การพัฒนาวุ้นกะทิไขมันต่ำเสริมใยอาหาร

(Development of reduced-fat coconut milk jelly fortified dietary fiber)

กาญจนา แสงศรี อมรรัตน์ ชินพัณณ์ และวันเพ็ญ แสงทองพินิจ*
โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิยาลัยราชภัฏนครปฐม * Email: wpetchson@ yahoo.com

บทคัดย่อ

การศึกษาการใช้อินนูลินซึ่งเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้และมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกในผลิตภัณฑ์วุ้นกะทิไขมันต่ำเสริมใยอาหาร ประกอบด้วยการศึกษาปริมาณอินนูลินที่เหมาะสมที่ใช้ทดแทนกะทิในวุ้นกะทิ และผลของวิธีการเตรียมสารละลายอินนูลินต่อคุณภาพของวุ้นโดยใช้ความร้อน และแรงเฉือน ใช้อินนูลินร้อยละ 0 1 5 10 และ 15 กะทิร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 พบว่าการเพิ่มปริมาณกะทิและอินนูลินทำให้ความแข็งของวุ้นลดลง วุ้นที่เตรียมโดยใช้แรงเฉือนจะได้วุ้นที่มีความแข็งลดลง เมื่อนำวุ้นที่มีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับวุ้นสูตรมาตรฐานมาทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสพบว่าวุ้นที่ใช้ปริมาณกะทิร้อยละ 50 และ 75 และเติมอินนูลินร้อยละ 5 ได้รับการยอมรับใกล้เคียงกับวุ้นสูตรมาตรฐานมากที่สุด วุ้นที่ลดปริมาณกะทิทำให้เก็บรักษาได้นานขึ้น

คำสำคัญ: อินนูลิน, วุ้น, กะทิ, ใยอาหาร, พรีไบโอติก

1. บทนำ

วุ้นกะทิเป็นขนมไทยที่มีรสหวาน และมีไขมันจากกะทิเป็นส่วนประกอบ คุณค่าทางโภชนาการของวุ้นกะทิได้แก่ พลังงานจากน้ำตาล และไขมันจากกะทิไม่มีใยอาหาร หรือมีปริมาณน้อยมาก ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการบริโภควุ้นกะทิ ถ้าบริโภคมากเกินไป หรือถ้าผู้บริโภคมีภาวะโภชนาการเกิน จะทำให้มีผลเสียต่อสุขภาพได้ เนื่องจากไขมันกะทิประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวประมาณร้อยละ 91 จากปริมาณของกรดไขมันทั้งหมด (Child, 1964) ซึ่งกรดไขมันอิ่มตัว จะมีผลต่อการเพิ่มระดับไขมัน และคอเลสเตอรอลในเลือดซึ่งเป็นสาเหตุของโรคต่างๆ เช่นโรคหัวใจ และไขมันในเส้นเลือดอุดตันเป็นต้น อินนูลินเป็นคาร์โบไฮเดรต มีคุณสมบัติเป็นใยอาหารชนิดละลายน้ำได้ เป็นพรีไบโอติก (Schneeman, 1999) สามารถเกิดเจลได้ ใช้เป็นสารทดแทนไขมันในอาหาร ดังนั้นเพื่อเป็นการพัฒนาวุ้นกะทิให้มีคุณค่าทางโภชนาการให้ดีขึ้นจึงมีการศึกษาการเติมอินนูลินในวุ้นกะทิเพื่อเพิ่มใยอาหารและลดปริมาณไขมันในวุ้นกะทิ ให้เหมาะกับผู้บริโภคทุกเพศทุกวัยและผู้ที่มีปัญหาด้านสุขภาพ

2. อุปกรณ์และวิธีการ

ส่วนประกอบในการทำวุ้นกะทิ มีดังนี้ ผงวุ้นตรานางเงือก, กะทิพาสเจอร์ไรส์ ไขมันร้อยละ 22, น้ำมะพร้าวอ่อน, น้ำตาลทรายขาว, เกลือ และอินนูลิน (Frutafit ®HD)

2.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายวุ้นต่อลักษณะเนื้อสัมผัส

วุ้นกะทิสูตรมาตรฐานซึ่งเป็นสูตรควบคุมประกอบด้วย วุ้นร้อยละ 1 เกลือร้อยละ 0.5 น้ำตาลร้อยละ 16 ของปริมาณของเหลวทั้งหมดคือ 100 มิลลิลิตร ประกอบจาก น้ำมะพร้าวและกะทิ อัตราส่วน 1:1 โดยเคี่ยววุ้นให้มีความเข้มข้นระดับต่างๆ แล้ววัดเนื้อสัมผัส

2.2 ศึกษาผลของปริมาณกะทิและอินนูลินต่อคุณสมบัติของวุ้น

ทำการพัฒนาวุ้นกะทิไขมันต่ำโดยใช้ปริมาณกะทิร้อยละ 25 50 75 100 จากวุ้นกะทิสูตรมาตรฐาน และเพิ่มปริมาณน้ำทดแทนปริมาณกะทิที่ลดลง และใช้อินนูลินในการทดแทนกะทิปริมาณร้อยละ 0 1 5 10 15 ของปริมาณของเหลวทั้งหมดในสูตรมาตรฐาน

2.3 ศึกษาผลของการเตรียมอินนูลินต่อคุณสมบัติของวุ้น

ในการเตรียมวุ้นกะทิสูตรลดไขมันโดยใช้อินนูลิน มีวิธีการเตรียมสารละลาย 2 วิธี คือ

2.3.1 การเตรียมสารละลายอินนูลินโดยใช้ความร้อน

โดยใช้ปริมาณน้ำที่ทดแทนกะทิมาเตรียมสารละลายอินนูลิน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอินนูลินละลาย จึงนำสารละลายอินนูลินไปผสมในสารละลายวุ้น

2.3.2 การเตรียมสารละลายอินนูลินโดยใช้แรงเฉือน

ด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ ความเร็ว 6500 รอบต่อนาที โดยการเตรียมวุ้นกะทิจะทำเป็น 2 ลักษณะคือ

2.3.2.1 การใช้แรงเฉือนกับสารละลายอินนูลิน

โดยนำอินนูลินมาละลายน้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอินนูลินละลาย จึงนำให้แรงเฉือนนาน 5 นาที ก่อนนำไปผสมกับสารละลายวุ้น

2.3.2.2 การใช้แรงเฉือนกับสารละลายผสมอินนูลินและวุ้น

โดยละลายอินนูลินและวุ้นและนำสารละลายผสมมาให้แรงเฉือน นาน 5 นาที

2.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี

2.4.1 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของวุ้นกะทิ

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของวุ้น โดยวัดความแข็ง (gel strength) จากค่าแรงสูงสุดของกราฟความแน่นเนื้อ (firmness) จากความชันของกราฟ และแรงที่ใช้ในการเคี้ยว (toughness) จากพื้นที่ใต้กราฟ F yield, D yield คือ แรงและระยะทางที่ทำให้โครงสร้างของวุ้นถูกทำลาย โดยการวัดแบบทะลุ (puncture testing) เตรียมวุ้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร สูง 15 มิลลิเมตร เก็บไว้ที่ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่องTA-XT Plus Texture Analyzer ใช้หัววัดแบบ cylindrical (P6) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัววัด 6 มิลลิเมตร อัตราเร็วของหัววัด 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที กดลงไปในตัวอย่างลึก 5 มิลลิเมตร ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 6 ซ้ำ (ดัดแปลงจาก Saengthongpinit, 2005) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติด้วย DMRT ที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95

2.4.2 วัดค่าสี

การวัดค่าสีด้วยเครื่อง Hunter Lab รุ่น Miniscan XE plus วัดค่า L* a* b* ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ นำแต่ละค่าที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติด้วย DMRT ที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95

2.4.3 วิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส

นำวุ้นกะทิที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสและสีใกล้เคียงกับวุ้นสูตรมาตรฐานได้แก่ วุ้นที่ผสมอินนูลินที่เตรียมโดยใช้ความร้อน และวุ้นที่ผสมอินนูลิน เตรียมโดยใช้แรงเฉือน มาทำการทดสอบการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบ 9-point hedonic scale test

2.4.4 วิเคราะห์ปริมาณไขมัน

นำวุ้นกะทิสูตรมาตรฐานและวุ้นกะทิไขมันต่ำผสมอินนูลินที่มีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน และได้รับการยอมรับมาทำการวิเคราะห์ ตามวิธี AOAC (2000) ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

2.5 ศึกษาอายุการเก็บรักษา

โดยใช้ตัวอย่างวุ้นกะทิที่ได้รับการยอมรับและวุ้นสูตรมาตรฐานมาศึกษา

2.5.1 วิเคราะห์ความชื้น

นำตัวอย่างวุ้นกะทิมาชั่งน้ำหนัก 5 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ตามวิธี AOAC (2000) ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

2.5.2 วิเคราะห์การแยกตัวของน้ำ(syneresis)

เตรียมตัวอย่างใส่ถ้วยพลาสติกขนาด 1 ออนซ์ โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างทุก 0 3 6 9 วัน ทำการทดลองตัวอย่างละ 5 ซ้ำ(ดัดแปลงจาก Partanen และคณะ, 2008)

2.5.3 วิเคราะห์ค่ากรดไทโอบาร์บิทิวริก (TBA)

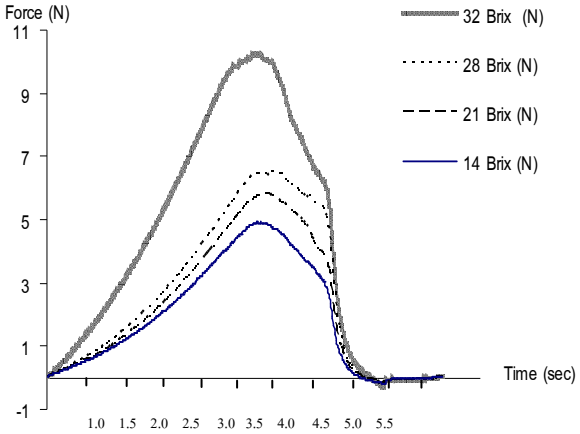
เป็นการวัดความหืนโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร ตามวิธี Pearson (1976) ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

2.5.4 วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์

นำวุ้นกะทิผสมอินนูลิน จาก 2.3และวุ้นกะทิสูตรมาตรฐาน มาทำการวิเคราะห์ปริมาณ จุลินทรีย์ทั้งหมดด้วยวิธี AOAC (2000)

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายวุ้นต่อลักษณะเนื้อสัมผัส

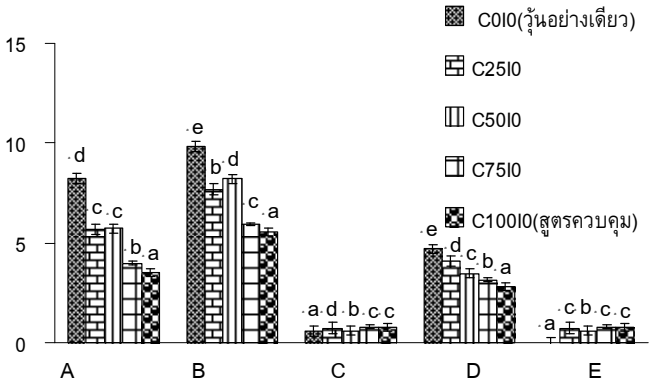


รูปที่ 1 ความเข้มข้นของสารละลายวุ้นต่อลักษณะเนื้อสัมผัส

ความเข้มข้นของวุ้นระดับต่าง ๆ มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ซึ่งมีผลต่อความชอบของผู้บริโภค จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องมีการควบคุมความเข้มข้นของวุ้นในคงที่ในการทดลอง ดังรูปที่ 1 พบว่าความแข็งและแรงที่ใช้ในการเคี้ยวจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของวุ้นสูงขึ้น เช่น ที่ความเข้มข้น 14 องศาบริกซ์ เมื่อนำมาทำให้เกิดเจลจะได้วุ้นที่นิ่ม ใช้แรงกัดที่น้อยกว่าวุ้นที่เข้มข้น 28 บริกซ์ วุ้นที่ความเข้มข้นต่ำยังมีค่า D yield สูง ซึ่งแสดงว่าวุ้นมีความยืดหยุ่นมากกว่าวุ้นที่ความเข้มข้นสูง ในการทดลองนี้จะควบคุมวามเข้มข้นสารละลายวุ้นที่ 32 บริกซ์

3.2 ผลของการเตรียมวุ้นกะทิที่ใช้อินนูลินเพื่อทดแทนกะทิต่อลักษณะทางกายภาพ

3.2.1 ผลของปริมาณกะทิต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและสีของวุ้น



รูปที่ 2 ผลของปริมาณกะทิต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของวุ้นกะทิที่ใช้อินนูลินร้อยละ 0

A คือ ความแข็ง และ แรงที่ทำให้วุ้นเสียรูปร่าง (N)

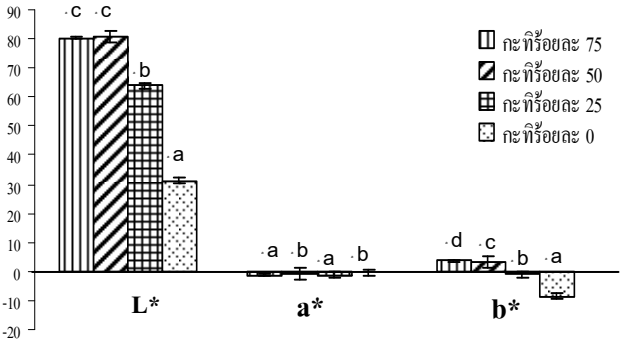
B คือ แรงที่ใช้ในการเคี้ยว (Ns)

C คือ ความแน่นเนื้อ (N/s)

D คือ ระยะทางแรงกดที่ทำให้วุ้นเสียรูปร่าง (mm)

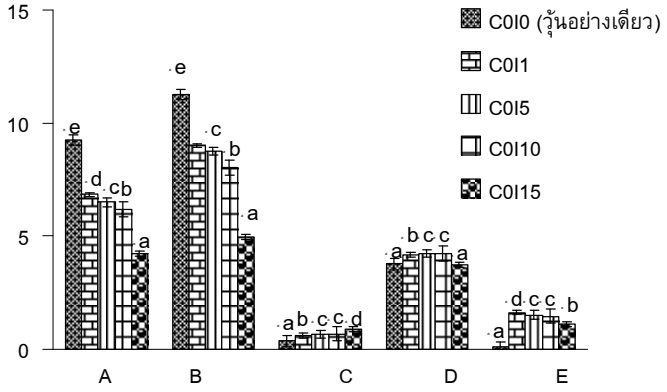
E คือ ความยืดหยุ่น (young modulus) (N/mm^2)

ปริมาณกะทิมีผลต่อเนื้อสัมผัสของวุ้น ดังรูปที่ 2 ปริมาณกะทิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความแข็ง และแรงที่ใช้ในการเคี้ยวลดลง ความแน่นเนื้อแตกต่างกันเล็กน้อย จากกราฟจะพบว่า D yield ของวุ้นลดลงหรือกดลงไปเล็กน้อยก็จะทำให้วุ้นแตกเมื่อปริมาณกะทิเพิ่มขึ้นแสดงว่าวุ้นมีความยืดหยุ่นลดลง อาจเนื่องจากเม็ดไขมันจะขัดขวางการเกิดโครงสร้างตาข่ายเจลของวุ้น และเป็นตัวหล่อลื่น (plasticizer) ทำให้โครงสร้างของวุ้นกะทิไม่แข็งแรงปริมาณกะทิมีผลต่อสีของวุ้น (รูปที่ 3) โดยวุ้นที่มีปริมาณกะทิมากจะมีค่าสี L* และค่า b* สูงหรือมีสีขาวขุ่นมากขึ้นตามปริมาณกะทิ วุ้นที่ใช้กะทิร้อยละ 25 จะมีลักษณะสีขาวขุ่นเล็กน้อย ซึ่งไม่ใช่ลักษณะของวุ้นกะทิที่ผู้บริโภคยอมรับ วุ้นที่ไม่เติมกะทิจะมีสีขาวใส ส่วนวุ้นที่เติมกะทิร้อยละ 50 และร้อยละ 75 มีสีขาวขุ่นตามที่ผู้บริโภคต้องการ



รูปที่ 3 ผลของปริมาณกะทิต่อค่าสีวุ้นกะทิที่ใช้อินนูลินร้อยละ 0

3.2.2 ผลของปริมาณอินนูลินต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและสีของวุ้น



รูปที่ 4 ผลของปริมาณอินนูลินต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของวุ้นกะทิ

A คือ ความแข็ง และ แรงที่ทำให้วุ้นเสียรูปร่าง (N)

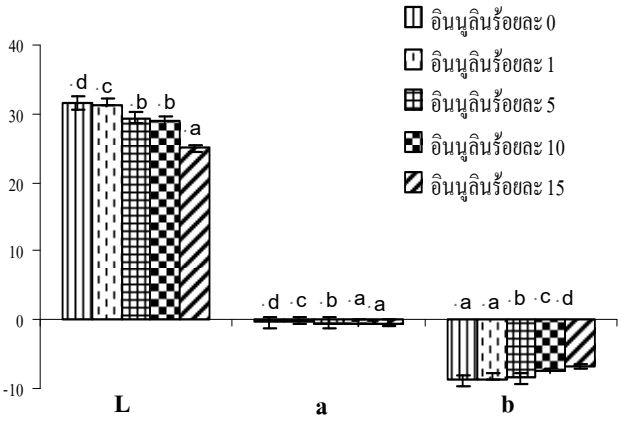
B คือ แรงที่ใช้ในการเคี้ยว (Ns)

C คือ ความแน่นเนื้อ (N/s)

D คือ ระยะทางแรงกดที่ทำให้วุ้นเสียรูปร่าง (mm)

E คือ ความยืดหยุ่น (young modulus) (N/mm^2)

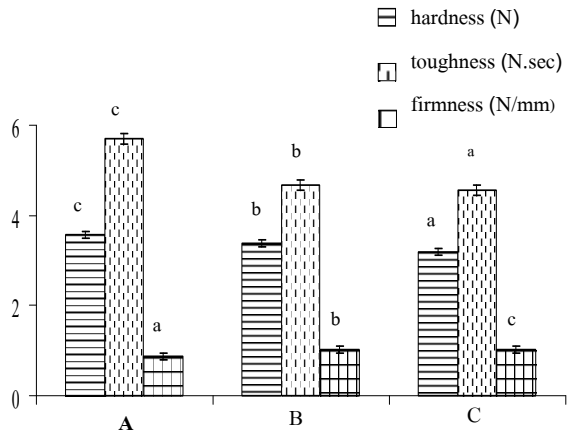
ผลจากการเติมอินนูลินดังรูปที่ 4 พบว่าการเพิ่มปริมาณอินนูลินจะมีผลทำให้วุ้นมีค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น ความแข็งและแรงที่ใช้ในการเคี้ยวลดลง การเติมอินนูลินทำให้วุ้นมีความยืดหยุ่นมากขึ้นเนื่องจาก D yield สูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากอินนูลินที่เติมเข้าไปจะขัดขวางการเกิดโครงสร้างตาข่ายเจลของวุ้น Saengthongpinit (2005) ได้ศึกษาผลของอินนูลินต่อเจลแป้ง พบว่าอินนูลินทำให้เจลของแป้งมีความแข็งลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งเกิดจากเจลของแป้งมีโครงสร้างที่มีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับเจลของวุ้น ส่วนเจลอินนูลินมีลักษณะเป็น particulate gel หรือ อนุภาคหลาย ๆ อนุภาคมารวมชิดติดกันจนเป็นเจล ในการเกิดเจลผสมอนุภาคอินนูลินจะเข้าไปแทรกอยู่ในโครงสร้างตาข่ายของวุ้น จึงทำให้วุ้นที่ผสมอินนูลินที่ได้มีความแข็งลดลง ตามปริมาณอินนูลินที่มากขึ้น และทำให้เจลมีความแน่นเนื้อมากขึ้น วุ้นกะทิที่มีปริมาณอินนูลินสูง ๆ จะทำให้เจลนุ่มและเปราะ เนื่องจากอินนูลินช่วยลดความแข็งของวุ้น ปริมาณอินนูลินมีผลต่อสีของวุ้น เนื่องจากเจลอินนูลินมีสีขาวขุ่น เมื่อเติมลงในวุ้นในปริมาณมากจะทำให้วุ้นมีสีขาวขุ่นหรือค่า L* ลดลง และค่า b* เพิ่มขึ้นตามปริมาณอินนูลิน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลของปริมาณอินนูลินต่อค่าสีวุ้นกะทิที่ใช้กะทิร้อยละ 0

3.2.3 ผลของวิธีการเตรียมสารละลายอินนูลินต่อลักษณะทางกายภาพ

อินนูลินสามารถละลายน้ำได้ดีที่อุณหภูมิสูง จากการเตรียมสารละลายอินนูลินด้วยความร้อน เมื่อนำสารละลายอินนูลินไปผสมในสารละลายวุ้น การเตรียมโดยให้แรงเฉือนกับสารละลายอินนูลินก่อนผสมในสารละลายวุ้น และการให้แรงเฉือนกับสารละลายผสมของอินนูลินกับวุ้นแล้วทิ้งไว้ให้เกิดเจล พบว่าวุ้นทั้งสามตัวอย่างมีคุณสมบัติต่างกันดังรูปที่ 6 โดยพบว่าความแข็งและแรงที่ใช้ในการเคี้ยวของวุ้นผสมอินนูลินที่เตรียมด้วยความร้อนจะมากกว่าอินนูลินที่เตรียมด้วย



รูปที่ 6 ผลของวิธีการเตรียมสารละลายอินนูลินร้อยละ 15 ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสวุ้นกะทิร้อยละ 75

A คือ วิธีใช้ความร้อน B คือ วิธีใช้แรงผสมสารละลายอินนูลิน
C คือ วิธีใช้แรงเฉือนกับสารละลายผสมอินนูลินและวุ้น
a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่มสี แสดงความแตกต่างทาง สถิติที่ระดับนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

แรงเฉือนและมากกว่าวุ้นเตรียมด้วยการให้แรงเฉือนกับสารละลายผสมอินนูลินกับวุ้น ทั้งนี้เนื่องจากอินนูลินเมื่อเตรียมด้วยการให้แรงเฉือนจะทำให้มีขนาดอนุภาคเล็กลงและมีจำนวนมากขึ้นจึงทำให้อินนูลินแทรกอยู่ในโครงสร้างตาข่ายของวุ้นได้มาก ซึ่งจะทำให้วุ้นมีความแข็งลดลง ส่วนวุ้นที่เตรียมโดยการให้แรงเฉือนกับสารละลายผสมของอินนูลินกับวุ้นจะได้วุ้นที่มีความแข็งต่ำที่สุด อาจเนื่องมาจากการให้แรงเฉือนนอกจากทำให้อินนูลินมีขนาดเล็กลงและมีจำนวนมากแล้ว ยังทำให้สายโพลิเมอร์ของวุ้นถูกตัดให้สั้นลง ส่งผลให้โครงสร้างตาข่ายของเจลไม่แข็งแรง ทั้งสองปัจจัยนี้จึงทำให้วุ้นมีความแข็งและแรงที่ใช้เคี้ยวลดลง แต่มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นซึ่ง Kim และคณะ (2001) พบว่าการให้แรงเฉือนทำให้สายอินนูลินสั้นลง ทำให้ความสามารถในการเกิดเจลลดลง นอกจากนั้นการใช้แรงเฉือนจะทำให้อนุภาคของเจลอินนูลินมีขนาดเล็ก ขนาดอนุภาคแตกต่างกัน ส่วนเจลอินนูลินที่เตรียมด้วยความร้อนอนุภาคจะมีขนาดเล็กและสม่ำเสมอจึงทำให้เจลที่เตรียมด้วยความร้อนมีความแข็งมากกว่าเจลที่ได้จากการใช้แรงเฉือน เพราะเมื่อเกิดการเรียงตัวจะทำให้โครงสร้างของเจลไม่แข็งแรง วิธีการเตรียมอินนูลินมีผลต่อสีของวุ้น โดยพบว่าเมื่อใช้แรงเฉือนในการเตรียมสารละลายอินนูลินจะทำให้วุ้นมีสีขาวขุ่น โดยเฉพาะเมื่อแรงเฉือนกับสารละลายผสมอินนูลินกับวุ้น จากการสังเกตสีของวุ้นกะทิที่เตรียมโดยวิธีนี้ยังช่วยทำให้สีของวุ้นกะทิขาวนวลเป็นเนื้อเดียวกันยิ่งขึ้นและยังทำให้วุ้นที่เติมกะทิร้อยละ 25 และ 50 มีสีขาวขุ่นมากกว่าวุ้นที่เตรียมด้วยความร้อนและแรงเฉือนที่ปริมาณกะทิเท่ากัน (ไม่ได้แสดงข้อมูล)

3.2.4 การยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส

การทดสอบการยอมรับเบื้องต้นของตัวอย่างที่มีเนื้อสัมผัสและสีใกล้เคียงกับสูตรควบคุม พบว่าวุ้นกะทิที่เติมอินนูลินร้อยละ 10 และ 15 เมื่อเก็บรักษาไว้ 24 ชั่วโมงก่อนนำมาให้ชิม จะพบว่าบริเวณผิวหน้าของวุ้นจะมีลักษณะเป็นทราย (sandy) โดยเฉพาะเมื่อเก็บไว้นานขึ้น (ไม่ได้แสดงข้อมูล) ทั้งนี้จากงานวิจัยของ Saengthongpinit (2005) พบว่าเจลผสมของอินนูลินกับแป้งซึ่งมีการเกิดเจลเป็นโครงสร้างตาข่ายเช่นเดียวกับวุ้น เจลของอินนูลินจะไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับโครงสร้างตาข่ายแต่จะมีลักษณะเป็นอนุภาคกลม ๆ แทรกอยู่ซึ่งลักษณะที่เป็นทรายนี้อาจเป็นส่วนของเจลอินนูลิน ดังนั้นจากผลของเนื้อสัมผัส สี และการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคเบื้องต้น พบว่าวุ้นที่มีกะทิร้อยละ 25 และวุ้นที่มีอินนูลินร้อยละ 10 และ 15 มีลักษณะไม่ตรงกับความต้องกาของผู้บริโภค ผู้วิจัยจึงคัดเลือกตัวอย่างมาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคอีกครั้งดังตารางที่ 1 พบว่าวุ้นที่ใช้กะทิร้อยละ 75 เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุดโดยเฉพาะวุ้นที่เตรียมโดยให้แรงเฉือนกับสารละลายผสมของอินนูลินกับวุ้น (C75I15)แต่เนื่องจากการใช้แรงเฉือนเป็นวิธีที่ไม่สะดวกสำหรับผู้ประกอบการจึงเลือกสูตรที่ได้รับการยอมรับลำดับถัดไปและสะดวกต่อผู้ประกอบการได้แก่ วุ้นที่ใช้กะทิร้อยละ 15 อินนูลินร้อยละ 5 (C50I5) และวุ้นที่ใช้กะทิร้อยละ 75 อินนูลินร้อยละ 5 (C75I5) มาศึกษาอายุการเก็บรักษา

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการยอมรับของผู้บริโภค

ตัวอย่าง	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	การยอมรับโดยรวม
control	7.7 [a] ±0.59	6.9 [a] ±0.80	7.0 [a] ±1.07	7.0 [a] ±1.46	7.5 [a] ±0.64
C50I5	7.1 [b] ±1.19	6.9 [a] ±1.12	7.0 [a] ±1.03	6.2 [c] ±1.60	6.7 [d] ±1.22
C75I1	7.1 [ab] ±0.99	6.7 [b] ±1.16	6.8 [c] ±1.28	5.5 [d] ±1.68	6.5 [f] ±1.19
C75I5	7.7 [a] ±1.03	6.9 [a] ±1.20	6.9 [b] ±1.06	6.5 [b] ±1.50	7.2 [b] ±1.06
C50I15S	6.9 [ab] ±0.63	6.2 [c] ±0.30	6.1 [d] ±0.39	5.2 [f] ±.65	5.8 [g] ±0.50
C75I1MS	7.1 [ab] ±2.10	6.7 [b] ±1.27	6.9 [b] ±1.15	5.4 [e] ±2.00	6.6 [e] ±1.78
C75I5MS	7.1 [ab] ±1.40	6.8 [b] ±1.44	6.9 [b] ±1.50	6.5 [b] ±1.55	7.1 [c] ± 1.40

a-b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)
C50, C75 คือ ปริมาณกะทิที่ใช้ ร้อยละ 50 และ 75 ตามลำดับ I1, I5, I15 คือ ปริมาณอินนูลินที่ใช้ทดแทนกะทิ ร้อยละ 1, 5 และ 15 ตามลำดับ
S คือ การเตรียมอินนูลินโดยการใช้แรงเฉือน MS คือ การเตรียมอินนูลินโดยการใช้แรงเฉือนกับสารละลายผสมของวุ้นกับอินนูลิน

3.2.5 ปริมาณไขมันในวุ้นกะทิ

เนื่องจากวัตถุประสงค์การวิจัยต้องการลดปริมาณไขมันและเสริมใยอาหารให้ได้มากที่สุดและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคจึงเลือกสูตรดังข้อ 3.2.4 มาวิเคราะห์ปริมาณไขมันในวุ้นกะทิ (ตารางที่ 2) พบว่าการลดปริมาณกะทิสามารถลดปริมาณไขมันได้มาก โดยเฉพาะวุ้นที่เติมกะทิร้อยละ 50 สามารถลดไขมันถึงร้อยละ 32 ส่วนวุ้นที่เติมกะทิร้อยละ 75 อินนูลินร้อยละ 5 สามารถลดไขมันได้ร้อยละ 23 และผู้บริโภคจะได้รับใยอาหาร 6 กรัม เมื่อรับประทานวุ้นเสริมใยอาหาร 100 กรัม ซึ่งใยอาหารอินนูลินจะช่วยในเรื่องการขับถ่ายและเป็นพรีไบโอติก

ตารางที่ 2 ปริมาณไขมันในวุ้นกะทิ

ตัวอย่าง	ร้อยละปริมาณไขมันในวุ้นกะทิ
ควบคุม	3.53 [c] ±0.53
C50I5	0.83 [a] ±0.17
C75I5	1.13 [b] ±0.06

C50, C75 คือ ปริมาณกะทิที่ใช้ ร้อยละ 50 และ 75 ตามลำดับ
I5 คือ ปริมาณอินนูลินที่ใช้ ร้อยละ 5

3.3 ผลของอายุการเก็บรักษา

3.3.1 ความชื้นในวุ้นกะทิระหว่างการเก็บรักษา

จากตารางที่ 3 พบว่าความชื้นของวุ้นกะทิมีค่าร้อยละ 61.73-66.18 โดยวุ้นที่ใช้กะทิร้อยละ 50 มีความชื้นน้อยที่สุด และวุ้นมีความชื้นลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา

3.3.3.2 การแยกตัวของน้ำ (syneresis) ระหว่าง การเก็บรักษา

จากตารางที่ 3 พบว่าความชื้นของวุ้นกะทิร้อยละ 75 มีค่าการแยกตัวของน้ำไม่ค่อยแตกต่างเมื่อเก็บไว้นานขึ้น ส่วนวุ้นที่มีกะทิร้อยละ 50 จะมีการแยกตัวของน้ำเพิ่มขึ้นตามเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากวุ้นเกิดเจลแบบ Associate gel มีลักษณะเป็นโครงสร้างตาข่ายระหว่างโมเลกุล เมื่อมีการเติมกะทิและอินนูลินจะไปแทรกตัวอยู่ในโครงสร้างตาข่ายของวุ้นทำให้โครงสร้างตาข่ายของวุ้นไม่แข็งแรง จึงทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำออกจากเจลดังตารางที่ 3 โดยวุ้นกะทิสูตรมาตรฐานและวุ้นเติมกะทิร้อยละ 75 เมื่อเก็บไว้นานขึ้น ปริมาณการแยกตัวของน้ำมีแนวโน้มลดลงขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับความชื้นของวุ้นที่มีความชื้นลดลงระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์อายุการเก็บรักษาของวุ้นกะทิ

การวิเคราะห์	ตัวอย่าง	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)				
		0	3	6	9	12
ความชื้น (%)	ควบคุม	65.60 ±0.94 ^{bB}	65.95 ±0.77 ^{bC}	65.25 ±1.29 ^{bA}	65.25 ±1.00 ^{cA}	ND
	C75I5	65.69 ±1.12 ^{cC}	66.18 ±1.16 ^{aD}	65.46 ±0.86 ^{cB}	63.52 ±0.99 ^{bA}	ND
	C50I5	0.07 ±0.01 ^{aB}	0.06 ±0.01 ^{aA}	0.13 ±0.05^{bC}	0.13 ± 0.05^{bC}	0.15 ± 0.03^{aD}
การแยกตัวของน้ำ (%)	ควบคุม	0.14 ±0.03^{bC}	0.12 ±0.07 ^{bB}	0.12 ±0.29 ^{aB}	0.11 ±0.89 ^{aA}	ND
	C75I5	0.15 ±0.03 ^{cB}	0.16 ±0.01 ^{cA}	0.16 ±0.01^{cA}	0.16 ±0.07^{cA}	ND
	C50I5	0.07 ±0.01 ^{aB}	0.06 ±0.01 ^{aA}	0.13 ±0.05^{bC}	0.13 ± 0.05^{bC}	0.15 ± 0.03^{aD}
TBA (มก.มาโลนัลดีไฮด์/กก.)	ควบคุม	5.93±0.17^{cA}	6.12±0.25 ^{aB}	6.94±0.67 ^{cC}	7.30± 0.87 ^{bD}	ND
	C75I5	4.56±0.71b^{A}	6.48±0.12 ^{cB}	6.58±0.22 ^{aC}	7.19±0.16 ^{aD}	ND
	C50I5	4.44±0.20 ^{aA}	6.39±0.64 ^{bB}	6.68±0.02 ^{bC}	7.51±0.09 ^{cD}	7.77±0.19^{aE}

a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ (P≤0.05)

A-E ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ (P≤0.05)

ND คือ ไม่ได้วิเคราะห์เนื่องจากวุ้นกะทิเสียมีลักษณะเป็นเมือก และเปลี่ยนสี) C50, C75 คือ ปริมาณกะทิที่ใช้ ร้อยละ 50 และ 75 I5 คือ อินนูลินร้อยละ 5

3.3.3 การหืนในวุ้นกะทิระหว่างการเก็บรักษา

กะทิสามารถเกิดการหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ ดังตารางที่ 3 การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าค่าการหืนวันที่ 0 ของวุ้นเติมกะทิร้อยละ 50 มีค่า 4.44 วุ้นเติมกะทิร้อยละ 75มีค่า 4.56 และ วุ้นกะทิสูตรควบคุมมีค่า 5.93 ซึ่งวุ้นที่เติมกะทิร้อยละ 50 จะมีค่าการหืนน้อยที่สุด การหืนจะเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาเมื่อเก็บไว้จนถึงวันที่ 12ตารางที่ 3 ความชื้น การแยกตัวของน้ำ และค่า TBA ของวุ้นกะทิระหว่างการเก็บรักษาคือ 7.77 ส่วนวุ้นสูตรควบคุมและที่ใช้กะทิร้อยละ 75 ไม่ได้วิเคราะห์เนื่องจากวุ้นเสียไม่สามารถรับประทานได้

3.3.4 ปริมาณจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษา

การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษา ดังตารางที่ 4 วุ้นสูตรควบคุมหรือมีกะทิร้อยละ 100 มีปริมาณจุลินทรีย์สูงที่สุด ส่วนวุ้นที่มีกะทิร้อยละ 50 มีปริมาณจุลินทรีย์ต่ำที่สุด โดยปริมาณจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับปริมาณกะทิที่ใช้และเมื่อเก็บรักษาไว้ ปริมาณจุลินทรีย์จะเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยวุ้นกะทิสูตรควบคุมและวุ้นกะทิร้อยละ 75 เมื่อเก็บไว้ถึง 9 วัน

ตารางที่ 4 ปริมาณจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ตัวอย่าง	จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ (โคโลนี/กรัมอาหาร)
		TPC ค่าที่นับได้
0	ควบคุม	5.3x10^{5}
	C75I5	1.4x10^{5}
	C50I5	2.7x10^{3}
3	ควบคุม	5.8x10^{5}
	C75I5	2.1x10^{5}
	C50I5	0.5x10^{3}
6	ควบคุม	7.3x10^{5}
	C75I5	6.4x10^{5}
	C50I5	0.5x10^{4}
9	ควบคุม	เกินมาตรฐาน
	C75I5	เกินมาตรฐาน
	C50I5	1.5x10^{4}
12	ควบคุม	เกินมาตรฐาน
	C75I5	เกินมาตรฐาน
	C50I5	2.3x10^{4}

หมายเหตุ

*จุลินทรีย์ทั้งหมดค่ามาตรฐานไม่เกิน 1.0× 10^{6}

C50, C75 คือ ปริมาณกะทิที่ใช้ ร้อยละ 50 และ 75 ตามลำดับ ที่อินนูลินร้อยละ 5

a-b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงความแตกต่าง

พบว่ามีจุลินทรีย์มากกว่า 106 และเกิดการเสีย โดยมีลักษณะเป็นเมือกและเปลี่ยนสี มีจุดสีเหลืองอมส้มและมีราดำเกิดขึ้น ส่วนวุ้นกะทิที่ร้อยละ 50 สามารถเก็บไว้ได้นานขึ้น เมื่อเก็บรักษาไว้ 12 วัน ปริมาณจุลินทรีย์ไม่เกินมาตรฐาน ซึ่งแสดงว่าปริมาณกะทิมีผลต่อการเน่าเสียและอายุการเก็บรักษาของวุ้น

4. สรุป

ปริมาณอินนูลินและกะทิมีผลต่อเนื้อสัมผัสของวุ้นกะทิ โดยปริมาณอินนูลินและกะทิทำให้วุ้นมีความแข็งและแรงที่ใช้เคี้ยวลดลง การใช้แรงเฉือนกับสารละลายอินนูลินและการใช้แรงเฉือนกับสารละลายผสมวุ้นทำให้วุ้นที่ได้มีความแข็งและแรงที่ใช้เคี้ยวน้อยกว่าวุ้นเติมอินนูลินที่เตรียมโดยวิธีการใช้ความร้อน

การลดปริมาณกะทิและการใช้อินนูลินทดแทนสามารถได้ผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำ มีใยอาหารสูงและยืดอายุการเก็บรักษาได้

การผลิตวุ้นกะทิสามารถลดไขมันได้ ร้อยละ 25 ถึง50 โดยใช้อินนูลินได้ร้อยละ 5 แต่ถ้าต้องการผลิตวุ้นใส สามารถลดไขมันได้ทั้งหมด ถ้าใช้อินนูลินร้อยละ 10 ถึง 15 จะทำให้วุ้นมีเนื้อสัมผัสเป็นทราย

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักกองทุนสนับสนุนการวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการโครงงานอุตสาหกรรมสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี ประจำปีการศึกษา 2551 สำนักงานโครงการ IRPUS ที่ได้สนับสนุนทุน และบริษัทเฮล์มมหาบุญ จำกัด ที่อนุเคราะห์ตัวอย่างอินนูลิน

6. เอกสารอ้างอิง

A.O.A.C. *Official Methods of Analysis*. 17th ed. The Association of Official Analyticial Chemists. Gaithersburg, Maryland, 2000.

Child, R. *Coconuts*. Great Britain Spottiswoode, Ballantyne, London, 1964. 216 p.

Kim Y.; Faqih M.N.; Wang. S.S. Factors affecting gel formation of inulin. *Carbohydrate Polymers*, 2001. 46, 135-145.

Partanen, R.; Autio. K.; Myllarinen, P. Lille, M.;Buchert, J. ; Forssel. P. Effect of transglutaminase on structure and syneresis of neutral and acidic sodium caseinate gels. *Inter Dairy J.* 2008.18 , 414-421.

Pearson, A.M.; Tauber. F.W. *Processed Meats. 2nd ed*., The AVI Publishing Company, Inc., Connecticut, 1984. 427.

Saengthongpinit, W. In*fluence of harvest and storage temperature on characteristics of inulin from Jerusalem artichoke and physicochemical properties of inulin-starch mixed gel*, Ph.D. Thesis, Kasetsart University, 2005.

Schneeman, B.O. *Fiber, inulin and oligofructoses: Similarlities and Different*, J. Nutri, 1999.129, 1424s-1427s.