บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นกกระจอกเทศ

นกกระจอกเทศจัดว่าเป็นสัตว์ปีกที่มีค่าทางเศรษฐกิจในปัจจุบัน ซึ่งผู้ประกอบการฟาร์มนกกระจอกเทศในประเทศไทย มีเป้าหมายการขยายฟาร์มเพิ่มขึ้นมาก เนื่องจากรัฐบาลได้ให้การสนับสนุน โดยเห็นได้จากการที่ธุรกิจฟาร์มนกกระจอกเทศได้รับการบรรจุในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 9 (พ.ศ.2545-2549) ในหมวดแผนปฏิบัติการด้านปศุสัตว์ โดยผลิตนกกระจอกเทศเพื่อการส่งออกเป็นหลัก ปัจจุบันปริมาณการเลี้ยงนกกระจอกเทศในเมืองไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี โดยมีการนำพันธุ์นกกระจอกเทศมาจากต่างประเทศ เช่น ประเทศแอฟริกาใต้ ออสเตรีย เบลเยี่ยม สหรัฐอเมริกา และอีกหลายประเทศ ช่วงแรกจะนำเข้ามาเป็นสัตว์แปลก เลี้ยงเพื่อสันทนาการในสวนสัตว์ ต่อมาได้มีฟาร์มนกกระจอกเทศของเอกชนนำเข้ามาเลี้ยงเป็นธุรกิจ และกรมปศุสัตว์นำเข้ามาทดลองเลี้ยงจนได้ผลว่าสามารถเลี้ยงในเชิงพาณิชย์ได้

ธุรกิจฟาร์มนกกระจอกเทศในประเทศไทยเริ่มมาตั้งแต่ปี 2541 โดยเริ่มต้นมีการนำเข้าเพื่อการเลี้ยงในสวนสัตว์ หรือสถานที่ท่องเที่ยวต่างๆ จนกระทั่งได้มีการวิเคราะห์ถึงผลประโยชน์ที่มีอยู่มากในตัวของนกกระจอกเทศ เพราะสามารถนำผลิตภัณฑ์มาจำหน่าย คือ หนัง เนื้อ ขน ไข่ ไขมัน กระดูก โดยนกกระจอกเทศตัวหนึ่งจะมีมูลค่าประมาณ 30,000 บาท ดังนั้นจึงได้มีการเริ่มเลี้ยงนกกระจอกเทศ เพื่อผลทางธุรกิจตั้งแต่นั้นมา

ปริมาณการเลี้ยงนกกระจอกเทศในประเทศไทยมีจำนวนเท่ากับปริมาณการนำเข้า ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้นเรื่อยๆ ในปี 2544 มีการนำเข้านกกระจอกเทศ 21,728 ตัว มีมูลค่ารวมทั้งหมด 55,759,909 บาท เพิ่มขึ้นจากปี 2543 ที่มีการนำเข้า 5,993 ตัว มีมูลค่ารวมทั้งหมด 14,496,078 บาท และปี 2542 ที่มีการนำเข้า 1,320 ตัว และมีมูลค่ารวมทั้งหมด 2,920,143 บาท ตามลำดับ (กรมปศุสัตว์.กองแผนงาน, 2545)

การบริโภคในปี 2544 มีเนื้อนกกระจอกเทศจำหน่ายประมาณเดือนละ 2,280 กิโลกรัม เพิ่มขึ้นจากปี 2543 ประมาณเดือนละ 760 กิโลกรัม ส่งผลให้ราคาจำหน่ายประมาณกิโลกรัมละ 500 บาท ทั้งนี้เนื่องจากต้นทุนการเลี้ยงนกกระจอกเทศสูง เพราะต้องนำเข้าลูกนกกระจอกเทศจากประเทศแอฟริกาใต้ อย่างไรก็ตามหากมีการผลิตเนื้อนกกระจอกเทศมากขึ้น ในอนาคตราคาจำหน่ายคาดว่าจะลดลงเหลือ 200-300 บาท ต่อกิโลกรัม (มนตรี, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีการค้นคว้าตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 เป็นต้นมา พบว่าเนื้อนกกระจอกเทศเป็นเนื้อสัตว์ชนิดเดียวที่เทียบชั้นได้กับเนื้อโคทั้งยังมีแคลลอรีไขมัน และคลอเลสเตอรอลต่ำกว่ามาก จึงมีความนิยมบริโภคเนื้อนกกระจอกเทศที่สูงขึ้น (Sales and Hayes, 1996)

เนื้อนกกระจอกเทศจะมีสีแดงสดเหมือนเนื้อโคแต่รสชาติจะอ่อนนุ่มคล้ายเนื้อไก่ มีไขมัน และคอเลสเตอรอลต่ำ จึงเหมาะกับผู้ที่มีปัญหาเรื่องไขมันในเส้นเลือดสูง หรือผู้ที่บริโภคเนื้อโคก็สามารถหันมาบริโภคเนื้อนกกระจอกเทศแทน อายุที่ควรส่งโรงงานแปรรูป คือ 10-14 เดือน มีน้ำหนักระหว่าง 90-110 กิโลกรัม ซึ่งเมื่อชำแหละแล้วจะได้น้ำหนักซากร้อยละ 50-55 โดยเฉลี่ยแล้วจะเป็นเนื้อที่ขาร้อยละ 33-35 โดยน้ำหนัก นอกจากนั้นก็เป็นเนื้อจากส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย (ศิริพันธุ์ และไพบูลย์, 2540) เมื่อทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีต่างๆของเนื้อนกกระจอกเทศ เทียบกับเนื้อสัตว์อื่นๆได้ผลดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของโภชนะในเนื้อสัตว์ประเภทต่าง ๆ (ต่อน้ำหนัก 100 กรัม)

ชนิดของเนื้อ	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	แคลลอรี (กรัม)	คอเลสเตอรอล (มิลลิกรัม)
นกกระจอกเทศ	22.0	2.0	96.9	58.0
นกอีมู	22.8	4.0	94.4	52.6
โค	23.0	15.0	240.0	77.0
ไก่	27.0	3.0	140.0	73.0
ไก่งวง	25.0	3.0	135.0	59.0
แกะ	22.0	13.0	205.0	78.0
หมู	24.0	19.0	275.0	84.0

ที่มา : กรมปศุสัตว์ (2545)

จากตารางที่ 2.1 พบว่าเนื้อนกกระจอกเทศมีคุณค่าทางอาหารที่ดี เมื่อเทียบกับเนื้อสัตว์อื่นๆ โดยมีไขมันต่ำ (ร้อยละ 2.0) คอเลสเตอรอลน้อยประมาณ 58.0 มิลลิกรัม โปรตีนร้อยละ 22 น้ำร้อยละ 75.4 นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุที่สำคัญ เช่น ในเนื้อนกกระจอกเทศ 100 กรัม จะมีแมกนีเซียม 21.5 มิลลิกรัม ฟอสเฟต 208 มิลลิกรัม และโพแทสเซียม 351.4 มิลลิกรัม (กรมปศุสัตว์, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากข้อมูลเกี่ยวกับนกกระจอกเทศที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่า เนื้อของนกกระจอกเทศมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีส่วนประกอบทางเคมีที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ จึงถือว่าเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ (health food) แต่เนื่องจากในประเทศไทยมีปริมาณนกกระจอกเทศช่วงปี 2540-2543 มีไม่มากนัก ซึ่งส่วนใหญ่ใช้เป็นพ่อ-แม่พันธุ์เพื่อใช้ขยายพันธุ์ทำให้มีเนื้อนกกระจอกเทศที่จำหน่ายเพื่อบริโภคไม่มากนักสำหรับในปี 2544 เป็นต้นไปการเลี้ยงนกกระจอกเทศ จะมีแนวโน้มที่สูงขึ้นมาก (มนตรี, 2544) ซึ่งจะส่งผลให้อุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อนกกระจอกเทศเพิ่มสูงตามไปด้วย จึงก่อให้เกิดเศษเนื้อนกกระจอกเทศที่เหลือมาก โดยเศษเนื้อเหล่านี้ยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการทางอาหารที่มาก ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการนำเศษเนื้อนกกระจอกเทศมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่เศษเนื้อนกกระจอกเทศได้ชนิดหนึ่ง

2.2 เนื้อแปรรูป (processed meat)

เนื้อแปรรูป (processed meat) หมายถึง เนื้อที่มีสมบัติเดิมของเนื้อสดแปรเปลี่ยนไปโดยการใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งหรือหลายวิธีรวมกันได้แก่ การบด การสับละเอียด (chopping) การเติมสารเพิ่มรส (seasoning) การแปลงสี การใช้ความร้อน เป็นต้น จึงสามารถจัดกลุ่มเนื้อแปรรูปได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ผลิตภัณฑ์ลดขนาด (comminuted products) เช่น ไส้กรอก แฮมเบอร์เกอร์ และผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเดิม (noncomminuted products) โดยไม่ผ่านการนำเนื้อมาบด สับ เช่น แฮม, เบคอน และคอร์นบีฟ (เยาวลักษณ์, 2536)

ผลิตภัณฑ์ลดขนาด คือ การทำให้ขนาดของเนื้อสดซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักของผลิตภัณฑ์เนื้อถูกลดขนาดให้เล็กลงกว่าเดิมโดยการหั่น,บด เพื่อนำรวมกันเป็นรูปร่างตามแบบบรรจุของผลิตภัณฑ์ โดยสามารถแบ่งได้เป็นอีก 2 กลุ่มย่อยตามลักษณะโครงสร้างภายใน และการลดขนาดชิ้นส่วนของเนื้อ ได้แก่ กลุ่มบดละเอียดอิมัลชัน (emulsion) เช่น ไส้กรอกชนิดต่าง ๆ และกลุ่มบดหยาบ (coarse ground) เช่น แฮมเบอร์เกอร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อหมูเป็นที่นิยมรับประทานในประเทศแถบตะวันตก แฮมเบอร์เกอร์เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการปรุงแต่งรส (seasoning) ในส่วนผสมเพื่อปรับหรือแปรสภาพรสชาติของผลิตภัณฑ์ให้มีรสชาติเฉพาะ โดยการนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นกลมแล้วทอดหรือปิ้งย่างให้สุก โดยเครื่องปรุงแต่งรสชาติ เช่น เครื่องเทศบางชนิดทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการหืนนอกจากนั้น มีความนิยมที่นำเนื้อสัตว์อื่นๆ เช่น เนื้อไก่,โค,ปลา มาผลิตซึ่งเรียกว่าเบอร์เกอร์ซึ่งมีการใช้เครื่องปรุงเหมือนกับ แฮมเบอร์เกอร์ รวมถึงทำให้เบอร์เกอร์มีคุณภาพที่ดี เครื่องปรุงพื้นฐานที่นิยมใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.1. เกลือ

เกลือที่ใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์อยู่ในรูปของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) แต่เดิมนิยมใช้เกลือในระดับที่สูงในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ด้วยเหตุผลด้านการยับยั้งจุลินทรีย์ และทำให้เนื้อนุ่มต่อมามีการตื่นตัวเกี่ยวกับผลของเกลือมาก โดยเฉพาะโรคไต และโรคความดันโลหิตสูง จึงลดระดับการใช้เกลือลง และใช้เกลือร่วมกับสารยึดเกาะอื่นๆแทน (Trout and Schmidt, 1984) สำหรับเบอร์เกอร์ควรมีเกลืออยู่ประมาณร้อยละ 1.5 บทบาทของเกลือที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ คือช่วยในการสกัดโปรตีนในเนื้อออกมา และโปรตีนที่ถูกสกัดจะทำหน้าที่เป็นสารยึดเกาะในเนื้อ (binder) เมื่อผ่านการให้ความร้อนโปรตีนจะเกิดโครงร่างเป็นเจลแบบตาข่ายสามมิติ และมีการเก็บน้ำเข้าไปในช่องว่างสามมิตินั้นด้วย นอกจากนี้ยังช่วยในด้านอื่นๆ เช่น

1. เกลือมีผลต่อการลดน้ำในผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ทำให้ค่า water activity ลดลงจึงมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และป้องกันการเน่าเสีย

2. เกลือทำให้เบอร์เกอร์ มีรสเค็ม นุ่มนวล และสีของเนื้อแดง (lean meat) ป้องกันสีดำที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ทำให้ไม่เป็นที่พึงปรารถนาต่อผู้บริโภค (สัญชัย, 2543)

2.1.2 ฟอสเฟต (phosphate)

ช่วยถนอมเนื้อสัมผัสของเบอร์เกอร์ คือทำให้โมเลกุลของเนื้อประสานเหมือนตาข่ายกันไม่ให้เลือดและน้ำเกลือซึมออกจากเบอร์เกอร์รวมถึงลดการสูญเสียน้ำหนักเมื่อให้ความร้อน (cooking process) ทำให้ได้เบอร์เกอร์ที่มีรสชาติอร่อยมีเนื้อสัมผัสที่ดี บทบาทของสารฟอสเฟตที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อ คือ

1. การเพิ่มความนุ่ม โดยเป็นตัวปรับ pH ของเนื้อ และช่วยให้โปรตีนของกล้ามเนื้อคลายตัว เนื่องจากสารเอคโตไมโอซินแยกออกจากกันเป็นแอคติน และไมโอซิน สารฟอสเฟตที่นิยมใช้ในด้านนี้ คือ พวกไพโรฟอสเฟต (pyrophosphate)

2. การเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยทำให้เส้นใยโปรตีนคลายตัวล้อมรอบโมเลกุลน้ำพบว่าเกลือของกรดอ่อนช่วยเสริมสมบัตินี้เช่นโซเดียมฟอสเฟต (sodium phosphate)

3. เพิ่มรสชาติ โดยการทำให้โมเลกุลของเนื้อสานกันเป็นตาข่าย สามารกันกั้นไม่ให้เลือดและของเหลวในเนื้อไหลออกมา เนื้อจึงมีรสชาติดีขึ้น

4. ช่วยให้โมเลกุลเนื้อยึดเกาะกันดี โดยการดึงโมเลกุลโปรตีนที่ละลายน้ำได้มารวมตัวกันทำให้เนื้อเหนียวและยึดหยุ่นดีขึ้น นิยมใช้ผลิตภัณฑ์ไส้กรอก (เยาวลักษณ์, 2536)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.3 โปรตีนถั่วเหลือง (protein supplement)

โปรตีนในถั่วเหลืองสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มย่อย หลังจากแยกโดยใช้ Ultracentrifuge ได้แก่ 2 S, 7 S, 11 S และ 15S ซึ่งค่า S หมายถึง Svedburg unit และตัวเลขที่มีค่ามากแสดงว่ามีน้ำหนักโมเลกุลมาก แสดงดังตาราง 2.1

ตารางที่ 2.2 กลุ่มของโปรตีนในถั่วเหลือง

กลุ่มของโปรตีน (Fraction)	ปริมาณโปรตีน (%)	Componennts	มวลโมเลกุล (Da)
2 S	22	Trysin inhibitors	8,000-21,500
		Cytochrome C	12,000
7 S	37	Hemagglutinin	110,000
		Lipoxygenase	102,000
		ß-amylase	61,700
		7 S globulin	180,000-210,000
11 S	31	11 S globulin	350,000
15 S	11	-	600,000

ที่มา: (Liu, 1997)

โปรตีนส่วนใหญ่ของถั่วเหลืองพบใน 7 S และ 11 S fraction และ 80% มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 100,000 Da สำหรับใน7 S fraction จะมี 7 S globulin สูงถึง 50% หรือคิดเป็น 18% ของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองทั้งหมด นอกนั้นเป็น ß-amylase Hemagglutinin และ Lipoxygenase ส่วนใน 11 S เป็นโปรตีนบริสุทธ์โดยที่ 11 S fraction มีเฉพาะ 11 S glycinin ที่เป็นไดเมอร์ (Dimer) ของ Glycinin พวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำโปรตีนถั่วเหลืองที่สำคัญได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.3.1 Glycinin (11 S fraction)

Glycinin มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 302,000-375,000 Da ขึ้นกับวิธีการใช้มีค่า Isoelectric point = 4.64 ปรกติมีประมาณร้อยละ 25 -35 ของโปรตีนถั่วเหลืองทั้งหมดหรือคิดเป็นร้อยละ 40 ของโปรตีน Globulin ทั้งหมด

จากการศึกษาด้วย Electron microscopy และ X-ray light scattering พบว่าโครงสร้างจตุรภูมิ (Quaternary structure) ของ Glycinin ประกอบด้วย 12 หน่วยย่อย (subunits) โดยที่ 6 หน่วยย่อยเป็นประเภทแอซิดิกเปปไตด์ (Acidic peptide) แต่ละหน่วยย่อยมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 34-44 kDa และอีก 6 หน่วยย่อยเป็นประเภทเบซิดิคเปปไตด์ (Basidic peptide) แต่ละหน่วยย่อยมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 20 kDa

2.1.3.2 ß-conglycinin (7 S fraction)

เป็นโปรตีน โกลบูลลิน (7 S globulin) ที่สำคัญในกลุ่ม 7 S fraction ทั้งนี้ ß-conglycinin อาจอยู่ในรูปของโมโนเมอร์ (7 S form) ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 150-175 kDa หรือ อาจอยู่ในรูปไดเมอร์ (9 S form) ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 370 kDa (Liu, 1997)

โดยมากนิยมถั่วเหลืองนำมาสกัดเป็นโปรตีนถั่วเหลืองบริสุทธิ์หรือที่เรียกว่า โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (soy protein isolate) ซึ่งมีสมบัติและหน้าที่ที่สำคัญ คือ สามารถผสมกับเนื้อแดงและน้ำให้เป็นเนื้อเดียวกันโปรตีนถั่วเหลืองสกัดจัดเป็นโปรตีนถั่วเหลืองที่มีความบริสุทธิ์มากที่สุดและยังมีปริมาณของโปรตีนที่เป็นส่วนผสมอยู่มากที่สุดถึงร้อยละ 90 เมื่อเทียบกับปริมาณของส่วนผสมทั้งหมดและโปรตีนที่ได้นั้นยังคงรักษาคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้อย่างครบถ้วน คือ มีกรดอะมิโนจำเป็นครบทั้ง 9 ชนิด ไม่มีคอเลสเตอรอลมาก และมีส่วนของไขมันหรือคาร์โบไฮเดรตปะปนมาบ้างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (อนุกูล และคณะ, 2537)

ส่วนใหญ่ปริมาณขององค์ประกอบของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดจะมีองค์ประกอบโดยเฉลี่ยกันแล้วเป็นไปตามตารางที่ 2.3 นอกจากนี้แล้วโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ผลิตจากกรรมวิธีใดก็ตามจะต้องไม่มีลักษณะที่มีกากใย (dietary fiber) เป็นองค์ประกอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์จากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดชนิดต่างๆ

ส่วนประกอบ (ร้อยละ)	ชนิดของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด		
	Soy Flour	Soy Protein Concentrate	Soy Protein Isolate
Protein	50	70	90
Carbohydrate	38	20	น้อยกว่า 3
Moisture	6.5	4.5	4.5
Fat	0.5	0.5	0.5
Crude fiber	1.5	2.5	0.1
Ash	4.5	3.5	3.5

ที่มา : ระบบออนไลน์ http://www.spcouncil.org/SoyProtein.html

โดยทั่วไปปริมาณของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ใช้กันจะอยู่ในช่วงร้อยละ 0.5-5.0 ซึ่งมีข้อควรระวังในการใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัด คือ หากใช้ในปริมาณที่มากเกินไปจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์นั้น ๆ มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ของกลิ่นถั่วติดไปที่ผลิตภัณฑ์ได้ด้วย

ข้อดีของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเมื่อนำมาใช้กับอาหาร

1. ช่วยให้เพิ่มการสร้างฮอร์โมนต่าง ๆ ซึ่งต่างก็ล้วนแต่จำเป็นต่อการทำงานของร่างกาย (bodybuilders) เช่น Thyroxin hormone, Growth hormone, Testosterone hormone เป็นต้น

2. เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับร่างกาย ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า โปรตีนถั่วเหลืองสกัดนั้น เมื่อผ่านขั้นตอนการสกัดด้วยกรรมวิธีที่เหมาะสมแล้วจะคงเหลือปริมาณของโปรตีนถึงร้อยละ 90 ซึ่งโปรตีนดังกล่าวนั้นก็มีโปรตีนที่จำเป็น (essential amino acid) ต่อร่างกายอยู่อย่างครบถ้วน

3. เมื่อนำโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหาร แล้วจะช่วยเพิ่มค่าผลผลิต (yield) ให้กับอาหารได้ เนื่องมาจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีโครงสร้างที่ไปช่วยในการอุ้มน้ำให้อยู่ในเนื้อของอาหารได้ดีขึ้น จึงเป็นการช่วยเพิ่มน้ำหนักให้กับผลิตภัณฑ์อาหารทางอ้อม

4. สารที่เป็นองค์ประกอบอยู่ภายในโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีลักษณะที่เป็นสารป้องกันการเกิดของเซลล์มะเร็งภายในร่างกาย (Damodaran, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.4 กลูเตน

ผลิตภัณฑ์เนื้อใช้กลูเตนในการช่วยยึดชิ้นเนื้อหรือเศษเนื้อเข้าด้วยกัน เช่น ในการทำสเต็ก แฮมกระป๋อง รวมถึงเบอร์เกอร์ นอกจากนี้ยังช่วยให้เกิดคุณลักษณะที่สามารถหั่น หรือบดเนื้อให้ง่ายขึ้น รวมไปถึงการช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักที่เกิดจากการหุงต้มได้เป็นอย่างดี โปรตีนกลูเตนยังใช้เป็นสารยึดเกาะในผลิตภัณฑ์จำพวกไส้กรอกหรือผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะอิมัลชันได้ดีอีกด้วย

กลูเตนเกิดจากการรวมตัวของโปรตีนไกลอะดิน และกลูเตนินในปริมาณใกล้เคียงกัน ปริมาณกลูเตนที่เกิดขึ้น นับว่าเป็นส่วนใหญ่ของโปรตีนร้อยละ 80-90 ในแป้งโปรตีนไกลอะดินและกลูเตนินก่อให้เกิดลักษณะโครงร่างของกลูเตนจากการนวดโดทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวของพันธะเคมีระหว่างกรดอะมิโนหลายรูปแบบ ได้แก่ พันธะโคเวเลนต์ (covalent) พันธะอิออนิก (ionic) และแรงแวนเดอร์วาว์ล (Van der Waals)

พันธะโคเวเลนต์ในโครงร่างของกลูเตน คือ พันธะเปปไทด์เชื่อมระหว่างกรดอะมิโน ทั้งลักษณะใน และภายนอกโมเลกุลด้วยการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างสองอะตอมทำให้มีพลังงานสูงในการเชื่อมกันเป็นพันธะรวมทั้งพันธะระหว่างซัลเฟอร์ เรียกว่า พันธะไดซัลไฟด์ (disulfide linkage) ของกรดอะมิโนซิสทีนในโปรตีนโมเลกุล นับเป็นพันธะที่มีความสำคัญต่อความยืดหยุ่นของกลูเตน

พันธะไอออนิก เกิดจากแรงดึงระหว่างกลุ่มที่มีประจุตรงกันข้ามเป็นพันธะที่มีจำนวนน้อยในกลูเตน ส่วนพันธะไฮโดรเจน เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนกับอะตอมของไนโตรเจนหรืออกซิเจน ซึ่งถึงแม้ว่าจะมีแรงยึดเหนี่ยวต่ำ แต่ก็มีจำนวนมากในกลูเตน จึงมีความสำคัญต่อลักษณะโครงร่างของกลูเตนมากกว่าพันธะชนิดอื่น สำหรับแรงแวนเดอร์วาว์ล นั้นเกิดขึ้นระหว่างกรดอะมิโนที่ไม่มีประจุกับกรดไขมัน หรือระหว่างสตาร์ช กับกลีเซอไรด์ ซึ่งพันธะนี้นับว่ามีกำลังอ่อนที่สุด แต่ก็มีผลต่อลักษณะของกลูเตนโดยก่อให้เกิดลักษณะไม่ชอบน้ำ (hydrophobic bonds) ระหว่างกลุ่มของโปรตีนที่ไม่มีประจุ (nonpolar group) ได้

พันธะสำคัญอีกชนิดหนึ่ง ที่มีผลต่อโครงร่างของกลูเตน คือ พันธะไดซัลไฟด์ เนื่องจากเป็นพันธะที่อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ โดยวิธีทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งวิธีการกายภาพหมายถึง การผสม การนวดจนเป็นโด มีส่วนให้เกิดการเคลื่อนที่ของพันธะ (Brownian motion) จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งทำให้โครงร่างกลูเตนมีความยืดหยุ่นมากขึ้นส่วนทางเคมีหมายถึงการเติมสารเคมี ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณพันธะไดซัลไฟด์เพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยทั่วไปสารประเภทรีดิวซ์ ได้แก่ กลูทาไทโอน (glutathione) หรือซีสทีอีน มีผลทำให้พันธะไดซัลไฟด์ลดลง กลูเตนจึงมีความยืดหยุ่นน้อยลง ส่วนสารประเภทออกซิไดส์ เช่น สารที่มีไอโดเดต และโบรเมตเป็นองค์ประกอบจะช่วยให้พันธะไดซัลไฟด์ในกลูเตนเพิ่มขึ้น (อรอนงค์, 2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.4 กลูเตนที่ได้มีส่วนประกอบและคุณสมบัติดังนี้

ส่วนประกอบ	โปรตีนกลูเตน
ความชื้น (ร้อยละ)	8
โปรตีน (N x 5.7, ร้อยละ)	77.0 (โดยน้ำหนักแห้ง)
ไขมัน (ร้อยละ	1.1
แป้ง (ร้อยละ)	18
เส้นใย (ร้อยละ)	0.4
เถ้า (ร้อยละ)	0.7
ความเป็นกรดด่าง	5.8
การดูดน้ำ (ร้อยละ)	180
เวลาในการดูดน้ำ(วินาที)	40
สารที่ละลายได้ (ร้อยละ)	0.5

ที่มา : ประเสริฐ และคณะ (2527)

2.1.5 แหล่งเนื้อ ผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์โดยมากนิยมทำจากเนื้อไก่ โค และปลา โดยเนื้อเหล่านี้จะผ่านการนำไปบดก่อนที่จะทำผลิตภัณฑ์

2.1.6 สารยึดจับน้ำ ทำหน้าที่ยึดจับกับน้ำ เช่น แป้ง (starch) จะจับกับน้ำไว้ เมื่อโปรตีนในเนื้อเกิดการก่อเจล เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อน

2.1.7 สารยึดเกาะ (binder) ทำหน้าที่ยึดจับกับน้ำ และทำให้เกิดการยึดเกาะกันของโปรตีนในเนื้อ มีผลมากต่อเนื้อสัมผัสของเบอร์เกอร์ สารยึดเกาะที่นิยมใช้ได้แก่ โปรตีนถั่วเหลือง สกัด, กลูเตน, กัม, ไข่ขาวผง ฯลฯ ในเนื้อ

2.1.8 ส่วนผสม (ingredients) เช่น ซอส พริกไทย น้ำปลา และเครื่องเทศต่าง ๆ เป็นตัวช่วยปรุงรส ในผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ให้มีรสชาติที่น่ารับประทาน

2.1.9 ไขมัน (fat) ได้จากเนื้อ และน้ำมันที่ใช้ทอดมีผลต่อเนื้อสัมผัส (texture) ของผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์ รวมถึงความรู้สึกทางด้านรสชาติ (สัญชัย, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการผลิตเบอร์เกอร์ ศึกษาผลการเติมสารยึดเกาะ (binder) เข้าไปในผลิตภัณฑ์ เพื่อช่วยปรับปรุงด้านเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้น ซึ่งอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้จากองค์ประกอบภายในผลิตภัณฑ์ โครงสร้าง หรือการได้รับแรงกระทำ เช่น แรงกระแทก แรงกด แรงบีบ แรงดึงหรือแรงเฉือน เนื่องจากผ่านการผลิตในขั้นตอนต่าง ๆ เช่น การบด การผสม การขึ้นรูป และการขนส่ง ดังนั้นจึงมีความเกี่ยวข้องกับ เรื่อง รีโอโลยี (Rheology) ซึ่งจะช่วยอธิบายลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ได้สมบูรณ์กว่าวิธีการวัดเนื้อสัมผัสแบบทั่วไป ซึ่งเป็นการวัดในมิติเดียว (single point measurement)

2.3 รีโอโลยี (Rheology)

รีโอโลยี เป็นศาสตร์เกี่ยวข้องกับการไหล และการเปลี่ยนรูปของวัสดุภายใต้การกระทำของแรง เกี่ยวข้องโดยตรงกับวัสดุพอลิเมอร์ หรือวัสดุพวกวิสโคอิลาสติก ซึ่งเป็นวัสดุที่มีสมบัติระหว่างวัสดุยืดหยุ่น (elastic) กับของไหลนิวทอเนียน (newtonian fluid) ความคิดในเชิงทฤษฎีได้พัฒนาขึ้นตามลำดับอย่างรวดเร็ว จนสามารถอธิบายสมบัติของวัสดุหลายชนิด เช่น ดินน้ำมัน แป้งเคล้าน้ำ โคลน และพอลิเมอร์ รวมถึงอาหารได้ส่วนที่มีการยืดหยุ่นซึ่งเป็นของแข็งได้อธิบายตามกฎของฮุค (Hook's Law) เป็นความสัมพันธ์ของความเค้น (stress, σ) มีหน่วยเป็นปาสคาล (Pascal ; Pa) กับความเครียด (strain; γ) คือ ให้แรงเค้นต่อหน่วยพื้นที่แก่วัสดุจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของความยาว ความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเริ่มต้นโดยปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงนั่นคือ ความเค้นและความเครียดมีความสัมพันธ์เป็น

$$\sigma = G\gamma$$ เมื่อ G คือ ค่ามอดุลัส (modulus)

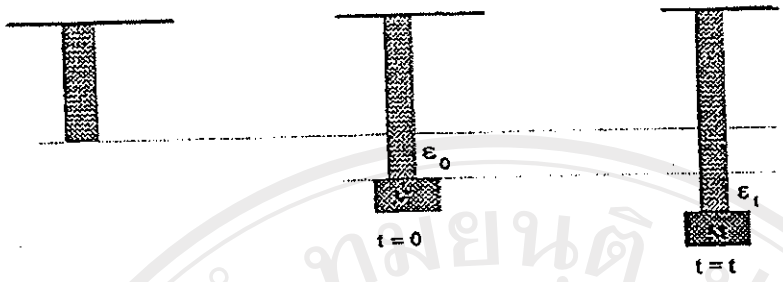
แต่ในวัสดุที่เป็นวิสโคอิลาสติกนี้จะเป็นความเค้นเฉือน (shear stress, τ) และความเครียดเฉือน (shear strain, γ) โดยมีความสัมพันธ์เป็น

$$\tau = G\gamma$$ เมื่อ G = shear modulus

ปรากฏการณ์ที่แสดงสมบัติสำคัญของผลิตภัณฑ์วิสโคอิลาสติกได้แก่ การคืบ (creep) การพักความเค้น (stress relaxation) และการคืนรูป (recovery) เป็นต้น

การคืบ (creep) คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุที่เป็นฟังก์ชันของเวลาเพื่อเข้าหาจุดสมดุล (dimensional stability) เมื่อมีแรงคงที่แรงหนึ่งกระทำกับวัสดุ เช่น การยืดของวัสดุจะเป็นฟังก์ชันของเวลา ดังรูปที่ 2.1

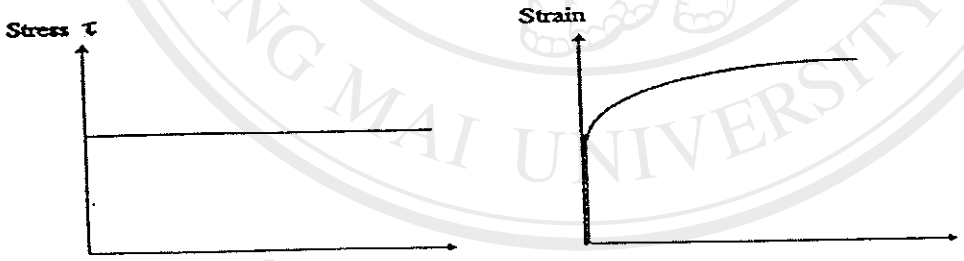
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.1 สมบัติของการคืบของวัสดุ เมื่อ γ_0 คือระยะทางที่เวลาเริ่มต้น และγ_t คือระยะยืดที่เวลาใดๆ

ที่มา : มนัส (2538)

รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงความเค้นและความเครียดกับเวลา สอดคล้องกับการคืบ ที่แสดงรูป 2.1 แสดงถึงความเค้นคงที่เทียบกับเวลากระทำต่อวัสดุ ส่วนรูป 2.1 ขวามือแสดงความเครียดที่ตอบสนอง ที่เวลา t = 0 ความเครียดที่ตอบสนองต่อความเค้นเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด ถือว่าเป็นการตอบสนองของส่วนที่ยืดหยุ่น ที่เวลา t > 0 ความเครียดจะเพิ่มขึ้นเป็นฟังก์ชันของเวลา ในช่วงนี้เองที่วัสดุแสดงสมบัติของการคืบ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

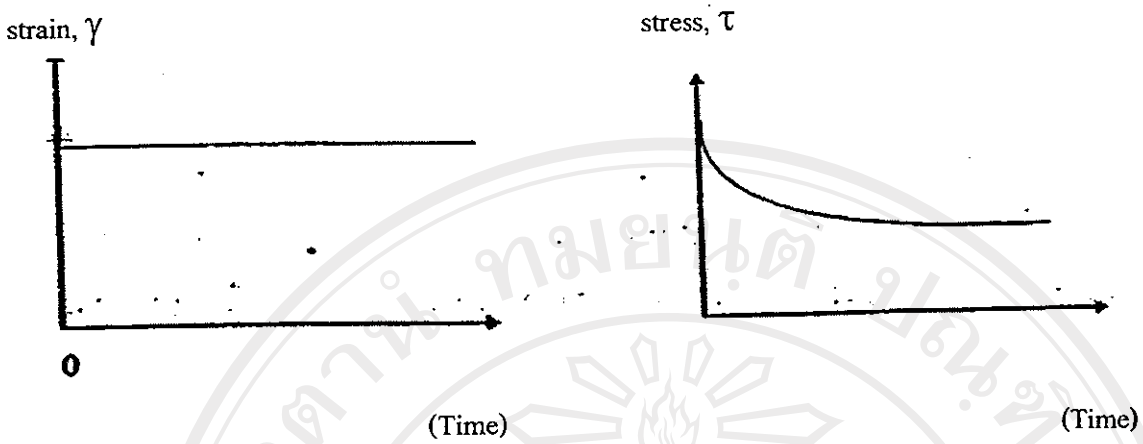


รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงของความเค้นและความเครียดกับเวลา

ที่มา : มนัส (2538)

การพักความเค้น (stress relaxation) เป็นปรากฏการณ์ที่ความเค้นลดลงเป็นฟังก์ชันของเวลา โดยให้ความเครียดมีค่าคงที่ค่าหนึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



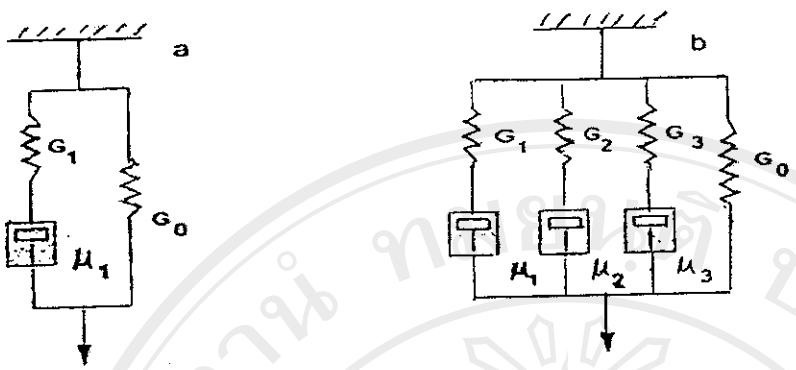
รูปที่ 2.3 การลดลงของความเค้นเป็นฟังก์ชันของเวลา
ที่มา : มนัส (2538)

การพักความเค้น สามารถอธิบายได้โดยใช้แบบจำลองซึ่งประกอบด้วยส่วนยืดหยุ่นสมบูรณ์ (elastic) กับส่วนที่ไหลหนืด (viscous)โดยใช้สปริง (spring) และลูกสูบ (dashpot) เป็นสัญลักษณ์ตามลำดับ แบบจำลองที่ใช้กันในการพักความเค้นของผลิตภัณฑ์วิสโคอิลาสติก ได้แก่ แบบจำลองแมกซ์เวลล์ (Maxwell Model) และแบบจำลอง 3 องค์ประกอบ (four parameter model) ซึ่งสามารถใช้อธิบายโครงสร้างของวัสดุได้ (มนัส, 2538)

<u>แบบจำลองของแมกซ์เวลล์</u> (Maxwell model) ในการศึกษาค่าการพักความเค้น

เป็นแบบจำลองซึ่งประกอบด้วยสปริงแทนสมบัติความยืดหยุ่น ต่อแบบอนุกรมกับลูกสูบแทนสมบัติการไหล เมื่อมีแรงกระทำต่อวัสดุจะเกิดความเค้นเฉือน (τ) ตัวสปริงจะยืดออกอย่างทันทีทันใด ขณะเดียวกันกับส่วนที่เป็นกระบอกสูบจะเริ่มยืดออกด้วยอัตราเร็วอย่างสม่ำเสมอ และลูกสูบสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวของมันเอง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 1 และ3 องค์ประกอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.4 แบบจำลองของแมกซ์เวล์ โดยต่อแบบขนานกับสปริงอิสระ (Maxwell elements in parallel)
(a) แบบจำลองแมกซ์เวลล์ 1 องค์ประกอบ (b) แบบจำลองแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบ
ที่มา : Steffe (1996)

จากรูป 2.4 (a) จะได้แบบจำลองแมกซ์เวลล์ 1 องค์ประกอบ โดยมีการต่อแบบจำลองของแมกซ์เวลล์เข้ากับสปริง 1 ตัว ซึ่งสามารถอธิบายโดยใช้สมการ

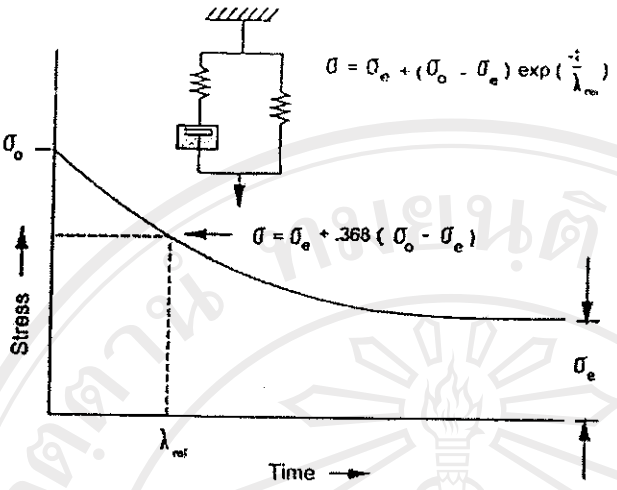
$$\sigma = f(\sigma) = \sigma_e + (\sigma_0 - \sigma_e) \exp\left[-\frac{t}{\lambda rel}\right]$$

เมื่อ ค่า σ คือ ค่าความเค้นรวมทั้งหมด, σ_0 คือ ค่าความเค้นเริ่มต้น, σ_e คือ ค่าความเค้นที่จุดสมดุลย์, λ_{rel} คือ ความเค้นลดลงตามเวลาแบบเอกโปเนนเชียล (exponential) ที่เวลา $t = \lambda_{rel}$ จนค่าความเค้นจะลดลงจนลดลงเหลือร้อยละ 37 ของเริ่มต้น

จากรูป 2.4 (b) แบบจำลองของแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบ ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองของแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบ ต่อขนานกับสปริงอิสระ (free spring) แบบขนาน ดังสมการ

$$\sigma(t) = \sigma_0 + (\sigma_0 - \sigma_1) \exp\left[-\frac{t}{\lambda rel1}\right] + (\sigma_1 - \sigma_2) \exp\left[-\frac{t}{\lambda rel2}\right] + (\sigma_2 - \sigma_3) \exp\left[-\frac{t}{\lambda rel3}\right]$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.5 แบบจำลองแมกซ์เวลล์ 1 องค์ประกอบ ต่อขนานสปริง
ที่มา : Steffe (1996)

จากรูปที่ 2.6 กราฟการพักความเค้นโดยอธิบายสมการแมกซ์เวลล์1 องค์ประกอบที่ต่อขนานกับสปริง พบว่าแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 1 องค์ประกอบแสดงสมบัติความยืดหยุ่น (elastic) สูง เนื่องจากมีตัวสปริงที่จุดสมดุลย์เพิ่มขึ้นมา เมื่อพิจารณาจากกราฟค่าความเค้นจะลดลงอย่างช้าๆ จนถึงจุดสมดุลย์ เนื่องจากมีสมบัติยืดหยุ่นที่มาจากสปริง แต่ถ้าเป็นแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบจะมีการเพิ่มลูกสูบเข้าไปจึงมีสมบัติการไหล (viscous) ที่เด่นดังนั้นค่าความเค้นจะลดอย่างรวดเร็วจนเข้าสู่จุดสมดุลย์ (Steff, 1996)

แบบจำลองทั่วไปของแมกซ์เวลล์ แสดงให้เห็นถึงการตอบสนองต่อค่าความเค้นของวัสดุวิสโคอิลาสติก (viscoelastic) ซึ่งสามารถใช้อธิบายถึงโครงสร้างของอาหารได้ แต่การทดลองใช้เวลานาน และยังเป็นการวัดมิติเดียว จึงน่าสนใจที่ทำการทดลองแบบกดปล่อย (annular pumping) กระทำต่อวัสดุที่มีสมบัติวิสโคอิลาสติก ซึ่งเป็นวิธีการที่สำคัญวิธีการหนึ่งในการศึกษาสมบัติวัสดุประเภทนี้ในการศึกษาสมบัติการไหลหนืดและการยืดหยุ่นของวัสดุวิสโคอิลาสติก โดยวิธีการกดปล่อยมีความสะดวกและความไวมากกว่าการทดลองแบบคืบหรือการพักความเค้น ปัจจุบันได้เป็นที่ยอมรับแล้วว่าวิธีการกดปล่อยนี้เป็นเทคนิคที่ดีมาก และสำคัญต่อการศึกษาสมบัติพื้นฐานทางฟิสิกส์ของวัสดุวิสโคอิลาสติก นอกจากนี้ยังสามารถที่จะศึกษาลงไปถึงโครงสร้างโมเลกุล (molecular structure) และ สัณฐาน (morphology) ของวัสดุด้วย (มนัส, 2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถ้าให้ความเครียดสั่นมีสมการเป็น

$$\gamma(t) = \gamma_0 \sin(\omega t)$$

เมื่อ $\gamma(t)$ คือ ความเครียดที่เวลาใดๆ

γ_0 คือ แอมปลิจูดของความเครียดสูงสุด

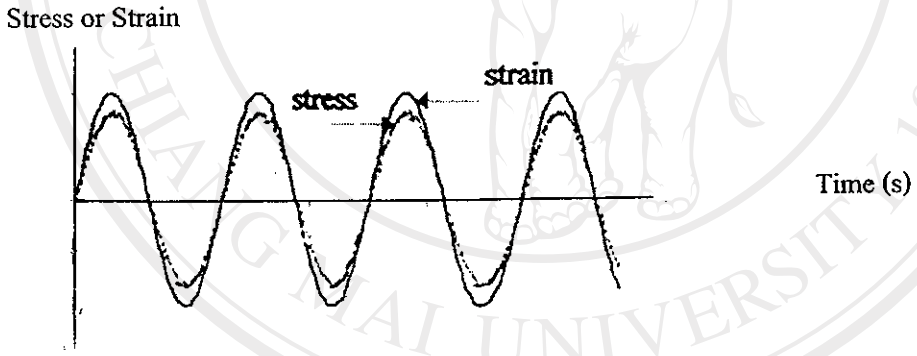
ωt คือ ความถี่ที่เวลาใดๆ

วัสดุยืดหยุ่นสมบูรณ์

ความเค้น $\sigma(t)$ ที่เกิดขึ้นเขียนได้เป็น

$$\sigma(t) = G\gamma_0 \sin(\omega t)$$

เมื่อ G คือ มอดุลัสยืดหยุ่น



รูปที่ 2.6 ความเค้น $\sigma(t)$ ตอบสนองความเครียด $\gamma(t)$ แบบร่วมเฟสเดียวกัน
ที่มา : อรุณี (2546)

จากรูปที่ 2.6 พบว่าวัสดุยืดหยุ่นสมบูรณ์ไม่มีมุมต่างเฟส (phase angle) ระหว่างความเค้นกับความเครียด วัสดุจึงแสดงสมบัติยืดหยุ่นสมบูรณ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วัสดุไหลหนืด

ความเค้นที่เกิดขึ้น $\sigma(t)$ เขียนได้เป็น

$$\sigma(t) = \eta d(\gamma_0 \sin(\omega t))/dt$$

$$= \eta\omega_0 \cos(\omega t)$$

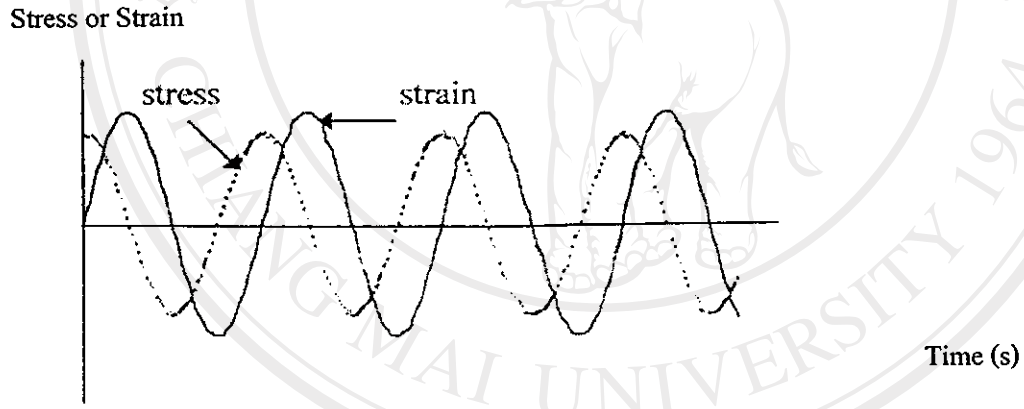
$$\sigma(t) = \eta\omega_0 \sin(\omega t + 90)$$

เมื่อ $\sigma(t)$ คือ ความเครียดที่เวลาใดๆ

γ_0 คือ แอมปลิจูดของความเครียดสูงสุด

ωt คือ ความถี่ที่เวลาใดๆ

η คือ ความหนืด



รูปที่ 2.7 การตอบสนองของความเค้นต่อความเครียดแบบการสั่น ความเค้นมีความต่างเฟสกับความเครียดเป็นมุม 90 องศา

ที่มา : อรุณี (2546)

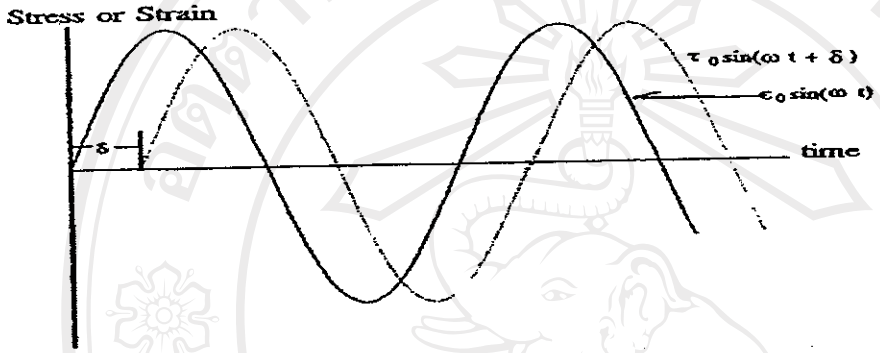
จากรูปที่ 2.7 พบว่าวัสดุยืดไหลหนืดมีมุมต่างเฟส (phase angle) ระหว่างความเค้นกับความเครียดเป็นมุม 90 องศา วัสดุจึงแสดงสมบัติไหลหนืดที่สมบูรณ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วัสดุวิสโคอิลาสติก

ความเค้นที่ตอบสนองต่อความเครียดแบบสั่นจะทำมุมต่างเฟสดังแสดงในรูป 2.8 ค่ามุมต่างเฟส δ จะอยู่ระหว่าง 0 –90 องศา จึงสามารถเขียนความเค้น σ (t) ได้เป็น

$$\sigma(t) = \sigma_0 \sin(\omega t + \delta)$$



รูปที่ 2.8 ความเค้นที่สนองตอบความเครียดที่มีมุมเฟสต่างกันระหว่าง 0 –90 องศา
ที่มา : อรุณี (2546)

มีการกำหนดค่า G' (storage modulus) และ G'' (loss modulus) เพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายโครงสร้างของวัสดุ โดยคำนวณจากการตอบสนองของค่าความเค้น (σ^*) และความเครียด (γ^*) ของวัสดุ เมื่อค่า G' มีเฟสเดียวกับส่วนจริง (real component) ของความเครียด (γ^*) หรือมีเฟสเดียวกับการเคลื่อนที่จริงและเป็นส่วนของความเค้น (σ^*) ที่จะสอดคล้องกับมอดุลัสยืดหยุ่นของวัสดุ หรือพลังงานที่สะสมไว้เพื่อใช้ในการคืนสู่รูปเดิม (storage partition) ส่วน G'' จะมีมุมต่างเฟสกัน 90 องศากับส่วนจริงของความเค้น (γ^*) และเป็นส่วนของความเครียด (σ^*) ในส่วนที่สอดคล้องกับส่วนของการเคลื่อนที่ของการไหลหนืด หรือส่วนที่พลังงานสูญสลายไป (loss partition)

ค่าที่สำคัญมากอีกค่าหนึ่ง เรียกว่า ลอสแทนเจนท์ (loss tangent) ซึ่งกำหนดให้เป็น

$$\tan \delta = G''/G' = \text{viscosity /elasticity}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลอสแทนเจนท์ เป็นค่าที่แสดงสัดส่วนของการแสดงสถานะของการเป็นวัสดุไหลหนืด (G'') ต่อสถานะยืดหยุ่น (G') การเปลี่ยนแปลงของค่าลอสแทนเจนนี้สามารถใช้เป็นตัวชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาหารได้อย่างชัดเจน

การศึกษาสมบัติของวิสโคอิลาสติกโดยการทดลองแบบสั่นนี้ นอกจากจะใช้เวลาในการทดลองสั้นง่าย และสะดวกต่อการควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆแล้วการทดลองแบบนี้ยังให้รายละเอียดมากกว่าการทดลองการคืบ (creep) หรือการทดลองการพักความเค้น (stress relaxation) (อรุณี, 2546)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สารยึดเกาะที่มีการศึกษา และใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อมีทั้งพวกที่อยู่ในกลุ่มของคาร์โบไฮเดรต เช่น แป้งข้าวโพดดัดแปร (modified corn starch) แป้งข้าวโอ๊ต (oat flour) กัวกัม (guar-gum) และพวกอัลจิเนต รวมถึงโปรตีนกลูเตน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีสารยึดเกาะที่มาจากโปรตีนแหล่งอื่น ๆ ที่ไม่ใช่มาจากแหล่งเนื้อสัตว์ (non-meat protein) เช่นโปรตีนจากไข่ขาว, กลูเตนผง, โปรตีนจากเลือด (blood plasma protein) และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (soy protein isolate) เป็นต้น โดยนิยมใช้เป็นสารยึดเกาะมากในผลิตภัณฑ์เนื้อดังเช่น

Miles *et al.* (1984) พบว่าการใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (isolated soy protein) และกลูเตน (gluten) ความเข้มข้นร้อยละ2 และ3 ตามลำดับจะทำให้สมบัติด้านเนื้อสัมผัส คือค่า hardness gumminess, cohesiveness, springiness และค่า chewiness ของเนื้อโคขึ้นรูปเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

Pepper and Schmidt (1975) การใช้สารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตในเนื้อโคขึ้นรูป (sodium tripolyphosphate) ร้อยละ 0.2 จะทำให้โปรตีนแอคโตไมโอซินแยกตัวออกเป็น actin และ myosin ทำให้เพิ่มการคลายตัวมากขึ้น และการเติมกลูเตนร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ทำให้ได้ค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ (cooking yield) สูงเมื่อนำไปให้ความร้อนจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์เนื้อลดการสูญเสียน้ำได้

Modi *et al.* (2003) พบว่าการใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 4 โดยน้ำหนักเติมในเบอร์เกอร์เนื้อกระบือ (buffalo burger) ทำให้ได้ค่าร้อยละผลผลิตที่ได้สูงสุดถึงร้อยละ 95.7 และค่าร้อยละการหดตัวที่ต่ำสุด คือร้อยละ 5

Ray *et al.* (1981) พบว่าการเติมกลูเตนร้อยละ 3 โดยน้ำหนักในเบอร์เกอร์เนื้อโค (beef burger) มีผลทำให้สมบัติด้านเนื้อสัมผัส คือค่า hardness, gumminess, cohesiveness, springiness และค่า chewiness ของเบอร์เกอร์เนื้อโคเพิ่มขึ้น และการการเติมกลูเตนร้อยละ 6 มีผลทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคทางด้านกลิ่น และรสชาติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Macedo and Shimokomoki (2001) ศึกษาการใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดในแฮมเบอร์เกอร์ และศึกษาการทดสอบการสร้างพันธะโดยวิธีเจลอิเลคโตรโฟลิซิส (SDS-PAGE) พบว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีผลต่อการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ในโครงสร้างของเนื้อแฮมเบอร์เกอร์

ตัวอย่างการศึกษาสมบัติวิสโคอิลาสติกในอาหารได้แก่

Apichartsrangkoon (2002) ศึกษาสมบัติทางวิสโคอิลาสติกของเจลกลูเตน และเจลของโปรตีนถั่วเหลืองชนิดไอโซเลต ทดสอบโดยใช้การแกว่ง (dynamic test) พบว่าเจลกลูเตนมีค่าโมดูลัสสะสม (storage modulus, G′) มากกว่าเจลของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด และจากการทดสอบการสร้างพันธะโดยวิธีเจลอิเลคโตรโฟลิซิส (SDS-PAGE) พบว่าเจลกลูเตนมีการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ มากกว่าเจลโปรตีนถั่วเหลืองสกัด

Alvarez and Canet (1998) ศึกษาวิสโคอิลาสติกของแครอท และมันฝรั่งอบแห้งโดยให้แรงกดในอัตราที่แตกต่างกัน คือ 5, 10, 20 เซนติเมตร ต่อนาที และได้ทดสอบการพักความเค้น พบว่าข้อมูลที่ได้ เหมาะสมกับแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 2 องค์ประกอบ

Shellhammer *et al.* (1997) ศึกษาการพักความเค้นของฟองโปรตีนที่ใช้เป็นฟิล์ม พบว่าได้แบบจำลองที่เหมาะสมกับการทดลองเป็นแบบจำลอง 5 องค์ประกอบ คือ สปริง 1 องค์ประกอบต่อขนานกับแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 2 แบบจำลอง ซึ่งมี 4 องค์ประกอบ โดยสมการที่ได้อธิบายผลของความเค้นที่ได้ต่อความเครียดให้เป็นสัดส่วนโดยใช้น้ำหนักมาก ๆ พบว่าได้ลักษณะการพักความเค้นและเวลาการผ่อนคลายที่ยาวนานมาก

Morrow *et al.* (1998) ศึกษาคุณสมบัติรีโอโลยีของเนื้อเยื่อมันฝรั่งสดและผ่านการต้มในน้ำเดือด 15 นาที ทำให้เปลี่ยนรูปโดยใช้แรงกดแรงเฉือน และแรงดึงในแนวเดียวกัน แล้วหาค่าการพักความเค้น (stress relaxation) พบว่าโครงสร้างที่ฉีกขาดของเนื้อเยื่อมันฝรั่งสดภายใต้แรงกดแบบจำลองที่เห็นได้ชัด คือแบบจำลอง 6 องค์ประกอบ โดยที่ค่าอิลาสติกโมดูลัสจะเกิดจากความดันภายในเซลล์ และส่วนที่แสดงสมบัติวิสโคอิลาสติกคือสารประกอบเพคติน และเซลลูโลสตามลำดับ

Ma *et al.* (1996) ศึกษาคุณสมบัติรีโอโลยีของเนยแข็ง ซึ่งทำการศึกษาสมบัติทางวิสโคอิลาสติกของเนยแข็งลดไขมันที่เพิ่มเลซิธินร้อยละ 0.2 และ0.5 โดยน้ำหนักและชุดควบคุม ได้ทำการศึกษาโดยใช้การแกว่ง (dynamic test) และการพักความเค้น (stress relaxation) รวมถึงค่าอิลาสติกโมดูลัส (elastic modulus, G′) และโมดูลัสที่หายไป (loss modulus, G″) พบว่าผลของชีสที่เพิ่มเลซิธินจะมีค่า (elastic modulus, G′) มากกว่าเนยแข็งเพิ่มไขมันในชุดควบคุม ($p<0.01$) ส่วนพฤติกรรมของการพักความเค้น (stress relaxation) เป็นแบบจำลอง 6 องค์ประกอบ หลังจากนี้ได้ทำการศึกษาต่อด้านรีโอโลยีของเนยแข็งชนิดเชดดา ที่มีไขมันต่ำโดยใช้สารทดแทนไขมัน 3 ชนิด คือ คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate based) และโปรตีน(protein based) รวมทั้งเวย์โปรตีน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(whey base) การเตรียมเนยแข็งชนิดเชดดาไขมันต่ำ ทำโดยลดไขมันลงร้อยละ 60 พร้อมกับใช้สารทดแทน 3 ชนิด และศึกษาสมบัติทางวิสโคอิลาสติก ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่าโมดูลัสสะสม (storage modulus, G′) และโมดูลัสที่หายไป (loss modulus, G″) ของเนยแข็งไขมันต่ำที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นสารทดแทน มีค่ามากกว่าเนยแข็งที่มีไขมันต่ำที่มีโปรตีนเป็นสารทดแทนทั้งสองชนิด ($p<0.05$) แบบจำลองที่ใช้ทำนายสมบัติวิสโคอิลาสติกของเนยแข็งทั้งหมด คือแบบจำลอง 6 องค์ประกอบ พบว่าเนยแข็งไขมันต่ำที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นสารทดแทน มีโครงสร้างเป็นร่างแหมากกว่าเนยแข็งที่มีไขมันต่ำชุดควบคุมและที่มีโปรตีนเป็นสารทดแทนทั้งสองชนิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved