تعبئـــة الأغذيـــة
Food Packaging

الأستاذ الدكتور / محمد مدحت موسى

الأستاذة الدكتورة/ ملاك أحمد الصحن **الدكتورة/ منال سعيد توفيق**

قسم علوم وتكنولوجيا الأغذية

كلية الزراعـة - جامعة الإسكندريـة

الناشر

مكتبة المعارف الحديثة

٢٣ ش تاج الرؤساء سابا باشا الإسكندرية

ت: ٥٤٤٥٥٥١ - ٥٨٢٦٩٠٢

obeikandl.com

obeikandl.com

23- تعبئة الأغذية

Food Packaging

الأستاذ الدكتور / محمد مدحت موسى

الأستاذة الدكتورة/ ملاك أحمد الصحن **الدكتورة/ منال سعيد توفيق**

		رقم الصفحة
1-23	مقدمـة	1
2-23	خامات ومواد تعبئة الأغذية	5
1-2-23	الألياف المنسوجة	7
2-2-23	الزجاج	7
3-2-23	المعادن	11
4-2-23	الورق ، الورق المقوى ، والكرتون	17
5-2-23	اللدائن (البلاستيك)	19
6-2-23	الأغشية والأغطية القابلة للأكل	34
3-23	التفاعل بين الغذاء والعبوة (الهجرة والهجرة المضادة)	49
1-3-23	دلالة الهجرة	52
2-3-23	خواص وتركيب مواد سعبه كعوامل مؤثرة على الهجرة	54
3-3-23	تأثير مواد التعبئة على الرائحة والمذاق واللون	59
4-3-23	خواص وتركيب الأغذية كعوامل مؤثرة على الهجرة	60
4-23	التعبئة فى جو معدل	61
1-4-23	مميزات وعيوب التعبئة فى جو معدل	63
2-4-23	طرق تعديل الجو داخل العبوة	63
3-4-23	أجهزة التعبئة الغازية	64
4-4-23	دور الغازات المستعملة فى التعبئة الغازية	66
5-4-23	تطبيقات التعبئة فى جو معدل	72
6-4-23	أمان وسلامة الأغذية المعبأة فى جو معدل	81
5-23	الأمان الميكروبى لمواد التعبئة والتغليف	82

obeikandl.com

		رقم الصفحة
6-23	ميكروبيولوجيا الأغذية المعبأة	84
7-23	إعادة الاستعمال، إعادة التدوير، والتخلص من العبوات المستعملة	87
1-7-23	نسب الطاقة للمواد الخام الأولية (البكر) و الثانوية (المستعملة)	88
2-7-23	التخلص من النفايات	91
8-23	المراجـــــــــــع	94

obeikandl.com

23 - 1 مقـــدمـة:

تطورت تعبئة وتغليف الأغذية بخطى واسعة فى العقود الأخيرة نتيجة استجابة التصنيع الغذائى للتغير فى الظروف الإجتماعية والإقتصادية والتعليمية لأفراد المجتمع . حيث زاد عدد العائلات صغيرة الحجم وغير المتزوجين وزاد دخل هذه العائلات الصغيرة وقل الوقت المتاح لتحضير الوجبات الغذائية وزاد الإعتماد على الأغذية والوجبات سابقة التجهيز . بزيادة التعليم وإنتشار الوعى بالأمور الصحية، بدأ النظر للأغذية المعبأة على أنها أكثر راحة وربما أكثر سلامة وأعلى جودة وقيمة تغذوية. وحتى تسهم عبوات الأغذية وتتكامل مع الحياة العصرية، فإنها أصبحت متوفرة ومقاومة للتلف ومناسبة لأفران الميكروويف ويسهل فتحها وإعادة غلقها وتدويرها.

نتيجة التقدم فى تقنية البثق المزدوج coextrusion للدائن (البلاستيك) plastics وتركيب الرقائق على بعضها lamination، أمكن تصنيع عبوات تغطى مجالاً واسعاً من الخواص التى تناسب عدة مستويات من الحماية المطلوبة للأغذية والمشروبات . وكان استبدال العبوات المعدنية والزجاجية باللدائن حدثاً فريداً حيث استخدمت أكياس اللدائن المرنة، زجاجات اللدائن القابلة للإنضغاط squeesable، أوعية اللدائن نصف الصلبة semirigid ، صوانى عديد الستيرين الرغوية polystyrene foam trays، وزجاجات عديد الإيثيلين تيرفثالات polyethylene terphthalate (PET) للمشروبات غير الكحولية soft drinks . وأدى إنتشار أفران الميكروويف – فى الخارج – إلى وفرة إنتاج العبوات التى تلائمها وكذلك عبوات اللدائن التى تتحمل التعقيم retortable.

ورغم أن تعبئة الأغذية تعتبر من الصناعات الناضجة، إلا أنها تواجه تحديات إجتماعية وإقتصادية مع اعتبارات السلامة فى المقام الأول، فمثلاً قد يزداد نمو الميكروبات المرضية فى المنتجات المعبأة فى جو معدل modified atmosphere packaging (MAP) نتيجة التداول والتخزين فى ظروف غير ملائمة وكذلك تهاجر المركبات ذات الوزن الجزيئى المنخفض والضارة من مواد العبوات إلى الأغذية التى تحتويها. ويمكن أن تلخص وظائف function العبوة فى أنها تحوى containing الناتج الغذائى، وتحمى protection من التلف الفيزيقى والكيماوى حيث تعمل كحاجز بين الغذاء وبين الأكسجين والرطوبة والمواد

الكيماوية والميكروبات، وتلائم convenience حيث تسهل تداول واستخدام الغذاء مثل قابليتها للتسخين فى الميكروويف microwavability وسهولة فتح العبوة ease of opening والقابلية لإعادة الغلق reseability، وتوصل وتنقل conveying المعلومات عن مكونات الغذاء وخصائصه وقيمته التغذوية والظروف المناسبة لحفظ العبوة وكيفية تحضير الغذاء واسم المنتج أو الصانع أو المعبئ وتاريخ الإنتاج وإنتهاء الصلاحية ورقم التشغيلة ... إلخ، وتسوق marketing فيجب أن تكون العبوة ذات مظهر جذاب تحث المستهلك على شرائها.

أولاً: الإعتبارات الواجب مراعاتها فى تعبئة الأغذية:

يشمل نظام تعبئة الأغذية على عدة مكونات منها الناتج الغذائى الذى سيعبأ، خطوات التصنيع، ماكينة التعبئة، العبوة، العوامل البيئية، نظام التوزيع، التخلص من الفضلات، العوامل الإقتصادية، التسويق، والتشريعات الحكومية. ترتبط هذه المكونات ببعضها البعض ارتباطاً وثيقاً ويؤثر أى تغيير فى أحداها على كل أو بعض المكونات الأخرى. فيؤدى التغيير فى توليفة الناتج الغذائى إلى تغيير فى مواد التعبئة، كما قد يؤدى تغيير حجم العبوة إلى تغيير نظام ماكينة التعبئة ونظام التوزيع. لذلك يجب إجراء ضبط أمثل بين كل هذه المكونات حتى لا يحدث نقص أو تكدس فى الناتج الغذائى المعبأ.

يجب مراعاة عمر التخزين (مدة الصلاحية أو الاحتفاظ بالجودة على الرف) shelf-life عند تعبئة المنتجات الغذائية خاصة سريعة التلف perishable وهو يعتمد بدوره أيضاً على الجودة الأولية للناتج الغذائى وكمية التغير المسموح بها فى الجودة، والظروف البيئية السائدة، والخواص الحاجزة barrier لمواد التعبئة، ومقدرتها على التناسق (التساوق) compatibility مع الناتج الغذائى. ويقدر العمر التخزينى بتجارب تخزين واقعية أو متسارعة أو بواسطة المحاكاة بالحاسوب. وعند تقدير عمر التخزين فإنه يلزم توفر بعض المعلومات مثل مدى ثبات الناتج الغذائى، الظروف المثلى لتخزينه، حجم العبوة ونوعها، سمك مادة التعبئة التى تحفظ البيئة بداخلها عند الظروف المثلى، وأيضاً احتياجات التوزيع والتسويق.

من أهم الإعتبارات الواجب مراعاتها عند تطوير عبوات الأغذية هو ثبات الناتج الغذائى الذى يمكن أن يتعرض لعدة صور من التدهور مثل أكسدة الليبيدات، فقد أو اكتساب

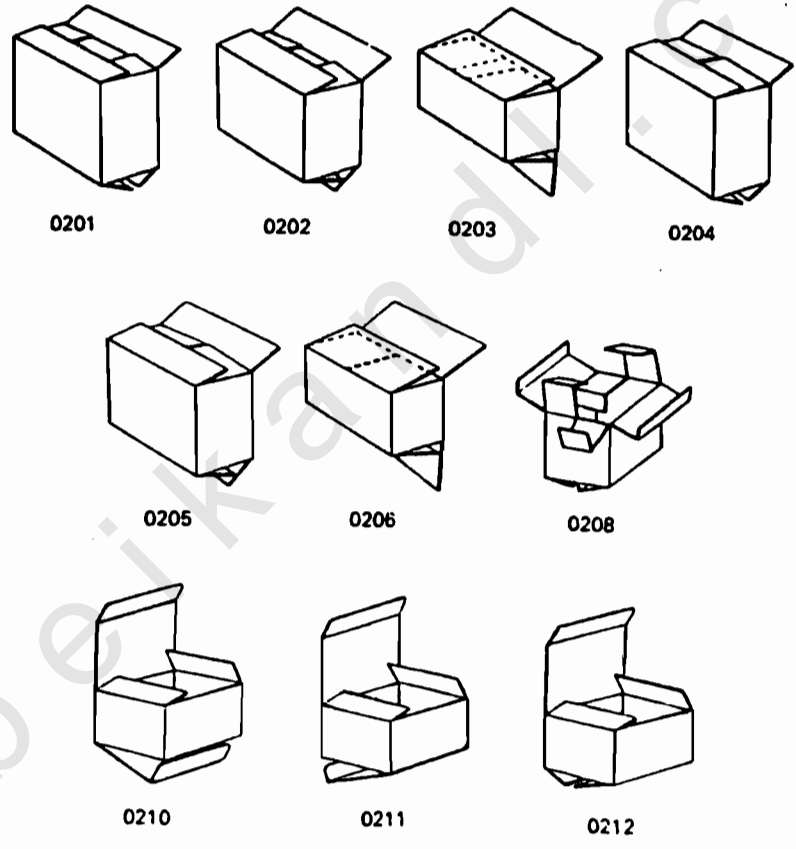
الرطوبة، الدكانة غير الإنزيمية، التدهور الإنزيمى، النمو الميكروبى، فقد المكونات التغذوية، أو تغير اللون والنكهة والقوام ... إلخ. وتعتمد كفاءة تخزين العبوة الغذائية على الجودة الأولية وطبيعتها الفيزيقية والكيماوية والخواص الحاجزة للعبوة . وتحدد العوامل الإقتصادية نجاح أو فشل العبوة الغذائية، وينظر إلى تكاليفها الكلية على أنها مجموع تكلفة المواد الخام، التصنيع، التوزيع، التخلص من الفضلات، تنشيط المبيعات promotion ، والتطوير. ويجب إجراء بحوث التسويق لتحديد الدورة العمرية life cycle للناتج وتحديد سعره وسياسة التوزيع والتعرف على حجم ومقدرة السوق لإستيعاب منتجات جديدة . كما يحتاج إلى التصميم الشكلى graphic الجيد للعبوة لتحقق أهداف الإتصال والجاذبية بين البائع والمشترى ولتبيع الناتج. ويراعى عند تطوير العبوة الغذائية إختبار واعتبار طراز ماكينة التعبئة المستخدمة.

عند تقدير عمر التخزين shelf - life يجب تعريف معايير القبولacceptance criteria للناتج الغذائى من خلال المعلومات المنشورة عن طرق تدهوره. فمثلاً فى الأغذية الحساسة للرطوبة مثل الغلال ومنتجاتها فإن الرطوبة الحرجة critical المكتسبة تعتبر هى المحددة لمعايير القبول. أما فى الأغذية الحساسة للأكسجين التى تحتوى على نسبة عالية من الدهون غير المشبعة فإن الأكسجين الممتص ممثلاً فى رقم البيروكسيد peroxide No. وقيمة حمض الثيوبار بيتيوريك thiobarbituric acid value (TBAV) تستخدم كمعيار على التدهور. كما توجد بعض المنتجات الغذائية الحساسة للعاملين السابقين معاً مثل رقائق البطاطس التى تفقد هشاشتها crispness نتيجة اكتسابها للرطوبة وأيضاً فإنها تتزنخ تأكسديا باكتساب الأكسجين ويتخذ كلا العاملين كمعيار على القبول. عادة يلزم توفر بيانات حسية وسمية sensory & toxicological data لتقدير أقصى قبول maximum acceptability للناتج الغذائى.

ثانياً : أنواع الأوعية Type of containers :

تقسم عبوات الأغذية إلى أولية primary وثانوية secondary وثالثية tertiary. يقصد بالأوعية الأولية تلك التى تلامس الغذاء مباشرة مثل العلب أو البرطمانات. ويجب أن تكون غير سامة وأن تتواءم (تنسجم) compatible مع الغذاء ولا تكسبه لوناً أو نكهة أو أى تفاعلات كيماوية غريبة. يقصد بالأوعية الثانوية الصناديق أو العلب أو المغلفات wrappers التى تمسك عدة علب أو برطمانات أو أكياس وتجعلها فى شكل وحدة unitize ولا تلامس

الغذاء مباشرة. والأوعية الثانوية جزء ضرورى فى تعبئة الأغذية، حيث يصعب توزيع الناتج المعبأ فى برطمانات زجاجية مثلاً، دون وضعها فى كرتونة مموجة corrugated carton لحمايتها من الكسر خلال الشحن والتوزيع والتخزين، كما تمنع تلوث soiling الأوعية الأولية بالملوثات والقاذورات . ويكثر استخدام الألياف الكرتونية المموجة corrugated fiberboard لصناعة كراتين الشحن بمواصفات تصميم محددة تختلف فى الحجم والقوة strength على حسب نوع الغذاء الذى سيتم شحنه. ويوضح شكل رقم 23 - 1 عدة تصميمات قياسية لكراتين الشحن المموجة.



شكل رقم 23 - 1 : بعض التصميمات القياسية لكراتين الشحن الثانوية المموجة طبقاً لترميزcode الصناديق الدولى (0200).

المصدر : Anonymous (1977).

obeikandi.com

عادة فإن التلف أثناء الشحن والناشئ من عدم ملاءمة الأوعية الثانوية هو مسئولية صانع الأغذية وليس متعهد الشحن.

العبوات الثانوية لا تصمم للحماية من بخار الماء والغازات الأخرى – ماعدا فى حالات خاصة – حيث أن ذلك هو وظيفة الأوعية (العبوات) الأولية . أما الأوعية الثالثية فهى التى تحزم مجموعة من العبوات الثانوية فى وحدة شحن (باليتة) pallet واحدة لتساعد على التداول الميكانيكى بالرافعات الشوكية forklift truck أو غيرها من الأجهزة لكمية كبيرة من الناتج.

23 - 2 خامات ومواد تعبئة الأغذية Food - packaging materials :

يوجد عدد قليل نسبياً من المواد التى تستخدم لتعبئة الأغذية: كالمعادن، الزجاج، الورق والكرتون، اللدائن، وكميات قليلة من ألياف الأخشاب والقطن والكتان (جدول رقم 23-1) .

جدول رقم 23-1 : قيمة خامات ومواد التعبئة بالبليون دولار فى عامى1970 و 1990 .

خامات مواد التعبئة	القيمة بالبليون دولار فى عامى	
	1970	1990
كرتون ولب مشكل	7.8	24.6
معـــدن	4.7	18.6
لـــدائن	1.75	16.0
ورق	2.8	5.6
زجاج	2.0	5.2
خشب	0.6	2.0
منسوجات	-	0.6
الجملة	19.65	72.6

المصدر مجمعة من Anonymous (1986) و Campbell (1994) .

obeikandl.com

يندرج تحت كل من هذه الأقسام ، مواد تعبئة مختلفة سواء بمفردها أو كمجموعة من المواد، فمثلاً توجد أصناف كثيرة من أغشية عديد البروبلين polypropylene (PP) بمفرده أو كعديد الطبقات الرقيقة laminates تختلف عن بعضها فى نفاذية الرطوبة أو نفاذية الغاز أو المرونة أو التمدد stretch أو قوة البروز (الإندفاع للخارج أو الداخل) burst strength ..... وهكذا . ويحتاج الناتج الغذائى الجديد إلى عبوات خاصة نظراً للتغير السريع فى متطلبات الحماية المثلى والإعتبارات الإقتصادية والتجارية مع التغير فى تركيب الناتج والوزن والشكل والأداء. ويوضح جـدول رقم 23-2 النسب المئوية لمواد التعبئة المختلفة المستخدمة مع الأغذية . وتوجد مواد التعبئة فى صور وأشكال forms كثيرة منها :

العلب والإسطوانات المعدنية الصلبة، رقائق الألومنيوم المرنة، الزجاجات والبرطمانات الزجاجية، العلب والزجاجات اللدائنية الصلبة ونصف الصلبة، الشنط والأكياس والمغلفات اللدائنية المفردة ومتعددة الطبقات الرقيقة، حيث يدمج الورق مع اللدائن أو الرقائق المعدنية للحصول على خواص يصعب الوصول إليها من كل نوع منفرداً.

جدول رقم 23-2 : النسب المئوية لأنواع مواد التعبئة التى لها ارتباط مباشر بالأغذية

مواد التعبئـة	٪
لـــدائـن	66.5
معـــدن	12.0
ورق وكرتون	12.0
زجـــاج	0.5
متنـوعات	9.0

المصدر : بتصرف من Campbell (1994) .

obeikandl.com

يجب أن تتحمل عبوات الأغذية عمليات تصنيع إضافية مثل التعقيم التجارى فى معقمات الضغط، تجميد وتفكيك الأغذية المجمدة، وحتى عمليات الطبخ أو الخبيز النهائية فى العبوة. ويجب أن تتوفر فى مواد تعبئة الأغذية إنخفاض التكلفة وأن توفر قوة كافية أثناء التداول والتوزيع، وأن تكون صفاتها الحجزية جيدة، وتوافق عليها السلطات الصحية وتلك المسئولة عن الأغذية مثل FDA فى الولايات المتحدة. وتشمل تعبئة الأغذية على الأجهزة والماكينات اللازمة لإنتاج مواد التعبئة أو لتعديلها أو لتشكيلها كأوعية نهائية، ووزن وتوزيع الناتج الغذائى (أو المواد الغذائية)، وإحداث تفريغ للعبوات أو دفق flush الغاز، وغلق العبوة النهائية. وتوجد مواد عديدة تستخدم فى صناعة العبوات سواء بمفردها أو باتحاد عدة مواد معاً، والتى سنوضحها بشئ من التفصيل.

23 - 2 - 1 الألياف المنسوجة Woven Fibers :

تغزل الألياف الطبيعية والمصنعة إلى مواد تناسب عبوات الأغذية. وتتميز هذه المواد – حسب طبيعة مكوناتها الليفية – بمجموعة من الخواص المشتركة فهى عالية المرونة، مقاومة لحد ما للتمزق، ومنفذة للماء وبخاره. ويكثر إستخدام الكتان jute – من الألياف الطبيعية فى الأجولة المساعدة لتعبئة بعض المواد الغذائية ، كما يستخدم القطن مع بعض أنواع السلع، وكلاهما تتعرض أليافه للاحتكاك وللتعفن فى حالة البلل. وصنعت مواد أجولة مخلقة من خيوط اللدائن (من عديد البروبلين PP وعديد الإيثلين PE)، وهى مقاومة للبلل وللتعفن. وتتعرض مواد الأجولة اللدائنية لفقد قوتها وتتقصف brittle بتعرضها لضوء الشمس، وبالتالى فإنه يضاف مواد وقائية للأجولة اللدائنة التى تخزن فى العراء لفترة محدودة – حوالى ثلاثة أشهر، ولكن يصعب تستيفها لسهولة انزلاقها أو قلقلتها slippery .

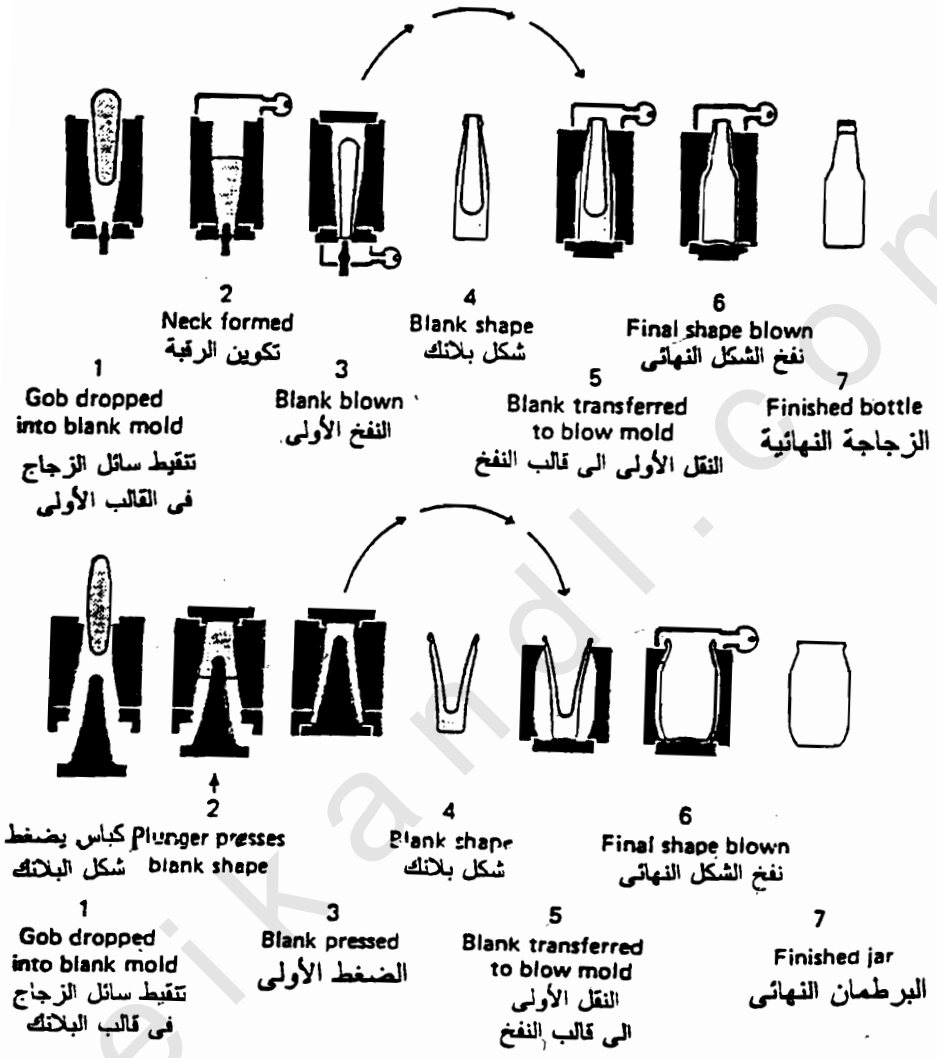
23 - 2 - 2 الزجـــاج Glass :

تعتبر الأوعية الزجاجية (كالزجاجات والبرطمانات) من أقدم عبوات الأغذية. من الناحية الفيزيقية فإن الزجاج عبارة عن سائل عالى اللزوجة فائق التبريد خامل كيماويا، ويتميز بالقوة والصلابة. كما أنه متوفر بكثرة ويمكن إعادة تدويره بالإضافة إلى خواصه الحجزية الممتازة التى تعطى وقاية كاملة ضد نفاذية الغازات والأبخرة. ونتيجة شفافية

الأوعية الزجاجية فإنها تعطى رؤية جيدة للناتج المعبأ وتوحى بنظافته. من ناحية أخرى، فإن وزن الزجاج وقابليته للكسر تعتبر من أهم عيوبه . ومن الضرورى استخدام زجاج سميك نسبياً وثقيل ليعطى قوة كافية لمنع كسره نتيجة الضغوط الداخلية – خاصة فى زجاجات المياه الغازية – وصدمات الرص impact والصدمات الحرارية التى يمكن خفضها بأن لا يتعدى فرق درجات الحرارة الداخلية والخارجية عن44° مئوية، ويتم ذلك بالتدفئة التدريجية للزجاجات قبل التعبئة الساخنة، وبالتبريد التدريجى قبل إجراء التبريد النهائى.

يتركب الزجاج من أكسيد السيليكون (الرمل، SiO) ، كربونات وبيكربونات الصوديوم، أكسيد الصوديوم (Na_2O) ، أكسيد الكالسيوم (CaO) والحجر الجيرى مع كميات قليلة من أكاسيد غير عضوية أخرى. ويمكن تعديل صفات الزجاج كالقوة والشفافية وقابليته للتشكيل بتعديل بسيط فى المكونات. أما القوة الميكانيكية للأوعية الزجاجية فإنها تعتمد على حالة السطوح، فوجود خدوش بسيطة عليها تفقدها أكثر من نصف قوتها، ولذلك تغطى هذه السطوح بأغطية تشحيم من الشموع أو السيليكونات للوقاية من الخدوش والكسر التصادمى impact . كما يحدث تلميع لهذه الأسطح المغطاة أثناء تلامسها مع بعضها البعض أثناء عملية الملء الميكانيكى السريع.

تشكل الأوعية الزجاجية من مخلوط مكوناتها بتسخينها إلى 1500° مئوية. ثم تنقل الأوعية الزجاجية بعد تشكيلها إلى أفران التصليب curing (annealing) لزيادة صلابة (أو تطويع) الزجاج. يؤثر التكوين الكيماوى والتشكيل المناسب للأوعية وزمن ودرجة حرارة التشكيل والتصليب والتبريد للزجاجات والبرطمانات وعمليات الإنتاج الأخرى، على خواص الكسر breakage للأوعية الزجاجية ويمكن خفضها إلى الحد الأدنى باختيار السمك المناسب وبالتغطية . يوضح شكل رقم 23-2 تشكيل الأوعية الزجاجية بطريقتى «النفخ – نفخ» و«الضغط – نفخ».

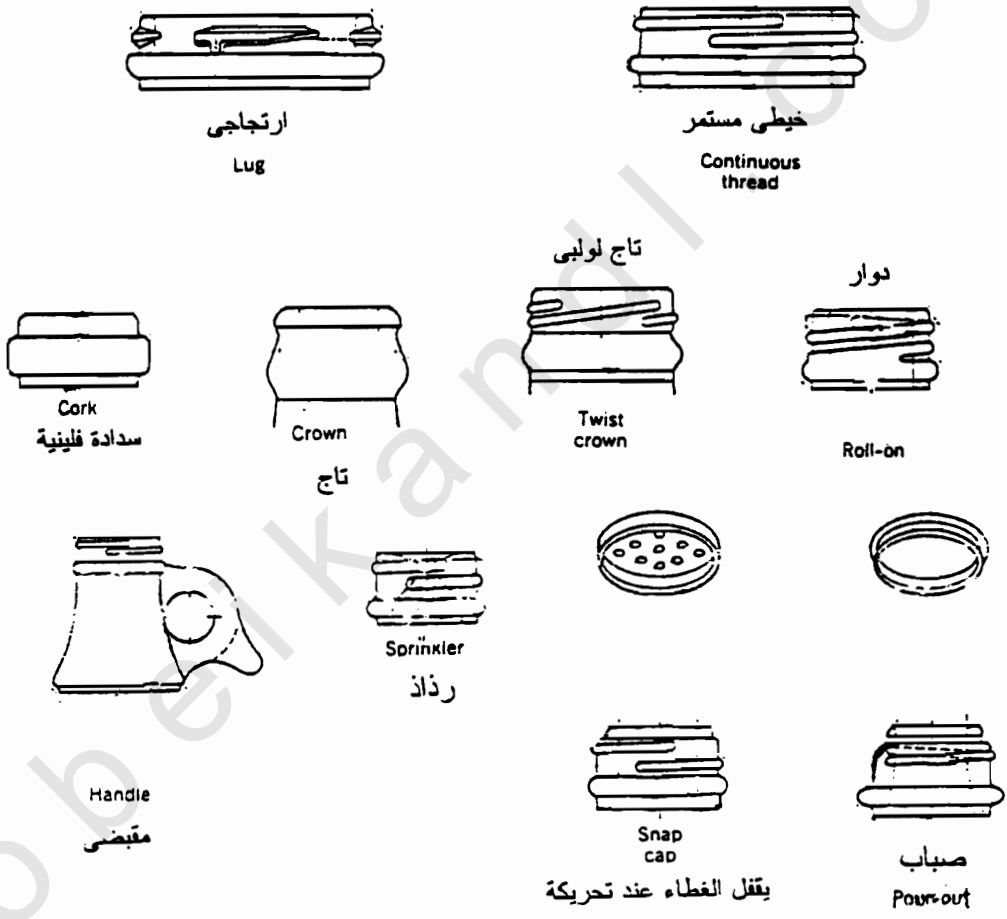


شكل رقم 23-2 : تشكيل الأوعية الزجاجية بطريقتى «النفخ – نفخ» و«الضغط – نفخ»

المصدر : Robertson (1993).

تتوافر الأوعية الزجاجية فى أشكال وأحجام كثيرة متنوعة، يمكن غلقها بإحكام بالأغطية lids التى تبطن من الداخل بطبقة من اللدائن الطرية لإحكام قفل حافة الفوهة الزجاجية. وتعبأ كثير من الأوعية الزجاجية تحت تفريغ فيزداد إحكام الغطاء بدفعه إلى أسفل

بفرق الضغط الجوى وتمويج crimping الأغطية (كما فى أغطية زجاجات الصودا) الذى يعمل ضد ضغط داخلى يجعل القفل محكماً ويحبس الغاز داخله. وغالباً فإن الزجاجات تصبح أقل إحكاماً عن العلب الصفيح. ويوضح شكل رقم 23-3 بعض تصميمات الفوهة الزجاجية كارتجاجى، خيطى مستمر، تاجى، تاج لولبى، دوار، رذاذ، صباب، يناسب سدادة فلينية، غطاء ينغلق عند تحريكه، أو فوهة ذات مقبض.



شكل رقم 23-3: طرق غلق الأوعية الزجاجية المستخدمة للغذاء والمشروبات

المصدر : Bakker (1986) .

حالياً طورت أوعية زجاجية تناسب طبخ الأغذية أو تدفئتها فى أفران الميكروويف وتحاط جدرانها ببطاقة إعلان رغوية تظل باردة فيمكن لمسها وتداولها بسهولة. كما طورت نظم تعبئة ثنائية أحدها للناتج الغذائى والثانى لصب خيط لدائنى لإحكام القفل بضغط الغطاء ويستفاد بذلك فى الأوعية الزجاجية المعبأة ساخنة أو التى عوملت بالتعقيم التجاريretored foods. كذلك طورت أغطية مبطنة بمواد تلتهم الأكسجين O_2 eaters فى العبوة واستخدمت فى أغطية البيرة على مستوى تجريبى وإنتاجى وينتظر التوسع فى استخدامها مع عصائر الفاكهة، أغذية الأطفال، ومنتجات الطماطم لتحسين جودتها وتقليل التلف التأكسدى واستخدمت مع الأغطية المعدنية أو اللدائنية.

أمكن تغطية الزجاج بطبقة ملونة رقيقة (شفافة أو معتمة أو مانعة للأشعة فوق البنفسجية) لأغراض الوقاية أو الزينة تسمى حارس لونى color guard ، وتخدم هذه العملية أغراض التسويق . ويمكن تدوير هذه الزجاجات بصهرها مع الزجاج الشفاف بدون مشاكل.

23 - 2 - 3 المعـــادن Metals :

تحظى العلب المعدنية بنصيب كبير من سوق عبوات الأغذية، حيث توفر وقاية فيزيقية ممتازة تطيل عمر التخزين وتنافس سعريا مع العبوات الأخرى وتنتج بطرق تشغيل عالية السرعة. يعيب العلب المعدنية وزنها وصعوبة فتحها وإعادة غلقها. بالرغم من أنه يمكن استهلاك الأغذية المعلبة على مدى سنتين إلا أنها قد تتعرض لفقد الجودة فى النكهة واللون والقوام خلال التخزين. وعادة يستخدم نوعين من سبائك المعادن فى تعبئة الأغذية: الصلب steel لصناعة العلب الصلبة، والألومنيوم لصناعة العلب، الأغطية، والمغلفات coatings.

حتى عهد قريب كان يتم تغطية الصلب المستخدم فى صناعة العلب بطبقة رقيقة من القصدير (الصفيح tin، بمعدل 0.25 رطل /440 قدم مربع) لمقاومة الصدأ والتآكل corrosion بواسطة الغذاء، رغم أنه لا يمنعه تماماً. ومن هنا كانت التسمية «العلب الصفيح tin can». وتتم عملية القصدرة عن طريق التحليل الكهربى. وتم استبدال القصدير – لإرتفاع تكلفته – فى الولايات المتحدة الأمريكية وغيرها بسبائك صلب مقاومة للتآكل وهى

سبائك صلب مغطاة بمعادن رقيقة أخرى، وتم تحسين الغطاء البوليميرى الداخلى لمساعدة الصلب على مقاومة التآكل، تسمى بالصلب الخالى من القصدير tin - free steel. فمثلاً يطلى لوح الصلب الأساسى base plate بطبقة رقيقة من الكروم ثم أكسيد الكروم، وهما أرق كثيراً من طبقة القصدير ولكنها تعادلها فى الوقاية. ثم تغطى طبقة أكسيد الكروم بغطاء عضوى يتوافق مع الغذاء. تستخدم أنواع متعددة من الصلب حسب الناتج الذى يتم تعليبه، كما يوضح جدول رقم 23-3 ويجب مراعاة قوة لوح الصلب خاصة فى العلب الكبيرة التى يجب أن تتحمل جهد ضغط عملية التعقيم التجارى، التعليب تحت تفريغvacuum canning، وعمليات التصنيع الأخرى. وتعتمد قوة العلبة على درجة صلابة الصلب ، وسمكه، حجم العلبة ، هندستها الفراغية، وعمليات التصميم الأخرى مثل عملية التضليع ribbing الأفقى (التى تعرف بإسم التخريزbeading) والتى تزيد من صلابته . وتستخدم بكثرة أغطية الألومنيوم المخرزة scored لقفل أجسام العلب الصلب مع إتخاذ الحيطة من تلامس الغطاء الورنيشى للمعدنين لتلافى تفاعلهما مسبباً أضراراً للغذاء بداخله.

جدول رقم 23-3 : أنواع صلب الأساس اللازمة للأقسام العامة للمنتجات الغذائية

أقسام الأغذية	خواصها	أمثلة	صلب الأساس المناسب*
قوية التآكل	نواتج عالية أو معتدلة الحموضة، ومدها الثمار داكنة اللون والمخللات.	عصائر التفاح، التوت، العنب، الموز، الكمثرى، الطماطم، المخللات.	صنف L
معتدلة التآكل	الخضروات المحمضة، نواتج ثمار الفاكهة معتدلة الحموضة.	كرنب مخلل، المشمش، التين، الخوخ، الجريب فروت.	صنف MS صنف MR
خفيفة التآكل	المنتجات منخفضة الحموضة.	البسلة، الذرة، اللحوم والأسماك.	صنف MR أو صنف MC
عديمة التآكل	الأغذية الجافة والمنتجات غير المصنعة	الحساء المجفف، الأغذية المجففة، الشورتننج، والدقل.	صنف MR أو MC

* تدل الحروف المختلفة على درجات مختلفة من الصلابة stiffness، وحدود الشوائب المعدنية الأخرى

المصدر : Potter & Hotchkiss (1995).

كما أشرنا سابقا، فإن داخل وخارج الطبة المعدنية يغطى بغطاء عضوى لتزداد مقاومتها للتآكل، كما تؤدى إلى حماية الغذاء من التلوث بالمعدن الذى يسبب تفاعلات لونية ونكهية تعتمد على نوع الغذاء. فمثلاً يكثر تكون كبريتيدات الحديد والقصدير داكنة اللون فى الأغذية قليلة الحموضة التى تحرر مركبات الكبريت عند التعقيم التجارى. كذلك يحدث قصر للصبغات الحمراء للنبات عند ملامسته للصلب، القصدير، والألومنيوم غير المغطى. يوضح جدول رقم 23 - 4 مواد التغطية (الورنيشات enamels) الشائعة التى وافقت عليها هيئةFDA الأمريكية مع استخداماتها.

جدول رقم 23-4 : مواد التغطية (الورنيشات enamels) المستخدمة مع العلب

الورنيش enamel	نـــــوعه	استخـــدماته
ورنيش فاكهة	راتنج زيتى oleoresinous	التوت الداكن اللون والكريز والفاكهة التى يلزم وقايتها من التلوث بالأملاح المعدنية.
ورنيش C	راتنج زيتى وصبغة أكسيد زنك معلق	الذرة، البسلة، والمنتجات المحتوية على كبريت بما فيها بعض الأغذية البحرية.
ورنيش موالح	راتنج زيتى معدل	منتجات ومركزات الموالح.
ورنيش أغذية بحرية	فينولى	منتجات سمكية ولحوم فرد spreads
ورنيش لحوم	إيونات epons معـــدلة مع صبغات ألومنيوم	اللحوم ومنتجاتها.
ورنيش ألبان	إيونات	بيض وحليب ومنتجات الألبان.
ورنيش مشروبات غير مكربنة	تغطية ثنائية أساسها راتنج زيتى يعلوها غطاء فينيل	عصائر ومشروبات غير مكربنة للخضروات والفاكهة الحمراء والفاكهة شديدة التآكل .
ورنيش بيرة	تغطية ثنائية أساسها راتنج زيتى أو عديد البيوتادين يعلوها غطاء فينيل	البيرة والمشروبات الغازية.

المصدر : Potter & Hotchkiss (1995).

obeikandl.com

يتميز الألومنيوم بخفة الوزن ومقاومته للتآكل الجوى ويسهل تشكيله وإعادة تدويره، ولكن قوته التركيبية أضعف من الصلب المماثل فى السمك ولذلك فهو قليل الإستخدام فى المعلبات المعقمة ولكنه يناسب علب البيرة والصودا والمياه الغازية (85٪ أو أكثر من الألومنيوم) لوجود ضغط غاز ثانى أكسيد الكربون الداخلى، مما يعطى قوة أو صلابة للعلبة. تستخدم حلقة مبرشمة على الغطاء يمكنها الانثناء بالشد مع إزالة جزء صغير من الغطاء الألومنيومى لسهولة الفتح easy opening.

يتكون على السطح الخارجى للعلبة الملامس للهواء غشاء من أكسيد الألومنيوم المقاوم للتآكل الجوى. بإنخفاض تركيز الأكسجين داخل العلبة، فإن غشاء أكسيد الألومنيوم يستنفذ المعدن ولا يكون عالى المقاومة للتآكل. يمكن التغلب على ذلك بغطاء ورنيشى يماثل المستخدم لحماية الصلب والصفيح. من العيوب الرئيسية للألومنيوم هو احتياجه لكمية كبيرة من الطاقة الكهربية لعزله من خاماته، ولذلك فإن عملية تدوير عبوات الألومنيوم تكون ناجحة حيث يمكن بذلك توفير 95٪ من الطاقة المستخدمة لإنتاج الألومنيوم من البوكسيت bauxite. حاليا يتم تدوير أكثر من 50 ٪ من علب الألومنيوم المنتجة فى الولايات المتحدة الأمريكية.

أولاً: رقائق المعدن Metal foil :

أكثرها استخداماً فى تعبئة وتغليف الأغذية هى رقائق الألومنيوم مثل الأكياس القابلة للتعقيم retortable pouches، رقائق الأغطية ، صوانى الميكروويف، الرقائق متعددة الطبقات المبطنة foil laminates. كذلك تستخدم عند الرغبة فى وقاية عالية للغذاء من الرطوبة، والأكسجين، والضوء. يبلغ سمك الرقائق التجارية المستخدمة فى الأكياس وأغطية العبوات بين 0.0003 – 0.0015 بوصة. رقائق الألومنيوم ذات سمك أعلى من 0.0007 بوصة تعتبر غير منفذة للرطوبة أو الغازات، أما إذا قل سمكها عن ذلك فإنها تحتوى على ثقوب تجعل هذه الرقائق منفذة قليلاً.

ثانياً : الغشاء المعدن Metallized film :

يجرى إنتاجها بترسيب طبقة رقيقة من الألومنيوم تحت تفريغ، على غشاء ورقى أو

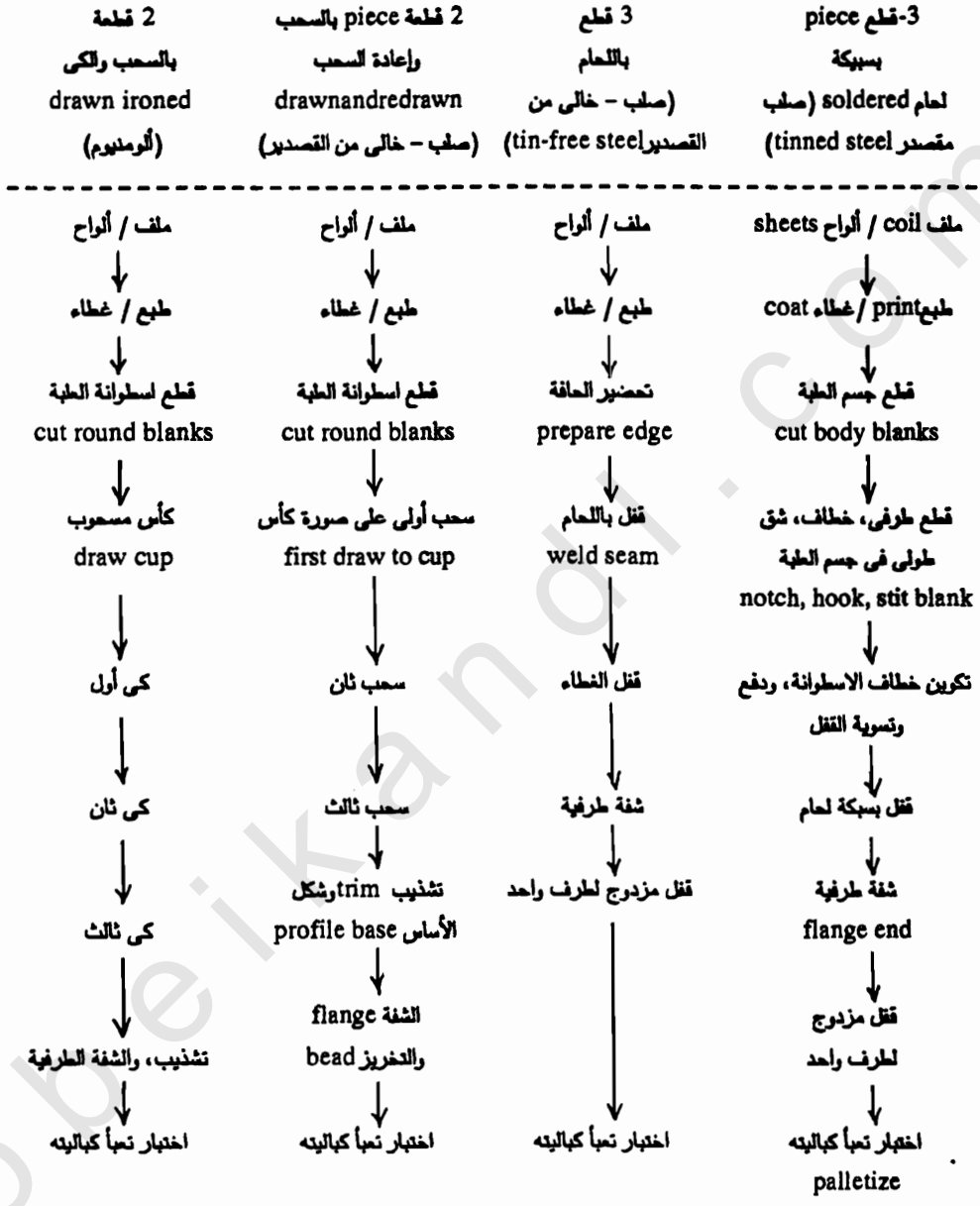
عديد الإستر. وبذلك يجمع بين صفاتهما معطية حاجزاً جيداً ضد فقد الرطوبة والنكهة ونفاذية الأكسجين والضوء. وتستخدم لتصميم عبوات الأجولة bags، عبوات رقائق البطاطس، وأغذية التسالى snacks . وجد أن شرائح المانجو المبسترة والمخزنة بالتبريد والمعبأة فى أكياس ألومنيوم متعددة الطبقات الرقيقة (أو المصفحة) تكون أفضل من المعبأة فى الأكياس الشفافة، كما كانت المعبأة فى أكياس قابلة للتعقيم جيدة حتى عند درجات حرارة عالية، بينما تقل قدرة العبوات التى يتم فيها الغليان boil - in bag على التخزين المبرد إلى أقل من خمسة شهور.

ثالثاً : بنـاء العلـب Can construction :

تقسم العلب المعدنية للأغذية والمشروبات إلى قسمين أساسيين طبقاً لطريقة بنائها: علب مكونة من ثلاث قطع 3-piece عبارة عن الجسم الأسطوانى للعلبة وقطعتى الغطاء والقاع، علب مكونة من قطعتين 2-piece عبارة قطعة واحدة للجسم الأسطوانى للعلبة والقاع وقطعة أخرى للغطاء تستخدم بعد الملىء بالناتج . وتتميز العلب ذات القطعتين بخلوها من القفل الجانبى أو نهاية القاع حيث يتم قفلها بالسحب drawn والكى ironing ، وعادة تستخدم مع المشروبات الغازية، حيث يقلل هذا النوع من مخاطر التسرب لغياب كلاً من القفل الجانبى وقفل القاع. ونظراً لإتمام اللحام الجانبى وقاع العلب بسبيكة من القصدير والرصاص فإن هناك فرصة لتلوث الغذاء داخلها بآثار الرصاص. ويوضح شكل رقم 23-4 خطوات تصنيع علب معدنية ذات قطعتين وثلاث قطع .

رابعـاً: أبعـاد العلـب Can sizing :

توجد العلب فى أحجام تعتمد على القطر والإرتفاع معبراً عنه بأرقام بوصات كاملة وكسور من 16 من البوصة. وعلى ذلك فالعلبة ذات الأبعاد 303 (القطر) × 404 (الإرتفاع) لها قطر مقداره $3\frac{3}{16}$ بوصة وإرتفاع مقداره $4\frac{4}{16}$ بوصة كما فى جدول رقم 23-5. الذى يوضح أسماء العلب وأبعادها وحجم الملء fill volume.



شكل رقم 23-4 : مقارنة بين خطوات تصنيع علب معدنية: ثلاث قطع بقفل جانبى بسبيكة لحام أو ملحومة الجانب، قطعتين بالسحب وإعادة السحب أو بالسحب والكى.

المصدر : Potter & Hotchkiss (1995).

obeikandi.com

جدول رقم 23-5 : بعض أبعاد العلب القياسية

اسم العلبة	الأبعاد *	حجم الملء **
62	202 x 308	9.42
82 قصيرة	211 x 300	12.34
211 اسطوانة	211 x 414	21.28
رقم 300	300 x 407	23.71
303	303 x 406	26.31
303 اسطوانة	303 x 509	34.11
رقم 2 تفريغ	307 x 306	22.90
رقم 2	307 x 409	32.00
رقم 10	603 x 700	170.71

* يعطى الرقم الأول الرقم الصحيح بالبوصات، بينما يعطى الرقم الثانى والثالث كسور $\frac{1}{16}$ من البوصة لكل من القطر والإرتفاع

** بالبوصة المكعبة ، حيث 1 بوصة مكعبة = 0.554 أوقية

المصدر : Potter & Hotchkiss (1995).

23 - 2 - 4 الورق، الورق المقوى، والكرتون:

Paper , paperboard , and fiberboard

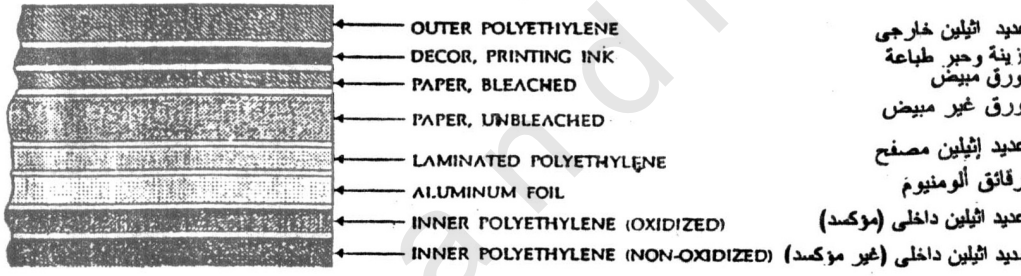
يمثل الورق بأنواعه المختلفة نسبة كبيرة من مواد العبوات. وتختلف أنواع الورق عن بعضها فى السمك والإستعمال، فالورق رقيق ومرن ويستخدم فى الشنط bags والأغلفة wraps، أما الورق المقوى فأسمك وأقوى ويستخدم لعمل الكراتين مفردة الطبقة، أما الكرتون فيصنع بضم طبقات من الورق المقوى ويستخدم ككراتين شحن ثانوية، وتسمى بالكرتون ،المضلع أو المموج corrugated paperboard، نسبة للطبقة الداخلية المموجة، أما تسميته بالكرتون cardboard فهو تعبير تعبئة غير صحيح. ومعظم المنتجات الورقية – عند

استخدامها فى العبوات الأولية – تكون متعددة الطبقات (أو مصفحة) لتحسين خواصها الوقائية. ويقصر لون الورق المصنع من كل من لب الأخشاب والمخلفات وتتم تغطيته (أو غمره) بالشمع، الراتنجات، الورنيشات، اللدائن، أو يصفح بالألومنيوم لتحسين قوته خاصة فى البيئة عالية الرطوبة الموجودة عادة حول المواد الغذائية. ويمكن استخدام مواد مضافة أخرى لزيادة مرونته، مقاومته للتمزق، قوة تمدده burst، قوة التبلل wet، مقاومة التشحم، قابليته للغلق sealability، المظهر، وخواصه الحجزية. ويصنع قليل من الورق عالى المسامية والإمتصاصية كورق اللحم أو صوانى الدجاج. يستخدم الورق المقوى (الكرافت kraft – كلمة ألمانية تعطى معنى القوة) غير مقصور اللون فى صناعة شنط البقالة أما الكرافت مقصور اللون فيستخدم فى محلات الجزارة. ومعاملة لب الورق بالأحماض تحور السليلوز وتزيد مقاومته للماء وللزيت ويسمى بارشمنت parchments ويسمى الورق المضاد للشحم أو الورق المزجج بالجلاسين (زجاجين glassine) ويتميز بطول ألياف الخشب التى تزيد قوته الفيزيقية جزئياً.

يجب أن يتوفر فى الورق الملامس للأغذية مواصفات إدارة الغذاء والدواء FDA الأمريكية خاصة من حيث نقاوته الكيماوية وأن تكون المواد المغطى بها غير سامة وتتوفر بها الإشتراطات الميكروبيولوجية حيث يجب ألا يزيد العد الميكروبى عن مستعمرة واحدة لكل سنتيمتر مربع من السطح الملامس للغذاء.

يتميز الورق ومنتجاته بتوفر خاماته عالمياً، إنخفاض التكلفة، وبقابليته للتجديد renewable، كما يعتبر صديقاً للبيئة، ويسهل إعادة تدويره لإنتاج الألياف أو حرقه كوقود. أما عيوب الورق ومنتجاته فتتمثل فى إنخفاض حجزه للغازات، فقد الأبخرة، وبالرغم من قوته النسبية عندما يكون جافاً فإنه يضعف عند إبتلاله. ولحسن الحظ فأنه يمكن تحسين خواصه الحجزية والميكانيكية بتغطيته أو بغمره فى الشمع، الورنيش، أو اللدائن. ويستخدم الورق المغطى بعديد الاثيلين ككرتونة لتعبئة السوائل أو أوعية للأغذية المجمدة. أما خواصه الحجزية للغاز والماء فإنها تتحسن بتصفيحه أو معدنته بالألومنيوم. وحديثاً يستخدم الورق المغطى بعديد الاستر فى صوانى الأفران أو الميكروويف حيث تناسب درجات الحرارة العالية اللازمة للطبخ أو لإعادة التسخين.

تتكون كراتين التعبئة الأولية من عدة طبقات من الورق المبيض وغير المبيض والذى يغطى داخلياً و/أو خارجيا بعديد الاثيلين لمنع نفاذ السوائل مع وجود طبقة من رقائق الألومنيوم والتى تمنع نفاذ الأكسجين. يوضح شكل رقم 23-5 التركيب الأساسى لطبقات الكرتون المستخدمة فى التعبئة المعقمة: يوجد عديد اثيلين خارجى يحمى طبقة الحبر ويسمح بغلق العبوة ثم طبقة من الورق المبيض يحمل الحبر والزينة decor ويعطى العبوة القوة الميكانيكية المناسبة، ثم طبقة أخرى من عديد الاثيلين المصفح الذى يعمل على تثبيت الألومنيوم مع الورق. وتلعب رقائق الالومنيوم دوراً هاماً فى حجز الغازات، حماية الناتج المعبأ من الضوء، وتعمل طبقتا عديد الاثيلين كوسيلة حاجزة للسوائل.



شكل رقم 23-5 : التركيب التفصيلى لطبقات الكرتون المستخدم فى التعبئة المعقمة

المصدر : Schulte (1989).

23 - 2 - 5 اللدائن (البلاستيك) Plastics :

يضم هذا المصطلح مجموعة واسعة من المواد تشترك فى أنها تتكون من عدد كبير من الجزيئات طويلة السلسلة لها وزن جزيئى 100.000 أو أكثر وتصنع بربط وحدات صغيرة متكررة تسمى مونوميرات (أحاديات جزئ) monomers متصلة بطريقة رأس إلى ديل head - to - tail . يعطى هذا التنظيم الجزيئ للدائن صفات فيزيقية غير عادية. يعتبر

البترول والغاز الطبيعى والفحم بمثابة المواد الخام التى تصنع منها اللدائن، عن طريق عملية البلمرة التى تخلق روابط بين المونوميرات. معظم اللدائن تحتوى على مواد مضافة مثل الملدنات (المنعمات) plasticizers، المشحمات lubricants، مضادات الأكسدة، مضادات الشوارد الكهربية antistats، المثبتات الحرارية، ومثبتات الأشعة فوق البنفسجية. هذه المواد المضافة تستخدم لتسهيل تصنيع اللدائن ولإكسابها ولو جزئيا بعض الخواص المرغوبة، فمثلا تحسن الملدنات سريان خامات اللدائن، تصبح قابلة للتصنيع processability، وتخفض تقصفها brittleness.

تعتمد خواص اللدائن على عدة عوامل، فخواصها الكيماوية تعتمد على المجموعات الوظيفية فى الوحدة الجزيئية المتغيرة (المونومر). وتميل الغازات المشابهة للمجموعة الوظيفية إلى النفاذ منها بعكس الغازات التى لا تشابهها. كما تعتمد الخواص الفيزيقية والميكانيكية على حجم البوليمر (الوزن الجزيئى وتوزيعه). من أهم الخواص الفيزيقية والميكانيكية لخامات لدائن العبوات: الخواص البصرية optical، تحمل التصادم impact، النفاذية، القابلية للقفل بالحرارة، خواص التمزق tensile، ومقاومة الاحتكاك friction. تعتبر اللدائن الحرارية (الثرموبلاست) thermoplastics من أكثر اللدائن شيوعاً واستخداماً فى تعبئة الأغذية، وتتصف بقابليتها لليونة عند درجات حرارة مرتفعة وتتصلب بالتبريد، ويمكن إعادة تشكيلها عدة مرات بتناوب تسخينها وتبريدها.

توجد عدة تقنيات لتحويل اللدائن إلى العبوة النهائية، ومنها التشكيل بالحرارة thermoforming بتسخين ألواح اللدائن الحرارية (الثرموبلاستيك أو المتلدنات) ثم تشكل كعبوات غذائية مثل الصوانى الرغوية foam trays من عديد الستيرين PS للحم والبيض. كما تستخدم القولبة بالحقن injection molding التى تتضمن صهر اللدائن الحرارية ودفعها تحت ضغط عالى إلى القالب الصلب لتأخذ شكله. ويستخدم بكثرة لتشكيل أوعية الأغذية رقيقة الجدران للزبادى (اليوغورت) والمرجرين وجرادل الشحنshipping pails. أما فى القولبة بالدفخ blow molding فيتم بثق أنابيب اللدائن الحرارية المجوفة بين نصفى القالب ثم يقفل نصفى القالب، ويضيق القاع بسرعة pinches off مع ترك النصف العلوى مفتوحاً لحقن الهواء المضغوط، الذى يؤدى إلى شد (مط) stretches اللدائن المنصهرة على شكل القالب، ويكثر استخدام هذه الطريقة فى صناعة الزجاجات اللدائنية.

تتأثر خواص اللدائن بشدة بالتقنية المستخدمة فى إنتاجها حيث يمكن توجيهه (ترتيب) oriented جزيئات الغشاء غير المنظمة amorphous أثناء عملية التصنيع. فعند تشكيل أغشية عديد الاستر الموجهة oriented PET، يتم بثق الراتنج المنصهر على أسطوانة سحب casting drum، تضبط درجة حرارة اللوح المسحوب cast sheet بعناية (عند درجة أعلى من درجة حرارة الحالة الزجاجية وأقل من درجة حرارة صهر البوليمر)، ويتم شده (مطه) stretched فى إتجاه الماكينة والإتجاه المستعرض لينتج غشاء عديد الاستر PET الموجه (بترتيب ثنائى المحور biaxially). تؤدى عملية توجيه جزيئات غشاء عديد الاستر PET إلى تحسن كبير فى مقاومته للشد tensile ، الشفافية clarity ، الصلابة stiffness ، المقاومة الكيماوية، والصفات الحجزية.

أهم العوامل التى يجب مراعاتها فى اختيار اللدائن هى: التكلفة، مدى توفرها، قوتها strength، خواصها الحجزية، مقاومتها الحرارية، قابليتها للقفل الحرارى، مقاومتها الكيماوية، شفافيتها، أن تعتمدها هيئات المواصفات والرقابة المختصة، وأيضاً قابليتها للطباعة ... إلخ. يتوفر فى الأسواق العديد من خامات اللدائن المستخدمة فى عبوات الأغذية، وتوضح الجداول 23-6، 23-7 ، 23-8 الخواص الهامة لبعض هذه اللدائن عند تصنيع الأغشية المرنة منها. يمكن تصنيف اللدائن المستخدمة فى تعبئة الأغذية إلى سلعية وحجزية. تتميز اللدائن السلعية commodity برخص سعرها ولكنها منخفضة فى صفاتها الحجزية للأكسجين ، مثل: عديد الاثيلين ، عديد البروبلين، وعديد (كلوريد الفينيل). أما اللدائن الحجزية barrier فهى مكلفة نسبياً ولكن ترتفع صفة حجزها للأكسجين، مثل: عديد (كلوريد الفينيلدين، ساران saran) البوليمر المدمج الثنائى copolymer كحول ڤينيل – اثيلين.

من بين بضع آلاف من اللدائن المخلقة، فإن حوالى عشرون منها تستخدم فى عبوات الأغذية سواء بمفردها أو بدمجها مع غيرها بطرق متباينة وينتج عدة مئات من اللدائن مختلفة التركيب التى تستخدم لإنتاج الأغشية والأوعية نصف الصلبة المستعملة لتعبئة الأغذية: خلات السليلوز، عديد الاميدات (النيلون nylon) ، عديد الاستر PET (ميلار mylar)، عديد الايثلين PE، عديد البروبلين PP، عديد الستيرين PS، عديد كلوريد فينيلدين PVdc (ساران saran)، وعديد كلوريد ڤينيل PVC.

جدول رقم 23 - 6 : الخواص العامة المميزة لأغشية التعبئة

مواد الغشاء	السمك (بوصة × 10^{-3})	الشفافية	الوزن النوعي	حدود الإستخدام: أقصى درجة حرارة بالفهرنهيت	حدود الإستخدام: أدنى درجة حرارة بالفهرنهيت	حدود الإستخدام: المقاومة لضوء الشمس	حدود الإستخدام: مدى حرارة الخلق بالفهرنهيت
سيلوفان مورنش بالملك	0.9 - 1.7	شفاف	1.55 - 1.40	حوالى 300	24	جيد	350 - 200
سيلوفان، غطاء برايمر	1 - 2	شفاف	1.44	حوالى 300	حوالى 0	-	350 - 200
سيلوفان، غطاء PE	2 وأعلى	شفاف - نصف شفاف	1.20	180	-	جيد	300 - 230
خلات سايلوز	8.8 - 250	شفاف	1.31 - 1.28	200 - 150	15 -	جيد	450 - 350
نيلون - 6 Nylon	0.5 - 30	شفاف - نصف شفاف	1.13	400 - 200	100 -	مقبول إلى جيد	450 - 380
عديد استر	0.12 - 14	شفاف	1.41 - 1.38	300	100 -	مقبول	450 - 425
LDPE	0.3 وأعلى	شفاف إلى معتم	0.925 - 0.910	200 - 180	70 -	مقبول إلى جيد	400 - 250
HDPE	0.4 وأعلى	شفاف إلى معتم	0.965 - 0.941	250	50 -	مقبول إلى جيد	400 - 275
PP غير موجه	0.87 - 10	شفاف	0.905 - 0.885	300 - 270	0	مقبول	400 - 285
PP موجه	0.5 - 1.25	شفاف	0.907 - 0.902	295 - 285	60 -	مقبول	320 - 300
PS موجه	0.25 - 20	شفاف	1.06 - 1.05	205 - 175	- 70 إلى - 94	مقبول	350 - 250
PVC	0.5 - 100	شفاف إلى معتم	1.80 - 1.20	200 - 150	- 20 إلى - 50	جيد	420 - 300
Vc / Vdc برايمر مدمج	0.4 - 6	شفاف	1.71 - 1.59	290	-	مقبول	300 - 240

Potter & Hotchkiss (1995).

جدول رقم 23 - 7 : النفاذية Permeability والخواص الكيماوية لأغشية التعبئة

مواد الغشاء	نفاذ الغاز (سم3 / 100 بوصة / 24 ساعة / ميل*)			انتقال بخار الماء (جم/100بوصة^2/ ميل عند 37.8م و 90٪ رطوبة نسبية	٪ لامتصاص الماء فى 24 ساعة	مقاومة ضد				
	O_2	N_2	CO_2			الأحماض القوية	القلويات القوية	الشحوم والزيوت	المذيبات العضوية	الماء
سيلوفان مورنش بالك	1	1	13	1.0 - 0.2	مرتفع	ضعيف	ضعيف	جيد	ضعيف	متوسط
سيلوفان، غطاء بوليمر	0.5	0.5	0.5	0.9 - 0.4	مرتفع	متغير	جيد	جيد	جيد	جيد
سيلوفان، غطاء PE	-	-	-	1.2 وأعلى	-	جيد	جيد	متغير	جيد	جيد
خلات سايلوز	150 - 117	40 - 30	1000 -860	حوالى 150	9-3	ضعيف	ضعيف	جيد	ضعيف	جيد
نيلون – Nylon 6	2.6	0.9	12 - 10	22 - 16	9.5	ضعيف	جيد	جيد	جيد	متغير
حديد استر	4 - 3	1.0 - 0.7	25 - 15	1.3 - 1.0	0.8 >	جيد	ضعيف	جيد	جيد	جيد
LDPE	500	180	2700	1.5 - 1.0	0.01 >	جيد	جيد	ضعيف	جيد	جيد
HDPE	185	42	580	0.3	نيل	جيد	جيد	جيد	جيد	جيد
PP غير موجه	240 - 150	48 - 40	800 - 500	0.7	0.005 >	جيد	جيد	جيد	جيد	جيد
PP موجه	160	20	540	0.25	0.005 >	جيد	جيد	جيد	جيد	جيد
PS موجه	350 - 250	-	900	10 - 7	0.10 - 0.04	جيد	جيد	متغير	متغير	جيد
PVC	160 - 8	70 - 1	1900 -20	10 - 4	نيل	جيد	جيد	جيد	متغير	جيد
Vc / Vdc لوليمر مدمج	6.9 - 0.8	1.5 - 0.12	44 - 3.8	0.6 - 0.2	-	جيد	جيد	جيد	متغير	جيد

* ميل mil عبارة عن جزء من ألف من البوصة، ويساوى 0.025 من المليمتر

المصدر : Potter & Hotchkiss (1995).

جدول رقم 23-8 : الخواص الميكانيكية لأغشية التعبئة

مادة الغشاء	قوة الشد tensile strength (100psi)*	الاستطالة Elongation (٪)	قوةالتمزق Tearing strength جم / ميل	قوة البروز bursting سمك 1 ميل (Psi)*	تحمل الطى folding endurance
سيلوفان مورنش بالملك	180 - 70	25 - 15	10 - 2	65 - 55	جيد
سيلوفان، غطاء بوليمر	180 - 70	50 - 25	15 - 7	-	-
سيلوفان، غطاء PE	180 - 70	25 - 15	10 - 2	50 - 40	جيد
خلات سايلوز	164 - 70	70 - 15	10 - 4	60 - 30	متوسط
نيلون – Nylon 6	180 - 90	550 - 250	90 - 50	استطالة	مرتفع جدا
عديد استر	350 - 200	165 - 60	27 - 12	80 - 55	مرتفع جدا
LDPE	30 - 15	700 - 100	300 - 50	12 - 10	مرتفع جدا
HDPE	61 - 24	650 - 10	300 - 15	-	جيد
PPغير موجه	70 - 45	1000-550	-	-	مرتفع جدا
PP موجه	400 - 75	475 - 35	10 - 3	-	جيد
PS موجه	120 - 80	40 - 3	5	35 - 16	-
PVC	160 - 14	500 - 3	1400 - 10	40 - 20	-
Vc / Vdc بوليمر مدمج	160 - 80	80 - 30	100<-10	35 - 25	مرتفع جدا

* psi : عبارة عن ضغط جوى لكل بوصة مربعة

المصدر : Potter & Hotchkiss (1995).

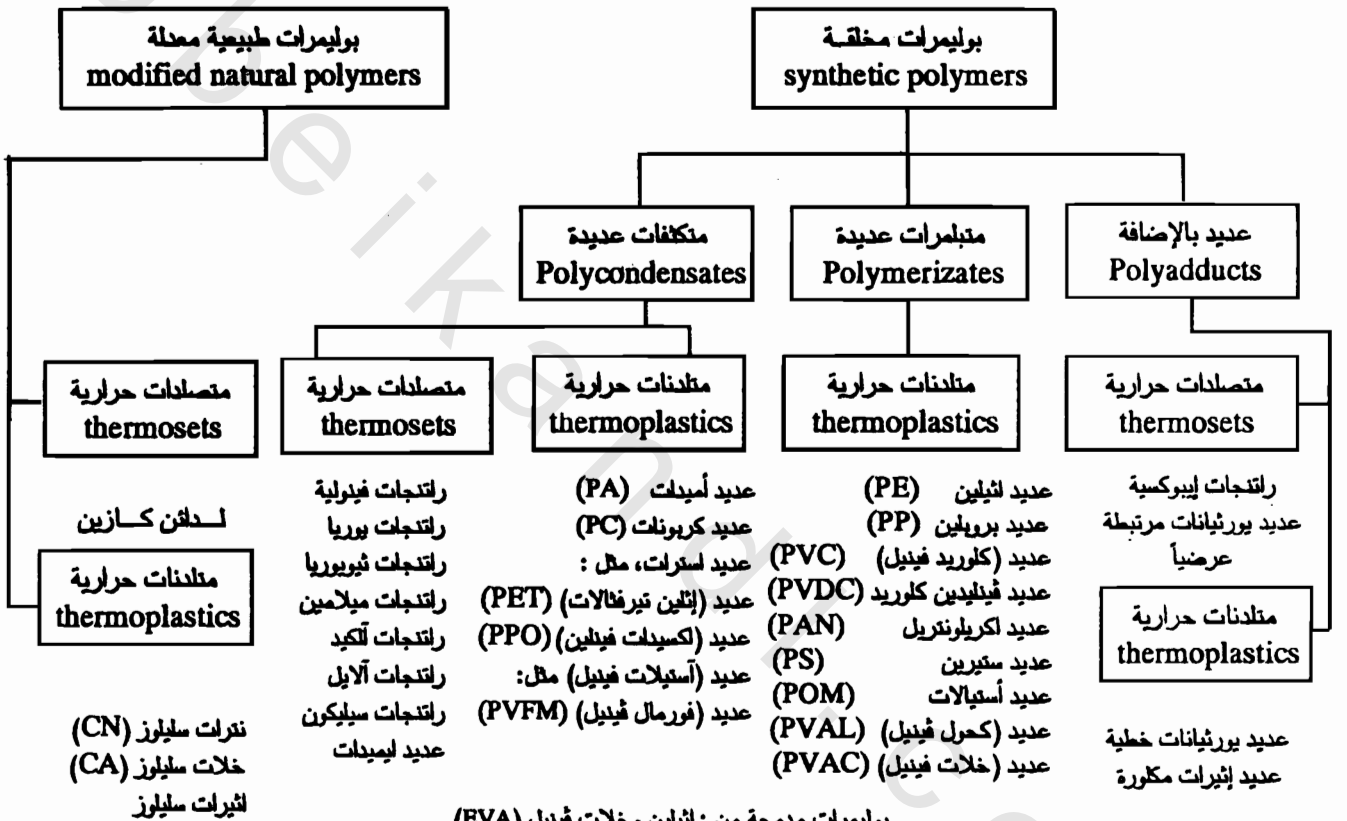
تتكون البوليمرات المدمجة copolymers من دمج مونوميرات (أحاديات جزيئية) مختلفة فى داخل جزيئات البوليمر لتعطى خامات ذات صفات مزدوجة. فإذا كان راتنج اللدائن مكونا من نوع واحد من المونوميرات مثل الاثيلين فيسمى بالبوليمر المتجانس homopolymer . أما إذا احتوى الراتنج على أكثر من نوع من المونوميرات مثل الاثيلين وخلات الفينيل واتصلا معا كيماويا فإنه يطلق عليه البوليمر المدمج copolymer

مثل : عديد اثيلين – خلات ڤينيل، بروبلين – اثيلين، اثيلين – حمض أكريليك، اثيلين – ايثايل أكريلات، كلوريد ڤينيل – بروبلين، اثيلين – كحول ڤينيل ... إلخ. وهى من أنواع اللدائن التى تغطى مدى واسعاً لاستخدامها كعبوات للأغذية المختلفة.

حديثاً أنتج خامات لدائن أيونية من نوع الأيونوميرات ionomers عن طريق تحوير اللدائن بإضافة مجاميع الكربوكسيل الحامضية إلى سلسلة بوليمر عديد الاثيلين لتكون ارتباطا قويا بين جزيئات سلسلة البوليمر وتؤثر على الخواص الفيزيقية للدائن الناتجة. هذا الارتباط البينى يحسن الخواص الوظيفية جزئيا فتزداد مقاومتها للزيوت، الشحوم، المذيبات، وللانصهار. من أوائل البوليمرات التجارية من هذا النوع بوليمر من الاثيلين يسمى ساريلين أ (surlyn A) يشابه فى خواصه عديد الاثيلين ولكن بسبب الارتباط الأيونى داخل السلاسل ترتفع نقطة انصهاره مما يعطيه قدرة عالية على التشكيل، ويستخدم فى تحضير لدائن التغطية رقيقة السمك. ويتميز أيضاً بمقاومته للقلويات الضعيفة والقوية، الكيتونات، الكحولات ولكنه يتحطم بالأحماض وينتفخ بالايدروكربون. يتميز الساريلين أ بأنه أكثر شفافية من عديد الاثيلين منخفض الكثافة LDPE كما أنه يسهل طباعته . وعامة فإنه يمكن تقسيم اللدائن إلى : المتصلدات (المواد المتصلدة بالحرارة أو الثرموست) thermosets ، والمتلدنات (اللدائن الحرارية، المواد المتلدنة بالحرارة، أو الثرموبلاست) thermoplastics ، كما فى الشكل رقم 6-23 الذى يوضح كل من البوليمرات الطبيعية المعدلة والبوليمرات المخلقة التى تنتج بتعدد البلمرة polymerizates ، تعدد المتكثف polycondensates، تعدد بالإضافةpolyadducts ، وسوف نتكلم باختصار عن القسمين السابقين.

أولاً : المتصلدات (المواد المتصلدة بالحرارة أو الثرموست) Thermosets :

عبارة عن مواد تلين بالتسخين ولكنها تتصلب نهائياً بالتبريد، إذ أن التسخين الأول يحدث بها تفاعلاً كيماويا يربط سلاسلا تبادلياً بروابط قوية تمنع انزلاقها، ومن ثم لا تنساب بعد ذلك بالحرارة أو الضغط، وأن ترابطها الوثيق يمنع المذيبات من تفريقها ولذا تصلح للاستعمال عند درجات الحرارة المرتفعة نسبياً، وتمتاز بخواصها الكهربية الجيدة، وأثمانها المنخفضة، قوتها، ومقاومتها للانزلاق وللكيماويات. ولا تكتفى الجزيئات المكونة لها – المونومرات – بترابط أطرافها ، بل يسمح تركيبها الكيماوى بتكوين روابط عرضية بين



شكل 23 -6 : بوليمرات وراتنجات اللدائن الأساسية

المصدر : Figge (1996).

السلاسل ، وهى روابط قوية تحفظ السلاسل عند مسافات محددة من بعضها البعض فتظل جامدة عند جميع درجات الحرارة دون درجة التحلل، ومن ثم لا يطرأ أى تغيير على شكلها. تستخدم ثلاثة أنواع منها على نطاق واسع فى مجال العبوات، وهى:

1- **فورمالدهيد الفينول** Phenol - formaldehyde :

تتميز بلونها البنى الداكن أو الأسود وهى متقصفة brittle ، لا تذوب فى المذيبات العضوية، تقاوم الأحماض والقلويات الضعيفة، ولكنها تتحطم بالأحماض والقلويات القوية. يستخدم راتنج الفورمالدهيد – فينول فى صناعة أغطية عبوات الأدوية لمقاومته الكبيرة للماء. يضاف لها عديد من المواد المالئة مثل المواد المطحونة chopped fabric أو الخشب لخفض التكلفة ولتحسين صفاته مثل قوة الصدمة impact.

2- **فورمالدهيد اليوريا** Urea - formaldehyde :

تتميز بلونها الأبيض ويضاف لها السليلوز كمادة مالئة لتبييضها ولها نفس خواص الذوبان مثل فورمالدهيد الفينول. تستخدم على نطاق واسع فى عمل أغطية العبوات لقابليتها الكبيرة للتلوين ومقاومتها الكبيرة للزيوت.

3- **عديد الاستر المقوى بالزجاج** Glass - reinforced polyesters :

يتميز بمقاومته العالية للبيئة المحيطة، له مقاومة كيماوية عالية للمذيبات ولمعظم الأحماض العضوية وغير العضوية والأحماض المؤكسدة القوية والقلويات الضعيفة ، ولذا يستخدم فى صناعة الصهاريج القوية وأوعية التخزين المؤقت transite الواسعة.

ثانياً : المتلدنات (المواد المتلدنة بالحرارة، اللدائن الحرارية أو الثرموست Thermoplastics) :

عبارة عن مواد تلين بالتسخين وتتجمد بالتبريد، ويمكن إعادة تشكيلها عدة مرات بتناوب تسخينها وتبريدها مع مراعاة ألا تصل الحرارة المستخدمة إلى درجة التحلل. وهى تتشكل بسهولة عند درجات حرارة لا تتجاوز 100° مئوية ولا تحتاج إلا لقدر بسيط من الضغط. تختلف صلابتها إما بسبب تركيبها الذاتى مثل عديد الاثيلين PE فهو مطاطى، وإما بسبب إضافة بعض المواد الملينة مثل عديد كلوريد الفينيل PVC . يمكن أن يلصق بها مواد

مشابهة باستعمال المذيبات، كذلك يمكن لحامها بواسطة الحرارة أو صقلها باستعمال مواد الحك الليدة. ترتبط جزيئات هذه المواد (المونومرات) فى سلاسل بالغة الطول. وفى حالة البوليمرات المدمجة copolymers فإنها تتضمن اثنين أو ثلاثة أنواع مختلفة من الأحاديات (مونومرات) موزعة عشوائيا أو فى كتل من ذات النوع على طول كل سلسلة جزيئية. وسنتكلم باختصار عن هذه المواد

1- **عديد الاثيلين** Polyethylene PE :

من أكثر البوليمرات استخداماً فى عبوات الأغذية لرخص سعره ولصفاته المميزة المرغوبة ، كحاجز ممتاز للرطوبة ولقابليته الجيدة للقفل بالحرارة وسهولة تصنيعه لأنه أبسط البوليمرات فى التركيب الكيماوى، ينتج بالبلمرة بالإضافة للاثيلين مكونا سلسلة ايدروكربونية مستقيمة. يستخدم بكثرة فى الأغشية ، والعبوات المنتجة بالقولبة بالنفخblow molded ، وفى التصفيح lamination . من أكبر عيوب عديد الاثيلين-PE، هو ارتفاع نفاذيته للغاز والأبخرة، ويستفاد بهذه الصفة باستخدامه فى تغليف المنتجات الطازجة المعبأة فى جو معدل modified atmosphere packaging (MAP) بدخول وخروج كلا من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون. يقسم عديد الاثيلين PE إلى عالى الكثافة ومنخفض الكثافة، وتوجد درجات مختلفة داخل كل قسم. يختلف هذان النوعان عن بعضهما فى الصلابة rigidity ، المقاومة الحرارية، المقاومة الكيماوية ، وتحملها للأثقال. عامة تزداد قوة الشد tensile strength (TS)، الصلابة hardness، المقاومة الحرارية، وخواص حجز الغاز gas barrier بزيادة الكثافة.

عديد الاثيلين منخفض الكثافة low density polyethylene (LDPE) تتراوح كثافته بين 0.915 إلى 0.939 جم / سم^3 ويتميز تركيبه الجزيئ بالتفرع الجانبى مما يجعله خامة عالية المرونة flexible وتزداد قابليتها للشد (المط) stretchable وتتحمل الصدماتimpact strength جيداً ولكن تنخفض نسبياً مقاومتها للحرارة (أقصى درجة حرارة تتحملها 175° فهرنهيت) . ويستخدم عديد الاثيلين منخفض الكثافة LDPE بكثرة فى أكياس البقالة grocery sacks، الأغشية المنكمشة shrink films، والأغلفة المشدودةstretch wraps . ونظراً لطبيعتها اللينة والمرنة فإنها تناسب البضائع الصغيرة soft goods ومنتجات الخبيز.

أما عديد الاثيلين عالى الكثافة high density (HDPE) polyethylene فإن كثافته تكون أعلى من 0.94 جم / سم^3 ويحتوى تركيبه الجزيئى على عدد قليل نسبياً من التفرعات الجانبية مما يتيح الفرصة للجزيئات أن تتكدس بجوار بعضها بشدة، وبالتالى يكون HDPE أكثر صلابة، أقل شفافية، ذا مقاومة عالية للزيوت والشحوم، وأكثر مقاومة لنفاذية الغازات والأبخرة. وتستخدم فى زجاجات اللبن، أغلفة التوزيع deli wrap، كبطانة liner لوجبات الإفطار المصنعة من الغلال، لتعبئة أغذية التسالى snacks لزيادة حمايتها من الرطوبة، زيادة تماسك وصلابة العبوة rigidity، وبتكاليف منخفضة. ويستخدم غشاء عديد الاثيلين عالى الكثافة HDPE فى البثق المزدوج coextrusion لتشكيل بطانة أكياس العبوات المزدوجة (أو التوأمية) twin - pack liner ولتعبئة أغذية التسالى الصغيرة ومتوسطة الحجم.

يمكن أن يتم تشكيل عديد الاثيلين بالبثق فى صورة غشاء أو بالنفخ إلى زجاجات أو بالحقن إلى أغطية وأوعية تستخدم لكافة الأغراض. ويمكن أيضاً أن يتم فرده لتغطية الورق، رقائق الألومنيوم، أو أغشية السليلوز. كما يستخدم عديد الاثيلين لتصنيع الأوعية الحاوية الكبيرة عن طريق الصب. ومن أهم خواص LDPE خموله الكيماوى النسبى وعدم ذوبانه فى معظم المذيبات على درجة حرارة الغرفة ولكن يحدث له تطرية وانتفاخ فى الايدروكرابن والايدروكرابن المكلورة.

وقد استخدم LDPE من وقت قريب نسبياً فى عمل طبقات متعددة رقيقة (أو مصفحة) laminates . ووجد أن عجينة التفاح المعبأة فى غشاء نيلون nylon / مصفح بـ LDPE يدكن لونها كثيراً عند جميع درجات حرارة التخزين (20° – 43° مئوية) ويكون أقل قبولاً. كما وجد أن عصير البرتقال المركز سواء كان مدعماً بالكالسيوم أو بدونه المعبأ فى أكياس LDPE كان له تقبل منخفض عن المعبأ فى أكياس مصفحة (عديدة الطبقات). أما فى حالة السبانخ فكان أفضلها المعبأ فى أكياس LDPE وتتساوى مع المعبأة فى رقائق الألومنيوم.

2- عديد البروبيلين Polypropylene PP :

وهو من أخف أنواع اللدائن حيث تبلغ كثافته 0.90 جم / سم^3 وبالمقارنة بعديد

الاثيلين PE فإنه يعتبر أكثر صلابة، أكثر شفافية، أفضل فى خواص حجز الغاز، وله مقاومة حرارية أعلى وبالتالى يصلح لغلى الغذاء فى العبوة boil - in - bag ويتحمل التعقيم بالبخار. من ناحية أخرى فإن عديد البروبيلين PP مرتفع التكلفة، ومقاومته للصدمات أقل خاصة عند درجات الحرارة المنخفضة ، كما أنه غير جيد القفل ويصعب قفله بالحرارة. وعديد البروبيلين له استخدامات عديدة فى العبوات الغذائية – تماثل عديد الاثيلين – حيث يستخدم فى صورة أغشية وفى العبوات التى تشكل بالحقن أو بالقولبة بالنفخ. كما يستخدم فى الأغطية العادية lids وأغطية القفل المحكمة closures. ويوجد بالأسواق أغشية عديد البروبيلين PP سواء غير الموجه non - oriented PP والتى تعرف أيضاً بالأغشية المسحوبة cast، والموجه oriented (OPP). ويتم هذا التوجيه بشد هذه الأغشية أثناء عملية التصنيع. ورغم ارتفاع تكلفة عديد البروبيلين الموجه OPP إلا أن خواصه أفضل كالشفافية، قوة تحمله للصدمات وخواصه الحجزية لبخار الماء والأكسجين.

يتميز PP بانخفاض ملمسه الشمعى وبارتفاع مقاومته للشحوم وللمذيبات عن LDPE ، ولكنه ينتفخ عند تعرضه للتولوين أو الزيلين، وله نقطة ليونة softening point أعلى من عديد الاثيلين بنوعيه LDPE و HDPE .

3- عديد الستيرين Polystyrene (PS) :

يتميز عديد الستيرين بأنه شفاف عديم اللون وصلب له قوة تحمل عالية. كما يتميز بمقاومته للأحماض والقلويات القوية ولا يذوب فى الايدروكرابن الأليفاتية والكحولات القصيرة. لكنه يذوب فى الاسترات، الايدروكرابن العطرية والمكلورة، الكيتونات، والكحولات العالية. كما يتميز بسهولة التصنيع حيث يسحب كألواح، ويشكل بالحرارة، أو القولبة بالبثق أو بالحقن نظراً لإنخفاض نقطة انصهاره (190° فهرنهيت) وليونته عند درجة حرارة 90 - 95° مئوية. أيضاً فإن عديد الستيرين سهل التقصف brittleness ومنخفض المقاومة للصدمات، وعادة تتحسن هذه الصفة بخلطه بكميات صغيرة من محورات modifier المطاط الصناعى مثل بيوتادايين الستيرين styrene butadiene أو عديد البيوتادايين polybutadiene سواء بطريقة كيماوية أو ميكانيكية وبحيث تتقارب صفاته مع عديد الستيرين الأصلى.

يكثر استخدام عديد الستيرين الرغوى فى صناعة صوانى اللحم والبيض، الأكواب، والأوعية بتقنية التشكيل الحرارى بالسحب العميق من ألواح عديد الستيرين الرغوية المبثوقة. تعتمد كثافة الرغويات ومقاومتها للتفتت crush على حجم الخلايا الرغوية وعلى توزيعها والتى يمكن التحكم فيها عن طريق توزيعها ونسبتها المئوية ومدى تطاير عوامل النفخ المضافة مثل البنتان والأيزوبنتان. يجابه استخدام عديد الستيرين هجوم هائل من جماعات حماية البيئة ومن المجتمع مما دفع حديثاً كبرى الشركات العالمية للأغذية السريعة للاستغناء عن عبوات PS الرغوية (الأغلفة الرخوية للماك الكبير وصوانى PS المبثوقة وأكواب المشروبات وأكواب المشروبات الساخنة ذات القاعة السطحية القابلة للامتداد) واحلالها بأغلفة ذات طبقات من PE والورق. بالرغم من أن هذه الأغلفة غير قابلة لإعادة التدوير فإنها تشغل حيزاً قليلاً فى أماكن تجميع القمامة. وحالياً يجابه استخدام عديد الستيرين فى محلات الجملة الضخمة مستقبلاً غامضاً.

4- عديد (كلوريد ڤينيل Polyvinyl chloride (PVC)) :

تتميز بأنها شفافة، خشنة، وصلبة ولكن الخامات رائقة ولامعة gloosy ولها مقاومة عالية وصفات حجز جيدة للغازات، صفات حجز متوسطة للرطوبة، وذات نقطة مرونة أقل قليلاً من درجة الحرارة التى يحدث عندها انحلال للدائن. كما أنها مقاومة للأحماض والقلويات القوية والضعيفة، للزيوت والشحوم، ولكنها تذوب فى الاسترات والكيتونات وتتحطم بالايدروكرابن العطرية. تتمتع الزجاجات المصنعة منPVC بشفافية جيدة ومقاومة للتصادم وتستعمل بكثرة لتعبئة زيوت السلاطة. وعادة يضاف لها الملدنات (استرات عطرية) حيث تؤدى إلى تنعيم الأغشية وتصبح أكثر مرونة ولكن تؤدى إضافتها إلى خفض قوة الشد حسب كمية الملدن المضاف. تستخدم أغشية بوليمر PVC لتغليف وتعبئة اللحم الطازج.

5- البوليمرات المدمجة لخلات ڤينيل الاثيلين :

Ethylene vinyl acetate copolymers (EVA)

لهذه البوليمرات مرونة مماثلة لـPVC الطبيعى بدون إضافة الملدنات، وله مرونة أعلى من LDPE، ولها صفات حاجزة للغازات ولبخار الماء ومقاومة للمذيبات أقل من LDPE .

ويتميز هذا البوليمر المدمج بمقاومته للتشقق ولكن يسهل تكتله blocking بالمقارنة بأغشية LDPE ولذلك يضاف إليها مانعات التكتل anti - blocking بنسب مرتفعة.

6- عديد الاستر Polyester (PET):

عبارة عن نواتج تكثيف عديد polycondensation لجليكول الاثيلين ethylene glycol وحمض التيرفثاليك terephthalatic acid حيث يتكون بصفة رئيسية عديد (اثيلين تيرفثالات poly (ethylenetere phthalate وتختصر إلى PET (أو PETP). وهو مرتفع التكلفة نسبياً – مقارناً بعديد الاثيلين وعديد البروبلين – إلا أنه أقوى وأعلى فى الخواص الحرارية والشفافية والصلابة toughness ولكنه فقير فى خواصه الإنسيابية (الانزلاقية) slip إلا إذا أضيفت له مواد مضافة للإنسيابية والتى تجعله قليل العكارة hazy ويتوفر تجارياً باسم «ميلار» Mylar وتوجد منه أغشية موجهة وغير موجهة الجزيئات، وبالطبع فالأغشية الموجهة الجزيئات أعلى تكلفة ولكن تزداد فيها قوة الشد والصلابة والشفافية وخواصها الحاجزة. ونتيجة تحملها الفائق على مدى واسع من درجات الحرارة – لإرتفاع نقطة ليونتها حيث تنصهر عند درجة حرارة أعلى من 243° – 270° مئوية – فإنها تستخدم كمكون لأكياس تعبئة الأغذية التى يتم فيها الغليان boil - in - bag وطهى الأغذية، أكياس المعقمات، أكياس التعبئة تحت تفريغ لمنتجات اللحم المطبوخ، الأغشية الممعدنة، وغيرها – ونظراً لقوة عديد الاستر PET وإنخفاض نفاذيته لثانى أكسيد الكربون وقوة تحمله لضغط الغاز فإنه يستخدم لصناعة زجاجات المياه الغازية والبيرة وزجاجات تعبئة الزيوت. وعن طريق شد الزجاجات المقولبة بالنفخ (توجه على المحورين) تزداد قوتها وخواصها الحاجزة للغازات. كما تم إنتاج عديد استر مبلور crystallized (CPET) polyester يمكن استخدامه عند درجات حرارة مرتفعة قريبة من 425° فهرنهيت لصوانى تسخين الأغذية dual - ovenable . فى كوريا أنتج نوعين من الأكياس التى تتحمل التعقيم من أغشية مصفحة ثلاثية الطبقات (عديد استر / رقائق ألومنيوم / عديد بروبلين) ورباعية الطبقات (عديد استر / رقائق ألومنيوم / نيلون / عديد بروبلين) وتتحمل الأكياس المعبأة التخزين لمدة عام واحد عند درجة حرارة الغرفة (20° مئوية). يتميز عديد الاستر PET بخواص حاجزة للغازات تفوق نظيرتها من الـ PVC ومن عديد الأوليفينات polyolefins

ولكنه أقل من عديد الأكريلونتريل، وله صفات حاجزة جيدة لبخار الماء. ويتميز بأن له بريقاً وشفافية بصرية والتى تتأثر بالعامل المساعد (كالأنتيمون antimony، الجرمانيوم germanium، أو خليط منهما) الذى يضاف أثناء عملية البلمرة، وأحياناً يضاف الجرمانيوم للحصول على زجاجات عالية البريق.

7- عديد (كلوريد ڤينيلدين) Poly (vinylidene chloride (PVdC) :

عبارة عن بوليمر مدمج coplymer، يعرف تجارياً باسم الساران saran، يتميز بخواصه الحجزية الجيدة حتى عند درجات حرارة ورطوبة عالية مما يجعله خامة عبوة مناسبة لعمليات التعقيم. تستخدم بكثرة أغشية الساران فى تعبئة اللحم والسجق والأسماك وغيرها. ولأن له قوة التصاق cling ولمعان عالية فإنه يستخدم فى الأغلفة المحكمة لتعبئة الجبن. من عيوب PVdC ارتفاع تكلفته وصعوبة استخدامه كقصاصات أو كقطع صغيرة، كما أن بعض أنواعه حساس للحرارة مما يجعله صعب التصنيع وإعادة التدوير.

8- كحول ڤينيل – اثيلين Ethylene - vinyl alcohol (EVOH) :

عبارة عن بوليمر مدمج (مختلط) متحال مائيا يتكون من كحول ڤينيل والاثيلين، ويتميز بخواص حجزية عالية للأكسجين. تعتمد خواصه على التركيز النسبى للمونومرات المدمجة co - monomers : فبزيادة محتوى كحول الڤينيل تزداد خواص حجز الأكسجين وتنخفض خواص حجز الرطوبة وتزداد صعوبة تصنيع البوليمر المدمج. يوجد مدى واسع من أنواع EVOH فى الأسواق تحتوى على 25-50٪ اثيلين ، يتميز بحجزية عالية للأكسجين فى تركيبها المدمج (أو المزدوج) البثق coextruded مثل زجاجات الكاتشب والمايونيز والجلى، وزاد استخدامها حديثاً فى عبوات الأغذية المعقمة.

من عيوب هذا الراتنج ارتفاع كل من هيجروسكوبيته وتكاليفه عن الـ PVdC ، ويزداد معدل نفاذيته للأكسجين كثيراً بامتصاصه للرطوبة ولذلك يجب الاحتياط عند استخدامها لتعبئة الأغذية السائلة أو عندما يتوقع تعرضها لرطوبة عالية كما فى داخل المعقمات. عادة تستخدم EVOH كغشاء رقيق داخلى فى التراكيب المدمجة (أو المزدوجة) البثق مثل : PP/ طبقة رابطة tie layer/ EVOH / طبقة رابطة PP / ، حيث تقوم طبقة عديد

البروبلينPP بحماية طبقة EVOH من الرطوبة. كما تضاف مادة مجففة إلى طبقة الربط اللاصقة لامتصاص الرطوبة قبل أن تؤثر على طبقة EVOH . وتحتوى الأغشية البوليمرية عديدة الطبقات على EVOH أو طبقة PVdC لتعمل كمادة عبوة كالزجاج لتعبئة منتجات الفاكهة الساخنة.

9- السيلوفانات Cellophanes والبليوفيلم Plio film :

يصنف السيلوفان عادة كلدائن بالرغم من أن مكونه الأكبر هو السليلوز، وهو عبارة عن بوليمرات طبيعية وليست مخلقة وتحتوى كل السيلوفانات بالإضافة للسليلوز على ملدنات مثل الجليسرول وجليكول الاثيلين ethylene glycol (وهى مذيبات منخفضة التطاير وتضاف للدائن لخفض قوى التجاذب بين سلاسل البوليمر مما يؤدى إلى تحسن مرونتها). يسمى السليلوز الملدن باسم السيلوفان السادة plain cellophane وهو عالى النفاذية لبخار الماء، يغطى عادة بعوامل واقية مثل النتروسليلوز، الشموع، الراتنجات، أو البوليمرات المخلقة وهى التى تحدد خواص التعبئة للسيلوفانات. المادة الأساسية لإنتاج خلات السليلوز، إيثايل سليلوز ethyl cellulose ، نترات سليلوز cellulose nitrate هى السيلوفان. وتشابه هذه المواد السليلوزية cellulosics خواص السيلوفان إلا أنها أقل استخداماً فى تعبئة الأغذية.

أما البليوفيلم pliofilm فهو عبارة عن ايدروكلوريد المطاط rubber hydrochloride ، يستخدم فى تعبئة بعض المواد الغذائية بعد إضافة الملدنات إليها وهى التى تحدد خواصها.

10- عديد الكربونات Polycarbonate PC :

يتميز بارتفاع قوة تصادمه impact strength، نقطة ليونته، له شفافية فائقة، يقاوم الأحماض والقلويات الضعيفة ولكنه يتحطم ببطء بالأحماض والقلويات القوية، ويذوب فى الايدروكرابن الكلورونية والعطرية ولكنه لا يذوب فى البرافين.

23 - 2 - 6 الأغشية والأغطية القابلة للآكل Edible films & coatings :

استخدمت الأغشية والأغطية القابلة للآكل منذ مايزيد على خمسين عاما، ولكنها لا تعتبر بديلاً عن مواد التعبئة والتغليف غير القابلة للآكل ولكنها تستخدم كمساعد على تحسين الجودة الشاملة للغذاء، إطالة عمره التخزينى shelf - life ، وتحسين الكفاءة الإقتصادية لمواد

التعبئة. من الناحية الوظيفية فهى تؤخر هجرة ونقل كل من الرطوبة، غازات الاكسجين وثانى أكسيد الكربون، الزيوت والدهون، والمذاب. كما تحسن الخواص الميكانيكية لتداول الأغذية، تمنح تركيبا إضافيا لسلامة الأغذية، تحفظ مركبات النكهة الطيارة، وتحمل المواد المضافة للأغذية. وهى تشابه فى ذلك الخواص الوظيفية للأغشية غير القابلة للآكل (المخلقة). وعامة تعتمد الخواص الوظيفية للأغشية والأغطية القابلة للآكل على نوع المادة الغذائية وكيفية تلفها، فمثلاً الأغذية أو الخلطات الغذائية غير المتجانسة الغنية فى الدهون غير المشبعة يصلح لها أغشية مقاومة لنقل الاكسجين، أما عند استعمالها لتأخير جفاف الفواكه والخضروات الطازجة فيجب أن يتوفر فيها نفاذية مناسبة للاكسجين وثانى أكسيد الكربون لتلافى التنفس اللاهوائى.

تعتبر مقاومة الغشاء أو الغطاء القابل للآكل لهجرة الرطوبة من أهم خواصها الوظيفية وذلك لضرورة الاحتفاظ بالمستويات الحرجة لنشاط الماء a_w فى كثير من الأغذية. فتؤدى زيادة نشاط الماء عن 0.40 - 0.45 إلى فقد هشاشية أغذية الحبوب الخفيفة الجافة، كذلك فإن انخفاض نشاط الماء عن 0.85 ، 0.70، 0.60 يؤدى إلى تثبيط نمو البكتريا، الخميرة، والفطر على الترتيب.

بعض الأغشية القابلة للآكل خاصة المكونة من بوليمرات محبة للماء تتميز بعدم نفاذيتها للزيوت والدهون وتستخدم للف الأغذية المقلية فى الزيت لتأخير امتصاصه من الغذاء مما يحسن جودتها التغذوية وصفاتها العضوية الحسية ويؤخر انتشار المواد المذابة من السطح إلى داخل الغذاء. وقد استخدمت الأغشية البروتينية للاحتفاظ بتركيزات من حمض السوربيك على سطح الأغذية متوسطة الرطوبة، واستخدمت كأغطية سطحية مع الجمبرى والكابوريا أثناء تجميدها فى محلول ملحى لتقليل إنتشار الملح فيها.

تركيب الناتج الغذائى يتم تدعيمه بلفه بغطاء قابل للآكل مما يؤدى إلى تحسن تحمله أثناء التصنيع، التخزين ، والتوزيع خاصة الأغذية المبثوقة والمقولبة. تستخدم الأغشية القابلة للآكل المصنعة من دهون وغرويات محبة للماء لتغطية مواد الرفع leavening ومركبات النكهة فى صورة كبسولات دقيقة microencapsules (بعملية كبسلة دقيقة microrencapsulation) لتأخير فقد كفاءة عملية الرفع أو فقد مكونات النكهة.

ويستفاد بالأغطية القابلة للآكل فى إدخال معظم المضافات مثل مضادات الميكروبات ومضادات الأكسدة إلى مواضع معينة فى الأغذية دون رفع لتركيزها الكلى النهائى فى هذه الأغذية.

تتكون معظم الأغشية القابلة للآكل من بوليمر واحد على الأقل عالى الوزن الجزيئى، حيث يلزم تركيب طويل السلسلة لتكوين الغشاء بقوة تماسك تعتمد على تركيبه الكيماوى، طبيعة المذيب المستخدم، إضافة عوامل ارتباط عرضية (بينية) cross linking ، وكذلك على ظروف تكوين الغشاء. زيادة التركيب المتماسك للغشاء تؤدى إلى خفض مرونته ومسامه ونفاذيته للغازات والأبخرة والمواد الذائبة. يزداد تماسك الغشاء بزيادة طول سلسلة البوليمر المستخدم وزيادة قطبيته. كما يؤدى التوزيع المتجانس للمجموعات القطبية على طول سلسلة البوليمر إلى زيادة التماسك نتيجة زيادة الروابط الايدروجينية داخل السلسلة وزيادة التفاعل الأيونى البينى ionic interaction . بإزالة مجموعات الميثايل من البكتين فإنه تزداد مجاميع الكربوكسيل الحرة المعرضة ويحدث الارتباط العرضى فى وجود الأيونات ثنائية التكافؤ مما يؤدى إلى زيادة قوتى التماسك والشد tensile للأغشية الجافة.

يستخدم الماء أو الايثانول أو مخلوط منهما كمذيبات فى تكوين الأغشية القابلة للأكل. يؤدى استخدام المذيبات الدافئة على أسطح الأغذية الدافئة إلى إنتاج أغشية قابلة للآكل عالية التماسك.

ويجب عدم رفع درجة الحرارة حتى لا تتكون أغشية معيبة تحتوى ثقوب كثيرة وغير متجانسة السمك وكلاهما يزيد نفاذية الغشاء. وسنتكلم فيما يلى عن الأغشية القابلة للآكل سواء كانت من مكون واحد أو مركبة.

أولاً : أغشية السكريات العديدة Polysaccharide films :

تشمل كثير من السكريات العديدة ومشتقاتها ونظراً لطبيعتها البوليمرية المحبة للماء فإن لها خواص حجزية ضعيفة للرطوبة، ورغم ذلك فإن بعض السكريات العديدة عند استخدامها كأغطية مجلتنة عالية الرطوبة فإنها تؤخر فقد الرطوبة فى بعض الأغذية مثل مصنعات اللحم أكثر من عمله كحاجز لإنتقال الرطوبة، ثم يجف الغطاء مع الوقت ويبدأ جفاف الغذاء

المغلف داخله. تعطى بعض أغشية السكريات العديدة وقاية فعالة ضد أكسدة لبيدات الأغذية وبعض مكوناتها الأخرى. ويوجد أنواع كثيرة من أغشية السكريات العديدة القابلة للآكل منها ما يلى :

1- الألجينـــات Alginate :

عبارة عن ملح الصوديوم لحمض الجينيك alginic acid وهو عبارة عن سلاسل مستقيمة لحمض عديد يورونيك polyuronic مرتبطة معا بالرابطة الجليكوسيدية (1-4)، ويستخلص من الأعشاب البحرية البنية. تتكون الألجينات من ثلاثة أجزاء بوليمرية (بلوكات) هى: حمض عديد – بيتا – د– ماتيورونيك (m) ، حمض عديد – ألفا – ل – جليورونيك gulуronic (G) ، وبلوكات متكونة من أجزاء متبادلة منهما(m و G) .

تستخدم أغطية الألجينات المجلتنة مع مختلف نوعيات اللحم مثل القطعيات البقرية، ذبائح الدعاج، وأجزاء الدواجن ليقل جفافها حيث يعمل الغطاء الجلى كعامل فقد رطوبة بديل ولذلك فإن أغطية الألجينات الجلية قليلة أو عديمة الفائدة فى منع هجرة الرطوبة بين المكونات الداخلية للأنظمة الغذائية متعددة الأوجه. وقد لوحظ إنخفاض العد الميكروبى الكلى فى اللحم المبرد المغطى بألجينات الكالسيوم واحتفاظه بلونه الأحمر، كما تعمل الألجينات على وقاية مكوناتها (خاصة اللبيدات) من الأكسدة ويتحسن قوامها.

2- البكتيـــن Pectin :

يتكون بصفة رئيسية من بوليمرات حمض د– جالاكتيورونيك بدرجات متفاوتة من مجاميع الميثايل المؤسترة. بإزالة الأسترة تنتج بكتينات منخفضة الميثوكسيل، الذى يذوب فى البيئات المائية، ويكون الجل gels فى وجود أيونات الكالسيوم. أغطية جل البكتينات تؤخر فقد الرطوبة من الغذاء المغطى به حيث تعمل كعامل بديل لفقد الرطوبة، حيث تتميز بنفاذية عالية لبخار الماء (تبلغ 300 جرام ماء. ميل mil / متر^2 / يوم / 1 مم زئبق عند 25° مئوية وفرق رطوبة نسبية 50 ٪) . لزيادة استعمالات أغشية البكتين الجافة، فإنه يلزم زيادة مقاومته لنفاذية بخار الماء ويمكن التوصل لذلك جزئياً بتغطيته باللبيدات لنفاذية بخار الماء ويمكن التوصل لذلك جزئياً بتغطيته باللبيدات .

3- الكـاراجينـان Carrageenan :

يستخلص من الأعشاب البحرية الحمراء ، ويتكون من عائلة من السكريات العديدة المكبرتة sulfated لسكريات د – جالاكتوز، و6,3 – أنهيدرو – د – جالاكتوز. وبتبريد محاليل البوليمر الدافئة يتكون الجل حيث يكون تركيب حلزون مزدوج معطياً شبكة ثلاثية الأبعاد وذلك فى وجود قناطر ملحية. يستخدم جل الكاراجينان لتغطية الأغذية سواء بمفرده أو مضافاً إليه حمض السوربيك كمادة حافظة لتأخير نمو الميكروبات على سطح الجبن متوسط الرطوبة، كذلك تثبت immobilized الشحنة السالبة لبوليمر الكاراجينان عند الغطاء السطحى، بينما يكون الماء والمواد الذائبة منخفظة الوزن الجزيئى – مثل الالكتروليتات – حرة فى أن تهاجر بين الغذاء والسطح، ويؤدى انخفاض رقم الأس الايدروجينى عند السطح إلى زيادة الصورة الفعالة غير المتأينة لحمض السوربيك 2.5 مرة.

4- النشـــا Starch :

يتكون نشا الذرة corn starch (cs) العادى من 25 ٪ أميلوز و 75٪ أميلوبكتين بينما يحتوى نشا الذرة الهجين على 85٪ أميلوز يمكن إستخدام النشا عالى الأميلوز فى تكوين الأغشية القابلة للأكل التى تتميز بشفافيتها وعدم نفاذيتها للأكسجين عند مستويات رطوبة نسبية أقل من 100٪ سواء للأغشية غير الملدنة أو الملدنة بإضافة 16٪ جليسرول . أما الأغشية المصنوعة من نشا يحتوى على الايدروكسى بروبايلhydroxy propylated starch فليس لها أى مقاومة لمرور بخار الماء بينما هى غير منفذة للأكسجين سواء فى الأغشية غير الملدنة أو الملدنة عند 25° مئوية و 78٪ رطوبة نسبية ، وبزيادة الرطوبة النسبية عن ذلك، تتمزق الأغشية نتيجة امتصاصها للرطوبة وتزداد نفاذية الأكسجين بهدرتة الأغشية. وقد استخدمت أغشية النشا المحتوى على الايدروكسى بروبايل فى تعبئة عجائن اللوز almond nut meats حيث تؤخر ظهور التزنخ التأكسدى أثناء التخزين. وتستخدم أغشية عديد الاثيلين المحتوية على نشا ذرة corn starch containing (CSC)PE films لتخزين النظم الغذائية الجافة أو الرطبة منخفضة اللبيدات، ولكنها لا تصلح لتعبئة اللحم المفروم حيث تتلامس اللبيدات مع أسطح الغشاء أثناء التخزين.

5- الدكسترينات Dextrins :

عبارة عن نواتج التحلل المائى للنشا، وأقترح استخدام الدكسترينات منخفضة مكافئ الدكستروز (DE) dextrose equivalent كأغطية واقية . ونظراً لطبيعتها المحبة للماء فإن لها مقاومة محدودة على إنتقال بخار الماء عند استخدامها لتغطية أغشية خلات السليلوز. تزداد مقاومة أغشية الدكسترينات منخفضة مكافئ الدكستروز لمرور بخار الماء بمقدار2-3 أمثال مقارنة بأغشية النشا، كما أدت إلى المحافظة على قوام عجائن اللوز المغطاة بها أثناء التخزين.

تظهر أغشية الدكسترينات منخفضة مكافئ الدكستروز بعض المقاومة لنفاذية الأكسجين وظهر ذلك عند غمر شرائح تفاح فى محلول 40 ٪ من الدكسترينات (15 DE) قبل تجفيفها حيث أخرت التلون البنى وقد يعزى السبب فى ذلك إلى تأخير دخول الأكسجين.

6- مشتقات السليلوز Cellulose derivatives :

يتكون السليلوز من وحدات د- جلوكوز مرتبطة معا بروابط 4.1 – بيتا جلوكوسيدية. وفى حالته الطبيعية ينتشر مجاميع الايدروكسى ميثايل لبقايا أنهيدروجلوكوز تبادلياً أعلى وأسفل مستوى البوليمر مما يسبب تعبئة محكمة لسلسلة البوليمر وتركيب بللورى يقاوم الذوبان فى الوسط المائى. وتزداد ذائبية مشتقات السليلوز مثل : كربوكسى ميثايل سليلوز carboxy methyl cellulose (CMC) ، ميثايل سليلوز methyl cellulose (MC)، ايدروكسى بروبايل سليلوز hydroxy propyl methyl cellulose (HPMC) . تتكون الأغشية بنجاح من CMC الأنيونى ومن MC ، HPMC، و HPC غير الأيونية. ودون البوليمرات المحبة للماء فإن HPC هو الوحيد الذى يعتبر راتنجا للدائن الحرارية (المتلدنات الحرارية thermoplastics) يمكن بثقه من الحالة المنصهرة لتكوين أغشية . يعتبر MC أقل ايثرات السليلوز (الذائبة فى الماء) فى صفاته المحبة للماء ويكون أكثرها مقاومة لمرور بخار الماء.

يتميز MC و HPMC بخاصية فريدة فى تكوين الجل عكسياً بالحرارة فى النظم المائية، ويتكون التركيب الجلى ثلاثى الأبعاد عند درجة الحرارة الحرجة، وبالتبريد تحت

هذه الدرجة، ينعكس متحولاً إلى محلول. يتكون جل قوى نسبياً فى المحاليل المائية لميثايل السليلوز MC عند درجة حرارة حرجة حوالى 50° مئوية، بينما يتكون جل ضعيف القوة من محاليل HPMC بالحرارة عند 50-80° – مئوية حيث تعتمد درجة الحرارة على درجة الاستبدال النسبى فى الجزئ من مجاميع الميثايل والايدروبروبايل، ولا تكون المحاليل المائية للايدروبروبايل سليلوز HPC جلاً بالتسخين حيث أنها تتجمع flocculate عند حوالى40° مئوية.

استخدمت مقدرة MC و HPMC على تكوين أغطية مجلتنة فى إنتاج عدد من المقليات الفرنسية المضغوطة وحلقات البصل المقلية. بزيادة الوزن الجزيئى للسليلوز فى أغشية MC و HPC تزداد نفاذيتها للأكسجين oxygen permeability (OP)، لبخار الماء water vapor permeability (WVP)، وقوة شدها tensile strength (TS). تزداد استطالة elongation أغشية الميثايل سليلوز MC بزيادة الوزن الجزيئى ولكنها تكون فى أقصاها عند وزن جزيئى متوسط (370.000) . وبزيادة سمك أغشية MC تزداد استطالتها ولكنه لا يؤثر على نفاذيتها لكل من الأكسجين وبخار الماء أو قوة شدها . أما عند زيادة سمك أغشية HPC فإن استطالتها وقوة شدها تزداد ببطء بينما لا تتأثر صفات نفاذيته لكل من الأكسجين أو لبخار الماء. وبزيادة تركيز الملدنات plasticizers فى هذين النوعين من الأغشية (MC و HPC) تزداد الإستطالة وتقل قوة الشد. ويسرع وجود الملدنات فى الأغشية السليلوزية أو يؤخر نفاذيتها للأكسجين أو لبخار الماء.

إجراء العديد من الدراسات على الأغشية المصنعة من HPMC قد أتاح استخدامها فى تغليف الأغذية منذ نهاية عام 1994 م حيث استخدمت كأكياس (أو كبسولات) مرنة لمكونات الأغذية الجافة حيث تمنع عملية الكبسلة encapsulation مشكلة إنتشار غبار المواد الجافة فى وحدات التصنيع . وتتميز هذه الأغشية بذوبانها فى الماء البارد بينما يذوب الجل المتكون فى الماء الساخن. ويمكن قفل هذه الأغشية بالحرارة أو بالمحلول (الماء)، كما يمكن من وضعها رأسياً على سير الملء وتفريغها من الهواء وقفلها فى ماكينات القفل.

ثانياً : الأغشية البروتينية Protein films :

لم يدرس هذا النوع من الأغشية بكثرة كما حدث مع أغشية السكريات العديدة، ويتبعه الأقسام التالية:

1- الكولاجيـن Collagen :

يستخدم فى تكييس السجق الجاف ومنتجات اللحوم الأخرى ورغم قابليته للأكل إلا أنه لا يذوب فى الماء وغالباً يتم إزالته قبل استهلاك الناتج. عادة يلتصق الكولاجين على سطح اللحم ويحافظ على عصيريته، وعند تفكيكه وطبخه ينصهر غشاء الكولاجين ويزول وتؤكل أية بقايا منه مع اللحم دون تأثير على الصحة أو على مذاق اللحم المعبأ. تستخدم جرابات pouches الكولاجين فى تعبئة بعض الأغذية الجافة مثل مسحوق الكاكاو والبن. تستخدم الأغطية caps المصنوعة من جل يحتوى على الكولاجين القابل للأكل فى العبوات المستخدمة لمرة واحدة single - service للجيلى والشراب. فى كل الأمثلة السابقة يلزم استخدام عبوة خارجية لحمايتها أثناء الشحن والتخزين والعرض، وترجع فائدتها إلى الاستغناء عن العبوة الأولية الداخلية .

2- الجيـلاتين Gelatin :

عبارة عن ناتج تحلل الكولاجين ، يتكون من 18 نوع من الأحماض الأمينية مرتبطة معا بالرابطة الببتيدية ويتفرع الجزئ مع تعريض مجموعات حرة جوانيدنية guanido وأخرى كربوكسيلية، التى تلعب دوراً فى تكوين الرابطة الأيدروجينية. تتغير نقطة التعادل الكهربى للجيلاتين طبقاً لطريقة تحضيره، ويكون جلاً حرارياً عكسياً عند تبريد محاليل الجيلاتين الدافئة، ويتضمن ميكانيزم تكوين الجل روابط عرضية أيونية بين مجموعات الأمين والكربوكسيل لبقايا الأحماض الأمينية فى السلاسل الجانبية، وكذلك روابط ايدروجينية . وقد استخدم غطاء الجيلاتين لتغطية قطع لحم الدواجن قبل التخزين المجمد وأعطى وقاية محدودة من ظهور التزنخ التأكسدى، وتزداد هذه الوقاية كثيراً بإضافة مضادات الأكسدة لطبقة الجيلاتين. وقد تبين ضعف خواص حجز الرطوبة فى أغشية الجيلاتين الجاف (وكذلك أغشية كل من الكازين ، ألبيومين السيرم، وألبيومين البيض).

يمكن تحسين صفات حجز الرطوبة والغاز عن طريق الارتباط العرضى لسلسلة عديد الببتيد مع حمض اللاكتيك والتانيك أو أيونات الكالسيوم، حيث تقلل حركة سلسلة البوليمر، ولا تؤثر المعاملة بأيونات الكالسيوم على هذه الصفات.

يستخدم الصمغ العربى (الأقاقيا) acacia مع الجيلاتين لتكوين الأغشية حيث يحدث تجاذب بين الشحنات السالبة فى الأقاقيا وبين الشحنات الموجبة فى الجيلاتين، ويزداد تثبيت هذا الغشاء (عدم الذوبان) بالروابط العرضية فى وجود أيونات الكالسيوم حيث يؤثر نوع الجيلاتين والصمغ وطريقة التثبيت على نفاذية هذه الأغشية، كما يمكن تكوين هذه الأغشية بتقنية تبخير المذيب.

3- البروتينات النباتية Plant proteins :

تحظى باهتمام متزايد فى الوقت الراهن كأغشية قابلة للآكل، ووجد أن لأغشية زايين الذرة (cz) corn zien ، جلوتين القمح (WG) Wheat gluten، والمكونة من مخلوط جلوتين القمح ومعزولات بروتين الصويا (SPI) soya protein isolates (بنسبة 2.1 : 0.9) كفاءة عالية لحجز الأكسجين مقارنة بالأغشية القابلة للأكل غير البروتينية وأيضاً بخامات لدائن التعبئة.

تتكون أغشية جلوتين القمح فى مدى رقم أسى ايدروجينى من 2-4 ، ومن 9-13، بينما تتكون أغشية معزولات بروتين الصويا فى مدى رقم أسى ايدروجينى من 1-3 ، ومن 6-12. من ناحية أخرى، فإن قرب هذه البروتينات من نقطة التعادل الكهربى يثبط تكوين الأغشية منها حيث تتجمع هذه البروتينات ولا تنتشر جيداً . وجد أن أغشية معزولات بروتين الصويا المحضرة عند رقم أسى ايدروجينى من 6 إلى 11 لها قوة شد واستطالة عالية مع انخفاض نفاذية بخار الماء عن تلك المحضرة منها عند رقم أسى ايدروجينى من 1-3 . كما تتميز أغشية جلوتين القمح المحضرة فى الوسط القلوى بقوة شد أعلى من تلك المحضرة فى الوسط الحامضى، ووجد أن لأغشية زايين الذرة خواص جيدة لحجز الماء.

تلقى الأغشية المصنوعة من الغلال (CZ، WG و SPI) القابلة لاطعام الحيوانات اهتماما كبيرا فى الوقت الحالى لاستخدامها كمغلفات لسندويتشات الوجبات

السريعة fast-food sandwich wrappers، نتيجة صلاحيتها كغذاء للحيوانات وإمكانية التسميد بها بعد استعمال ما بداخلها، حيث يمكن لجامعي القمامة توريدها للمزارع بدلاً من إلقاءها فى المطامر أو المحارق. وأمكن استخدام طبقات من زايين الذرة والورق لتحل محل أغلفة السندويتشات من عديد الايثيلين PE والورق. تستخدم الأغطية القابلة للأكل من البروتينات النباتية السابقة عن طريق الغمر أو الرش على أسطح ثمار الفاكهة والخضروات الطازجة لإطالة عمرها التخزينى وربما المحافظة على قيمتها التغذوية.

4- بروتينات اللبـــن Milk proteins :

تستخدم بروتينات اللبن كأغشية واعدة كأغلفة أو شنط أو كطبقات فاصلة بين مكونات الناتج الغذائى مثل استخدامها بين أغلفة الفطائر المجمدة وبين حشوها لتحد من هجرة الرطوبة، وكأغطية للسمك المجمد والمنتجات الطازجة والغلال والأغذية الخفيفة لتحد من هجرة الرطوبة والأكسجين.

وقد استخدمت أغشية بروتينات اللبن القابلة للآكل فى عام 1995 لمقدرتها غير المحدودة فى مساعدة مصنعى الأغذية على تقليل مواد التعبئة لمنتجاتهم وإطالة عمرها لتخزينى ، وكذلك فإنها تقلل الحاجة للمواد الحافظة ولمضادات الأكسدة. فى بعض التطبيقات يمكن الاستغناء من المواد الحافظة أو خفض تركيزها للاحتفاظ بها على سطح الغذاء مع فعالية قصوى للمادة الحافظة وتخفيض كميتها فى الغذاء.

تتميز أغشية بروتينات شرش اللبن (وكذلك أغشية دهن اللبن) بشفافيتا ومذاقها غير الملحوظ (أو دهنى خفيف bland). وتتوفر هذه الأغشية كرذاذ spray لاستخدام المستهلك فى المنزل. وقد استخدمت أغشية بروتينات شرش اللبن كأغطية فى الخلطات الغذائية الجافة والنقل nuts لتبطئ من هجرة الأكسجين وذلك ابتداءاً من عام 1995 ، وتتوفر حالياً أغشية بروتينات لبن لها صفات حجز رطوبة وذات نكهة جيدة، وكذلك فإنها تحجز الليبيدات ومكونات النكهة.

ثالثاً : الأغشيـــة الليبيـــدية Lipids films :

يتم لف المنتجات الغذائية من قديم بالدهون (أغطية الشيكولاته) والمنتجات الطازجة

(مثل تشميع الفاكهة)، وتفيد بصفة أساسية فى إيقاف نقل الرطوبة لإنخفاض قطبيتها. كذلك فإن لها وظائف أخرى كأغطية واقية تقلل من سطوح الفاكهة المعرضة للاحتكاك abrasion أثناء التداول، وكذلك لتقليل ظهور البقع الطرية soft scald فى التفاحيات المخزنة، على الرغم من أنها مشكلة فسيولوجية تؤدى إلى دكانة جلدها ولحمها أثناء التخزين عند درجات حرارة منخفضة حيث لوحظ إنخفاض هذه الظاهرة فى التفاحيات المغطاة باسترات الأحماض الدهنية أو بالدهون والزيوت القابلة للآكل بعد جمعها مباشرة. ويستخدم لذلك استرات الميثايل لأحماض اللوريك، البالمتيك، الاستياريك، الأوليك، الليدوليك، واللينولنيك وزيوت النخيل، عباد الشمس، القرطم، جوز الهند ودهن الخنزير والليثسين ورغم أن ميكانيزم منع هذه الظاهرة غير معروف إلا أنه يعتقد أنها تثبط تخليق الهكسانول hexanol (وهو ناتج سام فى الميتابوليزم). وسنوضح فيما يلى بعض أنواع الأغشية اللبيدية.

1- الجليسريدات المؤستلة Acetoglycerides (AMG) :

ينتج عن أسترة الجليسرول أحادى ستيارات بواسطة اندريد الخليك، 1- استيارو ثنائى أستين stearodiacetin -1 الذى يتميز بإمكانية تصلبه من الحالة المنصهرة إلى مادة مرنة صلبة تشبه الشمع. ويمكن شد (مط) stretched جليسرولات أحادى الاستيارات المؤستلة AMG إلى حوالى 800 ٪ من طولها الأصلى بعكس معظم اللبيدات الصلبة التى يمكن شدها بمقدار 102 ٪ فقط، وبعدها تتعرض للتقصف. تتراوح نفاذية بخار الماء عند25° مئوية للأصناف التجارية والنقية لأغشية AMG بين 10.1 – 24 ، 34.4 – 67 جرام ماء ميل mil / متر^2 / يوم / مم زئبق على الترتيب عند رطوبة نسبية 100 ٪ . وبالرغم من أن نفاذية بخار الماء لأغشية AMG أقل من كل معظم أغشية السكريات العديدة إلا أنها أعلى من قيم نفاذية كل من ايثايل وميثايل السليلوز . تعتمد مقاومة أغشية AMG لمرور الرطوبة على تدرج ضغط بخار الماء عبر الغشاء. تستخدم أغطية AMG مع قطعيات الدواجن واللحم لوقايتها من الجفاف أثناء التخزين . ويقل فاقد الجفاف من 30.2 ٪ فى قطع الدواجن غير المغطاة إلى 6.3 ٪ فى القطع الملفوفة بواسطة AMG والمخزنة لمدة عشرة أيام بالتبريد .

2- الشمـــوع Waxes :

تقاوم أغشية الشموع القابلة للأكل نقل الرطوبة أكثر من أية أغشية أخرى لبيدية أو غير لبيدية . وهى أكثر كابحات blocking هجرة الرطوبة فعالية خاصة شمع البرافين ويليه شمع النحل حيث أن النفاذية خلال شمع النحل أقل عشر مرات عنها خلال غشاء MG ٨ وأقل 100 – 200 مرة عن أغشية البكتينات والكازين. أما مقاومة نقل الماء فى أغطية شموع البرافين والنحل فتعتمد على تركيبها الجزيئى، حيث يتكون شمع البرافين من مخلوط سلاسل ايدروكربونية طويلة مشبعة أما شمع النحل فيتكون من مخلوط من 71 ٪ استرات طويلة السلسلة محبة للماء، 15 ٪ سلاسل ايدروكربونية طويلة، 8 ٪ أحماض دهنية طويلة السلسلة والـ 6 ٪ المتبقية عبارة عن مركبات غير محددة. يوضح ذلك غياب المجموعات القطبية من البرافين وهى قليلة جداً فى شمع النحل مما يكسبها مقاومة عالية لنقل الرطوبة.

تقاوم الأغشية الشمعية أيضاً إنتشار أيونات البنزوات وخاصة شموع البرافين والكارنوبا carnauba ولكن تقل هذه المقاومة قليلاً فى شمع النحل مما يجعلها مؤهلة يحفظ تركيز عالى من البنزوات على سطح الناتج الغذائى. تؤدى تغطية الفاكهة الطازجة بالشمع لإطالة عمرها التخزينى ، حيث يستخدم شموع: البرافين، النحل، الكارنوبا الكاندليلا candelilla ، ورجيع الكون فى تغطية ثمار الموالح، التفاح، الكمثرى، الموز الأڤوكادو، الخيار، الجزر، البطاطس، البطاطا، الطماطم، الفلفل، والباذنجان.

باستخدام محلول شمع كانديلا (زيت / ماء) لتغطية الليمون البنزهير انخفض فاقد الماء المتبخر إلى نصف الفاقد فى الثمار غير المغطاة. أدى استخدام الأغطية التى تطرد الأكسجين وتحجز ثانى أكسيد الكربون إلى حدوث تنفس غير هوائى مما أدى إلى ظهور أمراض فسيولوجية، ويخفض عمرها التخزينى. كما تشمع بعض ثمار الفاكهة المجففة أو تدهن بالزيت لتؤخر فقد الرطوبة والذى يتبعه ظهور بللورات سكرية تؤدى إلى قوام غير مقبول. يؤدى استخدام زبيب مغطى بشمع النحل فى وجبات الإفطار المكونة من الحبوب إلى خفض إنتقال الرطوبة من الزبيب إلى الحبوب مما يحافظ على هشاشتها ويؤدى إلى إطالة عمرا التخزينى (خاصة فى مخاليط الأغذية) بمقدار ثلاث مرات.

يستفاد بالمرونة الكبيرة فىAMG بإدخاله فى أغطية الشمع لزيادة مرونته دون التأثير على مقدرة أغطية الشمع فى مقاومة إنتقال الرطوبة، ويفيد هذا الإتجاه عند إستخدام الأغطية الشمعية مع الأغذية المخزنة عند درجات الحرارة المنخفضة.

3- العوامل الفعالة سطحياً Surfactants :

تستخدم العوامل الفعالة سطحياً لتغطية الأغذية لتقليل كل من النشاط المائى A_w بين السطحى ومعدل فقد الرطوبة بالتبخير. وأمكن خفض معدل الجفاف السطحى بتغطية نظام غذائى نموذجى – جل أجار – بلبيدات فعالة سطحياً – تعتمد كفاءة هذه العملية على تركيب المواد الفعالة سطحياً المستخدمة. ووجد أن أعلاها كفاءة ، الكحولات الدهنية المحتوية على 16 ، 18 ذرة كربون، جليسرول أحادى البالميتات، وجليسرول أحادى الاستيارات. فيؤدى استخدام أغشية من جليسرول أحادى الاستيارات إلى خفض النشاط المائى بين السطحى وفاقد الرطوبة بمقدار 75 ٪ من جل الأجار – تنخفض صفات حجز الرطوبة للمواد الفعالة سطحياً بإدخال روابط مزدوجة فى السلسلة الايدروكربونية للجليسريدات الأحادية بينما تتحسن هذه الصفة بإطالة السلسلة الايدروكربونية إلى 16-18 ذرة كربون فى الكحولات الدهنية والجليسريدات الأحادية، ولكن تتلف هذه الصفة عند إطالة هذه السلسلة إلى 20 ذرة كربون، وتتضارب هذه النتيجة مع ما وجد فى دراسة أخرى من زيادة مقاومة نفاذية بخار الماء لوغاريتميا بإطالة السلسلة الايدروكربونية. تؤدى التغطية بالعوامل الفعالة سطحياً وخفض النشاط المائى a_w بين السطحى إلى تأخير النمو الميكروبى والتفاعلات الإنزيمية والكيماوية عند السطح. كما تمنع اخضرار البطاطس بتثبيط تخليق الكلوروفيل وكذلك جليكوزيدات أشباه القلويات glycoalkaloids التى تتولد بالضوء عند تغطيتها باللئيسين والايدروكسى ليئيسين والتوينات tweens (وهى الاسترات غير الأيونية للأحماض الدهنية مع عديد الأوكسى ايثيلين سوربيتان). ووجد أن التركيب الشبكى للمواد الفعالة سطحياً أكثر مقاومة لنفاذية ثانى أكسيد الكربون.

رابعاً : الأغشية المركبة Composite films :

قد تكون الأغشية والأغطية القابلة للأكل غير متجانسة حيث تتكون من مخاليط

السكريات العديدة والبروتينات و/أو اللبيدات وذلك للاستفادة بالخواص الوظيفية لكل منها، كما يلى :

1- خواص حجز الرطوبة Moisture - barrier properties :

يؤدى إدخال الشموع الطبيعية والأحماض الدهنية فى أغشية البكتين منخفض الميثوكسيل إلى تحسين مقاومة الغشاء لنفاذية بخار الماء. وكانت النتيجة أكثر فعالية عندما تضاف كغطاء سطحى على الغطاء الأولى عنه عندما يعلق مع مذيب الغطاء الأول غير أن عكس هذه النتيجة قد وجد عام 1984، حيث قلت النفاذية بمعامل قدره 10 عندما أضيف مخلوط حمضى البالمتيك والاستياريك إلى المذيب (إيثانول + ماء) المحتوى على HPMC عنه لو غطى الغشاء الأول (HPMC) بغشاء الأحماض الدهنية هذا الغشاء ثنائى القطبية يتميز بارتفاع خواصه المقاومة لنفاذية بخار الماء حتى عند رطوبة نسبية مقدارها 90 ٪ وأعلى من a_w = 0.9 حيث يأدرت الغشاء ويفقد كفاءته التركيبية. وقد تأكدت فعالية هذا الغشاء ثنائى القطبية (HPMC / أحماض دهنية) فى دراسة تخزينية لمخلوط غذائى يتكون من عجينة طماطم (a_w مرتفع) ومطحون مخبوزات (a_w منخفض يساوى 0.39) حيث وجد أن وضع هذا الغشاء بين سطحيهما أوقف تحرك الرطوبة من عجينة الطماطم إلى مسحوق المخبوزات مما أدى إلى إطالة العمر التخزينى للمخبوزات المخزنة عند –20° مئوية إلى أكثر من 70 يوم بدلاً من 21 يوم .

تم تجربة غشاء مركب قابل للأكل LAM يتكون من شمع النحل/ HPMC/MC يحتوى مخلوط حمضى البالمتيك والاستياريك ووجد أنه مقاوم لنفاذية بخار الماء – حتى عند a_w تساوى واحد – وتساوى 0.3 جرام ماء ميل / م^2 / 1 مم زئبق عند 25° مئوية، والتى تتقارب مع نفاذية الأغشية المخلقة غير القابلة للأكل مثل PVC و LDPE. تعتبر بشرة الأغشية النباتية cuticular membranes تركيب غير متجانس عديد الطبقة حيث يتكون من بوليمر محب للماء وهو الكيوتين cutin وأعلاه الطبقة الشمعية غير القطبية ويشبه تركيب الأغشية القابلة للأكل. ووجد أن استخدامها يؤخر فقد الرطوبة ويطيل العمر التخزينى للمنتجات الغذائية المجمدة. وقد استخدمت أغشية قابلة للأكل مكونة من عدة طبقات: طبقة من حمضى البالمتيك والاستياريك وشمع الكارنوبا على طبقة من الجيلاتين أو

الكازين فأعطت حجزاً جيداً لبخار الماء.

2- خواص حجز الغاز Gas - barrier properties :

يؤدى لف المنتجات سريعة التلف بالأغشية أو تغطيتها إلى تقليل نفاذية الغازات لإيقاف التنفس الهوائى وإطالة عمرها التخزينى. وقد طورت أغشية نصف منفذة مركبة لتغطية الفاكهة والخضر الطازجة، تتكون من ملح الصوديوم للكربوكسى ميثايل سليلوزCMC / استرات السكروز مع الأحماض الدهنية ويسمح هذا الغشاء بخفض تركيز الأكسجين فى الأنسجة الداخلية للثمار بدون زيادة مكافئة فى تركيز ثانى أكسيد الكربون مما يقلل من حدوث التنفس اللاهوائى، ولهذه الأغشية نفاذية إختيارية بين الأكسجين وثانى أكسيد الكربون، ويصلح ذلك لبعض أصناف الفاكهة والخضر. يوجد كثير من الأمل فى نجاح تغطية الفاكهة بدلاً من تخزينها فى الجو المعدل مرتفع التكاليف، رغم أن وظائف الغطاء تتأثر بتغير درجات الحرارة ويكون محدود التأثير فى فترات التخزين المتقدم عند البيع بالتجزئة.

3- خواص حجز المواد الذائبة Solute - barrier properties :

استخدمت أغطية مركبة مثل زايين الذرة مع الجليسرول كملون، للمحافظة على تركيز حمض السوربيك على سطح الجبن متوسط الرطوبة، لتأخير إنتشار المادة الحافظة داخل كتلة الجبن، حيث يقل إنتشار حمض السوربيك داخل زايين الذرة بمقدار 150 - 300 مرة عنه داخل الجبن. وتم التأكد من زيادة مقاومة السطح لنمو *Staphylococcus aureus* فى الجبن المغلف بأغطية زايين الذرة.

خامساً : المواد المضافة للأغشية Film additives :

تضاف كثير من المواد إلى الأغشية القابلة للأكل لتؤثر على خواصها الميكانيكية والوقائية والحسية و/أو التغذوية، كمثال الملدنات (أو العوامل الملدنة) plasticizing agents مثل الكحولات عديدة الايدروكسيل polyols مثل الجليسرول، السوربيتول، المانيتول، السكروز، جليكول البروبلين، وجليكول عديد الاثيلين. هذه الملدنات تعمل على إضعاف قوى الارتباط الداخلية بين سلاسل البوليمرات بما يؤدى إلى إنخفاض قوة الشد TS وزيادة مرونة

هذه الأغشية. كما تضاف مواد فعالة سطحياً مثل عوامل التبليل wetting agents وعوامل الاستحلاب لتخفيض الصفات الحاجزة للأغشية. كما يضاف للأغشية والأغطية القابلة للأكل مواد مضادة للميكروبات لمنع النمو الميكروبى على السطوح، مواد مضادة للأكسدة، ومواد مشجعة أو مظهرة enhancers للنكهة أو اللون (الصبغات) وغيرها ....

يعتمد تأثير المواد المضافة فى خواص الأغشية على كل من تركيزها، درجة توزيعها فى الغشاء، تركيبها الكيماوى، وتفاعلها مع مادة الغشاء. يحتاج هذا الموضوع إلى اجراء المزيد من الدراسات لفهم تأثير تركيب الغروى المحب للماء وخواصه الكيماوية، وكذلك حالة تبلور اللبيدات وتقنية تكوين الأغشية وتأثير ذلك على نفاذية، تحمل، مرونة، وتماسك هذه الأغشية لكى يمكن تفصيل tailoring الصفات الوظيفية للغشاء القابل للأكل لتناسب مختلف الأغراض المرغوب استخدامه فيها.

23 - 3 التفاعل بين الغذاء والعبوة Food and package interaction :

(الهجرة والهجرة المضادة Migration and Immigration)

تطلق كلمة الهجرة migration على تلوث المواد الغذائية المعبأة بمكونات ذائبة أو طيارة من مواد العبوة. وبصفة أساسية فإن هذه الظاهرة تنتج من عملية الإنتشار diffusion أو بالتفاعل بين مواد العبوة والناتج المعبأ. وهذا الإنتقال قد يكون مرغوباً فى بعض الأحيان كما فى تعتيق النبيذ، ولكنه – على وجه العموم – يكون غير مطلوب وضاراً. يوجد عدد كبير من المواد التى يمكنها أن تهاجر وتسمى بالمهاجرات migrants ، وتقسم إلى ثلاثة أقسام رئيسية كما يلى :

أولاً: مكونات أساسية لمواد العبوات، التى تتواجد كملوثات أو تنتج من تحطمها وتكون ذائبة، كمثال لها أحاديات الجزيئات (مونوميرات) monomers.

ثانياً: المواد المضافة المستخدمة فى تصنيع خامات العبوات، مثل الملدنات plasticizers، العوامل المساعدة catalyzers، البادئات initiators، عوامل الاستحلاب emulsifiers، الغرويات الواقية protective colloids، المثبتات stabilizers، مضادات الأكسدة antioxidants، مثبتات الأشعة فوق البنفسجية UV-stabilizers، العوامل

المضادة الاستاتيكية antistatic، المشحمات lubricants الداخلية، والملمعات البصرية optical brighteners.

ثالثاً : ملوثات من خامات التعبئة نتيجة التصنيع وتأثير البيئة أو مواد مضافة مثل أحبار الطباعة.

عادة فإن كمية المواد المهاجرة تكون صغيرة جداً ونادراً ما تتعدى 10 مليجرام لكل ديسيمتر مربع . ويجب الإهتمام بذلك لكل المواد التى تلامس الغذاء وهى:

1- خامات اللدائن.

2- الزجاج والخزف الزجاجى glass ceramies.

3- الخزف والورنيش enamel المغطى للمعادن.

4- الورق والكرتون أو الورق المقوى cardboard.

5- أغشية السليلوز المجددة (معادة التصنيع) regenerated.

6- المعادن.

7- مواد أخرى كالمطاط، الفلين، الخشب، الجلد، الأسمنت المسلح ... إلخ.

أما الهجرة المضادة immigration فيقصد بها مرور المواد الغذائية أو مكوناتها إلى العبوة، وهى ظاهرة هامة للغاية وتؤدى إلى صعوبة قياسات الهجرة وزنياً، ويمكن أن تسبب تغيرات غير مرغوبة فى مواد التعبئة خاصة عند إعادة استخدام العبوة (إذا تلوثت بمركبات النكهة من المادة الغذائية) . يمثل دهن الأغذية ومنتجاتها مركباً حرجاً خاصة فى حالته الحرة لميله الشديد لعديد الأوليفينات (PE، PP ... إلخ).

تقسم الهجرة أحياناً إلى قسمين، هما الهجرة النوعية والهجرة الكلية كما يلى :

أ- الهجرة النوعية Specific migration:

هى الهجرة التى ترتبط بنوعية مكونات محددة معروفة.

ب- الهجرة الكلية Global (overall) migration:

تمثل مجموع كل المهاجرات migrants سواء كانت سامة أو غير سامة أو تحدث ضرراً

فسيولوجياً لكل وحدة مساحة من مادة العبوة تحت ظروف محددة. وضعت حدود قانونية للهجرة الكلية من اللدائن إلى المواد الغذائية فى بعض الدول المتقدمة كسويسرا، الولايات المتحدة الأمريكية، فرنسا، هولندا، بلجيكا، وايطاليا بهدف منع حدوث التلوث أو وجود مواد سامة فى الناتج الغذائى، وكذلك خفض وتحديد عدد تقديرات الهجرة النوعية لبعض هذه المواد.

كمية المهاجرات من اللدائن تكون عادة أعلى فى الأغذية المرتفعة فى محتوى الدهن عن الأغذية المرتفعة فى المحتوى المائى نتيجة الذائبية المرتفعة للمركبات العضوية المهاجرة فى الدهن بالمقارنة بالماء. نظراً لتعقد تركيب معظم الأغذية، تظهر مشاكل عديدة أثناء تقدير الهجرة ولذلك تستخدم مذيبات محاكية (مماثلة) للغذاء food simulant solvents والتى يفترض أنها تقوم بنفس دور الأغذية تحت ظروف قياسية حقيقية لدراسة سلوك المهاجرات. فمثلاً القانون الأوروبى EEC / 572 / 85 أقترح بعض المواد المحاكية simulants: ماء مقطر أو ماء بنفس درجة جودته، 3٪ حمض خليك (وزن / حجم – ماء)، 15 ٪ كحول إيثايل (حجم / حجم – ماء)، زيت زيتون أو يستخدم زيت بذور عباد الشمس بدلاً منه، وكذلك يمكن استخدام الجليسريدات الثلاثية (من النوع 307 HB).

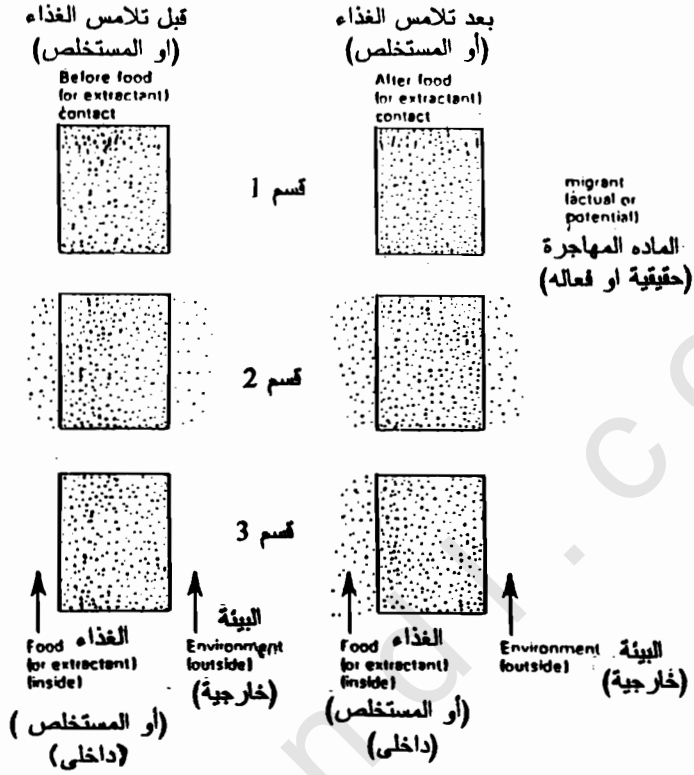
يمكن تقسيم ميكانيكية الهجرة إلى ثلاثة أقسام، كما يلى:

1– نظام اللاهجرة non - migrating system: فى وجود أو غياب الغذاء.

2– الهجرة المستقلة independently migration: هى الهجرة التى لا يتحكم فيها الغذاء، بالرغم من أن وجوده قد يسرع من الهجرة.

3– الرشح أو الارتشاح leaching : هى الهجرة التى يتم التحكم فيها بواسطة الغذاء وتكون نادرة فى غياب الغذاء ولكنها تكون فعالة فى وجوده.

يوضح شكل رقم23–7 أقسام ميكانيكية الهجرة، رغم أنه فى الظروف العملية يوجد الكثير من التعقيدات والإختلافات.



شكل رقم 23-7 الأقسام الأساسية الثلاثة لميكانيكية الهجرة

المصدر : Katan (1989).

23 - 3 - 1 دلالة الهجـرة The significance of migration :

فى قطاع الأغذية ، ينظر للهجرة من ثلاث نواحى:

أولاً: السمية Toxicology :

فكما أنه من المستحيل منع الهجرة كلياً، فيجب التأكد من أن مرور المواد التى لا يمكن تجنبها unavoidable من العبوات إلى المواد الغذائية غير ضار innocuous . يعتمد تقدير مواد التعبئة غير المثيرة للاعتراض unobjectionable على افتراض أن كل واحد كيلو جرام من الغذاء يلامس 10 ديسيمتر مربع من مواد التعبئة. تبنى حسابات النموذج على أساس

استهلاك كيلو جرام واحد من الغذاء أو 200 جـرام دهون . ويجب أن تكون المواد المحللة معروفة وأن تخضع لاختبارات سمية الحيوان. ولا تتوفر هذه الظروف دائماً، خاصة إذا كانت المادة التى يتم تحليلها ناتجة من التحطيم أو التحلل.

ثانياً: الاعتبارات الصحية Hygienic aspects :

على الرغم من أن التلوث قد يحدث ببعض العوامل الغريبة foreign agents الغير ضارة بصحة الإنسان، فإنه يجب خفضه إلى أقل حد ممكن invitable minimum .

ثالثاً : العوامل المؤثرة على النكهة Flavour :

يجب عدم إنتقال أى مادة تؤثر على مذاق أو رائحة المادة الغذائية. وعادة تكون هجرة الأوليجوميرات oligomers ضئيلة من لدائن عديد الاستـرPET بينما يهاجر مونومير ستيرين styrene من لدائن عديد الستيرين PS ويكون له تأثير سام على الكبد ومثبط على الجهاز العصبى المركزى بالإضافة إلى أنه يظهر رائحة ومذاق مميز فى الأغذية الملوثة به. ويختلف الحد الأدنى threshold المتوقع للمركبات المؤثرة على النكهة بشدة حيث تعتمد على تركيب المادة الغذائية وخاصة محتواها من الدهن (جدول رقم 23-9) .

جدول رقم 23-9 : الحد الأدنى الممكن إكتشافه (تذوقه) لمونومير ستيرول styrol فى مواد غذائية مختلفة فى محتوى الدهن

المـادة الغذائيـة	محتوى الدهن (٪)	الحد الأدنى الممكن اكتشافه Preciption threshold (مجم ستيرول / لتر)
شاى (بروكن – يافا)	0	0.2
عصير ليمون آصاليا	0	0.2
لبن فرز	0	0.3
يوغورت لبن كامل	1.5	0.5
لبن كامل	3.8	1.2
لبن مكثف	10	2.6
كريمة	33	6.0

المصدر : Gallmann (1995) .

23 - 3 - 2 خواص وتركيب مواد التعبئة كعوامل مؤثرة على الهجرة:

تعتمد إمكانية الهجرة على نوع وكمية المركبات المهاجرة الموجودة فى مادة العبوة فى الطبقة الملامسة للغذاء. المكونات الأساسية لمعظم مواد العبوات تكون غير ذائبة بدرجة كبيرة. ولا تسبب البوليمرات النقية للدائن أى مشاكل إذا استخدمت كما هى فى تعبئة الأغذية، ويتم التأكد من ثباتها عن طريق تثبيت fixing درجة البلمرة.

فى صناعة اللدائن، تضاف مساعدات تصنيع process aids ذات وزن جزيئى منخفض للحصول على الخصائص الفيزيقية والكيماوية المرغوبة، ويتوقف سلوك الهجرة على خواص هذه المواد المضافة. وتتم إضافة هذه المواد بنسب صغيرة لا تتعدى 3٪، وقائمة هذه المواد طويلة ومعقدة حتى للصانع نفسه، بينما تضاف الملدنات بكميات أكبر والتى أمكن تحديد تركيزاتها ونوعيتها فى كثير من الأغشية والأغذية وتأثير الظروف المختلفة عليها.

ففى أغشية وأغطية السليلوز المجدد – المغطى بالديتروسليلوز- nitrocellulose (RCF) coated regenerated cellulose وجدت الملدنات: ثنائى بيوتايل فثالات dibutyl phthalate (DBP)، ثنائى سيكلوهكسيل فثالات dicyclohexyl phthalate (DCHP)، بيوتايل بنزيل فثالات butylbenzyl (BBP) phthalate ، وثنائى فينيل 2 – ايثايل هكسيل فوسفات 2-ethylhexyl phosphate diphenyl (DPOP). فى أغشية خلات السليلوز وجدت ملدنات ثنائى بيوتايل فثالات (DBP) وثنائى ايثايل فثالات diethyl (DEP) phthalate. فى PVdc وجد أسيتايل ثلاثى بيوتايل سترات acetyl tributyl (ATBC) citrate، أما الأغشية الرقيقة من PVC فإنها تحتوى على تركيز 59٪ ملدنات فقط بالمقارنة بالأغشية التقليدية (على أساس وزن لكل وحدة مساحة) وتكون هجرة ثنائى إيثايل هكسيل أديبات diethyl hexyl adipate (DEHA) بمقدار يتراوح بين 41-53٪ فى الأغذية المختبرة. وتقل هجرة ملدنات البوليمر من الأغشية التى تحتويها بمقدار يتراوح بين 3-21 مرة عن تركيز DEHA المهاجرة من الأغشية التقليدية. أما الأغشية المحتوية على مخلوط كل من DEHA وملدن البوليمر فينخفض تركيز هجرة كل منهما إلى النصف تقريباً بالمقارنة بالأغشية المحتوية على ملدن واحد فقط.

وجدت بعض الملدنات بتركيزات محسوسة فى بعض الأغذية المختبرة، فوجد الملدن ATBC فى الجبن بتركيز يتراوح بين 2 إلى 8 مجم / كجم. والملدن DBS فى الجبن المطبوخ واللحوم المطهية بتركيزات تتراوح بين 76 إلى 137 مجم / كجم. كما تتواجد DBP، DCHP ، BBP، و DPOP معا أو كل على حدة فى الحلوى، فطائر اللحوم ، الكيك، والسندويتشات بكمية كلية تتراوح بين 0.5 إلى 53 مجم / كجم.

تهاجر مستويات كلية من عديد أيزوبيوتلين PIB polyisobutylene من غشاء PE/PIB: إلى الجبن بتركيزات تتراوح بين 8 إلى 10 مجم / كجم، فى الكيك بتركيزات تتراوح بين 1 إلى 5 مجم / كجم، وفى السندويتشات بتركيزات تتراوح بين 1 إلى 4 مجم / كجم. وتؤدى إعادة تسخين الأغذية المغلفة فى أغشية فى أفران موجات الراديو متناهية القصر (الميكروويف microwave) إلى مستوى هجرة بين أقل من 0.01 إلى أعلى من 0.5 مجم / كجم، وعند إعادة تسخين البيتزا reheated pizza المغلفة يكون مستوى الهجرة 4 مجم / كجم. تتجه هجرة الأجزاء ذات الوزن الجزيئى المنخفض – من عديد الأيزوبيوتيلين PIB – بين 300 إلى 6000 دالتون بمتوسط 1300 دالتون، بينما المهاجر منه فى الجبن يتراوح بين 130 إلى 2200 دالتون بمتوسط 520 دالتون .

أوضحت دراسات الفاقد loss للمركبين الأم parent، عديد بيوتلين أديبات polybutylene adipate (PBA) وعديد بروبيلين أديباتpolypropylene adipate (PPA) حدوث تحلل مائى جزئى تحت ظروف مماثلة للهضم فى المعدة، ويكون الناتج المتوقع أوليجومير منخفض الوزن الجزئى. أوضح التحليل لإحدى مواد البداية، وهو حمض أديبتيك adiptic acid، أن التحليل المائى تحت الظروف السابقة لا ينتج عنه تحول يذكر إلى مونومير حر. يفسر ذلك أن التحليل المائى الجزئى إلى وحدات أوليجومير يؤدى إلى زيادة مقاومة روابطها الاسترية للتحليل الكامل إلى المونومير.

أما المواد المضافة فى كل من عديد الستيرين PS وعديد البيوتلين PB والتى يمكنها أن تهاجر إلى نواتج اللبن المتخمرة فتشمل العوامل المضادة للتكتل antiblock agents ، مضادات الأكسدة، العوامل المضادة الاستاتيكية، المشحمات، المثبتات، المركبات الحاجزة للضوء light - barrier، الملونات، وعوامل التقوية strengthening agents . من العوامل

المؤثرة على هجرة هذه المكونات، درجة حرارة تعبئة الناتج الغذائى، محتواه الرطوبى والدهنى، ورقم الأس الايدروجينى.

عزلت المواد التى يمكن هجرتها من موانع التسرب gaskets لصمامات الايروسولات التجارية، ويظهر أن عدداً كبيراً من هذه المواد يتضمن مساعدات تصنيع أو تعتيقcuring aids كالمنشطات ومضادات الأكسدة. كما عزلت عدة نواتج تفاعل تحتوى على الكبريت ومركبات عطرية عديدة الأنوية polynuclear aromatic (PNAC) compounds مثل الفينانثرين phenanthrene، فلورا نثرين fluoranthrene، والبيرين pyrene. كما درس تأثير وجود بائق فريونى freon propellent على كل من تخزين موانع التسرب gaskets عند درجة حرارة الغرفة لمدة طويلة من الزمن والاستخلاص الكمى للمهاجرات migrants.

وقد تأكد امتصاص عديد البروبلين غير المصقول noncalendered PP (NC - PP) وعديد الاستر غير المصقول noncalendered polyester (NC - PET) لمزيد من الزيت بالمقارنة بالأغشية المماثلة المصقولة calendered materials، حيث يمتصNC-PP 635 % زيتا (من وزن الأغشية) بالمقارنة بنسبة 366 % زيتا فى PP المصقول. ويرجع ذلك إلى صغر أنصاف أقطار الألياف وزيادة سمكها مما يؤدى الى زيادة مساحة السطح وكبر الفراغ الداخلى بين الألياف فى مادة NC - PP.

وقد أحتوت أدوات الطبخ المصنعة من عديد الاسترPET المقاوم حراريا على0.3-84.7 مجم بنزين / كجم. ووجدت كميات قليلة من البنزين (أقل من 0.01 - 0.09 مجم / كجم) فى الأغذية التى تستخدم هذه الأدوات للطبخ فى أفران الميكروويف أو الأفران التقليدية. كما وجد 0.1 مجم بنزين / كجم فى مواد التعبئة القطاعى مثل PS وPVC التى تستخدم بيوتايل بيربنزوات الثالثى t-butyl perbenzoate كعامل مساعد، كما وجدت تركيزات بنزين مرتفعة تتراوح بين 0.2 - 1.7 مجم/ كجم فى عديد الستيرين المسحوب expanded PS.

يستخدم زيت فول الصويا المؤكسد expoxidised (ESBO) soya bean oil كملدن ومثبت حرارى heat stabilizer فى عدد من المواد التى تلامس الأغذية ، خاصة فى PVC وموانع تسرب الغاز gaskets. وقد أمكن الكشف عن وجود ESBO بتركيزات منخفضة (من

1إلى 4 مجم / كجم) فى اللحوم الطازجة الملفوفة فى أغشية PVC، وبتركيزات عالية (22مجم / كجم) فى اللحوم المطبوخة . وتتراوح كمية ESBO المهاجرة فى السندويتشات والأرغفة المباعة فىPVC من منافذ الوجبات السريعة (تيك أواى) بين 1 إلى27 مجم / كجم، حسب نوع الغذاء المالئ وطول زمن التلامس. ويؤدى التلامس مع الأسطح الدهنية (الجبن والكيك) إلى مستويات أعلى من ESBO المهاجرة. وقد أدى استخدام أغشية PVC شديدة التلامس بالغذاء، للطبخ فى أفران الميكروويف إلى هجرة ESBO بتركيزات مرتفعة تتراوح بين 5 إلى 85 مجم / كجم، بينما لو استخدمت أغشية PVC فى تغطية الأطباق المسخنة فإن تركيزها ينخفض إلى مدى يتراوح بين 0.1 إلى 16 مجم / كجم. وفى كثير من أغذية الأطفال فلا يوجد فرق معنوى بين المعبأة فى برطمانات زجاج مزودة بموانع تسرب الغاز مصنوعة من PVC وبين المعبأة فى علب مورنشة بورنيش يحتوى ESBO، فتهاجر بمستويات منخفضة فى الحالتين تتراوح بين أقل من 0.1 إلى 7.6 مجم / كجم (بمتوسط 1.9مجم / كجم)، ولم يتضح ما إذا كانت هذه التركيزات المقدرة ناتجة من الهجرة كلياً أو ناتجة جزئياً من الإيبوكسيدات الموجودة طبيعياً.

حديثاً يستخدم فيتامين E كمضاد أكسدة أولى لتحسين خواص البوليمرات المختلفة حيث وجد أنه أكثر فاعلية بمقدار 250 مرة عن مضادات الأكسدة القياسية مثل الهيدروكسى توليوين البيوتيلى BHT Butylated hydroxy toluene لإزالة وكنس scavening الأصول الحرة، ويتميز أيضاً بزيادة قابلية البوليمرات للتصنيع processability، وبلونه الجيد، وبثباته الحرارى. كما أن لاستخدامه فوائد تتمثل فى تقليل المذاق والرائحة نتيجة استخدام العبوات، وفى خفض تكوين الجل أو ضعف التركيب فى أغشية التعبئة. ويعتبر فيتامينE سلاحاً فعالاً لمنع تحطيم خامات البوليمرات وحماية الأغذية الموجودة فى العبوات البوليمرية.

وقد أوضحت اختبارات التقشير peel tests أن الطبقة اللاصقة بين طبقتى PE / رقائق ألومنيوم Al foil تنفصل كلياً بعد نقعها فى محلول 3٪ حمض خليك لمدة4 أيام، ولكنها بعد 3 أيام إضافية تبدأ فى استعادة لصقها، وبعد 14 يوم تستعيد 50 ٪ من قيمتها الأولية. كما أوضحت الاختبارات تكون طبقة ملحية على الوجه بين السطحى interface بين عديد الايثيلين PE والألومنيوم وكذلك وجود طبقة متأكسدة سميكة على رقيقة الألومنيوم وآثار من

الألومنيوم على غشاء PE.

يعيب الألومنيوم أنه عامل سمى عصبى neurotoxic وينتقل من عدة مصادر أساسية كماء الشرب، بقاياه فى الأغذية، أدوات الطبخ، وعبوات الأغذية. وحديثاً وضحت علاقة وثيقة بينه وبين مرض التوهان العصبى (الزهيمر) Alzheimer's ورجح أنه يؤثر من خلال نشاط أنزيم أستيايل كولين استيراز Acetyl choline esterase .

توجد عدة عوامل تؤثر على هجرة مكونات العبوة إلى الغذاء وهى:

أولاً : سطح التلامس Surface of contact :

تتناسب كمية (حجم) المواد المهاجرة مع مساحة سطح العبوة، ويزداد تلوث الناتج بالمواد المهاجرة بإنخفاض حجم العبوة.

ثانياً: الفراغ القمى Head space :

بعض مكونات مواد التعبئة تهاجر فى العبوات غير السائلة عبر الفراغ القمى للعبوة ولا تعتمد هذه الهجرة على ملامسة السطوح وتكون محدودة وتتوقف على درجة الحرارة والزمن.

ثالثاً: زمن التلامس Time of contact :

تختلف عمليات الإنتشار diffusion للمواد منخفضة الوزن الجزئ الذائبة مع الزمن عند ثبات درجة الحرارة، وينطبق هذا أيضاً على التفاعلات بين مواد التعبئة والنواتج المعبأة. وتمر المكونات الذائبة المتجمعة على سطح التلامس بسرعة وتدخل غالباً للداخل.

رابعاً: درجة الحرارة Temperature :

يؤدى ارتفاع درجة الحرارة إلى إسراع الهجرة ولا تعتمد على قوانين الإنتشار ويصعب توقعها بالاختبارات المعملية، حيث تتغير درجة الحرارة التى يتعرض لها الناتج فى الاستعمال اليومى والتى تؤثر على عبوات الأغذية. وكمثال التخزين بالتجميد العميق، التعقيم فى العبوات، الملء الساخن hot filling ، التسخين الإبتدائى، وإعادة التسخين فى العبوة.

خامساً : تأثير الضوء Influence of light :

يمكن أن يسرع الضوء المعرض عمليات الهجرة وكمثال هجرة الكادميوم cadmium.

سادساً: الإشعـــاع Irradiation :

لم يدرس تأثير أشعة جاما المستخدمة لتعقيم المواد الغذائية ومواد التعبئة جيداً من حيث تأثيرها على عملية الهجرة. ولم تتضح بعد لأى درجة تتأثر الهجرة بالمعاملة بموجات الراديو متناهية الصغر (الميكروويف) . ويحدث هجرة للبنزوفينون benzophenone من حبر الطباعة على الورق أو الكرتون أثناء تسخين الوجبات سابقة الطبخ بالميكروويف. وقد تم تقدير هجرة ATBC فى مواد غذائية متنوعة أثناء الاستخدام المعتاد كغشاء ملون مزدوج منPVC / PVdC فوجد أنه فى أدناه ، 0.4 مجم / كجم فى الحساء المسخن فى الميكروويف مع أقل تلامس ممكن مع الأغشية ويرتفع إلى 79.8 مجم / كجم فى الأغشية حميمة التلامس أثناء طبخ البسكويت بالميكروويف. تتجه البحوث حالياً إلى تحديد المكونات غير العضوية فى الورق والكرتون والأغشية الملامسة للغذاء وكذلك المواد العضوية الطيارة والمذيبات القابلة لإستخلاص المكونات العضوية والتى يجب أن تتضمنها قوانين مراقبة الأغذية فى المستقبل. كما يجب توجيه الإهتمام لدراسات المواد المهاجرة أثناء استخدام الميكروويف فى مصر.

من الجدير بالذكر أن نتائج تحليل الهجرة المرتبطة باستخدام البوليمرات المعاد تدويرها recycled polymers وخاصة عالية التلوث توضح عدم إمكانية استخدامها كعبوات للأغذية، وحتى لو أمكن مراقبة مصادرها لتقليل التلوث فلا يمنع ذلك من تسرب بعضها إلى خلطة إنتاج الراتنجات المعاد تدويرها. ولذلك فإن استخدام عبوات متعددة الطبقات (مصفحة) هو السبيل لمواجهة استخدام البوليمرات معادة التدوير فى عبوات الأغذية حتى تعطى وقاية إضافية من الملوثات الممكنة. ورغم أن استخدام عبوات مركبة مصنعة من بوليمرات معاد تدويرها كطبقة غير ملامسة للغذاء تكون آمنة ، فإن استخدام هذه العبوات يجب أن يعتمد على توافر معلومات كاملة عن الهجرة.

23 - 3 - 3 تأثير مواد التعبئة على الرائحة والمذاق واللون:

يعتبر القائم بعملية التعبئة مسئولاً عن التأكد من مناسبة مواد التعبئة والتغليف لحفظ

الجودة العضوية الحسية للناتج المعبأ لحين استهلاكه ويتم ذلك باختبارات تخزين حقيقية تراعى العرض والاستخدام، حيث يحدث ارتشاح leaching للون عند استخدام بعض مواد التعبئة الملونة. كما توجد مشكلة الرائحة فى مواد التعبئة التى تعتمد على قاعدة من PVC. ويكون استخدام زجاجات عديد الاستر المشدود stretched polyester بالنفخ محدوداً عند الملء والتخزين عند درجات حرارة أعلى من 60° مئوية. ويمتص عديد البروبلين PP معظم الروائح العطرية (الشذا) aromas بمقدار الضعف بالمقارنة بما يمتصه عديد الأميد / عديد الاثيلين منخفض الكثافة LDPE / polyamide، بينما يمتص عديد الاستر PET مقداراً صغيراً من هذه الروائح العطرية. ومن ناحية أخرى فإن الاسترات والالدهيدات تمتص بدرجة أكبر عن الكحولات. كما تمتص الجزيئات ذات الحجم الجزيئ الأكبر بدرجة أعلى بالمقارنة بالجزيئات الأصغر. يصل توازن الإمتصاص فى معظم المواد فى خلال سبعة أيام. وتبين أن هناك 14 مركباً نشطاً من حيث الرائحة، موجودة بتركيزات ضئيلة يصعب قياسها بالأجهزة، ورائحتها العامة مشابهة للشمع waxlike، ولكن لكل مكون مفرد رائحة خاصة به مثل: الفاكهة fruity، العشب herbaceous، زنخ، معدنى، شمعى، نفاذ pungent، أوحاد organe. وقد تم التعرف على 8 من هذه المركبات، كلها عبارة عن ألدهيدات وكيتونات C_6 - C_9 مشبعة وغير مشبعة. وتنتج حوالى 46٪ من رائحة عديد الاثيلين PE المؤكسد من المركبات التالية: hexanal، 1-hepten - 3 - one، 1 octen - 3 - one، octanal، 1- nonen - 3 - one، t - 2 - nonenal، diacetyl، وألدهيدات وكيتونات – ألفا – غير المشبعة وهى المسئولة عن تغير الرائحة المرتبط بعديد الايثيلين المؤكسد حرارياً.

23 - 3 - 4 خواص وتركيب الأغذية كعوامل مؤثرة على الهجرة:

تلعب المواد الغذائية المعبأة دوراً هاماً فى عملية الهجرة نتيجة لخواصها الإمتصاصية والإذابية، وتقسم بناءً على فعلها الوظيفى إلى مواد غذائية مائية، دهنية، وجافة. ففى الأغذية المائية فإن قيم الأس الايدروجينى ومحتواها الكحولى تلعب دوراً إضافياً هاماً فى عملية الهجرة. نظراً للتركيب المعقد للأغذية والمنتجات الغذائية فيمكن افتراض أن مقدرتها على الإذابة ترجع إلى احتوائها على مجاميع محبة للماء وعلى المجاميع الكارهة للماء.

وتزداد الهجرة بانخفاض اللزوجة من الأغذية الجافة، العجائن ثم السوائل.

وقد درس تأثير استخدام عديد ڤينيل أستيات polyvinyl acetate (PVA) كمادة تعبئة على بعض مكونات الأغذية مثل : حمض الاسكوربيك، النياسين، الفينايل آلانين، والكافيين. واستنتج إمكانية هجرة هذه المكونات إلى البوليمر، ورغم ذلك وجد أن هذه المادة (PVA) مناسبة كمادة لتعبئة الأغذية، وذلك من تقدير قيم معاملات النشاط لهذه المكونات. كما وجد أن حمض كلوروجينك chlorogenic acid – المسئول عن ثبات النكهة – فى الجزر المجزأ shereded ينتقل بسرعة ويتجمع فى الغلاف المصنوع من عديد البروبلين الموجه (OPP). وفى صوص التفاح apple sauce ارتفع تركيز الهيدروكسى ميثايل فورفيورال hydroxymethyl furfural بارتفاع درجة حرارة التخزين، وتفاوت مقدار الزيادة على حسب نوع مادة التعبئة. وقد زادت تفاعلات الدكانة وزاد فقد حمض الاسكوربيك فى عصائر البرتقال والجريب فروت المعبأة فى كرتون مبطن بعديد الاثيلين PE بالمقارنة بالمعبأة فى برطمانات زجاجية، كما إنخفض تركيز الليمونين d-limonene بمقدار 25٪ فى الكراتين المخزنة لمدة 14 يوم.

23 - 4 التعبئة فى جو معدل Modified atmosphere packaging (MAP) :

كثير من الأغذية القابلة للتلف كاللحوم، الأسماك ، الدواجن ، البيض ، المخبوزات، الفاكهة، والخضر محدودة العمر التخزينى فى وجود الأكسجين الجوى، ويرجع ذلك للتأثير الكيماوى للأكسجين الجوى ونمو ميكروبات الفساد الهوائية وإصابتها بالحشرات. هذه العوامل منفردة أو مجتمعة معاً تؤدى إلى تغيرات فى لون ونكهة ورائحة الغذاء وتدهور جودته الكلية. ويلجأ مصنعو الأغذية لإيقاف أو إبطاء هذه التغيرات إلى طرق الحفظ الفيزيقية والكيماوية المختلفة. ونظراً لإرتفاع تكاليف الطاقة المرتبطة بالتجميد والتجفيف ونمو وعى المستهلك تجاه المواد الحافظة مما دفع مصنعى الأغذية إلى طرق بديلة منها التعبئة فى جو معدل كتقنية للحفظ استخدمت بكثرة لإطالة العمر التخزينى فى انجلترا، فرنسا، ألمانيا، باقى دول الإتحاد الأوروبى، وجارى قبولها الآن فى الولايات المتحدة الأمريكية وكندا وفى نطاق صغير فى مصر.

يتركب الهواء العادى من 0.03 ٪ ثانى أكسيد الكربون، 21 ٪ أكسجين، وباقى النسبة نتروجين، ويعدل تركيب هذا الجو داخل العبوة (ومن هنا جاءت التسمية) عن طريق رفع محتوى الفراغ القمى من ثانى أكسيد الكربون وخفض محتواه من الأكسجين (وأيضاً من النتروجين) وذلك بهدف إطالة العمر التخزينى دون استخدام المعاملات الكيماوية أو الفيزيقية . وقد بدأ استخدام الجو المعدل فى القرن التاسع عشر عندما عرف أن رفع ثانى أكسيد الكربون وخفض الأكسجين يؤخر التفاعلات الميتابوليزمية فى الأغذية التى تتنفس ويؤخر نمو ميكروبات الفساد الهوائية. وفيما بين عامى 1920 و 1930 أجريت دراسات كثيرة لاستخدام الجو المعدل لإطالة العمر التخزينى للفاكهة والخضر والأسماك واللحوم. وفى عام 1938 بلغت نسبة اللحم البقرى المبرد فى جو يزداد فيه ثانى أكسيد الكربون الذى يشحن من كل من استراليا ونيوزيلندا نحو 26 ٪ و 60 ٪ على الترتيب، وأمتد تطبيق التخزين فى جو متحكم فيه controlled atmosphere storage (CAS) إلى التفاح ليحفظ طازجاً لمدة تزيد عن سبعة شهور باستخدام مخلوط صحيح من الغازات مع ضبط درجة الحرارة والرطوبة. وحديثاً توزع الأغذية فى وحدات تعبئة قطاعى معبأة فى جو معدل modified atmosphere (MA) .

تعرف التعبئة فى جو معدل modified atmosphere packaging (MAP) بأنها تغليف المنتجات الغذائية فى مواد تعبئة حاجزة للغازات حيث تتغير البيئة الغازية لإبطاء معدل التنفس وخفض النمو الميكروبى وتأخير الفساد الإنزيمى مع إطالة عمرها التخزينى. واقترح عام1989 استخدام مصطلح التعبئة الفعالة (أو النشطة) active packaging كتطور تقنى للتعبئة الذكية intelligent packaging وللتعبئة فى ظروف جوية معدلة (MAP) . وتعتبر التعبئة فعالة إذا أضافت مميزات أخرى للغذاء بجانب عملها الرئيسى كحاجز للظروف الخارجية. أى أن التعبئة الفعالة هى التفاعلات الإيجابية بين العبوة والغذاء للمحافظة على جودة وسلامة الغذاء وسلامة البيئة وذلك عن طريق التحكم فى الظروف الجوية داخل العبوة مثل إزالة الأكسجين والرطوبة والاثيلين والتحكم فى ثانى أكسيد الكربون بطرق حديثة آمنة بجانب استخدام الإنزيمات والعوامل المضادة للنمو البكتيرى.

23 - 4 - 1 مميزات وعيوب التعبئة فى جو معدل:

إن الفائدة الرئيسية التى ترتبط بالمنتجات الغذائية المعبأة فى جو معدل برفع تركيز ثانى أكسيد الكربون هى إطالة العمر التخزينى لهذه المنتجات وما يرتبط بها من زيادة تسويقها، كذلك تحسين عرض وتقديم المنتج، زيادة رغبة وإقبال المستهلك، خفض تكاليف الطاقة المرتبطة بالتجميد، وتكلفة تخزين المجمدات. أما عيوب هذه التقنية فهى : (أ) ارتفاع تكاليف أجهزة التعبئة، (ب) مشاكل التخمر التى تسببها الميكروبات المقاومة لغاز ثانى أكسيد الكربون، (جـ) إنتاج بعض أصناف الروائح الحامضية نتيجة ذوبان ثانى أكسيد الكربون فى بعض المنتجات مثل الأسماك، (د) إنخفاض سعة ارتباط الماء وزيادة فاقد سائل التفكيكdrip نتيجة تغير رقم الأس الايدروجينى فى الأغذية العضلية، (هـ) مشاكل بسيطة نتيجة التغير فى لون discoloration اللحم، (و) انهيار أو انبعاج collapse العبوة فى المنتجات التى يستخدم معها تركيزات مرتفعة من ثانى أكسيد الكربون (100 ٪)، يتم التغلب على ذلك بخفض تركيز ثانى أكسيد الكربون واحلاله بغاز النتروجين أو باستخدام أغشية لها قدرة حجزية (عدم نفاذية) أعلى قليلاً من الأغشية التى يحدث لها انبعاج.

23 - 4 - 2 طرق تعديل الجو داخل العبوة:

تقسم هذه الطرق إلى نوعين :

أولاً: التعديل السلبى أو المتولد بواسطة السلعة:

Passive or Incommodity - generated modification

حيث يعبأ الناتج فى غشاء يتميز بنفاذية غاز صحيحة ويعدل الجو داخل العبوة نتيجة إستهلاك الأكسجين وتولد ثانى أكسيد الكربون من تنفس الناتج المعبأ. وتستخدم هذه الطرق فى 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 ثانى أكسيد الكربون بحيث يتوازن مع CO_2 المتكون بواسطة الناتج، حيث يؤدى الإخفاق فى الوصول لهذا التوازن الغازى إلى نقص الأكسجين وتراكم CO_2 مسبباً فساد الناتج.

ثانياً : التعديل الفعال (النشط) Active modification :

تتم بعدة طرق منها التعبئة تحت تفريغ vacuum، استخدام مواد ماصة للأكسجين ومولدة لثانى أكسيد الكربون أو مولدة لبخار الايثانول أو بالطريقة الشائعة لحقن الغاز والمعروفة باسم التعبئة الغازية. وعادة تستخدم التعبئة تحت تفريغ فى تعبئة اللحوم لإطالة عمرها التخزينى والمحافظة على جودة اللحوم الطازجة حيث توضع فى غشاء له نفاذية أكسجين منخفضة ويزال الهواء تحت التفريغ حيث تنخفض نسبة الأكسجين إلى أقل من 1 ٪ بينما يزداد ثانى أكسيد الكربون الناتج من تنفس النسيج والميكروبات فى آخر الأمر إلى 10-20 ٪ داخل الفراغ القمى للعبوة، ويزداد العمر التخزينى 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 وهى على عدة أنواع بعضها يمتص الأكسجين فقط أو يمتصه ويولد حجم مساو له من ثانى أكسيد الكربون داخل فراغ العبوة أو يولد بخار الايثانول بهدف إطالة العمر التخزينى للأغذية المعبأة.

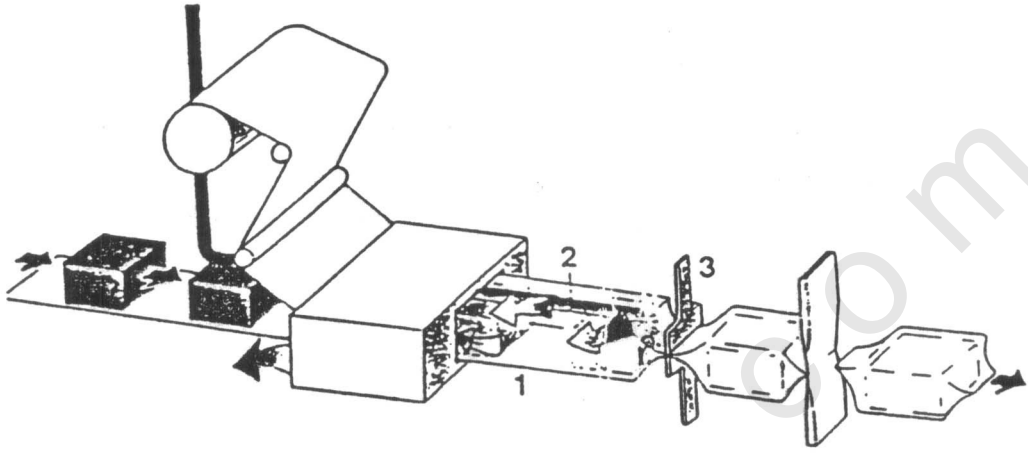
23 - 4 - 3 أجهزة التعبئة الغازية Gas packaging equipments :

عادة فضغط الغاز داخل العبوة يساوى الضغط الجوى الخارجى (واحد ضغط جوى) ويمكن الوصول لذلك عن طريق ثلاثة أنواع من أجهزة التعبئة:

أولاً : أجهزة التشكيل المستمر أو التدفق الغازى المفاجئ:

Continuous forming or Gas flushing equipments

حيث تعمل الماكينة أنبوبة من الغشاء تحيط وتسيج encloses الناتج ويدفع بمخلوط الغاز المناسب فى تدفق مستمر فى العبوة بحيث تخفف الهواء الموجود بها وتقفل نهايتى العبوة ثم تقطع لفصل كل عبوة عن الأخرى (شكل رقم23-8) وتتميز هذه الطريقة بارتفاع معدل الإنتاج إلى 120 عبوة فى الدقيقة.



1- وحدة تشكيل مستمرة continuous forming equipment.

2- وحدة تشكيل حرارى thermoforming equipment.

3- وحدة تعبئة صب أو أنبوبة سنوركل snorkel or bulk packaging equipment.

شكل رقم 23-8 جهاز التشكيل المستمر للتعبئة الغازية.

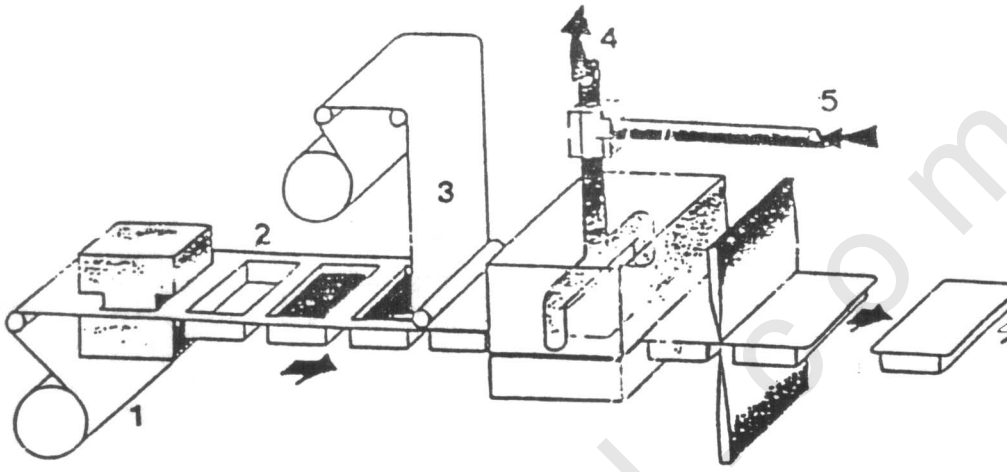
المصدر : smith *et. al.*.

ثانياً : أجهزة التشكيل الحرارى Thermoforming equipments :

حيث يوضع الناتج فى صوانى مشكلة حرارياً ويعمل تفريغ لإزالة معظم الهواء ثم يكسر هذا التفريغ بإدخال مخلوط الغاز المناسب ثم تقفل الصوانى بالحرارة بواسطة غشاء قمى رقيق . يوضح شكل رقم 23-9 النواتج المعبأة بالتشكيل الحرارى التى تتميز بكفاءتها فى إزالة الأكسجين إلى أقل من 1 ٪.

ثالثاً: أجـهزة تعبئة الصب Bulk (Snorkel) equipment :

توضع المنتجات المعبأة أو غير المعبأة فى كيس كبير متصل بالماكينة ويدخل إليها أدوات probes أو snorkels لإزالة الهواء من داخل الكيس ويكسر التفريغ بدفق مخلوط الغاز المناسب، تسحب الأدوات probes ، تقفل الأكياس المحتوية على الغاز، ويخزن أو يوزع.



1 , 2، : وحدة تشكيل الصوانى حرارياً وتعبئة الناتج.

3: رول الغطاء.

4: تفريغ لإزالة الهواء.

5: دخول مخلوط الغاز

شكل رقم 23-9 : جهاز التشكيل الحرارى للتعبئة الغازية

المصدر : Smith *et al.* (1992).

23 - 4 - 4 دور الغازات المستعملة فى التعبئة الغازية:

من المعتاد استخدام غازات ثانى أكسيد الكربون، الأكسجين، والنتروجين كمخلوط فى التعبئة الغازية، ولأنها هى نفسها الغازات التى يتنفسها الإنسان فهى غير سامة أو ضارة ولا تعتبر من المواد المضافة. ويلعب كل من هذه الغازات دوراً متخصصاً محدداً فى الأغذية المعدلة الجو ، كما يلى :

أولاً : غاز النتروجين (N_2):

غاز خامل ليس له تأثير على الأغذية وليس له تأثير مضاد على الميكروبات. يستخدم

أساساً كغاز مالئ ليمنع العبوة من الانبعاج collapse فى المنتجات التى يمكنها امتصاص ثانى أكسيد الكربون، كما يستخدم أيضاً ليحل محل الأكسجين فى الأغذية منخفضة النشاط المائى A_w ويمنع الأكسدة والتزنخ.

ثانياً : غـاز الأكسجين (O_2) :

يتم تجنبه فى التعبئة الغازية إلا إذا استخدم ليؤدى إحدى الوظائف الثلاث الآتية: (أ) فى تعبئة اللحوم الحمراء للمحافظة على اللون الوردى bloom، (ب) يستخدم بتركيزات منخفضة فى تعبئة الأغذية التى تتنفس مثل الفاكهة والخضر، (جـ) لمنع الظروف اللاهوائية حيث يحد من نمو الميكروبات اللاهوائية الضارة وخصوصاً *Clostridium botulinum* وهو أهم هذه الوظائف.

ثالثاً : غاز ثانى أكسيد الكربون(CO_2) :

أهم الغازات فى مخلوط التعبئة الغازى، حيث أن له تأثيراً مثبطاً لنمو بعض البكتريا bacteriostatic وبعض الفطريات fungistatic كما يستخدم لمنع نمو الحشرات فى منتجات الأغذية المعبأة والمخزنة. يذوب CO_2 بشدة فى الماء والدهون مكوناً حمض الكربونيك الذى يخفض رقم الأس الايدروجينى مما يؤدى إلى تغيير طفيف فى النكهة، ونتيجة لامتصاصه بالمنتجات المعبأة فإنه قد يؤدى إلى انبعاج العبوات. توجد غازات أخرى لها صفات مضادة للميكروبات مثل أول أكسيد الكربون، أكسيد الاثيلين ، والأوزون ولكنها لا تدخل ضمن أنظمة التعبئة فى جو معدل لأسباب عديدة منها ثبات الغازات وتكون بقايا سامة، ولذا توجد تحفظات على استخدامها فى الأغذية إلا على نطاق محدود للغاية مثل استخدام أول أكسيد الكربون بتركيزات ضئيلة (1-4٪) فى اللحم المجمد ورؤوس الخس لمنع مشكلة تغير اللون discoloration . ونوضح فيما يلى تأثير ثانى أكسيد الكربون المضاد للميكروبات والعوامل المؤثرة عليها.

1- فعل ثانى أكسيد الكربون المضاد للميكروبات:

رغم كثرة الدراسات فإن الميكانيزم الحقيقى لفعل ثانى أكسيد الكربون غير معلوم بدقة، ويمكن تلخيص نتائج هذه الدراسات فيما يلى: (أ) أن احلال CO_2 محل O_2 يشارك قليلاً فى

التأثير الكلى المضاد للميكروبات ويؤدى إلى خفض (أو بطء) نمو الميكروبات الهوائية المفسدة، (ب) يؤثر أيون CO_2 – بيكربونات على نفاذية الأغشية الخلوية، (جـ) غاز ثانى أكسيد الكربون له المقدرة على التحميض السريع وخفض رقم الأس الايدروجينى الداخلى للخلايا الميكروبية وتأثيراته المتشعبة على الأنشطة الميتابوليزمية، (د) يؤثر ثانى أكسيد الكربون على بعض النظم الإنزيمية. وأيا كان السبب المسئول عن التأثير على الميكروبات فإن ثانى أكسيد الكربون يكون فعالاً فى إطالة العمر التخزينى للأغذية القابلة للتلف بتأخير النمو الميكروبى. ويكون التأثير الكلى لغاز ثانى أكسيد الكربون مع التبريد، عن طريق إطالة طور السكون lag phase وزيادة الزمن الجيلى generation time للميكروبات المفسدة.

2- العوامل المؤثرة على فعل CO_2 المضاد للميكروبات:

وتشمل العوامل الآتية :

أ- أنواع types الميكروبات:

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

ثانى أكسيد الكربون له تأثير مضاد ضعيف – أو غير مؤثر – على نمو بعض الكائنات الحية الدقيقة اللاهوائية اختياريا facultative anaerobes مثل *Brochotrix thermosphacta* ، عائلة *Enterobacteriaceae*، أو بكتريا حمض اللاكتيك المحبة لقليل من الهواء microaerophilic التى يمكنها النمو فى تركيزات مرتفعة من ثانى أكسيد الكربون (75-100٪) ولا تتأثر البكتريا اللاهوائية *Clostridium botulinum* و*Clostridium perfringens* بوجود ثانى أكسيد الكربون بل تحثها الظروف اللاهوائية فى الأغذية المعبأة فى جو معدل، ولهذه الميكروبات تأثيرات صحية ضارة خاصة عند التعبئة تحت ظروف لاهوائية تماماً وعند التخزين عند درجات حرارة غير مناسبة abuse . وتحت ظروف تعبئة

فى جو معدل تتحول الميكروبات المفسدة السائدة من ميكروبات هوائية إلى بكتريا حمض اللاكتيك المقاومة لثانى أكسيد الكربون. ويؤثر أيضاً عمر الميكروبات على الفعل المثبط لثانى أكسيد الكربون، حيث ينخفض عند تحول البكتريا من طور السكون lag phase إلى الطور اللوغاريتمى log phase. وعلى ذلك فكلما أجريت التعبئة الغازية للناتج مبكراً كلما زادت فعالية ثانى أكسيد الكربون.

ب- تركيز ثانى أكسيد الكربون:

تركيز ثانى أكسيد الكربون فى مخلوط الغازات له أهمية كبرى لإطالة العمر التخزينى للناتج من الناحية الميكروبيولوجية. معظم المنتجات الغذائية تحتاج إلى تركيز منخفض من ثانى أكسيد الكربون (20-30 ٪ بالحجم) لتثبيط الميكروبات الهوائية المفسدة . وباستخدام تركيزات أعلى من ثانى أكسيد الكربون لا يزداد تأثيره المثبط ولا تحدث إطالة إضافية للعمر التخزينى للناتج، ولكن تفيد هذه الزيادة فى تعويض الفاقد من ثانى أكسيد الكربون فى الفراغ القمى عبر غشاء التعبئة، بالرغم من أن تركيزات ثانى أكسيد الكربون المرتفعة تؤدى إلى تغير اللون وزيادة الفاقد من السائل المنفصل drip فى الأغذية العضلية، ومن ناحية أخرى، فإن أقصى تركيز من ثانى أكسيد الكربون يستخدم مع الفاكهة والخضر يتراوح بين 5-10٪ لتلافى المشاكل الناتجة عن زيادة التركيز.

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

أما النمو الفطرى فيثبط بالتركيزات المنخفضة من ثانى أكسيد الكربون، فعلى سبيل

المثال فإن عديد من أنواع الفطريات *Aspergillus* ، *Rhizopus* ، *Cladosporium* تثبط تماماً باستخدام 5-10 ٪ ثانى أكسيد الكربون عند واحد درجة مئوية ، بينما يستخدم تركيز 20-30 ٪ لمنع نمو الفطريات على اللحوم، وتركيز 30-50 ٪ ثانى أكسيد الكربون للتثبيط التام لكل أنواع الفطريات فى الخبز والكيك. ولا يرتبط هنا التثبيط بخفض الضغط الجزئ للأكسجين فى الجو الغازى حيث أن الفطريات يمكنها أن تستمر فى النمو العادى عند تركيز أكسجين منخفض وثابت حتى 1 ٪.

جـ - درجة حرارة التخزين:

يعتبر ثانى أكسيد الكربون فعالاً كمضاد للميكروبات عند درجة حرارة منخفضة ويقل هذا التأثير عند درجات الحرارة العالية. يرجع ذلك إلى زيادة ذوبان ثانى أكسيد الكربون فى الوجه المائى للمنتجات عند درجة حرارة منخفضة والتى تؤثر على رقم الأس الايدروجينى والنظم الأنزيمية داخل الميكروبات. ولا تعتبر التعبئة فى جو معدل بديلاً عن درجات حرارة التخزين المناسبة حيث يقلل من التدهور فى المنتجات الغذائية ولكنه لا يوقفها تماماً. ويؤدى تخزين الأغذية العضلية فى جو معدل على درجة حرارة غير مناسبة إلى النمو السريع للبكتريا المفسدة والممرضة. ووجد أن أقل درجة حرارة لنمو الـ *Salmonella* و*Escherichia coli* الملقحة فى اللحم المفروم المعبأ فى أغشية منخفضة أو عالية النفاذية هى 12.5° مئوية ، بينما تنمو *Staphylococcus aureus* وتنتج السم المعوى enterotoxin تحت الظروف اللاهوائية عند 10° مئوية، وبالتالى فالتبريد ضرورى لتأكيد فعالة ثانى أكسيد الكربون كعامل مضاد للميكروبات ولمنع نمو الممرض منها.

د- نفاذية أغشية التعبئة:

تعتبر نفاذية الأغشية من أهم العوامل المؤثرة على الفعل المضاد لثانى أكسيد الكربون. فنجاح أو فشل التعبئة فى جو معدل مع الأغذية التى تتنفس والتى لا تتنفس يتوقف على عدم نفاذية مواد التعبئة للأكسجين ولثانى أكسيد الكربون ويجب أن تتميز بمعدل إنتقال منخفض لبخار الماء لمنع فقد أو اكتساب الرطوبة. فى التعبئة الغازية يستخدم بوليمرات مثل النيلون عديد الاستر، PP، PVdC، EVOH، PE التى لا يتوفر فى واحد منها بمفرده

جميع الخواص المرغوبة فى أغشية التعبئة، ولكن تكون عدة طبقات laminated مضغوطة بين اثنين أو أكثر منها لإنتاج الأغشية الملائمة متعددة الطبقات كما يوضح ذلك جدول رقم 23-10 فيستخدم مع المنتجات التى لا تتنفس أغشية متعددة الطبقات مثل النيلون nylon / PE ، النايلون nylon/ /PVdC / PE أو النيلون nylon/ EVOH / PE . تتميز هذه الأغشية المركبة بمعظم الخواص المرغوبة مثل القوة التى تكتسبها من طبقة النيلون الخارجية، عدم نفاذية الغاز والأبخرة التى يكتسبها من PVdC و EVOH ، وقابلية الغلق الحرارى 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 القمى للعبوة ومنع تراكم تركيز عال من ثانى أكسيد الكربون (لا يزيد عن 10 ٪) ويتوفر ذلك فى أغشية LDPE و PVC .

جدول رقم 23-10 : أمثلة على أنواع وسمك ونفاذية الأغشية عديدة الطبقات المستخدمة فى تعبئة الأغذية فى جو معدل

نوع الغشاء عديد الطبقات	السمك (ميكرون)	النفاذية (سم^3 / م^2 / 24 ساعة / 1 ضغط جوى)		
		O_2	CO_2	N_2
PET / 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

المصدر : Smith *et al.* (1992) .

obeikandl.com

23 - 4 - 5 تطبيقات التعبئة فى جو معدل:

يوضح جدول رقم 23-11 نسب مخاليط الغازات المستخدمة فى تعديل جو العبوات والتى يمكن الوصول إليها بدراسات نظامية (ليس عن طريق المحاولة والخطأ) للمتغيرات المتشابكة التى تؤثر على طول العمر التخزينى للناتج، وسنذكر أمثلة لنسب هذه الغازات المستخدمة مع المنتجات الغذائية المختلفة.

أولاً : الأغذية العضلية (اللحوم والدواجن والأسماك) :

تتميز الأغذية العضلية فى حالتها الطازجة فى وجود الأكسجين بعمر تخزينى محدود نتيجة النمو والنشاط الحيوى للبكتريا السالبة لصبغة جرام من السلالات السيكروتروفية Psychrotrophs لأجناس *Pseudomonas* ، *Achromobacter*، *Flavobacterium* ، و التى يمكن تثبيطها بتعبئة الناتج فى أغشية غير منفذة فى جو غنى بثانى أكسيد الكربون، وتسود سلالات بكتريا حمض اللاكتيك المحبة لقليل من الهواء microaerophiles. ونتيجة تثبيط النمو البكتيرى ينخفض تركيز ثلاثى ميثايل أمين (TMA) والنتروجين الكلى الطيار (TVN). رغم أن الجودة الميكروبية تحتل الأهمية الكبرى لمصنعى الأغذية إلا أنه مع الوقت تحدث تغيرات كيماوية عديدة فى الغذاء والتى تؤثر على الطزاجة، اللون، النكهة، والقوام. فمثلاً يعتبر وجود الأكسجين ضرورياً للمحافظة على اللون الأحمر اللامع bloom فى اللحوم الجيدة إلا أنه يشجع النمو الميكروبى بعكس وجود ثانى أكسيد الكربون الذى يثبطه ويؤدى إلى تغير لون اللحم الطازج discoloration .

جدول رقم 23-11 : أمثلة عامة على مخاليط الغازات المستخدمة فى تعبئة بعض المنتجات الغذائية فى جو معدل

الناتج الغذائى	درجة الحرارة بالمئوى	٪ O_2	٪ CO_2	٪ N_2
منتجات اللحوم				
لحم بقرى طازج	2-0	70	20	10
لحم ملضج cured	3-1	0	30	70
لحم خنزير	2-0	80	20	0
أحشاء	2-0	40	50	10
دواجن	2-0	0	40-20	60-80
الأسمـــاك				
بيضاء	2-0	30	40	30
دهنية	2-0	0	60	40
سالمون	2-0	20	60	20
سكامبى Scampi	2-0	30	40	30
جمبرى	2-0	30	40	30
الحاصلات البستانية				
تفاحيات	4-0	6-3	6-4	توازن*
بروكولى	10-5	2-1	10	توازن
كرفس	5-2	6-4	6-2	توازن
خس	5	3-2	6-5	توازن
طماطم	10-5	4	4	توازن
منتجات الخبيـز				
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 المحلى crumpet	درجة حرارة الغرفة		60	40
فطائر فاكهة	درجة حرارة الغرفة		60	40

يتبع

تابع جدول رقم 23-11 :

الناتج الغذائى	درجة الحرارة بالمئوى	٪ O_2	٪ CO_2	٪ N_2
	المكرونة والوجبات الجاهزة			
المكرونة	4	0	80	20
لازانيا	4-2	0	70	30
بيتـزا	5	0	52	48
ماقرف السحق	4	0	80	20
	منتجات أخرى			
شرائح البطاطس	درجة حرارة الغرفة	0		100
النقل (المكسرات)	درجة حرارة الغرفة	0		100

* يقصد بها نسبة غاز النتروجين التى تكمل نسبة 100 ٪ فى مخلوط الغازات

المصدر : Smith *et al.* (1992).

لتلافى تغيرات لون اللحم غير المرغوبة استخدم غاز أول أكسيد الكربون (CO) فى نظم الجو المعدل فى العبوات، حيث يتحد أول أكسيد الكربون مع صبغة الميوجلوبين Mb مكوناً صبغة حمراء لامعة من كربوكسى ميوجلوبين Mb CO الذى يتشابه طيفيا مع الأوكسى ميوجلوبين $Mb\ O_2$ وهى الصبغة المسئولة عن اللون الأحمر اللامع فى اللحم الطازج. ووجد أن Mb CO أكثر ثباتا تجاه الأكسدة من $Mb\ O_2$ للارتباط القوى بين CO وبين حديد البورفيرين فى جزئ الميوجلوبين. ويؤدى استخدام تركيزات منخفضة من أول أكسيد الكربون إلى تقليل التغيرات اللونية الضارة الناتجة من استخدام تركيزات عالية من ثانى أكسيد الكربون للمحافظة على السلامة الصحية فى أثناء فترات النقل الطويل. وقد أثار استخدام أول أكسيد الكربون العديد من التساؤلات التى ترتبط بفاعليته وأمانة، ومن غير

الشائع استخدامه حالياً. وللتغلب على مشكلة تلون اللحم استخدم خليط غازات مكون من70٪ ثانى أكسيد الكربون ، 20٪ أكسجين، و 10٪ نيتروجين لمنع الإنبعاج الداخلى للعبوة نتيجة ذوبان ثانى أكسيد الكربون فى اللحم، وأمكن تحت ظروف التبريد إطالة عمرها التخزينى إلى 10-12 يوماً مع احتفاظ اللحم بلونه.

عند تخزين شرائح لحم بقرى beef loin slices مطبوخة لمدة 11 أسبوع عند –20° مئوية لم يتأثر القوام بجو العبوة سواء كان هواء أو جوا معدلا (20٪ ثانى أكسيد الكربون و 80٪ نتروجين)، لكن تحسنت النكهة والرائحة فى الجو المعدل. بعد التخزين وإعادة التسخين كان الطعم والنكهة أكثر لحمية meaty وأقل فى الطعم المقدوح wormed over والطعم الكرتونى والأكسدة (قيم حمض ثيوبار بيتيوريك TBA) وأقل فى محتوى الهكسانال والبنتنال فى الشرائح المعبأة فى الجو المعدل عن الشرائح المناظرة المعبأة فى الهواء.

وجد أن اللحم البقرى المعبأ تحت تفريغ أو فى جو معدل قد احتوت على عد ميكروبى لا هوائى أعلى كثيراً من عد الميكروبات الهوائية وازداد الفرق وضوحاً أثناء الثلث الأخير من التخزين عند 0-2° مئوية فى عبوات الجو المعدل، وكانت معظم العزلات اللاهوائية منها عبارة عن بكتريا حمض اللاكتيك من نوع cocci و staphylococci ولم تعزل منها أى clostridia.

المعاملة بالإشعاع فى غياب الأكسجين تؤدى إلى إطالة مدة المحافظة على الخواص الحسية للحم الخنزير من 9 إلى 26 يوم عند 5° مئوية، ومن أقل من يومين إلى يومين عند 25° مئوية. أما المعاملة بالإشعاع فى وجود الأكسجين فإنها تؤدى إلى التأثير على الصفات الفيزيقية والكيماوية والحسية للناتج النهائى . أما فى اللحم المنضج cured ، فإنه لا ضرورة لوجود الأكسجين لأنه يسبب أضراراً لونية للناتج ويجب أن يعبأ فى مخلوط متساوى من ثانى أكسيد الكربون والنتروجين أو فى 100٪ من أيهما بشرط خلوهما من الأكسجين.

تعتبر المعاملة المزدوجة للحم الدجاج بالسوربات والتعبئة فى جو معدل من ثانى أكسيد الكربون من أكثر النظم كفاءة فى تثبيط الميكروبات المفسدة خاصة أنواع *Pseudomonas* ، دون خلق ظروف بيئية اختيارية تشجع نمو بكتريا حمض اللاكتيك فى الناتج وتؤدى إلى

إطالة العمر التخزينى 3 أيام أكثر من الكونترول المعبأ فى الهواء عند 10° مئوية. وكان عد الميكروبات أقل من 10 مستعمرة لكل جرام فى فطائر الدجاج المعبأة فى أكياس PE أو تحت تفريغ vacuum skin ، ولا تؤثر طريقة التعبئة على المواد المتفاعلة لحمض ثيوباربيتيوريك TBARS الأولية رغم أنه بزيادة مدة التخزين تزداد قليلاً كمية TBARS وزيادة كل من البنتنال والهكسنال.

تؤدى تغييرات الأكسدة الذاتية فى الأسماك إلى تكوين الدهيدات وكيتونات وكحولات وأحماض كربوكسيلية منخفضة الوزن الجزيئى. ويعتمد نوع مخلوط الغاز المستخدم فى التعبئة على محتوى الأسماك من الدهون والتى تختلف من 1 ٪ فى الأسماك منخفضة الدهون إلى 20 ٪ فى الماكريل والرنجة. ويمكن تعبئة الأسماك منخفضة الدهون فى مخلوط من 60 ٪ ثانى أكسيد الكربون و40 ٪ أكسجين، بينما تجرى تعبئة أسماك الماكريل والرنجة عالية الدهون فى جو خال من الأكسجين لمنع مشاكل التزنخ.

تفسد شرائح الأسماك المعبأة فى 100 ٪ هواء بعد 9 أيام كما يظهر من خواصها الحسية، ازدياد رقم الأس الايدروجينى للسطح، محتوى ثلاثى ميثايل أمين TMA، قيم K- ، والعد الميكروبى. وبزيادة مستوى ثانى أكسيد الكربون من 25 إلى 75 ٪ فى جو العبوة فإن عمر التخزين لسمك البلطى ازداد بمقدار يتراوح بين 4 إلى 21 يوم مقارنة بنفس شرائح السمك المعبأ فى 100 ٪ هواء. وبالرغم من أن شرائح السمك المعبأ فى 75 ٪ ثانى أكسيد الكربون و25 ٪ نتروجين كان مقبولا بالتحكيم الحسى إلا أن قيم K- له كانت مرتفعة (بلغت 93.1 ٪) وهى تعتمد فقط على طول فترة التخزين فى الجو المعدل ولا تعتمد على الفساد. وعند 4° مئوية وجد فرق لوغاريتمى فى العد البكتيرى بعد 2 ، 4 ، 6 أيام بين السمك المخزن فى جو ثانى أكسيد الكربون مقارنة بالكونترول المخزن بدون ثانى أكسيد الكربون. كما سبق القول فإن ثانى أكسيد الكربون فى جو العبوات يثبط بكتريا الفساد السالبة لصبغة جرام مثل *Pseudomonas* وينشط البكتريا الموجبة لصبغة جرام مثل *Lactobacillus*. وتنخفض أيضاً قيم TVN فى السمك المخزن فى جو معدل يحتوى على ثانى أكسيد الكربون عند4° مئوية ولمدة 2 إلى 8 أيام مقارنة بالمخزن بدون ثانى أكسيد الكربون، وبالتالى فإن تعبئة السمك الطازج وتخزينه فى جو ثانى أكسيد الكربون يؤدى إلى إطالة عمره التخزينى.

بمعاملة شرائح سمك السنور catfish المثلجة الطازجة بجرعة إشعاع منخفضة (50-100كيلو راد) ثم عبئت فى جو معدل من 80٪ ثانى أكسيد الكربون و20٪ هواء أو 100٪ ثانى أكسيد الكربون فلم يوجد فرق بينها وبين الكونترول المعبأة فى 100٪ هواء، أى أن المعاملة بالإشعاع فى وجود أو غياب جو معدل من ثانى أكسيد الكربون تخفض الحمل البكتيرى وتطيل العمر التخزينى من 5-7 أيام إلى 20-30 يوم. ووجد أن استعمال ثانى أكسيد الكربون يكون فعالاً فى تأخير النمو الميكروبى أثناء التخزين المبرد لعبوات الجملة للجمبرى البنى الطازج ويتناسب الفعل التثبيطى مع تركيز ثانى أكسيد الكربون وينخفض كل من رقم الأس الايدروجينى لسطح الجمبرى وقيم TVN فى العبوات المخزنة فى جو معدل بينما تزداد فى الجمبرى المخزن فى الهواء.

فالأثر البالغ للتعبئة الغازية هو إطالة العمر التخزينى للناتج حيث يتضاعف ثلاث مرات تقريباً للحم والدواجن والأسماك مقارنة بتلك المعبأة فى الهواء وبشرط تخزينها بالتبريد، حيث تمثل درجة حرارة التخزين عاملاً حرجاً للحصول على أقصى فائدة مرجوة لإطالة العمر التخزينى للأغذية فى جو معدل من ثانى أكسيد الكربون.

ثانياً : الحاصلات البستانية Horticultural products :

يقدر الفاقد النوعى والكمى فى الحاصلات البستانية أثناء الجمع والتداول وحتى تصل إلى المستهلك بحوالى 20-50 ٪ فى الدول النامية، وبحوالى 5-25 ٪ فى الدول المتقدمة، فمثلاً قدر الفاقد نتيجة تلف ثمار الفاكهة والخضر بحوالى واحد بليون دولار سنوياً فى الولايات المتحدة الأمريكية. ولخفض هذا الفاقد تستخدم التعبئة فى جو معدل مع درجة حرارة التخزين المناسبة حيث يؤدى استخدام التعبئة فى جو معدل للحاصلات البستانية الطازجة إلى : (أ) تثبيط الفساد الميكروبى، كنمو الفطريات على السطح، (ب) خفض الأنشطة التنفسية مما يؤخر النضج والشيخوخة senescence . تعتبر تعبئة الفاكهة والخضر فى جو معدل من أكثر التحديات التى تجابه صناعة التعبئة حيث تختلف الحاصلات البستانية عن غيرها من الأغذية الطازجة فى استمرارها فى التنفس بعد حصادها، مما يؤدى إلى تراكم ثانى أكسيد الكربون حولها وانخفاض الأكسجين. تحت هذه الظروف يحدث التنفس اللاهوائى (التخمر) مع إنتاج كحولات وألدهيدات وكيتونات تؤدى إلى نكهة ورائحة غير

مقبولين فى الناتج. لتلافى نقص (أو مجاعة) الأكسجين فى النواتج المعبأة فى جو معدل فيجب أن لا يقل الأكسجين فى الفراغ القمى للعبوة عن 2 ٪ ويرتفع ثانى أكسيد الكربون إلى حوالى 2-6 ٪، رغم أنه يمكن تخزين الفراولة مع 25 ٪ ثانى أكسيد الكربون لفترات طويلة. ويوضح جدول رقم 23-11 نسب تركيب بعض مخاليط الغازات التى تستخدم مع التفاحيات وبعض أصناف الخضر. ولا يسمح باستخدام أول أكسيد الكربون CO فى التعبئة الغازية للأغذية إلا بحوالى 4 ٪ بالحجم فى الجو المعدل لتخزين قلوب الخس lettuce cores لتأخير التلون البنى، وهذا هو السماح الأوحد لإستخدام أول أكسيد الكربون فى حفظ الأغذية عن طريق السلطات التشريعية.

يرجع نجاح تخزين الفاكهة والخضر بعد التعبئة فى جو معدل إلى التوازن الصحيح فى مخلوط الغازات داخل الفراغ القمى للعبوة باستخدام مواد تعبئة مطورة تسمح بانتقال الغازات اختياريا – وكذلك الرطوبة – تحت ظروف يمكن التحكم بها لخفض النشاط الحيوى للثمار بدون خفض كبير فى الأكسجين أو تراكم ثانى أكسيد الكربون فى الفراغ القمى للعبوة، وعادة تستخدم أغشية PE ، PVC، والسيلوفان فى هذا الصدد. يستخدم فى فرنسا أكياس من PE مزودة بنوافذ من السيليكون المطاطى rubber silicon لإحكام نفاذية الأكسجين وثانى أكسيد الكربون. يمكن لهذه الأكياس أن تحفظ من 3-5 ٪ من كل من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون. ويؤدى استخدام جو معدل مع درجة حرارة تخزين صحيحة إلى إطالة العمر التخزينى بين 15 إلى 30 يوم فى الفاكهة والخضر والسلاطة المحضرة.

تعانى نظم التعبئة فى جو معدل والمصممة لإنتاج أكسجين أمثل عند درجات حرارة مناسبة من تعقيدات ارتفاع درجة الحرارة الإنتقالية transient خلال عملية التخزين أو النقل، فيزداد معدل تنفس الفاكهة والخضر بارتفاع درجة الحرارة أكثر من ارتفاع نفاذية الأغشية للغازات . ويؤدى ارتفاع درجة الحرارة عن الدرجة المثلى إلى نقص الأكسجين (اختناق anoxia) فى أنسجة الثمار وإلى تلف واضح فيها وبالتالى يلزم زيادة النفاذية للغازات وتعويض درجة الحرارة لتساوى قيم Q_{10} التى تحتاجها نظم التعبئة فى جو معدل ليعمل بفاعلية. يؤدى استخدام أغشية ذات نفاذية أكسجين منخفضة إلى حدوث التنفس اللاهوائى وازدياد بكتريا حمض اللاكتيك وزيادة تسرب البوتاسيوم. من ناحية أخرى يؤدى

استخدام أغشية ذات نفاذية أكسجين عالية فى تعبئة الجزر المفروم grated carrots إلى حدوث التنفس الهوائى والاحتفاظ بالجودة مع انخفاض نسبة السكروز أثناء التخزين.

تصبح الطماطم غير صالحة للآكل فى فترة تتراوح بين 17 إلى 46 يوم ويتوقف ذلك على درجة حرارة التخزين. أكتشف السم البوتشيولينى botulinum فى 80٪ من عينات الطماطم التى احتفظ بها لمدة من 2 إلى 9 أيام بعد الزمن المقدر لعدم صلاحيتها للآكل. فتعبئة الطماطم فى جو معدل يمكن أن يؤدى إلى سمية الطماطم بعد أن تتلف بشدة وليس بعد نقطة قبولها حسيا. على ذلك فإن مخاطر التسمم البوتشيولينى botulism نتيجة استهلاك الطماطم الكاملة التى أطيل عمرها التخزينى يكون غير مؤكد.

يضبط رطوبة الفول black beans المخزن فى عبوات غير منفذة (PP/PE/Al foil laminate) وجد أنه يتصلب (يتحصرم) بمعدل منخفض مقارنة بالمخزن فى أكياس PP المغزولة . كما يتصلب الفول المخزن تحت الأرض فى عبوات غير منفذة بدرجة أقل نتيجة انخفاض درجة الحرارة فى هذا النوع من التخزين. ولا يؤثر تعديل الجو بغازى ثانى أكسيد الكربون والنتروجين بدرجة ملموسة على تصلب (حصرمة) الفول المحمص والفول غير الكامل.

ثالثاً : منتجات الخبيز Bakery products :

تعانى المخبوزات من التلف بالفطريات وبالتالى يكون عمرها التخزينى محدوداً. للتغلب على ذلك فإنه يضاف لها بعض المواد الحافظة كالبنزوات والسوربات ولكنها تؤدى إلى تغير نكهة ورائحة الناتج. ولتلافى ذلك يعبأ الخبز أو الكيك فى مخلوط من الغازات يحتوى على 60 ٪ ثانى أكسيد الكربون أو أكثر مما يؤدى إلى إطالة عمرها التخزينى بنسبة 300-400 ٪. ويعتمد ذلك على نشاط الماء a_w فى الناتج حيث تكون إطالة العمر التخزينى مؤكداً فى المنتجات منخفضة النشاط المائى (a_w تساوى 0.85 أو أقل) وتحدد أيضاً نوع الفطر. ففى المنتجات منخفضة الرطوبة تسود فيها الفطريات المفسدة التى تنمو جيداً فى الوسط الجاف xerophilic fungi مثل *Aspergillus glaucus*. أما فى المنتجات ذات النشاط المائى المرتفع مثل الكعك اللين (كرومبيت crumpet) وفطائر الفاكهة فإنه يسود بها

بعض أفراد الجنس *Penicillium*. وأمكن إطالة عمر كرومبيت خالية من الفساد بالفطر لمدة شهر بتعبئتها فى 60 ٪ ثانى أكسيد الكربون. وقد يمكن إطالة عمرها التخزينى عن ذلك قليلاً باستخدام تركيز أعلى من ثانى أكسيد الكربون إلا أن الناتج المعبأ قد يمتصه مما يؤدى إلى انهيار العبوة نتيجة تأثير التعبئة التفريغى vacuum packed effect.

التعبئة الغازية استخدمت فى بعض الدول الأوروبية مثل فرنسا وألمانيا لإطالة العمر التخزينى للخبز والكيك، حيث يفيد وجود ثانى أكسيد الكربون فى الجو المعدل فى منع ظاهرة «الطعم البايت staling». تستعمل أغشية تعبئة حاجزة مع منتجات الخبيز مثل nylon / PE / PVdC، مغطى بـ PP و PE أو بأيونومير الساريلن suryln. يوضح جدول رقم 23-11 أمثلة على منتجات الخبيز المعبأة غازياً.

رابعاً : المكرونة (العجائن) الطازجة ومنتجات أخرى:

Fresh pasta and other products

تستخدم التعبئة الغازية حالياً لإطالة العمر التخزينى للعجائن الطازجة ومنتجات الأغذية الخفيفة (التسالى snaks) والمحافظة على جودتها. تتعرض العجائن الطازجة للفساد بنمو البكتريا والفطر ومشاكل التزنخ نتيجة أكسدة الدهون. يمكن منع هذه المشاكل بإزالة الاكسجين من الفراغ القمى للعبوات بتعبئتها فى مخلوط غازى من ثانى أكسيد الكربون والنتروجين (جدول رقم 23-11). أما منتجات الأغذية الخفيفة الأخرى والتى تتميز بنشاط مائى منخفض (أقل من 0.6) فإن تعبئتها فى 100 ٪ نتروجين يكون كافيا لمنع التزنخ التأكسدى وغالبا فإنها لا تتعرض للفساد الميكروبى لإنخفاض النشاط المائى ولا تحتاج لوجود ثانى أكسيد الكربون فى مخلوط غازات التعبئة.

وجد أن طريقة تعبئة الفول السودانى ذى القشرة الجافة مبكر الحصاد لا تؤثر على نكهته بعكس حجم البذرة: فالفول السودانى الذى نصف قطره من 6.35 - 7.14 مم يفقد نكهته بانتظام أثناء التخزين (لارتفاع محتواه الرطوبى) وتنتج منه زبدة فول سودانى داكنة اللون بالمقارنة بالفول ذى الحجم الكبير (نصف قطره أعلى من 8.33 مم) والفول السودانى المقشر (نصف قطره أعلى من 6.75 مم). ويؤدى تخزينه فى أجولة نسجية burlap إلى

دكانة اغلفة البذور بعد 6 شهور بينما يؤدي تخزينه في أ جولة من اللدائن في جو من ثاني أكسيد الكربون إلى رفع محتواه من الرطوبة وينتج زبدة فول سودانى داكنة اللون.

23 - 4 - 6 أمان وسلامة الأغذية المعبأة فى جو معدل:

Safety of MAP foods

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

وجد أن تخزين الأغذية المعبأة فى جو معدل لا يزيد من مخاطر الميكروبات المرضية غير المكونة للجراثيم مثل *Staphylococcus aureus*، *Salmonella species* حيث تثبط بتركيزات ثانى 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 فى الأغذية المخزنة فى جو معدل.

يحتاج التطبيق الفعال للتعبئة فى جو معدل إلى تقدير دقيق لكيمياء وفسيولوجيا وميكروبيولوجيا النظم الغذائية وعلاقتها بمواد التعبئة وبالظروف البيئية الدقيقة المتغيرة. وقد أدى إدراك مميزات تقنية الأغذية المعبئة فى جو معدل كتقنية مستقبلية للحفظ والتعبئة مما

يفتح آفاق جديدة لتصنيع منتجات غذائية جديدة تختلف فى طرق تخزينها وتوزيعها.

23- 5 الأمان الميكروبى لمواد التعبئة والتغليف:

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

عامة يجب ألا تحتوى مواد التعبئة إلا على أعداد ضئيلة للغاية من الميكروبات المسببة للفساد. فيشترط فى الولايات المتحدة الأمريكية ألا تحتوى مواد عبوات الأغذية على أكثر من 250 ميكروب لكل جرام ولا على أكثر من ميكروب واحد لكل سم^2 فى عبوات اللبن. وعادة تقل اعداد البكتريا على سطح رقائق وأنابيب اللدائن المستخدمة فى تصنيع الأغذية إلى 1-20-ميكروب لكل 1000 سم^{2}بمتوسط أقل من 10 . لوحظ أن عددا بسيطا من الميكروبات تظل حية فى اللدائن التى تم فردها عند 220° مئوية.

عديد الستيرين PS يعتبر مادة تعبئة صحيحة لتعبئة البيض مقارنة بالكرتون ومنتجات الخشب لأنها خاملة بالنسبة للنشاط الميكروبى. ووجد أن لبعض مواد اللدائن خواص مضادة للبكتريا لما يتواجد معها من ورنيشات الألكيد وراتنجات PVC / فينول أو عديد الاسيتال. مع ذلك فقبل إختيار مادة العبوة يجب التأكد من أن المادة المضادة للميكروبات لن تلوث المادة الغذائية بها. ولا يحتوى الورق المستخدم فى صناعة العبوات الورقية على ميكروبات مرضية لارتفاع درجة حرارة التجفيف (أثناء تصنيع الورق) إلى 200° فهرنهيت لمدة لا تقل عن 80 ثانية، وعلى ذلك فهو خال تماما من الميكروبات المرضية. ومعظم الميكروبات التى وجدت بالورق بعد صناعته هى من النوع المقاوم للحرارة والمكون للجراثيم عادة والمنتشر فى الطبيعة – سواء فى الهواء، التربة، أو الماء – وأكثر هذه الميكروبات شيوعاً هى: *Bacillus subtilis*، *Bacillus megaterium* و *Bacillus macroides*. ووجد بعض أنواع من الفطريات تنتمى للأجناس التالية : *Penicillium*، *Alternaria* ، *Aspergillus* و *Cladosporium*.

مادة العبوة يجب أن تمنع دخول أى ميكروبات، ويتوفر ذلك فى معظم الزجاجات ،

العلب المعدنية، وأغشية اللدائن المتوفرة تجاريا فى الأسواق. وقد يحدث الاختراق الميكروبى للعبوة نتيجة حدوث خلل أثناء عملية القفل أو حدوث ثقب فى مادة العبوة. وبالتالى يجب أن يكون لمادة العبوة قوة ميكانيكية كافية لمقاومة التلف أثناء التصنيع والتداول. وتجدر الإشارة إلى أن مكونات الغذاء المعبأ قد تؤدى إلى تلف العبوة مثل قطع العظم الحادة فى اللحم والدواجن، وبواقى العضلات أو قطع الجلد فى المنتجات المجففة أو المدخنة بشدة.

يستخدم الاختبار الحيوى biotest لاختبار مدى مقاومة الغشاء لاختراق البكتريا حيث تملأ العبوة المعقمة ببيئة مغذية ثم تغلق وتغمر فى حمام يحتوى على الميكروب المختبر مثل *Enterobacter* أو مخلوط من الميكروبات. ويدل ظهور غاز أو عكارة فى البيئة على حدوث اختراق ميكروبى للعبوة. ويستخدم اختبار طبخ الأجار agar cooking test مع مواد التعبئة اللدائنية التى تتحمل أو تقاوم الحرارة ورقائق الألومنيوم المصفحة. ويتم الاختبار على العبوات لمدة 45 دقيقة فى 2٪ أجار وقبل أن يبرد الأجار، تضاف جراثيم بكتريا *Bacillus stearothermophilus* حيث تدخل إلى العبوة خلال مواقع التسرب إن وجدت. كما يمكن للميكروبات أن تهاجم مواد التعبئة التخليقية، وتحت الظروف المناسبة فإنها قد تخترق الأغشية السليمة intact.

أغشية اللدائن تختلف بدرجة كبيرة فى مدى نفاذيتها للغازات، ويؤدى 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 فى عديد الستيرين PS وعديد الأوليفينات بتكوين غشاء مصفح مع أغشية أو مواد أخرى بطرق مختلفة. كما يمكن خفض النفاذية المرتفعة لبخار الماء فى بعض الأغشية – مثل ايدراتات السليلوز – بالورنشة varnishing. وتوضح المراجع تضاربا فى مدى نفاذية أغشية اللدائن المخلقة للميكروبات، حيث أتضح أن أغشية خلات السليلوز وعديد الاثيلين تنفذ ميكروبات مثل *E. coli* و *Serratia marcescens* ، بينما الأغشية الأخرى مثل عديد الاثيلين PE، عديد البروبلين PP ، نيلون 6 ، نيلون 11، عديد الأوليفين المغطى بطبقة عديد الاستر، وعديد الاثيلين المغطى بعديد الاستر فكلها غير منفذة للبكتريا. وقد يعزى هذا التضارب فى النتائج إلى وجود عيوب فى تكوين الأغشية مثل وجود ثقوب أو غير ذلك.

تعتبر أغشية مشتقات السليلوز خالية من التلوث الميكروبى، وهى مناسبة من الناحية الصحية لتغليف الأغذية. ترجع هذه الميّزة إلى طريقة تصنيع هذه الأغشية، حيث يصنع من لب الخشب النقى المكبرت والمعامل بالصودا الكاوية حيث ينتج شراب لزج القوام ويرشح ويستبعد الهواء الموجود ثم يعالج بالحامض ويترسب وتتكون أغشية السليلوز، وأثناء هذه المعاملة تهلك جميع الكائنات الحية الدقيقة من بكتريا وخميرة وفطر. كما تغطى الأغشية الشفافة عند نهاية التصنيع بطبقة من مواد ورنيشية ذائبة فى مذيبات عضوية ويجرى لها تجفيف سريع عند درجة حرارة مرتفعة، ولا تتحمل الكائنات الحية الدقيقة هذه المعاملة وتصبح أغشية السليلوز مقاومة للتلوث أثناء التداول، ولا تنفذ البكتريا أو الأحياء الدقيقة الأخرى.

أما المعاملة التى تتعرض لها الأغشية ذات القاعدة المطاطية rubber base – ومنها بليوفيلم pliofilm (وهى سوائل مطاطية معاملة بحامض الايدروكلوريك) فإنها كفيلة بإبادة جميع البكتريا وجراثيمها وغيرها من الأحياء الدقيقة التى يحتمل أن تلوث هذه الأغشية أثناء تصنيعها. كما تخلو رقائق الألومنيوم (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.

23 - 6 ميكروبيولوجيا الأغذية المعبأة:

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

أولاً: مواد التعبئة المنفذة:

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

ثانياً : العبوات المحكمة الغلق الغير منفذة:

Impermeable hermetically sealed packags

فى هذا النوع من العبوات ، يتأثر نشاط الميكروبات بعدة عوامل منها: وفرة الغذاء كبيئة ميكروبية، درجة الحرارة، نشاط الماء، رقم الأس الايدروجينى، طبيعة الغازات الموجودة، والتنافس بين الميكروبات.

ثالثاً : العبوات المحكمة الغلق غير المفرغة والغير منفذة للغازات:

gas impermeable, hermetically sealed but unevacuated packags

فى هذا النوع من العبوات فإن الفلورا الميكروبية فى أنسجة اللحم الطازج تستهلك الأكسجين وينخفض فى نفس الوقت رقم الأس الايدروجينى تدريجياً نتيجة نشاط ميكروبات حمض اللاكتيك. وتؤدى هذه التغيرات إلى بطء نمو البكتريا الهوائية المسببة للفساد ويزداد العمر التخزينى بحوالى 50 ٪. يعتبر نمو الميكروبات اللاهوائية مشكلة نادرة فى اللحم الطازج بغض النظر عن التعبئة ولم يسجل تكوين التوكسين ببكتريا *Clostridium botulinum* فى اللحم الطازج سواء معبأ تحت تفريغ أو بدونه.

أما فى اللحم المطهى أو المنضج أو فى الأسماك حيث يتواجد عدد قليل من الميكروبات المنافسة (سواء *Clostridium botulinum* أو *Clostridium perfringens*) التى يمكنها أن تنمو أحياناً فى وجود أو غياب الأكسجين الغازى ولذلك فإن الميكروبين سالفى الذكر لا يتأثران بالتعبئة. وفى شرائح اللحم الملقحة ببكتريا *Clostridium botulinum* والمعبأ فى عبوات مفرغة أو بدون تفريغ، نجد أن التفريغ يثبط الفساد ولكنه لا يمنع تكوين التوكسين، ولا يكون المستهلك منتبها للخطر الموجود فى العبوة.

أما ثانى أكسيد الكربون الموجود فى العبوة فإنه لا يبطئ فقط من معدل فساد اللحم ولكن يغير أيضاً من الفلورا الميكروبية المسببة للفساد، فيشجع نمو البكتريا الموجبة لصبغة جرام مثل *Lactobacillus* ، *Leuconostoc* ، و *Pediococcus* بينما يثبط نمو البكتريا السالبة لصبغة جرام مثل *Pseudomonas* .

تسمح المنتجات المملحة والمنضجة فى عبوات مفرغة بنمو بكتريا حمض اللاكتيك و streptococci بينما تسمح العبوات غير المفرغة بنمو الخمائر أحيانا. وتنمو أعضاء عائلة *Enterobacteriacea* بما فيها الـ *Salmonella* على سطح اللحم الطازج المعبأ وتتكاثر أحياناً بالرغم من وجود ملايين من بكتريا حمض اللاكتيك. وتقاوم بكتريا *Staphylococcus aureus* التفريغ فى العبوات ولكن يثبط نموها ومقدرتها على تكوين التوكسين المعوى enterotoxin بفعل الأكسجين المنخفض.

تتناقص الميكروبات من على اللحم الأحمر أو لحم الدجاج المعبأ فى جو معدل مكون من مخلوط هواء وثانى أكسيد الكربون مقارنة باللحم غير المعبأ بهذه الطريقة. بالإضافة إلى إطالة الزمن اللازم للفساد من 2-3 مرات.

رابعاً : التعبئة تحت ظروف معقمة Aseptic filling :

حيث يعبأ الغذاء المعقم فى وعاء معقم تحت ظروف معقمة، وهناك ثلاثة أنواع من العبوات المستعملة تحت ظروف معقمة وهى : عبوات معدنية معقمة بالبخار وتملأ وتغلق فى غرفة معقمة، عبوات مرنة flexible مزال منها التلوث بالأشعة فوق البنفسجية، أو بالكحول أو البيروكسيد أو بتوليفة من هذه المواد والتى تعبأ بالحقن والغلق (فى خطوة واحدة) فى جو معقم. كما تستخدم أوعية PS أو PE المبثوقة حيث يتم تعقيمها بالحرارة الخاصة بعملية البثق ويتم تعبئتها فى حجرة مغلقة.

خامساً : أوعية الضغط Pressurized containers :

حيث يعبأ الغذاء مع غاز مضغوط غير سام مثل النتروجين الذى ليس له تأثير مثبط على النمو الميكروبى بينما استخدام أكسيد النتروجين يكون له تأثير مضاد للبكتريا.

بعض الأغذية لا تشجع النمو الميكروبى مثل الزيوت وبالتالى فإنها تعبأ على البارد gassed cold . أما الأغذية مرتفعة الحموضة ومنخفضة النشاط المائى والتى قد لا تشجع نمو الميكروبات المقاومة للحرارة فيمكن أن تعبأ على الساخن gassed hot . ومن ناحية أخرى، فإن الأغذية متعادلة رقم الأس الايدروجينى أو ذات النشاط المائى المرتفع قد تسمح بنمو الميكروبات، وبالتالى فيجب تعقيمها بعد الغلق أو تعقم منفصلة وتعبأ تحت ظروف

معقمة فى عبوات سبق تعقيمها.

23 - 7 إعادة الإستعمال، إعادة التدوير، والتخلص من العبوات المستعملة:

Re - use, recycling and disposal of used packages

بعد استعمال العبوات واستنفاذ وظائفها فإنها تعتبر فاقداً. وتساءل كل من المستهلك والصانع عن كيفية الاستفادة أو التخلص من العبوات الغذائية المستعملة خاصة تلك المصنعة من اللدائن وظهرت عدة اتجاهات فى هذا المجال: كإعادة الاستعمال re - use، إعادة التدوير recycling، والتخلص منها disposal. وتجرى عملية إعادة التدوير باستبدال البوليمر المعاد تدويره جزئياً بآخر بكر virgin بطريقتين أساسيتين، كما يلى :

أولاً: إعادة التدوير الميكانيكية Mechanical recycling :

حيث يعاد تصنيع العبوات المستعملة بتقطيعها على هيئة أجزاء أو قطع. وتتم هذه العملية الآن فى دول الإتحاد الأوروبى على حوالى 75 ٪ من اللدائن الكلية بحيث تستبدل2-3 ٪ من البوليمرات الجديدة البكر وتجرى بنجاح محاولة زيادة هذه النسبة إلى حوالى15-20 ٪ من البوليمر الأصلى.

ثانياً: إعادة التدوير الكيماوية / التكريرية Chemical / refineryrecycling :

تتم إعادة التدوير الكيماوية بتقنية انشقاق السلسلة التى تحدث على خطوات مختلفة بإعادة البلمرة والتخلص من الشوائب ثم يكثف البوليمر مثل عديدات اليوريثان polyurethanes، عديدات الاستر polyester (PET)، عديد الأميدات polyamides ... إلخ. ولا يلزم تحلل البوليمر إلى الأوليات الجزيئية الأصلية ولكنها توقف عند مكونات بادئة precursors مثل عديدات الكحول polyols فى حالة عديدات اليوريثان. كما تؤدى عمليات التحلل الحرارى فى عملية التغذية الكيماويةchemical feedstock إلى إنتاج مواد من نوع الايدروكرابن (غازات). وتتضمن عملية إعادة التدوير التكريرية على خطوات انشقاق السلاسل الكربونية وإعادتها كمنتجات بتروكيماوية.

توجد العديد من الصعوبات التى تجابه عملية إعادة التدوير منها: ارتفاع تكاليف جمع

اللدائن المستعملة، فرزها، الخواص المميزة للدائن، التقنية المستخدمة، الطرق الفنية القياسية، تقبل المستهلك، والجدوى الإقتصادية.

23 - 7 - 1 نسب الطاقة energy ratios للمواد الخام الأولية (البكر) والثانوية (المستعملة) :

وهى أحد العوامل الهامة المرتبطة بإعادة التدوير حيث تستهلك المواد الخام الثانوية فى العبوة النهائية طاقة أقل لتحويلها لخامات تعبئة جديدة عن الطاقة اللازمة لعمل نفس الناتج من مواد خام أولية (بكر virgin) مثل البوكسيت bauxite للألومنيوم وخام الحديد لصناعة الصلب. وتختلف نسب الطاقة المستهلكة من مادة خام لأخرى، كما تعتمد أيضاً على الجهود التخطيطية والإدارية والهندسية التى تتم لإجراء عمليات الفصل (عن المواد الأخرى) والتركيز للمواد الخام فى عملية إعادة التدوير وهى العملية التى تحددها تكاليف الطاقة.

أ - الألومنيوم:

حيث تكون الطاقة اللازمة لعمل عبوة أو ناتج جديد من علب قديمة (أو مستعملة) أقل من 1 / 3 الطاقة اللازمة لصنعها من مواد خام بكر (أولية مثل البوكسيت) وقد تصل تحت الظروف المثلى إلى أقل من 1 / 10 . ولذلك فإن الألومنيوم يعتبر مادة مناسبة لإعادة التدوير.

ب - الصفيح Tinplate :

تكون الطاقة اللازمة لعمل عبوة جديدة من القديمة بإعادة التدوير فى فرن كهربائى أقل بحوالى 40٪ من الطاقة اللازمة إذا صنعت من خام الحديد، وعادة يتم فرز العلب الصفيح بطريقتين: إجراء فرز مبدئى presorting فى المنازل لعلب الصفيح المستعملة وفصلها عن الأوعية الزجاجية، ورق الصحف، الكرتون، اللدائن، وأية بقايا صلبة، أو إجراء فرز نهائى postsorting بالمغناطيس من الكتلة الصلبة المجمعة من المنازل. تتم إعادة التدوير بإعادة صهر العلب الصفيح. وعادة ما تكون وحدة الفرز النهائى والصهر عالية التكاليف ولكنها تناسب المدن كثيفة السكان.

جـ - الزجـــاج:

عـادة تتوفـر المواد الخـام لصناعـة الزجـاج: الرمل، الملح كـمادة لكربونات الصـوديوم التجارية (الصودا soda ash) ، والحجر الجيرى حيث تصهر معا لتكوين الزجاج . وعلى ذلك فإن التـوفير فى الطاقة يكون له الأهمـية الأولى، عن طريق تحـسين العزل الحـرارى لفرن الصهر، التى تحتاج إلى تكاليف صيانة دورية وتكون غير إقتصادية فى حالة تدنى سعر الطاقـة، بينما يزداد الإهتمام بزيادة العزل الحرارى عند إرتفاع سعر الطاقة وذلك بهدف خفض التكلفة. ويوجد جزء من الطاقة التى يتم استهلاكهـا فى تصنيع الصـودا من الملح، وهذه الكمـيـة تمثل 15 ٪ من الطاقة اللازمـة للصهر ويمكن توفيرها باستخدام زجاج قديم ومـخـاليط أخرى، وبالتالى فإن الزجاج يناسب عملية إعادة التدوير. وعادة ينصح بإعادة تدوير الزجـاج عديم اللون منفـصلاً عن الزجـاج الملون لإنتـاج منتـجات زجـاج غيـر ملون باقتصاديات جيدة.

د - اللـدائن plastics والـورق:

تتميز هذه المواد عن سابقتها باحتوائها على طاقة يمكن تحريرها بالحرق لاستخدامها كوقود، وهو فى ذلك يتشابه مع الألومنيوم (الذى عند حرقه إلى أكسيد الألومنيوم – عند حرق النفايات الصلبة – منتجا حرارة قليلة بمقارنتها بالطاقة اللازمة لإنتاج الألومنيوم من البوكسيت، وبالتالى فإن إعادة تدوير الألومنيوم تكون أفضل من ترميده) . وينطبق ذلك على الورق ومعظم اللدائن الهامة، فإذا أخذ عديد الاثيلين PE كمثال فإننا نحتاج إلى 2 طن وقود بترول (أو ما يكافئه) لإنتاج طن واحد من كرات عديد الإثيلين أو أية صور أخرى مناسبة لتصنيع الناتج النهائى والتى تحتاج إلى طاقة إضافية بمقدار 0.1 أو 0.2 من مكافئ البترول لتشكيله للصورة المرغوبة. تحتاج إعادة تدوير عبوات PE النظيفة المتجانسة بإعادة بثقها re-extrusion إلى 0.1 أو 0.2 مكافىء بترول/مكافىء وزن من PE لإنتاج ناتج جديد (من القديم) وهى تمثل 15-25 ٪ من الطاقة اللازمة لتصنيع نفس الكمية من منتجات PE من مواد خام بكر. وعلى ذلك تكون إعادة التدوير هى الاختيار الأول لعديد الإثيلين ولمعظم اللدائن الأخرى إذا ما علمنا أن المحتوى الحرارى لطن واحد من البترول يكافئ طناً واحداً من PE .

عندما تكون هناك صعوبة لإجراء عمليات التدوير بطريقة مستمرة للدائن والورق فإنه يمكن بكفاءة استعادة 70 ٪ من محتوى الطاقة الكيماوية بالنظام المناسب من الترميد أو الإنحلال الحرارى pyrolysis، خاصة بعد استفاذ طرق توفير الطاقة والمواد بعد عدة مرات من إعادة تدوير الورق واللدائن. وأيضاً فهناك مشاكل عملية ترتبط بإعادة تدوير اللدائن والتى أهمها أنه يجب أن تكون متجانسة ونظيفة، وقد ظهرت طرق جديدة فى اليابان لإجراء فرز أتوماتيكى لمكونات المخلوط المكون لمواد اللدائن.

بافتراض أن كفاءة الأفران حوالى 70 ٪، فإنه يمكن استعادة 35 ٪ من الطاقة الكلية المستهلكة فى تصنيع PE بإنتاج حرارة مفيدة (لتسخين الماء للتدفئة المركزية) أو حوالى 15-20 ٪ إذا استخدم لتوليد القوى الكهربائية. وفى حالة استخدام وحدات الضغط المعاكس counter - pressure لإنتاج الحرارة المفيدة والقوى الكهربائية فإنه يمكن استعادة 40 ٪ من الطاقة الكلية وهى تمثل كفاءة تقدر بحوالى 80 ٪ لهذه المنشآت.

عادة يتم استخلاص طاقة أقل من الـ PVC بالترميد نتيجة أن القيمة السُعريةcaloric value للـ PVC تكافئ 0.4 طنا من وقود البترول / طن PVC ، فى حين أنها تكافئ واحد طن من وقود البترول / طن PE. ويتشابه الورق مع PE حيث تكافئ الطاقة الكلية المستهلكة 1.2 - 1.3 طنا من وقود البترول / طن واحد من ورق الصحف وتكون الطاقة المتبقية فى الورق حوالى 0.4 طن بترول / طن ورق. ويعنى هذا توفير 35 ٪ من الطاقة خلال إعادة التدوير بينما يتم توفير 25 ٪ من الطاقة بإجراء الترميد لإنتاج حرارة مفيدة . وبالتالى فمن وجهة نظر الطاقة فإن إعادة تدوير الورق هى أكثر البدائل فائدة بينما يكون الترميد هو البديل الثانى المقبول عندما يستحيل إجراء إعادة التدوير فى حالة الورق الملوث ببقايا الأغذية وذلك لإنتاج الحرارة المفيدة والقوى الكهربائية.

يتم حاليا إعادة تدويرPE، PVC، PET بنجاح كبير ولكن يصعب إجراؤها للدائن متعددة الطبقات التى قد تصل إلى سبع طبقات مختلفة وتزداد صعوبة إعادة تدوير المواد المركبة composite مثل ألياف زجاجية / معدن أو لدائن / خزف ceramics . ويتم حالياً فى الدول الاسكندنافية جمع كراتين الحليب الفارغة من المنازل ثم إذابتها ويصنع منها صناديق للبيض، وأمكن أيضاً فصل PE عن الألومنيوم وإعادة استخدام كل منها فى

أغراض أخرى.

23 - 7 - 2 التخلص من النفايات Disposal of waste :

اقترح من قديم حل مشكلة التخلص من النفايات بإجراء خفض كمية المنتجات المعبأة ولكن هذا يخالف الطلب المتزايد على العبوات لحماية المنتجات وزيادة جاذبيتها والمرونة المرتفعة فى إنتاج وتداول العبوات. يمكن تلخيص أهم طرق التخلص من النفايات فى الطرق الآتية:

أولاً: دفن النفايات وكمرها Composting and damp filling :

كان التخلص من النفايات بدفنها لقرون عديدة وحتى وقت قريب هو الطريق العملى الوحيد والبسيط والرخيص. حيث يبدأ تحطم المواد العضوية ثم تحولها الكائنات الحية الدقيقة إلى مواد معدنية وغازات. وفى وجود الأكسجين فإن تحطم المواد العضوية يكون أسرع (يسمى التحطم الهوائى) ثم يتم استهلاك الأكسجين بسرعة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة وتصبح الظروف لا هوائية وتتكون الغازات العضوية وخاصة الميثان (الغاز الحيوى biogas). وتناسب هذه الطريقة الكميات الصغيرة من النفايات سريعة التحطم، لكنها لا تناسب مجتمعات اليوم التى ينتج عنها كمية كبيرة من النفايات التى يصعب تحطمها. كما يؤدى الاحتراق المصاحب لهذه العملية إلى إنتاج دخان وروائح كريهة نتيجة تكون نفايات غير متحللة، وبتزايد تكون الشقوق فى كتلة المخلفات يزداد مرور الأكسجين خلالها مما يقلل من هذه الروائح. وعادة فإن اللدائن لا تتحطم وتشاهد فى معظم مدافن النفايات حتى بعد مرور العديد من السنوات. كما يؤدى هطول الأمطار عليها إلى غسيل المواد المضافة إلى اللدائن وتسرى خلال كومة النفايات لتلوث الماء الجوفى.

وقد طورت هذه الطريقة إلى كمر composting **النفايات وتحويلها إلى سماد عضوى يحسن من خواص التربة حيث ينتج عن تحللها مواد تشبه الدبال** humus . **ويتم التحكم فى هذه الطريقة باسراع عملية التحلل كما أنها تعطى الفرصة لإزالة المواد غير المتحللة باستمرار. لا تناسب هذه الطريقة الكثير من أنواع العبوات.**

ثانياً : الحـرق والترميـد Incineration :

طريقة أكسدة سريعة زاد استخدامها فى السنوات القليلة الماضية حيث تتميز بتحويل النفايات إلى حجم أقل يبقى ككتلة معقمة ويمكن فصل المعادن المغناطيسية قبل الحرق وتزال المعادن الأخرى بالفرز من الرماد والتى يمكن استخدامها فى تبطين الطرق وأغراض أخرى مشابهة. أهم مميزات هذه الطريقة هو استخدام الطاقة الحرارية المتولدة أثناء الحرق حيث قدرت القيمة السعرية للمخلفات بحوالى 3000 كيلو كالورى / كجم مقارنة بحوالى4000 كيلو كالورى / كجم خشب و 12000 كيلو كالورى / كجم وقود البترول. كما يستفاد بالمحتوى السعرى المرتفع للدائن فى محارق خاصة لتوليد حرارة مفيدة أو القوى الكهربائية ولكن يحظر استخدامها (وكذلك كراتين الحليب الفارغة) فى التدفئة المنزلية لخطورتها. وقد عدلت هذه الطريقة إلى طريقة التحلل الحرارى pyrolysis لتقطير النفايات الجافة ويستغل جزء من الغازات الناتجة فى استمرار العملية والباقى يتم توجيهه إلى مواسير الغاز العامة فى المدينة. ومن مساوئ عملية الحرق أنها تؤدى إلى تلويث الهواء حيث يؤدى حرق اللدائن والمخلفات المنزلية الأخرى إلى تكوين حمض Hcl الذى يجب التخلص منه ومن المواد السامة وحبيبات السناج وإزالتها من الدخان الناتج.

ثالثاً : مواد التعبئة والعبوات القابلة للتحلل (التحطم) Degradibity :

من المعروف أن الكائنات الحية الدقيقة يمكنها تحليل اللدائن إذا كان وزنها الجزيئ منخفضاً عن 500 ، وقد أدى ذلك ببعض العلماء إلى بناء جزيئات اللدائن بحيث تحتوى نقط مهاجمة built in points of attack مثل منتجات النشا المجلتن. كذلك إضافة كميات صغيرة من بعض المواد الفعالة كيموضوئياً إلى مادة اللدائن بعد بلمرتها. تفترض كلا الطريقتين تعرض العبوات مقدما للأشعة فوق البنفسيجية قبل أن يبدأ التحطم. للكائنات الحية الدقيقة مقدرة مدهشة على الأقلمة تحت الظروف المختلفة لتكوين طفرات يمكنها أن تحطم كل المواد العضوية المعروفة. كما استحدثت مزارع بكتيرية يمكنها تحطيم بعض أنواع اللدائن مباشرة . وتهدف كل هذه المحاولات إلى الحفاظ على نظافة البيئة، ولكن يخشى أن يؤدى توفر مواد قابلة للتحطم إلى إنخفاض الإحساس العام بالمسئولية تجاه التخلص من العبوات بالإضافة إلى الخطورة الناشئة من ابتداء عملية التحطم قبل استخدام العبوة وحتى قبل أن

تعباً ، ونظراً لأن عملية التحطم تتم ذاتياً auto - catalytic لمرحلة معينة فقط وتصبح المادة بعد ذلك غير مناسبة لإعادة التدوير أو الإستفادة بطاقتها الحرارية سواء بالكمر أو بتركها فى الطبيعة. ونرى أن هذا التطور لن يحل مشكلة النفايات وبعثرة الفضلات والتى ينصح بالتوعية بها عن طريق التعليم فى الأسرة ورياض الأطفال والمدارس.

والآن تتجه الدول المتقدمة إلى إصدار قوانين تتضمن تنظيمات حديثة لتجنب آثار نفايات مواد التعبئة، فمثلاً صدر فى يونيو 1991 م فى ألمانيا قانون لمعالجة هذه المشكلة، يتضمن ما يلى :

أ – يتحمل الصناع والتجار مسئولياتهم تجاه العبوات المستعملة فى المستقبل.

ب – أن يتم تحرير الجمهور عن مسئولياته تجاه إدارة المخلفات.

جـ – أن يتم خفض المواد المعبأة قدر الإمكان.

د– أن تلقى العبوات معادة الإستخدام رعاية خاصة.

هـ – أن تكون الأولوية لإعادة استخدام المواد المستعملة عن المعاملات الحرارية.

وسوف يؤدى ذلك إلى تغيير جوهرى فى طرق إنتاج وتوزيع السلع بحيث يتحمل الصناع والتجار فى المستقبل مزيداً من المسئوليات البيئية ولا تترك المسئولية على المستهلكين. كما يجب أن يرصد التمويل اللازم لإجراء بحوث محلية على مختلف مواد العبوات المستعملة ومدى ملاءمتها لبعض الصناعات الغذائية والتى يجب أن تعتمد على ثلاثة إجراءات عملية : توفير ظروف صحية ممتازة، تقنية تصنيع جيدة، وبيئة صحيحة.

23 - 8 المراجـــع References

- د. أحمد على العريان (1967). البلاستيك فى التكنولوجيا الحديثة ملحق الأهرام الإقتصادى – القاهرة.
- د. حامد رياح التكرورى، د. سلمى خليل طوقان، د. محمد على حميض (1999). دليل مصطلحات علوم الغذاء والتغذية (إنجليزى / عربى). المكتب الأقليمى للشرق الأدنى – منظمة الأغذية والزراعة – القاهرة، جمهورية مصر العربية.
- د. حسين عثمان (1998). معجم علم وتقنية الغذاء (إنجليزى / عربى). مكتبة المعارف الحديثة – سابا باشا، الإسكندرية.
- مؤتمر تكنولوجيا تداول الحاصلات البستانية بعد القطف (1991). بالقاهرة وبالتعاون مع الهيئة الدولية للخدمات التنفيذية – ستامفورد – كنكتكت، الولايات المتحدة الأمريكية. ترجمة د. عواد حسين، د. عبد المجيد قمرة، ود. ماجدة بهجت.
- ندوة التطورات الحديثة فى تعبئة وتغليف الألبان والأغذية (1994، عربى / انجليزى). كلية الزراعة فرع الفيوم – جامعة القاهرة.

Anonymous (1977). The packaging media. Blacki & sons, London.

Anonymous (1986). The rauch guide to the packaging industry. Rauch Assoc. Inc., Bridgewater, New York.

Anonymous (1995). Technical guide for the packaging of milk and milk products. 3 ed. Ed. Bull. IDF 300.

Autian, J. (1980). Plastics. In "Casarett and Doull's toxicology. ed. J. Doull, C. D. Klaassen; and M. O. Amdur. 2 nd. Ed. Macmillan Pub. Co., Inc., New York.

Bakker, M. (Ed.) (1986). Encyclopedia of packaging technology. J. Wiley & Sons, New York.

obeikandl.com

Baldwin, E. A.; and Nisperos - Carredo, M. O. (1994). Edible coating and films to improve food quality. Technomic Pub. AG, Missionsstrase 44, Basel, Switzerland.

Birley, A. W. (1982). Plastics used in food packaging and the role of additives. Food chem. 8, 81 - 84.

Brighton, C. A. (1982). Styrene polymers and food packaging. Food chem. 8, 97 - 107.

Briston, J. H. (1982). New materials for food packaging - The future. Food chem. 8, 147 - 155.

Briston, J. H. (1989) Plastic films, 3 rd Edn. chap. 9, Longman scientific and Technical, Essex, England.

Baner, A.; Bieber, W.; figge, K., Franz, R.; and Piringor, O. (1992). Alternative fatty food simulants for migration testing of polymeric food contact materials. Food Addit. contam. 9, 137 - 148.

Carlin, F.; Nguyen. The , C.; Hilbert, G. and Chambroy, Y. (1990). Modified atmosphere packaging of fresh, "ready - to - use" grated carrots in polymeric films. J. Food Sci. 55, 1033 - 1038.

Castle, L.; Mercer, A. J. and Gilbert, J. (1988). Migration from plasticized films into foods. 4. use of polymeric plasticizers and lower levels of di (2 - ethylhexyl) adipate plasticizer in PVC films to reduce migration into food . Food Addit. Contam. 5, 277 - 282.

Castle, L.; Mercer, A. J.; Startin, J. R. and Gilbert, J. (1988). Migration from plasticized films into foods. 3 - Migration of phthalate, sebacate, citrate and phosphate esters from films used for retail food packaging . Food Addit. Contam. 5, 9 - 20.

Castle, L.; Mayo, A. and. and Gilbert, J. (1990). Migration of epoxidised soya bean oil into foods from retail packaging materials and from plasticized PVC film used in the home. Food Addit. Contam. 7 , 29 - 36.

Castle, L.; Nichol, J. and Gilbert, G. (1992). Migration of polyisobutylene from polyethylene / polyisobutylene films into foods during domestic and microave oven use. Food Addit. Contam. 9, 315 - 330.

Crosby, N. T. (1981) Food Packaging Materials. Applied Science Pub., London.

Campbell, A. J. (1994) The recycling, reuse and disposal of food packaging materials, a UK perspective. In "Food packaging preservation. Theory and practice. " ed. M. Mathlouthi Blackie Academic & professianal, London.

Daniels, J. A; Krishnamurthi, R. and Rizvi, S. H. (1985). A review of the effects of carbon dioxide on microbial growth and food quality. J. Food Port. 48, 532 - 537.

Deasy, P. B. (1984). Microencapsulation and related drug Processes Marcel Dekker, Inc., NY.

Feron, V. J., Jetten, J., Kruijf, N. and Berg, F. (1994). Polyethylene terephthalate bottles (PRB's) : A health and safety assessment. Food Addit. Cantam. 11, 571 - 594.

Figge, K. (1996). Plastics . In "Migration From contact material", ed. L.L,Katan Blackie Aademic 8 Professianal, London.

Gallman, P. (1995). Migration. In "Technical quide for the packaging of milk and milk products." 3 rd. Ed. bull. IDF 300 , Brussels (Belgium).

Gennadios, A.; Brandenburg, A. H; Weller, C. L. and Testin, R. F. (1993). Effect of pH on properties of wheat gluten and soy protein isolate films. J. Agric. Food Chem. 41, 1835 - 1839.

Gennadios, A.; Weller, C. L.; Testin, R. F. (1993). Temperature effect of oxygen permeability of edible protein based films. J. Food Sci. 58, 212 - 214.

Guilbert, S. (1986). Technology and application of edible protective films. In "Food packaging preservation. Theory and practice, "ed. M.

Mathlouthi Blackie Academic & Professional, London.

Heasook, K.; Seymour, G. G. and James, B. J. (1989). Determination of potential migrants from rubber gaskets of commercial aerosol valves used in food packaging. J. Food Sci. 54, 465 - 467.

Holton, E. E.; Asp, E. H. and Zottola, E. A. (1994). Corn starch containing polyethylene film used as food packaging. Cereal Foods World. 39, 237 - 241.

Karel, M. (1975). Protective packaging of foods. chap. 12. In "Principles of food science. part II. physical principles of food preservation "ed. M. Karel; O. R. Fennema; and D. B. lund. Marcel Dekker Inc., New York and Basel.

Katan, L. L.(1989). Health safety. In "Plastic films." ed. J. H. Briston. 3 rd. Edn. chap. 11. Longman scientifc and Technical Essex, England.

Kester, J. J. and Fennema, O. R. (1986). Edible films and coating: A review. Food Technol. 40, 47 - 59.

Laermer, S. F.; Young, S. S. and Zambetti, P. F. (1994). Could your packaging use a dose of vitamin E? Food Process. 6, 35 - 36.

Lannelongue, M.; Finne, G.; Hanna, M. O.; Nickelson, R. and Vanderzant, G. (1982). Storage characteristics of brown shrimp (*Penaeus aztecus*) stored in retail packages contaning CO_2- enriched atmospheres. J. Food Sci. 47, 911 - 923.

Linssen, J. P. H.; and Roozen, J. P. (1994). Food flavour and packaging interaction. In "Food packaging and preservation. Theory and practice." ed. M. Mathlouthi. Blackie Academic & professional, London.

Marquis, J. K. (1989). Neurotoxicity of aluminium. Environmental chemistry and toxicology of aluminium. Food Process. 289 - 298.

Mathlouthi, M. (Ed.) (1994). Food packaging and preservation. Blackie Academic & Professional, London.

Murphy, P. G.; MacDonald, D. A.; and Lickly, T. D. (1992). Styrene migration from general purpose and high impact polystyrene into food simulating solvents. Food Chem. Toxicol. 30, 225 - 232.

Nielsen, T. J.; Jagerstad, I. M.; Oste, R. E. and Wesslen, B. O. (1992). Comparative absorption of low molecular aroma compounds into commonly used food packaging films. J. Food Sci. 57, 490 - 492.

Olafsson, G.; Jagersted, M.; Oste, R. and Wesslen, B. (1993). Delamination of polythylene and aluminum foil layers of laminated packaging materials by acetic acid . J. Food Sci. 58, 215 - 219.

Ooraikul, B.; and Stiles, M. E. (1991, ED). Modified Atmosphere packaging of food. Ellis Horwood, New York.

Paine, F. A. (1987). Modern processng, packaging and distribution systems for food. Van Nostrand Reinhold Co., New York.

Paine, F. A. and Paine, H. Y. (1983). A handbook of food packaging. Leonard Hill, Glasgow.

Park, H. J.; Weller, C. L.; Vergano, P. J. and Testin, R. F. (1993). Permeability and mechanical properties of cellulose based edible films. J. Food sci. 58, 1361 - 1364.

Potter, N. N.; and Hotchkiss (1995). Food science. 5 th ed. Chapman & Hall, New York.

Raj, B.; Murthy, R. A. N.; Vijayalaskshmi; N. S.; Indiramma, A. R; Balasubrahmanyam, N. and Veerraju, P. (1990). Migration studies on some selected commercial plastics packaging materials for food contact applications. J. Food Sci. Techn. 27, 323 - 327.

Rice, J. (1993). Glass still a winner new developments in an old reliable packaging medium . Food Process. 5, 120 - 125.

Rice, J. (1994). What's new in edible films? Food Process. 7, 61 - 62.

Robertson, G. L. (1993). Food packaging : principle and practice. Marcel Dekker Inc., New York.

Rossi, L. (1977). Interlaboratory study of methods for determining global migration of plastic materials in liquids simulating fatty foodstuffs. J. Assoc. off. Anal. Chem. 60, 1282 - 1290.

Sacharow, S. and Griffin, R. C. (1980). "Food Packaging" AVI Publish. Co., INC., Westport, Connecticut.

Schulte, D. (1989). Aseptic filling of carton packages from the roll. In "Aseptic packaging of food". ed. H. Reuter. Technomic Pub.Co., Inc., Pennsylvania.

Shorten, D. W. (1982). Polyolefins for food packaging. Food Chem. 8, 109 - 119.

Smith, J. P.; Ooraikul, B.; Koersen, W. J.; Jackson, E. D. and Lawrence, R. A. (1986). Novel approach to oxygen control in modified atmosphere packaging of bakery products, Food Microbiol. 3, 315-320.

Smith, J. P.; Ooraikul, B.; Koersen, W. J.; Jackson, E. D. and Lawrence, R. A. (1987). "Shelf life extension of a bakery products using ethanol vapor, "Food Microbiol. 4, 329 - 337.

Smith, J. P.; Simpson, B.; and Ramaswamy, H. (1992). Packaging. part IV: Modified atmosphere packaging - principles and applications, In " Encyclopedia of food science and technology. "ed. Y. H. Hui, vol. 3. J. Wiley & Sons Inc., New York.

Syou, Y. H.; Jane, A. B. and Krope, D. H. (1990) Flavor, texture, color, and hexanal and TBA values of frozen cooked beef packaged in modified atmosphere. J. Food. Sci. 55, 26 - 29.

Turtle, B. I. (1993). Shelf stable foods packaging: options and opportunities. Food Technol Inter. Europe, 217 - 220.

Walker, d. J. (1992). Food Storage manual. World food programe. reprinted 1994 - Natural Resources Institute, Kent, UK.

Yam, K. L.; Paik, J. S.; and Lia, C. C. (1992). Packaging. part. I. General considerations. and part. III. Materials. In "Encyclopedia of food science and tehnology. "ed. Y. H. Hui, vol. 3. J Wiley & Sons Inc.. New York.