(٤) كربونات الحديدوز:

تتأكسد المادة فى الهواء الرطب إلى أيدروكسيد الحديد وثانى أكسيد الكربون، كما يلى:

$$FeCO_3 + O_2 + 6H_2O \longrightarrow 4Fe(OH)_3 + 6CO_2$$

ويشترط فى المواد الممتصة للغازات ما يلى:

أ- أن تكون فعالة فى امتصاص الغاز بمعدل مناسب.

ب- ألا تكون ضارة للإنسان.

جـ- أن تحتفظ بثباتها عند التخزين.

د- أن تكون صغيرة فى الحجم ولكن ذا قدرة عالية على امتصاص الغاز (Kader وآخرون ١٩٨٩).

وقد توضع أكياس صغيرة sachets من حامض الأسكوربيك مع مواد أخرى (وهى التى تنتج كذلك ثانى أكسيد الكربون)، وأخرى تحتوى على الكاثيكول cathecol مع مواد أخرى لأجل امتصاص ثانى أكسيد الكربون. ومن الأمثلة التجارية للنوعية الأولى Ageless G، و Toppan C، و Vitalon GMA (وهى التى تحتوى على الحديد إلى جانب حامض الأسكوربيك)، أما النوعية الثانية من الـ sachets (التى تحتوى على الكاثيكول) فمن أمثلتها التجارية Tamotsu (Thompson ١٩٩٨).

د- التحكم فى الرطوبة النسبية:

يستخدم فى التحكم فى الرطوبة النسبية داخل عبوات المنتجات الطازجة مركبات مثل ملح الصوديوم لحامض البولى أكليرك polyacrylic acid، وكربونات البوتاسيوم، وجل السيليكا silica gel (Liu & Chiang ٢٠٠٠).

أنواع أغشية عبوات الجو المعدل وخصائصها

الشروط التى يجب أن تتوفر فى الأغشية

إن من بين الصفات المرغوب فيها فى أغشية عبوات الجو المعدل (MAP) للمنتجات الطازجة ما يلى:

١– أن تسمح بنفاذ مختلف الغازات بالمعدلات المرغوب فيها.
٢– أن تكون ذات شفافية عالية وبراقة المظهر.
٣– أن تكون خفيفة الوزن.
٤– أن تكون مقاومة للتمزق والخدش والامتداد تحت تأثير الشدّ.
٥– أن يمكن لحامها بحرارة منخفضة نسبيًّا.
٦– ألا تكون سامة.
٧– ألا تتفاعل مع المنتج.
٨– أن تكون مقاومة للحرارة والأوزون بصورة جيدة.
٩– أن تتحمل عوامل التجوية.
١٠– أن تكون مناسبة تجاريًّا.
١١– أن تكون سهلة التداول.
١٢– أن يسهل الطباعة عليها لأغراض التعريف ببيانات المنتج.
١٣– أن تستخدم بكفاءة مع آلات التعبئة.
١٤– أن يروق منظرها للمستهلك.
١٥– أن يكون من السهل فتحها (Kader وآخرون ١٩٨٩).

أنواع الأغشية

يكون معدل تنفس بعض المنتجات – مثل البروكولى وعيش الغراب – عاليًا جدًّا لدرجة أن تعبئتها فى أغشية من البوليثيلين العادى يكون مصاحبًا بتغير سريع للغاية فى نسبتى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون داخل العبوة؛ مما يؤدى إلى تخمر المنتج. ولذا .. كان الاتجاه نحو إنتاج أغشية تجارية ذا درجة عالية من النفاذية للغازات، ولكن بمعدلات معينة تسمح بالحفاظ على التركيز المطلوب من كل من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون وبخار الماء. وقد أُنتج لأجل ذلك أغشية استخدم فى تصنيعها مركبات جديدة، أو أضيف إليها مركبات جديدة، أو ثقّبت تثقيبًا دقيقًا.

إن الأغشية التي تتحسن فيها معدلات نفاذيتها للغازات بسبب طبيعتها البوليمرية تتكون – عادة – من اثنين أو ثلاثة أنواع من البوليمرات، حيث يكون لكل بوليمر منها وظيفة خاصة. مثل المتانة، أو الشفافية. أو تحسين النفاذية للغازات بقدر يناسب المحصول. كذلك فإن الأغشية قد تتكون من صفائح مضغوطة لتحقيق الخصائص المطلوبة. ومن بين أنواع هذه الأغشية تلك التي تحتوى على ٦٪–١٨٪ ethylene-vinyl acetate، والبوليثيلين ذو الكثافة المنخفضة، والأغشية ذات رقائق الـ polypropylene، والـ styrene butadiene block polymer films، والـ ultra low density ethylene octene polymer films، والـ polyolefin plastomer octene copolymer films.

كذلك فإن البوليمر البلاستيكى قد يُخلط بمادة خاملة غير عضوية مثل كربونات الكالسيوم وأكسيد السيليكون تسمح بتكوين ثقوب دقيقة. ويمكن التحكم فى نفاذية الغازات بالتحكم فى نسبة المادة الخاملة المستعملة، وحجم جزيئاتها. هذا ويتراوح قطر الثقوب عادة من ٠,١٤ إلى ١,٤ ميكرون. ومن أمثلة الأغشية التي من هذا النوع ما يعرف باسم FreshHold، و Intellipac Breathable Membrane.

إن الأغشية التي توجد فيها ثقوب دقيقة يمكن أن يكون معدل نفاذيتها للغازات عال جدًا. ويتراوح قطر تلك الثقوب – عادة – بين ٤٠ و ٢٠٠ ميكرونًا. وبالتحكم فى قطر الثقوب يمكن التحكم فى معدل النفاذية للغازات بما يناسب المنتج. ولقد أنتجت أغشية من هذا النوع لتناسب مختلف المحاصيل، مثل: عيش الغراب، والفراولة، والنكتارين، والكرات، والأسبرجس، والطماطم الكريزية، والذرة السكرية (American Society for Plasticulture-Roming & Mir – الإنترنت – ٢٠٠٧).

إن أهم العوامل المؤثرة فى معدل نفاذ الأكسجين من الغشاء – والتي يجب أن تؤخذ فى الحسبان عند تصنيعه – تركيب البوليمر. وسمك الغشاء جدول (١٤–١)، ونسب طبقاته، بالإضافة إلى العوامل الخاصة بالمنتج الذى سيعبأ فيه (مثل النسب المستهدفة المثلى من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون لذلك المنتج، ومعدل استهلاكه للأكسجين)

وحرارة التخزين. ونسبة حجم المنتج إلى المساحة الخارجية للعبوة. والمساحة الخارجية للعبوة. والحجم الداخلى من العبوة الذى لا يكون مشغولاً بالمنتج (Lange ٢٠٠٠).

جدول (١٤–١): الوحدات المستخدمة فى وصف سمك الأغشية البلاستيكية.

جيج Gauge	ملليمتر mm	ميكرون µ
٤	٠,٠٠١	١
٤٨	٠,٠١٢	١٢
٥٠	٠,٠١٢٥	١٢,٥
١٠٠	٠,٠٢٥	٢٥
١٥٠	٠,٠٣٧٥	٣٧,٥
٢٠٠	٠,٠٥	٥٠
٤٠٠	٠,١	١٠٠
٥٠٠	٠,١٢٥	١٢٥

خصائص الأغشية

إن اختيار الغشاء بالنفاذية المطلوبة لكل من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون وبخار الماء يعد أمرًا حاسمًا لنجاح الـ MAP. فإذا كان الغشاء شديد النفاذية للأكسجين فإن المنتج يتنفس وينتج الإثيلين وينضج. وإذا ما كانت النفاذية ضعيفة جدًا. فإنه سريعًا ما يصبح هواء العبوة مناسبًا للتنفس اللاهوائى وما يصاحبه من تخمرات.

ويوضح جدولا (١٤–٢. و ١٤–٣) نفاذية بعض الأغشية المستخدمة فى تعبئة الخضر والفاكهة. وعمومًا فإن الأغشية التى تكون نفاذيتها لثانى أكسيد الكربون إلى الأكسجين حوالى ١:٣ هى الأكثر مناسبة. ومن أمثلة الأغشية التى تكون نفاذيتها بتلك النسبة البوليثيلين قليل الكثافة. والبولى فينيل كلورايد، والأغشية المزدوجة من الـ EVA مع الـ LDPE. تؤمن هذه النوعية من الأغشية نفاذًا لكل من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون بنفس معدل إنتاجهما بالتنفس، كما أنها تشكل – كذلك – حاجزًا أمام فقد الرطوبة.

جدول (١٤–٢): نفاذية بعض أنواع الأغشية المستعملة في عبوات الجو المعدل – للخضر والفاكهة الطازجة – لكل من الأكسجين وثاني أكسيد الكربون.

نوع الغشاء	النفاذية[أ] للأكسجين	لثاني أكسيد الكربون
Polyethylene, low density (LDPE)	١٣٠٠٠–٣٩٠٠	٧٧٠٠٠–٧٧٠٠
Polyvinyl chloride (PVC)	٢٢٤٨–٦٢٠	٨١٣٨–٤٢٦٣
Polypropyelne (PP)	٦٤٠٠–١٣٠٠	٢١٠٠٠–٧٧٠٠
Polystyrene (PS)	٧٧٠٠–٢٦٠٠	٢٦٠٠٠–١٠٠٠٠
Saran (PVDC)	٢٦–٨	١٥٠–٥٢
Polyester (PET)	١٣٠–٥٢	٣٩٠–١٨٠

أ– يعبر عن النفاذية بالسنتيمترات المكعبة لكل متر مربع لكل mil (٠,٠٠١ بوصة) سمكاً يومياً لكل ضغط جوي ($cm^3/m^2/mil/day/atm$).

جدول (١٤–٣): خصائص النفاذية لبعض أنواع الأغشية المتاحة للاستعمال (عن Kader وآخرين ١٩٨٩).

الغشاء	النفاذية[أ] الأكسجين	ثاني أكسيد الكربون	ثاني أكسيد الكربون/الأكسجين	MVTR[ب]
Polyethylene, low density	١٣٠٠٠–٣٩٠٠	٧٧٠٠٠–٧٧٠٠	٥,٩–٢,٠	
Polypropylene	٦٤٠٠–١٣٠٠	٢١٠٠٠–٧٧٠٠	٥,٩–٣,٣	
Polystyrene	٧٧٠٠–٢٦٠٠	٢٦٠٠٠–١٠٠٠٠	٣,٨–٣,٤	
Cellulose acetate	٢٣٢٥–١١٨٤	١٥٥٠٠–١٣٣٣٠	٧,٣–٦,٧	١٣٩٥–١١٦٣
Polyvinyl chloride	٢٢٤٨–٦٢٠	٨١٣٨–٤٢٦٣	٦,٩–٣.٦	١٧١–١٤٠
Polyvinylidene chloride	١٥,٥	٥٩	٣,٨	٣,١
Rubber Hydrochloride	٥٠٣٧٥–٥٨٩	٢٠٩٢٥٠–٤٤٦٤	٧.٦–٤.٢	١٠,٩–٧.٨
Nylon-6	١٥,٥	٣١	٢,٠	١٢٦

تابع جدول (١٤–٣).

الغشاء	النفاذية [أ]			MVTR[ب]
	الأكسجين	ثانى أكسيد الكربون	ثانى أكسيد الكربون/الأكسجين	
Polyester	١٣٠–٥٢	٣٩٠–١٨٠	٣,٥–٣,٠	
Polycarbonate	١٤٧٢٥–١٣٩٥٠	٢٦٣٥٠–٢٣٢٥٠	١,٨–١,٧	١٧,١–١٠,٩
Ethylcellulose	٣١٠٠٠	٧٧٥٠٠	٢,٥	٣١٠
Methylcellulose	١٢٤٠	٦٢٠٠	٥,٠	٣١٠٠
Polyvinyl alcohol	قريبًا من الصفر	قريبًا من الصفر	—	١٢٤٠
Polyvinyl fluoride	٥٠	١٧١	٣,٤	—
Polychlorotriflouro-ethylene	١١,٨	١٢٤	١٠,٥	٠,٣
Cellulose triacetate	٢٣٢٥	١٣٦٤٠	٥,٩	٩٣–٧٤
Vinyl chlorideacetate	٢٣٣	٨٥٣	٣,٧	٦٢

أ– النفاذية بالسنتيمتر المكعب لكل mil (٠,٠٠١ بوصة = ٠,٠٢٥٤ ملليمتر) لكل متر مربع من الغشاء فى اليوم عند ضغط جوى واحد.

ب– MVTR = معدل انتقال بخار الماء moisture vapor transmission rate معبرًا عنه بالسنتيمتر المكعب لكل يوم لكل متر مربع من الغشاء لكل mil واحد.

ويمكن تقسيم نفاذية الأغشية حسب كثافتها، كما يلى:

١– أغشية قليلة الكثافة low density:

تنتج هذه الأغشية ببلمرة الإثيلين لإنتاج بوليمرات ذات سلسلة متفرعة. يتراوح وزنها الجزيئى بين ١٤٠٠، و ١٤٠٠٠، وكثافتها ($g\ cm^{-1}$) بين ٠.٩١٠، و ٠.٩٣٥.

وتتراوح نفاذية هذه الأغشية ($cm^3m^2\ day^{-1}$) للأكسجين بين ٣٩٠٠، و ١٣٠٠٠، ولثانى أكسيد الكربون بين ٧٧٠٠، و ٧٧٠٠٠ عند ضغط جوى واحد وعلى حرارة ٢٢–٢٥°م، ورطوبة نسبية متباينة.

٢– أغشية متوسطة الكثافة medium density:

تتراوح كثافتها ($g\ cm^{-1}$) بين ٠.٩٢٦، و ٠.٩٤٠.

وتتراوح نفاذيتها ($cm^{-3}\ m^2\ day^{-1}$) للأكسجين بين ٢٦٠٠، و ٨٢٩٣، ولثانى أكسيد الكربون بين ٧٧٠٠، و ٣٨٧٥٠ عند ضغط جوى واحد لأغشية بسمك mil واحد (٠,٠٢٥٤ ملليمتر) على ٢٢–٢٥°م، ورطوبة نسبية متباينة.

٣– أغشية عالية الكثافة high density:

تتكون هذه الأغشية من تركيب بللورى بنسبة ٧٥٪ –٩٠٪، تكون جزيئاته بترتيب خطى بقليل من التفرعات، ويتراوح وزنها الجزيئى بين ٩٠٠٠٠، و ١٧٥٠٠٠، وكثافتها ($g\ cm^{-1}$) بين ٠,٩٩٥، و ٠,٩٧٠.

وتتراوح نفاذيتها ($cm^3\ m^2\ day^{-1}$) للأكسجين بين ٥٢٠، و ٤٠٠٠، ولثانى أكسيد الكربون بين ٣٩٠٠، و ١٠٠٠٠ عند ضغط جوى واحد لأغشية بسمك mil واحد (٠,٠٢٥٤ ملليمتر) على ٢٢–٢٥°م ورطوبة نسبية متباينة.

٤– أغشية خطية قليلة الكثافة linear low density:

تجمع هذه الأغشية بين خصائص أغشية البوليثيلين القليلة الكثافة والعالية الكثافة، وهى ذات نسبة أعلى من التركيب البلوى عما فى الأغشية قليلة الكثافة، ولكن بعدد متحكم فيه من التفرعات، مما يجعلها أكثر تحملاً وصلاحية للحام الحرارى. وهى تصنع من الإثيلين مع البيوتين butene، أو الهكسين hexene، والأوكتين octene.

تتراوح نفاذيتها ($cm^3\ m^2\ day^{-1}$) للأكسجين بين ٧٠٠٠، و ٩٣٠٠ عند ضغط جوى واحد لأغشية بسمك mil واحد (٠,٠٢٥٤ ملليمتر) عند ٢٢–٢٥°م ورطوبة نسبية متباينة (Golob وآخرون ٢٠٠٢).

هذا .. وتفقد الأنسجة النباتية جزءًا من رطوبتها عندما تكون الرطوبة النسبية أقل من ٩٩٪ أو ٩٩.٥٪. ويؤدى فقد الرطوبة إلى ظهور ذبول أو تكرمشات على سطح معظم المنتجات عندما يتعدى الفقد ٤٪ إلى ٦٪ من الوزن الطازج الكلى. ولحسن الحظ، فإن معظم أغشية الـ MAP غير منفذة للرطوبة نسبيًّا. وتكون الرطوبة النسبية قريبة من التشبع فى معظم العبوات حتى وإن كانت مثقبة. هذا مع العلم بأن الهواء المشبع

بالرطوبة يحتوى – عند ٢٠°م – على ٢,١٪ ماءً، بينما تكون الرطوبة النسبية فى الهواء الخارجى غالبًا بين ٣٠٪، و ٦٠٪، بما يعنى وجود تدرج فى بخار الماء قدره حوالى ١٪. أما التدرج فى الأكسجين فقد يكون أعلى بعدة مرات. وبسبب الفقد السريع للرطوبة من المنتج فى العبوات ذات الأغشية المثقبة فإن تأثيرها يكون أكبر على مستوى الأكسجين مما يكون على مستوى الرطوبة النسبية. فقد وجد أن التثقيب يؤدى إلى زيادة معدل تسرب الأكسجين ٤٠ مرة قدر تأثيره على زيادة تسرب بخار الماء.

مزايا وعيوب التخزين فى عبوات الجو المعدل

المزايا

إن أهم مزايا التعبئة فى العبوات المحورة للجو MAP – إلى جانب تأثيرها فى نسب مكونات الهواء داخل العبوة – يمكن أن تتضمن ما يلى:

١- تقليل التجريح السطحى بمنع التلامس بين المنتج ومادة الحاوية.

٢- تحسين حالة النظافة العامة بتقليل تلوث المنتج أثناء تداوله.

٣- احتمال منع تعرض المنتج للضوء؛ الأمر الذى يفيد فى منتجات مثل البطاطس والهندباء البلجيكية.

٤- المحافظة على رطوبة نسبية عالية وخفض الفقد الرطوبى.

٥- توفير حاجز يمنع انتشار الأعفان من وحدة لأخرى.

٦- من الممكن أن تتضمن العبوات مضادات فطرية أو مثبطات للسمطة.

٧- توفير وسيلة للتعريف بالعلامة التجارية (Kader وآخرون ١٩٨٩).

العيوب

إن من أهم المشاكل التى تواجه التوسع فى استعمال عبوات الهواء المعدل MAP ما يلى:

١- عدم توفر الأغشية المناسبة للمحصول المراد تعبئته فى كل الظروف، وخاصة فى حالات التغيرات الحرارية التى قد يتعرض لها المنتج أثناء تداوله؛ فالغشاء قد يكون