บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปลาเผาะ

ปลาเผาะหรือปลาโมงเป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่ง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Pangasius bocourti* Sauvage อยู่ในวงศ์ปลาสวาย (Pangasiidae) ส่วนหัวมีลักษณะมนกลม ปากแคบ รูปร่างป้อม ท้องอูม ลำตัวตอนหน้าค่อนข้างกลม และแบนข้างเล็กน้อยที่ด้านท้าย ครีบไขมันเล็ก ปลาวัยอ่อนมีสีเทาเหลือบเหลืองหรือเขียวอ่อน ข้างลำตัวมีแถบคล้ำ ครีบอกมีแต้มสีจาง ปลาตัวเต็มวัยมีสีเทาอมน้ำตาลอ่อนหรือฟ้าอ่อน ท้องสีขาว ครีบสีจาง ครีบหางมีแถบสีคล้ำจาง มีขนาดประมาณ 60 - 80 ซ.ม. ปลาวัยอ่อนกินแมลง ปลาตัวเต็มวัยกินพืชเป็นส่วนใหญ่ อาจกินแมลงและหอยบ้าง พบกระจายพันธุ์อยู่ในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในประเทศไทยพบมากในแม่น้ำโขง และในแม่น้ำเจ้าพระยา (สถาบันอาหาร, 2549)

รูปที่ 2.1 ปลาเผาะ (*Pangasius bocourti*)

ปลาเผาะมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเนื้อปลาเผาะ 100 กรัม มีพลังงานทั้งหมด 274.75 กิโลแคลอรี่ โปรตีน 14.15 กรัม และไขมัน 21.07 กรัม ซึ่งในส่วนของไขมันมีกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายมากกว่า 10% มี Docosahexaenoic acid (DHA) 2% และมีกรดไขมันโอเมกา 3 มากกว่า 3 % คุณค่าทางโภชนาการของปลาเผาะแสดงดังตารางที่ 2.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของปลาสวายเผาะต่อน้ำหนัก 100 กรัม

รายการ	**ปริมาณต่อ 100 กรัม**
พลังงานทั้งหมด	274.75 กิโลแคลอรี่
พลังงานจากไขมัน	189.63 กิโลแคลอรี่
ไขมันทั้งหมด	21.07 ก.
ไขมันอิ่มตัว	7.92 ก.
ไขมันชนิดทรานส์	ไม่พบ
โคเลสเตอรอล	10.09 มก.
โปรตีน	14.15 ก.
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	7.13 ก.
ใยอาหาร	-
น้ำตาล	-
โซเดียม	58.11 มก.
วิตามิน A	-
วิตามิน B1	0.1 มก.
วิตามิน B2	0.26 มก.
วิตามิน C	0.72 มก.
แคลเซียม	28.35 มก.
เหล็ก	0.32 มก.

ที่มา: สถาบันอาหาร (2549)

เนื่องจากปลาเผาะมีเนื้อสีขาว มีก้างน้อย และมีไขมันต่ำ ชาวยุโรปจึงนิยมรับประทานปลาเผาะเพื่อทดแทนปลาแฮลิบัท (halibut) ที่มีราคาแพง ตลาดส่งออกปลาเผาะที่สำคัญคือ กลุ่มประเทศสหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น รัสเซีย และกลุ่มประเทศที่แยกจากรัสเซีย โดยต้องการปลาเผาะปีละประมาณ 486 ล้านตัว และความต้องการยังเพิ่มร้อยละ 45 ต่อปีในกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป และร้อยละ 25 ในสหรัฐอเมริกา ประเทศไทยเริ่มส่งเสริมให้เลี้ยงปลาเผาะอย่างจริงจังในปี 2549 โดยขยายปริมาณการเพาะเลี้ยงเป็น 4 ล้านตัวในพื้นที่ริมแม่น้ำโขง ได้แก่ จังหวัดนครพนม เลย หนองคาย นครพนม มุกดาหาร อำนาจเจริญ และอุบลราชธานี มีโรงงานแปรรูปที่สามารถรองรับปลาเผาะได้เดือนละ 350,000 ตัว ซึ่งสามารถแปรรูปเป็นชิ้นปลา (fillet) ได้ 140 ตัน ดังนั้น จึงมีของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต เช่น หัว ก้าง และหนัง เป็นปริมาณสูงมาก (สถาบันอาหาร, 2549; คมชัดลึก, 2549)

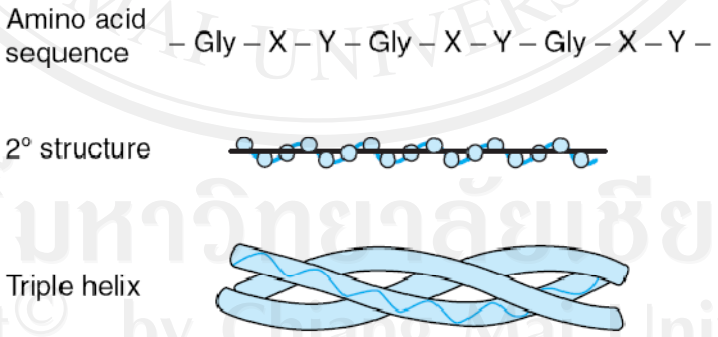
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 คอลลาเจน (collagen)

คอลลาเจนเป็นโปรตีนในกลุ่มโปรตีนเส้นใย (fibrous protein) พบได้ในเนื้อเนื่อเกี่ยวพัน เช่น เส้นเอ็น กระดูก ผิวหนัง ระบบท่อลำเลียงในสัตว์ รวมถึงแผ่นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่อยู่รอบกล้ามเนื้อ ทำให้กล้ามเนื้อเหนียว โปรตีนกล้ามเนื้อของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีคอลลาเจนประมาณ 10% ส่วนในปลาจะมีปริมาณน้อยกว่า คอลลาเจนมีหลายชนิด ทั้งที่ละลายในสารละลายเกลือที่เป็นกลาง สารละลายกรด และบางชนิดก็ไม่ละลายในสารละลายชนิดใด (Foegeding, 1996)

คอลลาเจนเป็นโปรตีนรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 14-15 Å ยาวประมาณ 2800 Å ประกอบด้วยสายเปปไทด์ซึ่งเรียกว่า α-chain 3 สาย ขดรวมกันเป็น triple helix ด้วยพันธะไฮโดรเจน สาย α-chain แต่ละสายมีมวลโมเลกุลประมาณ 100,000 D ดังนั้นมวลโมเลกุลทั้งหมดของคอลลาเจนคือประมาณ 300,000 D (Foegeding, 1996)

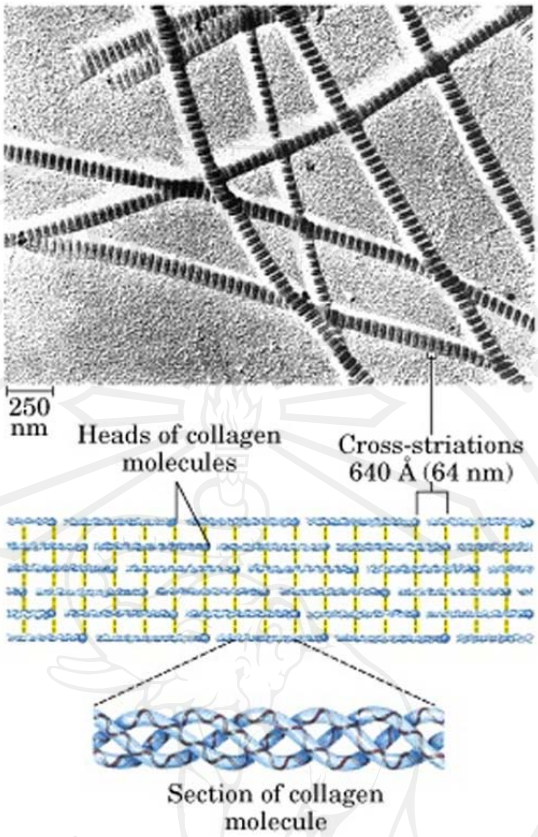
โพลีเปปไทด์ของคอลลาเจนจะขดเป็นเกลียวเกือบทั้งสาย ยกเว้นส่วนปลาย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากคอลลาเจนมีกรดอะมิโนโพรลีนและไฮดรอกซีโพรลีนสูง ทำให้โครงสร้างเกลียวฮีลิกซ์ของคอลลาเจนแตกต่างจากแอลฟาฮีลิกซ์ (α-helix) ทั่วไป โดยฮีลิกซ์ของคอลลาเจนมีลักษณะวนซ้ายและมีกรดอะมิโน 3 ตัวต่อเกลียว 1 รอบ ในขณะที่แอลฟาฮีลิกซ์ทั่วไปเป็นเกลียววนขวาและมีกรดอะมิโน 3.6 ตัวต่อรอบ โมเลกุลคอลลาเจนจะเชื่อมต่อกันทั้งจากปลายและด้านข้าง ทำให้เกิดคอลลาเจนไฟเบอร์ ซึ่งอาจเรียงตัวขนานกันเพื่อให้เกิดความแข็งแรง เช่น เส้นเอ็น หรือเรียงตัวเป็นแขนงและไม่เป็นระเบียบ เช่น ผิวหนัง (Foegeding, 1996 and Nelson, 2005)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างอันดับ 1, 2 และ 3 ของคอลลาเจน

ที่มา: Murray (2003)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



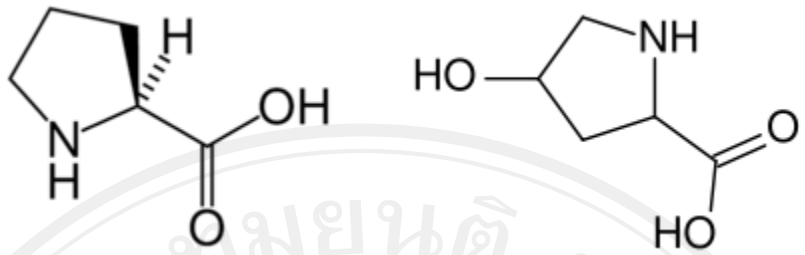
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของคอลลาเจนไฟเบอร์

ที่มา: Nelson (2005)

กรดอะมิโนในคอลลาเจนไม่สมดุลทางโภชนาการ เช่น ขาดทริพโตเฟน แต่มีไกลซีน โพรลีน และไฮดรอกซีโพรลีนสูง และเป็นหนึ่งในโปรตีนเพียงไม่กี่ชนิดที่มีไฮดรอกซีไลซีน คอลลาเจนมีปริมาณไกลซีนเกือบ 1 ใน 3 ของกรดอะมิโนทั้งหมด โดยกระจายตัวอยู่ทุก 3 ตำแหน่งตลอดโมเลกุลคอลลาเจน ยกเว้นตำแหน่งที่ 14 จากปลาย N และตำแหน่งที่ 10 จากปลาย C คอลลาเจนเป็นโปรตีนเพียงชนิดเดียวที่มีไฮดรอกซีโพรลีนสูง คือ มากถึง 10% ในคอลลาเจนของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม แต่ในปลาจะมีปริมาณน้อยกว่า และเนื่องจากคอลลาเจนมีไฮดรอกซีโพรลีนมากกว่าโปรตีนชนิดอื่นมาก จึงมักใช้ปริมาณไฮดรอกซีโพรลีนเพื่อบอกปริมาณคอลลาเจนในอาหาร (Foegeding, 1996)

โพรลีนทำให้โครงสร้าง triple helix เสถียรโดยป้องกันการหมุนตัวของพันธะ N-C ส่วนไฮดรอกซีโพรลีนก็ช่วยทำให้โมเลกุลคอลลาเจนเสถียร คอลลาเจนที่มีปริมาณกรดอิมิโน (imino acid) ต่ำ จะเสียสภาพที่อุณหภูมิต่ำกว่าคอลลาเจนที่มีกรดอิมิโนสูง พบว่าปริมาณกรดอิมิโนและความเสถียรต่อความร้อนของคอลลาเจนในปลามีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของน้ำที่ปลาอาศัยอยู่ (Foegeding, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.4 Proline (ซ้าย) และ 4-hydroxyproline (ขวา)

ที่มา: Barrett and Elmore (2004)

คอลลาเจนยังมีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบ ซึ่งอาจเป็นแล็กโทสหรือกาแล็กโทส เชื่อมต่อกับไฮดรอกซีไลซีนที่หมู่ไฮดรอกซิลของกรดอะมิโน การเชื่อมต่อกับหมู่น้ำตาล (glycosylation) และอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวกับน้ำตาลโมเลกุลคู่ ขึ้นอยู่กับชนิดของคอลลาเจนและสภาวะทางสรีรวิทยา หน้าที่ของคาร์โบไฮเดรตในคอลลาเจนยังไม่ทราบแน่ชัด แต่อาจจะเกี่ยวข้องกับการรวมตัวเป็น fibril ของโมเลกุลคอลลาเจนและการกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ fibril (Schrieber and Gareis, 2007)

ปัจจุบันพบคอลลาเจนในสัตว์อย่างน้อย 30 ชนิด แต่ชนิดที่พบมากในปลาคือ ชนิด I นอกจากนี้ยังพบชนิด II, III, IV, V และ VI ด้วย ลักษณะสำคัญของคอลลาเจนทั้ง 6 ชนิดแสดงดังตารางที่ 2.2 (Nishimoto et al., 2004; Rigo et al., 2002; Bruggemann and Lawson, 2005)

ตารางที่ 2.2 ชนิดของคอลลาเจนที่พบในปลา

ชนิด	สายองค์ประกอบ	ตำแหน่งที่พบ
I	$[\alpha 1(I)]_2[\alpha(I)]$	ผิวหนัง กระดูก และเส้นเอ็น
II	$[\alpha 1(II)]_3$	กระดูกอ่อน
III	$[\alpha 1(III)]_3$	หลอดเลือด และลำไส้
IV	$[\alpha 1(IV)_2[\alpha 2(IV)]$	ชั้นรองรับเยื่อบุผิว (basal lamina) เลนส์ตา และระบบกรองภายในไต
V	$[\alpha 1(V)][\alpha 2(V)][\alpha 3(V)]$	เนื้อเยื่อแทรก
VI	$[\alpha 1(VI)][\alpha 2(VI)][\alpha 3(VI)]$	เนื้อเยื่อแทรก

ที่มา: King (2006) และ Whitford (2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 เจลาติน (gelatin)

เจลาตินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเสียสภาพหรือการแตกสลายของคอลลาเจน เจลาตินสามารถก่อเจลร่วมกับน้ำ เกิดเป็นเจลที่ย้อนกลับได้ด้วยความร้อน (thermally reversible gel) เจลาตินที่มีจำหน่ายในปัจจุบันมีทั้งที่อยู่ในรูปเจลาตินผงและเจลาตินแผ่น ข้อเสียของเจลาตินคือผลิตจากหนังหรือกระดูกสัตว์ ในขณะที่สารก่อเจลอื่นๆ เช่น สตาร์ช แอลจิเนต เพคติน วุ้น และคาราจีแนน เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ได้มาจากพืช อย่างไรก็ตามเจลของสารเหล่านี้ขาดสมบัติละลายในปากและความยืดหยุ่นซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของเจลาติน (Cole, 2000)

2.3.1 เคมีและชีวเคมีของเจลาติน

เจลาตินเป็นโปรตีนที่เป็นทั้งกรดและด่าง (amphoteric protein) มีจุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point) อยู่ในช่วง 5 ถึง 9 ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและวิธีการผลิต กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของเจลาตินเหมือนกับกรดอะมิโนที่พบในคอลลาเจน คือมีไกลซีนประมาณ 1 ใน 3 ของกรดอะมิโนทั้งหมด มีโพรลีนและไฮดรอกซีโพรลีนสูง ส่วนโปรตีนอีกชนิดที่มีไฮดรอกซีโพรลีนคือ อีลาสติน (elastin) แต่อีลาสตินมีปริมาณของไฮดรอกซีโพรลีนต่ำกว่าในคอลลาเจนมาก ดังนั้นจึงสามารถวัดปริมาณไฮดรอกซีโพรลีนเพื่อหาปริมาณคอลลาเจนหรือเจลาตินในอาหารได้ เจลาตินส่วนใหญ่สกัดได้จากวัตถุดิบที่มีคอลลาเจนชนิดที่ 1 มาก ซึ่งเป็นชนิดที่ไม่มีซิสตีน อย่างไรก็ตาม หนังหรือกระดูกสัตว์อาจมีคอลลาเจนชนิดที่ 3 อยู่ด้วย ซึ่งอาจทำให้พบซิสตีนปริมาณน้อยมากในเจลาตินที่สกัดออกมา (Cole, 2000)

คอลลาเจนเกิดจากการรวมตัวกันของ α-chain ด้วยพันธะหลายชนิด แต่พันธะเหล่านี้ถูกรีดิวซ์ได้ง่าย เมื่อคอลลาเจนพัฒนาสมบูรณ์เต็มที่ พันธะเหล่านี้จะเสถียรมากขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป หมู่อีตาอะมิโน (eta-amino) ของไลซีนจะถูกเชื่อมต่อกับอาร์จินีนโดยโมเลกุลกลูโคสโดยปฏิกิริยาเมลลาร์ด เกิดเป็นพันธะชนิด pentosidine ซึ่งเสถียรมาก ในกระบวนการสกัดเจลาตินจากหนังของสัตว์ที่ยังอ่อนด้วยวิธีที่ใช้ด่าง พบว่าด่างจะทำลายพันธะ pyridinoline ซึ่งเป็นพันธะเริ่มต้นของการรวมตัวของ α-chain ดังนั้นในการให้ความร้อนในขั้นตอนต่อมาจะทำให้คอลลาเจนถูกปลดปล่อยออกมาในรูป α-chain ที่เสียสภาพ แต่ในกรณีของการสกัดเจลาตินจากหนังของสัตว์แก่ ซึ่งคอลลาเจนมีพันธะ pentosidine เกิดขึ้นแล้วนั้น กระบวนการหลักในการทำให้คอลลาเจนเสียสภาพคือการไฮโดรไลซิสพันธะเพปไทด์ด้วยความร้อน เกิดเป็นสายย่อยของโปรตีนที่มีขนาดโมเลกุลต่างๆ กัน ส่วนในกระบวนการสกัดที่ใช้กรดนั้น การเสียสภาพของคอลลาเจนจะเกิดจากการไฮโดรไลซิสพันธะเพปไทด์ร่วมกับความร้อนเท่านั้น และส่วนที่ถูกสกัดออกมาในรูป α-chain จะมีเพียงเล็กน้อย (Cole, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

คอลลาเจนสามารถทนเอนไซม์ย่อยโปรตีนส่วนใหญ่ การย่อยสลายคอลลาเจนด้วยเอนไซม์ต้องใช้เอนไซม์คอลลาจีเนส (collagenase) พิเศษ ในขณะที่เจลาตินถูกย่อยสลายได้ง่ายด้วยเอนไซม์ย่อยโปรตีนส่วนใหญ่ แต่เอนไซม์เหล่านั้นจะไม่ย่อยเจลาตินให้กลายเป็นเพปไทด์ที่มีกรดอะมิโนต่ำกว่า 20 ตัว (Cole, 2000)

การเชื่อมต่อโมเลกุลเจลาตินด้วยแอลดีไฮด์สามารถเพิ่มการใช้ประโยชน์จากเจลาตินได้ การใช้ glutaraldehyde กับฟิล์มเจลาตินช่วยเพิ่มความคงตัวต่อความร้อน ลดการละลายน้ำ รวมถึงปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มเจลาติน ในญี่ปุ่นและบราซิลยอมรับให้ใช้เอนไซม์ทรานส์-กลูตามิเนส (trans-glutaminase) สำหรับเชื่อมต่อระหว่างโมเลกุลเจลาตินหรือเจลาตินกับโปรตีนอื่นให้ใช้ในอาหารได้ ปรากฏการณ์ที่อาจเกิดขึ้นจากการเก็บเจลาตินไว้ในตู้ไม้ใหม่ คือเจลาตินละลายน้ำได้น้อยลง เนื่องจากฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde) จากกาวระเหยออกมาและทำให้โมเลกุลเจลาตินเชื่อมต่อกัน แต่ปรากฏการณ์นี้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตสารยึดติดที่ทนน้ำจากเจลาติน นอกจากนี้ ควันที่ใช้ถนอมอาหารซึ่งมีอัลดีไฮด์ปริมาณสูงอาจทำปฏิกิริยากับเจลาตินได้ (Cole, 2000)

2.3.2 ความปลอดภัยของเจลาติน

เจลาตินถือว่าเป็นส่วนประกอบในอาหารมากกว่าจะเป็นวัตถุเจือปนในอาหาร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาจัดให้เจลาตินเป็นสารที่โดยทั่วไปถือว่าปลอดภัย (Generally regarded as safe, GRAS) นอกจากนี้ Joint Expert Commission on Food Additive (JEFCA) จัดให้เจลาตินเป็นสารที่ใช้ได้อย่างไม่จำกัด ในช่วงแรกที่เกิดการระบาดของโรควัวบ้า ผู้บริโภคหวาดระแวงว่าผลิตภัณฑ์ที่มีต้นกำเนิดจากวัวอาจแพร่เชื้อและทำให้เกิดโรคระบบประสาทและสมองที่เรียกว่า Creutzfeldt–Jakob disease (CJD) ในคน ซึ่งเป็นการประเมินโดยไม่อาศัยหลักการทางวิทยาศาสตร์ ในปัจจุบันมีข้อพิสูจน์ว่าโรควัวบ้านี้ไม่เกี่ยวข้องกับหนังของสัตว์ และเชื้อพริออนไม่สามารถรอดชีวิตจากกระบวนการผลิตเจลาตินได้ (Cole, 2000)

เจลาตินเป็นอาหารที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียส่วนใหญ่ ดังนั้นกระบวนการผลิตจะต้องมีสุขอนามัยที่ดีเพื่อป้องกันการปนเปื้อน นอกจากนี้ยังควรใช้ระบบ Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) ในการผลิต (Baziwane and He, 2003)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 การสกัดเจลาติน

ขั้นตอนการสกัดเจลาตินโดยสังเขปเป็นดังรูปที่ 2.5

วัตถุดิบ เช่น กระดูกและหนังสัตว์

↓

การปรับสภาพหนังปลา (pretreatment) ด้วยกรดหรือด่าง

↓

การสกัดด้วยความร้อน

↓

การทำให้เจลาตินบริสุทธิ์ เช่น การกรอง การขจัดไอออน

↓

การฆ่าเชื้อ

↓

การทำแห้ง

รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการผลิตเจลาตินในระดับอุตสาหกรรม

ดัดแปลงจาก: Schrieber and Gareis (2007)

2.4.1 วัตถุดิบ

วัตถุที่มีคอลลาเจนเป็นส่วนประกอบสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดเจลาตินได้ แต่วัตถุดิบส่วนใหญ่ซึ่งหาได้ทางการค้าประกอบด้วย กระดูกสัตว์ที่ขจัดแร่ธาตุแล้ว (ossein) หนังสุกร หนังโค หนังปลา และในประเทศจีนยังใช้หนังลาเป็นวัตถุดิบในการสกัดเจลาตินอย่างแพร่หลาย (Cole, 2000)

รูปที่ 2.6 วัตถุดิบหลักในการผลิตเจลาตินในปัจจุบันคือกระดูกที่ขจัดแร่ธาตุแล้ว (ossein) (ซ้าย) และหนังสุกร (ขวา)

ที่มา: Pioneer Asia Group (2008) และ Gelita (2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2 การปรับสภาพวัตถุดิบ

คอลลาเจนในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของสัตว์ละลายได้ช้ามากแม้ในน้ำเดือด เนื่องจากคอลลาเจนมีพันธะเชื่อมต่อตามธรรมชาติ ดังนั้นก่อนการสกัดจึงต้องปรับสภาพวัตถุดิบเพื่อทำลายพันธะที่ไม่ใช่โควาเลนท์ (non-covalent bonds) และทำลายการจัดเรียงตัวของโปรตีน ทำให้โปรตีนพองตัว ซึ่งง่ายต่อการทำลายพันธะทั้งภายในและภายนอกโมเลกุลของคอลลาเจน การปรับสภาพวัตถุดิบนิยมใช้สารละลายกรดหรือด่างที่เจือจางมาก ซึ่งจะทำลายเฉพาะพันธะเชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุล ส่วนการสลายพันธะภายในโมเลกุลของคอลลาเจนเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย (Gómez-Guillén et al., 2009)

ระยะเวลาการปรับสภาพขึ้นอยู่กับอายุของสัตว์ วัตถุดิบจากสัตว์ที่มีอายุมากต้องปรับสภาพนานกว่าสัตว์ที่มีอายุน้อย เนื่องจากพันธะที่เชื่อมต่อโมเลกุลคอลลาเจนของสัตว์ที่มีอายุมากจะแข็งแรงกว่าสัตว์ที่มีอายุน้อย ส่วนหนังหมูซึ่งมีปริมาณไขมันสูงควรปรับสภาพด้วยกรดเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชัน อย่างไรก็ตาม วัตถุดิบทุกชนิดสามารถใช้การปรับสภาพด้วยกรดได้ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การปรับสภาพที่เหมาะสมกับวัตถุดิบแต่ละชนิดสำหรับการสกัดเจลาติน

ชนิดวัตถุดิบ	วิธีการปรับสภาพ	
	กรด	ด่าง
กระดูก	X	X
หนังโค	X	X
หนังสุกร	X	
หนังปลา	X	
หนังสัตว์ปีก	X	
เท้าสัตว์ปีก	X	

ดัดแปลงจาก: Schrieber and Gareis (2007)

นอกจากการปรับสภาพด้วยกรดและด่างแล้ว ยังสามารถใช้เอนไซม์ร่วมในการทำลายพันธะเชื่อมข้าม โดยเอนไซม์ที่ใช้จะต้องเป็นคอลลาจีเนส (collagenase) ชนิดพิเศษ เนื่องจากเอนไซม์ย่อยโปรตีนโดยทั่วไปไม่สามารถย่อยคอลลาเจนในรูปธรรมชาติได้ ดังนั้นร่างกายคนจึงสามารถย่อยเจลาตินได้ แต่ย่อยคอลลาเจนไม่ได้ (Schrieber and Gareis, 2007)

การปรับสภาพวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมโดยทั่วไป ได้แก่การใช้สารละลายกรดหรือด่าง อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการปรับสภาพวัตถุดิบด้วยสารอื่น เช่น สารละลายเกลือและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น การศึกษาเกี่ยวกับการปรับสภาวะหนังปลามีดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1) สารละลายกรด

ชนิดของกรดและชนิดของปลามีผลต่อสมบัติของเจลาติน ซึ่งจากการศึกษาการปรับสภาพหนังปลา megrim (*Lepidorhombus boscii*) ด้วยกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ ได้แก่ กรดฟอร์มิก กรดแอซีติก กรดโพรพิโอนิก กรดแลคติก กรดมาลิก กรดทาร์ทาริก และกรดซิตริก ที่ความเข้มข้น 0.05, 0.1 และ 0.5 M เป็นเวลา 16-18 ชม. จากนั้นจึงสกัดเจลาตินในน้ำกลั่นที่ 45°C นาน 30 นาที พบว่า การปรับสภาพด้วยกรดแอซีติกและกรดโพรพิโอนิกทำให้ได้เจลาตินที่มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่น ค่ามอดูลัสข้นหนืด อุณหภูมิหลอมเหลว และความแข็งแรงของเจลสูง โดยเฉพาะเมื่อผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 M มาก่อน อย่างไรก็ตาม การปรับสภาพด้วยกรดแอซีติกและกรดโพรพิโอนิกอาจส่งผลต่อกลิ่นของเจลาติน แต่การล้างวัตถุดิบซึ่งเป็นขั้นตอนต่อมาจะช่วยขจัดกลิ่นได้ การปรับสภาพด้วยกรดแลคติกและกรดฟอร์มิกช่วยให้การสกัดเจลาตินเกิดได้ดีเช่นกัน การปรับสภาพด้วยกรดแลคติกไม่ส่งผลต่อกลิ่นของเจลาติน การปรับสภาพด้วยกรดซิตริกได้เจลาตินที่มีความขุ่นน้อยที่สุด ส่วนการปรับสภาพด้วยกรดโพรพิโอนิกได้เจลาตินที่มีความขุ่นสูงที่สุด การปรับสภาพด้วยกรดกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก กรดฟูมาริก และกรดมาลิกจะทำให้สารละลายที่ใช้สกัดมี pH ต่ำ, ionic strength สูง และหนังปลาพองตัวน้อย ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจทำให้คอลลาเจนเสียสภาพมากเกินไป ส่งผลให้สายเจลาตินไม่สามารถจัดเรียงตัวได้อย่างเหมาะสมในการเกิดเจล นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ความเข้มข้นของกรดที่สูงกว่า 0.05 M ไม่ทำให้สมบัติทางรีโอโลยีของเจลาตินสูงขึ้น (Gómez-Guillén and Montero, 2001) เจลาตินที่ได้จากการปรับสภาพด้วยกรดเรียกว่าเจลาตินชนิด A มีจุดไอโซอิเล็กทริกอยู่ในช่วง 7 ถึง 9 (Cole, 2000)

สำหรับการสกัดเจลาตินจากหนังปลา Dover sole (*Solea vulgaris*) โดยการปรับสภาพหนังปลาด้วยกรดแลคติก 0.025 และ 0.05 M เปรียบเทียบกับกรดแอซีติก 0.05 M พบว่า การปรับสภาพด้วยกรดแลคติกความเข้มข้น 0.025 M จะได้เจลาตินที่มีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับการใช้กรดแอซีติก 0.05 M โดยไม่ส่งผลเสียต่อลักษณะทางประสาทสัมผัส อย่างไรก็ตามการปรับสภาพด้วยกรดแลคติกความเข้มข้น 0.05 M จะทำให้เจลาตินถูกไฮโดรไลซ์มากเกินไป ซึ่งส่งผลทำให้สมบัติทางกายภาพ เช่นความแข็งแรงของเจล และความหนืดลดลง (Giménez et al., 2005b)

การปรับสภาพหนังปลา channel catfish (*Ictalurus punctatus*) ด้วยสารละลายต่างๆ มีผลต่อสมบัติของฟิล์มเจลาตินที่ได้ โดยพบว่า ปรับสภาพหนังปลาด้วยกรดแอซีติก 0.09 M เป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนสกัดด้วยน้ำที่ 50°C 3 ชม. จะได้ฟิล์มเจลาตินที่มีค่า tensile strength สูง โดยเฉพาะเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.025 M แล้วตามด้วยกรดแอซีติกจะสามารถคงสภาพของ α-chain ไว้ได้มาก ขนาดโมเลกุลโดยรวมของเจลาตินที่ได้สูงกว่าเจลาตินทางการค้าจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม นอกจากนี้ฟิล์มเจลาตินจากปลา channel catfish ที่ผ่านสกัดด้วยสภาวะที่เหมาะสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังกล่าวยังมีค่า tensile strength, elongation และการแพร่ผ่านของไอน้ำไม่แตกต่างจากเจลาตินจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Zhang et al., 2007a)

การปรับสภาพหนังปลา Alaska Pollock ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 M ด้วยสารละลายกรดแอซีติก กรดซิตริก และกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.01, 0.025, 0.05, 0.075 และ 0.1 M ก่อนการสกัดในน้ำกลั่นที่ 50°C 3 ชม.พบว่า การปรับสภาพด้วยกรดทั้งสามได้ผลผลิตเจลาตินต่ำเมื่อความเข้มข้นของกรดต่ำกว่า 0.05 M และผลผลิตเจลาตินจะสูงขึ้นอย่างมากเมื่อใช้ความเข้มข้น 0.05 M การใช้ความเข้มข้นของกรดสูงกว่านี้สามารถเพิ่มผลผลิตเจลาตินเพียงเล็กน้อย ส่วนความแข็งแรงของเจลมีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นของกรด 0.05 M ในกรดทั้งสามชนิด ความเข้มข้นของกรดที่สูงหรือต่ำกว่านี้ทำให้ความแข็งแรงของเจล ลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของกรดที่ความเข้มข้นเดียวกันพบว่ากรดแอซีติกให้ความแข็งแรงของเจลสูงที่สุด รองลงมาคือกรดซิตริก และกรดซัลฟิวริก ตามลำดับ ค่าที่แตกต่างกันนี้เป็นผลมาจากความสามารถในการแตกตัวของกรด โดยกรดซัลฟิวริกเป็นกรดแก่ที่แตกตัวให้ H^+ มากที่สุด ส่วนกรดซิตริกและกรดแอซีติกเป็นกรดอ่อน ซึ่งกรดซิตริกแตกตัวได้มากกว่ากรดแอซีติก ดังนั้นเมื่อพิจารณา pH ของสารละลายจะพบว่า ค่าผลผลิตและความแข็งแรงของเจลของเจลาตินที่สกัดจากกรดทั้งสามชนิดมีค่าอยู่บนเส้นแนวโน้มเดียวกัน โดยผลผลิตเจลาตินจะสูงขึ้นอย่างมากเมื่อลด pH จาก 9 มาถึง 4 แต่ผลผลิตเจลาตินเพิ่มขึ้นไม่มากนักเมื่อ pH ต่ำกว่า 4 ส่วนความแข็งแรงของเจลมีค่าสูงสุดที่ pH 6 และลดลงเมื่อ pH สูงหรือต่ำกว่านี้ (Zhou and Regenstein, 2005)

2) การใช้สารละลายด่าง

การปรับสภาพด้วยด่างนี้เหมาะสำหรับวัตถุดิบที่ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ และเหมาะกับกระดูกที่ผ่านการกำจัดแร่ธาตุออกแล้ว (ossein) ระยะเวลาของกระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายด่างและอุณหภูมิที่ใช้ การกวนสามารถช่วยเร่งความเร็วของกระบวนการนี้ได้ ความแข็งแรงของเจลและความหนืดของเจลาตินที่ได้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น อุณหภูมิของด่าง และระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ การปรับสภาพนานมักทำให้ได้เจลาตินที่มีความหนืดสูง

การปรับสภาพด้วยด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ จะช่วยขจัดสารที่ไม่ใช่โปรตีน เช่น mucopolysaccharide สารประกอบซัลเฟอร์ น้ำตาล และไขมัน รวมถึงโปรตีนที่ไม่ใช่คอลลาเจน โดยเฉพาะอัลบูมิน และโกลบูลิน กระบวนการนี้ยังช่วยลดความแตกต่างของวัตถุดิบเช่น อายุของสัตว์ เป็นต้น การใช้สารละลายด่างที่มีความรุนแรงเกินไปจะทำให้คอลลาเจนละลายได้ในน้ำเย็น ดังนั้นการล้างวัตถุดิบในขั้นตอนต่อมาจะทำให้คอลลาเจนถูกชะออกไปด้วย ส่งผลให้ผลผลิตเจลาตินลดลง (Cho et al., 2006; Schrieber and Gareis, 2007) สารละลายด่างยังเปลี่ยนกรดอะมิโนแอสพาราจีนและกลูตามีนเป็นกรดแอสพาร์ติกและกรดกลูตามิก เจลาตินที่ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากกระบวนการนี้จึงมักมีจุดไอโซอิเล็กทริกอยู่ในช่วง pH 4 ถึง 5 (Baziwane and He, 2003) อย่างไรก็ตาม หากการปรับสภาพด้วยด่างใช้เวลาน้อยกว่า 7 วัน เจลาตินที่ได้จะมีจุดไอโซอิเล็กทริกประมาณ 6 เจลาตินที่ได้จากการปรับสภาพด้วยด่างเรียกว่าเจลาตินชนิด B (Cole, 2000)

การปรับสภาพหนังปลา skate (*Raja Kenojei*) ด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2% เป็นเวลา 2 วัน ที่อุณหภูมิ 5°C ก่อนปรับ pH ให้เป็น 7 แล้วสกัดด้วยน้ำกลั่นที่ 50°C เป็นเวลา 3 ชม. พบว่า การปรับสภาพด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.5% ได้ผลผลิตเจลาติน ความแข็งแรงของเจล ความหนืด และความสว่างสูงที่สุด (Cho et al., 2006) ส่วน ศึกษาการปรับสภาพหนังปลา Alaska Pollock ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.01, 0.1, 0.2 และ 0.5 M เป็นเวลา 60 นาที เปรียบเทียบกับการใช้กรดแอซีติก 0.05 M 60 นาที พบว่า การใช้สารละลายด่างที่มีความเข้มข้นของไฮดรอกซีไอออนต่ำกว่า 0.5 M สามารถขจัดโปรตีนที่ไม่ใช่คอลลาเจน (non-collagenous protein) โดยไม่ทำให้คอลลาเจนละลายออกไปด้วย ในขณะที่การใช้กรดจะทำให้คอลลาเจนละลายออกไป แม้จะใช้กรดอ่อนที่ความเข้มข้นต่ำ และอุณหภูมิต่ำ คอลลาเจนยังคงละลายออกไปบางส่วน โดยตรวจพบกรดอะมิโนไฮดรอกซีโพรลีนในสารละลายกรดที่ใช้ปรับสภาพ เมื่อนำมาทดสอบด้วย SDS-PAGE พบว่ามีโมเลกุลขนาด 124 และ 209 kDa แสดงว่ามีคอลลาเจนละลายออกมาจำนวนมาก นอกจากนี้ การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M หรือการใช้กรดแอซีติก 0.05 M สามารถยับยั้งเอนไซม์โปรตีเอสในหนังปลา ซึ่งเป็นสาเหตุของการย่อยสลายโมเลกุลเจลาตินได้ การปรับสภาพด้วยสารละลายด่างและตามด้วยสารละลายกรดไม่เพียงแต่จะขจัดโปรตีนที่ไม่ใช่คอลลาเจน แต่ยังปรับ pH ให้เหมาะสมกับการสกัดเจลาตินในขั้นต่อมา ซึ่งจะทำลายพันธะเชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลคอลลาเจน ทำให้เจลาตินละลายออกมา โดยทำลายพันธะเพปไทด์เพียงเล็กน้อย (Zhou and Regenstein, 2005)

การสกัดคอลลาเจนใช้วิธีการปรับสภาพหนังปลาที่คล้ายกับการสกัดเจลาติน โดยสารละลายที่นิยมใช้คือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน เช่น ปลา silver-line grunt ใช้เวลา 4 ชม. (Noitup, 2004) ปลาคาร์พใช้เวลา 6 ชม. (Duan et al., 2009) ปลา grass carp ใช้เวลา 12 ชม. (Zhang et al., 2007b) และปลา skate ใช้เวลา 24 ชม. (Hwang et al., 2007) โดยเปลี่ยนสารละลาย 2 ถึง 3 ครั้ง

3) สารละลายเกลือ

วิธีการหนึ่งที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงคุณภาพของเจลาตินคือการใช้สารละลายเกลือ ทั้งนี้อิเล็กโทรไลต์มีผลต่อการพองตัว การละลาย การก่อเจล ความหนืด และการอุ้มน้ำของโปรตีน ซึ่งผลดังกล่าวขึ้นอยู่กับค่า ionic strength และ pH ของสารละลาย ไอออนของเกลืออาจจับโดยตรง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กับสายเพปไทด์หลักของคอลลาเจนหรือมีผลทางอ้อมต่อการม้วนตัวของคอลลาเจนโดยมีอันตรกิริยา (interaction) กับ bound water ที่จับกับคอลลาเจน ไอออนจากเกลือที่เป็นกลางอาจทำลายพันธะ non-ionic ของคอลลาเจน เช่น พันธะไฮโดรเจน ทำให้เกิดการดูดน้ำ เรียกว่า lyotropic hydration ดังนั้นสาร lyotropic agent อาจเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของน้ำรอบๆ โมเลกุลคอลลาเจน ทำลายพันธะไฮโดรเจน หรือมีอันตรกิริยากับพันธะไฮโดรโฟบิกโดยจับกับตำแหน่งต่างๆ ในสายเพปไทด์โดยตรง (Giménez et al., 2005a)

การล้างหนังปลา Dover sole (*Solea vulgaris*) ด้วยสารละลายเกลือชนิดต่างๆ ได้แก่ NaCl, KCl, $MgCl_2$ และ $MgSO_4$ ที่ความเข้มข้น 0.8 M เป็นเวลา 2 นาทีก่อนการสกัดด้วยกระบวนการใช้กรด โดยพบว่า การล้างหนังปลาด้วยเกลือ KCl หรือ NaCl ทำให้ได้ผลผลิตเจลาตินสูง และเจลาตินที่ได้มี α-chain และ β-component เหลืออยู่มาก จึงส่งผลทำให้มีความแข็งแรงของเจลและสมบัติวิสโคอิลาสติกดีกว่าการใช้เกลือ $MgCl_2$, $MgSO_4$ และการไม่ใช้เกลือ แต่การล้างด้วย $MgSO_4$ หรือ $MgCl_2$ ทำให้ผลผลิตเจลาตินลดลง เนื่องจาก Mg^{2+} สร้างพันธะ ionic ระหว่างสายคอลลาเจน โดยเฉพาะ $MgSO_4$ ทำให้สกัดได้เฉพาะโมเลกุลขนาดเล็ก นอกจากนี้ Mg^{2+} ที่เหลืออยู่ในเจลาตินหลังการสกัด ยังทำให้เจลาตินที่ได้มีคุณภาพลดลง อย่างไรก็ตาม การใช้เกลือเหล่านี้โดยเฉพาะคลอไรด์ล้างหนังปลาก่อนการสกัด จะช่วยละลาย myofibrillar protein ทำให้ขจัดเนื้อออกจากหนังได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังอาจทำให้คอลลาเจนอยู่ในรูปที่เหมาะสมต่อการสกัด (Giménez et al., 2005a)

4) สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารออกซิแดนท์ที่ใช้ฟอกสีอาหารทะเล เมื่อ H_2O_2 ละลายน้ำจะแตกตัว สลายพันธะ O-H หรือ O-O เกิดเป็น hydroperoxyl anion (HOO^-), อนุมูล hydroperoxyl ($HOO^\bullet$) และอนุมูล hydroxyl ($OH^\bullet$) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับสารหลายชนิด รวมถึง chromophore ซึ่งเป็นสารให้สี การแช่หนังปลาในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นอกจากจะช่วยลดการเกิดสีคล้ำของเจลาตินแล้ว ยังช่วยเพิ่มผลผลิตของเจลาตินด้วย เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะสลายพันธะไฮโดรเจน จึงทำให้สกัดได้ง่ายขึ้น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ยังทำให้เกิดออกซิเดชันของกรดอะมิโนทริปโตเฟน ฮิสติดีน โพรลีน ไลซีน ซีสเตอีน เมไทโอนีน และไทโรซีน โดยดึงอะตอมไฮโดรเจนออกจากหมู่ OH-, S- หรือ N- ทำให้โครงสร้างของคอลลาเจนหรือเจลาตินเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้เจลาตินมีค่า bloom strength สูงขึ้น เนื่องจากออกซิเดชันทำให้เกิดหมู่คาร์บอนิลซึ่งจะเกิด Schiff base ร่วมกับหมู่อะมิโน นำไปสู่การเชื่อมข้ามของโปรตีน (Aewsiri et al., 2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การสกัดเจลาตินจากหนังปลา cuttlefish โดยปรับสภาพหนังปลาด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 2% และ 5% เป็นเวลา 24 และ 48 ชม. พบว่า ผลผลิตเจลาตินและความแข็งแรงของเจลมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และระยะเวลาการปรับสภาพ การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% เป็นเวลา 48 ชม. ได้ผลผลิตเจลาตินและความแข็งแรงของเจลสูงที่สุด การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ยังเพิ่มความสว่างของเจล สมบัติเกี่ยวกับอิมัลชัน และการเกิดโฟมของเจลาตินด้วย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำให้เจลาตินเกิดออกซิเดชันส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนิลในเจลาตินสูงขึ้น แต่คาร์บอนิลที่เพิ่มขึ้นนี้ทำให้เกิดการเชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลของเจลาตินมากขึ้น สมบัติด้านต่างๆ ของเจลาตินจึงดีขึ้น (Aewsiri et al., 2009)

2.4.3 การสกัดเจลาติน

คอลลาเจนและเจลาตินเป็น macromolecule เดียวกัน แต่มีรูปแบบต่างกัน การสกัดคอลลาเจนด้วยสารละลายกรดที่อุณหภูมิต่ำ จะทำให้คอลลาเจนละลายโดยไม่เปลี่ยนแปลงโครงสร้าง triple helix ของคอลลาเจน แต่หากใช้อุณหภูมิสูงขึ้น ความร้อนจะสลายพันธะไฮโดรเจนและโควาเลนท์ เช่น พันธะเอไมด์ ทำให้ triple helix ไม่เสถียรและเกิด helix-to-coil transition ได้เป็นเจลาติน โมเลกุลของเจลาตินมีหลายขนาดผสมกันตั้งแต่ 16-150 kDa อุณหภูมิที่สูงกว่า 40°C จะทำให้ได้เจลาตินซึ่งละลายอยู่ในรูป random coil อย่างไรก็ตาม บางตำแหน่งของเจลาตินยังคงรูปร่างเป็น helix ขึ้นกับจำนวน pyrrolidine residues คือโพรลีนและไฮดรอกซีโพรลีนในเจลาติน (Cho et al., 2006; Kolodziejska et al., 2008)

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสกัดเจลาตินมีดังนี้

1) อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดเจลาตินจะต้องสูงกว่าอุณหภูมิที่ทำให้คอลลาเจนเสียสภาพ โดยคอลลาเจนจากโคและสุกรเสียสภาพที่อุณหภูมิ 35-40°C ในทางอุตสาหกรรมจึงสกัดที่อุณหภูมิ 45°C ขึ้นไป คอลลาเจนจากปลาน้ำเย็นเสียจะสภาพที่อุณหภูมิ 15-20°C จึงสามารถใช้อุณหภูมิสกัดที่ต่ำลงได้

จากการศึกษาการสกัดเจลาตินจากปลา skate โดยปรับสภาพหนังปลาด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5% แล้วนำไปสกัดในสารละลาย pH 6 ที่อุณหภูมิ 40-70°C เป็นเวลา 3 ชม. พบว่าผลผลิตเจลาตินจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้สกัด แต่ความหนืดและความแข็งแรงของเจลสูงสุดที่อุณหภูมิการสกัด 40°C เนื่องจากอุณหภูมิสูงทำลายพันธะไฮโดรเจนและหมู่ไฮดรอกซิลของกระอะมิโนอิสระ ค่าสี a* และ b* จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้สกัด อย่างไรก็ตาม การสกัดที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิ 50°C ได้ผลผลิตเจลาตินสูงกว่าการสกัดที่ 40°C มาก โดยมีคุณภาพด้อยกว่าเพียงเล็กน้อย (Cho et al., 2006)

ส่วนการศึกษาการสกัดเจลาตินจากปลา saithe โดยปรับสภาพหนังปลาด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M, 24 ชม. ตามด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1%, 30 นาที ก่อนสกัดที่อุณหภูมิ 22, 45 และ 65°C เป็นเวลา 12-24 ชม. พบว่า การสกัดที่อุณหภูมิและระยะเวลาดังกล่าวให้ผลผลิตเจลาตินไม่แตกต่างกัน โดยขนาดโมเลกุล อุณหภูมิก่อเจล อุณหภูมิหลอมเหลว มอดูลัสสะสม และปริมาณฮีลิกซ์ของเจลาตินที่สกัดที่อุณหภูมิ 22 และ 45°C ใกล้เคียงกัน แสดงว่าอุณหภูมิ 22°C เพียงพอต่อการสกัดเจลาตินจากปลาชนิดนี้ แต่เจลาตินที่สกัดที่อุณหภูมิ 65°C มีสมบัติทางกายภาพลดลง แสดงว่าเกิดไฮโดรไลซิสเนื่องจากความร้อน ซึ่งส่งผลให้สมบัติเหล่านั้นลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า สมบัติทางกายภาพที่ศึกษาแปรผันตามขนาดโมเลกุลของเจลาติน (Eysturskard et al., 2009)

2) pH ของสารละลายที่ใช้สกัด

การสกัดเจลาตินจากปลา saithe โดยใช้สารละลาย pH 4-9 ซึ่งปรับ pH ด้วยกรดไฮโดรคลอริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนการสกัดที่ 50°C 3 ชม. พบว่า ค่า pH ของสารละลายและระยะเวลาการสกัดมีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของเจลาตินที่สกัดได้ การสกัดที่ pH ต่ำจะทำให้ได้ผลผลิตเจลาตินสูงขึ้น แต่ความแข็งแรงและความสว่างของเจลจะสูงสุดที่ pH 6-7 ในขณะที่การเพิ่มระยะเวลาการสกัดจะช่วยให้สกัดเจลาตินออกมาได้มากขึ้น แต่ความแข็งแรงและความสว่างของเจลไม่ผันแปรโดยตรงกับระยะเวลาการสกัด โดยความแข็งแรงและความสว่างของเจลาตินจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรก แต่การสกัดนานเกินไปจะทำให้โมเลกุลของคอลลาเจนถูกไฮโดรไลซ์ ซึ่งส่งผลให้ความแข็งแรงของเจลลดลง Cho et al. (2006)

3) ระยะเวลาการสกัด

Cho et al. (2006) ได้ศึกษาการสกัดเจลาตินจากปลา saithe โดยใช้สารละลาย pH 6 อุณหภูมิการสกัด 50°C เป็นเวลา 3 ถึง 6 ชม. พบว่า การสกัดเป็นระยะเวลานานทำให้ได้ผลผลิตเจลาตินมากขึ้น โดยความหนืดและความแข็งแรงของเจลลดลงไม่มากนัก

สภาวะการสกัดเจลาตินจากหนังปลาชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.4 การปรับสภาพวัตถุดิบมีทั้งที่ใช้ด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และกรด เช่น กรดซิตริก กรดซัลฟิวริก และกรดซิตริก หรือใช้กรดและด่างร่วมกัน ตามด้วยการสกัดที่ 45-70°C โดยระยะเวลาที่ใช้อยู่ในช่วง 2-18 ชม. พบว่า ผลผลิตเจลาตินที่ได้อยู่ในช่วง 6.5-23% ซึ่งแตกต่างไปตามสภาวะที่สกัดและชนิดของปลา การสกัดเจลาตินจากปลาเขตน้ำเย็น เช่น ปลาคอด และปลาแซลมอน จะได้เจลาตินค่อนข้างน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.4 สภาวะการสกัดเจลาตินจากปลาต่างๆ และผลผลิตเจลาตินที่ได้

วัตถุดิบ	การปรับสภาพ	การสกัด	ผลผลิตเจลาติน (%)	เอกสารอ้างอิง
หนังปลา sole	0.2 M sodium hydroxide, 1.5 ชม. ตามด้วย 0.05 M acetic acid, 3 ชม.	45°C, ข้ามคืน	8.3	Gómez-Guillén et al. (2002)
หนังปลา megrim			7.4	
หนังปลา cod			7.2	
หนังปลา hake			6.5	
หนังปลา Atlantic salmon	0.04 M sodium hydroxide, 30 นาที ตามด้วย 0.12 M sulfuric acid, 30 นาที และ 0.005 M citric acid, 30 นาที	สกัด 2 ครั้ง ครั้งแรก 56°C, 2 ชม. และ ครั้งที่สอง 65°C, 2 ชม.	สกัดครั้งแรกได้ 11.3 ครั้งที่สองได้ 4.0	Arnesen and Gildberg (2007)
หนังปลา Atlantic cod			สกัดครั้งแรกได้ 10.1 ครั้งที่สองได้ 1.8	
หนังปลา Alaska pollock	0.1 M calcium hydroxide ตามด้วย 0.05 M acetic acid	50°C, 3 ชม.	14	Zhou and Regenstein (2005)
หนังปลา skate	1.5% calcium hydroxide	pH 6, 50°C, 3 ชม.	17.48	Cho et al. (2006)
หนังปลา yellowfin tuna	0.5 M sodium chloride, 5 นาที ตามด้วย 0.1 M sodium hydroxide, 40 นาที	0.1 M acetic acid, 50°C, 18 ชม.	18.0	Rahman et al. (2008)
หนังปลา channel catfish	0.05 M sodium hydroxide, 2 ชม. ตามด้วย 0.02 M sulfuric acid, 2 ชม. และ 0.05 M citric acid, 2 ชม.	50°C, 16 ชม.	23.06	Zhang et al. (2007a)
หนังปลา Nile perch	0.1 M sulfuric acid	pH 3.5-4.0, 50-70°C, 5 ชม.	20-22	Muyonga et al. (2004)
ก้างปลา Nile perch	3% hydrochloric acid, 9-12 วัน		13	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Response surface methodology (RSM) เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต โดยมีหลักการคือการสร้างสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม จากนั้นจึงหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตจากสมการที่สร้างขึ้น (Cho et al., 2005) ตารางที่ 2.5 แสดงการศึกษาเกี่ยวกับสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินจากปลาโดยใช้ RSM โดยพบว่าการปรับสภาพหนังปลาด้วยด่างใช้เวลาไม่ต่ำกว่า 24 ชม. ส่วนการปรับสภาพเกล็ดปลาใช้เวลาเพียง 3 ชม. สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินจากหนังปลาเพื่อให้ได้ผลผลิตเจลาตินสูงและเจลาตินมีความแข็งแรงของเจลสูงคืออุณหภูมิในช่วง 43-59°C ระยะเวลาการสกัด 4.7-5.8 ชม.

2.4.4 การทำให้เจลาตินบริสุทธิ์

สารละลายเจลาตินที่สกัดได้จะผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ ผู้ผลิตแต่ละรายอาจมีขั้นตอนหรือใช้อุปกรณ์ต่างๆ กันตามประสบการณ์ ขั้นตอนที่ใช้ส่วนใหญ่มีดังต่อไปนี้

การทำให้ใสและการกรอง

ขั้นตอนแรกในการทำให้บริสุทธิ์คือการใช้เครื่องแยก (separator) ที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อแยกสารละลายเจลาตินออกเป็น 3 เฟส ได้แก่ ของแข็งที่ไม่ละลาย สารละลายเจลาติน และไขมัน ในการผลิตเจลาตินจากหนังหมู ปริมาณไขมันสูงกว่าเจลาตินที่สกัดได้ จึงถือเป็น by-product ที่สำคัญ และจะถูกนำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์เพื่อแปรรูปต่อไป ส่วนในการสกัดเจลาตินจากหนังวัวหรือกระดูกที่ผ่านการขจัดแร่ธาตุจะได้ไขมันปริมาณน้อย ถือเป็น by-product ที่ไม่ต้องการ หลังจากผ่านเครื่องแยก สารละลายเจลาตินยังไม่ใสเท่าที่ควร จึงต้องนำไปผ่านการกรองด้วย diatomaceous earth, perlite หรือแผ่นกรองเซลลูโลส โดย diatomaceous earth หรือ perlite นั้นหากความแตกต่างของความดันถึงจุดที่กำหนดจะต้องทิ้งไป แต่แผ่นกรองเซลลูโลสสามารถนำไปใช้ใหม่ได้ ส่วนในการผลิตเจลาตินชนิดมวลโมเลกุลต่ำ ผู้ผลิตสามารถใช้เทคนิค microfiltration แทนการกรองหรือหมุนเหวี่ยงได้ (Schrieber and Gareis, 2007)

การขจัดไอออน

กฎหมายส่วนใหญ่กำหนดให้เจลาตินต้องมีปริมาณเถ้าไม่เกิน 2% อุตสาหกรรมยาบางประเภทต้องการเจลาตินที่มีเถ้าไม่เกิน 1% ส่วนในอุตสาหกรรมภาพถ่ายต้องการเจลาตินชนิดปราศจากเกลือ (salt free) (Schrieber and Gareis, 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.5 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินจากปลาชนิดต่างๆ โดยใช้ Response surface methodology

วัตถุดิบ	สภาวะคงที่	สภาวะที่ศึกษา	สภาวะที่เหมาะสม	เกณฑ์การคัดเลือก	เอกสารอ้างอิง
หนังปลา pollock	อัตราส่วนต่อหนังปลา 6:1, ระยะเวลา 60 นาที 3 ครั้ง	0.05-0.25 M Calcium hydroxide	0.25 M	ผลผลิตเจลาตินสูง ความแข็งแรงของเจลสูง ความหนืดสูง	Zhou and Regenstein (2004)
		อุณหภูมิปรับสภาพ 2-20°C	2°C		
	อัตราส่วนต่อหนังปลา 6:1, ระยะเวลา 45 นาที	0.025-0.125 M Acetic acid	0.09 M		
		อุณหภูมิสกัด 30-50°C	50°C		
หนังปลา yellowfin tuna	อัตราส่วนต่อหนังปลา 8:1, อุณหภูมิ 10°C	1-3% Sodium hydroxide	1.89%	ผลผลิตเจลาตินสูง ความแข็งแรงของเจลสูง	Cho et al. (2005)
		ระยะเวลาการปรับสภาพ 1-5 วัน	2.87 วัน		
	อัตราส่วนต่อหนังปลา 6:1	อุณหภูมิการสกัด 40-80°C	58.15°C		
		ระยะเวลาการสกัด 1-9 ชม.	4.72 ชม.		
หนังปลา channel catfish	$Ca(OH)_2$ 0.1%, อัตราส่วนต่อหนังปลา 10:1	ระยะเวลาการปรับสภาพ 68-76 ชม.	68.8 ชม.	ความแข็งแรงของเจลสูง	Liu et al. (2008)
		อุณหภูมิการสกัด 40-46°C	43.2°C		
		ระยะเวลาการสกัด 5.33-6.00 ชม.	5.73 ชม.		
หนังปลา grass carp		0.1-3% Hydrochloric acid	1.19%	ผลผลิตเจลาตินสูง ความแข็งแรงของเจลสูง	Kasankala et al. (2007)
		ระยะเวลาการปรับสภาพ 1-24 ชม.	24 ชม.		
		อุณหภูมิการสกัด 40-80°C	52.61°C		
		ระยะเวลาการสกัด 1-8 ชม.	5.12 ชม.		
เกล็ดปลา lizardfish	อัตราส่วนต่อเกล็ดปลา 2:1, อุณหภูมิห้อง (30°C)	0.1-0.9% Sodium hydroxide	0.51%	ผลผลิตเจลาตินสูง ความแข็งแรงของเจลสูง ความหนืดสูง	Wangtueai and Noomhorm (2009)
		ระยะเวลาการสกัด 1-5 ชม.	3.10 ชม.		
	อัตราส่วนต่อเกล็ดปลา 2:1	อุณหภูมิการสกัด 70-90°C	78.5°C		
		ระยะเวลาการสกัด 1-5 ชม.	3.02 ชม.		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกลือที่ละลายอาจส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพซึ่งส่งผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของเจลาติน เจลาตินที่มีปริมาณเกลือมากจะมีคุณภาพไม่ดี โดยเฉพาะเกลือบางชนิดซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ เช่น เจลาตินที่มีปริมาณซัลเฟตสูง หากนำไปละลายในน้ำที่มีแคลเซียม จะทำให้เจลขุ่น เนื่องจากตะกอนแคลเซียมซัลเฟต เพื่อป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจึงจำเป็นต้องนำสารละลายเจลาตินไปผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchanger) (Schrieber and Gareis, 2007)

การทำให้เข้มข้น

สารละลายเจลาตินที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์และขจัดแร่ธาตุแล้วมีน้ำประมาณ 95% ในขณะที่เจลาตินแห้งต้องมีน้ำไม่เกิน 10-12% เพื่อให้มีอายุการเก็บไม่จำกัดในด้านจุลชีววิทยา นอกจากนี้สารละลายเจลาตินเจือจางยังสิ้นเปลืองเนื้อที่ในการเก็บรักษาและขนส่งยาก การทำให้สารละลายเจลาตินเข้มข้นนิยมใช้เครื่องระเหยสุญญากาศ (vacuum evaporator) กระบวนการแบบขั้นตอนเดียวจะใช้ที่อุณหภูมิ 52°C ส่วนกระบวนการแบบหลายขั้นตอนจะใช้อุณหภูมิในช่วง 50-100°C การให้ความร้อนในกระบวนการระเหยอาจทำให้โปรตีนโกลบูลินและอัลบูมินที่ยังหลงเหลืออยู่เสียสภาพและตกตะกอน ดังนั้นจึงอาจจำเป็นต้องเพิ่มขั้นตอนการกรองเพื่อให้ได้สารละลายเจลาตินที่ใส Schrieber and Gareis (2007)

นอกจากนี้ยังอาจใช้การกรองแบบ ultrafiltration ซึ่งมีข้อดีคือใช้พลังงานต่ำ แผ่นกรองที่ใช้มีขนาดรู 0.05 micron ซึ่งสามารถแยกน้ำและเกลือของแร่ธาตุออกไปได้ แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือโมเลกุลเจลาตินขนาดเล็กอาจลอดผ่านแผ่นกรองไปได้ ทำให้ได้ผลผลิตเจลาตินต่ำ ดังนั้นจึงต้องเลือกแผ่นกรองให้เหมาะสมกับชนิดเจลาตินที่ต้องการผลิต สารละลายเจลาตินเข้มข้นที่ได้ควรมีเจลาตินไม่ต่ำกว่า 50% ในทางปฏิบัติต้องการเจลาตินที่มีความเข้มข้นสูงสุดเพื่อลดพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งในขั้นตอนต่อไป (Schrieber and Gareis, 2007)

2.4.5 การฆ่าเชื้อ

การฆ่าเชื้อสารละลายเจลาตินเข้มข้นในปัจจุบันมีทั้งการฆ่าเชื้อทางอ้อมโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (plate heat exchanger) และการฆ่าเชื้อโดยตรงด้วยไอน้ำ ทั้งสองวิธีทำให้เจลาตินปลอดภัยจากจุลินทรีย์ แต่การแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นสามารถนำพลังงานความร้อนกลับมาใช้ใหม่ได้ถึง 95% ในขณะที่การให้ความร้อนด้วยไอน้ำไม่สามารถนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ได้ อย่างไรก็ตามวิธีนี้ส่งผลกระทบกับผลิตภัณฑ์น้อยกว่า (Schrieber and Gareis, 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.6 การทำให้แห้ง

หลังการฆ่าเชื้อ สารละลายเจลาตินเข้มข้นจะถูกทำให้เย็นด้วย scraped surface heat exchanger ซึ่งสารละลายเจลาตินจะกลายเป็นเจลและถูกเอกซ์ทรูดออกมาเป็นเส้นตกลงสู่สายพานอบแห้ง ลมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งต้องเป็นลมที่สะอาดและปราศจากความชื้น เนื่องจากเจลาตินมีจุดหลอมเหลวต่ำ จึงไม่สามารถอบแห้งด้วยลมร้อนได้โดยตรง เมื่อเริ่มต้นการอบแห้งความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศคือ 10-15% อุณหภูมิของลม 30°C โดยอุณหภูมิของลมจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามอัตราความแห้งของเจลาตินเพื่อให้อากาศสามารถเก็บไอน้ำได้มากขึ้น เมื่อสิ้นสุดกระบวนการอบแห้ง ลมร้อนจะมีอุณหภูมิ 60°C ซึ่งเป็นลมที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง เจลาตินแห้งที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้น มีความชื้นประมาณ 10% จากนั้นจึงนำไปบดให้เป็นผง (Schrieber and Gareis, 2007)

เจลาตินแห้งอีกรูปแบบหนึ่งคือเจลาตินแผ่น ซึ่งใช้ในระดับครัวเรือน ร้านเบเกอรี่ และการจัดเลี้ยง เจลาตินแผ่นผลิตโดยนำเจลาตินผงมาละลายน้ำเป็นสารละลายเจลาตินความเข้มข้นสูง แล้วเทลงบนลูกกลิ้งสแตนเลสเพื่อทำให้เป็นแผ่น จากนั้นจึงตัดให้เป็นแผ่นวางลงบนสายพานตาข่ายไนลอน เพื่อเข้าสู่อุโมงลมร้อนเพื่ออบแห้งในลักษณะเดียวกับการผลิตเจลาตินผง (Schrieber and Gareis, 2007)

2.5 สมบัติของเจลาติน

2.5.1 การละลายน้ำ

เจลาตินละลายได้เพียงบางส่วนในน้ำเย็น อย่างไรก็ตาม เมื่อคนเจลาตินแห้งในน้ำเย็นเจลาตินจะดูดน้ำและพองตัว โดยของผสมนี้ควรมีเจลาตินไม่เกิน 34% เมื่อให้ความร้อนที่ 40°C ประมาณ 30 นาที เจลาตินจะหลอมเหลวเกิดเป็นสารละลายเนื้อเดียว อีกวิธีหนึ่งในการละลายเจลาตินคือคนเจลาตินแห้งในน้ำร้อน โดยต้องคนตลอดเวลาจนกระทั่งได้เป็นสารละลาย วิธีนี้นิยมใช้เตรียมสารละลายเจลาตินที่มีความเข้มข้นไม่สูงมากนัก เมื่อนำสารละลายเจลาตินที่อยู่ในสถานะซอล (sol) ไปทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) หรือแบบลูกกลิ้ง (drum drying) จะได้เจลาตินที่ละลายในน้ำเย็น อย่างไรก็ตามเจลที่ได้จะขุ่น ดังนั้นเจลาตินชนิดนี้จึงมักใช้ทำพุดดิ้งนมหรือผลิตภัณฑ์อื่นที่ไม่ต้องการความใส (Cole, 2000)

สารละลายเจลาตินในน้ำสามารถผสมกับแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซีหลายหมู่ (polyhydric alcohols) เช่น กลีเซอรอล โพรพิลีน ไกลคอล ซอร์บิทอล เป็นต้น ได้อย่างไม่จำกัด ซึ่งใช้ปรับปรุงความแข็งของฟิล์มจากเจลาตินได้ ในผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำน้อย เช่น ลูกกวาด ซึ่งมีสารอื่นที่แย่งน้ำกับเจลาติน เช่น กลูโคสไซรัป ทำให้เจลาตินตกตะกอนและเกิดความขุ่น ในกรณีนี้ความสามารถในการละลายของเจลาตินจะขึ้นอยู่กับประจุของโมเลกุลโปรตีนหรือ pH ของ

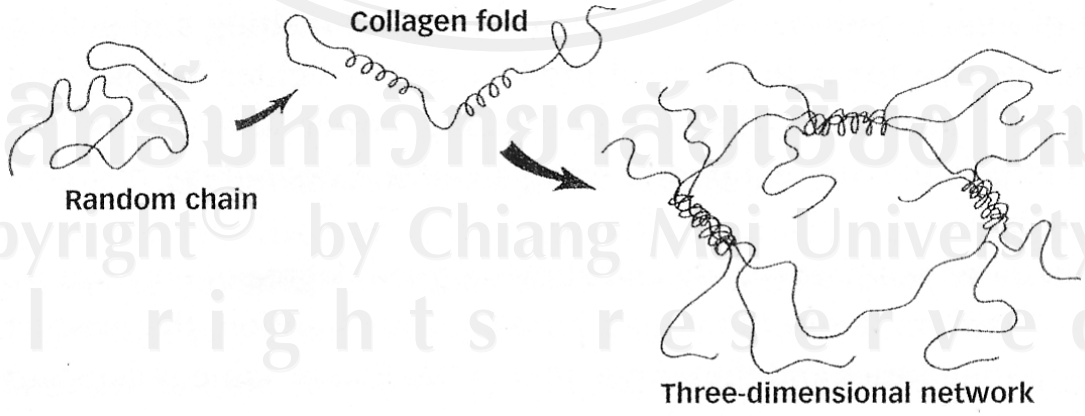
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลิตภัณฑ์ ดังนั้น หากผลิตภัณฑ์มี pH ห่างจากจุดไอโซอิเล็กทริกของเจลาตินมากเท่าใด ความสามารถในการละลายและประสิทธิภาพของเจลาตินก็จะมากขึ้นเท่านั้น (Cole, 2000)

2.5.2 การก่อเจล

เจลาตินเป็นสารผสมของสายพอลิเมอร์ที่มีความยาวต่างๆ กัน เมื่อละลายน้ำจะไม่เป็นสารละลายแท้ (real solution) แต่จะเป็นสารละลายคอลลอยด์ (colloidal solution) หรือซอล (sol) สารละลายคอลลอยด์จากเจลาตินนี้ ในทางฟิสิกส์เคมีถือว่าเป็น “สารละลายคอลลอยด์ในอุดมคติ” เมื่อทำให้เย็นซอลจะเปลี่ยนเป็นเจล (gel) และเมื่อทำให้อุ่นก็จะกลับเป็นซอลอีกครั้ง กระบวนการก่อเจลที่ย้อนกลับได้อย่างไม่จำกัดในเชิงทฤษฎีนี้ถือว่าเป็นสมบัติที่สำคัญที่สุดของเจลาติน ไฮโดรคอลลอยด์อื่น เช่น แอลจิเนต คาราจีแนน หรือเพคติน สามารถก่อเจลได้เช่นกัน แต่การก่อเจลของสารเหล่านี้ไม่สามารถย้อนกลับได้ หรือย้อนกลับได้อย่างจำกัด (Schrieber and Gareis, 2007)

สารละลายเจลาตินเจือจางเป็นของไหลแบบนิวโตเนียน โมเลกุลเจลาตินอยู่ในรูป random coil แต่เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง โมเลกุลของเจลาตินจะเริ่มขดตัวคล้ายกับการขดตัวของคอลลาเจน โมเลกุลที่เคลื่อนที่จะเริ่มจับตัวกันเกิดเป็น cluster ขนาดเล็ก เมื่ออุณหภูมิลดลงจนถึงจุดก่อเจล โมเลกุลเจลาตินจะจับตัวกันมากขึ้นจนเกิดเป็นโครงสร้างสามมิติ (รูปที่ 2.7) พันธะระหว่างโมเลกุลคงตัวมากขึ้น พันธะหลักที่เกี่ยวข้องกับการจับตัวกันของโมเลกุลเจลาตินคือพันธะไฮโดรเจน ส่วนพันธะไฮโดรโฟบิก และ electrostatic interaction มีผลเล็กน้อย เจลที่เกิดขึ้นมีสมบัติแบบวิสโค-อิลาสติก การเปลี่ยนเฟสระหว่างซอลและเจลนี้เรียกว่า “sol-gel transition” (Schrieber and Gareis, 2007)



รูปที่ 2.7 การก่อเจลของเจลาติน จากการเปลี่ยนจากซอลไปเป็นเจลระหว่างการทำให้เย็น
ที่มา: Schrieber and Gareis (2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สมบัติของเจลาตินที่นำใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมคือสมบัติการก่อเจล สมบัตินี้ใช้กำหนดราคาของเจลาตินส่วนใหญ่ ยกเว้นเจลาตินชนิดที่ไม่ก่อเจล ดังนั้นความแข็งแรงของเจลจึงเป็นลักษณะที่สำคัญที่สุดของเจลาติน (Schrieber and Gareis, 2007)

ค่าบลูม (Bloom value) เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการก่อเจลของเจลาติน ค่านี้เป็นแรงในหน่วยกรัมที่ใช้ในการกดหัววัดขนาดครึ่งนิ้วลงไปในเจลความเข้มข้น 6.67% ปริมาณ 112 g เป็นระยะทาง 4 mm เจลที่ใช้ต้องผ่านการบ่มที่ 10°C เป็นเวลา 16-18 ชม. เจลาตินที่จำหน่ายทางการค้ามีความแข็งแรงของเจลอยู่ในช่วง 50-300 บลูม เจลาตินที่มีค่าบลูม 200 ถึง 300 กรัมถือว่ามีค่าบลูมสูง ส่วนเจลาตินที่มีค่าบลูมที่ 100 ถึง 200 ถือว่ามีค่าบลูมปานกลาง และที่มีค่าบลูม 50 ถึง 100 ถือว่ามีค่าบลูมต่ำ เจลาตินที่มีค่าบลูมสูงจะมีจุดหลอมเหลวและจุดก่อเจลสูง ใช้ระยะเวลาการก่อเจลสั้น รวมทั้งมักจะมีสีอ่อน มีกลิ่นและรสชาติดีกว่าชนิดที่มีค่าบลูมต่ำ ความสามารถในการก่อเจลสูงยังหมายถึงปริมาณที่น้อยลงเพื่อทำให้ได้เจลที่มีความแข็งแรงเท่ากัน (Schrieber and Gareis, 2007)

การทดสอบความแข็งแรงของเจลนี้จะต้องทำตามวิธีที่ใช้ทดสอบอย่างเคร่งครัด เนื่องจากความแข็งแรงของเจลขึ้นอยู่กับความเข้มข้นอย่างมาก ดังนั้นจึงต้องชั่งเจลาตินและตวงน้ำให้ถูกต้อง ภาชนะบรรจุตัวอย่างจะต้องมีรูปร่างตามที่กำหนด การละลายเจลาตินต้องทำที่อุณหภูมิไม่เกิน 60°C และอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 50-55°C เป็นเวลา 20 นาที การสูญเสียน้ำระหว่างการให้ความร้อนนี้อาจทำให้ความเข้มข้นของเจลาตินเพิ่มขึ้นและส่งผลต่อค่าบลูม ดังนั้นจึงต้องปิดภาชนะบรรจุตัวอย่างระหว่างการละลายและต้องนำน้ำที่กลั่นตัวกลับคืนสู่ตัวอย่าง นอกจากนี้ต้องระวังไม่ให้เกิดฟองระหว่างการเตรียมตัวอย่าง การก่อเจลจะต้องทำตามสภาวะมาตรฐาน เนื่องจากกระบวนก่อเจลเกิดขึ้นอย่างช้าๆ การทำให้เย็นอย่างรวดเร็วจะทำให้ค่าบลูมลดลงประมาณ 10% ความแข็งแรงของเจลจะเพิ่มขึ้นระหว่างการบ่มจนถึง 16-18 ชม. หลังจากนั้นความแข็งแรงของเจลจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย อุณหภูมิและระยะเวลาการบ่มจึงส่งผลต่อค่าที่วิเคราะห์อย่างมาก ดังนั้นจึงนิยมทิ้งให้เจลแข็งตัวในอ่างน้ำเย็นอุณหภูมิ 10°C การเบี่ยงเบนของอุณหภูมิไม่ควรเกิน ±0.1°C (Schrieber and Gareis, 2007)

สำหรับสารละลายเจลาตินบริสุทธิ์นั้น ค่าความเข้มข้นของเจลคูณกับรากที่สองของค่าบลูมจะมีค่าคงที่เสมอสำหรับเจลาตินชนิดหนึ่งๆ ดังสมการ

$$C_1\sqrt{B_1} = C_2\sqrt{B_2}$$

หรือ

$$C_2 = C_1\sqrt{\frac{B_1}{B_2}}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดย C เป็นความเข้มข้นของสารละลายเจลาติน และ B เป็นค่าบลูม จากสมการนี้ หากผู้ผลิตอาหารที่เปลี่ยนส่วนผสมของเจลาตินจาก 250 เป็น 280 บลูม จะสามารถลดปริมาณเจลาตินที่ใช้จาก 8% เป็น 7.7% โดยเจลที่ได้ยังมีความแข็งแรงเท่าเดิม อย่างไรก็ตาม การคำนวณวิธีนี้เป็นการคำนวณอย่างหยาบ เนื่องจากส่วนประกอบอื่นในสูตรอาจส่งผลต่อค่าบลูมของเจลาติน ดังนั้นจึงควรทดสอบทางประสาทสัมผัสและวิเคราะห์สมบัติด้านอื่นเพิ่มเติม (Schrieber and Gareis, 2007)

โดยทั่วไป เจลาตินที่มีมวลโมเลกุลต่ำจะให้ความแข็งแรงของเจลและความหนืดต่ำ อย่างไรก็ตาม สายแอลฟา (α-chain) ของคอลลาเจนซึ่งมีมวลโมเลกุล 100 kDa และให้ความแข็งแรงของเจล 364 บลูม จะเป็นองค์ประกอบที่สัมพันธ์กับความแข็งแรงของเจลมากที่สุด ในขณะที่โมเลกุลขนาดใหญ่กว่าคือสายเบตา (β-chain) ที่มีมวลโมเลกุล 200 kDa และสายแกมมา (γ-chain) ที่มีมวลโมเลกุล 300 kDa ตลอดจนไมโครเจล (microgel) ที่มีมวลโมเลกุลมากกว่า 300 kDa พบว่ามีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของเจลเพียงเล็กน้อย แต่มีความสัมพันธ์อย่างมากกับค่าความหนืด (Cole, 2000)

เจลาตินพองตัวเมื่ออยู่ในน้ำ โดยสามารถดูดน้ำได้ 5-10 เท่าของปริมาตรเดิม เจลาตินจึงมีสมบัติการดูดน้ำที่ดี ตัวอย่างการใช้ประโยชน์ในด้านนี้คือการผลิตแฮมกระป๋อง ซึ่งการเติมเจลาตินลงในกระป๋องก่อนการฆ่าเชื้อ จะทำให้น้ำที่ไหลออกจากแฮม (exudates) ในระหว่างการให้ความร้อน ถูกเจลาตินดูดซับและเกิดเป็นเจล (Cole, 2000)

ในการผลิตลูกกวาดแบบเหนียว เช่น กัมมี (gummy) เจลาตินจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานของผลิตภัณฑ์กัมมี โดยมีส่วนผสมหลักคือเจลาติน น้ำตาล และกลูโคสไซรัป ความไม่เข้ากันระหว่างเจลาตินและกลูโคสไซรัปอาจเกิดขึ้นได้ตามความเข้มข้นของโพลีเมอร์กลูโคสที่มีกลูโคสมากกว่า 2 หน่วย กล่าวคือในผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำน้อย โพลีเมอร์กลูโคสจะแย่งน้ำกับเจลาติน ซึ่งอาจทำให้เจลาตินตกตะกอน และส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แข็งและสูญเสียการเป็นเจล เจลาตินต่างชนิดกันที่มีสมบัติในน้ำคล้ายกัน อาจมีสมบัติต่างกันในผลิตภัณฑ์ลูกกวาด (Cole, 2000)

ผลไม้สดบางชนิด เช่น สับปะรดและมะละกอมีเอนไซม์ย่อยโปรตีนชนิดโบรมีเลนและปาเปน ตามลำดับ เอนไซม์นี้จะไฮโดรไลซ์เจลาติน ทำให้สูญเสียสมบัติการก่อเจล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องให้ความร้อนกับผลไม้เพื่อทำลายเอนไซม์ย่อยโปรตีนก่อนทำการเติมผลไม้ลงในสารละลายเจลาติน (Cole, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.3 ความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญอันดับสองของเจลาติน ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เจลาตินที่มีความหนืดสูงใช้สำหรับการทำให้อิมัลชันคงตัว อย่างไรก็ตาม ในการผลิตลูกกวาดที่ต้องขึ้นรูปจะนิยมใช้

เจลาตินชนิดความหนืดต่ำเพื่อป้องกันการไหลตามเป็นเส้น (tailing effect) ในขณะที่การผลิตฟิล์มเจลาตินนิยมใช้เจลาตินความหนืดสูง (Cole, 2000)

วิธีมาตรฐานในการวัดความหนืดคือการใช้ปิเปต โดยวัดระยะเวลาการไหลออกของสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 6.67% ปริมาณ 100 มล. ที่มีอุณหภูมิ 60°C และรายงานผลในรูป mPas ส่วนในกรณีของเจลาตินไฮโดรไลเสต จะใช้สารละลายเจลาตินความเข้มข้น 10 หรือ 20% ที่อุณหภูมิ 25 หรือ 30°C ในการใช้งานบางอย่างอาจวัดโดยใช้เครื่องวัดความหนืด (rotary viscometer) เครื่องรีโอมิเตอร์ หรืออุปกรณ์อื่นๆ กับสารละลายเจลาตินที่มีความเข้มข้นและอุณหภูมิต่างๆ กัน (Schrieber and Gareis, 2007)

2.5.4 การเกิดโฟม

เจลาตินเป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูงในการทำให้โฟมคงตัว สมบัตินี้นำไปใช้ในการผลิตมาร์ชเมลโลว์ เจลาตินต่างชนิดกันทำให้โฟมเสถียรได้ต่างกัน จึงต้องเลือกเจลาตินให้เหมาะสม ในการผลิตมาร์ชเมลโลว์นั้น ยังใช้สมบัติการเกิดฟิล์มของเจลาตินในการทำให้โฟมเสถียรระหว่างการทำให้เย็น และเนื่องจากผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มักมีความเป็นกรดต่ำ จึงจำเป็นต้องทำให้มีความชื้นต่ำกว่า 15% เพื่อป้องกันราระหว่างการเก็บรักษา ในขณะที่ผลิตภัณฑ์กัมมีมีความเป็นกรดสูงกว่า จึงสามารถให้มีความชื้นสูงถึง 24% (Cole, 2000)

2.5.5 การยึดติด

เจลาตินมีสมบัติเป็นสารยึดติด จึงสามารถใช้เป็นกาวจากสัตว์ โดยใช้สารละลายเจลาตินที่ยังอุ่นและต้องไม่เกิดเจลก่อนที่พื้นผิวจะติดกัน การใช้ประโยชน์จากเจลาตินในด้านนี้คือการผลิตเม็ดยาหรือเม็ดลูกกวาดที่ต้องเชื่อมชั้นเข้าด้วยกัน (Cole, 2000)

2.5.6 การเกิดฟิล์ม

สมบัติการเกิดฟิล์มของเจลาตินถูกนำมาใช้ในการผลิตแคปซูลยาทั้งชนิดแข็งและอ่อน ฟิล์มเจลาตินมักจะหดตัวระหว่างการทำให้แห้ง ดังนั้นจึงมักเติมแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซีหลายหมู่ (polyhydric alcohols) เพื่อปรับปรุงการยึดติดและความยืดหยุ่นของฟิล์มเจลาติน ในการผลิตฟิล์มเจลาตินนั้นควรใช้เจลาตินชนิดที่มีความหนืดสูงมากกว่าชนิดที่มีความหนืดต่ำ (Cole, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.7 การเป็นอิมัลซิไฟเออร์

เจลาตินทำให้อิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำคงตัวโดยไม่จำเป็นต้องเกิดเจล โดยเพิ่มความหนืดของเฟสน้ำ อย่างไรก็ตามความหนืดของเจลาตินขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต เจลาตินชนิด A ซึ่งปรับสภาพด้วยกรดมีความหนืดประมาณครึ่งหนึ่งของเจลาตินชนิด B ซึ่งปรับสภาพด้วยด่าง ดังนั้นเจลาตินชนิด B จึงเหมาะสมสำหรับทำให้อิมัลชันคงตัว (Schrieber and Gareis, 2007)

2.5.8 ความคงตัว

เจลาตินแห้งมีอายุการเก็บไม่จำกัด ตราบใดที่ไม่ได้รับความชื้นจนทำให้อุณหภูมิที่เกิด glass transition ต่ำกว่าอุณหภูมิที่เก็บรักษา เจลาตินหนังโคที่มีความชื้น 12.9% เริ่มเกิด glass transition ที่อุณหภูมิ 48°C เจลาตินหนังสุกรที่มีความชื้น 12.7% เริ่มเกิด glass transition ที่อุณหภูมิ 44°C แสดงว่าสามารถเก็บรักษาเจลาตินจากหนังโคสุกรที่มีความชื้นไม่เกิน 13% ไว้ที่อุณหภูมิห้องได้ อย่างไรก็ตาม เจลาตินจากหนังปลา yellowfin tuna ที่มีความชื้น 8.9% เริ่มเกิด glass transition ที่อุณหภูมิ 30°C แสดงว่าเจลาตินจากหนังปลาต้องเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30°C เพื่อป้องกันการเกิด glass transition (Rahman et al., 2008) หากอุณหภูมิในการเก็บรักษาเจลาตินสูงกว่าอุณหภูมิที่เกิด glass transition จะทำให้เจลาตินอยู่ในสถานะ rubbery state ซึ่งที่สถานะนี้น้ำมี molecular mobility สูง ทำให้จุลินทรีย์สามารถใช้น้ำที่มีอยู่ในเจลาตินและทำให้เจลาตินเสื่อมเสียได้ (D'Cruz and Bell, 2005)

ส่วนความคงตัวของสารละลายเจลาตินขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและค่า pH โดยทั่วไปสารละลายเจลาตินจะสูญเสียความแข็งแรงของเจลและความหนืดเมื่อเก็บไว้นาน โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูงและ pH ต่ำ เนื่องจากโมเลกุลเจลาตินจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยกรดและความร้อน (Schrieber and Gareis, 2007) ดังนั้น pH ของสารละลายเจลาตินควรอยู่ในช่วง 5-7 อุณหภูมิควรต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และไม่ควรเก็บสารละลายเจลาตินไว้นานโดยไม่จำเป็น หลังจากการเติมกรดในส่วนผสมลูกกวาดแล้ว ควรนำสารละลายไปใช้และทำให้เย็นหรือเกิดเจลให้เร็วที่สุด (Cole, 2000)

2.5.9 โพรเทคทีฟคอลลอยด์ (Protective colloid)

เมื่อนำเจลลี่ไปแช่แข็งจะเกิดการแยกตัวของน้ำ (syneresis) แต่เมื่อนำสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 0.5% ไปแช่แข็ง จะเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กจำนวนมากแทนที่จะเป็นผลึกขนาดใหญ่จำนวนน้อย คุณสมบัตินี้นำไปใช้ในการผลิต ice lollies และไอศกรีม ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีเนื้อเนียนเนื่องจากผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังทำให้น้ำตาลแล็กโตสที่ตกผลึกมีขนาดเล็กป้องกันการเกิดตำหนิจากผลึกขนาดใหญ่ (graininess) (Cole, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6 การใช้ประโยชน์จากเจลาติน

เจลาตินถูกนำมาใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด ดังตารางที่ 2.6 โดยมีหน้าที่แตกต่างกันตามชนิดของผลิตภัณฑ์ ดังต่อไปนี้ (Schrieber and Gareis, 2007)

ลูกกวาดและขนมหวาน

เจลาตินทำหน้าที่เป็นสารก่อเจลในผลิตภัณฑ์กัมมี ทำให้เนื้อสัมผัสนุ่มและยืดหยุ่น ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้เจลาตินชนิด A ที่มีค่าบลูมสูง เนื่องจากให้เนื้อสัมผัสที่ดี ใส ไม่ส่งผลต่อสีและกลิ่น นอกจากนี้ยังมีจุดหลอมเหลวสูงและขึ้นรูปได้เร็ว

ตารางที่ 2.6 หน้าที่ของเจลาตินในการผลิตอาหารชนิดต่างๆ

อาหาร	Bloom	ความเข้มข้น (%)	หน้าที่หลัก	หน้าที่รอง
ขนมหวาน	200-260	1.5-3	ก่อเจล	ให้เนื้อสัมผัส ความโปร่งแสง ความเป็นประกาย
กัมมี	200-280	6-10	ก่อเจล	ให้เนื้อสัมผัส ความยืดหยุ่น ความโปร่งแสง ความเป็นประกาย
มาร์ชเมลโลว์	160-260	1-3	ทำให้เกิดโฟม	ทำให้โฟมคงตัว ก่อเจล
Nougat	180-220	1.5-3	ทำให้เกิดโฟม	ทำให้โฟมคงตัว ก่อเจล
Pastilles	160-220	1-2	ตัวประสาน	ให้เนื้อสัมผัส ปรับปรุงสมบัติการละลายในปาก ป้องกันการแยกตัว
คาราเมล	140-200	0.5-2.5	อิมัลซิไฟเออร์, ทำให้โฟมคงตัว	ทำให้เคี้ยวได้
โยเกิร์ต	220-260	0.2-1	ป้องกันน้ำแยกชั้น	ให้เนื้อสัมผัส ความเป็นครีม
ขนมฟองนม	180-240	0.3-3	ทำให้เกิดโฟม	ให้เนื้อสัมผัส ความคงตัว
ขนมวุ้นนม	180-240	1-2	ก่อเจล	ให้เนื้อสัมผัส ความเป็นครีม
แซนวิชสเปรด (ชนิดไม่มีเนื้อ)	240-280	0.3-1.5	ทำให้อิมัลชันคงตัว	ให้เนื้อสัมผัส ความเป็นครีม
เนื้อและไส้กรอก	220-260	0.5-2	ทำให้อิมัลชันคงตัว	ช่วยอุ้มน้ำ
เนื้อกระป๋อง	220-260	0.5-2	ตัวประสาน	ให้เนื้อสัมผัส สามารถตัดได้

ที่มา: (Schrieber and Gareis, 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เจลาตินมีหน้าที่ในการก่อโฟมและทำให้โฟมคงตัวในผลิตภัณฑ์ประเภทเมลโลว์ เช่น มาร์ชเมลโลว์ (marshmallow) และเมอแรง (meringue) การเติมเจลาตินลงไปตีร่วมกับน้ำตาลจะได้โฟมปริมาตรสูง โดยเจลาตินจะลดแรงตึงผิวทำให้เกิดโฟมได้ง่ายขึ้น และเกิดเป็นฟิล์มระหว่างเฟสน้ำและอากาศ ส่งผลให้โฟมคงตัว สมบัติในการทำให้เกิดโฟมของเจลาตินบางชนิดเทียบเท่ากับของไข่ขาวหรืออัลบูมินผง

สำหรับในผลิตภัณฑ์ซีเรียลบาร์ เจลาตินทำหน้าที่หลักเป็นตัวประสานส่วนผสมต่างๆ เข้าด้วยกัน การใช้เจลาตินไฮโดรไลเสทกำลังได้รับความสนใจในผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ เนื่องจากมีความสามารถในการยึดติดสูง ละลายน้ำได้ดีและมีความหนืดต่ำ จึงสามารถเตรียมในรูปสารละลายความเข้มข้น ทำให้ปริมาณน้ำที่เติมลงในผลิตภัณฑ์มีน้อยลง ผลิตภัณฑ์ซีเรียลบาร์ที่ผสมเจลาตินมีค่า a_w 0.40-0.55 จึงสามารถบรรจุบาร์ได้ทันทีโดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการฆ่าเชื้อ

เจลาตินทำหน้าที่ก่อเจลในผลิตภัณฑ์ประเภทวุ้น เช่น เยลลี่ พุดดิ้ง และแฟลน (flan) การผลิตวุ้นเจลาตินโดยทั่วไปจะใช้เจลาติน 230-250 บลูม ในปริมาณ 10-12% ของส่วนผสมผง หรือ 1.5-2.0% ของผลิตภัณฑ์สุดท้าย วุ้นเจลาตินที่ทำจากเจลาตินชนิด A จะสูญเสียน้ำหลังจากการก่อเจลน้อยกว่าชนิด B เนื่องจากจุดไอโซอิเล็กทริกของเจลาตินที่แตกต่างกัน

ผลิตภัณฑ์นม

เจลาตินทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ทดแทนเคซีนในผลิตภัณฑ์นมหมัก เนื่องจากเอนไซม์เรนนินที่ใช้และกรดที่เกิดขึ้นระหว่างการแปรรูป จะทำให้เคซีนเกิดเป็นเคิร์ดและสูญเสียสมบัติอิมัลซิไฟเออร์ เจลาตินยังทำหน้าที่เป็นโพรเทคทีฟคอลลอยด์ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผลไม้และโยเกิร์ตพร้อมดื่ม ทำให้สารแขวนลอยคงตัวและป้องกันการแยกชั้นของโปรตีน ไขมัน และเวย์ เจลาตินที่เหมาะสมกับการใช้งานในด้านนี้คือเจลาตินที่มีค่าบลูมสูงซึ่งปรับ pH ให้เท่ากับจุดไอโซ-อิเล็กทริกแล้ว นอกจากนี้ เจลาตินทำให้โฟมในไอศกรีมคงตัว โดยเจลาตินลดแรงตึงผิวของน้ำ ทำให้เกิดโฟมได้ง่าย เจลาตินยังทำหน้าที่กักน้ำและป้องกันการรวมตัวของผลึกน้ำแข็ง ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเนียน

ผลิตภัณฑ์เนื้อ

การโรยผงเจลาตินลงบนเนื้อที่สไลซ์เป็นแผ่นบาง จะช่วยลดการสูญเสียน้ำ และยังส่งผลดีต่อสี เนื้อสัมผัส กลิ่น และรสชาติของเนื้อ เจลาตินยังเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์แอสปิก (aspic) ซึ่งเป็นอาหารพร้อมรับประทานที่อยู่ในวุ้นเจลาตินผสมเครื่องเทศ สารละลายแอสปิกนั้นเมื่อเซ็ตตัวแล้วจะโปร่งใสและสามารถสไลซ์ได้ ส่วนผสมที่ใช้ในแอสปิกมีทั้งเนื้อ ปลา อาหารทะเล ผักและผลไม้ ผลิตภัณฑ์แอสปิกได้รับความนิยมในยุโรปและมีแนวโน้มที่จะแพร่หลายไปทั่วโลก เจลาตินที่ใช้ควรเป็นชนิดบลูมสูงเนื่องจากมีอุณหภูมิหลอมเหลวสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เครื่องดื่ม

เจลาตินถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเบียร์ น้ำผลไม้ และไวน์เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ใส โดยตกตะกอนสารที่ทำให้เกิดความขุ่น และลดความเข้มข้นของสารโพลีฟีนอล เช่น แทนนิน โดยนิยมใช้เจลาตินชนิด A เนื่องจากมีจุดไอโซอิเล็กทริกในช่วง 8-9 ซึ่งจะมีประจุบวกมากกว่าเจลาตินชนิด B เมื่ออยู่ในผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ซึ่งมีค่า pH อยู่ในช่วง 3.5-4.5 ส่วนในกรณีของของน้ำผลไม้ที่มีเนื้อผลไม้ (pulp) ผสมอยู่ การใช้เจลาตินไฮโดรไลเสทจะทำให้เนื้อผลไม้ยังคงแขวนลอยอยู่

2.6.5 คุณค่าโภชนาการของเจลาติน

เจลาตินเป็นแหล่งของโปรตีนที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากขาดทริปโตเฟนและมีกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ คือ ซิสเตอีน และเมไทโอนีน ในปริมาณน้อยมาก ดังนั้นจึงไม่ควรใช้เจลาตินเพียงอย่างเดียวเป็นแหล่งของโปรตีน อย่างไรก็ตาม เจลาตินมีไลซีนซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็นสูงถึง 4% กรดอะมิโนนี้จำเป็นสำหรับการสร้างกล้ามเนื้อ อาร์จินีนซึ่งถือว่าเป็นกรดอะมิโนกึ่งจำเป็นมีอยู่มากในเจลาตินเช่นกัน โดยอาร์จินีนมีบทบาทสำคัญในเมแทบอลิซึมของพลังงานในเซลล์กล้ามเนื้อ (Schrieber and Gareis, 2007)

กรดกลูตามิกในเจลาตินมีปริมาณใกล้เคียงกับอาร์จินีน กรดกลูตามิกมีความจำเป็นโดยเฉพาะกับนักกีฬาประเภทที่ต้องใช้ความอดทน เพื่อเพิ่มกระบวนการฟื้นฟู นอกจากนี้ กรดกลูตามิกยังช่วยเสริมระบบภูมิคุ้มกัน เจลาตินมีกรดอะมิโนไฮดรอกซีโพรลีนซึ่งร่างกายสามารถดูดซึมได้ทันที และร่างกายสามารถสังเคราะห์จากกรดอะมิโนโพรลีนโดยอาศัยเอนไซม์ proline hydroxylase กรดอะมิโนไฮดรอกซีโพรลีนจำเป็นสำหรับการสังเคราะห์คอลลาเจน โดยมีวิตามินซีและเหล็กร่วมด้วย หากร่างกายได้รับสารเหล่านี้ไม่เพียงพออาจทำให้เกิดโรคลักปิดลักเปิด (Schrieber and Gareis, 2007)

เจลาตินให้พลังงานเพียง 3.5 kcal/g นอกจากนี้มีการศึกษาพบว่าการบริโภคเจลาติน 7-10 g ต่อวันช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและความแข็งแรงของเล็บ ช่วยให้ผมยาวเร็วขึ้น รวมถึงช่วยบรรเทาอาการของผู้ป่วยโรคข้อต่ออักเสบ (Cole, 2000; Baziwane and He, 2003)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved