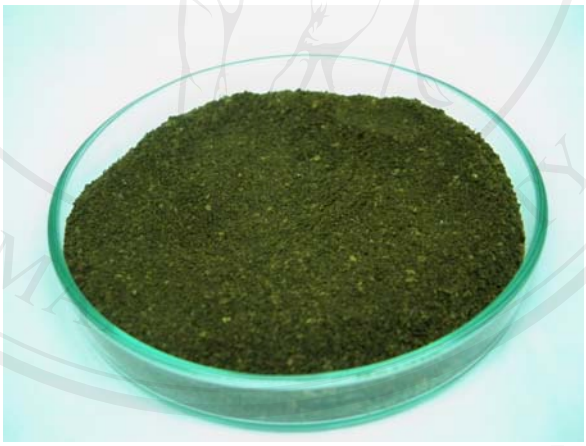
บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ศึกษาคุณภาพของโปรตีนสกัดจากกากงาดำ

4.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพกากงาดำ

จากการนำตัวอย่างกากงาดำที่เหลือจากการผลิตน้ำมันโดยใช้วิธีบีบอัด ดังภาพ 4.1 มาวิเคราะห์คุณภาพของกากงาดำ



ภาพ 4.1 กากงาที่เหลือจากการผลิตน้ำมันโดยวิธีบีบอัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีนและปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่ ผลการทดลองแสดงดังตาราง 4.1 พบว่าปริมาณโปรตีนจากกากงาดำที่ได้ในการทดลองนี้มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Khalid และคณะ (2003) ที่วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของเมล็ดงาซึ่งพบว่ามีปริมาณโปรตีนอยู่ร้อยละ 47.70 แต่อย่างไรก็ตามปริมาณโปรตีนที่พบในกากงาดำยังคง

มีปริมาณอยู่มาก เมื่อเทียบกับปริมาณโปรตีนในรำข้าวที่เหลือจากการผลิตน้ำมัน ที่มีปริมาณโปรตีนเพียงร้อยละ 17.3-17.5 (ศิริวัฒน์, 2545) ซึ่งจะเห็นว่ากากงาดำสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อีก

ตาราง 4.1 คุณภาพทางเคมีของกากงาดำ

คุณภาพทางเคมี	ปริมาณ (%) *
ปริมาณความชื้น	2.63±0.03
ปริมาณโปรตีน	31.36±0.01
ปริมาณน้ำมัน	30.70±0.14

*ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

4.1.2 การสกัดโปรตีนจากกากงาดำ

จากการเตรียมตัวอย่างกากงาดำโดยทำการสกัดน้ำมันออกด้วย n-hexane พบว่าหลังการสกัดน้ำมันออก กากงาดำจะมีปริมาณน้ำมันเหลือเพียงร้อยละ 2.17 จากนั้นนำกากงาดำที่ทำการสกัดน้ำมันออกแล้ว มาทำการสกัดโปรตีน จะได้โปรตีนสกัดจากกากงาดำ ดังภาพ 4.2

ภาพ 4.2 โปรตีนที่สกัดได้จากกากงาดำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.3 การวิเคราะห์คุณภาพของโปรตีนสกัดจากกากงาดำ

- **การศึกษาคุณภาพของโปรตีนสกัดจากกากงาดำ**

ทำการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ ผลของโปรตีนที่สกัดได้จากกากงาดำพบว่าโปรตีนที่สกัดได้มีปริมาณโปรตีนอยู่ร้อยละ 69.01 ± 0.33 จัดว่าเป็นโปรตีนเข้มข้น (protein concentrate) ได้ (Codex alimentarius commission, 1981) โปรตีนเข้มข้นจากกากงาดำที่สกัดมาได้มีปริมาณมากกว่า เมื่อเทียบกับโปรตีนเข้มข้นจากรำข้าวสกัดไขมันที่มีปริมาณโปรตีนเพียงร้อยละ 65.2 (ศิริวัฒน์, 2545) และงานวิจัยของ El-Adawy (1997) ที่ได้ศึกษาผลของการเสริมโปรตีนงาในขนมปังแป้งสาลี ได้มีการสกัดโปรตีนจากงาพบว่า โปรตีนเข้มข้นจากงามีปริมาณโปรตีนเพียงร้อยละ 62.3

- **วัดสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนสกัดจากกากงาดำ**

จากนั้นนำโปรตีนที่สกัดได้จากกากงาดำมาทำการวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ในด้านต่างๆ ได้ผลการทดลองเป็นดังตาราง 4.2 ยกเว้นค่าของสมบัติเชิงหน้าที่ในด้านการอุ้มน้ำ เนื่องจากไม่ได้ทำการวิเคราะห์ผลในค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆในสมบัตินี้เพราะการวิเคราะห์สมบัติการอุ้มน้ำจะทดสอบในค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ซึ่งเป็นค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเท่านั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.2 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน ณ ระดับค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

pH	Solubility* (%)	EAI* (m^2/g)	ESI* (%)	FC* (%)
2	70.92±0.91b	48.59±0.93b	69.92±0.30c	47.67±2.52b
4	14.76±0.62d	14.40±0.07e	21.67±0.73e	5.33±1.15d
6	63.31±0.94c	41.26±0.16d	58.70±0.29d	27.33±2.31c
8	71.61±0.66b	44.95±0.31c	81.48±0.15b	50.33±1.53ab
10	85.79±0.77a	49.92±0.34a	84.43±0.01a	55.00±2.00a

* ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

EAI = Emulsifying activity index ESI= Emulsion stability index FC = Foaming capacity

สมบัติเชิงหน้าที่ในด้านการละลาย

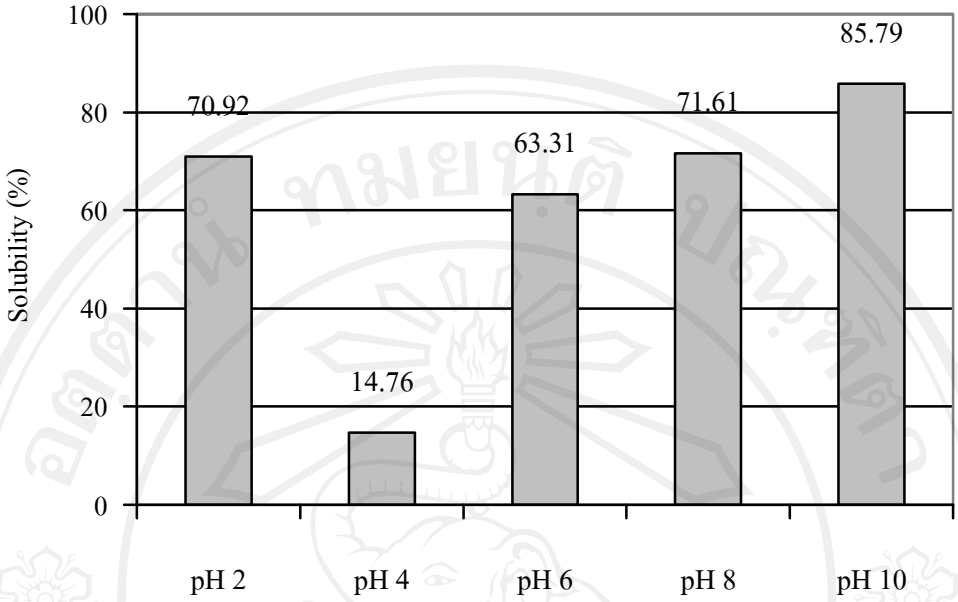
ผลของโปรตีนที่สกัดได้จากกากงาดำ เมื่อนำมาทดสอบสมบัติการละลาย (แสดงในภาพ 4.3) พบว่า โปรตีนสามารถละลายได้ดีทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและด่าง โดยพบว่าโปรตีนสามารถละลายได้ดีที่สุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 มีร้อยละการละลายถึง 85.79 ± 0.77 ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8 มีร้อยละการละลายเท่ากับ 71.61 ± 0.66 และค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2 มีร้อยละการละลายเท่ากับ 70.92 ± 0.91 ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีค่าการละลายน้อยที่สุดอยู่ที่ระดับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 มีร้อยละการละลายเท่ากับ 14.76 ± 0.62 โดยเทียบร้อยละการละลายของโปรตีนจากปริมาณโปรตีนเข้มข้นเริ่มต้น ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างดังกล่าวเป็นค่าความเป็นกรด-ด่างที่เข้าใกล้จุดไอโซอิเล็กทริคของโปรตีนกากงาดำ (ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5) โดยจะเห็นว่าโปรตีนที่สกัดได้จากกากงาดำมีสมบัติที่สามารถละลายได้ดีทั้งในสภาวะเป็นกรด และด่างซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Khalid และคณะ (2003) ที่ทำการศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่างและ ความเข้มข้นของเกลือต่อการละลายและสมบัติเชิงหน้าที่ของงา พบว่าโปรตีนจากงาสามารถละลายได้ดีทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและด่าง โดยจะละลายได้ดีในค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 มีร้อยละการละลายเท่ากับ 72 และละลายได้ต่ำในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 มีร้อยละการละลายเท่ากับ 12

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีงานวิจัยหลายงานวิจัย ทำการศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ในด้านการละลายของโปรตีน เช่นผลงานวิจัยของ Yu และคณะ (2007) ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของการสกัดโปรตีนเข้มข้นจากถั่วลิสงที่มีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน พบว่าโปรตีนจากถั่วลิสงสามารถละลายได้ดีทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและด่าง โดยจะละลายได้ดีในค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 2-3.5 และ 6-10 โดยจะละลายได้ดีมาก ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 และละลายได้ต่ำในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.5- 4.5 งานวิจัยของ Ogunwolu และคณะ (2009) ที่ทำการศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนเข้มข้นจากเม็ดมะม่วงหิมพานต์ พบว่าโปรตีนจากเม็ดมะม่วงหิมพานต์สามารถละลายได้ดีทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและด่าง โดยจะละลายได้ดีในค่าความเป็นกรด-ด่างที่เท่ากับ 12 มีร้อยละการละลายเท่ากับ 98 และละลายได้ต่ำในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 มีร้อยละการละลายเท่ากับ 10 งานวิจัยของ Horax และคณะ (2004) ที่ทำการศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนไอโซเลตจากพืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่ง พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีการละลายได้มากจะอยู่ในช่วงที่เป็นทั้งสภาวะกรด และด่าง โดยจะมีการละลายน้อยลงเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 3.5-5.5 ซึ่งช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างดังกล่าวเป็นค่าความเป็นกรด-ด่างที่เข้าใกล้จุดไอโซอิเล็กทริคของโปรตีน

การที่โปรตีนสามารถละลายได้ในสภาวะเป็นกรด และด่างได้นั้น เนื่องจากในโปรตีนจะประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็น amphoteric ทำให้โปรตีนจะมีการเปลี่ยนแปลงประจุรวมสุทธิของโมเลกุล ซึ่งมีผลในการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของโมเลกุล ทำให้โปรตีนมีการผลักกันระหว่างโมเลกุล จึงไม่สามารถเข้าใกล้กันได้ ทำให้เกิดการกระจายตัวของโปรตีนในน้ำได้ดีนั้น หมายถึงโปรตีนจะสามารถละลายน้ำได้ดีด้วยเช่นกัน (Damodaran, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.3 สมบัติเชิงหน้าที่ในด้านการละลายของโปรตีนที่สกัดได้จากกากงาดำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

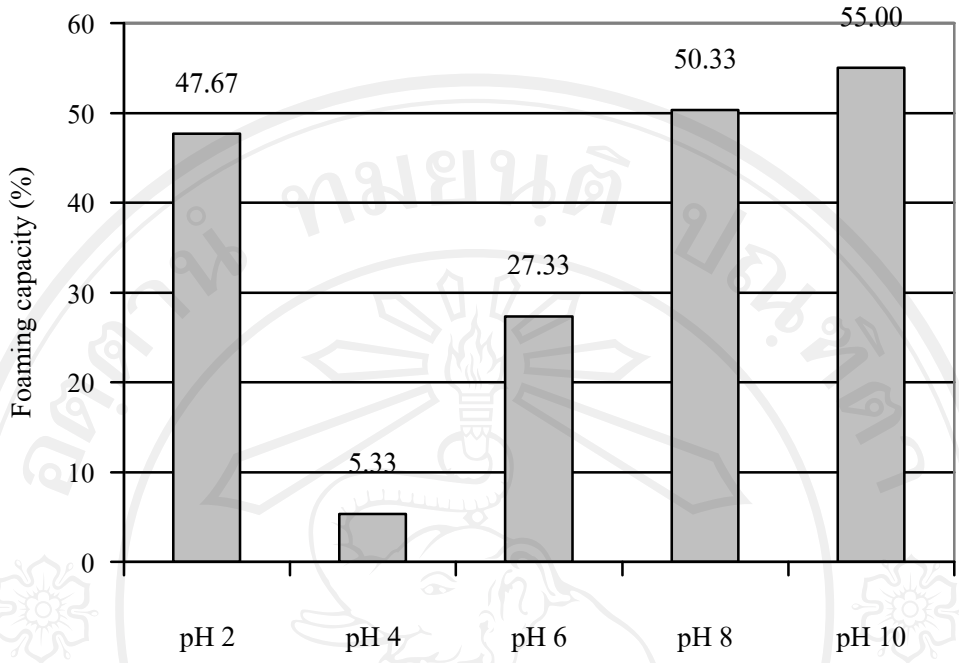
สมบัติเชิงหน้าที่ในด้านการเกิดโฟม

ผลของโปรตีนที่สกัดได้จากกากงาดำ เมื่อนำมาทดสอบสมบัติการเกิดโฟม (แสดงในภาพ 4.4) พบว่าที่ระดับ ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 มีค่า Foaming capacity (FC) มากที่สุดมีค่าร้อยละเท่ากับ 55.00 ± 2.00 แต่เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่า ที่ระดับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2 8 และ 10 มีค่าการเกิดโฟมไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) และที่ระดับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 มีค่า FC น้อยที่สุด มีค่าร้อยละเท่ากับ 5.33 ± 1.15 โดยผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Khalid และคณะ (2003) ที่ทำการศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มข้นของเกลือต่อ การละลายและสมบัติเชิงหน้าที่ของงา โดยที่ระดับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 และ 5 มีค่า FC ร้อยละเท่ากับ 2 และมีค่า FC สูงขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 5

มีงานวิจัยหลายงานวิจัยที่ทำการศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ในด้านการเกิดโฟมของโปรตีน เช่นผลงานวิจัยของ Bera and Mukherjee (1989) ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนเข้มข้นจากรำข้าว พบว่าโปรตีนจากรำข้าวมีค่า Foaming capacity (FC) มากที่สุดมีค่าร้อยละเท่ากับ 60 ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10.5

การเกิดโฟมของโปรตีนพบว่ามีความสัมพันธ์กับความสามารถในการละลายของโปรตีน ถ้าโปรตีนละลายได้มากนั้นหมายถึงเกิดการกระจายตัวของโปรตีนในน้ำได้ดีเช่นกัน จึงส่งผลให้โมเลกุลของโปรตีนที่สามารถละลายได้ในส่วนที่เป็นของเหลวจะสามารถแพร่ กระจายไปยังผิวหน้าระหว่างน้ำและอากาศได้อย่างรวดเร็ว จึงทำให้เกิดการจับกับอากาศของโปรตีนส่งผลให้เกิดโครงสร้างฟิล์มล้อมรอบฟองอากาศไว้ได้ (Wide and Clark, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.4 สมบัติเชิงหน้าที่ในด้านการเกิดโฟมของโปรตีนที่สกัดได้จากกากงาดำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

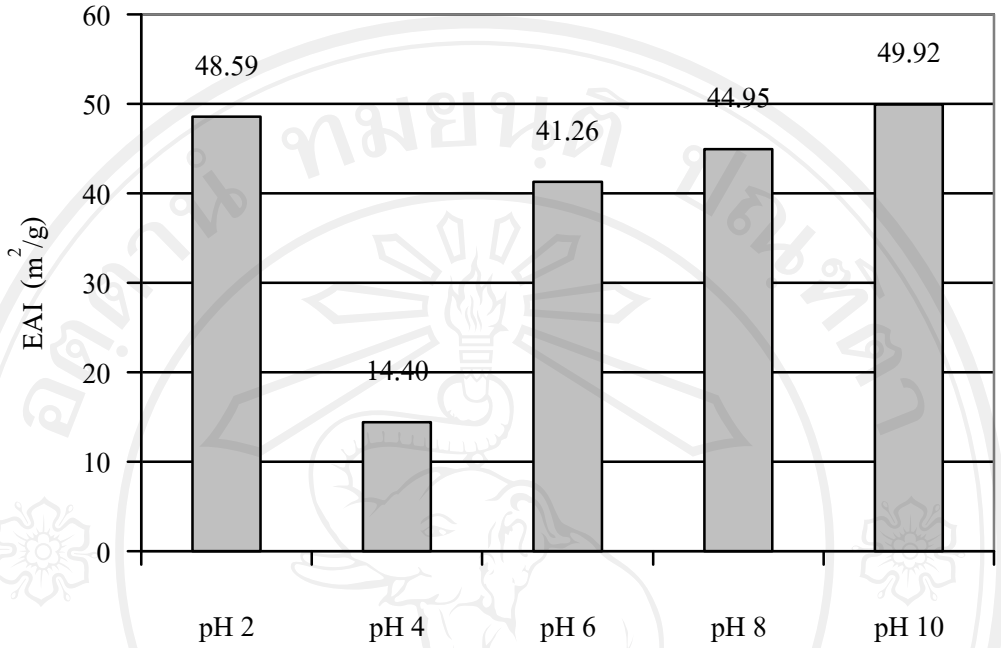
สมบัติเชิงหน้าที่ในด้านการเกิดอิมัลชัน

ผลของโปรตีนที่สกัดได้จากกากงาดำ เมื่อนำมาทดสอบสมบัติการเกิดอิมัลชัน (แสดงในภาพ 4.5) โดยการวัด Emulsifying activity index (EAI) ซึ่งเป็นการวัดพื้นที่ผิวสัมผัส (หน่วยเป็นตารางเมตร) กับพื้นผิวน้ำมันเมื่อเทียบกับน้ำหนักโปรตีน 1 กรัม พบว่ามีค่า อยู่ในช่วง 41 -50 m^2/g โดยมีค่าสูงสุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ10 มีค่า EAI เท่ากับ 49.92 ± 0.34 m^2/g และมีค่าน้อยที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 มีค่า EAI เท่ากับ 14.40 ± 0.07 m^2/g โดยผลพบว่ามีค่า EAI ใกล้เคียงกับโปรตีนจากข้าวโอ๊ตที่มีค่า EAI เท่ากับ 49.0 ± 4.76 m^2/g (Mirmoghtadaie *et al.,* 2009)

และเมื่อวัดความคงตัวของอิมัลชัน % Emulsifying stability index (% ESI) (แสดงในภาพ 4.6) พบว่ามีค่าสูงสุดที่ระดับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ10 มีค่า ESI ร้อยละเท่ากับ 84.43 ± 0.01 และมีค่าน้อยที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 มีค่า ESI ร้อยละเท่ากับ 21.67 ± 0.73 โดยผลที่ได้พบว่าโปรตีนที่สกัดได้จากกากงาดำจะมีค่าการเกิดอิมัลชันอยู่ในระดับดี ส่วนความคงตัวของอิมัลชันอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับงานวิจัย Ogunwolu และคณะ (2009) ที่ทำการศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนเข้มข้นจากเม็ดมะม่วงหิมพานต์มีค่า ESI ร้อยละเท่ากับ 50.5 ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8 และงานวิจัยของ Khalid และคณะ (2003) ที่ทำการศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่างและ ความเข้มข้นของเกลือต่อการละลายและสมบัติเชิงหน้าที่ของงา พบว่าโปรตีนจากงามีค่า ESI ร้อยละเท่ากับ 62 ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10

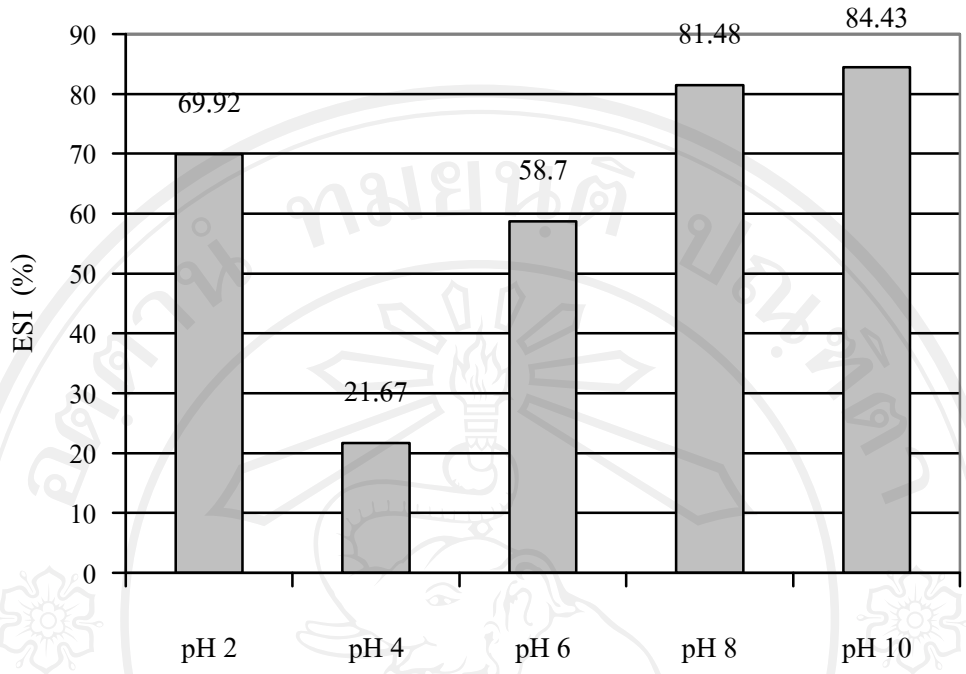
การเกิดอิมัลชันพบว่าเกี่ยวข้องกับกรดอะมิโนไม่มีขั้วบนผิวโมเลกุล โดยการเกิดอิมัลชันเป็นผลมาจากการดูดซับโมเลกุลของโปรตีนไว้บนผิวของเม็ดน้ำมัน กรดอะมิโนที่ไม่มีขั้วจะทำให้โปรตีนสามารถเกาะตัวอยู่บนผิวของเม็ดน้ำมันได้ โดยกรดอะมิโนแบบไม่มีขั้วจะแทรกตัวเข้าไปอยู่บนผิวของเม็ดน้ำมัน และหันส่วนที่มีขั้วออกมาสัมผัสกับน้ำ ทำให้เม็ดน้ำและน้ำมันมีประจุชนิดเดียวกัน ไม่สามารถเข้าใกล้กันได้ ดังนั้นการที่โปรตีนที่สกัดได้จากกากงาดำมีสมบัติเชิงหน้าที่ในด้านอิมัลชันที่ดีนั้นเกิดจาก ในโปรตีนกากงาดำจะมีกรดอะมิโนชนิดเมไทโอนีนสูง ซึ่งเป็นกรดอะมิโนแบบไม่มีขั้ว (นิธิยา, 2545 ; Damodaran, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.5 สมบัติเชิงหน้าที่ในด้านการเกิดอิมัลชันของโปรตีนที่สกัดได้จากกากงาดำ (Emulsifying activity index : EAI)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.6 สมบัติเชิงหน้าที่ในด้านการเกิดอิมัลชันของโปรตีนที่สกัดได้จากกากงาดำ (Emulsifying stability index : ESI)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สมบัติการอุ้มน้ำ

ผลของโปรตีนที่สกัดได้จากกากงาดำ เมื่อนำมาทดสอบสมบัติการอุ้มน้ำ พบว่ามีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 1.60 ± 0.01 มิลลิลิตรต่อกรัมโปรตีน โดยผลที่ได้พบว่าค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนที่สกัดได้จากกากงาดำ มีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับโปรตีนจากข้าวโอ๊ตที่มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 1.27 ± 0.06 มิลลิลิตรต่อกรัมโปรตีน (Mirmoghtadaie *et al.,* 2009) แต่มีค่าน้อยกว่าโปรตีนเข้มข้นจากถั่วลิสงที่มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 1.67 ± 0.29 มิลลิลิตรต่อกรัมโปรตีน (Yu *et al.,* 2007) และโปรตีนเข้มข้นจากเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 1.74 ± 0.01 มิลลิลิตรต่อกรัมโปรตีน (Ogunwolu *et al.,* 2007)

ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีน เกิดขึ้นจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำกับส่วนที่ชอบน้ำของโปรตีน ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับกรดอะมิโนในโปรตีนชนิดนั้นว่าเป็นแบบมีขั้วหรือไม่มีขั้ว การที่โปรตีนที่สกัดได้จากกากงาดำมีสมบัติเชิงหน้าที่ในด้านความสามารถในการอุ้มน้ำอยู่ในระดับที่ไม่สูงมากนั้น เกิดจากที่ในโปรตีนกากงาดำจะมีกรดอะมิโนชนิดเมไทโอนีนสูง ซึ่งเป็นกรดอะมิโนแบบไม่มีขั้ว ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของส่วนที่ไม่ชอบน้ำของโปรตีน จึงทำให้มีความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้น้อยไปด้วย (Damodaran, 1996)

จากการทดสอบสมบัติเชิงหน้าที่พบว่าแนวโน้มของค่าสมบัติเชิงหน้าที่จะสัมพันธ์กับร้อยละการละลาย เนื่องจากการที่โปรตีนละลายได้ดีนั้นย่อมหมายถึงการกระจายตัวได้ดีของโปรตีนจึงสามารถทำปฏิกิริยาต่างๆ ได้ดีด้วยเช่นกัน อีกทั้งยังพบว่าค่าร้อยละการละลายของโปรตีนนั้นละลายได้ดีทั้งในสภาวะเป็นกรดและด่าง ซึ่งส่งผลดีต่อการนำมาใช้ประโยชน์ในการแปรรูปอาหารได้มากขึ้น เนื่องจากไม่มีข้อจำกัดของค่าความเป็นกรด-ด่าง

ดังนั้นจึงนำโปรตีนที่ได้มาทำการเติมลงไปในผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้า เพื่อให้สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนในด้านการละลาย ความสามารถในการอุ้มน้ำ การเกิดอิมัลชัน การเกิดโฟม ซึ่งสามารถส่งผลในการลดข้อด้อยที่เกิดขึ้นในคุกกี้จากแป้งข้าวเจ้า ได้แก่ การมีลักษณะร่วนแตกหักง่าย มีเนื้อหยาบ และอ่อนตัวเร็วนั้นมีคุณลักษณะในทางที่ดีขึ้น เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์คุกกี้จากแป้งข้าวเจ้าที่มีคุณภาพเทียบเคียงกับคุกกี้จากแป้งสาลี โดยผลจะแสดงในการทดลองต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมของคุกกี้แป้งข้าวเจ้าผสมโปรตีนจากกากงาดำ

ในการศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวจ้าวผสมโปรตีนสกัดจากกากงาดำ ผันแปรจากคุกกี้แป้งข้าวเจ้า 100 %สูตรต้นแบบ นำโปรตีนเข้มข้นจากกากงาดำมาเติมลงไปในระดับที่ร้อยละ 0 3 6 และ 9 โดยทดแทนในส่วนของแป้งข้าวเจ้า วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ รายละเอียดของสูตรแสดงดังตาราง 3.1 จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ ค่าที่ได้จะเปรียบเทียบกับค่าของคุกกี้จากแป้งสาลี ทำการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพคุกกี้

สูตร	Weight* (g)	Width* (mm)	Thickness* (mm)	Spread ratio* (W/T)	Hardness* (N)
Wheat	4.52±0.04b	48.11±0.35a	7.19±0.17d	6.70±0.21a	28.81±0.43a
Pr 0 %	4.83±0.01a	37.68±0.24c	7.60±0.18ab	4.96±0.12c	12.08±1.38b
Pr 3 %	4.76±0.04a	38.85±0.05b	7.10±0.35cd	5.47±0.07b	27.80±2.10a
Pr 6 %	4.82±0.02a	36.51±0.04d	7.45±0.05bc	4.90±0.03c	30.33±2.34a
Pr 9 %	4.85±0.03a	36.08±0.08d	7.88±0.07a	4.58±0.03d	31.18±3.76a

* ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ
Pr = คุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่มีการเติมโปรตีนสกัดจากกากงาดำที่ระดับแตกต่างกัน

ผลที่ได้พบว่า ค่าที่ทำการทดสอบทุกค่าของคุกกี้แป้งข้าวเจ้าทุกสูตรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับคุกกี้แป้งสาลี ยกเว้นค่าค่าความหนาและค่าความแข็ง เนื่องจากผลของการทดแทนแป้งข้าวเจ้าและโปรตีนสกัดจากกากงาในสูตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยพบว่าคุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่มีการเติมโปรตีนสกัดในปริมาณที่มากขึ้น จะมีแนวโน้มน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งเกิดจากการเติมโปรตีนสกัดจากกากงาเข้าไปทำให้คุกกี้มีสมบัติการอุ้มน้ำของโปรตีนเข้ามาช่วย ทำให้มีการเก็บน้ำไว้ในโมเลกุลมากขึ้น ส่งผลต่อน้ำหนักของคุกกี้ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อนำมาทดสอบทางสถิติพบว่า การผันแปรปริมาณโปรตีนในคุกกี้แป้งข้าวเจ้าไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ต่อน้ำหนักของคุกกี้ ส่วนสูตร

แป้งสาลีพบว่ามีน้ำหนักน้อยกว่าสูตรแป้งข้าวเจ้าทุกสูตรอย่างมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การที่คุกกี้แป้งข้าวเจ้ามีน้ำหนักมากกว่าคุกกี้แป้งสาลีนั้น เนื่องจากแป้งข้าวเจ้าจะมีกำลังการพองตัวได้มากกว่าแป้งสาลี (รุจิรา และคณะ, 2543) อีกทั้งแป้งสาลีมีปริมาณอะมิโลสที่มากกว่าแป้งข้าวเจ้า มีผลทำให้มีกำลังการพองตัวต่ำ เพราะโครงสร้าง อะมิโลสจะเป็นเส้นตรงทำให้เกิดพันธะระหว่างโมเลกุลได้ดี อีกทั้งอะมิโลสจะจับกับไขมันทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้เกิดโครงสร้างผลึกไปเสริมความแข็งแรงของเม็ดแป้งโดยกำลังการพองตัวของเม็ดแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่มากขึ้น (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2550)

ค่าความกว้างและความหนา เป็นค่าที่จะบอกถึงอัตราการแผ่ขยายตัวของคุกกี้ได้ พบว่าคุกกี้แป้งข้าวเจ้าทุกสูตรมีความกว้างน้อยกว่าคุกกี้แป้งสาลี โดยในคุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่มีการเติมโปรตีนสกัดจากกากงาที่ระดับร้อยละ 3 มีค่าความกว้างใกล้เคียงกับคุกกี้แป้งสาลีมากที่สุด ส่วนความหนาของชิ้นคุกกี้กลับพบว่าคุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่มีการเติมโปรตีนสกัดจากกากงาที่ระดับร้อยละ 3 มีค่าความหนาแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อเทียบกับคุกกี้แป้งสาลี

ค่าอัตราการแผ่ขยายตัว (spread ratio) พบว่าค่าอัตราการแผ่ขยายตัวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยคุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่มีการเติมโปรตีนสกัดจากกากงาที่ระดับร้อยละ 3 มีค่าอัตราการแผ่ขยายตัวใกล้เคียงกับคุกกี้แป้งสาลีมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามคุกกี้แป้งข้าวเจ้าทุกสูตรมีค่าอัตราการแผ่ขยายตัวน้อยกว่าคุกกี้แป้งสาลี เนื่องจากการเติมปริมาณโปรตีนเข้าไปทำให้สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนในผลิตภัณฑ์มีมากขึ้น ทั้งในด้านการละลาย การอุ้มน้ำ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับน้ำ มีผลทำให้มีการดูดซึมน้ำในสูตรมากขึ้น ทำให้เกิดความหนืดในส่วนผสมเพิ่มขึ้นไปด้วย จึงส่งผลทำให้อัตราการแผ่ขยายตัวลดลงตามไป อีกทั้งยังมีผลจากแป้งข้าวเจ้า ได้มีการวัดคุณภาพของแป้งข้าวเจ้าด้วยเครื่อง Brabender visco Amylograph พบว่าแป้งข้าวเจ้ามีค่า peak viscosity มากกว่าแป้งสาลี นั้นหมายถึงว่าแป้งข้าวเจ้ามีการดูดซึมน้ำได้ดีกว่า ย่อมส่งผลถึงความหนืดในส่วนผสมและอัตราการแผ่ขยายตัว (รุจิรา และคณะ, 2543)

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยหลายงานวิจัยที่มีการนำแป้งที่มีโปรตีนสูงชนิดต่างๆ มาทดแทนแป้งสาลีในสูตร (Arshad *et al.,* 2007; McWatters *et al*. 2003; Shrestha and Noomhorm, 2002) โดยพบว่าแป้งที่มีโปรตีนสูงที่ไม่ใช่แป้งสาลีหรือส่วนผสมที่เพิ่มเข้ามาที่มีโปรตีนสูงจะดูดซึมน้ำในระหว่างการผสมมีผลทำให้ค่าอัตราการแผ่ขยายตัวลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำในสูตรไม่เพียงพอในการละลายน้ำตาล จึงทำให้มีความหนืดของคุกกี้เพิ่มมากขึ้นมีผลต่อค่าอัตราการแผ่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขยายตัวที่ลดลง และ McWatters *et al*. (2003) รายงานอัตราส่วนที่ลดลงของปริมาณน้ำอิสระในระหว่างการผสมมีผลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นด้วยเหตุนี้จึงทำให้ค่าอัตราการแผ่ขยายตัวลดลงเช่นกัน

ค่าความแข็ง พบว่าคุกกี้แป้งข้าวเจ้า100 % มีค่าความแข็งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับคุกกี้แป้งข้าวเจ้าทุกสูตรที่มีการเติมโปรตีนสกัดจากกากงาและคุกกี้แป้งสาลี การที่ค่าความแข็งของคุกกี้แป้งข้าวเจ้า100 %มีค่าน้อยกว่าทุกสูตรของคุกกี้นั้น เนื่องจากความแข็งของคุกกี้เกิดจากการทำปฏิกิริยาของโปรตีนและแป้งด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างที่ทำการผสมและอบคุกกี้ จึงทำให้คุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่มีการเติมโปรตีนสกัดจากกากงาดำมีความแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณโปรตีนที่ใส่เพิ่มเข้าไปซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีการเติมโปรตีนหรือแป้งที่มีโปรตีนสูงเข้าไปในการผลิตคุกกี้ พบว่า คุกกี้จะมีความแข็งมากขึ้น (James *et al.,* 1989; Singh *et al.,* 1996)

ดังนั้นจากผลการทดลองพบว่า คุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่มีการเติมโปรตีนสกัดที่ได้จากกากงาที่ระดับร้อยละ 3 เป็นสูตรที่ใกล้เคียงกับสูตรคุกกี้แป้งสาลีมากที่สุด จึงได้เลือกสูตรดังกล่าวไปทดสอบการยอมรับผู้บริโภค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 การตรวจคุณภาพคุกกี้แป้งข้าวเจ้าผสมโปรตีนสกัดจากกากงาดำที่พัฒนาได้เทียบกับคุกกี้แป้งข้าวเจ้า 100% สูตรต้นแบบ

จากการเลือกสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้าผสมโปรตีนสกัดจากกากงาดำ โดยเปรียบเทียบค่ากับคุกกี้แป้งสาลีพบว่าคุกกี้แป้งข้าวเจ้าผสมโปรตีนสกัดจากกากงาดำที่ระดับร้อยละ 3 เป็นสูตรที่ใกล้เคียงมากที่สุด จากสูตรคิดอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าและโปรตีนสกัดในสูตรเป็น 100 % และส่วนผสมอื่นคิดเทียบจากแป้ง 100 % ดังนี้

