# บทที่ 2

# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 หนังสัตว์

หนังสัตว์สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภท (อนันต์, 2520) ได้แก่

1. หนังสัตว์ใหญ่ (hides) เช่น หนังโค หนังกระบือ หนังม้า
2. หนังสัตว์เล็ก (skins) เช่น หนังลูกโค หนังแพะ หนังแกะ หนังสุกร หนังกระต่าย
3. หนังสัตว์เลื้อยคลาน เช่น หนังงู หนังจระเข้

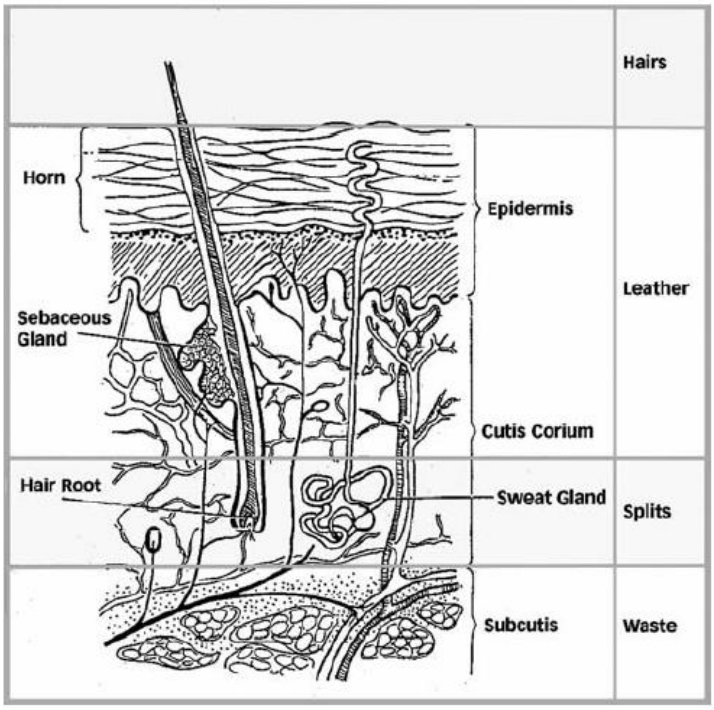
โครงสร้างของหนัง จำแนกเป็น 3 ส่วน (ภาพที่ 2.1) ได้แก่

1. หนังชั้นบนสุดหรือหนังกำพร้า (epidermis) เป็นชั้นปกคลุมหนัง มีความหนาประมาณ 0.5-2% ของความหนาของหนังทั้งหมดโดยมีลักษณะเป็นเยื่อบางๆ ไม่มีเส้นเลือดมาหล่อเลี้ยง

2. หนังชั้นกลางหรือหนังแท้ (dermis หรือ corium) มีความหนาประมาณ 15% ของความหนาของหนังทั้งหมด โดยหนังชั้นนี้เป็นส่วนประกอบหลักของหนังฟอก มีองค์ประกอบที่สำคัญ เช่น โปรตีนเส้นใย (fiber protein) เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ต่อมเหงื่อ เส้นประสาท เส้นเลือด โดยสามารถแบ่งออกได้อีก 2 ชั้น คือ ชั้นบน (parpillary layer) ประกอบด้วยเส้นใยเล็กสานกันอยู่อย่างหนาแน่นและชั้นล่าง (recolor layer) เป็นเส้นใยที่หยาบกว่าและสานกันอยู่อย่างหลวมๆ ซึ่งหนังสำเร็จรูปที่ผลิตได้ส่วนใหญ่ขึ้นกับส่วนบนของหนังชั้นกลาง

3. หนังชั้นล่างสุดหรือหนังชั้นใต้ผิวหนัง (subcutaneous หรือ hypodermic) ประกอบด้วยไขมันและพังผืดที่จะถูกกำจัดออกด้วยเครื่องถากหนัง (fleshing machine)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




**ภาพที่ 2.1** โครงสร้างของหนังสัตว์

ที่มา: Schrieber and Gareis (2007)

อุตสาหกรรมฟอกหนังส่วนใหญ่ เมื่อรับหนังดิบเข้ามา โรงงานมีการเตรียมวัตถุดิบโดยการผ่านกระบวนการเตรียมหนังก่อนฟอก (beam house process) เพื่อกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการ เช่น ขน เศษหนังออกจากหนังดิบและเตรียมหนังให้พร้อมสำหรับการฟอก (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549) โดยมีขั้นตอน (ภาพที่ 2.2) ดังนี้

1. การหมักเกลือ (salting curing) เป็นขั้นตอนการเก็บรักษาหนังเพื่อรักษาหนังดิบไม่ให้เน่า ซึ่งมักใช้การหมักด้วยเกลือประมาณ 20% น้ำหนักหนังดิบ โดยหนังดิบจะสูญเสียความชื้นออกจากหนังในปริมาณเท่าๆ กับน้ำหนักเกลือที่เพิ่มขึ้นในหนัง หลังจากนั้นจึงสะบัดหนังหรือเคาะหนัง เพื่อเอาเกลือออก

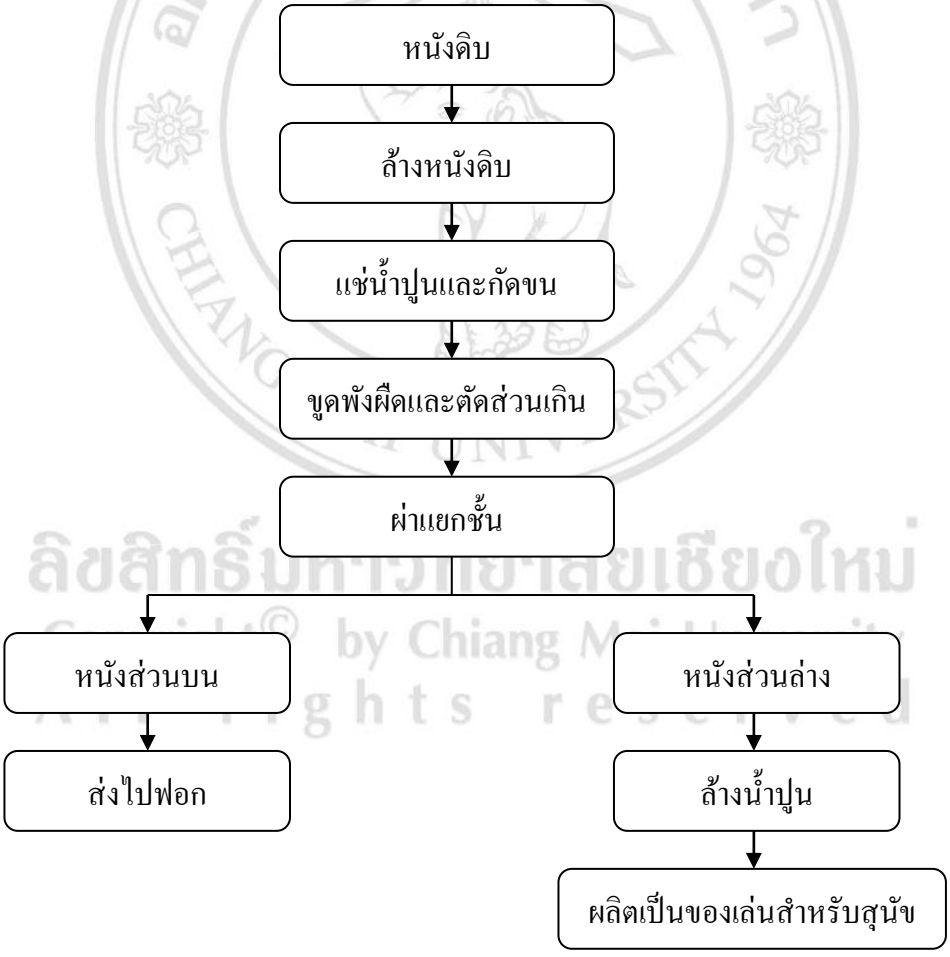
2. การล้างหนัง เป็นการคืนน้ำให้แก่หนังดิบและทำความสะอาด ทำให้เศษเนื้อ ขน หนังตะกอนดินที่ติดมากับหนังดิบหลุดออกมา

3. การแช่น้ำปูนและกัดขน การแช่น้ำปูนเป็นขั้นตอนที่ทำให้หนังบวมด้วยน้ำปูนหรือสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อปรับสภาพหนัง และกัดขนด้วยสารประกอบซัลไฟด์เพื่อละลายขนสัตว์ที่ติดมากับหนังดิบ ทำให้ขนและหนังกำพร้าบางส่วนละลายออกมา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. การขูดพังผืด (fleshing) และผ่าแยกชั้น (splitting) หนังที่ผ่านการแช่น้ำปูนแล้วจะถูกนำมาขูดพังผืดด้วยเครื่องขูด จากนั้นจะนำไปเข้าเครื่องผ่าแยกชั้น โดยปกติหนังวัวและควายสามารถผ่าหนังดิบออกได้เป็น 3-4 ชั้น หนังดิบสองชั้นด้านบน เรียกว่า หนังชั้นบน (upper) จะถูกส่งต่อไปทำการฟอกหนัง ส่วนหนังส่วนล่างหรือหนังชั้นใน (splits) เป็นเศษหนังและพังผืดที่มีสีเขียวคล้ำเนื่องจากการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนการแช่น้ำปูนและกัดขน

5. การล้างน้ำปูนของหนังส่วนล่าง (deliming of splits) ในขั้นตอนนี้จำเป็นต้องเติมเกลือแอมโมเนียคลอไรด์ เพื่อลดการพองบวมของหนังและทำให้เป็นกลาง โดยใช้กรดปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เหลือประมาณ 7-8 และมีการเติมสารออกซิไดซ์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อช่วยกัดสีหนังให้จางลง เมื่อนำหนังส่วนล่างไปล้างน้ำปูนแล้ว สามารถนำหนังดิบไปผลิตอาหารแทะเล่นสำหรับสุนัขได้




**ภาพที่ 2.2** ขั้นตอนการเตรียมหนังก่อนฟอกของโรงงานฟอกหนัง
ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การผลิตหนังของบริษัท ชัยวัฒนา แทนเนอรี่ กรุ๊ป จำกัด (มหาชน) ได้ใช้หนังของวัวเป็นวัตถุดิบและทางบริษัทฯ ได้มีการคัดคุณภาพหนังที่ดีไปใช้ในการฟอก เพื่อผลิตเป็นเครื่องหนัง โดยในระหว่างกระบวนการผลิตนั้น มีเศษหนังซึ่งเป็นผลพลอยได้ของอุตสาหกรรม ทางบริษัทฯ ได้นำเศษหนังเหล่านี้ไปผลิตเป็นของเล่นสุนัข เศษหนังดังกล่าวสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท (วีระพล, 2557) ได้แก่

1) เศษหนังวัวกาวเอ ได้แก่ หนังชั้นที่ต่อจากชั้นผิวที่เอาไปทำเครื่องหนัง มีลักษณะเป็นแผ่นที่มีสภาพสมบูรณ์ไม่ฉีกขาด และไม่เป็นรู

2) เศษหนังวัวกาวบี ได้แก่ หนังชั้นที่ต่อจากชั้นผิวที่เอาไปทำเครื่องหนัง มีลักษณะเป็นแผ่นที่มีสภาพไม่สมบูรณ์ มีการฉีกขาด หรือเป็นรู

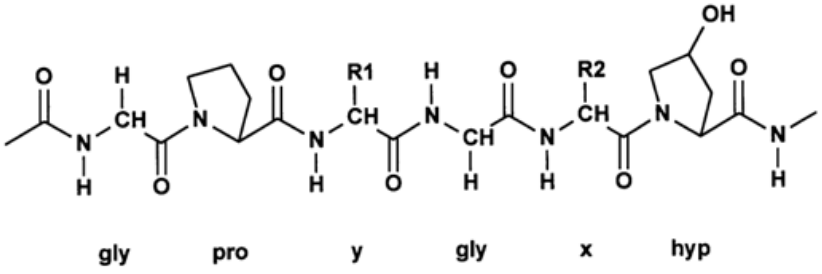
3) เศษหนังวัวกาวซี ได้แก่ หนังชั้นในที่ถัดจากชั้นหนังกาวเอหรือหนังกาวบี เป็นเศษหนังที่มีไขมันติดอยู่ปริมาณมาก

4) เศษหนังวัวกาวดำ ได้แก่ ส่วนหนังชั้นในสุดที่ติดกับส่วนของอวัยวะภายใน เป็นเศษเหลือที่มีไขมันปริมาณมาก

## 2.2 คอลลาเจน (collagen)

คอลลาเจนจัดเป็นโปรตีนประเภทโครงสร้าง (structure protein) ประกอบด้วยสายโพลีเพปไทด์ที่เรียกว่า สายแอลฟา (α-chain) 3 สาย โดยทั่วไปจะประกอบด้วย กรดอะมิโนชนิดไกลซีน ประมาณหนึ่งในสาม และมีกรดอิมิโนประมาณหนึ่งในสี่ของกรดอะมิโนทั้งหมดในโมเลกุลคอลลาเจน (Ward and Courts, 1977) สายโพลีเพปไทด์ มีลักษณะการเรียงตัวแบบ ไกลซีน-X-Y ซ้ำกันอย่างต่อเนื่อง โดย X ส่วนใหญ่เป็นโพรลีนและ Y ส่วนใหญ่เป็นไฮดรอกซีโพรลีน (Foegeding *et al*., 1996) (ภาพที่ 2.3)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University




**ภาพที่ 2.3** โครงสร้างคอลลาเจน

ที่มา: Friess (1998)

แต่ละสายโพลีเพปไทด์ของคอลลาเจนมีลักษณะโครงสร้างบิดเป็นเกลียวและเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจน จากนั้นสายโพลีเพปไทด์ทั้งสามเส้นจะพันเป็นเกลียวรอบตัวเองอีกครั้ง โดยสายโพลีเพปไทด์ทั้งสามสายที่มารวมกันนั้น เรียกว่า โทรโปคอลลาเจน (tropocollagen) (ภาพที่ 2.4) ซึ่งโทรโปคอลลาเจนเชื่อมกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์และพันธะไฮโดรโฟบิก ทำให้เกิดลักษณะเส้นใยของคอลลาเจน โดยการเชื่อมด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้คอลลาเจนมีความแข็งแรง ความคงตัวมาก จึงเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นได้ยาก ทำให้คอลลาเจนมีสมบัติไม่ละลายน้ำ (insoluble protein) (Creighton, 1993) ไม่สามารถละลายในน้ำเย็น กรดอ่อน และด่างอ่อนได้ แต่โครงสร้างจะคลายตัวด้วยน้ำร้อน (หทัยรัตน์และคณะ, 2549) ซึ่งคอลลาเจนเป็นโปรตีนที่มีมากที่สุดในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม มีปริมาณเป็นหนึ่งในสามส่วนของโปรตีนทั้งหมดในร่างกาย ซึ่งกล้ามเนื้อประกอบไปด้วยโปรตีนจากคอลลาเจนประมาณ 10% สามารถพบได้ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เช่น เส้นเอ็น กระดูก ผิวหนัง และระบบท่อลำเลียง (Foegeding *et al*., 1996)

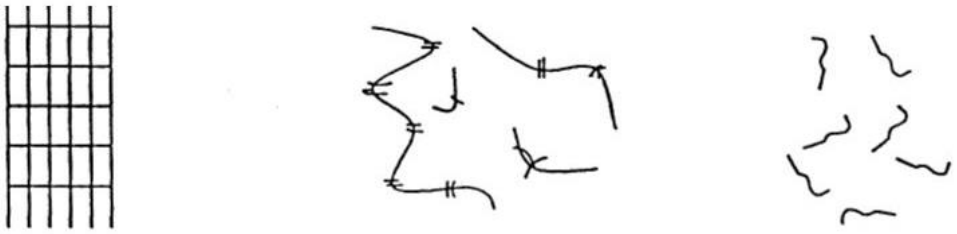
**ภาพที่ 2.4** โครงสร้างโทรโปคอลลาเจน
ที่มา: Friess (1998)

### 2.3 เจลาติน (gelatin)

เจลาตินเป็นโปรตีนที่ได้จากการเสียสภาพคอลลาเจนเนื่องจากความร้อน คอลลาเจนเกิดการทำลายพันธะเพปไทด์ และพันธะนอนโควาเลนท์ที่อยู่ภายในและระหว่างโมเลกุล ทำให้โครงสร้างคอลลาเจนกลายเป็นรูปแบบอสัณฐานของเจลาติน (Foegeding *et al*., 1996) การเปลี่ยนโครงสร้างของคอลลาเจนไปเป็นเจลาตินแสดงดังสมการที่ 1 (Moulton, 1984) และลักษณะการเปลี่ยนแปลงจากเส้นใยคอลลาเจนไปเป็นเจลาติน แสดงในภาพที่ 2.5

$$\underset{\text{คอลลาเจน}}{C_{102}H_{149}O_{38}N_{31} + H_2O} \longrightarrow \underset{\text{เจลาติน}}{C_{102}H_{151}O_{39}N_{31}} \qquad \text{สมการที่ 1}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

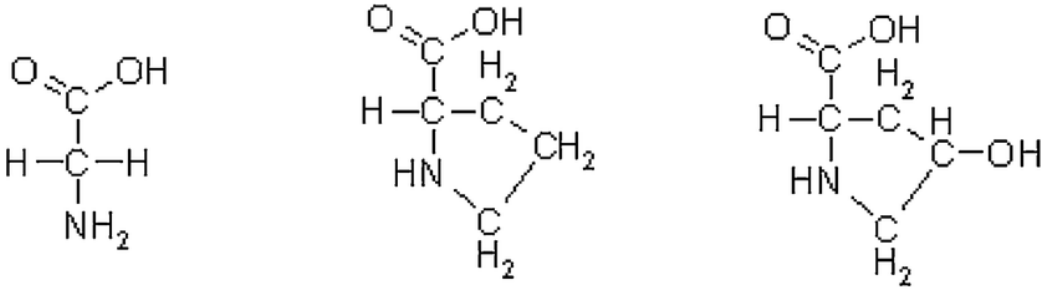


เส้นใยคอลลาเจน เส้นใยคอลลาเจนที่แยกออกจากกัน เส้นใยเจลาติน

**ภาพที่ 2.5** การเปลี่ยนแปลงจากเส้นใยคอลลาเจนเป็นเจลาติน

ที่มา : Moulton (1984)

เจลาตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 15 ถึง 300 กิโลดาลตัน ขึ้นอยู่กับชนิดและวิธีการในการผลิตโครงสร้างปฐมภูมิของคอลลาเจนประกอบไปด้วยกรดอะมิโนหลัก 3 ชนิด คือ ไกลซีน (glycine) โพรลีน (proline) และไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxyproline) (ภาพที่ 2.6) โดยส่วนใหญ่มีลำดับการเรียงตัว คือ ไกลซีน-โพรลีน-ไฮดรอกซีโพรลีน เรียงลำดับกันอย่างต่อเนื่อง (Eastoe and Leach, 1977) แสดงดังภาพที่ 2.7

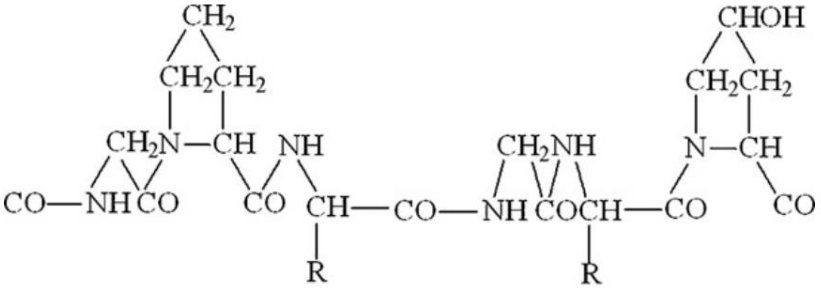


(ก) (ข) (ค)

**ภาพที่ 2.6** โครงสร้างทางเคมีของ (ก) ไกลซีน (ข) โพรลีน และ (ค) ไฮดรอกซีโพรลีน

ที่มา: Gobara *et al*. (2015)

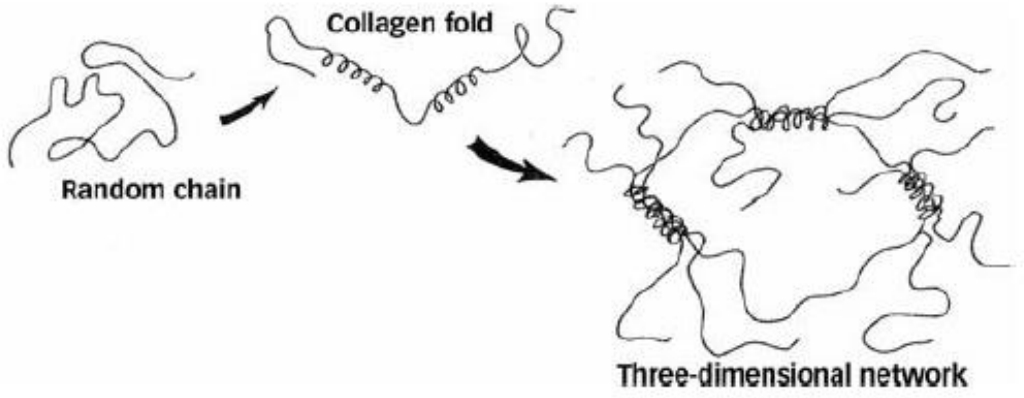
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University



**ภาพที่ 2.7** โครงสร้างโมเลกุลของเจลาติน

ที่มา: Wang and Shi (2011)

เจลาตินสามารถก่อเจลร่วมกับน้ำ ทำให้เกิดเป็นเจลที่ย้อนกลับได้ด้วยความร้อน (thermally reversible gel) (Cole, 2000) กลไกการเกิดเจลของเจลาตินเป็นแบบ random coil-helix (Imeson, 1997) ซึ่งเกิดจากการที่เจลาตินอยู่ในสภาวะอุณหภูมิสูง โมเลกุลอยู่ในรูปของโปรตีนสายเดี่ยวที่ยืดตัวออก เนื่องจากเกิดการแตกตัวของพันธะบางส่วน (Whisyler and Daniel, 1990) และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง โมเลกุลที่ยืดตัวออกแล้วจับตัวกันอย่างช้าๆ ด้วยพันธะไดซัลฟ์ พันธะไฮโดรเจน พันธะไอออนิก หรือ พันธะไฮโดรโฟบิก หลังจากนั้นกรดอะมิโนที่อยู่บนสายพอลีเพปไทด์เกิดการบิดตัวกลายเป็น โครงสร้างสามมิติ (triple helix) (Ledward, 2000) (ภาพที่ 2.8) โครงร่างแบบตาข่ายใน 3 ทิศทาง เรียกว่า junction zone ส่งผลโดยตรงกับสมบัติในด้านความแข็งแรงของเจล คือ ถ้าส่วนที่จับตัวกันมี ลักษณะสั้นมากจะทำให้เจลาตินมีความแข็งแรงเจลต่ำและสามารถทำลายได้เมื่อใช้ความร้อนเพียง เล็กน้อย แต่หากส่วนที่จับตัวกันมีความยาวมาก เจลจะมีความแข็งแรงมากและทนความร้อนได้ดี (Whisyler and Daniel, 1990)




**ภาพที่ 2.8** รูปแบบการก่อเจล
ที่มา: Schrieber and Gareis (2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรดอะมิโนในเจลาตินมีลักษณะไม่แตกต่างจากกรดอะมิโนที่พบในคอลลาเจน โดยมีปริมาณ ไกลซีนประมาณหนึ่งในสามของกรดอะมิโนทั้งหมด มีปริมาณของโพรลีนและไฮดรอกซีโพรลีนสูง ดังนั้นจึงสามารถใช้ปริมาณไฮดรอกซีโพรลีน เพื่อหาปริมาณคอลลาเจนหรือเจลาตินในอาหารได้ (Cole, 2000) โดยทั่วไปคอลลาเจนของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีปริมาณของไฮดรอกซีโพรลีนสูงกว่า คอลลาเจนของปลา (Lacroix and Cooksey, 2005) ปริมาณกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ในเจลาตินจากหนัง ไก่และหนังวัวแสดงในตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** ปริมาณกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ในเจลาตินจากหนังไก่และหนังวัว

| กรดอะมิโน | ปริมาณกรดอะมิโน (%) | |
|---|---|---|
| | เจลาตินจากหนังไก่ | เจลาตินจากหนังวัว |
| แอสพาราจีน (asparagine) | 2.11 ± 0.02 | 3.29 ± 0.01 |
| กลูตามีน (glutamine) | 2.584 ± 0.01 | 5.43 ± 0.03 |
| ไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxyproline) | 12.13 ± 0.02 | 10.67 ± 0.11 |
| ซีรีน (serine) | 2.20 ± 0.00 | 2.93 ± 0.08 |
| ไกลซีน (glycine) | 33.70 ± 0.02 | 37.05 ± 0.11 |
| ฮิสทิดีน (histidine) | 0.30 ± 0.01 | - |
| อาร์จินีน (arginine) | 5.57 ± 0.00 | 5.09 ± 0.04 |
| ทรีโอนีน (threonine) | 1.01 ± 0.00 | 0.82 ± 0.03 |
| อะลานีน (alanine) | 10.08 ± 0.02 | 8.41 ± 0.10 |
| โพรลีน (proline) | 13.42 ± 0.01 | 12.66 ± 0.14 |
| ไทโรซีน (tyrosine) | 1.22 ± 0.01 | 1.16 ± 0.01 |
| วาลีน (valine) | 1.94 ± 0.02 | 2.07 ± 0.02 |
| เมไธโอนีน (methionine) | 0.07 ± 0.00 | 0.22 ± 0.13 |
| ซีสเทอีน (cysteine) | 0.16 ± 0.00 | 0.47 ± 0.00 |
| ไอโซลิวซีน (isoleucine) | 1.15 ± 0.00 | 1.01± 0.01 |
| ลิวซีน (leucine) | 2.63 ± 0.00 | 1.89 ± 0.01 |
| ฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) | 1.77±0.00 | 1.60 ± 0.02 |
| ทริปโตเฟน (tryptophan) | 0.04 ± 0.00 | 0.48 ± 0.00 |
| ไลซีน (lysine) | 4.66 ± 0.00 | 4.86 ± 0.05 |

ที่มา: Norziah *et al*. (2014)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

## 2.4 กระบวนการผลิตเจลาติน

### 2.4.1 การปรับสภาพหนัง

การปรับสภาพหนังก่อนการสกัดเป็นการเปลี่ยนคอลลาเจนที่ไม่ละลายน้ำให้สามารถละลายน้ำได้ โดยขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและสมบัติของเจลาตินที่ต้องการดังนี้ (นัฏฐา, 2549)

1) การปรับสภาพด้วยกรด (acid process)

กรดที่ใช้มีทั้งกรดอินทรีย์และกรดอนินทรีย์ เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดซัลฟิวริก ($H_2SO_4$) กรดฟอสฟอริก ($H_3PO_4$) และกรดแอซีติก ($CH_3COOH$) วัตถุดิบที่นิยมสกัดด้วยกรด ได้แก่ หนังและกระดูกหมูที่ผ่านการกำจัดแร่ธาตุแล้ว (ossein) เจลาตินที่ได้เรียกว่า เจลาตินชนิดเอ ซึ่งการแช่วัตถุดิบในสารละลายกรดนั้นใช้เวลาประมาณ 2 วัน ซึ่งสั้นกว่าการแช่ในสารละลายด่างซึ่งใช้เวลาประมาณ 42-140 วัน (Poppe, 1997)

2) การปรับสภาพด้วยด่าง (alkaline process)

ด่างที่นิยมใช้คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ตัวอย่างที่มักเตรียมโดยวิธีนี้ คือ หนังและกระดูกของวัวและควาย โดยเจลาตินที่ผ่านการปรับสภาพด้วยด่างเรียกว่า เจลาตินชนิดบี ความแตกต่างของเจลาตินชนิดเอและชนิดบี ดังแสดงในตารางที่ 2.2

**ตารางที่ 2.2** สมบัติของเจลาตินชนิดเอและชนิดบี

| สมบัติของเจลาติน | เจลาตินชนิดเอ | เจลาตินชนิดบี |
|---|---|---|
| วัตถุดิบเริ่มต้น | หนังและกระดูกจากหมู | หนังและกระดูกจากวัว |
| สารละลายที่ใช้ปรับสภาพ | กรด | ด่าง |
| ความแข็งแรงเจล (กรัม) | 75-300 | 75-275 |
| ความหนืด (เซนติพอยส์) | 2.0-7.5 | 2.0-7.5 |
| เถ้า (%) | 0.3-2.0 | 0.05-2.0 |
| ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) | 3.8-6.0 | 5.0-7.4 |

ที่มา: Imeson (1997) และอัจฉรา (2549)

2.4.2 การสกัดเจลาติน

คอลลาเจนและเจลาตินประกอบด้วยโมเลกุลขนาดใหญ่ (macromolecule) เหมือนกัน แต่มีลักษณะการสกัดที่แตกต่างกัน โดยคอลลาเจนจะสกัดที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้สารละลายคอลลาเจนมีโครงร่างสามมิติ (triple helix) ที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ในขณะที่การสกัดเจลาติน ที่อุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ความร้อนจะเข้าไปสลายพันธะไฮโดรเจนและพันธะโควาเลนท์ของคอลลาเจน ทำให้โครงร่างสามมิติเกิดการคลายตัว เจลาตินละลายอยู่ในรูปแบบ random coil (Cho *et al*., 2006; ตระกูล, 2552) โดยปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสกัดเจลาตินมีดังนี้ (Cho *et al*., 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1) อุณหภูมิ การสกัดเจลาตินต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่ทำให้โครงสร้างของคอลลาเจนคลายตัวโดยคอลลาเจนจากโคและสุกรเสียสภาพที่อุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส ในทางอุตสาหกรรมจึงสกัดเจลาตินที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสขึ้นไป การให้ความร้อนมี 2 ขั้นตอน (Ward and Courts, 1977) ดังนี้

1.1 การใช้ความร้อนในระดับต่ำ เพื่อทำลายพันธะไฮโดรเจนและพันธะไฮโดรโฟบิกของโครงร่างคอลลาเจน ทำให้โครงร่างมีการจัดเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบและแยกออกจากกัน ซึ่งช่วยในการละลายของคอลลาเจน

1.2 การใช้ความร้อนที่สูงกว่าขั้นตอนแรก ทำให้เกิดการสลายพันธะโควาเลนต์อย่างน้อย 1 พันธะ ซึ่งเป็นพันธะเปปไทด์ที่ทำหน้าที่เชื่อมกรดอะมิโนในโปรตีน ส่งผลให้เจลาตินละลายออกมาได้ดีขึ้น แต่การใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นก็จะทำให้เจลาตินที่ได้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง เนื่องจากความร้อนทำลายพันธะภายในโครงสร้างของเจลาตินส่งผลให้สมบัติเชิงหน้าที่ของเจลาติน เช่น ความแข็งแรงเจลและความหนืดลงน้อยลง (สินีนาถ, 2555)

2) ระยะเวลาการสกัด จากรายงานของ Ockerman และ Hansen (1988) พบว่า การสกัดที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลานานเกินไป แม้จะทำให้ได้ปริมาณผลผลิตสูง แต่ทำให้เจลาตินเกิดการสูญเสียน้ำหนักและสมบัติทางกายภาพที่ดีได้ นอกจากนี้ Harris (1990) รายงานว่า การใช้เวลาในการปรับสภาพวัตถุดิบเป็นเวลานาน ยังทำให้น้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนของเจลาตินที่ได้มีน้ำหนักน้อยลง

นอกจากการสกัดเจลาตินด้วยสารเคมีกรดหรือด่างแล้ว การใช้เอนไซด์ช่วยในกระบวนการสกัดเจลาติน ได้แก่ เอนไซด์ที่ย่อยโปรตีน (proteinase) หรือเอนไซม์ที่ย่อยคอลลาเจน (collagenase) ซึ่งส่วนมากนิยมใช้เอนไซด์ที่ย่อยโปรตีน เช่น เปปซิน (pepsin) และโปรเนส (pronase) โดยใช้ร่วมกับสารเคมีสามารถช่วยลดระยะเวลาในการสกัดได้ โดย Ran และ Wang (2014) ได้ศึกษาการใช้อัลตราโซนิคและการแช่เอนไซม์เปปซินในการสกัดคอลลาเจนจากเส้นเอ็นของวัว ซึ่งเป็นผลพลอยได้ในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ พบว่า กระบวนการที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดคอลลาเจนจากเอ็นของวัว คือ การสกัดวัตถุดิบด้วยสารละลายกรดแอซีติก 0.5 โมลาร์ ร่วมกับเอนไซม์เปปซิน ปริมาณ 50 หน่วยต่อมิลลิกรัม ($U\ mg^{-1}$) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และสกัดด้วยการใช้คลื่นอัลตราโซนิคควบคู่กับเอนไซม์เปปซิน เป็นเวลา 18 และ 30 ชั่วโมง พบว่า การใช้คลื่นอัลตราโซนิคสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพในการสกัดคอลลาเจนด้วยเอนไซม์เปปซินโดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของคอลลาเจน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.3 การทำให้บริสุทธิ์

1) การกรองและการทำให้ใส

สารละลายเจลาตินส่วนใหญ่จะผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ด้วยเครื่องแยก (seperator) อย่างต่อเนื่องที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งสารละลายเจลาตินสามารถแยกออกได้เป็น 3 เฟส คือ ของแข็งที่ไม่ละลาย ไขมันและสารละลายเจลาติน โดยไขมันที่ได้ถือว่าเป็นผลพลอยได้ (byproduct) ของกระบวนการจะถูกนำเข้าสู่อุตสาหกรรมเคมี เพื่อทำให้บริสุทธิ์ต่อไป (Schrieber and Gareis, 2007) ซึ่งสารละลายเจลาตินที่มีสีเข้มในเจลาตินสามารถกำจัดได้โดยใช้สารฟอก เช่น ดินขาว (diatomaceous earth) หรือถ่านกัมมันต์ (activate carbon) ทำให้สารละลายมีสีอ่อนลง และใสขึ้น โดยทั่วไปใช้สารฟอกประมาณ 5% ที่อุณหภูมิ 55-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-6 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปกรอง เพื่อกำจัดสิ่งแขวนลอยที่ไม่สามารถละลายได้ (Ockerman and Hansen, 1988) โดยการกรองสารละลายด้วยความดันผ่านแผ่นกรองเซลลูโลส (cellulose sheet filters) หรือการกรองด้วยเทคนิค microfiltration สำหรับเจลาตินชนิดมวลโมเลกุลต่ำแทนการกรองหรือหมุนเหวี่ยงได้ (Schrieber and Gareis, 2007)

2) การกำจัดแร่ธาตุ

ถึงแม้ว่าสารละลายเจลาตินจะผ่านกระบวนการกรองมาแล้วแต่ยังคงมีแร่ธาตุที่เหลืออยู่ในสารละลาย โดยแร่ธาตุที่ละลายอยู่ในสารละลายส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของเจลาติน เมื่อมีปริมาณแร่ธาตุมากขึ้นจะทำให้เจลาตินมีสมบัติลดต่ำลงตามไปด้วย ตัวอย่างเช่น ถ้าเจลาตินมีปริมาณซัลเฟตที่ไม่ละลายในน้ำดื่มที่ประกอบด้วยแคลเซียมมากจะทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เป็นเจลาตินผงมีความขุ่นเนื่องจากการรวมตัวกันเป็นแคลเซียมซัลเฟตหรือเกิดจากการตกตะกอนของเกลือที่ไม่ละลายน้ำอื่นๆ ซึ่งแร่ธาตุเหล่านี้ทำให้เจลาตินมีปริมาณเถ้ามาก โดยกฎหมายอาหารกำหนดให้คุณภาพของเจลาตินต้องมีปริมาณเถ้าไม่เกิน 2% ส่วนอุตสาหกรรมยาบางประเภทกำหนดให้เจลาตินมีเถ้าไม่เกิน 1% ในขณะที่อุตสาหกรรมภาพถ่ายต้องการเจลาตินชนิดที่ปราศจากเกลือ โดยเทคนิค ultrafiltration เหมาะสำหรับการกำจัดเกลือออกจากเจลาตินสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำให้สารละลายเข้มข้นและกำจัดเกลือออกจากสารละลาย นอกจากนี้สารละลายเจลาตินยังสามารถกำจัดไอออนด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchangers) โดยกระบวนการนี้สามารถกำจัดไอออนบวก (cation) หรือไอออนลบ (anion) ออกได้หมดภายในครั้งเดียว (Schrieber and Gareis, 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3) การทำให้เข้มข้น

สารละลายเจลาตินที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์และกำจัดแร่ธาตุแล้วจะมีน้ำอยู่ในสารละลายประมาณ 95% ส่วนเจลาตินแห้งต้องมีน้ำไม่เกิน 10-12% การระเหยน้ำของสารละลายเจลาตินนิยมใช้เครื่องระเหยสุญญากาศ โดยใช้กระบวนการระเหยแบบขั้นตอนเดียวหรือแบบหลายขั้นตอน ซึ่งการระเหยแบบขั้นตอนเดียวใช้อุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส ส่วนกระบวนการแบบหลายขั้นตอนใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 50-100 องศาเซลเซียส ทั้งนี้การให้ความร้อนในการระเหยอาจทำให้โปรตีนโกลบูลินและอัลบูมินที่ยังหลงเหลืออยู่เสียสภาพและตกตะกอน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มขั้นตอนการกรองเพื่อให้ได้สารละลายเจลาตินที่ใส ซึ่งการทำแห้งช่วยให้เจลาตินมีอายุการเก็บนานขึ้น ประหยัดเนื้อที่ในการเก็บรักษาและสะดวกต่อการขนส่ง (Schrieber and Gareis, 2007)

2.4.4 การทำแห้งเจลาติน

สารละลายเจลาตินมีความไวต่ออุณหภูมิ (thermosensitive fluid) (Ward and Courts, 1977) ดังนั้นการใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้ค่าความแข็งแรงเจลต่ำ เนื่องจากความร้อนจะทำให้พันธะเพปไทด์เกิดการย่อยสลายเกิดขึ้น วิธีการทำแห้งที่มีประสิทธิภาพดี ได้แก่ การทำแห้งโดยวิธีแช่เยือกแข็ง (freeze drying) ทำให้เจลาตินที่ได้จะมีสมบัติที่ดี เนื่องจากโครงสร้างของเจลาตินไม่ถูกทำลาย แต่มีข้อเสียคือ เครื่องมือมีราคาแพง การทำแห้งเจลาตินยังสามารถใช้วิธีอื่น เช่น การทำแห้งแบบใช้ลูกกลิ้ง (drum drying) การอบแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum drying) และการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน (hot air drying) ซึ่งการทำแห้งต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ให้เหมาะสม (Mann, 1962)

**2.5 การทดสอบสมบัติของเจลาติน**

เจลาตินมีสมบัติเป็นของแข็งที่โปร่งใส ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสชาติ มีความหนาแน่น 1.3-1.4 กิโลกรัมต่อลิตร ไม่ละลายในน้ำเย็น แต่จะดูดน้ำแล้วเกิดการพองตัว เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการละลาย นอกจากนี้ยังสามารถละลายได้ในสารจำพวกพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ (polyhydric alcohol) เช่น กลีเซอรอล (glycerol) หรือโพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol) แต่ไม่ละลายในสารอินทรีย์ เช่น เบนซีน (benzene) อีเทอร์ (ether) อะซีโตน (acetone) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (carbontetrachloride) เจลาตินมีสมบัติเป็นทั้งกรดและด่าง (amphoteric) ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ใช้ละลาย โดยเจลาตินประกอบด้วยคาร์บอน 50.5% ออกซิเจน 25.2% ไนโตรเจน 17% และไฮโดรเจน 6.8% (Ockerman and Hansen, 1988)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.1 สมบัติทางเคมี เจลาตินต้องมีสมบัติทางเคมี (Harris, 1990) ดังนี้

1) ความชื้น โดยทั่วไปเจลาตินมีความชื้นประมาณ 10-12% ปริมาณความชื้นอาจอยู่ในช่วง 7-15% ขึ้นกับระยะเวลาการอบแห้ง ระยะเวลาการเก็บรักษา ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของสถานที่ใช้เก็บรักษาและภาชนะบรรจุที่ใช้

2) เถ้า ปริมาณเถ้ากำหนดไม่เกิน 2% ซึ่งเจลาตินคุณภาพสูงจะมีปริมาณเถ้าน้อยกว่า 0.5% ปริมาณเถ้าที่พบขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ถ้าต้องการเจลาตินที่มีคุณภาพดี มีระดับเถ้าต่ำจะต้องนำเจลาตินมาผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (ion-exchange) เพื่อกำจัดแร่ธาตุต่างๆ

3) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเจลาตินอยู่ในช่วง 4-7 ซึ่งเจลาตินคุณภาพดีมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.0-5.8

2.5.2 สมบัติทางกายภาพ

1) ความแข็งแรงของเจล เจลาตินที่จำหน่ายทางการค้ามีความแข็งแรงของเจลอยู่ในช่วงค่าบลูม 50-300 กรัม เจลาตินที่มีค่าความแข็งแรงเจลประมาณ 200-300 กรัม ถือว่ามีค่าความแข็งแรงเจลสูง ส่วนเจลาตินที่มีค่าความแข็งแรงเจลประมาณ 100-200 กรัม ถือว่ามีค่าความแข็งแรงเจลปานกลาง และที่มีค่าความแข็งแรงเจลประมาณ 50-100 กรัม ถือว่ามีค่าความแข็งแรงเจลต่ำ เจลาตินที่มีค่าความแข็งแรงเจลสูงจะมีจุดหลอมเหลวและจุดก่อเจลสูงโดยใช้ระยะเวลาการก่อเจลสั้น รวมทั้งจะมีสีอ่อน มีกลิ่น และรสชาติดีกว่าชนิดที่มีค่าความแข็งแรงเจลต่ำ ความสามารถในการก่อเจลที่สูงยังช่วยให้ใช้เจลาตินในกระบวนการผลิตในปริมาณที่น้อยลง เมื่อต้องการเจลที่มีความแข็งแรงเท่ากัน (Schrieber and Gareis, 2007)

2) ความหนืด สมบัติด้านความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญอันดับสอง รองจากความแข็งแรงเจล โดยค่าความหนืดของเจลาตินขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวของพันธะไฮโดรไดนามิคระหว่างโมเลกุล นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย โดยค่าความหนืดจะลดลงต่ำสุด เมื่อสารละลายมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับค่า isoeletric point ของเจลาติน (Imeson, 1997) อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการผลิตสินค้าประเภทแม่พิมพ์ของอุตสาหกรรมลูกกวาดต้องการเจลาตินที่มีความหนืดต่ำเพื่อป้องกันการไหลตามเป็นเส้น (tailing effect) (Schrieber and Gareis, 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3) สี สารละลายเจลาตินเจือจางที่มีคุณภาพสูง ควรมีสีใสไม่มีสีจนถึงมีสีเหลืองอ่อน ส่วนเจลาตินคุณภาพต่ำจะให้สีเหลืองส้ม และมีความขุ่น ความขุ่นของเจลาตินมักเกิดเนื่องจากใช้สภาวะการผลิตที่ไม่เหมาะสม หรือมีวัตถุเจือปนอื่นๆ ผสมอยู่ เจลาตินคุณภาพดีต้องไม่มีกลิ่นแปลกปลอม และไม่มีรสชาติ (Brody, 1965)

4) การเกิดโฟม เจลาตินเป็นสารก่อโฟมที่มีประสิทธิภาพและสมบัติด้านนี้ถูกใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตมาร์ชมาโรล โดยเจลาตินที่แตกต่างกันมีสมบัติเป็นสารก่อโฟมที่มีความเสถียรแตกต่างกัน เมื่อต้องการใช้งานควรเลือกใช้ด้วยความระมัดระวัง อย่างไรก็ตาม สมบัติการเป็นสารก่อโฟมของเจลาตินสามารถทำให้เป็นมาตรฐานได้ด้วยการใช้สารโซเดียมลอริลซัลเฟต (sodium lauryl sulphate, SLS) ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ของวัตถุเจือปนอาหาร (Cole, 2000)

5) ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร วิธีที่ใช้วัดค่าที่เป็นมาตรฐานของเนื้อสัมผัสอาหาร ได้แก่ วิธี Texture Profile Analysis หรือ TPA ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่มีกลไกเลียนแบบจังหวะการบดเคี้ยวอาหารของมนุษย์ โดยใช้หัววัดกดลงบนผิวตัวอย่างสองครั้งด้วยความเร็วคงที่ตามที่ได้กำหนดไว้ (Schur, 1987)

ค่าที่ประมวลผลได้จากการวัดตัวอย่าง ได้แก่

5.1) ค่าความเปราะหรือความกรอบของอาหาร (fracturability) เป็นค่าแรงกดที่กระทำครั้งแรกซึ่งทำให้เกิดการแตกหักหรือเสียรูปของตัวอย่างโดยเป็นแรงที่ทำให้อาหารแตกร่วน (Smewing, 1999)

5.2) ค่าความแข็ง (hardness) หรือบางครั้งเรียกว่าค่าความแน่นเนื้อ (firmness) เป็นค่าแรงสูงสุดในการกดครั้งแรกหรือเรียกว่า การกัดครั้งแรก (First bite) ซึ่งใช้อธิบายความแข็งของอาหารว่ามีลักษณะอ่อนนุ่ม เหนียวแน่น หรือแข็งแรง (Steffe, 1996)

5.3) ค่าความสามารถในการยึดเกาะกันภายในชิ้นอาหาร (cohesiveness) เป็นค่าขอบเขตของวัสดุที่สามารถเสียรูปก่อนที่อาหารจะเกิดการแตกหรือแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ (สันตกิจ, 2544) ซึ่งตระกูล (2552) รายงานว่า เจลาตินจากหนังปลาเผาะมีการยึดติดกับวัสดุอื่นสูง แต่มีแรงยึดภายในเจลและความยืดหยุ่นต่ำกว่าเจลาตินจากกระดูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

5.4) ค่าการเกาะติดของอาหาร (adhesiveness) เป็นแรงที่ต้องใช้ในการดึงหัววัดออกจากผิวหน้าของอาหารครั้งแรกหรือเป็นความสามารถในการยึดติดของอาหาร (Smewing, 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

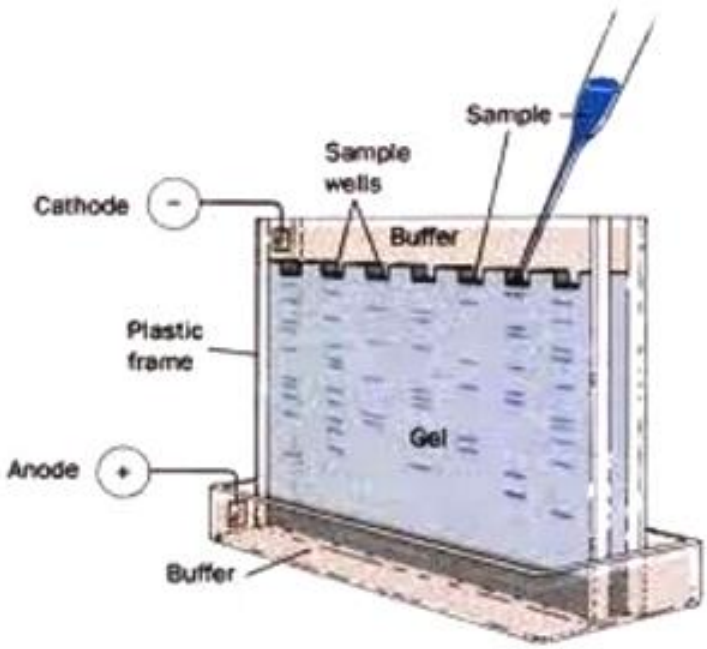
5.5) ค่าความยืดหยุ่นของอาหาร (springiness) หรืออัตราการคืนรูปของวัสดุหลังจากถูกกด เป็นความสามารถของอาหารในการกลับสู่สภาวะเดิมซึ่งเป็นตัวชี้วัดลักษณะความสามารถในการยืดหยุ่นของอาหารเมื่อเริ่มบดเคี้ยวอาหารภายในปาก (Sanderson, 1990) โดยทั่วไป ถ้าค่าความยืดหยุ่นของอาหารมีค่ามากแสดงว่า ต้องใช้แรงในการบดเคี้ยวมากจึงจะทำให้อาหารแตกเป็นชิ้นเล็กได้ ถ้าค่าความยืดหยุ่นของอาหารมีค่าน้อย แสดงว่าใช้แรงในการบดเคี้ยวเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้อาหารแตกเป็นชิ้นเล็กได้อย่างง่ายดาย (Lau *et al*., 2000)

5.6) พลังงานการบดเคี้ยวอาหารกึ่งแข็งกึ่งเหลว (gumminess) เป็นแรงที่ต้องใช้ในการแยกตัวอย่างที่เป็นกึ่งแข็งจนกระทั่งเสียรูปหรือพลังงานที่ใช้ในการทำให้อาหารกึ่งแข็งกึ่งเหลวแยกตัวออกจากกันจนถึงขั้นพร้อมที่จะกลืนได้ (Steffe, 1996) ซึ่งอธิบายลักษณะของอาหารที่มีลักษณะเป็นอาหารผง ลักษณะคล้ายแป้งเปียกหรืออาหารที่มีลักษณะเหนียวคล้ายยาง (Kokini and Cussler, 1987)

5.7) พลังงานการเคี้ยวอาหารแข็ง (chewiness) เป็นพลังงานที่ใช้ในการบดเคี้ยวอาหารแข็งจนอาหารนั้นอยู่ในสภาพพร้อมกลืน (Smewing, 1999) โดยอธิบายในลักษณะของอาหารมีความอ่อนนุ่ม หนุบหนับ หรือแข็งแรง (Kokini and Cussler, 1987) ซึ่งอัจฉรา (2549) ศึกษาผลของพีเอช เจลาติน เพกทิน น้ำตาล และน้ำผลไม้ที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของกัมมีเยลลีและรายงานว่า ค่าพลังงานการบดเคี้ยวอาหารกึ่งแข็งกึ่งเหลวและพลังงานการเคี้ยวอาหารแข็งจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของเจลาตินเท่านั้น

6) น้ำหนักโมเลกุลของโปรตีน เจลาตินจากหนังสัตว์มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 10-100 กิโลดาลตัน (นิธิยา, 2553) โดยฉลองขวัญ (2551) ศึกษาคอลลาเจนจากเกล็ดปลาและรายงานว่า ปัจจัยด้านสารละลายกรด อุณหภูมิ เวลา และเอนไซม์มีผลต่อขนาดโมเลกุลของเปปไทด์ เป็นความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกัน โดยเมื่อใช้ปัจจัยเหล่านี้ในปริมาณสูงจะทำให้ได้ปริมาณผลผลิตมากแต่ทำให้ได้เปปไทด์ขนาดเล็ก วิธีที่นิยมใช้การวิเคราะห์โปรตีนและอนุพันธ์ของโปรตีน คือ เทคนิค Sodium Dodecyl Sulfate Polyacrylamide Gel Electrophoresis (SDS-PAGE) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของโปรตีนระหว่างขั้นตอนการทำให้โปรตีนให้บริสุทธิ์ และยังใช้ในการหาน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนหรือหน่วยย่อยของโปรตีนโดยแยกโปรตีนภายใต้สนามไฟฟ้า โดยอาศัยความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนที่มีโครงสร้างปฐมภูมิต่างกัน และหาปริมาณโปรตีนจากความเข้มของแถบโปรตีนที่จำเพาะเทียบกับโปรตีนมาตรฐาน (สมยศ, 2553) (ภาพที่ 2.9)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




**ภาพที่ 2.9** วิธีการวิเคราะห์ SDS-PAGE ด้วยเครื่องแยกสารด้วยไฟฟ้า
ที่มา: Victor (2013)

2.5.3 สมบัติทางจุลินทรีย์

สมบัติทางจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณแบคทีเรีย ตามมาตรฐานของเจลาตินที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาและอุตสาหกรรมอาหารต้องมีปริมาณแบคทีเรียไม่เกิน $3\times10^3$ CFU/กรัม และต้องไม่พบเชื้อก่อโรค *Salmonella* spp. และ *Escherichia coli*. (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2548)

2.5.4 มาตรฐานของเจลาตินตามมอก. 799-2548

มาตรฐานของเจลาตินที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาและอุตสาหกรรมอาหารมีกำหนดไว้ในมอก.799-2548 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2548) ดังตารางที่ 2.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตารางที่ 2.3** สมบัติของเจลาตินในอุตสาหกรรมยาและอาหารตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

| รายการ | ลักษณะ | เกณฑ์ที่กำหนด | |
|---|---|---|---|
| | | มาตรฐานยา | มาตรฐานอาหาร |
| 1 | สารหนู (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) | 1 | 1 |
| 2 | ตะกั่ว (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) | - | 5 |
| 3 | โลหะหนัก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) | 50 | 50 |
| 4 | ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) | 40 | 40 |
| 5 | น้ำหนักที่สูญเสียจากการอบ (%) | 15 | 18 |
| 6 | เถ้า (%) | 2.0 | 2.0 |
| 7 | ความแข็งแรงของเจล (กรัม) | ตามข้อตกลง | ตามข้อตกลง |
| 8 | ความเป็นกรด-ด่าง | 3.8 ถึง 7.6 | - |
| 9 | ลักษณะทางจุลชีววิทยา | - | - |
| | จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม) | $10^3$ | $10^4$ |
| | เชื้อรา ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม) | - | 10 |
| | Coliform (MPN) | - | 3 |
| | *E. coli* (ต่อกรัม) | ไม่พบ | - |
| | *Salmonella* spp. (ต่อ 25 กรัม) | ไม่พบ | ไม่พบ |
| | *Clostridium perfringens* (ต่อกรัม) | - | ไม่พบ |

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2548)

## 2.6 การใช้ประโยชน์จากเจลาติน

2.6.1 อุตสาหกรรมอาหาร

เจลาตินเป็นหนึ่งในวัตถุเจือปนอาหารที่มีหน้าที่และสมบัติที่หลากหลายในการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งเจลาตินทางการค้ามีค่าความแข็งแรงเจลอยู่ในช่วง 50-300 กรัม และถูกเติมกลิ่นรส สี สารปรุงแต่งอาหารและวัตถุเจือปนอาหารเข้าไปในผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการใช้เจลาตินเป็นส่วนประกอบ มีดังนี้ (GMIA, 2012)

1) ผลิตภัณฑ์ลูกกวาด

ผลิตภัณฑ์ลูกกวาดเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทหนึ่งที่ผลิตโดยใช้น้ำตาล น้ำเชื่อมและน้ำร่วมกับการเติมกลิ่นรส สีปรุงแต่งอาหารและวัตถุเจือปนอาหารเพื่อเพิ่มลักษณะทางพื้นผิวสัมผัส ซึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เจลาตินถูกใช้อย่างกว้างขวางในการผลิตลูกกวาด เนื่องจากสมบัติทางด้านการก่อเจล การกำหนดรูปร่างผลิตภัณฑ์และลักษณะเฉพาะ เช่น การละลายตัวภายในปาก

ผลิตภัณฑ์ลูกกวาดประเภทกัมมี่เยลลีประกอบด้วยเจลาตินในปริมาณสูง ซึ่งลูกกวาดประเภทนี้ละลายช้ากว่า ซึ่งเพิ่มความเพลินเพลินในขณะเคี้ยว เจลาตินที่ใช้ในการก่อโฟมสำหรับผลิตภัณฑ์มาร์ชมาโรลมีหน้าที่ในการลดแรงตึงผิวของน้ำเชื่อม เพิ่มความคงตัวให้กับโฟมผ่านทางความหนืดที่เพิ่มขึ้น ทำหน้าที่เป็นโครงร่างของโฟมด้วยการก่อเจลและป้องกันการตกผลึกของน้ำตาล เจลาตินที่ใช้เป็นสารก่อโฟมจะใช้ประมาณ 2-7% ขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่ผิวสัมผัสที่ต้องการ โดยผลิตภัณฑ์เยลลีใช้เจลาตินประมาณ 7% ที่มีความแข็งแรงเจลประมาณ 175 กรัม ขณะที่มาร์ชมาโรลใช้เจลาตินชนิดเอประมาณ 2.5% ที่มีความแข็งแรงเจลประมาณ 250 กรัม

2) ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

เจลาตินถูกใช้ในไส้กรอกประเภทเฮดชีส (head cheese) ปอเปี๊ยะไก่ (chickenrolls) ผลิตภัณฑ์เนื้อแฮมอบซอสหรือแฮมกระป๋องและผลิตภัณฑ์ประเภทเนื้อสัตว์ผสมเจล ซึ่งเจลาตินทำหน้าที่ดูดซับน้ำเข้าสู่เนื้อสัตว์ หรือทำให้ก่อโครงสร้าง หรือสร้างเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยปกติใช้เจลาตินประมาณ 1-5% ขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อสัตว์ ความแข็งแรงเจลของเจลาตินและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการ

3) ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มและน้ำผลไม้

โดยดั้งเดิมเจลาตินใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำหรับการทำให้เครื่องดื่มมีความใส เช่น ไวน์ เบียร์และน้ำผลไม้ โดยเจือจางสารละลายเจลาตินประมาณ 1-3% แล้วใส่ด้านบนของถัง จากนั้นจึงนำเอาเจลาตินออกก่อนขั้นตอนการกรองเครื่องดื่ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.2 อุตสาหกรรมยา

เจลาตินถูกใช้สำหรับอุตสาหกรรมยาในรูปแบบของแคปซูลชนิดแข็ง แคปซูลชนิดอ่อนและเม็ดยา ดังนี้

1) แคปซูลชนิดแข็ง (hard capsule)

การผลิตแคปซูลชนิดแข็ง ทำได้โดยการจุ่มแม่พิมพ์สแตนเลสลงไปในสารละลายเจลาติน แล้วทำให้แห้ง จากนั้นลอกเจลาตินออกจากตัวแม่พิมพ์แล้วตัดแต่งให้ได้รูปทรงที่ต้องการ จากความแข็งแรงเจล ความยืดหยุ่นและความใสซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของเจลาตินทำให้กระบวนการผลิต

สะดวกทั้งทางด้านของขนาด สี และการออกแบบ รวมถึงความเชื่อมั่นในการปิดแคปซูลหลังจากการกรอกตัวยาลงไป (Eaton, 1989) ซึ่งในปัจจุบันแคปซูลชนิดแข็งถูกผลิตออกมาให้มีความหลากหลายในการปิดล็อคมากขึ้น เพื่อป้องกันตัวยาที่อยู่ในแคปซูลเองและป้องกันความเสี่ยงของแคปซูลที่ง่ายต่อการเปิดออกอีกด้วย (Withered, 1986)

2) แคปซูลชนิดอ่อน (soft elastic gelatin capsule)

แคปซูลชนิดอ่อนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เป็นแคปซูลที่ทำมาจากสารละลายเจลาตินที่มีลักษณะเป็น plasticized ร่วมกับสารโพรไพลีนไกลคอน (propylene glycol) ซอร์บิทอล (sorbitol) กลีเซอรีน (glycerin) หรือสารอื่นๆ ที่ได้รับอนุญาตถูกต้อง โดยผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นชิ้นเดียวและเป็นแบบปิดผนึกเพื่อใส่ยาประเภทของเหลวหรือสารจำพวกกึ่งแข็งกึ่งเหลว โดยการผลิตเป็นรูปแบบของการเติมสารหรือตัวยาเข้าไปและปิดผนึกภายในขั้นตอนเดียว (Stringer, 1989)

3) เม็ดยา (Tablets)

เม็ดยาที่ผลิตได้อยู่ในรูปแบบของแข็งที่ประกอบด้วยตัวยาเป็นหลัก ซึ่งจะเจือจางหรือไม่เจือจางก็ได้ ส่วนใหญ่ขึ้นรูปด้วยวิธีการบีบอัดหรือการใช้แบบแม่พิมพ์ ซึ่งเจลาตินจะถูกใช้ในขั้นตอนการเตรียมขึ้นรูปเป็นเม็ดยา ซึ่งเจลาตินช่วยในการรวมตัวกันของอนุภาค นอกจากนี้ยังแก้ปัญหาในด้านสารเกาะตัวกันที่ทำให้ตัวยาละลายน้ำและยึดให้ตัวยาขึ้นรูปเป็นเม็ดเดียวกัน จากสมบัติด้านในการเอาชนะแรงระหว่างพื้นผิวของตัวอย่างกับพื้นผิวของวัสดุ (adhesive) อีกด้วย (Parrott, 1987)

โดยทั่วไปเม็ดยาจะผ่านกระบวนการห่อหุ้มเพื่อป้องกันการเกิดฝุ่น การเปลี่ยนแปลงของรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ และสามารถระบุรายละเอียดหรือสีเพื่อบ่งชี้เอกลักษณ์ของตัวยานั้นไว้อีกด้วย ซึ่งกระบวนการห่อหุ้มนั้นส่วนใหญ่ใช้น้ำตาล สีและเจลาตินเพื่อเป็นฟิล์มเคลือบเม็ดยานั้นๆ โดยวิธีที่นิยมมากที่สุดคือ การใช้กระบวนการเคลือบม้วน (roll coating pan) และเคลือบสารละลายห่อหุ้มเข้าไปด้วยการฉีดพ่นแบบฝอย (Loftsson and Brewster, 1985)

4) กระบวนการห่อหุ้ม (microencapsulation)

เจลาตินถูกใช้ในการห่อหุ้มน้ำมันด้วยเทคโนโลยีการห่อหุ้ม ทั้งสำหรับด้านโภชนาการและด้านเภสัชกรรม โดยวิธีการดั้งเดิมของการห่อหุ้มนี้รู้จักกันในรูปแบบของวิธี coacervation โดยเจลาตินจะเชื่อมระหว่างสารที่ละลายน้ำและสารที่ไม่ละลายน้ำเข้าด้วยกัน โดยทั่วไปใช้กับอาหารเสริม ทั้งที่เป็นอาหารและวิตามินชนิดต่างๆ ซึ่งขนาดและรูปทรงของผลิตภัณฑ์สามารถกำหนดเองได้ด้วยวิธีการต่างๆ โดยส่วนใหญ่มีขนาดประมาณ 5-500 ไมครอน (GMIA, 2012)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.3 อุตสาหกรรมถ่ายภาพ

สำหรับเจลาตินที่ใช้ในการถ่ายภาพจะใช้เจลาตินชนิดบีเป็นหลัก โดยใช้ในขั้นตอนการเตรียมส่วนที่เป็นเยื่อไวแสงหรือ emulsion โดยเจลาตินทำหน้าที่เป็นคอลลอยด์ป้องกันการตกตะกอนของเกลือเงินเฮไลต์ (silver halides) ก่อนฉาบสารไวแสง นอกจากนั้นจะมีชั้นของเจลาตินบนฐานรองรับเพื่อให้สารไวแสงยึดแน่นกับฐานรองรับ โดยเรียกเจลาตินชั้นนี้ว่า subbing layer และเมื่อฉาบสารไวแสงบนฐานรองรับแล้วจะใช้เจลาตินฉาบที่ผิวบนสุดอีกชั้นหนึ่ง เรียกว่า nonstress supercoat เพื่อป้องกันการถูกขีดข่วน และส่วนสุดท้ายส่วนที่เป็นด้านหลังของฟิล์มจะฉาบด้วยเจลาตินผสมกับสี เพื่อป้องกันการโค้งงอ เนื่องจากการเปียกและการแห้งของเยื่อไวแสงของเจลาติน นอกจากนั้น ยังทำหน้าที่ป้องกันการเกิด halation คือ การสะท้อนกลับหมดของแสงที่ผิวล่างของฐานรองรับ ทำให้เกิดวงกลมสว่างขึ้นโดยรอบภาพของจุดกำเนิดแสงอีกด้วย (วันชัย, 2559) ซึ่งในปัจจุบันไม่เป็นที่นิยม

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การปรับสภาพหนังก่อนการสกัดด้วยสารละลายชนิดต่างๆ และสภาวะในกระบวนการสกัด ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา ค่าความเป็นกรด-ด่าง และสารละลายสำหรับการกระบวนการผลิตเจลาตินได้รับการศึกษาอย่างแพร่หลาย ดังเห็นได้จากรายงานของ Mahmood *et al.* (2008) ซึ่งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเจลาตินสำหรับใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารจากหนังและกระดูกวัวเหลือทิ้ง โดยพบว่าเจลาตินสามารถสกัดได้จากหนังและกระดูกวัวเหลือทิ้งด้วยน้ำร้อน หลังจากแช่ด่างเป็นเวลา 2-3 วัน โดยสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดได้แก่ การสกัด 3 ขั้นตอน ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 โดยขั้นตอนที่หนึ่งใช้อุณหภูมิ 64 องศาเซลเซียส เวลา 5 ชั่วโมง ต่อมาใช้อุณหภูมิ 74 องศาเซลเซียส เวลา 3.72 ชั่วโมง และขั้นตอนสุดท้ายใช้อุณหภูมิ 84 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3.69 ชั่วโมง ปริมาณผลผลิตเจลาตินที่สกัดได้ 204.7 กรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Mokrejs *et al.* (2009) ศึกษาการสกัดคอลลาเจนและเจลาตินจากของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ โดยใช้เส้นเอ็นของวัวที่เหลือจากโรงเชือด และชิ้นส่วนอื่นๆได้แก่ หนังและเนื้อ มาทำความสะอาดและเตรียมตัวอย่างโดยการปรับสภาพหนังด้วยเอนไซม์ทางการค้า จากนั้นสกัดด้วยน้ำ แล้วหาขั้นตอนการสกัดที่เหมาะสมเพื่อให้ได้เจลาตินที่มีความแข็งแรงของเจลประมาณ 350-410 กรัม และปริมาณผลผลิตอยู่ในช่วง 55-60% พบว่า การใช้ระยะเวลานานและอุณหภูมิในการสกัดที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้เจลาตินเสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น

Li *et al.* (2008) ศึกษาการสกัดคอลลาเจนจากของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเครื่องหนัง พบว่า การใช้สารอนินทรีย์ ได้แก่ สารเอทิลีนไดเอมีนเตตระแอซีติกแอซิด (ethylene diaminetetraacetic acid, EDTA) และกรดไฮโดรคลอริกในการปรับสภาพหนังก่อนการสกัด พบว่า การใช้กรดไฮโดรคลอริกได้ปริมาณผลผลิต 41.31% ส่วนสาร EDTA ให้ปริมาณผลผลิต 10.42% นอกจากนี้ การปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกได้คอลลาเจนที่มีจุดไอโซอิเล็กทริกเป็นกรดมากกว่า มีปริมาณกลุ่มอะมิโนหลักต่ำกว่า และมีค่าความหนืดสูงกว่าการปรับสภาพด้วยสาร EDTA

Defu *et al.* (2009) ศึกษาการใช้อัลตราโซนิคช่วยในกระบวนการสกัดคอลลาเจนจากเส้นเอ็นของวัวด้วยเอนไซม์เปปซิน พบว่า การใช้อัลตราโซนิคสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตที่ได้ 124% และยังมีผลทำให้ระยะเวลาในการสกัดสั้นลงเมื่อเปรียบเทียบกับการสกัดโดยใช้เอนไซม์เปปซินปกติ เนื่องจากอัลตราโซนิคสามารถกระจายเอนไซม์เปปซินให้ทั่วถึงและยังทำให้เส้นใยไฟบรินแยกออกจากกันได้ดีขึ้น จึงทำให้เกิดการย่อยโปรตีนได้ดียิ่งขึ้น

Prommajak และ Raviyan (2013) ศึกษาสมบัติทางกายภาพของเจลาตินจากหนังปลาเผาะ (*Pangasius bocourti Sauvage*) ด้วยการปรับสภาพหนังปลาเผาะด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.8 โมลาร์ ร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ และสกัดเจลาตินด้วยสารละลายกรดแอซีติก ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.55 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง สมบัติทางกายภาพของเจลาตินที่สกัดได้เมื่อเปรียบเทียบกับเจลาตินทางการค้า พบว่า มีความแข็งแรงเจล 513.75 กรัม ความหนืด 3.88 เซนติพอยส์ ความขุ่น 73.21% สมบัติการเกิดโฟม 1.13% ความเสถียรของโฟม 0.71% ค่าความเป็นอิมัลชั่น 34.2-44.6% และค่าการเกาะตัวกันของอาหาร 369.1 กรัม•วินาที ซึ่งมีค่าสูงกว่าเจลาตินทางการค้า แต่ค่าสี (L* 43.62, C* 3.66 และ h° 45.28) ค่าความสามารถในการยึดเกาะกันภายในชิ้นอาหาร 0.838 และความยืดหยุ่นเจลต่ำกว่าเจลาตินทางการค้า จุดก่อเจลและจุดหลอมเหลวของเจลาตินที่สกัดได้เท่ากับ 16.40 และ 26.87 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ต่ำกว่าจุดก่อเจลและจุดหลอมเหลวของเจลาตินทางการค้า คือ 18.45 และ 29.90 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองที่ได้แนะนำให้เจลาตินที่สกัดจากหนังปลาเผาะเหมาะสำหรับการผลิตฟิล์มหรือเป็นสารก่อโฟมหรือสารอิมัลซิไฟเออร์ แต่ไม่เหมาะสำหรับใช้เป็นสารก่อเจล

Liu *et al*. (2015) ศึกษาผลของการปรับสภาพด้วยสารละลายด่างและสภาวะการสกัดด้วยสารละลายกรดต่อคอลลาเจนที่สกัดได้จากหนังปลาเฉา (*Ctenopharyngodon idella*) ซึ่งพบว่า การปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.05 และ 0.1 โมลาร์ เพื่อกำจัดโปรตีนที่ไม่ใช่คอลลาเจน ที่อุณหภูมิ 4, 10, 15 และ 20 องศาเซลเซียส ไม่พบความแตกต่างทางนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในขณะที่การปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 และ 0.5

พบความแตกต่างทางนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ทางสถิติด้านโครงสร้างของคอลลาเจนที่อุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียส สำหรับการสกัดด้วยสารละลายกรดที่อุณหภูมิ 4, 10, 15 และ 20 องศาเซลเซียส พบว่า สารละลายกรดแอซีติกความเข้มข้น 0.1 และ 0.2 โมลาร์สามารถสกัดคอลลาเจนได้น้อยกว่าความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 โมลาร์ สภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพ คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.05-0.1 โมลาร์ และสกัดด้วยสารละลายกรดแอซีติกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 4-20 องศาเซลเซียส ทั้งการปรับสภาพและการสกัด

Cho *et al.* (2005) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินโดยใช้วิธี RSM เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เวลาในการปรับสภาพและเวลาในการสกัดต่อผลของความแข็งแรงเจลและปริมาณเจลาติน หลังจากนั้นศึกษาสมบัติทางกายภาพของเจลาตินจากหนังปลาทูน่าครีบเหลืองเปรียบเทียบกับเจลาตินจากหนังวัวและไก่ พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ การปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.89% เวลา 2.87 วัน ที่อุณหภูมิการสกัด 58.15 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการสกัด 4.72 ชั่วโมง ให้ค่าความแข็งแรงเจลเท่ากับ 429.1 กรัม ปริมาณเจลาติน 89.7% ความแข็งแรงเจล 426 กรัม สูงกว่าความแข็งแรงเจลจากเจลาตินหนังวัว (216 กรัม) และไก่ (295 กรัม) แต่มีจุดก่อเจลและจุดหลอมเหลวต่ำกว่าเจลาตินชนิดอื่น สมบัติความยืดหยุ่นของเจลาตินจากปลาทูน่าครีบเหลืองไม่เปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส แต่เพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสซึ่งมีรูปแบบคล้ายกับเจลาตินหนังวัวและไก่

Mohtar *et al*. (2010) ศึกษาสภาวะการสกัดที่เหมาะสมสำหรับการสกัดหนังปลาโฮกิ (*Macruronus novaezelandiae*) โดยพบว่า การปรับสภาพหนังด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.75 โมลาร์เป็นเวลา 9 นาที และสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 49.3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ได้ค่าจากการทำนายปริมาณผลผลิตเท่ากับ 17.4% ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดลอง คือ 17.6% รูปแบบโมเลกุลของโปรตีนจากเจลาตินที่สกัดได้มีน้ำหนักประมาณ 191 กิโลดาลตันซึ่งมากกว่าเจลาตินจากไก่ แต่ค่าความแข็งแรงเจล (197±5 กรัม) น้อยกว่าเจลาตินจากไก่ (307±8.4 กรัม) และเจลาตินจากวัว (273±16.1 กรัม) ที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม ค่าความแข็งแรงเจลของเจลาตินจากหนังปลาโฮกิก็ยังให้ค่าสูงกว่าเจลาตินจากปลาทะเลน้ำเย็นชนิดอื่นๆ

Balti *et al*. (2011) ศึกษาการสกัดและสมบัติหน้าที่ของเจลาตินจากหมึกกระดอง (*Sepia officinalis*) โดยการเติมเอนไซม์โปรตีเอส (protease) ที่สกัดจากกระเพาะของปลาฉลาม (*Mustelus mustelus*) ที่ระดับความเข้มข้น 0 ถึง 15 หน่วย/กรัม เปรียบเทียบลักษณะและสมบัติหน้าที่ของเจลาตินที่ได้กับเจลาตินจากหนังวัว พบว่า ปริมาณผลผลิตที่สกัดได้ที่อุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส เท่ากับ 2.21% และ 7.84% จากการสกัดด้วยสารละลายกรดและการสกัดด้วยเอนไซม์ 15 หน่วย/กรัม

ตามลำดับ เจลาตินที่สกัดได้มีปริมาณโปรตีนสูง (91.35%) ปริมาณไขมันต่ำ (0.28%) เจลาตินที่สกัดได้มีส่วนประกอบของกรดอะมิโนแตกต่างจากเจลาตินจากหนังวัว ซึ่งประกอบไปด้วยปริมาณไฮดรอกซีโพรลีนและโพรลีนต่ำกว่าเจลาตินจากหนังวัว แต่มีปริมาณซีรีนสูงกว่าเจลาตินจากหนังวัว สมบัติความแข็งแรงเจล (181 กรัม) ต่ำกว่าเจลาตินจากหนังวัว (259 กรัม) ($P \leq 0.05$) ซึ่งมีสาเหตุมาจากปริมาณไฮดรอกซีโพรลีนต่ำแต่มีสมบัติความเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์และความเสถียรของโฟมดีกว่าเจลาตินจากหนังวัว ($P \leq 0.05$)

Lassoued *et al*. (2014) ศึกษาลักษณะและสมบัติหน้าที่ของเจลาตินจากหนังปลากระเบน โดยปรับสภาพหนังในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลาร์/ลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และสกัดด้วยสารละลายกรดแอซีติก 0.2 โมลาร์ หรือสารละลายไกลซีน-ไฮโดรคลอริกร่วมกับเอนไซม์เปปซิน ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2 พบว่า การเติมเอนไซม์เปปซินสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตของเจลาตินเป็น 30% จากปกติที่สกัดด้วยสารละลายกรดแอซีติกหรือสารละลายไกลซีน-ไฮโดรคลอริกที่ให้ปริมาณผลผลิตเท่ากับ 18.32% และ 23.01% สมบัติที่พบในเจลาตินที่สกัดได้ พบว่า เจลาตินมีปริมาณโปรตีนสูง แต่น้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนต่ำ ทำให้ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงเจลของเจลาติน ซึ่งมีความแข็งแรงเจลเพียง 140 กรัม ในขณะที่เจลาตินทางการค้ามีความแข็งแรงเจล 260 กรัม รวมถึงค่าเนื้อสัมผัสของเจลาตินแสดง ค่าความแข็งความหยุ่นหนืด ค่าความสามารถในการยึดเกาะกันภายในชิ้นอาหารและพลังงานการเคี้ยวอาหารแข็งต่ำกว่าเจลาตินทางการค้าอีกเช่นกัน โดยเจลาตินที่ได้เหมาะสำหรับประยุกต์ในการทำให้ผลิตภัณฑ์เสถียรและการทำน้ำผลไม้ให้ใส

Sinthusamran *et al*. (2014) ศึกษาสภาวะในการสกัดและสมบัติของเจลาตินจากหนังปลากะพง (*Lates calcarifer*) โดยการปรับสภาพหนังปลากะพงด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ 3 ชั่วโมง สารละลายกรดแอซีติกความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นศึกษากระบวนการสกัดหนังปลาด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ (45 และ 55 องศาเซลเซียส) และเวลาต่างๆ (3, 6 และ 12 ชั่วโมง) พบว่า ที่อุณหภูมิ 45 และ 55 องศาเซียส ที่เวลาต่างๆ มีปริมาณผลผลิตเจลาตินที่สกัดได้อยู่ในช่วง 51.6-57.3% และ 62.0-66.4% ตามลำดับ โดยเจลาตินทั้งหมดประกอบด้วยสายโซ่เบต้า แอลฟา โพรลีนและไฮดรอกซีโพรลีนในปริมาณสูงโดยทั่วไป สมบัติด้านความแข็งแรงเจลของเจลาตินลดต่ำลง เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการสกัดเพิ่มมากขึ้น เจลาตินที่สกัดได้ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงให้ความแข็งแรงเจลสูงที่สุด (369 กรัม) โดยสูงกว่าเจลาตินทางการค้า อุณหภูมิก่อเจลเท่ากับ 19.5-20.0 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิหลอมเหลวเท่ากับ 26.3-27.0 องศาเซลเซียส โดยทุกเจลาตินสามารถก่อเจลได้ที่อุณหภูมิ 25

องศาเซลเซียส ภายในเวลา 30 นาที อย่างไรก็ตาม เจลาตินที่สกัดได้ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส สามารถใช้เวลาก่อเจลได้เร็วกว่าเจลาตินที่สกัดที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงสามารถใช้ทดแทนเจลาตินที่ผลิตจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมได้

นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนาเทคนิคของการสกัดโดยเริ่มนำเอนไซม์มาใช้ในกระบวนการสกัดหนังสัตว์อีกด้วย จากการศึกษาการสกัดและทำให้บริสุทธิ์ของเจลาตินจากเศษหนังสัตว์ใหญ่ที่ยังไม่ผ่านการฟอกโดยใช้แอลคาไลน์โปรทีเอส โดยทำการศึกษาปัจจัยในการสกัดต่างๆ ได้แก่ ความเข้มข้นของเอนไซม์ (0-10,000 หน่วย/มิลลิกรัม) เวลา (20-180 นาที) อุณหภูมิ (40-60 องศาเซลเซียส) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (8-11) รวมทั้งศึกษาสมบัติของเจลาตินที่สกัดได้ในด้านความแข็งแรงเจลและความหนืด จากการทดลอง พบว่า ความเข้มข้นของเอนไซม์ เวลา อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่างและอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสี่มีผลต่อความแข็งแรงเจลอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ส่วนความหนืด พบว่า เวลา อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อความหนืดของเจลอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าความแข็งแรงเจลอยู่ในช่วง 4.6-165.8 กรัม และความหนืดอยู่ในช่วง 1.59-3.07 เซนติพอยส์ การศึกษาการทำบริสุทธิ์ของเจลาติน พบว่า สมบัติความแข็งแรงเจลและความหนืดของเจลาตินแปรผันตามน้ำหนักโมเลกุล เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นจะทำให้ความแข็งแรงเจลและความหนืดเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 100 กิโลดาลตัน ซึ่งมีความแข็งแรงเจลมากกว่า 160 กรัม และความหนืดเท่ากับ 3.00 เซนติพอยส์ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของสมบัติทางเคมีและกายภาพด้านอื่น ได้แก่ สมบัติด้านการละลาย ค่าความเป็นกรด-ด่าง สี ความชื้น ไขมัน โลหะหนัก (ปริมาณสารหนู ตะกั่ว โลหะหนัก) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด (ปาริชาติ, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การศึกษาอิทธิพลของสภาวะในการใช้เอนไซม์ต่อการผลิตเจลาตินจากหนังสัตว์ใหญ่ โดยใช้เอนไซม์ในการไฮโดรไลซ์หนังสัตว์ในสภาวะต่างๆ ซึ่งเอนไซม์มีสองชนิด คือ เอนไซม์ปาเปนและนิวเตรส สำหรับศึกษาปัจจัยด้านต่างๆ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (6-8) อุณหภูมิ (40-70 องศาเซลเซียส) และเวลาในการผลิตเจลาตินต่อสมบัติของเจลาตินที่สกัดได้ ได้แก่ ความแข็งแรงเจลและความหนืด จากการทดลองพบว่า ปริมาณสารตั้งต้นเป็นตัวแปรสำคัญในการควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาและปริมาณผลผลิตที่ได้ ซึ่งปริมาณผลผลิตที่ได้ของเจลาตินจากเอนไซม์ทั้งสองชนิดอยู่ในปริมาณ 70-80% โดยปริมาณอัตราส่วนที่เหมาะสมของเอนไซม์ต่อสารตั้งต้น คือ 0.3:200 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6-7 สำหรับเอนไซม์ปาเปนและที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6-7 สำหรับเอนไซม์นิวเตรส จากกระบวนการสกัดตามสภาวะที่

กำหนด พบว่า เจลาตินที่สกัดด้วยเอนไซม์ปาเปน (papain) มีความหนืดต่ำกว่าเจลาตินทางการค้า (2.9-5.6 เซนติพอยส์) ซึ่งเอนไซม์ปาเปนจึงเหมาะสำหรับการผลิตเจลาตินที่มีแข็งแรงเจลและความหนืดต่ำ ในขณะที่ความหนืดของเจลาตินที่ได้จากเอนไซม์นิวเตรสเท่ากับ 1.5-3 เซนติพอยส์ ซึ่งเอนไซม์นิวเตรสเหมาะสำหรับการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสทหรือคอลลาเจนไฮโดรไลเสท (ก้องภพ, 2547)

การศึกษาการผลิตเจลาตินจากหนังสัตว์ใหญ่โดยใช้โพรทีโอไลติกเอนไซม์ที่สกัดจากยางมะละกอ โดยศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เวลาและอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อหนังสัตว์ต่อสมบัติของเจลาตินที่สกัดได้ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการใช้เอนไซม์สกัดหยาบและเอนไซม์ปาเปนทางการค้า คือ ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และค่าความเป็นกรด-ด่าง 7 ทำให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ประมาณ 60-70% ของโปรตีนหนังสัตว์เริ่มต้น ซึ่งสมบัติด้านความแข็งแรงเจลและความหนืดของเจลาตินที่สกัดได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิสที่ใช้เอนไซม์ทั้งสองชนิดมีค่าต่ำ อย่างไรก็ตาม สมบัติของเจลาตินสามารถควบคุมได้โดยการปรับอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อหนังสัตว์ อุณหภูมิ และค่าความเป็นกรด-ด่างที่ใช้ในการไฮโดรไลซิสหนังสัตว์ (สิทธิรักษ์, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved