บทที่ 2

การทบทวนเอกสารงานวิจัย

ทุเรียนและวัสดุเหลือทิ้งจากทุเรียน (Durian and durian wastes)

ทุเรียน (Durian) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Durio zibethinus* เป็นผลไม้เขตร้อนที่มีต้นกำเนิดอยู่ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นผลไม้ที่มีคุณค่าสูงและเป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภคของคนเอเชียจนได้รับการขนานนามว่าเป็น "ราชาแห่งผลไม้ (King of the fruit)" เนื่องจากมีกลิ่นและรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ และเป็นผลไม้จำพวก climacteric fruit ในตระกูล Bombacaceae ที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะอากาศร้อนชื้นในเขตเส้นศูนย์สูตร ดังนั้นทุเรียนเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่ปลูกกันมากในประเทศไทยเช่นกัน ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตรายใหญ่ของโลก (ปี 2546-2552) เฉลี่ยปีละ 700,129 ตัน (ตารางที่ 1) แหล่งผลิตที่สำคัญจะเป็นภาคตะวันออกได้แก่ จันทบุรี ระยอง และตราด ภาคใต้ได้แก่ ชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช และเป็นผลไม้ส่งออกมูลค่าสูงประเภทหนึ่ง ทั้งในรูปของทุเรียนสดแช่เย็น และผลิตภัณฑ์แปรรูป (ตารางที่ 2) ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี

ทุเรียนมีรูปร่างค่อนข้างกลมและมีน้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 2.0-4.5 กิโลกรัมขึ้นกับชนิดของทุเรียน โดยถูกห่อหุ้มด้วยเปลือกที่มีหนามแหลมที่ยากแก่การปอก แต่มีส่วนเนื้อประมาณร้อยละ 30 เท่านั้นที่เป็นส่วนที่รับประทานได้ ส่วนที่เหลือเป็นเม็ดและเปลือกจะถูกทิ้งเป็นของเสีย (wastes) (Amiza et al., 2007) อุตสาหกรรมการแปรรูปทุเรียนจะก่อให้เกิดของเสียทั้งเปลือกทุเรียนและเม็ดทุเรียนจำนวนมาก สำหรับปริมาณเม็ดทุเรียนมีมากถึงร้อยละ 20-25 โดยน้ำหนัก ถึงแม้ว่าเมื่อเทียบกับเปลือกทุเรียนแล้ว เม็ดทุเรียนจะเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีปริมาณน้อยกว่ามาก แต่เมื่อทิศทางของการนำทรัพยากรกลับมาใช้ใหม่ (resource recovery) เป็นที่สนใจกันอย่างมากในปัจจุบัน การนำเม็ดทุเรียนมาใช้ประโยชน์จึงเป็นสิ่งที่ควรพิจารณามากกว่าการกำจัดทิ้งเป็นขยะ แต่ในทางปฏิบัติกลับไม่มีการใช้ประโยชน์จากเม็ดทุเรียนเลย ทั้งที่มีรายงานการวิจัยว่าเม็ดทุเรียนมีคุณค่าทางโภชนะสูงและมีปริมาณเยื่อใยสูง และแป้งจากเม็ดทุเรียน (durian seed flour) สามารถใช้ผสมในอาหารหลายชนิด เช่น เค้ก คุ้กกี้ ซุป เป็นต้น โดยใช้แทนที่แป้งสาลีหรือใช้เป็น thickening agent (Amiza et al., 2004) ได้ ดังนั้นการเพิ่มมูลค่าของเม็ดทุเรียนนอกจากจะเป็นการลดการสะสมของปริมาณขยะ ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะ ยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตทุเรียนแปรรูปด้วย อย่างไรก็ตามจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพัฒนากระบวนการที่จะสามารถใช้ประโยชน์จากจากเม็ดทุเรียนโดยไม่จำเป็นต้องผ่านขั้นตอนที่ยุ่งยากมากหรือผ่านการทำให้บริสุทธิ์ (purification) สูง เพื่อลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำ จนทำให้มีความเป็นไปได้เพิ่มขึ้นในการพัฒนาสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ได้

ตารางที่1 สถิติการผลิตทุเรียนของไทยในปี 2546 - 2552

ปี	ปริมาณ (ตัน)
2546	736,651
2547	829,197
2548	649,789
2549	569,057
2550	752,965
2551*	679,142
2552*	684,104

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

ตารางที่ 2 สถิติปริมาณและมูลค่าการส่งออกทุเรียนสดแช่เย็น แช่แข็ง และผลิตภัณฑ์แปรรูป ปริมาณ : ตัน มูลค่า: ล้านบาท

ประเภท	2550		2551		2552(ม.ค.-มิ.ย)		อัตราการเปลี่ยนแปลง(%)			
							D51/50		D52/51 (มค.-มิ.ย.)	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
ทุเรียนสดแช่เย็น	157,407	2,567	203,127	3,132	156,612	2,463	29	22	16	23
ทุเรียนสดแช่แข็ง	12,909	421	16,311	417	8,911	198	26	-1	12	2
แปรรูปอบแห้ง	682	77	524	123	165	56	-23	60	6	5.3
แปรรูปกวน	9,223	415	2,598	153	1,411	82	-72	-63	16	31
รวม	180,221	3,480	222,559	3,824	167,099	2,799	23	10	16	21

ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์

ฟิล์มที่บริโภคได้ (Edible films)

ฟิล์มที่บริโภคได้จัดเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ประเภทหนึ่ง โดยทั่วไปการประยุกต์ใช้ฟิล์มที่บริโภคได้มีอยู่ 2 แบบ คือใช้ทดแทนบรรจุภัณฑ์พลาสติกสำหรับอาหาร และใช้เป็นฟิล์มหรือสารเคลือบห่อหุ้มอาหาร โดยมีข้อดี คือ 1) เป็นสารที่บริโภคได้ 2) โดยมากมักมีราคาต่ำ 3) ลดปริมาณของเสียจากขยะบรรจุภัณฑ์ 4) ช่วยปรับปรุงสมบัติทางกล และทางโภชนะของอาหารให้ดีขึ้น 5) ปกป้องอาหารทั้งหมดหรือสัดส่วนเล็ก ๆ ของอาหารจากการสัมผัสโดยตรงกับสิ่งแวดล้อม และ 6) สามารถใช้งานกับอาหารที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียว (heterogeneous food) โดยทำหน้าที่เป็นตัวกีดกัน (barrier) ระหว่างองค์ประกอบในอาหาร (Guilbert, 1986) นอกจากนั้นฟิล์มที่บริโภคได้ยัง

สามารถบรรจุสารเติมแต่งทางอาหาร เช่น สารต้านการเกิดออกซิเดชันของลิปิดสารต้านจุลินทรีย์และสารแต่งกลิ่นรส ทำหน้าที่เป็นตัวกีดกันที่จำเพาะ (selective barrier) เพื่อป้องการการเคลื่อนย้ายของไอแก๊สและตัวถูกละลายภายในของอาหารที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และยังสามารถบริโภคบรรจุภัณฑ์พร้อมอาหารได้ด้วย (Cherian et al., 1995)

การเตรียมฟิล์มที่บริโภคได้ต้องการองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ชนิดคือ สารพอลิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบหลักในการเกิดฟิล์ม ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของฟิล์ม (structural support) ซึ่งอาจเป็นลิปิด พอลิแซคคาไรด์ โปรตีน หรือองค์ประกอบผสมของพอลิเมอร์เหล่านี้ก็ได้ ส่วนอีกองค์ประกอบคือ พลาสติไซเซอร์ (plasticizer) ซึ่งเป็นสารประกอบพวกพอลิออล (polyol) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ช่วยลดความเปราะและเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์ม เนื่องจากพลาสติไซเซอร์จะไปลดแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของโซ่พอลิเมอร์ ซึ่งพลาสติไซเซอร์จะต้องรวมเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์ และจะต้องละลายได้ในตัวทำละลายเดียวกัน (Banker, 1966) สูตรในการเตรียมฟิล์มมีอิทธิพลโดยตรงต่อธรรมชาติและสมบัติของฟิล์ม (Krester and Fennema, 1986) โดยที่รูปร่าง (shape) ของโมเลกุลพอลิเมอร์เป็นตัวกำหนดการยึดเหนี่ยวหรือไขว้กัน (interlace) ของชิ้นส่วนโมเลกุล (molecular segments) และสมบัติทางกายภาพของฟิล์ม ในขณะที่ลำดับของโซ่ (chain order) จะมีอิทธิพลต่อความไม่ยืดหยุ่น (rigidity) ความกระด้าง (toughness) การแพร่ผ่าน (permeability) ความยืดหยุ่น (flexibility) และความเปราะ (brittleness) ของฟิล์ม

ฟิล์มที่เตรียมมาจากแป้งและอนุพันธ์ของแป้ง (starch derivative) มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถขึ้นรูปได้ดี และมีสมบัติทั้งการกีดกันออกซิเจนสูงและสมบัติทางกลที่ดี (Lawton, 1996; Lee and Rhim, 2000; Mali et al., 2002) สำหรับสมบัติของแป้งเม็ดทุเรียนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอะไมโลส (amylase) และอะไมโลเพคติน (amylopectin) ขนาดและโครงสร้างของโมเลกุล สมบัติของเม็ดแป้ง และองค์ประกอบอื่นที่ยึดเหนี่ยวอยู่กับเม็ดแป้ง เช่น ไลปิดและโปรตีน (Zhang et al., 2005)

การแปรรูปโดยการทอดน้ำมัน (Deep-fat frying)

การทอดน้ำมันเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารโดยอาศัยการถ่ายเทความร้อนจากน้ำมันที่ล้อมรอบไปที่อาหาร และถ่ายโอนน้ำในรูปของไอน้ำจากอาหารไปที่น้ำมัน ส่งผลกระทบต่อการถ่ายโอนความร้อนและมวล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเชื่อม (seal) พื้นผิวของอาหารโดยการจุ่มชิ้นอาหารลงไปในน้ำมันร้อน ทำให้ทั้งกลิ่นรสและน้ำในอาหาร (juice) จะยังคงอยู่ด้านในของชิ้นอาหาร อุณหภูมิสูงจะก่อให้เกิดการระเหยบางส่วนของน้ำ เคลื่อนที่ออกจากชิ้นอาหารไปที่น้ำมันที่อยู่ล้อมรอบ (Khalil, 1999; Moyano et al., 2002) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคทั้งในส่วนของพื้นผิวและตัวผลิตภัณฑ์ การถ่ายโอนความร้อนจากน้ำมันเข้าสู่อาหารทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ การเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ช การเสียสภาพของโปรตีน การระเหยของน้ำ มีความกรอบของผิวหน้าชิ้นอาหาร และเกิดการเปลี่ยนแปลงสี (Mallikarjunan et al., 1997; Rimac-Brncic et al., 2004; Taiwo and Baik, 2007) ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยหลายชนิดร่วมกันจาก

ปฏิกิริยาเคมีแบบหลายอันดับ (multiple-order chemical reaction) (Singh, 1995) ในขณะที่การถ่ายโอนมวลเกิดขึ้นจากการสูญเสียน้ำจากอาหารเนื่องจากการระเหยน้ำและการเคลื่อนที่ของน้ำมันไปที่อาหาร (Dobraszczk et al., 2006)

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดจะมีเนื้ออาหารด้านในที่อ่อนนุ่มและชุ่มชื้น (soft and moist) ในขณะที่มีผิวด้านนอกที่มีความพรุนและกรอบ จึงเป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภค (Akdeniz et al., 2006; Mallikarjunan et al., 1997; Mellema, 2003) แต่ในปัจจุบันผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพหันมาให้ความสนใจกับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันต่ำเพิ่มขึ้น ทำให้อาหารทอดน้ำมันไม่เป็นที่นิยมมากนัก จึงมีความต้องการของผู้บริโภคให้ลดการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการทอด เนื่องจากผู้บริโภคเชื่อว่าการได้รับไขมัน/น้ำมันมากเกินไปเป็นสาเหตุของการมีคอเรสเตอรอลสูงในเลือด ความดันโลหิตสูง และโรคหัวใจ โดยทั่วไปมีปัจจัยหลายประการที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับของน้ำมัน ได้แก่ วิธีการทอด คุณภาพของน้ำมัน อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์และน้ำมัน ระยะเวลาที่ใช้ทอด (Fan and Arce, 1986) ปริมาณความชื้นเริ่มต้น รูปร่าง ปริมาณ และความพรุนของผลิตภัณฑ์ (Pinthus et al., 1995b) การเคลือบ (Khalil, 1999) ความแข็งแรงของการเกิดเจล (Pinthus and Saguy, 1994) เป็นต้น

เมื่อไม่นานมางานวิจัยมุ่งเน้นเพื่อที่จะหาวิธีที่เหมาะสมในการลดการดูดซับไขมัน/น้ำมันของอาหารทอด วิธีการหนึ่งได้รับความสนใจอย่างมากคือ การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) เพื่อลดการดูดซับน้ำมันของอาหารทอด เนื่องจากเป็นวิธีการง่ายและไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่ออกแบบเป็นพิเศษ หลักการสำคัญของการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์เพื่อลดการดูดซับน้ำมันของอาหารทอดเกี่ยวข้องกับความสามารถในการแทรกผ่านน้ำมัน (oil permeability) ซึ่งขึ้นกับการละลายได้ของน้ำมันในฟิล์ม การแพร่ของน้ำมัน/ไขมัน (the diffusibility of oil/fat) และความหนาของฟิล์ม โดยอาศัยวิธีการเคลือบง่าย ๆ ซึ่งอาจเป็นการชุบ สเปรย์ หรือขึ้นรูป (casting) ก็ได้ มีรายงานว่าฟิล์มที่บริโภคได้สามารถใช้เป็นตัวกีดกั้น (barrier) การนำเข้าน้ำมันในระหว่างกระบวนการทอด วัตถุดิบที่นำมาทำสารเคลือบผิวมาได้จากหลายแหล่ง ทั้งโปรตีน อนุพันธ์ของเซลลูโลส อัลจิเนต เพคติน แป้งและพอลิแซคคาไรด์อื่น ๆ (Salvador et al., 2005; Mellema, 2003; Albert and Mittal, 2002; Khalil, 1999; Mallikarjunan et al, 1997) อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานการใช้ฟิล์มแป้งเม็ดทุเรียนสำหรับลดการดูดซับน้ำมันในอาหารทอด แต่พบว่าแป้งเม็ดทุเรียนสามารถใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการเตรียมฟิล์มให้สมบัติที่ดี (Pimpa and Pimpa; 2011a,b) จึงอาจมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถประยุกต์ใช้ในวัตถุประสงค์ดังกล่าวได้

อาหารเสริมแคลเซียม (Calcium fortified food)

อาหารเพื่อสุขภาพ (functional food) หมายถึงอาหารที่มีองค์ประกอบที่เสริมสุขภาพเพิ่มเติมจากที่มีอยู่เดิม (Mazza, 1998) รวมถึงอาหารที่มีการเสริมสารที่มีประโยชน์ (physiological active compounds; PAC) ทั้งต่อการคงอยู่ของสุขภาพและการป้องกันโรค ในอาหารเสริมสุขภาพทั้งหมด การเสริมแคลเซียมในอาหารเป็นชนิด

หนึ่งที่ได้รับความนิยม ทั้งนี้เนื่องจากแคลเซียมเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อมนุษย์ในทุกช่วงอายุ แคลเซียมเป็นแร่ธาตุชนิดหนึ่งที่มีปริมาณมากในร่างกาย โดยมีความสำคัญต่อการพัฒนาและดำรงอยู่ (maintenance) ของกระดูกและฟันที่แข็งแรง และจำเป็นต่อกระบวนการในร่างกาย ได้แก่ การแข็งตัวของเลือด การทำงานของระบบประสาท การหดตัวของกล้ามเนื้อ ถ้าเซลระบบประสาทและกล้ามเนื้อไม่ได้รับแคลเซียมอย่างพอเพียง มันจะไปดึงมาจากกระดูก ถ้าเกิดขึ้นเป็นเวลานาน จะทำให้กระดูกผุกร่อนเป็นสาเหตุของโรคกระดูกพรุน (osteoporosis) ซึ่งผู้ป่วยจะมีการสูญเสียมวลกระดูก ทำให้อาจเกิดการแตกหักได้ง่ายเนื่องจากกระดูกบางและอ่อนแอ โดยทั่วไปแล้วความหนาแน่นของกระดูกจะลดลงเมื่ออายุมากขึ้นและจะลดลงอย่างรวดเร็วในสตรีในระยะวัยหมดประจำเดือน (menopause) ปริมาณแคลเซียมที่ควรได้รับในแต่ละสำหรับผู้ใหญ่ปกติคือ 1,000 มิลลิกรัม และควรได้รับเพิ่มขึ้นในวัยรุ่น สตรีมีครรภ์หรือให้นมบุตร ผู้หญิงหลังหมดประจำเดือน และผู้ชายอายุมากกว่า 65 ปี (Brett and Waldron, 1990)

ปัจจุบันความสำคัญของอาหารเสริมแคลเซียมได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น เนื่องจากพบว่าในสถาณการณ์ปัจจุบันมีประชากรของโลกบางส่วนโดยเฉพาะในประเทศอุตสาหกรรมได้รับแคลเซียมไม่เพียงพอ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาทางโภชนาการ เนื่องจากในธรรมชาติมีอาหารที่เป็นแหล่งของแคลเซียมที่ดีไม่มากนักถ้าไม่นับรวมผลิตภัณฑ์นมเนย จึงทำให้เกิดการได้รับแคลเซียมไม่เพียงพอในอาหารที่รับประทาน ก่อให้เกิดกระแสของความต้องการอาหารเพื่อสุขภาพเสริมแคลเซียมเพิ่มขึ้นอย่างมาก (Singh et al., 2006) อย่างไรก็ตามวิธีการเสริมแคลเซียมในอาหารควรเป็นวิธีการที่ง่าย ปลอดภัยและมีค่าใช้จ่ายไม่แพงนัก และไม่ทำให้เกิดการสูญเสียสมบัติที่ดีของอาหาร

เทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้สำหรับเตรียมอาหารเพื่อสุขภาพมีหลายแบบ แต่แบบหนึ่งที่ได้รับความนิยมคือ กระบวนการแช่ในสภาวะสุญญากาศ (vacuum impregnation) โดยเฉพาะกับอาหารที่มีลักษณะที่มีความพรุน (porous food matrices) ในสารละลายที่มีสาร PAC ในปริมาณที่มากพอ จะเกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างแก๊สภายในรูพรุนกับองค์ประกอบในสารละลายที่ล้อมรอบมันอยู่ (Fito and Chiralt, 2000) กระบวนการนี้จึงเป็นที่ได้รับความนิยมเนื่องจากไม่ทำให้เกิดความเสียหายขององค์ประกอบเริ่มต้นของอาหาร (initial food matrix) (Fito et al., 2001a) และไม่เกิดการเสียหายของโครงสร้างของเซล (Fito et al., 2001a; Gras et al., 2003; Betoret et al., 2005; Barrera et al., 2004; Alzamora et al., 2005; Anino et al., 2006; Barrera et al., 20094 จึงเป็นเทคนิคที่มีความสำคัญที่นำมาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาผลไม้หรือผักแปรรูปที่ PAC สามารถเข้าไปอยู่ภายในเนื้อเยื่อของพืชได้ ซึ่งสามารถนำมาทำให้แห้งเพื่อให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้นโดยผ่านกระบวนการอบแห้งต่อไปได้ (Fito et al., 2001b)

นอกจากนั้นยังสามารถประยุกต์ใช้ได้กับทั้งการเตรียมผลิตภัณฑ์ในรูปของผลไม้ตัดแต่ง (minimall processed fresh fruits เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาด้วย ปัญหาอย่างหนึ่งที่สำคัญของผลไม้ตกแต่งที่เป็นข้อจำกัดของอายุการเก็บรักษาคือการอ่อนนิ่มของเนื้อเยื่อที่เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงคุณภาพของมันซึ่งเป็นผลมาจากเอ็นไซม์ (Varoquaux et al., 1990) และการสูญเสียน้ำ แคลเซียมจะช่วยเพิ่มความความแข็งแกร่งของเซล

เนื่องมาจากความสามารถของมันที่เกิดพันธะกับ mid lamella pectate (Rolle and Chism, 1987) จึงทำให้ความแน่นเนื้อของผลไม้ตัดแต่งดีขึ้น และมีอัตราการหายใจจะลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการเพิ่มขึ้นของความแข็งแกร่งของเมมเบรนที่ไปขัดขวางการแลกเปลี่ยนของแก๊ส (Saftner et al., 1999; Serrano et al., 2004) จึงชะลอการเกิด senescence (Lester, 1996) หรือการยับยั้งการถ่ายโอนของปริมาณ active water (Kinoshita et al., 1995)