บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 สับปะรด

สับปะรดเป็นพืชที่ปลูกง่าย 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 พันธุ์อินทรชิต หรือพันธุ์เทพรส, พันธุ์ขาว หรือพันธุ์สิงคโปร์ และพันธุ์ปัตตาเวีย หรือพันธุ์กัลกัตตา (8) ซึ่งองค์ประกอบของสับปะรดต่อเนื้อที่รับประทาน 100 กรัม แสดงในตารางที่ 2.1 (9)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของสับปะรดต่อเนื้อที่รับประทาน 100 กรัม

องค์ประกอบ	ปริมาณ
น้ำ	85.3 %
พลังงาน	52.0 แคลอรี่
โปรตีน	0.4 กรัม
ไขมัน	0.2 กรัม
เส้นใย	0.4 %
เถ้า	0.4 กรัม
แคลเซี่ยม	17.0 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	8 มิลลิกรัม
เหล็ก	0.5 มิลลิกรัม
โซเดียม	1.0 มิลลิกรัม
โปตัสเซี่ยม	146 มิลลิกรัม
ไทอามิน	0.09 มิลลิกรัม
ไรโบเฟลวิน	0.03 มิลลิกรัม
ไนอาซิน	0.2 มิลลิกรัม
วิตามินเอ	17.0 หน่วยสากล
วิตามินซี	22 มิลลิกรัม

2.2 กระป๋องที่ใช้บรรจุอาหาร แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ (10)

2.2.1 กระป๋องเคลือบดีบุก (Plain Can)

กระป๋องเคลือบดีบุกทำจากแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก วิธีการเคลือบดีบุกมีทั้งแบบจุ่มแผ่นเหล็กลงในดีบุกที่หลอมเหลว และการเคลือบดีบุกโดยใช้ไฟฟ้า กระป๋องทั้งสองแบบมีความแตกต่างกันในเรื่องของความหนาและความสม่ำเสมอของดีบุก การเคลือบดีบุกแบบจุ่มมีความหนาของดีบุกมากกว่าการเคลือบดีบุกโดยใช้ไฟฟ้าแต่ขาดความสม่ำเสมอ ส่วนวิธีการ

ทอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เคลือบดีบุกโดยใช้ไฟฟ้ามีปริมาณดีบุกน้อยกว่าแต่มีความสม่ำเสมอดี กระป๋องเคลือบดีบุกแบบจุ่มมีความต้านทานการกัดกร่อนได้ดีกว่ากระป๋องเคลือบดีบุกโดยใช้ไฟฟ้า

2.2.2 **กระป๋องเคลือบแลกเกอร์ (Lacquered Can)**

กระป๋องเคลือบแลกเกอร์ถูกนำมาใช้ในระยะหลัง เมื่อการใช้กระป๋องเคลือบดีบุกมีปัญหา การเคลือบแลกเกอร์มักเคลือบทับแผ่นเหล็กที่เคลือบดีบุกอยู่แล้ว

2.2.3 **กระป๋องอลูมิเนียม (Aluminium Can)**

ถึงแม้วิธีการใช้แผ่นเหล็กทำภาชนะบรรจุมีความก้าวหน้ามาก แต่มีผู้สนใจที่จะทำภาชนะบรรจุจากโลหะอื่น ๆ โลหะที่ได้รับความสนใจมาก คือ อลูมิเนียม กระป๋องอลูมิเนียมที่ใช้กันอยู่มี 4 แบบ คือ แบบเปิดก้นและฝา กระป๋องขอบสูง และกระป๋องที่ผลิตโดยวิธี impact extrude process

2.2.4 **Composite Can**

เป็นภาชนะบรรจุที่ทำจากวัสดุ 2 ชนิด คือ ตัวกระป๋องทำด้วยกระดาษแข็ง ปกติเป็นกระดาษคราฟแล้วบุด้วยแผ่นอลูมิเนียม หรือกระดาษชุบเทียน หรือ parchment paper ส่วนฝาทำด้วยโลหะหรือพลาสติก

2.3 **แลกเกอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร**

2.3.1 **ส่วนประกอบของแลกเกอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (11)**

