บทที่ 4

การถนอมอาหารโดยการดัดแปรองค์ประกอบบรรยากาศ

(Food Preservation by Modified Atmosphere)

วัตถุประสงค์

หลังจากที่อ่านบทนี้แล้ว นักศึกษาควรทราบและเข้าใจในสิ่งต่อไปนี้

- หลักการถนอมอาหารโดยการดัดแปรองค์ประกอบของบรรยากาศ
- บทบาทของก๊าซต่อคุณภาพของอาหารและการเจริญของจุลินทรีย์
- ความแตกต่างระหว่างการเก็บอาหารแบบ CAS MAS และ MAP
- การประยุกต์ใช้กับอาหารพร้อมปรุงและพร้อมบริโภค

4.1 บทนำ

การปรับบรรยากาศเป็นวิธีการถนอมอาหารที่รู้จักกันมานานมากกว่าหนึ่งศตวรรษ ได้รับความนิยมมากในปลายศตวรรษที่ 20 เนื่องจากสามารถชะลอการเสื่อมคุณภาพทางเคมี การเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เน่าเสียได้ดีกว่าการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติ การเก็บรักษาในบรรยากาศปกติแม้ที่อุณหภูมิต่ำ เช่น การแช่เย็น การเสื่อมคุณภาพยังคงเกิดขึ้นจากการหายใจใช้ออกซิเจนและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ กลไกการสุก เมแทบอลิซึม ปฏิกิริยาทางชีวเคมี และการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เน่าเสียยังคงดำเนินต่อไป การปรับบรรยากาศช่วยรักษาคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของอาหารให้ยาวนานขึ้นโดยการลดปริมาณของออกซิเจน และ/หรือเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้อัตราการหายใจของเนื้อเยื่อลดต่ำลง ควบคุมปฏิกิริยาทางเคมีและชีวเคมี ได้แก่ ชะลอการสุก การหืน การเสื่อมเสียของสินค้าการเกษตรจากแมลง รวมทั้งจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศไม่สามารถเจริญได้ อาหารก็จะมีอายุการเก็บรักษายาวนานกว่าการเก็บในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิเดียวกัน (ตารางที่ 4.1) ทำให้มีการนำมาใช้เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ในการยืดอายุการเก็บรักษาและคุณภาพของผักผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว ระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา และการวางจำหน่าย รวมทั้งอาหารพร้อมปรุง พร้อมบริโภค ซึ่งเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมของผู้บริโภคในปัจจุบัน เนื่องจากวิถีการดำเนินชีวิตของ

ประชาชนในสังคมเมืองเปลี่ยนแปลงไป ผู้บริโภคต้องการอาหารในรูปแบบที่สด สะอาด สะดวกต่อการบริโภค ลดขั้นตอนหรือเวลาที่เสียไปในการเตรียม และในขณะเดียวกันต้องมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน

ตารางที่ 4.1 อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารที่เก็บในบรรยากาศปกติและ MAP

ผลิตภัณฑ์อาหาร	**อายุการเก็บรักษา (วัน)**	
	บรรยากาศปกติ	บรรยากาศ MAP
เนื้อวัว	4	12
เนื้อหมู	4	9
เนื้อไก่	6	18
เนื้อปลา	2	10
ขนมปัง[1]	7	21

[1] = เก็บที่อุณหภูมิบรรยากาศ

ที่มา : Blackistone (1998)

ผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมปรุง พร้อมบริโภค ผักและผลไม้สดที่ผ่านกระบวนการเพียงเล็กน้อย เช่น การล้าง ปอกเปลือก ตัดแต่ง และหั่น มีอายุการเก็บรักษาสั้นมาก แม้ที่อุณหภูมิแช่เย็น เนื่องจากกระบวนการเตรียมนั้นไปกระตุ้นหรือเร่งปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ ปฏิกิริยาเคมี การสูญเสียน้ำ และการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย อีกทั้งเป็นสาเหตุให้มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้มากขึ้น การยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารเหล่านี้ทำได้โดยใช้เทคนิคการเก็บอาหารในบรรยากาศดัดแปรร่วมกับการผลิตที่ถูกสุขลักษณะ การเก็บที่อุณหภูมิต่ำและการใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม

4.2 บทบาทของก๊าซ

บรรยากาศปกติจะประกอบด้วยก๊าซที่สำคัญหลักๆ 3 ชนิด คือ ออกซิเจน 21 % คาร์บอนไดออกไซด์ 0.03 % และไนโตรเจน 78 % การใช้ประโยชน์จากบรรยากาศดัดแปรในการยืดอายุการเก็บรักษาของอาหาร ต้องทราบถึงคุณสมบัติและอันตรกิริยาของก๊าซกับผลิตภัณฑ์อาหารและจุลินทรีย์ มีความสำคัญเกี่ยวข้องกับอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารดังนี้

ก๊าซออกซิเจน

ออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศเกี่ยวข้องกับการหายใจของเซลล์ของเนื้อเยื่อที่มีชีวิต การลดออกซิเจนทำให้การหายใจลดลง Gorini et al. (1995) ศึกษาอัตราการหายใจของแอปเปิลที่เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ระดับต่างๆ (ตารางที่ 4.2) พบว่า การเก็บแอปเปิลในบรรยากาศที่มีออกซิเจน 1.5 – 3 % ที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส จะมีการหายใจเพียง 39 % ถึง 49 % ของการหายใจปกติที่อุณหภูมิเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตามการลดออกซิเจนก็มีขีดจำกัด ออกซิเจนที่ระดับ 1.5 % หรืออย่างน้อยที่สุด 3 % เป็นระดับที่เหมาะสม แอปเปิลยังคงมีการหายใจโดยไม่ทำให้เกิดลักษณะผิดปกติ เช่น ไส้แดง เนื้อนิ่ม หรือมีความเป็นกรดลดลง ถ้าออกซิเจนต่ำกว่า 1% จะทำให้เกิดการสร้างแอลกอฮอล์ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ รวมทั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

ออกซิเจนยังเกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต การกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดสและแอสคอร์บิกออกซิเดส ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล การลดออกซิเจนจะช่วยชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น การหืนของน้ำมันและไขมันในอาหารพวกเนื้อสัตว์ ปลา อาหารตัดแต่ง และผลิตภัณฑ์ขนมอบ ที่เป็นสาเหตุให้อาหารมีกลิ่นและกลิ่นรสผิดปกติหรือเกิดสีน้ำตาลที่ผิวหน้า การลดปริมาณออกซิเจนช่วยลดการเสื่อมคุณภาพจากสาเหตุเหล่านี้ได้ แต่ควรหลีกเลี่ยงการกำจัดออกซิเจนออกจนหมด เพราะเป็นสภาวะที่เป็นอันตรายจากการเจริญของ *Cl. botulinum* นอกจากนี้ปริมาณออกซิเจนยังมีความจำเป็นสำหรับการหายใจของผักและผลไม้ และการรักษาสี เช่น ในกรณีของเนื้อแดงเพื่อให้ไมโอโกลบินอยู่ในรูปออกซิไมโอโกลบิน

ออกซิเจนจำเป็นสำหรับกระบวนการเมแทบอลิซึมของสัตว์ พืช จุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน และจำเป็นสำหรับปฏิกิริยาเคมี ในบรรยากาศที่ไม่มีหรือมีออกซิเจนต่ำอาจทำให้เกิดการตาย การชะลอการเจริญ กระบวนการเมแทบอลิซึมที่ผิดปกติ หรือการเปลี่ยนแปลงทางสรีระ เช่น เนื้อนิ่มในผลไม้ การเกิดสี ความเหนียวในผัก เช่น หน่อไม้ฝรั่ง และบร็อคโคลี และ

การผลิตเอทานอล และแอเซทาลิน เป็นผลให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ ดังนั้นในผลิตภัณฑ์ MAP ส่วนใหญ่ยกเว้นผักผลไม้สดและเนื้อสัตว์ ออกซิเจนจะถูกกำจัดออกไป เชื้อราที่ต้องการออกซิเจนถูกยับยั้งในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน การมีออกซิเจนอยู่บ้างในตอนเริ่มแรกอาจส่งเสริมให้แล็กติกแอซิดแบคทีเรียเจริญ ช่วยป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคที่ไม่ต้องการออกซิเจน เช่น *Cl. botulinum*

ตารางที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์การหายใจของแอปเปิลที่เก็บในบรรยากาศที่มีออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ระดับต่าง ๆ ที่ อุณหภูมิ 3.3 องศาเซลเซียส

ออกซิเจน (%)	คาร์บอนไดออกไซด์ (%)	การหายใจ (%)
21	0	100
10	0	80
10	5	56
7	0	58
7	5	50
5	0	63 – 70
5	5	38
3	0	49
3	2	47
3	5	43
1.5	0	39
1.5	5	25

ที่มา : Gorini et al. (1990)

คาร์บอนไดออกไซด์

โดยปกติในอากาศจะมีคาร์บอนไดออกไซด์น้อยมากประมาณ 0.03 % ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงขึ้น ในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ จะช่วยเสริมผลของการลดออกซิเจน ทำให้อัตราการหายใจในเซลล์ของเนื้อเยื่อที่มีชีวิตต่ำลง ตัวอย่างเช่น แอปเปิลที่เก็บในบรรยากาศที่มีออกซิเจน 1.5 – 16 % และคาร์บอนไดออกไซด์ 5 % จะมีการหายใจเพียง 50 % ถึง 64 % ของการหายใจในบรรยากาศที่มีออกซิเจนในระดับเดียวกัน แต่ไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์อยู่เลย (Gorini et al,1995) และที่คาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า 1 % จะมีผล

ทำให้เนื้อเยื่อพืชไม่ไวต่อเอทิลีนที่เป็นฮอร์โมนเร่งการสุก เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชโดยปกติแม้มีอยู่ในปริมาณเล็กน้อยก็มีผลเร่งการสุก การอ่อนตัวของผลไม้ การเกิดสีเหลืองในใบผัก เร่งการหายใจ การเสื่อมคุณภาพ การจำกัดเอทิลีนก็จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้

นอกจากนี้การใช้ออกซิเจนต่ำและคาร์บอนไดออกไซด์สูง พลังงานความร้อนและอัตราการหายใจของข้าวโพดหวาน และถั่วชนิดต่างๆ อยู่ระหว่าง 28 – 32 % ของการเก็บในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิเดียวกัน

การเก็บรักษาในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงเป็นระยะเวลาสั้นๆ นอกจากจะช่วยลดการสูญเสียคลอโรฟิลในแอปเปิล บร็อคโครี หน่อไม้ฝรั่ง ผักกาดหอม ยังช่วยลดการสูญเสียกรดในแอปเปิล เชอรี และพืช รวมทั้งลดการผลิตสารระเหยซึ่งมีผลทำให้ขาดกลิ่นรส

คาร์บอนไดออกไซด์ละลายได้ทั้งน้ำและน้ำมัน และละลายได้มากขึ้นถ้าอุณหภูมิลดลง สามารถละลายได้ในส่วนที่เป็นของเหลวทำให้อาหารมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นจากกรดคาร์บอนิกที่เกิดขึ้น ทำให้ pH ลดลง

คาร์บอนไดออกไซด์มีคุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ มีผู้อธิบายสาเหตุไว้หลายแนวทาง ดังนี้ คาร์บอนไดออกไซด์ละลายได้ในน้ำทำให้ pH ในผลิตภัณฑ์ลดลง มีผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

Faber (1991,อ้างถึงใน Davies,1995) อธิบายการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ดังนี้ คาร์บอนไดออกไซด์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์ รวมทั้งการดูดซึมอาหารผ่านเซลล์ มีผลโดยตรงในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์หรือลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ คาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ทำให้ของเหลวภายในเซลล์มี pH เปลี่ยนแปลง รวมทั้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของโปรตีน

อาหารที่มีความชื้นสูงไขมันสูง เช่น เนื้อสัตว์ สัตว์ปีก และอาหารทะเล การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมากจะทำให้บรรจุภัณฑ์ยุบตัว นอกจากนี้ยังทำให้เกิดดริปมากขึ้นโดยมีสาเหตุจากการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผิวหน้าของเนื้อสดทำให้ pH ลดลงและความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนลดลง (Davies,1995)

คาร์บอนไดออกไซด์สามารถยับยั้งการเจริญจุลินทรีย์โดยทำให้ช่วงเวลาในระยะพักตัว (Lag phase) ยืดออกไป และอัตราการเพิ่มจำนวนช้าลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ อายุและจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น รวมถึงอุณหภูมิในการเก็บรักษาและชนิดของผลิตภัณฑ์ด้วย (Davies,1995)

คาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นสูงกว่า 5 % จะสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียส่วนใหญ่ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย โดยเฉพาะกลุ่มไซโครโทรฟิก เช่น *Pseudomonas sp.* เจริญได้ดีในอาหารที่เก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น โดยทั่วไปแบคทีเรียที่เป็นแกรมลบจะถูกยับยั้งได้ดีกว่าพวกแกรมบวก

จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียในเนื้อสัตว์สด ส่วนใหญ่เป็นพวกที่ต้องการออกซิเจน เช่น *Pseudomonas sp. Acinetobacter sp.* และ *Moraxella sp.* ถูกยับยั้งได้ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเน่าเสียทั่วๆ ไป เช่น *Micrococcus sp.* และ *Bacillus sp.* ก็เป็นพวกที่ไวต่อคาร์บอนไดออกไซด์เช่นเดียวกัน ส่วนแล็กติกแอซิดแบคทีเรียมีความต้านทานต่อคาร์บอนไดออกไซด์มาก โดยเฉพาะเมื่อจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่ต้องการออกซิเจนถูกกำจัดออกไป แล็กติกแอซิดแบคทีเรียก็จะค่อยๆเจริญแทนที่อย่างช้าๆ เมื่อมีจำนวนที่มากพอก็จะทำให้อาหารมีลักษณะผิดปกติ

ในขณะที่เชื้อราเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญมาก และไวต่อสภาวะที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงๆ ดังนั้นผลิตภัณฑ์เบเกอรีที่มี a_w ต่ำ โดยปกติจะเสื่อมเสียได้เนื่องจากเชื้อรา ถ้าเก็บในบรรยากาศดัดแปรที่มีออกซิเจนต่ำก็จะมีอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น แต่สำหรับยีสต์นั้นสามารถเจริญได้ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน

คาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่า 20 % สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์แกรมลบอย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นสูงๆ สามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค เช่น *Staphylococcus aureus, Salmonella sp, Escherichia coli* และ *Yersinia enterocolitica* ประสิทธิภาพในการทำลายจะเพิ่มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ที่อุณหภูมิสูงกว่า 4 องศาเซลเซียส ผลของคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลง และไม่มีผลในการยับยั้งที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (Holly et al,1994)

การเก็บในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงสิ่งที่น่าเป็นห่วง คือ *Cl. botulinum* เจริญได้ แต่ก็สามารถแก้ไขได้โดยใช้อุณหภูมิที่เก็บรักษาต่ำกว่า 3.3 องศาเซลเซียส และควรมีออกซิเจนในบรรยากาศอย่างน้อย 2 % (Blakistone,1998)

จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียและทำให้เกิดโรคโดยทั่ว ๆ ไป สามารถจัดแบ่งกลุ่มตามความต้องการออกซิเจนได้ ดังตารางที่ 4.3

แต่อย่างไรก็ตามการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่มากเกินไป ก็จะทำให้เกิดความเสียหายกับผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ มีดริปเกิดขึ้นมาก ทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติในน้ำมันและไขมัน และการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์อาหารสด

ตารางที่ 4.3 การจัดแบ่งกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียและเกิดโรคตามความต้องการออกซิเจน

จุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญ	
จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย	*Pseudomonas sp.*
	Acinetobacter sp. และ *Moraxella sp.*
	Micrococcus sp. *Bacillus sp.*
	Mould
จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค	*Bacillus cereus*
	Yersinia enterocolitica
	Vibrio parahaemolyticus
จุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเพียงเล็กน้อย	
จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย	*Lactobacillus sp.*
จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค	*Campylobacter jejuni*
	Listeria monocytogenes
จุลินทรีย์ที่เจริญได้ทั้งในสภาวะที่มีหรือไม่มีออกซิเจน	
จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย	*Brocothrix thermosphacta*
	Shewanella putrifaciens
	Bacillus sp.
	Enterobacteriaceae
	Fermentative yeast
จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค	*Salmonella sp.*
	Staphylococcus sp.
จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญ (ถูกยับยั้งหรือทำลายในสภาวะที่มีออกซิเจน)	
	Clostridium perfringens
	Clostridium botulinum

ที่มา: Parry (1993)

ไนโตรเจน

เป็นก๊าซเฉื่อย ไม่มีกลิ่นรส นิยมใช้ก๊าซไนโตรเจนไปแทนที่หรือไล่ออกซิเจนที่แทรกอยู่ในช่องว่างหรือรูพรุนในอาหาร ช่วยป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล นอกจากนี้ยังนิยมใช้ก๊าซไนโตรเจนในการปรับสมดุลหรือรักษาระดับความดันในภาชนะบรรจุ ป้องกันการยุบหรือหดตัวของบรรจุภัณฑ์ เพราะสามารถละลายในน้ำและน้ำมันได้น้อย (Davies,1995)

ก๊าซไนโตรเจนไม่มีผลในการยับยั้งจุลินทรีย์ เพียงแต่ทำให้เกิดสภาวะไม่มีอากาศ ดังนั้นจึงช่วยชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชัน และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน มีรายงานการใช้ไนโตรเจน 100 % ในผลิตภัณฑ์ Crusty rolls ไม่พบเชื้อราเมื่อเก็บ 9 – 11วัน เปรียบเทียบกับบรรยากาศปกติ 5 – 6 วัน ในขณะที่เก็บในบรรยากาศคาร์บอนไดออกไซด์ 60 % ร่วมกับออกซิเจน 40 % เก็บได้ 16 – 18 วัน

นอกจากก๊าซทั้ง 3 ชนิดที่กล่าวมาแล้ว ยังมีการนำก๊าซคาร์บอนโมนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนตรัสออกไซด์ คลอรีน และโอโซนมาใช้อีกด้วย

ก๊าซคาร์บอนโมนอกไซด์

เป็นก๊าซที่ไม่มีสี กลิ่นรส เป็นก๊าซที่เป็นพิษ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์มาก ทั้งแบคทีเรีย ยีสต์ และรา สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้เมื่อใช้ร่วมกับออกซิเจนระดับต่ำ นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพรักษาสีแดงในเนื้อสด โดยจะเกิดเป็นสารประกอบคาร์บอกซีไมโอโกลบิน แต่ไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้ในทางการค้า เพราะเป็นก๊าซที่มีความเป็นพิษสูง ระเบิดได้เมื่อมีความเข้มข้น 12.5 – 74.2 % และยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพของพนักงานผู้ควบคุมการบรรจุ แม้ว่าจะไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้ในอาหาร แต่มีการศึกษาพบว่าเป็นก๊าซที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียกลุ่มไซโครไฟล์ และที่ระดับความเข้มข้นที่ต่ำมากประมาณ 1% ก็มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียหลายๆ ชนิด รวมทั้งยีสต์และรา

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

เป็นก๊าซที่สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ มีประสิทธิภาพมากที่ pH ต่ำกว่า 4 มีการใช้ในการควบคุมเชื้อราและแบคทีเรียในผลไม้ เช่น องุ่น และผลไม้แห้ง นอกจากนี้ก็ยังมีประโยชน์ในการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำผลไม้ ไวน์ กุ้ง อาหารหมักดอง และไส้กรอกบางชนิด ที่ความเข้มข้นต่ำประมาณ 25 ppm จะสามารถทำลายเชื้อรา แต่ถ้าเป็นแบคทีเรียจะใช้

เพียง 1 – 2 ppm และมีประสิทธิภาพมากต่อแบคทีเรียแกรมลบ เช่น *Escherichia coli* และ *Pseudomonas sp.* มากกว่าพวกแกรมบวก เช่น *Lactobacilli sp.*

4.3 รูปแบบการเก็บรักษาอาหารในบรรยากาศดัดแปร

บรรยากาศดัดแปรคือบรรยากาศที่มีการดึงหรือเติมก๊าซเข้าไปทำให้มีองค์ประกอบของบรรยากาศต่างไปจากบรรยากาศปกติ ซึ่งส่วนใหญ่ก็จะเป็นการลดออกซิเจนและเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ ข้อดีและข้อเสียของการดัดแปรองค์ประกอบของบรรยากาศ ขึ้นกับ ชนิด สายพันธุ์ อายุ องค์ประกอบของบรรยากาศ อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษา สามารถสรุปได้ดังนี้

การเก็บรักษาอาหารในบรรยากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของบรรยากาศ มีหลายลักษณะ แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะแบบ CAS MAS MAP และ VP ซึ่งมีรูปแบบแตกต่างกัน ดังนี้

CAS หรือ Controlled Atmosphere Storage คือ การเก็บรักษาอาหารในห้องเย็นที่มีบรรยากาศแตกต่างไปจากบรรยากาศปกติในด้านสัดส่วนของไนโตรเจน ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยปรับให้มีปริมาณออกซิเจนต่ำ และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าปริมาณที่มีอยู่ในบรรยากาศปกติ มีการติดตามและควบคุมให้มีปริมาณคงที่ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา

MAS หรือ Modified Atmosphere Storage คือ การเก็บโดยมีการปรับองค์ประกอบของบรรยากาศภายในห้องเก็บอาหารให้ต่างไปจากปกติ โดยปรับเฉพาะช่วงแรก หลังจากนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของก๊าซภายในห้องเก็บอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา แต่ทั้งนี้ขึ้นกับการหายใจของเซลล์อาหาร การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และอุณหภูมิในการเก็บรักษา

MAP หรือ Modified Atmosphere Packaging คือ การเก็บรักษาอาหารภายในภาชนะบรรจุ โดยดึงอากาศภายในออก และอัดก๊าซซึ่งอาจจะเป็นก๊าซชนิดเดียวหรือก๊าซผสมก็ได้เข้าไปแทนที่ หลังการปิดผนึกจะมีการเปลี่ยนแปลงบรรยากาศของก๊าซภายในอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา แต่ทั้งนี้ขึ้นกับการหายใจของเซลล์อาหาร การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและการซึมผ่านของก๊าซ บางครั้งมีการใช้คำว่า CAP (Controlled Atmosphere Packaging) แทน ซึ่งเป็นการใช้ที่ไม่ถูกต้องเพราะการเก็บในลักษณะนี้ไม่สามารถที่จะควบคุมองค์ประกอบของบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ให้คงที่ได้ (Blakistone,1998)

VP หรือ Vacuum Packaging หรือ การบรรจุแบบสุญญากาศ เป็นวิธีที่มีการใช้มานานแล้ว ก่อนที่จะมีการใช้ MAP วิธีการของ VP คือ ดึงอากาศออกจากภาชนะบรรจุจนหมดแล้วปิดผนึก ภาชนะบรรจุที่ใช้จะทำจากฟิล์มที่ออกซิเจนซึมผ่านได้น้อยมาก แต่ในการดึงอากาศออกจากภาชนะบรรจุจนหมดจะทำให้ภาชนะเสียรูป เกิดการหดตัว รัดรูป เนื่องจากความดันภายในน้อยกว่าความดันบรรยากาศภายนอก

4.4 การเก็บโดยการควบคุมบรรยากาศ

(Controlled Atmosphere Storage , CAS)

การเก็บรักษาอาหารแบบ CAS มีการนำมาใช้ร่วมกับการแช่เย็น ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2473 โดยนำมาใช้ในการเก็บรักษาผักและผลไม้ในห้องเย็นขนาดใหญ่ที่ปิดสนิท สามารถควบคุมสัดส่วนของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ให้คงที่ โดยอัตราส่วนของก๊าซชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในบรรยากาศที่เก็บรักษาจะแตกต่างกันไป ขึ้นกับชนิดของผักและผลไม้ พื้นที่เพาะปลูก ความแก่อ่อน และสภาวะในการเก็บรักษา ดังตารางที่ 4.4

การเก็บผักและผลไม้แบบ CAS ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและคุณภาพของผักและผลไม้โดยลดอัตราการหายใจ ทำให้ช่วงก่อนและหลังไคลแมกเทอริกขยายออกไป และลดการผลิตก๊าซเอทิลีนและผลของเอทีลีนต่อกระบวนการทางเมแทบอลิซึม ชะลอการสุก การอ่อนตัวของพืช รักษาเนื้อสัมผัสให้มีความแน่น ความสด กรอบ ชุ่มฉ่ำ จากผลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเอนไซม์ที่มีผลต่อผนังเซลล์ ทำให้การสูญเสียกรด น้ำตาล และวิตามินซีเกิดขึ้นน้อยมาก สามารถคงคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้และมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ดี ลดการแตกตัวของคลอโรฟิลล์ ลดการเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพ ลดการเกิดลักษณะผิดปกติ เช่น อาการสะท้านหนาว เป็นจุด เป็นจ้ำ สีน้ำตาล และลักษณะผิดปกติของแอปเปิลยับยั้งการเจริญของเชื้อรา ลดการเสื่อมเสียในสตรอเบอรี เชอรี และผลไม้อื่น การลดออกซิเจนต่ำถึง 0 – 5 % เป็นวิธีที่ประสิทธิภาพในการควบคุมแมลง แต่ก็มีข้อเสีย คือ ในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงและออกซิเจนที่ต่ำมาก จะเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน เช่น สตรอเบอรีเกิดแอเซทาดิไฮด์ และแอลกอฮอล์ การเกิดลักษณะผิดปกติทางสรีระ เช่นรอยดำในมันฝรั่ง จุดสีน้ำตาลในผักกาดขาว และรอยสีน้ำตาลในแอปเปิล ผักพวกพืชหัวและราก มีการหายใจเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดลักษณะผิดปกติ กระตุ้นการงอก การเน่าเสีย และชะลอการแตกหน่อเพิ่มขึ้น อายุการเก็บรักษาสั้นลง แตงกวา กะหล่ำดอก หัวหอม ผักชี มีเนื้อนิ่ม แอปเปิลและหน่อไม้ฝรั่งสูญเสียกรดแอสคอร์บิกอย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบของบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับเก็บรักษาผักและผลไม้

ชนิด	ระดับ CO_2 สูงสุด (%)	ระดับ O_2 ต่ำสุด (%)
แอปเปิล	2	2
หน่อไม้ฝรั่ง	10	10
มันฝรั่ง	10	10
กล้วยหอม	5	-
กะหล่ำปลี	5	2
แครอต	4	3
แตงกวา	10	10
ผักกาดหอม	1	2
หอมหัวใหญ่	10	1
ถั่ว	7	5
สตรอเบอรี	20	2
ข้าวโพด	20	-
มะเขือเทศ	2	3

ที่มา : Fellow (1990)

บรรยากาศดัดแปรแม้ว่าจะมีประโยชน์ดังที่กล่าวแล้ว แต่อย่างไรก็ตามการจะใช้สัดส่วนของก๊าซเท่าใดนั้น ควรคำนึงถึงผลดีและผลเสีย และนำคุณสมบัติในด้านความทนทานต่อสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ คาร์บอนไดออกไซด์สูงของผลิตภัณฑ์เข้ามาประกอบการพิจารณาด้วย (ตารางที่ 4.5) สำหรับอาหารที่ไม่สามารถทนต่อบรรยากาศดังกล่าวก็จะทำให้เกิดการเสื่อมเสียอย่างรวดเร็ว และควรหลีกเลี่ยงการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน หรือความเสียหายที่เกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์ระดับสูง

การกำหนดสภาวะที่ใช้เก็บรักษานี้มีผลต่ออายุ สภาวะและอุณหภูมิในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ รวมทั้งความผิดปกติทางสรีระวิทยา เช่น ใบผักกาดหอมมีลักษณะคล้ายสนิมสีน้ำตาล แอปเปิลมีเนื้อในเป็นสีน้ำตาลและผิวหน้าช้ำเป็นรอยบุ๋ม การสัมผัสกับคาร์บอนไดออกไซด์สูงหลังการเก็บเกี่ยวมีการนำมาใช้กับแอปเปิลพันธุ์ golden Delicious และ McIntosh ทำให้อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนลดลง แต่ในบางสายพันธุ์เช่น พันธุ์ Red Delicious Rome Beauty และ Stayman และบางแหล่งปลูกกลับมีผลทำให้เกิดความเสียหาย (Gorini et al,1990) ความเสียหายที่เกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดขึ้นกับผลไม้ที่เก็บเกี่ยว

ในขณะที่ยังไม่แก่โดยจะเกิดขึ้นภายนอก ในขณะที่ผลไม้ที่เก็บเกี่ยวช้าจะเกิดขึ้นภายใน ทั้งนี้เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ละลายในเนื้อเยื่อของพืช และเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นในบรรยากาศ โดยทั่วไปแล้วการเก็บรักษาแบบ CAS ในช่วง 3 เดือน จะไม่พบลักษณะผิดปกติในเนื้อของผลไม้จากการทดลองในแอปเปิลและแพร์ที่เก็บในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงจะมีความกรอบ ความแน่นเนื้อ มีสีเขียว และอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และจะให้ผลดีในกรณีที่ทำทันทีหลังการเก็บเกี่ยว และลดอุณหภูมิลงถึง 5 องศาเซลเซียส (Gorini et al,1990)

ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นต่ำสุดของก๊าซออกซิเจนและความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผักและผลไม้แต่ละชนิดทนทานได้

ก๊าซออกซิเจนต่ำสุด (%)	ผักและผลไม้
0.5	Tree nuts ผักและผลไม้แห้ง
1.0	แอปเปิลและแพร์บางสายพันธุ์ บร็อคโคลี เห็ด กระเทียม หอม ผักและผลไม้ ดัดแด่ง
2.0	แอปเปิลและแพร์หลาย ๆ สายพันธุ์ ผลกีวี แอปริคอต เชอรี พีช พลัม เน็กทาริน สตรอเบอรี มะละกอ สับปะรด มะกอก แคนตาลูป ข้าวโพดหวาน เซอเรอลี ผักกาดหอม ดอกกะหล่ำ กะหล่ำปลี
3.0	อะโวกาโด มะเขือเทศ พริก แตงกวา อาร์ทิโชค
5.0	พืชตระกูลส้ม ถั่วลันเตา หน่อไม้ฝรั่ง มันฝรั่ง มันเทศ
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด (%)	**ผักและผลไม้**
2.0	แอปเปิล (พันธุ์ Golden Delicious) แพร์ องุ่น พริกหวาน เซอเรอลี ผักกาดหอม กะหล่ำปลี อาร์ทิโชค มันเทศ
5.0	แอปเปิลและแพร์หลาย ๆ สายพันธุ์ ผลกีวี แคนเบอรี พีช พลัม เน็กทาริน อะโวกาโด ส้ม กล้วย มะละกอ ถั่ว พริก มะเขือ ดอกกะหล่ำ ผักกาดหอม แครอต
10.0	องุ่น เลมอน มะนาว สับปะรด แตงกวา บร็อคโคลี หน่อไม้ฝรั่ง หัวหอม ต้นหอม กระเทียม มันฝรั่ง
15.0	สตรอเบอรี ราสเบอรี แบล็คเบอรี บลูเบอรี เชอรี มะเดื่อ แคนตาลูป ข้าวโพดหวาน เห็ด ผักขม

ที่มา : Kader และ คณะ (1989)

การเก็บในบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำยับยั้งการผลิตสารระเหย เช่น แอลกอฮอล์ แอลดิไฮด์ เอสเทอร์ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนสารตั้งต้น คือ กรดอะมิโน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน จากการศึกษาของ Forney et al. (2009) พบว่า ลักษณะทางประสาทสัมผัสของแอปเปิลพันธุ์การาที่เก็บ 24 สัปดาห์ในบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำ มีความกรอบ เนื้อแน่น ฉ่ำ และกลิ่นรสดีกว่าแอปเปิลที่เก็บในบรรยากาศ

ส่วนสตรอเบอรีการเก็บในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ 15 % ที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 – 4 วัน จะมีความแน่นเนื้อ และการเสื่อมเสียจากเชื้อราในระหว่างการวางจำหน่ายเกิดขึ้นน้อย แต่อย่างไรก็ดีถ้าใช้ความเข้มข้นสูงขึ้นหรือเก็บนาน ก็จะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติได้ ในองุ่นการใช้คาร์บอนไดออกไซด์สูงถึง 20 - 40 % ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 – 7 วัน ลดการเกิด stem end rind breakdown และอาการสะท้านหนาว ถ้าเก็บที่อุณหภูมิ 4 – 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 เดือน (Gorini et al, 1990)

เชอรี่ พลัม พีช ส้ม และมะเดื่อ ถ้านำมาเก็บในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์อย่างน้อย 20 % ในช่วงสั้นๆ ประมาณ 1 – 2 วัน จะทำให้ผลไม้มีเนื้อแน่น สด และเสื่อมเสียช้ากว่าเก็บในบรรยากาศปกติ แต่ถ้าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มากไปและเก็บนานเกินไป จะทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติขึ้น เชอรีทนคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึง 40 % เป็นเวลา 6 สัปดาห์ แต่ที่คาร์บอนไดออกไซด์ 20 - 25 % เพียงพอที่จะป้องกันการเน่าเสีย

มะเขือเทศ ปกติเก็บเกี่ยวในระยะที่ผลมีสีขาวอมชมพู และเก็บได้ไม่เกิน 10 วัน ที่ 10 – 13 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศปกติ การเก็บในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูง มะเขือเทศจะไม่สุก ไม่เปลี่ยนเป็นสีแดง ถ้าเก็บในบรรยากาศของไนโตรเจนจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้มากกว่าการเก็บในบรรยากาศปกติ

กล้วย ลูกแพร์ และมะเขือเทศ เก็บที่ระดับของออกซิเจนต่ำกว่า 2 % และคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า 5 % การสุกผิดปกติ

พีชและเนกตาริน เก็บในบรรยากาศที่มีออกซิเจน 1 % และคาร์บอนไดออกไซด์ 5 % เก็บได้ประมาณ 6 – 9 สัปดาห์

ผัก ได้แก่ แครอต กะหล่ำดอก ข้าวโพดหวาน หน่อไม้ฝรั่ง ผักขม ถั่วสีเขียว และผักใบ เก็บในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ 5 – 50 % เป็นเวลา 1 – 7 วัน หรือเก็บในบรรยากาศของไนโตรเจน สามารถลดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบบรรยากาศ ลดการหายใจ การเปลี่ยนแปลงสีเขียว ยับยั้งการเน่าเสีย ลดการเกิดจุดสีน้ำตาล การเกิดสีน้ำตาลที่ผิวหน้าตัดตรงโคนต้นขึ้นฉ่าย ลดการสูญเสียน้ำตาลในข้าวโพดหวาน การเสื่อมคุณภาพจะช้ากว่าการเก็บในบรรยากาศปกติ (Brecht, 2009)

นอกจากนี้ยังมีการนำวิธี CAS มาใช้ยืดอายุการเก็บรักษาสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ระหว่างการเก็บรักษาในคลังสินค้าและการขนส่ง ดังนี้

เนื้อวัว เก็บในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ – 1.0 – (–) 1.5 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 45 วัน แต่ถ้าเก็บในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ 10 % จะมีอายุการเก็บเพิ่มขึ้นเป็น 70 วัน

เนื้อหมู เก็บในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ 50 – 100 % จะลดการเกิดกลิ่นหืนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และลดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ แต่สีของเนื้ออาจเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เนื่องจากเกิดเมทไมโอโกลบินและเมทฮีโมโกลบิน แม้ว่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 25 – 50 % จะสามารถป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ แต่ไม่ได้ช่วยลดการเกิดกลิ่นหืน การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นมากกว่า 15 % ขึ้นไป ก็ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่น

เบคอน เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์100 % จะมีอายุการเก็บเพิ่มเป็น 2 เท่าของการเก็บในบรรยากาศปกติ

สัตว์ปีก เก็บในบรรยากาศของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 25 % จะเสื่อมเสียโดยจุลินทรีย์ช้ากว่าการเก็บในบรรยากาศปกติ แต่สีจะเปลี่ยนไปและมีกลิ่นผิดปกติเกิดขึ้น แม้ว่าจะลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลง แต่ถ้าใช้ในปริมาณสูงกว่า 15 % ขึ้นไป ก็ยังคงทำให้เกิดการเปลี่ยนสีและเกิดกลิ่นผิดปกติ

ปลา เก็บในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ 50 – 100 % จะมีอายุการเก็บเพิ่มเป็น 2 เท่า ทั้งนี้เพราะคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากกว่า 20 % สามารถหยุดการเจริญของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับเสื่อมเสียของปลาสด

การเก็บเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์แบบ CAS ที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูง แม้จะลดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์และกลิ่นผิดปกติ แต่สีจะเปลี่ยนไปอาจมีสีคล้ำจนถึงสีน้ำตาล ทั้งนี้เนื่องจากรงควัตถุที่ให้สีในเนื้อ คือ ไมโอโกลบินจะอยู่ใน 3 รูป คือ รีดิวซ์ไมโอโกลบิน (Mb^-) ให้สีม่วง ออกซีไมโอโกลบิน (MbO_2) ให้สีแดงสด และเมทไมโอโกลบิน (Mb^+) ให้สีน้ำตาล การที่จะอยู่ในรูปแบบใดนั้นขึ้นกับปริมาณออกซิเจนในสภาพแวดล้อม

นักวิทยาศาสตร์หลาย ๆ ท่าน ได้ศึกษาและเสนอแนะสภาวะหรือองค์ประกอบของบรรยากาศที่ใช้เก็บเนื้อวัวและเนื้อหมู เพื่อให้เนื้อสดมีสีสวย กลิ่นรสดี และมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ดังนี้

Georgala และ Davidson (1970) แนะนำให้ใช้สัดส่วนของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในการเก็บรักษาเนื้อแดงสดสำหรับขายปลีกและเก็บสต๊อกไว้ดังนี้ คือ ก๊าซออกซิเจน 60 – 80 % และ คาร์บอนไดออกไซด์ 20 – 40 %

Fennema (1975) แนะนำให้เก็บเนื้อสดไว้ในบรรยากาศต่อไปนี้

1. บรรยากาศของไนโตรเจนบริสุทธิ์ มีออกซิเจนน้อยกว่า 0.5 %
2. บรรยากาศที่ประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ 70 % และอากาศ 30 %
3. บรรยากาศที่ประกอบด้วยไนโตรเจน 90 % และคาร์บอนไดออกไซด์ 10 %

การเก็บในทั้ง 3 บรรยากาศดังกล่าว จะให้ผลดีกว่าการเก็บในบรรยากาศปกติ เนื้อแดงเมื่อขนส่งในบรรยากาศของไนโตรเจนบริสุทธิ์จะเสื่อมเสียช้ากว่าการเก็บในบรรยากาศปกติ แต่การเก็บในบรรยากาศของไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวจะพบจุลินทรีย์พวกไซโครไฟล์หลังเก็บไว้ 18 วัน ที่อุณหภูมิ – 1 องศาเซลเซียส และ 14 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และเกิดการเน่าเสีย ส่วนในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ด้วย จุลินทรีย์จะเจริญได้ช้ากว่า ดังนั้นการเก็บในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ จะทำให้มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานกว่าการเก็บในบรรยากาศที่มีไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว

ไข่ทั้งเปลือก เมื่อเก็บในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ 0.55 % จะคงความสดไว้ได้ดีกว่าการเก็บในบรรยากาศปกติ

4.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอาหารที่เก็บโดยวิธี CAS

คุณภาพของอาหารที่เก็บโดยวิธี CAS นอกจากจะขึ้นกับปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมกับชนิดของอาหารแล้ว ยังมีปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอาหารดังนี้

1. ห้องเก็บต้องสามารถป้องกันการรั่วซึมของอากาศ เพื่อรักษาระดับของคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนให้คงที่ตลอดช่วงการเก็บรักษา

2. อุณหภูมิของห้องเก็บต้องคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงเกิน ± 0.5 องศาเซลเซียส และเป็นอุณหภูมิต่ำระดับแช่เย็นที่เหมาะสมสำหรับอาหารแต่ละชนิด

3. ความชื้นสัมพัทธ์ต้องเลือกให้เหมาะสมกับชนิดของอาหาร เช่น แอปเปิล ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม คือ 90 % พืชความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม คือ 90 – 95 %

การเก็บแบบ CAS สามารถใช้ความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าการเก็บในบรรยากาศปกติ ซึ่งนอกจากจะช่วยรักษาความกรอบ ความสดของผักและผลไม้แล้ว ยังช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก ไม่มีปัญหาการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์

4. การหมุนเวียนของอากาศที่เหมาะสม ภายในห้องเก็บควรมีอัตราการหมุนเวียนของอากาศประมาณ 1 – 1.5 ลบ.ฟุต/นาที/ปีทียู เพื่อให้อาหารที่นำมาเก็บมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว และห้องเก็บมีอุณหภูมิและองค์ประกอบของอากาศภายในสม่ำเสมอ

5. การกำจัดสารระเหยที่ผักและผลไม้ปล่อยออกมาในช่วงก่อนไคลแมกเทอริก (Preclimacteric)

4.4.2 วิธีการควบคุมปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์

การควบคุมปริมาณออกซิเจน

สามารถทำได้ทั้งโดยวิธีธรรมชาติและวิธีที่ไม่เป็นธรรมชาติ ดังนี้

วิธีธรรมชาติ ทำได้โดยนำอาหารเข้าไปในห้องเก็บ แล้วปล่อยให้เนื้อเยื่อหายใจใช้ออกซิเจน คายคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณออกซิเจนจะลดลงจนถึงระดับที่ต้องการ เมื่อเวลาผ่านไป ปริมาณออกซิเจนจะลดต่ำลงและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงกว่าระดับที่ต้องการ การจะเพิ่มปริมาณออกซิเจนและลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ก็ทำได้ โดยการปล่อยอากาศใหม่เข้ามาในห้องเก็บ แต่วิธีนี้มีข้อเสีย คือ ใช้เวลานานกว่าที่ระดับออกซิเจนจะลดลงถึงระดับที่ต้องการโดยเฉพาะพืชที่เย็นเร็วและมีอัตราการหายใจต่ำ นอกจากนี้ห้องเก็บต้องสร้างอย่างดี สามารถป้องกันการรั่วซึมของอากาศ และจะเปิดไม่ได้จนกว่าจะถึงเวลานำผลิตภัณฑ์ออก

วิธีที่ไม่เป็นวิธีธรรมชาติ (Artificial method) ทำได้โดยการพ่นก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์เข้าไปในห้อง หรือใช้อากาศที่ผ่านการกำจัดออกซิเจนโดยการสันดาปกับก๊าซมีเทน หรือ ก๊าซโปรเปน ($C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$) วิธีนี้มีข้อดีกว่าวิธีธรรมชาติ คือสามารถลดปริมาณออกซิเจนจนถึงระดับที่ต้องการอย่างรวดเร็ว โดยปกติลดปริมาณออกซิเจนลงถึงระดับ 6 – 8 % ใช้เวลา 24 ชั่วโมง การลดปริมาณออกซิเจนหลังจากนี้จนถึงระดับที่ต้องการให้เกิดจากการหายใจ (Gorini et al, 1990) นอกจากนี้ห้องเก็บไม่จำเป็นต้องป้องกันการรั่วไหลของอากาศอย่างสมบูรณ์ และในระหว่างการเก็บสามารถเปิด-ปิด หรือ นำอาหารเข้าออกจากห้องเก็บได้ตลอดเวลา เพราะสามารถเพิ่มหรือลดปริมาณออกซิเจนได้ทันที แต่วิธีการนี้จะทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น และมีปัญหาในด้านความปลอดภัยและการเผาไหม้ก๊าซโปรเปนไม่หมด ปัจจุบันได้มีการนำเทคนิคในการแยกอากาศเป็นก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจนโดยใช้หลักการของเมมเบรน (HFM,Hollow fiber membrane) และการดูดซับ(PSA,pressure swing adsorber) มาใช้

การควบคุมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์

ในระหว่างการเก็บเนื้อเยื่อพืชมีการหายใจใช้ออกซิเจนและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ปริมาณออกซิเจนต่ำลง และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงระดับที่อาจทำให้เกิดความเสียหายกับอาหาร การควบคุมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ทำได้โดยการระบายอากาศ (Ventilation) ปล่อยให้อากาศภายนอกเข้ามา หรือ กำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากเกิน โดยให้ทำปฏิกิริยากับสารเคมีบางชนิด เช่น ปูนขาวแห้ง (dry lime, CaO) สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ถ่านกัมมันต์ และสารละลายเอทาโนลามีน (ethanolamines) แต่วิธีที่นิยมใช้ คือ นำปูนขาวใส่ถุงแล้วนำมาวางเรียงไว้ในห้องเย็น หรือใช้ถ่านกัมมันต์หรือน้ำเป็นตัวดูดซับ (Absorption) ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย สะดวก และไม่เกิดการกัดกร่อน

4.5 การเก็บโดยมีการปรับบรรยากาศ

(Modified Atmosphere Storage, MAS)

การเก็บโดยมีการปรับองค์ประกอบของบรรยากาศในห้องเก็บให้ต่างไปจากบรรยากาศปกติ โดยปรับเฉพาะช่วงแรก อาหารที่เซลล์ยังมีชีวิต มีการหายใจ ทำให้องค์ประกอบของอากาศในห้องเก็บเกิดการเปลี่ยนแปลง หลังเก็บเป็นระยะเวลานานออกซิเจนจะถูกใช้ไปจนหมด ปริมาณออกซิเจนจะลดลงจนถึง 0 % ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นจนมีปริมาณมากกว่า 20 % สภาวะเช่นนี้นิยมใช้ในการเก็บเมล็ดพืช เพราะคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงจะช่วยทำลายแมลงและลดการเจริญของเชื้อรา

4.6 การบรรจุโดยมีการปรับบรรยากาศ

(Modified Atmosphere Packaging, MAP)

วิธีการ คือ บรรจุอาหารในภาชนะ ดึงอากาศภายในภาชนะบรรจุออก แล้วอัดก๊าซบริสุทธิ์หรือก๊าซผสมที่มีสัดส่วนของก๊าซต่าง ๆ ตามต้องการเข้าไป จากนั้นจึงปิดผนึกภาชนะบรรจุให้สนิท

การเก็บแบบ MAP จะตรงกันข้ามกับแบบ CAS โดยแบบ CAS จะต้องควบคุมระดับของก๊าซให้คงที่ตลอด ในขณะที่ MAP เป็นแบบบรรยากาศสมดุลที่เกิดจากอัตราการหายใจและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ในด้านการยอมให้ก๊าซซึมผ่าน ขนาดและพื้นที่ผิวของภาชนะบรรจุ น้ำหนักและปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ ปริมาณก๊าซที่บรรจุเข้าไปในตอน

เริ่มแรก อุณหภูมิและสภาวะในการเก็บรักษา เช่น แสง และอาจมีปัจจัยร่วมอื่นๆ อีกด้วย โดยปกติแล้วอัตราการหายใจของผลิตภัณฑ์จะทำให้ระดับของออกซิเจนลดลงต่ำกว่า 8 % และคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 1 % ในขณะที่ระดับก๊าซที่ก่อให้เกิดประโยชน์ คือ ออกซิเจน 2 – 4 % และคาร์บอนไดออกไซด์ 3 – 10 % (O'Beirne,1990) ในทางปฏิบัติบางผลิตภัณฑ์อาจจะใช้องค์ประกอบของบรรยากาศที่มีออกซิเจน 1 – 2 % คาร์บอนไดออกไซด์ 10 – 20 % การสร้างบรรยากาศดัดแปรภายในภาชนะบรรจุให้มีสัดส่วนตามที่ต้องการนั้นมี 2 วิธีด้วยกัน ได้แก่

1. Active modification คือ การแทนที่อากาศภายในภาชนะบรรจุด้วยก๊าซผสมที่มีสัดส่วนของก๊าซแต่ละชนิดตามต้องการ

2. Passive modification คือ การใช้คุณสมบัติของฟิล์มพลาสติกที่ใช้ทำภาชนะบรรจุเป็นตัวกำหนดสัดส่วนของก๊าซ โดยฟิล์มพลาสติกมีคุณสมบัติยอมให้ก๊าซชนิดต่างๆซึมผ่านได้ในอัตราที่แตกต่างกัน ดังนั้นต้องเลือกชนิดของฟิล์มพลาสติกที่สามารถให้ระดับออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ตามที่ต้องการ โดยที่ออกซิเจนถูกใช้ในกระบวนการหายใจตามธรรมชาติของผักผลไม้และปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา

จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียใน MAP จุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนไวต่อคาร์บอนไดออกไซด์ใช้ในการควบคุมการเน่าเสีย แกรมลบส่วนใหญ่ไวต่อคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าแกรมบวก ในอาหารที่เป็นโปรตีน เช่น เนื้อสัตว์ และปลา โดยทั่วไปมีผลในการยับยั้งแกรมลบ *Pseudomonas. ,Enterobacteriaceae, Acinetobacter sp.,Moraxella,* ขณะที่แกรมบวก เช่น แล็กติกแอซิดแบคทีเรีย และ *Brocothrix thermosphacta* เป็นจุลินทรีย์ที่มีจำนวนมากที่สุด เชื้อราต้องการออกซิเจน อาหารที่เสื่อมเสียจากเชื้อราเป็นสาเหตุหลัก เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี เนยแข็ง การบรรจุใน MAP สามารถชะลอการเน่าเสีย

MAP นิยมใช้กับผักและผลไม้ที่มีราคาแพง เช่น สตรอเบอรี ผักและผลไม้ตัดแต่ง ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา โดยลดการหายใจ กระบวนการเมแทบอลิซึม การผลิตก๊าซเอธิลีน การชะลอการสุก การสูญเสียน้ำ และการเสื่อมคุณภาพ

ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ตัดแต่งปัญหาหลัก คือ การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ภายใน 1 - 3 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ทำให้ไม่สามารถวางจำหน่ายต่อไปได้ แม้ว่าจะยังไม่เสื่อมเสียทางสรีระวิทยาหรือเน่าเสียจากจุลินทรีย์ ความรุนแรงในการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ขึ้นกับปริมาณเอนไซม์พอลีฟีนอลออกซิเดส สับซเตรท (Substrates) ที่ผิวหน้าตัด ความเข้มข้นของออกซิเจน และอุณหภูมิในการเก็บรักษา การควบคุมหรือชะลอการเกิดสีน้ำตาลทำได้โดยควบคุมระดับออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุให้ต่ำและเก็บที่อุณหภูมิต่ำ

สภาวะในการเก็บรักษาผักผลไม้สดมีความแตกต่างกันขึ้นกับการทนทานต่อสภาวะที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งเป็นช่วงที่ทำให้เกิดความเสียหายทางชีวภาพ นอกจากนี้ยังขึ้นกับอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษา การหายใจแบบใช้ออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ขณะที่การเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ก็เช่นเดียวกัน แต่การละลายจะลดลง ดังนั้นคาร์บอนไดออกไซด์ในเนื้อเยื่อจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นกับอุณหภูมิ การทนทานต่อคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเมื่อลดออกซิเจน เช่นเดียวกันการทนทานต่อออกซิเจนลดลงเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น

การใช้ออกซิเจนระดับสูงถึง 70- 100 % สามารถยับยั้ง *Y.enterocolitica* , *Pseudomonas* ,*Enterobacteriaceae* การบรรจุแบบMAP ที่มีออกซิเจนสูงพบว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์ที่ทำให้เปลี่ยนสี ป้องกันการหมักในสภาพที่ไม่มีอากาศ และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ มีการใช้ในการยืดอายุผลิตภัณฑ์อาหารสด เช่น เนื้อสัตว์ ผักกาด สเดอเบอรี ราสเบอรี องุ่น และส้ม (Ooraikul, 2003)

การออกแบบ MAP ต้องเกิดความสมดุลระหว่างออกซิเจนที่ถูกใช้ไปและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้น การเปลี่ยนแปลงของก๊าซทั้งสองชนิดเกิดได้หลายสาเหตุดังนี้ การละลายของก๊าซ ออกซิเจนละลายในน้ำและไขมันได้ค่อนข้างน้อย ขณะที่คาร์บอนไดออกไซด์ละลายในน้ำได้ดีโดยเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่ช่องว่างเหนือภาชนะบรรจุไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่การเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนเกิดจากการซึมผ่านวัสดุซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิ ความชื้น และการรั่วไหลของบรรจุภัณฑ์ ดังนั้นการออกแบบ MAP ต้องทราบข้อมูลการหายใจ การซึมผ่านของก๊าซ อุณหภูมิและความชื้น

การตัด ปอกเปลือก การหั่น ในขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดพร้อมปรุงและพร้อมบริโภค ทำให้เกิดสีเหลืองน้ำตาลจนถึงสีดำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ปฏิกิริยานี้ต้องการออกซิเจน การป้องกันการเกิดสีน้ำตาลทำได้โดยลดออกซิเจน การนำผักและผลไม้ตัดแต่งบรรจุในภาชนะบรรจุ ปรับบรรยากาศแบบ MAP และเก็บที่อุณหภูมิต่ำ จะช่วยแก้ปัญหาการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ได้ เช่น การใช้กับผักพาร์สนิพและผักกาดหอมหั่น การบรรจุแบบสุญญากาศชะลอการเกิดสีน้ำตาลในมันฝรั่ง การปรับบรรยากาศสำหรับแครอทและผักกาดหั่น นอกจากนี้ MAP ยังช่วยยับยั้งการเปลี่ยนแปลงทางสรีระของผักผลไม้สดตัดแต่งที่เกิดจากเอทิลีนที่ผักผลไม้สร้างขึ้นเมื่อเนื้อเยื่อถูกทำลายจากการตัดแต่ง หั่นชิ้น หรือรอยช้ำ

Lee et al. (1996) ทดลองเก็บสลัดผักรวมพร้อมบริโภค ซึ่งปกติจะเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว โดยเก็บแบบ MAP พบว่า การเก็บในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจน 2.0 – 2.1 % และคาร์บอนไดออกไซด์ 5.5 – 5.7 % จะสามารถรักษาคุณภาพของสลัดผักรวมได้ดีที่สุด

ผักสลัดตัดแต่งบรรจุในถุงพลาสติกชนิดโอเรียนท์พอลีโพรพิลีน(Oriented polypropylene) โดยไม่มีการเติมก๊าซ เตรียมและบรรจุที่อุณหภูมิต่ำ ป้องกันการปนเปื้อนและควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับต่ำ จะมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส 5 – 7 วัน นับจากวันที่ผลิต

ผักกะหล่ำตัดแต่งและหั่น บรรจุในถาดที่ก๊าซซึมผ่านไม่ได้ เติมก๊าซออกซิเจน 2 – 5 % คาร์บอนไดออกไซด์ 5 % และปรับสมดุลด้วยก๊าซไนโตรเจน ปิดผนึกด้วยพลาสติก PVC หลังจากนั้นจะเกิดบรรยากาศ MAP ที่สมดุลโดยมีก๊าซออกซิเจน 1 – 3 % คาร์บอนไดออกไซด์ 2 – 3 % พบว่า ในสภาวะเช่นนี้ผักกะหล่ำจะมีลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และกลิ่นรสที่ดี เป็นเวลา 3 – 4 สัปดาห์

อย่างไรก็ตามความผันแปรระหว่างสายพันธุ์ น้ำหนักบรรจุ ความหนาของแผ่นฟิลม์ และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ มีผลต่อสมดุลของ MP ถ้าระดับของออกซิเจนต่ำกว่า 1 % ในสภาวะที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ 2 – 6 % จะทำให้เกิด foul off – odours ดังนั้นที่สภาวะ MP สมดุล ควรมีออกซิเจนในช่วง 3 – 5 %

ผลิตภัณฑ์มันฝรั่งและแอปเปิล การใช้วิธี MAP เพียงอย่างเดียว ไม่สามารถจะป้องกันการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ได้ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้รับอนุญาตให้ใช้ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลและป้องกันจุลินทรีย์ แต่ผู้บริโภคบางกลุ่มอาจมีปัญหาจากการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จึงแนะนำให้ใช้กรดแอสคอร์บิกร่วมกับกรดซิตริกแทนการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Beirne,1990) pH ที่เหมาะสมสำหรับเอนไซม์ฟีนอลเลส โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 5 ถึง 7 การลด pH ลงต่ำกว่า 4 โดยใช้กรดซิตริกและแอสคอร์บิก ชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้โดยการลด pH และการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของคอปเปอร์ซึ่งจำเป็นสำหรับการทำงานของเอนไซม์

มันฝรั่งที่หั่นเป็นแท่ง บรรจุในถาด พ่นก๊าซออกซิเจน 5 % คาร์บอนไดออกไซด์ 10 % ไนโตรเจน 85 % หลังจากนั้นปิดด้วยฟิลม์ที่ทำจากพลาสติกชนิด LDP (25 ไมครอน) ซึ่งก๊าซซึมผ่านเข้าไปไม่ได้ เกิดสภาวะ MP สมดุล โดยมีปริมาณออกซิเจน 1 – 2 % คาร์บอนไดออกไซด์ 3 – 4 % ถ้านำมันฝรั่งไปจุ่มในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 10 % ก่อนบรรจุ จะสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส แต่ถ้านำมันฝรั่งไปทอดจะเกิดสีน้ำตาลเข้มกว่ามันฝรั่งที่ไม่ได้จุ่มในสารละลายกรดแอสคอร์บิก

ผลิตภัณฑ์พืชเมืองร้อนของประเทศไทยที่ส่งไปจำหน่ายในยุโรป บรรจุในถาดพลาสติก/โฟม แล้วปิดด้วยฟิลม์พลาสติกที่อากาศซึมผ่านได้ ทำให้เกิดบรรยากาศแบบ Passive MAP บรรยากาศในช่องว่างเหนือภาชนะบรรจุเปลี่ยนแปลงจากการหายใจ จนกระทั่ง

ถึงบรรยากาศสมดุลที่อุณหภูมิต่ำ ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีอายุการเก็บรักษาเฉลี่ย 10 – 14 วัน สำหรับการเก็บผลไม้ยากกว่าผัก เนื่องจากอัตราการหายใจของผลไม้สูงกว่าผักโดยเฉพาะในช่วงการสุก และผลไม้ก็ยังแบ่งเป็นแบบไคลแมกเทอริกและนอนไคลแมกเทอริก ขึ้นกับก๊าซเอทิลีนที่ผลิตขึ้น และความไวต่อก๊าซเอทิลีนในบรรยากาศที่เก็บ ผลไม้มีความไวต่ออุณหภูมิในการเก็บรักษา ผลไม้เมืองร้อนไวต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว นอกจากนี้ผลไม้ยังผลิตสารให้กลิ่นรสที่ผิดปกติในบรรยากาศดังกล่าว ผลไม้ที่ปอกเปลือก หั่น จะมีพฤติกรรมแตกต่างไปจากผลไม้ที่อยู่ในรูปทั้งผล ตัวอย่างเช่น กล้วย แอปเปิล กีวี ที่ปอกเปลือก และหั่นมีอัตราการหายใจสูงกว่าทั้งผล ขณะที่แคนตาลูปหั่นไม่เปลี่ยนแปลง ในทำนองเดียวกันการผลิตเอทิลีนในกล้วย แอปเปิล กีวีที่หั่น มีอัตราสูงกว่าทั้งผล 4 – 5 เท่า (Ooraikul, 2003)

อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ที่ผ่านการเตรียมและบรรจุแบบ MAP จะสิ้นสุดลง เมื่อมีการเจริญของจุลินทรีย์จนมีจำนวนเพิ่มขึ้นถึง 10^7 - 10^8 เซลล์ต่อกรัม จะเห็นการเน่าเสียเกิดขึ้น อาจมีการใช้วิธีจุ่มผักและผลไม้ในน้ำคลอรีนความเข้มข้น 100 ppm เป็นเวลา 5 นาที เพื่อลดจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น แต่อย่างไรก็ตามปัญหาที่สำคัญของการเก็บแบบ MAP คือ การเจริญและการผลิตสารพิษของ *Clostridium botulinum* ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน และที่อุณหภูมิสูงกว่า 4 – 5 องศาเซลเซียส โดยมีสาเหตุมาจากการหายใจของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิแปรปรวน การลดความเสี่ยงสามารถทำได้โดยเลือกใช้วัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม มีการควบคุมอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์อย่างดี และให้ความรู้กับผู้บริโภคถึงความจำเป็นในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ในตู้เย็น และใช้ภายในวันที่กำหนด

การใช้ MAP กับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ยืดอายุการเก็บรักษาได้ไม่ดีเท่าการเก็บแบบสุญญากาศ ไม่ว่ากับเบคอนและแฮมที่หั่นเป็นชิ้น แต่การใช้ MAP กับเนื้อสัตว์ที่หั่นเป็นชิ้นสามารถแยกออกจากกันได้ง่ายกว่า แล็กติกแอซิดแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์หลักที่พบในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แบบ MAP และทำให้เกิดการเสื่อมเสียหลังเก็บแช่เย็นหลายสัปดาห์ เมื่อมีจำนวนเพิ่มขึ้นถึง 10^8 – 10^9 เซลล์ต่อกรัม ในเนื้อดิบปริมาณออกซิเจนต่ำสุดที่ช่องว่างเหนืออาหารจำเป็นเพื่อรักษาสีแดงสด และความเสี่ยงจากโบทูลิซึม แต่ในเนื้อที่ผ่านกระบวนการสีแดงสดไม่ใช่เรื่องสำคัญและความเสี่ยงจากโบทูลิซึมมีน้อยโดยเฉพาะเมื่อมีแล็กติกแอซิดแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์หลัก แต่ถ้าปริมาณออกซิเจนสูงเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืนโดยเฉพาะถ้ามีไขมันอยู่สูง Mooller et al.(2000) พบว่า แฮมแผ่นพาสเจอไรซ์คงสีและกลิ่นได้ดีในสภาวะที่มีออกซิเจนน้อยกว่า 0.1 %

การบรรจุปลาและผลิตภัณฑ์ปลาแบบ MAP มีความเสี่ยงสูง เพราะสามารถแยก *Clostridium botulinum* ชนิด E และ nonproteolytic ชนิด B, F ได้จากสภาพแวดล้อมในทะเล (Davies,1995) ต้องระมัดระวังเพราะจุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถเจริญที่อุณหภูมิต่ำถึง 3.3 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังเป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้โปรตีนและไม่สามารถสังเกตเห็นการเสื่อมเสียที่เกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิต่ำการเสื่อมเสียทางประสาทสัมผัสเกิดก่อนการผลิตสารพิษ ยกเว้นในปลาคอดที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 – 12 องศาเซลเซียส ทั้งในอากาศ สุญญากาศและคาร์บอนไดออกไซด์ การผลิตสารพิษเกิดขึ้นก่อนการเสื่อมเสียทางประสาทสัมผัส โดยที่ผลิตภัณฑ์ยังเป็นที่ยอมรับแม้จะมีสารพิษโลทูลิซึมอยู่ก็ดาม วิธีการที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ปลาปลอดภัยจาก *Clostridium botulinum* โดยใช้โปแตสเซียมซอร์เบด โซเดียมคลอไรด์ และการฉายรังสีร่วมกับ MAP

ผลิตภัณฑ์เบเกอรี เช่น ขนมปัง ขนมปังหวาน และเค้ก (crumpet) ที่ทำจากแป้งสาลี ยีสต์ ผงฟู มี pH เป็นกลาง ความชื้นสูง โครงสร้างเป็นรูพรุน สาเหตุหลักของการเสื่อมเสียเกิดจากเชื้อราเนื่องจากความชื้นสูง การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เบเกอรีแบบ MAP อาจมีการเจริญของแล็กติกแอซิดแบคทีเรีย เป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นที่ผิดปกติ และเกิดการบวมของภาชนะบรรจุ

ส่วนผลิตภัณฑ์เบเกอรีที่มีส่วนประกอบหลากหลายทั้งแป้งสาลี น้ำตาล น้ำนม เนย เนยแข็ง ครีม และผลไม้ มี pH เป็นกลางถึงต่ำ ความชื้นสูง A_w สูง มีเปลือกสีน้ำตาลร่วนกรอบ เช่น มัฟฟิน เค้ก และพาย สาเหตุการเสื่อมเสียอาจเกิดได้ทั้งจากเชื้อรา ยีสต์ และแบคทีเรีย รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ ดังนั้นการกำหนดรูปแบบ MAP ต้องพิจารณาถึงสาเหตุของการเสื่อมเสียก่อน ต้องเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ องค์ประกอบของอากาศ และอาจใช้วัดถุกันเสียเข้ามาร่วมด้วย

การเจริญของเชื้อราที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์เบเกอรีเกิดขึ้นได้เมื่อมีออกซิเจนเหลืออยู่เหนือช่องว่างในภาชนะบรรจุมากกว่า 0.5 % ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้กับผลิตภัณฑ์เบเกอรีที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน เช่น ขนมปัง แม้บรรจุก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60 % และก๊าซไนโตรเจน 40 % ก็ตาม เพราะไม่สามารถกำจัดอากาศที่แทรกตามรูพรุนออกไปได้ ออกซิเจนที่เหลืออยู่เพียงพอที่จะกระตุ้นให้สปอร์เชื้อราเจริญได้ ดังนั้นผลิตภัณฑ์เหล่านี้ควรบรรจุโดยใส่ตัวดูดออกซิเจน ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60 % และก๊าซไนโตรเจน 40 % อย่างเดียว

ในขณะที่การเจริญของยีสต์มักเกิดในผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลและผลไม้ MAP โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60 % และก๊าซไนโตรเจน 40 % อย่างเดียวสามารถยืดอายุการเก็บรักษา

ได้เพียง 1 – 2 สัปดาห์ เพราะยีสต์จะคล้ายกับแล็กติกแอซิดแบคทีเรียสามารถทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติ และการบวมของภาชนะบรรจุเนื่องจากการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้วัตถุกันเสีย เช่น พาราเบน หรือ Natamycin ร่วมกับการใช้ MAP จะมีประสิทธิภาพในการควบคุมการเจริญของยีสต์ได้ดีกว่า วิธีที่มีประสิทธิภาพมากกว่า คือ การบรรจุตัวกำเนิดเอทานอล เช่น Ethicap ความเข้มข้นไอของเอทานอลในช่องว่างเหนือภาชนะบรรจุที่ 2 % สามารถยับยั้งการเจริญของรา ยีสต์ แบคทีเรีย

ผลิตภัณฑ์เบเกอรีที่ใช้MAP มีจำหน่ายกันอย่างแพร่หลายในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ไม่จำเป็นต้องเก็บในตู้เย็น แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส อาจทำให้อายุการเก็บรักษาสั้น และมีปัญหาในด้านเนื้อสัมผัส เช่น เปลือกพายนิ่มหรือเหนียวที่ผิวหน้า ในทางตรงกันข้ามอุณหภูมิต่ำเป็นสาเหตุของการแตก แห้ง จากการรีโทรเกรดของแป้ง

ผลิตภัณฑ์เบเกอรีที่มีความชื้นสูงและเก็บในบรรยากาศปกติ ถ้าปนเปื้อนด้วยสปอร์ของคลอสตริเดียมอาจก่อให้เกิดอันตรายได้ ดังนั้นสุขลักษณะของการผลิต การประกันคุณภาพที่เข้มงวด เป็นปัจจัยสำคัญในผลิตภัณฑ์เบเกอรี MAP แต่ในด้านเหตุผลของความปลอดภัยการเก็บในตู้เย็นเป็นสิ่งจำเป็นในผลิตภัณฑ์เบเกอรี MAP

ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ

การบรรจุแบบสุญญากาศหรือ MAP ซึ่งออกซิเจนถูกกำจัดออกไปสามารถรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการแปรรูปและมีปัญหาด้านจุลินทรีย์และการออกซิเดชัน อาหาร IMF เช่น ผักผลไม้เสื่อมเสียจากยีสต์ รา และการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่มีเอนไซม์ ผักและผลไม้แห้งที่มีส่วนประกอบของไขมันที่ไม่อิ่มตัวหรือมีรงควัตถุ เช่น คลอโรฟิลด์ แคโรทีนอยด์ หรือ ฟลาโวนอยด์ มักเกิดการเปลี่ยนแปลงจากการออกซิเดชัน นอกจากนี้ยังมีการใช้การบรรจุแบบสุญญากาศหรือเติมก๊าซไนโตรเจนกับสินค้าที่มีราคาแพง เช่น ผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งแห้ง กาแฟบด นัท นมผงพร้อมมันเนย มันฝรั่งแผ่น และขนมขบคี้ยว

การพัฒนา MAP เป็นไปใน 2 รูปแบบคือ ระบบการกำจัดออกซิเจนโดยใส่ถุงบรรจุสารดูดออกซิเจนลงไป และการผลิตฟิลม์ที่มีคุณสมบัติกำจัดออกซิเจนซึ่งมีสองชนิด คือ แบบที่แสงส่องผ่านได้เพื่อกระตุ้นให้ออกซิเจนซึมผ่านช่องว่างเหนือภาชนะบรรจุพลาสติกและกำจัดออกไป แบบที่สองสามารถกระตุ้นโดยไม่ต้องอาศัยแสง

การใช้ตัวดูดซับออกซิเจนไม่ใช่เรื่องใหม่ ในปีค.ศ.1989 ตัวดูดซับ ชื่อทางการค้า Ageless (ญี่ปุ่น) มียอดจำหน่าย 7 ล้านซองต่อปี และมีปริมาณเพิ่มขึ้น 20 % ต่อปี เพราะข้อดี

คือสามารถดูดออกซิเจนออกจากผลิตภัณฑ์ที่มีรูพรุน วิธีการง่าย ลดการใช้วัตถุกันเสีย รักษาสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำและมีดัชนีบอกโดยถ้าไม่มีออกซิเจน(0.1% หรือน้อยกว่า)ในบรรยากาศจะมีสีชมพู และมีสีน้ำเงินถ้าไม่มีออกซิเจน(0.5% หรือมากกว่า)ในบรรยากาศ

การใช้ตัวดูดออกซิเจนสามารถใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยการลดน้ำตาล เกลือ วัตถุกันเสียและบางครั้งสามารถเพิ่มความชื้นให้สูงขึ้นได้ ในปัจจุบันมีการใช้ถุงบรรจุตัวดูดซับออกซิเจนในผลิตภัณฑ์มากมาย เช่น ขนมปัง คุกกี้ พิซซา นอกจากนี้มีการพัฒนาตัวดูดซับให้สามารถดูดซับหรือผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ ผลิดและการดูดซับออกซิเจน ทั้งดูดออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ เช่นที่ใช้กับ เม็ดกาแฟสดคั่วบด มีอายุการเก็บรักษามากกว่า 3 เท่า รวมทั้งมีการใช้ถุงที่มีรูพรุนบรรจุเกลือ และติดไว้ที่ฐานของถาดและปิดด้วยพลาสติก grid pad ถูกกระตุ้นโดยไอน้ำที่เกิดจากการหายใจของผักและผลไม้สดหรือของเหลวที่แยกตัวออกจากอาหารสด ผ่าน grid ขึ้นอยู่กับชนิดเกลือ ซึ่งจะเปลี่ยนจากตัวหนึ่งเป็นอีกตัวหนึ่ง คาร์บอนไดออกไซด์และหรือออกซิเจนถูกปล่อย หรือ เอทิลีนและหรือคาร์บอนไดออกไซด์ถูกดูดซับ

ผลิตภัณฑ์อาหารในรูป MAP มีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและขยายตลาด อย่างไรก็ตามข้อกังวลเกี่ยวกับความปลอดภัยของ MAP ยังคงมีอยู่ การควบคุมอุณหภูมิเพียงอย่างเดียวไม่ใช่สิ่งที่เหมาะสมเพราะไม่สามารถควบคุมจุดที่ปลอดภัยได้ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษามากกว่า 10 วัน และไม่มีการให้ความร้อนในการทำลายสปอร์ของ *Clostridium botulinum* จำเป็นต้องใช้วิธีการอื่นร่วมด้วย เช่น pH a_w การฉายรังสี สารเคมีที่ใช้รวมทั้ง โปแทสเซียมซอร์เบต พอลีฟอสเฟต โซเดียมคลอไรด์ ลิโนลิอิก และไนซิน นอกจากนี้มีความจำเป็นในการเข้มงวดกับการขายปลีกและโครงสร้างการกระจายสินค้าแช่เย็น