หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 อุตสาหกรรมการผลิตสับปะรดกระป๋อง

สับปะรด : แอนานาส โคโมซัส แอล. เมอร์. (Ananas comosus L. Merr.) เป็นพืชที่ปลูกง่าย การบำรุงรักษาไม่ยาก และขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิด แต่ดินที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูกสับปะรดคือ ดินร่วนปนทราย น้ำไม่ขัง และค่อนข้างเป็นกรด สามารถปลูกได้ทุกฤดูกาล ทนแล้งได้ดี ชอบอากาศร้อนชุ่มชื้น ปลูกครั้งเดียวเก็บผลได้ถึง 3 ปี ระยะเวลาปลูก 10 เดือน จึงจะออกผล ปลูกครั้งหนึ่งสามารถเก็บเกี่ยวผลได้ 2-3 ครั้ง โดยครั้งแรกเรียกว่า "สับปะรดปลูก" ซึ่งจะให้ผลผลิตสูงสุดประมาณร้อยละ 70 ของจำนวนต้น ครั้งต่อมาเรียกว่า "สับปะรดตอ 1" และ "สับปะรดตอ 2" ซึ่งจะให้ผลผลิตน้อยลงคือ ประมาณร้อยละ 55 และ 40 ของจำนวนต้น พันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากโดยทั่วไปมี 3 ชนิด คือ (6)

1. พันธุ์อินทรชิต หรือพันธุ์เพรส เป็นพันธุ์พื้นเมืองซึ่งมีผลเล็ก น้ำหนักผลประมาณ 1 กิโลกรัม ผิวเปลือกมีสีแดงคล้ำ เนื้อสีทองหรือเหลืองจัด รสหวานจัด

2. พันธุ์ขาว หรือพันธุ์สิงคโปร์ ให้ผลเล็กหนักประมาณ 1/2 - 1 กิโลกรัม ก้านผลยาวผิวเปลือกมีสีเหลืองอ่อน เนื้อสีเหลือง รสหวานอมเปรี้ยว เนื้อกรอบ หยาบ มีเสี้ยนมาก ตาเล็ก แกนเล็ก

3. พันธุ์ปัตตาเวีย หรือพันธุ์กัลกัตตา มีผลใหญ่มาก บางผลหนักถึง 7 กิโลกรัม แต่โดยเฉลี่ยหนักประมาณ 2.5 กิโลกรัม เหมาะสำหรับทำสับปะรดกระป๋อง ก้านผลสั้น เปลือกสีขาวตาตื้น แกนใหญ่ เนื้อสีเหลือง ละเอียด รสหวานจ๋ำ นิยมปลูกกันทั่วไป

แหล่งเพาะปลูกสับปะรดที่สำคัญของประเทศไทยแบ่งออกเป็น 3 แหล่งใหญ่คือ (6)

1. ภาคกลาง และภาคตะวันออก ปลูกกันมากในจังหวัดเพชรบุรี ราชบุรี ชลบุรี ระยอง จันทบุรี และตราด

2. ภาคเหนือ ปลูกกันมากที่จังหวัดลำปาง เชียงใหม่ และเชียงราย

3. ภาคใต้ ปลูกกันมากในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ นครศรีธรรมราช ชุมพร และสุราษฎร์ธานี

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การผลิตสับปะรดกระป๋องในประเทศไทยอยู่ในช่วงระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม และ พฤศจิกายน-มกราคม จำนวนโรงงานสับปะรดกระป๋องที่ได้รับการส่งเสริมการลงทุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุนตั้งแต่ปี 2509 ถึง ปี 2532 จำนวน 14 ราย เป็นเงินลงทุนทั้งสิ้นประมาณ 2,300 ล้านบาท จำนวนคนงานประมาณ 11,000 คน รวมกำลังการผลิตทั้งสิ้น 278,000 เมตริกตันต่อปี (7)

2.2 กระป๋องและแลกเกอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

2.2.1 กระป๋องบรรจุอาหาร แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ (8)

1. กระป๋องเคลือบดีบุก (Plain Can)

กระป๋องเคลือบดีบุกนั้นทำมานานแล้ว วิธีการเคลือบดีบุกมีทั้งแบบจุ่มแผ่นเหล็กลงในดีบุกที่หลอมเหลว และการเคลือบดีบุกโดยใช้ไฟฟ้า กระป๋องทั้ง 2 แบบ มีความแตกต่างกันในเรื่องความหนาและความสม่ำเสมอของดีบุก การเคลือบดีบุกแบบจุ่มมีความหนาของดีบุกมากกว่าแบบเคลือบดีบุกโดยใช้ไฟฟ้า แต่ขาดความสม่ำเสมอ ส่วนวิธีเคลือบดีบุกด้วยไฟฟ้ามีปริมาณดีบุกน้อยกว่า แต่มีความสม่ำเสมอดี กระป๋องเคลือบดีบุกแบบจุ่มมีความต้านทานการกัดกร่อนดีกว่าการเคลือบดีบุกด้วยไฟฟ้า

ปริมาณของดีบุกที่เคลือบบนแผ่นเหล็กจะใช้หน่วยเป็น lb/base box โดยที่ 1 lb/base box เท่ากับ 22.4 กรัมของดีบุกต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร (9) ซึ่งปริมาณดีบุกที่เคลือบบนแผ่นเหล็กจะมีปริมาณต่าง ๆ กัน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชนิดของแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก

ผลิตภัณฑ์	ชนิด	เบอร์เคลือบ	น้ำหนักดีบุกที่เคลือบต่อ 1 ด้าน	
			g/m^2	lb/B.B
ELECTROLYTIC TINPLATE (E.T.P)	เคลือบ 2 ด้าน เท่ากัน	# 25	2.8	0.25
		# 50	5.6	0.50
		# 75	8.4	0.75
		# 100	11.2	1.00
	เคลือบ 2 ด้านไม่เท่ากัน	แต่ละด้านอาจเคลือบเบอร์ 25, 50, 75 หรือ 100 ตามความต้องการของลูกค้า		

ที่มา : บริษัท แผ่นเหล็กวิลาสไทย จำกัด, 2528

2. กระป๋องเคลือบแลกเกอร์ (Lacquered Can)

กระป๋องเคลือบแลกเกอร์ถูกนำมาใช้ในระยะหลัง เมื่อพบว่าการใช้กระป๋องเคลือบดีบุกมีปัญหา การเคลือบแลกเกอร์มักจะเคลือบทับแผ่นเหล็กที่เคลือบดีบุกอยู่แล้ว

3. กระป๋องอลูมิเนียม (Aluminum Can)

ถึงแม้การใช้แผ่นเหล็กทำภาชนะบรรจุจะมีความก้าวหน้ามาก ก็ยังมีผู้สนใจที่จะทำภาชนะบรรจุจากโลหะอื่น ๆ โลหะที่ได้รับความสนใจมากคือ อลูมิเนียม กระป๋องอลูมิเนียมที่ใช้กันอยู่มี 4 แบบ คือ แบบเปิดก้นและฝา กระป๋องขอบต่ำ กระป๋องขอบสูง และกระป๋องที่ผลิตโดยวิธี impact extruded process

4. Composite Can

Composite Can เป็นภาชนะบรรจุที่ทำจากวัสดุ 2 ชนิด คือ ตัวกระป๋องทำด้วยกระดาษแข็ง โดยปกติเป็นกระดาษคราฟแล้วบุด้วยแผ่นอลูมิเนียม หรือกระดาษชุบเทียน หรือ parchment paper แต่ฝาทำด้วยโลหะหรือพลาสติก

2.2.2 กระป๋องที่ใช้บรรจุสับปะรด

ในปัจจุบันกระป๋องที่บรรจุสับปะรดจะเป็นกระป๋องซึ่งทำจากแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก (plain can) สำหรับโรงงานผลิตสับปะรดกระป๋องโดยทั่ว ๆ ไปจะใช้แผ่นเหล็กเคลือบดีบุกทำฝาและตัวกระป๋องซึ่งมีความหนาต่าง ๆ กัน เช่น

ฝากระป๋อง จะใช้แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก ด้านนอกและด้านในขนาด 11.2/11.2 กรัม/ตารางเมตร

ตัวกระป๋อง จะใช้แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก ด้านนอกและด้านในขนาด 5.6/11.2 กรัม/ตารางเมตร

2.2.3 ชนิดของแลกเกอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร มีดังนี้ คือ (9)

1. Oleoresinous เป็นแลกเกอร์ที่ทำจาก natural gums และ resins แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1.1 "R"-enamel เป็นแลกเกอร์ที่ใช้เคลือบกระป๋องที่บรรจุผักและผลไม้ที่มีสีตามธรรมชาติ จำพวก anthocyanins เช่น dark coloured berries, cherries ผลไม้พวกนี้ถ้าบรรจุในกระป๋องที่เคลือบดีบุก ดีบุกที่ละลายออกมาจะเกิดการฟอกสี ทำให้สีของผลไม้ซีด

1.2 "C"-enamel เป็นแลกเกอร์ที่ประกอบด้วย zinc oxide 15% ซึ่งสามารถป้องกัน "black sulfide" อันเกิดจาก sulfur-amino acids ของอาหารที่มีโปรตีนสูง เช่น ข้าวโพด เนื้อสัตว์ อาหารทะเล ทำปฏิกิริยากับเหล็กหรือดีบุก ได้สารประกอบที่มีสีเทาและดำขึ้นที่ผิวภายในกระป๋อง zinc oxide ที่อยู่ในแลกเกอร์จะรวมกับเหล็กหรือดีบุกให้สารประกอบไม่มีสี

2. Phenolic เป็นแลกเกอร์ที่จะใช้กับอาหารทะเล ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ pet food แลกเกอร์ชนิดนี้จะทนต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ดีกว่า oleoresinous แต่มีความยืดหยุ่นต่ำมาก และจะทำให้กลิ่นและรสชาติของอาหารบางชนิดเปลี่ยนแปลง

3. Epoxy เป็นแลกเกอร์ที่ทนต่อความร้อนสูง ๆ ได้ดี และมีความยืดหยุ่นสูง ไม่ทำให้เกิดรสชาติที่ผิดปกติในอาหาร epoxy ที่นำไปผสมกับ phenolic จะทำให้ความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น จึงใช้บรรจุอาหารได้หลายชนิด เช่น ปลา เนื้อ ผัก และผลไม้

4. Vinyl เป็นแลกเกอร์ที่ใช้เคลือบทับ oleoresinous หรือ phenolic โดยใช้เป็น double coating มักจะใช้กับอาหารที่มีการกัดกร่อนสูง แต่มันไม่ทนต่อความร้อนจึงเหมาะจะใช้กับอาหารที่มีการกัดกร่อนสูง และใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 °F

2.2.4 ชนิดของการกัดกร่อน (corrosion) ของกระป๋อง (9)

การกัดกร่อนคือ ปฏิกิริยาระหว่างภาชนะโลหะที่บรรจุอาหารกับอาหารที่บรรจุในภาชนะนั้นโดยเฉพาะอาหารที่เป็นกรด เช่น ผัก และผลไม้มีผลให้โลหะที่ใช้ทำภาชนะบรรจุละลายออกมา (10) ซึ่งการกัดกร่อนมีหลายชนิดดังต่อไปนี้ คือ

Perforation เป็นการกัดกร่อนที่เกิดเฉพาะที่ (localized corrosion) เป็นผลให้เกิดการรั่วแบบรูเข็ม (pin hole) การกัดกร่อนแบบนี้ไม่เพียงแต่จะทำให้กระป๋องที่เกิดการรั่วแบบรูเข็มสูญเสียไปเท่านั้นยังทำให้กระป๋องอื่น ๆ ที่ใกล้เคียงกันเกิดสนิมเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่รั่วออกมาอีกด้วย

Springers หรือ swells เป็นการกัดกร่อนที่ทำให้เกิดการบวมของกระป๋องซึ่งเกิดจากการที่มีกาซไฮโดรเจนสะสมอยู่บริเวณ headspace ของกระป๋อง แม้ว่าอาหารที่อยู่ภายในกระป๋องที่บวมเนื่องจากการสะสมของกาซไอโดรเจนจะบริโภคได้ก็ตาม แต่ผู้บริโภคไม่สามารถจะยอมรับได้เพราะอาหารกระป๋องที่เสียเนื่องจากจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในกระป๋องจะมีลักษณะเช่นเดียวกัน

Detinning เป็นการละลายของดีบุกจากผิวภายในของกระป๋องซึ่งเกิดได้ทั้งกระป๋องเคลือบดีบุกและกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ ถ้าการละลายของดีบุกเกิดขึ้นไม่มากนัก ผลิตภัณฑ์นั้นยังเป็นที่ยอมรับได้ แต่ถ้าเกิด localized detinning จนกระทั่งถึงเนื้อของแผ่นเหล็ก ผลิตภัณฑ์นั้นจะไม่เป็นที่ยอมรับ การละลายของดีบุกในผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องบางชนิดจะฟอกสีของอาหารและทำให้รสชาติของอาหารเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ในผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิดจะทำให้รสชาติของอาหารดีขึ้น เช่น สับปะรด ส้ม (11) แต่ในผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิดจะไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เช่น สตรอเบอรี่ (12)

Rusting เป็นการกัดกร่อนที่ทำให้เกิดสนิมขึ้นภายในกระป๋องซึ่งการเกิดสนิมจะเกิดขึ้นบริเวณ headspace ที่มี O_2 จำนวนมาก ถ้าเกิดสนิมขึ้นมาจะทำให้เกิด perforation ได้

Enamel lifting เป็นการที่แลกเกอร์ที่เคลือบผิวของดีบุกหลุดออกมา ทำให้พื้นที่ผิวของดีบุกสัมผัสกับอาหารเพิ่มขึ้น จึงเพิ่มการกัดกร่อน

2.2.5 การกัดกร่อนของกระป๋องเคลือบดีบุก

กระป๋องชนิดนี้ถึงแม้จะมีพื้นที่ส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยดีบุก แต่ถ้าตรวจดูให้ละเอียดแล้วจะพบว่ามีส่วนดีบุกเคลือบไม่ติดเหมือนเป็นจุดเล็ก ๆ อีกจำนวนมาก เมื่อนำอาหารใส่กระป๋องอาหารจะสัมผัสดีบุกและเหล็กที่จุดเหล่านี้ ประกอบกับอาหารทุกชนิดมีคุณสมบัติเป็นอิเลคโตรไลท์บ้างไม่มากก็น้อย จึงมีลักษณะเหมือนกับนำเอาแผ่นเหล็กและดีบุกจุ่มลงในสารละลายอิเลคโตรไลท์ ทำให้เกิดมีกระแสไฟฟ้าขึ้นระหว่างโลหะทั้งสอง (8) เมื่อเปรียบเทียบจากค่าความต่างศักย์มาตรฐานแล้ว เหล็ก (Fe) จะเกิดการกัดกร่อนได้ดีกว่าดีบุก (Sn) ดังนั้นในระยะแรกของการกัดกร่อนเหล็กจึงมีสภาพเป็น anode (-) คือเกิดการสูญเสียอิเลคตรอน และดีบุกมีสภาพเป็น cathode (+) เกิดการสะสมของ H^+ จนกระทั่ง H^+ มีมากขึ้นเรื่อย ๆ จะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า high hydrogen over potential เป็นผลให้เกิด reversal of polarity (13) กล่าวคือ ดีบุกจะกลายเป็น anode เกิดการสูญเสียอิเลคตรอนเกิด stannous ion (Sn^{++}) และเกิด H_2 ตำแหน่งที่เหล็กสัมผัสกับอาหาร (8, 10) แต่ถ้าในกระป๋องมีออกซิเจนอยู่ด้วย การรวมตัวของไฮโดรเจนและออกซิเจนจะเกิดขึ้นทันที (8) และมีผลให้กาซไฮโดรเจนหายไปจนหมด การกัดกร่อนของอาหารจะเร็วยิ่งขึ้น ปฏิกิริยาการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นโดยดีบุกเกิดการสูญเสียอิเลคตรอน ซึ่ง Mahadeviah (10) ได้เสนอปฏิกิริยาการกัดกร่อนดังปฏิกิริยา (1) และ (2) คือ

$$Sn \longrightarrow Sn^{++} + 2\bar{e} \qquad (1)$$

↑ สามารถรวมตัวกับสารอื่น ๆ ที่อยู่ในอาหารเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน

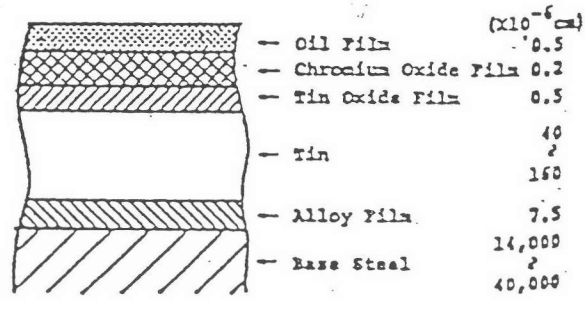
$$2\bar{e} + 2H^+ \longrightarrow H_2 \text{ (gas)} \qquad (2)$$

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อนภายในของผลไม้กระป๋อง

2.3.1 แผ่นเหล็กที่ใช้ทำกระป๋อง

2.3.1.1 ความหนาของชั้นของดีบุก (thickness of tin coating)

แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก (tinplate) หมายถึง แผ่นเหล็กดำที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ ๆ ผ่านการรีดจนเป็นแผ่นบาง ๆ (cold reduced low carbon steel) มีความหนาตั้งแต่ 0.15-0.05 มม. แล้วนำมาเคลือบดีบุกเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสนิมที่ผิวของเหล็ก ดังรูปที่ 2.1 (14)



Tinplate

รูปที่ 2.1 ภาพตัดขวางของแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก (tinplate)

ได้มีการจัดระบบการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของความหนาของชั้นของดีบุกต่อการกัดกร่อนโดยนำแผ่นเหล็กที่เคลือบดีบุกหนาต่าง ๆ ดังนี้คือ E 25, E 50, E 75, และ E 100 (0.25, 0.50, 0.75 และ 1.0 lb/base box) ขนาด 8 X 2 ซม^2 ใส่ในหลอดทดลองที่มีน้ำมะม่วงเข้มข้น (mango nectar) และน้ำสัมคั้นบรรจุอยู่ หลังจากทำการพาสเจอร์ไรซ์แล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 37 °C โดยบันทึกอัตราการกัดกร่อนโดยการคำนวณน้ำหนักที่ลดลงของแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกทุก ๆ 2 เดือน พบว่า แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก E 25 และ E 50 มีกัดกร่อนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แม้ว่าในช่วงระยะเวลาแรก ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก E 75 และ E 100 หลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 6 เดือน แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก E 25 จะเกิดการกัดกร่อนมากที่สุด แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก E 50, E 75 และ E 100 เกิดการกัดกร่อนน้อยลงตามลำดับ

จากการทดลองพบว่า อัตราการกัดกร่อนของแผ่นเหล็กเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของชั้นของดีบุกลดลง และแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก E 100 เหมาะที่จะใช้บรรจุน้ำมะม่วงเข้มข้น และน้ำส้มคั้น (15)

2.3.1.2 กรรมวิธีการผลิตแผ่นเหล็ก

แผ่นเหล็กที่จะนำมาเคลือบดีบุกจะต้องมีขนาดที่ถูกกำหนดไว้แน่นอนสำหรับทำกระป๋องแต่ละชนิด รวมทั้งต้องบ่งถึงความหนา ความแข็ง แผ่นเหล็กที่นำมาใช้เรียกว่าแผ่นเหล็กดำ ซึ่งจะอยู่ในลักษณะเป็นม้วน หรือตัดเป็นแผ่นเหล็กก็ได้ จากนั้นแผ่นเหล็กก็จะถูกทำความสะอาด โดยผ่านในสารละลายด่างและกรด ก่อนที่จะทำการเคลือบดีบุก ดีบุกที่ใช้เคลือบแผ่นเหล็กต้องมีความบริสุทธิ์ 99.75% การชุบดีบุกมีด้วยกัน 2 วิธี (16) คือ

1. Hot Dip เป็นวิธีการชุบดีบุกโดยการจุ่มแผ่นเหล็กลงในดีบุกหลอมเหลว วิธีนี้ใช้กับแผ่นเหล็กดำที่ถูกตัดเป็นแผ่นแล้ว ความหนาของดีบุกที่เคลือบผิวของแผ่นเหล็กทั้ง 2 ด้านจะเท่ากัน ซึ่งทำโดยวิธีต่อไปนี้

แผ่นเหล็กดำที่ตัดเป็นแผ่นแล้ว (Black plate) ——> ทำความสะอาดผิวของแผ่นเหล็กด้วยกรด (Pickle) ——> จุ่มแผ่นเหล็กลงในดีบุกหลอมเหลว (Dip-tin) ——> ทำให้เย็น (cool) ——> ทำความสะอาด (Clean) ——> ตรวจสอบคุณภาพ (Inspect) ——> บรรจุ (Pack)

2. Electrolytic Tinplate เป็นการชุบดีบุกที่ใช้ระบบต่อเนื่อง แผ่นเหล็กดำจะมาในรูปลักษณะเป็นม้วน (Black coil) และสามารถที่จะควบคุมดีบุกให้ทั้งสองหน้าหนาเท่ากันหรือไม่ก็ได้

ม้วนแผ่นเหล็กดำ (Black coil) ——> แกะม้วนแผ่นเหล็กออก (De-Coil) ——> เชื่อมม้วนแผ่นเหล็กแต่ละม้วนเข้าด้วยกัน (Weld) ——> ทำความสะอาดผิวแผ่นเหล็กด้วยกรด (Pickle) ——> เคลือบดีบุกโดยใช้กระแสไฟฟ้า (Electro-tin) ——> การแต่งผิว (Passivation) ——> ทำให้ผิวที่เคลือบดีบุกแห้ง (Dry) ——> เคลือบน้ำมันบาง ๆ (Oiling) ตรวจสอบคุณภาพ (Inspect) ——>ตัดให้เป็นแผ่น (Shearing) ——> บรรจุ (Pack)

ได้มีการทดลองใช้กระป๋องที่ทำจากแผ่นเหล็กที่ผ่านกระบวนการผลิต 2 แบบ คือ hot dipped tinplate และ electrolytic tinplate บรรจุน้ำมะม่วงเข้มข้น และ orange segment นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 12 เดือน แล้ววิเคราะห์หาปริมาณดีบุก ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส และตรวจดูลักษณะภายในของกระป๋องทุก 3 เดือน ผลการทดลองพบว่า น้ำมะม่วงเข้มข้นและ orange segment ที่บรรจุในกระป๋องที่ทำจาก electrolytic tinplate จะมีดีบุกละลายออกมามากกว่ากระป๋องที่ทำจาก hot dipped tinplate และเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน 12 เดือน กระป๋องที่ทำจาก electrolytic tinplate มีการละลายของดีบุกอยู่ในขั้นสมบูรณ์ (complete detinning) กระป๋องที่ทำจาก hot dipped tinplate การละลายของดีบุกอยู่ในขั้นปานกลาง (medium detinning) ที่เป็นเช่นนี้เพราะ hot dipped tinplate มีความหนาและความต่อเนื่อง (continuity) ของชั้น tin-iron alloy มากกว่า electrolytic tinplate ซึ่งความต้านทานการกัดกร่อนขึ้นกับความหนาและความต่อเนื่องของชั้น alloy (15)

2.3.1.3 แผ่นเหล็กเคลือบดีบุกเคลือบแลกเกอร์ (lacquered tinplate)

วัตถุประสงค์ของการเคลือบภาชนะบรรจุอาหารด้วยแลกเกอร์คือ (12)

1. เพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยาระหว่างภาชนะบรรจุกับผลิตภัณฑ์ เช่น สตรอเบอรี่ ดีบุกจะไปฟอกสีของ anthocyanins ที่มีอยู่ในสตรอเบอรี่ ทำให้สีซีด

2. เพื่อป้องกันการเกิด corrosion ที่เรียกว่า under film staining โดยการทำปฏิกิริยาระหว่างผลิตภัณฑ์กับดีบุก

3. เพื่อความสวยงาม ฝากระป๋องด้านนอกที่เคลือบด้วยแลกเกอร์จะมีลักษณะสวยกว่าฝากระป๋องที่เคลือบด้วยดีบุกธรรมดา

4. เพื่อลดปริมาณของดีบุกที่ใช้เคลือบเพื่อลดต้นทุน

ได้มีการทดลองศึกษาผลของแลกเกอร์ซึ่งคณะผู้วิจัยมิได้ระบุถึงชนิดของแลกเกอร์ที่ใช้เคลือบกระป๋องต่อการละลายของดีบุกในน้ำมะม่วงเข้มข้น (mango nectar) บรรจุกระป๋องโดยใช้กระป๋อง 4 ชนิด คือ

1. กระป๋องที่ตัว, ฝา และก้นกระป๋องไม่ได้เคลือบแลกเกอร์ (plain body and plain ends)

2. กระป๋องที่ตัวกระป๋องไม่ได้เคลือบแลกเกอร์ ส่วนฝาและก้นกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ (plain body and lacquered ends)

3. กระป๋องที่ตัวกระป๋อง, ฝาและก้นกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ (lacquerecd body and lacquered ends)

4. กระป๋องที่ตัวกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ ส่วนฝาและก้นกระป๋องไม่ได้เคลือบแลกเกอร์ (lacquered body and plain ends)

เมื่อบรรจุน้ำมะม่วงเข้มข้นแล้วเก็บกระป๋องไว้ที่อุณหภูมิ 37 °C และอุณหภูมิห้อง (25-28 °C) แล้วทำการวิเคราะห์ปริมาณดีบุก ทดสอบทางประสาทสัมผัส และตรวจลักษณะการกัดกร่อนภายในกระป๋องทุก ๆ 3 เดือน เป็นเวลา 6 เดือน จากการทดลองพบว่าน้ำมะม่วงเข้มข้นที่บรรจุในกระป๋องชนิดที่ 3 (ตัวกระป๋อง, ฝาและก้นกระป๋องเคลือบแลกเกอร์) และชนิดที่ 4 (ตัวกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ส่วนฝาและก้นกระป๋องไม่ได้เคลือบแลกเกอร์) เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้องและที่ 37 °C มีกลิ่นแลกเกอร์ และมีรสขมเล็กน้อย แต่ปริมาณดีบุกต่ำกว่าน้ำมะม่วงเข้มข้น ที่บรรจุในกระป๋องที่ไม่ได้เคลือบแลกเกอร์และกระป๋องที่เคลือบแลกเกอร์เฉพาะที่ฝาและก้นกระป๋อง (17)

2.3.2 ผลของตัวแปรในกระบวนการผลิต (effect of processing variables)

2.3.2.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

โดยทั่ว ๆ ไปผลไม้กระป๋องจะมี pH ต่ำกว่า 7 ซึ่งในผลไม้กระป๋องส่วนใหญ่ เมื่อ pH ต่ำลงการกัดกร่อนจะเพิ่มมากขึ้น แต่ในผลไม้กระป๋องบางชนิด เช่น เชอรี่ (white cherries) ซึ่ง pH สูงกว่าของ gooseberries จะเกิดการกัดกร่อนมากกว่า gooseberries กรดอินทรีย์บางชนิดเร่งการกัดกร่อนในผลไม้ชนิดหนึ่ง แต่ยับยั้งการกัดกร่อนในผลไม้อีกชนิดหนึ่ง เช่น มีผู้ทดลองเติมกรดซิตริก 0.2-0.3% ในสตรอเบอรี่ และราสเบอรี่ บรรจุกระป๋องซึ่งทำให้การกัดกร่อนเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเติมในเชอร์รี่จะช่วยลดการกัดกร่อนโดยที่กรดซิตริกจะไป inactivate สารเร่งการกัดกร่อน (corrosion accelerator) บางชนิดที่มีอยู่ในผลไม้จึงมีผู้สรุปว่าการกัดกร่อนขึ้นกับกรดอินทรีย์ที่มีอยู่และชนิดของผลไม้ไม่ได้ขึ้นกับ pH เพียงอย่างเดียว (10)

016530

มีการทดลองศึกษาผลของ pH ต่อการละลายของดีบุกในน้ำเกรฟฟรุตบรรจุกระป๋อง (canned grapefruit juice) โดยใช้กรดซิตริกและโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ปรับ pH ของน้ำเกรฟฟรุตบรรจุให้มี pH 3.0, 3.5 และ 4.0 แล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4, 21, 27 และ 38 °C เป็นเวลา 3 และ 24 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า ทุก ๆ อุณหภูมิที่เก็บเมื่อ pH เพิ่มขึ้น การละลายของดีบุกในน้ำเกรฟฟรุตบรรจุกระป๋องจะลดลง (18)

2.3.2.2 headspace และ can vacuum

แม้ว่าจะมีการใช้เทคนิคใหม่ ๆ เพื่อกำจัดออกซิเจนในผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องออกให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เช่น การพ่นไอน้ำเข้าไปบริเวณ headspace ก่อนปิดกระป๋องหรือการบรรจุอาหารกระป๋องให้เหลือบริเวณ headspace น้อยที่สุดก็ดี แต่ยังมีออกซิเจนบางส่วนที่ยังหลงเหลืออยู่ในบริเวณ headspace และละลายอยู่ในส่วนที่เป็นของเหลวของผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋อง ออกซิเจนที่สะสมอยู่ในอาหารกระป๋องจะรวมตัวกับไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากการกัดกร่อนของกระป๋องเคลือบดีบุก ดังที่กล่าวมาแล้วในข้อ 2.2.5 ทำให้การกัดกร่อนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

ได้มีผู้ทำการทดลองศึกษาถึงผลของความสูงของ headspace และความเป็นสุญญากาศของกระป๋องต่อการละลายของดีบุกใน apple sauce บรรจุกระป๋อง ซึ่งพบว่าเมื่อความเป็นสุญญากาศของกระป๋องเพิ่มขึ้น และความสูงของ headspace ลดลง ทำให้การละลายของดีบุกลดลงด้วย (19)

2.3.2.3 วิธีการลดอุณหภูมิของอาหารกระป๋องหลังการฆ่าเชื้อ (cooling method)

Hernandez (20) ได้ศึกษาถึงผลของวิธีการ cooling ต่าง ๆ กันต่อการละลายของดีบุกใน tomato paste บรรจุกระป๋องโดยใช้วิธี cooling 3 วิธีคือ ใช้น้ำเย็น (water cooling), ใช้ลมเย็น (air cooling), ใช้น้ำเย็นร่วมกับลมเย็น (partially water cooling) ผู้วิจัยพบว่า tomato paste บรรจุกระป๋องที่ใช้วิธีการลดอุณหภูมิโดยลมเย็นเกิดการละลายของดีบุกมากที่สุด รองลงมาคือ ใช้น้ำเย็นร่วมกับลมเย็นและใช้น้ำเย็น ตามลำดับ ซึ่งเป็นเพราะอัตราการลดลงของอุณหภูมิของ tomato paste บรรจุกระป๋องโดยใช้ลมเย็นช้ากว่าใช้น้ำเย็น ความร้อนที่สะสมอยู่ภายในกระป๋องที่ทำให้เย็นโดยวิธีใช้ลมเย็นจึงมากกว่าใช้น้ำเย็น เป็นผลให้เกิดการละลายของดีบุกมากกว่า

ในการฆ่าเชื้อของอาหารกระป๋องเป็นการให้ความร้อนแก่อาหารที่อยู่ในกระป๋องทำให้เกิดความร้อนสะสมอยู่ภายในกระป๋องซึ่งเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อที่แตกต่างกันน่าจะมีผลต่อการละลายของดีบุกด้วย

จากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการกระบวนการฆ่าเชื้อของผลไม้ชนิดต่าง ๆ ที่บรรจุในกระป๋อง NO 2 (307 X 409) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อของผลไม้กระป๋องชนิดต่าง ๆ ที่บรรจุในกระป๋อง NO 2 (307 X 409)

ชนิดของผลไม้	เอกสารอ้างอิงหมายเลข	เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อ	ค่าเฉลี่ยของเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อในแต่ละ pH
บลูเบอรี่ (pH เฉลี่ย 3.4)	21	-	11.12 นาที 100 °C
	22	14 นาที 100 °C	
	9	10 นาที 100 °C	
	23	10 นาที 100 °C	
พลัม (pH เฉลี่ย 3.4)	21	9-11 นาที 100 °C	
	22	-	
	9	10 นาที 100 °C	
	23	12-15 นาที 100 °C	
สตรอเบอรี่ (pH เฉลี่ย 3.4)	21	8-9 นาที 100 °C	
	22	-	
	9	10 นาที 100 °C	
	23	10 นาที 100 °C	
แบล็คเบอรี่ (pH เฉลี่ย 3.5)	21	9-12 นาที 100 °C	12.53 นาที 100 °C
	22	12 นาที 100 °C	
	9	15 นาที 100 °C	
	23	15 นาที 100 °C	
พีช (pH เฉลี่ย 3.7)	21	12-14 นาที 100 °C	13.30 นาที 100 °C
	22	15 นาที 100 °C	
	9	10-15 นาที 100 °C	
	23	10-15 นาที 100 °C	
สับปะรด (pH เฉลี่ย 3.7)	21	12-16 นาที 100 °C	
	22	-	
	9	-	
แพร์ (pH เฉลี่ย 4.2)	23	-	23.33 นาที 100 °C
	21	20-25 นาที 100 °C	
	22	25 นาที 100 °C	
	9	-	
	23	-	

หมายเหตุ : ค่า "pH เฉลี่ย" จากเอกสารอ้างอิงหมายเลข 5, 24

จากตารางที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อมีค่าแปรตาม pH ดังนั้นใน pH แต่ละค่าที่เลือกใช้จะมีค่าเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้ออยู่ในช่วงหนึ่งที่เหมาะสม ดังนี้ คือ

ผลไม้กระป๋องที่ pH น้อยกว่าหรือเท่ากับ 4.1 เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้ออยู่ในช่วง 11.12 ถึง 13.30 นาที 100 °C

ผลไม้กระป๋องที่มี pH มากกว่า 4.1 เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อเท่ากับ 23.33 นาที 100 °C

2.3.3 องค์ประกอบทางเคมีของผลไม้

Tripathi และคณะ (25) ได้ศึกษาพันธุ์มะม่วง 4 พันธุ์ เพื่อหาพันธุ์ที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนน้อยที่สุด ซึ่งผู้วิจัยพบว่ามะม่วงพันธุ์ที่เหมาะสมคือ มะม่วงพันธุ์ที่มี acidity ต่ำ แต่มีกรดแอสคอร์บิกสูง

Saguy และคณะ (26) ได้ศึกษาผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนเตรทต่อการละลายของดีบุกในน้ำเกรพฟรุตบรรจุกระป๋องโดยเติม $NaHSO_3$ และ $NaNO_3$ ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ลงในน้ำเกรพฟรุต ซึ่งผลการวิจัยพบว่า เมื่อความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนเตรทเพิ่มขึ้น การละลายของดีบุกจะเพิ่มขึ้นด้วย

Mahadeviah และคณะ (27) ได้ศึกษาถึงผลขององค์ประกอบทางเคมีของมะม่วง (Mangifera indica) ต่อการละลายของดีบุกโดยใช้ ion exchange resins แยกองค์ประกอบทางเคมีออกเป็น fraction ซึ่งผลการวิจัยพบว่า fraction ซึ่งเป็นน้ำตาลจะเร่งการกัดกร่อนถ้ามีกรดอินทรีย์อยู่ด้วย ส่วน fraction ที่เป็นกรดอะมิโนไม่ได้เร่งให้เกิดการกัดกร่อน

จะเห็นได้ว่า acidity ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนเตรท และน้ำตาลเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่มีผลต่อการละลายของดีบุก แต่ซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้นส่วนใหญ่จะพบในผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้งเท่านั้น ส่วนไนเตรททางโรงงานผลิตสับปะรดกระป๋องได้มีการควบคุมไม่ให้สับปะรดมีไนเตรทมากเกิน 50 ppm อยู่แล้วซึ่งไนเตรทที่ปนเปื้อนในสับปะรดกระป๋องมาจากปุ๋ยที่ใช้ในการเพาะปลูกสับปะรด ในงานวิจัยนี้จึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนเตรท ดังนั้นองค์ประกอบทางเคมีที่มีผลต่อการละลายของดีบุกได้แก่ acidity ปริมาณกรดแอสคอร์บิก และน้ำตาล

2.3.4 เวลาและอุณหภูมิที่เก็บ

Nagy และ Nikde (28) ศึกษาถึงผลของเวลาและอุณหภูมิที่เก็บต่อการละลายของดีบุกในน้ำเกรฟฟรุตกระป๋องโดยเก็บกระป๋องไว้ที่อุณหภูมิ 20, 40 และ 50 °C ซึ่งจากการวิจัยพบว่า เมื่อเวลาและอุณหภูมิที่เก็บน้ำเกรฟฟรุตบรรจุกระป๋องเพิ่มขึ้น ปริมาณดีบุกที่ละลายออกมาเพิ่มขึ้นด้วย

2.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผักและผลไม้กระป๋อง

2.4.1 การเปลี่ยนสี

การเปลี่ยนสีของอาหารกระป๋องเป็นปัญหาที่สำคัญมากสำหรับผู้ประกอบอาหารประเภทนี้ การเปลี่ยนสีของผักและผลไม้กระป๋องเกิดจากสาเหตุดังต่อไปนี้ คือ

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reactions) ซึ่งในผักและผลไม้กระป๋องปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลส่วนใหญ่จะเป็น Maillard reaction และ ascorbic acid oxidation และ sugar-acid complexs (29)

ก. Maillard reaction เป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากการทำปฏิกิริยาของหมู่อะมิโนในสารประกอบที่มีไนโตรเจน เช่น กรดอะมิโน โปรตีน กับหมู่ carbonyl ที่เป็นอิสระของน้ำตาล ทำให้เกิดสาร intermediate หลายตัว เช่น ไฮดรอกซี-เมทธิลเฟอร์ฟิวรอล (hydroxymethylfurfural : HMF), เฟอร์ฟิวรอล (furfural) และสารเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาต่อไปได้สารประกอบสีน้ำตาลพวก melanoidins (30, 31)

ข. ascorbic acid oxidation กรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซี นอกจากจะให้คุณค่าทางอาหารแล้วยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลไม้แปรรูปด้วยโดยเฉพาะการเกิดสีคล้ำในน้ำผลไม้ (32) กรดแอสคอร์บิกจะถูกทำลายได้ง่ายในระหว่างการแปรรูปผลไม้ โดยกรดแอสคอร์บิกสลายตัวได้สารประกอบพวก 2,3 diketoascorbic acid, α-keto-gulonic acid (30) ซึ่งสารเหล่านี้จะสลายตัวต่อไปได้สารที่มีความไวสูง เช่น furfural และ osone of L-xylose (33) ในสภาวะที่มีกรดอยู่ด้วย furfural จะไปรวมตัวกับอัลดีไฮด์หรือคีโตน หรือกรดอะมิโน (34) และในที่สุดจะได้สารประกอบสีน้ำตาลพวก melanoidins

ค. sugar-acid complexs เป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากการสลายตัวของน้ำตาลในสภาวะที่มีกรดทำให้เกิดสารพวก furfuraldehyde ซึ่งสารเหล่านี้จะรวมตัวกันเอง (polymerization) หรือรวมกับสารประกอบไนโตรเจนเกิดเป็นสารสารประกอบสีน้ำตาล (31, 35)

ได้มีผู้ทำการศึกษาถึงผลของชนิดของกระป๋องต่อการเปลี่ยนสีของน้ำมะม่วงเข้มข้นบรรจุกระป๋อง (canned mango nectar) โดยคณะผู้วิจัยได้บรรจุน้ำมะม่วงเข้มข้นในกระป๋อง 4 ชนิดคือ กระป๋องที่ไม่ได้เคลือบแลกเกอร์ (plain can) กระป๋องที่เคลือบแลกเกอร์ที่ก้นและฝากระป๋อง ส่วนตัวกระป๋องไม่ได้เคลือบแลกเกอร์, กระป๋องที่ตัวกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ส่วนก้นและฝากระป๋องไม่ได้เคลือบแลกเกอร์, กระป๋องที่เคลือบแลกเกอร์ทั่งทั้งกระป๋องซึ่งคณะผู้วิจัยมิได้ระบุถึงชนิดของแลกเกอร์ คณะผู้วิจัยพบว่า น้ำมะม่วงเข้มข้นที่บรรจุในกระป๋องซึ่งเคลือบแลกเกอร์ทั่งทั้งกระป๋องที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลานานกว่า 3 เดือน สีของน้ำมะม่วงเข้มข้นเปลี่ยนจากสีเหลืองออกน้ำตาลเล็กน้อย (17)

จากข้อ 2.4 จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบทางเคมีที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพโดยเฉพาะในเรื่องการเปลี่ยนสี ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลมีตัวแปรที่สำคัญ คือ กรดแอสคอร์ น้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมด (total reducing sugars) กรดอะมิโนทั้งหมด (total amino acids) และไฮดรอกซีเมทธิลเฟอร์ฟิวรอล (hydroxymethylfurfural) ซึ่งเป็นสารที่เกิดจากปฏิกิริยา non-enzymatic browning

ดังนั้นองค์ประกอบทางเคมีที่มีผลทั้งการละลายของตีบุก (ข้อ 2.3.3) และการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์สับปะรดกระป๋อง (ข้อ 2.4.1) ได้แก่ กรดแอสคอร์บิก น้ำตาลรีดิวซ์ทั้งหมด กรดอะมิโนทั้งหมด และไฮดรอกซีเมทธิลเฟอร์ฟิวรอล

2.4.2 การเปลี่ยนแปลงกลิ่นและรสชาติ

ผลไม้ที่มีสีของเนื้อผลไม้เป็นสีขาวหรือสีอ่อน เช่น สับปะรด ส้ม ฟรุตสลัด เกรฟฟรุต ผลไม้พวกนี้ควรจะบรรจุในกระป๋องที่ทำจากแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก ซึ่งปริมาณดีบุกที่ละลายในน้ำเชื่อมจะช่วยให้กลิ่นและรสชาติของสับปะรดกระป๋องดีขึ้น (11)

ได้มีผู้ทำการศึกษาถึงผลของชนิดของกระป๋องต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นและรสชาติของน้ำมะม่วงเข้มข้นบรรจุกระป๋อง (canned mango nectar) โดยคณะผู้วิจัยได้บรรจุน้ำมะม่วงเข้มข้นในกระป๋อง 4 ชนิด คือ กระป๋องที่ไม่ได้เคลือบแลกเกอร์ (plain can), กระป๋องที่เคลือบแลกเกอร์ที่ก้นและฝากระป๋อง ส่วนตัวกระป๋องไม่ได้เคลือบแลกเกอร์ กระป๋องที่เคลือบแลกเกอร์ทั่วทั้งกระป๋องและกระป๋องตัวกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ ส่วนฝาและก้นกระป๋องไม่ได้เคลือบแลกเกอร์ซึ่งคณะผู้วิจัยมิได้ระบุถึงชนิดของแลกเกอร์ คณะผู้วิจัยพบว่า น้ำมะม่วงเข้มข้นที่บรรจุในกระป๋องซึ่งเคลือบแลกเกอร์ทั่วทั้งกระป๋องที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25-30 °C) เป็นเวลานานกว่า 3 เดือน จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นแลกเกอร์ (17)

2.4.3 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส

การเปลี่ยนเนื้อสัมผัสของผลไม้กระป๋องเกิดขึ้นเนื่องจาก protopectin ซึ่งเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำเมื่อได้รับความร้อนในระหว่างการฆ่าเชื้อเปลี่ยนเป็น pectin ที่ละลายน้ำได้ ดังนั้นการฆ่าเชื้อผลไม้กระป๋องถ้าใช้เวลานานเกินไปจะทำให้เนื้อสัมผัสของผลไม้นิ่ม (36)