แลกเกอร์เป็นวัสดุอินทรีย์ที่ใช้เคลือบผิว ประกอบด้วย resin, drying oil, driers และ solvents

Resin แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ natural resin และ synthetic resin ในการทำแลกเกอร์ natural resin มักใช้ผสมกับ synthetic resin สำหรับ synthetic resin ได้มาจากการสังเคราะห์โดยใช้กระบวนการ polymerization ซึ่งสมบัติของ resin จะแตกต่างกันไปตามชนิดของ monomer ตัวอย่างของ synthetic resin เช่น phenolic, vinyl, epoxy, alkyd, amino, acrylic และ maleic resins

Drying oils ส่วนมากมาจากพืชเป็นของเหลวหนืด ซึ่งทำหน้าที่จับออกซิเจนจากอากาศแล้วเกิดเป็นฟิล์มของสารเคลือบที่ผิวของแผ่นเหล็ก

Driers เป็นตัวเร่งในการเปลี่ยนสารเคลือบให้แห้งเร็วกลายเป็นของแข็ง โดยจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเกี่ยวข้องในการทำฟิล์มให้แข็งตัว

Solvents เป็นของเหลวที่ช่วยทำให้การผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เป็นตัวที่ควบคุมความเข้มข้นของสารเคลือบและเป็น wetting agent ในขณะเคลือบตัวทำละลายนี้

จะไม่มีผลทางเคมีต่อสารเคลือบเลย เป็นเพียงตัวกลางในการพาสารเคลือบไปเกาะผิวโลหะและจะระเหยหมดไปเมื่อผ่านการอบ

องค์ประกอบอื่นๆ ซึ่งอาจจะผสมในแลกเกอร์หรือไม่ก็ได้ ในการผสมนี้อาจจะผสมในระหว่างผลิตแลกเกอร์หรือผสมก่อนที่จะเคลือบก็ได้ คือ

Aluminium paste เป็นตัวป้องกันการเกิด corrosion ชนิด underfilm staining

Lubricant เป็นตัวที่ใส่ลงไปในแลกเกอร์เพื่อช่วยเพิ่มการหล่อลื่นช่วยลดการขูดขีด

Release agents ใช้ผสมกับแลกเกอร์สำหรับเคลือบด้านในของกระป๋อง เพื่อลดการเกาะติดของอาหารกับกระป๋อง

Zinc oxide paste ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการเกิด sulphur staining

2.3.2 ประเภทของแลกเกอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

แลกเกอร์ คือ Resin ที่ละลายใน Solvent และเมื่อเคลือบผิวแผ่นเหล็กแล้วจะแห้งโดยการระเหยของตัวทำละลาย ชนิดของแลกเกอร์มีดังนี้ คือ (11)

1 Oleoresinous เป็นแลกเกอร์ที่ทำจาก natural gums และ resins แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1.1 "R"-enamel เป็นแลกเกอร์ที่ใช้เคลือบกระป๋องบรรจุผักและผลไม้ที่มีสีตามธรรมชาติ จำพวก anthocyanins เช่น dark coloured berries, cherries ผลไม้พวกนี้ถ้าบรรจุในกระป๋องเคลือบดีบุก ดีบุกที่ละลายออกมาจะเกิดการฟอกสี ทำให้สีของผลไม้ซีด

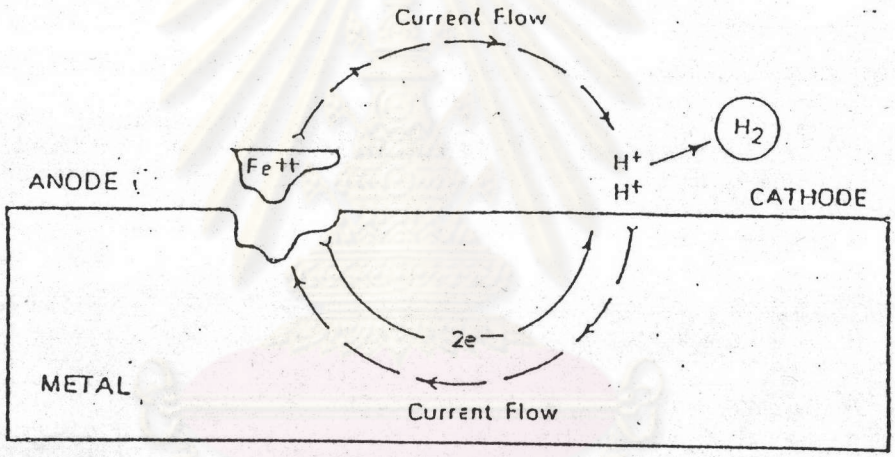
1.2 "C"-enamel เป็นแลกเกอร์ที่ประกอบด้วย zinc oxide 15 % ซึ่งสามารถป้องกัน "black sulfide" อันเกิดจาก sulfur-amino acids ของอาหารที่มีโปรตีนสูง เช่น ข้าวโพด, เนื้อสัตว์, อาหารทะเล ทำปฏิกริยากับดีบุก ได้สารประกอบสีเทาและดำขึ้นที่ผิวภายในกระป๋อง เนื่องจาก zinc oxide ที่อยู่ในแลกเกอร์จะรวมกับเหล็กหรือดีบุกได้สารประกอบไม่มีสี

2 Phenolic เป็นแลกเกอร์ที่ใช้กับอาหารทะเล, ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์, pet food แลกเกอร์ชนิดนี้ทนต่อการเปลี่ยนแปลงได้ดีกว่า oleoresinous แต่มีความยืดหยุ่นต่ำมาก และจะทำให้สีและรสชาติของอาหารเปลี่ยนแปลง

3 Epoxy เป็นแลกเกอร์ที่ทนความร้อนสูงๆ ได้ดี และมีความยืดหยุ่นสูง ไม่ทำให้เกิดรสชาติที่ผิดปกติขึ้นในอาหาร epoxy ที่นำไปผสมกับ phenolic จะทำให้มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น จึงใช้บรรจุอาหารได้หลายชนิด เช่น ปลา เนื้อ ผัก ผลไม้

4 Vinyl เป็นแลกเกอร์ที่เคลือบทับ oleoresinous หรือ phenolic โดยใช้เป็น double coating มักใช้กับอาหารที่มีความกัดกร่อนสูง แต่ไม่ทนต่อความร้อน จึงเหมาะใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 ° F

2.4 การป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กโดยตีบุก (12)



รูปที่ 2.1 Schematic corrosion of cell of iron in acid environment

เมื่อมีความต่างศักย์เกิดขึ้น อิเลคตรอนจะวิ่งจาก anode (-) ซึ่งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไปยัง cathode (+) ซึ่งเกิดปฏิกิริยารีดักชัน เนื่องจากอาหารมีความเป็นอิเลคโตรไลต์อยู่บ้างไม่มากก็น้อย ทำให้เกิดขั้นตอนในการกัดกร่อนเป็นดังนี้

ก. เมื่อโลหะต่างชนิดกันแช่อยู่ในสารละลายอิเลคโตรไลต์ ทำให้เกิดความต่างศักย์ (E_o)

ข. โลหะที่เป็น anode จะสูญเสียอิเลคตรอน อิเลคตรอนจะวิ่งไปยัง cathode รวมกับ H^+ เกิดเป็น H_2 (gas)

ค. ปฏิกิริยาเช่นนี้จะดำเนินไปเรื่อยๆ จนกระทั่งสภาวะของระบบเปลี่ยนแปลงไป เช่น ไม่มีความต่างศักย์ระหว่างโลหะทั้งสองชนิด หรือจนกระทั่งสารตั้งต้นหมดไป จะเกิดภาวะ "reversal of polarity"

ง. จากรูปที่ 2.1 เหล็กถูกออกซิไดซ์เป็น Fe^{2+} และ H^+ ถูกรีดิวซ์เป็น H_2 (gas)

จ. ในอาหารกระป๋องจะเกิด "reversal of polarity" เป็นผลให้ดีบุก (Sn) มีศักยภาพในการเป็น anode ได้ดีกว่าเหล็ก (Fe) และเมื่อเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานแล้ว Fe จะมีศักยภาพในการเป็น anode ได้ดีกว่า Sn ดังนั้น Fe จึงละลายได้ดีกว่า Sn แต่เป็นเพราะ "reversal of polarity" Sn จึงละลายได้ดีกว่า Fe ทำให้ Sn ป้องกันการละลายของ Fe ได้

โดยดีบุกจะกลายเป็น anode เกิดการสูญเสียอิเลคตรอนกลายเป็น stannous ion (Sn^{++}) และเกิด H_2 ตรงตำแหน่งที่เหล็กสัมผัสกับอาหาร (13)

2.5 การกัดกร่อนของกระป๋องเคลือบดีบุก (10)

แม้ว่ากระป๋องชนิดนี้มีพื้นที่ส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยดีบุก แต่ยังมีพื้นที่บางส่วนที่ดีบุกเคลือบไม่ติด เหลือเป็นจุดเล็กๆ อีกเป็นจำนวนมาก เมื่อนำอาหารบรรจุลงในกระป๋อง อาหารจะสัมผัสดีบุกและเหล็กที่จุดเหล่านี้ และเนื่องจากอาหารทุกชนิดมีคุณสมบัติเป็นอิเลคโตรไลต์บ้างไม่มากก็น้อย จึงเทียบได้กับการนำแผ่นเหล็กและดีบุกจุ่มลงในสารละลายอิเลคโตรไลต์ จึงเกิดมีกระแสไฟฟ้าขึ้นระหว่างโลหะทั้งสอง ในระยะแรกการกัดกร่อนของดีบุกจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโลหะทั้งสองเพิ่มขึ้นตามปริมาณของพื้นที่ผิวของเหล็กที่สัมผัสอาหาร จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งจะมีกระแสไฟฟ้าสูงสุด ต่อจากนั้นกระแสไฟฟ้าจะลดลง และในที่สุดกระแสไฟฟ้าจะเหลือน้อยมากเนื่องจากดีบุกเหลือน้อยลง จึงเกิดการกัดกร่อนเหล็กออกมาแทน ซึ่ง Mahadevish (13) ได้เสนอปฏิกิริยาการกัดกร่อนดังปฏิกริยาที่ (1) และ (2) คือ

$$Sn \text{ ------> } Sn^{2+} + 2e^- \qquad (1)$$

ซึ่ง Sn^{2+} ที่เกิดขึ้นนี้สามารถรวมตัวกับสารอื่น ๆ ที่อยู่ในอาหารเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้

$$2e^- + H^+ \text{ ------> } H_2(gas) \qquad (2)$$

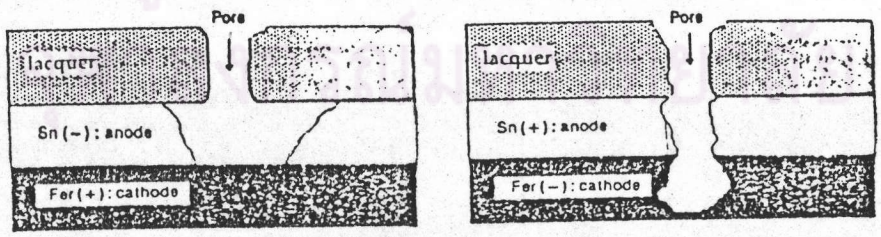
การกัดกร่อนมีผลทำให้เกิดไฮโดรเจนที่ตำแหน่งเหล็กสัมผัสกับอาหาร แต่ถ้าในกระป๋องมีออกซิเจนอยู่ด้วย การรวมตัวของไฮโดรเจนและออกซิเจนจะเกิดขึ้นทันที ดังสมการที่ (3)

$$2H_2 + O_2 \text{ ------> } 2H_2O \qquad (3)$$

มีผลให้กาซไฮโดรเจนหมดไป การกัดกร่อนของอาหารจะเร็วยิ่งขึ้น เนื่องจากเป็น aerobic detinning mechanism หลังจากออกซิเจนหมดไปแล้ว จะเกิด anaerobic detinning mechanism ปฏิกิริยาเหล่านี้ขึ้นกับอุณหภูมิที่เก็บ

2.6 การกัดกร่อนของกระป๋องเคลือบแลกเกอร์

ในกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ พื้นที่ผิวส่วนใหญ่ของดีบุกถูกป้องกันโดยแลกเกอร์แต่สามารถเกิดการกัดกร่อนของกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ได้ โดยในระยะแรกมีลักษณะคล้ายๆ กับการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นกับกระป๋องเคลือบดีบุก เพราะมีบางส่วนของแลกเกอร์หลุดออกไป หรือมีบางส่วนที่เคลือบไม่ติด ซึ่งส่วนที่แลกเกอร์และดีบุกเคลือบไม่ติดมักเป็นจุดเดียวกัน ทำให้เกิดการกัดกร่อนเฉพาะที่ (localized corrosion) จึงมีส่วนที่อาหารสัมผัสกับเหล็กและดีบุก แต่พื้นที่ของดีบุกที่สัมผัสกับอาหารมีน้อยกว่ากระป๋องแบบที่เคลือบดีบุกมาก จึงมีอัตราการสูญเสียออกซิเจนที่ช้ากว่า จึงเกิดการกัดกร่อนใต้ผิวแลกเกอร์ ดังรูปที่ 2.2(a) เมื่อดีบุกละลายออกมาหมดแล้ว จะเหลือแต่เหล็กเท่านั้นที่สัมผัสกับอาหาร การละลายของเหล็กจึงเป็นไปอย่างอิสระและรวดเร็ว และเมื่อรวมความเร็วสองขั้นตอนเข้าด้วยกันแล้ว การกัดกร่อนของกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ประเภทที่พื้นผิวเคลือบไม่ทั่วถึงและเกิดการกัดกร่อนเฉพาะที่ จึงเร็วกว่ามาก และส่งผลให้กระป๋องเกิดการรั่วแบบรูเข็ม (perforation) ดังรูปที่ 2.2(b) (14)



(a) Under film corrosion (b) perforation

รูปที่ 2.2 การกัดกร่อนของกระป๋องเคลือบแลกเกอร์

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายของดีบุกในผลไม้กระป๋อง

2.7.1 แผ่นเหล็กที่ใช้ทำกระป๋อง

2.7.1.1 ความหนาของชั้นดีบุก

อัตราการกัดกร่อนของแผ่นเหล็กเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาของชั้นดีบุกลดลง เช่น ในกระป๋องที่บรรจุน้ำมะม่วงเข้มข้น และชิ้นส้ม (13)

2.7.1.2 กรรมวิธีการผลิตแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก

มีการทดลองศึกษาผลของกรรมวิธีการผลิตแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกต่อการละลายของดีบุกของกระป๋องบรรจุน้ำมะม่วงเข้มข้นและชิ้นส้ม (13) พบว่า การเคลือบดีบุกแบบใช้ไฟฟ้ามีการละลายของดีบุกมากกว่าการเคลือบดีบุกแบบจุ่ม เนื่องจากแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกแบบจุ่มมีความหนาและความต่อเนื่อง (continuity) ของชั้น tin-iron alloy layer มากกว่าแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกแบบใช้ไฟฟ้า จึงต้านทานต่อการกัดกร่อนมากกว่า

2.7.1.3 การเคลือบแลกเกอร์ทับแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก

มีการทดลองศึกษาผลของแลกเกอร์ที่ใช้เคลือบกระป๋องต่อการละลายของดีบุกในน้ำมะม่วงเข้มข้นบรรจุกระป๋อง (15) โดยใช้กระป๋อง 4 ชนิด คือ

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

ข. กระป๋องที่ตัวกระป๋องไม่ได้เคลือบแลกเกอร์ ส่วนฝาและก้นกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ (plain body and lacquered ends)

ค. กระป๋องที่ตัวกระป๋อง, ฝา และก้นกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ (lacquered body and lacquered ends)

ง. กระป๋องที่ตัวกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ ส่วนฝาและก้นกระป๋องไม่ได้เคลือบแลกเกอร์ (lacquered body and plain ends)

พบว่า น้ำมะม่วงที่บรรจุในกระป๋องชนิด ค และ ง มีกลิ่นแลกเกอร์และมีรสขมเล็กน้อย แต่มีปริมาณดีบุกต่ำกว่ากระป๋องชนิด ก และ ข

จากการทดลองศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาชนิดของแลกเกอร์ที่เหมาะสมในการเคลือบกระป๋องสำหรับการบรรจุน้ำมะม่วง (16) พบว่า กระป๋องที่เคลือบแลกเกอร์สีขาว ที่ฝาเคลือบแลกเกอร์ vinyl ที่ตัวเคลือบแลกเกอร์ polyester ให้คุณภาพเป็นที่น่าพอใจ ยกเว้น

เรื่องสีของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นสีน้ำตาลอมเหลือง ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และกระป๋องเคลือบแลกเกอร์สีทองให้ผลิตภัณฑ์ที่มีรสขม และมีกลิ่นแลกเกอร์

2.7.2 องค์ประกอบของอาหาร

2.7.1.1 ชนิดของผลิตภัณฑ์

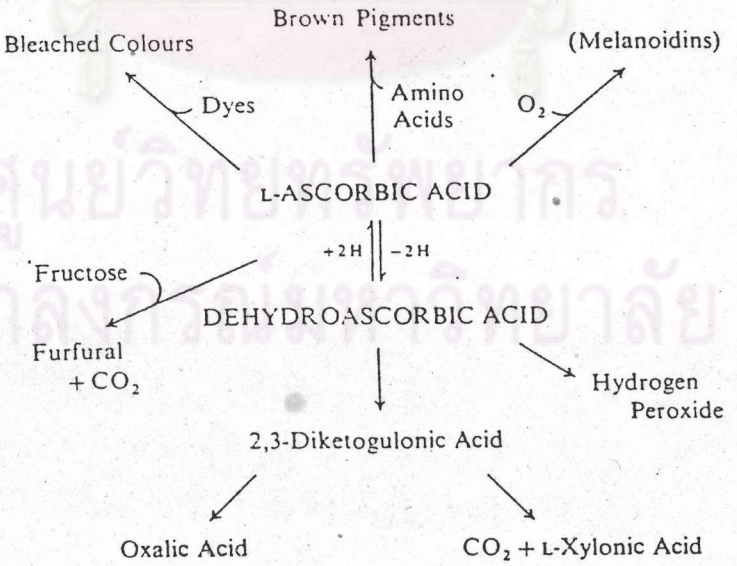
มีผู้ทดลองศึกษาการกัดกร่อนโดยใช้ผลไม้ 3 ชนิดคือ ลูกพรุน น้ำเกรพฟรุต และน้ำมะเขือเทศ บรรจุกระป๋อง (17) พบว่า การละลายของดีบุกขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่

2.7.1.2 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

เมื่อ pH เพิ่มขึ้น การละลายของดีบุกจะมีค่าลดลง เช่น ในน้ำเกรพฟรุตบรรจุกระป๋อง (18) แต่ชนิดของกรดอินทรีย์และชนิดของผลไม้ที่บรรจุกระป๋องมีผลต่อการละลายของดีบุก เนื่องจากไม่ได้ขึ้นกับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เพียงอย่างเดียว

2.7.1.3 กรดแอสคอร์บิก

กรดแอสคอร์บิกเป็นส่วนประกอบที่มีอยู่ในผลไม้และมีความสำคัญต่อคุณภาพในผลิตภัณฑ์ผลไม้กระป๋อง เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกสามารถสลายตัวเกิดปฏิกิริยา browning ดังรูปที่ 2.3 (19) ทำให้เกิดสีคล้ำและผู้บริโภคไม่ยอมรับ เช่น ในน้ำมะนาว (20) น้ำส้ม (21) และแอปเปิ้ล (22)



รูปที่ 2.3 การสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก

จากรูปที่ 2.3 กรดแอสคอร์บิกทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนให้สารสีน้ำตาลได้เร็วกว่าปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโน ในการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก ได้ dehydroascorbic acid และ diketogulonic acid ซึ่งมีความไวในการเกิดปฏิกิริยาสูง และจากการศึกษาพบว่าเมื่อกรดแอสคอร์บิกทำปฏิกิริยากับไกลซีนจะได้สารประกอบที่มีสีและกาซคาร์บอนไดออกไซด์ (19)

การสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกมีความสัมพันธ์กับการเกิดสารสีน้ำตาล ซึ่งมีการศึกษาว่าการเติมกรดแอสคอร์บิกลงไปในน้ำแอปเปิ้ล และน้ำส้มคั้น ทำให้การเกิดสารสีน้ำตาลมีมากขึ้น แต่การเติมกรดแอสคอร์บิกลงในองุ่น แอปเปิ้ล และแครนเบอร์รี ทำให้การเกิดสารสีน้ำตาลลดลง(23) แต่ไม่ได้อธิบายถึงกลไกและเหตุผลของปฏิกิริยาไว้

มีการศึกษาเพื่อลดปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาล โดยการหมัก apricot syrup เพื่อกำจัดน้ำตาลออกไป(24) และพบว่าสามารถลดปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาลได้เพียงครั้งเดียว นอกจากนี้กลุ่มผู้วิจัยได้ทดสอบว่า furfuraldehyde และอนุพันธ์เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาลใน apricot จึงสกัด apricot syrup ด้วย ethyl acetate ระหว่างการสกัดไม่มีปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาลเกิดขึ้นเลย และเมื่อหลังการสกัดสิ้นสุดลงจึงเกิดปฏิกิริยาขึ้น ในสารที่สกัดได้พบว่ามี fufuraldehyde และ hydroxy methylfurfural อยู่ด้วย และเมื่อผสมสารที่สกัดได้นี้กับ apricot syrup สามารถเร่งปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาลให้มีมากขึ้น

นอกจากนี้กรดแอสคอร์บิกยังมีผลต่อการละลายของดีบุก เช่น เมื่อเติมกรดแอสคอร์บิก 50,100 และ 150 mg/100 g ของผลไม้ ลงในมะม่วงกระป๋อง (25) พบว่าการเติมกรดแอสคอร์บิกเร่งการละลายของดีบุก แต่การเติมกรดแอสคอร์บิกในแอปเปิ้ลกระป๋อง(21) ปริมาณ 300 mg/ปอนด์ของผลไม้ช่วยลดปริมาณออกซิเจนใน headspace จึงช่วยลดการละลายของดีบุก ซึ่งเห็นได้ว่ามีความขัดแย้งในเรื่องผลของแอสคอร์บิกต่อการละลายของดีบุก ทั้งนี้อาจเนื่องจากสภาวะการทดลอง เช่น ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ใช้ หรืออุณหภูมิที่เก็บผลิตภัณฑ์ และชนิดของผลไม้แตกต่างกัน และผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก เช่น dehydroascorbic acid, diketogulonic acid และ furfural ก็เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการกัดกร่อน เช่น ในมะม่วงกระป๋อง (25) และ tomato paste (26) พบว่าการเติมสารที่ได้จากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกลงไป สามารถเร่งให้เกิดการละลายของดีบุกมากขึ้น

นอกจากนี้อนุพันธ์ของกรดแอสคอร์บิก เช่น โซเดียมอิริธอร์เบท เป็นสารที่ทำหน้าที่เหมือนกรดแอสคอร์บิก โดยในสภาวะที่เป็นกรดจะมีเสถียรภาพดีกว่าเมื่อเป็นกลาง และสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยา browning ได้ เช่น ในแอปเปิ้ลกระป๋อง (22) เนื่องจากในกระป๋องที่เคลือบแลกเกอร์มีปัญหาในเรื่องสีของผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำมะม่วงบรรจุกระป๋อง(15,16) มีสีเข้มจากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก

2.7.2.4 องค์ประกอบอื่นๆ

มีผู้ทดลองศึกษาผลขององค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงต่อการละลายของดีบุกโดยใช้ ion exchange resins แยกองค์ประกอบทางเคมีออกเป็น fraction พบว่า fraction ที่เป็นน้ำตาลจะเร่งการกัดกร่อนถ้ามีกรดอินทรีย์อยู่ด้วย ส่วน fraction ที่เป็นกรดอะมิโนไม่ได้เร่งให้เกิดการกัดกร่อน (27)

2.7.3 ผลของตัวแปรในกระบวนการผลิต

2.7.3.1 ผลของ headspace และความเป็นสุญญากาศของกระป๋อง ออกซิเจนบางส่วนที่เหลืออยู่ในบริเวณ headspace และละลายอยู่ในส่วนของเหลวของผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องจะทำหน้าที่เป็น depolarising agent (28) ซึ่งทำปฏิกิริยากับดีบุกที่เคลือบผิวของกระป๋อง ทำให้เกิด stannous ions หลังจากออกซิเจนหมดไปแล้ว จะเกิด anaerobic detinning mechanism ปฏิกิริยานี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้เก็บอาหารกระป๋อง

จากการศึกษาผลของความสูงของ headspace และความเป็นสุญญากาศของกระป๋องต่อการละลายของดีบุกในซอสแอปเปิ้ลบรรจุกระป๋อง (29) พบว่า เมื่อความเป็นสุญญากาศของกระป๋องเพิ่มขึ้น และความสูงของ headspace ลดลง ทำให้การละลายของดีบุกลดลงด้วย

2.7.3.2 เวลาและอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อ

จากการศึกษาผลของเวลาและอุณหภูมิในกระบวนการฆ่าเชื้อต่อการละลายของดีบุกในสับปะรดกระป๋อง พบว่า ไม่มีผลต่อการละลายของดีบุกและคุณภาพของสับปะรดกระป๋อง (30)

2.7.3.3 วิธีลดอุณหภูมิของอาหารกระป๋องหลังฆ่าเชื้อ

มีผู้ทดลองศึกษาผลของวิธี cooling ต่อการละลายของดีบุกใน tomato paste บรรจุกระป๋อง (26) โดยใช้น้ำเย็น, ลมเย็น และน้ำเย็นร่วมกับลมเย็น พบว่าการ cooling โดยใช้น้ำเย็น ทำให้เกิดการละลายของดีบุกน้อยที่สุด เพราะสามารถถ่ายเทความร้อนที่สะสมอยู่ภายในกระป๋องได้เร็วที่สุด

2.7.4 เวลาและอุณหภูมิที่เก็บ

เมื่อเวลาและอุณหภูมิที่เก็บเพิ่มขึ้น การละลายของดีบุกจะเพิ่มขึ้น เช่น น้ำเกรพฟรุตกระป๋อง (28) สับปะรดกระป๋อง (30) เป็นต้น

2.7.5 ปัจจัยอื่น ๆ

2.7.5.1 สารเร่งปฏิกิริยาการกัดกร่อน (corrosion accelerator)

มีการทดลองศึกษาผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนเตรทต่อการละลายของดีบุกในน้ำเกรพฟรุตบรรจุกระป๋อง (31) พบว่า เมื่อความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนเตรทเพิ่มขึ้น การละลายของดีบุกเพิ่มขึ้นด้วย

2.7.5.2 สารยับยั้งปฏิกิริยาการกัดกร่อน (corrosion inhibitor)

สารคอลลอยด์หลายชนิด เช่น เจลาติน เปคติน มีสมบัติในการลดอัตราการกัดกร่อนของแผ่นโลหะ (11) มีการทดลองศึกษาผลของ thickening agents ชนิดต่างๆ ต่อการกัดกร่อนของน้ำมะม่วงบรรจุกระป๋อง พบว่า thickening agent ที่เหมาะสมกับน้ำมะม่วงเพื่อการลดการกัดกร่อนคือ carboxymethyl cellulose และเจลาติน และการที่สารคอลลอยด์เหล่านี้ช่วยลดการกัดกร่อนได้ เนื่องจากสารเหล่านี้ทำให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ion ต่างๆ จึงเคลื่อนที่ได้ช้า และทำให้การเกิดปฏิกิริยาช้าลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018469