الباب الأول: التعبئة في جو معدل Modified atmosphere packaging (MAP)

كثير من الأغذية القابلة للتلف كاللحوم،والأسماك،والدواجن،والبيض، والمخبوزات، والفاكهة، والخضر محدودة العمر التخزيني في وجود الأكسجين الجوي، ويرجع ذلك للتأثير الكيماوي للأكسجين الجوي ونمو ميكروبات الفساد الهوائية وإصابتها بالحشرات. هذه العوامل منفردة أو مجتمعه معا تؤدي إلى تغيرات في لون ونكهة ورائحة الغذاء وتدهور جودته الكلية. ويلجأ مصنعو الأغذية لإيقاف أو إبطاء هذه التغيرات إلى طرق الحفظ الفيزيائية والكيمياوية المختلفة. ونظرا لارتفاع تكاليف الطاقة المرتبطة بالتجميد والتجفيف ونموو وعي المستهلك تجاه المواد الحافظة دفع مصنعو الأغذية إلى طرق بديلة منها التعبئة في جو معدل كتقنية للحفظ استخدمت بكثرة لإطالة العمر التخزيني في إنجلترا،وفرنسا، وألمانيا، وباقي دول الاتحاد الأوربي، وجاري قبولها الآن في الولايات المتحدة الأمريكية وكندا.

يتركب الهواء العادي من 0.03٪ ثاني أكسيد الكربون 21 ٪ أكسجين، وباقي النسبة نيتروجين، ويعدل تركيب هذا الجو داخل العبوة (ومن هنا جاءت التسمية) عن طريق رفع الفراغ القمي من ثاني أكسيد الكربون وخفض محتواه من الأكسجين (وأيضا من النيتروجين) وذلك بهدف إطالة العمر التخزيني دون استخدام المعاملات الكيماوية أو الفيزيائية. وقد بدأ استخدام الجو المعدل في القرن التاسع عشر عندما عرف أن رفع ثاني أكسيد الكربون وخفض الأكسجين يؤخر التفاعلات الميتابوليزمية في الأغذية التي تتنفس ويؤخر نمو ميكروبات الفساد الهوائي. وفيما بين عامي 1920 و 1930 أجريت دراسات كثيرة لاستخدام الجو المعدل لإطالة العمر التخزيني للفاكهة والخضر والأسماك واللحم. وفي عام 1938 بلغت نسبة اللحم البقري المبرد في جو يزداد فيه ثاني أكسيد الكربون والذي يشحن من كل من أستراليا ونيوزلندا نحو 26 ٪ و 60 ٪ على الترتيب وامتد تطبيق التخزين في جو متحكم فيه (CAS) Controlled atmosphere storage إلى التفاح ليحفظ طازجا لمدة تزيد عن سبعة شهور باستخدام صحيح من الغازات مع ضبط درجة الحرارة والرطوبة. وحديثا توزع الأغذية في وحدات تعبئة قطاعي معبأة في جو معدل Modified atmosphere (MA) .

تعرف التعبئة في جو معدل Modified atmosphere packaging (MAP) بأنها تغليف المنتجات الغذائية في مواد تعبئة حاجزة للغازات حيث تتغير البيئة الغازية لإبطاء معدل التنفس وخفض النمو الميكروبي وتأخير الفساد الإنزيمي مع إطالة عمرها التخزيني. واقترح عام 1989 استخدام مصطلح التعبئة الفعالة (أو النشطة) Active packaging كتطور تقني للتعبئة الذكية Intelligent packaging وللتعبئة في ظروف جوية معدلة (MAP). وتعتبر التعبئة فعالة إذا أضافت مميزات أخرى للغذاء بجانب عملها الرئيس كحاجز للظروف الخارجية، أي إن التعبئة الفعالة هي التفاعلات الإيجابية بين العبوة والغذاء للمحافظة على جودة

وسلامة الغذاء وسلامة البيئة وذلك عن طريق التحكم بالظروف الجوية داخل العبوة مثل إزالة الأكسجين والرطوبة والإثيلين والتحكم في ثاني أكسيد الكربون بطرق حديثة آمنة بجانب استخدام الإنزيمات والعوامل المضادة للنمو البكتيري.

مميزات التعبئة في جو معدل

الفائدة الرئيسة التي ترتبط بالمواد الغذائية المعبئة في جو معدل برفع تركيز CO_2 هي:

1- إطالة العمر التخزيني لهذه المنتجات وما يرتبط بها من زيادة تسويقها.
2- كذلك تحسين عرض وتقديم المنتج.
3- زيادة رغبة وإقبال المستهلك.
4- خفض تكليف الطاقة المرتبطة بالتجميد ، وتكلفة تخزين المجمدات.

عيوب التعبئة في جو معدل

1- ارتفاع تكاليف أجهزة التعبئة.
2- مشاكل التخمر التي تسببها الميكروبات المقاومة لغاز ثاني أكسيد الكربون.
3- إنتاج بعض الروائح الحامضية نتيجة ذوبان ثاني أكسيد الكربون في بعض المنتجات مثل الأسماك.
4- انخفاض سعة ارتباط الماء وزيادة فاقد سائل التفكيك Drip نتيجة تغير رقم الأس الأيدروجين في الأغذية العضلية.
5- مشاكل بسيطة نتيجة التغير في لون Discoloration اللحم.
6- انهيار أو انبعاج Collapse العبوة في المنتجات التي يستخدم معها تركيزات مرتفعة من ثاني أكسيد الكربون (100٪)، ويتم التغلب على ذلك بخفض تركيز ثاني أكسيد الكربون وإحلاله بغاز النيتروجين أو باستخدام أغشية لها قدرة حجرية (عدم نفاذية) أعلى قليلا من الأغشية التي يحدث لها انبعاج.

طرق تعديل الجو داخل العبوة

تقسم هذه الطرق إلى نوعين:

أولا : التعديل السلبي أو المتولد بواسطة السلعة Passive or incommodity- generated modification

حيث يعبأ الناتج في غشاء يتميز بنفاذية غاز صحيحة ويعدل الجو داخل العبوة نتيجة استهلاك الأكسجين وتولد ثاني أكسيد الكربون من تنفس الناتج المعبأ . وتستخدم هذه الطرق في تعبئة الفاكهة والخضر حيث يعتمد الاحتفاظ بالمخلوط الصحيح للغاز داخل الناتج المعبأ على نفاذية الغشاء بحيث تسمح بمرور الأكسجين إلى العبوة بمعدل يماثل استهلاكه بواسطة الناتج ويسمح بتسرب ثاني أكسيد

الكربون بحيث يتوازن مع CO_2 المتكون بواسطة الناتج، حيث يؤدي الإخفاق في الوصول لهذا التوازن الغازي إلى نقص الأكسجين وتراكم CO_2 مسببا فساد الناتج.

ثانيا: التعديل الفعال (النشط) Active modification

يتم بعدة طرق منها التعبئة تحت تفريغ Vacuum، باستخدام مادة ماصة للأكسجين ومولدة لثاني أكسيد الكربون أو مولدة لبخار الإيثانول أو بالطريقة الشائعة لحقن الغاز والمعروفة باسم التعبئة الغازية. وعادة تستخدم التعبئة تحت تفريغ في تعبئة اللحوم لإطالة عمرها التخزيني والمحافظة على جودة اللحم الطازج حيث توضع في غشاء له نفاذية أكسجين منخفضة ويزال الهواء تحت تفريغ حيث تنخفض نسبة الأكسجين إلى اقل من 1 ٪ بينما يزداد ثاني أكسيد الكربون الناتج من تنفس النسيج والميكروبات في آخر الأمر إلى 10- 20 ٪ داخل الفراغ القمي للعبوة، ويزداد العمر التخزيني للحوم المعبأة نتيجة تثبيط نمو الميكروبات الهوائية المفسدة لها، خاصة أفراد جنس *Pseudomonas* و *Alteromonas* .

ومن الطرق الحديثة لتعديل جو العبوات، وضع حبيبات صغيرة Sackets- تشبه المواد المجففة- داخل الناتج المعبأ وهي عدة أنواع بعضها يمتص الأكسجين فقط أو يمتصه ويولد حجماً مساوياً له من ثاني أكسيد الكربون داخل فراغ العبوة أو يولد بخار الإيثانول بهدف إطالة العمر التخزيني للأغذية المعبأة

أجهزة التعبئة الغازية Gas packaging equipments

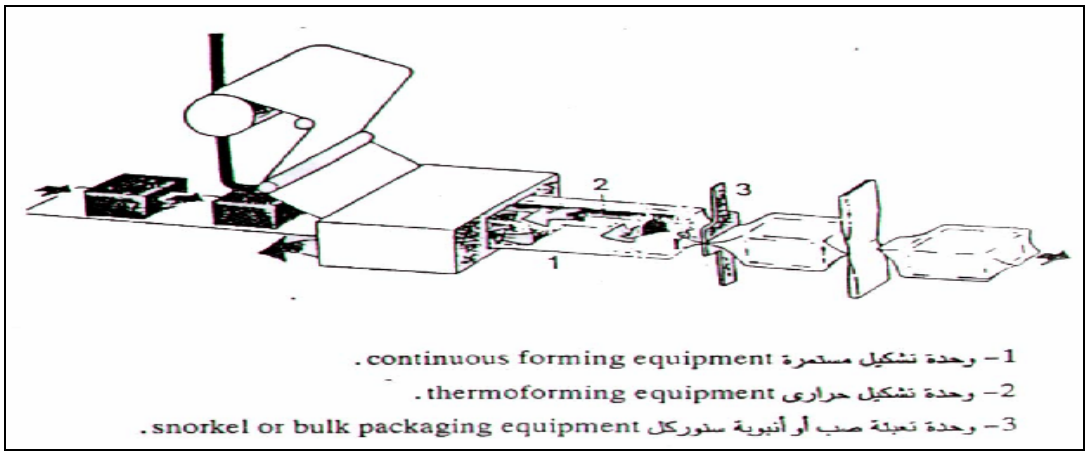
عادة ضغط الغاز داخل العبوة يساوي الضغط الجوي الخارجي (واحد ضغط جوي) ويمكن الوصول لذلك عن طريق ثلاثة أنواع من أجهزة التعبئة:

أولا: أجهزة التشكيل المستمر أو التدفق الغازي المفاجئ Continuous forming or gas flushing equipments

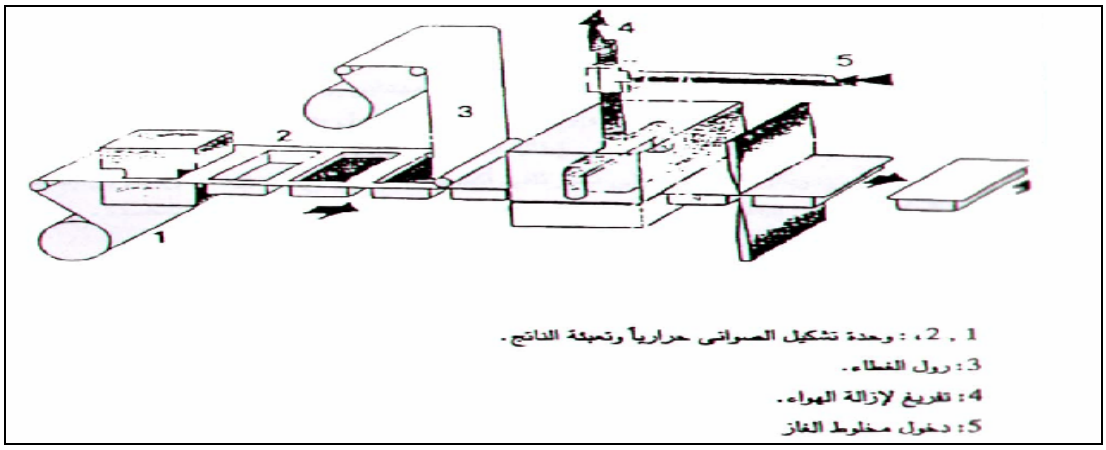
حيث تعمل الماكينة أنبوبة من الغشاء تحيط وتسيج Encloses الناتج ويدفع بمخلوط الغاز المناسب في تدفق مستمر في العبوة بحيث تخفف الهواء الموجود بها وتقفل نهايتي العبوة ثم تقطع لفصل كل عبوة عن الأخرى (الشكل 1) وتتميز هذه الطريقة بارتفاع معدل الإنتاج إلى 120 عبوة في الدقيقة.

ثانيا: أجهزة التشكيل الحراري Thermoforming equipments

حيث يوضع الناتج في صوان مشكلة حراريا ويعمل تفريغ لإزالة معظم الهواء ثم يكسر هذا التفريغ بإدخال مخلوط الغاز المناسب ثم تقفل الصواني بالحرارة بواسطة غشاء قمي رقيق. يوضح الشكل (2) النواتج المعبأة بالتشكيل الحراري التي تتميز بكفاءتها في إزالة الأكسجين إلى اقل من 1 ٪ .



شكل (1) جهاز التشكيل المستمر للتعبئة الغازية.



شكل (2) جهاز التشكيل الحراري للتعبئة الغازية.

ثالثا: أجهزة تعبئة الصب Bulk (Snorkel) equipments

توضع المنتجات المعبأة أو غير المعبأة في كيس كبير متصل بالماكينة ويدخل إليها أدوات Probes أو Snorkels لإزالة الهواء من داخل الكيس ويكسر التفريغ بدفق مخلوط الغاز المناسب،ثم تسحب الأدوات Probes، وتقفل الأكياس المحتوية على الغاز، ويخزن أو يوزع

دور الغازات المستعملة في التعبئة الغازية

من المعتاد استخدام غاز ثاني أكسيد الكربون،والأكسجين، والنيتروجين كمخلوط في التعبئة الغازية، ولأنها هي نفسها الغازات التي يتنفسها الإنسان فهي غير سامة أو ضارة ولا تعتبر من المواد المضافة ويلعب كل من هذه الغازات دورا متخصصا محددا في الأغذية المعدلة الجو كما يلي:

أولا : غاز النيتروجين (N_2)

غاز خامل ليس له تأثير على الأغذية وليس له تأثير مضاد على الميكروبات ويستخدم أساسا كغاز مالئ ليمنع العبوة من الانبعاج Collapse في المنتجات التي يمكنها امتصاص ثاني أكسيد الكربون، كما يستخدم أيضا ليحل محل الأكسجين في الأغذية منخفضة النشاط المائي A_w ويمنع الأكسدة والتزنخ

ثانيا : غاز الأكسجين (O_2)

يتم تجنبه في التعبئة الغازية إلا إذا استخدم ليؤدي أحد الوظائف الثلاث الآتية :

1- في تعبئة اللحوم الحمراء للمحافظة على اللون الوردي Bloom .

2- يستخدم بتركيزات منخفضة في تعبئة الأغذية التي تتنفس مثل الفاكهة والخضر.

3- لمنع الظروف اللاهوائية حيث يحد من نمو الميكروبات اللاهوائية الضارة وخصوصا *Clostridium botulinum* وهو أهم هذه الوظائف.

ثالثا : غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2)

أهم الغازات في مخلوط التعبئة الغازي، حيث إن له تأثيرا مثبطا لنمو بعض البكتيريا Bacteriostatic وبعض الفطريات Fungistatic كما يستخدم لمنع نمو الحشرات في منتجات الأغذية المعبأة والمخزنة..يذوب CO_2 بشدة في الماء والدهون مكونا حمض الكربونيك الذي يخفض رقم الأس الأيدروجيني مما يؤدي إلى تغيير طفيف في النكهة، ونتيجة لامتصاصه بالمنتجات المعبأة فانه قد يؤدي إلى انبعاج العبوات. وتوجد غازات أخرى لها صفات مضادة للميكروبات مثل أول أكسيد الكربون، وأكسيد الإثيلين، والأوزون ولكنها لا تدخل ضمن أنظمة التعبئة في جو معدل لأسباب عديدة منها ثبات الغازات وتكون بقايا سامة، ولذا توجد تحفظات على استخدامها في الأغذية إلا على نطاق ثابت محدود للغاية مثل استخدام أول أكسيد الكربون بتركيزات ضئيلة (1- 4 ٪) في اللحم المجمد ورؤوس الخس لمنع مشكلة تغير اللون Discoloration. ونوضح فيما يلي تأثير ثاني أكسيد الكربون المضاد للميكروبات والعوامل المؤثرة عليها :

1- فعل ثاني أكسيد الكربون المضاد للميكروبات

رغم كثرة الدراسات فان الميكانيزم الحقيقي لفعل ثاني أكسيد الكربون غير معلوم بدقة، ويمكن تلخيص نتائج هذه الدراسات فيما يلي:

1- إن إحلال CO_2 محل O_2 يشارك قليلا في التأثير الكلي المضاد للميكروبات ويؤدي إلى خفض (أو بطء) نمو الميكروبات الهوائية المفسدة.

2- يؤثر أيون CO_2 - بيكربونات على نفاذية الأغشية الخلوية.

3- غاز ثاني أكسيد الكربون له المقدرة على التحميض السريع وخفض رقم الأس الأيدروجيني الداخلي للخلايا الميكروبية وتأثيراته المتشبعة على الأنشطة الميتابوليزمية.

4- يؤثر ثاني أكسيد الكربون على بعض النظم الإنزيمية. وأيا كان السبب المسئوول عن التأثير على الميكروبات فان ثاني أكسيد الكربون يكون فعالا في إطالة العمر التخزيني للأغذية القابلة للتلف بتأخير النمو الميكروبي. ويكون التأثير الكلي لغاز ثاني أكسيد الكربون مع التبريد، عن طريق إطالة طور السكون Lag phase وزيادة الزمن الجيلي Generation time للميكروبات المفسدة .

2- العوامل المؤثرة على فعل CO_2 المضاد للميكروبات

وتشمل العوامل الآتية:

أ- أنواع الميكروبات

تختلف الميكروبات في حساسيتها لغاز ثاني أكسيد الكربون والتي تعتمد على احتياجاتها من الأكسجين. حيث يثبط نمو الميكروبات الهوائية المفسدة للحوم والدواجن والأسماك مثل *Pseudomonas* و *Acinetobacter* و *Moraxella* بواسطة تركيزات ثاني أكسيد الكربون المنخفضة (20- 30 ٪) ويثبط الفطر بتركيز 10 ٪ ثاني أكسيد الكربون رغم اختلاف حساسية الأنواع المختلفة لتأثير ثاني أكسيد الكربون المثبط.

ثاني أكسيد الكربون له تأثير مضاد ضعيف- أو غير مؤثر- على نمو بعض الكائنات الحية الدقيقة اللاهوائية اختيارا Facultative anaerobes مثل *Brochotrix thermosphacta* عائلة *Enterobacteriaaceae* أو بكتيريا حمض اللاكتيك المحبة لقليل من الهواء Microaerophilic التي يمكنها النمو في تركيزات مرتفعة من ثاني أكسيد الكربون (75- 100٪) ولا تتأثر البكتيريا اللاهوائية *Clostridium botulinum* و *Clostridium perfingens* بوجود ثاني أكسيد الكربون بل تحثها الظروف اللاهوائية في الأغذية المعبأة في جو معدل، ولهذه الميكروبات تأثيرات صحية ضارة خاصة عند التعبئة تحت ظروف لا هوائية تماما وعند التخزين عند درجات حرارة غير مناسبة Abuse. وتحت ظروف تعبئة في جو معدل تتحول الميكروبات المفسدة السائدة من ميكروبات هوائية إلى بكتيريا حمض اللاكتيك المقاومة لثاني أكسيد الكربون. ويؤثر أيضا عمر الميكروبات على الفعل المثبط لثاني أكسيد الكربون، حيث ينخفض عند تحول البكتيريا من طور السكون Lag phase إلى الطور اللوغاريتمي Log phase. وعلى ذلك فكلما أجريت التعبئة الغازية للناتج مبكرا كلما زادت فعالية ثاني أكسيد الكربون.

ب- تركيز ثاني أكسيد الكربون

تركيز ثاني أكسيد الكربون في مخلوط الغازات له أهمية كبرى لإطالة العمر التخزيني للناتج من الناحية الميكروبيولجية. فمعظم المنتجات الغذائية تحتاج إلى تركيز منخفض من ثاني أكسيد الكربون (20- 30 ٪ بالحجم) لتثبيط الميكروبات الهوائية المفسدة. وباستخدام تركيزات أعلى من ثاني أكسيد الكربون لا يزداد تأثير المثبط ولا تحدث إطالة إضافية للعمر التخزيني للناتج، ولكن تفيد هذه الزيادة في تعويض الفاقد من ثاني أكسيد الكربون في الفراغ القمي عبر غشاء التعبئة، بالرغم من أن تركيزات ثاني أكسيد الكربون المرتفعة تؤدي إلى تغير اللون وزيادة الفاقد من السائل المنفصل Drip في الأغذية العضلية، ومن ناحية أخرى، فان أقصى تركيز من ثاني أكسيد الكربون يستخدم مع الفاكهة والخضر يتراوح بين 5- 10 ٪ لتلافي المشاكل الناتجة عن زيادة التركيز.

أوضحت نتائج التجارب الأولية أن استخدام تركيز 25 ٪ ثاني أكسيد الكربون، في جو التعبئة الغازية يؤدي إلى تثبيط واضح لنمو كل من *Achromobacter* ، *Flavobacterium* ، *Micrococcus Bacillus* ، *Pseudacterium* ، بينما تثبيط تماما بتركيز 50 ٪ ثاني أكسيد الكربون، ويتراوح التركيز الأمثل لتثبيط ميكروبات الفساد الهوائية بين 40- 60 ٪ ثاني أكسيد الكربون. وقد أوضحت نتائج تجارب تالية أن أقصى تثبيط لميكروبات الفساد الشائعة: كأنواع *Pseudomonas Alteromonas putrefaciens* ، *Yersinia enterocolitica* ، يحدث عند تركيز 26 ٪ ثاني أكسيد الكربون في الهواء، بينما يحتاج التثبيط التام لبكتيريا *Brochotrix thermophacta* إلى تركيز مرتفع يبلغ 75 ٪.

أما النمو الفطري فيثبط بالتركيزات المنخفضة من ثاني أكسيد الكربون ، فعلى سبيل المثال فان عدداً من أنواع الفطريات *Aspergillus* ، *Rhizopus* ، *Ciadosporium* تثبط تماما باستخدام 5- 10 ٪ ثاني أكسيد الكربون عند واحد درجة مئوية، بينما يستخدم تركيز20- 30 ٪ لمنع نمو الفطريات على اللحوم، وتركيز30- 50 ٪ ثاني أكسيد الكربون للتثبيط التام لكل أنواع الفطريات في الخبز والكيك. و لا يرتبط هنا التثبيط بخفض الضغط الجزيئي للأكسجين في الجو الغازي حيث إن الفطريات يمكنها أن تستمر في النمو العادي عند تركيز أكسجين منخفض وثابت حتى 1 ٪ .

جـ- درجة حرارة التخزين

يعتبر ثاني أكسيد الكربون فعالا كمضاد للميكروبات عدد درجة حرارة منخفضة ويقل هذا التأثير عند درجات الحرارة العالية. ويرجع ذلك إلى زيادة ذوبان ثاني أكسيد الكربون في الوجه المائي للمنتجات عند درجة حرارة منخفضة والتي تؤثر على رقم الأس الأيدروجيني والنظم الإنزيمية داخل الميكروبات. ولا تعتبر التعبئة في جو معدل بديلا عن درجات حرارة التخزين المناسبة حيث يقلل من

التدهور في المنتجات الغذائية ولكنه لا يوقفها تماما. ويؤدي تخزين الأغذية العضلية في جو معدل على درجة حرارة لنمو الـ *Salmonella* و*Escherichia coli* الملقحة في اللحم المفروم المعبأ في أغشية منخفضة أو عالية النفاذية هي 12.5 درجة مئوية، بينما تنمو *Staphylococcus aureus* وتنتج السم المعوي Enterotoxin تحت الظروف اللاهوائية عند 10 درجة مئوية، وبالتالي فالتبريد ضروري لتأكيد فعالية ثاني أكسيد الكربون كعامل مضاد للميكروبات ولمنع نمو المرض منها.

د- نفاذية أغشية التعبئة

تعتبر نفاذية الأغشية من أهم العوامل المؤثرة على الفعل المضاد لثاني أكسيد الكربون. فنجاح أو فشل التعبئة في جو معدل مع الأغذية التي تتنفس والتي لا تتنفس يتوقف على عدم نفاذية مواد التعبئة للأوكسجين وCO_2 ويجب أن تتميز بمعدل انتقال منخفض لبخار الماء لمنع فقد أو اكتساب الرطوبة. ففي التعبئة الغازية يستخدم بوليمرات مثل النايلون الولي استر، PP، PVDC، EVOH، PE التي لا يتوفر في واحد منها بمفردة جميع الخواص المرغوبة في أغشية التعبئة، ولكن تكون عدة طبقات Laminated مضغوطة بين اثنين أو أكثر منها لإنتاج الأغشية الملائمة متعددة الطبقات كما يوضح في جدول (5) فيستخدم مع المنتجات التي لا تتنفس أغشية متعددة الطبقات مثل النايلون /Nylon PE، النايلون Nylon/ / PVDC أو النايلون Nylon/ EVOH/ PE. وتتميز هذه الأغشية المركبة بمعظم الخواص المرغوبة مثل القوة التي تكسبها من طبقة النايلون الخارجية، وعدم نفاذية الغاز والأبخرة التي تكتسبها من PVDC و EVOH، وقابلية الغلق الحراري من وجود PE. أما أغشية تغليف الفاكهة والخضر فيجب أن يتوفر لها المقدرة على المحافظة على التوازن بين تركيز أكسجين منخفض (3- 5٪) داخل الفراغ القمي للعبوة ومنع تراكم تركيز عال من CO_2 (لا يزيد عن 10٪) ويتوفر ذلك في أغشية PVC, LDPE.

جدول (5) خصائص بعض الأغشية العديدة الطبقات والمستخدمة في تعبئة الأغذية في جو معدل.

نوع الغشاء عديد الطبقات	السمك (ميكرون)	النفاذية (سم3/ م2/ 24ساعة/1ضغط جوي)		
		O_2	CO_2	N_2
PE/PVDC/PE	12/3/50	10 -8	30	8
UPVC/LDPE	400/75	15	30	4
Nylon/PVDC/PE	60/5/100	9	34	2.5
PVDC- COATED	15/60	4 -2		
UPVC/ PE	400/75	15		
Nylon/EVAL/Nylon/PE	25/10/25/100	5	20	1

تطبيقات التعبئة في جو معدل

يوضح الجدول (6) نسب مخاليط الغازات المستخدمة في تعديل جو العبوات والتي يمكن الوصول إليها بدراسات نظامية (ليس عن طريق المحاولة والخطأ) للمتغيرات المتشابكة التي تؤثر على طول العمر التخزيني للناتج، وستذكر أمثلة لنسب هذه الغازات المستخدمة مع المنتجات الغذائية المختلفة.

أولا : الأغذية العضلية (اللحوم والدواجن والأسماك)

تتميز الأغذية العضلية في حالتها الطازجة في وجود الأكسجين بعمر تخزيني محدود نتيجة النمو والنشاط الحيوي للبكتيريا السالبة لصبغة جرام من السلالات السيكروتروفية Psychographs لأجناس *Pseudomonas* ، *Achromobacter* ، *Flavobacierium* ، والتي يمكن تثبيطها بتعبئة الناتج في أغشية غير منفذة في جو غني بثاني أكسيد الكربون ، وتسود سلالات بكتيريا حمض اللاكتيك المحبة لقليل من الهواء Microaerophiles .ونتيجة تثبيط النمو البكتيري ينخفض تركيز ثلاثي ميثايل أمين (TMA) والنيتروجين الكلي الطيار (TVN). رغم أن الجودة الميكروبية تحتل الأهمية الكبرى لمصنعي الأغذية إلا أنه مع الوقت تحدث تغيرات كيماوية عديدة في الغذاء والتي تؤثر على الطزاجة، واللون، والنكهة، والقوام. فمثلا يعتبر وجود الأكسجين ضروريا للمحافظة على اللون الأحمر اللامع Bloom في اللحوم الجيدة إلا أنه يشجع النمو الميكروبي بعكس وجود ثاني أكسيد الكربون الذي يثبطه ويؤدي إلى تغير لون اللحم الطازج Discoloration.

ولتلافي تغيرات لون اللحم غير المرغوبة استخدم غاز أول أكسيد الكربون (CO) في نظم الجو المعدل في العبوات، حيث يتحد أول أكسيد الكربون مع صبغة الميوجلوبين Mb مكونا صبغة حمراء لامعة من كربو كسي ميوجلوبين Mb CO الذي يتشابه طيفيا مع الأوكسي ميوجلوبين Mb CO وهي الصبغة المسؤولة عن اللون الأحمر اللامع في اللحم الطازج. ووجد أن Mb CO أكثر ثباتا تجاه الأكسدة من Mb CO للارتباط القوي بين CO وبين حديد البورفيرين في جزيء الميوجلوبين. ويؤدي استخدام تركيزات منخفضة من أول أكسيد الكربون إلى تقليل التغيرات اللونية الضارة الناتجة من استخدام تركيزات عالية من ثاني أكسيد الكربون للمحافظة على السلامة الصحية في أثناء فترات النقل الطويل. وقد أثار استخدام أول أكسيد الكربون العديد من التساؤلات التي ترتبط بفاعليتة وأمانة، ومن غير الشائع استخدامه حاليا. وللتغلب على مشكلة تلون اللحم استخدم خليط غازات مكون من 70 ٪ ثاني أكسيد الكربون،و 20 ٪ أكسجين، و10 ٪ نيتروجين لمنع الانبعاج الداخلي للعبوة نتيجة ذوبان ثاني أكسيد

الكربون في اللحم، وأمكن تحت ظروف التبريد إطالة عمرها التخزيني إلى 10- 12 يوما مع احتفاظ اللحم بلونه.

عند تخزين شرائح لحم بقري Beef loin slices مطبوخة لمدة 11 أسبوع عند –20 °م لم يتأثر القوام بجو العبوة سواء كان هواء أو جوا معدلا (20 ٪ ثاني أكسيد الكربون و 80 ٪ نيتروجين)، لكن تحسنت النكهة والرائحة في الجو المعدل. فبعد التخزين وإعادة التسخين كان الطعم والنكهة أكثر لحمية Meaty واقل في الطعم المقدوح Wormed over والطعم الكرتوني والأكسدة (قيم حمض ثيوباربيتيوريك TBA) واقل في محتوى الهكسانال والبنتنال في الشرائح المعبأة في الجو المعدل عن الشرائح المناظرة المعبأة في الهواء.

جدول (6) بعض مخاليط الغازات المستخدمة في تعبئة بعض منتجات الأغذية العضلية. في جو معدل.

الناتج الغذائي	درجة الحرارة بالمئوي	النسبة المئوية (٪) للتركيز		
		O_2	CO_2	N_2
منتجات اللحوم				
لحم بقري طازج	2 -0	70	20	10
لحم منضج Cured	3 -1	0.0	30	70
أحشاء	2 -0	40	50	10
دواجن	2 -0	0.0	40 -20	80 -60
الأسماك				
بيضاء	2 -0	30	40	30
دهنية	2 -0	0.0	60	40
سالمون	2 -0	20	60	20
سكامبي Scampi	2 -0	30	40	30
جمبري	2 -0	30	40	30

وجد أن اللحم البقري المعبأ تحت تفريغ أو في جو معدل قد احتوى على عددٍ ميكروبي لا هوائي أعلى بكثير من عدد الميكروبات الهوائية وازداد الفرق وضوحا أثناء الثلث الأخير من التخزين عند 2 °م في عبوات الجو المعدل، وكانت معظم العزلات اللاهوائية منها عبارة عن بكتيريا حمض اللاكتيك من نوع *Cocci* و *Staphylococci* ولم تعزل منها أي *Clostridia*.

ففي اللحم المنضج Cured، فانه لا ضرورة لوجود الأكسجين لأنه يسبب أضرارا لونية للناتج ويجب أن يعبأ في مخلوط متساو من ثاني أكسيد الكربون والنيتروجين أو في 100 ٪ من أيهما بشرط خلوهما من الأكسجين.

وتعتبر المعاملة المزدوجة للحم الدجاج بالسوربات والتعبئة في جو معدل من ثاني أكسيد الكربون من أكثر النظم كفاءة في تثبيط الميكروبات المفسدة خاصة أنواع *Pseudomonas*، دون خلق ظروف بيئية اختيارية تشجع نمو بكتيريا حمض اللاكتيك في الناتج وتؤدي إلى إطالة العمر التخزيني 3 أيام أكثر من الكنترول المعبأ في الهواء عند 10 °م. وكان عد الميكروب اقل من 10 مستعمرة لكل جرام في فطائر الدجاج المعبأة في أكياس PE أو تحت تفريغ Vacuum skin، ولا تؤثر طريقة التعبئة على المواد المتفاعلة لحمض ثيوباربيتيورك TBARS الأولية رغم أنه بزيادة مدة التخزين تزداد قليلا كمية TBARS وزيادة كل من البنتنال والهكسنال .

تؤدي تغييرات الأكسدة الذاتية في الأسماك إلى تكوين الدهيدات وكيتونات وكحولات وأحماض كربوكسيلية منخفضة الوزن الجزيئي. ويعتمد نوع مخلوط الغاز المستخدم في التعبئة على محتوى الأسماك من الدهون والتي تختلف من 1٪ في الأسماك منخفضة الدهون إلى 20٪ في الماكريل والرنجة. ويمكن تعبئة الأسماك منخفضة الدهون في مخلوط من 60٪ ثاني أكسيد الكربون و 40٪ أكسجين، بينما تجرى تعبئة أسماك الماكريل والرنجة عالية الدهون في جو خال من الأكسجين لمنع مشاكل التزنج. وتفسد شرائح الأسماك المعبأة في 100٪ هواء بعد 9 أيام كما يظهر من خواصها الحسية، وازدياد رقم الأس الايدروجيني للسطح، ومحتوى ثلاثي ميثايل أمين TMA، قيم – K، والعد الميكروبي. وبزيادة مستوى ثاني أكسيد الكربون من 25 إلى 75٪ في جو العبوة فإن عمر التخزين لسمك البلطي ازداد بمقدار يتراوح بين 4 إلى 21 يوماً مقارنة بنفس شرائح السمك المعبأ في100٪ هواء . وبالرغم من أن شرائح السمك المعبأ في 75 ٪ ثاني أكسيد الكربون و25٪ نتروجين كان مقبولا بالتحكيم الحسي إلا أن قيم – K له كانت مرتفعة (بلغت93.1٪) وهي تعتمد فقط على طول فترة التخزين في الجوى المعدل ولا تعتمد على الفساد. وعند 4 °م وجد فرق لوغاريتمي في العد البكتيري بعد 2،4،6 أيام بين السمك المخزن في جو ثاني أكسيد الكربون . مقارنة بالكنترول المخزن بدون ثاني أكسيد الكربون .كما سبق القول فإن ثاني أكسيد الكربون في جو العبوات يثبط بكتريا الفساد السالبة لصبغة جرام مثل *Pseudomonas* وينشط البكتريا الموجبة لصبغة جرام مثل*Lactobacillus*. وتنخفض أيضا قيم TVN في السمك المخزن في جو معدل يحتوي على ثاني أكسيد الكربون عند 4 °م ولمدة 2إلى 8 أيام مقارنة بالمخزن بدون ثاني

أكسيد الكربون، وبالتالي فإن تعبئة السمك الطازج وتخزينه في جو ثاني أكسيد الكربون يؤدي إلى إطالة عمره التخزيني.

فبمعاملة شرائح سمك السنور Catfish المثلجة الطازجة بجرعة إشعاع منخفضة (50- 100كيلو راد) ثم عبئت في جو معدل من 80٪ ثاني أكسيد لكربون و20٪ هواء أو 100٪ ثاني أكسيد الكربون فلم يوجد فرق بينها وبين الكنترول المعبأة في 100٪ هواء، أي إن المعاملة بالإشعاع في وجود أو غياب جو معدل من ثاني أكسيد الكربون تخفض الحمل البكتري وتطيل العمر التخزيني من 5- 7 أيام إلى 20- 30 يوماً . ووجد أن استعمال ثاني أكسيد الكربون يكون فعالا في تأخير النمو الميكروبي أثناء التخزين المبرد لعبوات الجملة للجمبري البني الطازج ويتناسب الفعل التثبيطي مع تركيز ثاني أكسيد الكربون وينخفض كل من رقم الأس الأيدروجين لسطح الجمبري وقيم TVN في العبوات المحزنة في جو معدل بينما تزداد في الجمبري المخزن في الهواء.

فالأثر البالغ للتعبئة الغازية هو إطالة العمر التخزيني للناتج حيث يتضاعف ثلاث مرات تقريبا للحم والدواجن والأسماك مقارنة بتلك المعبأة في الهواء وبشرط تخزينها بالتبريد، حيث تمثل درجة حرارة التخزين عاملا حرجا للحصول على أقصى فائدة مرجوة لإطالة العمر التخزين للأغذية في جو معدل من ثاني أكسيد الكربون.

ثانيا: الحاصلات البستانية Horticultural products

يقدر الفاقد النوعي والكمي في الحاصلات البستانية أثناء الجمع والتداول وحتى تصل إلى المستهلك بحوالي 20- 50٪ في الدول النامية ، وبحوالي 5- 25٪ في الدول المتقدمة، فمثلا قدر الفاقد نتيجة تلف ثمار الفاكهة والخضر بحوالي واحد بليون دولار سنويا في الولايات المتحدة الأمريكية. ولخفض هذا الفاقد تستخدم التعبئة في جو معدل مع درجة حرارة التخزين المناسبة حيث يؤدي استخدام التعبئة في جو معدل للحاصلات البستانية الطازجة إلى:

أ- تثبيط الفساد الميكروبي، كنمو الفطريات على السطح.

ب- خفض الأنشطة التنفسية مما يؤخر النضج والشيخوخة Senescence تعتبر تعبئة الفاكهة والخضر في جو معدل من أكثر التحديات التي تجابه صناعة التعبئة حيث تختلف الحاصلات البستانية عن غيرها من الأغذية الطازجة في استمرارها في التنفس بعد حصادها، مما يؤدي إلى تراكم ثاني أكسيد الكربون حولها وانخفاض الأكسجين . تحت هذه الظروف يحدث التنفس اللاهوائي (التخمر) مع إنتاج كحولات وألدهيدات وكيتونات تؤدي إلى نكهة ورائحة غير مقبولين في الناتج . ولتلافي نقص (أو مجاعة) الأكسجين في النواتج المعبأة في جو معدل فيجب أن لا يقل الأكسجين في الفراغ القمي للعبوة

عن 2٪ ويرتفع ثاني أكسيد الكربون إلى حوالي 2- 6٪، رغم أنه يمكن تخزين الفراولة مع 25٪ ثاني أكسيد الكربون لفترات طويلة. ويوضح جدول (7) نسب تركيب بعض مخاليط الغازات التي تستخدم مع التفاحيات وبعض أصناف الخضر. ولا يسمح باستخدام أول أكسيد الكربون CO في التعبئة الغازية للأغذية إلا بحوالي 4٪ بالحجم في الجو المعدل لتخزين قلوب الخس *Lcttuce cores* لتأخير التلون البني، وهذا هو السماح الأوحد لاستخدام أول أكسيد الكربون في حفظ الأغذية عن طريق السلطات التشريعية.

ويرجع نجاح تخزين الفاكهة والخضر بعد التعبئة في جو معدل إلى التوازن الصحيح في مخلوط الغازات داخل الفراغ القمي للعبوة باستخدام ماد تعبئة مطورة تسمح بانتقال الغازات اختياريا- وكذلك الرطوبة- تحت ظروف يمكن التحكم بها لخفض النشاط الحيوي للثمار بدون خفض كبير في الأكسجين أو تراكم ثاني أكسيد الكربون في الفراغ القمي للعبوة، وعادة تستخدم أغشية PE، PVC، والسيلوفان في هذا الصدد. وتستخدم في فرنسا أكياس من PE مزودة بنوافذ من السليكون المطاطي Rubber silicon لإحكام نفاذية الأكسجين وثاني أكسيد الكربون . ويمكن لهذه الأكياس أن تحفظ من 3- 5 ٪ من كل من الأكسجين وثاني أكسيد الكربون. ويؤدي استخدام جو معدل مع درجة حرارة تخزين صحيحة إلى إطالة العمر التخزيني بين 15 إلى 30 يوم في الفاكهة والخضر والسلاطة المحضرة.

جدول (7) بعض مخاليط الغازات المستخدمة في تعبئة بعض منتجات الحاصلات البستانية في جو معدل.

الناتج الغذائي	درجة الحرارة بالمئوي	النسبة المئوية (٪) للتركيز		
		O_2	CO_2	N_2
تفاحيات	0- 4	3- 6	4- 6	توازن*
بروكلي	5- 10	1- 2	10	توازن
كرفس	2- 5	4- 6	2- 6	توازن
خس	5	2- 3	5- 6	توازن
طماطم	5- 10	4	4	توازن

*يقصد بها نسبة غاز النيتروجين التي تكمل نسبة 100 ٪ في مخلوط الغازات .

تعاني نظم التعبئة في جو معدل والمصممة لإنتاج أكسجين أمثل عند درجات حرارة مناسبة من تعقيدات ارتفاع درجة الحرارة الانتقالية Transient خلال عملية التخزين أو النقل، فيزداد معدل تنفس الفاكهة والخضر بارتفاع درجة الحرارة أكثر من ارتفاع نفاذية الأغشية للغازات . ويؤدي ارتفاع درجة الحرارة عن

الدرجة المثلى إلى نقص الأكسجين (اختناق Anoxia) في أنسجة الثمار وإلى تلف واضح فيها وبالتالي يلزم زيادة النفاذية للغازات وتعويض درجة الحرارة لتساوي قيم Q_{10} التي تحتاجها نظم التعبئة في جو معدل ليعمل بفاعلية. ويؤدي استخدام أغشية ذات نفاذية أكسجين منخفضة إلى حدوث التنفس اللاهوائي وازدياد بكتيريا حمض اللاكتيك وزيادة تسرب البوتاسيوم. من ناحية أخرى يؤدي استخدام أغشية ذات نفاذية أكسجين عالية في تعبئة الجزر المفروم Grated carrots إلى حدوث التنفس الهوائي والاحتفاظ بالجودة مع انخفاض نسبة السكروز أثناء التخزين .

تصبح الطماطم غير صالحة للأكل في فترة تتراوح بين 17 إلى 46 يوم ويتوقف ذلك على درجة حرارة التخزين. واكتشف السم البوتشيوليني Botulinum في 80 ٪ من عينات الطماطم التي احتفظ بها لمدة من 2 إلى 9 أيام بعد الزمن المقدر لعدم أن تتلف بشدة وليس بعد نقطة قبولها حسيا. على ذلك فان مخاطر التسمم البوتشيوليني Botulism نتيجة استهلاك الطماطم الكاملة التي أطيل عمرها التخزيني يكون مؤكداً.

بضبط رطوبة الفول Black beans المخزن في عبوات غير منفذة (PP/PE/AI foil laminate) وجد أنه يتصلب (يتحصرم) بمعدل منخفض مقارنة بالمخزن في أكياس PP المعزولة.كما يتصلب الفول المخزن تحت الأرض في عبوات غير منفذة بدرجة اقل نتيجة انخفاض درجة الحرارة في هذا النوع من التخزين. ولا يؤثر تعديل الجو بغازي ثاني أكسيد الكربون والنيتروجين بدرجة ملموسة على تصلب (حصرمة) الفول غير الكامل.

ثالثا: منتجات الخبيز Bakery products

تعاني المخبوزات من التلف بالفطريات وبالتالي يكون عمرها التخزيني محدودا. وللتغلب على ذلك فانه يضاف لها بعض المواد الحافظة كالبنزوات والسوربات ولكنها تؤدي إلى تغيرات نكهة ورائحة الناتج. ولتلافي ذلك يعبأ الخبز أو الكيك في مخلوط من الغازات يحتوي على 60 ٪ ثاني أكسيد الكربون أو أكثر مما يؤدي إلى إطالة عمرها التخزيني بنسبة 300- 400 ٪ ويعتمد ذلك على نشاط الماء a_w في الناتج حيث تكون إطالة العمر التخزيني مؤكدة في المنتجات منخفضة النشاط المائي (a_w تساوي0.85أو اقل) وتحدد أيضا نوع الفطر. ففي المنتجات منخفضة الرطوبة تسود فيها الفطريات المفسدة التي تنمو جيدا في الوسط الجاف *Xerophilic fungi* مثل *Aspergillus glaucus*. أما في المنتجات ذات النشاط المائي المرتفع مثل الكعك اللين (كر ومبيت Crumpet) وفطائر الفاكهة فانه يسود بها بعض أفراد الجنس *Penicillium*. وأمكن إطالة عمر كر ومبيت خالية من الفساد بالفطر لمدة شهر بتعبئتها60٪ بثاني أكسيد الكربون. وقد يمكن إطالة عمرها التخزيني عن ذلك قليلا باستخدام

تركيز أعلى من ثاني أكسيد الكربون إلا أن الناتج المعبأ قد يمتصه مما يؤدي إلى انهيار العبوة نتيجة تأثير التعبئة التفريغي Vacuum packed effect.

التعبئة الغازية استخدمت في بعض الدول الأوروبية مثل فرنسا وألمانيا لإطالة العمر التخزيني للخبز والكيك، حيث يفيد وجود ثاني أكسيد الكربون في الجو المعدل في منع ظاهرة الطعم البايت Staling. فتستعمل أغشية تعبئة حاجزة مع منتجات الخبيز مثل Nylon /PE/ PVDC، مغطى بـ PP و PE أو بأيونومير السار يلن Suryln. يوضح جدول (8) أمثلة على منتجات الخبيز المعبأة غازيا.

جدول (8) بعض مخاليط الغازات المستخدمة في تعبئة بعض منتجات المخابز في جو معدل.

الناتج الغذائي	درجة الحرارة بالمئوي	النسبة المئوية (٪) للتركيز	
		CO_2	N_2
خبز	درجة حرارة الغرفة	60	40
كيك	درجة حرارة الغرفة	60	40
فطائر رقيقة محلاة Crepes	درجة حرارة الغرفة	60	40
الكعك اللين المستدير غير محلى	درجة حرارة الغرفة	60	40
فطائر فاكهة	درجة حرارة الغرفة	60	40

رابعا: المكرونة (العجائن) الطازجة ومنتجات أخرى Fresh pasta and other products

تستخدم التعبئة الغازية حاليا لإطالة العمر للعجائن الطازجة ومنتجات الأغذية الخفيفة (التسالي Snaks) والمحافظة على جودتها. تتعرض العجائن الطازجة للفساد بنمو البكتريا والفطر ومشاكل التزنج نتيجة أكسدة الدهون. ويمكن منع هذه المشاكل بإزالة الأكسجين من الفراغ القمي للعبوات بتعبئتها في مخلوط غازي من ثاني أكسيد الكربون والنتروجين (جدول 9). أما منتجات الأغذية الخفيفة الأخرى والتي تتميز بنشاط مائي منخفض (أقل من 0.6) فإن تعبئتها في 100٪ نتروجين يكون كافيا لمنع التزنج التأكسدي وغالبا فإنها لا تتعرض للفساد الميكروبي لانخفاض النشاط المائي ولا نحتاج لوجود ثاني أكسيد الكربون في مخلوط غازات التعبئة.

وجد أن طريقة تعبئة الفول السوداني ذي القشرة الجافة مبكر الحصاد لا تؤثر على نكهته بعكس حجم البذرة: فالفول السوداني الذي نصف قطرة من 6.35- 7.14 مم يفقد نكهته بانتظام أثناء التخزين (لارتفاع محتواه الرطوبي) وتنتج منه زبدة فول سوداني داكنة اللون بالمقارنة بالفول ذي الحجم الكبير (نصف قطر أعلى من 8.33 مم) والفول السوداني المقشر (نصف قطره أعلى من 6.75 مم). ويؤدي تخزينه في أجولة نسجية Burlap إلى دكانة أغلفة البذور بعد 6 شهور بينما يؤدي تخزينه في أجولة من

اللدائن في جو من ثاني أكسيد الكربون إلى رفع محتواه من الرطوبة وينتج زبدة فول سوداني داكنة اللون.

جدول (9) بعض مخاليط الغازات المستخدمة في تعبئة بعض منتجات الأغذية العضلية في جو معدل.

الناتج الغذائي	درجة الحرارة بالمئوي	النسبة المئوية (٪) للتركيز	
		CO_2	N_2
المكرونة والوجبات الجاهزة			
المكرونة	4	80	20
لازانيا	4 -2	70	30
بيتزا	5	52	48
ملفوف السجق	4	80	20
منتجات أخرى			
شرائح البطاطس	درجة حرارة الغرفة		100
النقل (المكسرات)	درجة حرارة الغرفة		100

أمان وسلامة الأغذية المعبأة في جو معدلSafety of MAP foods

توجد مخاوف متزايدة من الأغذية المعبأة في جو معدل من ناحية تأثيرها على الصحة العامة خاصة عند تعرضها لدرجات حرارة غير مناسبة أثناء توزيعها وتخزينها القطاعي أو التي يستخدمها المستهلك. ومن أكبر المشاكل في هذه الأغذية نمو وإنتاج التوكسين بجراثيم *Clostridium botulinum* (طرز A، B، وE) والتي تمثل خطرا على المستهلك. ويزداد نمو جراثيم *Clostridium botulinum* وإنتاجها للتوكسين في الأسماك المعبأة في جو معدل وفي الساندويتشات المعبأة في جو من النتروجين وفي البطاطس المعبأة تحت تفريغ خاصة إذا خزنت عند درجة حرارة غير مناسبة. على الرغم من هذا لم توجد دلائل قوية على وجود مخاطر أعلى في حالة التعبئة الغازية مقارنة بالتعبئة في الهواء خاصة عند استخدام درجات حرارة غير مناسبة لانخفاض فاعلية ثاني أكسيد الكربون ويعتقد أن إدخال الأكسجين في الفراغ القمي قد يمنع مخاطر نمو بكتريا *Clostridium botulinum* في المنتجات المعرضة للتلوث بها وأوضحت الدراسات الحديثة عدم ضرورة ذلك لأنه لا يعطي حماية إضافية ضد *Clostridium botulinum*.

ووجد أن تخزين الأغذية المعبأة في جو معدل لا يزيد من مخاطر الميكروبات المرضية غير المكونة للجراثيم مثل *Salmonella species, Staphylococcus aureus* حيث تثبط بتركيزات ثاني أكسيد الكربون المرتفع، ويزداد التثبيط بخفض درجة حرارة التخزين. ويمكن أن تنمو بكتريا *Yersinia*

enterocolitica و*Listeria monocytogenes* على درجات حرارة التخزين المبرد ويحتاج إلى مزيد من الدراسات عن نمو هذه الميكروبات في الأغذية المخزنة في جو معدل. ويحتاج التطبيق الفعال للتعبئة في جو معدل إلى تقدير دقيق لكيمياء وفسيولوجيا وميكروبيولوجيا النظم الغذائية وعلاقتها بمواد التعبئة وبالظروف البيئية الدقيقة المتغيرة.

وقد أدى إدراك مميزات تقنية الأغذية المعبئة في جو معدل كتقنية مستقبلية للحفظ والتعبئة مما يفتح أفاقاً جديدة لتصنيع منتجات غذائية جديدة تختلف في طرق تخزينها وتوزيعها.

الأمان الميكروبي لمواد التعبئة والتغليف

يجب أن تخلو مواد التعبئة والتغليف من أية ميكروبات ممرضة والتي لها خطورة على صحة المستهلك. فمثلاً يجب أن تخلو مواد تعبئة الوجبات سابقة الطهي المجمدة من بكتريا *Salmonella*، بينما يعتبر تواجد أعداد قليلة من جراثيم *Clostridium perfringens* في مواد تعبئة التوابل قليل الأهمية لتواجد هذه البكتريا عادة في التوابل المجففة.

عامة يجب ألا تحتوي مواد التعبئة إلا على أعداد ضئيلة للغاية من الميكروبات المسببة للفساد. فيشترط في الولايات المتحدة الأمريكية ألا تحتوي مواد عبوات الأغذية على أكثر من 250 ميكروب لكل جرام ولا على أكثر من ميكروب واحد لكل سم^3 في عبوات اللبن. وعادة تقل أعداد البكتريا على سطح رقائق وأنابيب اللدائن المستخدمة في تصنيع الأغذية إلى 1- 20 ميكروب لكل 1000 سم^3 بمتوسط أقل من 10. لوحظ أن عدداً بسيطا من الميكروبات تظل حية في اللدائن التي تم فردها عند 220 ^{o}م.

الولي استرين PS يعتبر مادة تعبئة صحيحة لتعبئة البيض مقارنة بالكرتون ومنتجات الخشب لأنها خاملة بالنسبة للنشاط الميكروبي. ووجد أن لبعض مواد اللدائن خواص مضادة للبكتريا لما يتواجد معها من ورنيشات الألكيد وراتنجات PVC/ فينول أو عديد الأسيتال. مع ذلك فقبل اختيار مادة العبوة يجب التأكد من أن المادة المضادة للميكروبات لن تلوث المادة الغذائية بها. ولا يحتوي الورق المستخدم في صناعة العبوات الورقية على ميكروبات مرضية لارتفاع درجة حرارة التجفيف (أثناء تصنيع الورق) إلى 220 ^{o}ف لمدة لا تقل عن 80 ثانية، وعلى ذلك فهو خال تماما من الميكروبات المرضية. ومعظم الميكروبات التي وجدت بالورق بعد صناعته هي من النوع المقاوم للحرارة والمكون للجراثيم عادة والمنتشر في الطبيعة- سواء في الهواء، أو التربة، أو الماء- وأكثر هذه الميكروبات شيوعاً *Bacillus subtillis*، *Bacillus megaterium , Bacillus macroides*. ووجد بعض أنواع من الفطريات تنتمي للأجناس التالية *Cladosporium , Aspergillus , Alternaria, Penicillium,*.

مادة العبوة يجب أن تمنع دخول أية ميكروبات، ويتوفر ذلك في معظم الزجاجات، والعلب المعدنية، وأغشية اللدائن المتوفرة تجاريا في الأسواق. ويحدث الاختراق الميكروبي للعبوة نتيجة حدوث خلل أثناء عملية القفل أو حدوث ثقب في مادة العبوة. وبالتالي يجب أن يكون لمادة العبوة قوة ميكانيكية كافية لمقاومة التلف أثناء التصنيع والتداول. وتجدر الإشارة إلى أن مكونات الغذاء المعبأ قد تؤدي إلى تلف العبوة مثل قطع العظم الحادة في اللحم والدواجن، وبواقي العضلات أو قطع الجلد في المنتجات المجففة أو المدخنة بشدة.

ويستخدم الاختبار الحيوي Biotest لاختبار مدى مقومة الغشاء لاختراق البكتيريا حيث تملأ العبوة المعقمة ببيئة مغذية ثم تغلق وتغمر في حمام يحتوي على الميكروب المختبر مثل *Enterobacter* أو مخلوط من الميكروبات . ويدل ظهور غاز أو عكارة في البيئة على حدوث اختراق ميكروبي للعبوة . ويستخدم اختبار طبخ الآجار Agar cooking test مع مواد التعبئة اللدائنية التي تتحمل أو تقاوم الحرارة ورقائق الألمنيوم المصفحة. ويتم الاختبار على العبوات لمدة 45 دقيقة في 2 ٪ أجار وقبل أن يبرد الأجار، تضاف جراثيم بكتيريا *Bacillus stearothermophilus* حيث تدخل إلى العبوة خلال مواقع التسرب إن وجدت. كما يمكن للميكروب أن يهاجم مواد التعبئة التخليقية، وتحت الظروف المناسبة فانه قد تخترق الأغشية السليمة Intact.

أغشية اللدائن تختلف بدرجة كبيرة في مدى نفاذيتها للغازات، ويؤدي إزالة الأكسجين إلى خفض معدل أكسدة المنتج ويقلل من نمو الكثير من أنواع البكتريا والخميرة أو يمنع نمو الميكروبات الهوائية إجباراً مثل الفطريات . ويمكن خفض النفاذية المرتفعة للأكسجين في البولي إستيرين PS وعديد الأوليفينات بتكوين غشاء مصفح مع أغشية أو مواد أخرى بطرق مختلفة. كما يمكن خفض النفاذية المرتفعة لبخار الماء في بعض الأغشية- مثل ايدراتات السليلوز- بالورنشة Varnishing. وتوضح المراجع تضاربا في مدى نفاذية أغشية اللدائن المخلقة للميكروبات، حيث اتضح أن أغشية خلات السيلولوز والبولي إيثلين تنفذ ميكروبات مثل *E. coli* و *Serratia marcesens* ، بينما الأغشية الأخرى مثل البولي إيثلين PE، عديد البروبلين PP، ونيلون 6، ونيلون 11، والبولي أوليفين المغطى بطبقة البولي إيثلين، والبولي إيثلين المغطى بالبولي استر فكلها غير منفذة للبكتريا. وقد يعزى هذا التضارب في النتائج إلى وجود عيوب في تكوين الأغشية مثل وجود ثقوب أو غير ذلك.

وتعتبر أغشية مشتقات السيلولوز خالية من التلوث الميكروبي، وهي مناسبة من الناحية الصحية لتغليف الأغذية. وترجع هذه الميزة إلى طريقة تصنيع هذه الأغشية، حيث يصنع من لب الخشب النقي المكبرت والمعامل بالصودا الكاوية حيث ينتج شراباً لزج القوام ويرشح ويستبعد الهواء الموجود ثم يعالج بالحامض

ويترسب وتتكون أغشية السيلولوز، وأثناء هذه المعاملة تهلك جميع الكائنات الحية الدقيقة من بكتريا وخميرة وفطر. كما تغطى الأغشية الشفافة عند نهاية التصنيع بطبقة من مواد ورنيشية ذائبة في مذيبات عضوية ويجرى لها تجفيف سريع عند درجة حرارة مرتفعة، ولا تتحمل الكائنات الحية الدقيقة هذه المعاملة وتصبح أغشية السيلولوز مقاومة للتلوث أثناء التداول، ولا تنفذ البكتريا أو الأحياء الدقيقة الأخرى.

أما المعاملة التي تتعرض لها الأغشية ذات القاعدة المطاطية Rubber base ومنها بلي وفلم Pliofilm (وهي سوائل مطاطية معاملة بحامض الايدروكلوريك) فإنها كفيلة بإبادة جميع البكتريا وجراثيمها وغيرها من الأحياء الدقيقة التي يحتمل أن تلوث هذه الأغشية أثناء تصنيعها. كما تخلو رقائق الألمونيوم (سمكها 0.0008 بوصة أو أكثر) تقريباً من الميكروبات. عادة فإن هذه الرقائق تغطى بطبقة ورنيشية واقية مما يجعل العبوات ذات جودة عالية من الناحيتين الصحية والتقنية.

ميكروبيولوجيا الأغذية المعبأة

إن العامل الأكثر أهمية لميكروبيولوجيا الأغذية المعبأة هو النفاذية النسبية لمادة التعبئة لكل من الأكسجين، وثاني أكسيد الكربون، وبخار الماء ويختلف تأثيرها باختلاف مواد التعبئة والعبوات كما يلي:

أولاً: مواد التعبئة المنفذة

يمكن أن تحمي مواد التعبئة عالية النفاذية لبخار الماء والغازات والأكثر نفاذية للأكسجين عن ثاني أكسيد الكربون، والغذاء ضد الميكروبات الملوثة ولكنها لا تؤثر على نمو الميكروبات المتواجدة على الغذاء.

ثانياً: العبوات المحكمة الغلق غير المنفذة Impermeable hermetically sealed packages

في هذا النوع من العبوات، يتأثر نشاط الميكروبات بعدة عوامل منها: وفرة الغذاء كبيئة ميكروبية، ودرجة حرارة نشاط الماء، ورقم الأس الأيدروجيني، وطبيعة الغازات الموجودة، والتنافس بين الميكروبات.

ثالثا: العبوات المحكمة الغلق غير المفرغة وغير المنفذة للغازات Gas impermeable, hermetically sealed but unevacuated packages

في هذا النوع من العبوات فان الفلورا الميكروبية في أنسجة اللحم الطازج تستهلك الأكسجين وينخفض في نفس الوقت رقم الأس الأيدروجيني تدريجيا نتيجة نشاط ميكروبات حمض اللاكتيك.وتؤدي هذه التغيرات إلى بطء نمو البكتريا الهوائية المسببة للفساد ويزداد العمر التخزيني بحوالي 50٪ ويعتبر نمو الميكروبات اللاهوائية مشكلة نادرة في اللحم الطازج بغض النظر عن التعبئة

ولم يسجل تكوين التوكسين ببكتريا *Clostridium botulinum* في اللحم الطازج سواء معبأ تحت تفريغ أو بدونه. أما في اللحم المطهي أو المنضج أو في الأسماك حيث يتواجد عدد قليل من الميكروبات المنافسة (سواء *Clostridium botulinum* أو *Clostridium perfringens*) التي يمكنها أن تنمو أحيانا في وجود أو غياب الأكسجين الغازي ولذلك فان الميكروبين سالفي الذكر لا يتأثران بالتعبئة.وفي شرائح اللحم الملقحة ببكتريا *Clostridium botulinunm* والمعبأة في عبوات مفرغة أو بدون تفريغ، نجد أن التفريغ يثبط الفساد ولكنه لا يمنع تكوين التوكسين، ولا يكون المستهلك منتبها للخطر الموجود في العبوة.

أما ثاني أكسيد الكربون الموجود في العبوة فانه لا يبطئ فقط من معدل فساد اللحم ولكن يغير أيضا من الفلورا الميكروبية المسببة للفساد، فيشجع نمو البكتريا الموجبة لصبغة جرام مثل *Lactobacillus*، *Leuconostoc* ، *Pediococcus* بينما يثبط نمو البكتريا السالبة لصبغة جرام مثل *Pseudomonas*.