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

مناسبًا للمحصول فى حرارة معينة، لكنه قد يتسبب فى تكوين ظروف لاهوائية فى حرارة أعلى.

٢- زيادة تكلفة التعبئة، وهى التى تقع – غالبًا – على عاتق المنتج أو المصدِّر.

٣- احتمال تعرض العبوات لأضرار فيزيائية أثناء التخزين والشحن؛ الأمر الذى قد يؤدى إلى تلف المنتج خلال الفترة الطويلة المتوقعة للتخزين أو الشحن باعتبار أن المنتج معبأ فى MAP. ولذا .. يجب أن تكون الأغشية المستعملة لدنة، ولكن قوية بما فيه الكفاية لأن تتحمل عمليات التداول العادية (Kader & Watkins ٢٠٠٠).

٤- إن الأغشية البلاستيكية تؤثر فى معدل برودة ودفئ المنتج؛ الأمر الذى يجب أخذه فى الحسبان عند اختيار إجراءات التحكم الحرارى للمنتجات المعبأة، ويمكن الحد من البطء فى معدل تبريد المنتجات المعبأة بجعل أغشية العبوات مثقبة.

٥- إن تعبئة منتجات الخضر والفاكهة الطازجة فى العبوات المحورة للهواء MAP يكون لها تأثيرات سلبية على نكهة الخضر، ليس فقط بسبب احتمالات حدوث التنفس اللاهوائى؛ فذلك أمر يجب تداركه والاحتياط له، وإنما يحدث الأثر السلبى على النكهة فى حالات استمرار التخزين لفترات طويلة، حيث يقل إنتاج المنتجات المخزنة للمركبات المتطايرة التى تكسبها نكهتها المميزة (عن Mattheis & Fellman ٢٠٠٠).

٦- يعد تكثف بخار الماء على الجدار الداخلى للغشاء من المشاكل الشائعة للـ MAP؛ الأمر الذى يشجع النمو الفطرى ويزيد من الإصابة بالأعفان، ويؤدى انخفاضًا قدره ٢.٠°م فى حرارة الغشاء إلى تكثف بخار الماء فى العبوة إذا كانت الرطوبة النسبية داخل العبوة ٩٩٪ والحرارة ١٠°م. هذا بينما تتعرض حجرات المخازن المبردة إلى تقلبات حرارية تبلغ عدة درجات؛ مما يعنى أن التكثف المائى أمر شائع الحدوث فى أى MAP. ولحسن الحظ فإنه تتوفر معاملات خاصة لسطح الغشاء تؤدى إلى انتشار قطيرات الماء لتكون طبقة رقيقة متجانسة غير مرئية تقريبًا (Mir & Beaudry ٢٠٠٤).

٧- قد تزيد ظروف عبوات الجو المعدل من فرصة تكاثر مسببات أمراض الإنسان، مثل: *Shigella sonnei*، و *Listeria monocytogenes*، و *Echerechia coli*، و *Clostridium botulinum*، و *Salmonella* spp.

ويتأثر نمو تلك البكتيريا وكذلك مسببات الأعفان الأخرى بكل من نسبتى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون، والرطوبة النسبية، ودرجة حرارة التخزين. فمثلاً .. يمكن أن تُثبط المستويات المنخفضة من الأكسجين والمرتفعة من ثانى أكسيد الكربون نمو البكتيريا السالبة لصبغة جرام، ولكنها تحفز نمو البكتيريا الموجبة لصبغة جرام، مثل بكتيريا حامض اللاكتيك. وقد تناسب ظروف التخزين نمو الكائنات الدقيقة المرضة للإنسان بينما تثبط تلك التى تفسد الغذاء؛ فيبدو الغذاء جيدًا رغم خطورته على الصحة. ومن المؤكد أن الخضر الطازجة المجهزة للاستهلاك تكون أكثر عرضة للنمو البكتيرى عن الخضر الصحيحة (American Society for Plasticulture-Roming & Mir – الإنترنت – ٢٠٠٧).

وسائل تجنب الآثار السلبية للارتفاع فى درجة الحرارة

لتجنب الآثار السلبية لأى ارتفاع فى درجة الحرارة أثناء التخزين والشحن يوصى باتباع أى من الإجراءات التالية:

١- استعمال عبوات تسمح بتواجد تركيز من الأكسجين أعلى – نسبيًا – من التركيز الحرج عند الوصول إلى حالة التوازن. ولكن ذلك يكون على حساب فترة صلاحية المنتَج للتخزين.

٢- الحرص التام على المحافظة الكاملة على سلسلة التبريد.

٣- فتح العبوات بمجرد حدوث ارتفاع فى درجة الحرارة تجنبًا لحدوث تنفس لاهوئى، وهو أمر يصعب – غالبًا – تنفيذه.

٤- فتح العبوات بمجرد وصولها إلى أسواق الجملة (Jobling ٢٠٠٧أ).

مشاكل التعرض لتركيزات غير محتملة من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون

إن تعرض المنتج الطازج لمستويات من الأكسجين تقل عن قدرته على التحمل أو لمستويات من ثانى أكسيد الكربون تزيد على تلك القدرة – على حرارة معينة ولفترة معينة – يترتب عليه تعرض الأنسجة النباتية لحالة من الشدّ؛ تظهر نتائجها فى عدة

أعراض، منها النضج غير المنتظم. وظهور عيوب فسيولوجية، وتكوين طعم غير مقبول، وزيادة القابلية للإصابة بالأعفان.

ويبين جدولا (١٤–٤)، و (١٤–٥) تقسيمًا للخضر والفاكهة تبعًا لقدرتها النسبية على تحمل المستويات المنخفضة من الأكسجين أو المرتفعة من ثانى أكسيد الكربون عند حفظها فى الحرارة المثلى والرطوبة النسبية المثلى لكل منها. وفى كل حالة .. يفترض أن الغاز الآخر يكون عند مستوى التركيز الطبيعى كما فى الهواء.

هذا .. وتنخفض حدود تحمل المستويات المرتفعة من ثانى أكسيد الكربون مع انخفاض تركيز الأكسجين. وبالمثل .. يزداد مستوى تحمل المستويات المنخفضة من الأكسجين مع زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون. ويمكن لمنتج معين أن يتحمل لفترة قصيرة تركيزات أعلى من ثانى أكسيد الكربون أو تركيزات أقل من الأكسجين عن تلك المبينة.

وفى بعض المنتجات تتأثر القدرة على تحمل التركيزات المنخفضة من الأكسجين أو المرتفعة من ثانى أكسيد الكربون على مرحلة النضج. وعلى سبيل المثال .. غالبًا ما تتحمل الثمار الناضجة مستويات من ثانى أكسيد الكربون أكثر ارتفاعًا عما تتحمله الثمار المكتملة التكوين غير الناضجة. كما أن المنتجات السابقة التجهيز تكون هى الأخرى أكثر تحملاً، لعدم وجود كثير من المعوقات لانتشار الغازات منها وإليها كما فى المنتجات الصحيحة (Mir & Beaudry ٢٠٠٤).

جدول (١٤–٤): تقسيم الخضر والفاكهة حسب تحملها للانخفاض فى تركيز الأكسجين (عن Beaudry ٢٠٠٠).

المستوى الذى يمكن تحمله (٪)	المنتج
≤ ٠.٠٥	الخضر الورقية المجهزة للمستهلك – خس الكابوتشا المجهز للمستهلك – السبانخ – شرائح الكمثرى المجهزة للمستهلك – البروكولى – عيش الغراب
١.٠	الخس الدهنى المجهز للمستهلك – شرائح التفاح المجهزة للمستهلك – الكرنب بروكسل – الكنتالوب – الخيار – خس الكابوتشا – أبصال البصل – المشمش – الزبدية – الموز – الكريز – العنب – الكيوى – النكتارين – اللتشى – الخوخ – البرقوق

تابع جدول (١٤–٤).

المستوى الذى يمكن تحمله (٪)	المنتج
١,٥	معظم أصناف التفاح والكمثرى
٢,٠	الجزر المجهز للمستهلك – الخرشوف – الكرنب – القنبيط – الكرفس – الفلفل الحلو والحار – الذرة السكرية – الطماطم – البلاكبرى – التين – المانجو – الزيتون – الباباظ – الأناناس – الرمان – الراسبرى – الفراولة
٢,٥	الكرنب المجهز للمستهلك – البلوبرى
٣,٠	الكنتالوب المجهز للمستهلك – أصناف التفاح والكمثرى قليلة النفاذية – الجريب فروت – الكاكى.
٤,٠	شرائح المشروم
٥,٠	الفاصوليا الخضراء – الليمون الأضاليا – الليمون البنزهير – البرتقال
١٠	الأسبرجس
١٤	البرتقال المجهز للمستهلك

جدول (١٤–٥): تقسيم الخضر والفاكهة حسب تحملها لزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون (Watkins ٢٠٠٠).

أقصى مستوى يمكن تحمله[أ] (٪)	المنتج
٢	خس الكابوتشا – الكمثرى
٣	الخرشوف – الطماطم
٥	معظم أصناف التفاح – المشمش – القنبيط – الخيار – العنب – الزيتون – البرتقال – أصناف الخوخ ذات البذرة الملتصقة – البطاطس – الفلفل الحلو
٧	الموز – الفاصوليا الخضراء – الكيوى
٨	الباباظ
١٠	الأسبرجس – كرنب بروكسل – الكرنب – الكرفس – الجريب فروت – الليمون الأضاليا – الليمون البنزهير – المانجو – النكتارين – الخوخ غير الملتصق البذرة – الكاكى – الأناناس – الذرة السكرية
١٥	الزبدية – البروكولى – البرقوق – الرمان

تابع جدول (١٤-٥).

المنتج	أقصى مستوى يمكن تحمله[أ] (٪)
الكنتالوب – عيش الغراب	٢٠
البلاكبرى – البلوبرى – التين – الراسبرى – الفراولة	٢٥
الشيريمويا cherimoya (*Annona cherimola*)	٣٠

أ- تمثل تلك النسب الحد الأقصى لتركيز ثانى أكسيد الكربون الذى يمكن لهذه المنتجات تحمله عند التخزين لأطول فترة ممكنة؛ بما يعنى إمكان تحمل المنتجات لتركيزات أعلى من ذلك عند الرغبة فى التخزين لفترات أقل.

استجابة المنتجات البستانية لعبوات الجو المعدل

تتأثر المنتجات بالـ MAP من عدة وجوه، كما يلى:

١- يؤدى الجو المعدل الذى تنخفض فيه نسبة الأكسجين وتزداد فيه نسبة ثانى أكسيد الكربون إلى إبطاء تحلل الكلوروفيل أثناء شيخوخة الخضر الخضراء اللون، علمًا بأن فقد الكوروفيل يعد أمرًا مرغوبًا فيه فى عديد من الثمار الكلايمكتيرية.

٢- تؤدى مستويات ثانى أكسيد الكربون الأعلى عن ١٠٪ إلى إبطاء أو وقف نشاط معظم الكائنات المرضة، هذا بينما لا يكون للمستويات المنخفضة من الأكسجين – الأعلى من تلك التى تحدث عندها التخمرات – تأثيرات تذكر على الكائنات المرضة. ومن أكثر المنتجات البستانية تحملاً للمستويات المرتفعة من ثانى أكسيد الكربون التى يثبط معها النمو الميكروبى الفراولة والبلوبرى، والراسبرى، والبلاكبرى، والكريز.

٣- تؤدى الرطوبة النسبية العالية داخل الـ MAP إلى زيادة نشاط الكائنات المرضة.

٤- يؤدى انخفاض تركيز الأكسجين إلى تقليل تلون الأسطح المقطوعة فى الخضر والفاكهة المصنعة جزئيًا (fresh-cut) باللون البنى، كما فى الخس والسلطات المجهزة. يحدث ذلك التأثير – فى الخس على سبيل المثال – عند انخفاض تركيز الأكسجين عن