	10	5	763±1	6.63±0.02	3.2±0.02	632±2	7.18±0.01
		15				2.2±0.01	523±2	7.26±0.02
		30				2.1±0.01	519±4	7.32±0.02
		10	10	887±3	6.25±0.02	7.2±0.02	697±1	6.44±0.02
		15				5.5±0.02	625±3	6.57±0.01
		30				5.3±0.02	620±3	6.63±0.01
5	ไอโซน	10	0.5	643±2	7.76±0.02	0.03±0.01	336±1	7.92±0.02
		15				0.00±0.00	323±2	7.96±0.02
		30				0.00±0.00	321±1	8.04±0.02
		10	1	830±3	7.63±0.01	0.04±0.01	337±2	7.83±0.01
		15				0.03±0.01	335±1	7.92±0.01
		30				0.00±0.00	325±2	7.94±0.01

ตารางผนวกที่ ๑๒ สมบัติน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งก่อนและหลังล้างคะน้ำที่มีสารคลอไพริฟอสตกค้างที่ 10 และ 100 เท่าของค่า EU-MRL ปี 2010

สารตกค้างเริ่มต้น (พีพีเอ็ม)	ชนิดน้ำล้าง	เวลาล้าง (นาท)	ก่อนล้าง			หลังล้าง		
			ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า ORP (mV)	ค่า pH	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า ORP (mV)	ค่า pH
0.5	น้ำ EO ชนิดกรด	15	50	1078±2	3.06±0.02	41±1.00	783±10	3.32±0.02
		30				36±1.53	682±12	3.47±0.02
		15	70	1194±4	2.71±0.01	63±2.52	1142±13	2.84±0.01
		30				53±1.53	987±21	2.93±0.02
0.5	กลอรีนไดออกไซด์	10	5	769±6	6.90±0.03	4.3±0.06	663±2	6.88±0.04
		15				3.0±0.25	463±2	6.92±0.07
		30				2.2±0.26	434±3	7.04±0.04
		10	10	923±3	6.16±0.02	7.5±0.26	654±6	6.20±0.02
		15				6.9±0.31	633±4	6.32±0.04
		30				7.0±0.21	636±3	6.39±0.04
0.5	โอโซน	10	0.5	534±1	7.71±0.01	0.03±0.01	349±1	7.91±0.01
		15				0.00±0.00	333±2	8.22±0.02
		30				0.00±0.00	332±2	8.25±0.01
		10	1	791±3	7.87±0.02	0.04±0.01	356±3	7.95±0.02
		15				0.04±0.00	355±1	7.92±0.02
		30				0.00±0.00	332±2	8.21±0.02

ตารางผนวกที่ ๑2 (ต่อ)

สารตกค้างเริ่มต้น (พีพีเอ็ม)	ชนิดน้ำล้าง	เวลาดำง (นาที)	ก่อนล้าง			หลังล้าง		
			ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า ORP (mV)	ค่า pH	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า ORP (mV)	ค่า pH
5	น้ำ EO ชนิดกรด	15	50	1025±3	3.03±0.01	28±1.00	875±3	3.47±0.02
		30				25±1.00	796±3	3.51±0.02
		15	70	1169±4	2.73±0.02	46±2.00	955±3	3.32±0.02
		30				44±1.53	924±4	3.34±0.02
5	คลอรีนไดออกไซด์	10	5	793±2	6.82±0.02	3.2±0.06	754±1	7.14±0.01
		15				2.6±0.10	647±2	7.22±0.01
		30				2.1±0.12	533±3	7.35±0.01
		10	10	917±2	6.17±0.01	7.7±0.06	796±2	6.40±0.11
		15				5.6±0.10	636±2	6.52±0.01
		30				4.5±0.10	612±2	6.66±0.03
5	โอโซน	10	0.5	635±4	7.64±0.04	0.04±0.01	326±1	7.72±0.02
		15				0.00±0.00	321±1	7.75±0.02
		30				0.00±0.00	321±1	7.74±0.02
		10	1	814±3	7.73±0.02	0.04±0.00	327±2	7.80±0.03
		15				0.04±0.01	326±2	7.82±0.01
		30				0.00±0.00	323±3	7.83±0.02

ค่าเฉลี่ยและค่า SD จากการทดลอง 6 ซ้ำ

ตารางผนวกที่ ๓ สมบัติน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งก่อนและหลังผ่านการล้างผักคะน้า

น้ำล้าง	เวลา ล้าง (นาทีก)	ความ เข้มข้น (พีพีเอ็ม)	สารโพรฟิโนฟอส (0.56 พีพีเอ็ม)					สารคลอไพริฟอส (0.61 พีพีเอ็ม)				
			ก่อนล้าง			หลังล้าง		ก่อนล้าง			หลังล้าง	
			ค่า ORP (mV)	ค่า pH	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า ORP (mV)	ค่า pH	ค่า ORP (mV)	ค่า pH	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า ORP (mV)	ค่า pH
น้ำประปา	5		363±3	7.7±0.1		342±4	7.9±0.3	382±2	7.9±0.1		360±1	8.1±0.4
	10					352±1	8.1±0.5				357±1	8.2±0.1
น้ำ EO ชนิดกรด	5	50	1094±2	3.2±0.2	46±1	887±4	3.7±0.3	1094±2	3.3±0.2	39±1	392±5	3.6±0.1
	10				33±3	828±2	3.8±0.2			34±1	355±5	3.7±0.2
	5	70	1182±2	2.7±0.3	58±1	1005±3	2.9±0.6	1205±5	2.7±0.5	56±2	1083±2	2.9±0.1
	10				50±1	981±2	3.0±0.3			42±2	969±5	3.1±0.0
กลอรีนไดออกไซด์	5	5	772±2	7.2±0.1	4.7±0.1	662±2	7.3±0.2	776±2	6.9±0.1	3.8±0.1	762±2	7.2±0.0
	10				4.1±0.1	604±2	7.4±0.2			3.1±0.1	687±3	7.9±0.3
	5	10	938±1	6.1±0.2	8.0±0.2	775±4	6.3±1.8	975±6	6.2±0.1	8.5±0.3	863±3	6.5±0.2
	10				6.9±0.2	732±7	6.4±0.6			7.5±0.1	834±4	6.8±0.3
โอโซน	5	0.5	556±4	7.7±0.2	0.2±0.03	434±6	7.7±0.8	566±6	7.8±0.2	0.20±0.03	435±1	7.9±0.1
	10				0.07±0.10	381±2	7.8±0.7			0.03±0.01	392±4	8.0±0.1
	5	1	803±3	7.5±0.2	0.4±0.03	532±3	7.6±0.4	810±6	7.5±0.1	0.40±0.03	553±3	7.8±0.1
	10				0.1±0.01	444±4	7.8±0.3			0.10±0.02	453±2	7.9±0.5

ค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทำการทดลอง 6 ซ้ำ

ตารางผนวกที่ ๓4 สมบัติน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งก่อนและหลังผ่านการล้างผักชี

