บทที่ 2

บทตรวจเอกสาร

2.1 นกกระจอกเทศ

นกกระจอกเทศ เป็น สัตว์ปีกที่ใหญ่ที่สุดในโลก บินไม่ได้ แต่วิ่งเร็ว คอยาว หางสั้น สูงประมาณ 2.5 เมตร น้ำหนักสูงสุดประมาณ 160 กิโลกรัม

ชื่อสามัญ : Ostrich

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Struthio carmelus*

วงศ์ : Stuthionidae

ตระกูล : Raties

นกกระจอกเทศ เป็นสัตว์ป่าพื้นเมือง มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา ปัจจุบันมีการพัฒนาสายพันธ์ การเลี้ยง และการจัดการ เพื่อให้เป็นฟาร์มในเชิงธุรกิจและขยายไปยังประเทศต่าง ๆ มากกว่า 20 ประเทศ (มนตรี, 2544) มีสายพันธ์ที่นิยมเลี้ยงเป็นการค้า มี 3 สายพันธ์ คือ

1. นกพันธุ์คอแดง (Red Neck) ได้รับการพัฒนามาจากสายพันธุ์ *Struthio camelus* ผสมกับ *Struthio massicus* สายพันธุ์นี้จะมีลักษณะผิวสีชมพูเข้ม ตัวผู้จะมีขนสีดำตลอดลำตัว ปลายหางและปลายปีกจะมีสีขาว ตัวเมียจะมีสีน้ำตาลปนเทา มีลักษณะเด่นคือ ตัวใหญ่มากกว่านกสายพันธุ์อื่น น้ำหนักสูงสุดถึง 165 กิโลกรัมต่อตัว เหมาะสำหรับเลี้ยงขุนเป็นนกเนื้อเพราะให้เนื้อมาก แต่ไข่จะไม่ค่อยดกเท่าสายพันธุ์อื่น ในรอบ 1 ปี แม่นก วางไข่ได้สูงสุดประมาณ 20 – 80 ฟอง แต่นกสายพันธุ์คอแดงจะมีนิสัยค่อนข้างดุ ตัวผู้จะดุมากกว่าตัวเมียโดยเฉพาะฤดูผสมพันธุ์

2. นกพันธุ์คอน้ำเงิน (Blue Neck) ได้รับการพัฒนาพันธุ์มาจาก สายพันธุ์ *Struthio molybdaphames* ผสมกับ *Struthio austarlis* สายพันธุ์นี้จะมีลักษณะผิวหนังสีฟ้าอมเทา ขนเหมือนกับนกพันธุ์คอแดง ทั้งตัวผู้และตัวเมีย ส่วนขนาดของลำตัวจะเล็กกว่าเล็กน้อย แต่ให้ไข่ดกกว่าประมาณ 30 – 100 ฟองต่อปี นิสัยไม่ดุร้าย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. นกพันธุ์คอดำ (Black Neck หรือ African Black) ได้รับการพัฒนาพันธุ์มาจากสายพันธุ์ *Struthio camelus, Struthio massicu* และ *Struthio molybdaphames* สายพันธุ์นี้สีของลำคอจะมีสีดำ ลักษณะผิวหนังมีสีดำ เท้าและปากมีสีดำ ตัวเล็กกว่าสายพันธุ์คอแดงและคอน้ำเงิน แต่ไข่ดกมากกว่านกสายพันธุ์อื่น ๆ ออกไข่ประมาณ 30–120 ฟองต่อปี มีนิสัยเชื่อง ไม่ดุร้าย เลี้ยงง่าย เป็นสายพันธุ์ที่ได้รับความนิยมมากทำให้มีราคาค่อนข้างสูง นกตัวเมียจะเริ่มไข่เร็วกว่านกพันธุ์อื่น ประมาณ 18 เดือนก็เริ่มวางไข่

นกกระจอกเทศจะเริ่มให้ผลผลิตที่สามารถขายทำรายได้ ตั้งแต่ ไข่ ลูกนก นกพันธุ์ แม้แต่เปลือกไข่เปล่าที่เหลือจากการฟักก็สามารถขายได้ รายได้หลักที่ได้จากตัวนกกระจอกเทศจะได้เมื่ออายุ 12 – 14 เดือน ซึ่งจะมีน้ำหนักประมาณ 90 – 110 กิโลกรัม เมื่อส่งเข้าโรงฆ่านกแปรรูปแล้วจะได้ผลผลิตที่ขายได้ทุกส่วน ดังนี้

1. หนัง นกกระจอกเทศอายุประมาณ 1 ปี มีน้ำหนักประมาณ 90 – 110 กิโลกรัม จะให้หนัง 1 ผืน ขนาดประมาณ 1.2 – 1.4 ตารางเมตร ปัจจุบันหนังของนกกระจอกเทศสามารถฟอกได้ในประเทศไทย มีโรงฟอกหนังในนิคมอุตสาหกรรมโรงฟอกหนัง จังหวัดสมุทรปราการ หลายโรงรับซื้อหนังนกกระจอกเทศสด และรับจ้างฟอกในอัตราค่าฟอก ผืนละประมาณ 1,000 บาท ราคาหนังสด (ปี พ.ศ. 2544) โรงฟอกหนังรับซื้อผืนละ 5,000 – 6,500 บาท ราคาหนังนกกระจอกเทศ หลังจากฟอกแล้วจะแบ่งเป็นเกรด โดยเกรดเอ หรือ เกรดดีที่สุด ราคาผืนละประมาณ 12,000 – 15,000 บาท และเกรดบี ผืนละประมาณ 10,000 – 12,000 บาท ขึ้นอยู่กับสถานการณ์วงการเครื่องหนังหรือตลาดเครื่องหนังสากลและขึ้นอยู่กับอัตราแลกเปลี่ยนเงินตราระหว่างประเทศด้วย (มนตรี, 2544)

2. เนื้อ นกกระจอกเทศมีลักษณะเนื้อเหมือนเนื้อวัว มีสีแดง แต่มีคอเลสเตอรอล ต่ำกว่าเนื้อวัวมาก มีคุณค่าทางอาหารสูง ปรุงรสอาหารได้หลายชนิดเหมือนเนื้อวัว เหมาะสำหรับผู้ที่มีปัญหาเรื่องสุขภาพ หรือผู้ที่ไม่บริโภคเนื้อวัว นกกระจอกเทศหนึ่งตัวจะให้เนื้อประมาณ ร้อยละ 30 – 35 ของน้ำหนักตัว ฉะนั้น นกขุนหนึ่งตัวจะให้เนื้อประมาณ 30 – 35 กิโลกรัม โดยขายได้ในประเทศไทยกิโลกรัมละ 400 ถึง 500 บาท โดยเฉลี่ย (ปี พ.ศ. 2544) แต่ต้องแบ่งเนื้อออกเป็นเกรด ถ้าเป็นเกรด 1 หรือเกรด เอ ราคาสูงประมาณ กิโลกรัมละ 600 – 800 บาท เนื้อเกรด 2 กิโลกรัมละ 300 – 400 บาท และเนื้อเศษราคากิโลกรัมละ 150 – 200 บาท (มนตรี, 2544)

3. ขน นกกระจอกเทศโตเต็มวัยสามารถให้ขนได้ประมาณปีละสองครั้ง น้ำหนักประมาณ 1.5 – 2 กิโลกรัม สามารถนำขนนกกระจอกเทศไปใช้ประโยชน์ได้หลายชนิด เช่น ไม้กวาดปัดฝุ่นใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องใช้อิเล็คโทรนิคต่าง ๆ ได้ดี เพราะมีความอ่อนนุ่มและลดไฟ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฟ้าสถิตย์ได้ดีอีกด้วย นอกจากนี้ขนนกกระจอกเทศยังสามารถนำไปประดิษฐ์เป็นดอกไม้ เครื่องประดับ หรือตบแต่งเสื้อผ้า (มนตรี, 2544)

4. ไข่ นกกระจอกเทศมีไข่ขนาดใหญ่ หนักประมาณ 900 – 1,650 กรัม เปลือกหนา และสีเปลือกสวยงาม ไข่เปล่าที่ไม่สามารถฟักออกเป็นตัวได้ หรือไข่ไม่มีเชื้อขายได้ราคาประมาณ 200–300 บาทต่อฟอง ปัจจุบันมีการนำไข่นกกระจอกเทศไปแกะสลัก ประดับอัญมณี เพนท์สี วาดรูป ลงลวดลาย ส่งไปขายยังต่างประเทศแล้วราคาสูง ฟองละ 1,000 – 10,000 บาท สำหรับในประเทศไทยก็มีไข่เขียนลงลายขายเหมือนกัน หาซื้อได้ตามฟาร์มนกกระจอกเทศทั่วไป (มนตรี, 2544)