แป้งข้าวเจ้า	630.50	กรัมเท่ากับ	97.00	%
โปรตีนสกัด	19.50	กรัมเท่ากับ	3.00	%
น้ำตาลทราย	250.00	กรัมเท่ากับ	38.46	%
น้ำ	380.00	กรัมเท่ากับ	58.46	%
เนยสด	400.00	กรัมเท่ากับ	61.54	%
นมผง	58.00	กรัมเท่ากับ	8.92	%
ผงฟู	9.00	กรัมเท่ากับ	1.38	%
เกลือ	1.00	กรัมเท่ากับ	0.15	%
ไข่ไก่ 3 ฟอง	165.00	กรัมเท่ากับ	25.38	%

และทำการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และการทดสอบทางประสาทสัมผัสได้ผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้าดังภาพ 4.7

ภาพ 4.7 คุกกี้แป้งข้าวเจ้าผสมโปรตีนสกัดจากกากงาดำร้อยละ 3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทำการเปรียบเทียบคุณภาพคุกกี้แป้งข้าวเจ้า100 % สูตรต้นแบบกับคุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่ผสมโปรตีนสกัดจากกากงาดำที่ระดับร้อยละ 3 โดยการทดสอบกับผู้บริโภคจำนวน 100 คนใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ 1 ถึง 9 (9-point hedonic scale) ในการให้คะแนนคุณลักษณะในด้านความชอบโดยรวม สี กลิ่นรส ความกรอบและความร่วน ซึ่งในการทดสอบนี้ได้ให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้า 100 % สูตรต้นแบบกับคุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่ผสมโปรตีนสกัดจากกากงาดำที่ระดับร้อยละ 3 ที่มีส่วนผสมในการผลิตคุกกี้สูตรเดียวกัน และทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมีกาย และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ แสดงดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 คุณภาพของผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้า 100 % สูตรต้นแบบและคุกกี้แป้งข้าวเจ้าผสมโปรตีนสกัดจากกากงาดำที่ระดับร้อยละ 3

คุณภาพ	คุกกี้แป้งข้าวเจ้า	คุกกี้แป้งข้าวเจ้าผสมโปรตีนสกัดจากกากงาดำ 3%
น้ำหนัก (กรัม)	4.85±0.05a	4.74±0.01b
ความกว้าง (มิลลิเมตร)	37.82±0.25b	38.67±0.31a
ความหนา (มิลลิเมตร)	7.71±0.03a	7.17±0.06b
อัตราการแผ่ขยายตัว (กว้าง/หนา)	4.91±0.06b	5.39±0.07a
ความแข็ง (g force)	1263.58±3.99b	2830.49±4.69a
(N)	12.39±0.24b	27.76 ±0.87a
ปริมาณความชื้น (%)	3.95±0.03a	3.27±0.03b
ปริมาณโปรตีน (%)	9.42±0.01b	11.21±0.01a
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	< 10	< 10
ยีสต์และรา (CFU/g)	< 10	< 10

* ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่าผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้าและคุกกี้แป้งข้าวเจ้าผสมโปรตีนสกัดจากกากงาดำที่ระดับร้อยละ 3 มีคุณภาพทางกายภาพแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) พบว่าผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่ผสมโปรตีนสกัดจากกากงาดำมีน้ำหนักเท่ากับ 4.74 ± 0.01 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าคุกกี้แป้งข้าวเจ้า 100 % สูตรต้นแบบ ค่าความกว้างผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่ผสมโปรตีนสกัดจากกากงาดำ มีค่าเท่ากับ 38.67 ± 0.31 ซึ่งมีค่ามากกว่าคุกกี้แป้งข้าวเจ้า 100 % สูตรต้นแบบ แต่ในค่าความหนากลับน้อยกว่าคุกกี้แป้งข้าวเจ้า 100 % สูตรต้นแบบ ซึ่งมีผลทำให้ค่าอัตราการแผ่ขยายตัวของคุกกี้แป้งข้าวเจ้าผสมโปรตีนสกัดจากกากงาดำมีค่ามากกว่าคุกกี้แป้งข้าวเจ้าต้นแบบ ค่าความแข็งพบว่าผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่ผสมโปรตีนสกัดจากกากงาดำมีค่าความแข็ง มากกว่าคุกกี้แป้งข้าวเจ้า 100 % สูตรต้นแบบมาก

ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่าผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้า 100 % สูตรต้นแบบและคุกกี้แป้งข้าวเจ้าผสมโปรตีนสกัดจากกากงาดำที่ระดับร้อยละ 3 มีคุณภาพทางเคมีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) พบว่าผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่ผสมโปรตีนสกัดจากกากงาดำมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 3.27 ± 0.03 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าคุกกี้แป้งข้าวเจ้า 100 % สูตรต้นแบบที่มีค่าความชื้นเท่ากับ 3.95 ± 0.03 จากผลปริมาณความชื้นของทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง คุกกี้ มผช. 118/2546 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546) ที่กำหนดความชื้นของคุกกี้ทั่วไปต้องไม่เกินร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ในกรณีที่มีการเติมแต่งด้วยส่วนประกอบอื่น ต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ส่วนปริมาณโปรตีน พบว่าผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้าที่ผสมโปรตีนสกัดจากกากงาดำมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 11.21 ± 0.01 ซึ่งมีค่ามากกว่าคุกกี้แป้งข้าวเจ้า 100 % สูตรต้นแบบที่มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 9.42 ± 0.01 อันเนื่องมาจากการเติมโปรตีนเข้มข้นลงไปในคุกกี้

จากการตรวจจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา ตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง คุกกี้ มผช. 118/2546 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2546) พบว่าผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้า 100 % สูตรต้นแบบและคุกกี้แป้งข้าวเจ้าผสมโปรตีนสกัดจากกากงาดำที่ระดับร้อยละ 3 มีคุณภาพที่ปลอดภัยเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานนั้น

การยอมรับของผู้บริโภคเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ จากการทดสอบผู้บริโภคพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้าผสมโปรตีนสกัดจากงาดำที่ระดับร้อยละ 3 มีคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านความชอบโดยรวม กลิ่นรส ความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรอบและความร่วนสูงกว่าคุกกี้แป้งข้าวเจ้าต้นแบบ ($P \leq 0.05$) ยกเว้นค่าสี เนื่องจากสีของโปรตีนเป็นสีดำ จึงทำให้ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบต่ำ โดยคุกกี้แป้งข้าวเจ้าผสมโปรตีนสกัดจากกากงาดำมีคะแนนความชอบของคุณลักษณะอยู่ในช่วง 5.6 ถึง 7.0 (ชอบปานกลาง) แสดงดังตาราง 4.5 และภาพ 4.8

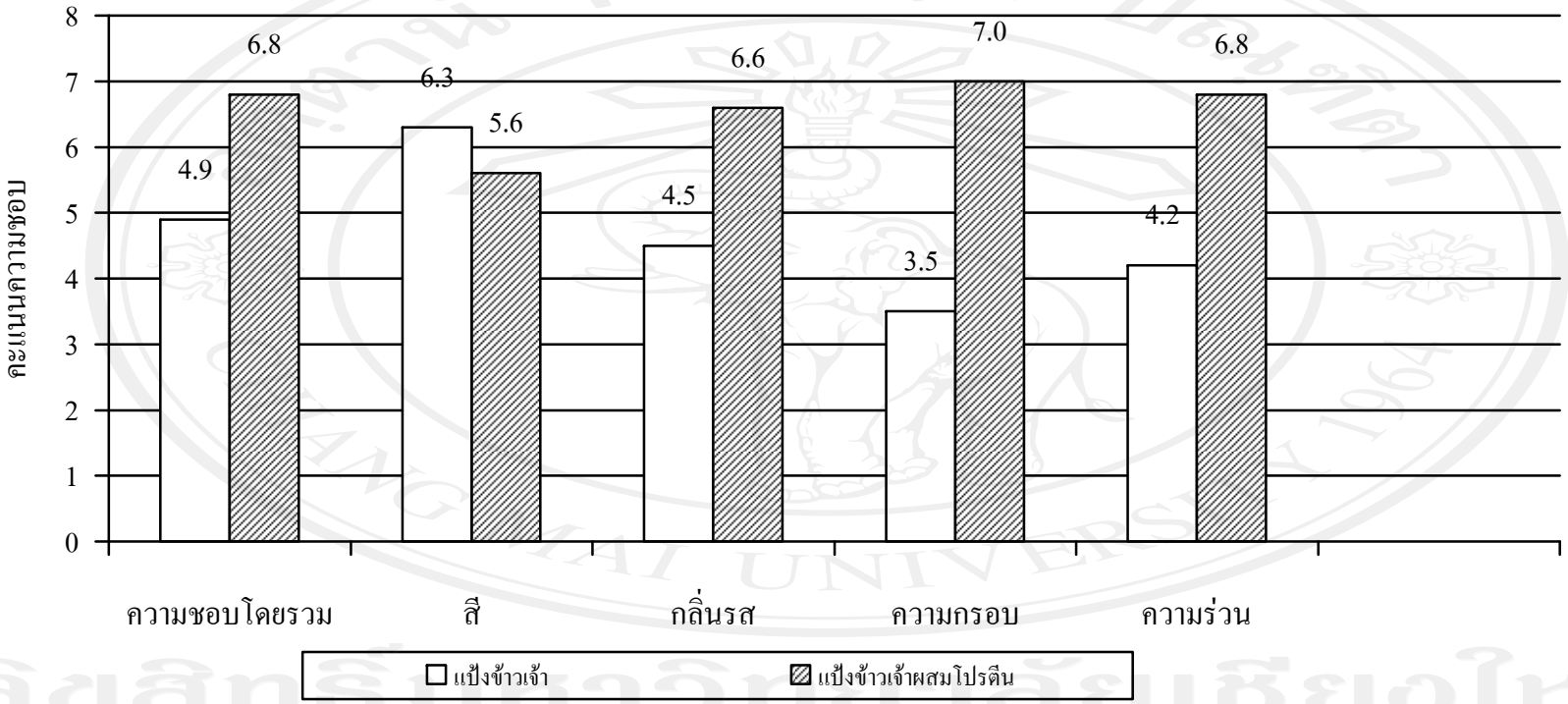
ตาราง 4.5 ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบของคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้าและคุกกี้แป้งข้าวเจ้าผสมโปรตีนสกัดจากกากงาดำที่ระดับร้อยละ 3

คุกกี้แป้งข้าวเจ้า	คุณภาพทางประสาทสัมผัส				
	ความชอบโดยรวม	สี	กลิ่นรส	ความกรอบ	ความร่วน
สูตรต้นแบบ	4.9 ± 1.6b	6.3 ± 1.7a	4.5 ± 1.4b	3.5 ± 1.7b	4.2 ± 1.7b
สูตรที่เติมโปรตีน	6.8 ± 1.1a	5.6 ± 1.9b	6.6 ± 1.0a	7.0 ± 1.1a	6.8 ± 1.2a

* ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าการเติมโปรตีนสกัดจากกากงาดำช่วยส่งผลทำให้คุกกี้แป้งข้าวเจ้า มีผลคะแนนการทดสอบการยอมรับผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเติมโปรตีนเข้าไป ทำให้สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนที่สกัดได้จากกากงาดำทั้งในเรื่องการละลาย การเกิดโฟม การเกิดอิมัลชัน และการอุ้มน้ำ ได้ส่งผลให้ข้อด้อยของคุกกี้จากแป้งข้าวเจ้าที่มีลักษณะร่วน แตกหักง่าย มีเนื้อหยาบและอ่อนตัวเร็ว (รุจิราและคณะ, 2543) มีคุณลักษณะในทางที่ดีเพิ่มขึ้น ด้วยจากคะแนนความชอบในเรื่องความชอบโดยรวม กลิ่นรส ความกรอบ และความร่วน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.8 คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์คุกกี้แป้งข้าวเจ้าและคุกกี้แป้งข้าวเจ้าผสมโปรตีนสกัดจากกากงาดำที่ระดับร้อยละ 3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved