

ฟองในอาหาร (Food Foams)

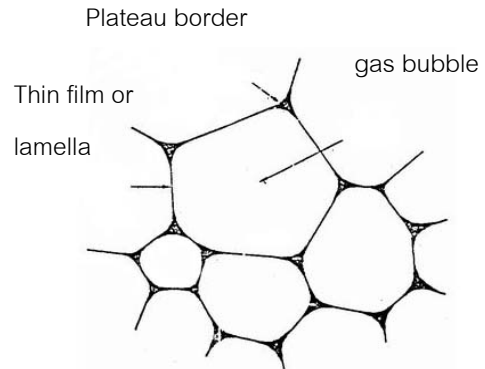
โดย รัตนา จินดาพรรณ¹

บทนำ

สมบัติในการสร้างฟองที่คงตัวของโปรตีนมีความสำคัญในการผลิตอาหารหลายชนิดที่ต้องการลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสที่เบาและมีรูพรุน เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ครีมแต่งหน้าอาหาร เมอะแรงส์ และมาชเมลโล เป็นต้น โปรตีนจากไข่ขาวเป็นโปรตีนที่สามารถสร้างฟองได้ดี เนื่องจากไข่ขาวมีโปรตีนหลายชนิดอยู่รวมกันและเป็นโปรตีนที่มีความยืดหยุ่น เมื่อถูกตีให้กระจายโปรตีนในไข่ขาวก็จะคลายตัวและห่อหุ้มอากาศไว้และแข็งตัวในที่สุด ดังนั้นไข่ขาวจึงมักถูกนำมาใช้เป็นสารให้ฟองในผลิตภัณฑ์ดังกล่าวข้างต้น แต่ทั้งนี้โปรตีนจากแหล่งอื่น เช่น เจลาติน เคซีน โปรตีนถั่วเหลือง และ กลูเตน ก็สามารถนำมาใช้เป็นสารให้ฟองได้เช่นกัน แต่มักต้องนำมาทำการดัดแปรโครงสร้างเพื่อให้มีสมบัติเหมาะสมต่อการเกิดฟอง ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะจำเพาะของโปรตีนแต่ละชนิดรวมทั้งองค์ประกอบอื่นๆ ในระบบของอาหาร เช่น ความเป็นกรดต่าง เกลือ น้ำตาล ไขมัน เป็นต้น

โครงสร้างของฟอง

ฟองเป็นระบบคอลลอยด์ 2 เฟส คือ เฟสของเหลว (Aqueous phase) และเฟสอากาศ (Air phase) โดยที่ส่วนของเซลล์อากาศแยกออกจากกันโดยเยื่อบางเหลว ที่เรียกว่าฟิล์มบาง (Thin film) หรือลามลาร์ (Lamellar) ซึ่งฟิล์มบางเหล่านี้จะต่อกันเป็นโครงร่างตาข่ายของ Plateau borders (Wilde, and Clark,1996) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างของฟอง (Foam bubbles)

ที่มา : Wilde, and Clark,1996

ก๊าซ ของเหลว ของแข็ง และสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ขนาดของฟองอากาศที่กระจายอยู่ในระบบมีอิทธิพลต่อลักษณะปรากฏและสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของ ผลิตภัณฑ์อาหาร ถ้าเป็นฟองอากาศขนาดใหญ่ ผลิตภัณฑ์อาหารจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสเบาและมีรูพรุน แต่ถ้าเป็นฟองอากาศขนาดเล็กลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จะเบาและเรียบกว่า การทำให้เกิดฟองสามารถทำได้หลายวิธี เช่นการตีให้ขึ้นฟู การเขย่า การอัดอากาศ ซึ่งแต่ละวิธีส่งผลถึงสมบัติของฟองที่เกิดขึ้น อาทิเช่น กำลังการเกิดฟอง (Foaming capacity) ซึ่งวัดจากปริมาตรของฟองที่เกิดขึ้นและแสดงเป็นค่าของเปอร์เซ็นต์ overrun และความคงตัวของฟอง (Foaming stability) ซึ่งวัดเวลาที่ใช้สำหรับการสลายตัว (Collapse) ของฟอง (Wilde and Clark,1996)

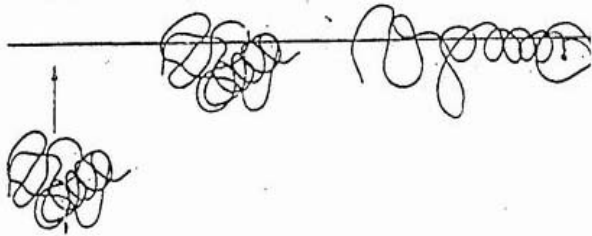
R_chindapan@yahoo.com

¹ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

¹Department of food technology, Faculty of science, Siam university

กลไกการเกิดฟอง (The Mechanism of Foam Formation)

a.transport b.penetration c.reorganisation



รูปที่ 2 กระบวนการดูดซับ (Adsorption) ที่ผิวหน้าระหว่างอากาศกับน้ำ ของโปรตีน
ที่มา : Wilde and Clark, 1996

รูปที่ 2 แสดงกระบวนการดูดซับของโปรตีนที่ผิวหน้าระหว่างอากาศกับน้ำ ซึ่งประกอบด้วยสามขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกโปรตีนที่สามารถละลายได้จะเกิดการเคลื่อนที่ (Transport) ไปยังผิวหน้าระหว่างอากาศกับน้ำ (Air – water interface) ส่วนในขั้นตอนที่ 2 โปรตีนที่เคลื่อนตัวมาที่ผิวหน้า จะเกิดการแทรกตัว (Penetration) ระหว่างชั้นของอากาศกับน้ำ ทำให้ความเข้มข้นที่ผิวหน้าเพิ่มขึ้น แรงตึงผิวลดลง สำหรับในขั้นตอนสุดท้ายโปรตีนจะเกิดการคลายตัว (Unfolding) และจัดเรียงตัวใหม่ (Reorganization) โดยหมู่ไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic groups) จะหันเข้าหาเฟสของเหลว (Aqueous phase) และหมู่ไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic groups) หันเข้าหาเฟสอากาศ (Air phase) (Wilde and Clark, 1996) ซึ่งในที่สุดจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างโพลีเปปไทด์เพื่อสร้างเป็นฟิล์มห่อหุ้มอากาศไว้ภายใน ทั้งนี้พบว่าขณะเกิดกลไกข้างต้น โปรตีนอาจมีการเสียสภาพบางส่วน (Partial denaturation) แล้วรวมตัวกันตกตะกอน (Coagulation) ซึ่งการตกตะกอนนี้จะช่วยสนับสนุนการสร้างฟองที่คงตัว ดังเช่นในโปรตีนไข่ขาว (Zayas, 1997)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดฟอง

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดฟองของโปรตีนมีทั้งปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก ซึ่งปัจจัยภายในหมายถึงความจำเพาะของโปรตีนแต่ละชนิดรวมทั้งการตัดแปรรูปโปรตีนด้วยกระบวนการต่างๆ ทั้งทางเคมี กายภาพ และเอนไซม์ ส่วนปัจจัยภายนอก คือองค์ประกอบต่างๆ ในระบบอาหาร

1. ขนาดของโมเลกุลโปรตีน (Molecular size)

ขนาดของโมเลกุลมีอิทธิพลต่อ Rigidity และ Flexibility ของสายเปปไทด์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกการสร้างฟองของโมเลกุลโปรตีน เนื่องจากโมเลกุลโปรตีนที่มี Flexibility สูง สามารถเกิดการคลายตัวของโมเลกุล ที่ผิวหน้าระหว่างอากาศกับน้ำเพื่อสร้างฟองได้ง่ายและรวดเร็ว ส่งผลให้ค่ากำลังการเกิดฟองเพิ่มขึ้น

2. การละลาย (Solubility)

การละลาย เป็นสมบัติของโปรตีนซึ่งสัมพันธ์กับสมบัติการสร้างฟองของโปรตีน เนื่องจากโมเลกุลโปรตีน (Protein molecules) ที่สามารถละลายได้ใน Aqueous phase จะสามารถแพร่กระจาย (Diffusion) ไปยังผิวหน้าระหว่างอากาศกับน้ำ (Air – water interface) ได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้เพิ่มสมบัติด้านการละลายของโปรตีน คือการใช้เอนไซม์ย่อยสลายโปรตีน เพื่อกำจัดพันธะข้ามเชื่อมของโปรตีน (Protein crosslinkages) ซึ่งเป็นตัวขัดขวางการละลาย นอกจากนี้เป็นการลดน้ำหนักโมเลกุล และเพิ่ม Ionizable groups เพราะการย่อยสลายทำให้เกิดเปปไทด์สายสั้น ๆ ทำให้โปรตีนละลายได้เพิ่มขึ้น (Panyam and Kilara, 1996.)

3. ความหนืด (Viscosity)

โดยปกติฟองจะมีความคงตัวมากขึ้นเมื่อสารละลายโปรตีนมีความหนืดเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากการย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์ซึ่งทำให้การละลายของโมเลกุลโปรตีนเพิ่มขึ้นนั้น จะส่งผลให้ความหนืดของสารละลายโปรตีนลดลง ดังนั้น

4. แรงตึงผิว (Surface tension)

เนื่องจากโมเลกุลของของเหลวมีแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน การเคลื่อนที่ของแต่ละโมเลกุลจึงอยู่ภายใต้อิทธิพลของโมเลกุลอื่นที่อยู่ใกล้เคียง โมเลกุลที่อยู่ตรงกลางได้รับแรงดึงดูดจากโมเลกุลอื่นที่อยู่ล้อมรอบเท่ากันทุกทิศทาง ส่วนโมเลกุลที่ผิวหน้าจะได้รับแรงดึงดูดจากโมเลกุลที่อยู่ด้านล่างและด้านข้างเท่านั้น ดังนั้นโมเลกุลที่ผิวหน้าจึงถูกดึงเข้าไปในของเหลว ทำให้พื้นที่ผิวของของเหลวลดลงเล็กน้อยที่สุด แต่ในการสร้างฟองนั้นจำเป็นต้องเพิ่มพื้นที่ผิว โดยโมเลกุลของโปรตีนที่อยู่ด้านในของของเหลวจะเคลื่อนมาয়งพื้นที่ผิว ในกรณีนี้จึงต้องการเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่อยู่รอบๆ โดยการพยายามลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลด้วยการทำให้แรงตึงผิวลดลง ดังนั้นการลดลงของแรงตึงผิวจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการสร้างฟองของโปรตีน เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ช่วยส่งเสริมให้เกิดการดูดซับได้อย่างรวดเร็วที่ผิวหน้าระหว่างอากาศกับน้ำของโมเลกุลโปรตีน ทั้งยังมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้น โดยเมื่อความเข้มข้นที่ผิวหน้าเพิ่มขึ้น จะทำให้แรงตึงผิวมีค่าลดลง (Kitabatake and Doi, 1988)

5. ความเข้มข้น (Concentration)

ความเข้มข้นของโปรตีนมีอิทธิพลต่อปริมาตรและความคงตัวของฟอง การเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีน เป็นผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ฟองมีความคงตัวเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะฟิล์มโปรตีนที่ห่อหุ้มอากาศมีความหนาของ Lamella เพิ่มขึ้น และในขณะที่ผสมสารละลายโปรตีนที่มีความเข้มข้นสูงจะได้ปริมาตรฟองเพิ่มขึ้นเนื่องจากโปรตีนสามารถดูดซับที่

ผิวหน้าได้อย่างรวดเร็ว ประกอบกับมีความเข้มข้นเพียงพอเพื่อสร้างฟิล์มห่อหุ้มอากาศไว้ได้ อย่างมีประสิทธิภาพ (Zayas, 1997)

6. อนุไฮโดรโฟบิกที่ผิว (Surface hydrophobicity)

โปรตีนมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถสร้างฟิล์มที่คงตัวของฟองได้ ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนรูปร่างโมเลกุลของโปรตีน (Molecular configuration), พันธะระหว่างโมเลกุล (Intermolecular bond) จำนวนและตำแหน่งของ Hydrophobic residue การเปลี่ยนรูปร่าง (Conformational change) ของโปรตีนที่ผิวหน้าระหว่างอากาศกับน้ำ (Air - water interface) โดยฟองจะเกิดขึ้นจากการคลายตัว (Unfolding) ของโปรตีนซึ่งทำให้ Hydrophobic regions เปิดออก ปรากฏการณ์เช่นนี้ทำให้ Polypeptides สามารถจัดตัวที่ผิวหน้าได้ง่ายและเพิ่มขึ้นโดยจัดตัวให้ Hydrophobic groups ชี้ไปยัง Air phase และ Hydrophilic groups ชี้ไปยัง Aqueous phase เกิดเป็นฟิล์มห่อหุ้มรอบ ๆ ฟองอากาศไว้ได้ (Zayas, 1997)

Hayakaya และ Nakai (1985) รายงานว่า Hydrophobicity ของโปรตีนมีทั้ง Aliphatic และ Aromatic hydrophobicity โดย Aliphatic hydrophobicity มาจาก Aliphatic amino acid residues และ Aromatic hydrophobicity มาจาก Aromatic acid residues ความสมดุลที่เหมาะสมระหว่าง Hydrophobic groups, Hydrophilic groups และการละลายของโปรตีนเป็นตัวกำหนดสมบัติการเกิดฟอง (Foaming properties) ซึ่งสามารถวัด Total hydrophobicity ของโปรตีนได้จากกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบ ส่วนความหนืด (Viscosity) ของสารละลายโปรตีนเป็นตัวกำหนดความคงตัวของฟอง นอกจากนี้ Kitabatake และ Doi (1982) รายงานว่า โปรตีนที่มีอัตราส่วนของ Polar ต่อ Non-polar ต่ำ จะมีการคลายตัวอย่างสมบูรณ์ที่ Gas-liquid interface และโปรตีนที่มี Hydrophobic groups บนผิวมาก จะเกิดการคลายตัวอย่างรวดเร็วที่ระหว่างผิว Townsend และ Nakai (1983) พบว่า

กล่าวโดยสรุป พบว่าการดูดซับ (Adsorption) ของโมเลกุลโปรตีนที่เสียดสภาพบางส่วนที่ผิวหน้าระหว่างอากาศกับน้ำ จะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่มีการลดลงของ Surface tension ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงในการจัดเรียงตัวของโมเลกุล นอกจากนี้พบว่า Foaming capacity ที่เพิ่มขึ้นของโปรตีนที่เสียดสภาพแต่ยังคงละลายได้ อาจเกิดจากการลดต่ำลงอย่างรวดเร็วของ Surface tension ด้วยการดูดซับของโมเลกุลที่คล้ายตัวและมีเสียดสภาพโดย Solid particles

ด้วยเหตุนี้จึงมีความพยายามในการเพิ่ม Surface hydrophobicity เพื่อปรับปรุงสมบัติการเกิดฟองของโปรตีนพืช ด้วยวิธีการที่นอกเหนือจากการให้ความร้อนซึ่งเป็นวิธีการทางกายภาพซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำกว่า วิธีการทางเคมี และ เอนไซม์

7. pH

pH ของสารละลายมีอิทธิพลต่อสมบัติของฟองอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีผลต่อประจุสุทธิของโปรตีน ซึ่งส่งผลต่อการสร้างฟิล์มและสมบัติของฟิล์ม ทั้งนี้เนื่องจากอัตราและระดับการพัฒนาของ Surface pressure, โครงสร้างของโปรตีน, ปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนกับโปรตีน (Protein – protein interactions) ความหนาของฟิล์ม และ Viscoelastic

properties ล้วนแล้วแต่เป็นผลมาจากประจุสุทธิของโมเลกุลโปรตีนทั้งสิ้น โดยทั่วไป การสร้างฟิล์มอย่างรวดเร็ว และได้ฟิล์มที่มีความแข็งแรง จะเกิดขึ้นที่ Isoelectric pH ของโปรตีนชนิดนั้น ๆ เพราะฉะนั้นการเตรียมฟองใกล้ ๆ กับ Isoelectric pH จะได้ฟองที่มีความคงตัวดี ถ้าโปรตีนยังคงสามารถกระจาย (Dispersible) ได้ที่ pH นั้น ๆ เพราะ Electrostatic attractions ระหว่างโมเลกุลโปรตีนมีค่าสูงสุดที่ pi เป็นผลให้มีการเพิ่มขึ้นของ Protein – protein interaction แรงดึงดูดลง ได้ฟิล์มที่หนามากที่สุด มีความเหนียวและมีความยืดหยุ่น (Elasticity) เพราะเกิด Electrostatic bonding สูงในระหว่างโมเลกุล แต่ที่ pH เหนือและต่ำกว่า pi โปรตีนจะมีประจุสุทธิเป็น Negative และ Positive charge ตามลำดับ เป็นผลให้มี Electrostatic repulsion (แรงผลัก) สูงบดบังการสร้างฟิล์มและฟอง เนื่องจากโปรตีนเกิดปฏิกิริยากับน้ำได้สูง (German and Phillips,1994)

8. น้ำตาล

น้ำตาลมีผลต่อการก่อกำเนิดฟองของโปรตีนเพราะช่วยยับยั้งการเสียดสภาพของโปรตีนด้วยความร้อน โดยพบว่า น้ำตาลที่ระดับ 20% จะช่วยป้องกันการเสียดสภาพของโปรตีนไข่ขาวในระหว่างการฆ่าเชื้อและทำแห้ง นอกจากนี้ Kinsella (1976) พบว่าน้ำตาลจะทำให้โปรตีนมีค่ากำลังการเกิดฟองลดลง เนื่องจากน้ำตาลจะไปยับยั้งการรวมตัว (Incorporation) ของฟองอากาศในสารละลาย อย่างไรก็ตาม น้ำตาลมีผลในการเพิ่มความคงตัวของฟองเนื่องจากไปเพิ่ม Bulk viscosity และ Surface tension นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติด้านผิวหน้า (Surface properties) ของฟิล์มโปรตีนอีกด้วยเพราะโปรตีนสามารถดูดซับที่ผิวหน้าระหว่างอากาศกับน้ำได้อย่างรวดเร็วเมื่อมีน้ำตาล (Zayas,1997)

9. เกลือ

เกลือมีอิทธิพลต่อการก่อกำเนิดฟองของโปรตีน เพราะเกลือมีอิทธิพลต่อความสามารถในการละลาย ความเหนียว การคล้ายตัวและการรวมตัวของโปรตีน โดยพบว่า

10. ไขมัน

สารที่ไม่ละลายในน้ำ เช่น ไขมันสามารถยับยั้งการเกิดฟองได้เนื่องจากไขมันมี Surface activity สูง ดังนั้นจึงเข้าไปรบกวนการจัดเรียงตัวของฟิล์มโปรตีนที่ดูดซับระหว่างผิวหน้าของอากาศกับน้ำ โดยเฉพาะบริเวณ Hydrophobic surface ทำให้พันธะระหว่าง Protein-protein interactions อ่อนลง นอกจากนี้ไขมันยังสามารถเข้าแทนที่โปรตีนที่บริเวณระหว่างผิวหน้าของอากาศกับน้ำได้อีกด้วย (Zayas ,1997)

เอกสารอ้างอิง

- German, J.B. and Phillips, L.1994. Protein interactions in foams: Protein-gas phase interactions. Protein functionality in food systems. Marcel Dekker, Inc. New York. pp 183-207.
- Hayakawa, S. and Nakai, S. 1985. Relationship of hydrophobicity and net charge to the soluble of milk and soy proteins. J. Food Chem. 50: 486.
- Kato, A., Tsutsui, N., Matsudomi, N. and Kobayashi, K. 1981. Effects of partial denaturation on surface properties of ovalbumin and lysozyme. Agric. Biol. Chem. 45: 2755. *In: Zayas, J.F. 1997. Functionality of Proteins in Food. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. pp. 266.*
- Kinsella, J.E. 1976. Functional properties of proteins in foods: a survey, Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 7:219. *In: Zayas, J.F. 1997. Functionality of proteins in Food. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. pp 270-271.*
- Kitabatake, N. and Doi, E. 1982. Surface tension and foaming of protein solutions. J. Food Science. 47: 1218.
- Kitabatake, N. and Doi, E. 1988. Surface tension and foamability of protein and surfactant solution. J. Food Science. 53(5) :1542-1545,1569.
- Panyam, D., and Kilara, A. 1996. Enhancing the functionality of food proteins by enzymatic modification. Trends in Food Science & Technology. 7(4) : 120-125.
- Puski, G. 1975. Modification of functional properties by proteolytic enzyme treatment. Cereal Chem. (1): 655-664.
- Townsend, A.A. and Nakai, S. 1983. Relationships between hydrophobicity and foaming characteristics of food proteins. J. Food Science. 48: 588-594.
- Wilde, P.J., and Clark, D.C. 1996. Foam formation and stability. *In: Hall G.M. Methods of testing protein functionality. 1STed. London : Blackie Academic & Professional. pp.110-115.*
- Zayas, J.F. 1997. Foaming properties of protein. *In: Functionality of proteins in food. Springer-verlag Berlin Heidelberg New York. pp 260-304.*

