

โครงการย่อยที่ 2

การพัฒนาระบวนการผลิตเพื่อยกระดับคุณภาพของพริกชี้ฟ้าแห้งเพื่อการส่งออก
Process Development of Dried Spur Pepper (*Capsicum annuum* L. var
acuminatum Fingerh.) for Quality Improvement and Export

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตพริกชี้ฟ้าแห้งที่มีคุณภาพและปลอดภัย ได้วัตถุดิบพริกชี้ฟ้าแห้งส่งอุตสาหกรรมอาหาร และเพื่อการส่งออก โดยทำการศึกษาระบวนการล้างพริกสดด้วยสารออกซิไดซ์ซึ่งไอโซนน้ำอเล็กโทรไลต์กรด และสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในสภาวะต่าง ๆ เพื่อลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ และสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่ปนเปื้อนในพริกสด ศึกษากระบวนการอบแห้งที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตพริกชี้ฟ้าแห้งเพื่อนำไปปรับใช้ในระดับอุตสาหกรรม การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นจากตัวอย่างพริกชี้ฟ้าสด (*Capsicum annuum* L. var *acuminatum* Fingerh.) พันธุ์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม และพริกชี้ฟ้าแห้งซื้อจากตลาดขายส่งในเขตกรุงเทพมหานครและจังหวัดอื่นรวม 6 จังหวัด จำนวน 100 ตัวอย่าง ตรวจสอบสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT พบว่าร้อยละ 40 และร้อยละ 24 ของตัวอย่างพริกชี้ฟ้าสด (20 ใน 50 ตัวอย่าง) และพริกชี้ฟ้าแห้ง (12 ใน 50 ตัวอย่าง) ปนเปื้อนสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมตในระดับที่ไม่ปลอดภัยพบการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณสูงถึงปานกลาง ได้แก่ เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด เชื้อยีสต์และรา และแอโรบิกสปอร์ฟอร์เมอร์ ในพริกชี้ฟ้าสดพบ 3.26 3.89 และ 2.89 log CFU/g ตามลำดับ และในพริกชี้ฟ้าแห้งพบปริมาณสูงกว่าคือ 4.46 4.15 และ 2.83 log CFU/g ตามลำดับ พบการปนเปื้อนกลุ่มจุลินทรีย์ก่อโรค คือ เชื้อ *C. perfringens* มากถึงร้อยละ 94 (81.5 MPN/g) และร้อยละ 72 (1.4 log CFU/g) ในพริกชี้ฟ้าสดและพริกชี้ฟ้าแห้ง ตามลำดับ ผลการล้างพริกด้วยน้ำผสมสารออกซิไดซ์ซึ่งเพื่อลดสารกำจัดศัตรูพืชชนิดเป้าหมายคือ คลอร์ไพริฟอสและโพรพิโนฟอส จากสร้างการปนเปื้อนเริ่มต้นในพริกด้วยสารคลอร์ไพริฟอสและโพรพิโนฟอสที่ความเข้มข้น 50 และ 5 มก./กก.(100 เท่าของค่า EU-MRLs) และที่ 5 และ 0.5 มก./กก. (10 เท่าของค่า EU-MRLs) ล้างด้วยน้ำไอโซน 0.5 และ 1.0 ppm น้ำอเล็กโทรไลต์ชนิดกรด 50 และ 70 ppm และน้ำผสมโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 100 และ 200 ppm แช่เป็นเวลา 5 และ 10 นาที ที่ 25°C เปรียบเทียบกับการล้างด้วยน้ำประปา พบว่าการล้างที่ 5 และ 10 นาทีลดสารกำจัดศัตรูพืชทั้ง 2 ชนิดได้แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยที่พริกที่สร้างการปนเปื้อนระดับ 100 เท่าของค่า EU-MRLs เมื่อล้างด้วยน้ำไอโซนนาน 10 นาที สามารถลดสารคลอร์ไพริฟอสได้ร้อยละ 88–89 และลดสารโพรพิโนฟอสได้ร้อยละ 51–66 ส่วนที่ระดับการปนเปื้อน 10 เท่าของค่า EU-MRLs น้ำไอโซนและน้ำอเล็กโทรไลต์ชนิดกรด 10 นาทีช่วยลดสารคลอร์ไพริฟอสในพริกได้ร้อยละ 42–67 และร้อยละ 42–46 ตามลำดับ แต่ลดสารโพรพิโนฟอสได้น้อยกว่าคือร้อยละ 21–47 และร้อยละ 13–17 ตามลำดับ ในวิธีการล้างครั้งนี้พบว่า การล้างพริกชี้ฟ้าด้วยน้ำไอโซน 1 ppm นาน 10 นาที ให้ผลดีที่สุด และไม่พบการตกค้างของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชทั้ง 2 ชนิดในน้ำที่ล้างพริกแล้ว ส่วนสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ซึ่งนิยมใช้ในการผลิตอาหารในปัจจุบัน พบว่าที่ความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม ล้างพริกที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชนาน 10 นาที มีประสิทธิภาพสูงสุดต่อการลดปริมาณเชื้อ *C. perfringens* ที่ปนเปื้อนในพริกชี้ฟ้า

สด สามารถลดเชื้อได้ 2 log CFU/g (คิดเป็น 99%) และไม่พบเชื้อ *C. perfringens* ในน้ำที่ผ่านการล้างพริกชี้ฟ้า นั้น เมื่อนำไปอบแห้ง เริ่มด้วยการลวกที่ 90°C นาน 3 นาที ต่อมาแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (0.3% SMS) และแคลเซียมคลอไรด์ (1% CaCl₂) นาน 10 นาที แล้วนำไปอบแห้งแบบอุณหภูมิต่ำ 65°C นาน 20 ชั่วโมง ได้พริกแห้งที่มีสีแดงเข้ม มีความชื้นในช่วงร้อยละ 9.5–12.5 (ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของพริก) ได้กระบวนการผลิตพริกชี้ฟ้าแห้งที่เหมาะสม และคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพริกแห้ง (มอก. 456/2526) ทั้งนี้กระบวนการล้างทำความสะอาดพริกด้วยน้ำออกซิไดซ์ซิงค์ และกระบวนการอบแห้งที่พัฒนาขึ้นนี้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ผู้ประกอบการ หากนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารที่มีวัตถุดิบพริกเป็นส่วนประกอบ ช่วยลดการตกค้างของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ลดจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสีย ลดจุลินทรีย์ก่อโรค ที่สำคัญคือเพิ่มคุณภาพและความปลอดภัยอาหารของผลิตภัณฑ์แปรรูปจากพริกชี้ฟ้า สร้างความมั่นใจต่อคุณภาพและความปลอดภัยของสินค้า สามารถยกระดับพริกชี้ฟ้าแห้งสู่มาตรฐานสากลทำให้สินค้าเกษตรมีมูลค่าสูงขึ้น สร้างความยั่งยืนแก่เกษตรกรและอุตสาหกรรมอาหารโดยรวม

คำสำคัญ: การล้าง การผลิตพริกชี้ฟ้าแห้ง คุณภาพพริกชี้ฟ้า สารกำจัดศัตรูพืช คลอรีนฟอสโฟรฟิโนฟอส คลอสทริเดียมเปอร์ฟริงเจนส์ น้ำไอโซน น้ำอิเล็กโทรไลต์กรด โซเดียมไฮโปคลอไรท์ อาหารปลอดภัย

Abstract

The objective of this research was to develop the high quality and safety dried spur pepper providing as the raw material for food industry and export. Using of oxidizing agents (ozonate water, acidic electrolyzed water and sodium hypochlorite solution) in washing fresh spur pepper in order to reduce pathogenic *C. perfringens* and pesticides were conducted, then optimized condition of drying spur pepper was investigated. Fifty samples of fresh spur peppers (*Capsicum annuum* L. var *acuminatum* Fingerh.) were determined for pesticide residues by GT test kit, results found 40% of samples contained pesticide residues at unsafe level. Furthermore, 24% of dried spur pepper samples (N=50) were found containing pesticide residues at unsafe level. High amount of spoilage microorganisms (total viable count: TVC, yeast and mold: Y&M and aerobic sporeformer: AS,) were found in fresh spur pepper as 3.26, 3.89 and 2.89 log CFU/g respectively, as well as dried spur pepper at 4.46, 4.15 and 2.83 log CFU/g respectively. Ninety four percentage (81.5 MPN/g) and 72% (1.4 log CFU/g) of fresh and dried spur pepper were contaminated with pathogenic anaerobic sporeformer as *C. perfringens*. Then washing fresh spur pepper with ozonate water at 0.5–1.0 ppm, acidic electrolyzed water at 50–70 ppm AcEW and sodium hypochlorite at 100–200 ppm NaOCl were carried on. Chlorpyrifos and profenofos was the tested target compared with tap water which was control. Samples were spiked with chlorpyrifos and profenofos at 100 times over EU-MRLs (50 and 5 mg/kg) and 10 times over EU-MRLs (5 and 0.5 mg/kg). All washing conditions were done by shaking for 5 and 10 minutes at 25°C. The pesticides residue was detected by using GT test kit based on AChE-bioassay. The results showed that % residue reduction was significant difference between washing time at 5 to 10 min ($p \leq 0.05$). At 100 times over EU-MRLs, washing with ozonate water for 10 min showed high % residue reduction, which reduced chlorpyrifos and profenofos residues ranging from 88–89% and 51–66% respectively. At 10 times over EU-MRLs, washing with ozonate water and AcEW for 10 min could reduce chlorpyrifos residue ranging from 42–67% and 42–46% respectively, while profenofos residue were reduced less, ranging from 21–47% and 13–17% respectively. Among the washing treatments washing with 1 ppm ozonate water for 10 min gave the highest efficiency in reducing chlorpyrifos and profenofos on fresh spur pepper. Both chlorpyrifos and profenofos residues were not ifound in

ozonate water after washing contaminated chilli. Among the microbial activity 200 ppm sodium hypochlorite solution achieved the highest results on decontamination of *C. perfringens* on fresh spur pepper, as 1.99 log CFU/g (99%). *C. perfringens* cells were not found in this wash water. In the order to optimize the condition of dried chilli production, results showed blanching at 90°C for 3 min and combine with 0.3% SMS (sodium metabisulfite) and 1% CaCl₂ (calcium chloride) soaking for 10 min then drying with one-stage temperature at 65°C for 20 h was the optimum condition. High quality and safety dried spur pepper contained low moisture content 9.5–12.5% and the quality achieved the standard of Thai industrial standard. Thus this conditions may consider as the alternative method to apply in washing and drying chili serving for food process. The reduction of pesticides residue, spoilage microorganism or pathogen in raw material could enhance the quality and safety of spur pepper processed products and dried spur pepper.

Key word: spur pepper, chlorpyrifos, profenofos, aerobic sporeformer, anaerobic sporeformer
Clostridium perfringens, ozonate water, acidic electrolyzed water,
sodium hypochlorite, food safety

บทนำ

ในช่วงปี 2552 และ 2553 ที่ผ่านมามีประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกพริกชี้ฟ้า 19,700 ไร่ ให้ผลผลิต 57,000 ตันต่อปี แต่ความไม่สมดุลของปริมาณและความต้องการของตลาดทำให้ในปี 2553 และ 2554 เกิดภาวะราคาพริกตกต่ำ ส่งผลกระทบต่อเกษตรกรผู้ปลูกพริกโดยเฉพาะจังหวัดแพร่ (สำนักประชาสัมพันธ์เขต 3 เชียงใหม่, 2554) ในปี 2555 ยังมีปัญหาพริกอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากราคาพริกที่เกษตรกรขายได้ขึ้นกับพื้นที่ปลูก เกษตรกรเสี่ยงต่อการขาดทุน เกษตรกรส่วนใหญ่จึงเลือกปลูกเฉพาะพันธุ์พริกใหญ่เพื่อขายส่งโรงงานซอส พริกปั่นตลาดราคาต่ำ (วีระ, 2554) ในกรณีพริกแห้ง พบว่ามีความต้องการใช้พริกแห้งในอุตสาหกรรมอย่างมากมากขึ้น แต่ปริมาณ คุณภาพ และราคาของพริกที่ผลิตได้ไม่สอดคล้องระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภค ประกอบกับผลผลิตไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้ต้องมีการนำเข้าพริกแห้งเพื่อมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารภายในประเทศ (ปริญา และคณะ, 2552) ทั้งนี้เป็นเพราะว่าเกษตรกรผู้ปลูกพริกในประเทศไทยยังประสบปัญหาเรื่องคุณภาพ ไม่สามารถจำหน่ายพริกคุณภาพเป็นที่ต้องการของโรงงานอุตสาหกรรม หรือพริกคุณภาพส่งออกไปยังต่างประเทศได้ เนื่องจากคุณภาพของผลผลิตพริกทั้งสดและแห้งของประเทศไทยไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ทั้งภายในประเทศเอง และมาตรฐานคุณภาพสากล

ปัจจัยหนึ่งซึ่งมีผลกระทบต่อคุณภาพของพริก คือ พันธุ์พริก ปัจจุบันพันธุ์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบอุตสาหกรรมแปรรูป ได้แก่ พันธุ์แม่ปิง 80 หยกสยาม และมรกต นิยมใช้เป็นวัตถุดิบหลักสำหรับโรงงานผลิตเครื่องแกงและซอสพริก พริกพันธุ์นี้มีคุณลักษณะที่สำคัญ คือ มีขนาดใหญ่ เนื้อหนา และผิวเป็นมัน แต่การแปรรูปพริกแห้งจากพริกชนิดนี้ให้ได้คุณภาพดีทำได้ยาก เนื่องจากวัตถุดิบมีเนื้อหนา ร่วมกับปัญหาปัจจัยของการผลิตบางประการ ได้แก่ กระบวนการล้างทำความสะอาดพริกสด วิธีการอบแห้งที่ไม่เหมาะสม เป็นต้น

ปัญหาจากการทำแห้งหากทำตามกระบวนการผลิตดั้งเดิม เช่น ผึ่งแดด ในกรณีที่ฝนตก หรือแดดไม่สม่ำเสมอทำให้พริกมีโอกาสเน่าเสียขึ้นรา พริกมีลักษณะที่ไม่สมบูรณ์ และสีคล้ำ การตากพริกบนพื้นโดยไม่มีสิ่งปกป้องกันก็มีโอกาสปนเปื้อนจากฝุ่นละออง และเศษดิน ทราญ ทำให้ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์สูง และมีผลต่อเนื่องมาถึงการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์พริกปั่น ผลิตภัณฑ์จึงไม่ได้มาตรฐานคุณภาพ (สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 2 จังหวัดพิษณุโลก, 2553) ส่วนปัจจัยการผลิตอื่น ได้แก่ การอบแห้งพริกด้วยตู้อบพบว่ามีข้อจำกัดการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง การที่ไม่สามารถใช้อุณหภูมิสูงเพราะจะทำให้สีของพริกแห้งที่ได้คล้ำ โดยเฉพาะกรณีของพริกชี้ฟ้าซึ่งมีขนาดผลใหญ่ มีผิวเรียบเป็นมัน การระเหยของน้ำจะระเหยออกไปในส่วนของซีกด้านบนทำได้ยาก จึงทำแห้งได้ยาก

การอบแห้งพริกทั่วไปที่อุณหภูมิช่วง 50-70°C ทำลายจุลินทรีย์ได้เพียงบางส่วน ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ที่เหลือทำให้เกิดการเน่าเสียได้ การอบที่ไม่ถูกสุขลักษณะมีโอกาสปนเปื้อนเชื้อก่อโรค

โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อราสร้างสารพิษ และเชื้อแบคทีเรีย เช่น *C. perfringens* ที่ปนเปื้อนมาจากดินและสภาวะแวดล้อมในการเพาะปลูก จึงมีรายงานการปนเปื้อนของเชื้อราและเชื้อ *C. perfringens* ในตัวอย่างพริกแห้งในปริมาณเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดบ่อยครั้ง (วิชัย, 2531; นาริส และคณะ, 2552; สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 2 จังหวัดพิษณุโลก, 2553; Wangcharoen and Morasuk, 2008)

จากการสำรวจคุณภาพทางจุลชีววิทยาของพริกสดและพริกแห้งในกรุงเทพมหานครในปี 2554 พบว่าร้อยละ 95 ของตัวอย่างพริกสด ($n=57$) และร้อยละ 92 ของตัวอย่างพริกแห้ง ($n=40$) มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ทั้งหมดในพริกสดสูงถึง 5.9–7.4 และในพริกแห้ง 3.4–7.5 log CFU/g ตามลำดับ เชื้อยีสต์และราที่พบในพริกสดและพริกแห้งอยู่ในช่วง 3.8–5.6 และ 2.2–6.2 log CFU/g ส่วนเชื้อ *C. perfringens* ในพริกสดพบต่ำกว่าคือมีการปนเปื้อนของเซลล์และสปอร์อยู่ในช่วง 4–150 และ 4–460 MPN/g ตามลำดับ ในขณะที่พริกแห้งมีการปนเปื้อนเซลล์ของเชื้อ *C. perfringens* ในมากกว่าช่วง 9–>1,100 MPN/g แม้ว่าพบสปอร์ต่ำกว่า คือ 4–93 MPN/g (Mahakarnchanakul et al., 2011)

การปนเปื้อนของสารเคมีและการตกค้างของยาฆ่าแมลงเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่พบในพริกแห้งที่ได้จากกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิม เนื่องจากเกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยเคมี สารกำจัดศัตรูพืช เช่น คลอร์ไพริฟอส (chlorpyrifos) และโปรเฟโนฟอส (profenofos) ในปริมาณค่อนข้างสูง ก่อนหน้านั้นมีการศึกษาการใช้สารในกลุ่มคลอรีนโดยเฉพาะไฮโปคลอไรท์ล้างทำความสะอาดพริกสดก่อนการอบแห้ง (วิชัย, 2531; มั่นชนา, 2546; รัตนภรณ์, 2546; ปริญญา และคณะ 2552) ล่าสุดพบว่าสามารถปรับปรุงคุณภาพของพริกแห้งได้จากการศึกษาของอัจฉรา (2555) ได้ล้างพริกชี้ฟ้าสดด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่ง 3 ชนิด คือ น้ำ Electrolyzed Oxidizing (EO) ชนิดกรดซึ่งปริมาณคลอรีนเท่ากับ 50 และ 70 พีพีเอ็ม น้ำคลอรีนไดออกไซด์เข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม และน้ำไฮโปโซนเข้มข้น 0.5 และ 1 พีพีเอ็ม แช่เป็นเวลานาน 5 และ 10 นาที พบว่าพริกชี้ฟ้าหลังผ่านการล้างด้วยน้ำล้างทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำประปา สามารถลดสารคลอไพริฟอสในพริกชี้ฟ้า ได้ 67–72% การล้างด้วยน้ำไฮโปโซนเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม พบว่าลดสารคลอไพริฟอสตกค้างในพริกชี้ฟ้าได้มากที่สุด คือ 79–84% ขณะที่การล้างด้วยน้ำประปาลดสารคลอไพริฟอสได้ปานกลางคือลดได้ 31–40% ซึ่งทั้งนี้มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติเรื่องสารพิษตกค้าง (มกอช. 9002-2551) กำหนดให้พบปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (Maximum Residue Limit: MRL) ของคลอร์ไพริฟอสในพริกแห้งได้เท่ากับ 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (กมล, 2550; สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2551) การล้างพริกด้วยน้ำล้างที่มีสารออกซิไดส์เป็นอีกวิธีที่พบว่าช่วยลดปริมาณสารพิษตกค้างได้เป็นอย่างดี

สารที่มีฤทธิ์ในการออกซิไดส์ที่เป็นที่รู้จักกันดีคือ คลอรีนเป็นสารเคมีที่มีความปลอดภัย หากใช้อย่างถูกต้องตามหลัก GRAS (Generally Recognized as Safe) ใช้งานง่าย ราคาไม่แพง มีประสิทธิภาพสูงในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ และนิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร แต่ข้อเสียของคลอรีนคืออาจเกิด

สารพิษกลุ่ม Trihalomethanes (THMs) และ haloacetic acids (HAAs) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่เกิดจากปฏิกิริยาของคลอรีนอิสระรวมกับสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำ (เพ็ญแข และคณะ, 2550; Ames, 1979; Stevens 1982; Singer, 1994; Hua and Reckhow, 2007; Ölmez and Kretzschmar, 2009) จึงมีการพยายามค้นคว้าและหาสารที่สามารถใช้แทนคลอรีน

ด้วยเหตุนี้จึงมีการใช้สารออกซิไดซ์ซึ่งหลายชนิดที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าสารประกอบคลอรีน และไม่เป็นพิษตกค้างในผลิตภัณฑ์อาหาร ตัวอย่างเช่น คลอรีนไดออกไซด์ (chlorine dioxide : ClO_2) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์มากกว่าก๊าซคลอรีน (Cl_2) ถึง 2.5 เท่า ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์เกิดเป็นผลผลิตข้างเคียงที่เกิดขึ้นจากการใช้สารกำจัดเชื้อโรคในกลุ่มของ THMs (Bearson *et al.*, 1997; Russel, 1998; Kim *et al.*, 2006) ส่วนโอโซน (ozone : O_3) เป็นสารที่เป็นอีกทางเลือกหนึ่งแทนสารประกอบคลอรีน เป็นก๊าซธรรมชาติที่ปราศจากสี และมีพลังงานในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันสูง โดยไม่เหลือสารพิษตกค้างใด ๆ นอกจากออกซิเจน มีฤทธิ์ในการทำลายแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบ รา สปอร์ของรา ไวรัส และโปรโตซัว (Kim and Marshall, 1999; Xu, 1999) และยังมีรายงานเพิ่มเติมว่าโอโซนทำให้สารกำจัดแมลงเช่น ดีดีที เสื่อมสลายลงจนไม่เกิดอันตราย (ชมพุดักดิ์ และ เทพนม, 2540) และน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรด (acidic electrolyte water : AEO) ซึ่งสารมีฤทธิ์คือกรดไฮโปคลอรัสเช่นเดียวกับคลอรีน แต่มีฤทธิ์เป็นกรด จึงช่วยยับยั้งจุลินทรีย์อย่างมีประสิทธิภาพ ใช้ในการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรค มีการทดลองใช้ในเนื้อสัตว์ชำแหละและลดการปนเปื้อนของสปอร์เชื้อราในผัก (Venkitanarayanan *et al.*, 1999; Kim *et al.*, 2000) แต่อย่างไรก็ตามการเลือกใช้สารออกซิไดส์เหล่านี้ มีข้อจำกัดอยู่บ้าง เช่นการใช้คลอรีนไดออกไซด์แม้จะไม่ทำปฏิกิริยาและเกิดสารพลอยได้ (by products) ที่เป็นอันตรายเช่นเดียวกันกับการใช้คลอรีน แต่อาจทำให้ผักบางชนิด เช่น พริก และมะเขือเทศ มีสีซีด (Keskinen *et al.*, 2009) ดังนั้นการเลือกสารใดมาใช้ล้างทำความสะอาดผักสดเช่นพริกจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการล้างผักนั้น ๆ

นอกเหนือจากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร การใช้ประโยชน์ของพริกชี้ฟ้าทั้งสดและแห้งเป็นส่วนประกอบของยารักษาโรคบางชนิด และเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการสกัดสารให้สี และสกัดสารเผ็ดที่เรียกว่า แคปไซซิน (capsaicin) ซึ่งมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา หรือทำผลผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อประโยชน์ด้านสุขภาพ ใช้เพื่อควบคุมน้ำหนัก หรือประโยชน์ด้านอื่น ๆ เช่น ใช้แทนแก๊สน้ำตา ใช้เคลือบสายไฟ และสายไฟเบอร์ออปติกส์ ต่าง ๆ ป้องกันการกัดแทะของสัตว์ (เรืองชัย และคณะ, 2546; กมล, 2550) ย่อมต้องการพริกที่มีคุณภาพ เพราะฉะนั้นหากการผลิตพริกที่มีคุณภาพย่อมมีผลโดยตรงต่อผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่แปรรูปจากพริก

จากข้อมูลข้างต้นมีความเป็นไปได้ที่จะใช้เทคโนโลยีในการผลิตพริกแห้งที่มีคุณภาพเพื่อป้อนอุตสาหกรรมได้อย่างต่อเนื่อง แก้ปัญหาพริกราคาตกเมื่อมีผลผลิตมาก แก้ปัญหาพริกปนเปื้อนไม่ปลอดภัย

ต่อการบริโภค จึงควรมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตพริกแห้งไม่ว่าจะเป็นขั้นตอนการล้างหรือการอบเพื่อผลิตพริกแห้ง งานวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนากระบวนการผลิตเพื่อยกระดับคุณภาพของพริกชี้ฟ้าแห้ง ให้ได้ผลิตภัณฑ์พริกแห้งอนามัยใช้ในระดับอุตสาหกรรมอาหารทั้งใช้ในประเทศและเพื่อการส่งออก โดยทำการศึกษาให้ได้กระบวนการล้างพริกสดที่เหมาะสม ด้วยการล้างพริกด้วยสารออกซิไดซ์ซึ่ง 3 ชนิดคือ น้ำ โอโซน น้ำอเล็กโทรไลต์กรด และน้ำผสมสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในสภาวะต่าง ๆ ที่ช่วยลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์และสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ร่วมกับพัฒนากระบวนการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมสำหรับการผลิตพริกชี้ฟ้าแห้งที่มีคุณภาพเป็นที่ต้องการของผู้ประกอบการ องค์ความรู้ที่ได้นี้คาดว่าจะสามารถแก้ปัญหาด้านคุณภาพของพริกแห้ง ไม่เพียงแต่เพื่อตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมอาหารแต่จะนำไปสู่การส่งเสริมการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากพริกรูปแบบอื่น ๆ และในอนาคตหากคุณภาพของพริกแห้งใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นของอาหารเสริม สารสกัด รวมถึงยารักษาโรคได้จักเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อให้ได้กระบวนการผลิตพริกชี้ฟ้าแห้งที่มีคุณภาพและปลอดภัย เป็นวัตถุดิบส่งอุตสาหกรรมอาหารทั้งใช้ในประเทศและเพื่อการส่งออก

ขอบเขตของการวิจัย

ตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นของพริกชี้ฟ้าสายพันธุ์ต่าง ๆ จากตลาดขายส่งในภาคกลางและภาคเหนือ ทำการศึกษาประสิทธิภาพของสารออกซิไดซ์ซึ่ง ได้แก่ โซเดียมไฮโปคลอไรท์ โอโซน และน้ำอเล็กโทรไลต์กรดที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่าง ๆ ต่อการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย และเชื้อก่อโรค รวมทั้งสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชตกค้างเพื่อคัดเลือกสารออกซิไดซ์ซึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงสุด มาทดลองใช้ในกระบวนการผลิตพริกชี้ฟ้าแห้ง และทำการพัฒนากระบวนการอบแห้งพริกชี้ฟ้าเพื่อให้ได้วิธีการที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในอุตสาหกรรม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพิ่มคุณภาพของพริกชี้ฟ้าแห้ง และขีดความสามารถในการผลิตระดับอุตสาหกรรมเพื่อส่งออก
2. ได้ชนิดและสภาวะในการใช้งานของสารออกซิไดซ์ซึ่งที่มีประสิทธิภาพในการลดจำนวนจุลินทรีย์และสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชตกค้างในพริกชี้ฟ้า อย่างน้อย 1 ชนิด (ที่สภาวะในการใช้งานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด)
3. เป็นต้นแบบในการพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการล้างทำความสะอาดวัตถุดิบพริกชี้ฟ้าสดด้วยสารออกซิไดซ์ซึ่ง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรชนิดอื่น ๆ

4. ได้ข้อมูลพื้นฐานทางวิชาการใหม่ ในส่วนของผล และปัจจัยที่มีอิทธิพลสำหรับการใช้น้ำล้างออกซีไดซ์ซึ่งในการลดจำนวนจุลินทรีย์และสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชตกค้างในพริกชี้ฟ้า
5. สามารถสร้างความปลอดภัย ลดความเสี่ยงและอันตรายอันมีสาเหตุมาจากผลิตภัณฑ์พริกชี้ฟ้าสด และพริกชี้ฟ้าแห้ง

วิธีการดำเนินงานวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์

1. จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

- เชื้อจุลินทรีย์อ้างอิง *Clostridium perfringens* ATCC 13124

2. อาหารเลี้ยงเชื้อ

- สารละลายเปปโตนความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (Merck, Darmstadt, Germany)
- Trypticase soy agar (TSA) (Merck, Darmstadt, Germany)
- Tryptose sulfite cycloserine Agar (TSC Agar) (1.11972.0500 Merck, Darmstadt, Germany)
- Thioglycollate broth (1.08190.0500 Merck, Darmstadt, Germany)
- *Clostridium perfringens* selective supplement (1.00888.0010 Merck, Darmstadt, Germany)
- Motility nitrate medium (Himedia Laboratories Pvt. Ltd, India)
- Lactose gelatin medium (Merck, Darmsradt, Germany)
- Sheep blood agar (Merck, Darmsradt, Germany)
- Plate count agar (PCA) (Merck, Darmsradt, Germany)
- Dichloran rose Bengal chloramphenicol agar (DRBC agar) (Merck, Darmsradt, Germany)

3. สารเคมี

- สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (Sodium hypochlorite: AR grade, Ajak Finechem, Australia)
- สารละลายอิเล็กโทรไลต์กรด
- สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide: Fluka, Switzerland)
- กรดอะซิติก (glacial acetic acid: Fisher, United Kingdom)
- สาร N (1-naphthyl) ethylenediamine dihydrochloride (Merck, Darmsradt, Germany)

4. เครื่องมือ

- เครื่องผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์กรด (Electrolyzed water generator) โมเดล ROX-10 WA- E, Oshizaki Electric Co., Ltd., Japan นำเข้าโดยบริษัทไบโอเซฟเฟอร์ จำกัด
- เครื่องผลิตไฮโดรเจน (Bello Zon model OZVA 1021E ProMinent Fluid Controls Co., Ltd., Thailand) โดยบริษัทโพรมิเนนท์ ฟลูอิด คอนโทรลส์ (ประเทศไทย) จำกัด
- เครื่องวัดค่า Oxidation-Reduction Potential และความเป็นกรดต่าง รุน pH / Ion 510 ยี่ห้อ Eutech Instrument โดย บริษัท โพสเซส ซายน์ จำกัด

- เครื่องวัดค่าปริมาณคลอรีน ปริมาณคลอรีนไดออกไซด์ และปริมาณโอโซน รุ่น Dulcutest DT1 Photomete โดยบริษัทโพรมิเนนท์ ฟลูอิด คอนโทรลส์ (ประเทศไทย) จำกัด
- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Genesys 10 UV, Thermo electron corporation, USA.)
- ตู้บ่มเพาะเชื้อ (Mettler model 700 D 06063, Germany)
- หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (Hirayama model HA-300 MII, Japan)
- เครื่องชั่งชนิดละเอียด (Ohaus model AP 210S, USA)
- เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Jenway LTD., Felsted, Dunmow, ESSEX.CM6 3LB., United Kingdom)
- เครื่องปั่นเหวี่ยง (Biofuge primo model D-37520 osterde, Germany)
- ตู้ laminate flow cabinet (Gelman Science model no.CF43S, United Kingdom)
- เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบส (Jenco model 6071.Taiwan)
- เครื่องตีปั่น (Seward stomacher model BA 7021. Lab Blender, England)
- นาฬิกาจับเวลา (Canon Electric Business Machines Co.Ltd, China)
- เครื่องผสมสารละลายในหลอด (Vortex mixer model Genie II, USA)
- ตู้อบไมโครเวฟ (Whirlpool model VIP 27, Thailand)
- ตู้เย็น (Sharp Non CFC model SJ-51G/ST-D51G, Thailand)
- ตู้เย็น (Sanyo Labcool model MPR-720 R, Thailand)

5. วัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ

- cellulose membranes (Milli-pore) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 mm และมีขนาดของรูเท่ากับ 0.22 μm
- ถุงสำหรับตีปั่น ชนิด filter-lined stomacher bag
- คิวเวทแก้วสำหรับใช้กับเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง
- Micro-pipette พร้อม tip
- ถังสำรองน้ำผสมสารฆ่าเชื้อ ขนาดบรรจุ 114 ลิตร
- เครื่องแก้ว (Pyrex, USA) และอุปกรณ์ที่ใช้ในปฏิบัติการพื้นฐานทางจุลชีววิทยาต่าง ๆ ได้แก่ จานเพาะเชื้อ หลอดทดลอง ปิเปต ปิเปตบับ เป็นต้น
- ถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีน ขนาด 8x12 นิ้ว
- ถุง ziplock
- AnaeroPack-Anaero-2.5 L (AnaeroPack™ Mitsubishi gas chemical company, INC, Japan)

วิธีดำเนินการวิจัย (Methodology)

1. การศึกษาข้อมูลคุณภาพเบื้องต้นของวัตถุดิบ

ทำการเก็บตัวอย่างพริกชี้ฟ้าจากตลาดขายส่งในเขตกรุงเทพมหานครและจังหวัดลำพูน แพร่ พิจิตร สุโขทัย และปทุมธานี รวม 6 จังหวัด วัดขนาดของพริกโดยใช้เวอร์เนียร์ วัดค่าสี (ด้วยสายตาสีแดง 80%) ความชื้น (AOAC., 2000 : chapter 37.1.10) จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด เชื้อยีสต์และรา และ sporeforming bacteria (Stevenson and Segner, 2001; Scott *et al.*, 2001) และปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่ตกค้างด้วยชุดทดสอบ (test kit) เพื่อจัดทำข้อมูลคุณภาพเบื้องต้นของพริกชี้ฟ้า

2. การศึกษาประสิทธิภาพของสารออกซิไดซ์ซึ่งต่อการลดจำนวนจุลินทรีย์และกำจัดศัตรูพืชเคมีตกค้าง

ทดสอบประสิทธิภาพของสารออกซิไดซ์ซึ่งโอโซน น้ำอเล็กโทรไลซ์กรด และสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ที่สภาวะต่าง ๆ ในการล้างพริกชี้ฟ้าเพื่อการผลิตพริกปลอดภัย โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์และจัดสิ่งทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial in CRD) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ และสารเคมีตกค้างของสารออกซิไดซ์ซึ่งที่สภาวะต่าง ๆ กัน จำนวน 2 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้น (โอโซน 0.5–1.0 ppm, น้ำอเล็กโทรไลซ์กรด 50–70 ppm และโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 100–200 ppm (USFDA, 2010)) และระยะเวลาในการสัมผัส ที่ 5 และ 10 นาที ดัดแปลงจาก อัจฉรา, 2555) สภาวะและเปรียบเทียบกับ การล้างด้วยน้ำประปา หรือเป็นตัวอย่างควบคุม

ทำการตรวจนับจำนวนเชื้อ *C. perfringens* ซึ่งเป็นตัวแทนของกลุ่มเชื้อก่อโรค sporeformer ที่พบมากในพริกด้วย MPN technique (ดัดแปลงจาก Downes and Ito, 2001; Scott *et al.*, 2001; Swanson *et al.*, 2001; สิริพร และคณะ, 2536) และตรวจวัดปริมาณสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ในตัวอย่างพริกชี้ฟ้าเริ่มต้นและตัวอย่างหลังผ่านสภาวะ (สิ่งทดลอง) ต่าง ๆ ด้วย GT test-kit สิ่งทดลองและวิธีการทดลองถูกควบคุมตลอดการศึกษา อุณหภูมิห้องปฏิบัติการ 25–30°C และการให้สัมผัสกับสารออกซิไดซ์ซึ่งทำโดยการเขย่าด้วยมือ นาน 10 วินาที ทุก ๆ 1 นาที ตลอดเวลา 5 และ 10 นาทีของการล้างที่กำหนด

2.1 การสร้างการปนเปื้อนบนพริกชี้ฟ้า

2.1.1 สร้างการปนเปื้อนบนพริกชี้ฟ้าด้วยเชื้อ *C. perfringens*

สร้างการปนเปื้อนเทียมของเชื้อ *C. perfringens* ให้มีปริมาณสุดท้ายเท่ากับ 10^6 CFU/g ในตัวอย่างพริกชี้ฟ้าสด โดยนำตัวอย่างพริกชี้ฟ้าแดงจำนวน 100 กรัม มากี่ตามแนวยาวด้วยเข็ม เขี่ยเชื้อจากด้านหัวจนถึงปลายผลพริก (5 แนวต่อผลพริก) จากนั้นนำผลพริกชี้ฟ้าจำนวนดังกล่าวใส่ลงในถุงพลาสติกขนาด 10x15 นิ้ว แล้วเติมเชื้อ *C. perfringens* อายุ 24 ชั่วโมง จากขวดอาหาร Thioglycolate

broth ปริมาตร 200 มิลลิลิตร (ที่เตรียมได้จากข้อ 2.2) ลงไป (อัตราส่วนพริกต่อหัวเชื้อ เท่ากับ 1: 2) ทิ้งไว้ นาน 15 นาที นำมาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง นาน 1 ชั่วโมง ในตู้ laminar flow จากนั้นจึงนำพริกชี้ฟ้าที่ได้ ไปตรวจนับจำนวนเซลล์ของเชื้อ *C. perfringens* ด้วยอาหาร tryptose sulfite cycloserine egg yolk agar (TSC-EYE agar) (Scott *et al.*, 2001; Downes and Ito, 2001) เพื่อหาปริมาณเชื้อเริ่มต้นจากการ สร้างการปนเปื้อนเทียมในพริกชี้ฟ้า และนำพริกชี้ฟ้าที่สร้างการปนเปื้อนเทียมแล้วนี้ไปใช้ในการทดสอบ ประสิทธิภาพของสารออกซิไดซ์ซึ่งต่อการลดปริมาณเชื้อ *C. perfringens* ในพริกชี้ฟ้า

2.1.2 สร้างการปนเปื้อนบนพริกชี้ฟ้าด้วยสารกำจัดศัตรูพืช (ที่ระดับ 10 และ 100 เท่า)

การเตรียมตัวอย่างพริกเพื่อใช้ในการทดลอง เพื่อให้แน่ใจว่าตัวอย่างเริ่มต้นพริกชี้ฟ้า ไม่มีการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต และสารอื่น ๆ ที่เป็นสารยับยั้ง การทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส ดังนั้นตัวอย่างพริกชี้ฟ้าแดงที่ซื้อจากตลาดจะถูกล้างด้วย น้ำอเล็กโทรไลต์กรดความเข้มข้น 70 ppm นาน 10 min เพื่อล้างสารกำจัดศัตรูตกค้างที่ปนเปื้อน (เมื่อล้าง และทดสอบด้วยชุดตรวจสอบ GT แล้วต้องไม่แสดงค่าการยับยั้งเอ็นไซม์: 0% inhibition โดยที่สารสกัดจาก ตัวอย่างพริกต้องมีค่า OD₅₄₀ ต่ำกว่า ค่า OD ของ I₀)

การสร้างการปนเปื้อน นำพริกชี้ฟ้า 2 กิโลกรัม แช่ลงในน้ำอเล็กโทรไลต์กรดความเข้มข้น 70 พีพีเอ็ม ปริมาตร 20 ลิตร (อัตราส่วนพริกต่อน้ำล้าง เท่ากับ 1:10) นาน 10 แล้วสะเด็ดน้ำจน แห้ง (30 นาที ในตู้ laminar flow) จากนั้นแช่ตัวอย่างพริกชี้ฟ้า 2 กิโลกรัม แช่ลงในสารละลายกำจัด ศัตรูพืชคลอไพริฟอส และโพรพิโนฟอสแต่ละชนิดปริมาตร 20 ลิตร (อัตราส่วนพริกต่อสารละลายกำจัด ศัตรูพืช เท่ากับ 1:10) นาน 10 นาที ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน 2 ระดับ คือ ที่ระดับความเข้มข้น 10 และ 100 เท่าของค่า EU-MRL ปี 2010 คือให้ความเข้มข้นสุดท้ายได้ 5 และ 50 พีพีเอ็ม จากข้อ กำหนดการปนเปื้อนของสารคลอไพริฟอสกำหนดค่า MRL ในพริกไว้ไม่เกิน 0.5 พีพีเอ็ม (Pesticide EU-MRLs, 2010a) โดยเตรียมความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายคลอไพริฟอสที่ใช้แช่พริกเท่ากับ 60 และ 600 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ดัดแปลงจากอัจฉรา, 2555)

ในทำนองเดียวกัน ข้อกำหนดของสารโพรพิโนฟอสกำหนดค่า MRL ในพริกไว้ไม่เกิน 0.05 พีพีเอ็ม (Pesticide EU-MRLs, 2010b) ดังนั้นความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโพรพิโนฟอสที่ใช้แช่ พริกเท่ากับ 27 และ 270 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ดัดแปลงจากอัจฉรา, 2555) หลังจากสร้างการปนเปื้อนให้ได้ ความเข้มข้นสุดท้ายในพริก คือ 0.5 และ 5 พีพีเอ็ม เสร็จแล้วจึงนำพริกชี้ฟ้าแดงที่ผ่านการแช่สารกำจัด ศัตรูพืชทั้ง 2 ชนิด ดังกล่าว ผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง นาน 1 ชั่วโมง ในตู้ laminar flow (ดัดแปลงวิธีการ จากอัจฉรา, 2555; Wu *et al.*, 2007) นำไปศึกษาขั้นต่อไป

2.2 การเตรียมสารแขวนลอยเชื้อ *C. perfringens*

ทำการเพาะเลี้ยงเชื้อ *C. perfringens* ATCC 13124 โดยถ่ายเชื้อมาจากหลอดอาหาร cooked medium ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดอาหาร Thioglycolate broth ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 42°C ในสภาวะที่มีแก๊สผสมของ 10% CO₂ 5% H₂ และ 90% N₂ นาน 24 ชั่วโมง (Trinh *et al.*, 2000; Labbe, 2001 ;Byrne *et al.*, 2008) จากนั้นทำการขยายหัวเชื้อ (starter) โดยถ่ายเชื้อ *C. perfringens* (อายุ 24 ชั่วโมง) ที่เจริญอยู่ในอาหาร Thioglycolate broth ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงในขวดอาหาร Thioglycolate broth ปริมาตร 180 มิลลิลิตร (ใช้เชื้อร้อยละ 20 ของอาหารเลี้ยงเชื้อ) เขย่าให้เข้ากันแล้วจึงนำไปเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37°C ในสภาวะที่มีแก๊สผสมของ 10% CO₂ 5% H₂ และ 90% N₂ นาน 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาใช้สร้างการปนเปื้อนในตัวอย่างพริกชี้ฟ้าสด

การตรวจสอบจำนวนเซลล์ของเชื้อ *C. perfringens* ในหัวเชื้อปริมาตร 200 มิลลิลิตร (จากขวดอาหาร Thioglycolate broth หลังเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง) โดยทำการเจือจางหัวเชื้อดังกล่าวที่ระดับความเจือจาง 10⁻¹ ถึง 10⁻⁶ ด้วยสารละลายเจือจาง 0.1% peptone water (10 fold dilution) แล้วจึงนำสารแขวนลอย (suspension) ที่ระดับความเจือจาง 10⁻⁴ ถึง 10⁻⁶ ไปพอร์เพลท (pour plate) ด้วยอาหาร TSC-EYE agar (Scott *et al.*, 2001; Downes and Ito, 2001) บ่มจานเพาะเชื้อในตู้เพาะเชื้อที่มีแก๊สผสม 10% CO₂ 5% H₂ และ 85% N₂ หรือใช้ AnaeroPack-Anaero-2.5 L (AnaeroPack™ Mitsubishi gas chemical company, INC, Japan) ที่อุณหภูมิ 37°C นาน 24 ชั่วโมง ตรวจนับลักษณะโคโลนีเฉพาะของเชื้อ (typical colony) ซึ่งจะมีลักษณะเป็นสีดำ และมีลักษณะการตกตะกอนขาวขุ่นรอบโคโลนีดังกล่าว รายงานผลเป็นค่า log CFU/ml

การเก็บรักษาสายพันธุ์เชื้อ *C. perfringens* ทำได้โดยเลี้ยงเชื้อด้วยอาหาร Cooked meat medium ปิดทับด้วย sterile liquid paraffin ปริมาตร 2 มิลลิลิตร บ่มตามสภาวะข้างต้นจนเชื้อเจริญแล้วจึงเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำการ subculture ทุก ๆ 1 เดือน (Balch *et al.*, 1979; Privitera *et al.*, 1979 ;Byrne *et al.*, 2008) เพื่อใช้เป็นสต็อกของเชื้อ (stock culture)

2.3 การเตรียมสารละลายกำจัดศัตรูพืชมาตรฐาน

เตรียมสารละลายกำจัดศัตรูพืชเพื่อใช้สำหรับสร้างการปนเปื้อน (Spike) ลงในตัวอย่าง โดยเตรียมสารละลายตั้งต้นของสารละลายกำจัดศัตรูพืชทางการค้า 2 ชนิด คือ Chlorpyrifos (40% w/v) และ Prophenophos (50% w/v) โดยใช้ปิเปตดูดสารคลอไพริฟอส และโพรพิโนฟอสปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในโวลูมเมตริกฟลาสก์ จากนั้นปรับปริมาตรด้วยสารละลายเอทานอลร้อยละ 5 (5% Ethanol) เป็น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายคลอไพริฟอส และโพรพิโนฟอสเข้มข้น 40,000 พีพีเอ็ม และ 50,000 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ทำการเจือจางสารละลายสารคลอไพริฟอส และโพรพิโนฟอสที่ระดับความเข้มข้นตามที่ต้องการ

2.3.1 การเตรียมสารคลอไพริฟอส 100 เท่า ของ EU-MRL (กำหนดที่ 0.5 พีพีเอ็ม) คือเท่ากับ 50 พีพีเอ็ม อ้างอิงข้อมูลของอัญฉรา (2555) การสร้างการปนเปื้อนบนพริกชี้ฟ้าเขียวด้วยสารละลายคลอไพริฟอสความเข้มข้น 600 พีพีเอ็ม พบว่ามีสารดังกล่าวตกค้างที่พริกประมาณ 5.15 พีพีเอ็ม ดังนั้นจึงต้องเตรียมสารละลายความเข้มข้น 600 พีพีเอ็ม ปริมาตร 20 ลิตร ต่อพริก 2 กิโลกรัม (พริกต่อสารละลายที่ใช้ในการสร้างการปนเปื้อนเท่ากับ 1: 10) โดยจากสารคลอไพริฟอสตั้งต้นความเข้มข้น 40% (40% w/v) ซึ่งจะเท่ากับ 400,000 ppm ใช้ปิเปตดูดสารดังกล่าวปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วย 0.5% ethanol โดยใช้ volumetric flask จะได้สารละลายความเข้มข้น 40,000 พีพีเอ็ม (ทำ 3 ครั้ง) จากนั้นจึงใช้กระบอกลงตวงสารละลายที่ได้ปริมาตร 300 มิลลิลิตร ลงในถุงพลาสติกขนาดใหญ่ที่มีน้ำประปาปริมาตร 19,700 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน คาดว่าจะได้ปริมาณปนเปื้อนเริ่มต้นในพริก 50 พีพีเอ็ม

การวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร เพื่อนำมาพลอตในกราฟมาตรฐาน (standard curve) ให้เจือจางสารสกัดจากตัวอย่างพริกที่สร้างการปนเปื้อนสารละลายคลอไพริฟอสความเข้มข้น 600 ppm ประมาณ 10 เท่า โดยดูดสารสกัดจากตัวอย่างพริกปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เจือจางด้วยการเติม 0.5% ethanol ปริมาตร 4.5 มิลลิลิตร หรืออาจเจือจาง 20 เท่า โดยเติม 0.5% ethanol ปริมาตร 9.5 มิลลิลิตร (ค่า OD₅₄₀ ที่วัดได้ไม่ควรเกิน 0.6–0.8)

2.3.2 การเตรียมสารคลอไพริฟอส 10 เท่า ของ EU-MRL (กำหนดที่ 0.5 ppm) คือเท่ากับ 5 พีพีเอ็ม อ้างอิงข้อมูลของอัญฉรา (2555) ได้เตรียมสารละลายความเข้มข้น 60 ppm ปริมาตร 20 ลิตร ต่อพริก 2 กิโลกรัม (พริกต่อสารละลายที่ใช้ในการสร้างการปนเปื้อนเท่ากับ 1:10) โดยจากสารคลอไพริฟอสตั้งต้นความเข้มข้น 40% (40% w/v) ซึ่งจะเท่ากับ 400,000 ppm ใช้ปิเปตดูดสารดังกล่าวปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วย 0.5% ethanol โดยใช้ volumetric flask จะได้สารละลายความเข้มข้น 40,000 ppm จากนั้นจึงใช้ปิเปตดูดสารละลายที่ได้ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ลงในถุงพลาสติกขนาดใหญ่ที่มีน้ำประปาปริมาตร 19,970 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน คาดว่าจะได้ปริมาณปนเปื้อนเริ่มต้นในพริก 5 พีพีเอ็ม

2.3.3 ในทำนองเดียวกันการเตรียมสารไพริโนฟอส 100 เท่า ของ EU-MRL (กำหนดที่ 0.05 พีพีเอ็ม) คือเท่ากับ 5 พีพีเอ็ม จากข้อมูลของอัญฉรา (2555) การสร้างการปนเปื้อนพริกชี้ฟ้าเขียวด้วยสารละลายไพริโนฟอส ความเข้มข้น 27 พีพีเอ็ม พบว่ามีสารดังกล่าวตกค้างที่พริกเพียง 0.05 พีพีเอ็ม ได้เตรียมสารละลายความเข้มข้น 270 พีพีเอ็ม ปริมาตร 20 ลิตร ต่อพริก 2 กิโลกรัม (พริกต่อสารละลายที่ใช้ในการสร้างการปนเปื้อนเท่ากับ 1:10) โดยจากสารไพริโนฟอสตั้งต้นความเข้มข้น 50% (50% w/v) ซึ่งจะเท่ากับ 500,000 พีพีเอ็ม ใช้ปิเปตดูดสารดังกล่าวปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วย 0.5% ethanol โดยใช้ volumetric flask จะได้สารละลายความเข้มข้น 50,000 พีพีเอ็ม (ทำ 3 ครั้ง) จากนั้นจึงใช้กระบอกลงตวง ตวงสารละลายที่ได้ปริมาตร 108 มิลลิลิตร ลงในถุงพลาสติกขนาดใหญ่ที่มีน้ำประปา

ปริมาตร 19,892 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน คาดว่าจะได้ปริมาณปนเปื้อนเริ่มต้นในพริก 5 พีพีเอ็ม การวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ทำตามวิธีเดียวกันกับข้อ 2.3.1

2.3.4 การเตรียมสารโพรฟิโนฟอส 10 เท่า ของ EU-MRL (กำหนดที่ 0.05 พีพีเอ็ม) คือเท่ากับ 0.5 พีพีเอ็ม อ้างอิงข้อมูลของอัจฉรา (2555) ได้เตรียมสารละลายความเข้มข้น 27 พีพีเอ็ม ปริมาตร 20 ลิตร ต่อพริก 2 กิโลกรัม (พริกต่อสารละลายที่ใช้ในการสร้างการปนเปื้อนเท่ากับ 1:10) สร้างการปนเปื้อนทำนองเดียวกันกับข้อ 2.3.3 และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ตามวิธีของข้อ 2.3.1

2.4 การเตรียมสารละลายสำหรับล้างพริกชี้ฟ้า

2.4.1 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม (200 ppm Sodium hypochlorite solution: NaOCl) จากสต็อกสารโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 12.5% (w/v) ซึ่งก็คือ 125,000 ppm ให้เตรียมสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร โดยปิเปตสารโซเดียมไฮโปคลอไรท์ปริมาตร 40 มิลลิลิตร แล้วปรับเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นโดยใช้ volumetric flask วัดความเข้มข้นของ free chlorine ด้วยเครื่อง N,N-Diethyl-p-phenylendiamin (DPD) measuring photometer แล้วจึงทำการเจือจางให้ได้ความเข้มข้น 200 และ 100 พีพีเอ็ม ต่อไปตามลำดับ

เตรียมสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม ปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร โดยปิเปตสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ปริมาตร 80 มิลลิลิตร แล้วลงในถุงพลาสติกขนาดใหญ่ที่มีน้ำกลั่นปริมาตร 1,920 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ปรับค่าพีเอชด้วยกรดอะซิติก (glacial acetic acid) จนมีค่าพีเอช 6.5-7.5 (Lindsey *et al.*, 2009) บันทึกค่าพีเอช และค่า ORP

ส่วนการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร ให้ปิเปตสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 5,000 พีพีเอ็ม ปริมาตร 40 มิลลิลิตร แล้วลงในถุงพลาสติกขนาดใหญ่ที่มีน้ำกลั่นปริมาตร 1,960 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ปรับค่าพีเอชด้วยกรดอะซิติก (glacial acetic acid) จนมีค่าพีเอช 6.5-7.5 (Lindsey *et al.*, 2009) บันทึกค่าพีเอช และค่า ORP

การวัดค่า free chlorine ด้วยเครื่อง N,N-Diethyl-p-phenylendiamin (DPD) measuring photometer (DULCOTES DT1, ProMinent, Germany) โดยวิธี DPD Colorimetric Method (กรรณิการ์, 2544) แต่เนื่องจากเครื่องมีความสามารถในการวัดสูงสุดที่ 3 พีพีเอ็ม จึงต้องทำการเจือจางสารละลาย NaOCl ให้มีความเข้มข้นน้อยลง 100 เท่า โดยปิเปตสารละลาย NaOCl ที่เตรียมได้ มา 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในคิวเวทสำหรับวัด แล้วปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ตามสเกลที่ข้างขวดคิวเวท แล้วจึงใส่เม็ดยา DPD No. 1 ลงไป 1 เม็ด บดเม็ดยาให้ละเอียด (ภายใน 10 วินาที) แล้วนำไปวัด โดยเลือกที่ mode วัด Cl ซึ่งจะต้องใช้น้ำกลั่นวัดก่อน (เป็น Blank) ค่าที่ได้จะเท่ากับ 2.00 และ 1.00 พีพีเอ็ม สำหรับสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 200 และ 100 พีพีเอ็ม ตามลำดับ

*** หมายเหตุ: - เม็ดยา DPD No. 1 ใช้สำหรับวัดความเข้มข้นของ free chlorine (ppm) ในสารละลาย โซเดียมไฮโปคลอไรต์, คลอรีนไดออกไซด์ และน้ำอิเล็กโทรไลต์
- เม็ดยา DPD No. 4 ใช้สำหรับวัดความเข้มข้น (ppm) ในสารละลายโอโซน

2.4.2 การเตรียม 50 และ 70 ppm acidic electrolyze water (50 and 70 ppm AcEW)

เตรียมสต็อกสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้น 10.0% (w/v) โดยชั่ง โซเดียม-คลอไรด์ 500 กรัม ใส่ลงในน้ำสะอาดปริมาตร 5,000 มิลลิตร จากนั้นนำไปเติมด้านล่างเครื่องผลิต น้ำอิเล็กโทรไลต์ (model ROX-10 WA- E, Hoshizaki Electric CO., Ltd., Japan) การเปิดเครื่องให้ยก เบรกเกอร์ที่อยู่ด้านขวาขึ้น (เมื่อหันหน้าเข้าหาเครื่อง) นำถึงพลาสติกมารองรับน้ำ EO ที่ต้องการ (กรด หรือ เบส) โดยขณะรองรับน้ำอิเล็กโทรไลต์จะต้องปิดผนึกถังให้สนิทด้วย จากนั้นจึงนำน้ำอิเล็กโทรไลต์ที่ได้มาวัด ความเข้มข้นของ free chlorine เช่นเดียวกับวิธีการที่ใช้ในการวัด free chlorine ของสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ด้วยเม็ดยา DPD No. 1 โดยการเตรียมน้ำอิเล็กโทรไลต์กรดความเข้มข้น 70 พีพีเอ็ม จะอ่านค่าที่ได้จากเครื่องวัดเท่ากับ 0.70 พีพีเอ็ม ส่วนการเตรียมน้ำอิเล็กโทรไลต์กรดความเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม สามารถทำได้เช่นเดียวกับการเตรียมน้ำอิเล็กโทรไลต์กรดความเข้มข้น 70 พีพีเอ็ม แต่จะอ่านค่าที่ได้จากเครื่องวัดให้ได้เท่ากับ 50 พีพีเอ็ม

2.4.3 การเตรียม 0.5 และ 1 ppm aqueous ozone (0.5 and 1 ppm O₃)

ผลิตสารละลายโอโซนด้วยเครื่องผลิตน้ำโอโซน (Bello Zon model OZVA 1021E ProMinent Fluid Controls Co., Ltd., Thailand) การเปิดเครื่องให้เปิดวาล์วน้ำเข้าเครื่องก่อน (ข้าง หน้าต่าง) จากนั้นจึงเปิดวาล์วให้น้ำเข้าแท่งกรองรับน้ำโอโซน (ขนาด 100 ลิตร) จนมีปริมาตร 80 ลิตร แล้ว จึงเสียบปลั๊กของเครื่องผลิตน้ำโอโซน และปลั๊กของปั๊มลม (ปิดเบรกเกอร์ของปั๊มลมจากที่ 3 นาฬิกา ลงมาที่ 6 นาฬิกา) แล้วปิดเบรกเกอร์ที่อยู่ด้านซ้ายของตู้ควบคุมลง (เมื่อหันหน้าเข้าหาเครื่อง และตู้ควบคุม) สังเกต ที่หน้าปิดบอกความเข้มข้นของน้ำโอโซนที่ผลิตได้ว่าเท่ากับ 1 พีพีเอ็ม หรืออาจสูงกว่า จึงนำถึงพลาสติกมา รองรับน้ำโอโซน โดยขณะรองรับน้ำโอโซนจะต้องปิดผนึกถังให้สนิทด้วย จากนั้นจึงนำน้ำโอโซนที่ได้มาวัด ความเข้มข้นของโอโซนอีกครั้ง เช่นเดียวกับวิธีการที่ใช้ในการวัด free chlorine ของสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ และน้ำอิเล็กโทรไลต์ แต่ใช้เม็ดยา DPD No. 4 โดยจะอ่านค่าที่ได้จากเครื่องวัดเท่ากับ 1.00 พีพี เอ็ม ส่วนการเตรียมน้ำโอโซนความเข้มข้น 0.50 พีพีเอ็ม สามารถทำได้เช่นเดียวกับการเตรียมน้ำโอโซน ความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม โดยจะอ่านค่าที่ได้จากเครื่องวัดให้ได้เท่ากับ 0.50 พีพีเอ็ม

2.5 การทดสอบประสิทธิภาพของสารออกซิไดซ์ซึ่งต่อการลดปริมาณเชื้อ *C. perfringens* ในพริกชี้ฟ้า

นำสารฆ่าเชื้อที่เตรียมได้ในแต่ละสภาวะ (ข้อ 2.4) มาทำการล้างพริกชี้ฟ้า (100 กรัม) ที่ผ่านการสร้างการปนเปื้อนเทียมเชื้อ *C. perfringens* (ตามข้อ 2.1.1) โดยทดลองล้างพริกชี้ฟ้าปนเปื้อนเชื้อ *C. perfringens* ด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดซ์ซึ่ง 2 ชนิด คือ น้ำโอโซนเข้มข้น 0.5 และ 1 พีพีเอ็ม และน้ำอิเล็กโทรไลต์กรด ที่ความเข้มข้น 50 และ 70 พีพีเอ็ม เปรียบเทียบกับการล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์เข้มข้น 100 และ 200 พีพีเอ็ม (conventional method) และน้ำประปา (ตัวอย่างควบคุม) โดยนำพริกชี้ฟ้า 200 กรัม แช่ลงในน้ำล้างแต่ละชนิด (ปริมาตร 2 ลิตร) และเขย่าทุก ๆ 1 นาที (สัดส่วนพริกต่อน้ำล้าง เท่ากับ 1:10) ใช้ระยะเวลาในการล้างนาน 5 และ 10 นาที ที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส เมื่อครบเวลาล้างนำไปผึ่งให้แห้งในตู้เป่าลม (Laminar Air Flow) นาน 1 ชั่วโมง (ดัดแปลงวิธีการจากอัจฉรา และคณะ, 2554ก และ ข; อัจฉรา, 2555; Wu *et al.*, 2007) หลังจากนั้นจึงนำพริกชี้ฟ้าที่ได้ไปไปตรวจนับจำนวนเซลล์ของเชื้อ *C. perfringens* ด้วยอาหาร TSC-EYE agar (Scott *et al.*, 2001; Downes and Ito, 2001) เพื่อหาปริมาณเชื้อที่หลงเหลืออยู่

2.6 การทดสอบประสิทธิภาพของสารออกซิไดซ์ซึ่งต่อการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในพริกชี้ฟ้า

นำสารฆ่าเชื้อที่เตรียมได้ในแต่ละสภาวะมาทำการล้างพริกชี้ฟ้า (200 กรัม) ที่ผ่านการสร้างการปนเปื้อนด้วยสารกำจัดศัตรูพืช (ตามข้อ 2.1.2) โดยทดลองล้างพริกชี้ฟ้าปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโน-ฟอสเฟต (คลอไพริฟอสและโพรพิโนฟอส) ที่ระดับการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชเท่ากับ 10 และ 100 เท่า ของค่า EU-MRLs ปี 2010 ด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดซ์ซึ่ง 2 ชนิด คือ น้ำโอโซนเข้มข้น 0.5 และ 1 พีพีเอ็ม และน้ำอิเล็กโทรไลต์กรด ที่ปริมาณคลอรีนอิสระ 50 และ 70 พีพีเอ็ม เปรียบเทียบกับการล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์เข้มข้น 100 และ 200 พีพีเอ็ม (conventional method) และน้ำประปา (ตัวอย่างควบคุม) โดยนำพริกชี้ฟ้า 200 กรัม แช่ลงในน้ำล้างแต่ละชนิดของสารกำจัดศัตรูพืช (ปริมาตร 2 ลิตร) และเขย่าทุก ๆ 1 นาที (สัดส่วนพริกต่อน้ำล้าง เท่ากับ 1:10) ใช้ระยะเวลาในการล้างนาน 5 และ 10 นาที ที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส เมื่อครบเวลาล้างนำพริกชี้ฟ้าจุ่มในถังน้ำประปา (ปริมาตร 2 ลิตร) โดยแกว่งเบา ๆ ประมาณ 1 นาที ก่อนนำขึ้นสะเด็ดน้ำบนตะแกรงและนำไปผึ่งให้แห้งในตู้เป่าลม (Laminar Air Flow) นาน 1 ชั่วโมง (ดัดแปลงวิธีการจากอัจฉรา และคณะ, 2554ก และ ข; อัจฉรา, 2555; Wu *et al.*, 2007) หลังจากนั้นจึงนำพริกไปวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างด้วยชุดทดสอบจีที ตามข้อ 2.7

2.7 การวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชด้วยชุดทดสอบจีที

2.7.1 ส่วนประกอบของชุดทดสอบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง “จีที”

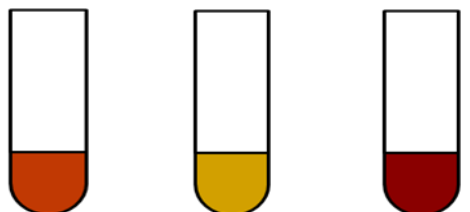
ชุดทดสอบเบื้องต้นสำหรับตรวจวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง ของห้างจีที ตรวจสอบความเป็นพิษตกค้างจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืช (Pesticide) หรือสารกำจัดศัตรูพืชอื่นๆ ที่อาจปนเปื้อนหรือตกค้างในอาหาร โดยสามารถตรวจหาความเป็นพิษของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช 2 กลุ่ม คือกลุ่ม ออร์กาโนฟอสเฟต คาร์บาเมต และสารกำจัดศัตรูพืชอื่น ๆ ที่เป็นสารยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส (หน่วยเคลื่อนที่เพื่อความปลอดภัยด้านอาหารฯ, 2551) ชุดทดสอบ “จีที” หรือ GT-Test Kits ภายในประกอบด้วยสารเคมีต่าง ๆ ได้แก่ (ภาพที่ 26) และหลักในการอ่านผลจากชุดทดสอบ คือ ร้อยละการยับยั้งเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส ดังแสดงในตารางที่ 64

- | | |
|--------------|---|
| 1. Solvent 1 | คือ ไดคลอโรมีเทน |
| 2. Solvent 2 | คือ 5% เอทานอล |
| 3. GT-1 | คือ เอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส |
| 4. GT-2 | คือ สารสื่อประสาทอะซิติลโคลีน |
| 5. GT-2.1 | คือ ตัวทำละลายของ GT2 |
| 6. GT-3 | คือ ไฮดรอกซีอะมีน (ตัวยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา) |
| 7. GT-3.1 | คือ ตัวทำละลายของ GT3 |
| 8. GT-4 | คือ กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid: HCl) |
| 9. GT-5 | คือ เฟอริกคลอไรด์ (Ferric chloride: FeCl_3) |



ภาพที่ 26 ส่วนประกอบของชุดทดสอบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง “จีที”

ตารางที่ 64 การอ่านผลร้อยละการยับยั้งเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส เปรียบเทียบกับสีที่ปรากฏ

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

หมายเหตุ % Inhibition คือ ร้อยละการยับยั้งเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส

2.7.2 การสกัดสารตัวอย่างพริกสดและพริกแห้ง

สุมตัวอย่างพริกสด ชั่งน้ำหนักให้ได้ 100 กรัม และหั่นเป็นชิ้นละเอียดขนาดประมาณ 0.3x0.3 มิลลิเมตร (กว้างxยาว) แล้วสุมซังพริก 2.5 กรัม สกัดด้วยน้ำยาสกัด 1 (Solvent 1) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันประมาณ 1 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 10–15 นาที เมื่อครบเวลาดูดสารสกัดที่ได้บริเวณก้นหลอดปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง แล้วเติมน้ำยาสกัด 2 (solvent 2) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองเดียวกัน (ทำในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 35°C) ในขั้นนี้จะสังเกตเห็นสารละลายแยกออกเป็น 2 ชั้น อย่างชัดเจน นำหลอดทดลองที่ได้ไประเหยสารสกัดออก โดยใช้ pasteur pipette ต่อกับบีบลขนาดเล็ก แล้วจุ่มปลาย pasteur pipette ลงไปในสารละลายภายในหลอดทดลอง ใช้เวลานาน 5 นาที จะสังเกตเห็นสารละลายภายในหลอดเหลืออยู่เพียงชั้นเดียว (จากเดิมที่เห็นเป็น 2 ชั้น) แล้วจึงนำสารสกัดจากพริก (chili extract) ที่ได้ไปวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในขั้นต่อไป (กอบทอง, 2553)

แต่ในกรณีที่ป็นตัวอย่างพริกแห้ง จำเป็นต้องทำการสกัด 2 ครั้ง (double extraction) โดยนำสารสกัดจากพริก (1st chili extract) ที่ได้มาทำการสกัดซ้ำอีกครั้งหนึ่ง จนได้สารสกัดจากพริกแห้ง (dried chili extract) (กอบทอง, 2553)

2.7.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืช

นำสารสกัดจากพริกสด (chili extract) หรือพริกแห้ง (dried chili extract) ที่ได้จากขั้นตอนการสกัดปริมาตร 0.25 มล. มาใช้ในการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง โดยเติมน้ำยาล้างที่ต่าง ๆ ตามที่ระบุ (ตารางที่ 65) โดยการวิเคราะห์ตัวอย่างในขั้นนี้จะเป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (qualitative analysis) ซึ่งสามารถรายงานผลได้เพียงว่าตัวอย่างพริกมีการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างอยู่ในระดับที่ปลอดภัยหรือไม่ ทั้งนี้ในแต่ละครั้งของการวิเคราะห์เชิงคุณภาพดังกล่าว จำเป็นต้องมีหลอดทดลองเปรียบเทียบ 3 หลอด ได้แก่

- หลอดควบคุม หมายถึง ไม่เกิดการยับยั้งเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส (0% inhibition)
- หลอดตัดสิน หมายถึง เกิดการยับยั้งเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสร้อยละ 50 (50% inhibition)
- หลอดตัวอย่าง หมายถึง หลอดทดสอบสารสกัดจากตัวอย่างพริก

ตารางที่ 65 การเติมน้ำยาจีทีชนิดต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในพริก

สาร	ปริมาตรสารที่ต้องเติมลงในแต่ละหลอด (มิลลิลิตร)			หมายเหตุ
	หลอดตัดสิน	หลอดควบคุม	หลอดตัวอย่าง	
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 องศาเซลเซียส
ที่มา: กอบทอง (2553)

ดังนั้นในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative study) จึงต้องนำหลอดทดลองเปรียบเทียบทั้ง 3 หลอด ไปวัดค่า OD ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จากนั้นจึงคำนวณหาปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง (พีพีเอ็ม) โดยเทียบกับกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่า OD กับค่าความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชทั้ง 2 ชนิด คือสารคลอไพริฟอส และสารโพรพิโนฟอส (อัจฉรา และคณะ, 2554ก และ ข; อัจฉรา, 2555) แต่อย่างไรก็ตามวิธีการวิเคราะห์เชิงปริมาณซึ่งเป็นวิธีการที่ประยุกต์ขึ้นมานี้ มีข้อจำกัดโดยสามารถใช้วิเคราะห์ได้เฉพาะกับตัวอย่างที่มีการสร้างการปนเปื้อนด้วยสารกำจัดศัตรูพืชแต่ละชนิดเท่านั้น ต้องทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่า OD กับค่าความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชชนิดนั้น ๆ เพื่ออาศัยสมการเส้นตรงที่ได้มาคำนวณหาปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง (พีพีเอ็ม)

3. การพัฒนากระบวนการอบแห้งเพื่อปรับปรุงคุณภาพของพริกชี้ฟ้าแห้งในระดับอุตสาหกรรม

ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอบแห้งพริกชี้ฟ้า เพื่อพัฒนาเป็นกระบวนการอบแห้งที่เหมาะสมกับการผลิตเพื่อการส่งออก ผลิตพริกชี้ฟ้าแห้งโดยใช้สารออกซิไดซ์ซึ่งที่เหมาะสมในการล้างทำความสะอาดพริกสด ร่วมกับกระบวนการอบแห้งพริกที่พัฒนาขึ้น

3.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการอบแห้ง

3.1.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ศึกษาวิธีการเตรียมวัตถุดิบและอบแห้งพริกในเบื้องต้น โดยใช้พริกชี้ฟ้าแดงสดพันธุ์แม่ปิง 80 จาก จังหวัดสุโขทัย และพันธุ์หยกสยามจากตลาดไท นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4–6°C ก่อนการทดลองไม่เกิน 1 สัปดาห์ คัดเลือกพริกที่มีสีแดง และมีขนาดใกล้เคียงกันด้วยสายตา นำมาล้างทำความสะอาด ผึ่งให้สะเด็ดน้ำ แล้วทำการทดลองการปรับปรุงคุณภาพของพริกก่อนการอบแห้งด้วยวิธีการลวก และการใช้สารเคมี โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (Sodium metabisulfite) และแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) หรือใช้ร่วมกัน ก่อนการอบแห้ง

3.1.2 วิธีการทำแห้ง

ทำแห้งพริกโดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dryer) แบบอุณหภูมิระดับเดียว (one-stage temperature) ที่อุณหภูมิ 65°C นาน 20 ชั่วโมง. และแบบอุณหภูมิสองระดับ (two-stage temperature) ที่อุณหภูมิ 65°C นาน 4 ชั่วโมง และ 55°C นาน 18 ชั่วโมง คัดเลือกวิธีการอบแห้งที่เหมาะสม จากร้อยละของผลผลิตหรือ % yield ของพริกแห้ง (กานต์ตระกูล และคณะ, 2549) ลักษณะปรากฏ ค่าสี (L*C*h) (Hunter Associates Laboratory Inc., 2009) และปริมาณความชื้น (AOAC., 2000 : chapter 37.1.10) ตามข้อกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพริกแห้ง (มอก. 456/2526) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2526)

3.2 การปรับปรุงคุณลักษณะทางกายภาพของพริกชี้ฟ้าต่างสายพันธุ์ก่อนการอบแห้ง

3.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบพริกชี้ฟ้าสด (มีขั้ว) 4 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์แม่ปิง 80 (MP) จากจังหวัดสุโขทัย พันธุ์หยกสยาม (YS) พันธุ์มรกต (MR) และพันธุ์ฮอตซิลลี่ (HC) ซื้อจากแหล่งจำหน่ายพริกสดตลาดไท จังหวัดปทุมธานี เก็บรักษาตัวอย่างพริกสดในห้องเย็น (4–6°C) เพื่อใช้ในการทดลองภายใน 1 สัปดาห์ ลักษณะทางกายภาพของพริกที่ใช้ในการทดลอง

3.2.2 การปรับปรุงคุณภาพของพริกก่อนการอบแห้ง

ในการทดลองคัดเลือกพริกที่มีสีแดง และมีขนาดใกล้เคียงกันด้วยสายตา นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ 3 ครั้ง และผึ่งให้สะเด็ดน้ำ นาน 1 ชั่วโมง ทำการปรับปรุงคุณภาพของพริกก่อนการ

อบแห้งด้วยวิธีการลวกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90°C นาน 3 นาที (Gupta *et al.*, 2002) และแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (Sodium metabisulfite) ความเข้มข้น 0.3% หรือใช้ร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) 1% นาน 10 นาที (Wiriya *et al.*, 2009) อัตราส่วนพริก 1.5 กิโลกรัม ต่อสารละลาย 6 ลิตร สะเด็ดน้ำออกจากพริกก่อนนำไปอบแห้ง เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลวก และการแช่สารเคมี

3.2.3 การทำแห้ง

ทำการอบแห้งพริกโดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dryer) เลือกใช้สภาวะที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.1 คือ อบแห้งแบบอุณหภูมิระดับเดียว (one-stage temperature) ที่อุณหภูมิ 65°C อบจนกระทั่งพริกแห้ง ใช้เวลาประมาณ 20 ชม. เก็บตัวอย่างพริกแห้งบรรจุถุงพลาสติกใส (polypropylene) ตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะและขนาดของพริกสด ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) และค่าสี (L*C*h) ด้วยเครื่องวัดสี (Spectraflash 600; Datacolor International) โดยใช้ค่าเฉลี่ยจากค่าที่วัดสีผิวของพริกจำนวน 5 ผล ๆ ละ 3 ครั้ง

4. การถ่ายทอดเทคโนโลยี และรายงานผลการวิจัย

ทำการถ่ายทอดเทคโนโลยีในกระบวนการล้าง และการอบแห้งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมผลิตน้ำพริกแก่ผู้เข้าร่วมโครงการ หรือที่ทาง วช. ร้องขอให้ดำเนินการ ในรูปแบบของการจัดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ พร้อมรายงานผลการวิจัย

ผลการวิจัย

1. การศึกษาข้อมูลคุณภาพเบื้องต้นของวัตถุดิบ

ตัวอย่างพริกชี้ฟ้าสดจำนวน 50 ตัวอย่าง เลือกตัวแทนพันธุ์ที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม 4 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์แม่ปิง 80 พันธุ์หยกสยาม พันธุ์มรกต และพันธุ์ฮอตซิลลี่ พริกทั้งหมดซื้อจากตลาดขายส่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร ได้แก่ตลาดไท ตลาดสี่มุมเมือง และตลาดยิ่งเจริญ และจังหวัดอื่น ๆ ได้แก่ นนทบุรี สุโขทัย พิษณุโลก แพร่ เชียงใหม่ และลำพูน (จากบริษัทเอสแอนด์เจ โปรดักท์ จำกัด เลขที่ 229 หมู่ที่ 7 ตำบลนครเจดีย์ อำเภอป่าซาง จังหวัดลำพูน)

ผลการวัดขนาด สีของผลพริก ความชื้น พบว่าพริกชี้ฟ้าสดแต่ละพันธุ์มีลักษณะปรากฏแตกต่างกันชัดเจนในด้านขนาด สี ปริมาณความชื้นของพริกชี้ฟ้าพันธุ์แม่ปิงมีแนวโน้มสูงกว่าสายพันธุ์อื่น แต่ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นทั้ง 4 สายพันธุ์ไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 66) พริกพันธุ์มรกตมีขนาดด้านความยาวและเส้นรอบวงผลใหญ่กว่าพันธุ์อื่น ๆ รองลงมาคือพันธุ์แม่ปิง 80 และหยกสยาม ในขณะที่พันธุ์ฮอตซิลลี่จะมีขนาดเส้นรอบวงผลน้อยที่สุด กล่าวคือในที่นี้พันธุ์ฮอตซิลลี่มีขนาดเล็กกว่าพริกสายพันธุ์อื่น (ภาพที่ 27)

ตารางที่ 66 ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างพริกชี้ฟ้าสดพันธุ์ต่าง ๆ (n=50)

ค่าพารามิเตอร์	พันธุ์			
	แม่ปิง 80	หยกสยาม	มรกต	ฮอตซิลลี่
ความยาวผล (จากหัวถึงปลาย: ซม.)	8–11	8–14	12–19	10–15
เส้นรอบวงส่วนหัว (ซม.)	4–6	4–6	6–8	3–4
เส้นรอบวงส่วนกลาง (ซม.)	5–6.5	5–6.5	5–8	3–4
เส้นรอบวงส่วนปลาย (ซม.)	2–3	2–3	2–3	2–3
สี	แดงสด	แดงสด	แดงสด	แดงสด
ความชื้น (ร้อยละ)	84.1–88.2	82.4–87.7	82.9–86.8	82.6–87.1



พันธุ์แม่ปิง 80

พันธุ์หยกสยาม

พันธุ์มรกต

พันธุ์ฮอตซิลลี่

ภาพที่ 27 ลักษณะปรากฏของพริกชี้ฟ้าพันธุ์แม่ปิง 80 หยกสยาม มรกต และฮอตซิลลี่

ส่วนตัวอย่างพริกชี้ฟ้าแห้งจำนวน 50 ตัวอย่าง ซื้อมาจากกรุงเทพมหานคร (ตลาดไทย ตลาดสี่มุมเมือง และตลาดยิ่งเจริญ) จังหวัดแพร่ พิชณุโลก สุโขทัย และ ลำพูน (จากบริษัทเอสแอนด์เจ โปรดักท์ จำกัด เลขที่ 229 หมู่ที่ 7 ตำบลนครเจดีย์ อำเภอลำปาง จังหวัดลำพูน) ผลการวัดขนาด สีของผลพริก ความชื้นพบว่าขนาด สี ส่วนลักษณะทางกายภาพของพริกชี้ฟ้าแห้งแต่ละชนิดไม่มีความแตกต่างกันชัดเจน แต่ความชื้นของพริกชี้ฟ้าแห้งแต่ละชนิดนั้นแตกต่างกัน ตั้งแต่ร้อยละ 12-19 แต่ในตัวอย่างพันธุ์เดียวกันมีความแปรปรวนใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 67) พริกแห้งจากจากจีนและอินเดียมีขนาดใกล้เคียงกัน ส่วนพริกชี้ฟ้าไทยมีความยาวกว่าพริกแห้งชนิดอื่น ๆ และมีเนื้อค่อนข้างหนากว่าพริกแห้งจีนและอินเดีย ยกเว้นพริกบางช้างซึ่งเป็นพริกแห้งไทยมีผลขนาดใหญ่ที่สุด มีเนื้อหนากว่าพริกแห้งชนิดอื่น ๆ แต่ความยาวผลสั้นกว่าพริกชนิดอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 28)

พริกแห้งของไทยทั้ง 4 พันธุ์นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์น้ำพริกและเครื่องปรุงรสเป็นหลัก การเลือกใช้พริกแห้งพันธุ์ใดนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการของแต่ละโรงงาน แต่อย่างไรก็ตามจากการสำรวจ และลงพื้นที่เก็บตัวอย่างจากร้านค้าส่งพริกแห้งในตลาดไทยช่วงเดือนกรกฎาคม ปี 2555 ถึงเดือนมกราคม ปี 2556 ที่ผ่านมา พบว่าพริกที่มียอดการสั่งซื้อจากโรงงานอาหารกลับเป็นพริกชี้ฟ้าแห้งจากจีนและอินเดีย เนื่องจากการส่งพริกชี้ฟ้าไทยและพริกบางช้างจำหน่ายในท้องตลาดไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการของโรงงาน ที่สำคัญคือขาดความต่อเนื่องของผลผลิตที่ส่งเข้าตลาด



ภาพที่ 28 ลักษณะปรากฏของพริกชี้ฟ้าแห้งชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 67 ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างพริกชี้ฟ้าแห้งพันธุ์ต่าง ๆ (n=50)

ค่าพารามิเตอร์	ชนิดของพริกแห้ง			
	บางช้าง	จีน	อินเดีย	ชี้ฟ้าไทย
ความยาว (จากหัวถึงปลาย: ซม.)	8-11	8-11	8-11	12-14
ความกว้าง (จากส่วนที่กว้างสุดของผล: ซม.)	3-5	1- <2	1- <2	1- <2.5
สีแดงของผลพริก	แดงคล้ำ	แดงคล้ำ	แดงคล้ำ	แดงคล้ำ
ความชื้น (ร้อยละ)	12.0-18.8	11.9-19.2	12.3-19.3	15.9-18.9

หมายเหตุ: (จากซ้ายไปขวา)พริกพันธุ์บางช้าง พริกชี้ฟ้าจีน พริกชี้ฟ้าอินเดีย และพริกชี้ฟ้าไทย

พริกชี้ฟ้าเป็นพืชที่กินผล ใช้ประกอบอาหารได้หลายชนิด จัดอยู่ในวงศ์ Solanaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Capsicum annum* Linn. Var *acuminatum* Fingerh. ชื่อสามัญที่ใช้เรียกพริกชี้ฟ้า ได้แก่ chili หรือ spur pepper หรือ long fed pepper หรือ spur pepper ส่วนใหญ่คนไทยรู้จักชื่อของพริกชี้ฟ้า พริกเดียวไก่ พริกบางช้าง พริกหนุ่ม (ภาคเหนือ) พริกมัน (กรุงเทพฯ) พริกขี้หนู ตีปลีขี้หนู (ใต้) หมักเผ็ด พริกแกว (อีสาน) มีลักษณะผลรูปทรงกระบอกยาว ปลายเรียวแหลม มักโค้งงอ ขนาดยาว 6–9 เซนติเมตร ผิวเป็นมันสีเขียว เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือสีแดง (สุชีลา, 2549; นาริสา และคณะ, 2552) จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าตัวอย่างพริกสดสำหรับอุตสาหกรรมซอส และเครื่องปรุงรส จากแหล่งที่มาแตกต่างกัน มีขนาดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ โดยอาจแบ่งเป็นกลุ่มของพริกชี้ฟ้าขนาดเล็กซึ่งมีขนาดยาวตั้งแต่ 8–15 เซนติเมตร ได้แก่ พันธุ์แม่ปิง 80 หยกสยาม และฮอตซิลลี่ พริกเหล่านี้มีพื้นที่ผิวประมาณ 208 ตารางเซนติเมตร (สุมัตตสายพันธุ์ละ 10 เมล็ด) อีกกลุ่มคือพริกชี้ฟ้าขนาดใหญ่ ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 12–19 เซนติเมตร ได้แก่ พันธุ์มรกต (สุมัตต 10 เมล็ด) มีพื้นที่ผิวเฉลี่ย 281 ตารางเซนติเมตร

จากการตรวจสอบการตกค้างของสารกลุ่มคาร์บาเมต และออร์กาโนฟอสเฟตด้วยชุดทดสอบจีทีพบว่าทุกตัวอย่างของพริกสดและพริกแห้งรวม 100 ตัวอย่าง (ตารางที่ 5) มีการปนเปื้อนของสารทั้ง 2 กลุ่มดังกล่าวตกค้างอยู่ พบว่าสารสกัดจากทั้งพริกสดและพริกแห้งทุกตัวอย่างสามารถทำปฏิกิริยากับเอ็นไซม์อะซิetylโคลีนเอสเตอเรสในชุดทดสอบจีทีแล้วมีสีน้ำตาลแดงเข้มกว่าหลอดควบคุม (I_0) แสดงผลบวกคือมีการปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืช 2 กลุ่มนี้

เพื่อให้การเปรียบเทียบค่าที่ได้มีความชัดเจนยิ่งขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงวัดค่า OD ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตรเป็นค่าอ้างอิงในการเปรียบเทียบค่าสีจากหลอดตัวอย่าง หลอดควบคุม และหลอดตัดสี (อังฉรา และคณะ, 2554 ก และ ข; อังฉรา, 2555) จากตัวอย่างพริกชี้ฟ้าสดจำนวน 50 ตัวอย่าง พบว่าร้อยละ 40 (20 ใน 50 ตัวอย่าง) มีการปนเปื้อนสารกลุ่มคาร์บาเมต และออร์กาโนฟอสเฟต หรือสารที่ทำปฏิกิริยากับเอ็นไซม์อะซิetylโคลีนเอสเตอเรสในระดับที่ไม่ปลอดภัย ดูได้จากสารสกัดที่ได้เมื่อทำปฏิกิริยาแล้วมีสีน้ำตาลแดงเข้มกว่าหลอดควบคุม (I_0) และมีสีเท่ากับหรือเข้มกว่าสีของหลอดตัดสี (I_{50}) (กอบทอง, 2553) ในขณะที่ตัวอย่างพริกชี้ฟ้าแห้งจำนวน 50 ตัวอย่าง มีการปนเปื้อนสารกลุ่มคาร์บาเมต และออร์กาโนฟอสเฟต น้อยกว่าคือร้อยละ 24 อยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัย (12 ใน 50 ตัวอย่าง) พบว่าทุกตัวอย่างมีการปนเปื้อนของสารกลุ่มดังกล่าวในระดับที่ต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 68

ตารางที่ 68 การประเมินการปนเปื้อนของสารกลุ่มคาร์บาเมตและออร์กาโนฟอสเฟตเบื้องต้นในตัวอย่าง
พริกชี้ฟ้าสด และพริกชี้ฟ้าแห้งด้วยชุดทดสอบจีที (GT test kit)

ตัวอย่าง	การเปรียบเทียบตัวอย่างกับชุดทดสอบ		คิดเป็นร้อยละ	การแปลผล (กอบทอง, 2553)
	หลอด	ค่า OD ₅₄₀		
พริกชี้ฟ้าสด (N=50)	หลอดควบคุม (I ₀) (blank)	0.000	-	-
	หลอดตัดสี (I ₅₀)	0.391*	-	-
	ตัวอย่างที่มีค่า OD ₅₄₀ น้อยกว่าหลอดตัดสี (N=30)	0.040–0.380	60	ปลอดภัย
	ตัวอย่างที่มีค่า OD ₅₄₀ มากกว่าหลอดตัดสี (N=20)	0.400–0.668	40	ไม่ปลอดภัย
พริกชี้ฟ้าแห้ง (N=50)	หลอดควบคุม (I ₀) (blank)	0.000	-	-
	หลอดตัดสี (I ₅₀)	0.426*	-	-
	ตัวอย่างที่มีค่า OD ₅₄₀ น้อยกว่าหลอดตัดสี (N=38)	0.063–0.379	76	ปลอดภัย
	ตัวอย่างที่มีค่า OD ₅₄₀ มากกว่าหลอดตัดสี (N=12)	0.438–0.853	24	ไม่ปลอดภัย

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 4 ซ้ำ

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่นิยมใช้กันมากในการเพาะปลูก ส่วนใหญ่เป็นสารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ซึ่งสารเคมีกลุ่มนี้ได้ถูกควบคุมและห้ามใช้ในหลายประเทศ องค์การอนามัยโลกได้จัดระดับความเป็นพิษไว้ในชั้น 1 เอ ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีพิษร้ายแรง มีผลต่อร่างกาย โดยออร์กาโนฟอสเฟต (OP) มีผลต่อระบบประสาทซึ่งส่งผลต่อร่างกายในระยะยาว ในขณะที่คาร์บาเมต (C) จะมีผลต่อระบบประสาทในระยะสั้น จากข้อมูลรายงานโดยศูนย์บริการทางวิชาการแบบเบ็ดเสร็จ กรมวิชาการเกษตรเก็บตัวอย่างผักและผลไม้ระหว่างวันที่ 1 สิงหาคม 2546 ถึง 12 พฤษภาคม 2547 วิเคราะห์ปริมาณสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชตกค้างเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน Maximum residue limit หรือ ค่า MRL พบว่าจากตัวอย่างทั้งหมด 5,636 ตัวอย่างพบปนเปื้อน 1,634 ตัวอย่าง (ร้อยละ 28.99) พบสารพิษเกินค่ามาตรฐาน MRL จำนวน 599 ตัวอย่าง (ร้อยละ 10.63) และพบการตกค้างมากที่สุดในลิ้นจี่ (ร้อยละ 26.44) รองลงมาคือพริก (ร้อยละ 22.95) และมะม่วง (ร้อยละ 15.73) ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2542)

ก่อนหน้านี้ ในปี 2541 กอบทองและคณะได้ศึกษาการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเปรียบเทียบกับระหว่างผักปลูกและจำหน่ายภายในประเทศจำนวน 1,468 ตัวอย่าง ผักผลไม้ส่งออกจำนวน 85 ตัวอย่าง พบมีค่าตกค้าง ร้อยละ 43.2 คือมีค่าเกินค่ามาตรฐานกำหนดของคณะกรรมการอาหารระหว่างประเทศ (Codex) ร้อยละ 5.7 ชนิดผักที่พบตกค้างเกินค่ากำหนดบ่อยครั้งที่สุด คือ กลุ่มผักรับประทานผลที่ไม่ใช่ตระกูลแตงได้แก่ มะเขือเทศ มะเขือยาว มะเขือเปราะ ปนเปื้อนสาร Monochlotophos (สารกลุ่ม

ออร์กาโนฟอสเฟต) รองลงมาคือพริกชี้หนู พริกชี้ฟ้า กระเจี๊ยบเขียว และข้าวโพดอ่อน (กอบทอง และคณะ, 2541)

ผลการตรวจสอบคุณภาพทางด้านจุลชีววิทยา พบการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มต่าง ๆ ในตัวอย่างพริกชี้ฟ้าสดและพริกชี้ฟ้าแห้งในปริมาณที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 69–71) ในพริกแห้งมีแนวโน้มการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ทุกกลุ่มในปริมาณสูงกว่าในพริกสด และมีปริมาณการปนเปื้อนสูงเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด อ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพริกแห้ง (มอก. 456/2526) ซึ่งกำหนดให้พริกแห้งต้องมีจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 5×10^5 โคโลนีต่อกรัม มีเชื้อราและยีสต์ไม่เกิน 1×10^2 โคโลนีต่อกรัม และความชื้นไม่เกินร้อยละ 13 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2526) ในขณะที่ตามประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข เรื่องเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 2 กำหนดให้อาหารที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้ง อบหรือทอด ต้องมีปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (a_w) น้อยกว่า 0.86 จำนวนเชื้อยีสต์และราน้อยกว่า 100 โคโลนี/กรัม เชื้ออีโคไล โดยวิธี MPN น้อยกว่า 3 MPN/กรัม เชื้อ *Staphylococcus aureus* น้อยกว่า 10 โคโลนี/กรัม เชื้อ *Clostridium perfringens* น้อยกว่า 100 โคโลนี/กรัม เชื้อ *Bacillus cereus* น้อยกว่า 1,000 โคโลนี/กรัม และต้องตรวจไม่พบเชื้อ *Salmonella* spp. ในตัวอย่าง 25 กรัม (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2553)

ตารางที่ 69 การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียในตัวอย่างพริกชี้ฟ้าสด

ตัวอย่าง	ชนิดของกลุ่มจุลินทรีย์ ^a	ช่วงที่พบ (log CFU/g)	ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่พบ (log CFU/g)	ร้อยละของตัวอย่าง (log CFU/g)					
				ตรวจไม่พบ	1–2	2–3	3–4	4–5	>5
พริกสด	TVC	2.30–4.93	3.26	0	0	0	52	42	6
(N=50)	Y&M	2.40–5.59	3.89	0	0	0	24	36	36
	AS	2.19–3.85	2.89	0	0	0	74	26	0

หมายเหตุ:

^a TVC คือเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด; Y&M คือ เชื้อยีสต์และรา; AS คือ แอโรบิกสปอร์ฟอร์มเมอร์

ตารางที่ 70 การปนเปื้อนของกลุ่มเชื้อ *Clostridia sp.* ในตัวอย่างพริกชี้ฟ้าสด

ตัวอย่าง	กลุ่มเชื้อ <i>Clostridia sp.</i> ^a	ช่วงที่พบ (MPN/g)	ค่าเฉลี่ยของ ตัวอย่างที่ตรวจ พบ (MPN/g)	ร้อยละของตัวอย่าง (MPN/g)				
				ตรวจ ไม่พบ	3-9	11-93	150-460	>1,100
พริกสด	<i>C. perfringens</i>	4-460	81.47 ^b	6	8	74	18	0
(N=50)	NPAAS	4-460	92.94	0	8	74	18	0
	PAAS	23-1,100	340.50	0	0	30	56	14

หมายเหตุ: ^a NPAAS คือ นอนโปรติโอไลติก แอนแอโรบิกสปอร์ฟอร์เมอร์; PAAS คือ โปรติโอไลติก แอนแอโรบิกสปอร์ฟอร์เมอร์

^b มี 47 ตัวอย่างที่ตรวจพบเชื้อ *C. perfringens*

ตารางที่ 71 การปนเปื้อนของจุลินทรีย์กลุ่มต่าง ๆ ในตัวอย่างพริกชี้ฟ้าแห้ง

ตัวอย่าง	ชนิดของกลุ่ม จุลินทรีย์ ^a	ช่วงที่พบ (log CFU/g)	ค่าเฉลี่ยของ ตัวอย่างที่พบ (log CFU/g)	ร้อยละของตัวอย่าง (log CFU/g)					
				ตรวจ ไม่พบ	1-2	2-3	3-4	4-5	>5
พริกแห้ง	TVC	3.60-6.19	4.46	0	0	0	8	86	6
(n=50)	Y&M	2.40-5.30	4.15	0	0	6	44	36	14
	AS	2.04-4.25	2.83	0	0	80	6	14	0
	<i>C. perfringens</i>	0-2.33	1.45 ^b	28	62	10	0	0	0
	NPAAS	0.70-2.59	1.69	0	60	40	0	0	0
	PAAS	0-2.46	1.87 ^c	34.0	34.0	32.0	0	0	0

หมายเหตุ:

^a TVC, เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด; Y&M, เชื้อยีสต์และรา; AS, แอโรบิกสปอร์ฟอร์เมอร์

NPAAS, นอนโปรติโอไลติก แอนแอโรบิกสปอร์ฟอร์เมอร์; PAAS, โปรติโอไลติก แอนแอโรบิกสปอร์ฟอร์เมอร์

^b มี 36 ตัวอย่างที่ตรวจพบเชื้อ *C. perfringens*

^c มี 33 ตัวอย่างที่ตรวจพบเชื้อ โปรติโอไลติก แอนแอโรบิกสปอร์ฟอร์เมอร์

ปัญหาการแปรรูปที่พบคือ ไม่สามารถใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งพริกด้วยตู้อบ เพราะจะทำให้สีของพริกแห้งที่ได้คล้ำ ทำให้ยังหลงเหลือเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียและเชื้อก่อโรคอยู่เป็นจำนวนมาก ปกติเชื้อรา เชื้อแบคทีเรีย *C. perfringens* และเชื้อกลุ่มแอนแอโรบิกสปอร์ฟอร์เมอร์ มีแหล่งมาจากดินและสภาวะแวดล้อมในการเพาะปลูก จึงพบรายงานการปนเปื้อนของเชื้อทั้ง 3 กลุ่มในตัวอย่างพริกแห้งเสมอ และพบในปริมาณเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด (Mahakarnchanakul *et al.*, 2011) ซึ่งในปัจจุบันได้

มีการเสนอให้พิจารณาดำเนินการปรับมาตรฐานเกี่ยวกับปริมาณจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยทางสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยได้เสนอให้พิจารณาชนิดจุลินทรีย์ดังต่อไปนี้ ได้แก่ *Enterobacter sakazakii*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus* และ *Clostridium perfringens* เป็นลำดับแรก ๆ ดังนั้นของการปรับเปลี่ยนปริมาณโดยเฉพาะ *C. perfringens* ในอาหารจึงยังไม่มีมาตรฐานแน่นอน รวมทั้งวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ อย่างไรก็ตามการกำหนดจะพิจารณาโอกาสปนเปื้อนและเจริญในผลิตภัณฑ์อาหารนั้น โอกาสก่อให้เกิดอันตรายกับประชากรกลุ่มเสี่ยง รวมทั้งปัจจัยต่าง ๆ ประกอบได้แก่ปริมาณการบริโภค สถานการณ์การปนเปื้อนปัจจุบันที่พบในประเทศไทย และมาตรฐานต่างประเทศเป็นต้น (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2552) จากการแก้ไขมาตรฐานอาหารดังกล่าวหากประกาศใช้แล้วย่อมมีผลในส่วนการควบคุมเชื้อ *C. perfringens* มีส่วนเกี่ยวข้องกับเกษตรกรผู้เพาะปลูก การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว รวมถึงผู้ผลิตพริกแห้งระดับชุมชน และอุตสาหกรรมผลิตพริกแห้งเพื่อการส่งออกอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเช่นการสำรวจปริมาณและชนิดจุลินทรีย์เพื่อสามารถควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนให้อยู่ในระดับที่มาตรฐานกำหนดไว้

การล้างทำความสะอาดที่ไม่มีประสิทธิภาพดีพอ ทำให้วัตถุดิบในกระบวนการผลิตอาจเป็นสาเหตุในการก่อให้เกิดความไม่ปลอดภัยในการบริโภคอาหาร หรือก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษขึ้น จุลินทรีย์ก่อโรคอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญได้แก่แบคทีเรียที่สามารถสร้างสปอร์ได้ และไม่ใช้ออกซิเจนในการเจริญ (anaerobic spore forming bacteria) เมื่อสปอร์ของจุลินทรีย์กลุ่มดังกล่าวปนเปื้อนมากับวัตถุดิบ ไม่ถูกกำจัด หรือลดปริมาณลงหลังผ่านกระบวนการล้างให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย สปอร์ดังกล่าวสามารถทนต่อความร้อนและกระบวนการผลิต ดังนั้นในสปอร์ยังคงหลงเหลือในกระบวนการผลิตน้ำพริก และเครื่องแกงสำเร็จรูป และอยู่ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย ภายใต้สภาวะของบรรจุภัณฑ์ การขนส่ง และเก็บรักษาที่เอื้อต่อการเจริญ จะสนับสนุนให้สปอร์ของจุลินทรีย์ดังกล่าวเกิดการงอก สามารถเจริญเพิ่มจำนวน และสร้างสารพิษซึ่งก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษขึ้นได้ (อัญชลี, 2548; Laul *et al.*, 1970; Ramesh *et al.*, 2001)

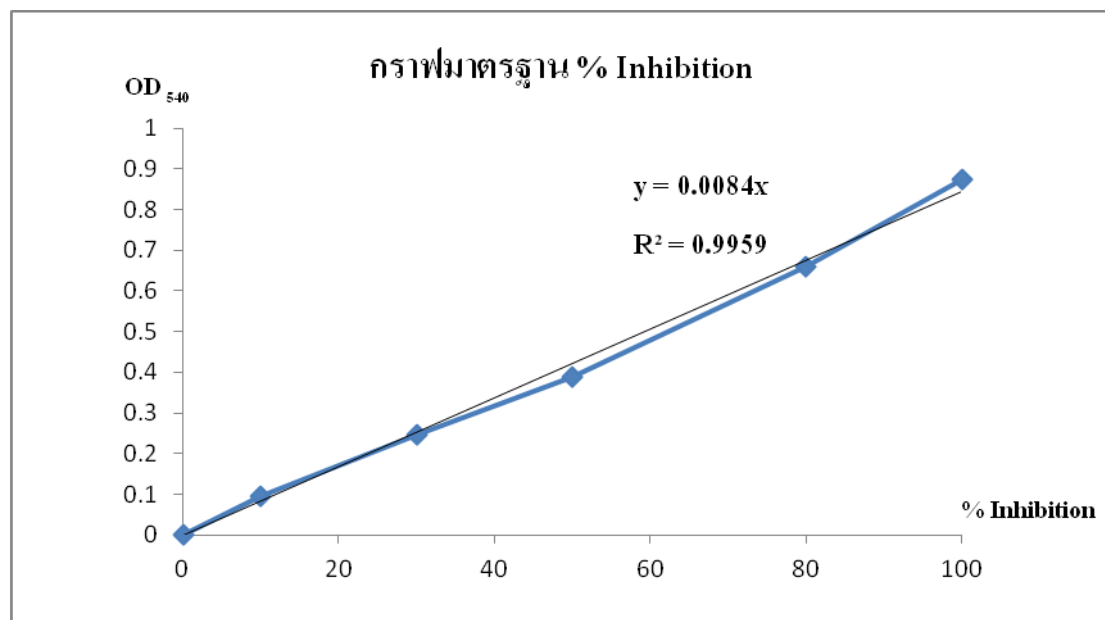
ในตัวอย่างพริกสดและพริกแห้งในที่มีโอกาสพบจุลินทรีย์ทั้งกลุ่มของแอโรบิกสปอร์ฟอร์เมอร์ (mesophilic aerobic sporeformer) ซึ่งได้แก่ จินัส *Bacillus* และ *Sporolactobacillus* ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้ทำให้เกิดการเสื่อมเสียได้ในอาหารกลุ่มที่มีความเป็นกรดต่ำ (low acid food: pH > 4.6) โดยสปอร์มักจะปนเปื้อนอยู่กับอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตในส่วนที่ยากต่อการทำความสะอาด เช่น ขั้วต่อ รู หรือซอกเล็ก ๆ ของเครื่องมือ และอุปกรณ์ และยังสามารถพบได้ในน้ำหล่อเย็น (cooling water) (Stevenson and Segner, 2001) และยังมีโอกาสพบเชื้อในกลุ่มแอนแอโรบิกสปอร์ฟอร์เมอร์ (mesophilic anaerobic sporeformer) ส่วนใหญ่เป็นจินัส *Clostridium* แบ่งออกเป็นนอนโปรติโอไลติก แอนแอโรบิกสปอร์ฟอร์เมอร์ (nonproteolytic anaerobic sporeformer) หรืออาจเรียกว่าพวก saccharolytic ซึ่งมีความสามารถในการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต แต่ไม่สามารถย่อยโปรตีน และให้กลิ่นเน่าเหม็น (putrid odor) ได้แก่ *C. perfringens*,

C. butyricum, *C. pasteurianum* และ *C. laramie* และ *C. algidicarnis* เป็นต้น ซึ่งการตรวจนับมักทำ heat shock ที่อุณหภูมิ 60°C นาน 30 นาที ส่วนโปรติโอไลติก แอนแอโรบิกสปอร์ฟอร์มเมอร์ (proteolytic anaerobic sporeformer) หรืออาจเรียกว่าพวก putrefactive สามารถย่อยโปรตีนและกรดอะมิโนได้ ได้แก่ *C. sporogenes* และ *C. botulinum* จะทนต่อความร้อนได้ดีกว่ากลุ่มอนโปรติโอไลติก การตรวจนับมักทำ heat shock ที่อุณหภูมิสูงกว่า ที่อุณหภูมิ 80°C นาน 10 นาที เชื้อกลุ่มแอนแอโรบิกสปอร์ฟอร์มเมอร์ จึงมักรอดจากความร้อนที่ใช้ในการแปรรูปอาหาร พบอยู่ตามเครื่องมือ อุปกรณ์ หรือสายพานในกระบวนการผลิตอาหารเช่นกัน โดยเฉพาะอาหารกระป๋องกลุ่มที่มีค่า pH > 4.8 และเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสมเช่นมีปริมาณออกซิเจนต่ำ สปอร์จะงอกและเจริญได้ (Scott et al., 2001) ส่งผลให้อาหารเกิดการเสื่อมเสีย เช่นเดียวกับเชื้อในกลุ่มแอโรบิกสปอร์ฟอร์มเมอร์

2. การศึกษาประสิทธิภาพของสารออกซิไดซ์ซึ่งต่อการลดจำนวนจุลินทรีย์และสารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการสร้างกราฟมาตรฐานร้อยละการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสและค่า OD ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร เพื่อทดสอบความสามารถ หรือกิจกรรมของเอนไซม์ก่อนการดำเนินการศึกษาทุกครั้ง และต่อมาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่า OD กับความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชคลอไพริฟอสและโพรพิโนฟอส ผลมีดังนี้

กราฟความสัมพันธ์ของร้อยละการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสกับอะซิติลโคลีน สร้างจากการแปรสัดส่วนของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสกับอะซิติลโคลีนที่ทำหน้าที่เป็นสับสเตรทของปฏิกิริยาใช้ชุดทดสอบจีที พลอตระหว่างร้อยละการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส (แกน x) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (แกน y) (ภาพที่ 29) พบค่าการดูดกลืนแสงจะแปรผันตามร้อยละการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสที่ระดับร้อยละ 0 10 30 50 80 และ 100 ตามลำดับ กล่าวคือค่า OD จะเพิ่มเมื่อร้อยละการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 72) จากกราฟสามารถหาสมการเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสกับค่า OD ได้ คือ $y = 0.0084x$ มีค่า $R^2 = 0.9959$



ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างร้อยละการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

ตารางที่ 72 การเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ที่ร้อยละการยับยั้ง
การทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสระดับต่าง ๆ

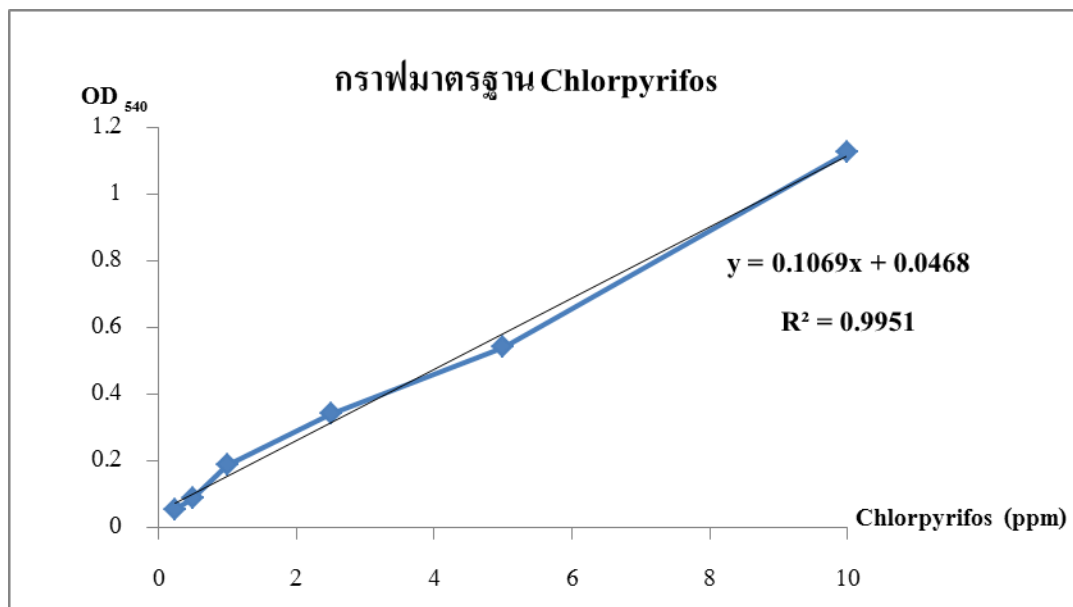
เอ็นไซม์อะซิติลโคลีน เอสเตอเรส (มล.)	อะซิติลโคลีน (มล.)	ร้อยละการยับยั้ง การทำงานของเอ็นไซม์	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความ ยาวคลื่น ^a 540 นาโนเมตร
0.50	0.000	0	0.000±0.000
0.50	0.275	10	0.095±0.002
0.50	0.325	30	0.245±0.003
0.50	0.375	50	0.420±0.008
0.50	0.450	80	0.665±0.006
0.50	0.500	100	0.854±0.008

^a ค่าเฉลี่ยและค่า SD จากการทำการทดลอง 5 ครั้งๆ ละ 2 ซ้ำ

จากการสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตทั้ง 2 ชนิด คือ สารคลอไพริฟอส และโพรพิโนฟอส กับค่า OD ตรวจสอบด้วยชุดทดสอบสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างจีที โดยอาศัยหลักการที่ว่าสารคลอไพริฟอส และโพรพิโนฟอสสามารถยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสได้ (Acetyl Cholinesterase Inhibition Technique) จากนำหลอดทดสอบที่ได้วัดค่า OD₅₄₀ ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พล็อตกราฟระหว่างค่า OD (แกน y) กับความเข้มข้นของสารคลอไพริฟอสและโพรพิโนฟอสในระดับมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (พีพีเอ็ม) (แกน x)

ผลการแปรความเข้มข้นของสารคลอไพริฟอสที่ระดับความเข้มข้นในช่วง 0.25-10.00 พีพีเอ็ม (เนื่องจากค่าต่ำสุดที่ชุดทดสอบจีทีสามารถตรวจได้สำหรับสารคลอไพริฟอสเท่ากับ 0.5 พีพีเอ็ม) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารคลอไพริฟอสสูงขึ้นมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับการเพิ่มสูงขึ้นของค่า OD (ตารางที่ 73) สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเข้มข้นระดับของสารละลายคลอไพริฟอส (พีพีเอ็ม) กับค่า OD ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตรได้ดังภาพที่ 30 จากกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงดังกล่าวสามารถหาสมการเส้นตรงได้ คือ $y = 0.1069x + 0.0468$ มีค่า $R^2 = 0.9951$

นำสมการเส้นตรงที่ได้ใช้ไปคำนวณหาปริมาณสารคลอไพริฟอส (พีพีเอ็ม) ในพริกชี้ฟ้าในการศึกษา
ขั้นต่อไป



ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของสารละลายคลอไพริฟอส (พีพีเอ็ม) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

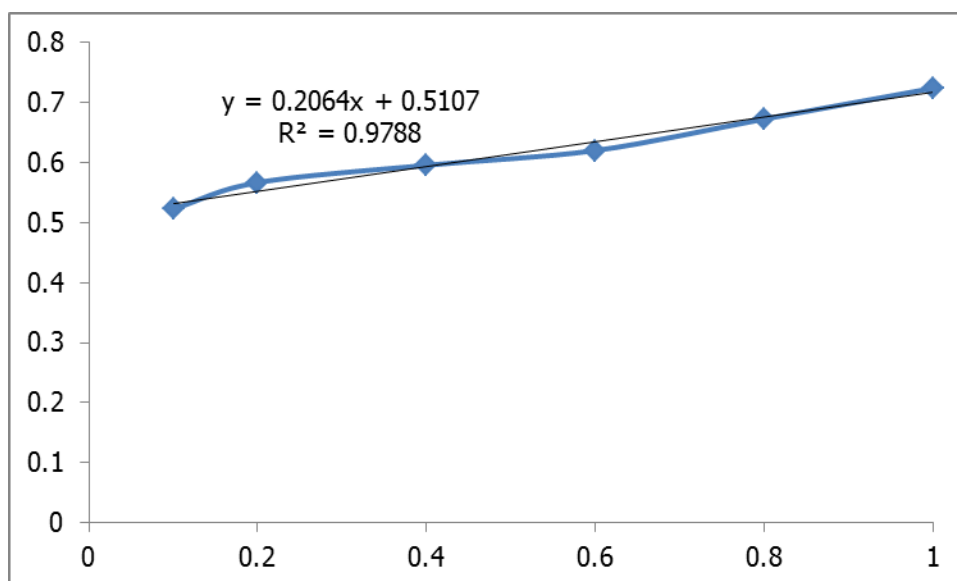
ตารางที่ 73 การเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของสารละลายคลอไพริฟอส (พีพีเอ็ม)

ปริมาณสารคลอไพริฟอส (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร
0.25	0.055±0.013
0.50	0.087±0.008
1.00	0.187±0.004
2.50	0.341±0.006
5.00	0.542±0.008
10.00	1.126±0.035

^a ค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทำการทดลอง 5 ครั้งๆ ละ 2 ข้ำ

ส่วนผลการแปรความเข้มข้นของสารโพรพิโนฟอสที่ระดับความเข้มข้นในช่วง 0.10-1.00 พีพีเอ็ม (เนื่องจากค่าต่ำสุดที่ชุดทดสอบจีที่สามารถตรวจได้สำหรับสารโพรพิโนฟอสเท่ากับ 0.005 พีพีเอ็ม) พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารโพรพิโนฟอสสูงขึ้นมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับการเพิ่มสูงขึ้นของค่า OD (ตารางที่ 74) สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเข้มข้นระดับของสารละลายโพรพิโนฟอส (พีพีเอ็ม) กับค่า OD ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตรได้ดังภาพที่ 31 จากกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงดังกล่าวสามารถหาสมการเส้นตรงได้ คือ $y = 0.2064x + 0.5107$ มีค่า $R^2 = 0.9788$

ในทำนองเดียวกันนำสมการเส้นตรงที่ได้ใช้ไปคำนวณหาปริมาณสารโพรพิโนฟอส (พีพีเอ็ม) ในพริก ชีฟ้าในการศึกษาขั้นต่อไป



ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของสารละลายโพรพิโนฟอส(พีพีเอ็ม) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

ตารางที่ 74 การเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ของสารละลายโพรพิโนฟอส (พีพีเอ็ม)

ปริมาณสารโพรพิโนฟอส (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร
0.10	0.523±0.008
0.20	0.567±0.018
0.40	0.596±0.014
0.60	0.621±0.011
0.80	0.673±0.011
1.00	0.725±0.016

^a ค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทำการทดลอง 5 ครั้งๆ ละ 2 ซ้ำ

2.1 การสร้างการปนเปื้อนบนพริกชี้ฟ้า

2.1.1 สร้างการปนเปื้อนบนพริกชี้ฟ้าด้วยเชื้อ *C. perfringens*

ปริมาณเชื้อเริ่มต้นจากการสร้างการปนเปื้อนเทียมในพริกชี้ฟ้า จากการตรวจนับจำนวนเซลล์ของเชื้อ *C. perfringens* ด้วยอาหาร tryptose sulfite cycloserine egg yolk agar (TSC-EYE agar) พบว่ามีปริมาณเชื้อเริ่มต้นอยู่ที่ 5.50 ± 0.55 log CFU/g (จากการทำการทดลอง 7 ซ้ำ) นำพริกชี้ฟ้าที่สร้างการปนเปื้อนเทียมนี้ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของสารออกซิไดซ์ซึ่งต่อการลดปริมาณเชื้อ *C. perfringens* ในพริกชี้ฟ้าในลำดับต่อไป

2.1.2 สร้างการปนเปื้อนบนพริกชี้ฟ้าด้วยสารกำจัดศัตรูพืช (ที่ระดับ 10 และ 100 เท่า)

จากผลการศึกษาเบื้องต้นพบว่าตัวอย่างพริกชี้ฟ้าทุกตัวอย่างมีค่า OD₅₄₀ สูงกว่าหลอด I₀ ของชุดทดสอบบิจิที่ แสดงให้เห็นว่าพริกชี้ฟ้าดังกล่าวที่มีการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต หรือสารอื่น ๆ ที่เป็นสารยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการศึกษา ได้ pre-treat ตัวอย่างพริกชี้ฟ้าโดยการล้างพริกด้วยน้ำประปา ไอโซน (1.0 ppm), น้ำอเล็กโรไลซ์กรด (70 ppm) และโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (200 ppm) ก่อนนำมาใช้ในการทดลองเพื่อให้มีค่า OD₅₄₀ ต่ำกว่าค่า OD ของ I₀ (ไม่เกิดการยับยั้งเอ็นไซม์: 0% inhibition) หรืออีกนัยหนึ่งคือลดการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมตให้เหลือน้อยที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 75

ตารางที่ 75 การ pre-treat ตัวอย่างฟริกซ์ฟ้าก่อนนำมาใช้ในการทดลองด้วยน้ำล้างชนิดต่าง ๆ

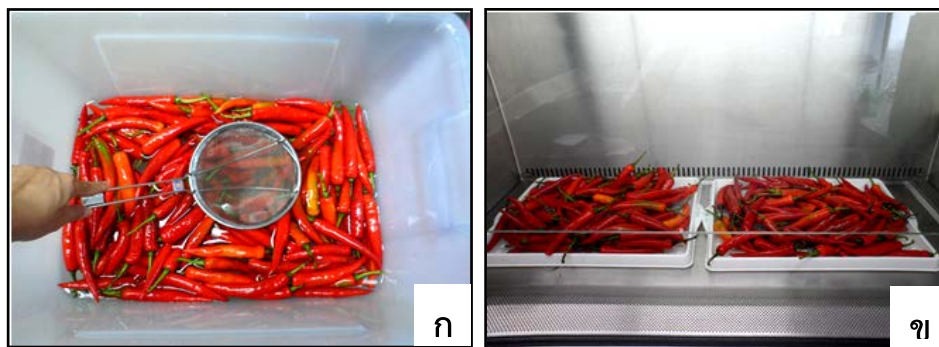
ตัวอย่าง	ค่า OD ₅₄₀ ^a	หมายเหตุ
I ₀ (เมื่อใช้น้ำกลั่นเป็น blank)	0.592±0.001	ใช้เป็นค่าควบคุม
I ₅₀ (เมื่อใช้ I ₀ เป็น blank)	0.343±0.013	ปกติ (เพื่อตรวจสอบ I ₀)
ฟริกซ์ฟ้าปลอดสาร (จากห้างสรรพสินค้า)	0.568±0.005	ต่ำกว่า I ₀
ฟริกซ์ฟ้า (จากตลาดสด)	0.788±0.052	สูงกว่า I ₀
ฟริกซ์ฟ้า (จากตลาดสด) ล้างน้ำประปา นาน 10 นาที	0.664±0.051	สูงกว่า I ₀
ฟริกซ์ฟ้า (จากตลาดสด) ล้าง 1 ppm O ₃ นาน 10 นาที	0.469±0.016	ต่ำกว่า I ₀
ฟริกซ์ฟ้า (จากตลาดสด) ล้าง 70 ppm AcEW นาน 10 นาที	0.539±0.027	ต่ำกว่า I ₀
ฟริกซ์ฟ้า (จากตลาดสด) ล้าง 200 ppm NaOCl นาน 10 นาที	0.592±0.001	สูงกว่า I ₀

^a ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 4 ซ้ำ

จากตารางที่ 75 พบว่าฟริกซ์ฟ้าปลอดสารซื้อจากห้างสรรพสินค้ามีค่า OD₄₅₀ ต่ำกว่าหลอด I₀ ซึ่งหมายความว่า ไม่มีการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต หรือสารอื่น ๆ ที่เป็นสารยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส จึงเหมาะที่จะนำตัวอย่างดังกล่าวมาใช้ในการศึกษาการสร้างการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืช แต่ราคาของตัวอย่างดังกล่าวค่อนข้างสูง (200 กรัม/50 บาท) จึงเปลี่ยนมาใช้ฟริกซ์ฟ้าจากตลาดซึ่งมีราคาถูกกว่า (1 กิโลกรัม/25-70 บาท) มาใช้ในการศึกษา

แต่ฟริกซ์ฟ้าจากตลาดมีการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืช หรือสารอื่น ๆ ที่เป็นสารยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส จึง pre-treat ฟริกซ์ฟ้าจากตลาด เพื่อให้มีค่า OD₄₅₀ ต่ำกว่าหลอด I₀ โดยการล้างด้วย 1 ppm O₃ และ 70 ppm AcEW (acidic electrolyte water) นาน 10 นาที สามารถทำให้ค่า OD₄₅₀ ต่ำกว่าหลอด I₀ ซึ่งหมายความว่าสามารถลดการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต หรือสารอื่น ๆ ที่เป็นสารยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสในตัวอย่างฟริกซ์ฟ้าจากตลาดลงได้ สอดคล้องกับผลการศึกษาของอัจฉรา (2555) ที่รายงานว่า การใช้น้ำโอโซน และ AcEW ที่ความเข้มข้น 1 และ 70 พีพีเอ็ม ล้างฟริกซ์ฟ้า 10 นาที สามารถลดปริมาณสารคลอไพริฟอสที่ตกค้างจากปริมาณ 5.66 พีพีเอ็ม เหลือเพียง 0.87 และ 1.55 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ร้อยละการลดลงที่ 84.64 และ 72.58 ตามลำดับ) และที่สภาวะเช่นเดียวกันนี้ยังสามารถลดปริมาณสารไพริโนฟอสที่ตกค้างจากปริมาณ 0.70 พีพีเอ็ม เหลือเพียง 0.10 และ 0.18 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ร้อยละการลดลงที่ 86.30 และ 73.13 ตามลำดับ)

ในการศึกษาครั้งนี้เลือกอัตราส่วนพริกชี้ฟ้าต่อน้ำล้างเท่ากับ 1:5 จากนั้นสะเด็ดน้ำจนแห้ง ผึ่งในตู้ laminar flow (1 ชั่วโมง) ก่อนนำตัวอย่างดังกล่าวไปสร้างการปนเปื้อนสารกำจัดศัตรู (ภาพที่ 32) พบว่าการ pre-treat ด้วยน้ำประปาและโซเดียมไฮโปคลอไรท์ไม่สามารถทำให้ค่า OD₄₅₀ ของสารสกัดตัวอย่างพริกต่ำกว่าหลอด I₀ ได้ จึงเลือกใช้การล้างด้วย 70 ppm AcEW นาน 10 นาที แทนการล้างด้วย 1 ppm O₃ เนื่องจากสารละลายทั้งสองมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน ผู้ทดลองทำงานได้สะดวกกว่า เตรียมสารละลายได้ง่ายกว่า อีกทั้งโอโซนมีกลิ่นเหม็นกว่า



ภาพที่ 32 (ก) การ pre-treat พริกชี้ฟ้าจากตลาดด้วย 70 ppm AEO นาน 10 นาที และ (ข) การสะเด็ดน้ำพริกชี้ฟ้าหลัง pre-treat ในตู้ laminar flow นาน 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปใช้สร้างการปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืช

จากการสร้างการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 2 ชนิด คือ สารคลอไพริฟอส และสารโพรพิโนฟอสในพริกชี้ฟ้า โดยแช่ผักลงในสารละลายสารกำจัดศัตรูพืชแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้ผักมีปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชเท่ากับ 10 และ 100 เท่า ของค่า EU-MRL ปี 2010 (ตารางที่ 76) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ (ทำ 2 ชุดการทดลอง)

ตารางที่ 76 ปริมาณสารตกค้างที่ได้จากการสร้างการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโน-ฟอสเฟตในพริกชี้ฟ้า

ชนิดสารกำจัดศัตรูพืช	ความเข้มข้นสารละลาย สารกำจัดศัตรูพืชที่ใช้แช่ (พีพีเอ็ม)		ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในพริก ชี้ฟ้า (พีพีเอ็ม) ^a	
	10 เท่า	100 เท่า	10 เท่า	100 เท่า
คลอไพริฟอส	60	600	4.79±0.05	41.68±1.10
โพรพิโนฟอส	27	270	0.51±0.02	4.80±0.04

^a ค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทดลอง 4 ซ้ำ

ค่า EU-MRL ของสารคลอไพริฟอสในพริกเท่ากับ 0.5 พีพีเอ็ม

ค่า EU-MRL ของสารโพรพิโนฟอสในพริกเท่ากับ 0.05 พีพีเอ็ม

ต้องการการสร้างการปนเปื้อนของสารคลอไพริฟอสตกค้างในพริกที่ระดับ 5 และ 50 พีพีเอ็ม และสารโพรพิโนฟอสตกค้างที่ระดับ 0.5 และ 5 พีพีเอ็ม (สร้างการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชทั้ง 2 ชนิด ที่ระดับ 10 และ 100 เท่า ของ EU-MRL) พบว่าที่ระดับการปนเปื้อนของสารคลอไพริฟอส 50 พีพีเอ็ม ตกค้าง ทำได้น้อยกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ คือ ได้เพียง 40-42 พีพีเอ็มเท่านั้น เนื่องจากพริกชี้ฟ้าผิวสัมผัส ลื่น สารกำจัดศัตรูพืชเกาะติดยาก ทั้งนี้การเกาะติดของสารกำจัดศัตรูพืชบนพื้นผิวของผักแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมีของผัก รวมทั้งขนาดและพื้นผิวสัมผัส (ยุทธชัย และคณะ, 2544) แต่อย่างไรก็ตามการสร้างการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในพริกชี้ฟ้า (ทั้ง 4 ครั้ง) ที่นำมาทำการศึกษามีค่าการตกค้างค่อนข้างสม่ำเสมอ และใกล้เคียงกับผลการศึกษาของอัจฉรา (2555) ที่ทำการสร้างการปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชในพริก โดยแช่พริกในสารละลายคลอไพริฟอส และโพรพิโนฟอสเข้มข้น พบปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในค่น้ำเท่ากับ 5.15 ± 0.42 และ 0.50 ± 0.06 ตามลำดับ (อัจฉรา, 2555) ในที่นี้การเกาะติดของสารกำจัดศัตรูพืชบนพริกชี้ฟ้าต่างจากผักใบเช่นค่น้ำซึ่งมีความสามารถในการเกาะติดของสารโพรพิโนฟอสและคลอไพริฟอสได้ดีกว่า คาดว่าค่น้ำมีลักษณะใบที่ใหญ่ มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับสารกำจัดศัตรูพืชได้มาก มีโอกาสสัมผัสกับสารกำจัดศัตรูพืชได้ง่ายขึ้น

จากการศึกษาที่เกี่ยวข้องก่อนหน้านี้ พบว่างานวิจัยนิยมสร้างการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชในผักและผลไม้ในระดับความเข้มข้นสูง (ยุทธชัย และคณะ, 2544; ธรรมศักดิ์และคณะ, 2548; อัจฉรา และคณะ, 2554ก และ ข) แตกต่างจากการศึกษาครั้งนี้ ได้มีความพยายามสร้างการปนเปื้อนสาร

กำจัดศัตรูพืชตกค้างในระดับต่ำ ที่ใกล้เคียงกับค่า MRL โดยสารคลอไพริฟอสและโปรพิโนฟอสกำหนดค่า MRL ในพริกไว้ไม่เกิน 0.5 และ 0.05 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (Pesticide EU-MRLs, 2010ก และ ข) ทั้งนี้เพื่อ ประเมินสภาวะการล้างให้ใกล้เคียงกับปริมาณที่พบจริงในพริกชี้ฟ้าในท้องตลาด แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจาก ข้อจำกัดในการตรวจวิเคราะห์ด้วยชุดทดสอบจีที ซึ่งพบว่าค่า Limit of Detection (LOD) ของชุดทดสอบ สำหรับสารคลอไพริฟอส และสารโปรพิโนฟอส มีค่าเท่ากับ 0.5 และ 0.005 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (กอบทอง, 2553) โดยพบว่าค่า LOD ของชุดทดสอบจีที มีค่าเท่ากับค่า MRL ของสารคลอไพริฟอส ดังนั้นจึงไม่สามารถ สร้างการปนเปื้อนในระดับ MRL เพื่อตรวจสอบปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในปริมาณที่ต่ำกว่าค่า LOD ของชุดทดสอบจีทีได้ จึงทำที่ 10 และ 100 เท่าของ MRL

2.2 การเตรียมสารแขวนลอยเชื้อ *C. perfringens*

เชื้อ *C. perfringens* ATCC 13124 จากหลอดอาหาร cooked medium (ภาพที่ 20 ก) เลี้ยงในหลอดอาหาร Thioglycolate broth เพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 42°C นาน 24 ชั่วโมง พบการเจริญของ เชื้อเกิดขึ้น อาหารเหลวมีลักษณะขุ่น และเกิดฟองก๊าซ และเมื่อนำไปขยายเชื้อต่อในอาหาร Thioglycolate broth ปริมาตร 180 มิลลิลิตร หลังเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37°C จนได้เชื้ออายุ 24 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณเชื้อเริ่มต้นอยู่ที่ $7.48 \pm 0.16 \log \text{ CFU/ml}$ (จากการทำการทดลอง 7 ซ้ำ) นำไปใช้สร้างการ ปนเปื้อนในพริกชี้ฟ้าต่อไป

ตามปกติแล้วเชื้อ *C. perfringens* เป็นแบคทีเรียประจำถิ่นของระบบทางเดินอาหารของคนและ สัตว์ และบางครั้งอาจพบเชื้อนี้ได้ตามผิวหนัง (Gorbach, 1998) นอกจากนี้ยังพบว่าการแพร่กระจายของ เชื้อ *C. perfringens* อยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม ดิน น้ำ อากาศ และในทางเดินอาหารของคนและสัตว์ จึงมี โอกาสปนเปื้อนเข้าสู่บาดแผลหรือลงสู่อาหารได้ง่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อไทป์ A ที่ ก่อปัญหาการติดเชื้อที่ สำคัญทั้งในคนและสัตว์มากกว่าไทป์อื่น ๆ (Bean *et al.*, 1996 ; Todd, 1978; Beckers, 1986 ; Olsen *et al.*, 2000 ; Shandera *et al.*, 1983) โดยทั่วไปสามารถแยกเชื้อนี้ได้จากดิน จากตะกอนดินตามแหล่ง น้ำ ฝุ่นละออง ปุ๋ย อาหารตกแห้งกับพื้น พบในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร รวมทั้งเครื่องเทศตากแห้ง เชื้อนี้เป็น สาเหตุการระบาดของโรคจากอาหารในหลายประเทศ โดยเฉพาะประเทศแถบยุโรปและสหรัฐอเมริกาที่มี ระบบการเฝ้าระวังเชื้อนี้ และมีห้องปฏิบัติการในการแยกและพิสูจน์เชื้อที่มีประสิทธิภาพถึงระดับการ ตรวจหาสารพิษและการแยกชนิดเชื้อตามชนิดของสารพิษ (toxintype) หรือหาซีโรไทป์ (serotype) ของ เชื้อได้ มักพบว่าเชื้อไทป์ A ติดอันดับ 2 หรือ 3 ของแบคทีเรียที่ก่อโรคอาหารเป็นพิษ (Bean *et al.*, 1996 ; Todd, 1978; Beckers, 1986 ; Olsen *et al.*, 2000 ; Shandera *et al.*, 1983) ส่วนในประเทศไทย ยังไม่มีข้อมูลที่แม่นยำเพียงพอเกี่ยวกับการระบาดของโรคอาหารเป็นพิษจากเชื้อนี้ เพราะไม่ได้มีการเฝ้า ระวังเชื้อนี้ อีกทั้งยังมีข้อจำกัดในการตรวจวินิจฉัยทางห้องปฏิบัติการเพื่อจะตรวจหาสารพิษของเชื้อนี้

(อัญชลี, 2548) แต่อย่างไรก็ตามพบรายงานการปนเปื้อนของเชื้อนี้ในตัวอย่างพริกแห้งเสมอในปริมาณเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด (Mahakarnchanakul *et al.*, 2011)

2.3 การเตรียมสารละลายกำจัดศัตรูพืชมาตรฐาน

เตรียมสารละลายกำจัดศัตรูพืชทางการค้า 2 ชนิด คือ Chlorpyrifos (40% w/v) และ Profenophos (50% w/v) เพื่อใช้สำหรับสร้างการปนเปื้อน (Spike) ลงในตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 77

ตารางที่ 77 การเตรียมสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตสำหรับสร้างการปนเปื้อนในพริกชี้ฟ้า

สารกำจัด ศัตรูพืช	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)		ปริมาตรที่ใช้ (มิลลิลิตร)		ความเข้มข้น สุดท้าย(พีพีเอ็ม)
	เริ่มต้น	เจือจาง 10 เท่า	เจือจาง 10 เท่า	น้ำ	
คลอไพริฟอส	400,000	40,000	30	19,970	5
	400,000	40,000	300	19,700	50
โพรพิโนฟอส	500,000	50,000	10.8	19,989.2	0.5
	500,000	50,000	108	19,892	5

2.4 การเตรียมสารละลายสำหรับล้างพริกชี้ฟ้า

เตรียมสารละลายที่ใช้สำหรับศึกษาการล้างพริกชี้ฟ้า ได้แก่ น้ำโอโซนความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 พีพีเอ็ม (aqueous ozone: O₃) น้ำอิเล็กโทรไลซ์กรดความเข้มข้น 50 และ 70 พีพีเอ็ม (acidic electrolyze water: AcEW) และโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้น 100 และ 200 พีพีเอ็ม (Sodium hypochlorite solution: NaOCl) โดยสมบัติต่าง ๆ ของน้ำล้างแสดงในตารางที่ 78

ตารางที่ 78 สมบัติของน้ำล้างชนิดต่าง ๆ

ชนิดของน้ำล้าง	ความเข้มข้น (ppm)	ค่า pH	ค่า ORP (mV)	อุณหภูมิ (°C)
น้ำประปา	-	7.81±0.05	376±12.73	25
โอโซน	0.5	7.75±0.00	572.5±14.85	25
	1.0	7.70±0.00	769±5.66	25
น้ำอิเล็กโทรไลซ์กรด	50*	2.77±0.28	1,030±7.07	25
	70*	2.70±0.24	1,193±1.41	25
โซเดียมไฮโปคลอไรท์	100*	6.69±0.05	952±35.36	25
	200*	7.44±0.13	913±46.67	25

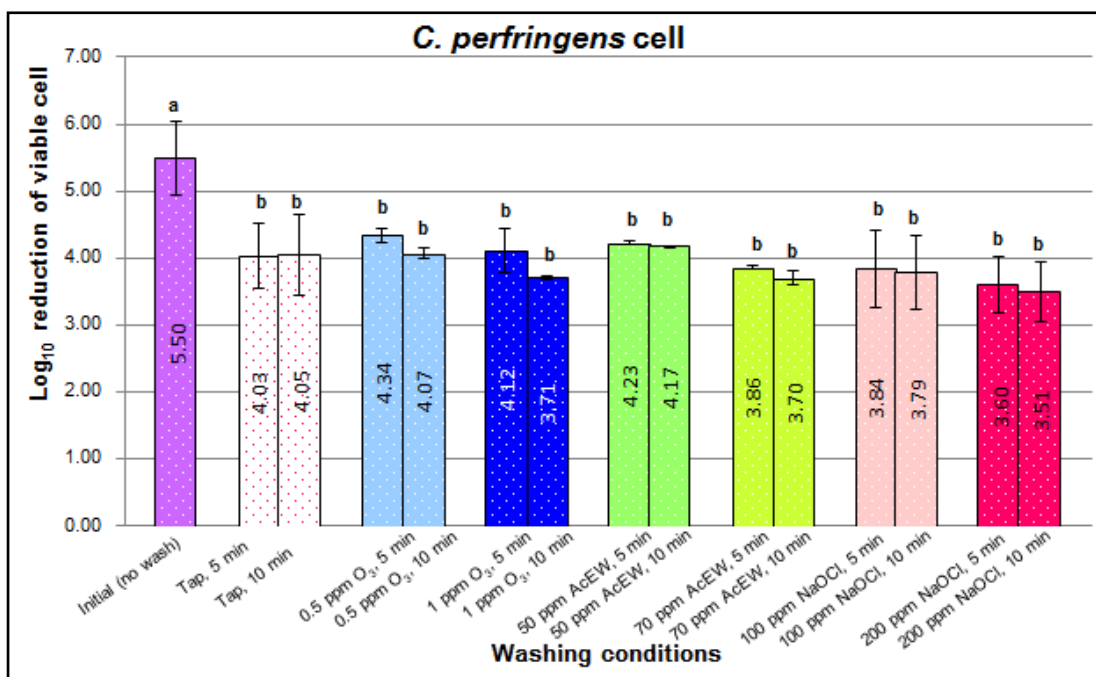
* คลอรีนอิสระ (free available chlorine)

คลอรีนอิสระ ในที่นี้หมายถึงกรดไฮโปคลอรัส (hypochlorous acid: HOCl) ที่มีอยู่ในสารประกอบคลอรีนเท่านั้น ซึ่งอยู่ในรูปอิสระ ไม่ได้จับอยู่กับโมเลกุลของคลอรีน และมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อ (disinfection) โดยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ มักจะขายในรูปของเหลวซึ่งมีคลอรีนอิสระอยู่ประมาณ 10–14% (ศิวาพร, 2536) กรดไฮโปคลอรัสในโซเดียมไฮโปคลอไรท์ และน้ำอิเล็กโทรไลซ์กรดมีคุณสมบัติทำลายจุลินทรีย์กลไกในการทำลายจุลินทรีย์ พบรายงานว่าการดไฮโปคลอรัสเข้าไปมีผลต่อการยับยั้งเซลล์ของจุลินทรีย์ที่ 3 ตำแหน่ง ได้แก่ ส่วนที่เป็นเยื่อหุ้มเซลล์ ส่วนที่เป็นของเหลวภายในเซลล์ หรือโปรโตพลาสซึม และส่วนที่เป็นเอนไซม์ (Baker *et al.*, 1990; Campers and MacFeters, 1979; Rudolph and Levine, 1941; Wei *et al.*, 1985; บุษกร, 2536; สุภัทราพร, 2536; รุ่งทิพา, 2541) ส่วนโอโซนจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) อย่างรวดเร็ว จึงเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรง (Kim and Marshall, 1999) มีการนำมาใช้ผสมให้อยู่ในรูปของสารละลายโอโซนเพื่อนำไปใช้ในการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มต่าง ๆ

2.5 การทดสอบประสิทธิภาพของสารออกซิไดซ์ซึ่งต่อการลดปริมาณเชื้อ *C. perfringens* ในพริกชี้ฟ้า

พบว่าน้ำโอโซน น้ำอิเล็กโทรไลซ์กรด สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ และน้ำประปา มีประสิทธิภาพในการลดจำนวนเชื้อ *C. perfringens* ที่ปนเปื้อนเริ่มต้น ($5.5 \log \text{ CFU/g}$) ในพริกชี้ฟ้าได้ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยสามารถลดจำนวนเชื้อดังกล่าวได้ $1.5\text{--}2.0 \log \text{ CFU/g}$ (96.8–99%) เมื่อเพิ่ม

ระยะเวลาในการล้างจาก 5 นาที เป็น 10 นาที จะสามารถลดจำนวนเชื้อ *C. perfringens* ได้เพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 33) แต่เมื่อนำน้ำล้างชนิดต่าง ๆ หลังล้างฟริกซ์ฟ้ามาตรวจ (ตารางที่ 79) พบว่าน้ำประปาหลังใช้ล้างฟริกซ์ฟ้ายังคงมีจำนวนเชื้อ *C. perfringens* อยู่สูงถึง 3.3–3.7 log CFU/ml ส่วนน้ำไอโซนพบ 2.2–2.5 log CFU/ml แต่ในน้ำอิเล็กโทรไลซ์กรด และสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ไม่พบเชื้อมากกว่าในน้ำล้าง แสดงให้เห็นว่าน้ำล้างทั้ง 4 ชนิดที่ใช้ในกระบวนการล้างฟริกซ์ฟ้ามีความสามารถในการชะเซลล์ของเชื้อ *C. perfringens* ที่ปนเปื้อนอยู่บนผิวฟริกออกได้ใกล้เคียงกัน แต่ความสามารถการฆ่าเชื้อ *C. perfringens* นั้นมีความแตกต่างกัน คือน้ำอิเล็กโทรไลซ์กรด และสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อ *C. perfringens* ได้ดีกว่าน้ำไอโซน และน้ำประปา เนื่องจากไม่สามารถตรวจพบการรอดชีวิตของเชื้อมากกว่าในน้ำล้างหลังผ่านการนำไปใช้ล้างฟริกซ์ฟ้า อาจกล่าวได้ว่าสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 200 ppm และน้ำอิเล็กโทรไลซ์กรด 70 ppm มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ *C. perfringens* ที่ปนเปื้อนในฟริกซ์ฟ้าได้ดีกว่าน้ำไอโซน และน้ำประปา ตามลำดับ โดยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ และน้ำอิเล็กโทรไลซ์กรด ที่ความเข้มข้นข้างต้นสามารถลดจำนวนเชื้อมากกว่าได้ 1.99 และ 1.64 log CFU/g (97 และ 97% ตามลำดับ)



ภาพที่ 33 ประสิทธิภาพน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งต่อการลดปริมาณเชื้อ *C. perfringens*: () Initial (no wash), () Tap water, () 0.5 ppm O₃, () 1 ppm O₃, () 50 ppm AcEW, () 70 ppm AcEW, () 100 ppm NaOCl, () 200 ppm NaOCl

การล้างวัตถุดิบนิยมใช้สารประกอบคลอรีนต่าง ๆ เช่น แก๊สคลอรีน (Cl_2) แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) หรือ โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) ในน้ำที่ใช้ล้าง ประสิทธิภาพของการทำลายจุลินทรีย์ของสารประกอบคลอรีนเหล่านี้แตกต่างกัน ขึ้นกับหลายปัจจัยได้แก่ ความเข้มข้น ปริมาณที่ใช้ ระยะเวลาที่ให้สัมผัสกับอาหาร อุณหภูมิ และความเป็นกรด-เบสของสารละลายที่ใช้ เป็นต้น ถ้าหากสภาวะในการใช้สารประกอบคลอรีนไม่เหมาะสมแล้ว เช่น มีความเข้มข้น หรือปริมาณน้อยเกินไป ประสิทธิภาพของสารจะไม่เพียงพอในการทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมา ถ้าหากใช้ในปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์มีกลิ่นของคลอรีน และการรวมกับสารเอมีนอาจกระตุ้นให้เกิดสารก่อมะเร็งซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ (Ames, 1979)

จากการศึกษาครั้งนี้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ และน้ำอ็อกซิเจนไดคลอรีน (200 และ 70 ppm ตามลำดับ) มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ *C. perfringens* ที่ปนเปื้อนในพริกชี้ฟ้าได้ดี ประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ของสารประกอบคลอรีนเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับค่าการแตกตัวให้กรดไฮโปคลอรัส (HOCl) ซึ่งเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อได้มากที่สุด แต่ประสิทธิภาพของ HOCl ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-เบส โดย HOCl จะมีประสิทธิภาพดีในช่วงค่าความเป็นกรด-เบสคือ 4–6 (Wei *et al.*, 1985) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าในช่วงค่าความเป็นกรด-เบส ที่ 6.5–7.5 กรดไฮโปคลอรัสจะมีฤทธิ์ในการทำลายจุลินทรีย์และความคงตัวดีที่สุด (Suslow, 1997; Lindsey *et al.*, 2009) จึงสอดคล้องกับผลการศึกษานี้ที่พบว่าสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 200 ppm ที่ pH 7.44 สามารถทำลายเซลล์ของเชื้อ *C. perfringens* ได้ดีกว่าน้ำอ็อกซิเจนไดคลอรีนความเข้มข้น 70 ppm ที่ pH 2.7 และจากผลการศึกษาของปิยาณี (2542) ที่ทำการล้างมะเขือเทศที่ปนเปื้อนเซลล์ *E. coli* ด้วยน้ำประปาเติมสารประกอบคลอรีน ปรับค่าพีเอชเป็น 4 ด้วยกรดแลคติก ที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^\circ\text{C}$ พบว่าการเติมสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ความเข้มข้น 100 200 และ 250 ppm สามารถทำลายเซลล์ที่ปนเปื้อนบนผิวมะเขือเทศ $3.0 \log \text{CFU/g}$ ได้หมดในเวลา 10 นาที โดยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ไม่ทำให้สีและเนื้อสัมผัสของมะเขือเทศเปลี่ยนแปลง

นอกจากกรดไฮโปคลอรัสแล้ว ค่า ORP ในน้ำล้างชนิดต่าง ๆ ยังเป็นปัจจัยเสริมที่เกี่ยวข้องกับค่าความแรงของปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน โดยค่า ORP ที่สูง การเกิดออกซิไดส์ซึ่งก็จะสูงขึ้นด้วย ทำให้เกิดการดึงอิเล็กตรอนจากเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ของเชื้อจุลินทรีย์ เป็นสาเหตุให้เยื่อหุ้มเซลล์เกิดความไม่คงตัวและรั่วในที่สุด ซึ่งการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์นี้จะส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์ถูกทำลายลงด้วยอย่างรวดเร็ว (Suslow, 2004) นอกจากนี้ยังมีผลต่อการทำลายกิจกรรมต่าง ๆ ภายในเซลล์ของแบคทีเรีย โดยการออกซิไดส์สารประกอบซัลไฟด์ในชั้นผนังเซลล์และกลไกของเมตาบอลิซึมต่าง ๆ ทำให้แบคทีเรียไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ การเพิ่มขึ้นของค่า ORP ยังส่งผลให้เกิดการลดลงของค่าพีเอชอีกด้วย (Park *et al.*, 2004) จากการศึกษานี้พบว่าค่า ORP ของ น้ำอ็อกซิเจนไดคลอรีน สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ น้ำโอโซน และน้ำประปา มีค่าอยู่ในช่วง 1,030–1,193 913–952 572.5–769 และ 376 ตามลำดับ จึงทำให้

น้ำอเล็กโทรไลต์กรด และสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ *C. perfringens* (ไม่เพียงแค่ชะออกจากพื้นผิวของผักชีฟ้า) ได้ดีกว่าน้ำโอโซน แต่อย่างไรก็ตามสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ *C. perfringens* ได้ดีกว่าน้ำอเล็กโทรไลต์กรดเนื่องจากมีความเข้มข้นของคลอรีนอิสระในรูปของกรดไฮโปคลอรัสที่สูงกว่านั่นเอง

จริงแท้ (2538) ได้รายงานถึงการใช้เกลือสารละลายไฮโปคลอไรท์ในผักและผลไม้ในสหรัฐอเมริกา ซึ่งให้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้นคลอรีนอิสระ 55–70 ppm ในการลดปริมาณแบคทีเรีย ราและยีสต์ ในขณะที่ USDA กำหนดให้ใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ไม่เกิน 0.2% (2,000 ppm) เพื่อล้างทำความสะอาดหรือช่วยในการลอกเปลือกผักผลไม้ ในขณะที่หากต้องการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์เพื่อเป็นสารฆ่าจุลินทรีย์ในอุปกรณ์การผลิตอาหาร เครื่องมือ และส่วนที่สัมผัสกับอาหาร ที่คลอรีนอิสระความเข้มข้นไม่เกิน 200 ppm (Wei *et al.*, 1985) ดังนั้นระดับความเข้มข้นของทั้งสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ และน้ำอเล็กโทรไลต์กรดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นระดับที่อนุญาตให้ใช้และมีความปลอดภัย

ส่วนน้ำโอโซนพบว่ามีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ *C. perfringens* ได้มากกว่า 2 log CFU/ml โดยพบว่าน้ำโอโซนหลังใช้ล้างผักชีฟ้ายังคงมีจำนวนเชื้อ *C. perfringens* อยู่ 2.2–2.5 log CFU/ml สอดคล้องกับรายงานของผ่องเพ็ญ และ อภิรติ (2552) ที่พบว่าความเข้มข้นของโอโซนในน้ำตั้งแต่ 0.25 ppm ขึ้นไป มีผลทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้จากน้ำปัสสาวะอย่างสมบูรณ์ทั้งเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา การที่โอโซนสามารถทำลายเชื้อ *C. perfringens* ได้นั้น เพราะโอโซนมีผลเข้าไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียบริเวณไกลโคโปรตีน ไกลโคลิปิด หรือบริเวณที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนเช่น ทริปโตฟาน (tryptophan) ซึ่งมีความไวต่อโอโซนมากกว่ากรดอะมิโนชนิดอื่น (Green *et al.*, 1993) และโอโซนยังมีประสิทธิภาพในการทำลายกรดอะมิโนซิสเตอีน (cysteine) โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มไทออล (thiol group) ของซิสเตอีน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนำไปสู่การเสียสภาพทางธรรมชาติของโปรตีน นอกจากนี้โอโซนสามารถออกซิไดซ์โปรตีนที่ตำแหน่ง sulfhydryl groups ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ ทำให้โครงสร้างของเอนไซม์เสียหายมีผลทำให้เอนไซม์สูญเสียหน้าที่ไป (Khadre *et al.*, 2001; Güzel-Seydima *et al.*, 2004)

สำหรับผลของโอโซนที่มีต่อเชื้อรา เนื่องจากผนังเซลล์ของเชื้อราประกอบด้วยไคติน (chitin) หรือเซลลูโลสกับไคตินเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นโอโซนจะเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ตำแหน่ง disulfide bonds บริเวณผนังเซลล์ จากนั้นโอโซนจะเข้าทำปฏิกิริยากับ organelles ภายในไซโตพลาสซึม (cytoplasm) ของเชื้อรา ประสิทธิภาพของน้ำโอโซนในการควบคุมการเจริญของเชื้อขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโอโซน พบว่าเมื่อความเข้มข้นของโอโซนสูงขึ้นความสามารถในการควบคุมเชื้อก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่จากการศึกษาครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ และน้ำอเล็กโทรไลต์กรดแล้วพบว่าน้ำโอโซนมี

ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ *C. perfringens* ที่ต่ำกว่า ทั้งนี้เป็นผลจากปัจจัยเสริมในส่วนของค่าพีเอช และ ค่า ORP ดังกล่าวในข้างต้น ซึ่งมีผลต่อการทำลายเชื้อด้วย

อย่างไรก็ตามในกระบวนการแปรรูปทางอุตสาหกรรม ควรใช้ระดับความเข้มข้นของโอโซนในระดับต่ำเท่าที่จะทำได้ เนื่องจากที่ระดับความเข้มข้นมากกว่า 1 ppm โอโซนสามารถกัดกร่อนสแตนเลสได้มากขึ้น ซึ่งวัสดุส่วนใหญ่จะถูกออกแบบมาให้ทนโอโซนได้ในระดับ 1–3 ppm (Brown *et al.*, 1992; Pascual *et al.*, 2007) และสำหรับระดับความเข้มข้นต่ำสุด (Threshold Limit Value: TLV) ของโอโซนในสิ่งแวดล้อมขณะปฏิบัติงานที่ระยะเวลา 15 นาที และ 8 ชั่วโมง ยอมให้มีได้มีค่าเท่ากับ 0.3 และ 0.1 ppm ตามลำดับ ยิ่งไปกว่านั้น การใช้โอโซนในรูปสารละลาย หรือน้ำโอโซนยังคงมีค่าใช้จ่ายสูง และยากต่อการควบคุมการคงตัวของโอโซน ปัจจุบันได้มีการนำมาใช้ลดการปนเปื้อนในผักผลไม้สด จึงต้องมีการควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในขั้นตอนของการใช้น้ำโอโซนซึ่งมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับอุตสาหกรรมผักผลไม้สด (Ölmez and Kretzschmar, 2009)

ตารางที่ 79 สมบัติน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งก่อนและหลังล้างฟริกซ์ฟาทาที่ปนเปื้อน *C. perfringens* เริ่มต้น 5.5 log CFU/g

ชนิดน้ำล้าง	เวลาล้าง	ก่อนล้าง			หลังล้าง					
		(นาทื)	<i>C. perfringens</i> (log CFU/g)	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า ORP (mV)	ค่า pH	<i>C. perfringens</i> (log CFU/g)	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่า ORP (mV)	ค่า pH
น้ำประปา	5		<1.00±0.00	-	376±12	7.81±0.05	3.25±0.29	-	358±7	7.69±0.05
	10		<1.00±0.00	-	376±12	7.82±0.07	3.65±0.66	-	351.5±12	7.59±0.09
น้ำไอโซน	5		<1.00±0.00	0.5	572.5±14	7.75±0.00	2.45±0.06	0.04±0.00	374.5±10	7.54±0.00
	10		<1.00±0.00		572.5±14	7.74±0.00	2.28±0.02	0.01±0.00	346±11	7.48±0.00
	5		<1.00±0.00	1.0	769±5	7.70±0.00	2.30±0.04	0.04±0.00	343.5±2	7.64±0.00
	10		<1.00±0.00		769±5	7.71±0.00	2.23±0.06	0.01±0.00	326±2	7.52±0.00
น้ำอิเล็กโทรไลต์กรด	5		<1.00±0.00	50*	1,030±7	2.77±0.28	<1.00±0.00	33.0±7.07	968±1	2.76±0.00
	10		<1.00±0.00		1,030±7	2.77±0.28	<1.00±0.00	23.5±2.12	897±2	2.75±0.00
	5		<1.00±0.00	70*	1,030±7	2.70±0.24	<1.00±0.00	51.0±1.41	1,130.5±2	2.69±0.00
	10		<1.00±0.00		1,193±1	2.70±0.24	<1.00±0.00	11.0±1.41	1,081±1	2.68±0.00
โซเดียมไฮโปคลอไรท์	5		<1.00±0.00	100*	952±35	6.69±0.05	<1.00±0.00	97.5±14.85	946.0±39	6.42±0.16
	10		<1.00±0.00		952±35	6.69±0.05	<1.00±0.00	98.0±14.14	939.5±28	6.42±0.13
	5		<1.00±0.00	200*	913±46	7.44±0.13	<1.00±0.00	192.0±2.83	924.5±48	7.41±0.13
	10		<1.00±0.00		913±46	7.44±0.13	<1.00±0.00	191.0±1.41	924.5±43	7.41±0.13

* คลอรีนอิสระ (free available chlorine)

ในที่นี้พบว่าความเข้มข้นของน้ำล้างแต่ละชนิด และเวลาในการล้าง เป็นปัจจัยที่ไม่ส่งผลต่อปริมาณของเชื้อ *C. perfringens* ที่ปนเปื้อนในพริกชี้ฟ้าหลังล้าง และร้อยละการลดลง (% log reduction) ($P>0.05$) (ตารางที่ 80) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าความเข้มข้นของน้ำล้างแต่ละชนิดที่เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณของเชื้อ *C. perfringens* ที่ปนเปื้อนในพริกชี้ฟ้าหลังล้างมีแนวโน้มลดลง และทำให้ร้อยละการลดลงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับเวลาในการล้างที่เพิ่มขึ้นซึ่งให้ผลปริมาณของเชื้อ *C. perfringens* ที่ปนเปื้อนในพริกชี้ฟ้าหลังล้าง และในร้อยละการลดลง เป็นไปในทิศทางเช่นเดียวกันกับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของน้ำล้าง ทั้งนี้พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำล้างแต่ละชนิด และเวลาในการล้าง (ปัจจัยที่ 1 และปัจจัยที่ 2 ตามลำดับ) พบว่าไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเชื้อ *C. perfringens* ที่ปนเปื้อนในพริกชี้ฟ้าหลังล้าง ($P>0.05$) และ ร้อยละการลดลง ($P>0.05$)

ตารางที่ 80 การวิเคราะห์ปัจจัยและปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณและร้อยละการลดลงของเชื้อ *C. perfringens* ที่ปนเปื้อนในพริกชี้ฟ้าหลังล้าง

เชื้อ <i>C. perfringens</i> ที่ปนเปื้อน ในพริกชี้ฟ้าหลังล้าง	ปัจจัยที่ 1	ปัจจัยที่ 2	ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ปัจจัยที่ 1 และ ปัจจัยที่ 2
	Sig	Sig	Sig (R^2)
Log CFU/g	0.173 ^{ns}	0.294 ^{ns}	0.978 ^{ns} (0.482)
ร้อยละการลดลง (% log reduction)	0.172 ^{ns}	0.294 ^{ns}	0.978 ^{ns} (0.482)

หมายเหตุ : Sig เป็นค่าที่ใช้ในการตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$)

ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

โดยกำหนดให้

ปัจจัยที่ 1 คือ ความเข้มข้นของน้ำล้างแต่ละชนิด 2 ระดับ (โอโซน 0.5–1.0 ppm, น้ำอิเล็กโทรไลซ์กรด 50–70 ppm และโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 100–200 ppm)

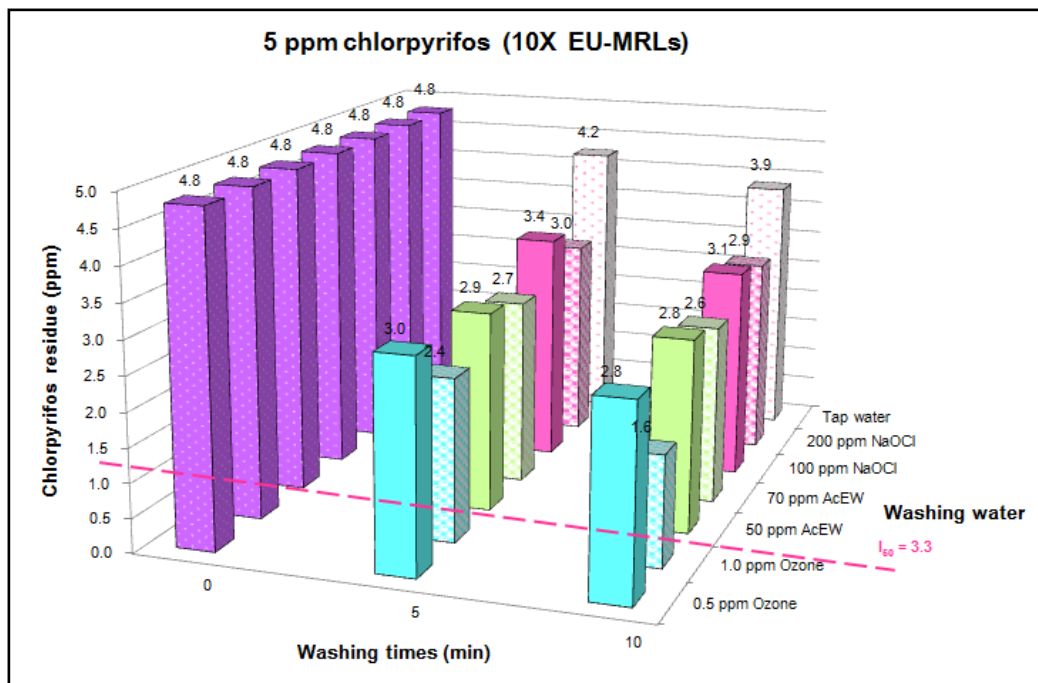
ปัจจัยที่ 2 คือ เวลาในการล้าง 2 ระดับ (5 และ 10 นาที)

2.6 การทดสอบประสิทธิภาพของสารออกซิไดซ์ซึ่งต่อการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในพริกชี้ฟ้า

การลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในพริกชี้ฟ้าที่ปริมาณสารตกค้างระดับต่ำ (10 เท่าของค่า EU-MRLs ปี 2010) และปริมาณสารตกค้างระดับสูง (100 เท่าของค่า EU-MRLs ปี 2010) โดยการล้างด้วยสารละลายชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับการล้างด้วยน้ำประปา ผลการทดลองพบว่าน้ำล้างกลุ่มออกซิไดซ์ซึ่ง (โอโซน และน้ำอิเล็กโทรไลซ์กรด) มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชคลอไพริฟอสในพริกชี้ฟ้าที่ต่ำกว่าโซเดียมไฮโปคลอไรท์ และน้ำประปาที่ปริมาณสารตกค้างระดับต่ำ แต่อย่างไรก็ตามที่ปริมาณสารตกค้างระดับสูงพบว่าไม่มีเพียงโอโซนเท่านั้นที่มีประสิทธิภาพดีในการลดปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชคลอไพริฟอสในพริกชี้ฟ้า ในขณะที่น้ำอิเล็กโทรไลซ์กรด โซเดียมไฮโปคลอไรท์ และน้ำประปา มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชคลอไพริฟอสในพริกชี้ฟ้าใกล้เคียงกัน

การล้างพริกชี้ฟ้าด้วยน้ำโอโซนที่มีปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้างเริ่มต้นเท่ากับ 4.79 พีพีเอ็ม (10 เท่าของค่า EU-MRLs ปี 2010) พบว่าน้ำโอโซนเข้มข้น 0.5 พีพีเอ็ม เวลาล้างนาน 5 และ 10 นาที สามารถลดปริมาณสารคลอไพริฟอสได้แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยเหลือปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้างหลังล้างที่ 5 และ 10 นาที เท่ากับ 3.04 และ 2.75 พีพีเอ็ม (ภาพที่ 34 และตารางที่ 81) หรือปริมาณสารตกค้างดังกล่าวลงได้ร้อยละ 36.8 และ 42.8 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นน้ำโอโซนเป็น 1 พีพีเอ็ม ใช้เวลาในการล้าง 5 และ 10 นาที พบว่าให้ประสิทธิภาพในการลดสารคลอไพริฟอสตกค้างได้ดีขึ้น โดยพบปริมาณสารคลอไพริฟอสหลังล้างเหลือเพียง 2.35 และ 1.59 พีพีเอ็ม ตามลำดับ หรือลดได้ร้อยละ 51.1 และ 66.9 ตามลำดับ

ในขณะที่การล้างพริกชี้ฟ้าที่ผ่านการสร้างการปนเปื้อนของสารคลอไพริฟอสด้วยน้ำอิเล็กโทรไลซ์กรด ที่มีปริมาณคลอรีนอิสระเข้มข้น 50 และ 70 พีพีเอ็ม และโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่มีปริมาณคลอรีนอิสระเข้มข้น 100 และ 200 พีพีเอ็ม พบว่ามีประสิทธิภาพในการลดระดับการตกค้างของสารคลอไพริฟอสที่ระดับต่ำ (10 เท่า ของค่า EU-MRLs ปี 2010) ได้แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) และแตกต่างกับการล้างด้วยน้ำประปา ($p \leq 0.05$) โดยน้ำอิเล็กโทรไลซ์กรดสามารถลดปริมาณสารตกค้างคลอไพริฟอสที่ปนเปื้อนระดับสูงลงได้ในช่วงร้อยละ 39.5 ถึง 46.0 (ขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้น และเวลาในการล้าง) ส่วนโซเดียมไฮโปคลอไรท์สามารถลดปริมาณสารตกค้างคลอไพริฟอสที่ปนเปื้อนระดับสูงลงได้ในช่วงร้อยละ 30 ถึง 40 (ขึ้นอยู่กับปัจจัยเช่นเดียวกันกับน้ำอิเล็กโทรไลซ์กรด) ในขณะที่การล้างด้วยน้ำประปา นาน 5 และ 10 นาที สามารถลดปริมาณสารตกค้างดังกล่าวลงได้เพียงร้อยละ 12 และ 20 ตามลำดับ (ตารางที่ 81)

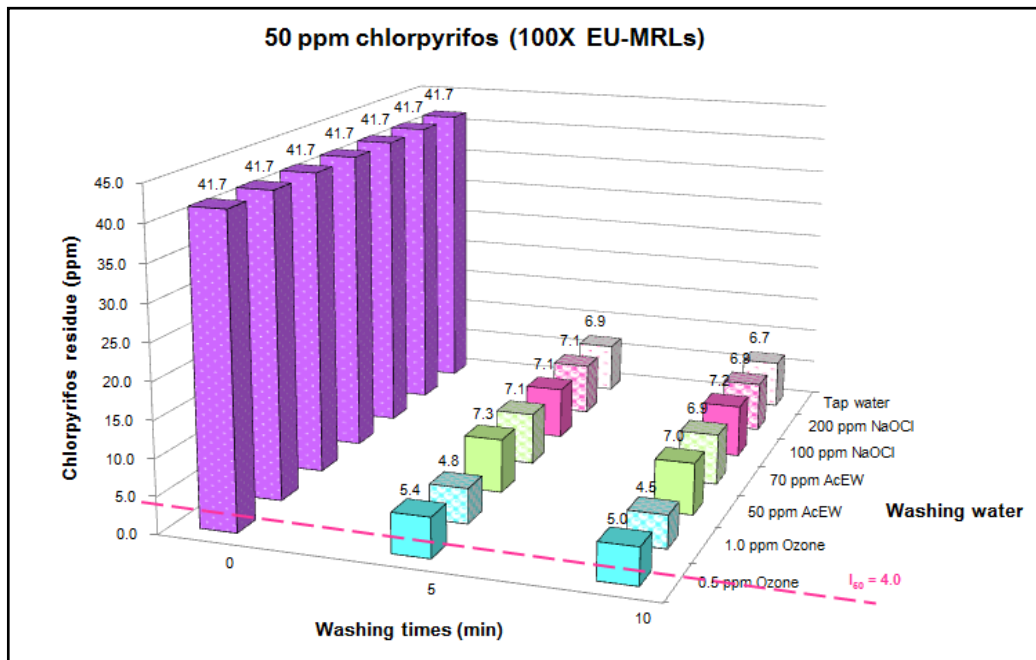


ภาพที่ 34 ประสิทธิภาพน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งต่อการลดการปนเปื้อนของสารคลอไพริฟอสในพริกชี้ฟ้า
ที่ระดับ 10 เท่าของค่า EU-MRLs ปี 2010

ส่วนการล้างพริกชี้ฟ้าด้วยน้ำไฮโปคลอไรต์ที่มีปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้างเริ่มต้นเท่ากับ 41.68 พีพีเอ็ม (100 เท่าของค่า EU-MRLs ปี 2010) พบว่าน้ำไฮโปคลอไรต์เข้มข้นทั้งที่ระดับ 0.5 พีพีเอ็ม เวลาล้างนาน 5 และ 10 นาที สามารถลดปริมาณสารคลอไพริฟอสได้ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยเหลือปริมาณสารคลอไพริฟอสตกค้างหลังล้างที่ 5 และ 10 นาที เท่ากับ 5.39 และ 4.96 พีพีเอ็ม (ตารางที่ 81) หรือปริมาณสารตกค้างดังกล่าวลดลงได้ร้อยละ 87.1 และ 88.1 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นน้ำไฮโปคลอไรต์เป็น 1 พีพีเอ็ม สามารถลดสารคลอไพริฟอสตกค้างได้ดีขึ้น โดยพบปริมาณสารคลอไพริฟอสหลังล้างเหลือเพียง 4.78 และ 4.46 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ภาพที่ 34 และตารางที่ 81) หรือลดได้ร้อยละ 88.5 และ 89.3 ตามลำดับ

แต่พบว่าเวลาในการล้าง 5 และ 10 นาที ไม่เกิดความแตกต่าง ($p > 0.05$) ต่อการลดลงของปริมาณสารคลอไพริฟอส ดังนั้นจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าน้ำไฮโปคลอไรต์ให้ประสิทธิภาพในการลดสารตกค้างชนิดนี้ได้ดีมาก และสภาวะการล้างที่เวลาล้าง 5 และ 10 นาที จะให้ร้อยละการลดลง (% การลดลง) ที่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของน้ำไฮโปคลอไรต์ และระดับการตกค้างของสารคลอไพริฟอส (10 หรือ 100 เท่า) ประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนของสารคลอไพริฟอสด้วยน้ำอิเล็กโทรไลต์กรดและโซเดียมไฮโปคลอไรต์ที่ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ที่ระดับการตกค้างของสารคลอไพริฟอสระดับสูง (100 เท่า ของค่า EU-MRLs ปี 2010) และไม่แตกต่างกับการล้าง

ด้วยน้ำประปา ($p>0.05$) สามารถลดปริมาณสารตกค้างคลอไพริฟอสที่ปนเปื้อนระดับสูงลงได้ในช่วงร้อยละ 82.4 ถึง 83.5 ในขณะที่การล้างด้วยน้ำประปา นาน 5 และ 10 นาที สามารถลดปริมาณสารตกค้างดังกล่าวลงได้ 83.4 และ 84.0 ตามลำดับ (ตารางที่ 81)



ภาพที่ 35 ประสิทธิภาพน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งต่อการลดการปนเปื้อนของสารคลอไพริฟอสในพริกชี้ฟ้า ที่ระดับ 100 เท่าของค่า EU-MRLs ปี 2010

จากเกณฑ์ประสิทธิภาพการล้างสารมีพิษจากผัก กำหนดโดยกองวัตถุมีพิษการเกษตร กรมวิชาการเกษตร (2542) ระบุว่าร้อยละการลดลงของการลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักที่ร้อยละ 16 ถึง 28 จัดว่าอยู่ในเกณฑ์ น้อยมาก (ไม่ดี) และหากร้อยละการลดลงอยู่ที่ระดับร้อยละ 40 ถึง 54 จะอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง ในขณะที่หาก สามารถลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักที่ร้อยละ 55 ถึง 69 ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดี จากผลการศึกษาลดสาร กำจัดศัตรูพืชคลอไพริฟอสตกค้างในพริกในที่นี่ การล้างน้ำชนิดต่าง ๆ ที่ระดับการปนเปื้อน 10 และ 100 เท่า (ของค่า EU-MRLs ปี 2010) สรุปได้ว่าการล้างด้วยน้ำโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที ที่การตกค้างใน ระดับต่ำ สามารถลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชคลอไพริฟอสอยู่ในเกณฑ์ระดับดี โดยมีร้อยละการลดลงเท่ากับร้อยละ 66.9 ในขณะที่น้ำอิเล็กโทรไลซ์กรดที่ระดับความเข้มข้น 70 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที และโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ระดับ ความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที สามารถลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชคลอไพริฟอสอยู่ในเกณฑ์ระดับปาน กลาง โดยมีร้อยละการลดลงเท่ากับร้อยละ 46 และร้อยละ 39.7 ตามลำดับ และจากการศึกษาครั้งนี้ การล้างพริก

ด้วยน้ำไอโซนพบว่าให้ประสิทธิภาพในการลดสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในพริกชี้ฟ้าได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในลิ้นจี่ โดยกานดา และ จ่านงค์ (2551) นำลิ้นจี่พันธุ์จักรพรรดิแช่ในสารละลายคลอไพริฟอส (Chlorpyrifos) ความเข้มข้น 2 มล./ล. หรือ 2 ppm เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปแช่ด้วยน้ำไอโซนอัตรา 1,000 มล./ล. เป็นเวลา 60 นาที ได้พบว่าสามารถสลาย (degradation) สารตกค้างยาฆ่าแมลงได้เพียงร้อยละ 10.25

ตารางที่ 81 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการล้างฟริกซ์ฟ้าสถปเป็นป้อนสารคลอไพริฟอสที่ระดับ 10 และ 100 เท่าของค่า EU-MRLs ที่เวลาล้าง 5 และ 10 นาที

น้ำล้าง	ความเข้มข้นน้ำล้าง (พีพีเอ็ม)	เวลาล้าง (นาที)	ปริมาณสารคลอไพริฟอส ^a (พีพีเอ็ม)					
			10 เท่าของค่า EU-MRLs			100 เท่าของค่า EU-MRLs		
			เริ่มต้น	หลังล้าง	% การลดลง	เริ่มต้น	หลังล้าง	% การลดลง
น้ำประปา	-	5	4.79±0.05	4.23±0.06 ^a	11.98±0.23 ^h	41.68±1.10	6.90±0.04 ^a	83.45±0.47 ^{cd}
	-	10	4.79±0.05	3.85±0.06 ^b	19.79±0.24 ^s	41.68±1.10	6.66±0.28 ^a	84.02±0.14 ^c
โอโซน	0.5	5	4.79±0.05	3.04±0.26 ^{de}	36.81±4.33 ^{de}	41.68±1.10	5.39±0.52 ^b	87.05±1.67 ^b
		10	4.79±0.05	2.75±0.28 ^{def}	42.75±4.88 ^{cd}	41.68±1.10	4.96±0.05 ^{bc}	88.11±0.52 ^{ab}
	1.0	5	4.79±0.05	2.35±0.13 ^s	51.11±3.66 ^b	41.68±1.10	4.78±0.10 ^{bc}	88.52±0.62 ^a
		10	4.79±0.05	1.59±0.21 ^h	66.94±4.86a	41.68±1.10	4.46±0.06 ^c	89.30±0.51 ^a
อิเล็กโทรไลต์กรด	50	5	4.79±0.05	2.91±0.05 ^{def}	39.48±0.04 ^{de}	41.68±1.10	7.33±0.17 ^a	82.41±0.18 ^d
		10	4.79±0.05	2.79±0.07 ^{def}	41.88±0.45 ^{cde}	41.68±1.10	7.03±0.41 ^a	83.14±0.42 ^{cd}
	70	5	4.79±0.05	2.72±0.08 ^{ef}	41.75±1.77 ^{cde}	41.68±1.10	7.08±0.14 ^a	83.01±0.23 ^{cd}
		10	4.79±0.05	2.60±0.09 ^{fg}	45.95±0.95 ^{bc}	41.68±1.10	6.94±0.06 ^a	83.35±0.71 ^{cd}
โซเดียมไฮโปคลอไรท์	100	5	4.79±0.05	3.37±0.05 ^c	29.98±2.27 ^f	41.68±1.10	7.06±0.59 ^a	83.08±0.86 ^{cd}
		10	4.79±0.05	3.08±0.08 ^{cd}	35.95±0.49 ^e	41.68±1.10	7.18±0.25 ^a	82.78±0.04 ^{cd}
	200	5	4.79±0.05	2.97±0.08 ^{de}	38.24±0.53 ^{de}	41.68±1.10	7.14±0.16 ^a	82.88±0.18 ^{cd}
		10	4.79±0.05	2.90±0.11 ^{def}	39.70±1.15 ^{de}	41.68±1.10	6.87±0.27 ^a	83.52±0.09 ^{cd}

^a ค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทำการทดลอง 4 ซ้ำ

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสตรัมแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ความเข้มข้นของน้ำล้างแต่ละชนิดและเวลาในการล้าง เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณของสารคลอไพริฟอสที่ตกค้างในพริกชี้ฟ้าหลังล้าง และร้อยละการลดลง ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 82) โดยพบว่าความเข้มข้นของน้ำล้างแต่ละชนิด (ปัจจัยที่ 1) ที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของสารคลอไพริฟอสที่ตกค้างในพริกชี้ฟ้าหลังล้าง ทั้งที่ระดับการปนเปื้อน 10 และ 100 เท่า ของ EU-MRLs ลดลง ($P \leq 0.05$) และทำให้ร้อยละของการลดลงของสารคลอไพริฟอสเพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$) ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับเวลาในการล้าง (ปัจจัยที่ 2) ที่เพิ่มขึ้น ที่ส่งผลให้ปริมาณของสารคลอไพริฟอสที่ตกค้างในพริกชี้ฟ้าหลังล้าง ที่ระดับการปนเปื้อน 10 เท่า ของ EU-MRLs ลดลง ($P \leq 0.05$) และทำให้ร้อยละของการลดลงของสารคลอไพริฟอสเพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$) ตามลำดับ เช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของน้ำล้าง แต่อย่างไรก็ตามที่ระดับการปนเปื้อน 100 เท่า ของ EU-MRLs แม้จะพบว่าเวลาในการล้างที่เพิ่มขึ้นจาก 5 นาที เป็น 10 นาที ส่งผลให้ปริมาณของสารคลอไพริฟอสที่ตกค้างในพริกชี้ฟ้าหลังล้างมีแนวโน้มลดลง แต่การลดลงของสารคลอไพริฟอสจากระดับของปัจจัยดังกล่าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ทั้งนี้ที่ระดับการปนเปื้อน 10 เท่า ของ EU-MRLs พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำล้างแต่ละชนิด และเวลาในการล้าง (ปัจจัยที่ 1 และปัจจัยที่ 2 ตามลำดับ) ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารคลอไพริฟอสที่ตกค้างในพริกชี้ฟ้าหลังล้าง ($P \leq 0.05$) และ ร้อยละของการลดลง ($P \leq 0.05$) ส่วนที่ระดับการปนเปื้อน 100 เท่า ของ EU-MRLs พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้ง 2 โดยไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารคลอไพริฟอสที่ตกค้างในพริกชี้ฟ้าหลังล้าง ($P > 0.05$) และ ร้อยละของการลดลง ($P > 0.05$)

ตารางที่ 82 การวิเคราะห์ปัจจัยและปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณและร้อยละการลดลงของสารคลอไพริฟอสที่ตกค้างในพริกชี้ฟ้าหลังล้างที่มีการปนเปื้อนสารคลอไพริฟอสสูงกว่า 10 และ 100 เท่า ของ EU-MRLs

สารคลอไพริฟอสที่ตกค้างในพริกชี้ฟ้า หลังล้าง	ปัจจัยที่ 1	ปัจจัยที่ 2	ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ปัจจัยที่ 1 และ ปัจจัยที่ 2
	Sig	Sig	Sig (R^2)
ปริมาณตกค้างที่ 10 เท่า EU-MRLs	0.000 [*]	0.000 [*]	0.043 [*] (0.975)
ปริมาณตกค้างที่ 100 เท่า EU-MRLs	0.000 [*]	0.051 ^{ns}	0.872 ^{ns} (0.961)
ร้อยละการลดลง 10 เท่า EU-MRLs	0.000 [*]	0.000 [*]	0.025 [*] (0.980)
ร้อยละการลดลง 100 เท่า EU-MRLs	0.000 [*]	0.037 [*]	0.816 ^{ns} (0.966)

หมายเหตุ : Sig เป็นค่าที่ใช้ในการตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมุติฐาน

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

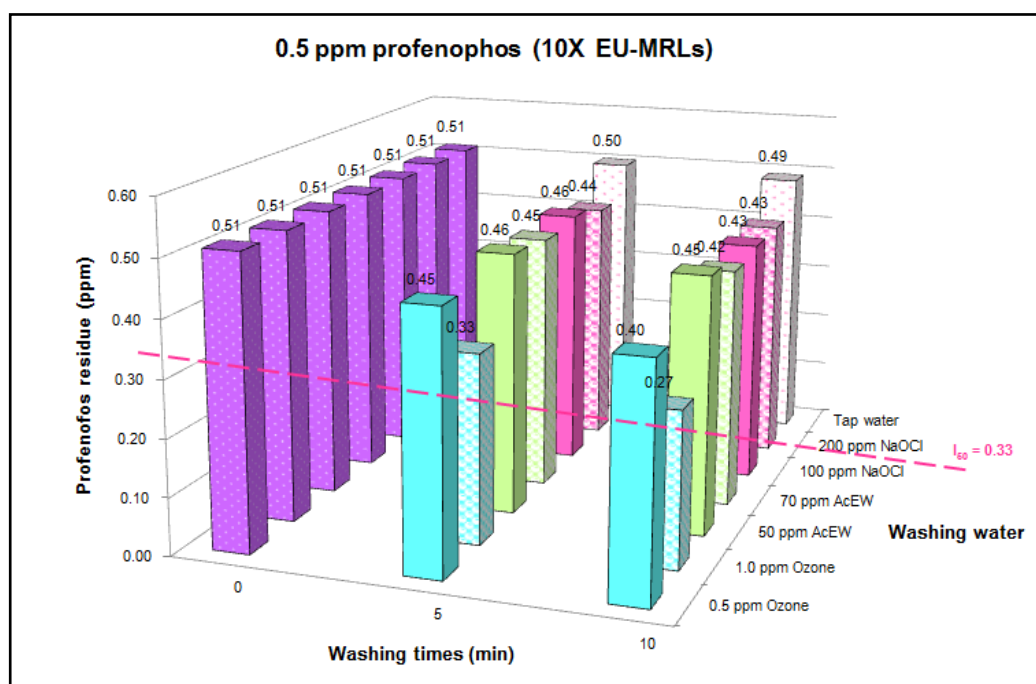
ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

โดยกำหนดให้

ปัจจัยที่ 1 คือ ความเข้มข้นของน้ำล้างแต่ละชนิด 2 ระดับ (โอโซน 0.5–1.0 ppm, น้ำอเล็กโทรไลซ์กรด 50–70 ppm และโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 100–200 ppm)

ปัจจัยที่ 2 คือ เวลาในการล้าง 2 ระดับ (5 และ 10 นาที)

ในขณะที่การศึกษากการสร้างการปนเปื้อนสารโพรพิโนฟอสที่ระดับการปนเปื้อน 10 และ 100 เท่า ของค่า EU-MRLs ปี 2010 พบว่าน้ำโอโซนมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชโพรพิโนฟอสในพริกชี้ฟ้าที่ดีกว่าน้ำอเล็กโทรไลซ์กรด โซเดียมไฮโปคลอไรท์ และน้ำประปา ตามลำดับ ทั้งที่ปริมาณสารตกค้างระดับต่ำและระดับสูง (10 และ 100 เท่า ของค่า EU-MRLs ปี 2010) ในขณะที่น้ำอเล็กโทรไลซ์กรด และโซเดียมไฮโปคลอไรท์ มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชโพรพิโนฟอสในพริกชี้ฟ้าใกล้เคียงกัน และดีกว่าน้ำประปา ภาพที่ 36



ภาพที่ 36 ประสิทธิภาพน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งต่อการลดการปนเปื้อนของสารโพรพิโนฟอสในพริกชี้ฟ้าที่ระดับ 10 เท่าของค่า EU-MRLs ปี 2010

การล้างฟริกซ์ฟ้าด้วยน้ำไอโซนที่มีปริมาณสารโพรฟิโนฟอสตกค้างเริ่มต้นเท่ากับ 0.51 พีพีเอ็ม (10 เท่าของค่า EU-MRLs ปี 2010) พบว่าน้ำไอโซนเข้มข้น 0.5 พีพีเอ็ม เวลาล้างนาน 5 และ 10 นาที สามารถลดปริมาณสารคลอไพริฟอสได้แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยเหลือปริมาณสารโพรฟิโนฟอสตกค้างหลังล้างที่ 5 และ 10 นาที เท่ากับ 0.45 และ 0.40 พีพีเอ็ม (ตารางที่ 83) หรือปริมาณสารตกค้างดังกล่าวลงได้ร้อยละ 13.2 และ 21.6 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นน้ำไอโซนเป็น 1 พีพีเอ็ม ใช้เวลาในการล้าง 5 และ 10 นาที พบว่าให้ประสิทธิภาพในการลดสารโพรฟิโนฟอสตกค้างได้ดีขึ้น โดยพบปริมาณสารโพรฟิโนฟอสหลังล้างเหลือเพียง 0.33 และ 0.27 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 83) หรือลดได้ร้อยละ 35.5 และ 46.8 ตามลำดับ

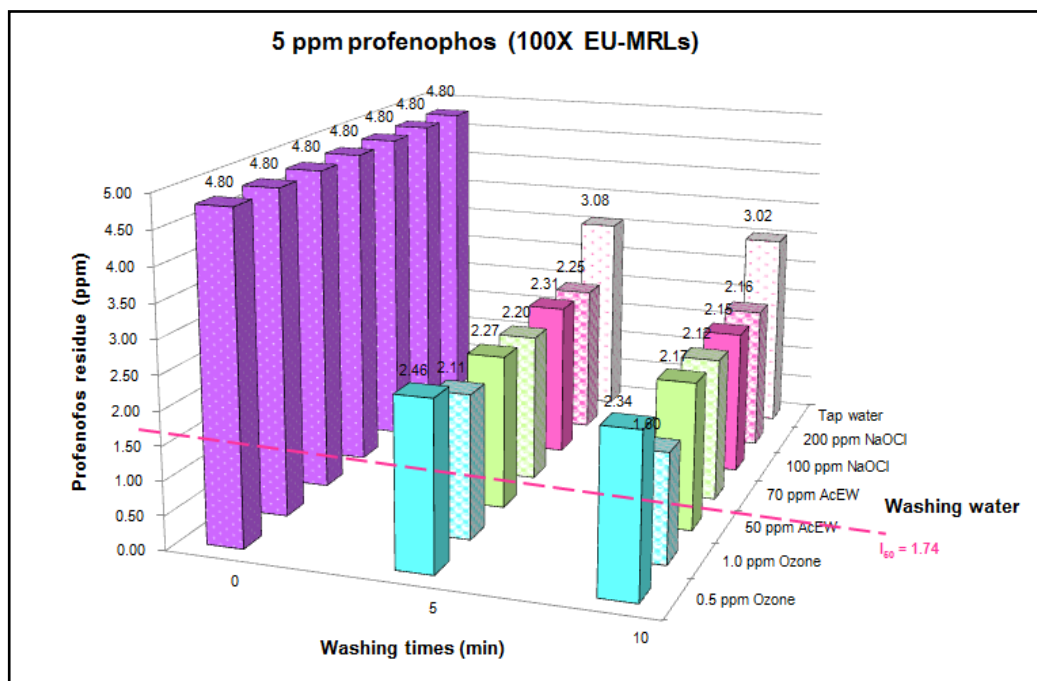
ส่วนน้ำอเล็กโทรไลต์กรด ที่มีปริมาณคลอรีนอิสระเข้มข้น 50 และ 70 พีพีเอ็ม และโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่มีปริมาณคลอรีนอิสระเข้มข้น 100 และ 200 พีพีเอ็ม พบว่ามีประสิทธิภาพในการลดระดับการตกค้างของสารโพรฟิโนฟอสที่ระดับต่ำ (10 เท่า ของค่า EU-MRLs ปี 2010) ได้ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และไม่แตกต่างกับการล้างด้วยน้ำประปา ($p \leq 0.05$) โดยน้ำอเล็กโทรไลต์กรดสามารถลดปริมาณสารตกค้างคลอไพริฟอสที่ปนเปื้อนระดับสูงลงได้ในช่วงร้อยละ 0.42 ถึง 0.46 (ขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้น และเวลาในการล้าง) ส่วนโซเดียมไฮโปคลอไรท์สามารถลดปริมาณสารตกค้างโพรฟิโนฟอสที่ปนเปื้อนระดับสูงลงได้ในช่วงร้อยละ 0.43 ถึง 0.46 ในขณะที่การล้างด้วยน้ำประปานาน 5 และ 10 นาที สามารถลดปริมาณสารตกค้างดังกล่าวลงได้เพียง 0.50 และ 0.49 ตามลำดับ

ส่วนการล้างฟริกซ์ฟ้าด้วยน้ำไอโซนที่มีปริมาณสารโพรฟิโนฟอสตกค้างเริ่มต้นเท่ากับ 4.80 พีพีเอ็ม (100 เท่าของค่า EU-MRLs ปี 2010) พบว่าน้ำไอโซนเข้มข้นทั้งที่ระดับ 0.5 พีพีเอ็ม เวลาล้างนาน 5 และ 10 นาที สามารถลดปริมาณสารโพรฟิโนฟอสได้ไม่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยเหลือปริมาณสารโพรฟิโนฟอสตกค้างหลังล้างที่ 5 และ 10 นาที เท่ากับ 2.46 และ 2.34 พีพีเอ็ม (ภาพที่ 12) หรือปริมาณสารตกค้างดังกล่าวลงได้ร้อยละ 48.9 และ 51.3 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นน้ำไอโซนเป็น 1 พีพีเอ็ม สามารถลดสารโพรฟิโนฟอสตกค้างได้ดีขึ้นซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการลดสารคลอไพริฟอส โดยพบปริมาณสารโพรฟิโนฟอสหลังล้างเหลือเพียง 2.11 และ 1.60 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 83) หรือลดได้ร้อยละ 56.1 และ 66.7 ตามลำดับ

พบว่าเวลาในการล้าง 5 และ 10 นาที เกิดความแตกต่าง ($p \leq 0.05$) ต่อการลดลงของปริมาณสารโพรฟิโนฟอส ในขณะที่เวลาในการล้าง 5 และ 10 นาที ไม่เกิดความแตกต่างกับสารคลอไพริฟอส ดังนั้นจากการศึกษาครั้งนี้พบว่า น้ำไอโซนให้ประสิทธิภาพในการลดสารตกค้างโพรฟิโนฟอสได้ดี และสภาวะการล้างที่เวลาล้าง 5 และ 10 นาที จะให้ร้อยละการลดลงที่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยไม่ขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของน้ำไอโซน

และระดับการตกค้างของสารโพรฟิโนฟอส (10 หรือ 100 เท่า) ให้ผลตรงกันข้ามกับที่พบในกรณีของสารคลอไพริฟอส และพบว่าประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนของสารโพรฟิโนฟอสด้วยน้ำอเล็กโทรไลต์กรดและโซเดียมไฮโปคลอไรท์นั้นไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกับการล้างด้วยน้ำประปา ($p \leq 0.05$) สามารถลดปริมาณ

สารตกค้างโปรฟิโนฟอสที่ปนเปื้อนระดับสูงลงได้ในช่วงร้อยละ 52.9 ถึง 56.0 ในขณะที่การล้างด้วยน้ำประปา นาน 5 และ 10 นาที สามารถลดปริมาณสารตกค้างดังกล่าวลงได้ 35.9 และ 37.2 ตามลำดับ (ตารางที่ 83)



ภาพที่ 37 ประสิทธิภาพน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งต่อการลดการปนเปื้อนของสารโปรฟิโนฟอสในพริกชี้ฟ้า ที่ระดับ 100 เท่าของค่า EU-MRLs ปี 2010

ดังนั้นจากผลการศึกษาการลดสารกำจัดศัตรูพืชโปรฟิโนฟอสตกค้างในพริกชี้ฟ้าที่ระดับ 10 และ 100 เท่า (ของค่า EU-MRLs ปี 2010) ด้วยการล้างน้ำชนิดต่าง ๆ จึงสรุปได้ว่าการล้างด้วยน้ำโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 1 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที สามารถลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชโปรฟิโนฟอสอยู่ในเกณฑ์ระดับปานกลาง (กรมวิชาการเกษตร, 2542) ที่การตกค้างในระดับต่ำ โดยมีร้อยละการลดลงเท่ากับร้อยละ 46.9 ในขณะที่น้ำอิเล็กโทรไลต์กรดที่ระดับความเข้มข้น 70 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที และโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ระดับความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที สามารถลดปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชโปรฟิโนฟอสอยู่ในเกณฑ์ระดับต่ำ (กรมวิชาการเกษตร, 2542) (ที่ระดับการตกค้างเดียวกัน) โดยมีร้อยละการลดลงเท่ากับร้อยละ 17.7 และร้อยละ 16.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 83 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการล้างฟริกซ์ฟ้าสถป็นป้อนสารโพธิโนฟอสที่ระดับ 10 และ 100 เท่าของค่า EU-MRLs ที่เวลาต่าง 5 และ 10 นาที

น้ำล้าง	ความเข้มข้นน้ำล้าง (พีพีเอ็ม)	เวลาต่าง (นาที)	ปริมาณสารโพธิโนฟอส ^a (พีพีเอ็ม)					
			10 เท่าของค่า EU-MRLs			100 เท่าของค่า EU-MRLs		
			เริ่มต้น	หลังล้าง	% การลดลง	เริ่มต้น	หลังล้าง	% การลดลง
น้ำประปา	-	5	0.51±0.02	0.50±0.03 ^a	3.79±0.59 ^e	4.80±0.04	3.08±0.01 ^a	35.92±1.12 ^f
	-	10	0.51±0.02	0.49±0.04 ^{ab}	5.31±3.27 ^e	4.80±0.04	3.02±0.08 ^a	37.16±2.58 ^f
โอโซน	0.5	5	0.51±0.02	0.45±0.01 ^c	13.20±2.52 ^d	4.80±0.04	2.46±0.04 ^b	48.92±1.40 ^e
		10	0.51±0.02	0.40±0.00 ^d	21.59±3.89 ^c	4.80±0.04	2.34±0.01 ^c	51.29±0.88 ^{de}
	1.0	5	0.51±0.02	0.33±0.01 ^e	35.50±1.45 ^b	4.80±0.04	2.11±0.03 ^f	56.10±1.16 ^b
		10	0.51±0.02	0.27±0.02 ^f	46.82±5.83 ^a	4.80±0.04	1.60±0.14 ^g	66.74±2.51 ^a
อิเล็กโทรไลซ์กรด	50	5	0.51±0.02	0.46±0.01 ^{bc}	10.51±2.10 ^{de}	4.80±0.04	2.27±0.01 ^{cde}	52.88±0.76 ^{bcd}
		10	0.51±0.02	0.45±0.00 ^c	13.27±3.75 ^d	4.80±0.04	2.17±0.02 ^{ef}	54.96±1.03 ^{bc}
	70	5	0.51±0.02	0.45±0.01 ^c	12.93±1.85 ^d	4.80±0.04	2.20±0.01 ^{def}	54.33±0.74 ^{bcd}
		10	0.51±0.02	0.42±0.00 ^{cd}	17.74±2.98 ^{cd}	4.80±0.04	2.12±0.04 ^f	56.00±1.31 ^b
โซเดียมไฮโปคลอไรท์	100	5	0.51±0.02	0.46±0.01 ^{abc}	10.77±3.04 ^{de}	4.80±0.04	2.31±0.02 ^{cd}	52.79±1.06 ^{cde}
		10	0.51±0.02	0.43±0.01 ^{cd}	16.99±1.92 ^{cd}	4.80±0.04	2.15±0.04 ^{ef}	55.27±1.46 ^{bc}
	200	5	0.51±0.02	0.44±0.00 ^{cd}	14.71±4.09 ^{cd}	4.80±0.04	2.25±0.01 ^{cde}	53.29±0.75 ^{bcd}
		10	0.51±0.02	0.43±0.00 ^{cd}	16.94±4.12 ^{cd}	4.80±0.04	2.16±0.05 ^{ef}	55.16±1.61 ^{bc}

^a ค่าเฉลี่ย และค่า SD จากการทำการทดลอง 4 ซ้ำ

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ความเข้มข้นของน้ำล้างแต่ละชนิด และเวลาในการล้าง ยังเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณของสารโพรพิโนฟอสที่ตกค้างในพริกชี้ฟ้าหลังล้าง และร้อยละการลดลง ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 84) พบว่าความเข้มข้นของน้ำล้างแต่ละชนิด (ปัจจัยที่ 1) และเวลาในการล้าง (ปัจจัยที่ 2) เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของสารโพรพิโนฟอสที่ตกค้างในพริกชี้ฟ้าหลังล้าง ทั้งที่ระดับการปนเปื้อน 10 และ 100 เท่า ของ EU-MRLs ลดลง ($P \leq 0.05$) และทำให้อัตราของการลดลงของสารโพรพิโนฟอสเพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$) ตามลำดับ ทั้งนี้ที่ระดับการปนเปื้อน 100 เท่า ของ EU-MRLs เท่านั้นพบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำล้างแต่ละชนิด และเวลาในการล้าง (ปัจจัยที่ 1 และปัจจัยที่ 2 ตามลำดับ) โดยส่งผลเฉพาะต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละการลดลง ($P \leq 0.05$) ของสารโพรพิโนฟอส

ตารางที่ 84 การวิเคราะห์ปัจจัยและปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณและร้อยละการลดลงของสารโพรพิโนฟอสที่ตกค้างในพริกชี้ฟ้าหลังล้างที่มีการปนเปื้อนสารคลอไพริฟอสสูงกว่า 10 และ 100 เท่า ของ EU-MRLs

สารโพรพิโนฟอสที่ตกค้างในพริกชี้ฟ้า หลังล้าง	ปัจจัยที่ 1	ปัจจัยที่ 2	ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ปัจจัยที่ 1 และ ปัจจัยที่ 2
	Sig	Sig	Sig (R^2)
ปริมาณตกค้างที่ 10 เท่า EU-MRLs	0.000 [*]	0.001 [*]	0.315 ^{ns} (0.959)
ปริมาณตกค้างที่ 100 เท่า EU-MRLs	0.000 [*]	0.000 [*]	0.000 [*] (0.990)
ร้อยละการลดลง 10 เท่า EU-MRLs	0.000 [*]	0.001 [*]	0.348 ^{ns} (0.959)
ร้อยละการลดลง 100 เท่า EU-MRLs	0.000 [*]	0.000 [*]	0.805 ^{ns} (0.982)

หมายเหตุ : Sig เป็นค่าที่ใช้ในการตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมุติฐาน

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

โดยกำหนดให้

ปัจจัยที่ 1 คือ ความเข้มข้นของน้ำล้างแต่ละชนิด 2 ระดับ (โอโซน 0.5–1.0 ppm, น้ำอเล็กโทรไลซ์กรด 50–70 ppm และโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 100–200 ppm)

ปัจจัยที่ 2 คือ เวลาในการล้าง 2 ระดับ (5 และ 10 นาที)

ในกรณีตัวอย่างพริกชี้ฟ้าที่มีปริมาณโพธิ์โนฟอสตกค้างเริ่มต้นมากขึ้นคือใกล้เคียง 100 เท่าของค่า EU-MRLs (4.80 พีพีเอ็ม) นั้น พบว่าให้ประสิทธิภาพการลดลงของปริมาณสารโพธิ์โนฟอสตกค้างหลังล้างมีแนวโน้มดีกว่าการล้างค่น้ำที่มีปริมาณสารตกค้าง 10 เท่าของค่า EU-MRLs ในทุกชนิดของน้ำล้าง โดยพบว่าเมื่อปริมาณตกค้างสูงขึ้นการลดลงจะเห็นได้ชัดเจนขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายเครื่องผลิตโอโซนสำหรับล้างผักและผลไม้ยี่ห้อ Oxygenie 2009 พบว่าล้างผักกวางตุ้งด้วยน้ำโอโซนลดสารโพธิ์โนฟอสตกค้างจากปริมาณเริ่มต้นที่สูงมากถึง 5000 พีพีเอ็ม ลดเหลือ 124 พีพีเอ็ม หรือลดได้ถึง 98% แต่อย่างไรก็ตามยังพบว่าปริมาณการตกค้างหลังล้างสูงกว่าค่า EU-MRL ถึง 2480 เท่า (อัจฉรา, 2555) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษารั้งนี้ที่พบว่าปริมาณการตกค้างสารโพธิ์โนฟอสปริมาณสูง (100 เท่าของค่า EU-MRLs) ในพริกชี้ฟ้าหลังล้างด้วยน้ำโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที (สภาวะที่ลดได้มากที่สุด) ยังคงมีปริมาณการตกค้างของสารดังกล่าวสูงกว่า EU-MRLs (กำหนดที่ 0.05 พีพีเอ็ม) ถึง 32 เท่า ซึ่งยังไม่สามารถลดให้อยู่ในระดับที่ผ่าน EU-MRLs ได้ และในกรณีของสารคลอไพริฟอส (กำหนดที่ 0.5 พีพีเอ็ม) ยังคงมีปริมาณการตกค้างของสารดังกล่าวสูงกว่า EU-MRLs ถึง 9 เท่า ซึ่งยังไม่สามารถลดให้อยู่ในระดับที่ผ่าน EU-MRLs ได้เช่นเดียวกัน

ส่วนการล้างพริกชี้ฟ้าที่มีปริมาณสารโพธิ์โนฟอส และคลอไพริฟอสตกค้างต่ำ (10 เท่าของ EU-MRLs) พบว่าให้ผลเช่นเดียวกัน คือ ยังไม่สามารถลดให้อยู่ในระดับที่ผ่าน EU-MRLs ได้ (ยังคงมีปริมาณการตกค้างสูงกว่า 5.4 และ 3.18 เท่า ตามลำดับ) แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากในการศึกษารั้งนี้เป็นการจำลองสภาวะการปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างที่มีอยู่ในระดับสูง ซึ่งสูงกว่าระดับความเป็นจริงถึง 10 และ 100 เท่า ตามลำดับ โดยในความเป็นจริงแล้วการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชแต่ละชนิดไม่พบปริมาณมาก เนื่องจากมีการควบคุมการเพาะปลูกมีการควบคุมการใช้สารกำจัดศัตรูพืชจากกรมวิชาการเกษตร และเจ้าหน้าที่เกษตรตำบล หรือเกษตรอำเภอ ดังนั้นหากมีการควบคุมปริมาณการใช้สารกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร จึงทำให้มั่นใจได้ว่าการล้างพริกชี้ฟ้าด้วยสารกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งประสิทธิภาพในการลดสารกำจัดศัตรูพืชคลอไพริฟอส และโพธิ์โนฟอสให้อยู่ในระดับที่ผ่าน EU-MRLs ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการล้างด้วยน้ำโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที และน้ำอิเล็กโทรไลซ์กรดที่ระดับความเข้มข้น 70 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที

สรุปได้ว่าการล้างพริกชี้ฟ้าที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตทั้ง 2 ชนิด คือ คลอไพริฟอส และโพธิ์โนฟอสที่ระดับการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชทั้ง 2 ระดับ คือ 10 และ 100 เท่าของค่า EU-MRLs ปี 2010 ด้วยน้ำล้างกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งทั้ง 2 ชนิด คือ น้ำโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที และน้ำอิเล็กโทรไลซ์กรดที่ระดับความเข้มข้น 70 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที ให้ผลในการลดสารคลอไพริฟอสและสารโพธิ์โนฟอสที่ตกค้างในพริกชี้ฟ้าทั้ง 2 ระดับการตกค้าง ในทิศทางเดียวกัน โดยสามารถลดสารคลอไพริฟอสและสารโพธิ์โนฟอสในพริกชี้ฟ้าได้ร้อยละ 46-89 และร้อยละ 18-68 ตามลำดับ

3. การพัฒนากระบวนการอบแห้งเพื่อปรับปรุงคุณภาพของพริกชี้ฟ้าแห้งในระดับอุตสาหกรรม

3.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการอบแห้ง

เตรียมวัตถุดิบและอบแห้งพริกในเบื้องต้น โดยใช้พริกชี้ฟ้าแดงสดพันธุ์แม่ปิง 80 จาก บริษัทเอสแอนด์เจ โปรดักท์ จังหวัดลำพูน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4–6°C ก่อนการทดลองไม่เกิน 1 สัปดาห์ ต่อมาคัดเลือกพริกที่มีสีแดง และมีขนาดใกล้เคียงกันด้วยสายตา นำมาล้างทำความสะอาด ผึ่งให้สะเด็ดน้ำ ก่อนนำไปอบแห้ง เปรียบเทียบระหว่างอบแห้งแบบอุณหภูมิระดับเดียว (one-stage temperature) ที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง. และแบบอุณหภูมิสองระดับ (two-stage temperature) ที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และ 55°C นาน 18 ชั่วโมง ผลดังตารางที่ 85 และในภาพที่ 38

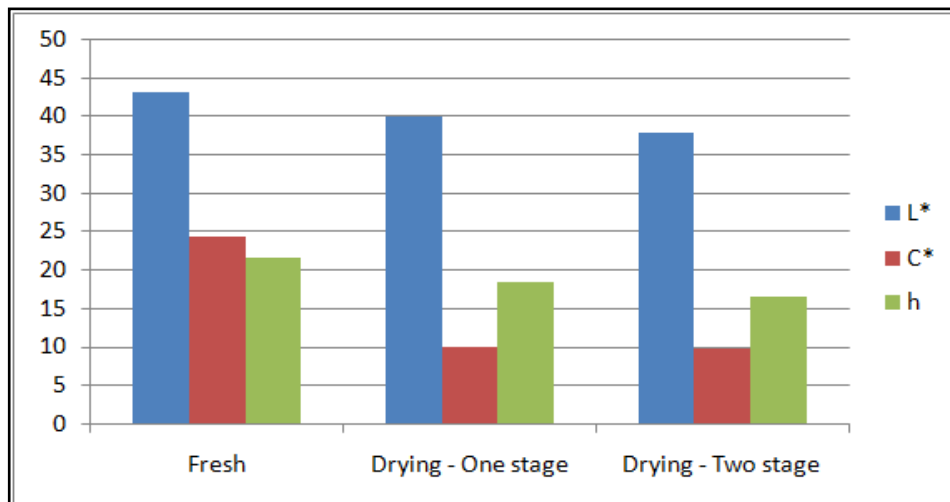
ตารางที่ 85 ลักษณะทางกายภาพของพริกสดสายพันธุ์ต่าง ๆ

Varieties	Characteristic	Weight (g) /5 pods	Length (cm)	ความยาวเส้นรอบวง (cm)		Thickness (mm)
				หัว	กลาง	
แม่ปิง 80	ด้านหัวใหญ่ และ ปลายเรียว	127.46±6.34	13.15±1.25	6.91±0.57	6.49±0.55	3.89±0.14
หยกสยาม	เป็นท่อนยาวขนาด พอๆ กัน	82.75±5.63	13.50±0.99	5.56±0.52	5.58±0.24	2.91±0.33
มรกต	ด้านหัวใหญ่ และ ป้อม ปลายเรียว	171.55±5.43	17.20±1.48	7.37±0.71	7.07±0.51	3.48±0.35
ฮอตชิลลี่	หัวและปลายเรียว ผลป้อม สั้น	81.96±1.96	11.95±0.80	5.26±0.26	5.90±0.32	3.29±0.31



ภาพที่ 38 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบพริกก่อนการอบแห้งและกระบวนการอบแห้ง

จากผลการทดลองเบื้องต้น พบว่าตัวอย่างที่อบแห้งแบบอุณหภูมิระดับเดียว (one-stage temperature) ที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง. และแบบอุณหภูมิสองระดับ (two-stage temperature) ที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และ 55°C นาน 18 ชั่วโมง มีความชื้นแตกต่างกันคือ 11 และ 13 % (wb) ตามลำดับ เมื่อวัดค่าสีผิวของพริก พบว่า ทุกค่าสี (L^*C^*h) ของพริกลดลงเมื่อผ่านการทำแห้ง ตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งแบบอุณหภูมิระดับเดียว มีค่าความสว่าง (L^*) มากกว่าการอบแห้งแบบสองระดับ ส่วนค่าความเข้มของสี (C^*) และค่า hue angle (h) ทั้งสองตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 14) จากการสังเกตยังพบว่า ตัวอย่างพริกแห้งที่อบอุณหภูมิแบบสองระดับมีสีแดงคล้ำกว่าตัวอย่างที่อบแบบอุณหภูมิระดับเดียวเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากการอบแห้งแบบอุณหภูมิสองระดับใช้ระยะเวลานานกว่า ทำให้ปริมาณความชื้นของพริกอยู่ที่ระดับปานกลาง (intermediate moisture content) จึงเร่งการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยา nonenzymatic reaction ในระหว่างการทำแห้งซึ่งใช้เวลานานกว่า (Manzocco *et al.*, 2001) ดังนั้นจึงเลือกสภาวะการอบแห้งแบบอุณหภูมิระดับเดียวที่อุณหภูมิ 65°C ซึ่งใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่า และสีไม่คล้ำ สำหรับการทดลองต่อไป และมีให้ผลผลิตร้อยละ $14.4 \pm 0.0 - 15.6 \pm 0.0$ (ผลการทดลอง 3 ซ้ำ)



ภาพที่ 39 ค่าสี (L^*C^*h) ของพริกแห้งที่อบด้วยสภาวะต่างกัน

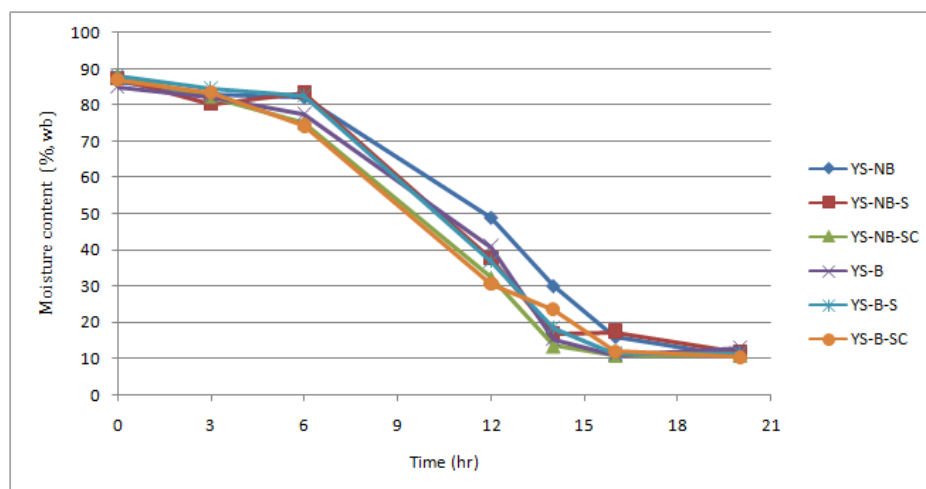
3.2 การปรับปรุงคุณลักษณะทางกายภาพของพริกชี้ฟ้าต่างสายพันธุ์ก่อนการอบแห้ง

นำวัตถุดิบพริกชี้ฟ้าสด (มีขั้ว) 4 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์แมปิง 80 (MP) พันธุ์หยกสยาม (YS) พันธุ์มรกต (MR) และพันธุ์ฮอตซิลลี่ (HC) ลวกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90°C นาน 3 นาที (Gupta *et al.*, 2002) และแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (Sodium metabisulfite) ความเข้มข้น 0.3% หรือใช้ร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) 1% นาน 10 นาที (Wiriya *et al.*, 2009) ด้วยอัตราส่วนพริก 1.5 กิโลกรัม ต่อสารละลาย 6 ลิตร สะเด็ดน้ำออกจากพริกก่อนนำไปอบแห้งตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65°C ใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 20 ชั่วโมง (สภาวะที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.1) ดังแสดงในภาพที่ 40



ภาพที่ 40 ขั้นตอนการปรับปรุงคุณลักษณะทางกายภาพพริกก่อนการอบแห้ง

เมื่ออบแห้งพริกชี้ฟ้าที่อุณหภูมิ 65°C พริกสด ก่อนการอบแห้งมีความชื้นประมาณ 85–90% พบว่าปริมาณความชื้นของพริกลดลงตามระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (ภาพที่ 41) เมื่ออบจนกระทั่งพริกแห้งเป็นที่พอใจ ใช้ระยะเวลาประมาณ 20 ชม. พริกแห้งมีความชื้นประมาณ 9.5–12.5% (ตารางที่ 86) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพริกแห้ง (มอก. 456/2526) ที่กำหนดให้พริกแห้งมีความชื้นไม่เกิน 13% (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2526) มีร้อยละผลผลิต (% yield) อยู่ในช่วง 13.9–15.6

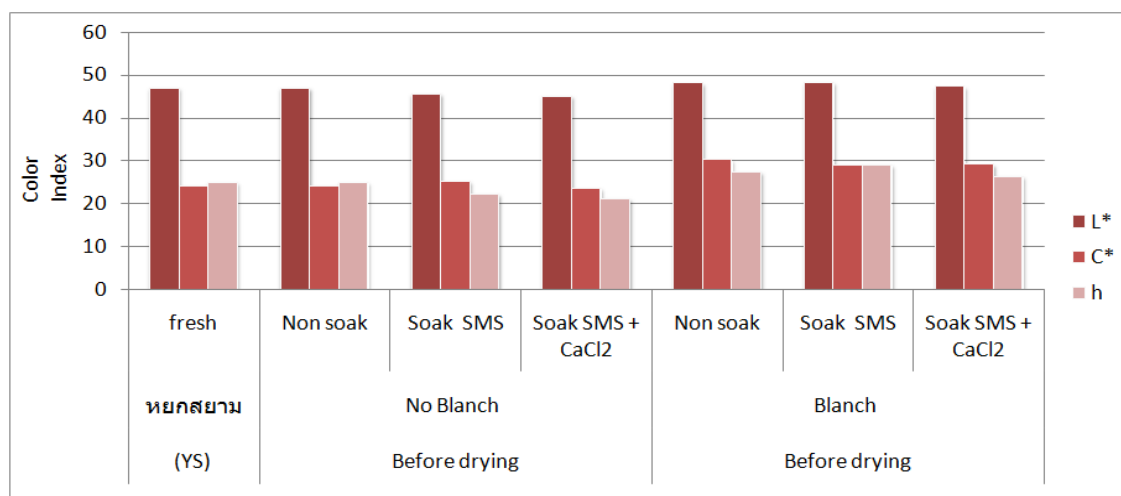


ภาพที่ 41 ปริมาณความชื้นของพริกในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65°C (พันธุ์หยกสยาม)

ตารางที่ 86 ปริมาณความชื้นของพริกต่างสายพันธุ์หลังการอบแห้ง

สภาวะที่ใช้		ปริมาณความชื้น (%)			
		พันธุ์แม่ปิง 80	พันธุ์หยกสยาม	พันธุ์มรกต	พันธุ์ฮอตซิลลี่
No Blanch	Non soak	11.30 ± 0.80	9.52 ± 0.46	11.69 ± 1.63	11.30 ± 0.80
	Soak SMS	11.19 ± 0.85	10.24 ± 1.35	11.83 ± 0.01	11.19 ± 0.85
	Soak SMS + CaCl ₂	11.63 ± 0.79	9.63 ± 0.54	11.48 ± 0.84	11.63 ± 0.79
Blanch	Non soak	11.47 ± 0.93	10.05 ± 0.78	11.72 ± 1.68	11.47 ± 0.93
	Soak SMS	12.43 ± 0.12	10.77 ± 1.67	11.44 ± 0.09	12.43 ± 0.12
	Soak SMS + CaCl ₂	11.67 ± 0.72	10.26 ± 2.00	11.52 ± 1.33	11.67 ± 0.72

พบว่าตัวอย่างพริกที่ผ่านการลวกและแช่ในสารละลายชนิดต่างกัน มีค่าสีทุกค่า (L^*C^*h) เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 42) โดยเฉพาะพริกที่ผ่านการลวกในน้ำร้อนจะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีส้ม พริกที่ผ่านการลวกมีลักษณะนิ่มและแบน (ภาพที่ 43)



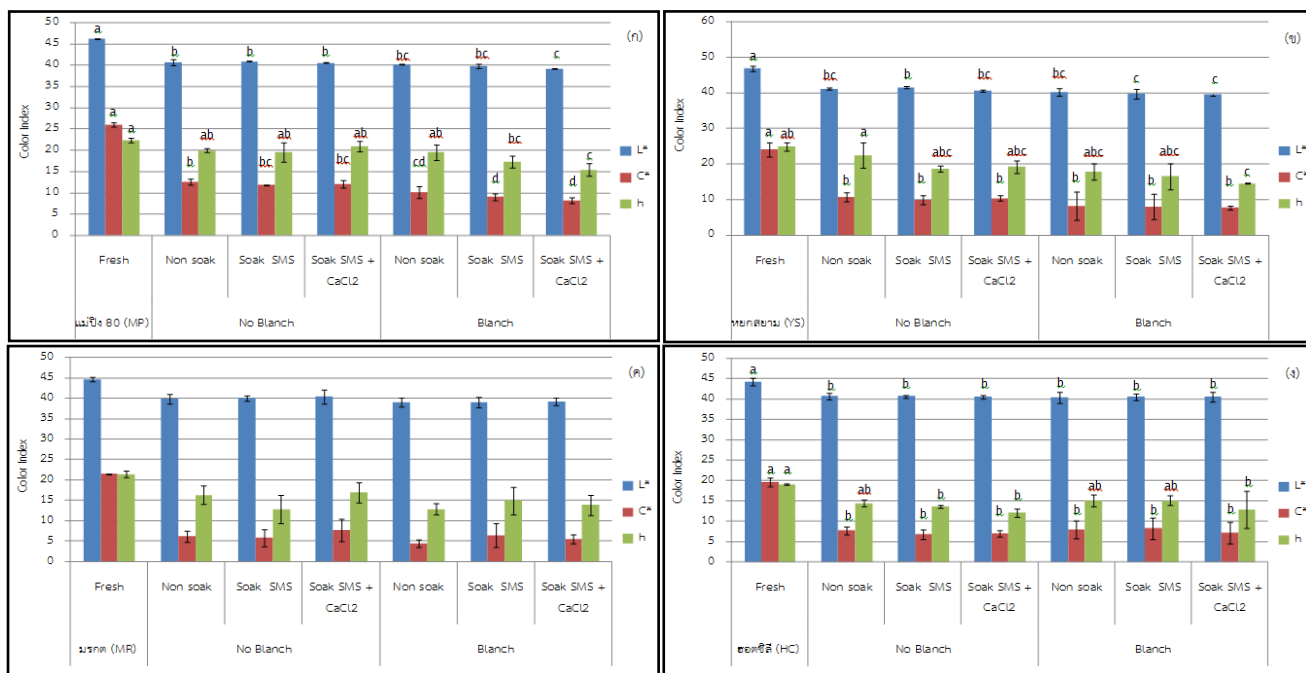
ภาพที่ 42 ค่าสีของพริกที่ผ่านการเตรียมด้วยสภาวะต่างกั้ก่อนการอบแห้ง (พันธุ์หอยกสยาม)



ภาพที่ 43 ลักษณะของผลพริกชี้ฟ้า: (ก) ไม่ผ่านการลวก และ (ข) ผ่านการลวก

ในขณะที่สีของพริกหลังการอบแห้ง พบว่าค่าสี L^*C^*h ทุกค่าลดลง ($p \leq 0.05$) ตัวอย่างพริกที่ผ่านการลวกมีแนวโน้มค่าความสว่าง (L^*) น้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลวก ยกเว้นพริกแห้งพันธุ์ฮอตชิลลี่ (ภาพที่ 44) สำหรับพริกแห้งพันธุ์แม่ปิง 80 การแช่ในสารละลายทั้งสองชนิดมีผลทำให้ค่าความเข้มของสี (C^*) และค่ามุมของฮิว (h) ลดลงมากขึ้น แสดงว่าตัวอย่างพริกแห้งที่ผ่านการลวกมีค่าความเข้มของสีและเฉดสีแตกต่างจากตัวอย่างพริกแห้งที่ไม่ผ่านการลวก จากการสังเกตด้วยสายตาพบว่า พริกแห้งที่ผ่านการ

ลวกมีสีแดงเข้มกว่าพริกที่ไม่ผ่านการลวกก่อนอบแห้ง แต่การลวกและการแช่ในสารละลายต่างชนิดกัน ในพริกพันธุ์หยกสยาม และพันธุ์ฮอตซิลลี่ ไม่มีผลต่อค่า C^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีผลต่อค่า h ที่แตกต่างกันในบางตัวอย่าง



ภาพที่ 44 ค่าสี (L^*C^*h) ของตัวอย่างพริกแห้งต่างสายพันธุ์ที่ผ่านการเตรียมก่อนการอบแห้ง ด้วยวิธีการต่างกัน: (ก) พันธุ์แมปิง 80 (ข) พันธุ์หยกสยาม (ค) พันธุ์มรกต และ (ง) พันธุ์ฮอตซิลลี่

จากผลการทดลองนี้สรุปได้ว่า พริกต่างสายพันธุ์กันมีช่วงค่าสี (L^*C^*h) ต่างกัน โดยตัวอย่างพริกที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อน 90°C นาน 3 นาที ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งเอนไซม์ peroxidase (Gupta *et al.*, 2002) พริกแห้งส่วนใหญ่มีค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเข้มของสี (C^*) ใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลวก ส่วนความแตกต่างของค่า h ขึ้นอยู่กับชนิดของพริกแต่ละสายพันธุ์ การใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ก่อนทำแห้งจะช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล โดยจับกับหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลรีดิวซ์ และองค์ประกอบอื่นๆ ทำให้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเกิดขึ้นช้าลง (Lindsay, 1996) การใช้แคลเซียมคลอไรด์จะช่วยปรับปรุงความคงตัวของสีของพริก โดยแคลเซียมคลอไรด์อาจทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำเป็นผลในการเพิ่มเคลื่อนตัวของน้ำ และลดระยะเวลาการทำแห้ง (Wiriya *et al.*, 2009) ดังนั้นสถานะที่จะเลือกใช้ ในการเตรียมพริกก่อนการอบแห้ง คือ การลวกพริกเพื่อช่วยยับยั้งเอนไซม์ และแช่ในสารละลายโซเดียม-

เมตาไบซิลไฟต์ร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพสัปรด โดยการศึกษาในลำดับต่อไปคือการทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพพริกชี้ฟ้าแห้งในระหว่างการเก็บรักษา

เป็นที่น่าสังเกตพบว่าลักษณะของพริกแห้งที่ผ่านการเตรียมก่อนการอบแห้งด้วยสภาวะต่างกัน พริกแห้งที่ผ่านการลวกจะมีลักษณะผิวเหี่ยวย่นมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลวก และมีลักษณะผลที่แบน เนื่องมาจากการลวกทำให้ผลพริกนิ่มอ่อนตัวไม่คงรูป ดังแสดงในภาพที่ 45



ภาพที่ 45 พริกแห้งที่ผ่านการเตรียมก่อนการอบแห้งด้วยสภาวะต่างกัน : (ก) พันธุ์แม่ปิง 80 (ข) พันธุ์หยกสยาม (ค) พันธุ์มรกต และ (ง) พันธุ์ฮอตซีสลี่

การแปรรูปพริกแห้งตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันนี้มีพัฒนาการอย่างต่อเนื่อง และมีผู้ศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนากระบวนการแปรรูปพริกแห้งจำนวนมาก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์พริกแห้งที่มีคุณภาพ เช่น วิชัย (2531) เสนอวิธีการผลิตพริกแห้ง เริ่มจากคัดคุณภาพพริกสด ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ แช่พริก

ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (น้ำยาคลอรีน) ความเข้มข้น 50–100 ส่วนในล้านส่วน (พีพีเอ็ม) เป็นเวลานาน 30 นาที แล้วจึงลวกหรือต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที ต่อพริก 1 กิโลกรัม ถ้าน้ำหนักเพิ่มทุก 1 กิโลกรัม ให้เพิ่มเวลาลวกหรือต้มขึ้นอีก 1–2 นาที หลังจากลวกแล้วจึงนำไปเรียงในถาดรอให้สะเด็ดจนน้ำไม่หยด นำเข้าอบในตู้อบไฟฟ้าหรือแก๊ส ควบคุมอุณหภูมิที่ 50–70°C จนพริกแห้งสนิท หรืออบในตู้อบแสงอาทิตย์จนพริกแห้งสนิท (ใช้เวลา 2–4 วัน) หรือตากแห้งหรือผึ่งแดดจนพริกแห้งสนิท (ใช้เวลา 3–4 วัน)

ความร้อนในการแปรรูปที่ใช้จะมีผลต่อคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์ ซึ่งแต่เดิมการทำแห้งจะใช้การตากแดดซึ่งต้องใช้เวลาและต้องขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละวัน จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและจะรักษาคุณภาพสีไว้ได้ไม่นาน (รัตนารณ, 2546) จึงมีการพัฒนากรรมวิธีการทำแห้งให้มีความรวดเร็วขึ้นโดยการเพิ่มพื้นที่การระเหยของน้ำในผลพริก โดยการหันให้พริกมีขนาดเล็กและใช้โพแทสเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 2.5 และน้ำมันพีชร้อยละ 1.5 ช่วยทำให้ช่วยรักษาสีแดงและทำให้เก็บรักษาได้นานขึ้น (Lual *et al.*, 1970) ต่อมามีการพัฒนาการทำแห้ง โดยใช้ตู้อบซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 60–80°C อบจนได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นอยู่ที่ประมาณร้อยละ 10 จะได้ผลิตภัณฑ์มีสีสวยและเก็บได้นานขึ้น แต่การเก็บรักษาก็ต้องขึ้นอยู่กับสภาพในการเก็บรักษาด้วย (รัตนารณ, 2546; Govindarajan, 1985) สภาพการเก็บรักษามีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อย่างยิ่ง Ramesh และคณะพบว่า การสูญเสียสีแดงของพริกแห้งเกิดจากปฏิกิริยา auto-oxidation ของสารแคโรทีนอยด์ โดยเสถียรภาพของสารเหล่านี้ในระหว่างการเก็บรักษาจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิการทำแห้ง (Ramesh *et al.*, 2001)

จากการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าการอบแห้งพริกด้วยตู้อบลมร้อนแบบอุณหภูมิระดับเดียว (one-stage temperature) ที่อุณหภูมิ 65°C นาน 20 ชั่วโมง เป็นกระบวนการอบแห้งที่เหมาะสม จะได้พริกแห้งที่มีสีแดงเข้ม มีความชื้นในช่วงร้อยละ 9.5–12.5 เป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพริกแห้ง (มอก. 456/2526) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2526) และสถานะในการเตรียมพริกชี้ฟ้าสดก่อนการอบแห้งที่เหมาะสม คือ การลวกที่อุณหภูมิ 90°C นาน 3 นาที ร่วมกับการแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (0.3% SMS) และแคลเซียมคลอไรด์ (1% CaCl₂) นาน 10 นาที และจากผลการศึกษาการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินที่มีรายงานก่อนหน้านี้ มักพบการปนเปื้อนสารพิษดังกล่าวเฉพาะในพริกแห้ง (ไม่มีรายงานการพบอะฟลาทอกซินในพริกสด) ซึ่งเป็นสารพิษที่ผลิตจากเชื้อราที่อาจปนเปื้อนมากับวัตถุดิบพริกสดที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในกระบวนการผลิตและยังรอดชีวิตหลังกระบวนการผลิต หรือการปนเปื้อนเชื้อราดังกล่าวในระหว่างกระบวนการแปรรูปเป็นพริกแห้ง ดังนั้นการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นในวัตถุดิบพริกสดก่อนนำมาทำการแปรรูป ร่วมกับการพัฒนากระบวนการอบแห้งพริกที่มีประสิทธิภาพนี้จึงสามารถกำจัดเชื้อราที่เป็นตัวการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซินได้ ทำให้ได้พริกแห้งที่มีลักษณะปรากฏเป็นที่ต้องการ และลดระดับความเสี่ยงจากการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน

ในพริกแห้งได้ แต่อย่างไรก็ตาม ยังคงต้องมีการจัดการที่ดีเพื่อควบคุมการปนเปื้อนในระหว่างการเก็บรักษาเพื่อจำหน่ายด้วย

4. การถ่ายทอดเทคโนโลยี และรายงานผลการวิจัย

จากการจัดสัมมนาเชิงปฏิบัติการ การผลิตและแปรรูปพริกชี้ฟ้าสำหรับอุตสาหกรรมและการส่งออก ในวันที่ 18 กันยายน 2556 ณ ห้องหทัยกนิ์ ชั้น 2 อาคารอมรภูมิรัตน สถาบันคั้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มก.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน (ภาพที่ 46 และ 47) มีผู้เข้าร่วมการอบรม ได้แก่ ตัวแทนจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์พริก น้ำพริก เครื่องแกง น้ำจิ้มไก่ และอุตสาหกรรมส่งออกเครื่องเทศ และผักสด จำนวน 16 คน โดยข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมสัมมนาครั้งนี้นำแสดงในตารางที่ 87



ภาพที่ 46 นางจิตชม อีรางะ (ผู้อำนวยการแผนงานวิจัยฯ) กล่าวเปิดงานสัมมนาเชิงปฏิบัติการ การผลิตและแปรรูปพริกชี้ฟ้าสำหรับอุตสาหกรรมและการส่งออก



ภาพที่ 47 ผู้เข้าร่วมการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ การผลิตและแปรรูปพริกชี้ฟ้าสำหรับอุตสาหกรรมและการส่งออก
ตารางที่ 87 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้เข้าร่วมการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ

		N=16
	ข้อมูลเบื้องต้น	ร้อยละ
1. เพศ		
	ชาย	31
	หญิง	69
2. อายุ		
	21-30 ปี	38
	31-40 ปี	44
	41-50 ปี	13
	51-60 ปี	5
	60 ปีขึ้นไป	-
3. การศึกษา		
	ระดับมัธยมศึกษา หรือต่ำกว่า	6
	ปริญญาตรี	50
	ปริญญาโท	44
	ปริญญาเอก	-
	อื่น ๆ	-
4. ตำแหน่ง/ฝ่าย		
	เจ้าของกิจการ	19
	ผู้จัดการ/หัวหน้าแผนก	38
	พนักงานประจำฝ่าย	19
	ลูกจ้าง	-
	บุคคลทั่วไป	6
	อื่นๆ (ทายาทเจ้าของกิจการ)	18
5. ประสบการณ์ทำงาน		
	1-2 ปี	38
	3-5 ปี	19
	6-10 ปี	13
	>10 ปี	30

ผลการสอบถามเพื่อประเมินด้านการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์พริกแห้งอนามัยของผู้เข้าร่วมการอบรม ซึ่งเป็นตัวแทนจากโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปผลิตภัณฑ์พริก จำนวน 16 คน โดยล้วนแต่เป็นผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง และมีอำนาจในการตัดสินใจในการจัดซื้อวัตถุดิบพริก ซึ่งได้แก่ กรรมการผู้จัดการ โรงงาน ผู้บริหารโรงงานฝ่ายต่าง ๆ รวมถึงหัวหน้าฝ่ายควบคุมคุณภาพ และฝ่ายจัดซื้อ พบว่าโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปผลิตภัณฑ์พริกให้การยอมรับ และพอใจต่อผลิตภัณฑ์พริกแห้งอนามัย ร้อยละ 88 และ ร้อยละ 81 ตามลำดับ โดยควรปรับปรุงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์พริกแห้งไม่ให้เกิดการเหี่ยวเหี่ยวที่ผลพริก นอกจากนี้ยังมีความสนใจซื้อผลิตภัณฑ์พริกแห้งอนามัยร้อยละ 81 ส่วนอีกร้อยละ 19 ยังไม่แน่ใจที่จะซื้อโดยให้เหตุผลว่าต้องพิจารณาถึงราคา ณ เวลาที่ต้องการจัดซื้อ และต้นทุนการผลิตของโรงงาน ณ ช่วงเวลาดังกล่าว โดยราคาจำหน่ายที่ทางโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่สนใจที่ซื้ออยู่ในช่วง 80-100 บาท (ตารางที่ 88)

ตารางที่ 88 การประเมินความพึงพอใจการยอมรับของโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปผลิตภัณฑ์พริกต่อผลิตภัณฑ์พริกแห้งอนามัย

คำถาม	ความเห็น	ร้อยละ
ความพอใจต่อคุณภาพ	พอใจ	81
และลักษณะปรากฏ	ยังไม่เป็นที่พอใจ	19
การยอมรับผลิตภัณฑ์	ยอมรับ	88
	ไม่ยอมรับ	12
ความสนใจซื้อผลิตภัณฑ์	ซื้อ	81
	ไม่แน่ใจ	19
	ไม่ซื้อ	-
ราคาต่อกิโลกรัมที่สามารถซื้อได้	80-100 บาท	81
	101-120 บาท	19
	121-140 บาท	-
	สูงกว่า 140 บาท	-

จากข้อมูลผลการประเมินเบื้องต้น ทำให้ทราบถึงข้อจำกัดด้านราคาของการจัดซื้อพริก ตลอดจนคุณภาพของพริกแห้งที่ทางโรงงานอุตสาหกรรมต้องการ ดังนั้นจึงควรนำข้อมูลดังกล่าวนี้มาใช้เป็นแนวทางพัฒนาผลิตภัณฑ์พริกแห้งอนามัยสำหรับการผลิตพริกแห้งในระดับอุตสาหกรรมเพื่อตอบสนองความต้องการใช้วัตถุดิบพริกแห้งแก่โรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและแปรรูปผลิตภัณฑ์จากพริก รวมถึงพัฒนาคุณภาพ และความสม่ำเสมอของการผลิตเพื่อการส่งออกพริกแห้งอนามัยแก่ประเทศคู่ค้า และประเทศเพื่อนบ้านที่มีความต้องการใช้พริกแห้งจำนวนมาก ได้แก่ อินโดนีเซีย และมาเลเซีย เป็นต้น

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการตรวจสอบการปนเปื้อนของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคาร์บาเมต และออร์กาโนฟอสเฟต ด้วยชุดทดสอบจีที พบว่าในทุกตัวอย่างของทั้งพริกสดและพริกแห้งรวม 100 ตัวอย่างมีการปนเปื้อนของสารทั้ง 2 กลุ่มดังกล่าวตกค้างอยู่ โดยร้อยละ 40 ของพริกชี้ฟ้าสด (N=50) มีการปนเปื้อนสารกลุ่มคาร์บาเมต และออร์กาโนฟอสเฟตในระดับที่ไม่ปลอดภัย ในขณะที่ตัวอย่างพริกชี้ฟ้าแห้ง (N=50) ร้อยละ 24 ยังพบที่มีการปนเปื้อนสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชทั้ง 2 กลุ่ม ในระดับที่ไม่ปลอดภัย และยังพบการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียในปริมาณสูง ได้แก่ เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด เชื้อยีสต์และรา และแอโรบิกสปอร์ฟอร์มเมอร์ โดยในตัวอย่างพริกชี้ฟ้าสดพบ 3.26 3.89 และ 2.89 log CFU/g ตามลำดับ และในพริกชี้ฟ้าแห้งพบ 4.46 4.15 และ 2.83 log CFU/g ตามลำดับ และยังพบกลุ่มจุลินทรีย์ก่อโรค (*Clostridia* sp.) โดยเฉพาะเชื้อ *C. perfringens* ในตัวอย่างพริกชี้ฟ้าสด และพริกชี้ฟ้าแห้งพบถึงร้อยละ 94 (81.47 MPN/g) และร้อยละ 72 (1.45 log CFU/g) ตามลำดับ โดยในพริกชี้ฟ้าแห้งการปนเปื้อนของเชื้อ *C. perfringens* นั้นเกินข้อกำหนดของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ระบุไว้ (ต่อน้อยกว่า 100 โคโลนี/กรัม)

การล้างฟริกซ์ฟ้าด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยสามารถลดจำนวนเชื้อ *C. perfringens* ได้ 1.99 log CFU/g (คิดเป็น 99%) ส่วนน้ำอิเล็กโทรไลต์กรดความเข้มข้น 70 พีพีเอ็ม นาน 10 นาที มีประสิทธิภาพรองลงมา คือ ลดเชื้อลงได้ 1.64 log CFU/g (คิดเป็น 97%) และไม่พบเชื้อ *C. perfringens*หลงเหลืออยู่ในน้ำล้างทั้ง 2 ชนิด หลังผ่านการนำไปใช้ล้างฟริกซ์ฟ้า ในขณะที่การล้างด้วยโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 1.0 พีพีเอ็ม และน้ำประปานั้น 10 นาที พบว่ามีเชื้อมีชีวิตหลงเหลืออยู่ในน้ำล้างสูงถึง 2.23 และ 3.65 log CFU/g ตามลำดับ

การล้างพริกชี้ฟ้าที่ปนเปื้อนสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตทั้ง 2 ชนิด คือ คลอไพริฟอส และโปรพิโนฟอสที่ระดับการปนเปื้อนที่ 50 และ 5 มก./กก. (100 เท่าของค่า EU-MRLs) และที่ 5 และ 0.5 มก./กก. (10 เท่าของค่า EU-MRLs) ด้วยน้ำไอโซน 0.5 และ 1.0 ppm น้ำอเล็กโทรไลซ์ชนิดกรด 50 และ 70 ppm และน้ำผสมโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 100 และ 200 ppm ล้างเป็นเวลา 5 และ 10 นาที ที่ 25°C เปรียบเทียบกับการล้างด้วยน้ำประปา พบว่าการล้างที่ 5 และ 10 นาที มีการลดลงของสารกำจัดศัตรูพืชทั้ง 2 ชนิดแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ที่ระดับการปนเปื้อน 100 เท่าของค่า EU-MRLs เมื่อล้างด้วยน้ำไอโซนนาน 10 นาที ลดสารคลอร์ไพริฟอสคลอร์ไพริฟอสได้ร้อยละ 88–89 และลดสารโปรพิโนฟอสได้ร้อยละ 51–66 และที่ระดับการปนเปื้อน 10 เท่าของค่า EU-MRLs การล้างพริกด้วยน้ำไอโซนและน้ำอเล็กโทรไลซ์ชนิดกรด 10 นาที ช่วยลดสารคลอร์ไพริฟอสในพริกได้ร้อยละ 42–67 และร้อยละ 42–46 ตามลำดับ แต่ลดสารโปรพิโนฟอสได้

เพียงร้อยละ 21-47 และร้อยละ 13-17 ตามลำดับ ในวิธีการล้างครั้งนี้พบว่า การล้างพริกชี้ฟ้าด้วยน้ำไฮโดรเจน 1 ppm นาน 10 นาที ให้ผลดีที่สุด จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของกระบวนการล้างพริกเพื่อประยุกต์ใช้ในการผลิตในอุตสาหกรรมอาหาร การลดการตกค้างของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในวัตถุดิบพริกจะช่วยเพิ่มคุณภาพและความปลอดภัยอาหารของผลิตภัณฑ์แปรรูปจากพริกชี้ฟ้า

กระบวนการอบแห้งพริกด้วยตู้อบลมร้อนแบบอุณหภูมิระดับเดียว (one-stage temperature) ที่อุณหภูมิ 65°C นาน 20 ชั่วโมง เป็นกระบวนการอบแห้งที่เหมาะสม และสภาวะในการเตรียมพริกชี้ฟ้าสดก่อนการอบแห้งที่เหมาะสม คือ การลวกที่อุณหภูมิ 90°C นาน 3 นาที ร่วมกับการแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (0.3% SMS) และแคลเซียมคลอไรด์ (1% CaCl_2) นาน 10 นาที โดยจะได้พริกแห้งที่มีสีแดงเข้ม มีความชื้นในช่วงร้อยละ 9.5-12.5 (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของพริกแต่ละชนิด) เป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพริกแห้ง (มอก. 456/2526)

ผลการประเมินด้านการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์พริกแห้งอนามัยของผู้เข้าร่วมการอบรม พบว่าโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปผลิตภัณฑ์พริกให้การยอมรับ และพอใจต่อผลิตภัณฑ์พริกแห้งอนามัยร้อยละ 88 และสนใจซื้อผลิตภัณฑ์พริกแห้งอนามัยร้อยละ 81 ส่วนอีกร้อยละ 19 ยังไม่แน่ใจที่จะซื้อโดยให้เหตุผลว่าต้องพิจารณาถึงราคา ณ เวลาที่ต้องการจัดซื้อ และต้นทุนการผลิตของโรงงาน ณ ช่วงเวลาดังกล่าว โดยราคาจำหน่ายที่ทางโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่สนใจที่ซื้ออยู่ในช่วง 80-100 บาท

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาในขั้นต่อไปควรทำการศึกษาในระดับอุตสาหกรรม (pilot scale) โดยมีการนำสภาวะการล้างด้วยน้ำออกซิไดส์ซึ่ง ไปประยุกต์ใช้จริงในสถานประกอบการ โรงคัดบรรจุ หรือโรงงานอุตสาหกรรมผู้ผลิตและแปรรูปพริก เพื่อขยายขอบเขตผลการศึกษาจากในระดับห้องปฏิบัติการสู่ระดับอุตสาหกรรม โดยอาจต้องทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำองค์ความรู้นี้มาใช้และจุดคุ้มทุนของกระบวนการที่นำมาใช้นี้ควบคู่กันไปด้วย

2. ควรศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ และความปลอดภัยของพริกชี้ฟ้าแห้งในระหว่างการเก็บรักษาเพื่อรอจำหน่าย ระหว่างการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบที่อุณหภูมิการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิต่ำ หรือที่สภาวะเร่ง ที่ระยะเวลา 6-12 เดือน เพื่อให้ทราบถึงอายุการเก็บ

รักษาที่แน่นอน และทำนายนการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและความปลอดภัยที่เกิดขึ้นกับพริกชี้ฟ้าแห่งในระหว่าง การเก็บรักษาได้อย่างแม่นยำ

3. การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำล้างออกซีไดส์ซึ่งในครั้งนี้ มีสมมติฐานว่าพริกเหล่านั้นถูกฉีดพ่น ด้วยสารกำจัดศัตรูพืชแบบไม่ดูดซึม (non-systemic pesticides) จึงมีประสิทธิภาพในการลดได้มากกว่า ร้อยละ 50 ของปริมาณสารตกค้างเริ่มต้น (10 และ 100 เท่าของค่า EU-MRLs) แต่ในปัจจุบันสารป้องกัน กำจัดศัตรูพืชประเภทดูดซึม (systemic pesticides) ซึ่งส่วนใหญ่ถูกระงับการใช้ (banned) แต่ยังมีพบว่ามี การลักลอบใช้สารกลุ่มดังกล่าวอยู่ ซึ่งหากเกิดการตกค้างจะไม่สามารถลดปริมาณได้ง่าย จึงควรมีการศึกษา ถึงประสิทธิภาพของน้ำล้างออกซีไดส์ซึ่งต่อการลดปริมาณการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มนี้ด้วย

4. บูรณาการองค์ความรู้ตลอดห่วงโซ่การผลิตพริกชี้ฟ้าตั้งแต่ต้นน้ำ คือ ในส่วนของเกษตรกรผู้ปลูก ด้วยระบบ GAPs รวมถึงการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่เหมาะสมทั้งชนิดและปริมาณ และเข้มงวดในส่วน ของการเว้นระยะเวลาก่อนการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชก่อนการเก็บเกี่ยว (PHI) ในส่วนกลางน้ำซึ่งเกี่ยวข้องกับ สถานประกอบการ โรงคัดบรรจุ หรือโรงงานอุตสาหกรรม สามารถสร้างกระบวนการล้างวัตถุดิบที่ถูกต้อง และ เหมาะสมกับตนเอง รวมถึงการสามารถจัดการกับผลิตภัณฑ์ หรือวัตถุดิบพริกแห่งในระหว่างการรักษาได้ อย่างมีประสิทธิภาพบนพื้นฐานองค์ความรู้จากโครงการวิจัยนี้ ร่วมกับการใช้ระบบ GMP และ HACCP และใน ส่วนผู้บริโภคซึ่งเป็นส่วนปลายน้ำ สามารถเลือกวิธีการล้างทำความสะอาดพริกชี้ฟ้าเพื่อลดการปนเปื้อนการ นำมาบริโภค และทราบถึงการเปลี่ยนแปลงทางภาพของพริกชี้ฟ้าแห่งที่เป็นดัชนีระบุถึงความปลอดภัยต่อ การบริโภคที่เพิ่มขึ้นได้

บรรณานุกรม

- กมล เลิศรัตน์. 2550. การผลิต การแปรรูป และการตลาดของพริกและผลิตภัณฑ์พริกในประเทศไทย. ประชาคมวิจัย 73: 10-14. แหล่งที่มา: http://rescom2006.trf.or.th/display/index.php?id_colum=1936, วันที่สืบค้น 19 มิถุนายน 2554.
- กรมวิชาการเกษตร. 2542. คุณภาพและความปลอดภัยของวัตถุดิบอันตรายทางการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพมหานคร.
- กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2553. เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร. ฉบับที่ 2. กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพมหานคร.
- กรรณิกา สิริสิงห. 2544. เคมีของน้ำและการวิเคราะห์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏจันทรเกษม, กรุงเทพมหานคร.
- กานดา หวังชัย และ จ्ञานงค์ อุทัยบุตร. 2551. การใช้ไอโซนเพื่อลดสารเคมีตกค้างของล้้นจีหลังการเก็บเกี่ยว. รายงานฉบับสมบูรณ์ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, เชียงใหม่.
- กานต์ตระกูล วุฒิสเลา สนนธิ พลชัยยา กุลธิดา นกุลธรรม ศักดิ์ศรี สุภาจร ธิญญู พานิชพันธ์ นภดล ไชยคำ ยุวดี เชี่ยววัฒนา และพิณทิพ ร้็นวงษา. 2549. ผลผลิตทางเคมี.มหาวิทยาลัยมหิดล. แหล่งที่มา : http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ap-chemistry1/mass_relationship/index_new005.htm, 24 มีนาคม 2553.
- กอบทอง รูปหอม บุญไฟ ส้งวรานนท์ กนกพร อธิสุข ยุวดี เลิศเรืองเดช ลัดดา แก้วกล้าปัญญาเจริญ จิตผกา สันทัตรบ และพัชรวรรณ จงมีวาสนา. 2541. สารเคมีกำจัดศัตรูพืช พีซีพี และยาส้ตว์ตกค้างในอาหาร พ.ศ. 2537-2539. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ 40(4): 485-497.
- กอบทอง รูปหอม. 2553. Hand book GT-Pesticide test kit. ห้างจ้ีการค้า. อำเภอบางกรวย, นนทบุรี.
- จรงแท้ ศิริพานิช. 2538. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและอบรมการเกษตรแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- ชมภูศักดิ์ พูลเกษ และ เทพนม เมืองแมน. 2540. การใช้ไอโซนทางการแพทย์และล้ิงแวดล้อม. สำนักพิมพ์เดือนตุลา. กรุงเทพมหานคร.
- ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ สุเทวี สุขปรการ ธนะบุลย์ สัจจาอนันตกุล จารนัย พานิชยกุล บงกชรัตน์ ปิตยนต์ และ กรุ งสีตะธนี. 2548. การลดปริมาณสารบ้้องกันและกำจัดศัตรูพืชตกค้างหลังการเก็บเกี่ยว. รายงานการวิจัย. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

- นาริสา บินหะยีดิง ปิยาภรณ์ ภาชิตกุล และวิภา พลันสังเกตุ. 2552. ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์และสีใน *Capsicum annuum* L. var. *acuminatum* Fingerh. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 19 ประจำปี 2552. มหาวิทยาลัยทักษิณ, สงขลา.
- บุษกร ปาละกุล. 2536. ประสิทธิภาพของคลอรีนไดออกไซด์ในการลดปริมาณ *Salmonella* Typhimurium ในกึ่งก่อนกระบวนการแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- ปิยาณี จันทปัญญาศิลป์. 242. ประสิทธิภาพของสารประกอบคลอรีนร่วมกับกรดอินทรีย์ในการลดปริมาณ *Escherichia coli* ในผักสด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- ปริญญา วงษา ญัฐกาญจน์ รุ่งเรือง และอัญชลี เชื้อนเพชร. 2552. โครงการการศึกษากระบวนการผลิตและปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพพริกป่น. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ชุดโครงการสมุนไพรเพื่อคุณภาพชีวิต สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), กรุงเทพมหานคร.
- ผ่องเพ็ญ จิตอารีรัตน์ และ อภิรดี อุทัยรัตนกิจ. 2552. การลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำผักแช่กันดอกกล้วยไม้โดยโอโซนและสารเจือปนในอาหาร. รายงานฉบับสมบูรณ์ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, เชียงใหม่.
- เพ็ญแข จิรฮัสต ประเวทย์ ด้อยเต็มวงศ์ ขรณี ด้อยเต็มวงศ์ และภณทิรา เกตุแก้ว. 2550. การใช้คลอรีนไอน้ำ และโอโซนในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์บนผิวพริกขี้หนูสด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 38 : 5 (พิเศษ) : 197-200.
- มณฑนา ร่วมรักษ์. 2546. การแปรรูปมะนาวและพริกสู่ระดับอุตสาหกรรม. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- ยุทธชัย อนุรักติพันธุ์, โรจน์ คุณอนเนก และ บุศรินทร์ แสงวงลาภ. 2544. การกำจัดสารกำจัดศัตรูพืชจากสารฆ่าแมลงเอ็นโดซัลแฟนออกจากพืชผักโดยใช้โอโซน. สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39: 374-354.
- รัตนภรณ์ มะโนกิจ. 2546. การปรับปรุงคุณภาพและกรรมวิธีการผลิตพริกป่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- รุ่งทิพา อิศรางพร. 2541. การเพิ่มประสิทธิภาพของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในการลดปริมาณเชื้อ *Salmonella typhimurium*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

- เรืองชัย วงษ์อุระ สุรจิตร ตรีนิกากกร กนกทิพย์ เลเชะเจริญ ขวัญแก้ว เพ็ชรดี ชารินทร์ พันธุมย์ ทิชากร
อดิวรรณกุล และสมพงษ์ มุกดาพิพัฒน์กุล. 2546. **โครงการผลิตพริกแปรรูป**. ห้างหุ้นส่วนจำกัด
พริกนครพัฒนา การฝึกอบรมปฏิบัติโครงการพัฒนาผู้ประกอบการธุรกิจอุตสาหกรรม 4-25
กรกฎาคม 2546 โรงแรมนครพนมสโรวอร์วิว อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม. แหล่งที่มา:
<http://library.dip.go.th/multim6/ebook/2552/IV%20%E0%B8%81%E0%B8%AA%E0%B8%AD17%20%E0%B8%9E106.pdf>, วันที่สืบค้น 19 มิถุนายน 2554.
- วิชัย หลุยธนาสันต์. 2531. **การผลิตพริกแห้งและพริกป่นที่มีคุณภาพดี**. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- วีระ ภาควัย. 2554. **คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อบรมเชิงปฏิบัติการ “การพัฒนา
ระบบการตัดสินใจการผลิตพริกปลอดภัย” แก่เกษตรกร จังหวัดแพร่ ลดปัญหาการค้าพริกตกต่ำ
และการขาดทุน**. แหล่งที่มา: [http://www.news.kku.ac.th/kkunews/content
/view/8411/59/](http://www.news.kku.ac.th/kkunews/content/view/8411/59/), วันที่สืบค้น 19 มิถุนายน 2554.
- ศิวาพร ศิวเวช. 2536. **วัตถุดิบอาหาร เล่ม 1**. ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมเกษตรแห่งชาติ.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- สิริพร สอนเสาวภาคย์ สุพรรณิ จิตพิณิจล และวรรณิ สมพร. 2536. Reverse CAMP test: วิธีการที่
รวดเร็วในการจำแนก *Clostridium perfringens* ในอาหาร. **วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทย)** 27:
204-210.
- สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร. 2549. **พริก การผลิต การจัดการ และการปรับปรุงพันธุ์**. ภาควิชาพืชสวน คณะ
เกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- สุภัทราพร มหาแก้ว. 2536. **ประสิทธิภาพของคลอรีนไดออกไซด์ในการลดปริมาณ *Salmonella
typhimurium* ในกระบวนการผลิตไก่แช่เยือกแข็ง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2552. ประกาศกระทรวงสาธารณสุขเรื่อง มาตรฐานอาหารด้าน
จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค กระทรวงสาธารณสุข. สืบค้นจาก :
http://www.foodindustrythailand.com/v17/index.php?option=com_content&view=article&id=1102&Itemid=132, วันที่สืบค้น 25 ธันวาคม 2553.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2526. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพริกแห้ง**.
มอก. 456/2526.

- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2551. สารพิษตกค้าง : ปริมาณสารพิษตกค้าง
สูงสุดPESTICIDE RESIDUES : MAXIMUM RESIDUE LIMITS. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,
กรุงเทพมหานคร.
- สำนักประชาสัมพันธ์เขต 3 เชียงใหม่. 2554. **แนะเกษตรกรผู้ปลูกพริกแพร์ เพิ่มคุณภาพและลดการใช้
สารเคมี** (5 มิถุนายน 2554). แหล่งที่มา: [http://www.prdnorth.in.th/ct/news/
viewnews.php?ID=110605132010](http://www.prdnorth.in.th/ct/news/viewnews.php?ID=110605132010), วันที่สืบค้น 19 มิถุนายน 2554.
- สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 2 จังหวัดพิษณุโลก. 2553. **ผลการดำเนินงานการจัดองค์ความรู้
เรื่องเทคโนโลยีการผลิตพริกชี้ฟ้าที่มีคุณภาพ**. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,
กรุงเทพมหานคร.
- หน่วยเคลื่อนที่เพื่อความปลอดภัยด้านอาหารฯ. 2551. **คู่มือการตรวจวิเคราะห์ทางด้านเคมีและ
จุลินทรีย์**. กองควบคุมอาหาร, สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, กรุงเทพมหานคร.
- อัจฉรา แสนคม ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ และ วราภา มหากาญจนกุล. 2554ก. **การประยุกต์ใช้สารฆ่าเชื้อกลุ่ม
ออกซิไดส์ซึ่งเพื่อลดการตกค้างของยาฆ่าแมลงในผักสด**. การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ
ครั้งที่ 10, 18–20 พฤษภาคม 2554 ณ โรงแรมมิราเคิลแกรนด์ คอนเวนชั่น, กรุงเทพมหานคร.
- อัจฉรา แสนคม ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ และ วราภา มหากาญจนกุล. 2554ข. **การประยุกต์ใช้สารฆ่าเชื้อกลุ่ม
ออกซิไดส์ซึ่งเพื่อลดการตกค้างของยาฆ่าแมลงในผักสด**. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42: 3/2
(พิเศษ) : 447–450.
- อัจฉรา แสนคม. 2555. **การประยุกต์ใช้สารออกซิไดส์ซึ่งในการล้างเพื่อลดสารตกค้างกลุ่มออร์กาโน
ฟอสเฟตในผักสด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- อัญชลี ตันต์ศุภศิริ. 2548. **คลอสทริเดียมเปอร์ฟริงเจนส์ที่สำคัญทางการแพทย์และสาธารณสุขและการ
ตรวจวินิจฉัยทางห้องปฏิบัติการ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะสาธารณสุขศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพมหานคร.
- Ames, B.N. 1979. Identifying environmental chemicals causing mutations and cancer. *Sci.*
204: 587.
- AOAC. 2000. **Association of Official Analytical Chemists**. Official Method of Analytical.
17th ed. AOAC international. Gaithersburg Maryland, USA.
- Baker, N.H., P.M. Griff, J.S. Goulding and C.B. Ivey. 1990. Foodborne disease outbreaks, 5-
years summary, 1983-1987. *Journal of Food Protection* 53(8): 711–728.
- Balch, W.E., G.E. Fox, L.J. Magrum, C.R. Woese and R.S. Wolfe. 1979. Methanogens:
reevaluation of a unique biological group. *Microbiological Reviews* 43: 260–296

- Bean, N.H., J.S. Goulding, C. Lao and F.J. Angulo. 1996. Surveillance for foodborne-disease outbreaks-United States, 1988-1992. **Morbidity and Mortality Weekly Report** 45: 1-66.
- Bearson, S., B. Bearson and J.W. Foster. 1997. Acid stress responses in Enterobacteria. **Federation of European Microbiological Societies Microbiology Letters** 147: 173-180.
- Brown, E.E., H.H. Lu and D.J. Duquette. 1992. Effect of flow rates on localized corrosion behaviour of 304 stainless steel in ozonated 0.5 N NaCl. **Corrosion** 48: 970-975.
- Byrne, B., A.G.M. Scannell, J. Lyng and D.J. Bolton. 2008. An evaluation of *Clostridium perfringens* media. **Food Control** 19: 1091-1095.
- Campers, K.C. and G.A. McFeters. 1979. Chlorine injury and enumeration of waterborne coliform bacteria. **Applied and Environmental Microbiology** 37(3): 633-641.
- Downes, F.P. and K.A. Ito. 2001. **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods**. 4th ed. American Public Health Association, Washington D.C., USA.
- Gorbach S.L. 1998. *Clostridium perfringens* and other *Clostridia*. In Gorbach, S.L., J.G. Bartlett and N.R. Blacklow. **Infections Diseases**. 2nd ed. Pa: W.B. Saunders Co, Philadelphia.
- Govindarajan, V.S. 1985. Capsicum -production, technology, chemistry and Quality. Part I. History, botany, cultivation and primary processing. **Critical Reviews Food Science and Nutrition**. 1-109.
- Greene, A.K., B.K. Few and J.C. Serafini. 1993. A comparison of ozonation and chlorination for the disinfection of stainless steel surfaces. **Journal of Dairy Science** 76: 3617-3620.
- Gupta, P., J. Ahmed, U.S. Shivhare and G.S.V. Raghavan. 2002. Drying characteristics of red chili. **Drying Technology** 20: 1975-1987.
- Güzel-Seydima, Z., P.I. Bever Jr. and A.K. Greeneb. 2004. Efficacy of ozone to reduce bacterial populations in the presence of food components. **Food Microbiology** 21: 475-479.

- 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. **Journal of Food Science** 76: 520–524.
- Hunter Associates Laboratory Inc. 2009. **ColorFlex Tomato Color Meter**. hunterlab. retrived from : <http://www.hunterlab.com/Instruments/Bench/ColorFlex>; March 12, 2010.
- Keskinen, L.A., A. Bruke and B.A. Annous. 2009. Efficacy of chlorine, acidic electrolyzed water and aqueous chlorine dioxide solutions to decontaminated *Escherichia coli* O157:H7 from lettuce leaves. **International Journal of Food Microbiology** 132: 134–140.
- Khadre, M.A., A.E. Yousef and J.G. Kim. 2001. Microbiological aspects of ozone applications in food. **Journal of Food Science** 66: 1242–1252.
- Kim, C.R., and D.L. Marshall. 1999. Microbiological, colour and sensory changes of refrigerated chicken legs treated with selected phosphates. **Food Research International** 32: 209–215.
- 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. **Journal of Food Protection** 63:19–24.
- Kim, H.,J.H. Ryu and L.R. Beuchat. 2006. Survival of *Enterobacter sakazakii* on fresh Produce as affected by temperature, and effectiveness of sanitizer for its elimination. **International Journal of Food Microbiology** 111:134–143.
- Labbe, R. G. 2001. *Clostridium perfringens* p. 325–330 In: Downes, F.P. and K.A. Ito. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4th ed. American Public Health Association, Washington D.C., USA.
- Laul, M.S., S.D. Bale Rao, V.R. Rane and B.L. Amla. 1970. Studies on sun drying of chilies. **Indian Food Packer** 24(2): 22–25.
- Lindsay, R.C. 1996. **Food Additives**. In Fennema, O.R. (Ed.) *Food Chemistry*, 3rd ed., pp. 767. New York: Marcel Dekker, Inc.

- Lindsey A. Keskinen, A. Burke and B.A. Annous. 2009. Efficacy of chlorine, acidic electrolyzed water and aqueous chlorine dioxide solutions to decontaminate *Escherichia coli* O157:H7 from lettuce leaves. **International Journal of Food Microbiology** 132:134–140.
- Mahakarnchanakul, W., U. Tassanaudom, and Y. Toorisut. 2011. A survey of the microbiological quality of fresh/dried chili and chili paste products in Bangkok. Poster presentation in The 2nd Conference FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY - MEKONG DELTA, November 9-12, 2011 at Can Tho University, Can Tho City, Vietnam.
- Manzocco, L., S. Calligaris, D. Mastrocola, M.C. Nicoli and C.R. Lerici. 2001. Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. **Trends in Food Science and Technology** 11: 340–346.
- Ölmez, H. and U. Kretzschmar. 2009. Potential alternative disinfection methods for organic fresh-cut industry for minimizing water consumption and environmental impact. **LWT-Food Science and Technology** 42: 686–693.
- Olsen, S.J., L.C. Mackinon, J.S. Goulding, N.H. Bean and L. Slutsker. 2000. Surveillance for foodborn – disease outbreaks-United States, 1993-97. **Morbidity and Mortality Weekly Report** 49: 1–51.
- Park, H., Y.C. Hung and D. Chung. 2004. Effects of chlorine and pH on efficacy of electrolyzed water for inactivating *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes*. **International Journal of Food Microbiology**: 91: 13–18.
- Pascual, A., I. Llorca and A. Canut. 2007. Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. **Trends in Food Science and Technology** 18: S29–S35.
- 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.

- Privitera, G., A. Dublanchet and M. Sebald. 1979. Transfer of multiple antibiotic resistance between subspecies of *Bacteroides fragilis*. **Journal of Infectious Diseases** 139: 97–101.
- Ramesh, M. N., W. Wolf, D. Tevini, D., and G. Jung. 2001. Influence of processing parameters on the drying of spice paprika. **Journal of Food Engineering** 49: 63–72.
- Rudolph, A.S. and M. Levine. 1941. Factors affecting the germicidal efficiency of hypochlorite solution, p 107. *In* C.I. Wei, D.L. Cook and J.R. Kirk. Use of chlorine compounds in the food industry. **Food technology** 39(1): 107–115.
- Russel, J.B. 1998. The effects of fermentation acids on bacterial growth. **Advances in Microbial Physiology** 39:205–234.
- Scott, V.N., J.E. Anderson and G. Wang. 2001. Mesophilic Anaerobic Sporeformers p. 229–237 *In*: Downes, F.P. and K.A. Ito. **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods**. 4th ed. American Public Health Association, Washington D.C., USA.
- Shandera, W.X., C.O. Tacket and P.A. Blake. 1983. Food poisoning due to *Clostridium perfringens* in the United States. **Journal of Infectious Diseases** 147: 167–170.
- Stevenson, K.E. and W.P. Segner. 2001. Mesophilic Aerobic Sporeformers p. 223–227 *In*: Downes, F.P. and K.A. Ito. **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods**. 4th ed. American Public Health Association, Washington D.C., USA.
- Suslow, T. 1997. **Postharvest Chlorination: Basic properties and key points for effective disinfection**. Available Source: <http://danrcs.ucdavis.edu>, May, 2014.
- Suslow, T.V. 2004. **Oxidation-Reduction Potential (ORP) for water disinfection monitoring, control, and documentation**. Available Source: <http://anrcatalog.ucdavis.edu>, May, 2014.
- Swanson, K.M.J., R.L. Petran and J.H. Hanlin. 2001. Mesophilic Aerobic Sporeformers p. 223–227 *In*: Downes, F.P. and K.A. Ito. **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods**. 4th ed. American Public Health Association, Washington D.C., USA.

- Todd, E.C.D. 1978. Foodborne disease in six countries-A comparison. **Journal of Food Protection** 41: 559–565.
- Trinh, S.,V. Briolat and G. Reyssset. 2000. Growth response of *Clostridium perfringens* to oxidative Stress. **Anaerobe** 6: 233–240.
- USFDA. 2010. **Regulations, 21 CFR Part 184: Direct Food Substances Affirmed As GRAS.** Available source : <http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/textidx?c=ecfr&sid=786bafc6f6343634fbf79fcdca7061e1&rgn=div5&view=text&node=21:3.0.1.1.14&idno=21>, November 15, 2010.
- Venkitanarayanan, K. S., G. O. I. Ezeike, Y.C. Hung, and M.P. Doyle. 1999. Efficacy of electrolyzed oxidizing water for inactivating *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enteritidis*, and *Listeria monocytogenes*. **Applied and Environmental Microbiology** 65:4276–4279.
- Wangcharoen, W. and W. Morasuk. 2008. Antioxidant capacity changes in Chili Spur Pepper (*Capsicum annuum* Linn. var. *acuminatum* Fingerh.) during drying process. **Asian Journal of Food and Agro-Industry** 1(02): 68–77.
- Wei, C.I., D.L. Cook and J.R. Kirk. 1985. Use of chlorine compound in the food industry. **Food Technol** 39(1): 107-115.
- Wiriya, P., T. Paiboon and S. Somchart. 2009. Effect of drying air temperature and chemical pretreatments on quality of dried chilli. **International Food Research Journal** 16: 441–454.
- 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.
- Xu, L. 1999. Use of ozone to improve the safety of fresh fruits and vegetables. **Food Technology** 53: 58–62.

