IR 31

ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้

เรื่องการบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์

(Antimicrobial Food Packaging)

สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

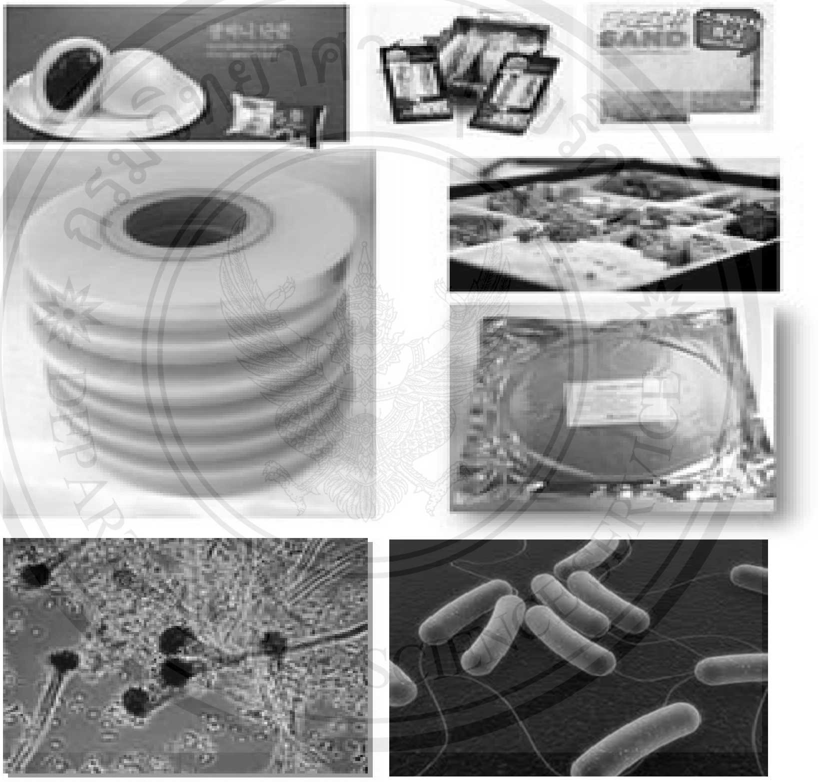
มีนาคม 2555

IR 31

ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้

เรื่องการบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์

(Antimicrobial Food Packaging)



สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มีนาคม 2555

คำนำ

ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ เรื่อง "การบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial food packaging)" ฉบับนี้ สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ ได้จัดทำขึ้นภายใต้โครงการพัฒนาศูนย์กลางบริการสารสนเทศเฉพาะทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในระดับแนวหน้าของประเทศ โครงการย่อยที่ 2 โครงการเพิ่มศักยภาพการเข้าถึงสารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในรูปแบบ Digital Library กิจกรรมย่อย 2.5 ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ (Information Repackaging) ในส่วนของสาระน่ารู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจากต่างประเทศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้นี้ให้ผู้ใช้ได้เข้าถึงสารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในรูปแบบที่เข้าใจได้ง่ายและสะดวกพร้อมใช้ เอกสารประมวลพร้อมใช้ฉบับนี้ให้ความรู้เกี่ยวกับความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับจุลินทรีย์ที่พบในอาหาร ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การเสื่อมเสียคุณภาพของอาหาร การพัฒนาการบรรจุอาหาร และความหมายของการบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์ เป็นต้น

คณะผู้จัดทำหวังว่า ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้ที่สนใจศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์ โดยเอกสารฉบับเต็มที่ใช้ในการเรียบเรียงประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ฉบับนี้ได้รวบรวม จัดเก็บ และให้บริการ ณ บริเวณห้องอ่านชั้น 2

DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE

ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มีนาคม 2555

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	1
คำสำคัญ	1
บทนำ	2
จุลินทรีย์ที่พบในอาหาร	2
ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	6
การเสื่อมเสียคุณภาพของอาหาร	9
การพัฒนาการบรรจุอาหาร	11
การบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์	12
สารต้านจุลินทรีย์	13
รูปแบบของการบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์	14
ข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการบรรจุอาหารแบบแอคทีฟ	19
บทสรุป	21
เอกสารอ้างอิง	22

กรมวิทยาศาสตร์บริการ
DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE

การบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์

(Antimicrobial food packaging)

บทคัดย่อ

การพัฒนาเทคโนโลยีการบรรจุที่มีคุณสมบัติต่อต้านจุลินทรีย์กำลังได้รับความสนใจอย่างมากในภาคอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากผู้ประกอบการเห็นว่าปัจจุบันผู้บริโภคหันมาให้ความสำคัญกับคุณภาพและความปลอดภัยของอาหารเพิ่มขึ้น เช่น ความต้องการอาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปต่ำ (Minimally processed food) ปราศจากวัตถุกันเสีย มีความสดใหม่ และสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงและความต้องการของผู้บริโภค จึงมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการบรรจุอย่างต่อเนื่องจนเกิดเป็นเทคโนโลยีการบรรจุรูปแบบใหม่ ได้แก่ การบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial food packaging) ซึ่งเป็นระบบการบรรจุที่สามารถทำลายหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย (Spoilage Microorganism) และจุลินทรีย์ก่อโรค (Pathogens) ที่ปนเปื้อนในอาหารได้ โดยนิยมนำมาใช้กับอาหารที่เสื่อมเสียง่ายจากจุลินทรีย์

คำสำคัญ : สารต้านจุลินทรีย์; การบรรจุอาหาร; วัสดุบรรจุภัณฑ์

Keywords : Antimicrobial agent; Food packaging; Packaging material

การบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์

(Antimicrobial food packaging)

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการแปรรูปอาหารมีความก้าวหน้ามากขึ้น ทำให้ผู้บริโภคสามารถเลือกซื้ออาหารสำเร็จรูปได้หลากหลาย โดยแนวโน้มความต้องการของผู้บริโภคจะนิยมอาหารที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับอาหารสดมากที่สุด หรือเป็นอาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปต่ำ (Minimally Processed Food))มีคุณค่าทางโภชนาการ สะดวกในการบริโภค ปลอดภัยต่อสุขภาพ (มานพ จั่นขุนทด เกียรติศักดิ์ นาบำรุง และ ณฐนนท์ ตราชู, 2554) ประกอบกับระบบการค้ายุคใหม่ที่มีความซับซ้อน เช่น ระบบศูนย์กลางกระจายสินค้า และการค้าระหว่างประเทศที่ขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องการอาหารที่มีอายุการเก็บรักษานานขึ้น ดังนั้น การพัฒนาเทคโนโลยีการบรรจุอาหารจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี และสอดคล้องกับความต้องการของตลาดและผู้บริโภค อีกทั้งต้องปฏิบัติตามกฎระเบียบ และข้อบังคับต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานในด้านความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

การบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial food packaging) จึงเป็นทางเลือกใหม่ที่อาจถือได้ว่าเป็นยุคต่อไปของการบรรจุอาหาร เนื่องจากเป็นรูปแบบหนึ่งของการบรรจุแบบแอคทีฟ (Active Packaging) ที่กำลังได้รับความสนใจและมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร เกิดการนำวัสดุบรรจุที่มีคุณสมบัติต่อต้านจุลินทรีย์มาใช้ในกระบวนการบรรจุอาหาร ซึ่งพบว่า สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บริเวณผิวหน้าอาหาร และควบคุมการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารที่เกิดจากการสัมผัสกับวัสดุบรรจุโดยตรง (Appendini, Paola., and Hotchkiss, Joseph H., 2012) อันเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร หรือทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ การบรรจุอาหารดังกล่าวฯ จึงนิยมนำมาใช้กับอาหารที่เสื่อมเสียง่ายจากจุลินทรีย์ เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารให้ยาวนานขึ้น ซึ่งนับเป็นนวัตกรรมที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค และการค้ายุคใหม่ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ พบว่าการวิจัยในปัจจุบันจะมุ่งเน้นในการใช้สารต้านจุลินทรีย์จากธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น ทั้งยังมีการใช้สารร่วมกัน เช่น สารต้านจุลินทรีย์จากธรรมชาติ วัตถุกันเสียชีวภาพ และวัสดุบรรจุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย (Suppakul, P., et al., 2003)

2. จุลินทรีย์ที่พบในอาหาร

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารจำแนกเป็น 2 ประเภท คือ จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย (Spoilage Microorganisms) และจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเป็นพิษ (Pathogenic Microorganisms หรือ Pathogens) พบว่า ชนิดและสายพันธุ์ของจุลินทรีย์จะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของอาหารและสภาพแวดล้อม จุลินทรีย์ที่พบมากในอาหาร แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 **แบคทีเรียที่พบมากในอาหาร** (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550)

Group Description	Genus
Gram-negative	*Campylobacter*
Spiral or curved rods	*Acetobacter*
Aerobic rods to cocci	*Alcaligenes*
	Alteromonas
	Brucella
	Halobacterium
	Halococcus
	Pseudomonas
Facultatively anaerobic rods	*Aeromonas*
	Enterobacter
	Erwinia
	Escherichia
	Flavobacterium
	Proteus
	Salmonella
	Serratia
	Shigella
	Vibrio
	Yersinia
Cocci and coccobacilli	*Acinetobacter*
	Moraxella
Gram-positive	
Cocci	*Leuconostoc*
	Micrococcus
	Pediococcus
	Staphylococcus
	Streptococcus

กรมวิทยาศาสตร์บริการ
DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE

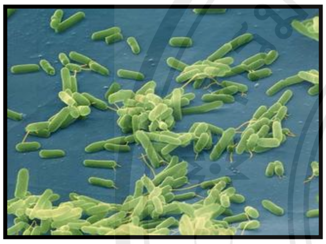
Group Description	Genus
Endospore-forming rods	*Bacillus*
	Clostridium
	Desulfotomaculum
Asporogenous rods	*Brochothrix (Microbacterium)*
	Corynebacterium
	Lactobacillus
	Mycobacterium

<u>ตารางที่ 2</u> ยีสต์และราที่พบมากในอาหาร

Moulds	Genus
Class	*Mucor*
Phycomycetes	*Phytophthora*
(subclass : Zagomycetes)	*Rhizopus*
	Thamnidium
Ascomycetes	*Byssochlamys*
	Claviceps
	Neurospora
	Sclerotinia
Fungi imperfecti	*Alternaria*
	Aspergillus
	Botrytis
	Cladosporium
	Fusarium
	Geotrichium
	Penicillium
	Sporendonema
	Sporotrichum

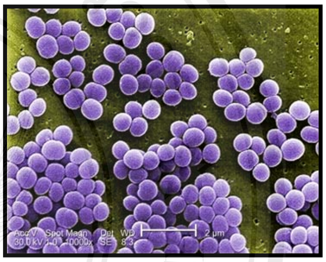
Yeast	Genus
Class	
Ascomycetes	Debaryomyces
	Pichia
	Sacharomyces
Fungi imperfecti	*Candida*
	Rhodotorula
	Torulopsis

Pseudomonas spp.



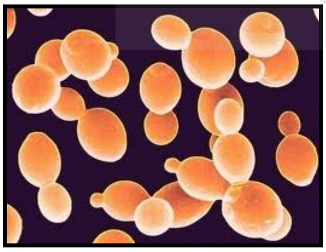
(ที่มา : http://klikphirtual.blogspot.com)

Staphylococcus spp.



(ที่มา : http://www.extension.org)

Saccharomyces spp.



(ที่มา : http://whiskyscience.blogspot.com)

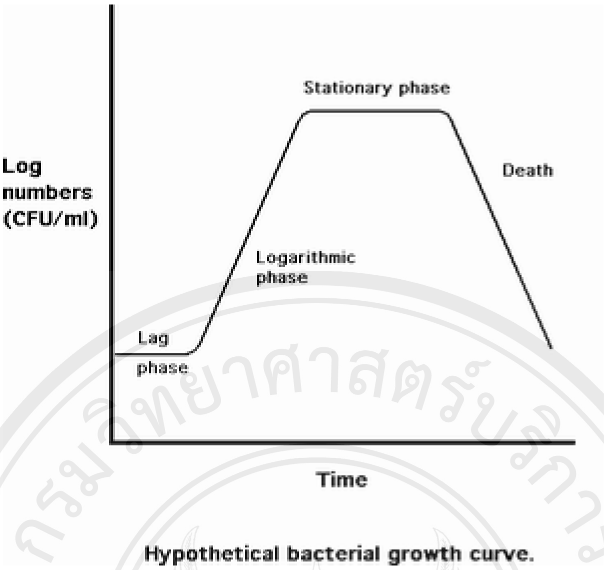
Rhizopus spp.

(ที่มา : http://www.cbu.edu/~seisen/Fungi.htm)

<u>ภาพที่ 1</u> แสดงจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียทั้ง แบคทีเรีย ยีสต์ และรา

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2554)

การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สามารถศึกษาได้จากกราฟการเจริญเติบโต (growth curve) โดยมีรูปแบบของการเจริญเติบโตแบ่งเป็นระยะต่างๆได้ 4 ระยะ ดังนี้



(ที่มา : www.agro.cmu.ac.th)

ภาพที่ 2 แสดงกราฟการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย 4 ระยะ

1. ระยะพัก (Lag phase) เป็นระยะแรกที่แบคทีเรีย เริ่มพบกับอาหารและสิ่งแวดล้อมใหม่ แบคทีเรียจะปรับตัวให้เข้ากับอาหารและสิ่งแวดล้อมนั้น มีการสร้างเอนไซม์ที่เหมาะสมที่จะใช้กับอาหารเลี้ยงเชื้อ มีการสร้างโปรตีน และส่วนประกอบอื่นๆ ที่สำคัญของเซลล์ ตอนระยะท้ายๆของระยะนี้ เซลล์อาจจะมีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเดิมเล็กน้อย และพร้อมที่จะแบ่งตัว ระยะพัก นี้ อาจจะยาวนานแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอาหารเลี้ยงเชื้อ ในการแปรรูปอาหารจะพยายามยืดช่วงนี้ไปให้นานที่สุด

2. ระยะแบ่งตัวทวีคูณ (Exponential หรือ log phase) เป็นระยะที่แบคทีเรียมีการเพิ่มจำนวนมากที่สุด มีอัตราการแบ่งตัวคงที่ ส่วนประกอบทางเคมีของเซลล์ และขบวนการต่างๆ ตลอดจนคุณสมบัติทางสรีรวิทยาเป็นแบบเดียวกัน

3. ระยะคงจำนวนเซลล์ (Stationary phase) เป็นระยะที่แบคทีเรียมีจำนวนคงที่ ซึ่งแสดงว่าแบคทีเรียไม่มีการเพิ่มจำนวนอีก หรืออัตราเกิดเท่ากับอัตราตาย การที่แบคทีเรียเจริญเติบโตแล้วเข้าสู่ระยะ Stationary นี้ เพราะอาหารเลี้ยงเชื้อใกล้จะหมดลง แบคทีเรียจึงเจริญช้าลง นอกจากนี้ของเสียที่แบคทีเรียสร้างขึ้นยังยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียด้วย

4. ระยะเซลล์ตาย (Death phase หรือ decline phase) เป็นระยะสุดท้าย แบคทีเรียที่มีอยู่จะตายลงมากกว่าแบคทีเรียที่เพิ่มจำนวนขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอาหารเลี้ยงเชื้อหมด มีสารพิษสะสมอยู่เป็นจำนวนมาก

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ, 2547) จุลินทรีย์จะสามารถเจริญเติบโตได้จะต้องอาศัยปัจจัย และสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้แก่

1. อุณหภูมิ (Temperature)

จุลินทรีย์จะมีช่วงอุณหภูมิในการเจริญเติบโตที่กว้างและแตกต่างกัน โดยจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะเจริญเติบโตได้ดีเฉพาะช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมเท่านั้น ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ตามช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโต (optimum temperature) ดังนี้

1.1 Psychrophiles เป็นแบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ และเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิประมาณ 12-15 °C เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ไม่ทนความร้อน ได้แก่ *Pseudomonas* , *Achromobacter* เป็นต้น

1.2 Mesophiles เป็นแบคทีเรียที่เจริญได้ที่อุณหภูมิปานกลางระหว่าง 25-40 °C อุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 37 °C พบว่าแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการเน่าเสียของอาหารและการเกิดโรค รวมทั้งการเกิดอาหารเป็นพิษส่วนใหญ่มักจะอยู่ในประเภทนี้ ได้แก่ *Staphyiococcus aureus* , *Salmonella* เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีอากาศค่อนข้างร้อนจึงเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้

1.3 Thermophiles แบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูงระหว่าง 45-60 °C โดยมีอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 50-55 °C แบคทีเรียกลุ่มนี้ได้แก่ *Bacillus stearothermophillus* , *Clostridium thermosaccharolyticum* ส่วนใหญ่จะสร้างสปอร์ที่ทนความร้อนได้ดี

2. สารอาหาร (Nutrient)

ในการจำแนกลักษณะการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ตามความสามารถในการสังเคราะห์แสง จะสามารถจำแนกจุลินทรีย์ได้เป็น 2 พวก คือ

2.1 Autotrophic microorganisms หมายถึง จุลินทรีย์ที่สามารถสังเคราะห์อาหารขึ้นเองได้ โดยใช้อนินทรียสารเป็นวัตถุดิบ พลังงานที่ใช้อาจมาจากแสงสว่างหรือพลังงานจากปฏิกิริยาเคมีในขบวนการ oxidation-reduction

2.2 Heterotrophic microorganisms หมายถึง จุลินทรีย์ที่ไม่สามารถสังเคราะห์อาหารขึ้นเองได้ ต้องใช้อาหารจากการสร้างของสิ่งมีชีวิตอื่นๆ โดยพลังงานที่ใช้อาจมาจากแสงสว่างหรือพลังงานจากปฏิกิริยาเคมีในขบวนการ oxidation-reduction

แหล่งสารอาหารที่สำคัญสำหรับจุลินทรีย์ ได้แก่ ไนโตรเจน คาร์บอน เกลือแร่ วิตามิน และปัจจัยการเจริญเติบโตต่างๆ

3. อากาศ (Oxygen)

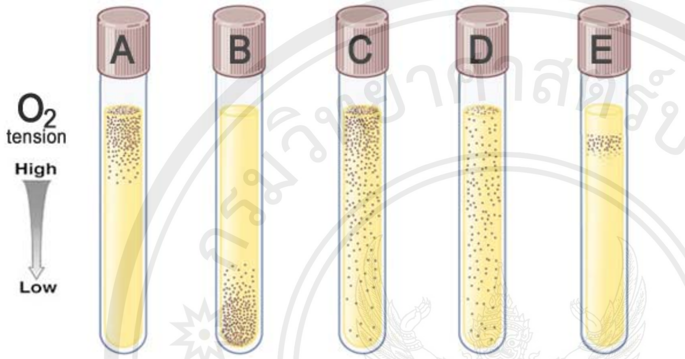
ปัจจุบันมีการจำแนกจุลินทรีย์ตามความต้องการออกซิเจนเป็น 4 กลุ่ม (ภาพที่ 3) ดังนี้

3.1 จุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน (Aerobic microorganisms หรือ Aerobes) เป็นจุลินทรีย์ที่มีความต้องการออกซิเจนเพื่อใช้สร้างพลังงาน จึงถือว่าเป็นพวกต้องการออกซิเจนอย่างแท้จริง (Obigate aerobes) ได้แก่ *Bacillus, Pseudomonas* เป็นต้น

3.2 จุลินทรีย์ที่เจริญในที่มีออกซิเจน หรือไม่มีก็ได้ (Facultative microorganisms) พวกนี้สามารถสร้างพลังงานได้จากกระบวนการหายใจหรือกระบวนการหมัก และไม่จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในการสังเคราะห์ต่างๆ ได้แก่ *Escherichia, Enterobacter, Proteus* เป็นต้น

3.3 จุลินทรีย์ที่เจริญในที่ที่มีออกซิเจนน้อย (Microaerophilic microorganisms) พวกนี้มีความต้องการออกซิเจนน้อยกว่า 0.2 บรรยากาศ อาจเนื่องจากออกซิเจนเป็นพิษต่อจุลินทรีย์เหล่านั้น ได้แก่ *Lactobacillus, Neisseria* เป็นต้น

3.4 จุลินทรีย์ที่เจริญในที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic microorganisms) เพราะออกซิเจนรวมกับน้ำเป็นไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ซึ่งเป็นพิษ และจุลินทรีย์พวกนี้ไม่มีเอนไซม์คาตาเลส ได้แก่ *Clostridium, Methanobacterium* เป็นต้น



A = Obligate Aerobe

B = Obligate Anaerobe

C = Facultative

D = Aerotolerant

E = Microaerophile

<u>ภาพที่ 3</u> แสดงความต้องการออกซิเจนของแบคทีเรียที่แตกต่างกัน

(ที่มา : http://deltabiology.com/2011/oxygen-requirements-of-bacteria)

4. ความเป็นกรด-เบส (Acidity-Alkalinity , pH)

จุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตในสภาพที่มีค่า pH สูงหรือต่ำ เนื่องจากกรดและด่างจะทำลายเอนไซม์และสารต่างๆ ภายในเซลล์ ช่วงค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ระหว่างค่า pH 6-8 โดยแบคทีเรียส่วนใหญ่มีค่า pH ที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 6.5-7.5 ส่วนราและยีสต์เจริญได้ดีที่ pH ต่ำ โดย pH ที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต คือ 5

5. แรงดันออสโมติก (Osmotic pressure)

แรงดันออสโมติก เกิดจากความเข้มข้นในสารละลายที่อยู่ภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ไม่เท่ากัน ซึ่งสารละลายที่มีแรงดันออสโมติกสูงกว่า เรียกว่า สารละลายไฮเพอร์ทอนิก (Hypertonic solution) ส่วนสารละลายที่มีแรงดันออสโมติกต่ำกว่าเรียกว่า สารละลายไฮโพทอนิก (Hypotonic solution) พบว่า จุลินทรีย์สามารถปรับตัวให้เหมาะสมกับสภาพแรงดันออสโมติกได้ เช่น พวกชอบแรงดันออสโมติก (Osmophile) สามารถปรับตัวให้เหมาะสมกับสภาพที่มีแรงดันออสโมติกสูงๆ พร้อมทั้งเจริญและเพิ่มจำนวน ได้แก่ ยีสต์ที่เจริญในที่มีน้ำตาลเข้มข้น เป็นต้น พวกชอบความเข้มข้นของเกลือสูงๆ (Halophile) เป็นพวกจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำทะเล ซึ่งปกติมีความเค็ม 3.5-4%

กรมวิทยาศาสตร์บริการ DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE

6. ความชื้น (Moisture)

ปริมาณน้ำในอาหารเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยมีค่าวอร์เตอร์แอกทิวิตี้ (water activity : aw) เป็นค่าที่แสดงปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ ซึ่งจะแตกต่างกันไป ดังนั้นการลดค่า aw ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การทำแห้ง ใส่เกลือ หรือเติมน้ำตาลในปริมาณสูง จะทำให้อาหารมีค่า aw ต่ำลง เมื่อน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้น้อยลง จุลินทรีย์ก็จะเจริญเติบโตได้ยาก ซึ่งอาหารแต่ละชนิดจะมีค่า aw แตกต่างกัน จึงเกิดการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ต่างชนิดกัน โดยแบคทีเรียเจริญได้ดีในอาหารที่มีค่าวอร์เตอร์แอกทิวิตี้สูงและไม่สามารถเจริญได้ถ้าอาหารมีค่า aw ต่ำกว่า 0.90 แต่อาจมีแบคทีเรียบางกลุ่มที่สามารถเจริญที่ aw ต่ำกว่านั้น เช่น แบคทีเรียที่ชอบเกลือ ซึ่งสามารถเจริญได้ที่ aw ประมาณ 0.75 ทำให้เกิดปัญหาการเน่าเสียในอาหารที่มีการเติมเกลือ เช่น ปลาเค็ม และเบคอน ส่วนราสามารถเจริญในอาหารที่มีค่า aw ต่ำได้ดีกว่าแบคทีเรีย จึงอาจเป็นปัญหาในอาหารแห้งและเครื่องเทศ ส่วนอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลสูงอาจเกิดการเน่าเสียจากยีสต์ ซึ่ง Osmophilic yeast สามารถเจริญได้ (กระทรวงสาธารณสุข, 2553)

7. รังสี (Radiation)

รังสีที่มีผลในการทำลายจุลินทรีย์มี 2 ชนิด คือ

1) รังสีที่เกิดการแตกตัวเป็นไอออน (Ionizing radiation) เป็นรังสีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของไอออน ได้แก่ รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา รังสีนี้สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ แต่ไม่นิยมใช้ เนื่องจากค่าใช้จ่ายสูง

2) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสูง ได้แก่ รังสีอัลตราไวโอเลต (UV)

ผลของการฉายรังสี ทำให้จุลินทรีย์ตาย และทำให้จุลินทรีย์ที่รอดตายเกิดการผ่าเหล่า (mutation) มีผลทำให้ได้เซลล์ที่มีลักษณะแตกต่างจากพันธุ์เดิม

8. ความกดดันเนื่องจากน้ำ (Hydrostatic pressure)

แบคทีเรียจากทะเลจะทนความกดดันได้ดีกว่าพวกที่อยู่บนบก หรืออยู่ในน้ำจืด ความกดดันอาจมีผลทำให้รูปร่างของแบคทีเรียเปลี่ยนไป เชื้อบางชนิดจะสูญเสียแฟลกเจลลา และบางชนิดอาจเจริญอยู่ได้แต่ไม่สามารถแบ่งตัวต่อไป

4. การเสื่อมเสียคุณภาพของอาหาร

การเสื่อมเสียของอาหาร หมายถึง การที่ผลิตภัณฑ์อาหารนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งไม่เหมาะสมที่จะนำมาบริโภค การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัส (กลิ่น สี รส เนื้อสัมผัส) คุณภาพทางจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของอาหาร เช่น การเกิดกลิ่นรสผิดปกติ การเน่าบูด การเกิดสารพิษ เป็นต้น และคุณภาพทางโภชนาการ เช่น การสูญเสียวิตามิน โปรตีนถูกทำลายหรือเสื่อมคุณภาพ (งามทิพย์ ภู่วโรดม , 2550)

DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE

สาเหตุการเสื่อมเสียของอาหาร (บุษกร อุตรภิชาติ, 2552)

การเสื่อมเสียของอาหารมีด้วยกัน 3 แบบ ได้แก่ การเสื่อมเสียทางกายภาพ การเสื่อมเสียทางเคมี และการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์

1) การเสื่อมเสียทางกายภาพ เป็นการเสื่อมเสียเนื่องจากแรงทางกายภาพ ที่มีสาเหตุมาจากแรงกล (Mechanical damage) เช่น แรงกระแทก แรงอัด แรงเจาะ ระหว่างการเก็บเกี่ยว การขนส่ง การแปรรูป และการเก็บรักษา การงอกของพืชหัว การกัดกินของแมลง ซึ่งการเสื่อมเสียทางกายภาพเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียทางเคมีและทางจุลินทรีย์

(ที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/vocab/wordcap/food%20spoilage)

ภาพที่ 4 แสดงลักษณะการเสื่อมเสียทางกายภาพของอาหาร

2) การเสื่อมเสียทางเคมี เป็นการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมี ได้แก่ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในไขมัน (Lipid Oxidation) ทำให้ไขมันมีกลิ่นหืน การเกิดปฏิกิริยาบราวนิ่ง (Browning reaction) ทำให้ผักผลไม้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล การย่อยสลายตัวเองโดยเอนไซม์ที่อยู่ในอาหารนั้น และความกรอบของผักที่ลดลง เนื่องจากมีเอนไซม์เพกทิเนสย่อยสลายเพกทินซึ่งเป็นโครงสร้างที่ทำให้ผักคงความกรอบ เป็นต้น

3) การเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ เป็นการเสื่อมเสียที่เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในอาหารได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์ และรา แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปจนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์นี้อาจเป็นอันตรายต่อการบริโภค หากมีเกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (Pathogen) การเสื่อมเสียดังกล่าวมีหลายลักษณะ ได้แก่ การเปลี่ยนสี มีกลิ่นรสผิดปกติ เนื้อสัมผัสเปลี่ยนไป มีการสร้างเมือก มีแก๊สสะสมทำให้อาหารมีฟอง หรืออาหารมีความขุ่นมากขึ้น เป็นต้น

(ที่มา : http://kentsimmons.uwinnipeg.ca/16cm05/1116/16fungi.htm)

(ที่มา : http://www.thaihealth.or.th)

ภาพที่ 5 แสดงตัวอย่างอาหารที่มีการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ทำให้อาหารเน่าเสียภายหลังจากการเติบโตในอาหาร โดยระหว่างการเติบโตนั้นจุลินทรีย์จะสร้างเอนไซม์ออกมาย่อยสลายอาหาร ซึ่งอาจเป็นเอนไซม์ชนิดที่สร้างภายในเซลล์แล้วปล่อยออกนอกเซลล์ (Extracellular enzymes) หรืออาจเป็นเอนไซม์ชนิดที่สร้างภายในเซลล์แล้วเก็บภายในเซลล์ (Intracellular enzymes) โดยจะปล่อยออกนอกเซลล์ เมื่อเซลล์แตก ผลจากการย่อยสลายอาหารทำให้จุลินทรีย์เติบโตเพิ่มจำนวนในอาหารพร้อมๆ กับมีการปลดปล่อยสารบางชนิดออกมา ซึ่งสารที่ขับออกมานั้นบางชนิดมีประโยชน์ต่อมนุษย์ จึงทำให้เกิดผลิตภัณฑ์อาหารหมักหลายชนิด ส่วนสารบางชนิดที่จุลินทรีย์ขับออกมาภายหลังการเติบโตแล้วก่อโทษ เช่น การทำให้เกิดเมือกในอาหาร

5. การพัฒนาการบรรจุอาหาร (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550)

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญกับสินค้า และผลิตภัณฑ์อาหารมากขึ้น อาทิ รสชาติอาหาร คุณค่าทางโภชนาการ และความปลอดภัยในการบริโภค ดังนั้น การศึกษาและวิจัยเพื่อพัฒนาการบรรจุอาหารจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับผู้ประกอบการด้านอุตสาหกรรมอาหาร และจำเป็นต้องทำอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองพฤติกรรมการบริโภคของมนุษย์ และการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีที่ทันสมัย

สาเหตุสำคัญที่ต้องมีการพัฒนาการบรรจุอาหาร ได้แก่

1. ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการแปรรูปและถนอมอาหาร ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปอาหารและถนอมอาหารมากขึ้น ทำให้ต้องมีการบรรจุและเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่เหมาะสม ตัวอย่าง เช่น กระบวนการแปรรูปอาหารแบบ “Sous Vide” หรือ “Cuisson Sous Vide” อาหารบรรจุภายใต้สุญญากาศในถุงพลาสติกปิดสนิทก่อนนำไปทำให้สุกด้วยวิธีปกติของอาหารชนิดนั้น แต่จะใช้อุณหภูมิและเวลาน้อยกว่าการทำสุกในสภาพบรรยากาศปกติ ทำให้สามารถรักษาคุณภาพของอาหารได้ดีกว่า และการที่อาหารสุกในภาชนะปิดสนิทจะช่วยลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ภายหลังการแปรรูปได้

2. พฤติกรรมของผู้บริโภค ในปัจจุบันผู้บริโภคจะให้ความสนใจต่อคุณภาพ และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารที่บริโภค แนวโน้มความต้องการของผู้บริโภคจะนิยมอาหารที่มีคุณภาพใกล้เคียงอาหารสดมากที่สุด มีการแปรรูปน้อยที่สุด (Minimal Process) และให้ความสะดวกในการจัดหา การอุ่น การปรุงสุก และการเก็บรักษา ทำให้แนวโน้มการบรรจุโดยใช้สภาพปรับบรรยากาศ และการบรรจุแบบแอคตีฟ (Active Packaging) มีสูงขึ้น นอกจากนี้ ผู้บริโภคต้องการอาหารสำเร็จพร้อมบริโภคที่สามารถอุ่นได้ง่ายในตู้อบไมโครเวฟ ทำให้ผู้ผลิตอาหารในปัจจุบันต้องพัฒนาภาชนะบรรจุให้สามารถทนความร้อนได้สูง สามารใช้กับไมโครเวฟได้ และหากสามารถใช้ภาชนะนั้นเป็นภาชนะในการบริโภคได้ก็จะยิ่งเพิ่มความน่าสนใจให้กับผลิตภัณฑ์

3. ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีวัสดุ การค้นพบวัสดุชนิดใหม่ๆ กระบวนการผลิตหรือแปรรูปที่มีสมรรถนะสูงขึ้น ทำให้ได้วัสดุบรรจุและภาชนะบรรจุที่มีสมบัติดีขึ้นและให้ความคุ้มครองกับผลิตภัณฑ์อาหารมากขึ้น ผู้ผลิตอาหารจึงต้องปรับเปลี่ยนภาชนะบรรจุที่ใช้ให้ทันสมัยต่อความก้าวหน้าที่เกิดขึ้น

4. ระบบการขนส่งและจัดจำหน่ายสมัยใหม่ ค่าใช้จ่ายในการขนส่งและกระจายสินค้าจากผู้ผลิตไปสู่ผู้บริโภค เป็นต้นทุนสำคัญของอุตสาหกรรมจึงต้องมีการปรับปรุงนำเทคโนโลยีใหม่ๆ มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และลดต้นทุน ปัจจุบันอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีการนำระบบโลจิสติก (Logistic System) เข้ามาใช้ทำให้ต้องมีการปรับปรุงภาชนะบรรจุให้สอดคล้อง ส่วนระบบการจัดจำหน่ายปัจจุบันจะเน้นระบบบริการตนเองมากขึ้น ภาชนะบรรจุจึงต้องออกแบบให้เด่นสะดุดตา สามารถหยิบถือได้ง่าย และสามารถใช้พื้นที่ในการวางจำหน่ายอย่างมีประสิทธิภาพ

5. ลดต้นทุนการผลิต การลดต้นทุนการผลิต โดยการเปลี่ยนวัสดุบรรจุ เปลี่ยนกระบวนการบรรจุ หรือเปลี่ยนแปลงมิติ ขนาด หรือรูปร่างของภาชนะบรรจุ เพื่อใช้วัตถุดิบอย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ตัวอย่างเช่น การใช้ห่วงพลาสติกรัดขวด 4 ขวด แทนการใช้กล่องกระดาษแข็ง การใช้ถาดกระดาษลูกฟูกและฟิล์มหดเพื่อขนส่งผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

6. ปฏิบัติตามกฎหมาย ประเทศต่างๆ โดยเฉพาะประเทศอุตสาหกรรม จะมีกฎหมาย ระเบียบ และข้อบังคับ ทางการบรรจุที่ผู้ผลิตสินค้านำเข้าไปจำหน่ายทุกคนต้องปฏิบัติตาม กฎหมาย ระเบียบ และข้อบังคับนี้จะมีการปรับปรุงแก้ไขกันเสมอ ทำให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอาหารต้องติดตามข้อมูลตลอดเวลา เพื่อนำมาพัฒนาการบรรจุให้ถูกต้อง

6. การบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial food packaging)

การบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์ หมายถึง ระบบการบรรจุที่สามารถทำลายหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย (Spoilage Microorganism) และจุลินทรีย์ก่อโรค (Pathogens) ที่ปนเปื้อนในอาหาร เพื่อช่วยรักษาความปลอดภัย รวมทั้งถนอมรักษาคุณภาพ และยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารด้วย (Suppakul, P., et al., 2003) เป็นระบบการบรรจุที่นิยมใช้กับอาหารที่เสื่อมเสียง่ายจากจุลินทรีย์

การบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์เป็นรูปแบบหนึ่งของการบรรจุอาหารแบบแอคทีฟ (Active packaging) ที่สามารถพัฒนาต่อไปได้ในเชิงธุรกิจ วัสดุบรรจุแบบต่อต้านจุลินทรีย์สามารถลดอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ยืดระยะพัก (Lag phase) ของการเจริญของจุลินทรีย์ (Han, Jung H., 2000) และประกันความปลอดภัยของอาหาร วัสดุบรรจุนี้ช่วยรักษาความเสถียรของอาหารพาสเจอร์ไรซ์โดยปราศจากการปนเปื้อนหลังการบรรจุ หรือช่วยลดการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการสเตอริไลเซชั่น (ภาณุวัฒน์ สรรพกุล, 2547)

หลักการของการบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์ คือ การใช้สารต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial agent) ร่วมกับระบบการบรรจุ ซึ่งอาจใช้ในรูปซองบรรจุสารต้านจุลินทรีย์ การแต่งเติมสารต้านจุลินทรีย์ในวัสดุบรรจุ หรือการใช้พอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติต่อต้านจุลินทรีย์ การนำสารต้านจุลินทรีย์มาใช้ในการบรรจุอาหารจะเป็นรูปแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสารต้านจุลินทรีย์ สมบัติและลักษณะเฉพาะของอาหาร และชนิดของจุลินทรีย์ที่ก่อปัญหา (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550)

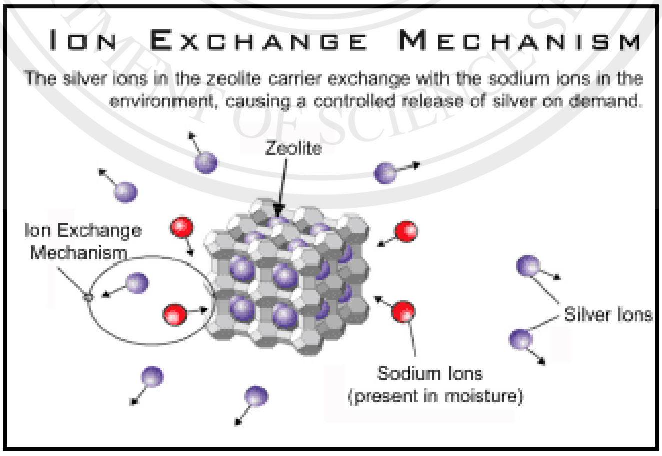
7. สารต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial agent)

สารต้านจุลินทรีย์ หมายถึง สารเคมีที่เติมลงในอาหารเพื่อป้องกัน หรือชะลอการเสื่อมเสียของอาหารอันเนื่องมาจากจุลินทรีย์ ซึ่งอาจจะเป็นรา ยีสต์ หรือแบคทีเรีย โดยมีผลทำให้สมบัติของผนังเซลล์ของจุลินทรีย์เปลี่ยนไป ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และมีผลต่อกลไกทางพันธุกรรม ทำให้จุลินทรีย์หยุดชะงักการเจริญเติบโตและตายในที่สุด (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, 2554)

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของสารต้านจุลินทรีย์

- ความเข้มข้นของสารต้านจุลินทรีย์
- ชนิด จำนวน อายุ และประวัติของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหาร
- อุณหภูมิของอาหาร
- สมบัติทางเคมี และกายภาพของอาหาร เช่น ส่วนประกอบของอาหาร ความเป็นกรดด่างของอาหาร ความชื้น ความตึงผิว และลักษณะการเป็นคอลลอยด์ของอาหาร เป็นต้น

ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยสารต้านจุลินทรีย์สำหรับใช้ในการบรรจุอาหารกันมากขึ้น เพื่อหาสารที่เหมาะสมกับการใช้งานและมีประสิทธิภาพสูงเพียงพอในการประกันความปลอดภัยของอาหารตลอดอายุการเก็บ สารที่ใช้มีทั้งวัตถุกันเสียที่ใช้กับอาหาร สารสกัดจากพืชโดยเฉพาะพืชสมุนไพรและพืชที่มีสรรพคุณเชิงยา เอนไซม์ แบคเทอริโอซิน (Bacteriocins) สารฆ่ารา (Fangicides) ไอออนของโลหะ พอลิเมอร์ และก๊าซบางชนิด กลไกการต้านจุลินทรีย์ของสารแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน การใช้สารต้านจุลินทรีย์หลายชนิดร่วมกันมักจะให้ผลดีกว่าการใช้สารชนิดเดียว ทั้งนี้ต้องคัดเลือกสารให้สามารถทำงานเสริมกันได้ด้วย (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550)



<u>ภาพที่</u> 6 แสดงโครงสร้างของสารต้านจุลินทรีย์ Ag-zeolite

(ที่มา : http://www.breykrause.com/Antimicrobial_Applications_s/122.htm)

สารต้านจุลินทรีย์ที่ใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ กรดเบนโซอิก และเบนโซเอต (benzoic acid และ benzoate) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และเกลือซัลไฟท์ (sulfurdioxide และ sulfite) สารประกอบไนไตรต์ และไนเตรต (nitrite และ nitrate) กรดซอร์บิก และเกลือซอร์เบต (sorbic acid และ sorbate) เป็นต้น นอกจากนี้มีการนำสารต้านจุลินทรีย์จากธรรมชาติมาใช้เคลือบวัสดุบรรจุเพื่อยับยั้งจุลินทรีย์ ส่วนใหญ่สกัดมาจากแป้ง เซลลูโลส ไคโตซาน คาราจีแนน และแอลคาร์นิทีน (Kuorwel, Kuorwel K., et al., 2011) อีกทั้งมีการผลิตฟิล์มหรือสารเคลือบกินได้จากกาแลคโตแมนแนส (Galactomannans) ซึ่งเป็นน้ำตาลที่พบในเมล็ดพืชใบเลี้ยงคู่ (Cerqueira, M.A., et al., 2011)

8. รูปแบบของการบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์ (ภาณุวัฒน์ สรรพกุล, 2547)

1. ซอง หรือ แผ่นปลดปล่อยสารระเหย (Volatile releasing sachets or pads)

รูปแบบนี้ที่ประสบความสำเร็จในการประยุกต์ใช้เชิงการค้า คือ ซองปลดปล่อยไอเอทานอล ซึ่งประกอบด้วยเอทานอลที่ถูกดูดซับอยู่ในวัสดุตัวพา และบรรจุในซองพอลิเมอร์ เอทานอลจะซึมผ่านชั้นเลือกผ่าน และผ่านซองออกมาสู่บรรยากาศที่ล้อมรอบผลิตภัณฑ์ซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุ ตัวอย่างทางการค้า ได้แก่ เอทิแคป หรือแอนตี้โมลไมด์ โออิเทค อีทีแพค และ เฟร็ทเทค ระบบนี้จะถูกใช้ในการยืดอายุการเก็บโดยปราศจากการขึ้นราของผลิตภัณฑ์ขนมอบ และผลิตภัณฑ์ปลาแห้ง

ภาพที่ 4 แสดงแผ่นซองแอนตี้โมลไมด์ในผลิตภัณฑ์ขนม

(ที่มา : http://www.freund.co.jp/english/chemical/preservation/antimoldmild.html)

2. การพ่นก๊าซ หรือ แผ่นปลดปล่อยก๊าซ (Gas flushings or emitting pads)

การพ่นก๊าซ หรือการปลดปล่อยก๊าซจะควบคุมการเจริญของรา ราที่ก่อให้เกิดอาหารเน่าเสีย ได้แก่ โบทริทิส ซิเนอเรีย เพนนิซิเลียม แอสเปอจิลัส และไรโซปัส ซึ่งพบได้ทั่วไปในผลไม้ตระกูลส้มและเบอรี่ ในการยืดอายุการเก็บของผลไม้เหล่านี้ สารกำจัดรา หรือสารต่อต้านราได้มีการนำมาใช้ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นวัตถุที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมการเสื่อมเสียขององ่น และได้ผลดีกว่าฉายรังสีแกมมา และการใช้ร่วมกันระหว่างความร้อน และฉายรังสี

3. สารเคลือบ หรือ ฟิล์มเคลือบต่อต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial coatings or coated films)

ในระยะแรกๆ ของการพัฒนาการบรรจุแบบต่อต้านจุลินทรีย์ สารกำจัดราถูกนำมาเติมลงในไข เพื่อใช้เคลือบผิวผลไม้ ผัก และเนยแข็ง สารกำจัดราซึ่งได้มีการศึกษาประสิทธิผลการยับยั้งราบริเวณพื้นผิวอาหาร ได้แก่ เบนโนมิล อิมาซาลิล ไทอะเบนดาโซล และ อิโพรไดออน (โรพรอล) สารต้านจุลินทรีย์ได้ถูกนำมาใช้เติมในสารเคลือบ เพื่อชะลอการเจริญของยีสต์ รา และแบคทีเรีย ระหว่างการเก็บรักษา และการกระจายสินค้า สารต้านจุลินทรีย์โดยทั่วไปที่ใช้ ได้แก่ กรดอินทรีย์ และเกลือของกรดอินทรีย์ สารต้านจุลินทรีย์ซึ่งไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิซึ่งใช้ในการผลิตฟิล์มพลาสติก จะถูกนำมาเคลือบบนแผ่นฟิล์ม ตัวอย่างเช่น ไนซิน/เซลลูโลสอีเทอร์เคลือบบนแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีน เซลลูโลสอีเทอร์ถูกนำมาใช้เป็นสารตัวพาสำหรับการเคลือบ ฟิล์มเคลือบนี้สามารถยับยั้ง *Staphylococcus aureus* และ *Listeria monocytogenes* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(ที่มา : http://timothym.wordpress.com)

(ที่มา : http://health.kapook.com)

ภาพที่ 5 แสดงการเคลือบผิวผลไม้เพื่อช่วยยับยั้งเชื้อรา

4. ฟิล์มดูดซับต่อต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial adsorbed films)

การดูดซับสารต้านจุลินทรีย์ในฟิล์มพลาสติกเป็นอีกทางเลือกหนึ่งนอกจากเทคนิคการเคลือบ เพื่อที่จะช่วยให้สารต้านจุลินทรีย์ที่ไวต่อความร้อนสามารถใช้ในการเติมลงไปในฟิล์ม ตัวอย่างเช่น ไนซินดูดซับในพอลิเอทิลีน (nisin adsorbed PE) เอทิลีนไวนิลอะซิเทต (ethylene vinylacetate) พอลิโพรพิลีน (polypropylene) พอลิเอไมด์ (polyamild) หรือ พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (polyethylene terephthalate) เพดิโอซินดูดซับถุงเซลลูโลส และถุงกันการซึมผ่าน

5. ฟิล์มเกาะติดต่อต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial immobilized films)

นอกจากการแพร่ และการดูดซับ ระบบการบรรจุแบบต่อต้านจุลินทรีย์ซึ่งมีการใช้สารต้านจุลินทรีย์ที่เกาะติดโดยอาศัยพันธะโควาเลนท์ หรือพันธะไอออนิกสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ดังนั้นการเกาะติดจะต้องอาศัยพลังงานฟังก์ชันนอลกรุ๊ปทั้งของสารต้านจุลินทรีย์และพอลิเมอร์ ตัวอย่างของสารต้านจุลินทรีย์ซึ่งมีฟังก์ชันนอลกรุ๊ป ได้แก่ เปปไทด์ เอนไซม์ พอลิแอมีน และกรดอินทรีย์ ตัวอย่างพอลิเมอร์ที่ใช้ในการบรรจุอาหารซึ่งมีฟังก์ชันนอลกรุ๊ป ได้แก่ อีวีเอ เอทิลีน เมทิลอะคริเลท เอทิลีนอะคริลิคแอซิด เอทิลีนเมทาคริลิคแอซิด ไอโอนอเมอร์ ไนลอน เอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์ พีอี โคพอลิเมอร์ และพอลิสไตรีน นอกจากฟังก์ชันนอลกรุ๊ป การเกาะติดอาจจะต้องมีโมเลกุลตัวเชื่อมประสาน (spacer) ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมพื้นผิวของพอลิเมอร์กับสารต้านจุลินทรีย์ชนิดชีวสมมันต์ ตัวเชื่อมประสานนี้ช่วยผ่อนคลายอิสระการเคลื่อนที่ที่พอเพียง ส่งผลให้

สารต้านจุลินทรีย์สามารถสัมผัสกับจุลินทรีย์บนผิวอาหาร ตัวเชื่อมประสานซึ่งมีศักยภาพในการใช้สำหรับการบรรจุแบบต่อต้านจุลินทรีย์ ได้แก่ พอลิเอทิลีนไกลคอล เอทิลีนไดแอมีน พอลิเอทิลีนอิมีน และเด็กซ์แทรน

6. ฟิล์มแต่งเติมต่อต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial incorporated films)

การเติมสารต้านจุลินทรีย์ลงไปในฟิล์มพลาสติกโดยตรงนั้น เป็นวิธีที่สะดวกที่จะได้สมบัติต่อต้านจุลินทรีย์ของฟิล์ม สารต้านจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่เติมลงไปในวัสดุบรรจุโดยเฉพาะฟิล์ม จะมีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 0.1-5 โดยน้ำหนัก สารต้านจุลินทรีย์อาจเติมลงไปในฟิล์มพอลิเมอร์ในช่วงของการหลอม หรือโดยการใช้ตัวทำละลายกระบวนการผลิตพอลิเมอร์เชิงความร้อน เช่น การอัดรีด และการฉีดขึ้นรูป อาจนำมาใช้ได้กับสารต้านจุลินทรีย์ที่มีความเสถียรเชิงความร้อน ตัวอย่างเช่น ซิลเวอร์ซีโอไลท์สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงมาก

สำหรับสารต้านจุลินทรีย์ที่ไวต่อความร้อน เช่น เอนไซม์ และสารระเหย การใช้ตัวทำละลายอาจเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการเติมสารดังกล่าวลงในวัสดุพอลิเมอร์ ตัวอย่างเช่น ไรโซไซม์ถูกเติมลงในฟิล์มเซลลูโลสอีเทอร์ โดยใช้ตัวทำละลายเพื่อป้องกันการเสียสภาพโดยความร้อนของเอนไซม์

วัสดุบรรจุต่อต้านจุลินทรีย์จะต้องสัมผัสกับพื้นผิวของอาหาร ถ้าสารต้านจุลินทรีย์นั้นไม่ใช่สารระเหย สารต้านจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถแพร่ผ่านไปสู่พื้นผิวอาหาร ดังนั้นลักษณะของพื้นผิว และจลนศาสตร์การแพร่จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง นอกจากนี้การใช้ฟิล์มหลายชั้นเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาด้วย เพื่อที่จะสามารถเข้าถึงการปลดปล่อยโดยควบคุมอย่างเหมาะสมไปสู่พื้นผิวอาหาร ชั้นในของฟิล์มจะควบคุมอัตราการแพร่ของสารออกฤทธิ์ ในขณะที่ชั้นเมทริกจะมีสารออกฤทธิ์อยู่ ลำชั้นกันการซึมผ่าน จะป้องกันการเคลื่อนย้ายสารออกไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกภาชนะบรรจุ

7. สารเคลือบ หรือฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์โดยกำเนิด (Inherently antimicrobial coatings or films)

พอลิเมอร์บางชนิดแสดงคุณสมบัติต่อต้านจุลินทรีย์โดยกำเนิด และนำมาประยุกต์ใช้ในสารเคลือบ และฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีประจุบวก เช่น พอลิแอลไลซีน (poly-L-lysine)และไคโตซาน (chitosan) จะก่อให้เกิดการจับตัวของเซลล์ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการรั่วของสารสำคัญภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ เนื่องจากประจุบวกของแอมีนจะทำปฏิกิริยาสัมพันธ์กับประจุลบของเยื่อหุ้มเซลล์ นอกจากนี้พอลิเมอร์ที่มีประจุบวก เช่น ไคโตซาน ยังสามารถใช้ร่วมกับสารต้านจุลินทรีย์อื่นๆ เช่น กรดอินทรีย์ และสารสกัดจากพืช เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการยับยั้งได้สูงสุดต่อการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น การใช้ไคโตซานร่วมกับน้ำมันไทม์ เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเห็ดหอม (Shiitake Mushroom) หลังการเก็บเกี่ยว (Jiang, Tianjia, Feng, Lifang, and Zheng, Xiaolin, 2012)

8. ฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ดัดแปรพื้นผิว (Surface modified antimicrobial films)

การดัดแปรพื้นผิวของพอลิเมอร์เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถก่อให้เกิดคุณสมบัติต้านจุลินทรีย์ของฟิล์ม เช่น การดัดแปรอิเล็กตรอนของพอลิเมอร์ ก่อให้เกิดเอมีนกรุ๊ปเกิดขึ้นที่พื้นผิวฟิล์ม ซึ่งมีคุณสมบัติต้านจุลินทรีย์ เมื่อเร็วๆนี้ ได้มีการพัฒนาฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์โดยใช้ยูวีเอ็กไซเมอร์เลเซอร์ ฟิล์มไนลอน 6,6 ซึ่งผ่านการฉายรังสี โดยใช้เลเซอร์ที่คลื่นความถี่ 193 นาโนเมตร พบว่าสามารถแสดงคุณสมบัติต่อต้านจุลินทรีย์ เนื่องจากร้อยละ 10 ของเอไมด์กรุ๊ปถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นเอมีนซึ่งเกาะกับสายโซ่พอลิเมอร์

การบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์จึงถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด ดังตารางที่ 3

<u>ตารางที่</u> 3 แสดงการนำระบบการบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์มาใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ

Antimicrobial agent	Packaging material	Food	Reference
Organic acid			
Potassium sorbate	LDPF	Cheese	Han (1996)
	LDPF	Culture media	Han and Floros (1997)
	MC/palmitic acid	Culture media	Rico-Pena and Torres (1991)
	MC/HPMC/fatty acid	Culture media	Vojdani and Torres (1990)
	MC/chitosan	Culture media	Chen et al. (1996)
	Starch/glycerol	Chicken breast	Baron and Sumner (1993)
Calcium sorbate	CMC/paper	Bread	Ghosh et al. (1973, 1977)
Propionic acid	Chitosan	Water	Ouattara et al. (1999)
Acetic acid	Chitosan	Water	Ouattara et al. (1999)
Benzoic acid	PE-co-MA	Culture media	Weng et al. (1997)
Sodium benzoate	MC/chitosan	Culture media	Chen et al. (1996)
Sorbic acid anhydride	PE	Culture media	Weng and Chen (1997) , Weng and Hotchkiss (1993)
Benzoic acid anhydride	PE	Fish fillet	Huang et al. (1997)
Fungicide/bacteriocin			
Benomyl	Ionomer	Culture media	Halek and Garg (1989)
Imazalil	LDPF	Bell paper	Miller et al. (1984)
	LDPF	Cheese	Weng and Hotchkiss (1992)
Nisin (peptide)	Silicon coating	Culture media	Daeschel et al. (1992)
	SPI, corn zein films	Culture media	Padgett et al. (1998)
Peptide/protein/enzyme			
Lysozyme	PVOH, nylon, Cellulose acetate	Culture media	Appendini and Hotchkiss (1996)
	SPI film, corn zein films	Culture media	Padgett et al. (1998)
Glucose oxidase	Alginate	Fish	Field et al. (1986)
Alcohol oxidase	-	-	Brody and Budny (1995)

กรมวิทยาศาสตร์บริการ
DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE

Antimicrobial agent	Packaging material	Food	Reference
Alcohol/thiol			
Ethanol	Silica gel sachet	Culture media	Shapero et al. (1978)
	Silicon oxide sachet (Ethicap^{TM})	Bakery	Smith et al. (1987)
Hinokithiol	Cyclodextrin/plastic (Seiwa ^{TM})	-	Gontard (1997)
Oxygen absorber/ antioxidant			
Reduced iron complex	Sachet (Ageless^{TM})	Bread	Smith et al. (1986)
BHT	HDPE	Breakfast cereal	Hoojjat et al. (1987)
GAS			
CO_2	Calcium hydroxide Sachet	Coffee	Labuza (1990)
	-	Fruit/vegetable	Sachrow (1997)
SO_2	Sodium metabisulfite	Grape	Gontard (1997)
Other			
UV irradiation	Nylons	Culture media	Paik and Kelley (1995), Hagelstein et al. (1995)
Silver zeolite	LDPE	Culture media	Ishitani (1995)
Grapefruit seed extrac	LDPE	Lettuce, soybean sprouts	Lee et al. (1998)

LDPE = low-density polyethylene; MC = methyl cellulose; HPMC = hydroxypropyl MC;
CMC = carboxyl MC; PE = polyethylene; MA = methacrylic acid; SPI = soy protein isolate;
PVOH = butylated hydroxy toluene; HDPE = high-density PE
(ที่มา : Han, Jung H., 2000)

กรมวิทยาศาสตร์บริการ DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE

9. ข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการบรรจุอาหารแบบแอคทีฟ

การบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์เป็นหนึ่งในระบบของการบรรจุอาหารแบบแอคทีฟ (Active packaging) ที่เป็นวิทยาการค่อนข้างใหม่ ข้อบังคับทางกฎหมายที่มีอยู่ในปัจจุบันมักครอบคลุมไม่เพียงพอหรือไม่สอดคล้องกับความก้าวหน้าของเทคโนโลยี ในปี 1999-2001 ศูนย์วิจัย TNO Nutrition and Food Research (The Netherlands) ร่วมกับสถาบันการศึกษา หน่วยงาน และภาคอุตสาหกรรมในกลุ่มสหภาพยุโรป รวม 12 แห่ง ได้ร่วมกันดำเนินโครงการ Evaluating Safety, Effectiveness, Economic-environmental Impact and Consumer Acceptance oh Active and Intelligent Packaging (ACTIPAK-FAIR CT98-4170) เป็นการศึกษาเทคโนโลยีการบรรจุอาหารแบบแอคทีฟและอิทเทลลิเจนท์ที่มีในปัจจุบัน รวมถึงการยอมรับของผู้บริโภคและทิศทางการพัฒนาเทคโนโลยีในอนาคต เพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงแก้ไขข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับการบรรจุอาหาร ได้แก่ Council Directive89/109/EEC ซึ่งเกี่ยวกับวัสดุสัมผัสอาหาร ทั้งนี้สหภาพยุโรปได้เห็นความสำคัญของเทคโนโลยีการบรรจุแบบแอคทีฟต่อความก้าวหน้าของอุตสาหกรรมอาหาร แต่ข้อบังคับที่ใช้ ไม่ครอบคลุมเพียงพอและอาจเป็นอุปสรรคในการพัฒนาเทคโนโลยีให้สามารถแข่งขันกับประเทศอื่นๆ ได้ ดังนั้น European Commission จึงกำหนดให้ดำเนินการปรับปรุง Council Directive89/109/EEC ซึ่งต่อมาได้ประกาศเป็นข้อบังคับ Regulation (EC) No 1935/2004 ซึ่งมีผลบังคับใช้แล้ว และได้ประกาศฉบับใหม่ในเดือนธันวาคม ปี 2007

FDA ของสหรัฐอเมริกาใช้ข้อบังคับว่าด้วย Food Contact Articles และ Food Contact Substances กับสารเคมีที่สัมผัสอาหาร และไม่ได้กำหนดข้อบังคับเฉพาะสำหรับการบรรจุอาหารแบบแอคทีฟ ดังนั้น สารต้านจุลินทรีย์ที่แพร่จากภาชนะบรรจุไปสู่อาหารจะต้องเป็นไปตามข้อบังคับว่าด้วยวัตถุเติมแต่งอาหาร (Davidson, P. Michael and Branen, A.L., 2005) ปัจจุบัน FDA ได้อนุญาตให้ใช้สารต้านจุลินทรีย์ Ag-zeolite (Zeomic ®) เป็น Food Contact Substance ปริมาณไม่เกินร้อยละ 5 สำหรับต้านจุลินทรีย์บนผิวพลาสติก และอนุญาตให้ใช้อนุภาค ที่ปล่อยคลอรีนไดออกไซด์เป็น Food Contact Substance สำหรับต้านจุลินทรีย์ในการบรรจุผักและผลไม้สดและเนื้อที่ยังไม่ผ่านการแปรรูป โดยต้องมีคลอไรด์ไม่เกิน 2.71 ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตรของฟิล์ม LDPE ที่ใช้

ประเทศออสเตรเลียมีข้อบังคับเกี่ยวกับการบรรจุอาหารแบบแอคทีฟและอินเทลลิเจนท์ ที่ก้าวหน้าและเฉพาะเจาะจงกว่ายุโรปและสหรัฐอเมริกา ข้อบังคับ Standard A 13 ใน Food Standard Codes ได้กำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับวัตถุและวัสดุที่สัมผัสอาหาร รวมถึงการใช้ซองบรรจุสารเคมีเพื่อวัตถุประสงค์ในการบรรจุแบบแอคทีฟ ได้แก่

ข้อที่ (1)

(a) ซองบรรจุซิลิกาไดออกไซด์สำหรับยับยั้งการเจริญเติบโตของราหรือใช้ดูดความชื้น

(b) ซองในข้อ (a) อาจมีเอทานอลหรือสารให้กลิ่นรส

(c) ต้องระบุข้อความ “MOULD INHIBITOR” หรือ “MOISTURE ABSORBER” หรือ ข้อความอื่นที่ตรงกับหน้าที่ของสารเคมี บนฉลากหรือบนซองด้วยอักษรมาตรฐานขนาด 3 มิลลิเมตร พร้อมระบุคำเตือน “DO NOT EAT”

(d) ขนาดซองต้องมีพื้นที่แต่ละด้านไม่น้อยกว่า 10 ตารางเซนติเมตร

ข้อที่ (2)

(a) ภาชนะบรรจุอาหารอาจบรรจุซองใส่ผงเหล็กสำหรับใช้ดูดออกซิเจน

(b) ขนาดซองในข้อ (a) ต้องมีพื้นที่แต่ละด้านไม่น้อยกว่า 10 ตารางเซนติเมตร และมีข้อความต่อไปนี้อย่างน้อย 1 ข้อความ ได้แก่

- (i) Calcium chloride
- (ii) Calcium hydroxide
- (iii) Carbon, active
- (iv) Gypsum
- (v) Iron oxide
- (vi) Magnesium hydroxide
- (vii) Magnesium stearate
- (viii) Perlite
- (ix) Salt
- (x) Talc
- (xi) Water
- (xii) Zeolite
- (xiii) Magnesium silicate
- (xiv) Diatomaceous salts

(c) ต้องระบุข้อความ “OXYGEN ABSORBER ” หรือข้อความอื่นที่ตรงกับหน้าที่ของสารเคมี บนฉลากหรือบนซองด้วยอักษรมาตรฐานขนาด 3 มิลลิเมตร พร้อมระบุคำเตือน “DO NOT EAT”

การบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์เป็นการเปิดขอบเขตใหม่ และโอกาสที่ดีสำหรับการรักษาคุณภาพ ความปลอดภัย และยืดอายุการเก็บของอาหาร ถ้าสถานภาพทางด้านกฎหมาย ข้อบังคับ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้สารต้านจุลินทรีย์ในวัสดุสัมผัสอาหารได้รับการดูแลแก้ไข และดำเนินการให้ครอบคลุมยิ่งขึ้น (ภาณุวัฒน์ สรรพกุล, 2547)

DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE กรมวิทยาศาสตร์บริการ

10. บทสรุป

การบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์เป็นเทคโนโลยีที่มีวิวัฒนาการอย่างรวดเร็ว ได้รับการพัฒนาให้มีคุณสมบัติที่หลากหลายเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค โดยยังคงรักษาคุณภาพ ความสด และความปลอดภัยของอาหารไว้ เหมาะสำหรับการบรรจุอาหารที่เสื่อมเสียง่ายจากจุลินทรีย์ เช่น ผัก ผลไม้ และขนมปัง เป็นต้น ซึ่งจะอาศัยวัสดุบรรจุที่มีคุณสมบัติต่อต้านจุลินทรีย์ เพื่อช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตและลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหาร เทคโนโลยีดังกล่าวกำลังได้รับความสนใจ และมีบทบาทในภาคอุตสาหกรรมอาหารมากขึ้น เนื่องจากเป็นทางเลือกใหม่ที่สามารถใช้กับอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีหลายรูปแบบ และสามารถนำไปพัฒนาในเชิงธุรกิจได้ในอนาคต ดังนั้น การบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์จึงเป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่เกิดจากความก้าวหน้าของวิทยาการที่ทันสมัย เน้นประโยชน์ในด้านคุณภาพ ความปลอดภัย อายุการเก็บรักษาอาหาร และการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งถือเป็นความสำเร็จในการพัฒนาเทคโนโลยีการบรรจุที่สำคัญในปัจจุบัน

กรมวิทยาศาสตร์บริการ
DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข. สาเหตุและแนวทางการแก้ปัญหาการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในโรงงานแปรรูปนมพาสเจอร์ไรส์. [**ออนไลน์**] [อ้างถึง 5 มกราคม 2555] เข้าถึงได้จาก http://www.foodsafetymobile.org/UserFiles/Documents/... (แฟ้มประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ (IRF 19), A1)

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ปัจจัยที่มีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์. [**ออนไลน์**] [อ้างถึง 5 มกราคม 2555] เข้าถึงได้จาก www.agro.cmu.ac.th/e_books/602120/E-learning/.../3.ppt

งามทิพย์ ภู่วโรดม. **การบรรจุอาหาร (Food packaging)**. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550, หน้า 14-19, 30-50, 308-321. (688.8 ง 26 2550)

นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และปรีชา สุวรรณพินิจ. สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์. **จุลชีววิทยาทั่วไป**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547, หน้า 85-96.

บุษกร อุตรภิชาติ. การเน่าเสียของอาหาร. **จุลชีววิทยาทางอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 4 ฉบับปรับปรุง. สงขลา : ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยทักษิณ, 2552, หน้า 67-79. (660.62 บ 48 2552)

ภาณุวัฒน์ สรรพกุล. การบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial food packaging). **วารสารบรรจุภัณฑ์ไทย,** ตุลาคม-ธันวาคม, 2547, ปีที่ 14, ฉบับที่ 56, หน้า 33-39. (แฟ้มประมวลสารสนเทศเฉพาะเรื่อง (CF 15), A74)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. สารต้านจุลินทรีย์. [**ออนไลน์**] [อ้างถึง 6 มกราคม 2555] เข้าถึงได้จาก http://courseware.rmutl.ac.th/courses/103/unit1502.html

มานพ จั่นขุนทด, เกียรติศักดิ์ นาบำรุง และณฐนนท์ ตราชู. อาหารแปรรูปต่ำ. [**ออนไลน์**] [อ้างถึง 19 มกราคม 2555] เข้าถึงได้จาก http://www.phtnet.org/article/view-article.asp?aID=17

Appendini, Paola., and Hotchkiss, Joseph H. Review of antimicrobial food packaging. [**Online**] [cited 6 January 2012] Available from Internet : http://www.aseanfood.info/Articles/11011570.pdf

Cerqueira, M. A., et al. Galactomannans use in the development of edible films/coatings for food Applications. **Trends in Food Science & Technology**, 2011, vol. 22, no. 1, p. 662-671.

Davidson, P. Michael, and Branen, A. L. Food antimicrobials – an introduction. Edited by Davidson, P. Michael, Sofos, John N., and Branen, A. L. In **Antimicrobials in food**. 3rd ed. CRC Press, 2005, p. 1-10.

Han, Jung H. Antimicrobial food packaging. **Food Technology**, March, 2000, vol. 54, no. 3, p. 56-65.

Jiang, Tianjia, Feng, Lifang, and Zheng, Xiaolin. Effect of chitosan coating enriched with thyme oil on postharvest quality and shelf life of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2012, vol. 60, no. 1, p. 188-196.

Kuorwel, Kuorwel K., et al. Antimicrobial activity of natural agents coated on starch-based films against *Staphylococcus aureus*. **Journal of Food Science**, 2011, vol. 76, no. 8, p. M531-537.

Suppakul, P., et al. Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial packaging and its applications. **Journal of Food Science**, 2003, vol. 68, no. 2, p. 408-420.

กรมวิทยาศาสตร์บริการ
DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE