ประสิทธิภาพของโอโซนในการลดปริมาณสารพิษตกค้างกลุ่ม ออร์แกนโนคลอรีนบางชนิดในผักกาดขาว และผลของโอโซนต่อ วิตามิน และธาตุอาหารพืช

The Efficiency of Ozone to Reduce some Organochlorine Residues and Effect of Ozone to Vitamin and Plant Nutrition in White Chinese Cabbage

ยุทธชัย อนุรักติพันธุ์ [1] บัณฑิต อนุรักษ์[2] โรจน์ คุณเอนก[2] วัฒน์สิทธิ์ ศิริวงศ์ [2]และ สุวินัย มงคลธารณ์[2]
Yuttachai Anuluxtipun[1], Bundit Anu-rugsa[2], Roj Khun-anake[2], Wattasit Siriwong[2] , and Suwinai Mongkonthan[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของโอโซนในการลดปริมาณสารพิษตกค้างกลุ่มออร์แกนโนคลอรีน คือ เอ็นโดซัลแฟน และคลอร์เดน ในผักกาดขาว ตลอดจนศึกษาผลของโอโซนต่อ วิตามิน และธาตุอาหารพืช การวิจัยนี้ประกอบด้วย 7 การทดลอง ซึ่งดำเนินการทดลองที่มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์(ศูนย์รังสิต) ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2542 - ตุลาคม 2543 ผลการวิจัยพบว่า การใช้อัตราการฉีดพ่นสารเอ็นโดซัลแฟน และคลอร์เดน ตามคำแนะนำ ในการฉีดพ่นผักกาดขาวและเว้นระยะก่อนเก็บเกี่ยว 5 วัน และ 3 วัน ตามลำดับนั้น สารเอ็นโดซัลแฟน และคลอร์เดน ที่ตกค้างยังคงอยู่ในปริมาณที่สูงกว่าค่าปริมาณสูงสุดของสารพิษตกค้าง (Maximum Residue Limit: MRL) ของ Codex และ European Union (EU) เท่ากับ 2.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อนำผักกาดขาวที่ปนเปื้อนด้วยสารพิษทั้งสองชนิดนี้มาลดปริมาณสารพิษตกค้าง ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าควรจะเลือกใช้วิธีการล้างเอ็นโดซัลแฟน และคลอร์เดน ที่ตกค้างในผักกาดขาวด้วยโอโซนที่เวลา 25 นาที และ เวลามากกว่า 40 นาที ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า ค่าครึ่งชีวิต (Half life) ของคลอร์เดนเท่ากับ 12 ชั่วโมง ส่วนผลการศึกษาผลข้างเคียงของโอโซนต่อวิตามินซีและเบต้า-แคโรทีน พบว่า การใช้โอโซนในการล้างผักกาดขาวนั้นทำให้ปริมาณของวิตามินซีและเบต้า-แคโรทีน ลดลงไปเพียงระดับหนึ่งคิดเป็นร้อยละ 3.85 และ 16.63 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามธาตุอาหารพืชที่สำคัญต่อผู้บริโภค ได้แก่ ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โซเดียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม และ คลอรีน ก็มิได้สูญเสียไปจากการล้างผักกาดขาวด้วยโอโซน

ABSTRACT

In this research, we aim to understand the efficiency of Ozone to reduce some organochlorine residues (endosulfan and chlordane) and effect of ozone to vitamin and plant nutrition in White Chinese Cabbage. This research composes of 7 minor experiments, which proceed at Thammasat University (Rangsit campus) since October 1999 – October 2000. According to the result of the research, to spray the Chinese Cabbage with endosulfan and chlordane (recommend dose) before harvesting for 5 and 3 days respectively. We found both residues are over the Maximum Residues Limited (MRL) of Codex and European Union (EU) 2.0 mg/kg. When we took this contaminated White Chinese Cabbage to be reduced with ozone at 5 degree in Celsius, we found the best time to reduce

1 กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม, กรมพัฒนาที่ดิน
Soil Salinity Research Section, Land Development Department
2 ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Environmetal Sciene Department, Thammasat University

endosulfan residues at 25 minutes and more than 40 minutes for chlordane residues. Furthermore, we found half-life of chlordane equal 12 hours. Besides that the side effect of ozone with vitamin C and β-carotene were decreased only 3.85 and 16.63 percents respectively. However, essential plant nutritions specifically nitrogen, phosphorus, sodium, calcium, magnesium and chlorine, these would not be lost through cleaning with ozone.

คำนำ

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมประชาชนประมาณร้อยละ 60 มีอาชีพหลักในการทำเกษตรกรรมและการเพาะปลูก ทั้งในระดับเกษตรกรรายย่อยและเกษตรอุตสาหกรรม นอกจากนี้มีการส่งสินค้าออกโดยมูลค่าส่วนใหญ่ล้วนแต่เป็นสินค้าที่มาจากผลผลิตทางการเกษตรเกือบทั้งสิ้น ดังนั้น สิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร นั่นคือการป้องกันกำจัดศัตรูพืช สารกำจัดศัตรูพืช (Pesticide) ซึ่งใช้ในประเทศไทยได้แก่ สารกำจัดแมลง สารกำจัดวัชพืช สารป้องกันและกำจัดโรคพืช และอื่นๆ ส่วนใหญ่แล้วจะนำเข้าจากต่างประเทศ ทั้งที่อยู่ในรูป ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป (Finished product) และผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์สูง (technical grade) ซึ่งต้องนำมาผสมปรุงแต่งใหม่ให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้ภายในประเทศ (สุภาณี, 2537) ซึ่งแนวโน้มการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืชเพิ่มขึ้นโดยตลอด (ไพฑูรย์ และคณะ, 2536) ทั้งนี้แม้สภาพทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยจะแปรเปลี่ยนไปอย่างมาก

ในงานวิจัยชิ้นนี้จะทำการศึกษาเฉพาะสารกำจัดแมลงในกลุ่มออร์แกนโนคลอรีน คือ เอ็นโดซัลแฟน (Endosulfan) 2 อนุพันธ์ คือ อัลฟ่า-เอ็นโดซัลแฟน (α-endosulfan) และ เบต้า-เอ็นโดซัลแฟน (β-endosulfan) และ คลอร์เดน (Chlordane) 2 อนุพันธ์ คือ แกมม่า-คลอร์เดน (γ-Chlordane) และแอลฟ่า-คลอร์เดน (α-Chlordane) เนื่องจากการยังมีการนำเข้าในประเทศไทยทั้งสองชนิดนี้ และตกค้างคงทนในสิ่งแวดล้อมในปริมาณสูงกว่าสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มอื่น ๆ ผู้ศึกษาจึงสนใจที่จะศึกษาว่า หากเกษตรกรทำการปลูกผักกาดขาวและใช้สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์แกนโนคลอรีนในปริมาณที่เกินคำแนะนำแล้ว เกษตรกรควรจะใช้ปริมาณที่เกินคำแนะนำได้มากที่สุดเท่าใด ผักกาดขาวจึงจะมีสารพิษกลุ่มออร์แกนโนคลอรีนตกค้างอยู่ในระดับที่ผู้บริโภคสามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัย ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้บริโภค นอกจากนั้นผู้ศึกษาจะทำการทดสอบว่า ถ้าหากผักกาดขาวที่เกษตรกรฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชเกินคำแนะนำไปมากๆ จนทำให้ผักกาดขาวมีสารพิษกลุ่มออร์แกนโนคลอรีนตกค้างอยู่ในปริมาณที่เกินค่ามาตรฐานความปลอดภัย หากใช้โอโซนล้างผักกาดขาวแล้ว โอโซนสามารถลดปริมาณสารพิษกลุ่มออร์แกนโนคลอรีน ออกจากผักกาดขาวได้จนอยู่ในระดับที่ผู้บริโภคได้อย่างปลอดภัย ก็จะเป็นประโยชน์แก่ผู้บริโภคเป็นอย่างยิ่ง ทำให้ผู้บริโภคมั่นใจได้ว่า ถ้าใช้โอโซนในการล้างผักกาดขาวแล้ว จะสามารถลดปริมาณสารพิษเอ็นโดซัลแฟนและคลอร์เดนจนอยู่ในระดับที่บริโภคได้อย่างปลอดภัย นอกจากนี้ยังศึกษาผลข้างเคียงของโอโซนต่อ วิตามิน และธาตุอาหารพืชอีกด้วย

วิธีการและขั้นตอนการศึกษา

สถานที่(พื้นที่ศึกษา) โรงเรือนเพาะชำและห้องปฏิบัติการพิษวิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) ทำการปลูกผักกาดขาว โดยปลูกในถุง

ได้รับการสนับสนุนจาก บริษัทไบร์ท เอ็นเทค มาร์เก็ตติ้ง จำกัด

พลาสติกดำขนาด 5 x 7 สำหรับดินที่ใช้ในการเพาะปลูกครั้งนี้จะใช้ดินชนิดเดียวกันตลอดการทดลอง และผสมปุ๋ยคอกลงไป ในอัตราส่วน 4ต่อ 1

การฉีดพ่นสาร เอ็นโดซัลแฟน ยี่ห้อเบเนฟิต 35 (Benefit 35) ชื่อสามัญ คือ เอ็นโดซัลแฟน (endosulfan) ทำการฉีดพ่นในอัตราความเข้มข้นต่างๆ และทำการเก็บเกี่ยวหลังจากฉีดพ่นครั้งสุดท้าย 5 วัน ส่วนคลอร์เดน ยี่ห้อ คลอร์ไรด์ ทำการฉีดพ่นในอัตราความเข้มข้นต่างๆ และทำการเก็บเกี่ยวหลังจากฉีดพ่นครั้งสุดท้าย 3 วัน และเวลาในการฉีดพ่นสารทุกครั้งคือ เวลา 16.00 น.

การสกัดสารพิษตกค้าง ใช้วิธี Multiresidue Method (นิตยาและคณะ, 2541)

การวิเคราะห์ปริมาณสารพิษตกค้าง ใช้เครื่องตรวจวิเคราะห์ชนิด Gas-Liquid Chromatograph (GLC) ยี่ห้อ Chrompack รุ่น CP 9001ชนิดติดตั้งหัวตรวจ (detector) แบบ Electron Capture Detector(ECD)

วิธีการศึกษาและการทดลอง แบ่งเป็น 7 การทดลอง คือ

การทดลองที่ 1 ศึกษาปริมาณสารเอ็นโดซัลแฟนตกค้างหลังจากการฉีดพ่นที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์ (Randomize Complete Block Design (RCB)) ทำการฉีดพ่นเอ็นโดซัลแฟน การทดลองฉีดสารกำจัดศัตรูพืชเอ็นโดซัลแฟนนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 9 กรรมวิธี (treatment) กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ (replication) ซึ่งจะกำหนดปริมาณความเข้มข้นของสารพิษที่จะฉีดแตกต่างกันไป คือ อัตราตามคำแนะนำ, 140%, 180%, 200%, 220%, 240%, 260%, 280% และ 300% เท่าของอัตราแนะนำ ตามลำดับ

การทดลองที่ 2 ศึกษาการลดปริมาณสารพิษตกค้างเอ็นโดซัลแฟน จากผักกาดขาวโดยใช้โอโซน

ฉีดพ่นเอ็นโดซัลแฟน ในปริมาณที่ฉีดแล้วทำให้ผักกาดขาวมีสารพิษตกค้างเกินกว่าค่าปริมาณสูงสุดของสารพิษตกค้าง (MRL) (ซึ่งจะทราบได้จากการทดลองที่ 1 คือ การฉีดพ่นอัตราตามคำแนะนำต่อเนื่อง 3 สัปดาห์สุดท้ายก่อนทำการเก็บเกี่ยว และเว้นระยะก่อนเก็บเกี่ยว 5 วัน) จากนั้นนำมาล้างด้วยกรรมวิธีต่างๆ โดยวางแผนการทดลองทางสถิติแบบ RCB 3 ซ้ำ ซึ่งจะแบ่งการทดลองออกเป็น 10 กรรมวิธี คือ ไม่ทำการล้าง, แช่ล้างน้ำกลั่น 4 ลิตร 10 นาที และล้างน้ำที่ละลายด้วยโอโซน ซึ่งกำเนิดจากเครื่องกำเนิดโอโซน รุ่น OZ 180 ของบริษัทไบร์ท เอ็นเทค มาร์เก็ตติ้ง จำกัด ที่เวลา 5,10,15,20,25,30,35 และ 40 นาที ณ. อุณหภูมิคงที่ 5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

การทดลองที่ 3 ศึกษาปริมาณสารคลอร์เดนตกค้างหลังจากการฉีดพ่นที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ทำการปลูกผักกาดขาวในแปลงทดลอง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์ 5 ซ้ำ ทำการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์แกนโนคลอรีน คือ คลอร์เดน การทดลองฉีดสารกำจัดศัตรูพืชคลอร์เดน นี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 4 กรรมวิธี ดังต่อไปนี้ ผักกาดขาวที่ไม่มีการฉีดสารกำจัดศัตรูพืช, ผักกาดขาวที่ฉีดสารกำจัดศัตรูพืชในปริมาณตามคำแนะ,น้ำผักกาดขาวที่ฉีดสารกำจัดศัตรูพืชในปริมาณที่เกินคำแนะนำ 2 เท่า และ ผักกาดขาวที่ฉีดสารกำจัดศัตรูพืชในปริมาณที่เกินคำแนะนำ 3 เท่า

การทดลองที่ 4 การศึกษาการลดปริมาณสารพิษตกค้างคลอร์เดน จากผักกาดขาวโดยใช้โอโซน

ฉีดพ่นคลอร์เดนในปริมาณที่ฉีดแล้วทำให้ผักกาดขาวมีสารพิษตกค้างเกินกว่าค่าปริมาณสูงสุดของสารพิษตกค้าง (EU) (ซึ่งจะทราบได้จากการทดลองที่ 3 คือ การฉีดพ่นอัตราตามคำแนะนำต่อเนื่อง 3 สัปดาห์สุดท้ายก่อนทำการเก็บเกี่ยว และเว้นระยะก่อนเก็บเกี่ยว 3 วัน) จากนั้นนำมาล้างด้วยกรรมวิธีต่างๆ โดยวางแผนการทดลองทางสถิติแบบ RCB 3 ซ้ำ ซึ่งจะแบ่งการทดลองออกเป็น 10 กรรมวิธี คือ ไม่ทำการล้าง, แช่ล้างน้ำ

กลั่น 4 ลิตร 10 นาที และล้างน้ำที่ละลายด้วยโอโซน 5,10,15,20,25,30,35 และ 40 นาที ณ. อุณหภูมิคงที่ 5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

การทดลองที่ 5 การศึกษาการสลายตัวของสารพิษตกค้างคลอร์เดนในผักกาดขาว

ทำการปลูกผักกาดขาวในแปลงทดลอง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์ ทำการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์แกนโนคลอรีน คือ คลอร์เดน การทดลองฉีดสารกำจัดศัตรูพืชคลอร์เดน นี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 4 กรรมวิธี ดังต่อไปนี้ ผักกาดขาวที่ไม่มีการฉีดสารกำจัดศัตรูพืช, ผักกาดขาวที่ฉีดสารกำจัดศัตรูพืชในปริมาณตามคำแนะนำ, ผักกาดขาวที่ฉีดสารกำจัดศัตรูพืชในปริมาณที่เกินคำแนะนำ 2 เท่า และผักกาดขาวที่ฉีดสารกำจัดศัตรูพืชในปริมาณที่เกินคำแนะนำ 3 เท่า และทำการเก็บผักกาดขาวหลังการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชครั้งสุดท้าย 0, 0.5, 1, 3, 6, 10 และ 15 วัน ตามลำดับ

การทดลองที่ 6 ศึกษาผลของน้ำโอโซนต่อวิตามินซีและเบต้า-แคโรทีนในผักกาดขาว

ทำการทดสอบแบบ observation trial 3 ซ้ำ 2 กรรมวิธี โดยทำการสุ่มผักกาดขาวจากแปลงทดลองมา 2 ต้นจากผักกาดขาว 24 ต้น ใช้เป็นตัวแทนในการทดลองล้างผักกาดขาวด้วยน้ำโอโซน ทำการล้างผักกาดขาวด้วยโอโซน 30 นาที ณ. อุณหภูมิคงที่ 5 องศาเซลเซียส ทำการวิเคราะห์วิตามินซี (ก่อนและหลังล้าง) โดยใช้วิธีการไตเตรท (Titration method) และ วิเคราะห์เบต้า-แคโรทีน (ก่อนและหลังล้าง) โดยใช้วิธี High performance liquid chromatograph (HPLC)

การทดลองที่ 7 ศึกษาผลของน้ำโอโซนต่อปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน,ฟอสฟอรัส, โซเดียม, โพแทสเซียม,แคลเซียม,แมกนีเซียม และคลอรีน

ทำการทดสอบแบบ observation trial 3 ซ้ำ 2 กรรมวิธี โดยทำการสุ่มผักกาดขาวจากแปลงทดลองมา 2 ต้นจากผักกาดขาว 24 ต้น ใช้เป็นตัวแทนในการทดลองล้างผักกาดขาวด้วยน้ำโอโซน ทำการล้างผักกาดขาวด้วยโอโซน 30 นาที ณ.อุณหภูมิคงที่ 5 องศาเซลเซียส ทำการวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช (ก่อนและหลังล้าง) (กองวิเคราะห์ดิน, 2540) ได้แก่ ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โซเดียม, โพแทสเซียม,แคลเซียม, แมกนีเซียม และคลอรีน

ผล

การทดลองที่ 1 ศึกษาปริมาณสารเอ็นโดซัลแฟนตกค้างการหลังจากการฉีดพ่นที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ตารางที่ 1 ปริมาณสารเอ็นโดซัลแฟนตกค้างการหลังจากการฉีดพ่นที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ โดยกรรมวิธี 9 กรรมวิธี

กรรมวิธี (Treatments)	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารพิษตกค้าง (mg/kg)	
	แอลฟ่า-เอ็นโดซัลแฟน *	เบต้า-เอ็นโดซัลแฟน *
1. ฉีดพ่นสารตามคำแนะนำ	4.136	6.711
2. ฉีดพ่นสาร 140 % ของคำแนะนำ	7.586 ns	6.691 ns
3. ฉีดพ่นสาร 180 % ของคำแนะนำ	5.297 ns	9.835 ns
4. ฉีดพ่นสาร 200 % ของคำแนะนำ	7.546 ns	1.567 ns
5. ฉีดพ่นสาร 220 % ของคำแนะนำ	7.331 ns	7.320 ns
6. ฉีดพ่นสาร 240 % ของคำแนะนำ	10.527 *	10.526 ns
7. ฉีดพ่นสาร 260 % ของคำแนะนำ	14.384 **	19.201 *
8. ฉีดพ่นสาร 280 % ของคำแนะนำ	13.661 **	18.817 *
9. ฉีดพ่นสาร 300 % ของคำแนะนำ	12.848 *	14.781 ns
ค่าเฉลี่ย	9.257	10.605

* = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ 0.01

** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ 0.05

ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

การทดลองที่ 2 ศึกษาการลดปริมาณสารพิษตกค้างเอ็นโดซัลแฟน จากผักกาดขาวโดยใช้โอโซน

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอลฟ่า-เอ็นโดซัลแฟน เบต้า-เอ็นโดซัลแฟน และเอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟต (mg/kg) ที่ตกค้างในผักกาดขาว โดยกรรมวิธี 10 กรรมวิธี

กรรมวิธี (Treatments)	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารพิษตกค้าง (mg/kg)				ร้อยละการลดลงของเอ็นโดซัลแฟนรวม
	แอลฟ่า-เอ็นโดซัลแฟน *	เบต้า-เอ็นโดซัลแฟน *	เอ็นโดซัลแฟน-ซัลเฟต*	เอ็นโดซัลแฟนรวม	
1. ไม่ล้างผักกาดขาว	1.595 b	1.542c	1.422b	4.559	0
2. แช่ล้างผักกาดขาวด้วยน้ำกลั่น 10 นาที	1.540 b	1.213bc	0.254a	3.007	34.04
3. ล้างผักกาดขาวน้ำโอโซน 5 นาที	1.377 b	1.273bc	0.261a	2.911	36.14
4. ล้างผักกาดขาวน้ำโอโซน 10 นาที	1.352 b	0.990abc	0.163a	2.506	45.04
5. ล้างผักกาดขาวน้ำโอโซน 15 นาที	1.600 b	0.647ab	0.141a	2.389	47.60
6. ล้างผักกาดขาวน้ำโอโซน 20 นาที	1.378 b	0.693ab	0.094a	2.165	52.51
7. ล้างผักกาดขาวน้ำโอโซน 25 นาที	0.809 a	0.358a	0.131a	1.298	71.53
8. ล้างผักกาดขาวน้ำโอโซน 30 นาที	0.798 a	0.337a	0.125a	1.260	72.37
9. ล้างผักกาดขาวน้ำโอโซน 35 นาที	1.512 b	0.325a	ตรวจไม่พบ	1.836	59.72
10. ล้างผักกาดขาวน้ำโอโซน 40 นาที	1.221 b	0.613ab	ตรวจไม่พบ	1.834	59.77
ค่าเฉลี่ย	1.318	0.799	0.324	2.376	-
C.V. (%)	17.8	54.3	27.1	38.8	-

ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ 0.05 โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

การทดลองที่ 3 ศึกษาปริมาณสารคลอร์เดนตกค้างการหลังจากการฉีดพ่นที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ตารางที่ 3 ปริมาณสารเอ็นโดซัลแฟนตกค้างการหลังจากการฉีดพ่นที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

กรรมวิธี (Treatments)	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารพิษตกค้าง (mg/kg)	
	แกมมา-คลอร์เดน *	แอลฟ่า-คลอร์เดน *
1. ไม่มีการฉีดพ่น	0.153 a	0.139 a
2. ตามคำแนะนำ	8.188 b	8.454 b
3. สองเท่าของคำแนะนำ	13.794 c	14.440 c
4. สามเท่าของคำแนะนำ	24.780 d	24.278 d
ค่าเฉลี่ย	11.729	11.697
C.V. (%)	24.4	26.1

* ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ 0.05 โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

การทดลองที่ 4 การศึกษาการลดปริมาณสารพิษตกค้างคลอร์เดน จากผักกาดขาวโดยใช้โอโซน

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยปริมาณสารพิษตกค้าง แกมมา-คลอร์เดน และแอลฟ่า-คลอร์เดน (mg/kg) ที่ตกค้างในผักกาดขาว เนื่องจากการใช้กรรมวิธีต่างๆ

กรรมวิธี (Treatments)	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารพิษตกค้าง (mg/kg)			ร้อยละการลดลงของคลอร์เดนรวม
	แกมมา-คลอร์เดน *	แอลฟ่า-คลอร์เดน *	คลอร์เดนรวม	
1. ไม่ล้างผักกาดขาว	11.894 h	13.798 f	25.692	0
2.แช่ล้างผักกาดขาวด้วยน้ำกลั่น 10 นาที	10.592 g	13.798 f	24.537	4.49
3. ล้างผักกาดขาวน้ำโอโซน 5 นาที	9.549 f	12.327 ef	21.876	14.85
4. ล้างผักกาดขาวน้ำโอโซน 10 นาที	8.229 de	11.062 de	19.291	24.91
5. ล้างผักกาดขาวน้ำโอโซน 15 นาที	8.500 e	8.172 bc	16.672	35.11
6. ล้างผักกาดขาวน้ำโอโซน 20 นาที	7.722 d	8.552 c	16.231	36.83
7. ล้างผักกาดขาวน้ำโอโซน 25 นาที	6.845 c	9.107 cd	15.952	37.91
8. ล้างผักกาดขาวน้ำโอโซน 30 นาที	6.275 c	6.271 ab	12.545	51.17
9. ล้างผักกาดขาวน้ำโอโซน 35 นาที	5.073 b	5.168 a	10.241	60.14
10. ล้างผักกาดขาวน้ำโอโซน 40 นาที	3.906 a	5.569 a	9.475	63.12
ค่าเฉลี่ย	7.858	9.397	17.251	-
C.V. (%)	5.1	12.6	8.85	-

* ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ 0.05 โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

การทดลองที่ 5 การศึกษาการสลายตัวของสารพิษตกค้างคลอร์เดนในผักกาดขาว

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยของปริมาณสารตกค้าง (mg/kg) ของแกมมา-คลอร์เดนจากกรรมวิธีการฉีดพ่นต่างๆ (อัตราที่แนะนำ, สองเท่าของอัตราที่แนะนำ และ สามเท่าของอัตราที่แนะนำ)

ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว (วัน)	ปริมาณสารพิษตกค้างแกมมา-คลอร์เดน (mg/kg)		
	อัตราที่คำแนะนำ (Recommended dose)	สองเท่าของอัตราที่แนะนำ (Double dose)	สามเท่าของอัตราที่แนะนำ (Triple dose)
0	18.679	45.399	62.923
0.5	9.970	21.468	26.377
1	5.313	15.621	18.684
3	2.997	7.976	9.461
6	3.045	4.883	7.003
10	1.993	3.567	7.813
15	1.557	2.437	5.600

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยของปริมาณสารตกค้าง (mg/kg) ของแกมมา-คลอร์เดนจากกรรมวิธีการฉีดพ่นต่างๆ (อัตราที่แนะนำ, สองเท่าของอัตราที่แนะนำ และสามเท่าของอัตราที่แนะนำ)

ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว (วัน)	ปริมาณสารพิษตกค้างแอลฟ่า-คลอร์เดน (mg/kg)		
	อัตราที่แนะนำ (Recommended dose)	สองเท่าของอัตราที่แนะนำ (Double dose)	สามเท่าของอัตราที่แนะนำ (Triple dose)
0	15.973	37.506	50.673
0.5	9.153	19.726	23.032
1	5.061	14.175	15.000
3	2.884	7.824	8.901
6	3.128	5.048	7.539
10	2.173	3.664	7.443
15	1.590	2.821	4.600

การทดลองที่ 6 ศึกษาผลของน้ำโอโซนต่อวิตามินซีและเบต้า-แคโรทีนในผักกาดขาว

ตารางที่ 8 ผลของโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของวิตามินในผักกาดขาว (หน่วยต่อน้ำหนักผักกาดขาว 100 กรัม) โดยกรรมวิธีไม่ผ่านการล้างด้วยน้ำโอโซน กับผ่านการล้างด้วยน้ำโอโซน

วิตามิน	ปริมาณวิตามินก่อนล้างโอโซน	ปริมาณวิตามินหลังล้างโอโซน
วิตามินซี	30.64 mg/100 g ผักกาดขาว	29.46 mg/100 g ผักกาดขาว
เบต้า-แคโรทีน	603.19 μg/100 g ผักกาดขาว	502.86 μg /100 g ผักกาดขาว

การทดลองที่ 7 ศึกษาผลของน้ำโอโซนต่อปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน,ฟอสฟอรัส, โซเดียม,โพแทสเซียม, แคลเซียม,แมกนีเซียม และคลอรีน

ตารางที่ 9 ผลของโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแร่ธาตุในผักกาดขาว (มิลลิกรัมต่อน้ำหนักผักกาดขาว 100 กรัม) ที่ผ่านการล้างด้วยน้ำโอโซนและไม่ผ่านการล้างด้วยน้ำโอโซน

แร่ธาตุ	ค่าเฉลี่ยปริมาณแร่ธาตุในผักกาดขาว (mg)	
	ไม่ผ่านการล้างด้วยน้ำโอโซน	ผ่านการล้างด้วยน้ำโอโซน
ไนโตรเจน	4.620	4.619
ฟอสฟอรัส	0.274	0.296
โซเดียม	11.630	10.974
แคลเซียม	4.315	4.213
แมกนีเซียม	1.139	1.452
คลอรีน	0.045	0.039

ผล

การทดลองที่ 1 ศึกษาปริมาณสารเอ็นโดซัลแฟนตกค้างการหลังจากการฉีดพ่นที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

สมการทางคณิตศาสตร์ สำหรับการเปลี่ยนแปลงของแอลฟ่าเอ็นโดซัลแฟน คือ y=4.4253ln (x)+2.9624 มีค่า R^2=0.7268 และ การเปลี่ยนแปลงของเบต้าเอ็นโดซัลแฟน คือ y=5.1843ln(x)+3.231 มีค่า R^2=0.394 เมื่อ y แทนปริมาณสารพิษตกค้าง (ppm) และ x แทนอัตราการฉีดพ่น (เท่าของอัตราแนะนำ) สามารถใช้ในการทำนายแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นและลดลงหากใช้อัตราต่างๆในการฉีดพ่นสารเอ็นโดซัลแฟน (เบเนฟิต 35) และการใช้อัตราการฉีดพ่นสารเอ็นโดซัลแฟน (เบเนฟิต 35) ตามคำแนะนำ ในการฉีดพ่นผักกาดขาวต่อเนื่อง 3 สัปดาห์สุดท้ายก่อนทำการเก็บเกี่ยวและเว้นระยะก่อนเก็บเกี่ยว 5 วัน พบว่า สารเอ็นโดซัลแฟน (เบเนฟิต 35) ที่ตกค้างยังคงอยู่ในปริมาณที่สูงกว่าค่าปริมาณสูงสุดของสารพิษตกค้าง (Maximum Residue Limit: MRL) ของ Codex เท่ากับ 2.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้นเกษตรกรควรจะหลีกเลี่ยงอัตราการฉีดพ่นที่สูงกว่าคำแนะนำ และการฉีดพ่นด้วยอัตราคำแนะนำนี้ก็ควรจะเพิ่มระยะก่อนเก็บเกี่ยวให้มากขึ้นเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค

การทดลองที่ 2 ศึกษาการลดปริมาณสารพิษตกค้างเอ็นโดซัลแฟน จากผักกาดขาวโดยใช้โอโซน

การลดปริมาณสารพิษตกค้างแอลฟ่า-เอ็นโดซัลแฟนเบต้า-เอ็นโดซัลแฟน และ เอ็นโดซัลแฟนซัลเฟตที่ตกค้างในผักกาดขาว ด้วยเครื่องโอโซนรุ่น OZ 180 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าควรเลือกวิธีการล้างเอ็นโดซัลแฟนทั้ง 3 อนุพันธ์ ด้วยโอโซนที่เวลา 25 และ 30 นาที อย่างไรก็ตามหากพิจารณาจากค่าทางสถิติการล้างที่ 25 และ 30 นาที ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ร้อยละ 0.05 ดังนั้นเมื่อพิจารณาในแง่ของการประหยัดเวลาและพลังงานไฟฟ้า จึงควรจะเลือกใช้วิธีการล้างเอ็นโดซัลแฟนที่ตกค้างในผักกาดขาวด้วยโอโซนที่เวลา 25 นาที จะเป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุด และเมื่อทำการเปรียบเทียบกรรมวิธีการสารพิษเอ็นโดซัลแฟนรวม (total endosulfan) ระหว่างการไม่ทำการล้างเอ็นโดซัลแฟนรวมที่ตกค้างในผักกาดขาว กับการล้างเอ็นโดซัลแฟนรวมที่ตกค้างในผักกาดขาวด้วยน้ำกลั่นและล้างเอ็นโดซัลแฟนรวมที่ตกค้างในผักกาดขาวด้วยโอโซนที่เวลา 25 นาทีพบว่า หากทำการล้างเอ็นโดซัลแฟน ที่ตกค้างในผักกาดขาว ด้วยน้ำกลั่นจะลดปริมาณ สารพิษเอ็นโดซัลแฟนรวมได้ร้อยละ 34.04 ส่วนการล้างเอ็นโดซัลแฟนรวมที่ตกค้างในผักกาดขาวด้วยโอโซนที่เวลา 25 นาที จะลดปริมาณสารพิษเอ็นโดซัลแฟนรวมได้ถึงร้อยละ 71.53 และอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่าปริมาณสูงสุดของสารพิษตกค้าง (MRL) ของ Codex

การทดลองที่ 3 ศึกษาปริมาณสารคลอร์เดนตกค้างการหลังจากการฉีดพ่นที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

สมการทางคณิตศาสตร์ สำหรับการเปลี่ยนแปลงของแกมมา-คลอร์เดน และแอลฟ่า-คลอร์เดนในผักกาดขาวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อระดับความเข้มข้นที่ฉีดพ่นเพิ่มขึ้นในลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งมีสมการเส้นตรง คือ Y = 7.934X – 8.0964 และ Y = 7.8402X – 7.7726 ตามลำดับ เมื่อ Y แทนปริมาณสารตกค้างในผักกาดขาว (mg/kg) และ X แทนอัตราการฉีดพ่นคลอร์เดน และมีค่าสัมประสิทธิ์กำหนด (Coefficient of determination : R^2) คือ 0.9836 และ 0.992 ตามลำดับ สามารถใช้ในการทำนายแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นและลดลงหากใช้อัตราต่างๆในการฉีดพ่นผักกาดขาวด้วยสารคลอไดร์ต่อเนื่อง 3 สัปดาห์สุดท้ายก่อนทำการเก็บเกี่ยว และเว้นระยะก่อนเก็บเกี่ยว 3 วัน พบว่า สารคลอร์เดน ที่ตกค้างยังคงอยู่ในปริมาณที่สูงกว่าค่าปริมาณสูงสุดของสารพิษตกค้างของ EU เท่ากับ 2.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้นเกษตรกรควรจะหลีกเลี่ยงอัตราการฉีดพ่นที่สูงกว่าคำแนะนำ และการฉีดพ่นด้วยอัตราคำแนะนำนี้ก็ควรจะเพิ่มระยะก่อนเก็บเกี่ยวให้มากขึ้นเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค

การทดลองที่ 4 การศึกษาการลดปริมาณสารพิษตกค้างคลอร์เดน จากผักกาดขาวโดยใช้โอโซน

การลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์แกนโนคลอรีนตกค้างในผักกาดขาว คือ คลอร์เดนซึ่งใช้ชื่อทางการค้าว่า คลอร์ไรด์ (chloride) ควรเลือกวิธีการล้างผักกาดขาวที่มีสารพิษตกค้างคลอร์เดนทั้ง 2 อนุพันธ์ คือ แกมมา และ แอลฟา คลอร์เดน ด้วย โอโซน ที่เวลามากกว่า 40 นาที เนื่องจาก ความเข้มข้นของสารพิษตกค้างทั้ง 2 อนุพันธ์ยังมีปริมาณสารพิษตกค้างมากกว่าค่าปริมาณสูงสุดของสารพิษตกค้างของ EU คือ 2 ppm ดังนั้น ถ้าต้องการลดปริมาณสารพิษตกค้างคลอร์เดนในผักกาดให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยและยอมรับได้ ควรจะล้างผักกาดขาวโดยใช้ โอโซนที่เวลามากกว่า 40 นาที และเมื่อทำการเปรียบเทียบกรรมวิธีการสารพิษคอลร์เดนรวม (total chlordane) ระหว่างการไม่ทำการล้างคลอร์เดนรวมที่ตกค้างในผักกาดขาว กับการล้างคลอร์เดนรวมที่ตกค้างในผักกาดขาวด้วยน้ำกลั่นและล้างคลอร์เดนรวมที่ตกค้างในผักกาดขาวด้วยโอโซนที่เวลา 40 นาทีพบว่า หากทำการล้างคลอร์เดนรวมที่ตกค้างในผักกาดขาวด้วยน้ำกลั่นจะลดปริมาณสารพิษเอ็นโดซัลแฟนรวมได้ร้อยละ 4.49 ส่วนการล้างคลอร์เดนรวมที่ตกค้างในผักกาดขาวด้วยโอโซนที่เวลา 40 นาที จะลดปริมาณสารพิษเอ็นโดซัลแฟนรวมได้ถึงร้อยละ 63.12

การทดลองที่ 5 การศึกษาการสลายตัวของสารพิษตกค้างคลอร์เดนในผักกาดขาว

การสลายตัวของคลอร์เดนจะสูงในระยะเวลาแรกของการเก็บเกี่ยว และจะค่อย ๆ ลดลง ซึ่งระยะเวลาการสลายตัวไปครึ่งหนึ่ง (Half Life) ของสารกำจัดศัตรูพืชคลอร์เดนในผักกาดขาว คือ 12 ชั่วโมง และควรทิ้งระยะการเก็บเกี่ยวผักกาดขาวที่การฉีดพ่นด้วยคลอร์เดนอย่างน้อย 15 วันหลังการฉีดพ่นครั้งสุดท้าย จากการทดลองฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชคลอร์เดนที่อัตราต่าง ๆ คือ อัตราตามคำแนะนำ, สองเท่าของคำแนะนำ และสามเท่าของคำแนะนำ จะเห็นได้ว่าที่อัตราการฉีดพ่นสูง ๆ การสลายตัวของสารคลอร์เดนจะสูงด้วย และ เมื่อทิ้งระยะการเก็บเกี่ยวไว้นานกว่า 15 วันจะมีปริมาณสารพิษตกค้างในปริมาณที่ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ก็ยังเกินกว่าค่าปริมาณสูงสุดของสารพิษตกค้างที่ได้กำหนดไว้ ดังนั้นการฉีดพ่นใช้สารกำจัดศัตรูพืชคลอร์เดนในอัตราตามคำแนะนำ, สองเท่าของคำแนะนำ และสามเท่าของคำแนะนำน่าจะมีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่ใกล้เคียงกัน การใช้สารกำจัดศัตรูพืชในอัตราที่มากกว่าคำแนะนำนอกจากจะทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายไปกับการซื้อสารกำจัดศัตรูพืชที่มากเกินควรแล้ว ยังก่อให้เกิดมีสารพิษตกค้างในผักสูงขึ้นอีก ซึ่งทำให้ต้องเว้นระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมให้ยิ่งนานขึ้นเพราะการกำหนดระยะการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมจะกำหนดโดยการใช้ตามอัตราแนะนำเท่านั้น

การทดลองที่ 6 ศึกษาผลของน้ำโอโซนต่อวิตามินซีและเบต้า-แคโรทีนในผักกาดขาว

การใช้น้ำโอโซนที่กำเนิดเครื่องโอโซนรุ่น OZ 180 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ในการล้างผักกาดขาวนั้นทำให้ปริมาณของวิตามินซีและเบต้า-แคโรทีน ลดลงไปเพียงระดับหนึ่งคิดเป็นร้อยละ 3.85 และ 16.63 ตามลำดับ หากผู้บริโภคคำนึงถึงความปลอดภัยจากสารพิษตกค้าง และเลือกใช้น้ำโอโซนในการล้างสารพิษตกค้างอย่างมีประสิทธิภาพ ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ผู้บริโภคควรพิจารณาถึงประโยชน์จากการใช้น้ำโอโซนในการลดสารพิษตกค้างในผลผลิตทางการเกษตรมากกว่าการสูญเสียวิตามินในปริมาณเล็กน้อยย่อมดีกว่าการได้รับสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยเข้าสู่ร่างกาย

การทดลองที่ 7 ศึกษาผลของน้ำโอโซนต่อปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน,ฟอสฟอรัส, โซเดียม, โพแทสเซียม,แคลเซียม,แมกนีเซียม และคลอรีน

ปริมาณแร่ธาตุที่สำคัญต่างๆในผักกาดขาว เมื่อผ่านการล้างด้วยน้ำโอโซน และไม่ผ่านการล้างด้วยน้ำโอโซน พบว่า ปริมาณไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โซเดียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม และ คลอรีน ในผักกาดขาวที่ผ่านการล้างด้วยน้ำโอโซนจะลดลงเพียงเล็กน้อย และใกล้เคียงกับปริมาณแร่ธาตุในผักกาดขาวที่ไม่ได้ผ่านการล้างด้วยน้ำโอโซน และจากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติด้วย T-test พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% การนำผักมาล้างให้สะอาดด้วยน้ำโอโซนเสียก่อน นอกจากจะปลอดภัยจากสารกำจัดศัตรูพืช ธาตุอาหารต่างๆ ที่สำคัญต่อผู้บริโภค ได้แก่ ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โซเดียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม และ คลอรีน ก็มิได้สูญเสียไปเนื่องจากการล้างผักกาดขาวด้วยเครื่องโอโซนรุ่น OZ 180 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. หลักและวิธีการผลิตผักอนามัย. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, 2539.

กองวัตถุมีพิษการเกษตร. ก้าวสู่สหัสวรรษใหม่ กองวัตถุมีพิษการเกษตร. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์พับบลิซซิ่ง, 2543.

กองวิเคราะห์ดิน. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีดิน กับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ. กรมพัฒนาที่ดิน, 2540.

นิตยา วีระกุล และรัตนา สิตะยัง. “การลดปริมาณสารพิษตกค้างของมาลาไธออนบนองุ่นด้วยวิธีการล้าง.” ข่าวสารวัตถุมีพิษ ปีที่ 25 ฉบับที่ 4(ตุลาคม-ธันวาคม 2541): 131-151.

นิตยา วีระกุล. “การลดปริมาณสารพิษตกค้าง .” ข่าวสารวัตถุมีพิษ ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มีนาคม 2538): 13-22.

พาลาภ สิงหาเสนี. พิษของยาฆ่าแมลงต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

ไพฑูรย์ พิศุทธ์สินธุ์ บุญส่ง หุตังคบดี และนิยม รัตนพงษ์. สถิติการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืช. กรุงเทพฯ: ฝ่ายวัตถุมีพิษ กองควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.กรุงเทพฯ, 2536.

วราภรณ์ กัลยาเลิศ. “การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยโอโซน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยมหิดล, 2540.

สายันต์ จินดามาตย์. “ปริมาณสารเอ็นโดซัลแฟนตกค้างในกะหล่ำปลี กรณีศึกษา อำเภอบ้านแท่น จังหวัดชัยภูมิ.” วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต,มหาวิทยาลัยขอนแก่น,2542.

สุภาณี พิมพ์สมาน. สารฆ่าแมลง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, 2537.