บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำมัน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2541)

น้ำมันมีมากในธรรมชาติทั้งในพืช เช่น ผลไม้เปลือกแข็งต่าง ๆ ปาล์ม ถั่วเหลือง และมะพร้าว เป็นต้น และในสัตว์ทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บสะสมพลังงานในรูปของไขมัน น้ำมันเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น คลอโรฟอร์ม เฮกเซน อีเทอร์ เป็นต้น น้ำมันที่พบในเซลล์ของพืชและสัตว์โดยทั่วไปจะมีปริมาณแตกต่างกันออกไปในสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด ซึ่งน้ำมันนั้นมีลักษณะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องเรียกว่าน้ำมัน (Oil) และหากมีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องเรียกว่า ไขมัน (Fat) สำหรับโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันที่พบในธรรมชาติค่อนข้างหลากหลายขึ้นอยู่กับหน้าที่ทางชีวภาพ โดยน้ำมันทุกชนิดจะมีส่วนของโมเลกุลที่เป็นไฮโดรคาร์บอนมีลักษณะไม่มีขั้ว (Non-Polar) ซึ่งแสดงคุณสมบัติแยกชั้นกับน้ำ (Hydro-Phobic) และละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic Solvent) บางชนิดจะมีขั้ว (Polar) ที่มีคุณสมบัติรวมตัวกันเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ (Hydro-Philic) น้ำมันที่มีคุณสมบัติทั้งสองอย่างนี้รวมอยู่ด้วยกัน คือ ส่วนที่มีขั้วต่อกับส่วนที่ไม่มีขั้วจะมีคุณสมบัติเป็นแอมฟิไฟล์ (Amphiphile) น้ำมันกลุ่มนี้สามารถทำหน้าที่เป็นตัวกลาง เพื่อให้น้ำมันที่แยกชั้นกับน้ำสามารถกระจายตัวอยู่ในน้ำได้ ตัวอย่างน้ำมันกลุ่มนี้ ได้แก่ ฟอสโฟกลีเซอไรด์ สฟิงโกลิปิด (Sphingolipid) เป็นต้น สำหรับน้ำมันที่มีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นไฮโดรคาร์บอนสายตรง เช่น ไตรกลีเซอไรด์ เทอร์ปีนอยด์ หรือเป็นวงแหวน เช่น สเตอรอยด์ น้ำมันเหล่านี้จะมีคุณสมบัติเป็นกลาง ไม่มีขั้ว มีคุณสมบัติแยกชั้นกับน้ำได้ดี และมักจะรวมตัวกันเองเป็นกลุ่มก้อน

สมบัติทั่วไปของน้ำมัน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2541)

1. สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) สมบัติทางกายภาพของน้ำมันที่มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ชนิดต่าง ๆ ที่ประกอบเป็นน้ำมันนั้น ๆ จึงใช้ประโยชน์ของสมบัติทางกายภาพในการจำแนกและบ่งชี้ชนิดของน้ำมัน ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุลและชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ รวมทั้งการนำน้ำมันไปใช้ประโยชน์ต่าง ๆ เช่น การผลิตกรดไขมัน ซึ่งพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพของน้ำมันที่สำคัญได้แก่

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1.1. สี กลิ่น รส น้ำมันที่บริสุทธิ์จะไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และมีสมบัติเป็นกลาง สีเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันได้ น้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับรงควัตถุที่มีปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดน้ำมัน โดยรงควัตถุส่วนใหญ่จะเป็นสารแคโรทีน

1.2. จุดหลอมเหลว (Melting Point) น้ำมันส่วนใหญ่มีจุดหลอมเหลวที่เป็นช่วงอุณหภูมิ ซึ่งจะเป็นช่วงกว้างหรือแคบจะขึ้นอยู่กับชนิดของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นส่วนประกอบของน้ำมัน เช่น น้ำมันที่ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ชนิดเดียวกันทั้งหมดจะมีจุดหลอมเหลวที่แน่นอนตามชนิดของไตรกลีเซอไรด์นั้น ๆ จุดหลอมเหลวของน้ำมันจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ จุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น และจุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในกรดไขมันเพิ่มขึ้น น้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวจะมีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่าน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเมื่อมีจำนวนคาร์บอนเท่ากัน เช่น ไตรปาล์มมิติน (Tripalmitin) จะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าไตรปาล์มิโตเลอิน (Tripalmitolein) เป็นต้น

1.3. การละลาย (Solubility) น้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันโมเลกุลเล็ก ๆ เช่น กรดบิวไทริค สามารถละลายได้ในน้ำ ถ้าน้ำมันประกอบด้วยกรดไขมันที่มีโมเลกุลใหญ่จะละลายน้ำไม่ได้แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายน้ำมัน ได้แก่ อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เบนซีน ปิโตรเลียมอีเทอร์ และละลายได้บ้างเล็กน้อยในเอทิลแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุด

1.4. ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) น้ำมันมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำ น้ำมันแข็งมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.85 ส่วนน้ำมันเหลวจะมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.92 ถึง 0.94 เมื่อนำน้ำมันเหลวใส่ลงในน้ำจะลอยอยู่เหนือผิวน้ำและกระจายอย่างเท่าเทียมกัน ความถ่วง จำเพาะของน้ำมันโดยสากลจะวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ยกเว้นในกรณีที่น้ำมันเป็นของแข็งอาจมีจุดหลอมเหลวสูงอาจวัดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส น้ำมันที่มีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้นหรืออาจมีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเพิ่มขึ้นด้วย

2. ปฏิกิริยาของน้ำมัน

2.1. ไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการที่ไตรกลีเซอไรด์ไม่อิ่มตัวทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนโดยมีโลหะ (มักใช้นิเกิล) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ไตรกลีเซอไรด์อิ่มตัว ปฏิกิริยานี้จัดเป็นตัวอย่างของปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของอัลคีน (Alkene) อย่างหนึ่งและเป็นปฏิกิริยาที่มีความสำคัญทางการค้า เพราะใช้ทำน้ำมันพืชให้แข็งตัวเพื่อนำไปผลิตเป็นไขมันปรุงอาหารหรือเนยเทียม ตัวอย่าง เช่น น้ำมันเมล็ดฝ้ายมีเปอร์เซ็นต์ของไตรกลีเซอไรด์ไม่อิ่มตัวสูงเมื่อเอาเข้าสู่กระบวนการไฮโดรจิเนชัน ส่วนที่ไม่อิ่มตัวจะถูกเปลี่ยนไปเป็นส่วนที่อิ่มตัวได้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ซึ่งผลผลิตที่ได้จะเป็นไขมันที่เป็นของแข็งและอาจอยู่ในรูปของไขมันที่ใช้ปรุงอาหาร เช่น นำไปผสมกับสีและปรุงรสเป็นเนยเทียมได้

2.2. รีดักชัน (Reduction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการที่ไตรกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนที่อุณหภูมิและความดันสูง ๆ โดยมีคอปเปอร์โครไมด์ ($CuCr_2O_4$) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์จะถูกแบ่งออกเป็นกลีเซอรอลและแอลกอฮอร์ที่มีสายยาว ซึ่งแอลกอฮอร์ดังกล่าวมีประโยชน์ในการนำมาผลิตผงซักฟอกได้เป็นอย่างดี

$$\begin{array}{l} CH_2COOR \\ | \\ CHCOOR \\ | \\ CH_2COOR \end{array} + H_2 \xrightarrow[\text{High T \& P}]{CuCr_2O_4} \begin{array}{l} CH_2\text{-}OH \\ | \\ CH\text{-}OH \\ | \\ CH_2\text{-}OH \end{array} + 3R\text{-}CH_2OH$$

(Triglyceride) (Glycerol) (Alcohol)

2.3. การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) คือปฏิกิริยาที่เกิดจากการที่ไตรกลีเซอไรด์เกิดปฏิกิริยากับน้ำได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันสามารถจำแนกการเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้

- การไฮโดรไลซิสโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิสูงและความดันสูง คือเกิดที่อุณหภูมิ 210 ถึง 260 องศาเซลเซียส และความดัน 1.95 ถึง 6.0 เมกกะปาสคาล

- การเกิดไฮโดรไลซิสโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น กรดซัลฟูริค (H_2SO_4) น้ำมันจะถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่ายขึ้น กล่าวคือ เมื่อนำไปให้ความร้อนที่ความดันปกติก็สามารถไฮโดรไลซ์ได้ ผลจากการไฮโดรไลซ์น้ำมันจะเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล โดยเกิด 3 ขั้นตอน ดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{array}{l} CH_2COOR \\ | \\ CHCOOR \\ | \\ CH_2COOR \end{array} + H_2O \xrightarrow[\text{High T \& P}]{\text{Acid or}} \begin{array}{l} CH_2COOR \\ | \\ CHCOOR \\ | \\ CH_2\text{-}OH \end{array} + RCOOH$$

(Triglyceride) (Diglycerol) (Fatty Acid)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

CH_2COOR
|
$CHCOOR$ + H_2O —acid, high T & P→ CH_2COOR
|
CH_2-OH

(Diglyceride)

Products: CH_2COOR / | / CH-OH / | / CH_2-OH + 2RCOOH

(Monoglycerol) (Fatty Acid)

CH_2COOR
|
CH-OH + H_2O —$CuCr_2O_4$, high T & P→ CH_2-OH / | / CH-OH / | / CH_2-OH + 3RCOOH
|
CH_2OH

(Monoglyceride) (Glycerol) (Fatty Acid)

- การไฮโดรไลซิสโดยใช้เอนไซม์ไลเปส (Lipase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่ เมื่อให้ความร้อนกลีเซอไรด์กับเบสแก่ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ผลิตภัณฑ์จะได้ กลีเซอรอลกับเกลือของกรดไขมันหรือสบู่ (Soaps) ดังสมการด้านล่าง

CH_2COOR
|
CHCOOR + 3NaOH ——→ CH_2-OH / | / CH-OH / | / CH_2-OH + 3 RCOONa
|
CH_2COOR

(Triglyceride) (Glycerol) (Soaps)

สบู่และกลีเซอรอลละลายน้ำได้ เมื่อนำสบู่ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากการเปลี่ยนน้ำมันเป็นสบู่ ทำปฏิกิริยากับกรดแก่ เช่น กรดเกลือ (HCl) ได้ผลิตภัณฑ์คือ กรดไขมันและเกลือดังสมการ

RCOONa + HCl ——→ RCOOH + NaCl

(Soaps) (Fatty Acids) (Sodium Salt)

กรดไขมัน (จริงแท้ ศิริพานิช, 2538)

ส่วนสำคัญที่แสดงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันนั้น มาจากองค์ประกอบที่เป็นโซ่ยาวของกรดไขมัน กรดไขมันนี้อาจเป็นกรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty acid, ไม่มี

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

พันธะคู่) หรือเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acids) ซึ่งมีพันธะคู่ในจำนวนที่แตกต่างกันไป กรดไขมันในพืชจะมีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 4 ถึง 26 อะตอม ซึ่งกรดไขมันที่พบมาก คือ Oleic และ Linoleic Acids โดยมีโครงสร้างโมเลกุลแบบฟันปลา และพันธะคู่ที่มีอยู่มักทำให้โมเลกุลเกิดการโค้งงอ

การเรียกชื่อกรดไขมันมีหลายวิธีการ อาจใช้ชื่อ Common Name , Systematic Name หรือการใช้ชื่อย่อ การใช้ตัวย่อมักใช้จำนวนอะตอมของคาร์บอนในโมเลกุลและจำนวนพันธะคู่ที่มีอยู่ ตัวอย่าง เช่น Linoleic Acids (18:2) มีคาร์บอน 18 อะตอม และมี 2 พันธะคู่ ส่วนตำแหน่งของพันธะคู่ในกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะเขียนไว้ข้างหน้าสำหรับ Systematic Name (ตารางที่ 2-1) หรือในบางกรณีอาจจะเขียนไว้ข้างหลัง Common Name

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2-1 การเรียกชื่อกรดไขมัน (Kays, 1991)

Abbreviation	Systematic-Name	Common Name	Formula
Saturated Fatty Acids			
4:0	Butanoic	Butyric Acid	$CH_3(CH_2)_2COOH$
6:0	Hexanoic	Caproic Acid	$CH_3(CH_2)_4COOH$
8:0	Octanoic	Caprylic Acid	$CH_3(CH_2)_6COOH$
10:0	Decanoic	Capric Acid	$CH_3(CH_2)_8COOH$
12:0	Dodecanoic	Lauric Acid	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$
14:0	Tetradecanoic	Myristic Acid	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$
16:0	Hexadecanoic	Palmitic Acid	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$
18:0	Octadecanoic	Stearic Acid	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$
20:0	Eicosanoic	Arachidic Acid	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$
22:0	Docosanoic acid	Behenic Acid	$CH_3(CH_2)_{20}COOH$
24:0	Tetracosanoic	Lignoceric Acid	$CH_3(CH_2)_{22}COOH$
Unsaturated Fatty Acids			
16:1 ω 7	9-Hexadecenoic[a]	Palmitoleic Acid	$CH_3(CH_2)_5CH=CH(CH_2)_7COOH$
18:1 ω 9	9-Octadecenoic	Oleic Acid	$CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$
18:2 ω 6	9,12-Octadecadienoic	Linoleic Acid	$CH_3(CH_2)_3(CH_2CH=CH)_2(CH_2)_7COOH$
18:3 ω 6	9,12,15-Octadecatrienoic	α-Linolenic Acid	$CH_3(CH_2CH=CH)_3(CH_2)_7COOH$

<u>หมายเหตุ</u> [a] พันธะคู่อยู่ระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 9 และ 10

ถ้าตำแหน่งพันธะคู่นับจาก methyl end ให้เติม ω ข้างหน้า

ω 9 เช่น Oleic Acid

ω 6 เช่น Linoleic Acid , γ -Linolenic Acid (18:3)(6,9,12), Arachidonic Acid (20:4)(5,8,11,14)

ω 3 เช่น α -Linolenic Acid (18:3)(9,12,15)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

น้ำมันมะพร้าว

มะพร้าวเป็นพืชพื้นเมืองของไทย ซึ่งบรรพบุรุษได้นำมะพร้าวมาใช้ประโยชน์จากทุกส่วนของต้น จนมะพร้าวได้ชื่อว่าเป็นต้นไม้สารพัดประโยชน์และเป็นพฤกษาชีวิน หรือ Tree of Life เนื่องจากเป็นที่มาของปัจจัยสี่ ได้แก่ อาหาร เครื่องนุ่งห่ม ยารักษาโรค และที่อยู่อาศัย มาตั้งแต่โบราณกาล (ณรงค์ โฉมเฉลา, 2548) คนไทยนิยมที่จะใช้กะทิในการประกอบอาหารทั้งอาหารคาวและอาหารหวานเพราะกะทิทำให้อาหารมีรสชาติอร่อย หวาน มัน กลมกล่อม เป็นเอกลักษณ์และสร้างชื่อเสียงให้กับอาหารไทย นอกจากนี้ยังมีการใช้ในรูปของน้ำมันมะพร้าว ซึ่งน้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันพืชที่เก่าแก่ที่สุดอันหนึ่งของโลก ตามตำราอายุรเวทของอินเดียได้มีการใช้น้ำมันมะพร้าวเป็นยารักษาโรคมากกว่า 4,000 ปี ในประเทศจีนได้นำน้ำมันมะพร้าวไปใช้ในตำรายาจีนมากกว่า 2,000 ปี โดยใช้รักษาโรค 69 โรค ส่วนในประเทศต่าง ๆ ในทวีปอเมริกากลางและแอฟริกาตะวันออกมีการดื่มน้ำมันมะพร้าวเพื่อรักษาอาการของโรค ประเทศฟิลิปปินส์เป็นผู้ผลิตน้ำมันมะพร้าวรายใหญ่ที่สุดในโลกได้ใช้น้ำมันมะพร้าวเป็นยา โดยการรับประทานและใช้ทาภายนอก ส่วนประเทศไทยใช้น้ำมันมะพร้าวตามตำราแพทย์แผนไทยชื่อโอสถพระนารายณ์มาตั้งแต่สมัยอยุธยาตอนกลาง (ณรงค์ โฉมเฉลา, 2552)

น้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันที่มีความคงตัวสูงเพราะมีองค์ประกอบเป็นไขมันที่อิ่มตัว ที่มีอะตอมของคาร์บอนเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเดี่ยว (Single Bond) ทำให้อะตอมของออกซิเจนหรือไฮโดรเจนสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ยาก ต่างกับไขมันไม่อิ่มตัวที่อะตอมของคาร์บอนเชื่อมต่อกันด้วยพันธะคู่ (Double Bond) ซึ่งออกซิเจนหรือไฮโดรเจนสามารถเข้าไปเติมได้ง่ายกว่า

การเติมออกซิเจน (Oxidation) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นตลอดเวลา ก่อให้เกิดความเสียหายของโมเลกุล ได้อนุมูลอิสระเนื่องจากการเติมออกซิเจน ซึ่งเป็นสาเหตุของโรค เช่น โรคหัวใจ โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคอ้วน เป็นต้น

การเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) สามารถเกิดได้เมื่อนำอาหารที่มีไขมันไม่อิ่มตัวให้อุณหภูมิสูง เช่น การทอดอาหารในน้ำมันท่วม (Deep Fat Fry) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นไขมันทรานส์ (Trans Fat) (ณรงค์ โฉมเฉลา, 2551) ซึ่งโมเลกุลที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปและก่อให้เกิดผลเสียขึ้นกับเซลล์ เช่น ทำให้เยื่อบุเซลล์บุบสลาย ทำให้เชื้อโรคหรือสารพิษเข้าสู่เซลล์ หรือเกิดการเปลี่ยนแปลง DNA ของเซลล์ทำให้เกิดเป็นเซลล์มะเร็ง นอกจากนั้นการเกิดไขมันทรานส์ยังเกิดได้จากการนำไขมันที่ไม่อิ่มตัวไปเติมไฮโดรเจนบางเพียงส่วน (Partially Hydrogenated) ในทางอุตสาหกรรม โดยต้องใช้ความดันและใช้สารแคตาลิสต์เข้าช่วยเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นไขมันไม่อิ่มตัวเปลี่ยนเป็นไขมันที่อิ่มตัว เพื่อจะได้ไม่เกิดการหืน (การเติมออกซิเจน) และให้น้ำมันอยู่ในรูปของแข็งไม่เหนียวเหนอะหนะ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

น้ำมันมะพร้าว แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ตามกระบวนการผลิตดังนี้

1. น้ำมันมะพร้าว RBD สกัดได้จากเนื้อมะพร้าวห้าวโดยการบีบ หรือใช้ตัวทำละลาย ผ่านความร้อนสูง และกระบวนการทางเคมี RBD คือ การทำให้บริสุทธิ์ (Refining) การฟอกสี (Bleaching) และการกำจัดกลิ่น (Deodorization) (Marina, Che Man, & Amin, 2009; ณรงค์ โฉมเฉลา, 2548; ลลิตา อัตนโถ, 2548) ผลิตภัณฑ์ที่สกัดได้น้ำมันสีเหลืองอ่อนไม่มีกลิ่นและรส ปราศจากวิตามินอี (เพราะถูกขจัดออกไปโดยขบวนการทางเคมี) มีปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) ไม่เกิน 0.1 % ซึ่งเหมาะสำหรับการบริโภค

วิธีการผลิตเริ่มจากการนำเนื้อมะพร้าวออกจากผลมะพร้าว ทำการตากแห้งหรืออบแห้ง จากนั้นจึงบดย่อยเนื้อมะพร้าวแห้งให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วบีบน้ำมันออกด้วยเครื่องบีบแบบเกลียวอัด น้ำมันที่ได้มักจะมีเศษเนื้อมะพร้าวแห้งปะปนมาด้วย จะต้องนำไปกรองเพื่อให้ได้น้ำมันมะพร้าวดิบ สีน้ำตาลเข้มใสปราศจากเศษเจือปน ส่วนกากเนื้อมะพร้าวที่บีบน้ำมันออกแล้วจะถูกส่งขายเป็นอาหารสัตว์

สำหรับกระบวนการกลั่นน้ำมันให้บริสุทธิ์มี 2 วิธี คือ ทางเคมีและทางกายภาพ ทางเคมีจะใช้ด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระในปริมาณที่พอเหมาะกับปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ จากนั้นจึงล้างสบู่และด่างที่เติมมากเกินพอออกจนน้ำมันมีสภาพเป็นกลาง แต่วิธีนี้จะมีการสูญเสียน้ำมันสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อน้ำมันมะพร้าวดิบมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง จากนั้นจึงทำการฟอกสีและขจัดกลิ่นตามลำดับ ส่วนการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางกายภาพบางครั้งเรียกว่าการกลั่นให้บริสุทธิ์ เป็นกรรมวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบันทำได้โดยนำน้ำมันมะพร้าวดิบจากกระบวนการสกัดมาทำการกำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริก ฟอกสีด้วยผงฟอกสี จากนั้นจึงส่งน้ำมันเข้าสู่กระบวนการกลั่นที่อุณหภูมิสูงและความดันต่ำกว่าบรรยากาศเพื่อแยกกรดไขมัน กลิ่น และสีออก และกรองอีกครั้ง จึงได้น้ำมันมะพร้าวที่รอการจำหน่ายต่อไป โดยมะพร้าวผลละ 1 กิโลกรัม จะให้เนื้อมะพร้าว 0.25 กิโลกรัม ซึ่งคิดเป็นเนื้อมะพร้าวแห้ง 0.20 กิโลกรัม เมื่อนำเนื้อมะพร้าวแห้ง 1 กิโลกรัม มาผ่านกระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวดิบจะให้ผลผลิตของน้ำมันมะพร้าวดิบเท่ากับ 0.55 กิโลกรัม (ลลิตา อัตนโถ, 2548)

2. น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (Virgin Coconut Oil) หรือ น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น (Cold Pressed Coconut Oil) (ลลิตา อัตนโถ, 2548)โดยกระบวนการผลิตใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส ผลิตจากเนื้อมะพร้าวสดเป็นน้ำมันมะพร้าวที่บริสุทธิ์ สีใสเหมือนน้ำ มีวิตามินอี และไม่ผ่านกระบวนการเติมออกซิเจน (Oxidation) มีค่า Peroxide และกรดไขมันอิสระต่ำ มีกลิ่นมะพร้าวอย่างอ่อน ๆ ถึงแรง (ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต) มีความชื้นไม่เกิน 0.1 % เพื่อป้องกันการหืนของน้ำมันเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน เรียกน้ำมันมะพร้าวชนิดนี้ว่า น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์หรือ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น ซึ่งจะมีลักษณะของกลิ่นและรสที่แตกต่างจากน้ำมันมะพร้าวซึ่งผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ด้วยสารเคมี กรรมวิธีผลิตน้ำมันมะพร้าวคุณภาพสูงได้แก่

2.1 Traditional Hand Pressed Method เป็นวิธีการผลิตน้ำมันมะพร้าวในระดับครัวเรือนแบบดั้งเดิม การผลิตเริ่มต้นโดยบีบน้ำกะทิจากเนื้อมะพร้าวขูดที่เก็บเกี่ยวมาเป็นเวลาไม่เกิน 24 ชั่วโมง องค์ประกอบในน้ำกะทิประกอบด้วยน้ำมัน น้ำ โปรตีนและอื่น ๆ จากนั้นหมักกะทิเป็นเวลา 24 ถึง 48 ชั่วโมง น้ำมันจะแยกชั้นออกจากชั้นน้ำ และให้ความร้อนแก่น้ำมันเพื่อกำจัดความชื้นและกรอง ข้อเสียของวิธีการนี้คือ การผลิตจะเป็นในระดับกำลังการผลิตขนาดเล็กทำให้การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้สม่ำเสมอเป็นไปได้ยาก ดังนั้นจึงมีงานวิจัยเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวด้วยวิธีนี้ เช่น Che-Man, Abdul Karim, and Teng (1997) ได้ทำการศึกษาสกัดน้ำมันมะพร้าวโดยใช้ *Lactobacillus plantarum* 1041 IAM โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดคือ ปริมาณน้ำและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการคั้นกะทิ ปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่ต้องเติม และเวลาที่ใช้ในการหมักที่สามารถให้ปริมาณของน้ำมันมะพร้าวได้ดีที่สุด พบว่าปริมาณน้ำที่ใช้คั้นกะทิต่อเนื้อมะพร้าวที่ให้น้ำมันมะพร้าวได้มากที่สุดคือ 1 ต่อ 1 ทำการหมักเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ให้น้ำมะพร้าว 51.33 % ในขณะที่ ปริมาณน้ำที่คั้นกะทิต่อเนื้อมะพร้าว 2 ต่อ 1 และ 3 ต่อ 1 ที่ระยะเวลาเท่ากัน ให้น้ำมันมะพร้าวเพียง 41.70 และ 41.61 % ตามลำดับ อุณหภูมิของน้ำที่ใช้คั้นกะทิพบว่า น้ำที่มีอุณหภูมิสูงให้น้ำมันมะพร้าวได้ดีกว่าใช้น้ำที่อุณหภูมิต่ำ โดยน้ำที่ใช้คั้นกะทิมีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เมื่อทำการหมักเป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่า ให้น้ำมันมะพร้าวในปริมาณ 83.88 % ของไขมันทั้งหมดในกะทิ ส่วนน้ำที่มีอุณหภูมิที่ต่ำลงมาคือ ที่อุณหภูมิ 50 และ 30 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการหมัก 6 ชั่วโมง ได้น้ำมันมะพร้าว 75.76 % และ 51.33 % ของไขมันทั้งหมดในกะทิ ตามลำดับ จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปริมาณ *L. plantarum* ที่เติมลงในกะทิเพื่อช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักกะทิโดยทำการเติม *L. plantarum* ปริมาณ 10^6 cfu/ml ลง 1 %, 3 % และ 5 % ของน้ำกะทิ พบว่าปริมาณของเชื้อที่เติมลงไปมีผลต่อปริมาณของน้ำมันมะพร้าวที่ได้ ซึ่งน้ำมันมะพร้าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของเชื้อที่เติมลงไปเพิ่มขึ้น โดยปริมาณที่ได้หลังจากการหมักเป็นเวลา 10 ชั่วโมง โดยใช้น้ำ 70 องศาเซลเซียส ในการคั้นกะทิ เท่ากับ 90.46 %, 93.64 % และ 95.06 % ของไขมันทั้งหมดในกะทิ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามปริมาณของน้ำมันมะพร้าวที่ได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และเมื่อใช้อุณหภูมิของน้ำในการคั้นกะทิสูงพบว่าค่าเปอร์ออกไซด์จะสูงขึ้นตามไปด้วย

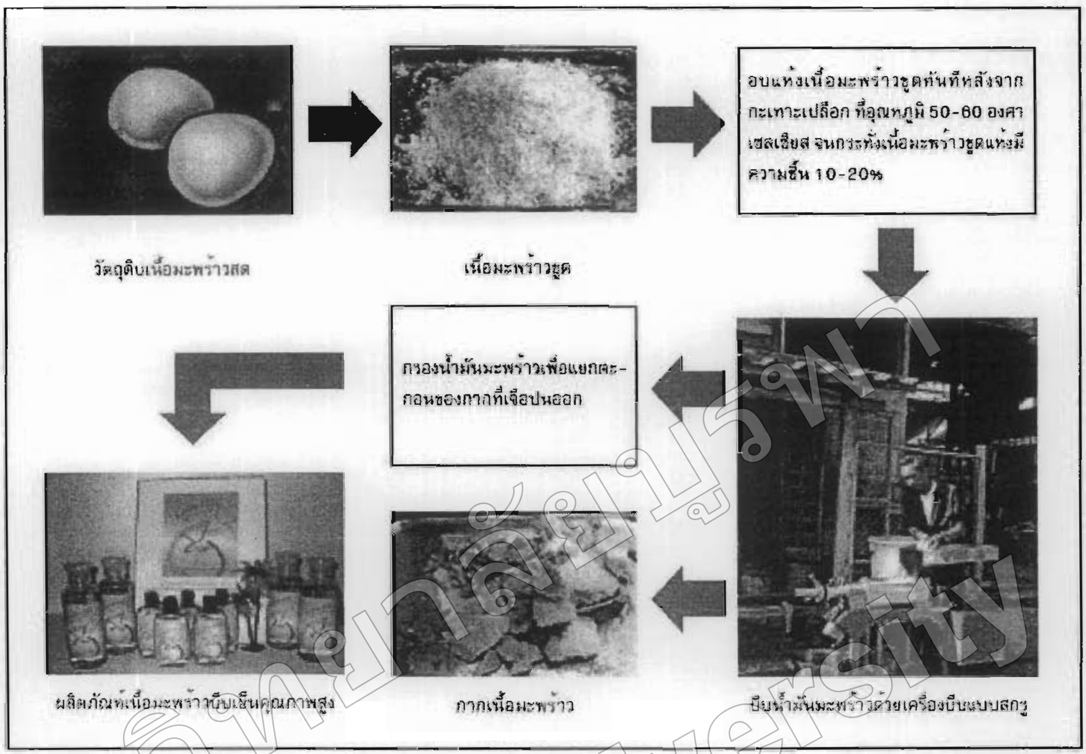
2.2 Centrifuge Process การผลิตน้ำมันมะพร้าวด้วยวิธีนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ สูงกว่าวิธีข้างต้น เนื่องจากไม่มีการให้ความร้อนแก่น้ำมันในขั้นตอนการผลิต หลักการคือนำกะทิมาเหวี่ยงแยกของแข็งและน้ำออกจากชั้นน้ำมัน ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์คือ ชั้นน้ำมันที่อยู่ด้านบน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

วิธีการนี้จะมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง เนื่องจากต้องใช้อุปกรณ์เหวี่ยงแยกซึ่งมีราคาแพง การแยกน้ำมันออกจากน้ำและองค์ประกอบอื่น ๆ ในน้ำกะทิ นอกจากการหมักและเหวี่ยงแยกแล้ว ยังสามารถใช้การต้ม การแช่เย็น และการใช้เอนไซม์ได้ด้วย Nour, Mohammed, Yunus, and Arman (2009) ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำมันมะพร้าวด้วยวิธีการปั่นเหวี่ยง โดยทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ได้แก่ รอบของการปั่นเหวี่ยงโดยศึกษาความเร็วรอบตั้งแต่ 6000 ถึง 12000 rpm และเวลาที่ใช้ในการปั่นเหวี่ยงที่ 30 ถึง 105 นาที พบว่าเมื่อความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการปั่นเหวี่ยงเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่ความเร็วรอบ 12000 ระยะเวลา 105 นาที ให้ผลผลิต 29.50 %

2.3 Direct Micro Expeller (DME)-Fresh Dry Process เป็นการบีบน้ำมันโดยเครื่องบีบแบบสกรู (Screw Type Press) จากเนื้อมะพร้าวสดที่ผ่านการขูดและอบแห้ง เนื้อมะพร้าวขูดควรผ่านการอบแห้งใน 4 ชั่วโมง หลังจากกะเทาะเปลือก เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของแบคทีเรีย ซึ่งทำให้คุณภาพของน้ำมันมะพร้าวด้อยลง กรณีที่ใช้กระบวนการ Low Pressure Oil Extraction จะใช้เนื้อมะพร้าวขูดแห้งที่มีความชื้น 10-12 % ทำให้น้ำมันมะพร้าวที่บีบได้มีองค์ประกอบของน้ำที่มาจากความชื้นในเนื้อมะพร้าวประมาณ 10 % ของน้ำมันที่ผลิตได้ วางทิ้งไว้ให้น้ำมันและน้ำแยกชั้น โดยอาจใช้ความร้อนในการกำจัดปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ ระยะเวลาดำเนินงานประมาณ 1.5 ชั่วโมง/ครั้ง ในการผลิต, Oil Extraction Efficiency (OEE) มากกว่า 85 % ของปริมาณน้ำมัน กรรมวิธีผลิตน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นคุณภาพสูงที่วิจัยพัฒนาและผลิตโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ด้วยการสนับสนุนจากองค์กรอาหารแห่งสหประชาชาติ (FAO) เป็นวิธีการสกัดน้ำมันโดยเครื่องบีบแบบสกรู (Screw Type Press) จากเนื้อมะพร้าวสดที่ผ่านการขูดและอบแห้ง เนื้อมะพร้าวขูดจะผ่านการอบแห้งทันทีหลังจากกะเทาะเปลือก เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของแบคทีเรีย ซึ่งทำให้คุณภาพของน้ำมันมะพร้าวด้อยลง อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบเนื้อมะพร้าวขูดคือ 50 ถึง 60 องศาเซลเซียส และจะใช้ระยะเวลาในการอบสั้น ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดการปนเปื้อนของแบคทีเรีย ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้น้ำมันมีสีเหลืองเนื้อมะพร้าวหลังอบแห้งจะมีความชื้น 10 ถึง 20 % จุดสำคัญของขั้นตอนการผลิตน้ำมันมะพร้าวด้วยวิธีการนี้ คือ อุณหภูมิในการอบ และปริมาณความชื้นของเนื้อมะพร้าวหลังอบเมื่อนำเนื้อมะพร้าวขูด 1 กิโลกรัม มาผ่านกระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นด้วยวิธีการข้างต้น จะให้ผลผลิตของน้ำมันมะพร้าวเท่ากับ 0.17 กิโลกรัม ซึ่งมีขั้นตอนที่สำคัญของการผลิต ดังภาพที่ 2-1

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2-1 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นด้วยเครื่องบีบแบบสกรู (ลลิตา อัตนโถ, 2548)

กระบวนการผลิตทุกขั้นตอนจะมีผลต่อคุณภาพของน้ำมันมะพร้าวที่ผลิตได้ ไม่ว่าจะเป็นการเตรียมวัตถุดิบ เวลา ปริมาณความชื้นของเนื้อมะพร้าวแห้งก่อนเข้า ขั้นตอนการบีบน้ำมัน ดังนั้นการควบคุมคุณภาพของน้ำมันมะพร้าวจึงต้องควบคุมขั้นตอนการผลิตทั้งหมด โดยหลักการที่สำคัญของการผลิตน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นคุณภาพสูง คือขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ โดยใช้เนื้อมะพร้าวสดที่มีคุณภาพเป็นวัตถุดิบเริ่มต้น โดยจะต้องเข้าขั้นตอนการอบที่อุณหภูมิ 50 ถึง 60 องศาเซลเซียสทันทีหลังจากกะเทาะเปลือกจนได้เนื้อมะพร้าวแห้งที่มีความชื้นอยู่ในช่วง 10 ถึง 20 % โดยน้ำหนักซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการสกัดน้ำมันด้วยเครื่องบีบแบบสกรู

จากวิธีการผลิตน้ำมันมะพร้าวที่ได้กล่าวมาดังขั้นต้น วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, สิริมา ชินสาร, นิสานารถ กระแสร์ชล และธีรารัตน์ อิทธิโสภณกุล (2553) ได้ทำการพัฒนากระบวนการสกัดน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น พบว่าการสกัดน้ำมันมะพร้าวจากน้ำกะทิด้วยวิธีทางชีวภาพ โดยใช้เชื้อ *L. plantarum* สามารถสกัดน้ำมันมะพร้าวได้ใกล้เคียงกับการสกัดโดยใช้เครื่องบีบอัดแบบสกรูร่วมกับการใช้เอนไซม์ คือ 15-16 % ของกะทิ แต่มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าประมาณ 3 เท่า ดังนั้นวิธีการสกัดน้ำมันมะพร้าวด้วยวิธีทางชีวภาพ จึงเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสม โดยน้ำมันมะพร้าวที่สกัด

ได้มีคุณภาพและองค์ประกอบของกรดไขมันใกล้ เคียงกับน้ำมันมะพร้าวที่ผลิตด้วยวิธีหมักทางธรรมชาติและมีคุณภาพตามเกณฑ์ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนจากการศึกษาผลของปัจจัย 4 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิการเก็บรักษา วิธีการสกัด ชนิดบรรจุภัณฑ์และเวลาการเก็บรักษา พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิการเก็บรักษา วิธีการสกัด ชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาการเก็บรักษามีอิทธิพลร่วมกันสำหรับค่าความหนืด ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าสี และการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่น ($P < 0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 28 วัน น้ำมันมะพร้าวที่สกัดด้วยวิธีหมักทางธรรมชาติ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคุณภาพมากกว่าน้ำมันมะพร้าวที่สกัดด้วยวิธีทางชีวภาพ

สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันมะพร้าว

1. สมบัติทางเคมี

Marina, Che Man, Nazimah, and Amin (2009) ได้ศึกษาตลาดของน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นในประเทศมาเลเซียและอินโดนีเซียเกี่ยวกับลักษณะทางเคมีและองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น พบว่าน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นแต่ละตัวอย่าง มีปริมาณกรดลอริก (Lauric Acid Content) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) โดยที่น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นส่วนใหญ่มีปริมาณกรดลอริก 46.64 ถึง 48.00 เปอร์เซ็นต์ มีค่าไอโอดีน (Iodine Number; I.N.) อยู่ในช่วง 4.47 ถึง 8.55 ซึ่ง I.N. หมายถึง จำนวนกรัมของไอโอดีนที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมัน 100 กรัม ค่าไอโอดีนเป็นตัวชี้บ่งว่าไขมันหรือน้ำมันนั้นว่ามีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบอยู่ในโมเลกุลมากน้อยเพียงใด ถ้าค่าไอโอดีนสูงแสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบมาก และสามารถเกิดการหืนได้ง่ายจากการเข้าทำปฏิกิริยาของออกซิเจน จะเห็นได้ว่าค่าไอโอดีนของน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นมีค่าต่ำ จึงทำให้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวต่ำ แต่ทั้งนี้ค่าไอโอดีนก็ไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุดในการประเมินความเสถียรของปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Henna & Tan, 2009) Sponification Value (S.V.) ของน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นมีค่าเท่ากับ 250.07 ถึง 260.67 mg KOH ซึ่ง S.V.หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับไขมันหรือน้ำมัน 1 กรัม S.V. เป็นค่าเฉพาะตัวของไขมันหรือน้ำมันแต่ละชนิด เนื่องจากสามารถบ่งชี้ถึงขนาดโมเลกุลหรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมัน น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นมีค่า S.V. สูง แสดงว่ามีกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value; P.V.) ของน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นมีค่าต่ำ คือ 0.21 ถึง 0.57 มิลลิอิควิวาเลนท์ต่อกิโลกรัม ซึ่งค่า P.V. หมายถึง จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ไธโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.002 นอร์มอล ที่ใช้ในการไตเตรตไขมันหรือน้ำมัน 1 กรัม หรือหมายถึง จำนวนมิลลิลิตรสมบูรณ์ของเปอร์ออกไซด์ออกซิเจนที่มีในไขมันหรือน้ำมัน 1 กิโลกรัม น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มีค่า P.V. ต่ำ แสดงว่าน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นมีความเสถียรต่อการเข้าทำปฏิกิริยาของออกซิเจน (Oxidation Stability) ในอากาศได้มาก จึงทำให้น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นเกิดการหืน (Oxidative Rancidity) ได้น้อย ซึ่ง Oxidative Rancidity เป็นการหืนที่เกิดขึ้น เนื่องจากกระบวนการทางธรรมชาติ (Auto-Oxidation) ที่พันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็น Peroxide Linkage ซึ่งจะเกิดขึ้นได้เองอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เมื่อไขมันและน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นปริมาณของกรดไขมันอิสระต่ำคือ อยู่ในช่วง 0.15 ถึง 0.25

2. สมบัติทางกายภาพ

คุณภาพของน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นที่ทดสอบจากการประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation) มีดังนี้กล่าว คือ สีของน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นควรใสไม่มีสี ซึ่งการเกิดสีของน้ำมันมะพร้าวอาจเนื่องมาจากการปนเปื้อนในน้ำมันระหว่างกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูงและการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ (Microbial Contaminant) ในเนื้อมะพร้าวก่อนขั้นตอนการสกัด (Bawalan & Chapman, 2006) ถ้ามีการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์จะทำให้สีของน้ำมันเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือชมพูหรือแดงส้ม ทั้งนี้กลิ่นของน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นคุณภาพดี ควรมีกลิ่นหอมอ่อน ๆ ของมะพร้าว ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการที่ใช้ในการสกัด รสชาติของน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นต้องไม่ระคายเคืองในลำคอเมื่อรับประทานเข้าไป สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นเปรียบเทียบกับน้ำมันชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2-2

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2-2 สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันมะพร้าว RBD ตามมาตรฐาน Codex และน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นตามมาตรฐาน APCC (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553; Codex Alimentarius Commission, 2001, Bawalan & Chapman, 2006; Marina, Che Man, & Amin, 2009; Asian and Pacific Coconut Community, 2010)

สมบัติ	มาตรฐานของ Codex	มาตรฐานของ APCC
ลักษณะเฉพาะ (identify characteristics)		
ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density) (40°C/ water at 20°C)	0.908-0.921	0.915-0.920
ดัชนีหักเห (Refractive Index) ที่ 40°C	1.448-1.450	1.4480-1.4492
ความชื้น (Moisture % wt. Max)	< 0.2 %	0.1-0.5 %
สิ่งอื่นที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble Impurities Percent by Mass)	0.05 %	0.05 %
ค่าสปอนิฟิเคชัน (Sponification Value) (mg KOH/g Oil)	248-265	250-260
ค่าไอโอดีน (Iodine Value) (g Iodine/100 g Oil)	6.3-10.6	4.1-11.0
สารที่สปอนิฟายไม่ได้ (Unsponifiable Matter % by Mass. Max.)	≤ 15	0.2-0.5
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity at 30 deg./30 deg. °C)		0.915-0.920
ค่าความเป็นกรด (Acid Value Max.)	0.6 mg KOH/g oil	0.5 mg KOH/g oil
Polenske Value (Min.)	13-18	13
องค์ประกอบของกรดไขมัน (%)		
Caproic acid หรือ C 6:0	ND-0.7	0.4-0.6
Caprylic acid หรือ C8:0	4.6-10.0	5.0-10.0
Capric acid หรือ C10:0	5.0-8.0	4.5-8.0
Lauric acid หรือ C12:0	45.1-53.2	43.0-53.0
Myristic acid หรือ C14:0	16.8-21.0	16.0-21.0
Palmitic acid หรือ C16:0	7.5-10.2	7.5-10.0
Stearic acid หรือ C18:0	2.0-4.0	2.0-4.0
Oleic acid หรือ C18:1	5.0-10.0	5.0-10.0

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2-2 (ต่อ)

สมบัติ	มาตรฐานของ Codex	มาตรฐานของ APCC
Linoleic acid หรือ C18:2	1.0-2.5	1.0-2.5
Linolenic Acid หรือ C18:3-C24:1	ND-0.7	< 0.5
ลักษณะด้านคุณภาพ (Quality characteristics)		
สี (Colour)	ไม่มีสีหรือสีเหลืองอ่อน	สีเหมือนน้ำและสะอาด
กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid)	สูงสุด 0.2% (กรดลอริก)	≤0.5%
ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value)	≤ 3 meq peroxide oxygen/kg oil	≤ 3 meq peroxide oxygen/kg oil
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count)	<10 cfu	<10 cfu
E.coli	<1 cfu	<1 cfu
Salmonella spp.	<1 cfu	<1 cfu
ยีสต์	<10 cfu	
กลิ่นและรสชาติ (Odour and taste)	ปราศจากกลิ่นหืนและรสชาติ	ปราศจากกลิ่นและรสชาติ
สิ่งปนเปื้อน (Contaminants)		
สารระเหยง่าย (Matter Volatile at 105 °C)	0.2%	0.2%
เหล็ก (Iron: Fe)	5.0 mg/kg	5.0 mg/kg
ทองแดง (Cu)	4.0 mg/kg	4.0 mg/kg
ตะกั่ว (Lead)	1.0 mg/kg	1.0 mg/kg
สารหนู (Arsenic)	1.0 mg/kg	1.0 mg/kg

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

องค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น

น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ ดังนี้

1. **กรดไขมันอิ่มตัว** (Saturated Fatty Acids) น้ำมันมะพร้าวอุดมไปด้วยกรดไขมันขนาดกลาง (Medium Chain Fatty Acids หรือ MCFA) ที่ดีต่อระบบการย่อยอาหาร (Marina, Che-Man, Nazimah, & Amin, 2009) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่อิ่มตัว กว่า 90 % อะตอมของธาตุคาร์บอนของกรดไขมันที่อิ่มตัวจะต่อกันเป็นเส้น (Chain) โดยมีพันธะเดี่ยว (Single Bond) จับกันเองเป็นเส้นยาวตามจำนวนของคาร์บอน กรดไขมันอิ่มตัวในน้ำมันมะพร้าวส่วนใหญ่ มีจำนวนอะตอมของคาร์บอน 8 ถึง 14 ตัว กรดไขมันที่สำคัญได้แก่ Caprylic Acid: C8, Carpic Acid: C10, Lauric Acid: C12 และ Myristic Acid: C14 ซึ่งการศึกษาของ Marina, Che-Man, Nazimah, and Amin (2009) ได้ทำการ ศึกษาปริมาณของกรดไขมันที่มีในน้ำมันมะพร้าว โดยทำการทดสอบด้วยแก๊สโครมาโต-

กราฟี (Gas Chromatography; GC) พบกรดไขมันที่มี Carbon Atom ตั้งแต่ C6 ถึง C18 ซึ่งส่วนมากเป็น Medium Chain Fatty Acids (C8 ถึง C14) มากกว่า 75 % ซึ่งตัวอย่างน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นที่นำมาทดลองจำหน่ายในประเทศมาเลเซียและอินโดนิเซีย เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เป็นน้ำมันมะพร้าว RBD (RBDCO) ซึ่งนักวิจัยได้ทำการผลิตขึ้นเองตามกระบวนการทางอุตสาหกรรม พบว่า Lauric Acid มีปริมาณมากที่สุดถึง 47 % รองลงมาคือ Myristic Acid ปริมาณ 18 % และพบกรดไขมันอื่น ๆ ที่มีคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 6 ถึง 18 อะตอม มีสัดส่วนโดยประมาณดังนี้ Caprylic Acid 8 %, Capric Acid 6 %, Palmitic Acid 9 %, Stearic Acid 3 %, Oleic Acid 5 % และ Linoleic Acid 1 %

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid) มี 9 % ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated Fatty Acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated Fatty Acid) คือ กรดไขมันที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 คู่ เช่น Oleic acid (C18:1) และ Linoleic Acid (C18:2) กรดไขมันทั้งสองชนิดมีปริมาณรวมกันประมาณ 6 ถึง 8 %

3. สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) แม้ว่าน้ำมันมะพร้าวจะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณที่ไม่มากนักแต่ก็สามารถเกิดการเติมออกซิเจน (Oxidation) และเกิดกลิ่นหืนได้ แต่จากการทดลองวาง น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลานานไม่เกิดการหืนเกิดขึ้น สันนิษฐานว่า น้ำมันมะพร้าวมีสารต้านอนุมูลอิสระช่วยในการต่อต้านการเติมออกซิเจน (Oxidation) ของส่วนไขมันที่ไม่อิ่มตัว จึงมีผู้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าพบสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นดังนี้

3.1 วิตามินอี (Vitamin E) น้ำมันมะพร้าวที่ผลิตจากมะพร้าวแห้งที่เก็บไว้นาน ๆ จะมีจุลินทรีย์ปนเปื้อน ตลอดจนถูกแสงแดดและความร้อน เมื่อนำไปสกัดน้ำมันมะพร้าวโดยวิธีหีบหรือการใช้ตัวทำละลายจึงสูญเสียคุณสมบัติที่ดี โดยเฉพาะสารต้านการหืน (Anti-Rancidity) เมื่อถูกนำไปผ่านกระบวนการทางเคมี RBD ก่อนที่จะนำไปบริโภคจะสูญเสียวิตามินอีไป แต่ก็ยังเป็นน้ำมันที่ดีต่อสุขภาพ ตราบใดที่ไม่ได้ถูกเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยกระบวนการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) หรือเติมสารกันเสีย (Preservatives) เพื่อรักษาสภาพให้คงทนและไม่หืนแต่น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น ซึ่งสกัดได้โดยวิธีหมัก หรือวิธีบีบเย็นไม่ใช้อุณหภูมิสูง และไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี จะยังคงมีวิตามินอีเหลืออยู่และเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ทำให้น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นโดดเด่นกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น ๆ วิตามินอีทำหน้าที่เป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ โดยการป้องกันเซลล์ไม่ให้ถูกเติมออกซิเจนและเป็นตัวต่อต้านอนุมูลอิสระ (Free Radicals) ซึ่งเกิดจากมลพิษในสิ่งแวดล้อม อาหารและเครื่องดื่ม การสูบบุหรี่ รังสี ความเครียด ฯลฯ โดยปกติร่างกายของมนุษย์จะมีสารต่อต้านอนุมูลอิสระคอยทำลายอนุมูลอิสระ แต่เมื่อบริโภคน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งถูกเติม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ออกซิเจน (Oxidized) ได้ง่าย ตั้งแต่เริ่มสกัด ระหว่างการขนส่ง การวางจำหน่าย และการเก็บรักษาก่อนบริโภค จึงเกิดเป็นอนุมูลอิสระและอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น จะไปลบล้างประสิทธิภาพ (Neutralize) ของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในร่างกาย ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดผลเสียแก่เซลล์และเนื้อเยื่อ เนื่องจากอนุมูลอิสระเป็นโมเลกุลที่เปลี่ยนสภาพ โดยสูญเสียอิเล็กตรอน (Electron) จึงไปจับกับโมเลกุลที่อยู่ใกล้เคียงต่อไปเรื่อย ๆ เกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ เป็นผลทำให้เซลล์ผิดปกติไป เช่น เยื่อบุเซลล์ฉีกขาด เปลี่ยนสารพันธุกรรมในนิวเคลียส เกิดการกลายพันธุ์ ทำให้เกิดโรคที่เกี่ยวกับความเสื่อม (Degenerative Diseases) เช่น โรคหัวใจ มะเร็ง ไขข้ออักเสบ เบาหวาน โรคภูมิแพ้ ชราภาพก่อนวัย เป็นต้น มีรายงานว่าน้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นมีวิตามินอีในรูปของ Tocopherol (1.1 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) และ Tocotrienol (3.1 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) สำหรับ Tocopherol เป็น Alpha Tocopherol 0.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และ Delta Tocotrienol 0.6 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และ Gamma Tocotrienol 2.0 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เป็นที่ทราบกันดีว่าวิตามินอีเป็น Antioxidant ที่มีประสิทธิภาพสูงโดยเฉพาะ Tocotrienol มีประสิทธิภาพสูงกว่า Tocopherol (ณรงค์ โฉมเฉลา, 2552)

3.2 สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic Compounds) น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็นมีสารประกอบฟีนอลิก (Phenolic Compound) ในรูปของกรดแกลลิก (Gallic Acid) (ณรงค์ โฉมเฉลา, 2552) Seneviratne, Hapuarachchi, and Dissanayake (2009) ได้รายงานว่าน้ำมันมะพร้าวมีสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งประกอบด้วย Cafeic Acid, p-Coumaric Acid, Ferulic acid และ Catechin ยังพบอีกว่า น้ำมันมะพร้าวที่สกัดเย็นมีสารประกอบฟีนอลิกอยู่ 618 ± 46 mg/Kg ซึ่งมากกว่าวิธีทางอุตสาหกรรม (RBD) ถึง 7 เท่า

3.3 สารไฟโตสเตอรอล (Phytosterols) น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น มีสารไฟโตสเตอรอลอยู่ 400-1200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ประกอบด้วย Campesterol, Stigmasterol, Beta-Sitosterol และ Delta-5-Avenasterol (ณรงค์ โฉมเฉลา, 2552)

จุลินทรีย์ก่อโรค (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545)

จุลินทรีย์บางชนิดก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ ซึ่งอาการของโรคที่รู้จักกันโดยทั่วไป คือ ปวดท้อง ท้องเสีย บางครั้งอาจมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน หรืออาจมีไข้ร่วมด้วย การระบาดของโรคอาหารเป็นพิษตามปกติอาจมีผู้ป่วยที่อยู่ในสถานการณ์เดียวกัน บริโภคอาหารอย่างเดียวกันและเกิดอาการป่วยคล้าย ๆ กันตั้งแต่สองคนขึ้นไป ยกเว้นอาหารเป็นพิษที่มาจาก *Clostridium botulinum*

โรคอาหารเป็นพิษเกิดจากการบริโภคจุลินทรีย์หรือสารพิษที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น เชื้อโรคอาหารเป็นพิษอาจติดมากับตัวอาหารเองหรือปนเปื้อนผ่านมากับอุจจาระของคนและสัตว์เลือดอุ่น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สู่สิ่งแวดล้อม ผ่านนิ้วมือของผู้ประกอบอาหารหรือผ่านการสัมผัสอาหารอย่างไม่ถูกสุขลักษณะ หรือผ่านมากับขน ปีก ร่างกายของแมลงและสัตว์นำโรค หรืออาจผ่านมากับน้ำ ภาชนะ เครื่องมือและอุปกรณ์ประกอบอาหาร ตลอดจนสิ่งแวดล้อมในการผลิตอาหาร เข้าสู่ร่างกายหรือทางเดินอาหารของมนุษย์

โดยทั่วไปเชื้อจุลินทรีย์ที่จะทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษมีสมบัติดังนี้

- สามารถมีชีวิตอยู่รอดได้หลังจากผ่านกระเพาะอาหารซึ่งมีความเป็นกรดสูง
- ต้องมีความสามารถเกาะติดผนังลำไส้ และเพิ่มจำนวนในลำไส้ เยื่อเมือกบุลำไส้จะทำหน้าที่ป้องกันมิให้จุลินทรีย์เกาะติดผนังลำไส้ สำหรับแบคทีเรีย *Listeria monocytogenes* นั้นอาศัยสารลิสเตอริไลซีน โอ (Listeriolysin O หรือ LLO) ที่มันสร้างขึ้นเป็นตัวกำจัดเมื่อกออกไป ส่วน *Clotridium Perfringens* นั้นไม่ต้องใช้วิธีการเกาะติดกับเนื้อเยื่อของผนังลำไส้
- ต้องมีความสามารถในการป้องกันตนเอง เพื่อที่จะเอาชนะกลไกการป้องกันตั วของเจ้าบ้าน
- ต้องมีความสามารถแข่งขันกับจุลินทรีย์เจ้าถิ่นได้
- เมื่อเชื้อโรคอาหารเป็นพิษเกาะติดกับผนังลำไส้แล้ว จะปล่อยสารพิษ หรือทำลายเซลล์เจ้าบ้านทำให้เจ้าบ้านเกิดโรคอาหารเป็นพิษขึ้น

แบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ย้อมสีแกรม (Gram's Stain) ติดสีน้ำเงิน เรียกว่าแบคทีเรียแกรมบวก (Gram-Positive Bacteria) และกลุ่มที่ย้อมสีแกรมติดสีแดง เรียกว่าแบคทีเรียแกรมลบ (Gram-Negative Bacteria) แบคทีเรียส่วนมากสร้างสารพิษที่ขับออกมาภายนอกเซลล์ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ

แบคทีเรียแกรมบวกที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ เช่น

- แสตปฟิลโลคอกคัส ออเรียส (*Staphylococus aureus*) ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษเป็นเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก มีลักษณะกลม (Cocci) อยู่รวมกันคล้ายรูปพวงองุ่น จัดอยู่ในจำพวกแสตปฟิลโลคอกไคที่สร้างสารพิษซึ่งขับออกมานอกเซลล์เรียกว่า เอนเทอโรทอกซิน (Enterotoxins) ได้แก่ สารพิษที่ชักนำให้เกิดการหลั่งของเหลวขึ้นภายในลำไส้หรือทาง เดินอาหาร เป็นผลให้เกิดอาการท้องเดิน เนื่องจากแบคทีเรียจีนัส *Staphylococus spp.* สร้างสารพิษชนิดใดชนิดหนึ่งหรือมากกว่า ในอดีตโรคอาหารเป็นพิษจำกัดอยู่เพียง *S. aureus* แต่ในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับว่าเชื้อแสตปฟิลโลคอกคัสสปีชีส์อื่นก็สร้างสารพิษขึ้นด้วย แต่เนื่องจากการตรวจสอบเชื้อแสตปฟิลโลคอกคัสอาศัยการสร้างเอนไซม์โคแอกกูเลส (Coagulase) และเทอร์โมนิวคลิเอส (Termonuclease เขียนย่อว่า TNase) ของแบคทีเรียเป็นสำคัญ เชื้อ *S. aureus* มีสมบัติดังกล่าวนี้ การใช้เทคนิคตรวจ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

วิเคราะห์จึงมุ่งไปที่ *S. aureus* เพียงสปีชีส์เดียว หลังจากเทคนิคการตรวจหาเอนเทอโรทอกซินในอาหารได้พัฒนาขึ้น ทำให้สามารถตรวจพบเชื้อแสตปฟิลโลคอกคัสสปีชีส์อื่นที่สร้างเอนเทอโร-ทอกซินด้วย แต่มีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยกว่า *S. aureus* มาก แบคทีเรียในจีนัส *Staphylococcus* มีมากกว่า 30 สปีชีส์ แต่สปีชีส์ที่พบในอาหารมี 18 สปีชีส์ ในจำนวนนี้มีเพียง 6 สปีชีส์ ที่สร้างเอนไซม์โคแอกกูเลส ส่วนมากสปีชีส์ที่สร้างเอนไซม์โคแอกกูเลสจะสร้าง TNase ด้วย อย่างไรก็ตามจากการศึกษา พบว่ามีประมาณ 10 สปีชีส์ที่ไม่สร้างเอนไซม์ทั้งสอง แต่สร้างเอนเทอโร-ทอกซิน เชื้อแสตปฟิลโลคอกคัสสายพันธุ์ที่มีสมบัติดังกล่าวมีลักษณะพิเศษคือ จะไม่ทำให้เลือดตกตะกอนและไม่ใช้น้ำตาลแมนนิทอลโดยการหมัก ผลดังกล่าวทำให้สรุปได้ว่า รายงานการระบาดของโรคอาหารเป็นพิษจากเชื้อ *S. aureus* ในอดีตน่าจะต่ำกว่าความเป็นจริง เพราะการตรวจวิเคราะห์ *S. aureus* นั้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเอนไซม์โคแอกกูเลสและ TNase เป็นสำคัญ เชื้อแสตปฟิลโลคอกคัสเป็นจุลินทรีย์ประเภทปรับตัวตามเจ้าบ้าน (Host-Adapted Organism) ประมาณครึ่งหนึ่งเป็น สปีชีส์ที่อาศัยมนุษย์เพียงอย่างเดียว (เช่น *S. cohnii* subsp. *cohnii*) และอาศัยมนุษย์กับสัตว์อื่น (เช่น *S. aureus*) บริเวณปลายเปิดของอวัยวะที่เป็นช่องทางติดต่อกับสิ่งแวดล้อมภายนอกร่างกายของโฮสต์ มักพบเชื้อแสตปฟิลโลคอกคัสเป็นจำนวนมาก และถ้าบริเวณนี้อับชื้นอาจพบ *S. aureus* ประมาณ 10^3-10^6/cm^2 แสตปฟิลโลคอกคัสหลากหลายสายพันธุ์พบว่า *S. aureus* เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษมากที่สุด การเจริญของเชื้อแสตปฟิลโลคอกคัสต้องการอาหารที่มีสารประกอบอินทรีย์บางชนิดเป็นการเฉพาะ เช่น ต้องการกรดอะมิโนเพื่อเป็นแหล่งของไนโตรเจน ต้องการวิตามินบีจากไธอามีนและกรดนิโคตินิก ในสภาวะไร้อากาศแบคทีเรียต้องการยูเรซิล (Uracil) ด้วย อุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การเจริญอยู่ระหว่าง 7 ถึง 47.8 องศาเซลเซียส และช่วงอุณหภูมิที่สร้างเอนเทอโรทอกซินอยู่ระหว่าง 10 ถึง 46 องศาเซลเซียส แต่เหมาะสมที่สุดคือ 40 ถึง 45 องศาเซลเซียส อาการของโรคอาหารเป็นพิษจากเชื้อแสตปฟิลโลคอกคัสมักเกิดขึ้นประมาณ 4 ชั่วโมง หลังบริโภคอาหารที่มีสารพิษเข้าไป แม้ว่าโดยทั่วไปรายงานการเกิดโรคจะเน้นที่การเกิดอาการภายใน 1 ถึง 6 ชั่วโมงก็ตาม ซึ่งอาการของผู้ป่วยคือ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้องรุนแรง ท้องเสีย เหงื่อแตก ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย และบางครั้งมีไข้ด้วย ตามปกติอาการจะทรงตัวอยู่ราว 24 ถึง 48 ชั่วโมง อัตราการตายต่ำมาก การบำบัดรักษาที่ดีที่สุดสำหรับคนปกติคือให้นอนพัก และให้บริโภคน้ำสะอาดผสมเกลือแร่ เหตุที่อาการของโรคเกิดจากเอนเทอโรทอกซินที่แบคทีเรียสร้างขึ้นและขับออกมาในอาหาร จึงอาจตรวจไม่พบ *S. aureus* ในอุจจาระของผู้ป่วย การพิสูจน์เพื่อหาสาเหตุของโรคที่เชื่อถือมากที่สุดคือ การนำอาหารที่เหลือและอุจจาระของผู้ป่วยไปตรวจหาเอนเทอโรทอกซิน ปริมาณเอนเทอโรทอกซินต่ำที่สุดที่จะก่อให้เกิดอาการของโรคอาหารเป็นพิษอยู่ที่ 20 นาโนกรัม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

- แบซิลลัส ซีเรียส (*Bacillus cereus*) แบคทีเรียจีนัส *Bacillus* มีรูปร่างเป็นท่อน (Rods) ติดสีแกรมบวก เจริญได้ดีในสภาวะที่มีอาการและสร้างสปอร์ทนความร้อน สำหรับสปีชีส์ *B. cereus* จัดเป็นแบคทีเรียประเภท Facultative Anaerobe คือ เจริญได้ทั้งสภาวะที่มีและไม่มีอากาศ เซลล์มีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรียทั่วไป เจริญที่อุณหภูมิประมาณ 8 ถึง 55 องศาเซลเซียส แต่ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ 28 ถึง 35 องศาเซลเซียส ไม่ทนกรด (ค่า pH ต่ำสุดประมาณ 5.0 ถึง 6.0 ขึ้นกับชนิดของกรดที่ใช้ปรับ) และ a_w ต่ำสุดประมาณ 0.95 เกิดสปอร์ตรงกลางเซลล์ เนื่องจาก *B. cereus* เป็นแบคทีเรียสร้างสปอร์ จึงทนต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม พบการกระจายทั่วไปในธรรมชาติ สามารถแยกได้จากดิน น้ำ ผัก และธัญพืช อาการของโรคอาหารเป็นพิษที่เกิดจากเชื้อแบซิลลัสมี 2 แบบคือ อาการท้องร่วง (Diarrheal Syndrome) มีอาการคล้ายกับโรคอาหารเป็นพิษที่เกิดจาก *Clostridium perfringens* อาการเกิดขึ้นประมาณ 8 ถึง 16 ชั่วโมง หลังจากการบริโภคอาหารที่มีสารพิษ และจะหายภายใน 12 ถึง 24 ชั่วโมง อาการที่เกิดขึ้นคือ ปวดท้อง ถ่ายอุจจาระเหลวเป็นน้ำ และปวดแสบอันเนื่องมาจากการถ่ายแบ่ง ส่วนอาการคลื่นไส้และอาเจียนไม่ค่อยเกิดขึ้น อาการอีกอย่างที่เกิดขึ้นเมื่อร่างกายได้รับสารพิษคือ อาการอาเจียน (Emetic Syndrome) มีอาการคล้ายกับโรคอาหารเป็นพิษที่เกิดจาก *S. aureus* ระยะเวลาเกิดอาการสั้นกว่า คือ เกิดภายใน 1 ถึง 5 ชั่วโมง ผู้ป่วยมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน อาการดังกล่าวอยู่ราว 6 ถึง 24 ชั่วโมง ซึ่งอาการทั้งสองที่ได้กล่าวมาเกิดจากเอนเทอโรทอกซินที่ *B. cereus* สร้างขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า *Bacillus* สปีชีส์อื่นก็ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษขึ้นได้เช่นกัน แต่เกิดไม่บ่อยนัก ได้แก่ *B. subtitis*, *B. licheniformis*, *B. pumilus* เนื่องจาก *B. cereus* เป็นแบคทีเรียที่สร้างสปอร์จึงทนต่อสภาวะต่างๆ ได้ดี สปอร์กระจายในอากาศ ฝุ่นละออง และสิ่งแวดล้อม จึงพบแบคทีเรียนี้บ่อยในอาหารต่างๆ แม้แต่อาหารแห้งที่มีค่า a_w ต่ำ เช่นแป้ง และธัญพืช ซึ่งแบคทีเรียส่วนมากไม่เจริญ ก็อาจพบ *B. cereus* ได้ แต่ปริมาณของ *B. cereus* ที่จะทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษได้นั้นต้องอยู่ในระดับที่สูงพอสมควร *B. cereus* เป็นแบคทีเรียที่สร้างเอนเทอโรทอกซินและเอนไซม์หลายชนิด ได้แก่ เอสไซม์เลคซิติเนส (Lecithinase) โปรติเอส (Protease) เบตา-แลคตาเมส (β- Lactamase) สปิงโกมัยยิลิเนส (Spingomyelinase) ซีริโอไลซิน (Cereolysin) และฮีโมไลซิน บี แอล (Hemolysin B L) การตรวจหา *B. cereus* บ่อยครั้งที่อาศัยสมบัติของเอนไซม์เลซิติเนสที่แบคทีเรียชนิดนี้สร้างขึ้น โดยการเติมไข่แดงลงไปในอาหารเลี้ยงเชื้อ เอนไซม์เลซิติเนสจะย่อยเลซิตินในไข่แดง ทำให้เห็นเป็นโซนขาวขุ่นบริเวณที่ *B. cereus* เจริญ

แบคทีเรียแกรมลบที่ทำให้เกิดโรคในอาหารเป็นพิษ เช่น

- ซัลโมเนลลา (*Salmonellae*) เป็นแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษที่มีความรุนแรง นอกจากเป็นสาเหตุให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษระบาดสูงเป็นอันดับหนึ่งของประเทศสหรัฐฯ อังกฤษ และอีกหลายประเทศยังทำให้ประชากรเสียชีวิตสูงที่สุด แบคทีเรียกลุ่มนี้อยู่ในตระกูลของ

เอนเตอโรแบคเทอริซิอี (Family Enterobacteriaceae) เช่นเดียวกันกับแบคทีเรียพวกโคลิฟอร์มและอี.โคไล ดังนั้นจึงคาดเดาได้ว่าซัลโมเนลลาจะมีรูปร่างเป็นท่อนสั้น แกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ เจริญได้ในสภาวะที่มีอากาศและไม่มีอากาศ ชอบอุณหภูมิปานกลางแม้ว่าที่ 37 องศาเซลเซียส จะเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสม แต่ที่ 42 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่นิยมใช้บ่มเพาะเชื้อในขั้นซีเลคทีฟเอนริชเมนต์ (Selective Enrichment) เพราะอุณหภูมินี้เชื้อซัลโมเนลลาเจริญแข่งขันกับเชื้ออื่น ๆ ได้ดีกว่า คนและสัตว์เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติแหล่งแรก (Primary Habitat) ของเชื้อซัลโมเนลลา การเกิดโรคอาหารเป็นพิษสืบเนื่องมาจากการบริโภคอาหารหรือน้ำดื่มที่มีเชื้อนี้ปนเปื้อนผ่านทางอาหาร

ได้มีการปรับปรุงวิธีการจำแนกเชื้อซัลโมเนลลาครั้งใหญ่เมื่อไม่นานมานี้ ในอดีตการจำแนกเชื้อซัลโมเนลลาอาศัยชนิดของซีโรวาร์ (Serovars) ที่ได้จากการทดสอบปฏิกิริยาทางซีโรวิทยา (Serology) คือปฏิกิริยาการตกตะกอนของโปรตีนจากเซลล์แบคทีเรียที่ผิว (Somatic) และที่แซ่ (Flagellar cells) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันเป็นตัวกำหนดสปีชีส์ แต่หลังจากเทคนิคอื่นที่ใช้จีนส์เป็นตัวทดสอบที่เรียกว่า DNA-DNA Hybridization และ Multilocus Enzyme Eletrophoresis (MEE) Typing ประสบความสำเร็จทำให้เชื้อซัลโมเนลลาทั้งหมดถูกนำมาจัดใหม่เป็น 2 สปีชีส์ คือ *Salmonella enteric* และ *Salmonella bongori* แต่ละสปีชีส์จำแนกออกเป็นอีกหลายสปีชีส์ย่อย (Ssubspecies) เชื้อซัลโมเนลลากว่า 2,000 ซีโรวาร์ถูกนำมาจัดอยู่ในสปีชี *Salmonella enteric* ซึ่งจำแนกย่อยออกเป็น 5 กลุ่มหรือ subspecies ดังนี้

Group II : *S. enteric subsp.* salamae

Group III a : *S. enteric subsp.* arizonae

Group III b : *S. enteric subsp.* diarizonae

Group IV : *S. enteric subsp.* houtenae

Group VI : *S. enteric subsp.* indica

แบคทีเรียกลุ่ม V เดิมถูกยกฐานะขึ้นเป็นสปีชี ส์ คือ *Salmonella* Bongori การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนำไปสู่พัฒนาการของวิธีการเขียนชื่ อแบคทีเรียใหม่ กล่าวคือเดิมเคยเขียนว่า *Salmonella typhimurium* ต่อไปนี้จะต้องเขียนว่า *Salmonella enteric serovar* Typhimurium (หรือเขียนย่อว่า *Salmonella* Typhimurium) โดยชื่อจีนัสใช้ตัวเอน ส่วนชื่อสปีชี ส์ย่อยใช้ตัวธรรมดาและตัวอักษรแรกให้เป็นตัวพิมพ์ใหญ่ หรือเขียนย่อว่า *S.* Typhimurium

เชื้อซัลโมเนลลาในทางระบาดวิทยาสามารถจำแนกได้ออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้

1. เชื้อซัลโมเนลลาที่อาศัยคนเป็นโฮสต์เพียงอย่างเดียว ประกอบไปด้วย *S.* Typhi, *S.* Paratyphi A, *S.* Paratyphi C เป็นชนิดที่ทำให้เกิดโรคไทฟอยด์และไข้รากสาดน้อยจัดเป็นเชื้อ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ซัลโมเนลลาที่มีความรุนแรงมากที่สุด จะมีอัตราการตายสูงสุดในบรรดาเชื้อซัลโมเนลลาทั้งหลาย เชื้อไข้ไทฟอยด์ใช้ระยะเวลาฟักตัวนานที่สุด ผู้ป่วยมักมีไข้ขึ้นสูงมาก อาจแยก *S.* Typhi ได้จากเลือด และอุจจาระ หรือ ปัสสาวะของผู้ป่วยได้ก่อนและหลังอาการไข้ขึ้นสูง ส่วนไข้รากสาดน้อยมีอาการรุนแรงน้อยกว่าไทฟอยด์

2. เชื้อซัลโมเนลลาที่ปรับตัวตามโฮสต์ (สามารถทำให้เกิดโรคกับคนโดยผ่านทางอาหาร) ประกอบด้วย *S.* Enteritidis สายพันธุ์ PT4, *S.* Pullorum และ *S.* Gallinarum อาศัยเป็ด ไก่เป็นโฮสต์ ประจำ *S.* Dublin อาศัยวัวเป็นโฮสต์ประจำ *S.* Abortus-equi อาศัยม้าเป็นโฮสต์ประจำ S. Abortusovis อาศัยแกะเป็นโฮสต์ประจำ และ *S.* Choleraesuis อาศัยห่านเป็นโฮสต์ประจำ

3. เชื้อซัลโมเนลลาที่มาจำกัดโฮสต์ ได้แก่ เชื้อซัลโมเนลลาส่วนใหญ่ที่ทำให้เกิดโรคกับคนและสัตว์ ประกอบด้วยเชื้อซัลโมเนลลาที่เหลือทั้งหมดซึ่งทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ

การจำแนกเชื้อซัลโมเนลลาโดยอาศัยเทคนิคทาซีโรวิทยา อาศัยสมบัติของโปรตีนที่มีความ จำเพาะตามลักษณะทางพันธุกรรมที่ประยุกต์มาใช้ทดสอบสปีชีส์ของเชื้อแบคทีเรีย สำหรับเชื้อซัลโมเนลลา ในขั้นแรกจะทำการทดสอบปฏิกิริยาตอบสนองต่อชนิดของโปรตีนที่ผิวเซลล์ เรียกว่า Somatic Antigens (O-Antigens) ก่อน โดยจำแนกซีโรวาร์ออกเป็นกลุ่ม ๆ ตามตัวอักษรอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ เช่น A, B, C เรื่อยไป ตัวอย่างเช่น เชื้อซัลโมเนลลาที่มี O-Antigens 6 และ 7 ได้รับการจัดไว้ในกลุ่ม C_1 ในขั้นที่สองเป็นการทดสอบปฏิกิริยาตอบสนองต่อชนิดของโปรตีนที่หนวดหรือแซ่ของแบคทีเรียเรียกว่า Flagellar Antigens (H-Antigens) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ เฟส 1 หรือเฟสจำเพาะ (Specific Phase) และเฟส 2 หรือเฟสกลุ่ม (Group Phase) เฟส 1 ประกอบด้วยซัลโมเนลลาไม่กี่สปีชีส์ เชื้อซัลโมเนลลาส่วนใหญ่จัดอยู่ในเฟส 2 เชื้อซัลโมเนลลาหนึ่ง ๆ อาจมี H-Antigens ตกอยู่ในเฟสใดเฟสหนึ่งเพียงเฟสเดียว หรือตกอยู่ทั้งสองเฟสก็ได้ เฟส 1 ใช้สัญลักษณ์เป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กส่วนเฟส 2 ใช้ตัวเลขอารบิค ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์แอนติเจนของ *S.* Choleraesuis ปรากฏผลเป็น 6, 7, c, 1, 5 เลข 6, 7 เป็นตัวแทนของ O-Antigens gr. C_1 ตัวอักษร c แทน H-Antigens เฟส 1 และเลข 1, 5 แทน H-Antigens เฟส 2

ชื่อของซัลโมเนลลาเป็นข้อตกลงระหว่างประเทศ ซีโรวาร์ที่บ่งถึงสปีชีส์ถูกตั้งชื่อขึ้นตามสถานที่ที่แยกเชื้อนั้นได้เป็นครั้งแรก เช่น *S.* London, *S.* Miami, *S.* Richmond, *S.* Muenchen, *S.* Bangkok และ *S.* Rachaburi เป็นต้น ก่อนหน้านี้ได้มีการตั้งชื่อเชื้อซัลโมเนลลาหลายแบบตัวอย่างเช่น *S.* Typhimurium ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดโรคไข้ไทฟอยด์ในหนูทดลอง แหล่งที่อยู่อาศัยลำดับแรกของเชื้อซัลโมเนลลา คือลำไส้ของสัตว์ เช่น สัตว์ปีก สัตว์เลื้อยคลาน สัตว์เลี้ยง มนุษย์ รวมทั้งแมลง แต่บางทีอาจพบเชื้อซัลโมเนลลาอยู่ตามร่างกายของมนุษย์และสัตว์ก็เป็นได้ จากลำไส้แบคทีเรียออกมาทางอุจจาระ อาศัยสัตว์ แมลง และน้ำแพร่กระจายไปสู่สิ่งแวดล้อม ดิน น้ำ ปุ๋ย ซากสัตว์ที่เน่า

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เปื่อย วนเวียนเข้าสู่วงจรของห่วงโซ่อาหารสู่ลำไส้ของมนุษย์และสัตว์ วนเวียนเป็นวัฏจักร ในการขนส่งสัตว์และอาหารระหว่างประเทศทำให้เชื้อกระจายไปทั่วโลก

เชื้อซัลโมเนลลาแม้ว่าจะพบในสัตว์แทบทุกชนิด แต่บริเวณที่พบเชื้อนั้นอาจมากหรือน้อยต่างกัน เช่น บางครั้งอาจพบเชื้อในต่อมน้ำเหลืองมากกว่าอุจจาระก็เป็นได้ จากการศึกษาซากสุกรในโรงฆ่าพบเชื้อซัลโมเนลลาในม้าม ตับ ถุงน้ำดี ต่อมน้ำเหลืองและกระบังลมพอ ๆ กับที่พบน้ำอุจจาระ การแพร่เชื้อซัลโมเนลลาจากสัตว์ที่มีเชื้อไปยังสัตว์ที่ปลอดเชื้อมักเกิดขึ้นบ่อย ๆ เพราะมนุษย์และสัตว์อาจเป็นพาหะคือ มีเชื้อซัลโมเนลลาอยู่ในร่างกายหรือในอุจจาระ แต่ไม่แสดงอาการของโรคออกมา เชื้อซัลโมเนลลาสามารถเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อหลายชนิดที่เลือกเฉพาะแกรมลบ ซึ่งใช้เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ แม้ว่าการแข่งขันจะไม่ดีเท่าแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ ที่เป็นสมาชิกในตระกูลเดียวกันก็ตาม เชื้อซัลโมเนลลาส่วนมากไม่ใช้น้ำตาลสองชั้นโดยผ่านกระบวนการหมักเช่น แลคโตส ซูโครส รวมทั้งซาลิซิน (Salicin) แต่สามารถหมักน้ำตาลชั้นเดียว เช่น น้ำตาลกลูโคส ให้ก๊าซ แม้ว่าส่วนมากซัลโมเนลลาต้องการกรดอะมิโนเป็นหล่งธาตุไนโตรเจน แต่ *S.* Typhimurium สามารถใช้ไนเตรท ไนไตรท์ และก๊าซแอมโมเนียเพียงอย่างเดียวเป็นแหล่งธาตุไนโตรเจนได้ เชื้อซัลโมเนลลาเจริญในช่วง pH เป็นกลาง ระหว่าง pH 4.0 ถึง 9.0 ปัจจัยร่วมที่ประกอบด้วย pH, a_w, สารอาหาร และอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กัน และมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อซัลโม เนลลา เชื้อซัลโมเนลลาไม่ทนต่อแรงดันออสโมติกเหมือนกับเชื้อแสตปฟิโลคอกคัส เชื้อซัลโม เนลลาไม่เจริญในอาหารที่มีเกลือแกงเข้มข้นร้อยละ 9 เกลือไนไตรท์มีประสิทธิผลยับยั้งเชื้อซัลโมเนลลาได้ดีขึ้นในสภาวะที่มี pH ลดลง แสดงว่าการทำงานของไนไตรท์เกิดจากกรด HNO_2 ในสถานะที่เป็นโมเลกุล หรือกรดที่ไม่แตกตัวมากกว่าในสถานะที่แตกตัว ตามปกติเชื้อซัลโมเนลลาที่ไม่เลือกโฮสต์สามารถทำให้ผู้บริโภคเกิดอาการของโรคอาหารเป็นพิษได้ภายในเวลา 12 ถึง 14 ชั่วโมง หลังการบริโภคอาหาร ผู้ป่วยมีอาการคลื่นไส้อาเจียน ปวดท้อง (อาการปวดท้องไม่รุนแรงเท่ากับอาการที่ได้รับเชื้อแสตปฟิโลคอกคัส) ปวดศีรษะ หนาวสั่น และท้องเดิน ตามด้วยอาการเหงื่อแตก อ่อนเพลีย ปวดเมื่อยตามกล้ามเนื้อ เป็นลม มีไข้ปานกลาง มึนงง อาการมักทรงตัวอยู่ราว 2 ถึง 3 วัน อัตราการตายเฉลี่ยร้อยละ 4.1 ทั้งนี้จะแตกต่างกันตามกลุ่มเสี่ยงคือ ทารกมีอัตราการตายประมาณร้อยละ 5.8 ผู้สูงอายุประมาณร้อยละ 15 และผู้ป่วยในวัยกลางคนประมาณร้อยละ 2 สปีชีส์ที่เป็นสาเหตุให้มีอัตราการตายสูงสุดถึงร้อยละ 21 คือ *S.* Choleraesuis หลังจากป่วยแล้วประมาณร้อยละ 5 ของผู้ติดเชื้อยังคงมีเชื้อซัลโมเนลลาอยู่ในร่างกายและกลายเป็นพาหะของเชื้อนี้ต่อไป เนื่องจากทางเดินอาหารของมนุษย์และสัตว์เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยปฐมภูมิของเชื้อซัลโมเนลลาจึงคาดเดาได้ว่าอุจจาระของมนุษย์และสัตว์อาจมีเชื้อซัลโมเนลลาด้วย แต่ในอุจจาระของสัตว์มี

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

โอกาสพบเชื้อซัลโมเนลลาได้มากกว่าอุจจาระของมนุษย์ เพราะสัตว์กินอาหารไม่เลือก อีกทั้งอาหารสัตว์มีโอกาสที่จะปนเปื้อนได้มากกว่าอาหารของมนุษย์ ตามร่างกายและสิ่งปกปิดใต้ขนข้อพับของสัตว์อาจมีเชื้อซัลโมเนลลาด้วย แหล่งสำคัญที่ทำให้เกิดการแพร่เชื้อซัลโมเนลลาไปยังเนื้อสัตว์ชำแหละคือ สัตว์ที่เป็นพาหะและอาหารสัตว์ การปนเปื้อนในลำดับต่อมาคือ ผู้ปฏิบัติงานที่สัมผัสกับอาหาร ยิ่งผู้ทำหน้าที่ที่ต้องสัมผัสกับอาหารเป็นพาหะของเชื้อซัลโมเนลลาด้วยแล้วความเสี่ยงของผู้บริโภคก็จะยิ่งสูงขึ้น ที่ปลายทางก่อนบริโภค การเตรียมและการเคลื่อนย้ายอาหารจำเป็นจะต้องกระทำอย่างถูกต้องทั้งในระดับครัวเรือนและสถาบันจัดบริการอาหาร ต้องมั่นใจว่าวิธีการจัดเตรียมและการบริการอาหารได้ทำลายเชื้อซัลโมเนลลาจนมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคแล้ว ไม่เช่นนั้นแล้วจะเป็นการส่งมอบอันตรายให้กับผู้บริโภคโดยมิได้ตั้งใจ การควบคุมซัลโมเนลลาจำเป็นต้องกระทำตลอดห่วงโซ่อาหาร นับตั้งแต่ระดับฟาร์มหรือเกษตรกร ผู้ฟักไข่ และผู้เลี้ยง ความเข้าใจในเรื่อง *S.* Enteritidis จะช่วยให้ความพยายามที่จะตัดวงจรการแพร่กระจายของเชื้อซัลโมเนลลาประสบความสำเร็จได้ มิติหนึ่งของความพยายามที่จะตัดวงจรดังกล่าวคือ การจัดสภาวะในลำไส้ของไก่มีชีวิตให้กับแบคทีเรียที่ไม่มีอันตราย เพื่อที่จะให้เจริญเติบโตได้รวดเร็วและเพิ่มจำนวนมาก เพื่อแข่งขันกับแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคในการเกาะกับลำไส้ของไก่ วิธีนี้คือการส่งเสริมสิ่งมีชีวิตให้แข่งขันกันเองตามธรรมชาติ โดยการจัดหาสภาวะแวดล้อมเหมาะสมให้กับแบคทีเรียที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ เป็นการควบคุมเชื้อซัลโมเนลลาในไก่มีชีวิต นั่นคือการใช้แบคทีเรียโปรไบโอติก

- ชิเกลลา (*Shigellae*) เป็นแบคทีเรียอยู่ในตระกูล Enterobacteriaceae ซึ่งเป็นตระกูลเดียวกันกับซัลโมเนลลาและเอสเชอริเชีย เชื้อนี้เป็นสาเหตุของโรคบิด ชิเกลลามี 4 สปีชีส์ คือ *Shigella dysenteriae, Sh. flexneri, Sh. boydii* และ *Sh. sonnei* ทุกสปีชีส์ทำให้เกิดโรคกับมนุษย์ที่มีความรุนแรงแตกต่างกัน โดย *Sh. Dysenteriae* เป็นสปีชีส์ที่มีความรุนแรงมากที่สุด เพราะทำให้เกิดโรคบิด ซึ่งทำให้ผู้ป่วยถ่ายเป็นมูกเลือด (Classical Dysenteric Syndrome) ส่วยสปีชีส์อื่นเพียงทำให้เกิดอาการท้องร่วงในลักษณะของการถ่ายเป็นน้ำเท่านั้น สำหรับ *Sh. flexneri* และ *Sh. boydii* ส่วน *Sh. sonnei* มีความรุนแรงน้อยกว่าสปีชีส์อื่น ๆ โรคบิดเกิดขึ้นมากในประเทศที่มีอากาศร้อน และมีการสุขาภิบาลของอาหารและน้ำไม่ค่อยดีนัก ชิเกลลาไม่ไวต่อปฏิกิริยาทางชีวเคมีเมื่อเปรียบเทียบกับ อี. โคไล จากการศึกษาความสัมพันธ์ทางจีนส์ (DNA) ปรากฏว่าชิเกลลาทั้ง 4 สปีชีส์อยู่ในสปีชีส์เดียวกัน แต่เหตุที่ยังคงไว้แบบเดิม เพราะชิเกลลามีเพียง 4 สายพันธุ์เท่านั้น และทุกสายพันธุ์ทำให้เกิดโรคที่มีระดับความรุนแรงต่างกัน การจัดแบ่งใหม่อาจมีผลเสีย เนื่องจากความสับสนมากกว่าชิเกลลาเป็นแบคทีเรียแกรมลบ ไม่เคลื่อนที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง เจริญได้ทั้งสภาวะที่มีอากาศและไม่มีอากาศ ไม่สร้างเอนไซม์ออกซิเดส ใช้น้ำตาลโดยการหมักให้กรด แต่ไม่เกิดก๊าซ ไม่

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เจริญในวุ้นอาหารที่มีโปแตสเซียมไซยาไนด์ และไม่ให้ก๊าซไข่เน่า ตามปกติเจริญได้ไม่ดีนักในอาหารทั่วไปที่ใช้เลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในห้องปฏิบัติการเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 10 ถึง 48 องศาเซลเซียส pH เหมาะสมอยู่ระหว่าง 6 ถึง 8 และถูกยับยั้งโดยไนไตรท์ในสภาวะที่เป็นกรดหรือบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิต่ำหรือในสภาวะที่มีเกลือแกงสูงขึ้น ชิเกลลาสามารถเจริญได้ดีในสภาวะที่มี a_w ต่ำกว่า a_w ต่ำสุดของเชื้อซัลโมเนลลาและ อี. โคไล ชิเกลลาไวต่อความร้อนซึ่งแตกต่างจาก อี. โคไล ที่ค่อนข้างทนร้อน ชิเกลลาต่างจากซัลโมเนลลาคือ สัตว์ทุกชนิดไม่ได้เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติของ ชิเกลลา เชื้อนี้อาศัยอยู่เฉพาะในลำไส้ของคนและสัตว์ชั้นสูงที่เลี้ยงลูกด้วยนม จึงไม่ทำให้เกิดโรคระบาดในสัตว์และไม่เป็นปัญหาจากการแพร่กระจายมากเหมือนกับซัลโมเนลลาชิเกลลาไม่ใคร่มีชีวิตรอดในสิ่งแวดล้อม การระบาดของโรคอาการเป็นพิษของเชื้อนี้จึงเป็นเรื่องไม่ปกติ เพราะชิเกลลาเป็นแบคทีเรียที่เลือกโฮสต์ การเกิดโรคอาหารเป็นพิษจากชิเกลลาตามปกติมาจากการใช้คนที่เป็นพาหะเป็นผู้จัดเตรียมอาหาร หรือใช้วัตถุดิบที่ได้มาจากสิ่งแวดล้อมซึ่งไม่ถูกหลักการสุขาภิบาล หรืออาจมีแมลงวันเป็นตัวแพร่เชื้อ อาหารที่ปรุงสุก ๆ ดิบ ๆ หรืออาหารที่ต้องใช้มือสัมผัส แล้วไม่ผ่านการทำให้สุกอีก เช่น กุ้ง คอกเทล สลัดทูน่า เคยเป็นสาเหตุของการระบาดของชิเกลโลซิสมาแล้ว ชิเกลลาทำให้เกิดโรคบิดกับคนและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเท่านั้น จากการ ศึกษาปริมาณของเชื้อต่ำเพียง 10 ถึง 100 cfu/g ก็สามารถทำให้เกิดโรคขึ้นได้ ระยะเวลาบ่มเพาะเชื้อแตกต่างกันมากประมาณ 7 ชั่วโมง ถึง 7 วัน แต่ในกรณีที่เกิดโรคอาหารเป็นพิษระยะเวลาที่เชื้อพักตัวน่าจะสั้นคือ 36 ชั่วโมง อาการของโรคคือ ปวดท้อง อาเจียน และมีไข้ ตามด้วยอาการถ่ายท้อง ในกรณีที่รุนแรงซึ่งเป็นอาการของโรคบิด ผู้ป่วยจะถ่ายเป็นมูกเลือด แต่ถ้าเกิดจากชิเกลลาอีก 3 สปีชีส์ อาการจะเบาลงเพียงการถ่ายท้องที่มีลักษณะเป็นน้ำก็เป็นได้ อาการป่วยอาจจะทรงอยู่ราว 14 วัน ก็จะทุเลาลง แต่ถ้าเกิดจาก *Sh. Dysenteriae* ซึ่งทำให้เกิดอาการของโรคบิดแท้ที่มีอันตรายรุนแรง ควรพบแพทย์ ให้น้ำเกลือ หรือกินเกลือแร่ เพื่อรักษาสมดุลของของเหลวในร่างกาย และถ้ารุนแรงก็อาจจะต้องให้ยาปฏิชีวนะเพื่อทำลายเชื้อ ลักษณะความเป็นพิษของเชื้อมีสองแบบคือ เกิดจากการแพร่กระจายของเชื้อ (invasiveness) เกิดจากการที่ชิเกลลาเพิ่มจำนวนขึ้นในลำไส้และสามารถทำลายเยื่อบุบลำไส้หรือเลือดที่ไปเลี้ยงอวัยวะในบริเวณดังกล่าวอาการถ่ายเป็นมูกเลือดเกิดจากเซลล์ที่ถูกทำลายหลุดปนไปกับอุจจาระ และเกิดจากสารพิษที่แบคทีเรียสร้างขึ้น (Enterotoxin) อีกชื่อหนึ่งเรียกว่า ชิกาทอกซิน (Shiga toxin) สารพิษเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่แบคทีเรีย *Sh. Dysenteriae* สร้างขึ้น แม้ว่าชิเกลลาสปีชีอื่นจะผลิตสารพิษนี้ออกมาด้วย แต่ก็มีปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ *Sh. Dysenteriae* สารพิษนี้มีแนวโน้มจะจับกับไกลโคโปรตีน สารพิษจึงไวต่อความร้อนที่ใช้ในการหุงต้มอาหารให้สุก

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

- เอสเชอริเชีย โคไล (*Escherichia coli*) เป็นแบคทีเรียแกรมลบที่อาศัยอยู่ในลำไส้ของคนและสัตว์เลือดอุ่น แบคทีเรียนี้มักจะทำให้เด็กทารกในประเทศที่กำลังพัฒนาเกิดอาการท้องเดิน เหตุที่เป็นแบคทีเรียในลำไส้ จึงพบบ่อยในอุจจาระของคนและสัตว์ด้วยเหตุนี้ จึงใช้แบคทีเรียเป็นดรรชนีบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนของอุจจาระในน้ำและอาหาร (Index of Fecal Contamination) *E. coli* ได้รับการจัดไว้ในประเภทจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ ซึ่งมีการจำแนก *E. coli* ออกตามความรุนแรงของการเกิดโรค ลักษณะนิสัยในการเจริญเติบโตและลักษณะทางพันธุกรรมเป็นผลให้แบ่ง *E. coli* ออกเป็น 5 กลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่มที่ทำให้เกิดโรคทางเดินอาหาร (Enteropathogenic *E. coli*) เขียนย่อว่า EPEC สายพันธุ์นี้แม้ว่าจะทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษขึ้น แต่มิใช่เป็นผลมาจากเอนเทอโรทอกซิน จากการศึกษาพบว่า แบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคโดยกลไกการเกาะติดเฉพาะที่กับเซลล์ของเนื้อเยื่อ เป็นผลให้เกิดการรวมตัวกับเนื้อเยื่อเมือกในลำไส้โดยอัตโนมัติ จากนั้นแบคทีเรียจะเข้าไป เจริญและเพิ่มจำนวนขึ้นในเยื่อเมือกของลำไส้ แล้วขับโปรตีนออกมายับยั้งการทำงานของเม็ดเลือดขาวโดยทั่วไป EPEC ทำให้ทารกที่มีอายุต่ำกว่าหนึ่งขวบท้องร่วง

2. กลุ่มที่ทำลายเซลล์ในระบบทางเดินอาหาร (Enteroinvasive *E. coli*) เขียนย่อว่า EIEC สายพันธุ์นี้ไม่สร้างเอนเทอโรทอกซินเช่นกัน แต่ทำลายเซลล์ของโฮสต์ โดยการที่แบคทีเรียเจาะเข้าไปทางเซลล์ชั้นนอกของโฮสต์ (Epithelial Cells) แล้วกระจายไปยังเซลล์ใกล้เคียงคล้ายกับพฤติกรรมของเชื้อบิด แบคทีเรียกลุ่มนี้ชอบอยู่ในลำไส้ใหญ่ ทำให้เกิดอาการท้องร่วงทั้งแบบที่ถ่ายเป็นเลือดและไม่มีเลือดปน เกิดกับเด็กอ่อนและคนชรา แบคทีเรียใช้ระยะฟักตัวนาน 2 ถึง 48 ชั่วโมง (เฉลี่ย 18 ชั่วโมง) EIEC เป็น *E. coli* สายพันธุ์แรกที่พบว่าทำให้อาหารเป็นพิษ

3. กลุ่มที่สร้างสารพิษขึ้นในทางเดินอาหาร (Enterotoxigenic *E. coli*) เขียนย่อว่า ETEC สายพันธุ์นี้สร้างเอนเทอโรทอกซิน 2 แบบ คือ แบบทนความร้อน (Heat-Stable Toxin-ST) จำแนกออกเป็น 2 แบบ คือ เรียกย่อว่า ST-I และ ST-II มีสมบัติคล้ายสารพิษของชิเกลลา และแบบที่ไม่ทนความร้อน (Heat-Labile Toxin-LT) จำแนกออกเป็น 2 ชนิดเช่นกันคือ LT_A และ LT_B มีสมบัติคล้ายสารพิษของเชื้ออหิวาต์ แต่อาการรุนแรงน้อยกว่า อุจจาระมักไม่มีเลือดปน อาการท้องร่วงเป็นผลมาจากสารพิษชนิดที่ไวต่อความร้อนกระตุ้นให้ขับสารอะดินิลเลทซัยเครส (Adenylate Cyclase) จากผนังลำไส้ ซึ่งจะเป็นผลให้มีสาร cAMP (Cyclic 3', 5'-Adenosine Monophosphate) เพิ่มขึ้น ทำให้มีของเหลวหลั่งออกมามาก ในทางเดินอาหาร ส่วนสารพิษที่ทนความร้อนกระตุ้นให้มีการหลั่ง cGMP (Cyclic Guanosine Monophosphate) เพิ่มขึ้นในเมือก ทำให้เกิดการสูญเสียของเหลวและอิเล็กโตรไลท์ของร่างกาย ETEC ได้ชื่อว่าเป็นโรคท้องร่วงของนักเดินทางจากประเทศที่พัฒนาแล้วที่เพิ่งกลับจากจากประเทศกำลังพัฒนา

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

4. กลุ่มที่ทำให้เลือดออกในทางเดินอาหาร (Enterohemorrhagic *E. coli*) เขียนย่อว่า EHEC สายพันธุ์นี้สร้างสารพิษที่มีคุณสมบัติคล้ายกับสารพิษของชิเกลลา (Shigalike Toxins) และเป็นสารพิษประเภทเวอโรทอกซินหรือเวอโรไซโตทอกซิน (Verotoxin, Verocytotoxin) คือสารพิษที่สามารถฆ่าเซลล์เวอโร (Vero Cells) ในห้องทดลองได้ เซลล์เวอโรได้จากไตของลิงเขียวแอฟริกันชนิดหนึ่ง จากการศึกษาสารพิษของ EHEC มี 2 แบบ คือ แบบ SLT-I (หรือ VT-I) และ SLT-II (หรือ VT-II) ในปัจจุบันใช้ศัพท์ใหม่ว่า Stx_1 และ Stx_2 ตามลำดับ สารพิษทั้งสองชนิดนี้ต่างกันที่องค์ประกอบทางเคมี ทำให้ปฏิกิริยาตอบสนองต่อลักษณะทางพันธุกรรมต่างกัน ตัวอย่างของ *E. coli* กลุ่มนี้ได้แก่ *E. coli* O157:H7 เป็นต้น EHEC อาจพบในเนื้อสัตว์ นม ผลิตภัณฑ์สัตว์ปีก และอาหารทะเล วิธีการตรวจโดยใช้ชิ้นส่วนของจีนส์ (DNA probes) ตรวจหา EHEC มีโอกาสให้ผลบวกสูงกว่าการตรวจหา *E. coli* O157:H7 เพียงอย่างเดียว

5. กลุ่มที่ทำให้เกิดการรวมตัวของเซลล์บุผนังลำไส้ (Enteroaggregative *E. coli*) เขียนย่อว่า EAggEC

อาการของโรคในคนที่เกิดจาก *E. coli* O157:H7 ทำให้เกิดเลือดออกในทางเดินอาหาร สารพิษ Stx ของ *E. coli* ทำให้เกิดการถ่ายปัสสาวะปนเลือดที่เรียกว่า Haemolytic Uraemic Syndrome (HUS) ประกอบด้วยลักษณะอาการที่สำคัญ 3 ประการ คือ ไตล้มเหลวเฉียบพลัน โลหิตจาง (จำนวนเซลล์เม็ดเลือดแดงลดลง) และเกร็ดเลือดลดลง (เลือดแข็งตัวช้า) ผู้ที่ได้รับเชื้อร้อยละ 2-7 จะเกิดอาการ HUS ขึ้น HUS เกี่ยวข้องกับ *E. coli* O157:H7 ที่ผลิตสารพิษชนิด Stx_2 มากกว่าสายพันธุ์ที่ผลิต Stx_1 หรือสายพันธุ์ที่ผลิตสารพิษทั้งสองชนิด นอกจากสารพิษ Stx ของ *E. coli* ยังทำให้เกิดอาการเลือดออกในลำไส้ที่เรียกว่า Haemorrhagic Colitis (HC) กับคนคือ การถ่ายเป็นเลือด ปวดท้องและถ่ายอุจจาระเหลวเป็นน้ำหลังได้รับเชื้อประมาณ 3 ถึง 8 วัน ตามปกติผู้ป่วยไม่มีไข้ และไม่พบเม็ดเลือดขาวในอุจจาระของผู้ป่วย โรคอาหารเป็นพิษที่ทำให้เกิดอาการ HC พบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1982 ในรัฐโอเรกอนและรัฐมิชิแกนของสหรัฐฯ โดยเหตุการณ์เกิดจากการบริโภคแซนวิชจากร้านขายอาหารฟาสต์ฟูดที่ใช้เนื้อบดไม่สุก ในบรรดาผู้ป่วย 43 คน ทุกคนถ่ายเป็นเลือดและปวดท้องอย่างรุนแรง ร้อยละ 63 มีอาการคลื่นไส้ ร้อยละ 49 อาเจียน ผู้ป่วยร้อยละ 7 ที่มีไข้ ค่าเฉลี่ยที่เชื้อฟักตัวอยู่ระหว่าง 3.8-3.9 วัน อาการทรงตัวอยู่มากกว่า 3 ถึงมากกว่า 7 วัน สำหรับการระบาดครั้งอื่น ๆ ใช้ระยะเวลาประมาณ 3.1 ถึง 8 วัน อาการจึงทุเลา

- วิบริโอ พาราเฮโมไลติคัส (*V. parahaemolyticus*) เป็นแบคทีเรียรูปท่อนโค้ง แกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ เคลื่อนที่ได้ สร้างเอนไซม์คะตะเลสและออกซิเดส เชื้อมักเติบโตในอาหารที่มีกลูโคสโดยไม่สร้างแก๊สออกมา ไม่หมักย่อยแลคโตสหรือซูโครส เป็นเชื้อที่เติบโตที่อุณหภูมิระหว่าง 5 ถึง 42 องศาเซลเซียส โดยเติบโตได้มากที่สุดที่อุณหภูมิ 30 ถึง 37 องศาเซลเซียส เซลล์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วในที่มีเกลือ 3 ถึง 5% แต่ไม่สามารถเจริญได้ถ้าเกลือมากกว่าหรือเท่ากับ 10% ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมเชื้อจะตายภายใน 15 นาที ไม่เติบโตในที่ที่มีค่า pH ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 5.0 และเชื้อจะตายเมื่ออยู่ในที่แห้งและสามารถฆ่าเชื้อได้โดยความร้อนในระดับพลาสเจอร์ไรส์ การแช่เย็น และการแช่เยือกแข็ง วิบริโอ พาราเฮโมไลติคัส เป็นเชื้อที่ชอบเกลือมักพบทั่วไปบริเวณฝั่งทะเลทั่วโลก และพบมากในฤดูร้อน ส่วนในฤดูหนาวเชื้อจะอยู่บริเวณโคลนตม โดยปกติแล้วเชื้อวิบริโอ พาราเฮโมไลติคัส มีการสร้างสารพิษบางสายพันธุ์เท่านั้น ซึ่งสายพันธุ์ที่สร้างสารพิษจะสามารถย่อยสลายเม็ดเลือดแดงได้ เนื่องจากสร้างสารฮีโมไลซินที่ทนความร้อนออกมาเรียกว่า Kanagawa Positive ในปัจจุบันจัดสารฮีโมไลซินที่ทนความร้อน ให้เป็นสารพิษ โดยอัตราการผลิตสารพิษและปริมาณของสารพิษ จะสัมพันธ์กับการเจริญ ปริมาณของเชื้อ และ pH ในสภาวะแวดล้อมการเจริญของเชื้อ หากมีการสร้างสารพิษในอาหารแล้ว ความร้อนไม่สามารถทำลายสารพิษดังกล่าวได้ เมื่อรับประทานอาหารที่มีเชื้อนี้เข้าไป เชื้อจะถูกทำลายด้วยกรดในกระเพาะอาหาร ผู้ป่วยจะต้องรับเข้าไปในปริมาณ 10^5 ถึง 10^7 เซลล์ จึงจะทำให้เกิดโรค โดยอาการของโรคจะเกิดขึ้นหลังจากรับประทานประมาณ 10 ถึง 24 ชั่วโมง ทำให้มีอาการป่วย 2 ถึง 3 วัน โดยมีอาการเคลื่อนไส้ อาเจียน เป็นตะคริวที่ท้อง ท้องเสีย ปวดศีรษะ มีไข้ หนาว สั่น ซึ่งอาหารที่พบเชื้อเป็นอาหารทะเลต่าง ๆ ที่เพาะเลี้ยงในน้ำกร่อย ในระหว่างฤดูร้อน การระบาดของโรคเกิดขึ้นเป็นครั้งคราว เกิดจากผู้ป่วยรับประทานอาหารทะเลดิบหรืออาหารทะเลที่ปรุงไม่สุก หรือมีการปนเปื้อนหลังจากการทำให้สุกแล้ว เช่น ปู ปลา กุ้ง หอยนางรม และกุ้งมังกร เป็นต้น ในอาหารทะเลดิบที่ไม่แช่เย็น และอาหารทะเลที่ปรุงด้วยความร้อนแล้วแต่ยังหลงเหลือเชื้ออยู่และเกิดการเจริญอย่างรวดเร็ว โดยเซลล์จะเพิ่มจำนวนได้ดีหากเก็บไว้ที่ 20 ถึง 30 องศาเซลเซียส แม้ว่าจะมีการปนเปื้อนเพียงเล็กน้อย การควบคุมและป้องกันเชื้อชนิดนี้ได้โดย ไม่บริโภคอาหารทะเลดิบ ให้ความร้อนอาหารอย่างทั่วถึง ปรุงอาหารด้วยความสะอาด หลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของเชื้อในอาหารที่ปรุงสุกแล้ว แช่เย็นอาหารดิบให้เพียงพอ ให้ความร้อนในการปรุงอาหารให้ทั่วถึง และรับประทานอาหารที่ทำเสร็จใหม่ ๆ

สมบัติของกรดไขมันที่มีต่อเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค

Kabara (2000) พบว่า กรดไขมันขนาดกลาง (Medium Chain Fatty Acids หรือ MCFA) มีสมบัติในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ และ Kabara, Swieczkowski, Conley, and Truant (1972) ได้ทำการศึกษาต่อเพื่อต้องการทราบปริมาณน้อยที่สุดของกรดไขมันที่สามารถใช้ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ โดยทำการเปรียบเทียบกับ Preservatives ที่ใช้ในอุตสาหกรรมและมีขายทั่วไปตามท้องตลาด พบว่าปริมาณที่น้อยที่สุดของ Monolaurin และ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Monocaprin มีปริมาณใกล้เคียงหรือน้อยกว่า Preservatives ที่ใช้อยู่โดยทั่วไป ซึ่ง Kabara ได้อธิบายว่ากลไกการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์เกิดจากการที่ Monoglycerides และกรดไขมัน ได้เข้าไปรบกวนเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell Membrane) ที่เป็นเยื่อเลือกผ่านและไปต่อต้านการดูดซึมกรดอะมิโน ซึ่งต่อมาได้มีผู้ทำการศึกษาเพื่อให้เข้าใจกลไกดังกล่าวได้ดียิ่งขึ้น ซึ่ง Bergsson, Arnfinnsson, Steingrimsson, and Thormar (2001) ได้ทำการศึกษากลไกการทำลาย *Candida albicans* โดยกรดไขมันและ Monoglycerides คณะผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกกรดไขมันและ Monoglycerides เพื่อนำไปศึกษาต่อ โดยการนำกรดไขมันและ Monoglycerides 10 mM ผสมกับ *Candida albicans* ที่มีปริมาณ 8 ถึง 9 log cfu/ml จากนั้นทำการบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ผลที่ได้คือ Capric Acid และ Lauric Acid สามารถลดปริมาณเชื้อลงเหลือต่ำกว่า 2 log cfu/ml และ 4 log cfu/ml ตามลำดับ ส่วน Monocaprin และ Monolaurin ลดปริมาณเชื้อลงเหลือต่ำกว่า 7 log cfu/ml และ 8 log cfu/ml ตามลำดับ จากนั้นเติม Capric Acid และ Lauric acid ลงใน *C. albicans* 6 log cfu/ml โดยเติมที่ความเข้มข้น 2.5 และ 5 mM พบว่า Lauric acid สามารถลดปริมาณของ *Candida albicans* ลงเหลือ ต่ำกว่า 2 log cfu/ml เมื่อทำการบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เมื่อทำการบ่มเชื้อต่อจนถึง 5 ชั่วโมง เชื้อไม่มีการเพิ่มปริมาณขึ้น สำหรับ Capric Acid เติมที่ความเข้มข้น 2.5 mM ทำให้เชื้อหยุดการเจริญเติบโต โดยที่เชื้อมีปริมาณคงที่ตลอดระยะเวลา 5 ชั่วโมงที่ทำการบ่ม แต่ไม่สามารถลดปริมาณของเชื้อลงได้ และ Capric Acid เติมที่ 5 mM มีผลต่อเชื้อคือเชื้อลดปริมาณลงเหลือต่ำกว่า 4 log cfu/ml ที่เวลา 30 นาที และเหลือต่ำกว่า 3 log cfu/ml หลังจากทำการบ่มจนครบ 5 ชั่วโมง ผู้ทำการวิจัยได้ศึกษาเพื่ออธิบายกลไกการยับยั้ง พบว่าโครงสร้างภายนอกไม่มีการเปลี่ยนแต่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเกิดขึ้น แต่ออร์แกเนลล์ประกอบไปด้วย Nucleus (N), Vacuoles (V) และ Mitochondria (M) หายไป พบเพียง Vacuoles ที่มีขนาดเล็กอยู่ในเซลล์ ซึ่งเกิดจากการที่กรดไขมันได้เข้าไปรวมตัวกับ Phospholipid Bilayer ของเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้ เยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนแปลงสมบัติไปโดยสูญเสียความเป็นเยื่อเลือกผ่านอย่างรวดเร็ว เกิดแรงดันเต่ง (Hydrostatic Turgor Pressure) เป็นผลให้น้ำไหลเข้าสู่เซลล์อย่างรวดเร็วทำลายอวัยวะภายในเซลล์หรือทำให้เซลล์ขาดความสมดุลย์และหยุดทำงานในที่สุด ซึ่งกลไกดังกล่าวจะเกิดขึ้นกับแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็น Bilayer เท่านั้น

การนำกรดไขมันขนาดกลางยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคในอาหาร

กรดไขมันขนาดกลาง (Medium Chain Fatty Acids หรือ MCFA) เป็นกรดไขมันที่มีคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 8 ถึง 14 อะตอม มีการนำไปใช้ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคในอาหาร ดังนี้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1. Caprylic Acid มีคาร์บอนอะตอม 8 อะตอม จากการศึกษาของ Isaacs, Litov, and Thormar (1995) ได้ทำการทดสอบกับเชื้อไวรัสที่สามารถปนเปื้อนลงในน้ำนมโคและนมมารดา โดยทำการศึกษาไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคเริม (Herpes Simplex Virus Type 1: HSV-1), ไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคเต้านมอักเสบในโค (Vesicular Stomatitis Virus: VSV) และไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคในระบบทางเดินหายใจ (Respiratory Syncytail Virus :RSV) โดยทำการเติมเชื้อไวรัสดังกล่าวลงในนมโคและทำการเติมกรดไขมันและ Monoglycerides ของกรดไขมันลงเพื่อทำการยับยั้งการเจริญของไวรัส พบว่า Monocaprylin สามารถลดปริมาณของเชื้อไวรัสโรคเริมลง ≥ 3.75 log cfu/ml ที่ความเข้มข้น 7.5 mM ลดปริมาณไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคในระบบทางเดินหายใจได้ ≥ 3.25 log cfu/ml ที่ความเข้มข้น 7.5 mM และสามารถลดปริมาณของไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคเต้านมอักเสบในโค ≥ 1.8 log cfu/ml ที่ความเข้มข้น 45 mM โดยทำการบ่มเชื้อทั้งหมดที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

จากการศึกษาของ Isaacs, Litov, and Thormar (1995) จึงเกิดการศึกษาเกี่ยวกับ Caprylic อย่างต่อเนื่องโดย Nair, Joy, Vasudevan, Hinckley, and Hoagland (2004) ได้ศึกษาการยับยั้งเชื้อ *L. monocytogenes* และ *E. coli* O157:H7 ในผลิตภัณฑ์นมโดยผู้ทดสอบได้มีการเติมเชื้อเริ่มต้นลงไปในนมให้มีประมาณ 6 log cfu/ml จากนั้นทำการเติม Caprylic Acid และ Monocaprylin ที่ความเข้มข้น 25 mM และ 50 mM จากนั้นทำการบ่มที่ 4, 8 และ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 6, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ยกเว้นการบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เนื่องจากผลิตภัณฑ์นมอาจเกิดการเน่าเสีย ในการบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส Monocapylin 25 mM สามารถลดปริมาณของเชื้อ *L. monocytogenes* ลงได้ 5 log cfu/ml เมื่อผ่านไป 6 ชั่วโมง และเมื่อใช้ความเข้มข้นที่ 50 mM ลดปริมาณเชื้อลงได้อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อทำการเปรียบเทียบกับ Treatment อื่น ๆ และที่อุณหภูมิ 8 และ 4 องศาเซลเซียส Monocaprylin ทั้ง 2 ความเข้มข้นมีผลทำให้มี *L. monocytogenes* ลดลงได้มากกว่า Caprylic Acid และกลิ่นควบคุม โดยจะลดลงมากกว่า 5 log cfu/ml ที่เวลา 24 ชั่วโมงของการเก็บรักษา แต่สำหรับความเข้มข้นของ Caprylic Acid ทั้ง 2 ความเข้มข้นให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลิ่นควบคุมผลของการเติม Caprylic Acid และ Monocaprylin เพื่อทำการยับยั้ง *E. coli* ที่อุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส Monocaprylin ทั้งสองความเข้มข้นและ Caprylic Acid ที่ 50 mM สามารถลดปริมาณเชื้อลงได้มากกว่า 5.0 log.CFU/ml หลังจากทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และ Caprylic Acid ความเข้มข้นที่ 50 mM มีผลในการลดปริมาณของเชื้อลงได้ มากกว่า 5 log cfu/ml ภายหลังทำการบ่ม 48 ชั่วโมง และยังได้รายงานเพิ่มเติมว่า Caprylic Acid และ Monocaprylin สามารถลดปริมาณ *Steptococcus agalactiae,*

Steptococcus dygalactiae, Steptococus uberis ประมาณ 5.0 log cfu/ml ในเวลา 1 นาที และหลังจากทำการบ่มเชื้อเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เชื้อจะลดลงน้อยกว่า 1 log cfu/ml นอกจากนั้นคณะผู้วิจัยยังได้ทำการทดสอบผลของ Caprylic Acid และ Monocaprylin ที่มีต่อ *S. aureus* พบว่า Caprylic Acid 100 mM และ Monocaprylin 50 mM สามารถลดปริมาณลงมากกว่า 2 log cfu/ml ภายใน 1 นาที เมื่อทำการบ่มต่อ 6 ชั่วโมง ปริมาณลดลงมากกว่า 5.0 log.CFU/ml นอกจากนี้ยังสามารถลดปริมาณเชื้อ *E. coli* 5 log cfu/ml และลดลงเหลือ 1 log cfu/ml หลังจากทำการบ่มเชื้อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยที่เชื้อปริมาณเริ่มต้นของตัวอย่างทั้งหมดคือ 7 log cfu/ml และทำการบ่มที่ 39 องศาเซลเซียส

นอกจากนี้ยังมีรายงานเกี่ยวกับ Caprylic Acid และ Monocaprylin โดยได้มีการใช้ในการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคแกรมลบ เช่น *E. coli* และ *Salmonella ssp.* ที่มีการดื้อยาหลายชนิดได้ (Nair, Joy, Vasudevan, Hinckley, and Hoagland, 2005) Caprylic Acid เป็นสารเคมีที่เป็น Food-Grade ได้การรับรองจาก Food and Drug Administration as Generally Regarded as Safe (GRAS184.1025) ว่าไม่ก่อให้เกิดโทษใด ๆ แม้จะใช้ในปริมาณมากๆ

2. Capric Acid มีคาร์บอนอะตอม 10 อะตอม จากการทดลองของ Isaacs, Litov, and Thormar (1995) ในการใช้ Monoglyceride ของกรดไขมันในการยับยั้ง *Haemophilus influenzae* และ *Streptococcus* Group B ซึ่งเป็นเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคในนมเด็กทารก โดยทำการทดลองโดยการเติมเชื้อแบคทีเรียที่มีความเข้มข้น 4-5 log cfu/ml ลงในนมจากนั้นทำการเติมกรดไขมันลงไปในนม ทำการบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส จนกว่าจะสามารถนับปริมาณของเชื้อได้ซึ่งผลการทดลองการยับยั้ง *H. influenzae* ซึ่ง Monocaprylin และ Monocaprin สามารถยับยั้งเชื้อได้ที่ความเข้มข้น 4.5 mM ได้มากกว่า 4 log cfu/ml ในขณะที่ Lauric acid สามารถยับยั้งเชื้อในปริมาณที่เท่ากันแต่ต้องใช้มากถึง 22.5 mM

Mbandi, Brywing, and Shelef (2004) ได้ทำการศึกษาการยับยั้ง *L. monocytogenes* ในผลิตภัณฑ์ Beef Emulsion ด้วยกรดไขมันอิสระ โดยทำการทดลองหาความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถยับยั้ง *L. monocytogenes* ปริมาณ 3 log cfu/ml ทำการบ่มเชื้อที่ 32 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลารวม 9 วัน ได้ซึ่งผลการทดลองว่า Lauric Acid ใช้เพียง 40 μg/ml ในขณะที่ Monolaurin ใช้ปริมาณ 80 μg/ml และ Capric Acid 150 μg/ml ถึงแม้ Capric Acid จะใช้ปริมาณมากกว่าแต่สามารถยับยั้งเชื้อโดยที่เชื้อไม่มีปริมาณเพิ่มขึ้นนานถึง 19 วัน มากกว่า Lauric Acid และ Monolaurin ซึ่งอาจเนื่องจาก pH ที่ลดลงต่ำกว่า เนื่องจากใช้ปริมาณที่มากกว่า ผู้ทำการศึกษาจึงได้ทำการคัดเลือก Lauric Acid และ Capric Acid มาทำการทดลองต่อ โดยการเติมลงผลิตภัณฑ์ Sterile Comminuted Beef จากนั้นทำการเก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน ทำทั้งหมด 2 ซ้ำ ซึ่งค่า pH ของผลิตภัณฑ์ลงลดจาก 5.62 เป็น 5.50, 5.42 และ 5.50 เมื่อทำการเติม Lauric Acid

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

500 µg/g, Capric Acid 300 µg/g และ Lauric Acid 500 µg/g ร่วมกับ Capric Acid 300 µg/g พบว่า Lauric Acid และ Capric Acid สามารถลดปริมาณเชื้อลงได้ทันทีที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ แต่มีการเจริญเติบโตกลับในภายหลัง และเมื่อเก็บรักษาต่อไปที่ 21 วัน Lauric Acid 500 µg./g และ Capric Acid 300 µg/g เมื่อใช้ร่วมกันสามารถลดการเจริญของเชื้อ *L. monocytogenes* ลงได้ เมื่อทำการเปรียบเทียบจากกลุ่มควบคุม พบว่าปริมาณของเชื้อแตกต่างกันมากกว่า 3 log cfu/ml

3. **Lauric Acid** มีคาร์บอนอะตอม 12 อะตอม มีการศึกษาถึงคุณสมบัติการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคหลายชนิด Dawson, Carl, Acton, and Han (2001) เป็นกลุ่มหนึ่งที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติดังกล่าว โดยการนำ Lauric Acid และ Nisin มาผสมกันและขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ ที่สามารถลดปริมาณหรือยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร เพื่อให้อาหารมีความปลอดภัยมากขึ้น ในการทดลองได้ทำการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์เพื่อทำการทดลองคือ แผ่นฟิล์มชุดควบคุม ซึ่งไม่มีการเติมสารยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและฟิล์มที่มีการเติม 4% Nisin, 8% Lauric acid, 4% Nisin + 8% Lauric Acid ทางคณะผู้ทดลองแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลองคือ การทดลองกับ *L. monocytogenes* เพื่อทำการศึกษาถึงคุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อของแผ่นฟิล์มขึ้นรูป โดยการนำแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปมาวางบน Petri Dish ทำการเติม *L. monocytogenes* 6 ถึง 7 log cfu/ml และ Peptone Water 1% เขย่าเป็นเวลา 0 ถึง 48 ชั่วโมง 22 องศาเซลเซียส และการทดลองบรรจุผลิตภัณฑ์ Turkey Bologna เพื่อทดสอบการเจริญของ *L. monocytogenes* โดยทำการตัด Bologna ให้เป็นชิ้นขนาด 6x6x2 นิ้ว จากนั้นนำมาทำการบรรจุด้วยบรรจุภัณฑ์ที่เตรียมไว้ทั้ง 4 ชนิด แผ่นฟิล์มที่มีส่วนประกอบของ Lauric Acid สามารถลดปริมาณเชื้อ *L. monocytogenes* ลงเหลือต่ำกว่า 1 log cfu/ml ที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง และให้ผลดีที่สุดคือการใช้ Lauric acid ร่วมกับ Nisin โดยสามารถลดปริมาณเหลือต่ำกว่า log cfu/ml ที่ระยะเวลา 8 ชั่วโมง ในขณะที่ Nisin สามารถลดปริมาณเชื้อลงมาได้มากกว่า 1 log cfu/ml ที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมง แต่เชื้อมีการเจริญเติบโตย้อนกลับอีกครั้งจนกระทั่งที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง เชื้อมีการเจริญมากกว่า 8 log cfu/ml ซึ่งน้อยกว่า Control อยู่ประมาณ 1 log cfu/ml ในช่วง 1 วันแรกเชื้อจะลดปริมาณลง เนื่องจากนำมาทำการเก็บที่ 5 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อได้ระยะเวลาหนึ่ง เมื่อเชื้อทำการปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมได้จะมีการเจริญ เติบโตขึ้นอีกครั้งแต่จะช้ากว่าอุณหภูมิปกติจากชุดควบคุมเชื้อจะเจริญอยู่ที่ระหว่าง 6 ถึง 7 log cfu/ml ส่วนบรรจุภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบของ Lauric Acid เมื่อระยะเวลาการเก็บผ่านไป 21 วัน ปริมาณของ *L. monocytogenes* ต่ำกว่า log cfu/ml ส่วนการใช้ Lauric Acid ร่วมกัน Nisin ปริมาณของเชื้อจะอยู่ระหว่าง 5 ถึง 6 log cfu/ml เช่นเดียวกับการใช้ Nisin เพียงอย่างเดียว

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Pastoriza, Cabo, Bernardez, Sampedro, and Herrera (2002) ได้ทำการศึกษาการใช้ Lauric Acid ร่วมกับการ Modified Atmosphere Packing ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โดยแช่เย็น Pre-Cook Fish Products ทำการทดลองโดยนำผลิตภัณฑ์ปลาบดปรุงรสมาทำการเติม Lauric Acid ลงไป 0.75 g/kg ในเนื้อปลา จากนั้นทำการปรุงรสปกติ นำส่วนผสมที่ทำการปรุงรสแล้วทำการขึ้นรูปและนำมาชุบด้วยเกล็ดขนมปัง จากนั้นทำการบรรจุลงในถุงที่มีการเติม CO_2 50 % และ N_2 50 % และถุงที่บรรจุตามปกติทำการเก็บที่ 7±1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลารวม 30 วัน เมื่อใช้ Lauric Acid สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ได้ประมาณ 14 วัน และ Modified Atmosphere Packing สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ได้ประมาณ 21 วันตามลำดับ การที่ผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้ Lauric Acid สามารถเก็บตัวอย่างไว้ได้เพียง 14 วัน เนื่องจากมีราสีขาวขึ้นที่ผิวของเกล็ดขนมปัง อาจเกิดเนื่องจากเกล็ดขนมปังมีการปนเปื้อนเชื้อรา เมื่อได้รับความชื้นจากผลิตภัณฑ์ทำให้เชื้อรามีการเจริญเติบโตขึ้น ส่วนการใช้ Lauric Acid ร่วมกับ Modified Atmosphere Packing ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถนับได้มีการเจริญช้าลงซึ่งสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้มากกว่า 30 วัน และไม่มีเชื้อราเจริญเนื่องจากไม่มี O_2 ใช้ในการเจริญเติบโต

4 **Myristic Acid** มีคาร์บอนอะตอม 14 อะตอม จากการค้นคว้ายังไม่พบข้อมูลในการใช้ Myristic Acid ในผลิตภัณฑ์อาหาร แต่พบข้อมูลการใช้ในทางการแพทย์ โดยพบข้อมูลการวิจัยของ Kitahara et al.(2004) ได้ทำการทดลองฆ่าเชื้อ *Staphylococcus* ที่มีการดื้อยาโดยทำการเก็บตัวอย่างเชื้อจากคนไข้ทั่วประเทศญี่ปุ่นมาทำการทดลองโดยการทดลองใช้ Myristic Acid ที่อยู่ในรูปของ Myristylamine โดยใช้ปริมาณเพียง 1.56 µg/ml ในการฆ่าเชื้อปริมาณ 5 log cfu/ml คณะผู้วิจัยได้ทำการวิจัยต่อถึงแนวทางที่จะนำไปใช้โดย Kitahara et al. (2006) ได้ทำการนำ Lauric acid และ Myristylamine มาทำการผสมเข้ากับตัวยาที่ใช้ฆ่าเชื้อ *Staphylococcus aureus* ที่ดื้อยา โดยคณะผู้วิจัยได้กล่าวสรุปว่า ตัวยาที่ได้มีการเติม Lauric acid และ Myristylamine ลงไปเหมาะสำหรับการใช้เป็นยาที่ใช้ฆ่าเชื้อภายนอกร่างกายโดยเฉพาะบริเวณผิวหนัง การใช้ Lauric acid จะให้ผลที่ดีกว่าเล็กน้อยแต่ใช้ปริมาณที่มากกว่า Myristylamine

นอกจากการใช้กรดไขมันอิสระและ Monoglyceride แล้ว Ogbolu, Oni, Daini, and Oloko (2006) ได้มีรายงานว่า น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์สามารถใช้ในการฆ่าเชื้อ Candida Species ดีกว่า Fluconazole ซึ่งเป็นยาปฏิชีวนะที่ใช้กันโดยทั่วไป เนื่องจากในน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ประกอบด้วยกรดไขมันขนาดกลางที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งและฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

ดังนั้นการสกัดกรดไขมันอิสระที่เป็นกรดไขมันขนาดกลาง จากน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาทำการยับยั้งหรือลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคในอาหาร เพื่อทำให้อาหารมีความปลอดภัย คงคุณภาพและคงคุณลักษณะที่ดีก่อนถึงมือผู้บริโภค

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เทคโนโลยีการเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation Technology) (อภินันท์ สุทธิธารธวัช, 2552)

เทคโนโลยีการเอนแคปซูเลชันหรือเทคโนโลยีการกักเก็บเป็นเทคโนโลยีที่มีการพัฒนากันอย่างต่อเนื่องมาแต่อดีต แต่อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีในการกักเก็บในระดับไมโครเมตรเป็นเทคโนโลยีที่มีการค้นคว้าและพัฒนาภายใน 3 ทศวรรษที่ผ่านมา ซึ่งจะพบว่าในปัจจุบันเทคโนโลยีนี้มีการนำไปใช้อย่างมากมายในผลิตภัณฑ์ที่ใช้ชีวิตประจำวัน โดยทุกคนมองเห็นเป็นสิ่งธรรมดาทั่วไปทำให้ไม่ตระหนักถึงเทคโนโลยีนี้มากนัก แต่อย่างไรก็ตามในหลายอุตสาหกรรมมีการนำเทคโนโลยีในการกักเก็บไปใช้เพื่อให้ได้คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ตามต้องการ ยกตัวอย่างเช่น เทคโนโลยีในการกักเก็บในระดับไมโครเมตร ซึ่งจะมีการกักสารสำคัญไว้ภายในวัสดุห่อหุ้มหรือเปลือกเพื่อควบคุมการปลดปล่อย ซึ่งในอุตสาหกรรมอาหารได้นำข้อดีด้านนี้ไปพัฒนาผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด นอกจากนี้การกักเก็บยังช่วยป้องกันการสูญเสียสารสำคัญจากการถูกทำปฏิกิริยาไม่ว่าจะเป็นอากาศและแสง รวมไปถึงการระเหยไปของสารสำคัญนั้นเอง สาระสำคัญที่มักจะถูกกักเก็บด้วยกระบวนการกักเก็บนี้อาจแบ่งได้เป็น 5 ประเภท ได้แก่ กลิ่นรส วิตามินและแร่ธาตุ น้ำมันและไขมัน สมุนไพรสารสกัดทางชีวภาพ และส่วนผสมอื่น ๆในอาหาร โดยการกักเก็บสาร คือ การปรับปรุงความคงทนระหว่างการเก็บรักษาและลักษณะการปลดปล่อยของสารที่ถูกกักเก็บระหว่างกระบวนการผลิตรวมไปถึงระหว่างการบริโภค การกักเก็บสารสำคัญในรูปของผงแห้งจะช่วยลดผลกระทบของน้ำที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ส่งผลให้สิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ รา ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งสามารถช่วยยืดระยะเวลาในการกักเก็บ นอกจากนี้การกักเก็บในรูปของผงแห้งยังช่วยลดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารสำคัญและอากาศซึ่งหลีกเลี่ยงผลกระทบที่เป็นผลต่อสารสำคัญนั้น เช่น การระเหยออกสู่บรรยากาศภายนอกและการแพร่ผ่านของออกซิเจนไปยังสารสำคัญ ซึ่งจะทำให้เปลี่ยนรูปไป เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากผงอนุภาคที่ความชื้นต่ำจะมีอุณหภูมิการเปลี่ยนจากสถานะคล้ายแก้วของผงอนุภาคมีแนวโน้มลดลง ความสามารถในการเคลื่อนที่และในการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในอนุภาคแปรผันตามปริมาณความชื้นและอุณหภูมิ ในกระบวนการกักเก็บส่วนใหญ่จะใช้สารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่สามารถละลายน้ำได้เป็นวัสดุห่อหุ้ม โดยสารประเภทคาร์โบไฮเดรตนี้จะกลายเป็นวัสดุอสัณฐานที่อยู่ในสภาวะคล้ายแก้ว หลังจากการที่สูญเสียน้ำไปในกระบวนการทำให้เกิดเป็นโครงร่างของวัสดุห่อหุ้มขึ้น สำหรับกระบวนการที่กักเก็บระดับโมเลกุลนั้นจะใช้ไซโคลเด็กตรินเป็นวัสดุห่อหุ้ม โดยไซโคลเด็กตรินมีความสามารถในการจับกับโมเลกุลของสารสำคัญที่เหมาะสมเข้าไปในระหว่างช่องโมเลกุลหรือโพรงของโมเลกุล ในปัจจุบันได้มีการพัฒนากระบวนการในการกักเก็บขึ้นอีก

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

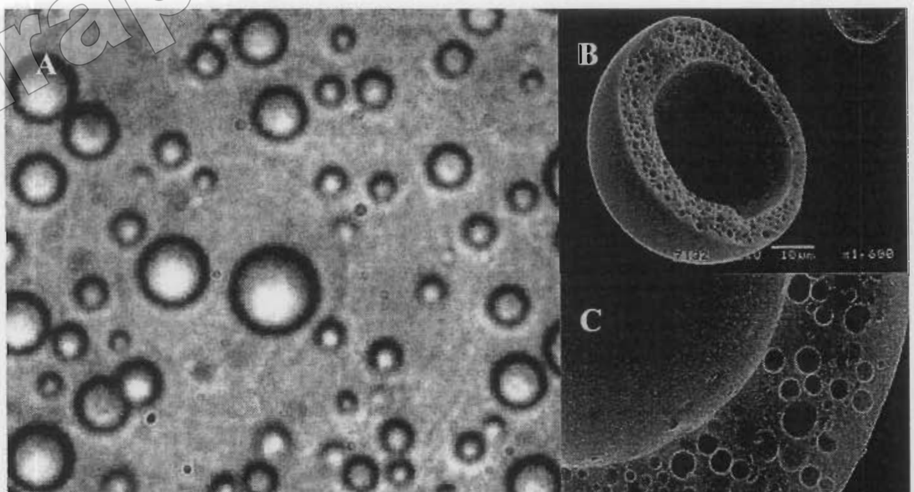
หลายวิธีเช่น กระบวนการกักเก็บโดยอาศัย คาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะเหนือจุดวิกฤตเป็นตัวทำละลายของสารห่อหุ้ม กระบวนการกักเก็บที่อาศัยการตกผลึก รวมไปถึงกระบวนการกักเก็บโดยอาศัยการดูดซับภายใต้วัสดุห่อหุ้มที่เป็นรูพรุน แต่อย่างไรก็ตามวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยยังเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายไม่ว่าในด้านการวิจัยและในเชิงพาณิชย์

กระบวนการกักเก็บสารที่ไม่ละลายน้ำด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dry)

กระบวนการในการกักเก็บสารที่ไม่ละลายน้ำด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อยได้ 3 ขั้นตอน คือ การเลือกสารเปลือกที่ใช้เป็นตัวห่อหุ้ม การเตรียมสารผสมเพื่อเข้าสู่กระบวนการ และการอบแห้งแบบพ่นฝอย สำหรับการใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยจะต้องเตรียมอิมัลชันของสารที่ต้องการกักเก็บให้อยู่ในสารละลายของตัวห่อหุ้มนั้น เนื่องจากสารกักเก็บเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ดังแสดงใน ภาพที่ 2-2

ปัจจัยที่ใช้ในการประเมินผลิตภัณฑ์ผงแห้งที่กักสารว่ามีคุณภาพดีหรือไม่ดีนั้นพิจารณาจาก ขนาด และรูปร่างของผงแห้ง ความหนาแน่นสมบูรณ์ของผงแห้ง รวมไปถึงความหนาแน่นภายนอก ความสามารถในการไหลของผงแห้ง ความสามารถในการละลายน้ำกลับ ปริมาณความชื้น รูปร่างลักษณะภายนอก ปริมาณของสารที่ถูกกักเก็บ ความเสถียรหรือความคงตัว อายุในการเก็บรักษา ความสามารถในการปลดปล่อยสารกักเก็บ รวมถึงความเสถียรของอิมัลชันหลังจากที่ละลายน้ำกลับคืนอยู่ในสภาพของเหลว เป็นต้น

Burapha University



ภาพที่ 2-2 สารในขั้นตอนการเตรียมสารละลายอิมัลชัน (A) และอนุภาคของสารในขั้นตอนการอบแห้งแบบพ่นฝอย (B, C)

ขั้นตอนในการเลือกชนิดของสารห่อหุ้ม ขั้นตอนแรกของกระบวนการกักเก็บสาร คือ การเลือกชนิดของสารที่ห่อหุ้มให้เหมาะสม ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติส่วนใหญ่ของผลิตภัณฑ์ผงแห้งที่ดีหรือไม่ดีนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสารห่อหุ้มเป็นหลัก นอกจากนี้ชนิดของสารห่อหุ้มยังมีผลต่อความเสถียรของอิมัลชันที่เข้าสู่กระบวนการ ซึ่งส่งผลต่อความสามารถใน การกักเก็บสารระหว่างกระบวนการอบแห้ง และยังส่งผลต่อความสามารถในการไหล รวมไปถึงอายุในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย ชนิดของสารห่อหุ้ม อาจแบ่งได้เป็น 5 ประเภทหลัก คือ

1. สารประเภทคาร์โบไฮเดรต เช่น แป้ง แป้งดัดแปร มอลโตเด็กตริน ไซโคลเด็กตริน
2. สารประเภทเอสเทอร์หรืออีเทอร์ของเซลลูโลส เช่น คาร์บอกซีเซลลูโลส เมทิลเซลลูโลส เอทิลเซลลูโลส
3. สารประเภทยางหรือกัม เช่น กัมอกาเซีย โซเดียมแอลจีเนท
4. สารประเภทไขมัน เช่น แวกซ์ พาราฟิน น้ำมัน ไขมัน
5. สารประเภทโปรตีน เช่น เจลลาติน โปรตีนจากถั่ว

โดยคุณสมบัติสำคัญของสารห่อหุ้ม คือ มีความสามารถในการละลายน้ำสูง มีความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดี มีความสามารถในการสร้างฟิล์ม ถูกทำให้แห้งได้ และมีความหนืดต่ำถึงแม้ว่าจะ ละลายในน้ำที่ความเข้มข้นสูง

ขั้นตอนในการเตรียมอิมัลชัน

การเตรียมอิมัลชันเป็นการกระจายอนุภาคของสารที่ไม่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปของอนุภาคขนาดเล็กในสารละลายของสารห่อหุ้มที่ถูกเลือก ซึ่งเรียกว่าเป็นสารอิมัลชันของสารกักเก็บหรือสารอิมัลชันของน้ำมัน ซึ่งเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (O/W อิมัลชัน) เพื่อเป็นสารเพื่อเข้าสู่กระบวนสำหรับขั้นตอนของการอบแห้งต่อไป โดยในการทำอิมัลชัน น้ำมันจะถูกเติมลงไปในสารละลายของสารห่อหุ้ม และถูกทำให้เป็นอนุภาคขนาดเล็กโดยผ่านการปั่นกวนอย่างรุนแรงโดยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ ซึ่งขนาดของอนุภาคของน้ำมันสามารถควบคุมด้วยสภาวะของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ รวมไปถึงเวลาที่ใช้ในการ โฮโมจีไนซ์ โดยสมบัติของอิมัลชัน เช่น ขนาดของอนุภาคและความเสถียรของอิมัลชัน จะส่งผลกระทบต่อสมบัติของผงแห้งกักเก็บสารเป็นอย่างมาก

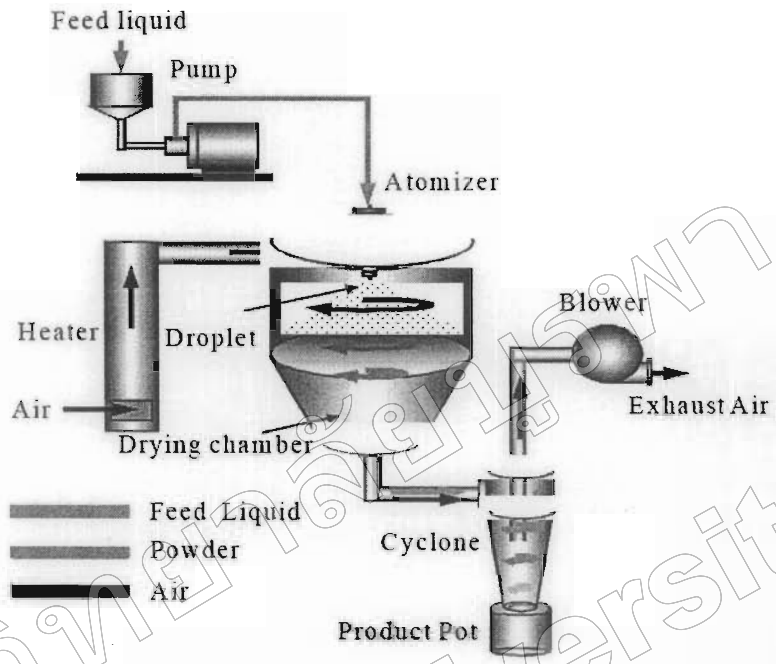
ขั้นตอนการเตรียมผงแห้งกักเก็บน้ำมันโดยกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย

อิมัลชันของสารจะผ่านเครื่องกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยการอบแห้งแบบ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

พ่นฝอยคือ การเปลี่ยนแปลงของเหลวซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของสารละลายหรืออิมัลชันหรือของผสมระหว่างของเหลวกับของแข็งกลายเป็นผงอนุภาคแห้ง ของเหลวที่เข้าสู่กระบวนการจะถูกทำให้เป็นละออง กลายเป็นหยดเล็ก ๆ ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ระดับสิบไมโครเมตรถึงระดับหลายร้อยไมโครเมตร ถูกทำให้แห้งเป็นผงโดยสัมผัสกับอากาศร้อน ข้อดีของการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ดีกว่าการทำแห้งแบบอื่น คือ การทำให้แห้งอย่างรวดเร็ว หยดละอองของเหลวสามารถทำให้แห้งได้ในเวลาอันสั้นประมาณ 5 ถึง 30 วินาที โดยสามารถทำให้เกิดผงอนุภาคทรงกลมได้โดยตรงจากสารละลายหรือสารผสมของเหลวที่เตรียมไว้ ดังนั้นการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะถูกประยุกต์กับอุตสาหกรรมที่ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงและใช้ร่วมกับกระบวนการขนส่งอาศัยอากาศจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง เครื่องพ่นฝอยแบบแห้งโดยทั่วไปประกอบด้วย อุปกรณ์ที่ใช้ป้อนสาร อุปกรณ์ที่ทำให้ของเหลวกลายเป็นละอองหรือหัวฉีด เครื่องให้ความร้อนกับอากาศ เครื่องป้อนอากาศ หออบแห้ง ระบบฟอกอากาศให้สะอาด และ อุปกรณ์เก็บผงอนุภาค ดังแสดงในภาพที่ 2-3 โดยทั่วไปแล้ว หัวฉีดของเหลวที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมมี 2 ชนิดคือ แบบพ่นและแบบจานหมุนจะทำให้ของเหลวเป็นละออง จึงทำให้เกิดหยดละอองที่มีขนาดพอเหมาะและขนาดอนุภาคของละอองเป็นสิ่งสำคัญของการพ่นฝอยแบบแห้งในการกำหนดการกระจายตัวของขนาดผงอนุภาค ส่วนสารละลายที่ป้อนเข้าถูกทำให้เป็นอนุภาคมากที่สุดเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของผงอนุภาค ตัวอย่างเช่น สารละลาย 1 ลูกบาศก์เมตร และได้ละอองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 ไมโครเมตร หรือ 1 ไมโครเมตร พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น 100 หรือ 10,000 เท่าตามลำดับ โดยปกติเครื่องพ่นจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดละอองประมาณ 10 ถึง 200 ไมโครเมตร และเวลาในการทำแห้งประมาณ 5 ถึง 30 วินาที โดยหัวฉีดแบบจานหมุนนิยมใช้กับของเหลวที่ มีลักษณะข้นหรือความหนืดสูง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2-3 ระบบการทำงานของเครื่องพ่นฝอยแบบอบแห้ง ประกอบไปด้วยปั๊มที่ใช้ส่งสารเข้าสู่กระบวนการ หัวฉีด เครื่องให้ความร้อนกับอากาศ เครื่องป้อนอากาศ ถังอบแห้ง ระบบฟอกอากาศ และ อุปกรณ์เก็บผงอนุภาค

ทฤษฎีและกลไกการกักเก็บน้ำมันโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย

สำหรับการอบแห้งแบบพ่นฝอยของเหลวที่เป็นอิมัลชันน้ำมัน ปริมาณของน้ำมันที่กักเก็บอยู่ในผงอนุภาคเป็นปัจจัยสำคัญ ในการผลิตผงอนุภาคควบคู่กับปริมาณน้ำที่ลดลงอย่างมากระหว่างการอบแห้งอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้เป็นตัวกลางอบแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งถูกคาดว่าน่าจะทำให้ปริมาณน้ำมันที่กักเก็บ ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของน้ำมันหอมระเหยหายไปเป็นจำนวนมากเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่หายไป ทั้งนี้เนื่องจากมีค่าของการกลายเป็นไอสูงกว่าน้ำมาก แต่อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยสามารถกักเก็บปริมาณน้ำมัน ได้เป็นสัดส่วนปริมาณมากเมื่อเทียบกับน้ำ ซึ่งจะเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของผงแห้งกักเก็บน้ำมันทั้งหมดเท่านั้น การที่น้ำมันถูกกักเก็บในอนุภาคในสัดส่วนที่มากกว่าน้ำเป็นจำนวนมากนั้น สามารถอธิบายได้โดย “ทฤษฎีการแพร่แบบเลือกผ่าน” ปริมาณของน้ำมันที่เหลืออยู่ในผงแห้งเป็นปริมาณที่มากกว่าการคาดคะเนจากการสมดุลไอนั้น ทั้งนี้เป็นเพราะการแพร่ของสารที่เป็น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ของเหลวในละอองอนุภาคสู่พื้นผิวของละอองอนุภาคจะเป็นตัวกำหนดอัตราการอบแห้งของละอองอนุภาคนั้น Thjiissen and Rulkens (1968) พบว่าปริมาณของน้ำที่ลดลงบริเวณพื้นผิวของละอองอนุภาคระหว่างการอบแห้งนั้น จะทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ผ่านของน้ำมันลดลงหลายเท่าตัวเมื่อเทียบกับตอนที่เริ่มต้นก่อนการอบแห้ง และมีอัตราการลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับน้ำในสภาวะเดียวกัน ซึ่งจะทำให้ระหว่างการอบแห้งนั้นปริมาณน้ำจะแพร่ผ่านและระเหยไปด้วยอัตราและปริมาณที่มากกว่าน้ำมันหอม ซึ่งแพร่ผ่านและระเหยได้ในปริมาณน้อยโดยเฉพาะในสภาวะที่น้ำหายไปเป็นจำนวนมากและอย่างรวดเร็ว ดังนั้นพื้นผิวที่แห้งของละอองอนุภาคหน้าที่คล้ายกับเป็นตัวแยกการแพร่ผ่านที่ยอมให้โมเลกุลของน้ำแพร่ผ่านแต่ไม่ยอมให้น้ำมันแพร่ผ่านออกไป กล่าวคือสารห่อหุ้มที่อยู่ในเฟสน้ำในอิมัลชันที่เข้าสู่กระบวนการ เมื่อปริมาณน้ำลดลงจะทำให้อุณหภูมิของสภาวะที่คล้ายแก้วเพิ่มขึ้น และทำให้ได้โครงสร้างอสัณฐานซึ่งยอมให้สารอินทรีย์ไม่สามารถซึมผ่านไปได้ แต่ยอมให้น้ำซึมผ่านไปได้

Thjiissen and Rulkens (1968) รายงานเพิ่มเติมว่าปริมาณน้ำที่ผิวของละอองอนุภาคลดลงระหว่างอบแห้งแบบพ่นฝอยและปริมาณของน้ำมันก็มีแนวโน้มลดลงตามด้วย พบว่าน้ำแพร่ผ่านชั้นฟิล์มได้อย่างต่อเนื่อง แต่น้ำมันสามารถแพร่ผ่านในอัตราที่น้อยมาก ดังนั้นบริเวณผิวของอนุภาคที่ถูกทำให้แห้งจะมีลักษณะเป็นเยื่อหุ้มบาง ๆ ที่ยอมให้น้ำผ่านแต่กักเก็บโมเลกุลของสารอินทรีย์น้ำมันไว้ และพบอีกว่าการกักเก็บน้ำมันระหว่างการอบแห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของแข็งในสารที่เข้าสู่ระบบ อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า อัตราการไหลของอากาศร้อน และลดปริมาณความชื้นของอากาศ ซึ่งเงื่อนไขทั้งหมดจะทำให้ผิวแห้งที่เกิดขึ้นบนผิวของละอองอนุภาคมีประสิทธิภาพดีขึ้น นอกจากนี้ Flink and Karel (1970) ได้เสนอทฤษฎีการทำให้ถูกยึดติดอยู่ในขอบเขตระดับไมโครเมตร ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับทฤษฎีการแพร่แบบเลือกผ่าน แต่จะเสนอในแง่ของแนวทางเคมีกายภาพ กล่าวคือการอบแห้งจะทำให้เกิดขอบเขตของการกักเก็บระดับไมโครเมตรขึ้น ในขอบเขตนี้จะทำให้มีปริมาณความเข้มข้นของสารกักเก็บในปริมาณสูงภายใต้สารละลายความเข้มข้นสูงของสารห่อหุ้ม โดยโมเลกุลของน้ำซึ่งมีปริมาณลดลงอย่างมากนั้นจะช่วยให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสารห่อหุ้มกับสารกักเก็บ ทำให้การสูญเสียของสารกักเก็บระหว่างการอบแห้งนั้นมีค่าลดลง อีกทฤษฎีที่มีลักษณะคล้ายกันคือ ทฤษฎีสภาวะคล้ายแก้ว ซึ่งนำเสนอโดย Franks, Hately, and Mathias (1991) สารกักเก็บจะมีความคงทนเมื่อสารกักเก็บติดอยู่ในบริเวณโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรตที่มีสภาวะเริ่มคล้ายแก้วและมีความหนืดสูง

ปัจจัยที่มีผลต่อการกักเก็บของผงอนุภาคที่ได้จากกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย

สมบัติของสารกักเก็บ

1. น้ำหนักโมเลกุล เนื่องจากขนาดของโมเลกุลส่งผลต่ออัตราในการแพร่ของสาร ดังนั้นไขมันที่มีขนาดโมเลกุลหรือน้ำหนักโมเลกุลใหญ่ขึ้น จะทำให้ปริมาณในการกักเก็บของสารมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลขนาดใหญ่มีการแพร่ผ่านได้ช้า ทำให้เกิดการสูญเสียสารกักเก็บได้ในปริมาณที่ต่ำ

2. ความดันไอ ความดันไอหรือความสามารถในการระเหยของสารกักเก็บจะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียของสารกักเก็บขึ้นระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย ที่เกิดการสูญเสียส่วนใหญ่มาจากความสามารถในการระเหยของสารกักเก็บ ซึ่งพิจารณาได้จากค่าความดันไอของสารกักเก็บความสามารถในการละลายในน้ำ

สมบัติของอิมัลชันที่เข้าสู่กระบวนการ

1. ปริมาณของสารห่อหุ้มที่ละลายอยู่ในอิมัลชันที่เข้าสู่กระบวนการ ปัจจัยที่สำคัญในการกักเก็บสารที่เป็นสารที่สามารถระเหยได้ระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยคือ ปริมาณของแข็งหรือสารห่อหุ้มที่ละลายอยู่ในอิมัลชันที่เข้าสู่กระบวนการ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อปริมาณของแข็งมากขึ้นจะทำให้เกิดอัตราการอบแห้งที่เร็วขึ้น ส่งผลให้เกิดเยื่อเลือกผ่านขึ้นบริเวณของละอองอนุภาคได้เร็วขึ้นตามไปด้วย เมื่อความเข้มข้นของสารห่อหุ้มที่ละลายในอิมัลชันที่เข้าสู่กระบวนการมากขึ้น จะทำให้ร้อยละของการคงอยู่ของสารมากขึ้น ความเข้มข้นของสารห่อหุ้มในอิมัลชันที่เข้าสู่กระบวนการผลิตสามารถเพิ่มขึ้นได้ตามชนิดของสารห่อหุ้มนั้น ๆ ซึ่งสามารถละลายอยู่ที่ระดับหนึ่ง ด้วยข้อจำกัดนี้จึงมีการเพิ่มปริมาณสารห่อหุ้มที่มีความสามารถละลายน้ำได้ดีเติมแต่งเข้าไปกับสารห่อหุ้มที่มีสมบัติเป็นอิมัลซิฟายเออร์ เพื่อให้เกิดการสูญเสียที่สุดระหว่างกระบวนการ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อความเข้มข้นของของแข็งมีค่ามากขึ้นจะทำให้ความหนืดของอิมัลชันมีค่าสูงขึ้น ถ้าค่าความหนืดสูงมากขึ้นอาจส่งผลต่อความสามารถในการพ่นฝอยที่ลดลง โดยอาจส่งผลให้ร้อยละของการคงอยู่ของสารกักเก็บมีค่าลดลง เมื่อความเข้มข้นของของแข็งสูงขึ้น

2. ความหนืดของในอิมัลชันที่เข้าสู่กระบวนการ ความหนืดของอิมัลชันเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อการคงอยู่ของสารกักเก็บระหว่างกระบวนการ ทั้งนี้เนื่องจากความหนืดจะส่งผลต่อความสามารถในการเคลื่อนที่ของของไหลที่อยู่ภายในละอองอิมัลชันออกมาจากหัวฉีดที่ค่าความหนืดต่ำ จะทำให้เกิดการผสมที่ดีขึ้นภายในละอองอิมัลชันระหว่างการอบแห้ง ส่งผลให้การเกิดเยื่อเลือกผ่านนั้นช้าตามไปด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียของสารกักเก็บมากขึ้น นั่นคือถ้าความหนืดของอิมัลชันสูงขึ้นจะทำให้ร้อยละการคงอยู่ของสารระหว่างกระบวนการนั้นสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามถ้าความหนืดของอิมัลชันมีค่าสูงมากเกินไปจนส่งผลต่อการเกิดของละอองอิมัลชันจากหัวฉีด นอกจากนี้ยังส่งผลให้ร้อยละผลได้ของอนุภาคนั้นลดลงตามไปด้วย เนื่องจากความไม่

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สามารถในการฉีดออกเป็นละอองได้ ทำให้เกิดการติดตามผนังของหออบแห้ง ค่าความหนืดที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการคงอยู่ของสารกักเก็บจะมีค่าสูงที่ระดับหนึ่งเท่านั้น

3. ขนาดอนุภาคของสารกักเก็บในอิมัลชันที่เข้าสู่กระบวนการ ขนาดของอนุภาคสารกักเก็บในอิมัลชันที่เข้าสู่กระบวนการ (ในที่นี้จะเรียกว่าอนุภาคอิมัลชัน) มีผลต่อค่าการคงอยู่ของสารกักเก็บในระหว่างกระบวนการอย่างมาก โดยพบว่าอนุภาคของอิมัลชันของสารกักเก็บที่มีความสามารถในการละลายต่ำมาก หรือไม่สามารถละลายในน้ำได้เลย เมื่อมีขนาดเล็กลงจะทำให้ร้อยละของการคงอยู่ของสารกักเก็บมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย เมื่อขนาดของอิมัลชันมีขนาดใหญ่ขึ้นพบว่าสารกักเก็บที่เกาะตามผิวของอนุภาคผงแห้งก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่ออนุภาคของอิมัลชันมีขนาดใหญ่จะถูกแรงเฉือนจากหัวฉีด กระทำต่ออิมัลชันนั้นทำให้อนุภาคสารกักเก็บนั้นแตกเป็นอนุภาคที่เล็กลง ซึ่งอนุภาคสารกักเก็บที่แตกลงนี้จะส่งผลให้เกิดการสูญเสียของสารกักเก็บมากขึ้นตามไปด้วย แต่ในทางตรงกันข้ามสำหรับอนุภาคสารกักเก็บที่ขนาดเล็กจะมีขนาดไม่เปลี่ยนแปลง แต่อย่างไรก็ตามสำหรับสารกักเก็บที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูงขึ้นพบว่าเมื่อขนาดอนุภาคสารกักเก็บลดลงจะทำให้การคงอยู่ของสารกักเก็บหลังกระบวนการมีค่าลดลงตามไปด้วย ทั้งนี้เกิดจากปริมาณของสารกักเก็บที่ละลาย อยู่ในเฟสของน้ำมีค่าสูงขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็ก ซึ่งสารกักเก็บที่ละลายอยู่ในน้ำนี้เกิดการสูญเสียไปกับน้ำผ่านเยื่อเลือกผ่าน

4. ปริมาณของสารกักเก็บในอิมัลชันที่เข้าสู่กระบวนการ เมื่อปริมาณของสารกักเก็บที่อยู่ในอิมัลชันที่เข้าสู่กระบวนการผลิตมีค่ามากขึ้น จะทำให้ค่าการคงอยู่ของสารกักเก็บมีค่าลดลง นอกจากนี้ยังทำให้สารกักเก็บที่เกาะอยู่บริเวณผงแห้งมีค่าสูงขึ้นตามไป เมื่อปริมาณของเมนทอลที่อยู่ในอิมัลชันมีค่ามากขึ้นทำให้ร้อยละของการอยู่ของเมนทอลมีค่าลดลงแต่ทำให้ปริมาณของเมนทอลที่ผิวของผงแห้งมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นเพื่อให้มีปริมาณของสารกักเก็บในผงแห้งสูง พร้อมทั้งมีร้อยละของการคงอยู่สูงสุด อัตราส่วนของมวลวัสดุหุ้มต่อมวลของสารกักเก็บจะถูกใช้ที่ค่า 4 ต่อ 1 ซึ่งอัตราส่วนนี้จะใช้งานได้ดีกับกัมอกาเซีย และสารจำพวกคาร์โบไฮเดรต

5. ความคงตัวของอิมัลชัน ความคงตัวของอิมัลชันเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการคงอยู่ของสารกักเก็บ หลังผ่านกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากอิมัลชันที่มีความไม่คงตัวเมื่อถูกแรงเฉือนจากหัวฉีดจะทำให้อิมัลชันเกิดการแตกออกเป็นอนุภาคที่เล็กลง และกลับมารวมตัวกันเป็นอนุภาคของเฟสน้ำมันที่ใหญ่ขึ้น จะสังเกตได้ว่าอิมัลชันที่มีความคงตัวต่ำจะเกิดการสูญเสียของสารกักเก็บได้สูงกว่า นอกจากนี้อนุภาคของเฟสน้ำมันมีการจับตัวกันใหญ่ขึ้น ซึ่งจะทำให้สารห่อหุ้มไม่สามารถห่อหุ้มเฟสน้ำมันได้ทั้งหมด ทำให้เกิดการสูญเสียที่มากขึ้นตามไปด้วย โดยทั่วไปความคงตัวของอิมัลชันจะพิจารณาจากขนาดอิมัลชันที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

สภาวะของกระบวนการอบแห้ง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1. ชนิดของหัวฉีด จากลักษณะของการสูญเสียสารกักเก็บระหว่างการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะเป็นการสูญเสียหลัก ดังนั้นลักษณะของหัวฉีดจึงมีผลกระทบต่อความคงอยู่ของสารกักเก็บระหว่างกระบวนการสำหรับหัวฉีดที่ใช้แรงดันอัด King (1995) ได้รายงานว่าหัวฉีดที่ฉีดด้วยแรงดันสูงจะทำให้ร้อยละการคงอยู่ของสารกักเก็บสูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากแรงดันสูงจะทำให้เวลาในการเกิดเป็นละอองฝอยสั้นลง รวมทั้งยังช่วยทำให้ลมร้อนสามารถสัมผัสกับละอองฝอยได้มากขึ้นอีกด้วย ซึ่งจะทำให้การเกิดเยื่อเลือกผ่านที่เร็วขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียลดลง ในทำนองเดียวกันสำหรับหัวฉีดที่อาศัยแรงเหวี่ยง ที่แรงเหวี่ยงหรือที่ความเร็วรอบที่สูงจะทำให้การเกิดเป็นละอองฝอยที่เร็วขึ้นและสามารถสัมผัสกับลมร้อนได้มากขึ้นส่งผลให้การสูญเสียของสารกักเก็บลดลง

2. ขนาดของละอองฝอย เนื่องด้วยขนาดของละอองฝอยขึ้นอยู่กับสภาวะของหัวฉีดดังกล่าวข้างต้น โดยที่หัวฉีดอาศัยแรงดันที่แรงดันสูงหรือแบบเหวี่ยงที่ความเร็วรอบสูง ทำให้การเกิดเป็นละอองฝอยได้เร็วขึ้นและได้ขนาดของละอองฝอยที่ได้จะมีขนาดเล็กลงตามไปด้วย ซึ่งทำให้การเกิดเยื่อเลือกผ่านที่เร็วขึ้นจากเวลาที่ใช้ในการเกิดเป็นละอองที่สั้นกว่า รวมถึงพื้นที่ผิวสัมผัสกับลมร้อนที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าการสูญเสียของสารกักเก็บมีปริมาณลดลง แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากละอองฝอยได้รับความร้อนที่อัตราที่สูงกว่าก็จะทำให้การสูญเสียมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย ทำให้เป็นการยากที่สรุปผลของขนาดของละอองฝอยต่อการสูญเสียสารกักเก็บโดยเฉพาะในระบบที่ลักษณะที่แตกต่างกัน

3. อุณหภูมิของอากาศขาเข้าเครื่องอบแห้ง เมื่ออุณหภูมิของอากาศขาเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสูงขึ้นจะทำให้การเกิดเยื่อเลือกผ่านที่เร็วขึ้นซึ่งจะทำให้การสูญเสียลดลง แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของอากาศขาเข้าไม่ควรมีค่าสูงเกินไปซึ่งจะทำให้เกิดการฟองอากาศขึ้นภายในอนุภาคและอาจทำให้เกิดการขยายตัวและแตกออกในที่สุด ซึ่งจะทำให้มีการสูญเสียสารกักเก็บได้เช่นกัน โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสมของอากาศขาเข้าอยู่ในช่วย 160 ถึง 210 องศาเซลเซียส ซึ่งจะให้ผลของร้อยละการคงอยู่ของสารกักเก็บไม่ต่างกันมากนัก

4. อุณหภูมิของอากาศออกเครื่องอบแห้ง ผลของอุณหภูมิของอากาศออกเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสูงต่อค่าร้อยละการคงอยู่ของสารกักเก็บระหว่างกระบวนการอบแห้งนั้น ยังไม่มีรายงานที่ชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิออกของเครื่องอบแห้งเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศเข้า อัตราการไหลของอากาศและสารที่เข้าสู่กระบวนการเป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามผลของอุณหภูมิของอากาศเข้าต่อการสูญเสียสารกักเก็บนั้นน่าจะมีความคล้ายคลึงกับกรณีของผลกระทบของอุณหภูมิของอากาศเข้า กล่าวคือที่อุณหภูมิของอากาศออกสูง แสดงถึงอัตราการเกิดเยื่อเลือกผ่านที่เร็วขึ้น แต่ถ้ามีค่าสูงเกินไปก็จะให้การสูญเสีย เนื่องจากการเปลี่ยนรูปร่างของ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

อนุภาคเพราะสารกักเก็บบางชนิดไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงได้ ซึ่งอุณหภูมิขาออกเป็นตัวแปรหนึ่งที่บอกถึงอุณหภูมิสูงสุดของอนุภาคผลิตภัณฑ์ ดังนั้นถ้าสารกักเก็บมีค่าคงตัวต่อความร้อนที่ต่ำ ค่าอุณหภูมิของอากาศออกจะถูกกำหนดไว้ที่อุณหภูมิที่ไม่สูงมากเกินไป ถึงแม้ว่าจะได้ค่าการคงอยู่ของสารกักเก็บสูงก็ตาม

5. อัตราการไหลของอากาศเข้าเครื่องอบแห้ง อัตราการไหลของอากาศเข้าที่สูงจะทำให้อัตราการอบแห้งที่สูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการถ่ายเทมวลและความร้อนที่สูงขึ้นจะเกิดความปั่นป่วนที่มากขึ้นในถังอบแห้ง ดังนั้นที่อัตราการไหลของอากาศขาเข้าที่สูงก็จะทำให้ได้อัตราร้อยละการคงอยู่ของสารกักเก็บที่สูงขึ้นตามไปด้วย จากการที่อัตราการเกิดของเยื่อเลือกผ่านที่เร็วขึ้นทำให้การสูญเสียมีค่าลดลง

6. ความชื้นของอากาศเข้า เมื่อความชื้นของอากาศเข้ามีค่าสูง ทำให้อัตราการอบแห้งลดลงส่งผลต่อการเกิดเยื่อเลือกผ่านเกิดขึ้นได้ช้าทำให้เกิดการสูญเสียมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามผลของความชื้นต่อค่าร้อยละการอยู่ของสารกักเก็บมีค่าไม่มากนัก ซึ่งส่วนใหญ่ความชื้นของอากาศเข้าจะถูกนำมาพิจารณาต่อสมบัติและความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมากกว่า

Fuchs, Turchiuli, Bohin, Cuvelier, Ordonnaud, Peyrat-Maillard, and Dumoulin (2006) ได้ทำการศึกษาสารเคลือบที่เหมาะสมในการกักเก็บน้ำมัน เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชัน และช่วยควบคุมการปลดปล่อยสารกักเก็บเมื่อนำไปใช้งาน โดยสารเคลือบ ที่สามารถกักเก็บน้ำมันไว้ได้ดีที่สุดคือ สารผสมระหว่าง Maltodextrin และ Gum Arabic ในอัตรา 3 ต่อ 2 ที่ความเข้มข้นของสารละลาย 30 ถึง 50 % สามารถกักเก็บน้ำมันได้ถึง 94 % ของปริมาณน้ำมันที่เข้าสู่ระบบ พบ Surface Oil Content เพียง 0.06 % ของน้ำมันที่เข้าสู่ระบบ ในขณะที่ใช้ Maltodextrin เป็นสารเคลือบอย่างเดียว สามารถกักเก็บน้ำมันได้ถึง 94 % ของปริมาณน้ำมันที่เข้าสู่ระบบ เช่นเดียวกันแต่พบ Surface Oil Content 0.3 % ของน้ำมันที่เข้าสู่ระบบ ส่วนการใช้ Gum Arabic ให้ปริมาณสารกักเก็บน้อยที่สุดคือ 88 % ของน้ำมันเข้าสู่ระบบ และ Surface Oil Content 0.08 % ของน้ำมันที่เข้าสู่ระบบ ซึ่งจากการศึกษาโครงสร้างกรดไขมันขนาดสั้นที่ผ่านเอนแคปซูเลชันโดยกระบวนการ Spray Drying ของ Teixeira, Andrade, Farina, and Rocha-leão (2004) โดยใช้ Fermented Whey ซึ่งประกอบไปด้วยกรดไขมันขนาดสั้น เป็นสารแกนกลางหรือสารสำคัญ และใช้ Maltodextrin และ Gum Arabic เป็นสารเคลือบ ทำแห้งด้วย BUCHI 190 Mini Spray Dryer โดยอัตราสารเข้าสู่กระบวนการ 17 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิลมที่เข้าสู่ระบบ 180 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมออกจากระบบ 90 องศาเซลเซียส พบว่าโครงสร้างที่มี Maltodextrin 5 % เป็นสารเคลือบให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ออกมาได้ดีที่สุดคือ 6.18 % ของสารละลายที่เข้าสู่ระบบ ซึ่งสารละลายที่เข้าสู่ระบบมี

ปริมาณของแข็งทั้งหมด 8.78 % ของสารละลาย นอกจากนี้ยังพบว่า ผิวของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเรียบ ไม่มีรอยแตก โดยมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 4.03 ไมโครเมตร และเมื่อใช้สารผสมระหว่าง Maltodextrin และ Gum Arabic จะให้โครงสร้างที่เล็กลง นอกจากการใช้สารเคลือบดังการศึกษาที่ได้กล่าวมาและ Calvo, Herna´ndez, Lozano, and Gonza´lez-Go´mez (2010) ได้ทำการศึกษาสารเคลือบที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันมะกอกบริสุทธิ์ โดยใช้สารผสมที่แตกต่างกัน จากการศึกษาพบว่า สารผสมระหว่าง Sodium Caseinate 5.88 %, Lactose 5.88 % และน้ำมันมะกอกบริสุทธิ์ 5.88 % ของปริมาณสารละลาย สามารถกักเก็บน้ำมันมะกอกได้ดีที่สุดที่ 52.98 % ของน้ำมันในผลิตภัณฑ์ รองลงมาคือ สารผสมระหว่าง Gelatin 2.18 % , Maltodextrin 4.72 % และน้ำมันมะกอกบริสุทธิ์ 1.81 % ของสารละลายที่เข้าสู่ระบบ สามารถกักเก็บน้ำมันมะกอกได้ 42.35 % ของน้ำมันในผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามการเลือกใช้สารเคลือบขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University