บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สตรอเบอรี (Strawberry)

ภาพ 2.1 สตรอเบอรี (*Fragaria ananassa*)
ที่มา : Jegtvig (2007)

สตรอเบอรี (*Fragaria ananassa*) (ภาพ 2.1) จัดเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคเหนือของไทย พื้นที่ปลูกสตรอเบอรีส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และในพื้นที่บางจังหวัดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น จังหวัดเลย และเพชรบูรณ์ ในปัจจุบันสตรอเบอรีจัดเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดใหม่ เนื่องจากมีความต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศ เพราะเป็นผลไม้ที่มีรสชาติอร่อย และเป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไป

พื้นที่เพาะปลูกสตรอเบอรีของประเทศไทยได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 เป็นต้นมา เนื่องจากการขยายตัวทางการตลาด ทั้งภายในและภายนอกประเทศโดยเฉพาะด้านการนำมาแปรรูป พื้นที่การผลิตส่วนใหญ่จะอยู่ในท้องที่จังหวัดเชียงใหม่ และเชียงราย เพราะมีอากาศเย็น สตรอเบอรีสามารถให้ผลผลิตได้ในระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม พื้นที่การผลิตทั้งประเทศประมาณ 2,600-3,000 ไร่ต่อปี ในจังหวัดเชียงใหม่ สามารถแบ่งพื้นที่ปลูกออกเป็นอำเภอต่างๆ ได้แก่ อำเภอฝาง แม่ริม สะเมิง จอมทอง (บนดอยอินทนนท์) และพื้นที่รอบๆ ตัวเมือง ผลผลิตส่วนใหญ่ที่ปลูกในพื้นที่อำเภอแม่ริม ดอยอินทนนท์ และพื้นที่รอบๆ เมืองเชียงใหม่จะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทำการจำหน่ายเป็นผลรับประทานสดแก่นักท่องเที่ยว และขนส่งเข้าสู่ตลาดในกรุงเทพมหานครเป็นหลัก ส่วนผลผลิตที่อำเภอสะเมิงและอำเภอฝางจะส่งจำหน่ายให้แก่โรงงานใกล้เคียง เพื่อทำการแปรรูป สำหรับพื้นที่เพาะปลูกสตรอเบอรีในจังหวัดเชียงรายอยู่ที่อำเภอแม่สาย และอาจมีกระจายอยู่ทั่วไปในบริเวณใกล้เคียง ผลผลิตส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 60 จะส่งเข้ากรุงเทพมหานครเพื่อจำหน่ายเป็นผลรับประทานสด ร้อยละ 20 จะส่งเข้าโรงงานเพื่อแปรรูป และเกษตรกรจะจำหน่ายเองให้กับนักท่องเที่ยวอีกร้อยละ 20 นอกจากจังหวัดเชียงใหม่และเชียงรายจะเป็นพื้นที่เพาะปลูกสตรอเบอรีหลักของประเทศแล้ว สตรอเบอรียังถูกปลูกโดยทั่วไปบนที่สูงในหลายจังหวัดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ และอำเภอภูเรือ จังหวัดเลย เทือกเขาในอำเภอทองผาภูมิ และอำเภอสังขละบุรี จังหวัดกาญจนบุรี เป็นต้น พื้นที่เหล่านี้คาดว่าจะเป็นแหล่งผลิตที่สำคัญต่อไปในอนาคต พันธุ์สตรอเบอรีที่นิยมปลูกเป็นการค้า ได้แก่ พันธุ์พระราชทาน 16 20 50 และ 70 นอกจากนี้ยังมีพันธุ์ 329 Nyoho Dover และ Selva (ณรงค์ชัย, 2544)

ในปัจจุบันพบว่าสตรอเบอรีเป็นผลไม้ที่ยังมีความต้องการของตลาดทั้งภายใน และต่างประเทศ ทั้งนี้ผลผลิตของสตรอเบอรีในประเทศไทยเริ่มมีการส่งออกจำหน่ายไปยังต่างประเทศ เช่น ประเทศมาเลเซีย สิงคโปร์ (เชียงใหม่นิวส์, 2552) แต่เนื่องจากสตรอเบอรีเป็นผลไม้ที่มีเฉพาะฤดูกาลและเน่าเสียง่าย (Siro *et al*., 2006) จึงต้องมีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

2.1.1 ประโยชน์ของสตรอเบอรี

สตรอเบอรีนอกจากเป็นผลไม้ที่รับประทานเพื่อความอร่อยแล้ว ยังเป็นผลไม้ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายสูง เนื่องจากผลสตรอเบอรีอุดมด้วยวิตามินซีและแร่ธาตุต่างๆ มากมาย ข้อมูลทางโภชนาการของผลสตรอเบอรีสด แสดงในตาราง 2.1 นอกจากนี้ยังมีผู้วิจัยศึกษาถึงองค์ประกอบหรือสารสกัดในผลสตรอเบอรี พบว่าเป็นผลไม้ที่มีวิตามินซีสูง และมีสารต้านออกซิเดชันที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (Leong and Shui, 2002; Sun *et al*., 2002; Hannum, 2004; Aaby *et al*., 2005; Halvorsen *et al*., 2006; Seeram *et al*., 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 ข้อมูลทางโภชนาการของผลสตรอเบอรีสด

ส่วนประกอบ	หน่วย	ปริมาณ/100 g สตรอเบอรีสด
Macronutrients		
water	g	90.95
calories	kcal	32.24
protein	g	0.067
carbohydrates	g	7.68
fiber	g	1.97
sugar	g	4.66
total fat	g	0.30
saturated fat	g	0.002
monounsaturated fat	mg	0.04
polyunsaturated fat	mg	0. 16
cholesterol	mg	0
Micronutrients		
calcium	mg	15.79
iron	mg	0.42
magnesium	mg	13.16
phosphorus	mg	23.68
potassium	mg	153.29
sodium	mg	1.32
zinc	mg	0.14
vitamin C	mg	58.82
thiamin	mg	0.02
riboflavin	mg	0.02
niacin	mg	0.39
pantothenic acid	mg	0.13
vitamin B6	mg	0.05
vitamin B12	µg	0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 (ต่อ)

ส่วนประกอบ	หน่วย	ปริมาณ/100 g สตรอเบอรีสด
folate	µg	23.68
vitamin A	IU	11.84
vitamin E	mg	0.29
vitamin K	µg	2.17
Phytonutrients		
beta carotene	µg	7.24
beta cryptoxanthin	µg	0
lycopene	µg	0
lutein and zeaxanthin	µg	26.32

ที่มา: Jegtvig (2007)

2.2 ลำไย (Longan)

ภาพ 2.2 ลำไย (*Euphoria longana* Lam.)
ที่มา: สถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2550)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลำไย (ภาพ 2.2) เป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญในภาคเหนือ ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Euphoria longana* Lam. พันธุ์ลำไยที่นิยมปลูกมาก คือ พันธุ์อีดอ พันธุ์สีชมพู พันธุ์เบี้ยวเขียว และพันธุ์แห้ว โดยเฉพาะพันธุ์อีดอจะเป็นพันธุ์ที่ชาวสวนนิยมปลูกมากที่สุด เพราะออกดอกและเก็บ

เกี่ยวผลได้ก่อนพันธุ์อื่น ทำให้ได้ราคาดี เป็นพันธุ์ที่ต่างประเทศนิยม และเหมาะสำหรับแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น อบแห้ง แช่แข็ง แช่อิ่ม และลำไยกระป๋อง (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542)

2.2.1 คุณค่าทางโภชนาการของลำไย

ลำไย เป็นผลไม้ที่มีประโยชน์มากมาย พบว่าเป็นแหล่งของวิตามินเอ และวิตามินซี นอกจากนี้จะมีแร่ธาตุหลายชนิด ข้อมูลทางโภชนาการของเนื้อลำไยสด และเนื้อลำไยอบแห้งแสดงในตาราง 2.2 จะเห็นว่าส่วนประกอบทางเคมีที่มีปริมาณมากในลำไย คือ คาร์โบไฮเดรตซึ่งอยู่ในรูปของน้ำตาลชนิดต่างๆ ดังนั้นจึงทำให้ลำไยมีรสหวานจัด นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาส่วนประกอบต่างๆ ของลำไย เช่น เนื้อลำไยสด ลำไยอบแห้ง เมล็ดลำไย และพบว่าส่วนประกอบต่างๆ เหล่านั้นมีสารประกอบฟีนอลที่ช่วยต้านการเกิดออกซิเดชัน (สุทัศน์ และคณะ, 2550; Soong and Barlow, 2004; Rangkadilok *et al*., 2007)

2.2.2 อุตสาหกรรมการแปรรูปลำไย และสภาวะการตลาด

ปริมาณผลผลิตลำไยในแต่ละปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และล้นตลาด เนื่องจากเกษตรกรได้เพิ่มพื้นที่ในการเพาะปลูก ส่งผลให้ราคาลำไยตกต่ำ และทำให้เกษตรกรผู้ปลูกขาดทุนมากขึ้น ดังแสดงในตาราง 2.3 จะเห็นได้ว่าแม้ผลผลิตลำไยของเกษตรกรจะเพิ่มมากขึ้น แต่ผลตอบแทนต่อไร่ขาดทุน ทั้งนี้เนื่องจากลำไยล้นตลาด ส่งผลให้ราคาตกต่ำมาก ทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่นำไปแปรรูปเป็นลำไยอบแห้งเพื่อยืดอายุการเก็บ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งล้นตลาดเช่นเดียวกัน ในปี 2550 พบว่ามีปริมาณลำไยอบแห้งเหลือค้างจากปี 2546-2547 อยู่ทั้งสิ้นประมาณ 67,000 ตัน (ผู้จัดการออนไลน์, 2550) จากปัญหาดังกล่าว ลำไย จึงเป็นผลไม้ที่รัฐบาลต้องมีมาตรการเพื่อแก้ปัญหา และช่วยเหลือเกษตรกรผู้ปลูกลำไย เช่น การมอบหมายให้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์จัดการรับซื้อลำไยสดมาแปรรูป การกระจายผลผลิตลำไยสดให้ทั่วประเทศ การแปรรูปเป็นลำไยกระป๋อง ส่งเสริมให้มีการจำหน่าย การบริโภค และเพิ่มแนวทางการแปรรูปลำไย (ธวัชชัย และคณะ, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 ข้อมูลทางโภชนาการของเนื้อลำไยสดและเนื้อลำไยอบแห้ง

ส่วนประกอบ	หน่วย/100 กรัม	เนื้อลำไยสด	เนื้อลำไยอบแห้ง
water	g	82.75	17.60
energy	kcal	60.00	286.00
protein	g	1.31	4.90
total lipid	g	0.10	0.40
ash	g	0.70	3.10
carbohydrate	g	15.14	74.00
total dietary fiber	g	1.10	-
Minerals			
calcium	mg	1.00	45.00
iron	mg	0.13	5.40
magnesium	mg	10.00	46.00
phosphorus	mg	21.00	196.00
potassium	mg	266.00	658.00
sodium	mg	0	48.00
zinc	mg	0.05	0.22
copper	mg	0.169	0.807
manganese	mg	0.052	0.248
Vitamins			
vitamin C	mg	84.00	28.00
thiamin	mg	0.031	0.040
riboflavin	mg	0.14	0.50
niacin	mg	0.30	1.00
Lipids			
cholesterol	mg	0.034	0
Amino acids			
threonine	g	0.034	0.128
isoleucine	g	0.026	0.097

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 (ต่อ)

ส่วนประกอบ	หน่วย/100 กรัม	เนื้อลำไยสด	เนื้อลำไยอบแห้ง
leucine	g	0.054	0.202
lysine	g	0.046	0.172
methionine	g	0.013	0.049
phenylalanine	g	0.030	0.112
tyrosine	g	0.025	0.094
valine	g	0.058	0.217
arginine	g	0.035	0.131
histidine	g	0.012	0.045
alanine	g	0.157	0.585
aspartic acid	g	0.126	0.469
glutamic acid	g	0.209	0.780
glycine	g	0.042	0.158
proline	g	0.042	0.158
serine	g	0.048	0.180

ที่มา: USDA National Nutrient Database for Standard Reference (2008)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.3 รายละเอียดการผลิตลำไย ในช่วงปี 2548-2550

รายการ		ปี 2548	ปี 2549	ปี 2550
1. จำนวนครัวเรือน	(ครัวเรือน)	235,447	238,633	238,921
2. เนื้อที่ให้ผลผลิต	(ไร่)	820,985	870,125	939,029
3. ผลผลิต	(ตัน)	712,178	471,892	495,457
4. ผลผลิตต่อไร่	(กิโลกรัม)	867	542	528
5. ต้นทุนการผลิต	(บาท/ตัน)			
- ต้นทุนรวม		12,928	10,799	12,059
- ต้นทุนผันแปร		10,081	7,895	9,056
6. ราคาที่เกษตรกรขายได้				
- ชนิด A	(บาท/ตัน)	12,560	17,140	16,062
- ชนิด AA	(บาท/ตัน)	17,890	20,680	20,182
7. ผลตอบแทนสุทธิ	(บาท/ไร่)	-1,410	217	-1,045
	(บาท/ตัน)	-1,626	401	-1,979

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2551)

ลำไยทุกสายพันธุ์ พบว่าสามารถนำไปแปรรูปได้ โดยเฉพาะลำไยพันธุ์อีดอนิยมนำไปแปรรูปมากที่สุด เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ที่นิยมปลูกมากที่สุด และมีคุณภาพดี เพราะเป็นสายพันธุ์ที่ให้ผลลำไยที่มีเนื้อหนา กรอบ มีรสหวานกลมกล่อม เหมาะกับการนำไปแปรรูป ปัจจุบันนี้พบว่าลำไยสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลากหลายประเภท เช่น แปรรูปเป็นลำไยกระป๋องบรรจุในน้ำเชื่อม ลำไยสดแช่แข็ง ลำไยอบแห้ง ทั้งในรูปลำไยอบแห้งทั้งเปลือก และเนื้อลำไยอบแห้ง การทำน้ำลำไยบรรจุขวด หรือกระป๋อง ไวน์ลำไย การทำเครื่องดื่มผงลำไยชงดื่ม การทำท๊อฟฟี่ลำไย เป็นต้น (สถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549)

ในด้านสภาวะการตลาดของลำไย พบว่าการจำหน่ายผลผลิตของเกษตรกร สามารถแบ่งได้เป็น 3 ตลาด คือ ตลาดบริโภคภายในประเทศ ตลาดส่งออกลำไยสด และตลาดแปรรูป ข้อมูลเกี่ยวกับการค้าและการตลาดของลำไย แสดงในตาราง 2.4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าประเทศไทยมีการส่งออกลำไยออกสู่ต่างประเทศอย่างต่อเนื่อง โดยมีส่วนแบ่งทางตลาดโลกถึงร้อยละ 80 ตลาดส่งออกลำไยสดที่สำคัญ คือ ประเทศจีน อินโดนีเซีย และฮ่องกง ตลาดส่งออกลำไยอบแห้งที่สำคัญ คือ ประเทศจีน ฮ่องกง สิงคโปร์ พม่า และลาว ส่วนตลาดส่งออกลำไยกระป๋องและลำไยแช่แข็งที่สำคัญ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คือ ประเทศมาเลเซีย สิงคโปร์ อินโดนีเซีย สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส และประเทศเกาหลี สำหรับคู่แข่งที่สำคัญในการส่งออกลำไย คือ ประเทศเวียดนาม และจีน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551)

ตาราง 2.4 สภาวะการค้าและการตลาดของลำไย ในปีช่วงปี 2548-2550

รายการ		ปี 2548	ปี 2549	ปี 2550
1. การค้าของโลก	(ล้านตัน)	0.569	0.256	0.267
2. ส่วนแบ่งทางการตลาดโลก	(ร้อยละ)	80.00	80.00	80.00
3. ใช้ในประเทศ	(ตัน)	119,994	66,512	52,570
4. ปริมาณการส่งออก	(ตันสด)	592,184	405,380	490,200
- ลำไยสด				
ปริมาณ	(ตัน)	133,651	119,430	160,352
มูลค่า	(ล้านบาท)	2,165	2,116	2,269
- ลำไยอบแห้ง				
ปริมาณ	(ตัน)	133,646	78,390	112,784
มูลค่า	(ล้านบาท)	2,351	1,606	2,018
- ลำไยกระป๋อง				
ปริมาณ	(ตัน)	12,669	11,206	11,284
มูลค่า	(ล้านบาท)	443	405	408
- ลำไยแช่แข็ง				
ปริมาณ	(ตัน)	787	354	377
มูลค่า	(ล้านบาท)	33	21	22
5. ราคาส่งออก	(บาท/ตัน)			
- ลำไยสด		16,440	19,363	16,018
- ลำไยอบแห้ง		29,106	23,312	19,501
- ลำไยกระป๋อง		35,182	36,108	36,326
- ลำไยแช่แข็ง		45,992	57,254	58,316

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2551)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่ง หรือสแนคบาร์ (Snack bar)

ภาพ 2.3 ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่ง หรือสแนคบาร์ (Snack bar)

สแนคบาร์ เป็นขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพประเภทหนึ่ง มีลักษณะเป็นแท่ง ตัวอย่างผลิตภัณฑ์แสดงดังภาพ 2.3 กรรมวิธีพื้นฐานในการผลิตคือ นำวัตถุดิบซึ่งส่วนใหญ่นิยมผลิตจากผลไม้อบแห้ง ธัญพืชอบแห้ง ถั่วประเภทต่างๆ ข้าวพอง และน้ำผลไม้เข้มข้นชนิดต่างๆ มาให้ความร้อน และผสมให้เข้ากัน ใช้ตัวเชื่อม เช่น กลูโคสไซรัป (glucose syrup) คอร์นไซรัป (corn syrup) หรือแป้งเป็นตัวเชื่อมให้วัตถุดิบเหล่านั้นยึดติดกัน หลังจากนั้นจึงนำไปแช่เย็น หรือนำไปอบก่อนที่จะนำไปตัดเป็นแท่ง (Dutcosky *et al*., 2006; Yang and Garfield, 2006) สแนคบาร์เป็นขนมที่กำลังได้รับความนิยมเนื่องจากผู้บริโภคใส่ใจต่อสุขภาพมากขึ้น ต้องการขนมขบเคี้ยวที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ มีความสะดวกต่อการรับประทาน และพกพา นอกจากนี้สแนคบาร์ยังช่วยให้รับประทานผลไม้ได้ง่ายขึ้น เพราะส่วนใหญ่นิยมผลิตจากผลไม้อบแห้ง ในประเทศอังกฤษมีรายงานว่า กลุ่มคนวัยทำงานเริ่มมีการรับประทานอาหารเช้าที่โต๊ะทำงานมากขึ้น และนิยมรับประทานสแนคบาร์ประเภทซีเรียลบาร์ (cereal bar) ฟรุตบาร์ (fruit bar) แทนการรับประทานอาหารเช้า นอกจากนี้สแนคบาร์มีแนวโน้มที่ได้รับความนิยมในกลุ่มวัยรุ่น เนื่องจากเป็นขนมที่รับประทานได้ง่าย (The UK Food and Beverage Report, 2004) นอกจากนี้ Eyre (2007) รายงานว่าในปี 2550 สแนคบาร์ประเภท sport and energy bar ซึ่งเป็นสแนคบาร์ที่ให้วิตามิน และพลังงานสูง เหมาะกับนักกีฬาที่ต้องการความรวดเร็ว และสะดวกในการบริโภค พบว่ามียอดขายเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.7 มูสลีย์บาร์มียอดขายเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.2 และสแนคบาร์ประเภทอื่นร้อยละ 9.1 จากข้อมูลข้างต้น สแนคบาร์จึงเป็นขนมที่ได้รับความนิยมกันโดยทั่วไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับในประเทศไทย สแนคบาร์เป็นขนมขบเคี้ยวที่เริ่มได้รับความนิยม เพราะมีผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้วางจำหน่ายเพิ่มมากขึ้น หาซื้อได้ง่ายตามร้านสะดวกซื้อ ดังนั้นการนำผลไม้ที่มีปัญหาในด้านการผลิต หรือราคาการจำหน่ายตกต่ำในประเทศไทยไปพัฒนาเป็นขนมขบเคี้ยวในรูปแบบสแนคบาร์ จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพในการแข่งขันทางการตลาด และตรงกับความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน

2.4 การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis)

การวิเคราะห์ปัจจัย (factor analysis) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์หลายตัวแปรเทคนิคหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในการสรุปรายละเอียดของตัวแปรหลายๆ ตัว หรือเรียกว่าเป็นเทคนิคที่ใช้ในการลดจำนวนตัวแปรเทคนิคหนึ่ง โดยการศึกษาถึงโครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และสร้างตัวแปรใหม่ เรียกว่า ปัจจัย (factor) โดยปัจจัยที่สร้างขึ้นจะประกอบด้วยรายละเอียด หรือความผันแปรของตัวแปรเดิมหลายๆ ตัว หรือเรียกว่าเป็นการนำตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กัน หรือมีความร่วมกันสูงมารวมกันเป็นปัจจัยเดียวกัน ส่วนตัวแปรที่อยู่คนละปัจจัยกันจะมีความร่วมกันน้อย หรือมีความสัมพันธ์กันน้อย หรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลย (Lawley and Maxwell, 1971) ในการจัดกลุ่มตัวแปรเพื่อสร้างเป็น factor นั้น โดยทั่วไปแล้วจะพิจารณาจากค่า eigenvalues โดยค่า eigenvalues หมายถึง ค่าความผันแปร หรือความแปรปรวนทั้งหมดในตัวแปรเดิมที่สามารถอธิบายได้โดย factor ใหม่ที่สร้างขึ้น เช่น ถ้าค่า eigenvalues เป็น 0 แสดงว่า factor ที่สร้างใหม่นั้นไม่สามารถดึงรายละเอียดของข้อมูลจากตัวแปรเดิมได้เลย ดังนั้นในการวิเคราะห์ปัจจัยจึงมักจะใช้ค่า eigenvalues ที่มากกว่า 1 ในการกำหนดว่าจะจัดกลุ่มตัวแปรใหม่ได้กี่ factor เพราะค่า eigenvalues ที่มากกว่า 1 แสดงว่า factor ที่สร้างใหม่นั้นสามารถดึงรายละเอียดของตัวแปรเดิมได้ นอกจากนี้ยังใช้ค่า factor loading เป็นตัวประเมินว่าตัวแปรใดบ้างที่ควรจะอยู่ factor เดียวกัน ถ้าค่า factor loading ของตัวแปรใดมีค่ามาก (เข้าสู่ +1 หรือ -1) ควรจัดตัวแปรนั้นอยู่ใน factor ดังกล่าว (กัลยา, 2551)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.1 ประโยชน์ของเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย

1) ลดจำนวนตัวแปร โดยการรวมตัวแปรหลายๆ ตัวให้อยู่ในปัจจัยเดียวกัน โดยถือว่าปัจจัยใหม่ที่สร้างขึ้นเป็นตัวแปรใหม่ที่สามารถหาค่าของปัจจัยที่สร้างขึ้นได้ เรียกว่า factor score จึงสามารถนำปัจจัยดังกล่าวไปเป็นตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์สถิติต่อไป เช่น การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

2) ใช้ในการแก้ปัญหาที่ตัวแปรอิสระของเทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยมีความสัมพันธ์กัน (multicollinearity)

3) ทำให้เห็นโครงสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษา เนื่องจากเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยจะหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation) ของตัวแปรทีละคู่แล้วรวมตัวแปรที่สัมพันธ์กันมากไว้ในปัจจัยเดียวกัน จึงสามารถวิเคราะห์ถึงโครงสร้างที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่อยู่ในปัจจัยเดียวกันได้

4) ทำให้สามารถอธิบายความหมายของแต่ละปัจจัยได้ ตามความหมายของตัวแปรต่างๆ ที่อยู่ในปัจจัยนั้น และสามารถนำไปใช้ในด้านการวางแผนได้ (กัลยา, 2551)

เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยถูกนำมาใช้ในงานวิจัยผู้บริโภค เช่น Rohr *et al.* (2005) ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยในการศึกษาการรับรู้ของผู้บริโภคที่มีต่อคุณภาพและความปลอดภัยของอาหาร สุธีราและอนุวัตร (2546) ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลส้มโอและเนื้อส้มโอของผู้บริโภค Urala and Lahteenmaki (2007) ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยนี้ในการศึกษาทัศนคติของผู้บริโภคที่มีต่ออาหารที่มีบทบาทเฉพาะ (functional food) นอกจากนี้เทคนิคการวิเคราะห์ยังนำมาใช้ในงานด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น Anderson and Jones (1999) ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยในการศึกษาคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวฟ่างและถั่วลิสงชนิดแท่ง (sorghum and peanut bar)

2.5 สารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant)

สารต้านออกซิเดชัน หรือสารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) หมายถึง สารที่ต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือยับยั้งปฏิกิริยาที่เกิดจากออกซิเจน หรือ peroxide สารต้านออกซิเดชันถูกนำไปใช้ในการถนอมอาหารหลายชนิด เช่น ใช้ tocopherols ในการป้องกันการเหม็นหืนในน้ำมัน นอกจากนี้ สารต้านออกซิเดชันในทางชีววิทยา หมายถึง สารสังเคราะห์หรือสารที่ได้จากธรรมชาติที่เติมลงในผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกัน หรือชะลอการเสื่อมเสียจากออกซิเจนในอากาศ (Huang *et al*., 2005) สารต้านออกซิเดชันมีทั้งที่เป็นสารจากธรรมชาติ (natural antioxidant) และสารสังเคราะห์ (synthetic antioxidant) โดยทั่วไปสารต้านออกซิเดชัน แบ่งเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ (Kochhar and Rossell, 1990) ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1) Primary antioxidant

สารในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่ได้แก่ สารประกอบฟีนอล (phenolic substance) ทำหน้าที่หยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระในปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน นอกจากนี้ยังรวมถึง tocopherols ที่ได้จากธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ (natural and synthetic tocopherol) ได้แก่ tert-butyl-4-hydroxyanisol (BHA) tert-butyl-4-hydroxytoluene (BHT) tert-butylhydroquinone (TBHQ) และอื่นๆ ซึ่งสารในกลุ่มดังกล่าวทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน

2) Oxygen scavenger

สารในกลุ่มนี้ได้แก่ กรดแอสคอร์บิค (ascorbic acid) หรือวิตามินซี ascorbyl palmitate erythorbic acid (isoascorbic acid) และ sodium erythorbate เป็นต้น สารในกลุ่มนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจน จึงเป็นการช่วยกำจัดออกซิเจนในระบบปิดได้

3) Secondary antioxidant

สารในกลุ่มนี้ได้แก่ dilauryl thiopropionate และ thiopropionic acid ทำหน้าที่สลายโมเลกุลของ lipid hydroperoxide ให้เป็นสารที่มีความเสถียร

4) Enzymatic antioxidant

สารในกลุ่มนี้ได้แก่เอนไซม์ต่างๆ ซึ่งแบ่งเป็น primary antioxidant enzyme และ ancillary antioxidant enzyme สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่กำจัดออกซิเจนหรืออนุพันธ์ของออกซิเจน โดยเฉพาะไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

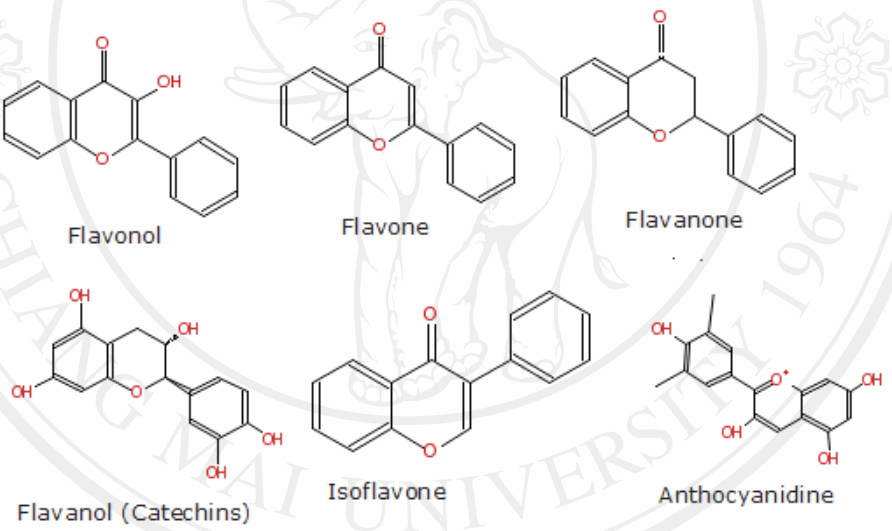
5) Chelating agent หรือ sequestrant

สารในกลุ่มนี้ เช่น กรดซิตริก กรดอะมิโน ethylenediaminetetra-acetic acid (EDTA) เป็นต้น สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ไปจับกับไอออนของโลหะ เช่น เหล็ก และทองแดง ซึ่งไอออนเหล่านี้เป็นไอออนที่ส่งเสริม และเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียร (Kochhar and Rossell, 1990)

สารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) จัดเป็นสารต้านออกซิเดชันที่ได้รับจากภายนอก พบได้มากในธรรมชาติ ได้แก่ พืชผัก ผลไม้ ชาเขียว ชาดำ ไวน์แดง เป็นต้น ในปัจจุบันพบสารประกอบฟีนอลมากกว่า 8,000 ชนิดในธรรมชาติ สารประกอบฟีนอลเป็นสารที่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทบาทสำคัญเนื่องจากมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ไวรัส การอักเสบ การแพ้ และมีคุณสมบัติในการสลายลิ่มเลือด รวมไปถึงการเป็นสารต้านการก่อมะเร็ง และสามารถช่วยลดความดันโลหิตโดยการขยายหลอดเลือด เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชัน สารสำคัญในกลุ่มนี้ที่สามารถพบได้ทั่วไป คือ ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) พบอยู่ทั่วไปในพืชที่มีสีเขียว และพบในทุกส่วนของพืช มีสูตรโครงสร้างหลักเป็นฟลาแวน (flavan) หรือ 2-ฟีนิลเบนโซไพแรน (2-phenylbenzopyran) สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ แบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้หลายกลุ่มตามความแตกต่างของสูตรโครงสร้าง ตัวอย่างของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ ได้แก่ ฟลาโวน (flavones) ฟลาวาโนน (flavanones) ฟลาโวนอล (flavonols) และแอนโทไซยานิดิน (anthocyanidins) (โอภา และคณะ, 2549) ตัวอย่างสูตรโครงสร้างของสารในกลุ่ม flavonoids แสดงดังภาพ 2.4



ภาพ 2.4 ตัวอย่างสูตรโครงสร้างของสารในกลุ่ม flavonoids
ที่มา: Lakhanpal and Rai (2007)

2.5.1 หลักการวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชัน

หลักการวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชัน สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ hydrogen atom transfer (HAT) reaction อาศัยหลักการถ่ายทอดไฮโดรเจนอะตอม และ electron transfer (ET) reaction ซึ่งอาศัยหลักการถ่ายทอดอิเล็กตรอน วิธีการวิเคราะห์ที่จัดอยู่ในทั้ง 2 ประเภทนี้ (Huang *et al*., 2005) แสดงดังตาราง 2.5

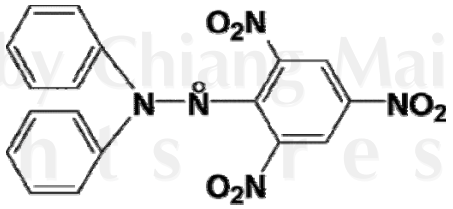
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.5 การวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน

Assays involving hydrogen atom transfer reactions	ORAC (oxygen radical absorbance capacity)
$ROO\cdot + AH \rightarrow ROOH + A\cdot$	TRAP (total radical trapping antioxidant parameter)
$ROO\cdot + LH \rightarrow ROOH + L\cdot$	Crocin bleaching assay
	IOU (inhibited oxygen uptake)
	Inhibition of linoleic acid oxidation
	Inhibition of LDL oxidation
Assays by electron-transfer reaction	TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity)
$M(n) + e$ (from AH) $\rightarrow$	FRAP (ferric ion reducing antioxidant parameter)
$AH^{\cdot+} + M(n\text{-}1)$	DPPH (diphenyl-1-picrylhydrazyl)
	Copper(II) reduction capacity
	Total phenols assay by Folin-Ciocalteu reagent
Other assays	TOSC (total oxidant scavenging capacity)
	Inhibition of Briggs-Rauscher oscillation reaction
	Chemiluminescence
	Electrochemiluminescence

ที่มา: Huang *et al*. (2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.5 สูตรโครงสร้างของ DPPH (2,2'-Diphenyl-1-picrylhydrazyl)

ที่มา: Sigma-Aldrich, Inc. (2009)

ในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์หาปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดในวัตถุดิบที่ใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์สตรอเบอรี-ลำไยชนิดแท่งโดยใช้ Folin-Ciocalteu's phenol reagent และวิเคราะห์สารต้านออกซิเดชันโดยใช้วิธี DPPH (2,2'-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) สำหรับการวิเคราะห์สารต้านออกซิเดชันโดยใช้ DPPH อาศัยหลักการที่อนุมูลอิสระ DPPH (ภาพ 2.5) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระของไนโตรเจนที่ไม่ค่อยเสถียรมากนัก เมื่อทำปฏิกิริยากับสารต้านออกซิเดชันจะเกิดปฏิกิริยา reduction มีผลทำให้สีของสารละลายซีดจาง ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารต้านออกซิเดชัน สามารถตรวจสอบความสามารถในการต้านออกซิเดชันได้จากค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง ที่ความยาวคลื่น 515-520 นาโนเมตร

สตรอเบอรี จัดเป็นแหล่งของสารต้านออกซิเดชันในธรรมชาติที่สำคัญ โดยเฉพาะมีสารประกอบฟีนอลในปริมาณที่สูง เห็นได้จากงานวิจัยต่างๆ เช่น Halvorsen *et al.* (2006) ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณของ redox-active compounds เช่น สารต้านออกซิเดชันในอาหาร ผัก และผลไม้ที่บริโภคในประเทศสหรัฐอเมริกาจำนวน 1,113 ชนิด พบว่า สตรอเบอรีจัดเป็นผลไม้ที่มีสารต้านออกซิเดชันต่อหน่วยบริโภคในปริมาณที่สูงเป็นลำดับที่ 3 เมื่อเทียบกับอาหารอื่นอีก 1,113 ชนิด นอกจากนี้ Seeram *et al.* (2006) ได้ใช้วิธี liquid chromatography electrospray ionization mass spectrometry (LC-ESI-MS) วิเคราะห์สารประกอบฟีนอลในผลสตรอเบอรีที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและสารสกัดจากสตรอเบอรี พบว่ามีสารประกอบฟีนอลที่สำคัญ คือ ellagic acid, ellagic acid-glycosides, ellagitannins, gallotannins, anthocyanins, flavonols, flavanols และ coumaroyl glycosides ซึ่งสารเหล่านี้พบว่าเป็นสารต้านออกซิเดชัน ช่วยต้านการเกิดโรคมะเร็ง ช่วยป้องกันการเกิดโรคต่างๆ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่นๆ ที่ศึกษาเกี่ยวกับสารต้านออกซิเดชันในผลสตรอเบอรีโดยใช้วิธีการทดสอบที่แตกต่างกัน และพบว่าผลสตรอเบอรีเป็นแหล่งของสารต้านออกซิเดชันเช่นเดียวกัน (Leong and Shui, 2002; Sun *et al*., 2002; Aaby *et al*., 2005)

ลำไย เป็นผลไม้ที่ผู้บริโภคนิยมรับประทานเนื่องจากชอบในรสชาติ นอกจากนี้ยังพบว่าเป็นแหล่งของสารต้านออกซิเดชัน มีงานวิจัยศึกษาถึงองค์ประกอบของลำไยพบว่า เนื้อลำไยสด ลำไยอบแห้ง เมล็ดลำไย และสารสกัดจากลำไย มีสารประกอบฟีนอล เช่น corilagin, gallic acid, ellagic acid ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติในการต้านออกซิเดชัน ช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง ลดความดันเลือด โดยพบว่าเมล็ดของลำไยเป็นส่วนที่มีสารประกอบฟีนอลมากที่สุด (สุทัศน์ และคณะ, 2550; Soong and Barlow, 2004; Rangkadilok *et al*., 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6 การทดลองแบบส่วนผสม (Mixture design)

การทดลองแบบส่วนผสม (mixture design) เป็นการทดลองหาส่วนผสมของสูตร โดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของส่วนประกอบใด ส่วนประกอบที่เหลือในสูตรจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงด้วย และผลรวมของส่วนประกอบทั้งหมดต้องเท่ากับ 1.0 หรือ ร้อยละ 100 (ไพโรจน์, 2539) เนื่องจากทุกปัจจัยรวมกันได้ร้อยละ 100 ดังนั้นสมการรีเกรสชัน (regression model) สำหรับ mixture design จึงไม่มีค่าคงที่ หรือเทอม b_0 (intercept) (Gacula, 1993) การวางแผนการทดลองแบบ mixture design มีแบบแผนการทดลองย่อย 4 แบบ ได้แก่ แบบ Scheffe' Simplex-Lattice แบบ Scheffe' Simplex-Centroid แบบ simplex axial และแบบ extreme vertices (Hu, 1999) ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึง mixture design แบบ extreme vertices

การทดลอง mixture design แบบ extreme vertices แผนการทดลองนี้จะเรียกว่า แบบที่มีข้อจำกัดเป็นสัดส่วน (design with constraints on proportion) หรือแบบที่มีข้อจำกัด (constrained mixture design) กล่าวคือ แผนการทดลองนี้ ระดับในแต่ละปัจจัยไม่จำเป็นต้องเป็นร้อยละ 0-100 โดยอาจเป็นร้อยละ 30-40 (0.30-0.40) หรือ ร้อยละ 15-25 (0.15-0.25) เป็นต้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความจำเป็นโดยพื้นฐานในการทดลองบางอย่าง (สุจินดา, 2548) ดังเช่นในงานวิจัยนี้ ใช้การทดลอง mixture design แบบ extreme vertices เนื่องจากในการพัฒนาหาสูตรผลิตภัณฑ์สตรอเบอรี-ลำไยชนิดแท่งมีข้อกำหนดคือ ทุกสูตรจะต้องมีส่วนผสมของสตรอเบอรี และลำไยรวมกันอย่างน้อยร้อยละ 50 ของสูตร

2.7 วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology, RSM)

วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology) เป็นตัวแทนทางเรขาคณิตที่ได้รับเมื่อผลตอบสนองของตัวแปร (response) ถูกสร้างเป็นฟังค์ชันของตัวแปรเหล่านั้น เทคนิคทางสถิตินี้ใช้แผนภาพ contour plot ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่สนใจ ผลที่ได้คือ สามารถที่จะหาสูตร หรือสภาวะที่เหมาะสม (optimization) จากความสัมพันธ์เหล่านั้นได้เมื่อพิจารณาปัจจัยที่สนใจเหล่านั้นพร้อมๆ กัน (Gacula and Singh, 1984) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวิธีการ RSM สามารถแสดงได้ดังสมการ 2.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$Y = f(X_1, X_2, \ldots, X_k) + E \qquad \text{สมการ 2.1}$$

โดยที่ Y คือ ค่าตอบสนองซึ่งเป็นตัวแปรตาม และ $X_1, X_2, \ldots, X_k$ คือตัวแปรที่สนใจซึ่งเป็นตัวแปรต้น E คือ error term ของความสัมพันธ์ ฟังค์ชั่นของตัวแปรเหล่านี้มักใช้สมการลำดับที่ 1 (first order model) หรือ สมการลำดับที่ 2 (second order model) หรือ สมการพอลิโนเมียล (polynomial model) เป็นตัวอธิบาย

ขั้นตอนการทำ RSM มีดังนี้

1) เลือกแผนการทดลองที่เหมาะสมที่จะให้ข้อมูลเพียงพอในการสร้าง contour plot

2) สร้างแบบจำลองหรือสมการเชิงเส้นที่ดีที่สุด

3) สร้าง contour plot หรือ surface plot จากสมการที่ได้

4) ตรวจสอบหาค่าจุดหรือพื้นที่ที่เหมาะสม (optimization)

5) พิสูจน์แบบจำลอง (validation) โดยการทำการทดลองใหม่จากจุดที่เหมาะสมภายใต้ขอบเขตของตัวแปรแต่ละตัว แล้วเปรียบเทียบค่าจากการทดลอง และค่าที่ทำนายได้จากสมการ (อนุวัตร, 2550)

วิธีการ RSM ได้ถูกนำมาประยุกต์ในงานด้านอุตสาหกรรมเกษตรมากมาย เช่น ใช้ในการพัฒนากระบวนการผลิต หรือพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังมีการใช้วิธี RSM ในการพัฒนาสูตร และกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวหลายประเภท (Prinyawiwatkul *et al*., 1997; Dutcosky *et al*., 2006; Charunuch *et al*., 2008; Sriwattana *et al*., 2008)

2.8 การทดสอบผู้บริโภค (Consumer testing)

การทดสอบผู้บริโภค หมายถึง การทดสอบผลิตภัณฑ์โดยการใช้ผู้บริโภคที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน ซึ่งเป็นหรือกำลังจะเป็นผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์เหล่านั้นจะถูกประเมินจากลักษณะปรากฏ รสชาติ กลิ่น การสัมผัส และการได้ยิน ส่วนการประเมินทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) คือ วิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้เพื่อวัด วิเคราะห์ และแปลความ ขณะที่รับความรู้สึกสัมผัสโดยการเห็น การได้ยิน การได้กลิ่น การชิมรส และการสัมผัส คำจำกัดความนี้ได้เป็นที่ยอมรับและรับรองโดยคณะกรรมการประเมินทางประสาทสัมผัสในองค์กรวิชาชีพต่างๆ เช่น The Institute of Food Technologists (IFT) และ The American Society for Testing and Materials

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(ASTM) (สุจินดา, 2547) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นระบบ จะมีการทดสอบผลิตภัณฑ์กับผู้บริโภคเป็นระยะๆ ผู้บริโภคจะมีบทบาทในการเลือกแนวความคิดผลิตภัณฑ์ (product concept) การเลือกผลิตภัณฑ์จากสูตรตามความชอบของผู้ทดสอบ การประเมินผลผลิตภัณฑ์ขั้นทดลอง (pilot plant) และทดลองผลิตขั้นโรงงาน (process line) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคจัดว่ามีความสำคัญ เนื่องจากเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมานั้นได้รับความสนใจในเชิงพาณิชย์ (ไพโรจน์, 2539)

2.8.1 ประเภทของการทดสอบผู้บริโภค

แบ่งออกเป็น 4 ประเภทตามสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบ ดังนี้

1) การทดสอบในห้องปฏิบัติการ (laboratory tests) วิธีนี้จะเป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการ มีข้อดีคือ สะดวกสำหรับนักวิจัย และควบคุมการทดสอบได้ดี แต่มีข้อเสียคือ การทดสอบในห้องปฏิบัติการบางครั้งมีข้อจำกัดทางด้านเวลา ไม่เหมือนการทดสอบจริง มีข้อจำกัดด้านเวลา จำนวนผู้ทดสอบที่ใช้ประมาณ 50 คน

2) การทดสอบประเภทสถานที่ชุมชน (central location test, CLT) วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด การทดสอบอาจทำ 1 ครั้ง หรือมากกว่านั้น และอาจใช้สถานที่ได้หลายๆ ที่ นิยมทำการทดสอบในสถานที่ที่มีผู้บริโภคอยู่รวมกันจำนวนมาก จำนวนผู้ทดสอบที่ใช้ปกติ คือ 100 คน แต่อาจอยู่ในช่วง 50-300 คน ข้อดีของวิธีนี้ คือ ได้ผู้ทดสอบจำนวนมากที่เป็นผู้บริโภคที่แท้จริง สามารถทดสอบหลายๆ ตัวอย่างได้ แต่มีข้อเสีย คือ ข้อจำกัดด้านสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ บางครั้งอาจล่าช้าทำให้ผู้บริโภคไม่รอการทดสอบ มีข้อจำกัดด้านเวลา

3) การทดสอบประเภทห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ (mobile laboratory test) การทดสอบนี้จะรวมเอาข้อดีของการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และการทดสอบประเภทสถานที่ชุมชนมาไว้ด้วยกัน การทดสอบทำโดยใช้รถพ่วงทำเป็นห้องทดสอบ และขับเคลื่อนไปจอดในที่ชุมชนที่มีผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย ปกติใช้ผู้ทดสอบประมาณ 40-60 คนต่อผลิตภัณฑ์ แต่วิธีนี้มีข้อเสีย คือ ค่าใช้จ่ายสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4) การทดสอบประเภทใช้ที่บ้าน (home-use tests) วิธีนี้จะดำเนินการทดสอบที่บ้านของผู้ทดสอบแต่ละคน มีการควบคุมจากนักวิจัย ผู้ทดสอบจะทำการทดสอบภายใต้สภาวะการบริโภคจริง วิธีนี้มีข้อดี คือ ผลิตภัณฑ์ถูกทดสอบในบ้าน จึงเป็นสภาวะจริงของการบริโภค สามารถได้ข้อมูลการตลาดเพิ่มเติม ข้อเสียของวิธีนี้ คือ ใช้เวลาในเตรียม และการดำเนินงานนาน ขาดการควบคุมในการทดสอบ มีต้นทุนในการทดสอบสูง ไม่สามารถทดสอบกับผลิตภัณฑ์ที่เน่าเสียได้ง่าย ผลตอบกลับจากการทดสอบอาจได้รับน้อยกว่าที่ตั้งไว้ (สุจินดา, 2547)

2.8.2 วิธีการสุ่มตัวอย่างในการทดสอบผู้บริโภค

ในการทดสอบผู้บริโภค ขั้นตอนการสุ่มเลือกผู้บริโภคในการทดสอบถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก เนื่องจากเป็นการเลือกตัวแทนมาทำการศึกษา และสรุปผลที่ได้ไปยังผู้บริโภคโดยรวม วิธีการสุ่มตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 ประเภทที่สำคัญ ได้แก่

1) การสุ่มตัวอย่างโดยใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็น (probability sampling) เป็นการสุ่มตัวอย่างที่แต่ละหน่วยในตัวอย่างประชากรมีโอกาสที่จะได้รับเลือก และโอกาสที่แต่ละหน่วยข้อมูลจะได้รับเลือกจะต้องทราบ และไม่ใช่ศูนย์ วิธีการสุ่มประเภทนี้ ที่สำคัญ ได้แก่ การสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (simple random sampling, SRS) การสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบ (systematic sampling, SYS) การสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ (stratified random sampling) การสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งกลุ่ม (cluster sampling) และการสุ่มตัวอย่างตามพื้นที่ (area sampling)

2) การสุ่มตัวอย่างโดยไม่ใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็น(nonprobability sampling) การสุ่มตัวอย่างนี้มีลักษณะที่สำคัญ คือ ไม่ได้กำหนดโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่กลุ่มตัวอย่างจะถูกเลือกมาจากประชากรทั้งหมด จึงไม่สามารถประมาณความคลาดเคลื่อนจากการสุ่มตัวอย่างอย่างไรก็ตามการสุ่มวิธีนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยจริง เนื่องจากเลือกตัวอย่างผู้ทดสอบได้อย่างสะดวก การสุ่มตัวอย่างในลักษณะนี้ที่นิยมใช้ คือ การสุ่มตัวอย่างโดยใช้ความสะดวก (convenience sampling) การสุ่มตัวอย่างโดยใช้วิจารณญาณ (judgment sampling) การสุ่มตัวอย่างโดยกำหนดโควตา (quota sampling) และการสุ่มตัวอย่างแบบก้อนหิมะ (snowball sampling) (ศิริวรรณ และคณะ, 2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8.3 วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสในการทดสอบผู้บริโภค

แบ่งได้ 2 วิธี คือ วิธีการเชิงคุณภาพ เช่น การสัมภาษณ์แบบกลุ่ม และวิธีการเชิงปริมาณ (สุจินดา, 2547) ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงปริมาณในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์สตรอเบอรี-ลำไยชนิดแท่งที่พัฒนา โดยใช้วิธี hedonic scale method ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดในการทดสอบการยอมรับ เริ่มคิดค้นในช่วงปี ค.ศ.1940 โดย Peryam และ Pilgrim โดยระดับคะแนนที่ใช้วัดจะเป็น 5 7 และ 9 คะแนน (Peryam and Pilgrim, 1957) ในงานวิจัยนี้ใช้ระดับคะแนนที่ 9 คะแนน

2.9 การประเมินอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร

ในการเลือกรับประทานอาหารของผู้บริโภคในปัจจุบัน สิ่งที่สำคัญต่อผู้บริโภค คือ ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้ผู้บริโภคมีความปลอดภัยมากขึ้น มีผู้ให้ความหมายของคำว่าอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารหลายความหมาย เช่น

สถาบันอาหาร (The Institute of Food Technologists; IFT) ของสหรัฐอเมริกา ได้ให้นิยามของอายุการเก็บ คือ ช่วงเวลาของผลิตภัณฑ์อาหารจากผู้ผลิตถึงผู้ค้าปลีก ที่ผลิตภัณฑ์ยังมีคุณภาพเป็นที่พึงพอใจ แต่เนื่องจากการกำหนดคุณภาพที่พึงพอใจนั้น เป็นการกำหนดได้ไม่ชัดเจน สถาบันวิทยาศาสตร์การอาหารและเทคโนโลยี (Institute of Food Science & Technology) ในประเทศอังกฤษจึงได้ให้ความหมายของอายุการเก็บ หมายถึง ระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์อาหารมีความปลอดภัย โดยมีคุณภาพทางประสาทสัมผัส ทางเคมี ทางกายภาพ ทางจุลินทรีย์เป็นที่ยอมรับ และเป็นไปตามฉลากและข้อมูลโภชนาการ โดยผลิตภัณฑ์นั้นจะต้องเก็บในสภาวะที่กำหนด (Kilcast and Subramaniam, 2000)

รุ่งนภา (2540) ได้ให้ความหมายของ อายุการเก็บ คือ เวลาที่ผลิตภัณฑ์สามารถอยู่บนชั้นของผู้ค้าปลีกและผู้บริโภคได้ก่อนที่อาหารจะมีคุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับ

ดังนั้น การประเมินอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารจึงมีความสำคัญ การระบุอายุการเก็บที่ไม่เหมาะสม มักนำไปสู่การไม่ยอมรับ และการร้องเรียนจากผู้บริโภค รวมถึงความปลอดภัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของผลิตภัณฑ์ หรืออย่างน้อยที่สุด ความไม่พอใจของผู้บริโภคอาจมีผลต่อการยอมรับของตราสินค้าของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ได้

2.9.1 การเสื่อมเสียของอาหาร

การเสื่อมเสียของอาหาร หมายถึง การที่อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะและคุณภาพ ซึ่งรวมถึง สี กลิ่นรส รูปร่าง ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร และคุณค่าทางโภชนาการ ผลจากกลไกเหล่านี้ อาจทำให้คุณภาพของอาหารจะเปลี่ยนไปอยู่ในระดับที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค หรืออาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ ผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิดนั้นจะเกิดการเสื่อมเสียได้เร็วช้าต่างกัน แบ่งอาหารตามความยากง่ายของการเน่าเสียได้ 3 ประเภท ดังนี้

1) อาหารประเภทเน่าเสียยาก คืออาหารที่มีความคงตัวดี มีปริมาณน้ำน้อยมาก ตัวอย่างเช่น ธัญพืช ถั่วเมล็ดแห้ง น้ำตาล และแป้ง อาหารประเภทนี้เก็บไว้ได้นานหลายเดือนหรือเป็นปี

2) อาหารประเภทเน่าเสียเร็วปานกลาง คืออาหารที่มีปริมาณน้ำค่อนข้างมาก เช่น ผักและผลไม้ที่แก่เต็มที่ ถึงแม้ว่าอาหารเหล่านี้จะมีปริมาณน้ำมากก็ตามแต่มีเนื้อเยื่อเกาะยึดกันแน่นและอาหารส่วนใหญ่มีเปลือกหุ้มจึงเก็บไว้ได้เป็นเวลาค่อนข้างนาน ส่วนอาหารบางชนิดจะเน่าเสียภายใน 1-2 สัปดาห์

3) อาหารประเภทเน่าเสียเร็ว คืออาหารที่มีปริมาณน้ำมาก เช่น ผัก ผลไม้ นมสด เนื้อสัตว์ และอาหารทะเล ซึ่งจะเกิดการเน่าเสียขึ้นได้ภายใน 1-2 วันเท่านั้น

อาหารทั้ง 3 ประเภทดังกล่าวมีปริมาณน้ำแตกต่างกัน ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าปริมาณน้ำในอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมการเน่าเสียของอาหาร (ปรียา และสุดสาย, 2546)

สาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร คือ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (physical changes) เช่น การเกิดรอยช้ำหรือรอยขีดข่วนเนื่องจากการขนถ่ายวัตถุดิบ การขนส่ง และการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงทางเคมี (chemical changes) เช่น การเกิดสีน้ำตาลใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาหาร การเหม็นหืน และการเปลี่ยนแปลงทางด้านจุลินทรีย์ (microbiological changes) (รุ่งนภา, 2540)

สแนคบาร์ จัดเป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มอาหารประเภทเน่าเสียยาก เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ผลิตส่วนใหญ่จะเป็นธัญพืช ผัก หรือผลไม้ที่ผ่านการอบแห้งแล้ว มีค่า a_w ต่ำ ทำให้สามารถเก็บไว้ได้นาน

2.9.2 การศึกษาอายุการเก็บในสภาวะเร่ง (Accelerated shelf life testing)

ในการศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การนำผลิตภัณฑ์เก็บในสภาวะปกติที่วางจำหน่าย แล้วเก็บข้อมูลตามอายุการเก็บจริง ซึ่งอาจใช้เวลาหลายปีจึงจะได้ผลที่ต้องการ การพัฒนาอาหารที่มีอายุการเก็บนานจึงต้องการผลการทดสอบหาอายุการเก็บในเวลาที่สั้น เพื่อให้ตรงกับกำหนดเวลาที่ผลิตภัณฑ์จะออกจำหน่าย ดังนั้น เทคนิคที่ใช้สภาวะเร่งต่างๆ เช่น เร่งอุณหภูมิ เร่งความชื้น จึงถูกนำมาใช้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการเสื่อมเสียเร็วขึ้น เมื่อเทียบกับสภาวะการเก็บปกติ ทำให้สามารถประเมินอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้น (รุ่งนภา , 2550)

หลักการพื้นฐานของการทดสอบอายุการเก็บในสภาวะเร่ง เป็นหลักการทางจลนพลศาสตร์ทางเคมีซึ่งใช้ในการประมาณผลของปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความชื้น บรรยากาศของแก๊ส และแสง ที่มีต่ออัตราของปฏิกิริยาการเสื่อมเสีย โดยการให้อาหารอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ควบคุม และให้ปัจจัยภายนอกหนึ่ง หรือมากกว่าหนึ่งปัจจัยอยู่ในระดับที่สูงกว่าระดับปกติ ทำให้อัตราการเสื่อมเสียถูกเร่งให้เร็วขึ้น มีผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับในช่วงเวลาสั้นขึ้น ขนาดของการเร่งสามารถคำนวณได้ และสามารถคำนวณอายุการเก็บที่แท้จริงของผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาวะปกติ เนื่องจากสามารถประมาณผลของปัจจัยภายนอกที่มีต่อปฏิกิริยาการเสื่อมเสีย ในการศึกษาอายุการเก็บนั้นจะต้องวัดค่าที่เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ในการศึกษา และควบคุมจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา (reaction kinetic) โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีหนึ่งๆ หาได้จากความเข้มข้นของสารที่พิจารณาซึ่งมีอยู่ในอาหาร ไม่ว่าจะเกิดขึ้นหรือใช้ไปในปฏิกิริยาต่อหน่วยเวลา และขึ้นกับอุณหภูมิ เขียนเป็นสมการจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา (kinetics of the reaction) ได้ดังสมการ 2.2 ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$dC/dt = f(C, T)$ สมการ 2.2

เมื่อ dC/dt = อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของปฏิกิริยาหนึ่ง

C = ความเข้มข้นของสาร ณ เวลาหนึ่งๆ

T = อุณหภูมิ

อัตราของปฏิกิริยา (rate of reaction) สามารถแสดงได้ด้วยสมการ 2.3 ดังนี้

$$-r_A = -dC_A/dt = f(C_A, C_B, \ldots.) k(T)$$ สมการ 2.3

เมื่อ $C_A, C_{B, \ldots.}$ = ความเข้มข้นขององค์ประกอบต่างๆ ของอาหารในสูตร

ถ้าความเข้มข้นของโมเลกุลอื่นๆ มีค่าคงที่ โดยความเข้มข้นของโมเลกุล A เป็นที่สนใจ และถ้ามีสมมุติฐานว่า ณ อุณหภูมิคงที่ อัตราของปฏิกิริยาดังสมการ 2.4

$$-r_A = -dC_A/dt = K. C_A^n$$ สมการ 2.4

เมื่อ k = ค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยา (reaction rate constant)

n = อันดับของปฏิกิริยา (order of the reaction)

ในการหาอันดับของปฏิกิริยาจำเป็นต้องสร้างกราฟความสัมพันธ์ในอันดับต่างๆ และหาว่าค่ารีเกรสชันของสมการเส้นตรงใดที่เข้าใกล้ 1 มากที่สุด จึงจะสรุปได้ว่า ปฏิกิริยานั้นๆ เป็นอันดับใด (รุ่งนภา, 2550)

ในการศึกษาอายุการเก็บในภาวะเร่ง สิ่งที่มักใช้เร่งในการหาอายุการเก็บคือ เร่งอุณหภูมิ Arrhenius ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิ (ค.ศ.1880's) และพบสมการที่กล่าวว่า อัตราของการเกิดปฏิกิริยาหนึ่ง ณ อุณหภูมิหนึ่งเกี่ยวข้องกับอัตราของปฏิกิริยา ณ อีกอุณหภูมิหนึ่ง (Saguy and Karel, 1980) ดังสมการ 2.5 และ 2.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$k = k_o \, e^{-Ea/RT} \qquad \text{สมการ 2.5}$$

หรือ $$\ln k = \ln k_o - E_a/RT \qquad \text{สมการ 2.6}$$

เมื่อ k = ค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยา (reaction rate constant)

k_o = Arrhenius constant

E_a = ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (activation energy)

R = ค่าคงที่ของแก๊ส = 8.314 J/mole.K

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

ในการหาค่า E_a ซึ่งเป็นพลังงานก่อกัมมันต์ซึ่งจะกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยา หาได้จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ของ ln k กับ 1/T (K) ความชันของกราฟจะเท่ากับค่า E_a/R (Hough *et al*., 2006) ในการหาค่า E_a ควรใช้จุดอุณหภูมิไม่น้อยกว่า 3-4 อุณหภูมิ เพื่อให้การประเมินพลังงานกระตุ้นมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น เมื่อให้ระดับการเสื่อมเสียค่าหนึ่ง และให้อันดับของปฏิกิริยา ค่าคงที่ของอัตราจะเป็นสัดส่วนกลับกับเวลาที่จะถึงระดับการสูญเสียคุณภาพ ดังนั้น จึงสามารถคำนวณถึงค่า Q_{10} ได้ โดยค่า Q_{10} คือ อัตราส่วนของอัตราปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห่างกัน 10 องศาเซลเซียส Q_{10} ของปฏิกิริยาสามารถหาได้จากสมการ 2.7 และ 2.8 ดังต่อไปนี้ (Labuza and Schmidl, 1985)

$$Q_{10} = \frac{\text{Rate at T + 10}}{\text{Rate at T}} = \frac{\text{shelf life at T}}{\text{shelf life at T + 10}} \qquad \text{สมการ 2.7}$$

$$Q_{10} = \exp\left(\frac{10\,E_a}{RT\,(T+10)}\right) \qquad \text{สมการ 2.8}$$

เมื่อ Q_{10} = อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป 10 องศาเซลเซียส

E_a = ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (activation energy)

R = ค่าคงที่ของแก๊ส = 8.314 J/mole.K

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการหาอายุการเก็บในสภาวะเร่งได้ใช้ในอุตสาหกรรมทางด้านยามานานแล้ว เนื่องจากอายุการเก็บ และประสิทธิภาพของยามีความสัมพันธ์กันมาก ปัจจุบันได้ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมากขึ้น เช่น Sinigaglia *et al.* (2003) ได้ศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์เนื้อมะพร้าวสดพร้อมรับประทาน โดยทดสอบในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 4 12 21 และ 24 องศาเซลเซียส Wang *et al.* (2007) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการสูญเสียกรดอะมิโนในน้ำแครอทเข้มข้นระหว่างการเก็บรักษา โดยทำการทดสอบในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ -18 0 25 และ 37 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าได้ใช้การศึกษาอายุการเก็บในสภาวะเร่งกับผลิตภัณฑ์สแนคบาร์ด้วย โดยศึกษาอายุการเก็บของข้าวฟ่าง และถั่วลิสงชนิดแท่งในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (Anderson and Jones, 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved