الفصل الثالث عشر

التخزين فى الجو المتحكم فى مكوناته

لقد كان المتبع فى الماضى هو الاعتماد على التنفس الطبيعى للخضر فى زيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون وخفض نسبة الأكسجين، مع تنظيم مكونات هواء المخزن بعد ذلك بالتحكم فى التهوية. ويسمى ذلك بـ "التخزين فى الجو المعدل" Modified Atmosphere (MA)، لكن المتبع الآن – غالبًا – هو التحكم التام فى نسب الغازات الموجودة بالمخازن بخلطها بالخارج آليًا، بالنسبة المرغوبة، ثم دفعها إلى الداخل بانتظام. ويسمى ذلك بـ "التخزين فى الجو المتحكم فى مكوناته" Controlled Atmosphere (CA). ويراعى فى كلتا الطريقتين عدم خلو المخزن تمامًا من الأكسجين لأية فترة، وإلا حدث تنفس لا هوائى، وتكونت مركبات غير مقبولة الطعم نتيجة لذلك. ولا تحفى أهمية أن تكون المخازن ذات الجو المعدل محكمة الإغلاق تمامًا؛ بحيث لا تتسرب منها الغازات.

عادة ما يستعمل عند التخزين فى الهواء المتحكم فى مكوناته تركيزًا من الأكسجين يقل عن ٨٪ (مقارنة بتركيز ٢١٪ فى الهواء العادى)، وتركيزًا من ثانى أكسيد الكربون يزيد على ١٪ (مقارنة بتركيز ٠,٠٣٪ فى الهواء العادى)، ويكون الباقى نيتروجينًا (مقارنة بنحو ٧٨٪ فى الهواء العادى). كما قد يضاف غاز أول أكسيد الكربون – كذلك – بنسبة ٢٪-٣٪، وخاصة أثناء شحن الخس؛ لمنع تغيرات اللون البنى فى الأوراق، ولذلك محاذيره.

وللتخزين فى الجو المعدل والجو المتحكم فى مكوناته أهميته بالنسبة لكل من الحاصلات السريعة التلف، وتلك التى تكمل نضجها بعد الحصاد.

وبرغم نجاح التخزين فى الجو المعدل والجو المتحكم فى مكوناته فى عديد من الحاصلات، إلا أن البعض منها يتأثر بزيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون فى جو المخزن،

وتظهر بعض العيوب الفسيولوجية بها، وهو الأمر الذى لا يحدث إلاّ فى الأنسجة النباتية الخالية من الكلوروفيل. فمثلاً .. تحدث أضرار بالقنبيط فى جو به ٥٪ CO_2، و ٢٪ O_2، بينما يظل البروكولى بحالة جيدة فى جو به ١٠٪ CO_2، و ٠,٢٥٪ O_2. كما يتأثر خس الرؤوس ذو الأوراق السهلة التقصف بجو معدل به ٢٪ CO2، بينما يتحمل الخس الرومين ذو الأوراق الخضراء نسبة CO_2 تصل إلى ١٢٪ (Isenberg ١٩٧٩).

ويعتقد بصورة عامة أن خفض تركيز الأكسجين (فى صورة CA أو MA) يخفض معدل التنفس بمقدار ٥٠٪ فى حرارة ٢٠–٢٥°م، وبمقدار ٧٤٪ فى الحرارة المنخفضة التى يتحملها المنتج.

وتتضمن العوامل التى تؤثر فى اختيار الجو المتحكم فى مكوناته CA أو الجو المعدل MA لتخزين المنتجات البستانية ما يلى:

١– فترة التخزين الطبيعية فى الهواء العادى:

فإذا كان من الممكن تخزين المحصول بصورة مُرضية فى الهواء العادى لكل فترة التسويق المرغوب فيها، لا تكون هناك حاجة إلى اللجوء لأى من الـ CA أو الـ MA.

٢– استجابة المحصول للـ MA ومدى تلك الاستجابة:

فيجب أن تكون هناك فائدة واضحة من التخزين فى الـ CA أو الـ MA، علمًا بأن تلك الاستجابة لا تتوفر بصورة واضحة ومؤثرة فى بعض المنتجات.

٣– القدرة العالية على تحمل التغيرات فى مكونات الهواء:

من الأهمية بمكان التأكد من قدرة المنتج على تحمل مدى واسع من كل من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون، وألا تتأثر جودته بالتغيرات البسيطة فى نسب الغازات فى حالات الـ MA؛ فذلك أمر لا يمكن استبعاده.

٤– الوفرة الموسمية للمنتج:

يكون اللجوء إلى الـ CA أو الـ MA أمرًا هامًا عندما يتوفر المحصول خلال فترة

زمنية قصيرة؛ حيث يصبح تخزين المحصول لأطول فترة ممكنة أمرًا بالغ الأهمية.

٥– قيمة المنتج بالنسبة لتكلفة التخزين فى الجو الـ CA أو الـ MA؛ فيجب أن تكون هناك فائدة مادية مملوسة من التخزين بتلك الطريقة.

٦– مدى توفر المنتج من مناطق جغرافية أخرى:

فقد يكون الأجدى استيراد المنتج ذاته من مناطق جغرافية أخرى بدلاً من تخزينه لفترات طويلة (Wills وآخرون ١٩٩٨).

مزايا وعيوب التخزين فى الجو المتحكم فى مكوناته

المزايا

يحقق التخزين فى الجو المتحكم فى مكوناته – عندما يكون تركيز غازى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون فى المجال المناسب للمحصول – المزايا التالية:

١– تأخير الوصول إلى الشيخوخة (اكتمال النضج) وما يتصل بها من تغيرات حيوية وفسيولوجية؛ مثل التنفس، وإنتاج الإثيلين، وفقد الصلابة، والمحتوى الكيميائى.

٢– خفض حساسية الثمار لفعل الإثيلين عندما ينخفض تركيز الأكسجين عن ٨٪، أو يزيد تركيز ثانى أكسيد الكربون على ١٪، ويكون ذلك التأثير جمعيًا additive. ولكن يلزم التخلص من غاز الإثيلين المتراكم عندما تمتد فترة التخزين لعدة شهور.

ويكون تأثير الـ CA والـ MA فى تأخير النضج أو منعه أعلى فى الحرارة العالية، الأمر الذى يكون له أهمية خاصة مع الثمار الحساسة لأضرار البرودة، مثل الطماطم والكنتالوب.

٣– خفض معدل التنفس طالما بقيت نسبتا الأكسجين وثانى أكسيد الكربون فى الحدود التى يتحملها المحصول. ويؤدى انخفاض معدل التنفس بالإضافة إلى انخفاض معدل إنتاج الإثيلين، وانخفاض الحساسية لفعل الإثيلين إلى تأخير الشيخوخة؛ الأمر الذى يتبدى فى المحافظة على الكلوروفيل (اللون الأخضر). والقوام (قلة اللجنة)، والصفات الأكلية، وذلك بالنسبة للخضر غير الثمرية.

٤- تجنب الإصابة ببعض العيوب الفسيولوجية؛ مثل أضرار البرودة فى الزبدية وبعض الخضر، والتبقع الصدئ فى الخس.

٥- يفيد الجو المتحكم فى مكوناته بصورة مباشرة أو غير مباشرة فى تقليل الإصابة بالأعفان؛ فمثلاً .. يثبط التركيز العالى لثانى أكسيد الكربون (١٠٪-١٥٪) من عفن بوتريتس فى الفراولة والمنتجات الأخرى.

٦- يمكن أن يكون المستوى المنخفض من الأكسجين (الأقل من ١٪) والمرتفع من ثانى أكسيد الكربون (٤٠٪-٦٠٪) مفيدًا فى مكافحة الحشرات فى بعض المنتجات الطازجة والجافة من الثمار، والأزهار، والخضر، والنقل، والحبوب (Kader ٢٠٠٤).

٧- يحقق توفير غاز أول أكسيد الكربون فى هواء المخازن المزايا التالية:

أ- يمنع الغاز تغيرات اللون التى تحدث فى الخس وغيره من الخضر أثناء التخزين عندما يتواجد بتركيز ١٪-٥٪، ويختفى هذا التأثير بمجرد إخراج المنتج من الجو المعدل.

ب- يمنع الغاز (عند تواجده بنسبة ٥٪-١٠٪) نمو كثير من الكائنات الدقيقة المسببة للعفن، وتزداد فاعلية أول أكسيد الكربون فى هذا الشأن عندما ينخفض تركيز الأكسجين عن ٥٪.

جـ- قد يفيد تواجد أول أكسيد الكربون – مع النسب العالية من ثانى أكسيد الكربون والمنخفضة من الأكسجين – فى مكافحة الحشرات التى تصيب الخضر المخزنة.

العيوب

غالبًا ما يكون الفرق بين التركيزات المفيدة والتركيزات الضارة من مختلف الغازات قليلاً. كما أن التركيزات اللازمة لمكافحة الأعفان أو الحشرات قد لا يتحملها المحصول المخزن، وقد تزيد من معدل تدهوره.

ومن المخاطر المحتملة للتخزين فى الجو المتحكم فى مكوناته ما يلى:

١- بدء العمليات الحيوية التى تؤدى إلى ظهور بعض العيوب الفسيولوجية أو

تنشيطها، كما فى حالة القلب الأسود فى البطاطس، والصبغة البنية فى الخس، والتلون البنى فى التفاح والكمثرى، وأضرار البرودة فى بعض المنتجات.

٢– عدم انتظام نضج ثمار الموز والمانجو والكمثرى والطماطم عندما ينخفض تركيز الأكسجين عن ٢٪، أو يزيد تركيز ثانى أكسيد الكربون على ٥٪ لمدة تزيد عن الشهر.

٣– تكوّن طعم ورائحة غير مرغوب فيهما فى مستويات الأكسجين الشديدة الانخفاض، وكذلك فى التركيزات العالية جدًا من ثانى أكسيد الكربون؛ بسبب التنفس اللاهوائى الذى يحدث فى هذه الظروف (شكل ١٣–١).

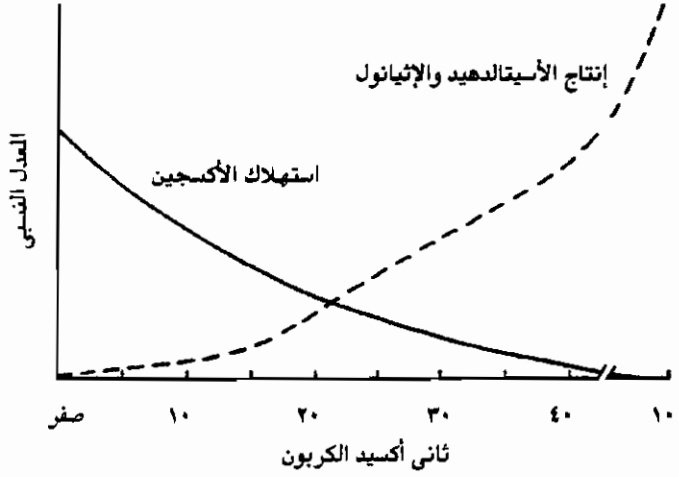
٤– زيادة القابلية للإصابة بالتحلل نتيجة للأضرار الفسيولوجية التى تتعرض لها المنتجات المخزنة عند نقص الأكسجين بشدة، أو زيادة ثانى أكسيد الكربون كثيرًا.

٥– يثبط الجو المتحكم فى مكوناته تكوين البيريدرم، وينشط التبرعم فى بعض الخضر الجذرية والدرنية؛ مثل البطاطس.

٦– كما أن تواجد غاز أول أكسيد الكربون فى الهواء المتحكم فى مكوناته يحمل معه المحاذير التالية:

أ– قد يؤدى الغاز إلى زيادة ظهور بعض العيوب الفسيولوجية؛ فمثلاً .. يعمل الغاز على زيادة شدة الإصابة بالصبغة البنية brown stain فى الخس عند زيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون فى هواء المخزن عن ٢٪.

ب– يعطى أول أكسيد الكربون تأثيرات مماثلة للتأثيرات التى يحدثها الإثيلين؛ مثل إسراع نضج الثمار، وتحفيز ظهور بعض العيوب الفسيولوجية، ولكن هذه التأثيرات تختفى عندما تقل نسبة الأكسجين؛ أو تزيد نسبة ثانى أكسيد الكربون، ولا يصبح لغاز أول أكسيد الكربون أية تأثيرات يعتد بها فى هذا الشأن إلا على المنتجات البستانية الشديدة الحساسية لغاز الإثيلين مثل ثمار الكيوى (عن Kader وآخرين ١٩٨٥، و ١٩٨٩؛ و ٢٠٠٤).



شكل (١٣-١): تأثير تركيز ثانى أكسيد الكربون على التنفس الهوائى (ـــ)، والتنفس اللاهوائى (ـــ) – الذى يؤدى إلى إنتاج الأسيتالدهيد والإيثانول – بالمنتجات الطازجة (عن Kader & Saltveit ٢٠٠٣).

محاذير التخزين فى الجو المتحكم فى مكوناته

إن التخزين فى الجو المتحكم فى مكوناته له بعض المحاذير، كما يلى:

١- إن المكونات الغازية للهواء قد تحفز نمو وتكاثر بعض الكائنات الدقيقة.

٢- قد يكون لتلك الغازات آثار ضارة على العمال المشتغلين فى المخزن.

ونبين على وجه الخصوص – فيما يلى – المخاطر المحتملة لكل من الإثيلين، والأكسجين، وأول وثانى أكسيد الكربون.

١- الإثيلين:

من الأصح – علميًا أن يطلق على الإثيلين الاسم إيثين ethene، ولكن الاسم الأول هو الشائع الاستعمال. وهو غاز عديم اللون ذو طعم حلو ورائحة طيبة، وله خصائص خانقة ومخدرة. كما أنه قابل للاشتعال عندما يتواجد فى الهواء بتركيز يتراوح بين ٣,١٪ و ٣٢٪، ولذا .. يجب ألا يصل تركيزه فى هواء المخزن إلى ٣,١٪، كما

يجب اتخاذ كافة الاحتياطات لمنع وجود أو تولد أى شرارة أو اشتعال أى شئ بالمخزن.

٢- الأكسجين:

يؤدى انخفاض تركيز الأكسجين فى الهواء إلى ١٢٪-١٦٪ إلى التأثير على تناسق عمل العضلات فى الإنسان، مع إحداث زيادة فى معدل التنفس وعدم القدرة على التفكير. ومع انخفاض تركيز الأكسجين عن تلك الحدود يحدث التقيؤ وتزداد الأعراض السابق ذكرها حدة. وعند تركيز ٦٪ أكسجين يفقد الإنسان وعيه ويتوقف التنفس كما يتوقف القلب عن النبض. وفى المقابل فإن زيادة تركيز الأكسجين عن ٢١٪ يمكن أن يتسبب فى حدوث انفجارات فى المخزن.

٣- ثانى أكسيد الكربون:

إن زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى المخازن عن التركيز الطبيعى يمكن أن يكون ضارًا بصحة من قد يتواجدون فيه. وأقصى تركيز يمكن أن يتواجد فيه الإنسان هو ٠,٥٪ للبقاء المستمر، و ١,٥٪ للبقاء لفترة لا تزيد على عشر دقائق (Thompson ١٩٩٨).

٤- أول أكسيد الكربون:

يعتبر غاز أول أكسيد الكربون عديم اللون والطعم والرائحة؛ الأمر الذى يزيد من خطورته لعدم الإحساس بتواجده. وترجع خطورته إلى سميته الشديدة للإنسان (من خلال تأثيره على هيموجلوبين الدم). وقابليته الشديدة للاشتعال – مع الانفجار – عندما يتراوح تركيزه فى الهواء بين ١٢,٥٪ و ٧٤,٢٪؛ ولذا .. يتعين دائمًا اتخاذ إجراءات مشددة عند استعمال هذا الغاز فى المخازن (عن Kader وآخرين ١٩٨٥).

العوامل المؤثرة فى تحمل الحاصلات البستانية للجو المتحكم فى مكوناته

يمكن أن تتباين الأصناف فى مدى تحملها للتركيزات العالية من ثانى أكسيد الكربون؛ كما وجد فى الخس على سبيل المثال. كذلك يزاداد التحمل للتركيزات