5. ไขมัน นกกระจอกเทศมีไขมันแยกส่วนระหว่างหนังกับเนื้อ นกกระจอกเทศขุนหนึ่งตัว ให้ไขมันประมาณ 15 – 20 กิโลกรัม คุณสมบัติของไขมันนกกระจอกเทศเชื่อว่าสามารถสมานแผลได้ บำรุงผิวพรรณให้ชุ่มชื่น ได้มีการนำน้ำมันจากนกกระจอกเทศเป็นส่วนผสมกับเครื่องสำอางค์ เพราะน้ำมันที่ได้จากนกกระจอกเทศมีคุณสมบัติเช่นเดียวกันกับน้ำมันนกอีมู ซึ่งเป็นที่รู้จักกันไปทั่วในวงการเครื่องสำอางค์ของโลก สำหรับในประเทศไทย ได้มีผู้ทดลองนำน้ำมันนกกระจอกเทศไปเป็นส่วนผสมของสบู่ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 และนำออกขายในกลุ่มคนใกล้ชิดกัน และผลิตออกมาขายเป็นอุตสาหกรรมแล้ว (มนตรี, 2544)

6. กระดูก กระดูกนกกระจอกเทศสามารถนำไปบดเป็นกระดูกป่น ผสมอาหารสัตว์ และบดกระดูกไปเป็นส่วนผสมของดินปลูกพืชส่งขายประเทศญี่ปุ่นด้วย (มนตรี, 2544)

นอกจากผลผลิตที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ส่วนอื่น ๆ ของนกกระจอกเทศยังสามารถขายได้อีก เช่น เครื่องใน บริโภคได้ คนจีนนำไปทำยา หัวนกซื้อไปสต๊าฟ ทำเครื่องประดับ เป็นต้น ฉะนั้นจะเห็นได้ว่านกกระจอกเทศเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่มีคุณค่ามาก

2.2 คุณค่าทางอาหารของเนื้อนกกระจอกเทศ

การที่อุตสาหกรรมการเลี้ยงนกกระจอกเทศเติบโตอย่างรวดเร็ว เพราะเนื้อนกกระจอกเทศเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญของมนุษย์อีกชนิดหนึ่ง และเนื้อนกกระจอกเทศมี คุณค่าทางโภชนาการสูง โดยมีปริมาณโปรตีน 21.12 กรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งใกล้เคียงกับเนื้อวัว (20.94 กรัมต่อ 100 กรัม) และเนื้อไก่ (21.39 กรัมต่อ 100 กรัม) และกรดอะมิโนจำเป็น (Lysine, Threonine, Valine, Methionine, Isoleucine, Leucine, Phenylalanine และ Histidine) ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับเนื้อวัวและเนื้อไก่ สำหรับปริมาณไขมัน (Intramuscular Fat) มีเพียง 0.65 กรัมต่อ 100 กรัม ในขณะที่เนื้อวัวและเนื้อไก่สูงถึง 6.33 และ 3.087 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ (Sales and Haye, 1996) และจากการศึกษาของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Horbanezuk *et al.* (1998) พบว่า กรดไขมันอิ่มตัวของนกกระจอกเทศพันธุ์คอแดง (Red Neck) และพันธุ์คอน้ำเงิน (Blue Neck) ของสับสปีชี (Subspecies) *m. gasrocnemius* มีปริมาณ ร้อยละ 37.24 และ 39.37 ตามลำดับ ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 พันธะ (C 16:1, C 18:1, C 20:1) ของสับสปีชี *m. gastrocnemius* มีปริมาณร้อยละ 39.09 และ 36.83 ตามลำดับ และสับสปีชี *m. iliofibularis* มีปริมาณร้อยละ 35.37 และ 33.39 ตามลำดับ ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 พันธะ (C 18: 2 Ω6, C 18: 3 Ω3, C 20: 4 Ω6, C20: 5 Ω3, C 22:6 Ω3, C22: 6 Ω6) ของสับสปีชี *m. gastrocnemius* มีปริมาณร้อยละ 23.65 และ 23.78 ตามลำดับ และสับสปีชี *m. iliofibularis* มีปริมาณ ร้อยละ 26.93 และ 28.79 ตามลำดับ

ปริมาณคอเลสเตอรอลของนกกระจอกเทศสับสปีชี *m. gastrocnemius* พันธุ์คอแดง และพันธุ์คอน้ำเงิน พบว่ามีปริมาณ 65.50 และ 68.38 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ส่วน *m. iliofibularis* มีปริมาณ 63.04 และ 65.63 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่ต่ำกว่าเนื้อวัว เนื้อไก่ เนื้อแกะ และเนื้อหมู (90, 86, 92 และ 99 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ) (Sales and Hayes, 1996)

นอกจากนี้ยังพบว่า เนื้อนกกระจอกเทศ มีปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่าเนื้อไก่ คือ มีถึง 269 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในขณะที่เนื้อไก่มีเพียง 229 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ส่วนฟอสฟอรัสมีปริมาณสูงกว่าเนื้อวัวและเนื้อไก่ คือมีถึง 213 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ในขณะที่เนื้อวัวและเนื้อไก่มีปริมาณ 180 และ 173 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ส่วนปริมาณโซเดียมมีต่ำกว่าเนื้อวัวและเนื้อไก่ (43, 61 และ 77มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ) ฉะนั้นจะเห็นได้ว่าเนื้อนกกระจอกเทศอุดมไปด้วยโปรตีน กรดอะมิโนและแหล่งแร่ธาตุที่คล้ายกับแหล่งเนื้อสัตว์อื่นๆ ยังมีข้อได้เปรียบคือมีปริมาณไขมัน (Intramuscular Fat) คอเลสเตอรอลและโซเดียมต่ำ ทำให้สามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพได้ดี (Sales and Hayes, 1996)

จากข้อมูลเกี่ยวกับนกกระจอกเทศที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า เนื้อของนกกระจอกเทศมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีองค์ประกอบทางเคมีที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ จึงถือว่าเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ (Health Food) นอกจากนี้ยังพบว่าการบริโภคเนื้อนกกระจอกเทศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ส่งผลให้การแปรรูปเนื้อนกกระจอกเทศเพิ่มมากขึ้นและก่อให้เกิดเศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศมากขึ้นด้วย โดยเศษชิ้นเนื้อเหล่านี้ยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ดังนั้นจึงเป็นเรื่องน่าสนใจในการนำเศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศมาแปรรูปผลิตภัณฑ์ใหม่เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป (Restructured Meat) เพื่อเพิ่มมูลค่า ซึ่งอาจส่งผลถึงการเพิ่มรายได้แก่เกษตรกรผู้เลี้ยงและสามารถเป็นผลิตภัณฑ์ส่งออกจำหน่ายต่างประเทศช่วยเพิ่มเศรษฐกิจของชาติได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป

เนื้อขึ้นรูป เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อที่ผลิตโดยการนำเอาชิ้นเนื้อที่มีขนาดเล็กหรือผลิตมาจากเศษชิ้นเนื้อที่เหลือจากการตัดแต่งหรือนำชิ้นเนื้อที่มีเกรดต่ำหรือคุณภาพต่ำแต่ยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการสูงมาผ่านกระบวนการผลิตทำให้ชิ้นเนื้อเชื่อมยึดเกาะกันเป็นก้อนเนื้อใหม่ที่มีขนาดและรูปร่างตามแบบของพิมพ์ โดยก้อนเนื้อใหม่ที่ได้จะมีลักษณะโครงร่างของกล้ามเนื้อที่ค่อนข้างแน่นสม่ำเสมอและคงรูปร่างได้ดี เมื่อตัดหรือหั่นเนื้อขึ้นรูป ชิ้นเนื้อจะต้องไม่แยกแตกตัวหลุดออกจากกัน (Pearson and Dutson, 1987) การยึดเกาะกันของชิ้นเนื้อในก้อนเนื้อขึ้นรูปใหม่นี้เป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวของโปรตีนที่มาจากชิ้นเนื้อเองโดยเฉพาะโปรตีนไมโอพิบริวลา (Myofribrillar) จากเส้นใยกล้ามเนื้อ ซึ่งโปรตีนชนิดนี้สามารถละลายได้ในสารละลายเกลือ (Pegg and Shahidi, 1999) จากการวิจัยของนักวิจัยที่ผ่านมาจะมีการใช้ความร้อนในการเหนี่ยวนำทำให้เกิดการยึดเกาะกันของโปรตีน โดย Schmidt *et. al.* (1981) และ Schouwenburg (1997) พบว่าโปรตีนที่ถูกสกัดออกมาโดยเกลือและทำหน้าที่เป็นสารยึดเกาะที่ดีในชิ้นเนื้อคือ โปรตีนไมโอซิน โดยเมื่อให้ความร้อนจะเกิดเป็นเจลโครงร่างตาข่ายสามมิติ และสามารถกักน้ำเข้าไว้ในช่องว่างของโครงร่างตาข่ายสามมิตินั้นด้วย นอกจากนี้ Rhee (1999) กล่าวว่าเกลือที่ใช้ใน ผลิตภัณฑ์เนื้อจะลดจำนวนจุลินทรีย์ เพิ่มรสชาติทำให้เนื้อนุ่มโดยเป็นผลมาจากค่าความแรงของไอออน (Ionic Strength) และยังเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) ซึ่งเป็นผลมาจากโปรตีนไมโอซินที่ละลายออกมาได้โดยเกลือและเมื่อมีการให้ความร้อนกับเนื้อจะทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อมีความฉ่ำน้ำ (Juiciness)