น้ำล้าง	เวลา ล้าง (นาทีก)	ความ เข้มข้น (พีพีเอ็ม)	สารโพรฟิโนฟอส (0.58 พีพีเอ็ม)					สารคลอไพริฟอส (0.61 พีพีเอ็ม)				
			ก่อนล้าง		หลังล้าง			ก่อนล้าง		หลังล้าง		
			ค่า ORP (mV)	ค่า pH	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า ORP (mV)	ค่า pH	ค่า ORP (mV)	ค่า pH	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า ORP (mV)	ค่า pH
น้ำประปา	5		357±1	7.8±0.0		332±1	8.1±0.0	364±2	7.7±0.01		354±3	7.9±0.2
	10					333±1	8.2±0.2				349±2	8.1±0.1
น้ำ EO ชนิดกรด	5	50	1052±1	3.2±0.0	38±1	787±3	3.3±0.2	1086±2	3.1±0.01	42±1	879±3	3.3±0.0
	10				31±2	654±2	3.4±0.2			37±3	832±5	3.3±0.3
	5	70	1187±1	2.6±0.1	57±2	977±1	2.8±0.2	1193±2	2.6±0.02	62±1	1014±3	2.7±0.1
	10				42±2	887±2	3.1±0.1			56±1	985±4	2.8±0.3
คลอรีนไดออกไซด์	5	5	786±2	6.8±0.1	4.0±0.1	722±1	7.3±0.2	766±2	6.9±0.01	4.3±0.1	658±3	7.0±0.1
	10				3.2±0.1	686±1	8.0±0.4			3.9±0.2	595±2	7.3±0.0
	5	10	954±1	6.3±0.2	7.3±0.1	835±3	7.1±0.3	946±2	6.1±0.01	8.3±0.1	776±4	6.6±0.3
	10				6.2±0.1	819±3	7.9±0.2			6.9±0.2	737±4	6.9±0.3
โอโซน	5	0.5	542±4	7.7±0.2	0.11±0.01	429±3	7.8±0.0	552±3	7.6±0.01	0.12±0.03	432±4	7.7±0.0
	10				0.03±0.01	365±6	7.9±0.2			0.03±0.01	377±4	7.9±0.3
	5	1	786±1	7.6±0.3	0.30±0.02	523±2	7.8±0.1	790±3	7.4±0.01	0.33±0.04	526±3	7.6±0.1
	10				0.05±0.02	432±2	8.0±0.0	364±2	7.7±0.01	0.07±0.01	440±2	7.7±0.1

ค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทำการทดลอง 6 ซ้ำ

ตารางผนวกที่ ๑5 สมบัติน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งก่อนและหลังผ่านการล้างพริกชี้ฟ้า

น้ำล้าง	เวลา ล้าง (นาท)	ความ เข้มข้น (พีพีเอ็ม)	สารโพธิ์โนฟอส (0.70 พีพีเอ็ม)					สารคลอไพริฟอส (5.66 พีพีเอ็ม)				
			ก่อนล้าง			หลังล้าง		ก่อนล้าง			หลังล้าง	
			ค่า ORP (mV)	ค่า pH	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า ORP (mV)	ค่า pH	ค่า ORP (mV)	ค่า pH	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า ORP (mV)	ค่า pH
น้ำประปา	5		348±1	7.9±0.1		327±1	8.0±0.1	378±4	7.8±0.2		365±5	8.0±0.0
	10					323±3	8.1±0.1				352±2	8.1±0.1
น้ำ EO ชนิดกรด	5	50	1049±5	3.1±0.2	41±1	785±5	3.2±0.2	1095±5	3.1±0.1	41±1	892±6	3.3±0.1
	10				33±2	646±5	3.3±0.1			35±1	839±5	3.4±0.0
	5	70	1186±1	2.6±0.2	53±1	971±1	2.8±0.1	1188±6	2.6±0.2	70±1	1028±6	2.8±0.1
	10				43±2	877±2	3.1±0.2			50±3	996±5	2.8±0.3
กลอรีนไดออกไซด์	5	5	778±1	6.8±0.1	4.3±0.1	714±1	7.2±0.3	772±4	6.9±0.0	4.6±0.1	665±1	7.1±0.0
	10				3.5±0.1	659±6	7.3±0.1			3.9±0.2	602±2	7.3±0.1
	5	10	948±1	6.1±0.2	7.5±0.2	828±3	7.1±0.0	936±1	6.1±0.0	8.5±0.2	786±4	6.7±0.0
	10				5.9±0.3	813±6	7.5±0.3			7.3±0.4	740±7	7.0±0.2
โอโซน	5	0.5	542±8	7.7±0.4	0.11±0.00	418±2	7.8±0.1	550±4	7.6±0.3	0.13±0.04	438±1	7.7±0.2
	10				0.03±0.01	342±2	7.8±0.2			0.05±0.01	380±3	7.9±0.2
	5	1	783±2	7.6±0.3	0.33±0.01	511±7	7.8±0.1	795±5	7.5±0.3	0.35±0.03	562±1	7.7±0.1
	10				0.06±0.02	441±4	7.9±0.1			0.07±0.03	441±1	7.8±0.1

ค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทำการทดลอง 6 ซ้ำ

ตารางผนวกที่ ๑๖ สมบัติน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งก่อนและหลังผ่านการล้างผักกาดขาวปลี

น้ำล้าง	เวลา ล้าง (นาทีก)	ความ เข้มข้น (พีพีเอ็ม)	สารโพรฟิโนฟอส (0.57 พีพีเอ็ม)					สารคลอไพริฟอส (5.82 พีพีเอ็ม)				
			ก่อนล้าง			หลังล้าง		ก่อนล้าง			หลังล้าง	
			ค่า ORP (mV)	ค่า pH	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า ORP (mV)	ค่า pH	ค่า ORP (mV)	ค่า pH	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า ORP (mV)	ค่า pH
น้ำประปา	5		376±1	8.0±0.1		355±1	8.2±0.0	387±1	7.6±0.1		353±2	7.9±0.1
	10					351±1	8.2±0.2				351±1	8.1±0.1
น้ำ EO ชนิดกรด	5	50	1085±3	3.3±0.1	45±1	987±1	3.5±0.2	1095±2	3.1±0.2	41±1	956±2	3.3±0.1
	10				39±2	946±1	3.6±0.2			35±2	876±3	3.3±0.3
	5	70	1189±1	2.6±0.2	62±2	1076±2	2.8±0.2	1202±2	2.6±0.2	63±1	1125±3	2.7±0.2
	10				59±2	1035±2	3.1±0.2			52±1	1068±2	3.2±0.2
กลอรีนไดออกไซด์	5	5	775±1	6.8±0.3	4.2±0.1	757±2	7.2±0.2	795±1	6.8±0.3	4.2±0.2	723±2	7.2±0.2
	10				3.8±0.1	734±3	7.9±0.0			3.2±0.2	647±2	7.7±0.2
	5	10	965±1	6.2±0.1	8.4±0.1	858±11	6.4±0.3	944±1	6.1±0.1	8.6±0.2	825±3	7.1±0.2
	10				7.7±0.2	822±3	6.7±0.1			7.2±0.1	755±2	7.6±0.2
โอโซน	5	0.5	557±3	7.7±0.1	0.19±0.03	435±6	7.8±0.1	565±4	7.6±0.1	0.14±0.01	451±2	7.7±0.2
	10				0.04±0.01	384±4	8.0±0.3			0.02±0.01	382±4	7.8±0.2
	5	1	799±2	7.5±0.3	0.33±0.03	548±3	7.7±0.1	802±4	7.4±0.4	0.39±0.02	529±4	7.6±0.1
	10				0.05±0.01	441±3	7.8±0.1			0.05±0.01	441±1	7.7±0.1

ค่าเฉลี่ยและค่า SD จากการทดลอง 6 ซ้ำ

ตารางผนวกที่ ๗ สมบัติน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งก่อนและหลังผ่านการล้างกะหล่ำปลี

	เวลา ล้าง (นาท)	ความ เข้มข้น (พีพีเอ็ม)	สารโพรฟิโนฟอส (0.51 พีพีเอ็ม)					สารคลอไพริฟอส (9.49 พีพีเอ็ม)				
			ก่อนล้าง		หลังล้าง			ก่อนล้าง		หลังล้าง		
			ค่า ORP (mV)	ค่า pH	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า ORP (mV)	ค่า pH	ค่า ORP (mV)	ค่า pH	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า ORP (mV)	ค่า pH
น้ำประปา	5		368±1	7.7±0.2		343±1	8.1±0.1	363±2	7.6±0.2		343±1	7.8±0.2
	10					341±1	8.1±0.4				342±1	7.9±0.2
น้ำ EO ชนิดกรด	5	50	1044±1	3.3±0.1	42±1	879±3	3.4±0.1	1023±1	3.3±0.0	39±2	855±2	3.4±0.3
	10					836±2	3.5±0.0			33±1	776±3	3.5±0.1
	5	70	1198±2	2.7±0.1	63±2	1028±2	2.8±0.3	1188±1	2.6±0.1	56±1	961±7	2.8±0.1
	10				59±2	984±4	2.9±0.2			45±2	818±5	2.9±0.2
กลอรีนไดออกไซด์	5	5	787±2	6.7±0.1	4.3±0.2	724±3	6.9±0.3	793±1	6.8±0.2	3.7±0.1	654±3	7.0±0.4
	10				3.6±0.1	646±2	7.0±0.3			3.2±0.1	615±2	7.1±0.2
	5	10	989±2	6.2±0.0	9.4±0.1	929±3	6.4±0.0	964±1	6.2±0.0	7.9±0.2	774±4	6.7±0.1
	10				8.6±0.2	863±3	6.9±0.3			6.5±0.2	644±3	7.0±0.3
โอโซน	5	0.5	565±4	7.6±0.3	0.16±0.04	440±3	7.7±0.3	558±4	7.5±0.3	0.11±0.02	431±4	7.6±0.3
	10				0.06±0.03	389±6	7.8±0.0			0.02±0.01	373±4	7.7±0.6
	5	1	817±5	7.5±0.0	0.36±0.03	544±3	7.6±0.2	792±4	7.3±0.2	0.32±0.04	530±7	7.5±0.1
	10				0.06±0.01	452±4	7.8±0.1			0.06±0.03	430±8	7.7±0.2

ค่าเฉลี่ยและค่า SD จากการทดลอง 6 ซ้ำ

ตารางผนวกที่ ๘ สมบัติน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งก่อนและหลังล้างผักคะน้าในแปลงปลูก หลังฉีดพ่นสาร โพรพิโนฟอส

น้ำล้าง	เวลา ล้าง (นาท)	ความ เข้มข้น (พีพีเอ็ม)	PHI เวลา 3 วัน					PHI เวลา 10 วัน				
			ก่อนล้าง		หลังล้าง			ก่อนล้าง		หลังล้าง		
			ค่า ORP	ค่า pH	ความเข้มข้น	ค่า ORP	ค่า pH	ค่า ORP	ค่า pH	ความเข้มข้น	ค่า ORP	ค่า pH
			(mV)		(พีพีเอ็ม)	(mV)		(mV)		(พีพีเอ็ม)	(mV)	
น้ำประปา	5		364±2	7.7±0.2		356±2	7.9±0.3	376±4	7.7±0.1		342±4	7.9±0.3
	10					349±3	8.1±0.1				352±1	8.1±0.2
น้ำ EO ชนิดกรด	5	70	1193±2	2.6±0.2	62±1	1014±2	2.7±0.2	1178±2	2.7±0.2	58±1	1005±3	2.8±0.1
	10				56±1	985±4	2.8±0.2			50±1	981±2	3.0±0.1
กลอรีนไดออกไซด์	5	10	936±2	6.1±0.3	8.3±0.1	780±3	6.6±0.3	935±1	6.2±0.0	8.0±0.3	775±4	6.7±0.2
	10				6.9±0.2	743±3	6.9±0.3			6.9±0.2	732±7	7.0±0.2
โอโซน	5	1	833±4	7.5±0.1	0.38±0.03	539±2	7.6±0.3	823±3	7.5±0.1	0.39±0.03	532±3	7.7±0.3
	10				0.07±0.03	448±4	7.8±0.3			0.06±0.01	444±4	7.8±0.4

ค่าเฉลี่ยและค่า SD จากการทดลอง 6 ซ้ำ

ตารางผนวกที่ ๙ สมบัติน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งก่อนและหลังล้างผักคะน้าในแปลงปลูก หลังฉีดพ่นสารคลอไพริฟอส

น้ำล้าง	เวลา ล้าง (นาท)	ความ เข้มข้น (พีพีเอ็ม)	PHI เวลา 3 วัน					PHI เวลา 14 วัน				
			ก่อนล้าง		หลังล้าง			ก่อนล้าง		หลังล้าง		
			ค่า ORP	ค่า pH	ความเข้มข้น	ค่า ORP	ค่า pH	ค่า ORP	ค่า pH	ความเข้มข้น	ค่า ORP	ค่า pH
			(mV)		(พีพีเอ็ม)	(mV)		(mV)		(พีพีเอ็ม)	(mV)	
น้ำประปา	5		365±3	7.6±0.01		365±4	7.9±0.1	366±2	7.7±0.1		347±1	8.0±0.2
	10					354±2	8.1±0.1				335±1	8.1±0.2
น้ำ EO ชนิดกรด	5	70	1200±1	2.6±0.1	60±1	1005±3	2.7±0.2	1197±2	2.7±0.3	62±1	1010±2	2.9±0.1
	10				50±1	976±2	2.9±0.1			53±2	974±3	3.0±0.3
กลอรีนไดออกไซด์	5	10	917±2	6.1±0.2	8.7±0.1	764±4	6.5±0.3	978±2	6.2±0.2	8.5±0.1	908±4	6.5±0.1
	10				7.3±0.3	732±5	6.9±0.1			7.9±0.1	852±2	7.0±0.1
โอโซน	5	1	799±1	7.5±0.4	0.32±0.05	515±3	7.8±0.3	825±4	7.5±0.2	0.30±0.03	558±3	7.7±0.1
	10				0.10±0.04	434±5	7.9±0.0			0.05±0.02	443±3	7.9±0.1

ค่าเฉลี่ยและค่า SD จากการทดลอง 6 ซ้ำ

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาว อัจฉรา แสนคม
วัน เดือน ปี ที่เกิด	1 พฤษภาคม พ.ศ. 2527
ภูมิลำเนา	ต.ท่าดี อ.ลานสกา จ.นครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เทคโนโลยีอาหาร) สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ พ.ศ. 2546-2550 โครงการวิจัย เรื่อง การสกัดสารฟีนอลิกจากเปลือกมังคุดโดยใช้เอทานอล
ประวัติการทำงาน	- ตำแหน่ง เจ้าหน้าที่วิจัย สังกัด ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์พืชเชื้อรา ฝ่ายเครื่องมือวิทยาศาสตร์กลาง สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มีนาคม 2550 - กรกฎาคม 2551
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นิสิตบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผลงานวิจัย	- เสนอผลงานทางวิชาการ ภาคโปสเตอร์ เรื่อง การประยุกต์ใช้สารฆ่าเชื้อกลุ่มออกซิโดสซึ่งเพื่อลดจุลินทรีย์ก่อโรคในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 การเสนอผลงานระหว่างวันที่ 3-5 กุมภาพันธ์ 2553 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน - เสนอผลงานทางวิชาการ ภาคโปสเตอร์ เรื่อง การประยุกต์ใช้สารฆ่าเชื้อกลุ่มออกซิโดสซึ่งเพื่อลดการตกค้างของยาฆ่าแมลงในผักสด ในการประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 10 ระหว่างวันที่ 18-20 พฤษภาคม 2554 ณ โรงแรมมิราเคิลแกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพฯ ดันฉบับได้รับการยอมรับให้ตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร (Proceeding) ปีที่ 42 ฉบับที่ 3/1 (ฉบับพิเศษ) สิงหาคม-ธันวาคม 2554 - ทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทบัณฑิตศึกษา สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2553 - ทุนพัฒนานักศึกษาศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ประจำปี 2553
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	