วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 33 : 1 (11 - 20)

การผลิตผงโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Production of Protein Hydrolysate Powder from Jellyfish using Spray Drying

พิสิฐ วงศ์สง่าศรี[1*] เบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์[2] และ สุทธิวัฒน์ แซ่ฮ้อ[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนดองเค็มสายพันธุ์หนัง (*Rhopilema hispidum*) และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย ในขั้นตอนการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนดองเค็ม ศึกษาผลของปริมาณเอนไซม์โบรมิเลน (0, 0.5, 1.0 และ 1.5% w/v ของตัวอย่าง) และระยะเวลาในการย่อย (0, 6, 12 และ 18 ชั่วโมง) ต่อการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุน ผลการศึกษาพบว่าการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนที่ความเข้มข้นเอนไซม์โบรมิเลน 1.0% ระยะเวลา 12 ชั่วโมงเป็นสภาวะที่เหมาะสม คือมีร้อยละผลผลิต 97.5 และระดับการย่อย 64.98-87.76% การผลิตผงโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย ศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำแห้ง (120, 150 และ 180°C) และความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตริน (2, 4 และ 6%) พบว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้า 180 °C และใช้มอลโตเด็กซ์ตริน 2% เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาในด้านร้อยละผลผลิต ปริมาณความชื้นและความสามารถในการละลาย และเมื่อเก็บรักษาผงโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนบรรจุในถุงเมทัลไลซ์เป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) ยีสต์และรา (yeast and mold) Coliform, *E.coli* และ *S. aureus* มีค่าน้อยกว่า 250 CFU/g, น้อยกว่า 10 CFU/g, น้อยกว่า 3 MPN/g และไม่พบ ตามลำดับ และมีค่า a_w น้อยกว่า 0.4 ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ทำให้มีความปลอดภัยในการบริโภค

คำสำคัญ : แมงกะพรุน แมงกะพรุนหนัง โปรตีนไฮโดรไลเซท โบรมิเลน การทำแห้งแบบพ่นฝอย

Abstract

The aims of this study were to investigate the optimal conditions for producing protein hydrolysate from salted sand jellyfish (*Rhopilema hispidum*) and for spray drying of jellyfish protein hydrolysate to produce jellyfish powder. The studied factors for jellyfish hydrolysis were bromelain concentrations (0, 0.5, 1.0 and 1.5% w/v of sample) and incubation times (0, 6, 12 and 18 h). All conditions were performed at pH 6.0 and 50°C. The results showed that the optimal conditions of producing protein hydrolysate were 1.0% bromelain and incubation time of 12 h. The percentage of yield and degree of hydrolysis (%DH) were 97.5% and 64.98-87.76%, respectively. For jellyfish powder by spray drying experiment, factors associated with spray dryer were inlet temperatures (120, 150 and 180°C) and concentrations of maltodextrin (2, 4 and 6%). The result showed that the temperature of 180°C and 2% maltodextrin was optimal condition for producing dried jellyfish protein hydrolysate powder in terms of percentage of yield, moisture content and solubility. Also the dried jellyfish protein hydrolysate packed in metalized pouch and kept for 3 months was investigated microbiologically. The results showed that the values of the total plate count, Coliform, *E. coli* and yeast and mold were low and the water activity was below 0.4 which any pathogens

[1]กลุ่มนวัตกรรมผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำเชิงพาณิชย์ กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง

[2]ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

could not grow. Therefore, the jellyfish powder is safe for consumption.

Keywords : Jellyfish, Sand jellyfish, Protein hydrolysate, Bromelain, Spray drying

คำนำ

แมงกะพรุนที่นิยมจับในประเทศไทย มีด้วยกันอยู่สองสายพันธุ์ คือ แมงกะพรุนสายพันธุ์หนัง (*Rhopilema hispidum*) และสายพันธุ์ลอดช่อง (*Lobonema smithii*) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 - 2551 ประเทศไทยมีการส่งออกผลิตภัณฑ์แมงกะพรุนดองเค็มปริมาณ 3400 - 9400 ตัน คิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจประมาณ 182 - 525 ล้านบาท (กรมศุลกากร, 2552) ตลาดส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ เกาหลีเหนือ ไต้หวัน และ จีน

การพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปแมงกะพรุนให้มีความหลากหลาย จะช่วยเพิ่มช่องทางในการนำแมงกะพรุนไปใช้ประโยชน์มากขึ้น ในประเทศไทยมีการพัฒนาการแปรรูปแมงกะพรุนพันธุ์หนังและแมงกะพรุนพันธุ์ลอดช่อง เช่น การทอดกรอบ การอบแห้ง การรมควัน (อิสรี, 2552) นอกจากนี้ มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตในรูปของโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุน (jellyfish protein hydrolysate) ซึ่งช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ โดยโปรตีนถูกย่อยกลายเป็นกรดอะมิโนอิสระหรือ ไดเปปไทด์ และไตรเปปไทด์ ซึ่งร่างกายสามารถดูดซึมได้ดีในลำไส้เล็ก (Hindi-Tamelikecht *et al.*, 1997) การทำโปรตีนให้อยู่ในรูปไฮโดรไลเซทเป็นวิธีที่แพร่หลาย เพราะเป็นการทำให้โปรตีนอยู่ในรูปของเหลวที่ง่ายต่อการนำไปแปรรูปต่อ อาทิเช่น วิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) (Abdul-Hamid *et al.*, 2002) ซึ่งเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์

ดังนั้น การศึกษาการแปรรูปแมงกะพรุนเป็นผลิตภัณฑ์ผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าและความหลากหลาย สะดวกในการขนส่งและเก็บรักษา สามารถนำมารับประทานได้ง่ายและรวดเร็ว และสามารถนำเศษของแมงกะพรุนมาใช้ประโยชน์ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แมงกะพรุนที่มีตัวไม่สมบูรณ์ ตัวที่มีการตัดขาดในระหว่างการจับ หรือมีขนาดเล็กไม่ได้มาตรฐาน ไม่เป็นที่ต้องการของตลาด นอกจากนี้ผงโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนยังสามารถนำมาบรรจุแคปซูลเพื่อใช้บริโภคเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารโปรตีนและสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหาร หรือใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดคอลลาเจนเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องสำอางค์ต่อไปได้

วัตถุประสงค์

(1) เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาสมในการเตรียมโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนก่อนการทำแห้ง 2) เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนไฮโดรไลเซทด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย และ (3) เพื่อศึกษาคุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาของผงโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนและศึกษาคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา

อุปกรณ์และวิธีการ

แมงกะพรุนที่ใช้ในการทดลองเป็นแมงกะพรุนดองเค็มสายพันธุ์หนัง (*Rhopilema hispidum*) ส่วนร่ม (umbrella) จากบริษัทมหาชัยซีฟู้ดส์ จำกัด จังหวัดสมุทรสาคร

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาสมในการเตรียมโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุน (Jellyfish protein hydrolysate, JPH) ก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

นำวัตถุดิบแมงกะพรุนล้างด้วยน้ำสะอาด และแช่น้ำสะอาดทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อกำจัดเกลือ จากนั้นล้างน้ำให้สะอาด ตรวจสอบปริมาณเกลือของแมงกะพรุนด้วยเครื่อง salinometer โดยล้างจนได้ค่าปริมาณเกลือเท่ากับ 0 °Brix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผึ่งบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ และบีบตัวอย่างจนไม่มีน้ำไหลออกมา นำมาหั่นเป็นชิ้นให้มีขนาดความกว้าง 1 เซนติเมตร และยาว 3 เซนติเมตร (อิสรี, 2552) จากนั้นนำแมงกะพรุนไปตากแดดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง และนำมาแช่น้ำส้มสายชู (rice vinegar) ความเข้มข้น 5% เป็นเวลา 30 นาที ใช้อัตราส่วน เนื้อแมงกะพรุน ต่อน้ำส้มสายชู 1: 2 แล้วลวกในน้ำเดือดที่อัตราส่วนน้ำ 2,000 มิลลิลิตร ต่อ เนื้อแมงกะพรุน 500 กรัม เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นใช้อัตราส่วนของเนื้อแมงกะพรุนต่อน้ำ 70:100 กรัมต่อมิลลิลิตร ปั่นส่วนผสมให้ละเอียด ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ (Erlenmyer flask) ให้ความร้อนโดยใช้หม้อนึ่งความดันสูง (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น นำมาปรับ pH ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 2 N ให้ได้ pH เท่ากับ 6 ซึ่งเป็น pH ที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์โบรมิเลน (พร้อมลักษณ์, 2540) เติมเอนไซม์โบรมิเลน ที่ 0, 0.5, 1 และ 1.5% ต่อปริมาตรวัตถุดิบแมงกะพรุนที่ปั่นกับน้ำข้างต้น (w/v) นำไปเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 0, 6, 12 และ 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด หยุดปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์โดยการนำไปไว้ในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ได้ JPH

วิเคราะห์ผลผลิตที่ย่อยได้ (% Yield), ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำ (soluble protein) ด้วยวิธี Lowry *et al.* (1951), pH ด้วย pH meter และ ระดับการย่อยสลาย (Degree of hydrolysis, % DH) ด้วยเครื่อง spectrophotometer ตามวิธีของ Benjakul and Morrissey (1997)

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตผงโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนไฮโดรไลเซท (ผง JPH) ด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย

นำ JPH ที่สภาวะการย่อยที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตจากข้อ 1 ปริมาตร 300 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดก้นกลม และนำไประเหยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดัน 180 มิลลิปาสคาล ความเร็วรอบในการหมุนที่ 20 รอบต่อนาที จากนั้นวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำให้ได้ 6° Brix กรองด้วยผ้าขาวบาง แล้วเติมมอลโตเด็กซ์ตริน โดยแปรปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน ที่ 2%, 4% และ 6% ต่อน้ำหนัก JPH และใช้ตัวอย่างที่ไม่ได้ปรับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เป็นชุดควบคุม นำไปทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่อุณหภูมิ 120, 150 และ180 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ที่อัตราการป้อน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ความดัน 4 บรรยากาศ อัตราเร็วหมุนเวียนอากาศในเครื่อง 90% ได้ผง JPH

วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีนและปริมาณเถ้า (AOAC, 1995) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ด้วยเครื่องวัด water activity ร้อยละผลผลิตของผง JPH (%Yield) และความสามารถในการละลาย ดัดแปลงมาจากวิธีของ Al-Kahtani and Hassan (1990) ของผง JPH ที่ได้

3. การศึกษาคุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาและการศึกษาคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาของผงโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุน

นำผง JPH จากข้อ 2 ที่สภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ให้ค่าความสามารถในการละลายสูงที่สุดไปวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า (AOAC, 1995) และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) วิเคราะห์ด้านจุลชีววิทยา ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total viable count) โคลิฟอร์ม (coliform) อี. โคไล (*E.coli)* สแตปฟิโลคอกคัส ออเรียส *(Staphylococus aureus*) และปริมาณยีสต์และรา (yeast and mold) (BAM, 1992) รวมทั้งตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา โดยนำตัวอย่างผง JPH บรรจุในถุงเมทัลไลซ์ เก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง และเก็บตัวอย่างนำไปวิเคราะห์ทุกเดือน โดยวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณความชื้น และค่า a_w

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวางแผนการทดลองเป็นแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ข้อมูลทั้งหมดแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการตรวจวิเคราะห์ 3 ครั้ง วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีทางสถิติแบบ Duncan's New Multiple Range

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test (DMRT) พิจารณาค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลของการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต JPH จากแมงกะพรุนก่อนการอบแห้งแบบพ่นฝอย

1.1 ร้อยละผลผลิตที่ย่อยได้ (%Yield)

เมื่อนำแมงกะพรุนดองเค็มที่ผ่านการกำจัดเกลือด้วยน้ำส้มสายชูแล้ว มาย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลน ที่ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 1.5% ระยะเวลาในการย่อยที่ 0, 6, 12 และ 18 ชั่วโมง แล้วตรวจสอบค่าเฉลี่ยของร้อยละของผลผลิตที่ย่อยได้ (%Yield) ของ JPH พบว่าค่าเฉลี่ยของ %Yield ของ JPH มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์โบรมิเลนที่ใช้ในการย่อยเพิ่มขึ้น (Figure 1)

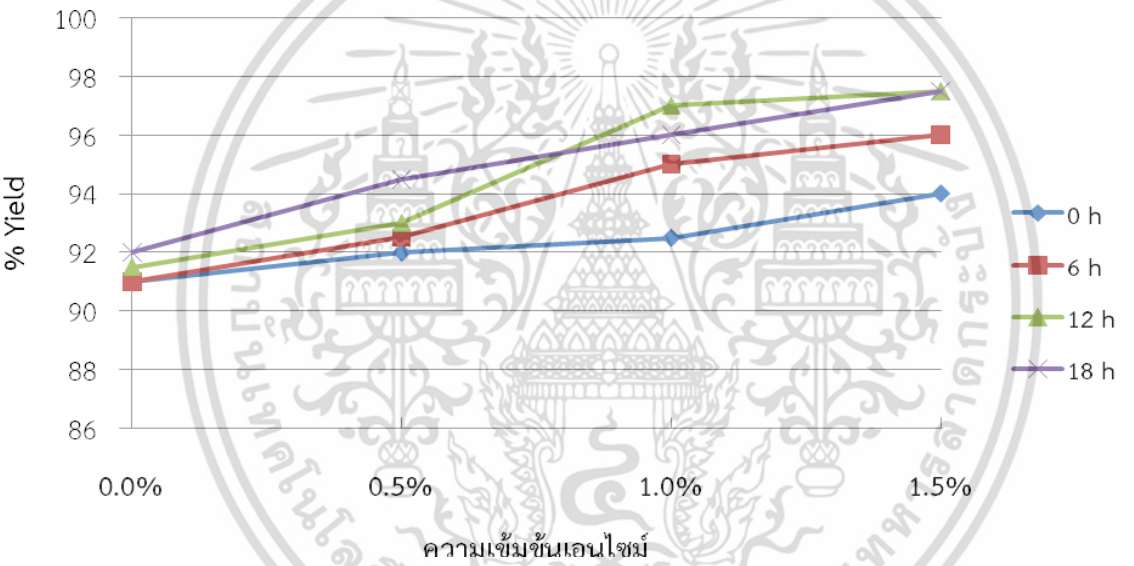

Figure 1 Effect of bromelain concentration and incubation time on % yield of jellyfish protein hydrolysate.

จาก Figure 1 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์โบรมิเลนเพิ่มจาก 0 เป็น 0.5, 1.0 และ 1.5% ส่งผลให้ % Yield ของ JPH เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดที่ความเข้มข้นจาก 0% ไปเป็น 0.5% ส่วนที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 1.5% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบ % Yield ที่ใช้ระยะเวลาการย่อยต่างกันพบว่าที่ระยะเวลา 6 ถึง 18 ชั่วโมง ไม่ทำให้ค่า % Yield แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p> 0.05$) โดย % Yield สูงสุดเมื่อใช้ความเข้มข้นเอนไซม์โบรมิเลน 1.5% เวลาย่อย 12 และ 18 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 97.5% เมื่อเปรียบเทียบการย่อยของเอนไซม์โบรมิเลนที่ความเข้มข้น 0 และ 1.5% ระยะเวลา 18 ชั่วโมงพบว่าเอนไซม์โบรมิเลนสามารถย่อยแมงกะพรุนได้ % Yield เพิ่มขึ้นจาก 92.0% เป็น 97.5%

1.2 ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำ (Soluble protein)

จาก Figure 2 พบว่า ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ใน JPH มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของระดับความเข้มข้นเอนไซม์โบรมิเลน โดย JPH มีค่าเท่ากับ 52.58 mg/ml ที่ระดับความเข้มข้นของเอนไซม์ 1.5% เป็นเวลา 6-12 ชั่วโมง ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การเพิ่มระดับความเข้มข้นเอนไซม์โบรมิเลนมีผลต่อการเพิ่มปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำ เพราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอนไซม์โบรมิเลนสามารถย่อยโปรตีนให้เป็นเปปไทด์มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลง ส่งผลทำให้คุณสมบัติในการละลายน้ำของ JPH ที่ได้เพิ่มขึ้น

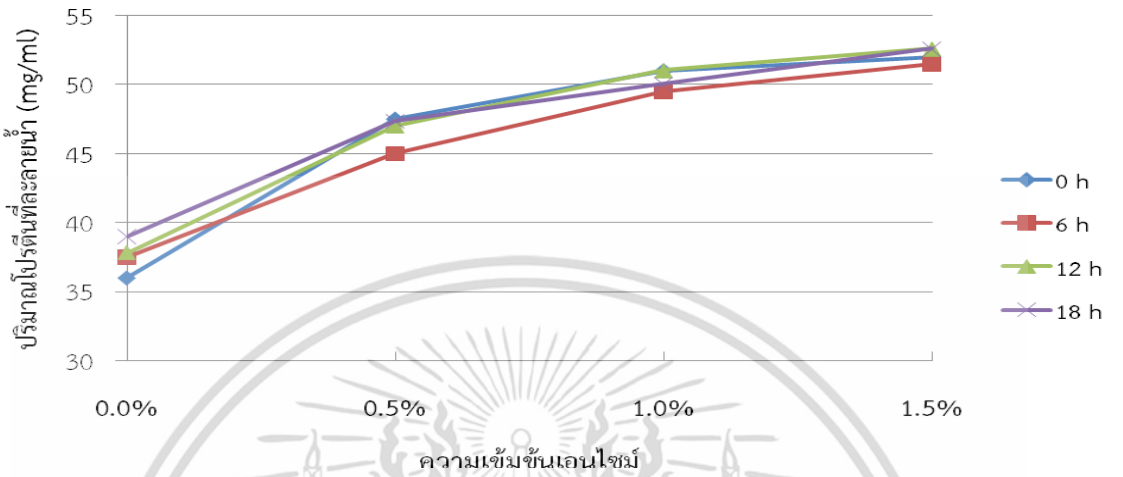

Figure 2 Effect of bromelain concentration and incubation time on soluble protein of jellyfish protein hydrolysate.

1.3 ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)

ผลการวัด pH ของ JPH ที่ย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลน พบว่า การใช้โบรมิเลนในการย่อยทำให้ JPH มีค่า pH ลดลงตามระดับความเข้มข้นของเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้น (Figure 3) โดย pH ของ JPH ลดลงจาก pH เริ่มต้นประมาณ 6.0 ลงมาถึง pH ประมาณ 5.2-5.6 ที่ความเข้มข้นเอนไซม์ 1.5% ทั้งนี้เนื่องจากมีการย่อยสลายโปรตีนได้เป็นเปปไทด์สายสั้นลงที่มีกรดอะมิโนซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรด ได้แก่ Gly Ser Asp Ala Glu Cys Lys Val Met Tyr Ile Phe ส่งผลทำให้ pH ของ JPH ลดต่ำลง โดยค่า pH ที่ลดลงอาจส่งผลต่อคุณสมบัติของโปรตีนไฮโดรไลเซท เช่น ช่วยปรับปรุงความสามารถในการละลายน้ำ เนื่องจากไปลดพื้นผิวของเปปไทด์โมเลกุลที่ชอบน้ำ และช่วยกำจัดการเป็นไฟฟ้าสถิตออกไป (Babiker *et al.*,1996)

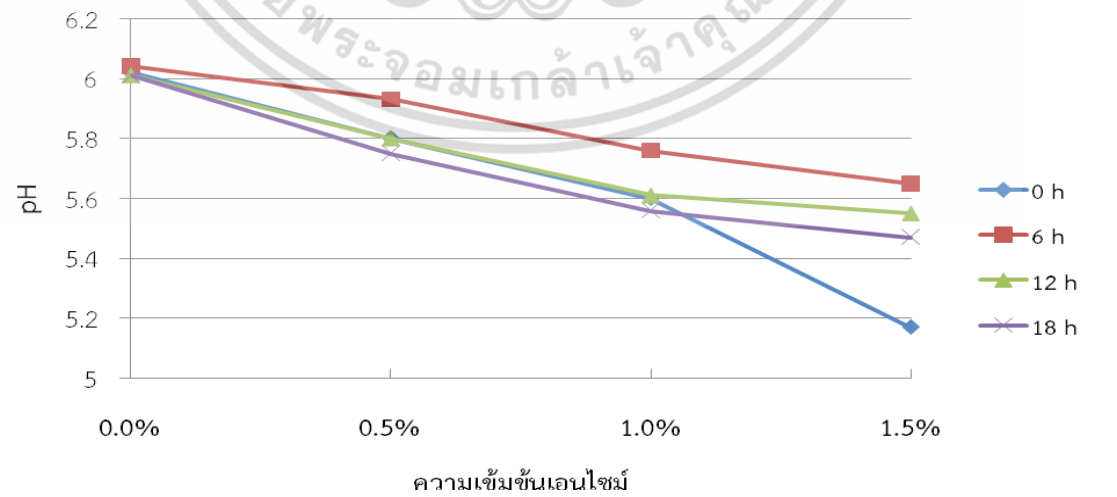

Figure 3 Effect of bromelain concentration and incubation time on pH of jellyfish protein hydrolysate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ระดับการย่อย (Degree of hydrolysis, %DH)

ระดับการย่อย (Degree of hydrolysis, %DH) ของ JPH แสดงใน Figure 4 พบว่า % DH ของ JPH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์โบรมิเลนที่ใช้ในการย่อยเพิ่มขึ้น โดยที่ เอนไซม์ความเข้มข้น 1.5% เวลา 6 ชั่วโมง ให้ค่า %DH สูงสุด คือ 87.76% และ ลดลงเมื่อเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้นเป็น 12 และ 18 ชม ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ ระยะเวลาในการย่อย 18 ชม ค่า %DH ที่ย่อยด้วยเอนไซม์ความเข้มข้น 1% มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับที่ความเข้มข้น 0.5% และ 1.5% ($p>0.05$)

ผลของความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ใช้ระยะเวลาในการย่อยนาน 6, 12 และ 18 ชั่วโมง พบว่า JPH มี % DH ที่สูงสุดเมื่อใช้เอนไซม์โบรมิเลน 1.5% ย่อยเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่า เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์จาก 0 % เป็น 0.5% ในทุกช่วงระยะเวลาของการย่อย ค่า %DH จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์จาก 0.5% เป็น 1.0% และ 1.5% % DH ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p> 0.05$) โดย Adler-Nissen (1986) รายงานว่า ในการย่อยโปรตีนจากถั่วเหลือง เมื่อถึงช่วงระยะเวลาหนึ่งจะส่งผลให้ได้สารตั้งต้นโปรตีนและสายเปปไทด์คงที่ตลอดระยะเวลาในการย่อย (stationary phase) เนื่องจากในงานวิจัยนี้ปริมาณสารตั้งต้นโปรตีนจากแมงกะพรุนมีจำนวนจำกัด เมื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์โบรมิเลนจึงไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของ DH เนื่องจากเอนไซม์อาจย่อยโปรตีนสารตั้งต้นหมดแล้ว ระดับการย่อยจึงคงที่ ดังนั้นการเติมเอนไซม์โบรมิเลนที่ 1.5% อาจเป็นการใช้เอนไซม์ที่เกินความจำเป็น (Constantinides and Adu-Amankwa, 1980) ดังนั้น จึงเลือกสภาวะการย่อยที่ระดับความเข้มข้นเอนไซม์ 1.0% เป็นสภาวะความเข้มข้นที่เหมาะสม และเมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาในการย่อยที่เหมาะสม เมื่อใช้ความเข้มข้นเอนไซม์ 1.0% พบว่า ค่า %DH ที่ย่อยด้วยระยะเวลา 12 และ 18 ชั่วโมง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p> 0.05$) ดังนั้น สภาวะที่ความเข้มข้นเอนไซม์ 1.0% ระยะเวลาการย่อย 12 ชั่วโมง จึงเลือกเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต JPH

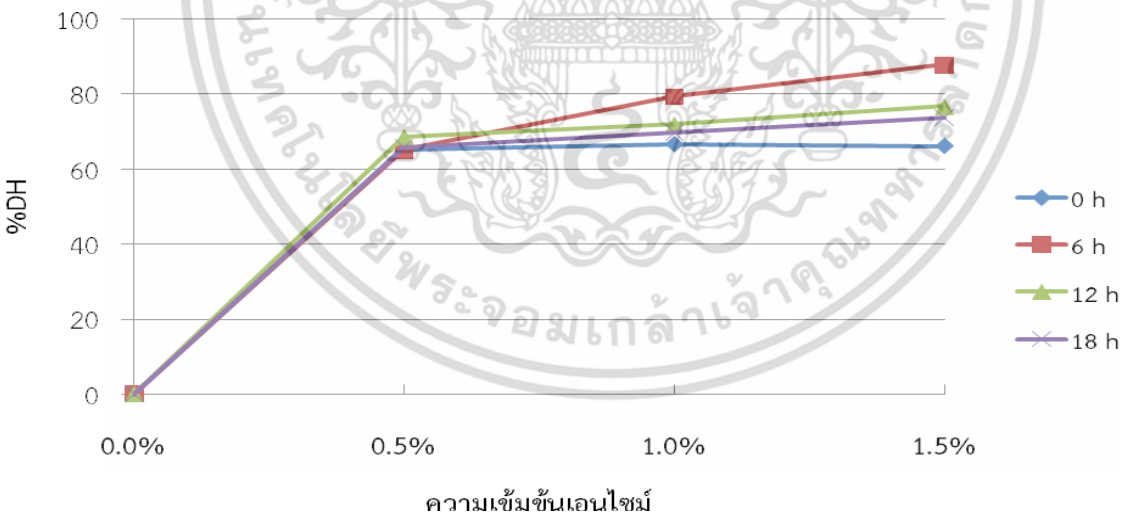

Figure 4 Effect of bromelain concentration and incubation time on degree of hydrolysis of jellyfish protein hydrolysate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตผง JPH ด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย

2.1 ร้อยละผลผลิต (% Yield)

สภาวะการผลิต JPH ที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองส่วนที่ 1 คือ ที่สภาวะการย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลนความเข้มข้น 1.0% ระยะเวลา 12 ชั่วโมง จึงนำ JPH ที่สภาวะดังกล่าวไปศึกษากระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการทำแห้ง ได้แก่ ความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน และ อุณหภูมิขาเข้า (inlet air temperature) โดยในการทดลองใช้ความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตรินที่ 2, 4 และ 6 % และอุณหภูมิขาเข้าที่ 120, 150 และ 180 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงร้อยละผลผลิต (%Yield) อยู่ในช่วง 4.71-8.20% (Table 1) ร้อยละผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิขาเข้าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับเมื่อความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้น ร้อยละผลผลิตมีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน

ผลการทดลอง พบว่าร้อยละผลผลิตสูงสุดอยู่ที่การใช้อุณหภูมิขาเข้าที่ 180 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน 6% เท่ากับ 8.20 % เนื่องจากการใช้อุณหภูมิที่สูงในการอบแห้งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นที่ต่ำ ผง JPH จึงมีแนวโน้มตกค้างในเครื่องน้อยกว่าการใช้อุณหภูมิขาเข้าที่ต่ำกว่า

Table 1 Effects of inlet air temperature and amount of maltodextrin on % yield, % moisture content and solubility of jellyfish protein hydrolysate powder.

Inlet temperature(°C)	Maltodextrin (%)	Yield (%)	Moisture content (%wb)	Solubility (s)
120	2	4.71±0.13 ^{f}	7.49±0.21 ^{a}	89.00±4.00 ^{cd}
	4	6.54±0.09 ^{d}	5.03±0.12 ^{c}	116.33±2.51 ^{b}
	6	7.22±0.16 ^{b}	5.95±0.09 ^{b}	138.00±7.55 ^{a}
150	2	4.82±0.10 ^{f}	5.02±0.03 ^{c}	68.00±5.57 ^{f}
	4	5.67±0.15 ^{e}	4.03±0.21 ^{d}	85.67±1.53 ^{de}
	6	6.84±0.15 ^{c}	4.23±0.20 ^{d}	133.67±3.51 ^{a}
180	2	4.92±0.11 ^{f}	3.73±0.06 ^{e}	66.00±4.35 ^{f}
	4	6.77±0.06 ^{c}	2.90±0.08 ^{f}	78.67±3.06 ^{e}
	6	8.20±0.16 ^{a}	2.09±0.18 ^{g}	96.00±4.00 ^{c}

^{a,b,c,d} Different superscripts in the same column indicate the significant differences. ($p \leq 0.05$)

2.2 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นพบว่า ปริมาณความชื้นในผง JPH อยู่ในช่วง 2.09-7.49% (Table 1) ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำผงที่ใกล้เคียงกันโดยใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทปลาร้าผงที่กำหนดให้มีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 (มผช. 134/2546) โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้อุณหภูมิขาเข้าสูงและความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน สูงส่งผลให้มีปริมาณความชื้นต่ำลง โดยผลการทดลองพบว่าการใช้อุณหภูมิขาเข้า 120 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน 2% มีปริมาณความชื้นที่สูงสุด 7.49% และอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน 6% มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) เนื่องจาก อุณหภูมิในการทำแห้งที่สูง ส่งผลให้เกิดการระเหยของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้สูงกว่าเมื่อเทียบกับการใช้อุณหภูมิทำแห้งที่ต่ำ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นที่น้อยกว่า ซึ่งมีผลสอดคล้องกับงานวิจัยของสโรบล (2549) พบว่าอุณหภูมิขาเข้าในการทำแห้งสับปะรดผง ที่ 130 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน 37% มีปริมาณความชื้น 3.64% มีปริมาณความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงสุด แต่เมื่อใช้อุณหภูมิขาเข้า 170 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 43% ผลิตภัณฑ์มีความชื้น 2.04% ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำสุดในกระบวนการผลิตสับปะรดผง

2.3 การละลาย (Solubility)

การวิเคราะห์ความสามารถในการละลายน้ำพบว่าผง JPH ละลายน้ำอย่างสมบูรณ์ใช้เวลาตั้งแต่ 66.00-138.00 วินาที (Table 1) เมื่อใช้สภาวะการทำแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน 6% ใช้เวลาในการละลายนานที่สุดคือ 138.00 วินาที ส่วนสภาวะที่มีค่าความสามารถในการละลายน้อยที่สุดเท่ากับ 66.00 วินาที ใช้อุณหภูมิขาเข้า 180 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตรินที่ 2%

จากผลการทดลองพบว่าการใช้อุณหภูมิขาเข้าที่สูงขึ้น และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่ต่ำลง ส่งผลให้ผง JPH มีความสามารถในการละลายน้ำใช้เวลาละลายสั้น สภาวะการทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิขาเข้าที่ต่ำและความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตรินสูงทำให้ใช้ระยะเวลาในการละลายของผง JPH นาน เนื่องจากอุณหภูมิขาเข้าที่สูงส่งผลให้อนุภาคที่มีขนาดเล็กมีความเป็นรูพรุนเพิ่มสูงขึ้น และลดปริมาณความชื้นจึงเป็นผลให้ความสามารถในการละลายเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Athanasia *et al*., 2004) และมีผลสอดคล้องกับ Milton *et al*.(2005) ที่พบว่าความสามารถในการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ผงจะลดลงเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของผง JPH ด้าน ปริมาณความชื้น ร้อยละผลผลิต และความสามารถในการละลาย จึงเลือกสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิขาเข้า 180 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน 2% เพื่อผลิตผง JPH (สำหรับการศึกษาคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาต่อไป) เนื่องจากเป็นสภาวะการทำแห้งที่ได้ผง JPH ที่มีปริมาณความชื้นที่ต่ำมาก ซึ่งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคไม่สามารถเจริญเติบโตได้ มีร้อยละผลผลิตในการอบแห้งสูงปานกลาง และมีความสามารถในการละลายน้ำสูงสุด ใช้เวลาในการละลายน้ำน้อยที่สุด

3. ผลการศึกษาคุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาและคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาของผงโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุน

การผลิตผง JPH โดยการใช้สภาวะการทำแห้งที่อุณหภูมิขาเข้า 180 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน 2% เมื่อมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่า ผง JPH มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และปริมาณเถ้าเท่ากับ 3.73%, 68.62%, 4.39% และ 4.38% ตามลำดับ ซึ่ง ปริมาณโปรตีนและไขมัน มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการแปรรูปโดยทำเป็นผงแห้งทำให้ปริมาณความชื้นลดลง จึงทำให้สัดส่วนของไขมัน และโปรตีนเพิ่มมากขึ้นกว่าก่อนการทำแห้ง ส่วนร้อยละที่เหลือเป็นปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากมอลโตเด็กซ์ตริน

และเมื่อนำตัวอย่างผง JPH มาศึกษาคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 เดือน โดยบรรจุในถุงเมททัลไลซ์ ตรวจวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และค่า a_w (Table 2) พบว่า ปริมาณความชื้นของผง JPH มีความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 3.73 เป็น 4.49% โดยความชื้นเพิ่มมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น เช่นเดียวกับค่า a_w มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.331 เป็น 0.376 เนื่องจาก การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผง JPH ที่มีความชื้นต่ำทำให้มีการดูดกลับความชื้นได้อย่างรวดเร็ว (วรเดช, 2545) นอกจากนี้ ถึงแม้ว่า ถุงเมททัลไลซ์จะมีคุณสมบัติในการป้องกันแสงและความชื้นได้ดีในระดับหนึ่ง แต่ถุงเมททัลไลซ์ที่ใช้อาจบางเกินไป ส่งผลให้การป้องกันการซึมผ่านของความชื้นระหว่างอากาศภายนอกกับผง JPH ไม่ดีพอ จึงส่งผลให้ผง JPH มีปริมาณความชื้นและค่า a_w เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2 Moisture content and a_w of jellyfish protein hydrolysate powder during storage for 3 months.

Time (month)	Moisture content (% wb)	a_w
0	3.73±0.06 [b]	0.331±0.003 [d]
1	3.76±0.30 [b]	0.343±0.001 [c]
2	3.84±0.17 [b]	0.354±0.003 [b]
3	4.49±0.09 [a]	0.376±0.002 [a]

[a,b,c,d] Different superscripts in the same column indicate the significant differences. ($p \leq 0.05$)

ผลวิเคราะห์คุณภาพของผง JPH ทางด้านจุลชีววิทยา พบว่ามีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) ยีสต์และรา (yeast and mold) Coliform, *E.coli* และ *S. aureus* ในปริมาณต่ำกว่ามาตรฐาน (มผช. 134/2546) ตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน โดยมีค่า น้อยกว่า 250 CFU/g, น้อยกว่า 10 CFU/g, น้อยกว่า 3 MPN/g และไม่พบ ตามลำดับ ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาในด้านความปลอดภัยในการบริโภค พบว่าผง JPH มีค่า a_w น้อยกว่า 0.4 ซึ่งเป็นค่าที่เชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคไม่สามารถเจริญเติบโตได้ทำให้ปลอดภัยต่อการนำไปบริโภค

สรุปผลการทดลอง

1. การผลิต JPH พบว่าที่ความเข้มข้นเอนไซม์โบรมิเลน 1.5% ระยะเวลาในการย่อย 6-18 ชั่วโมง มีค่าร้อยละผลผลิตของการไฮโดรไลซิส (%Yield) สูงสุดเท่ากับ 97.5 และ มีปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้สูงสุด เท่ากับ 52.58 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นเอนไซม์ 1.5% เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และค่า pH ของ JPH ลดลงจากค่าเริ่มต้นที่ pH 6 เป็น 5.2

2. การศึกษาคุณภาพของ JPH เมื่อวิเคราะห์อัตราการย่อยสลาย (degree of hydrolysis) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิต JPH คือ ที่ความเข้มข้นเอนไซม์ 1.0% ระยะเวลา 12 ชั่วโมง

3. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้ง ทำให้ความชื้น มีปริมาณลดลง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตรินทำให้ความชื้นลดลงเช่นกัน การศึกษาความสามารถในการละลาย พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น ส่วนความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตรินที่เพิ่มขึ้นลดความสามารถการละลาย ดังนั้น สภาวะการทำแห้งที่ 180 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน 2% เป็นสภาวะที่ดีที่สุด

4. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาของผง JPH พบว่า มีปริมาณโปรตีน 68.62% ปริมาณความชื้น 3.73% ไขมัน 4.39% และเถ้า 4.38% และเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน 3 เดือนในถุงเมททัลไลซ์ พบว่า ผง JPH มีปริมาณความชื้นและค่า a_w เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นแต่ยังมีค่า a_w ต่ำ ทำให้ปลอดภัยต่อการบริโภค

เอกสารอ้างอิง

กรมศุลกากร. 2552. http://www.customs.go.th/Statistic/StatisticIndex.jsp, 3 มีนาคม 2552.

พร้อมลักษณ์ สรรพ่อค้า. 2540. การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเนื้อไก่แยกกระดูกด้วยเครื่องเพื่อใช้ในซอสไก่ชนิดข้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรเดช อรุณเลิศรัศมี. 2545. ผลขององค์ประกอบทางเคมีต่อจลนศาสตร์การดูดความชื้นของชีอิ๊วผงแห้งแบบพ่นฝอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สโรบล สโรชวิกสิต. 2549. การทำสับปะรดผงโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิสรี กล่อมแฟง. 2552. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำแมงกะพรุนสกัดเข้มข้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

Abdul-Hamid, A., J. Bakar and G. H. Bee. 2002. Nutritional quality of spray dried protein hydrolysate from black tilapia (*Oreochromis mossambicus*). Food Chemistry. 78: 69-74.

Adler-Nissen, J. 1986. Enzymatic Hydrolysis of Food Proteins. Elsevier Applied Science Publishers. London.

Al-Kahtani, H. A. and B. H. Hassan. 1990. Spray drying of reselle (*Hibiscus sabdariffa L.*) extract. Journal of Food Science. 55: 1073-1076.

AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. Vol.2. Chapter 35 and 39. 16th ed. The Association of Official Analytical Chemistry. Arlington VA.

Athanasia, M. G. and G. A. Konstantios. 2004. Spray drying of tomato pulp: effect of feed concentration. Drying Technology. 22: 2309-2330.

Babiker, E. F. E., M.A.S. Khan, N. Matsudomi and A. Kato. 1996. Polymerization of soy protein digests by microbial transglutaminase for improvement of the functional properties. Food Research International. 29: 627-634.

BAM. 1992. Bacteriological Analytical Manual, 8th Edition, Revision A. Benjakul, S. and M. T. Morrissey. 1997. Protein Hydrolysate from Pacific Whiting Solid Wastes. Oregon State University Seafood Laboratory.

Constantinides, A. and B. Adu-Amankwa. 1980. Enzymatic modification of vegetable protein: mechanisms kinetics and production of soluble and partially soluble protein in a batch reactor. Biotechnology and Bioengineering. 30: 1543-1565.

Hindi-Tamelikecht, F., C. Dauphin, M. Hamon, J.P. Grangaud and D. pradeau. 1997. Analytic and immunologic characterization of chickpea (*Cicer arietenum*) protein hydrolysate obtained by Bromelain and α - Chymotrypsin. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 45: 4758-4762.

Lowry, O. H., N.J. Rosebrough, A.L. Farr, and R.J. Randall. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*. 193 (1): 265-275.

Milton, C.-C., P.C. Stringheta, A.M.Ramos and C. Vidal. 2005. Effect of the carriers on microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 6: 420-428.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้