นอกจากนี้ Rhee (1999) ศึกษาการใช้เกลือความเข้มข้นร้อยละ 0, 4.5 และ 9 ในการสกัดโปรตีนออกจากเนื้อ พบว่า ถ้ายิ่งเพิ่มความเข้มข้นของเกลือ ปริมาณโปรตีนที่ถูกสกัดออกมาจะเพิ่มขึ้นและทำให้ซัลไฮดริล (-SH) เพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อให้ความร้อนที่ 65 องศาเซลเซียส พบว่าจะทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปมีการก่อพันธะไดซัลไฟด์ (S-S) โดยการทดสอบ SDS-PAGE ซึ่งแสดงว่ามี การยึดเกาะกันของชิ้นเนื้อขึ้นรูป

ต่อมาในระยะหลังมีการตื่นตัวเกี่ยวกับผลของเกลือต่อสุขภาพมากขึ้น โดยเฉพาะผลของปริมาณโซเดียมที่บริโภค (Sodium Intakes) ซึ่งอาจส่งผลต่อผู้เป็นโรคไตและความดันโลหิตสูง (Trout and Schmidt, 1984) Wheeler *et. al.* (1990) จึงมีการลดปริมาณการใช้เกลือในผลิตภัณฑ์เนื้อและเนื้อขึ้นรูป นอกจากนี้ Chen and Trout (1991) ยังกล่าวว่านอกจากที่เกลือจะเป็นผลเสียต่อสุขภาพแล้ว เกลือยังทำให้เนื้อขึ้นรูปมีสีเปลี่ยนไปและยังทำให้เกิดการเหม็นหืนเร็วขึ้น แต่เมื่อมีการลดปริมาณเกลือลงก็ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปด้อยลง เนื่องจากโปรตีนไมโอซิน (Myosin) ที่ละลายออกมาได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยเกลือมีปริมาณน้อยลงทำให้การยึดเกาะกันของชิ้นเนื้อไม่ดีเท่าที่ควร ฉะนั้นในระยะต่อมาจึงมีการใช้เกลือในระดับต่ำ คือ ประมาณร้อยละ 0.5 – 0.75 แทนจากเดิมที่ใช้ประมาณร้อยละ 0.50 – 3.50 ร่วมกับสาร ยึดเกาะชนิดอื่น ๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของเนื้อขึ้นรูปให้ดีขึ้น

2.4 สารเจือที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป

2.4.1 เกลือแกง

เกลือแกงหรือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เป็นสารเจือพื้นฐานในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อ เกลือที่เหมาะสม ควรเป็นเกลือที่สะอาดและผ่านการฆ่าเชื้อมาแล้ว นิยมใช้เกลือสินเธาว์ที่ปราศจากโลหะหนักมากกว่าเกลือสมุทร เนื่องจากเกลือสมุทรอาจจะมีแบคทีเรียที่ทนความเค็มสูง (Halophilic Bacteria) และมีอนุมูลของสารพวกแคลเซียม แมกนีเซียม ซึ่งมีผลต่อการดูดซึมของน้ำเกลือทำให้ความสามารถในการละลายของโปรตีนลดลง โลหะหนัก เช่น ทองแดง ถ้ามีอยู่ในเกลือที่ใช้หมักจะมีผลเร่งปฏิกิริยาการหืนของไขมัน

บทบาทโดยตรงของเกลือ คือ ช่วยเสริมรสชาติและกลิ่นของอาหารเนื้อ นอกจากนั้นยังมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และป้องกันการเน่าเสีย แต่หากใช้มากเกินไปก็เป็นผลให้เกิดรสปร่าและลักษณะเนื้อสัมผัสที่ผิดแปลกไป (เยาวลักษณ์, 2536)

2.4.2 น้ำ

น้ำ เป็นสารเจือที่สำคัญอย่างหนึ่ง การเพิ่มน้ำลงในผลิตภัณฑ์เนื้อทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะฉ่ำน้ำ รสชาติและลักษณะเนื้อสัมผัสดีขึ้น น้ำที่เติมเข้าไปจะทำให้เกิดลักษณะอิมัลชันที่ดีและคงตัว นอกจากนี้น้ำยังเป็นตัวช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนของการบดผสม ซึ่งความร้อนมักทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ (Denature) เป็นผลให้คุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนนั้นสูญเสียไป

2.4.3 สารประกอบฟอสเฟต

ในกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์เนื้อย่อมเกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านต่าง ๆ เช่น สีของผลิตภัณฑ์ปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นระหว่าง Heme Pigments และออกซิเจน จะทำให้สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไป คุณสมบัติสำคัญที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อมีคุณภาพดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากจะเป็นในด้านสีแล้ว ยังมีอีกหลายอย่าง เช่น ความนุ่ม ลักษณะเนื้อสัมผัส และรสชาติ รวมถึงต้องคำนึงถึงอายุการเก็บรักษาด้วย

การเติมสารประกอบฟอสเฟตลงในเนื้อ และผลิตภัณฑ์เนื้อ จะช่วยปรับปรุงคุณลักษณะต่าง ๆ ของเนื้อและผลิตภัณฑ์เนื้อได้ดีขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารประกอบฟอสเฟตจะช่วยปรับปรุงคุณลักษณะต่าง ๆ ของเนื้อและผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยจะทำหน้าที่ต่าง ๆ ดังนี้ คือ

1. ช่วยให้สีของเนื้อคงตัว (Color Preservation)

ปกติสีของเนื้อจะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาทางเคมีของรงควัตถุ (Pigments) 2 ชนิด คือ Myoglobin จะเป็นรงควัตถุสีแดงเข้มพบในเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อ เป็น Iron-Protein Complex และ Haemoglobin ซึ่งเป็นรงควัตถุสีแดงในเลือด เป็น Iron-Protein Complex เหมือนกัน มีเหล็กอยู่ในรูปของ Ferrous อาจถูกออกซิไดซ์ไปเป็น Ferric ได้ง่าย ทำให้ได้รงควัตถุสีน้ำตาล เรียกว่า Metmyoglobin ซึ่ง Myglobin สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่ผิวของเนื้อทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีแดงสดขึ้นเรียกว่า Oxymyoglobin ซึ่งจะมีเหล็กอยู่ในรูปของ Ferrous และเปลี่ยนเป็น Metmyoglobin ได้ง่าย โดยออกซิเดชั่นจากออกซิเจนในบรรยากาศ Oxymyoglobin จะค่อย ๆ เปลี่ยนจากสีแดงสดไปเป็นสีน้ำตาล ซึ่งก็คือ Metmyoglobin นั่นเอง

เนื้อที่มีสีน้ำตาลความสดจะลดลง ทำให้ผู้ผลิตพยายามรักษาสีแดงไว้ จากการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อสีของเนื้อ ได้แก่ ความเป็นกรด – เป็นด่าง, Reducing Agent, Curing Salts, Metal Ion และออกซิเจน เนื้อที่มีความเป็นกรด – ด่างต่ำ การออกซิเดชั่นของเนื้อจะถูกเร่งให้เกิดความขึ้น ทำให้เกิด Metmyoglobin ซึ่งมีสีน้ำตาล ความเป็นกรด – เป็นด่าง ที่เหมาะสมสำหรับการรักษาสีของเนื้อจะประมาณ 6.0-6.6 การควบคุมความเป็นกรด – เป็นด่าง และ Metallic Ion ที่มีอยู่โดยใช้สารประกอบฟอสเฟต เช่น โพลีฟอสเฟต หรือ ไดอัลคาไล ฟอสเฟต พบว่าจะช่วยให้สีแดงสดของเนื้อคงอยู่ได้ (วราภรณ์, 2531)

2. ช่วยให้เนื้อนุ่ม (Increase Tenderness)

โดยปกติภายหลังสัตว์ตายกล้ามเนื้อจะเกิดการเกร็งตัว หรือที่เรียกว่า เกิด Rigor Mortis ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ โปรตีนคล้ายเส้นใยรวมตัวกันเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่คงตัวมาก เรียกว่า Actomyosin เกิดจาก Actin รวมตัวกับ Myosin ซึ่งจะทำให้เนื้อเหนียวขึ้น การเติมสารประกอบฟอสเฟตจะทำให้ Actomyosin แยกเป็น Actin กับ Myosin ทำให้เนื้อนุ่มลง

3. ช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (Increase Moisture Retention)

ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อนั้น มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เนื้อมาก ทั้งนี้เพราะว่าถ้าหากเนื้อไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้และเก็บไว้ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ สูญเสียน้ำบางส่วน ซึ่งจะมีผลต่อความนุ่มและความชุ่มฉ่ำ (Juiciness) ของผลิตภัณฑ์ จึงได้มีการคิดค้นวิธีรักษาความชื้นของเนื้อและผลิตภัณฑ์เนื้อไว้ ซึ่งจากการทดลองพบว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อและผลิตภัณฑ์เนื้อจะดีขึ้น เมื่อความเป็นกรด – ด่าง ของเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อลดลง หรือโดยการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เติมเกลือ จะช่วยรักษาความชื้นได้ดีขึ้น ซึ่งการที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากมีการรวมตัวของเกลือ และ ATP เหลืออยู่จำนวนหนึ่งในเนื้อเยื่อ จะทำให้ Peptide Chains ของโปรตีนแยกออกจากกัน จนกระทั่ง Bivalent Cations ซึ่งถูกปล่อยออกมาระหว่างการแตกตัวของ ATP ไม่สามารถก่อ Crosslink ได้ ส่วนน้ำจะไปจับที่พันธะไฮโดรเจน สำหรับการเติมสารประกอบโพลีฟอสเฟตลงไปนั้น เชื่อว่าจะทำให้เนื้อมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีขึ้น โดยทำให้ Actomyosin Complex แตกออก เพื่อรวมตัวกับน้ำ (วราภรณ์, 2531)

4. ช่วยให้เนื้อจับตัวกันได้ดีขึ้น (Increase Binding)

สารประกอบฟอสเฟตที่เติมลงไปนี้ จะไปช่วยให้โปรตีนที่ละลายน้ำออกมามากขึ้น เพื่อเป็น binder ของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะไส้กรอกชนิดต่าง ๆ แฮมเบอร์เกอร์ และ Meat Loaves เป็นต้น

5. ช่วยป้องกันการเกิดกลิ่นไม่ดี (Prevention of Off-Flavor)

สารประกอบฟอสเฟตนอกจากจะช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อแล้ว ยังพบว่าสามารถป้องกันการเกิดกลิ่นที่ไม่ดีได้ ตัวอย่างเช่น ช่วยเสริมฤทธิ์ของสารกันหืน ช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมัน อันเป็นสาเหตุของกลิ่นหืน

2.5 สารยึดเกาะที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป

ปัจจุบันมีการศึกษาถึงชนิดและปริมาณการใช้สารยึดเกาะในเนื้อขึ้นรูปกันมากขึ้น ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณการใช้เกลือ ซึ่งเป็นสารประกอบที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และทำให้มีปัญหาเกี่ยวกับสุขภาพ เป็นต้น

2.5.1 วัตถุประสงค์ของการใช้สารยึดเกาะในเนื้อขึ้นรูป (ธวัชชัย, 2537)

1. เพื่อช่วยให้การจับยึดตัวกันของชิ้นเนื้อดีเหมือนก้อนเนื้อปกติ
2. เพื่อเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อขึ้นรูป ทำให้เนื้อขึ้นรูปมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่ม
3. เพื่อลดการสูญเสียน้ำหนักในขณะทำให้สุก
4. เพื่อเพิ่มมูลค่าแก่ผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสามารถเพิ่มมูลค่าของชิ้นเนื้อขนาดเล็ก และหรือใช้เนื้อจากส่วนที่มีราคาต่ำมาปรับปรุงให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.2 กลูเตน

ในผลิตภัณฑ์เนื้อใช้โปรตีนกลูเตน ช่วยยึดชิ้นเนื้อหรือเศษเนื้อเข้าด้วยกัน สามารถหั่นเป็นชิ้นได้โดยไม่แตกหัก โปรตีนกลูเตนยังใช้เป็นสารยึดเกาะในผลิตภัณฑ์จำพวกไส้กรอกหรือผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะอิมัลชันได้ดีอีกด้วย

กลูเตนเกิดจากการรวมตัวของกลัยอะดินและกลูเตนิน ในปริมาณใกล้เคียงกัน กลัยอะดินและกลูเตนินก่อให้เกิดลักษณะโครงร่างของกลูเตนจากการนวดโด ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวของพันธะเคมีระหว่างกรดอะมิโน หลายรูปแบบ ได้แก่ พันธะโคเวเลนต์ (Covalent) พันธะอิออนิก (Ionic) และแรงแวน เดอร์ วาว์ล (Van der Waals) เป็นต้น

พันธะไอออนิก เกิดจากแรงดึงระหว่างกลุ่มที่มีประจุตรงกันข้าม เป็นพันธะที่มีจำนวนน้อยในกลูเตน ส่วนพันธะไฮโดรเจน เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนกับอะตอมของไนโตรเจนหรือออกซิเจน ซึ่งถึงแม้ว่าจะมีแรงยึดเหนี่ยวต่ำ แต่ก็มีจำนวนมากในกลูเตน จึงมีความสำคัญต่อลักษณะโครงร่างของกลูเตนมากกว่าพันธะชนิดอื่น สำหรับแรงแวน เดอร์ วาว์ล นั้นเกิดขึ้นระหว่างกรดอะมิโนที่ไม่มีประจุกับกรดไขมันหรือระหว่างสตาร์ชกับกลีเซอไรด์ ซึ่งพันธะนี้นับว่ามีกำลังอ่อนที่สุด แต่ก็มีผลต่อลักษณะของกลูเตนโดยก่อให้เกิดพันธะที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic Bonds) ระหว่างกลุ่มของโปรตีนที่ไม่มีประจุ (Nonpolar Group) ได้ นอกจากนั้นพันธะไดซัลไฟด์ ซึ่งเป็นพันธะโควาเลนซ์ที่มีอิทธิพลต่อกลูเตนทำให้เกิดลักษณะยืดหยุ่น (Apichartsrangkoon, 2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของกลูเตน

องค์ประกอบ	กลูเตน
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)

2.5.3 โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (Soy Protein Isolated)

ถั่วเหลืองจัดเป็นแหล่งโปรตีนที่มีราคาถูกและให้แคลอรี่แก่ร่างกายในปริมาณที่เพียงพอ โดยถั่วเหลืองเมล็ดแห้งมีโปรตีนอยู่ประมาณร้อยละ 38-44 ในขณะที่ถั่วโดยทั่วไปมีโปรตีนประมาณร้อยละ 20-30 แต่ถั่วเหลืองมีกรดอะมิโนเมทไธโอนิน (Methionine) และซิสเตอีน (Cysteine) ในปริมาณที่ต่ำ ถึงแม้จะมีไลซีน (Lysine) สูงกว่าถั่วชนิดอื่น ๆ ก็ตาม

โปรตีนถั่วเหลืองสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มย่อย (Fraction) หลังจากแยกโดยใช้ Ultracentrifuge ได้แก่ 2 S, 7 S, 11 S และ 15 S ซึ่งค่า S หมายถึง Svedburg unit และตัวเลขที่มีค่ามาก แสดงว่ามีน้ำหนักโมเลกุลมาก ดังตารางที่2.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.2 กลุ่มของโปรตีนในถั่วเหลือง

กลุ่มของโปรตีน (Fraction)	ปริมาณโปรตีน (%)	Components	มวลโมเลกุล (Da)
2 S	22	Trypsin inhibitors	8,00-21,500
		Cytochrome C	12,000
7 S	37	Hemagglutinin	110,000
		Lipoxygenase	102,000
		β-amylase	61,700
		7 S globulin	180,000-210,000
11 S	31	11 S globulin	350,000
15 S	11	-	600,000

ที่มา : Wolf (1970)

โปรตีนส่วนใหญ่ของถั่วเหลืองพบใน 7 S และ 11 S Fraction และร้อยละ 80 มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 100,000 Da ยกเว้นใน 2 S Fraction มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำโดยประกอบด้วย Cytochrome C Bowman-Brick Inhibitor (น้ำหนักโมเลกุล 8,000 Da) และ Kunitz Trypsin Inhibitor (น้ำหนักโมเลกุล 21,500 Da) สำหรับใน 7S Fraction จะมี 7S Globulin สูงถึงร้อยละ 50 หรือคิดเป็น ร้อยละ 18 ของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองทั้งหมด นอกจากนั้นเป็น β-amylase, Hemagglutinin และ Lipoxygenase ส่วนใน 11 S และ 15 S Fraction เป็นโปรตีนบริสุทธิ์ โดยที่ 11 S fraction มีเฉพาะ 11 S glycinin เช่นเดียวกับใน 15 S Fraction ที่เป็นไดเมอร์ (Dimer) ของGlycinin พวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

ผลิตภัณฑ์ของถั่วเหลืองสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ ๆ และมีส่วนประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 2.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง

ส่วนประกอบ	ชนิดของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง		
(%)	Soy Flour	Soy Protein Concentrate	Soy Protein Isolated
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 htpp://www.spcouncil.org/SoyProtein.html

ในบรรดาผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองทั้ง 3 ชนิด Soy protein isolated มีปริมาณโปรตีนสูงสุด รองลงมา ได้แก่ Soy protein concentrate และ Soy flour ซึ่งผลิตภัณฑ์สองชนิดหลังมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตค่อนข้างมาก ส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น ความชื้น ไขมัน เส้นใย เถ้า ของผลิตภัณฑ์ทั้งสามจะมีประมาณใกล้เคียงกัน

ประโยชน์ของโปรตีนถั่วเหลืองสกัดในการเจือลงในอาหาร

1. ช่วยเร่งการผลิตสร้างฮอร์โมนต่าง ๆ เช่น Thyroxin Hormone, Growth Hormone, Testosterone Hormone ซึ่งจำเป็นต่อการทำงานของร่างกาย (body builder)

2. เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ เพราะมีปริมาณโปรตีนสูงถึงร้อยละ 90 และเป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนจำเป็น (Essential Amino Acid) ต่อร่างกายมาก

3. โปรตีนถั่วเหลืองสกัด จะช่วยเพิ่ม Yield ให้กับอาหารได้ เพราะโปรตีนถั่วเหลืองสกัด มีโครงสร้างที่ช่วยอุ้มน้ำในเนื้อได้ ดังนั้นจึงเป็นการช่วยเพิ่มน้ำหนักให้กับผลิตภัณฑ์อาหารทางอ้อม

4. ช่วยทำให้เกิดเจล ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี ด้านความนุ่มเนื้อ ความแน่นเนื้อ ความฉ่ำน้ำ เป็นต้น (Chin *et al.*, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6 รีโอโลยี (Rheology)

รีโอโลยี (Rheology) เป็นศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) และการไหล (Flow) ของวัสดุเมื่อมีแรงหรือการกระทำใด ๆ ที่ทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป ดังนั้นรีโอโลยีทางอาหารจึงเป็นศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและการไหลของวัสดุ ปกติขั้นตอนการผลิตมีผลต่อคุณภาพทางรีโอโลยีเพราะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจะส่งผลไปถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารด้วย (Malcolum, 1982)

Parameter พื้นฐานทางรีโอโลยีที่เกี่ยวข้องมีดังนี้ (Steffe, 1996)

ความเค้น (Stress : σ หรือ τ) คือ ค่าแรง (Force) หน่วยเป็นนิวตัน (N) ต่อพื้นที่ที่แรงนั้นมากระทำบนระนาบ (Area) หน่วยเป็นตารางเมตร (m^2) หน่วยของความเค้นจึงเป็น นิวตันต่อตารางเมตร หรือปาสคาล (Pa)

ความเครียด (Strain : ε หรือ γ) คือ อัตราส่วนของความยาวที่เปลี่ยนไป (ΔL) ต่อความยาวเริ่มต้น (L_0) บางครั้งอาจคิดเป็นร้อยละของการเปลี่ยนแปลง (%Deformation) ซึ่งความเครียดไม่มีหน่วย

โมดูลัส (Modulus) คือ ค่าคงที่ของวัสดุที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

สมบัติทางรีโอโลยีจะอธิบายถึงสมบัติของวัสดุที่ยากที่กำหนดแน่นอน เช่น วัสดุแขวนลอย (Suspension or Emulsion) และวัสดุพอลิเมอร์ หรือวัสดุพวกวิสโคอิลาสติก ซึ่งเป็นวัสดุที่มีสมบัติระหว่างวัสดุยืดหยุ่น (Elastic) กับของไหลนิวทอเนียน (Newtonian Fluid) (มนัส, 2538) ส่วนที่ยืดหยุ่นซึ่งเป็นลักษณะของแข็งได้อธิบายตามกฎของฮุค (Hook's Law) เป็นความสัมพันธ์ของความเค้น (Stress, σ) กับความเครียด (Strain; ε) เมื่อให้แรงเค้นต่อหน่วยพื้นที่แก่วัสดุ วัสดุจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของความยาวโดยปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือความเครียดมีความสัมพันธ์กับความเค้น

$$\sigma = E\varepsilon \qquad 2.1$$

เมื่อ E คือ Young's Modulus of Elasticity ของการยืดหยุ่นมีหน่วย Pa

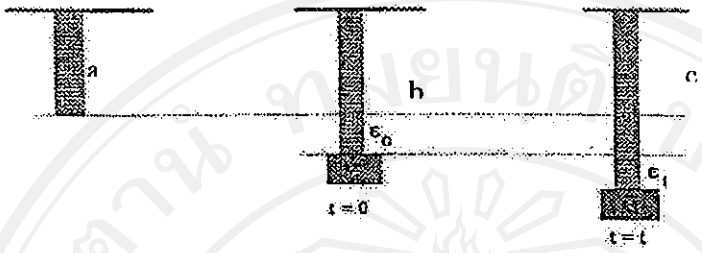
แต่ถ้าความเค้นนั้นเกิดจากแรงเฉือนจะได้ค่าโมดูลัสเป็น Shear Modulus (G) โดยค่าโมดูลัสจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (Shear Stress : τ) และความเครียดเฉือน (Shear Strain : γ) จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\tau = G\gamma \qquad 2.2$$

ปรากฏการณ์ที่แสดงสมบัติสำคัญของผลิตภัณฑ์วิสโคอิลาสติกได้แก่ การคืบ (Creep), การพักความเค้น (Stress relaxation) และการคืนรูป (Recovery) เป็นต้น

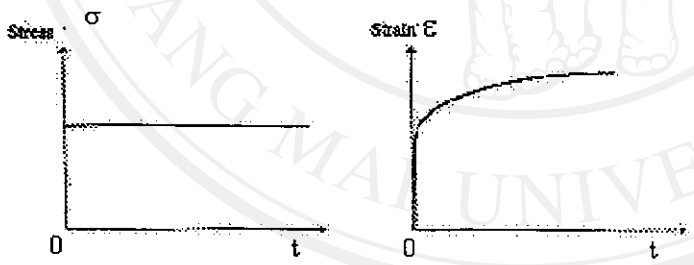
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การคืบ (Creep) เป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุที่เป็นฟังก์ชันของเวลาเพื่อเข้าหาจุดสมดุล (Dimensional Stability) เมื่อมีแรงคงที่แรงหนึ่งกระทำกับวัสดุ เช่น การยืดของยางจะเป็นฟังก์ชันของเวลา ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สมบัติการคืบของวัสดุ
ที่มา : มนัส (2538)

รูปที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเค้น และความเครียดกับเวลาที่สอดคล้องกับการคืบ รูป (a) แสดงถึงความเค้นคงที่เทียบกับเวลา ในรูป (b) แสดงความเครียดที่ตอบสนอง ที่เวลา $t = 0$ ความเครียดที่ตอบสนองต่อความเค้นเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด ถือว่าเป็นการตอบสนองของส่วนที่ยืดหยุ่น ส่วนในรูป (c) ที่เวลา $t > 0$ ความเครียดจะเพิ่มขึ้นเป็นฟังก์ชันของเวลา ในช่วงนี้ที่วัสดุแสดงสมบัติของการคืบ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

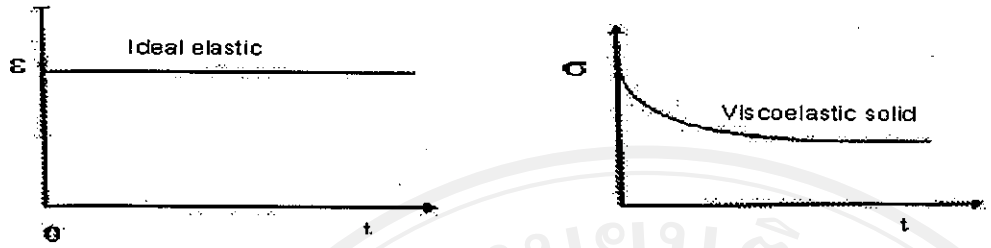


รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงของความเค้นและความเครียดกับเวลาในลักษณะการคืบ (Creep)
ที่มา : มนัส (2538)

การพักความเค้น (Stress Relaxation) เป็นปรากฏการณ์ที่ความเครียด (Strain) มีค่าคงที่ และความเค้น (Stress) ซึ่งเป็นแรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปมีค่าลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น

ดังนั้นความเค้น (Stress) จึงเป็นฟังก์ชันของเวลา (Time)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



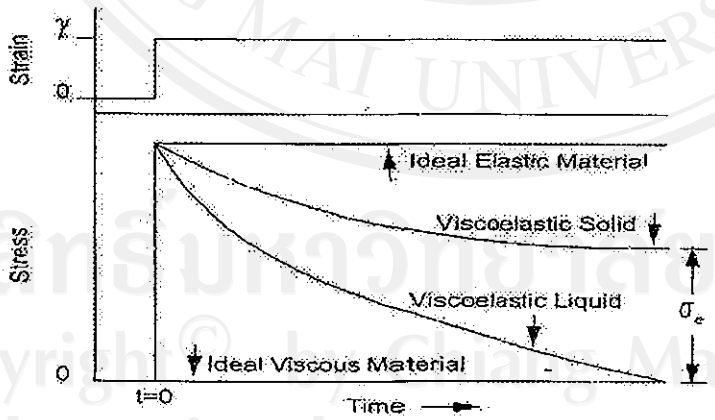
รูปที่ 2.3 การลดลงของความเค้นเป็นฟังก์ชันของเวลา

ที่มา : Steffe (1996)

การคืบและการพักความเค้น เป็นปรากฏการณ์สำคัญของวัสดุวิสโคอิลาสติก ที่มีทั้งสมบัติการยืดหยุ่นและไหลหนืดร่วมกัน ดังนั้นการรู้จักฟังก์ชันการคืบและการพักความเค้น ทำให้สามารถทำนายสมบัติพื้นฐานของวัสดุประเภทนี้ได้ ซึ่งสามารถบ่งบอกลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

การคืนรูป (Recovery) เป็นปรากฏการณ์ต่อเนื่องจากการคืบหรือการพักความเค้น หลังเอาความเค้นหรือความเครียดออก วัสดุยืดหยุ่นจะหดตัวกลับสู่สภาพเดิมอย่างสมบูรณ์ทันที ในขณะที่วัสดุของไหลจะไม่มีการหดตัวกลับเลย วัสดุวิสโคอิลาสติกมีสมบัติอยู่ระหว่างวัสดุยืดหยุ่นและไหลหนืด ดังนั้น การหดตัวกลับของวัสดุพวกนี้จึงเกิดขึ้นได้บางส่วนและมีบางส่วนผิดรูปไป ขณะเดียวกันเมื่อเอาความเค้นออกจะมีบางส่วนสามารถหดตัวกลับได้ทันที หลังจากนั้นการหดตัวจะเป็นฟังก์ชันของเวลา

ในการศึกษาการพักความเค้น (Stress Relaxation, λ) เป็นการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของความเค้นจนถึงจุดสมดุลย์ (Equilibrium Stress หรือ Deformation) (Steffe, 1996)

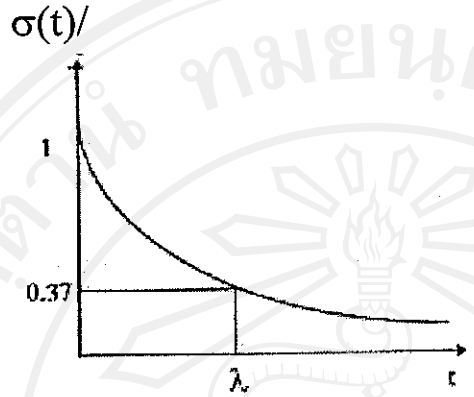


รูปที่ 2.4 กราฟการพักความเค้น

ที่มา : Steffe (1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในรูปที่ 2.4 แสดงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของค่าการพักความเค้น ในขณะที่วัสดุวิสโคอิลาสติก จะมีการตอบสนองทีละน้อยกับค่าความเค้น (Stress) เมื่อเวลา (Time) ผ่านไป ความเค้น (Stress) จะลดลงตามเวลาแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่เวลา $t = \lambda$ ความเค้นจะลดลงเหลือ $0.37\sigma(t)/\sigma_0$ ดังรูปที่ 2.5

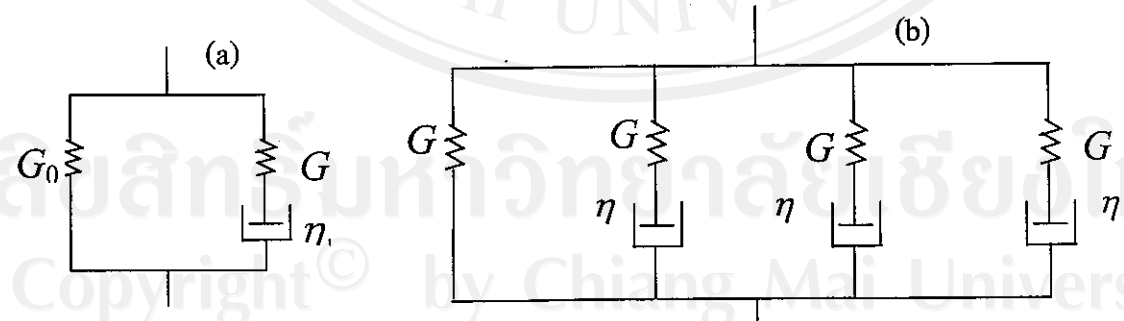


รูปที่ 2.5 กราฟการพักความเค้นที่จุดร้อยละ 37

ที่มา : Steffe (1996)

เวลาการพักความเค้น (Relaxation Time, λ) ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่าง η/G คือค่าเวลาคงที่ของการพักความเค้น (Relaxation time Constant) เมื่อ η มีค่ามาก G มีค่าน้อย การลดลงของความเค้น (Stress) ก็จะช้า หรือต้องใช้เวลาในการพักความเค้นนาน (มนัส, 2538)

ในเชิงทฤษฎีเวลาการพักความเค้น (Relaxation Time) นั้น จะอธิบายได้จาก แบบจำลองของแมกซ์เวลล์ (Maxwell Model) โดยประกอบด้วยส่วนยืดหยุ่น (Elastic) และส่วนของไหลหนืด (Viscous) แทนด้วยสปริง (Spring) และลูกสูบ (Dashpot) ทั้งสองส่วนต่อกัน

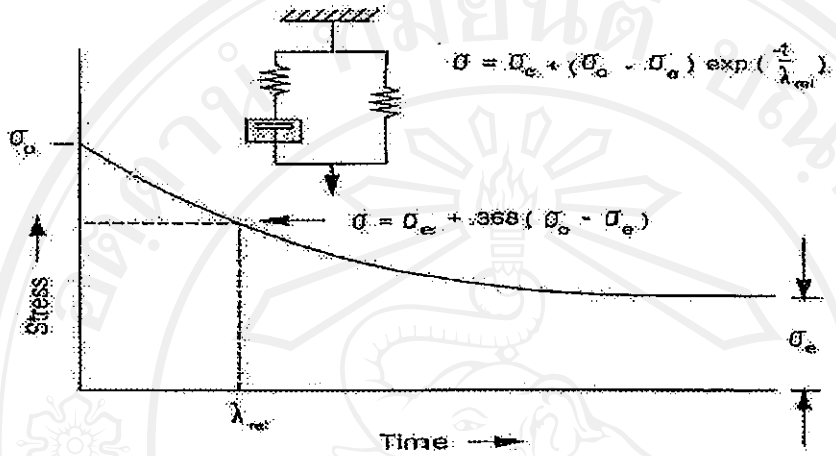


รูปที่ 2.6 (a) แบบจำลองแมกซ์เวลล์ 1 องค์ประกอบกับสปริงอิสระ 1 หน่วย (b) แบบจำลองแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบกับสปริงอิสระ 1 หน่วย

ที่มา : Steffe, 1996

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูปที่ 2.6 (a) เป็นแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 1 องค์ประกอบกับสปริงอิสระ 1หน่วย โดยสปริงตัวที่ 1 (G_1) ต่ออนุกรมกับลูกสูบ และต่อขนานกับสปริงตัวที่ 2 (G_0) ส่วนรูปที่ 6 (b) เป็นแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบกับสปริงอิสระ 1หน่วย ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองของแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบต่อกับสปริง



รูปที่ 2.7 แบบจำลองการพักความเค้น

ที่มา : Steffe, 1996

จากรูปที่ 2.7 เป็นกราฟของการพักความเค้นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ได้อธิบายสมบัติ การพักความเค้น (Stress) ของแมกซ์เวลล์ 1 องค์ประกอบกับสปริงอิสระ 1 หน่วย ทำให้เข้าสู่จุดความเค้นสมดุลย์ (Equilibrium Stress) (Steffe, 1996)

แบบจำลองแมกซ์เวลล์ 1 องค์ประกอบกับสปริงอิสระ 1 หน่วย นั้น ไม่สามารถอธิบายสมบัติวิสโคอิลาสติกได้อย่างเหมาะสม เพราะไม่มีวัสดุใดที่ แสดงสมบัติ Ideal Viscous หรือ Ideal Elastic อย่างสมบูรณ์ และกราฟ ที่ได้จากการหาแบบจำลองนั้นไม่สอดคล้องกับกราฟที่ได้จากการทดลอง จึงต้องมีการเพิ่มแบบจำลองแมกซ์เวลล์เข้าไปเพื่อให้ได้กราฟที่สอดคล้องกัน โดยมากจะใช้แบบจำลองแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบกับสปริงอิสระ 1 หน่วย ในการอธิบายสมบัติวิสโคอิลาสติกของอาหาร (Launay and Cantoni, 1987) โดยในแต่ละแบบจำลองแมกซ์เวลล์ย่อยนั้น จะมีค่าการพักความเค้นค่าหนึ่ง ดังนั้นในแบบจำลองนี้จึงประกอบด้วยค่าการพักความเค้นหลายค่า (มนัส, 2538) เช่น จากการเปรียบเทียบสมบัติวิสโคอิลาสติกของ Beeswax, Candelilla Wax, Carnauba Wax และ High-Melting Milkfat Fraction โดยการศึกษาค่าการพักความเค้น พบว่า ได้แบบจำลองที่เหมาะสมกับการทดลองเป็นแบบจำลอง 3 องค์ประกอบ คือ สปริงอิสระ 1 หน่วย ต่ออนุกรมกับแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 2 องค์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประกอบ นอกจากนั้นยังพบว่า Candelilla Wax และ Carnauba Wax เป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง ส่วน Beeswax และ High-Melting Milkfat Fraction จะมีสมบัติการไหลหนืดมากกว่า

Tang, Tung and Zeng. (1998) ได้ศึกษาการพักความเค้น กับคุณสมบัติภายในเจล จากการทดสอบค่า Stress ของ Gellan gel โดยใช้ Crosshead Speed ที่มีค่าตั้งแต่ 3-330 มิลลิเมตรต่อนาที และ Strain ร้อยละ 3-20 เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างตั้งแต่ 21-33 มิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่าอัตราการเกิด Relaxation แปรผกผันกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างเจล แต่จะแปรผันตรงกับขนาด Pore Size ของโครงร่างเจล การเพิ่มค่า Strain มากขึ้น จะทำให้ Initial Stress เพิ่มขึ้นอย่างมาก แต่จะทำให้ Equilibrium Stress ต่ำลงเล็กน้อย

Kaur *el. al.* (2002). ได้ศึกษาค่าการพักความเค้นของมันฝรั่ง 3 สายพันธ์ (Kufri Jyoti, Kufri Badshah and Pukhraj) พบว่าได้แบบจำลองแมกซ์เวลล์ที่เหมาะสม 4 องค์ประกอบ โดย Kufri Jyoti และ Kufri Badshah มีค่า Elastic Moduli มากกว่า Pukhraj สำหรับค่า Viscous Moduli สายพันธ์ Kufri Jyoti มีค่าต่ำกว่า Kufri Badshah และ Pukhraj

Lin (1982), Blaisdell *et al.* (1983) และ Correia (1988) ได้ศึกษาการพักความเค้นของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอิมัลชันระหว่างการแปรรูปโดยใช้กระบวนการแปรรูปที่แตกต่างกัน

Lin (1982) ได้ให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์โดยการอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 1 องค์ประกอบ กับสปริงอิสระ 1 หน่วย โดยสอดคล้องกับกราฟที่หาได้จากการทดลอง และค่า elastic modulus มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 21 – 67 องศาเซลเซียส ซึ่งการพักความเค้นลดลงเป็นเส้นโค้ง (stress relaxation decay curve) ได้ดังสมการ 2.3

$$E(t) = E_1 + E_2 x\ e^{-t/\lambda_2} \qquad 2.3$$

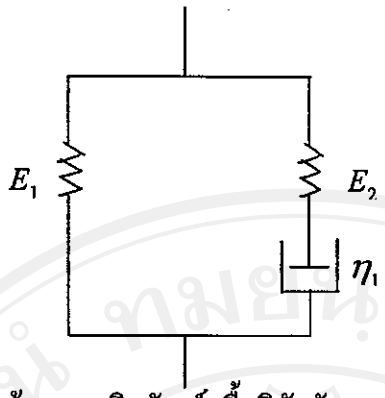
เมื่อ $E(t)$ = elastic modulus ที่เวลาใด ๆ

E_1 = elastic modulus ที่สปริงอิสระ

E_2 = elastic modulus ของแบบจำลอง maxwell

λ = เวลาในการพักความเค้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.8 แบบจำลองการพักความเค้นของผลิตภัณฑ์เนื้ออิมัลชันระหว่างกระบวนการผลิต จากการทดลองของ Lin

ที่มา : Lin (1982)

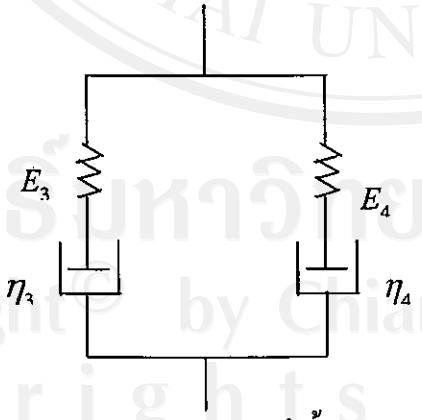
Correia (1988) ได้นำผลิตภัณฑ์ไส้กรอกสุกไปรมควันที่อุณหภูมิ 30 – 70 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าได้แบบจำลองแมกซ์เวลล์ 2 องค์ประกอบที่เหมาะสมกับกราฟที่ได้จากการทดลอง และพบว่าค่า elastic modulus มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 30-70 องศาเซลเซียส และค่า elastic modulus เพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 50-65 องศาเซลเซียส กราฟค่าการพักความเค้นลดลงเป็นเส้นโค้งหาได้จากสมการ 2.4

$$E(t) = E_3 \text{ x e}^{-t/\lambda_3} + E_4 \text{ x } e^{-t/\lambda_4} \qquad 2.4$$

เมื่อ $i = 3$ และ 4

E_i = elastic modulus ของแบบจำลองแมกซ์เวลล์ unit – i

λi = เวลาในการพักความเค้นของแมกซ์เวลล์ unit – i



รูปที่ 2.9 แบบจำลองการพักความเค้นของผลิตภัณฑ์เนื้ออิมัลชันระหว่างกระบวนการผลิต จากการทดลองของ Correia

ที่มา : Correia (1988)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

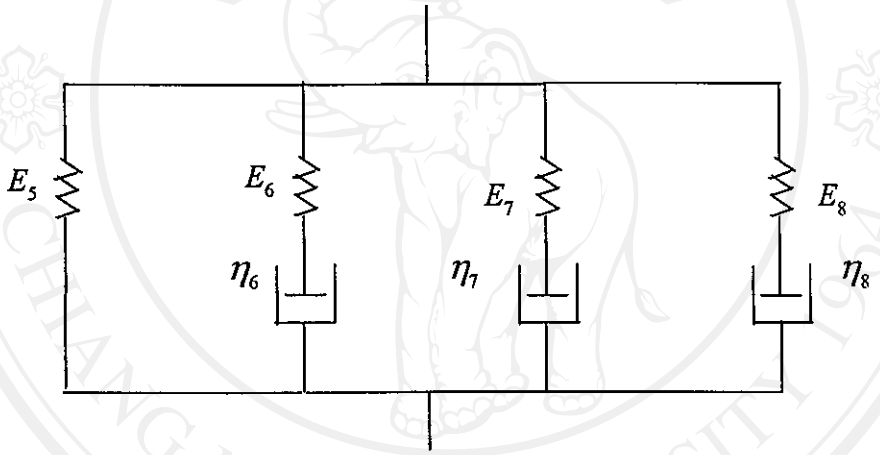
การที่ค่า elastic modulus เพิ่มขึ้น เกิดจากการเหนี่ยวนำความร้อนระหว่าง การก่อเจลของโปรตีนภายในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอิมัลชัน โดยผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอิมัลชันที่เติม Soy Protein Concentrateจะมีค่าความยืดหยุ่นสูงกว่าผลิตภัณฑ์ไส้กรอกที่เติม Whey Protein Concentrate

Blaisdell *et al.* (1983) ได้นำผลิตภัณฑ์ไส้กรอกไปต้มที่อุณหภูมิระหว่าง 40 – 85 องศาเซลเซียส พบว่าแบบจำลองแมกซ์เวลล์ที่เหมาะสมกับกราฟที่ได้จากการทดลองเป็นแบบจำลองแมกซ์เวลล์มาตราฐาน ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบต่อขนานกับสปริงอิสระ 1 หน่วย ค่าการพักความเค้นลดลงเป็นเส้นโค้งหาได้จากสมการ 2.5

$$E(t) = E_5 + E_6 \times e^{-t/\lambda_6} + E_7 \times e^{-t/\lambda_7} + E_8 \times e^{-t/\lambda_8} \qquad 2.5$$

เมื่อ E_i = elastic modulus ของของแบบจำลองแมกซ์เวลล์ สปริง 5

λi = เวลาในการพักความเค้นของแมกซ์เวลล์ unit – i = 6 - 8



รูปที่ 2.10 แบบจำลองการพักความเค้นของผลิตภัณฑ์เนื้ออิมัลชันระหว่างกระบวนการผลิตจากการทดลองของ Blaisdell *et al.*

ที่มา : Blaisdell *et al.* (1983)

Skinner และ Rao (1986) ได้ทดสอบการพักความเค้นของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอิมัลชัน 7 ยี่ห้อ (commercial brand) ประกอบด้วย ไส้กรอกหมูผสมเนื้อ, ไส้กรอกเนื้อล้วน หรือไส้กรอกไก่ล้วน โดยนำผลิตภัณฑ์ไส้กรอกทั้งหมดมาทดสอบการพักความเค้นนาน 24 ชั่วโมง และค่า equilibrium stress ลดลงเป็นศูนย์ ดังนั้นแบบจำลองแมกซ์เวลล์จึงไม่ต้องการสปริงอิสระในช่วงสุดท้ายของการทดสอบ ซึ่งในการทดสอบนี้ได้แบบจำลองแมกซ์เวลล์ 2 องค์ประกอบที่เหมาะสมกับกราฟที่ได้จากการทดลอง และจากผลการทดลองพบว่า ไส้กรอกเนื้อหมูผสมกับเนื้อวัว มีค่า elastic modulus สูงที่สุด แสดงว่ามีความยืดหยุ่นสูงที่สุดเช่นกัน รองลงมาคือไส้กรอกเนื้อวัวล้วน และ ไส้กรอกไก่ล้วน ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Siripurapu *et al.* (1987) ได้ทำการทดสอบ creep compliance กับผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอิมัลชันที่มีการผันแปรปริมาณ fat – protein ratio และมีการผันแปรอุณหภูมิและเวลาในการต้ม โดยวางแผนการทดลองแบบ CCD ผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์เนื้ออิมัลชัน เหมาะสมกับแบบจำลอง Kelvin 1 องค์ประกอบต่อกับสปริงอิสระ 1 หน่วย และการเปลี่ยนแปลงของสปริงอิสระและสปริงของแบบจำลอง Kelvin เกิดอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 70 - 75 องศาเซลเซียส และเวลาในการต้ม 80 นาที ได้ model creep behavior ดังสมการที่ 2.6

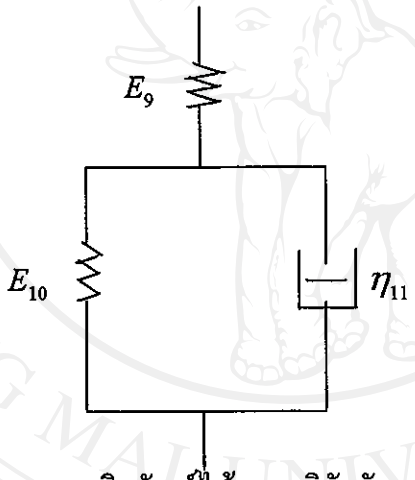
$$D(t) = D_9 + D_{10}(1 - e^{-t/\lambda_{11}}) \qquad 2.6$$

เมื่อ $D(t)$ คือ compliance for the entire model at time (t)

D_9 คือ compliance ของแมกซ์เวลล์ สปริง 9 ($1/E_9$)

D_{10} คือ compliance ของแมกซ์เวลล์ สปริง 10 ($1/E_{10}$)

$\lambda 11$ คือ retardation time ของเคลวิน (= η_{11} / E_{10} for the Kelvin body)



รูปที่ 2.11 แบบจำลอง creep compliance ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอิมัลชันระหว่างการผลิตของ Siripurapu *et al.* (1987)

ที่มา : Siripurapu *et al.* (1987)

โดยค่าการหน่วงของเวลาไม่สัมพันธ์กับปริมาณ fat – protein ratio และเวลาในการต้ม ค่าการหน่วงของเวลามีค่าน้อยที่สุดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นยังพบว่าการเปลี่ยนแปลงของสปริงอิสระและสปริงของแบบจำลอง Kelvin มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ เวลาในการต้ม และปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นด้วย ที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสปริงของแบบจำลอง Kelvin มากกว่าสปริงอิสระ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนั้น Skinner and Rao (1986) ได้ทดลอง creep compliance กับผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอิมัลชันชนิดเดียวกับที่ใช้ทดสอบการพักความเค้น พบว่าแบบจำลอง 4 องค์ประกอบ (four element Burger's model) สอดคล้องกับกราฟที่ได้จากการทดลอง ดังสมการที่ 2.7

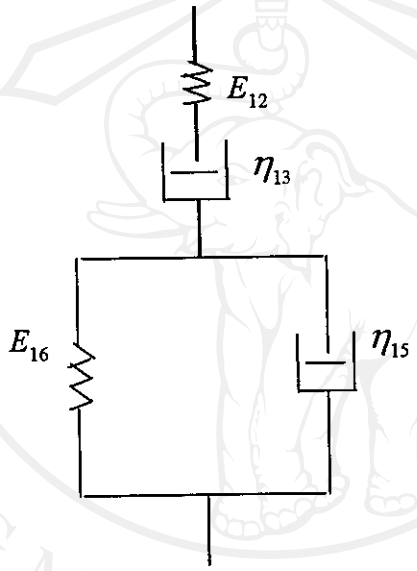
$$D(t) = D_{12} + D_{13} \times t + D_{13} \times (1 - e^{-t/\lambda_{15}}) \qquad 2.7$$

เมื่อ $D(t)$ คือ compliance for the entire model at time (t)

D_{12} คือ compliance ของแมกซ์เวลล์ สปริง 12 ($1/E_{12}$)

D_{13} คือ compliance ของแมกซ์เวลล์ สปริง 13 ($1/E_{13}$)

$\lambda 15$ คือ retardation time ของเคลวิน ($= \eta_{11} / E_{10}$ for the Kelvin body)



รูปที่ 2.12 Burger's model

ที่มา : Skinner and Rao (1986)

นอกจากนั้นยังพบว่า compliance สปริงของแบบจำลองแมกซ์เวลล์ และ compliance สปริงของแบบจำลอง Kelvin มีผลในการทดลอง creep compliance โดย compliance สปริงของแบบจำลองแมกซ์เวลล์จะแสดงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ โดย compliance สปริงของแบบจำลองแมกซ์เวลล์จะแปรผกผันกับค่าของสปริงของแบบจำลองแมกซ์เวลล์ ถ้า compliance สปริงของแบบจำลองแมกซ์เวลล์มีค่าน้อยแสดงว่าผลิตภัณฑ์ไส้กรอกมีความ ยืดหยุ่นสูง ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูและไส้กรอกเนื้อมีความยืดหยุ่นมากกว่า ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกชนิดอื่น ๆ และไส้กรอกไก่จะมีความยืดหยุ่นน้อยที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Webb *et al.* (1975) ได้ทำการทดสอบ dynamic ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกโดยใช้เครื่อง Weissenberg Rheogoniometer (model R19, Sangamo-Schlumberger Ltd, Bognor Regis, UK.) ทดสอบผลิตภัณฑ์ไส้กรอก 4 ยี่ห้อ (3 ชนิด) คือ ไส้กรอกเนื้อวัว(brand A, B), ไส้กรอกเนื้อวัวกับเนื้อหมู (brand C) และไส้กรอกที่มีการเติมโปรตีนจากพืช (brand D) โดยวัดที่ความถี่ 40, 80, 120, 160, 200 และ 240 Hz. ผลการทดลองพบว่าไส้กรอกเนื้อวัว (brand B) มีค่า modulus สูงกว่าไส้กรอก brand อื่น ๆ และไส้กรอกที่มีการเติมโปรตีนจากพืช (brand D) มีค่า modulus ต่ำที่สุดในทุกความถี่ ซึ่งแสดงว่าไส้กรอกเนื้อวัว (brand B) มีความแข็งมากกว่าไส้กรอก brand อื่น ๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved