

## การใช้โอโซนในการลดปริมาณสารพิษตกค้างเอ็นโดซัลแฟน ในผักกาดขาว

วัฒน์สิทธิ์ สิริวงศ์<sup>1</sup> บัณฑิต อนุรักษ<sup>2</sup> ยงยุทธ ไม้แก้ว<sup>3</sup> และ ยุทธชัย อนุรักติพันธ์<sup>4</sup>

### Abstract

Siriwong, W.<sup>1</sup>, Anu-rugsa, B.<sup>2</sup>, Paikaew, Y.<sup>3</sup> and Anuluxtipun, Y.<sup>4</sup>

**The utilization of ozone to reduce endosulfan residues in Chinese cabbage**

Songklanakar J. Sci. Technol., 2004, 26(Suppl. 1) : 177-183

This study focused on the utilization of ozone to reduce endosulfan residues in Chinese cabbage. The experimental design used in the study was Randomized Block Design (RCB). 35% w/v EC of Endosulfan-organochlorine pesticide was used, with the recommended dose, to spray on Chinese cabbage every 7th day for three weeks. Five days after the last spray, the Chinese cabbage was harvested and ozone-dissolved water was used to reduce endosulfan residues in the cabbage at 5°C at 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40 minutes, respectively. The result showed that ozone-dissolved water at 25 minutes could effectively reduce 71.93% of endosulfan residues. This percentage was lower than the Maximum Residues Limit (MRL) of 2.0 mg/kg of

<sup>1</sup>National Research Center for Environmental and Hazardous Waste Management, Chulalongkorn University, Phaya Thai, Bangkok, 10330 Thailand. <sup>2</sup>Department of Environmental Science, Faculty of Sciences and Technology, Thammasat University, Rangsit Center, Khlong Luang, Pathum Thani, 12121 Thailand. <sup>3</sup>Agricultural Toxic Substances Division, Department of Agriculture, <sup>4</sup>Land Development Department, Ministry of Agricultural and Cooperatives, Phaholyothin, Chatuchak, Bangkok, 10900 Thailand.

<sup>1</sup>M.Sc.(Environmental Science), ศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พญาไท กรุงเทพฯ 10330 <sup>2</sup>Ph.D.(Environmental), ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12121 <sup>3</sup>M.Sc.(Environmental Science), กองวัดภูมิพิษการเกษตร กรมวิชาการเกษตร <sup>4</sup>M.Sc.(Environmental Science), กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ถนนพหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Corresponding e-mail: wattasit.s@chula.ac.th

รับต้นฉบับ 11 มีนาคม 2547

รับลงพิมพ์ 25 เมษายน 2547

vegetables proscribed by CODEX. Furthermore, the study found that the more time used, the less the purity of ozone-dissolved water. This resulted in the decrease of ozone efficiency to reduce endosulfan residues in Chinese cabbage.

**Key words :** endosulfan, ozone, pesticide residue, Chinese cabbage

### บทคัดย่อ

วัฒน์สิทธิ์ สิริวงศ์ บัณฑิต อนุรักษ์ ยงยุทธ ไม้แก้ว และ ยุทธชัย อนุรักดิพันธ์  
การใช้โอโซนในการลดปริมาณสารพิษตกค้างเอ็นโดซัลแฟนในผักกาดขาว  
ว.สงขลานครินทร์ วทท. 2547 26(ฉบับพิเศษ 1) : 177-183

การศึกษาเรื่องการใช้โอโซนในการลดปริมาณสารพิษตกค้างเอ็นโดซัลแฟนในผักกาดขาว วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Block Design, RCB) และทำการทดลองโดยการฉีดพ่นผักกาดขาวด้วยสารเอ็นโดซัลแฟน 35 % w/v EC ในอัตราความเข้มข้นตามแนะนำ 3 ครั้งห่างกันครั้งละ 7 วัน ใน 3 สัปดาห์สุดท้ายก่อนการเก็บเกี่ยว และทำการเก็บเกี่ยวหลังจากการฉีดพ่นครั้งสุดท้าย 5 วัน หลังจากนั้นทำการลดปริมาณเอ็นโดซัลแฟนที่ตกค้างออกจากผักกาดขาวโดยใช้น้ำที่ละลายด้วยโอโซนล้างผักกาดขาวที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 นาที ที่อุณหภูมิ 5°C พบว่าการล้างผักกาดขาวโดยใช้น้ำที่ละลายด้วยโอโซนเป็นเวลา 25 นาที มีประสิทธิภาพสูงสุดสามารถลดปริมาณสารพิษเอ็นโดซัลแฟนตกค้างได้ 71.93% ซึ่งต่ำกว่าค่าปริมาณสูงสุดของสารพิษตกค้าง (MRL) ของ Codex ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 2.0 มก./กก. นอกจากนี้พบว่าในการล้างผักกาดขาวโดยใช้น้ำที่ละลายด้วยโอโซนเมื่อเวลาของการล้างเพิ่มขึ้นความบริสุทธิ์ของน้ำที่ล้างจะลดลงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารพิษตกค้างลดลงอีกด้วย

เอ็นโดซัลแฟน เป็นสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์แกนโนคลอรีน โดยมีระดับอันตรายประเภท 1b และค่า LD50 ทางปากในหนู คือ 80-100 มก./กก. (ดีพร้อม, 2527) เทคนิคัลเอ็นโดซัลแฟน (technical endosulfan) จะประกอบด้วย 2 ไอโซเมอร์ (isomer) คือ อัลฟาเอ็นโดซัลแฟน ( $\alpha$ -endosulfan) พบว่ามีประมาณ 70% และเบต้าเอ็นโดซัลแฟน ( $\beta$ -endosulfan) พบว่ามีประมาณ 30% และเมื่อเกิดกระบวนการเมแทบอลิซึมขึ้นในพืชหรือสิ่งแวดล้อมจะเกิดเป็นเอ็นโดซัลแฟนซัลเฟต (endosulfan sulfate) (World Health Organization, 1984)

เอ็นโดซัลแฟนมีการใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลกในการเกษตรกรรมและการป่าไม้ นอกจากนี้ยังเป็นสารกำจัดแมลงและศัตรูพืชเพียงไม่กี่ชนิดที่ยังอนุญาตให้ใช้ในพืชไร่ มีการใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทยเพิ่มขึ้นเป็นลำดับอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ.2519 (World Health

Organization, 1984) และติดอันดับ 10 อันดับแรกของปริมาณสารออกฤทธิ์ (active ingredient) ที่นำเข้าระหว่างปี 2536-2541 (บุญส่ง, 2540 และ 2541) ภูมิภาคและคณะ (2542) ศึกษาการแพร่กระจายของวัตถุพิษในน้ำบริเวณลุ่มน้ำแม่กลองและคลองแยกตลอดทั้งสาย ซึ่งไหลผ่านพื้นที่เกษตรกรรม 3 จังหวัด คือ สมุทรสาคร, ราชบุรี และกาญจนบุรี ซึ่งเป็นแหล่งปลูกข้าว พืชไร่ พืชผัก และผลไม้ พบที่มีการปนเปื้อนของสารเอ็นโดซัลแฟน และอนุพันธ์ (related derivatives) ปริมาณสูงกว่าสารพิษชนิดอื่นในกลุ่มออร์แกนโนคลอรีนที่ทำการวิเคราะห์ ในจังหวัดสมุทรสาคร และราชบุรี นอกจากนี้ ภูมิภาคและคณะ (2535) ทำการวิจัยชนิดและปริมาณสารพิษตกค้างในดิน น้ำ และตะกอน บริเวณแหล่งปลูกผักกาดขาวในเขตจังหวัดนนทบุรี, ปราชินบุรี, กาญจนบุรี, อุทัย, แพร่, เพชรบูรณ์ และศรีสะเกษ พบว่ามีเอ็นโดซัลแฟนในดิน

เกษตรกรมีสารพิษตกค้างมากชนิดและสูงกว่าในน้ำ และพบในตะกอนดินน้อยมาก นอกจากนี้ กลุ่มงานวิจัยผลกระทบการใช้วัตถุมีพิษการเกษตร กองวัตถุมีพิษการเกษตร (2544) ทำการศึกษาการปนเปื้อนของสารพิษการเกษตรในแม่น้ำป่าสัก, ห้วยน้ำอูน ในเขตจังหวัดสกลนคร, แม่น้ำสงคราม ในเขตจังหวัดนครพนม และลุ่มน้ำปากพนัง ในเขตจังหวัดนครศรีธรรมราช (ศิวารณ์ และคณะ, 2544) พบการตกค้างของเอ็นโดซัลแฟนในน้ำและตะกอนดินเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าปัจจุบันสารเอ็นโดซัลแฟนถูกใช้กำจัดศัตรูพืชอย่างแพร่หลายในเขตเกษตรกรรมและมีการตกค้างในสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย ยิ่งไปกว่านั้นพบว่าการตกค้างของเอ็นโดซัลแฟนในพืชผักชนิดต่างๆ ที่ผู้บริโภคนิยมรับประทาน ซึ่งกองวัตถุมีพิษการเกษตร (2543) ทำการสำรวจและสุ่มเก็บตัวอย่างผักกาดขาวจำนวน 28 ตัวอย่าง จากแหล่งเพาะปลูกและแหล่งจำหน่ายทั่วประเทศ มาวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารพิษตกค้างชนิดต่างๆ โดยการสกัดวิธีรวม (Multiresidue analysis) พบว่า 21.4% ของตัวอย่างทั้งหมดมีสารพิษตกค้างเอ็นโดซัลแฟน (endosulfan), เฟนวาเลอเรท (fenvalerate), ไดอะซีนอน (diazinon), คลอร์ไพริฟอส (chlorpyrifos) และไซเพอร์มีทริน (cypermethrin) และกองแผนงานและวิชาการเกษตร (2540) กล่าวถึงงานวิจัยชนิดและปริมาณสารพิษตกค้างในพืชผักตระกูลกะหล่ำที่ทำการสำรวจและเก็บตัวอย่าง ได้แก่ คะน้า, กะหล่ำดอก, กะหล่ำปลี และผักกาดขาว รวมทั้งสิ้น 120 ตัวอย่าง จากแหล่งปลูกและแหล่งจำหน่ายทั่วประเทศ ปรากฏว่า 32% ของตัวอย่างผักทั้งหมดที่เก็บมาวิเคราะห์มีสารพิษกลุ่มออร์แกนโนคลอรีนตกค้าง

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาเฉพาะสารเอ็นโดซัลแฟน 2 ไอโซเมอร์ 1 อนุพันธ์ ได้แก่ อัลฟาเอ็นโดซัลแฟน เบต้าเอ็นโดซัลแฟน และเอ็นโดซัลแฟนซัลเฟต ตามลำดับ โดยทำการปลูกผักกาดขาวซึ่งเป็นผักเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ทั้งใช้เป็นอาหารประจำวันและส่งจำหน่ายต่างประเทศ (ไจน, 2542) และใช้สารกำจัดแมลงเอ็นโดซัลแฟนในการฉีดพ่นที่ระดับความเข้มข้นตามคำแนะนำ โดยทิ้งช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยวไว้ 5 วันหลังจากการฉีดพ่นครั้งสุดท้าย ซึ่งจากการสำรวจกลุ่มตัวอย่าง

เกษตรกรผู้ปลูกกะหล่ำปลีใน อ.บ้านแท่น จ.ชัยภูมิ พบว่าเกษตรกรจะทิ้งช่วงระยะเวลาอย่างน้อยที่สุด 3 วัน และทิ้งช่วงระยะเวลามากที่สุด 7 วันขึ้นไป คิดเป็นค่าเฉลี่ย 4 วัน (สายันต์, 2542) ซึ่งหากมีการตกค้างของสารพิษในผลผลิตทางการเกษตรเพื่อการบริโภคเกินค่ามาตรฐานย่อมก่อให้เกิดผลเสียโดยตรงต่อสุขภาพของผู้บริโภค ทำให้เกิดการตกค้างของสารพิษ และเกิดมลภาวะต่อสภาวะแวดล้อมอีกด้วย (สมชาย และคณะ, 2539) จึงทำการศึกษาต่อไปในการลดปริมาณเอ็นโดซัลแฟนที่ตกค้างอยู่ในผักกาดขาวในปริมาณที่เกินค่าปริมาณสูงสุดของสารพิษตกค้าง (Maximum Residue Limit หรือ MRL) ของ Codex เท่ากับ 2.0 มก./กก. (กรมวิชาการเกษตร, 2539) โดยใช้ น้ำที่ละลายด้วยไอโซนที่อุณหภูมิ 5°C เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำ ไอโซนและออกซิเจนละลายน้ำได้นานกว่าที่อุณหภูมิสูง แทนการล้างผักวิธีต่างๆ ของกองวัตถุมีพิษการเกษตร (2543) ได้แก่ การล้างน้ำไหล การแช่น้ำ และการล้างโดยเติมสารเคมีชนิดต่างๆ ลงไปในน้ำล้างผัก

### วิธีการและขั้นตอนการศึกษา

#### การวางแผนการทดลอง

ทำการปลูกผักกาดขาวในแปลงทดลองแล้วฉีดพ่นสารกำจัดแมลงเอ็นโดซัลแฟนในอัตราความเข้มข้นตามคำแนะนำ จากนั้นนำมาผ่านกรรมวิธีการลดปริมาณสารเอ็นโดซัลแฟนตกค้าง โดยวางแผนการทดลองทางสถิติแบบ RCB 10 กรรมวิธี 3 ซ้ำ ดังนี้ ไม่ทำการล้างผักกาดขาว, ทำการล้างผักกาดขาวด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 30°C, ทำการลดปริมาณสารเอ็นโดซัลแฟนตกค้างโดยใช้ น้ำที่ละลายด้วยไอโซนล้างผักกาดขาวที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 นาที ที่อุณหภูมิ 5°C โดยใช้เครื่องกำเนิดไอโซนรุ่น OZ 180 ผลิตโดยบริษัท ไบรท์โซน 2000 จำกัด ซึ่งสามารถผลิตไอโซนได้ 193.355 มก./ลิตรใน 1 ชั่วโมง ตรวจวิเคราะห์ปริมาณไอโซนที่ละลายน้ำตามวิธีของ วรากรณ์ (2540) โดยใช้วิธีสเปกโตรโฟโตเมตริก (Spectrophotometric method) โดยตรวจวัดหาปริมาณไตรไอโอด์ไอออน (triiodide ion) ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างไอโซนกับโปแตสเซียม

ไอโอดีน (potassium iodide) ด้วยการปล่อยไอโซนเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารละลายไปแทสเซียมไอโอดีน ปริมาตร 1 ลิตร เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณไอโซนด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร

**การปลูกผักกาดขาว** ทำการปลูกผักกาดขาว โดยปลูกในถุงพลาสติกดำขนาด 5×7 นิ้ว

**การฉีดพ่นสาร** เอ็นโดซัลแฟน ยี่ห้อเบเนฟิต 35 (Benefit 35) ชื่อสามัญคือ เอ็นโดซัลแฟน (endosulfan) ทำการฉีดพ่นในอัตราความเข้มข้นตามคำแนะนำข้างฉลาก 40 มล./น้ำ 20 ลิตร และทำการเก็บเกี่ยวหลังจากฉีดพ่นครั้งสุดท้าย 5 วัน และเวลาในการฉีดพ่นสารทุกครั้งคือเวลา 16.00 น.

**การสกัดและการตรวจวิเคราะห์สารพิษตกค้าง** ดัดแปลงตามวิธีของ McLeod and Graham (นิตยา และ รัตนา, 2541) โดยใช้เอซีโตน 150 มล. ผสมกับตัวอย่าง 50 กรัมที่หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วปั่นด้วยเครื่องปั่น จากนั้นกรองผ่านกรวยกรองซึ่งรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นนำมาผ่านชั้นตอนลิควิด-ลิควิดพาร์ติชัน (liquid-liquid partition) โดยเติมสารละลายไดคลอโรมีเทนต่อเฮกเซน สัดส่วน 1:1 ปริมาตร 100 มล. และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่อิ่มตัว 10 มล. เขย่าให้เข้ากันประมาณ 3 นาที แล้วปล่อยให้แยกชั้น เก็บชั้นของตัวทำละลาย โดยผ่านโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัสลงในขวดแก้วกันกลม ทำการสกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง โดยใช้สารละลายไดคลอโรมีเทน ครั้งละ 50 มล. เขย่าให้เข้ากันประมาณ 3 นาที แล้วปล่อยให้แยกชั้น เก็บชั้นของตัวทำละลายเช่นเดิม นำสารละลายในขวดกันกลมไปลดปริมาณด้วยเครื่องระเหยสูญญากาศ และปรับปริมาตรโดยใช้เฮกเซนให้ได้แน่นอน 5 มล. หลังจากนั้นทำการกำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการออก (clean up) โดยใช้ 6% ไดเอทิลอีเธอร์ในปิโตรเลียมอีเธอร์ และ 15% ไดเอทิลอีเธอร์ในปิโตรเลียมอีเธอร์ ตัวอย่างละ 100 มล. ผ่านโครมาโทกราฟีคอลัมน์ (chromatographic column) ที่บรรจุด้วยโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส และฟลอริซิล หนัก 8.5 กรัม และ 10 กรัม ตามลำดับ โดยใช้อัตราการไหล 20 หยด/นาที เก็บส่วนที่ถูกชะ (effluent) ในขวดกันกลม แล้วนำไประเหยจนเกือบแห้งที่อุณหภูมิ

40°C ด้วยเครื่องระเหยสูญญากาศปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยเฮกเซน ในขวดไวแอล 2 มล. จากนั้นนำสารสกัดตัวอย่างที่สกัดได้มาตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของเอ็นโดซัลแฟนด้วยเครื่องตรวจวิเคราะห์ชนิดแก๊สลิควิดโครมาโทกราฟีชื่อ Chrompack รุ่น CP 9001 คอลัมน์ชนิด WCOT fused silica รุ่น cp-sil-5 CB ชนิดแคปิลลารี ยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มม. ติดตั้งหัวตรวจแบบอิเล็กตรอนแคปเจอร์ (Electron Capture Detector, ECD) ปรับสภาวะขณะทำงานที่เหมาะสม ดังนี้ ส่วนฉีดตัวอย่าง (injection port) 250°C อุณหภูมิคอลัมน์ (column) 230°C และหัวตรวจวัด (detector) 280°C แก๊สไนโตรเจนเป็นก๊าซพา (carrier gas) อัตราเร็ว 40 มล./นาที (ml/min) ความดันของคอลัมน์ (column pressure) 30 กิโลพาสคัล (kPa) และฉีดตัวอย่างครั้งละ 1.0 ไมโครลิตร (μl)

**การตรวจวิเคราะห์ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen)** ทำการตรวจวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำล้างผักหลังจากการล้างผักในแต่ละกรรมวิธีรวม 9 กรรมวิธี 3 ซ้ำ โดยวิธีไตเตชัน (titration) (APHA, AWWA and WEF, 1992)

### ผลการทดลอง

ผลการทดลอง นำเสนอจัด Table 1 และ Table 2

### สรุปผลการทดลอง

1. การเอาสารกลับคืน (recovery) เพื่อหาประสิทธิภาพของการสกัดสารพิษตกค้าง พบว่าร้อยละการเอาสารกลับคืนของอัลฟาเอ็นโดซัลแฟนที่ระดับความเข้มข้น 2.0 มก./กก. เบต้าเอ็นโดซัลแฟนที่ระดับความเข้มข้น 2.0 มก./กก. และเอ็นโดซัลแฟนซัลเฟตที่ระดับความเข้มข้น 0.2 มก./กก. มีค่า 97.07%, 92.70% และ 90.62% ตามลำดับ และผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารที่ตรวจสอบเป็นระดับต่ำสุดที่สามารถตรวจสอบได้ (Limit of Quantification: LOQ) ของอัลฟาเอ็นโดซัลแฟน, เบต้าเอ็นโดซัลแฟน และเอ็นโดซัลแฟนซัลเฟต มีค่าเท่ากับ 0.067,

**Table 1. Amount of endosulfan residues (mg/l) in Chinese cabbage after cleaning with dissolved ozone in water.**

Treatments	Amount of Endosulfan residues (mg/l)				Percent reduction of total endosulfan
	Alpha endosulfan**	beta endosulfan *	Endosulfan sulfate **	total endosulfan **	
1. Control (no clean)	1.643 b	1.702 c	1.534 b	4.879 d	0
2. Cleaned with distilled water	1.586 b	1.338 bc	0.274 a	3.199 c	34.43
3. Cleaned with dissolved ozone in water 5 min	1.419 b	1.405 bc	0.282 a	3.105 bc	36.35
4. Cleaned with dissolved ozone in water 10 min	1.393 b	1.093 abc	0.176 a	2.662 bc	45.45
5. Cleaned with dissolved ozone in water 15 min	1.649 b	0.714 ab	0.152 a	2.515 abc	48.45
6. Cleaned with dissolved ozone in water 20 min	1.420 b	0.764 ab	0.102 a	2.286 abc	53.15
7. Cleaned with dissolved ozone in water 25 min	0.834 a	0.395 a	0.141 a	1.370 a	71.93
8. Cleaned with dissolved ozone in water 30 min	0.822 a	0.371 a	0.135 a	1.328 a	72.78
9. Cleaned with dissolved ozone in water 35 min	1.557 b	0.358 a	ND	1.915 ab	60.74
10. Cleaned with dissolved ozone in water 40 min	1.257 b	0.677 ab	ND	1.934 abc	60.36
Mean	1.358	0.882	0.350	2.519	-
C.V. (%)	17.8	54.3	27.1	26.2	-

Comparisons between treatments within each column are significantly different (Duncan's New Multiple Range Test (DMRT),  $P>0.05$ ), if marked with different small letters.

\* All treatments are significantly different at  $P>0.05$

\*\* All treatments are significantly different at  $P>0.01$

**Table 2. Dissolved oxygen level (mg/l) after cleaning Chinese cabbage with dissolved ozone in water.**

Treatments	Dissolved Oxygen level** (mg/l)
1. Cleaned with distilled water	6.99 a
2. Cleaned with dissolved ozone in water 5 min	10.47 b
3. Cleaned with dissolved ozone in water 10 min	10.68 b
4. Cleaned with dissolved ozone in water 15 min	10.80 b
5. Cleaned with dissolved ozone in water 20 min	11.27 c
6. Cleaned with dissolved ozone in water 25 min	11.45 c
7. Cleaned with dissolved ozone in water 30 min	11.58 c
8. Cleaned with dissolved ozone in water 35 min	11.38 c
9. Cleaned with dissolved ozone in water 40 min	11.35 c
Mean	10.66
C.V. (%)	2.4

Comparisons between treatments are significantly different (DMRT,  $P>0.05$ ), if marked with different small letters.

\*\* All treatments are significantly different at  $P>0.01$

0.034 และ 0.100 มก./กก. ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าปริมาณสารพิษตกค้างที่ตรวจวิเคราะห์ได้ในตัวอย่างผักกาดขาวของงานวิจัยนี้ทั้งหมด

2. ในการลดปริมาณเอ็นโดซัลแฟนที่ตกค้างออกจากผักกาดขาวที่เกินกว่าค่าปริมาณสูงสุดของสารพิษตกค้าง โดยใช้ น้ำที่ละลายด้วยโอโซน 4 ลิตร ที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 นาที ที่อุณหภูมิ 5°C พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอ็นโดซัลแฟนรวมที่ตกค้างในผักกาดขาว และเวลาในการล้างผักกาดขาวโดยใช้น้ำที่ละลายด้วยโอโซน ตามสมการเส้นตรง  $y = -0.0742x + 3.5101$  ที่สัมพันธ์การตัดสินใจ ( $r^2 = 0.93$ ) เมื่อ  $y$  คือ ปริมาณสารพิษเอ็นโดซัลแฟนที่ตกค้างในผักกาดขาว (มก./กก.) และ  $x$  คือ เวลาในการล้างผักกาดขาวโดยใช้น้ำที่ละลายด้วยโอโซน (นาที) และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการล้างผักกาดขาวที่เวลา 25 และ 30 นาที พบว่าการล้างผักกาดขาวที่เวลา 25 นาทีนั้นใช้เวลาที่น้อยกว่าและร้อยละการลดลงของเอ็นโดซัลแฟนรวมไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่าการล้างผักกาดขาวโดยใช้น้ำที่ละลายด้วยโอโซนเป็นเวลา 25 นาที มีประสิทธิภาพสูงเหมาะสมสำหรับการลดปริมาณสารพิษตกค้างเอ็นโดซัลแฟน กล่าวคือ สามารถลดปริมาณสารพิษตกค้างออกจากผักกาดขาวได้ถึง 71.93% ของปริมาณเอ็นโดซัลแฟนตกค้างตั้งต้น

3. เมื่อเปิดเครื่องกำเนิดโอโซนตลอดเวลาการล้างผักกาดขาวนั้น ทำให้ปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งออกซิเจนที่ละลายในน้ำอิ่มตัว โดยปกติค่าการละลายน้ำของออกซิเจนสูงสุดในน้ำบริสุทธิ์ที่ปราศจากคลอไรด์ที่อุณหภูมิ 5°C จะเท่ากับ 12.80 มก./ลิตร (Peavy et al., 1985) แต่เนื่องจากปฏิกิริยาของโอโซนกับเอ็นโดซัลแฟนซึ่งเป็นสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์แกนโนคลอรีน ทำให้น้ำล้างผักในขณะเกิดปฏิกิริยานั้นไม่บริสุทธิ์ และอาจเกิดการปนเปื้อนของคลอไรด์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาได้ ดังนั้นจึงทำให้ค่าการละลายน้ำของออกซิเจนของการวิจัยนี้ต่ำกว่าค่าการละลายน้ำของออกซิเจนสูงสุดในน้ำบริสุทธิ์ที่ปราศจากคลอไรด์ที่อุณหภูมิ 5°C

### ข้อเสนอแนะ

1. สำหรับผู้บริโภคซึ่งล้างผักโดยใช้น้ำที่ละลายด้วยโอโซน ควรจะคลี่ใบผักให้แผ่กว้าง และจัดตำแหน่งการวางใบผักในภาชนะล้าง ให้ผักมีโอกาสสัมผัสกับฟองแก๊สโอโซนมากที่สุดจะทำให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารพิษตกค้างเพิ่มขึ้น

2. ในการล้างผักโดยใช้น้ำที่ละลายด้วยโอโซน เมื่อเวลาของการล้างผักเพิ่มขึ้น น้ำที่ละลายด้วยโอโซนจะมีการปนเปื้อนจากสารพิษตกค้าง ทำให้ความบริสุทธิ์ของน้ำที่ล้างต่ำลงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารพิษตกค้างลดลง ดังนั้นในการล้างผักแต่ละครั้ง ผู้บริโภคจึงควรเปลี่ยนน้ำที่ล้างให้บ่อยครั้งยิ่งขึ้น

3. การลดปริมาณสารพิษตกค้างที่อุณหภูมิต่ำจะมีประสิทธิภาพในการลดสารตกค้างเพิ่มขึ้น ซึ่งผู้บริโภคสามารถนำไปประยุกต์กับการล้างผักและผลไม้ ด้วยวิธีอื่นๆ เช่น การล้างผ่านน้ำเย็น และการแช่ล้างด้วยน้ำเย็น เป็นต้น

### เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2539. หลักและวิธีการผลิตผักอนามัย. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- กลุ่มงานวิจัยผลกระทบการใช้วัตถุมีพิษการเกษตร กองวัตถุมีพิษการเกษตร. 2544. ผลกระทบจากการใช้วัตถุมีพิษการเกษตร: <http://www.disc.doa.go.th/service/service2.html>. [1 มกราคม 2544].
- กองแผนงานและวิชาการเกษตร. 2540. งานวิจัยและพัฒนาด้านวัตถุมีพิษการเกษตร ในปี พ.ศ. 2539-2540. รายงานการประชุมวิชาการ กรมวิชาการเกษตร ประจำปี 2540.
- กองวัตถุมีพิษการเกษตร. 2543. ก้าวสู่สหสวรรค์ใหม่ กองวัตถุมีพิษการเกษตร. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์พิมพ์ บลิซซิ่ง.
- ไฉน ยอดเพชร. 2542. พืชผักในตระกูลครุฑชิเฟอร์. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ลินคอล์น.
- ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ. 2527. ยาฆ่าแมลง. กรุงเทพฯ: ชมรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน.

- นิตยา วีระกุล และรัตนา ลิตะยัง. 2541. การลดปริมาณสารพิษตกค้างของมาลาไรโออบนบ่อน้ำด้วยวิธีการล้าง. ข่าวสารวิศวกรรม. 25(4): 131-151.
- บุญส่ง หุตงคบดี. 2540. สถิติการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตรทางด้านตรวจพืชและวัสดุการเกษตรท่าเรือกรุงเทพ. (อัดสำเนา)
- บุญส่ง หุตงคบดี. 2541. สถิติการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตรทางด้านตรวจพืชและวัสดุการเกษตรท่าเรือกรุงเทพ. (อัดสำเนา)
- ภิญญา จำรัสกุล และ นवलศรี ทยาพัชร. 2535. วิจัยชนิดและปริมาณสารพิษตกค้างในดิน น้ำ ตะกอน บริเวณแหล่งปลูกผักอนามัย. ข่าวสารวิศวกรรม. 21(3): 105-116.
- ภิญญา จำรัสกุล, ศิวาภรณ์ สกกุลเที่ยงตรง, พงศ์ศรี ไบอดุลย์ และพูลสุข หฤทัยธนาสันต์. 2542. การแพร่กระจายของวัตถุพิษในน้ำและดินตะกอนบริเวณลุ่มน้ำแม่กลองและคลองแยก. ข่าวสารวิศวกรรม. 26(2): 43-56.
- วรภรณ์ กัลยาเลิศ. 2540. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยไอโซน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ศิวาภรณ์ สกกุลเที่ยงตรง, พงศ์ศรี ไบอดุลย์ และ พูลสุข หฤทัยธนาสันต์. 2544. Monitoring of Agricultural Toxic Substances in Water and Sediment samples from the Pakpanang River Basin.: [http://www.fda.moph.go.th/fda-net/html/chemical/News\\_ipcs6-1/abstract.html](http://www.fda.moph.go.th/fda-net/html/chemical/News_ipcs6-1/abstract.html). [1 มกราคม 2544].
- สมชาย องค์กรประเสริฐ, บุญเลิศ คุ่มนง และ ปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร. 2539. การสำรวจการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรทำขาย. ใน การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 2 ของสถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้, หน้า 11-119. รวบรวมโดย สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้.
- สายันต์ จินตามาศย์. 2542. ปริมาณสารเอ็นโดซัลแฟนตกค้างในกะหล่ำปลี กรณีศึกษา อำเภอบ้านแท่น จังหวัดชัยภูมิ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- APHA, AWWA and WEF. 1992. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 19<sup>th</sup> ed. American Public Health Association, Washington D.C.
- Peavy, H.S., Rowe, D.R. and Tchobanoglous, G., 1985. Environmental engineering. Singapore McGraw-Hill Book Singapore.
- World Health Organization. 1984. Endosulfan - Environmental health criteria 40, Geneva.