معدل التنفس وازدياد تركيز ثانى أكسيد الكربون عن الحد الحرج؛ الأمر الذى يؤدى إلى حدوث أضرار بالمنتج (Jobling ٢٠٠٧أ).

ويتأثر تركيز مختلف الغازات (الأكسجين وثانى أكسيد الكربون والإثيلين) داخل أنسجة المنتج الطازج بعملية تبادل الغازات بين الأنسجة وخارجها تبعًا للمعادلة التالية:

$$-ds/dt = (C_{in} - C_{out})\ DR$$

حيث إن:

-ds/dt : معدل انتقال الغاز خارج المنتج.

C_{in} : تركيز الغاز داخل أنسجة المنتج.

C_{out}: تركيز الغاز خارج أنسجة المنتج.

D: معامل انتشار الغاز فى الهواء.

R: ثابت خاص بكل محصول.

وتنتج الشركات أغشية يمكنها إطالة فترة صلاحية المنتجات الطازجة للتخزين. ومنها Maxifresh، و Gelpack، و Xtend (Thompson ١٩٩٨).

آليات تعديل الهواء فى عبوات الجو المعدل

إن تعديل مكونات هواء العبوة قد يتم بطريقة سلبية من خلال تنفس المنتج المعبأ واستهلاكه للأكسجين وإطلاقه لثانى أكسيد الكربون، أو بطريقة نشطة يتم فيها إحلال هواء العبوة بآخر ذات تركيزات محددة من كل من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون والنيتروجين. وتختلف المنتجات فى مدى تحملها لكل من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون.

أولاً: الآلية السلبية

يتغير تركيب الهواء فى الآلية السلبية بفعل تنفس المنتج. وذلك بمعدل يعتمد على تنفس المنتج وخصائص الغشاء، إلى أن نصل إلى حالة تعادل بين نفاذ الغشاء للأكسجين واحتياجات تنفس المنتج من الغاز.

وتتوقف الآلية المطية على العوامل التالية:

١– تنفس المنتج وخصائص نفاذيته لانتشار الغازات:

بينما ينتشر الأكسجين من خارج المنتج إلى مركزه فإن ثانى أكسيد الكربون يسلك فى انتشاره طريقًا عكسيًا. ويتحدد انتشار الغازات داخل المنتج بكل من معدل التنفس، ومرحلة النضج أو العمر الفسيولوجى. وحجم وكتلة المنتج، والممرات التى يحدث من خلالها الانتشار والحواجز التى تقف فى طريقه، وخصائص جزيئات الغاز، وتركيز الغاز فى الجو المحيط بالمنتج، ودرجة الحرارة.

أما معدل تنفس المنتج المعبأ فى أغشية بوليمرية فإنه يعتمد على كل من نوع المنتج، ومرحلة النضج، وحالته الفيزيائية، وتركيز الأكسجين وثانى أكسيد الكربون والإثيلين داخل العبوة، وكمية المنتج داخل العبوة، ودرجة الحرارة، وربما الإضاءة.

٢– خصائص الغشاء ونفاذيته:

يتوقف انتشار الغاز عبر الغشاء على تركيب الغشاء، ونفاذيته لغازات معينة، وسمكه، ومساحته، وتدرج التركيز عبر الغشاء، ودرجة الحرارة، والاختلاف فى الضغط عبر الغشاء.

هذا .. ويتوفر نوعان من أغشية الـ MAP المطية، هما:

أ– الأغشية المثقبة تثقيبًا دقيقًا microperforated:

تثقب الأغشية بتثقيبات تعتمد على أشعة الليزر أو الحرارة أو الدبابيس لزيادة معدل توصيل الغشاء للأكسجين. ولهذه الأغشية قدرة منخفضة على الاستجابة للتغيرات الحرارية، مع نسبة نفاذية لثانى أكسيد الكربون/الأكسجين تقدر بحوالى ١,٠؛ مما يؤدى إلى جعل مستويات الأكسجين منخفضة إلى متوسطة، مع زيادة فى تركيز ثانى أكسيد الكربون.

ب– الأغشية الدقيقة الثقوب بطبيعتها microporous membranes:

تتميز تلك الأغشية بارتفاع معدل توصيلها للأكسجين، كما أن لبعضها قدرة متوسطة للاستجابة للتغيرات الحرارية؛ مما تقل معه الأضرار التى يمكن أن تحدث عند ارتفاع

درجة الحرارة، ولبعضها الآخر قدرة منخفضة للاستجابة للتغيرات فى درجة الحرارة (Lange ٢٠٠٠).

٣- تركيز الغازات عند حالة التوازن:

بعد فترة قصيرة من التأقلم تستقر حالة من الثبات داخل العبوة التى يكون غشاؤها سليمًا، وذلك بمجرد أن تتحقق العلاقة المناسبة بين متغيرات المنتج والعبوة. فالأكسجين الموجود داخل العبوة يُستنفذ تدريجيًا بواسطة المنتج أثناء تنفسه فى الوقت الذى ينتج فيه عن التنفس كمية مماثلة تقريبًا من ثانى أكسيد الكربون. يؤدى هذا التغير فى تركيز الغازين إلى نشأة تحدر gradient يترتب عليه انتشار الأكسجين من خارج العبوة إلى داخلها، وانتشار ثانى أكسيد الكربون من داخل العبوة إلى خارجها عبر الغشاء البوليمرى. هذا إلاّ أن هذا التحدر يكون صغيرًا فى البداية بدرجة لا تكفى لاستبدال كل الأكسجين المستهلك، أو لإخراج كل ثانى أكسيد الكربون المنتج. ويترتب على ذلك انخفاض فى تركيز الأكسجين وزيادة فى تركيز ثانى أكسيد الكربون داخل العبوة. ومع نشأة هذا الجو المعدل داخل العبوة، يبدأ معدل التنفس فى الانخفاض استجابة لهذا الوضع الجديد؛ مما يترتب عليه زيادة فى محتوى الأكسجين، ونقصًا فى محتوى ثانى أكسيد الكربون؛ وبذا .. يصل تركيز الغازات إلى حالة جديدة من التوازن.

وعندما يكون استنفاذ الأكسجين مساويًا لانتشاره إلى داخل العبوة: وإنتاج ثانى أكسيد الكربون مساويًا لانتشاره إلى الخارج تكون العبوة قد وصلت إلى حالة من التوازن الثابت.

٤- العوامل الخارجية:

إن أى تغير فى درجة الحرارة يؤثر فى معدل التنفس وحالة التوازن التى يتم التوصل إليها داخل العبوة ما لم يتغير – كذلك – معدل انتشار الغازات عبر الغشاء – تأثرًا بالتغير فى درجة الحرارة – بنفس درجة تأثر معدل التنفس بها. هذا .. علمًا بأن ارتفاع الحرارة يؤدى غالبًا إلى انخفاض فى تركيز الأكسجين وزيادة فى تركيز ثانى أكسيد

الكربون داخل أنسجة المنتَج الشحمية (غير الورقية)، كما يزداد معدل النتح من تلك الأنسجة. وبصورة عامة يزداد معدل التنفس بمقدار ٢–٣ أضعاف مع كل ارتفاع في الحرارة قدره ١٠°م. في الوقت الذى تزداد فيه نفاذية الغشاء للغازات بمقدار ٢–٥ أضعاف. ويعنى ذلك أن الغشاء الذى يعمل على تكوين جو مناسب في الحرارة المنخفضة قد يؤدى إلى تكوين جو ضار بالمنتج في الحرارة العالية.

كذلك يؤثر التغير في درجة الحرارة في درجة ذوبان الغازات حيث تزداد بارتفاع الحرارة؛ مما يؤثر – بالتالى – على انتشارها بين العصير الخلوى والمسافات بين الخلايا وعبر الغشاء.

وأغلب الأغشية تكون نفاذيتها منخفضة لبخار الماء؛ ولذا .. فإن الرطوبة النسبية العالية التى تتكون داخل العبوة جراء زيادة النتح يمكن أن تؤدى إلى حدوث تكثف مائى داخل العبوة يناسب نمو الفطريات والبكتيريا المسببة للأعفان. ولقد استخدمت "باكتات" تحتوى على مواد ماصة للرطوبة مثل $CaSiO_4$، و KCl، و xylitol، و sorbitol توضع داخل العبوات بهدف التحكم في الرطوبة النسبية.

كذلك فإن تواجد الرطوبة الحرة المتكثفة على السطح الداخلى لأغشية العبوات (أو سطحها الخارجى) يمكن أن يؤثر في نفاذيته للغازات، ولكن بعض الأغشية تتمدد بامتصاصها للرطوبة وتزداد مع ذلك التمدد نفاذيتها للغازات.

ومع انخفاض ضغط بخار الماء داخل العبوات يمكن أن تذبل وتتعطن قشرة بعض الثمار؛ الأمر الذى تزداد معه مقاومتها لانتشار الغازات (Kader وآخرون ١٩٨٩).

ثانياً: الآلية النشطة

يتم تعديل الهواء داخل عبوات الجو المعدل – منذ بداية التعبئة، إما باستبدال هواء العبوة بآخر معدل بالنسب المطلوبة، وإما باستخدام مواد ممتصة أو مدمصة، كما يلى:-

١– عند اتباع طريقة استبدال هواء العبوة، فإن الهواء الموجود داخل العبوة يتم سحبه بتعريضه لتفريغ بسيط، واستبداله بهواء يحتوى على النسب المرغوب فيها من الغازات. ويعنى ذلك أن الهواء يكون معدلاً بعد التعبئة مباشرة.

٢– أما المواد الممتصة absorbers أو المدمصة adsorbers للأكسجين أو ثانى أكسيد الكربون أو الإثيلين أو الرطوبة فتتم إضافتها للتحكم فى تركيز تلك الغازات، كما يلى:

أ– ممتصات الأكسجين:

تعتمد معظم المواد التجارية الممتصة للأكسجين على مسحوق الحديد كمادة نشطة، وهى غالباً تستخدم أكسيد الحديد FeO الذى يتحول إلى Fe_2O_3 ، و Fe_3O_4 وأيدروكسيداتها بعد امتصاص الأكسجين. ومن الممكن حساب الكمية المناسبة من FeO لإحداث الخفض المرغوب فيه من الأكسجين.

ب– ممتصات ثانى أكسيد الكربون:

من بين المواد التى تستعمل فى التخلص من ثانى أكسيد الكربون الزائد من حجرات الـ CA فى المخازن ماء الجير المحضر لتوه من الجير المطفى $Ca(OH)_2$، والفحم المنشط، وأكسيد المغنيسيوم.

جـ– مُمتصات الإثيلين:

من بين المواد التى يمكن استعمالها لامتصاص الإثيلين فى عبوات الهواء المعدل ما يلى:

(١) برمنجنات البوتاسيوم:

تدمص البرمنجنات على الفيرميكيوليت أو السيليت celite أو جل السيليكا أو أقراص الألومنيوم، لتقوم بأكسدة الإثيلين إلى ثانى أكسيد كربون وماء.

(٢) مسحوق طمى البناء:

يمكن إضافة هذا المسحوق إلى مادة الغشاء، حيث يمتص الإثيلين وغازات أخرى. إلاّ أنه يعطى الغشاء مظهرًا بنيًّا غير رائق.

(٣) الهيدروكربونات (مثل الـ sequalane والـ Apiezon)، والسيليكونات (مثل phenylmethylsilicone).

(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: