Agricultural Sci. J. 33 : 6 (Suppl.) : 225-228 (2002) **ว. วิทย. กษ. 33 : 6 (พิเศษ) : 225-228 (2545)**

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการล้างผักด้วยสารไตรโซเดียมฟอสเฟต คลอรีนและการใช้โอโซน
Decontamination Performance Comparison of Trisodium Phosphate, Chlorine and Ozonation

ฆรณี ตุ้ยเต็มวงศ์[1] ประเวทย์ ตุ้ยเต็มวงศ์[2]
กฤติยา เลี่ยวชวลิต[2] และ เสริมสิริ วิจัยวรกิจ[2]

Abstract

Performance comparison of ozonation (0.35 ppm), sodium hypochlorite (HC, 25ppm), and chlorinated trisodium phosphate (CTSP, 25 ppm) and tap water for the reduction/destruction of microorganisms (TPC) in vegetables was carried out. Lettuce, water convolvulus, and carrots were used in this study. Ozone, HC, and CTSP reduced TPC by 3.0, 3.2, and 4.1 log cycles in 15, 10 and 5 min to keep the TPC under the standard of the ministry of public health at log 4 cfu/g. Yeast numbers were reduced by 3.0-3.5 log in all vegetables tested. Tap water soaking slightly reduced TPC by 1 log. The complete destruction of TPC (log 5-8) in the test vegetables required 35, 40 and 20 min with lettuce; 20, 30 and 20 min with convolvulus; and 20 min with carrots for all methods tested. CTSP required a shorter time compared with other methods tested. It appeared that ozonation at 0.35ppm was as effective as CTSP. They both were more effective than HC solution. All cleaning methods caused no effects on physical characteristics of the vegetables. Ozonation, the clean technology, had an advantage of leaving no residues in both vegetables and rinsed water. It is effective and more environmentally friendly compared with other methods tested in this study.

บทคัดย่อ

การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการล้างผัก 4 วิธี คือ การใช้โอโซน (0.35 ppm) สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (HC, 25 ppm) คลอริเนตเตดไตรโซเดียมฟอสเฟต (CTSP, 25 ppm) และน้ำประปา เพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมาในผักสดทั้งผักใบ (ผักกาดหอม) ผักก้าน (ผักบุ้ง) และผักหัว (แครอท) ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ กัน พบว่าการใช้ โอโซน HC และ CTSP สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ให้มาอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข (ไม่เกิน 10^4 CFU/g) ที่เวลา 15, 10, และ 5 นาที ตามลำดับ โดยสามารถลดปริมาณเชื้อทั้งหมด (TPC) ในผักสดลงได้ 3, 3.2, และ 4.1 log cycle สำหรับ แครอท ผักบุ้ง และผักกาดหอม ตามลำดับ และลดเชื้อยีสต์ได้ใกล้เคียงกันคือ 3-3.5 logCFU/g ส่วนน้ำประปาลดเชื้อด้วยการชะล้างได้ไม่มากนัก (1 logCFu/g) หากต้องการกำจัดเชื้อให้หมดไปจากผัก (เชื้อเริ่มต้น 5-8 logCFU/g) จะต้องใช้เวลาในการกำจัดคือ 20, 30, 20 นาที สำหรับผักบุ้ง และ 35, 40, และ 20 นาที สำหรับผักกาดหอม ตามลำดับ สำหรับแครอทใช้เวลา 20 นาทีเท่ากันทุกวิธี สรุปได้ว่าการใช้โอโซน และ CTSP มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันในการกำจัดเชื้อในผักสดและมีประสิทธิภาพสูงกว่า HC ที่ต้องใช้เวลาในการฆ่าเชื้อนานกว่า วิธีการทั้ง 4 ชนิดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การเปลี่ยนสีและรูปร่างของผัก ไม่พบการบวมหรือการเหี่ยวของผักสด การใช้โอโซนซึ่งเป็นเทคโนโลยีสะอาดมีความได้เปรียบสูงในการนำมาใช้ในอุตสาหกรรม เนื่องจากได้เปรียบที่ไม่มีสารตกค้างและไม่มีปัญหาการบำบัดน้ำเสียอีกด้วย

คำนำ

สลัดเป็นอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายและเป็นที่นิยมรับประทานกันมากแต่ก็เป็นอาหารที่ไม่ผ่านความร้อน การล้างผักจึงมีความสำคัญมากต่อความสะอาดและปลอดภัยจากเชื้อโรคที่อาจปนเปื้อนมากับผักที่ใช้ในการผลิต วิธีการล้างผักให้สะอาดมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ การล้างผักสดด้วยน้ำสะอาด การล้างผักสดด้วยสารเคมีที่ใช้ในการล้างผักผลไม้ เช่น การใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (Sodium hypochloride) การใช้น้ำโอโซน (Ozone) การใช้ด่างทับทิม (Potassium permanganate) เป็นต้น สารที่นิยมใช้ในการล้างผักสด คือ สารประกอบคลอรีน (Chlorine compound) และโอโซน ซึ่งเมื่อนำมาใช้ล้างผักสดแล้วไม่เปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของผักสด ซึ่งแตกต่างจากการใช้ด่างทับทิมล้างผักที่อาจเป็นสาเหตุทำให้ผักเปลี่ยนสีไปจากเดิม แต่ยังไม่มีการยืนยันได้ว่าสารประกอบคลอรีนและโอโซน สารใดสามารถล้างผักสดได้ปลอดภัยต่อผู้บริโภคมากที่สุด โดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร

โอโซน (Ozone) เป็นก๊าซที่ไม่เสถียรที่อุณหภูมิและความดันในชั้นบรรยากาศ มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว เป็นก๊าซมีสีฟ้า จุดหลอมเหลวที่ –192.5 °C จุดเดือดที่ 111.9 °C ควบแน่นที่ –112 °C โดยอยู่ในรูปของของเหลวสีน้ำเงินเข้มและมีน้ำหนัก 0.135 lb/sq.ft. ค่า oxidation potential –2.07 V ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิด เช่น N-pentane, carbon tetrachloride และ

[1]ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

dioxane ละลายน้ำได้เล็กน้อย 0.57 ppm ที่ 20 °C มีคุณสมบัติเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรงมาก เกิดการระเบิดได้เมื่อได้รับความร้อนสูง การใช้งานจึงต้องเจือจางด้วยอากาศหรือออกซิเจน แต่โอโซนจะสลายตัวได้อย่างรวดเร็วโดยเปลี่ยนเป็นก๊าซออกซิเจนเมื่อสัมผัสกับตัวรีดิวส์หรือเร่งด้วยโลหะทรานสิชั่น

ในทางปฏิบัติสามารถผลิตโอโซนได้จากออกซิเจนในระดับความเข้มข้นที่สูงคือร้อยละ 0.25-6.0 โดยน้ำหนักออกซิเจนในบรรยากาศ แต่การผลิตโอโซนในอุตสาหกรรมมีสองวิธีคือ

1. Ultra Violet method: เป็นการฉายรังสีอัลตราไวโอเลตหรือ UV ความยาวคลื่น 185 nm ไปยังออกซิเจน โมเลกุลออกซิเจนจะรับพลังงานจากแสง UV และเปลี่ยนเป็นโอโซนดังสมการ

$$3O_2 + h \longrightarrow 2O3 \quad (H^0_f = 144.8 \text{ kJ/mol})$$

2. Corona electric discharge method: เป็นวิธีที่ใช้ผลิตโอโซนที่ความเข้มข้นสูงถึงร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก โดยอาศัยการฉายลำแสงอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูง (6-7 eV) ลงบนออกซิเจนทำให้โมเลกุลออกซิเจนแตกออกเป็น 2 อะตอมออกซิเจน จากนั้นแต่ละอะตอมออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของออกซิเจนอีกทีหนึ่ง ทำให้เกิดโมเลกุลของโอโซน ดังสมการ

$$O_2 + e \text{ (high energy)} \longrightarrow 2O + e \text{ (low energy)}$$

$$O + O_2 \longrightarrow O_3$$

โอโซนสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าออกซิเจน ความสามารถของการละลายน้ำของโอโซนขึ้นกับ pH และอุณหภูมิของน้ำ คือที่ pH สูงโอโซนจะแตกตัวได้มากกว่าการละลาย และในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงโอโซนจะละลายน้ำได้ต่ำ ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับโอโซนต้องลดอุณหภูมิและ pH ของน้ำที่จะนำมาละลายลงด้วย

กลไกในการยับยั้งจุลินทรีย์โดยโอโซน

สามารถเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือ โมเลกุลของโอโซนเข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารเคมีที่มีอยู่ในเซลล์จุลินทรีย์ อนุมูลตัวกลางอิสระ (free radical-mediated) เป็นตัวเข้าทำลาย โอโซนสามารถเข้าทำลายเซลล์เมมเบรน ไซโตพลาสซึม โปรตีน และชั้นของไขมันในเซลล์จุลินทรีย์ เกิดการจับตัวเป็นก้อนของโปรตีนทำให้เซลล์แตก หรือเข้าทำลายระบบหายใจ (respiratory system) ของเซลล์ จุลินทรีย์ นอกจากนี้โอโซนสามารถทำลายเอนไซม์ DNA และ RNA ของเซลล์จุลินทรีย์ได้อีกด้วย โอโซนเป็นสารฆ่าเชื้อได้ดีกว่าคลอรีน โดยสามารถทำลายแบคทีเรีย ไวรัส รา ยีสต์ สปอร์และ cyst ได้

ประสิทธิภาพการทำงานของโอโซนขึ้นกับปัจจัยดังนี้ (www.apc-ozone.com) ความชื้นสัมพัทธ์ (humidity) โอโซนจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นถ้าในอาหารมีความชื้นสัมพัทธ์สูง คือ ในอาหารที่มี A_W (water activity) สูงจะมีความไวในการตอบสนองกับโอโซนได้มากกว่าอาหารที่มี A_W ต่ำ อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิของตัวกลางที่ลดลง มีผลทำให้โอโซนละลายได้ดีขึ้น ทำให้โอโซนมีประสิทธิภาพในการทำงานได้ดีขึ้น แต่ในขณะเดียวกันที่อุณหภูมิสูงขึ้นโอโซนจะสลายตัวได้ง่าย ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เมื่อ pH ลดลงทำให้โอโซนสามารถคงตัวได้ดีขึ้น และในทางกลับกันที่ pH สูงขึ้นโอโซนสามารถสลายตัวได้ดีขึ้น ดังนั้นประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ของโอโซนจะดียิ่งขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด ความเข้มข้นของโอโซน ต้องเพิ่มขึ้นตามปริมาณจุลินทรีย์ จึงจะมีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์สูง ชนิดของจุลินทรีย์และระยะเวลาสัมผัส เช่นในการทำลายสปอร์ต้องใช้ระยะเวลาสัมผัสของโอโซนที่มากกว่าการทำลายเซลล์จุลินทรีย์

ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารที่ใช้ในการล้างผัก กลุ่มโอโซน สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ สารละลายคลอริเนตไตรโซเดียมฟอสเฟต (Chlorinated trisodium-phosphate) และน้ำประปา ในการลดและทำลายเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อนในผักสลัด

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การล้างผักด้วยวิธีต่างๆ

1.1 โอโซน ใช้เครื่องโอโซนแบบ corona discharge ขนาดกำลังการผลิต 0.35 ppm ที่ผลิตขึ้นโดยภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในการล้างใช้น้ำกลั่น 2 ลิตร ใส่ในกะละมังพลาสติก จุ่มหัวทรายที่ต่ออยู่กับเครื่องผลิตโอโซน ทดลองใน hood ตลอดการทดลอง ใช้อัตราส่วน ผักกาดหอม 150 กรัม ผักบุ้ง 150 กรัม และแครอท 300 กรัม/น้ำกลั่น 2 ลิตร เพื่อแช่ด้วยน้ำโอโซนนาน 5, 10, 15 และ 20 นาที แล้วขัดถูทั่วพื้นผิวของผักด้วยมือที่สะอาด ใส่ตะกร้าพลาสติกที่สะอาดเพื่อสะเด็ดน้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง

1.2 คลอริเนตเตดไตรโซเดียมฟอสเฟตได้รับความเอื้อเฟื้อจากบริษัท Johnson Professional (Thailand) และโซเดียมไฮโปคลอไรท์ใช้ความเข้มข้น 25 ppm. เท่ากัน ใช้ผักในอัตราส่วนเดียวกันกับข้อ 1.2 แช่ผักนาน 5-20 นาที ล้างและสะเด็ดเหมือนข้อ 1.2 ส่วนน้ำเปล่าก็ล้างลักษณะเดียวกัน

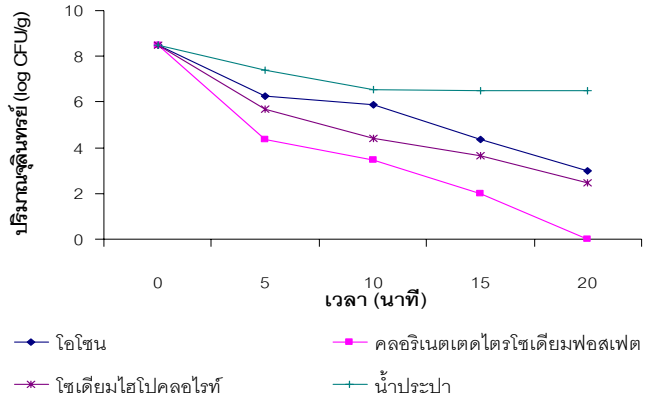
2. การวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อทั้งหมด (Total Plate Count) ปริมาณเชื้อยีสต์และเชื้อรา เชื้อดัชนี (MPN *E. coli* และ coliforms) เชื้อโรค *Salmonella* spp. ใช้วิธี Bacterial Analytical Manual (AOAC/USFDA 2002)

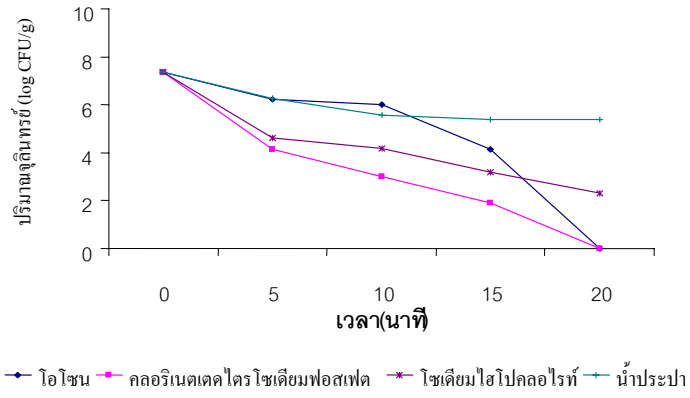
ผลการทดลอง

ผลของการล้างต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

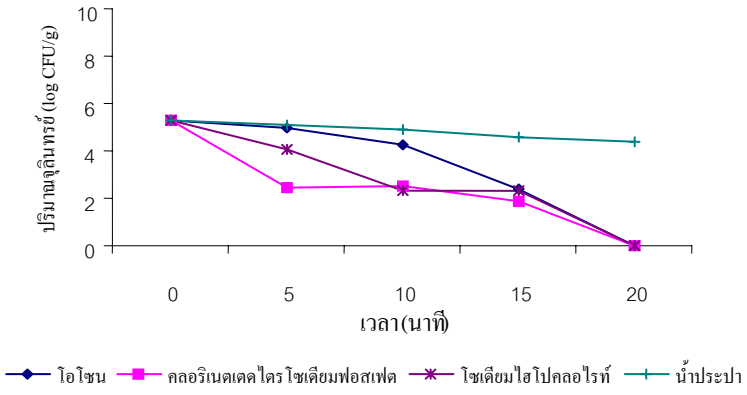
ภาพที่ 1 แสดงการทำลายเชื้อทั้งหมดในผักกาดหอม (เริ่มต้น 8.46 log cycle) โอโซน (15 นาที), TCSP (5 นาที) ไฮโปคลอไรท์ (10นาที) สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้พอๆ กันคือประมาณ 4.1 log cycle (ประมาณ 99.99%) ส่วนน้ำเปล่า (20นาที) สามารถลดได้เพียง 1.96 log cycle สารละลาย TCSP สามารถทำลายเชื้อได้หมดในเวลา 20 นาที ส่วนโอโซนและ ไฮโปคลอไรท์ต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 35 นาที



ภาพที่ 1. การทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมดในผักกาดหอมด้วยน้ำล้างผักแต่ละชนิด



ภาพที่ 2 การทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมดในผักบุ้งด้วยน้ำล้างผักแต่ละชนิด



ภาพที่ 3 การทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมดในผักแครอทด้วยน้ำล้างผักแต่ละชนิด

ภาพที่ 2 แสดงการทำลายเชื้อทั้งหมดในผักบุ้ง (เริ่มต้น 7.4 log cycle) โอโซน (15 นาที), TCSP (5 นาที) ไฮโปคลอไรท์ (10นาที) สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้พอๆ กัน คือประมาณ 3.2 log cycle (ประมาณ 99.9%) ส่วนน้ำเปล่า (20นาที) สามารถลดได้เพียง 1.97 log cycle จะเห็นว่ากรณีผักกาดหอม TCSP สามารถทำลายเชื้อได้หมดในเวลา 20 นาที ส่วนโอโซน และไฮโปคลอไรท์จะใช้เวลามากกว่าคือประมาณ 35 นาที จึงจะทำลายเชื้อได้หมด แต่ในกรณีผักบุ้งโอโซนและTCSP มีความสามารถใกล้เคียงกันโดยสามารถฆ่าเชื้อได้หมดในเวลา 20 นาที ส่วนไฮโปคลอไรท์ต้องใช้เวลานานกว่าคือประมาณ 35 นาที

ภาพที่ 3 แสดงการทำลายเชื้อทั้งหมดในผักแครอท (เริ่มต้น 5.3 log cycle) โอโซน (15 นาที), TCSP (5 นาที) ไฮโปคลอไรท์ (10 นาที) สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้พอๆ กัน คือประมาณ 2.9-3.0 log cycle (ประมาณ 99.9%) F โดยสามารถลดปริมาณจุลิน ทรีย์ลงให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุขได้ (< 4 log cfu/g) ส่วนน้ำเปล่า (20นาที) สามารถลดได้เพียง 0.97 log cycle อย่างไรก็ตาม หากใช้เวลาเพิ่มขึ้นเป็น 20 นาที การใช้โอโซน TCSP และ ไฮโปคลอไรท์สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้หมด การใช้น้ำเปล่าสามารถลดเชื้อจุลินทรีย์ได้มากที่สุดเพียง 1 log หรือ ประมาณ 90% เท่านั้น

คุณภาพทางชีววิทยาของผักที่ทดสอบหลังการล้างด้วยวิธีต่างๆ

โอโซน TCSP ไฮโปคลอไรท์ และน้ำเปล่า สามารถลดปริมาณเชื้อยีสต์และราในผักกาดหอม ผักบุ้ง และผักแครอทได้ 2 log (99%), 3.5 log (>99.9%) และ 2 log cycle (99%) ตามลำดับ ในการทดลองนี้ตรวจไม่พบเชื้อโรค *Salmonella* ในผักที่ทดสอบที่ล้างด้วยวิธีต่างๆ

จากผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นได้ว่าโอโซนที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (0.35 ppm) และ TCSP (25 ppm) มีความเหมาะสมในการใช้ล้างทำความสะอาดผักสดซึ่งจะนำมารับประทานสดได้ดีกว่าคลอรีน (HC) และการใช้น้ำเปล่า แต่โอโซนมีความปลอดภัยกว่าสารชนิดอื่น เนื่องจากโอโซนสามารถสลายตัวได้เร็ว ได้ก๊าซออกซิเจนที่ไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ และไม่มีสารตกค้าง จึงมีโอกาสก่ออันตรายต่อผู้บริโภคน้อยที่สุด ในขณะที่สารประกอบคลอรีน (TCSP และ HC) ก็มีประสิทธิภาพดีแต่อาจมีความเสี่ยงต่อสารตกค้างของสารประกอบคลอรีนได้ ดังนั้นโอโซนจึงเหมาะที่จะนำมาล้างทำความสะอาดผักสดได้ดีที่สุด

เอกสารอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ 2536. เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร

Bryant, E.A., G. P. Fulton and G. C. Budd. 1992. Disinfection Alternatives for Safe Drinking Water. New York.

Evans, F. L. 1975. Ozone in water and Wastewater Treatment. USA .

Izumi , H. 1999. Electrolyzed Water and Wastewater Treatment. USA.

National Air Pollution Control Administration. 1970. Air Quality for Photochemical Oxidants.

U.S. Department of Health. 1970. Air Quality for Photochemical Oxidants. Education and Welfare.

White , G. C. The handbook of Chlorination and alternative disinfectants.

http://www.apc-ozone.com

http://www.class.fst.ohio-state.edu/fst401/information/cleaning%20and%20sanitizing.doc

http://www.confex.com/lft/jffonline6s83raqm/pdfs/jfsv64n3p536-539ms2928.pdf

http://www.energy.ca.gov

http://physchem.ox.ac.uk/MSDS/CH/chlorinated_trisodium_phosphate.html

http://ntp-server.niehs.nih.gov/htdocs/LT-studies/TR294.html

http://www.nysaes.cornell.edu

http://www.pprc.org

http://pureox.com

http://www.waterwise.co.uk/salad.wash.pdf

http://www.wqa.org/glossary.cfm?gl=1153