บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถั่วหรั่ง

ถั่วหรั่ง (Bambara groundnut) เป็นพืชสำคัญของท้องถิ่นที่ทำรายได้ให้กับเกษตรกรในจังหวัดทางภาคใต้ โดยการปลูกแซมในสวนยางพารา สวนผลไม้ หรือในไร่ทั่วไป ถั่วหรั่งมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามแหล่งและสถานที่ปลูก เช่น ในท้องที่จังหวัดนราธิวาส ปัตตานี ยะลา เรียก กาแจโป สงขลาเรียก ถั่วไทร ภูเก็ต เรียก ถั่วปันหยี ส่วนสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช พัทลุง เรียก ถั่วเม็ดเดียว หรือถั่วหรั่ง สำหรับในต่างประเทศมีชื่อเรียกกันอยู่หลายชื่อ เช่น ถั่วแบมบารา (Bambara groundnut) ถั่วคองโก กูเบอร์ (Congo goober) ถั่วมาดาคาสคาร์ (Madagascar groundnut) ถั่วเอิร์ธ (Earth pea) ถั่วแบฟฟิน (Buffin pea) ถั่วจูโก (Njugo bean) (National academy of science, 1970) ถั่วหรั่งมีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนของทวีปแอฟริกา บริเวณหมู่เกาะมาดากาสคาร์ ต่อมาได้แพร่กระจายพันธุ์ออกไปยังทวีปอเมริกาใต้และทวีปเอเชีย โดยผ่านเข้ามาทางประเทศฟิลิปปินส์ อินโดนีเซียและเข้าสู่ประเทศมาเลเซียและชายแดนทางภาคใต้ของประเทศไทย (Purseglove, 1997) ส่วนสำคัญของถั่วหรั่งที่นำมาใช้ประโยชน์คือ ส่วนของเมล็ด โดยการนำผลหรือฝักที่มีเมล็ดอยู่ภายในมาต้มให้สุกแล้วแกะเปลือกเอาเมล็ดมารับประทาน ถ้าเป็นเมล็ดที่เก็บมาใหม่จะมีรสหวาน นอกจากใช้ต้มรับประทานแล้วยังนำมาประกอบอาหาร เช่น ใช้แทนถั่วลิสงในการประกอบอาหาร เช่น ต้มขาหมู แกงมัสมั่น และทำไส้ขนมเปี๊ยะ เป็นต้น

2.1.1 ลักษณะทางพฤษศาสตร์ของถั่วหรั่ง

ราก ประกอบด้วยรากแก้ว (Primary root) รากแขนง (Secondary root) ซึ่งแตกจากรากแก้ว นอกจากนี้ก็มีรากวิสามัญ (Adventitious root) เกิดบริเวณข้อของลำต้นที่ขนานกับพื้นดิน (ลำต้นเลื่อยขนาน) ลำต้นมี 2 ชนิด คือ ลำต้นแบบตั้งตรง (Erect type) เป็นลำต้นที่เจริญในระยะแรก หลังจากนั้นมีการแตกแขนงของลำต้นทอดขนานไปกับพื้นดินเรียกว่า ลำต้นเลื้อยขนาน (Prostrate type) ดอกถั่วหรั่งเป็นดอกแบน (Papilionaceous) มีขนาดเล็ก สีเหลือง ฝักและเมล็ดฝักของถั่วหรั่งมีเมล็ดเดียวหรือเป็นกลุ่มตามลำต้น ฝักเมื่อแก่เปลือกจะแข็งมีสีน้ำตาล รูปร่างกลมรีเล็กน้อย เปลือกชั้นในแยกออกต่างหาก มีลักษณะเหนียวและแข็ง ภายในมีเมล็ดที่มีลักษณะผิวเรียบ สีครีมแดง ขนาดของเมล็ดมีความยาวเฉลี่ย 1 เซนติเมตร ความกว้างเฉลี่ย 0.8 เซนติเมตร มีเปลือกหุ้มเมล็ดที่

ค่อนข้างหนา สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการปลูกถั่วหรั่ง คือ พื้นที่ดอน ดินทราย ทรายร่วนถึงดินร่วนปนทราย คือ ต้องเป็นดินที่มีความร่วนซุยสูง เพราะเข็มของถั่วหรั่งสามารถแทงลงไปในดินเพื่อเกิดเป็นฝักได้ง่ายกว่าดินเหนียว ดินมีการระบายน้ำ และอากาศได้ดีไม่เป็นพื้นที่ที่มีน้ำขังหรือฉ่ำน้ำเป็นบางครั้งคราว ถั่วหรั่งเป็นพืชที่ปรับตัวต่อสภาพภูมิอากาศได้กว้างมากตั้งแต่เขตแห้งแล้งถึงร้อนกึ่งร้อนชื้นฝนตกชุก เป็นพืชที่ต้องการแสงแดดมากและอุณหภูมิค่อนข้างสูง ถั่วหรั่งเจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่มีฝนตกสม่ำเสมอ ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ปลูกจนถึงระยะออกดอก แต่ก็สามารถปรับตัวทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี ถั่วหรั่งเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 600 – 750 มิลลิลิตร และจะให้ผลผลิตสูงถ้ามีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 900 – 1,200 มิลลิลิตร ถั่วหรั่งเป็นพืชวันสั้นที่เจริญเติบโตได้ตั้งแต่ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลเล็กน้อย ถึงความสูง 1,520 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล (รัตนา, 2525)

2.1.2 พันธุ์ที่นิยมปลูก

ถั่วหรั่งเป็นพืชผสมตัวเองและมีการผสมเกสรก่อนการบานของดอก หลังการผสมเกสรแล้วจะใช้เวลา 60 – 70 วัน ในการพัฒนาไปเป็นฝักและเมล็ดที่สมบูรณ์ พันธุ์ที่นิยมปลูก มี 2 สายพันธุ์

2.1.2.1 พันธุ์สงขลา 1 อายุการเก็บเกี่ยวสั้น คือ 110 – 120 วัน ระยะดอกเริ่มบานเมื่ออายุประมาณ 38 วัน การติดฝักแน่นเป็นกระจุก เนื่องจากต้นทรงค่อนข้างเป็นกระจุก ให้ผลผลิตฝักสดเฉลี่ย 462 กิโลกรัม/ไร่ และผลผลิตฝักแห้งเฉลี่ย 161 กิโลกรัม/ไร่ ขนาดเมล็ดโต ใน 100 เมล็ดมีน้ำหนัก 48.3 กรัม เมล็ดภายในสีแดงเป็นที่นิยมของผู้บริโภค ค่อนข้างมีความทนทานต่อโรคใบไหม้ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่

2.1.2.2 พันธุ์พื้นเมือง อายุการเก็บเกี่ยวนานกว่า 150 – 180 วัน ระยะดอกแรกเริ่มบานเมื่ออายุประมาณ 52 วัน ติดฝักโปร่ง เนื่องจากข้อห่างและทรงต้นแผ่กว้าง ให้ผลผลิตฝักสดเฉลี่ย 401 กิโลกรัม/ไร่ และผลิตฝักแห้งเฉลี่ย 121 กิโลกรัม/ไร่ ขนาดเมล็ดเล็ก ใน 100 เมล็ดมีน้ำหนัก 36.9 กรัม เมล็ดภายในสีเหลืองครีม ค่อนข้างอ่อนแอต่อโรคใบไหม้ (จิราพร, 2550)

2.1.3 คุณค่าทางอาหารของถั่วหรั่ง

องค์ประกอบภายในเมล็ดถั่วหรั่งเป็นแหล่งของสารอาหารที่มีความอุดมสมบูรณ์มาก ภูมิ สันต์และธนาพร (2536) ได้ศึกษาองค์ประกอบของถั่วหรั่งเมล็ดแห้ง พบว่าประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 51.3 โปรตีนร้อยละ 18.8 ไขมันร้อยละ 5.2 เส้นใยร้อยละ 3.0 และเถ้าร้อยละ 1.8 โดยน้ำหนักแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 1

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของถั่วหรั่งสดและถั่วหรั่งแห้ง

Chemical composition of fresh bambara groundnut and dried bambara groundnut.

องค์ประกอบทางเคมี	ถั่วหรั่งสด	ถั่วหรั่งแห้ง
ความชื้น (ร้อยละ)	57.3	10.3
ไขมัน (ร้อยละ)	3.1	5.2
โปรตีน (ร้อยละ)	7.8	18.8
เถ้า (ร้อยละ)	1.8	3.4
เส้นใย (ร้อยละ)	3.0	4.8
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	30.0	51.3
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	14.0	62.0
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	258.0	276.0
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.2	12.2
พลังงาน (แคลอรี่)	152.0	357.0

ที่มา : ภูมิสันต์ และ ธนาพร (2536)

ปิยรัตน์ (2548) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งและสตาร์ชจากถั่วหรั่ง พบว่าแป้งถั่วหรั่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงถึงร้อยละ 61.59 มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และเยื่อใย เท่ากับร้อยละ 15.48 7.9 4.19 และ 2.54 (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ (ตารางที่ 2) นอกจากนี้ยังพบว่าถั่วหรั่งเป็นแป้งประเภทถั่วซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแป้งจากธัญพืชและแป้งจากรากพืชบางชนิด (Adebowale *et al.*, 2002)

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งและสตาร์ชจากถั่วหรั่ง

Chemical composition of flour and starch from bambara groundnut.

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละ)	
	แป้งถั่วหรั่ง	สตาร์ชถั่วหรั่ง
ความชื้น	11.51 ± 0.32	8.90 ± 0.18
ไขมัน	7.90 ± 0.01	0.44 ± 0.05
โปรตีน	15.48 ± 0.18	0.61 ± 0.08
เถ้า	4.19 ± 0.03	0.47 ± 0.03
เยื่อใย	2.54 ± 0.38	0.60 ± 0.08
คาร์โบไฮเดรต	61.59 ±0.86	88.98 ± 0.23
ปริมาณอะมิโลส	ND	21.67 ± 1.43

*ทำการทดลอง 3 ซ้ำ: ND = ไม่ได้ตรวจวัด

ที่มา : ปิยรัตน์ (2548)

Lawal *et al.* (2007) ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่และองค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนถั่วหรั่งและโปรตีนถั่วหรั่งที่ผ่านการดัดแปรทางเคมี ได้แก่ โปรตีนที่ไม่ผ่านการดัดแปร (BNP) โปรตีนเข้มข้นที่ดัดแปรด้วย Succinic acid (BSP) และ โปรตีนเข้มข้นที่ดัดแปรด้วย Acetic anhydride (BAP) พบว่าโปรตีนถั่วหรั่งดัดแปรทั้ง 3 ชนิด มีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนถั่วหรั่งแบบ BNP, BSP และBAP

Chemical composition of bambara protein (BNP BSP and BPA).

	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)						
ตัวอย่าง	ความชื้น	เถ้า	เยื่อใย	ไขมัน	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต	pH
BNP	7.24±0.04[a]	2.06±0.01[a]	ND	0.30±0.01[a]	79.43±2.34[a]	12.97	5.6
BAP[d]	7.53±0.02[b]	3.05±0.0[b]	ND	0.02±0.01[a]	78.5±5.22[b]	13.72	5.4
BSP[e]	7.42±0.04[c]	3.03±0.0[b]	ND	0.02±0.01[a]	78.1±4.61[b]	14.25	4.8

ที่มา: Lawal *et al.,* (2007)

หมายเหตุ ND คือ ไม่สามารถหาค่าได้

a, b และ c คือค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $p<0.05$

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.2 โปรตีนจากพืช

โปรตีนจากพืชมักได้จากเมล็ดพืชน้ำมัน เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ทานตะวัน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเมล็ดพืชที่สามารถผลิตได้ในประเทศ ยกเว้นถั่วเหลืองที่ยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เพราะความต้องการใช้ภายในประเทศมีมาก โปรตีนจากพืชโดยเฉพาะในพืชตระกูลถั่วประกอบไปด้วยสารสำคัญหลายชนิด ได้แก่สารจำพวกพฤกษเคมีหลายกลุ่ม เช่น สารในกลุ่มไอโซฟลาโวนอยด์ (Isoflavonoids) ที่ให้ผลในการป้องกันมะเร็ง สารในกลุ่มฮอร์โมนพืช (Phytoestrogen) ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ สารเหล่านี้นับเป็นสารเสริมสุขภาพที่พบได้เฉพาะในพืชในขณะที่โปรตีนจากเนื้อสัตว์หลายชนิดหรือโปรตีนจากนมมักก่อให้เกิดอาการแพ้ หรือรบกวนภูมิต้านทานของโรคบางอย่างได้ นอกจากนี้มีการใช้โปรตีนจากพืชเพื่อเพิ่มบทบาทเชิงหน้าที่ของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในอาหาร เช่น สมบัติการดูดซึมน้ำ การเกิดฟอง โดยเฉพาะสมบัติการเกิดอิมัลชันและการเกิดเจล ซึ่งมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตและแปรรูปอาหาร (Chabanon *et al.,* 2007; สุภาวดี, 2550) อย่างไรก็ตามสามารถพบสารต้านโภชนาการในโปรตีนจากพืช เช่น ทริปซินอินฮิเบเตอร์ (Trypsin inhibitor) ซึ่งมีความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซินที่ใช้ย่อยโปรตีนในระบบทางเดินอาหาร ไฟเตท (Phytate) ที่ขัดขวางการดูดซึมแร่ธาตุหลายชนิดในระบบทางเดินอาหาร แทนนินและฮีมแมกกลูตินิน (Heammaglutinin) ซึ่งมีผลต่อเซลล์เม็ดเลือดแดง เป็นต้น (วินัย, 2542)

2.3 สารต้านโภชนาการ

สารต้านโภชนาการเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีอยู่ในอาหารตามธรรมชาติ หากร่างกายได้รับเข้าไปก็สามารถก่อให้เกิดโทษต่อร่างกายได้ โดยสารต้านโภชนาการมีคุณสมบัติไปทำลาย หรือขัดขวางการดูดซึมและการนำไปใช้ประโยชน์ของสารอาหาร เช่น วิตามินและแร่ธาตุบางชนิด บางตัวก็สามารถยับยั้งการทำงานของสารย่อยอาหารหรือเอนไซม์ที่จำเป็นต้องใช้ในการย่อยอาหารที่รับประทานเข้าไป ดังนั้นสารต้านโภชนาการ คือ สารที่คอยขัดขวางการนำสารอาหารต่างๆไปใช้ประโยชน์ภายในร่างกาย ซึ่งสารพวกนี้ไม่ได้มีอยู่ในอาหารทุกชนิด เป็นที่ทราบกันดีว่าพืช ผักและผลไม้เป็นแหล่งของสารอาหารหลากหลายชนิด แต่ก็มีองค์ประกอบของสารต้านโภชนาการประกอบอยู่ด้วย โดยเฉพาะในพืชเมล็ดถั่ว (Legume) ที่มีองค์ประกอบของสารต้านโภชนาการอยู่หลายชนิด เช่น แทนนิน (Reddy *et al.,* 1985) กรดไฟติก (Urbano *et al.,* 2000) และสารยับยั้งเอนไซม์ทริปซิน (Gupta, 1987; Singh, 1988) เป็นต้น โดยพืชเมล็ดหลายๆ ชนิดก็มีองค์ประกอบของสารต้านโภชนาการแตกต่างกันออกไป ดังแสดงในตารางที่ 4

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 4 สารต้านโภชนาการในเมล็ดและใบจากพืชชนิดต่างๆ

Antinutrieun in seed and leave from plant.

ชนิดของพืช	สารต้านโภนาการ
กากถั่วเหลือง	สารยับยั้งเอนไซม์โปรติเอส, เลคติน, กรดไฟติก, ซาโปนิน, ไฟโตเอสโตรเจน, สารยับยั้งวิตามิน, สารก่อภูมิแพ้
กากเรพซีด	สารยับยั้งเอนไซม์โปรติเอส, แทนนิน, กลูโคไซโนเลท, กรดไฟติก
กากเมล็ดลูปิน	สารยับยั้งเอนไซม์โปรติเอส, ซาโปนิน, ไฟโตเอสโตรเจน, อัลคาลอย
กากถั่วลิสง	สารยับยั้งเอนไซม์โปรติเอส, แลกติน, แทนนิน, ไซยาโนเจน, กรดไฟติก, ซาโปนิน, สารยับยั้งวิตามิน
กากเมล็ดดอกทานตะวัน	สารยับยั้งเอนไซม์โปรติเอส, ซาโปนิน และอาร์จิเนส
กากเมล็ดฝ้าย	ไฟโตเอสโตรเจน, กรดไฟติก, กอสซี่โพล, กรดไซโคโปรพิโอนิก, สารยับยั้งวิตามิน
กากเมล็ดงา	กรดไฟติก, สารยับยั้งเอนไซม์โปรติเอส
กากใบลูเซียน่า	ไมโมซีน
กากใบอัลฟาฟ่า	สารยับยั้งเอนไซม์โปรติเอส, ซาโปนิน, ไฟโตเอสโตรเจน,
กากเมล็ดมัสตาร์ด	กลูโคไซโนเลท, แทนนิน

ที่มา : Francis *et al.* (2001)

Francis *et al.* (2001) แบ่งสารต้านโภชนาการออกเป็น 4 ชนิด คือ

1. สารต้านโภชนาการที่มีผลต่อการขัดขวางการย่อยโปรตีน เช่น สารยับยั้งเอนไซม์โปรติเอส แทนนิน และแลคติน เป็นต้น
2. สารต้านโภชนาการที่มีผลต่อการขัดขวางการดูดซึมสารอาหารประเภทแร่ธาตุ เช่น ไฟเตตกอสซี่โพล ออกวาเลต และกลูโคไซโนเลท เป็นต้น
3. สารต้านโภชนาการที่มีผลยับยั้งการดูดซึมวิตามิน
4. สารต้านโภชนาการตัวอื่นๆ เช่น ไมโคทอกซิน ไมโมซีน ออกซาเลต ไซยาโนเจน ไนเตรต อัลคาลอยด์ สารยับยั้งโฟโตเซนติไซทิง ซาโปนินและไฟโตเอสโตร เป็นต้น

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.4 โปรตีนไฮโดรไลเสต

โปรตีนไฮโดรไลเสต คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีนโดยการตัดสายพอลิเปปไทด์เป็นกรดอะมิโนอิสระหรือเปปไทด์สายสั้นๆ โดยใช้สารเคมีหรือเอนไซม์ เพื่อปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการและ ปรับปรุงสมบัติบางประการของโปรตีน เช่น สมบัติการละลาย สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์และสมบัติการเกิดโฟม เป็นต้น (Kristinsson and Rasco, 2000 อ้างโดย ธันยพร, 2550) จากรายงานการศึกษาพบว่าเปปไทด์ที่ได้จากโปรตีนไฮโดรไลเสตมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ แต่ขึ้นอยู่กับขนาดและการเรียงตัวของกรดอะมิโนของเปปไทด์ (Chen *et al.,* 1998; Seutsuna and Chen, 2002 อ้างโดย Vaštag *et al.,* 2010)

2.4.1 การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสต วิธีการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตโดยทั่วไปมี 2 วิธี ได้แก่

1) การย่อยสลายโปรตีนด้วยสารเคมี

เป็นการทำให้พันธะเปปไทด์ของโปรตีนแตกออกโดยใช้สารละลายกรดหรือเบส ซึ่งเป็นวิธีที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำแต่ควบคุมระดับการย่อยสลายโปรตีนได้ยากทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพไม่คงที่และมีข้อจำกัดในการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหาร การย่อยสลายโปรตีนด้วยสารละลายกรดเป็นวิธีที่มีต้นทุนในการผลิตค่อนข้างต่ำสามารถย่อยสลายโปรตีนได้รวดเร็วและให้กลิ่นรสที่ดี แต่จะทำให้ ทริปโตเฟน (Tryptophan) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็นถูกทำลายไป สารละลายที่นิยมในการย่อยสลายโปรตีน ได้แก่ กรดซัลฟูริก และกรดไฮโดรคลอริก โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากการย่อยสลายด้วยสารละลายกรดทั้งสองชนิดนี้มีเกลือซึ่งเป็นผลจากกระบวนการทำให้เป็นกลาง (Neutralization) เป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย โดยในการย่อยสลายโปรตีนด้วยกรดซัลฟิวริกนั้นจะเกิดเกลือแคลเซียมซัลเฟต และการย่อยสลายโปรตีนด้วยกรดไฮโดรคลอริกนั้นจะเกิดเกลือโซเดียมคลอไรด์หรือโพแทสเซียมคลอไรด์ ในอุตสาหกรรมจึงนิยมใช้กรดไฮโดรคลอริกในการย่อยสลายโปรตีน เนื่องจากเกลือที่เกิดขึ้นในกระบวนการนั้นเป็นเกลือที่ใช้ในอาหารทั่วไปจึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อผลิตภัณฑ์มากนัก นอกจากนี้การย่อยสลายโปรตีนด้วยกรดที่มีความเข้มข้นสูงร่วมกับการใช้อุณหภูมิสูงก่อให้เกิดสาร 3- monochloro-propanediols (3-MCPD) ซึ่งเป็นสารพิษที่เป็นสารก่อมะเร็ง (ณัฐวุฒิ, 2550)

การย่อยสลายโปรตีนด้วยสารละลายด่าง สารละลายด่างที่นิยมใช้ในการย่อยโปรตีน ได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งหากย่อยสลายในภาวะที่รุนแรงจะทำให้เกิดปฏิกิริยา Racemization ของกรดอะมิโน โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกรดอะมิโนจาก *L*-form ไปเป็น *D*-form ซึ่งร่างกายมนุษย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้และทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดี นอกจากนี้ยังจะทำให้เกิดปฏิกิริยา β – elimination ของ Serine และ Cysteine ทำให้เกิด

สารประกอบ Dehydroalanine ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนชนิดอื่นๆ เกิดเป็นสารประกอบต่างๆ หลายชนิด เช่น Lysinoalanine, Ornithinoalanine และ Lanthionine เป็นต้น ทำให้สูญเสียสารอาหารที่สำคัญ และสารประกอบที่เกิดขึ้นบางชนิดยังก่อให้เกิดสารพิษในอาหารอีกด้วย (Kristinsson and Rasco. 2000)

2) การย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์

การย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์ทำได้โดยใช้เอนไซม์โปรติเอสตัดพันธะเปปไทด์ในโมเลกุลของโปรตีนให้เป็นกรดอะมิโนอิสระ และเปปไทด์ที่สั้นลง การย่อยสลายโปรตีนด้วยวิธีนี้มีข้อดี คือ เอนไซม์มีความจำเพาะเจาะจงต่อสารตั้งต้นสูง จึงไม่จำเป็นต้องใช้เอนไซม์ในปริมาณมาก และสามารถย่อยสลายโปรตีนได้ในสภาวะที่ไม่รุนแรง นอกจากนี้การใช้เอนไซม์มีอัตราการย่อยสลายโปรตีนค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กรดหรือด่าง แต่การย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์โปรติเอสอาจทำให้เกิดสารประกอบที่มีรสขมได้ เนื่องจากการจัดเรียงตัวของกรดอะมิโนที่มีหมู่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic group) ในโมเลกุลของโปรตีนเช่น Isoleucine, Phenylalanine, Trytophan, Tyrosine และ Valine แต่เมื่อมีการควบคุมระดับการย่อยสลายโปรตีนแล้วสารประกอบที่ให้รสขมนี้จะเกิดน้อยลงเพราะสายเปปไทด์ที่เกิดขึ้นจะจัดเรียงตัวในลักษณะที่ไม่ก่อให้เกิดรสขม จึงสามารถควบคุมกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ได้ด้วยการควบคุมระดับการย่อยสลายโปรตีน (Degree of hydrolysis) (Kristinsson and Rasco. 2000)

2.4.2 เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยสลายโปรตีน

เอนไซม์เข้ามามีบทบาทในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารอย่างกว้างขวางในระดับอุตสาหกรรมซึ่งนิยมใช้เอนไซม์ในการดัดแปรโปรตีนมากกว่าการใช้สารเคมี เนื่องจากเอนไซม์แต่ละชนิด ให้ผลในการย่อยสลายที่แตกต่างกันและมีความจำเพาะต่อสับสเตรทสูง สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ภายใต้สภาวะไม่รุนแรงและไม่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์อื่นที่ไม่ต้องการ เอนไซม์ที่ใช้ในการดัดแปรโปรตีนมีหลายประเภท ขึ้นกับการทำงานของเอนไซม์แต่ละชนิด (ปราณี, 2547) โปรติเอส เป็นเอนไซม์ประเภทไฮโดรเลส (Hydrolase) ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการย่อยพันธะเปปไทด์ของโปรตีน โดยจะตัดพันธะเปปไทด์ของพอลิเพปไทด์ได้เป็นเปปไทด์และกรดอะมิโนอิสระ นอกจากนี้ เอนไซม์โปรติเอสสามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ได้หลายแบบ เช่น

แบ่งตามลักษณะการตัดสายยาวของพอลิเปปไทด์ ได้เป็น 2 แบบ คือ เอกซ์โซเปปติเดส (Exopeptidases) และเอ็นโดเปปติเดส (Endopeptidase)

1) เอกซ์โซเปปติเดส (Exopeptidases) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยพันธะเปปไทด์ด้านปลายโซ่ของโมเลกุล ถ้าเป็นการตัดพันธะทางปลายด้านกลุ่มอะมิโน เรียกว่า Aminopeptidase ขณะที่การตัดพันธะทางปลายด้านกลุ่มคาร์บอกซิล เรียกว่า Carboxypeptidase

Prince of Songkla University Pattani Campus

2) เอ็นโดเปปติเดส (Endopeptidase) เป็นเอนไซม์ที่ย่อยพันธะเปปไทด์อย่างอิสระภายในโซ่โมเลกุลของโปรตีนได้เป็นเปปไทด์สายสั้นๆ เอ็นโดเปปติเดสมีประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีนสูง เนื่องจากมีความจำเพาะต่อสับเสตรทที่เป็นเปปไทด์โมเลกุลใหญ่หลายชนิด ทำให้สามารถย่อยโปรตีนได้อย่างรวดเร็ว (ปราณี, 2547)

แบ่งตามกลไกการทำงานได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1) Serine protease เอนไซม์กลุ่มนี้จัดเป็น Alkalli protease มี pH ที่เหมาะสมในช่วง pH 7.0 – 11.0 เป็นพวก เอนโดเปปติเดสมีอนุมูลซีรีล (Seryl residue) และหมู่อมิดาโซล (Imidazole) อยู่ที่บริเวณเร่ง ถูกยับยั้งโดย DEP (Di-isopropyl-phosphofluoride) ซึ่งทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล ของอนุมูลเซริลในบริเวณเร่งของเอนไซม์ ตัวอย่างเอนไซม์ในกลุ่มนี้ได้แก่ Elastase, Thrombin, และ Trypsin เป็นต้น

2) Sulfydryl protease หรือ Cysteine protease เอนไซม์กลุ่มนี้จัดเป็น Neutral protease มี pH ที่เหมาะสมในช่วง 6.0 - 7.5 เป็นพวกเอนโดเปปติเดสมีอนุมูลซัลไฟดริลอยู่ที่บริเวณเร่ง ถูกยับยั้งโดยสารที่เรียกว่า Sulfhydryl reagents ซึ่งจะทำให้อนุมูลซัลไฟดริลที่บริเวณเร่งได้รับความกระทบกระเทือนและอาจสูญเสียแอคติวิตีไปในที่สุด เอนไซม์กลุ่มนี้จะเป็นเอนไซม์ที่สกัดได้จากพืชชั้นสูงและจุลินทรีย์บางชนิดตัวอย่างเอนไซม์กลุ่มนี้ได้แก่ Bromelain และ Papain เป็นต้น

3) Metal-containing protease เอนไซม์กลุ่มนี้จัดเป็น Neutral protease มี pH ที่เหมาะสมคือ pH 7.8 เป็นพวกเอกซ์โซเปบติเดส เอนไซม์ในกลุ่มนี้เป็นโปรติเอสที่มีอิออนและโลหะรวมอยู่ในโมเลกุลเอนไซม์หรือร่วมในปฏิกิริยาการย่อยสลายโปรตีน โดยจะอยู่ในลักษณะโคแฟกเตอร์ ถูกยับยั้งด้วยสารจับอิออนของโลหะ (Metal chelating agent) เช่น 1,10-phenanthroline และ EDTA เป็นต้น ตัวอย่างเอนไซม์ในกลุ่มนี้ได้แก่ Carboxypeptidase A, Carboxypeptidase B, Carnosinase และ Prolidase เป็นต้น

4) Aspartic protease เอนไซม์กลุ่มนี้จัดเป็น Carboxyl protease และ Acid protease มี pH ที่เหมาะสมในช่วง 2-4 มีหมู่คาร์บอกซิลจากอนุมูลกรดแอสปาติค 2 อนุมูลอยู่ในบริเวณเร่งถูกยับยั้งโดย Pepstatin เอนไซม์ส่วนใหญ่ในกลุ่มนี้เป็นเอนไซม์ที่ได้จากจุลินทรีย์ ตัวอย่างเอนไซม์กลุ่มนี้ เช่น Pepsin และ Rennin เป็นต้น (Whitaker, 1994 อ้างโดย ธันยพร, 2550)

นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมยังนิยมใช้เอนไซม์ทางการค้าในการย่อยสลายโปรตีน โดยเอนไซม์เหล่านี้ส่วนใหญ่ได้มาจากเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งเอนไซม์แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติและสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายโปรตีนแตกต่างกัน ตัวอย่างเอนไซม์ทางการค้า (Anonymous, 2000) เช่น

Prince of Songkla University Pattani Campus

1) Alcalase® เป็นเอนไซม์ที่ได้จากจุลินทรีย์ชนิด *Bacillus licheniformi* ทำหน้าที่เป็นเอนโดเปปติเดสมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วง 55-60 องศาเซลเซียส และมี pH ที่เหมาะสมในช่วง 8-8.5

2) Flavourzyme® เป็นเอนไซม์ที่ได้จากจุลินทรีย์ชนิด *Aspergillus oryzae* ทำหน้าที่เป็นทั้งเอนโดเปปติเดส และเอกโซเปปติเดส ทำให้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้ไม่มีรสขม มีอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 50 องศาเซลเซียส และมี pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 5-7

3) Neutrase® เป็นเอนไซม์ที่ได้จากจุลินทรีย์ชนิด *Bacillus amyloliquefaciens* ทำหน้าที่เป็นเอนโดเปปติเดสมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วง 45-55 องศาเซลเซียส และมี pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 5.5-7

2.4.3 ระดับการย่อยสลายโปรตีน (Degree of hydrolysis, DH)

ระดับการย่อยสลายโปรตีนเป็นดัชนีที่ใช้อธิบายปริมาณการทำลายพันธะเปปไทด์ของโปรตีนด้วยเอนไซม์ การติดตามค่า DH สามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับ ความสะดวก ความเหมาะสม และระดับความละเอียดและเที่ยงตรงที่ต้องการ (ธันยพร, 2550) การวิเคราะห์และคำนวณระดับการย่อยโปรตีนสามารถทำได้ 3 วิธี คือ การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน การวิเคราะห์ Free α -amino groups และการไตเตรทโปรตอนที่ถูกปลดปล่อยออกมา (Silvestre, 1997)

1) การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่เหลืออยู่หลังจากตกตะกอนโปรตีนไฮโดรไลเสตด้วย Trichloroacetic acid (TCA) สามารถวิเคราะห์ได้หลายวิธี ได้แก่ วิธีของ Kjeldhal การวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วง UV ของเปปไทด์ที่มีหมู่ Aromatic และการวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วง 400 – 700 นาโนเมตรหลังจากผ่านปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสี เช่น ปฏิกิริยา Biuret โดยระดับการย่อยโปรตีนสามารถคำนวณได้จากสมการ (1) (Silvestre, 1997)

$$DH = \frac{\text{ปริมาณโปรตีนหลังจากการตกตะกอนด้วย TCA}}{\text{ปริมาณโปรตีนทั้งหมด}} \times 100 \quad \text{..... 1}$$

2) การวิเคราะห์ Free α - amino group โดยทั่วไปจะนิยมใช้วิธี Formal titration ซึ่งจะใช้สารละลาย Formaldehyde ทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโน แล้วไตเตรทด้วยสารละลายเบส โดยใช้ฟีนอฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ (เปลี่ยนสีที่ pH 9.2) อัตราส่วนระหว่าง Free α - amino nitrogen กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถประมาณค่าระดับการย่อยสลายโปรตีนที่เพิ่มขึ้นได้ นอกจากนี้สารประกอบที่ทำปฏิกิริยาเฉพาะกับหมู่อะมิโน เช่น Ninhydrine, Trinitrobenzene Sulfonic acid (TNBS), Polychroniadou, Fluorescamin และOrthiphtaldehyde (OPA) ก็สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ระดับการย่อยสลายโปรตีนได้เช่นกัน โดยวิธีเก่าแก่ ที่สุดคือการใช้ Ninhydrine เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนแล้วจะได้สารประกอบสีน้ำเงินเข้ม วิธีนี้เป็น

วิธีที่มีความไวสูง แต่มีข้อเสียหลายอย่าง เช่น สารเคมีที่ใช้ไวต่อออกซิเจน มีการรบกวนจากแอมโมเนีย ค่าที่ได้จากแบลงค์สูง และใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน (Moore and Stein, 1948) ส่วน TNBS นั้นเป็นสารที่จำเพาะต่อ Primary amino groups ทำการวิเคราะห์โดยผสม TNBS กับโปรตีนไฮโดรไลเสตแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร ข้อเสียของวิธีนี้คือ ใช้เวลาในการวิเคราะห์นานสารเคมีที่ใช้อาจปนเปื้อนด้วย Picric acid ทำให้ค่าที่ได้จาก Blank สูง TNBS ไม่เกิดปฏิกิริยากับ Proline และ Hydroxyproline และ TNBS สามารถทำปฏิกิริยากับ Amino group ของ lysine ได้ (Nissen, 1985 อ้างโดย ธันยพร, 2550) สารประกอบอีกสองชนิด คือ Fluorescamin และ OPA เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนแล้วจะทำให้สามารถวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนได้ด้วยวิธี Fluorometry ซึ่งวิธีนี้จะให้ความไวสูง แต่มีข้อเสีย คือ อนุพันธ์ของกรดอะมิโนที่เกิดขึ้นจะมีความเสถียรต่ำ (Churuch *et al.*, 1985) โดยระดับการย่อยสลายโปรตีนสารมารถคำนวณได้จากสมการ 2

$$DH = \frac{(L_t - L_0) \times 100}{(L_{max} - L_0)} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2$$

L_t = ปริมาณ α - amino acid ที่เวลา t

L_0 = ปริมาณ α - amino acid เริ่มต้น

L_{max} = ปริมาณ α - amino acid หลังจากย่อยโปรตีนเสร็จแล้ว

3) การไตเตรทโปรตรอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาระหว่างการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เรียกว่า เทคนิค pH-stat ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นในภาวะที่เป็นกลางหรือเป็นเบสเล็กน้อย ซึ่งทำให้หมู่อะมิโนหลุดออกมาและมีการปลดปล่อยโปรตอน ซึ่งทำให้ pH ของโปรตีนไฮโดรไลเสตลดลง ดั้งนั้นจึงต้องมีการเติมสารละลายเบสอย่างต่อเนื่องเพื่อรักษาระดับของ pH ให้เป็นไปตามต้องการ ด้วย Sodium hydroxide หรือ Calcium hydroxide โดยระดับการย่อยสลายโปรตีนสามารถคำนวณจากปริมาณสารละลายเบสที่ใช้ระหว่างทำปฏิกิริยา ดังสมการ (3) (Nissen, 1985)

$$DH = B \times N_b \times 1/M_b \times 1/\alpha \times 100/h_{tot} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3$$

B = ปริมาณเบสที่ใช้ (มิลลิลิตร)

N_b = ความเข้มข้นของเบสที่ใช้ (N)

M_b = มวลของโปรตีน (กรัม)

$1/\alpha$ = ค่า Calibration สำหรับ pH – stat

h_{tot} = จำนวนพันธะเปปไทด์ในโปรตีน

Prince of Songkla University Pattani Campus

วิธีการนี้จะใช้ในการวัดระดับการย่อยสลายโปรตีนอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว และไม่ทำให้โปรตีนเสียสภาพ แต่ค่าระดับการย่อยสลายโปรตีนที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะเป็นค่าสัมพัทธ์และหากต้องการความถูกต้องแม่นยำจะต้องตรวจสอบด้วยวิธีอื่นๆ เช่น TNBS หรือ OPA (Silvestre, 1997)

2.5 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนไฮโดรไลเสต

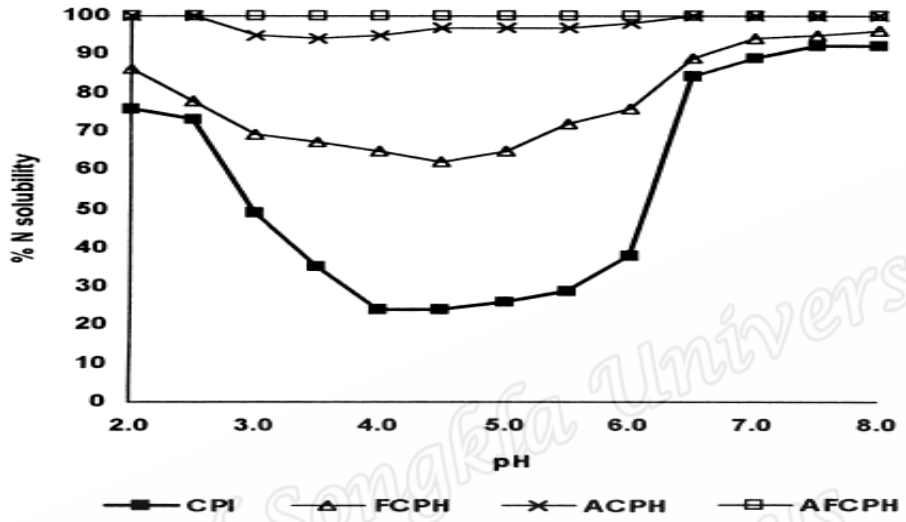
สมบัติเชิงหน้าที่ คือ สมบัติทางเคมีหรือทางกายภาพที่มีผลต่อพฤติกรรมของโปรตีนในอุตสาหกรรมอาหารนำโปรตีนที่ผ่านการย่อยสลายมาเป็นส่วนประกอบอย่างแพร่หลายเพื่อปรับปรุงคุณภาพ และเนื้อสัมผัสของอาหารหรือเพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าให้กับอาหาร (Kristinsson and Rasco, 2000) เนื่องจากโปรตีนไฮโดรไลเสตมีผลโดยตรงต่อคุณลักษณะของอาหาร ดังนั้นการนำโปรตีนไฮโดรไลเสตไปประยุกต์ใช้ในอาหารต่างๆจะต้องคำนึงถึงสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนไฮโดรไลเสตด้วย โปรตีนไฮโดรไลเสตถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสามารถทำหน้าที่สำคัญต่างๆได้หลายประการ (นิธิยา, 2547) เช่น เป็นสารช่วยเพิ่มความคงตัวของฟองในอาหาร ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในระบบอิมัลชันของอาหาร ความสำคัญของคุณสมบัติเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามประเภทของผลิตภัณฑ์อาหาร (Moure *et al*., 2006)

2.5.1 สมบัติการละลาย (Solubility)

การละลายเป็นสมบัติเบื้องต้นที่สำคัญของโปรตีนไฮโดรไลเสต เพราะเป็นสมบัติที่มีอิทธิพลต่อสมบัติในด้านอื่นๆ เช่น อิมัลซิไฟเออร์ การเกิดโฟมและการเกิดเจล เป็นต้น (Halling, 1981) จากงานวิจัยของ พรชนัน (2548) ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนโอคาราที่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์อัลคาเลสที่ความเข้มข้น 1 กรัมเอนไซม์ต่อโปรตีนโอคารา 100 กรัม พบว่าโปรตีนโอคาราไฮโดรไลเสต มีความสามารถในการละลายดีขึ้น แต่ไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า Surface hydrophobicity นอกจากนี้ Govindaraju and Srinivas, (2004) พบว่าโปรตีน Arachin ที่ผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์กลุ่มโปรติเอส มีค่าการละลายสูงขึ้น โดยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่มีระดับการย่อยสลายสูงมีค่าการละลายเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 55-60 ส่วนที่ระดับการย่อยสลายต่ำมีค่าการละลายเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงเป็นร้อยละ 14-16 (pH 4-4.5)

Clemente *et al.* (1999) ศึกษาสมบัติการละลายของโปรตีนถั่ว Chickpea 4 แบบ คือ โปรตีนถั่ว Chickpea เข้มข้น (CPI), โปรตีนถั่ว Chickpea ที่ย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์ฟลาโวไซม์ (FCPH), โปรตีนถั่ว Chickpea ที่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์อัลคาเลส (ACPH) และโปรตีนถั่ว Chickpea ที่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์ผสมระหว่างเอนไซม์อัลคาเลสและเอนไซม์ฟลาโวไซม์ (AFCPH) พบว่าโปรตีนถั่ว Chickpea มีการละลายดีขึ้นเมื่อผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ โดย ACPH มีค่าการ

ละลายร้อยละ 100 ที่ pH 7-8 ในขณะที่การใช้เอนไซม์ฟลาโวไซม์มีค่าการละลายมากกว่าร้อยละ 90 ที่ pH เท่ากับ 7 และพบว่าการใช้เอนไซม์อัลคาเลสร่วมกับเอนไซม์ฟลาโวไซม์ในการดัดแปรโปรตีนถั่ว Chickpea ทำให้กราฟรูปแบบการละลายของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากถั่ว Chickpea เปลี่ยนจากลักษณะรูปตัว U ให้เป็นแบบแนวราบ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ค่าการละลายของโปรตีนจากถั่ว Chickpea
ที่มา : Clement *et al.* (1999)

Klompong *et al.* (2007) ศึกษาความสามารถในการละลายของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากปลาสีกุนข้างเหลือง (*Selavoides leptolepsis*) ที่ผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์อัลคาเลสหรือเอนไซม์ฟลาโวไซม์ที่ระดับการย่อยสลายของโปรตีนร้อยละ 5 15 และ 25 พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตมีความสามารถในการละลายสูงสุดเมื่อระดับการย่อยสลายโปรตีนเท่ากับร้อยละ 25 และจากการทดสอบอิทธิพลของ pH ในช่วง 2-12 ต่อความสามารถในการละลาย พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตมีค่าการละลายต่ำสุดที่ pH เท่ากับ 4 และมีค่าการละลายสูงสุดที่ pH ในช่วง 8-11 ส่วนโปรตีนที่ผ่านการดัดแปรด้วยเอนไซม์ฟลาโวไซม์มีค่าการละลายสูงสุดในช่วง pH เท่ากับ 6-8 เช่นเดียวกับการศึกษาของ Thiansilakul *et al.* (2007) ที่พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตจากปลาทูแขก (*Decapterus maruadsi*) มีค่าการละลายสูงขึ้นเมื่อโปรตีนผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ฟลาโวไซม์ โดยค่าการละลายของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ตรวจสอบด้วยวิธี Nitrogen solubility index มีค่าสูงถึงร้อยละ 99

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.5.2 สมบัติการเกิดฟอง (Foaming properties)

สมบัติการเกิดฟองของโปรตีน หมายถึง ความสามารถของโปรตีนที่ทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับของเหลวและรักษาความคงตัวให้กับฟิล์มไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแรงกระทำจากภายนอก ผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการสมบัติการเกิดฟอง ได้แก่ ไอศกรีม เค้ก และเมอร์แรงจ์ เป็นต้น สมบัติการเกิดฟองจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโปรตีน Surface hydrophobicity ประจุ และค่า pI ของโปรตีน เช่น Globular protein จะเพิ่มความเสถียรของฟอง (Foaming stability) ในขณะที่ Fibrous protein จะช่วยให้เกิด Interfacial ของโปรตีนระหว่างอากาศกับของเหลวอย่างรวดเร็วทำให้มีความสามารถในการเกิดฟอง (Foaming activity) สูง (Damodaran and Paraf, 1997)

Lawal *et al.* (2007) ศึกษาผลของ pH ในช่วง 2-10 ต่อสมบัติการเกิดฟองของโปรตีนถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการดัดแปรและโปรตีนถั่วหรั่งที่ผ่านการดัดแปรด้วยสารเคมี 2 ชนิด คือ Acetylated และ Succinylated พบว่าที่ pH เท่ากับ 10 โปรตีนที่ผ่านการดัดแปรด้วย Succinylated มีความสามารถในการเกิดฟองสูงที่สุด รองลงมาคือโปรตีนที่ผ่านการดัดแปรด้วยสารAcetylated ส่วนความสามารถในการคงตัวของฟอง พบว่าโปรตีนที่ผ่านการดัดแปรทั้ง 2 แบบมีความคงตัวของฟองสูงสุดที่ pH เท่ากับ 2 รองลงมาคือโปรตีนที่ไม่ผ่านการดัดแปรที่ pH เท่ากับ 4

Chabanon *et al*. (2007) ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากโปรตีน Rape seed พบว่าโปรตีนที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยเอนไซม์อัลคาเลสที่ระดับการย่อยสลายโปรตีน (DH) ร้อยละ 5 มีความสามารถในการเกิดฟองสูงสุดและพบว่าที่ระดับการย่อยสลายร้อยละ 10 โปรตีนไฮโดรไลเสตมีความคงตัวของฟองดีที่สุด ที่เวลา 10, 30 และ 120 นาทีตามลำดับ

Taha and Ibbrahim (2002) ศึกษาผลของระดับการย่อยสลายต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนถั่วเหลือง โปรตีนจากเมล็ดงา และโปรตีนจากจมูกข้าว โดยย่อยสลายโปรตีนทั้ง 3 ชนิดด้วยเอนไซม์ปาเปนและโบรมิเลน พบว่าการย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดสามารถปรับปรุงสมบัติการเกิดฟองของโปรตีนให้สูงขึ้นได้เมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนที่ไม่ผ่านการย่อยสลาย โดยพบว่าโปรตีนที่ไม่ผ่านการย่อยสลาย (0% DH) มีความสามารถในการเกิดฟองน้อยที่สุด รองลงมาคือโปรตีนจากจมูกข้าวที่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์ปาเปน (8.8% DH) และโปรตีนจากถั่วเหลืองที่ผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์โบรมิเลน (7.3% DH)

Radha *et al.* (2007) ศึกษาสมบัติการเกิดฟองของโปรตีนจากพืช โปรตีนผสมจากพืช และโปรตีนผสมจากพืชไฮโดรไลเสต พบว่าโปรตีนผสมที่ผ่านการย่อยสลายมีค่าความสามารถในการเกิดฟองและความคงตัวของฟองสูงกว่าโปรตีนผสมที่ไม่ผ่านการย่อยสลายอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในตารางที่ 5

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 5 ค่าความสามารถในการเกิดฟองและค่าความคงตัวของฟองของโปรตีนจากพืช โปรตีนผสมจากพืช และโปรตีนจากพืชไฮโดรไลเสต

Fome capacity (FC) and fome stability (FS) of plant protein, mixed plant protein and mixed plant protein hydrolysate

ชนิดโปรตีน	ความสามารถในการเกิดฟอง (FC) (ร้อยละ)	ความคงตัวของฟอง (FS) (มิลลิลิตร)
โปรตีนผสมไฮโดรไลเสต	122 ± 5	90 ± 3
โปรตีนผสม	42 ± 2	34 ± 2
โปรตีนถั่วเหลือง	56 ± 3	42 ± 2
โปรตีนถั่วลิสง	40 ± 2	10 ± 1
โปรตีนจากงา	52 ± 3	16 ± 2

ที่มา : Radha *et al*. (2007)

2.5.3 สมบัติการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์

การเกิดอิมัลชันเป็นคุณสมบัติอันดับต้นๆที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในกระบวนการผลิตอาหาร อิมัลชัน คือ ระบบของเหลวตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน โดยมีของเหลวชนิดหนึ่งกระจายตัวในลักษณะหยดกลมเล็กๆ ในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง ระบบอิมัลชันแบ่งตามลักษณะการกระจายตัว เป็น 2 ประเภท คือระบบที่หยดน้ำมันกระจายอยู่ในน้ำ เรียกว่า อิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (Oil-in-water, O/W) และระบบที่หยดน้ำกระจายในน้ำมัน เรียกว่า อิมัลชันแบบน้ำในน้ำมัน (Water-in-oil, W/O) (Dickinson and Stainsby, 1982) ในระบบอาหารโปรตีนทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์หรือสารก่ออิมัลชัน โดยมีการจัดเรียงส่วนที่เป็น Hydrophobic ของโมเลกุลโปรตีนบริเวณผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับน้ำมัน (McClement, 1999 อ้างโดย ธันยพร, 2550) ความสามารถในการเกิดอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนไฮโดรไลเสตจะขึ้นอยู่กับระดับการย่อยสลายโปรตีน ความเป็นกรดเบส เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยโปรตีน และ Surface hydrophobicity (S_0) เป็นต้น โดยความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนจะมีค่าต่ำ ณ จุดไอโซอิเล็กทริก (Isoelectric point) (Kristinsson and Rasco, 2000)

Chabanon *et al.* (2007) ศึกษาความสามารถในการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนเมล็ดเรปซีด (Rapeseed)ไฮโดรไลเสตที่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์อัลคาเลส พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้มีความสามารถในการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์และค่าความคงตัวของการเกิด

อิมัลชันดีกว่าโปรตีนเมล็ดเรปซีดที่ไม่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย นอกจากนี้ได้ศึกษาโดยการแยกโปรตีน 2 ชนิดจากโปรตีนเมล็ดซีด และผลิตเป็นโปรตีนไฮโดรไลเสต คือ โปรตีนโกลบูลินไฮโดรไลเสตและโปรตีนอัลบูมินไฮโดรไลเสต พบว่าที่ระดับการย่อยสลายของโปรตีนร้อยละ 5 โปรตีนโกลบูลินไฮโดรไลเสตมีค่าความสามารถในการเกิดอิมัลชันและค่าความคงตัวของอิมัลชันสูงสุด คือมีค่าเท่ากับร้อยละ 50 ± 2 และที่ร้อยละ 45 ± 4 ตามลำดับ ส่วนโปรตีนอัลบูมินไฮโดรไลเสต มีค่าความสามารถในการเกิดอิมัลชันสูงสุดที่ระดับการย่อยสลายของโปรตีนร้อยละ 10 คือมีค่าเท่ากับร้อยละ 54 ± 1 และมีค่าความคงตัวของการเกิดอิมัลชันสูงสุดที่ระดับย่อยสลายของโปรตีนร้อยละ 5 คือเท่ากับร้อยละ 69 ± 9

Nalinanon *et al.* (2011) ศึกษาสมบัติการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเนื้อปลาทรายแดงโม่ง หรือ Ornate threadfin bream ที่ผลิตโดยเอนไซม์เปบซินที่สกัดได้จากเครื่องในปลาโอแถบ พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของโปรตีนร้อยละ 0.10 และระดับการสลายย่อยร้อยละ10 มีค่าดัชนีความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (Emulsion activity index หรือ EAI) และค่าดัชนีความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion stability index หรือ ESI) สูงสุด คือมีค่าเท่ากับ 116 ± 2.6 ตารางเมตร/กรัม และ 25.8 ± 2.2 นาที ตามลำดับ

Klompong *et al.* (2007) ศึกษาสมบัติการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากปลาสีกุนข้างเหลือง (*Selavoides leptolepsis*) ที่ผลิตด้วยเอนไซม์อัลคาเลสและเอนไซม์ฟลาโวไซม์ พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตโดยเอนไซม์อัลคาเลสและเอนไซม์ฟลาโวไซม์มีค่าความสามารถในการเกิดอิมัลชันและค่าความคงตัวของอิมัลชันสูงสุดที่ระดับการย่อยสลายโปรตีนร้อยละ 5 และทำการทดสอบที่ pH เท่ากับ 10 และ 8 ตามลำดับ

ธันยพร (2550) ศึกษาการผลิตและสมบัติการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหอยเป๋าฮือ (*Haliotis asinina*) พบว่าโปรตีนหอยเป๋าฮือไฮโดรเลเสตที่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์ฟลาโวไซม์มีความสามารถในการเป็นอิมัลไฟเออร์สูงกว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์อัลคาเลส และอิมัลชันที่เกิดขึ้นมีความคงตัวดีกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมเกลือที่ระดับความเข้มข้น 0.10 M มีผลต่อการเพิ่มค่าความสามารถในการเกิดอิมัลชันและความคงตัวของอิมัลชันของโปรตีนไฮโดรไลเสตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของ Bovine serum albumin (BSA) พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้มีค่าความสามารถในการเกิดอิมัลชันสูงกว่า BSA แต่มีความคงตัวของอิมัลชันใกล้เคียงกัน

2.6 การออกฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของโปรตีนไฮโดรไลเสต

ปัจจุบันมีการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเมล็ดพืชมากขึ้น โดยเฉพาะการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากวัสดุเศษเหลือที่ได้จากเมล็ดพืชน้ำมัน จึงทำให้มีงานวิจัยที่มุ่งศึกษาถึงผลและประโยชน์ในเชิงสุขภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสตมากขึ้น (Zhu *et al.,* 2006; Chabanon *et al.,* 2007; Yoshie-Stark *et al.,*, 2008) ยกตัวอย่างเช่น โปรตีนไฮโดรไลเสตช่วยลดความดัน (Yoshie-Stark and Wasche, 2004) ผลของโปรตีนไฮโดรไลเสตต่อการส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย (Li *et al.,* 2005, 2007, 2008) ผลของโปรตีนไฮโดรไลเสตต่อการต้านภาวะคลอเลสเตอรอลสูงและการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Horiguchi *et al.,* 2005) เป็นต้น โดยโปรตีนไฮโดรไลเสตนั้นเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากธรรมชาติที่เหมาะจะนำมาเป็นองค์ประกอบในอาหาร เครื่องสำอาง และทางด้านการแพทย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติในด้านการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งได้รับความสนใจเป็นพิเศษเนื่องจากสามารถนำมาทดแทนสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบสังเคราะห์ (เช่น BHA, BHT และ TBHQ) ในผลิตภัณฑ์อาหารของมนุษย์ได้ (Vaštag *et al.,* 2010)

Pena-Ramos and Xiong (2003) นำโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ Chymotrypsin มาทดสอบความสามารถในการต้านออกซิเดชันเปรียบเทียบกับโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ไม่ผ่านการย่อยสลาย พบว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์สามารถยับยั้งการฟอร์มตัวของคอนจูเกตเต็ดไดอีน (Conjugated dienes) และยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้เมื่อทดสอบปริมาณการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี TBARS (Thiobarbituric acid-reative substances)

Zhu *et al.* (2006) ทดสอบความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากจมูกข้าวสาลีที่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์อัลคาเลส พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตจากจมูกข้าวสาลีที่มีขนาดโมเลกุลต่ำกว่า 1500 Da มีความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออโต้ออกซิเดชัน (Autooxidation) ของไขมันได้ใกล้เคียงกับ α-tocopherol และเมื่อใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ความเข้มข้น 1.5 มิลลกรัมต่อมิลลิลิตร มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดีเทียบเท่า BHT (Butylated hydroxytoluene) ที่ความเข้มข้นเท่ากัน

สุภาวดี (2550) ศึกษาความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสต พบว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ผ่านการดัดแปรด้วยเอนไซม์ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (2,2-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) diammonium salt) มีฤทธิ์ทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันลิโนเลอิกได้ดีกว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ไม่ผ่านการย่อยสลาย และมีฤทธิ์เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาใน

การการย่อย และความเข้มข้นของโปรตีนไฮโดรไลเสตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสตที่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์อัลคาเลสมีความสามารถในการทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันลิโนเลอิกสูงกว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน

เยาวภา (2549) ศึกษากิจกรรมการเป็นสารต้านออกซิเดชันของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากกล้ามเนื้อปลาทูแขก (*Decapterus maruadsi*) ที่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์อัลคาเลส และเอนไซม์ฟลาโวไซม์ ที่ระดับการย่อยสลายร้อยละ 20 40 และ 60 พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์ฟลาโวไซม์ มีกิจกรรมการจับกับอนุมูลอิสระ DPPH (1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl) และ Reducing power สูงกว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์อัลคาเลสแต่มีประสิทธิภาพการจับกับโลหะ (Fe^{2+}) ที่ต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับการย่อยสลายเดียวกัน และพบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่เตรียมจากเนื้อปลาทูแขกที่ผ่านการกำจัดไขมันและมีระดับการย่อยสลายร้อยละ 60 มีประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระ DPPH และ Reducing power สูงสุด ในขณะที่โปรตีนไฮโดรไลเสตที่เตรียมจากเนื้อปลาที่ไม่ได้ผ่านการกำจัดไขมันและมีระดับการย่อยสลายของโปรตีนร้อยละ 20 มีประสิทธิภาพการจับกับโลหะ (Fe^{2+}) ที่ดี

Li *et al.* (2008) ศึกษาความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากถั่วชิคพี (Chickpea) โดยคัดแยกเปปไทด์จากโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ผลิตได้ด้วยวิธี Gel filtration ได้โปรตีน 4 รูปแบบ คือ Fration.1, Fration.2, Fration.3 และ Fration.4 เมื่อนำมาทดสอบความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออโต้ออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก (linoleic acid autoxidation) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH radical-scavenging activity) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (Hydroxyl radical-scavenging activity) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระรูปแบบซุปเปอร์ออกไซด์ (Superoxide radical-scavenging activity) พบว่าโปรตีน Chickpea ไฮโดรไลเสต ใน Fration.4 มีสมบัติในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันจากกรดไขมันลิโนเลอิกได้ดีใกล้เคียงกับสาร α -tocopherol โดยมีระดับการยับยั้งร้อยละ 81.13 และร้อยละ 83.66 ตามลำดับ แต่มีระดับการยับยั้งน้อยกว่าสาร Butylated hydroxytoluene หรือ BHT ซึ่งมีระดับการยับยั้งเท่ากับร้อยละ 99.71 และพบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตจาก Chickpea ใน Fra. 4 ที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นเท่ากับ 1.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และความเข้มข้นเท่ากับ 2.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH การต้านอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลและการต้านอนุมูลอิสระชนิดซุปเปอร์ออกไซด์ สูงสุดตามลำดับ

Chanput *et al.* (2009) ศึกษาการออกฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของโปรตีนจากข้าวบาร์เลย์ และโปรตีนรำข้าวพบว่า โปรตีนข้าวบาร์เล่ และโปรตีนรำข้าวที่ผ่านการไฮโดรไลเสตด้วย

Prince of Songkla University Pattani Campus

เอนไซม์เปบซินร่วมกับทริปซินมีความสามารถในการออกฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าโปรตีนที่ไม่ผ่านการไฮโดรไลเสต นอกจากนี้จากการแยกชนิดโปรตีนรำข้าวทั้งหมด 4 ชนิด คือ Albumin, Globulin, Prolamin และ Glutelin พบว่าโปรตีนชนิด Globulin มีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในระบบจำลองกรดลิโนเลอิกได้ดีที่สุด และจากการทดสอบความสามารถในการรีดิวส์เฟอริก (Fe^{3+}) ของโปรตีนข้าวบาร์เลย์และโปรตีนรำข้าว พบว่าโปรตีนทั้งสองชนิดที่ผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์เปปซินมีความสามารถในการรีดิวส์เฟอริก (Fe^{3+}) ให้เปลี่ยนเป็นเฟอรัส (Fe^{2+}) ได้ดีกว่าโปรตีนที่ไม่ผ่านการย่อยสลาย

2.7 การประยุกต์ใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม

ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากโปรตีนไฮโดรไลเสตอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในวงการอุตสาหกรรมอาหาร เช่น โปรตีนไฮโดรไลเสตจากพืชถูกนำมาใช้ประโยชน์ ในการเป็นสารเพิ่มอิมัลชัน สารเพิ่มความอุ้มน้ำ หรือใช้เป็นสารอาหารเพื่อเสริมโปรตีนในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ แต่ยังไม่มีรายงานการนำโปรตีนไฮโดรไลเสตมาประยุกต์ใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์พร้อมดื่มมากนัก จากการศึกษาของ Sinha *et al.* (2007) ได้ทดลองนำเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสตมาแปรรูปเป็นเครื่องดื่มโดยมีส่วนประกอบของนมผง ผงโกโก้ น้ำเชื่อม น้ำตาล ไขมันจากพืช และเวย์โปรตีนไฮโดรไลเสต โดยใช้เวย์โปรตีนไฮโดรไลเสตต่อนมผง ในอัตราส่วน 1:1 เก็บรักษาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มไฮโดรไลเสตเป็นระยะเวลา 30 วันและประเมินผลทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation) ในวันที่ 0 10 20 และ 30 ของการเก็บรักษา พบว่าลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนไฮโดรไลเสตไม่มีความแตกต่างกัน แต่พบค่าความแตกต่างในด้านรสชาติและค่าการยอมรับโดยรวมในผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกภายใต้สภาวะการเก็บที่อุณหภูมิห้อง ที่ระยะเวลา 20 และ 30 วัน ของการเก็บรักษา และพบค่าความแตกต่างในด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิด PET (Polyethylene terephthalate) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (ตู้เย็น) และผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

Phanipa *et al*. (2010) ศึกษาการเสริมเจลาตินไฮโดรไลเสตที่ได้จากการย่อยสลายเจลาตินด้วยเอนไซม์อัลคาเลส และ PCE ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำแอปเปิ้ล ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และ 0.3 (น้ำหนักต่อปริมาตร) พบว่าน้ำแอปเปิ้ลที่เสริมเจลาตินไฮโดรไลเสตมีค่า pH และค่าความเข้มข้นของสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่ไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด และพบว่าน้ำแอปเปิ้ลเสริมเจลาตินไฮโดรไลเสตระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.3 มีกิจกรรมการจับอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS เพิ่มขึ้นร้อยละ 24 และ 28 ตามลำดับเมื่อทดสอบสมบัติทางประสาทสัมผัสก็ไม่พบความแตกต่างของความชอบด้านสี ความข่น กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมระหว่างน้ำแอปเปิ้ลธรรมดาและน้ำแอปเปิ้ลที่เสริมเจลาตินไฮโดรไลเสตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1

และ 0.3 เช่นเดียวกับการศึกษาของ Jookyeong, 2011 ที่ศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชารสมะนาวเสริมโปรตีนไฮโดรไลเสตจากถั่วเหลือง พบว่าการเสริมโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ระดับความเข้มข้นของโปรตีนร้อยละ 1 2.5 และ 5 ไม่มีความแตกต่างในด้านคะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์ผู้บริโภค ทั้งในด้านความชอบโดยรวม และรสชาติ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องดื่มที่ไม่เสริมโปรตีน

Prince of Songkla University
Pattani Campus