العوامل المؤثرة فى معدل التنفس

إن أهم العوامل التى تؤثر فى معدل تنفس المنتج بعد الحصاد هى: درجة الحرارة، ونسب مكونات الهواء، والشدّ الفيزيائى، بالإضافة إلى مرحلة التكوين والنضج.

تأثير درجة الحرارة

تعد درجة الحرارة هى أهم عامل مؤثر فى معدل التنفس؛ ذلك لأن لها تأثير كبير على معدل التفاعلات الحيوية كتلك الخاصة بالأيض والتنفس. وفى حدود المدى الفسيولوجى لمعظم المحاصيل (من صفر إلى ٣٠°م)، فإن ارتفاع الحرارة يقابلها ارتفاع أسىّ فى معدل التنفس. وينص قانون فانت هوف Vant Hoff على أن سرعة أى تفاعل حيوى تزداد بمقدار ٢–٣ أضعاف مع كل ارتفاع فى الحرارة قدره ١٠ درجات مئوية.

ويعرف معامل الحرارة لكل ١٠ درجات مئوية باسم Q_{10}، وهو الذى يمكن حسابه بقسمة معدل التفاعل عند حرارة معينة (R_2) على معدل نفس التفاعل عند حرارة تقل عنها بمقدار ١٠ درجات مئوية (R_1) .. أى إن:

$$Q_{10} = R_2 / R_1$$

ويفيد الـ Q_{10} فى إمكان حساب معدل التنفس عند درجة حرارة ما من معرفة المعدل عند حرارة أخرى. هذا .. إلاّ أن الـ Q_{10} لا يبقى ثابتًا، حيث يمكن أن يتباين كثيرًا مع تباين درجة الحرارة؛ ففى الحرارة العالية تكون قيمة Q_{10} – عادة – أقل مما فى الحرارة الأقل .

هذا ويكون تنفس الحاصلات البستانية أقل ما يمكن فى درجة الحرارة الأعلى من درجة التجمد مباشرة، ثم يزيد معدل التنفس بمقدار ٢–٣ أضعاف فيما بين الصفر المئوى و ١٠°م، وبمقدار الضعف مع كل زيادة فى درجة الحرارة بعد ذلك مقدارها ١٠ درجات مئوية فيما بين ١٠ و ٣٥°م.

ويجب أن تعتمد قيمة Q_{10} المقدرة على معدل تنفس المنتج فى البداية؛ ذلك لأنه بعد تخزينه فى درجات حرارة مختلفة يصبح المنتج فى أعمار فسيولوجية متباينة، وتصبح معدلات التنفس المقدرة له مضللة.

هذا .. ولا يعنى ارتفاع معدل التنفس الابتدائى لمحصول ما أنه بالضرورة ذو Q_{10} مرتفعة. والعكس – كذلك – صحيح.

وتكون قيمة Q_{10} – عادة – كما يلى:

الحرارة (°م)	Q_{10}
صفر – ١٠	٤.٠–٢,٥
١٠–٢٠	٢,٥–٢,٠
٢٠–٣٠	٢,٠–١,٥
٣٠–٤٠	١,٥–١,٠

وتُمكِّنا تلك القيم من التنبؤ بتأثير مختلف درجات الحرارة على تنفس أو تدهور المنتج، وفترة الصلاحية للتخزين النسبية (جدول ٤–١). وتبعًا لهذا الجدول .. فإن المنتج إذا كان متوسط فترة صلاحيته للتخزين ١٣ يومًا على ٢٠°م، فإنه قد يمكن تخزينه لمدة ١٠٠ يوم على الصفر المئوى. بينما لا يبقى بحالة جيدة لأكثر من ٤ أيام على ٤٠°م (Saltveit ٢٠٠٤أ).

جدول (٤–١): تأثير درجة الحرارة على معدل تدهور المنتجات الطازجة.

الحرارة (°م)	الـ Q_{10} المفترض[أ]	المعدل النسبى لسرعة التدهور	فترة الصلاحية للتخزين النسبية
صفر	—	١,٠	١٠٠
١٠	٣,٠	٣,٠	٣٣
٢٠	٢,٥	٧,٥	١٣
٣٠	٢,٠	١٥,٠	٧
٤٠	١,٥	٢٢,٥	٤

[أ] Q_{10} = (معدل التدهور عند حرارة T + ١٠°م)/معدل التدهور عند حرارة T°م.

ويعطى جدول (٤-٢) الـ Q10 الخاصة بمعدل تدهور بعض محاصيل الخضر عن Kader & Saltveit (٢٠٠٣)

جدول (٤-٢): قيم Q_{10} الخاصة بمعدل تدهور بعض محاصيل الخضر.

المحاصيل ودليل التدهور	المدى الحرارى (°م)		
	صفر-١٠	١٠-٢٠	٢٠-٣٠
الأسبرجس			
جودة المظهر	٢,٧	٢,٤	١,٨
فقد السكر	٥,٨	٢,٧	١,٤
زيادة الألياف	١٠,٠	٢,٠	٢,٠
كرنب بروكسل (المظهر)	٣,٨	٢,٧	١,٩
الكرفس (المظهر)	٤,١	٢,٣	١,٩
خس الرؤوس (المظهر)	٢,٥	٢,٢	١,٩
البسلة			
جودة المظهر	٣,٣	٢,٨	٢,٠
فقد السكر	٢,٧	٢,٦	١,٥
السبانخ (المظهر)	٣,٣	٢,٥	١,٨
الذرة السكرية (فقد السكر)	٣,٩	٣,٦	١,٥

شدّ البرودة:

يؤدى تعرض منتجات الخضر والفاكهة الحساسة لأضرار البرودة لحرارة تقل عن ١٠ أو ١٢°م إلى تغيرات غير طبيعية فى معدل تنفسها؛ فنجد أن الـ Q_{10} يكون أعلى بكثير فى تلك الحرارة المنخفضة فى هذه المحاصيل عما فى المنتجات غير الحساسة لأضرار البرودة. كذلك قد يزداد معدل التنفس بصورة كبيرة لدى ارتفاع الحرارة عن المدى الذى تحدث معه أضرار البرودة ومن المفترض أن تلك الزيادات فى معدل التنفس هى انعكاسات لمحاولات الخلية التخلص من المنتجات الأيضية الوسطية التى تتراكم أثناء

التعرض للحرارة المنخفضة. وكذلك إصلاح الأضرار التى تكون قد حدثت بالأغشية الخلوية والتراكيب الخلوية الأخرى.

الشدّ الحرارى:

مع ارتفاع الحرارة إلى درجة تزيد عن المجال الفسيولوجى المناسب يبدأ التزايد فى معدل التنفس فى النقصان، إلى أن يصبح بالسالب مع اقتراب الحرارة من الدرجة المميتة للأنسجة حيث يختل الأيض وتفقد البروتينات الإنزيمية خصائصها. ويمكن لبعض الأنسجة أن تتحمل الحرارة العالية لدقائق قليلة، وهى الخاصية التى يُستفاد منها فى التطهير السطحى لبعض الثمار من الفطريات السطحية. ويؤدى استمرار التعرض للحرارة العالية إلى انهيار الأنسجة النباتية. هذا .. إلا أن التهيئة الحرارية بتعريض المنتج لفترة قصيرة من الحرارة العالية يمكن أن يُحوِّر من استجابة الأنسجة – فيما بعد للشدّ الحرارى (Saltveit ٢٠٠٤أ).

تأثير مكونات هواء المخزن

يؤدى خفض نسبة الأكسجين وزيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون فى جو المخزن إلى خفض معدل التنفس فى الخضر المخزنة. ويسمى ذلك الإجراء بالتخزين فى الجو المعدل Modified Atmosphere. ويحتوى الجو المعدل – عادة – على ٣٪-٥٪ أكسجينًا، ونحو ٥٪ ثانى أكسيد الكربون.

وفى الحرارة المناسبة لتخزين المحصول فإن ذلك الانخفاض فى معدل التنفس يسمح بإطالة فترة التخزين. أما فى الحرارة الأعلى، فإن الطلب على ثلاثى فوسفات الأدينوزين ATP قد يزيد عن المتوفر منه؛ الأمر الذى يحفز حدوث تنفس لاهوائى، وتكوين مركبات غير مرغوبة الطعم والنكهة.

كذلك فإن زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون يؤدى إلى خفض معدل تنفس المنتجات الطازجة، ويؤخر شيخوختها، ويثبط نمو الفطريات بها. هذا إلاّ إنه عند انخفاض تركيز الأكسجين، يمكن أن تحفز زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون أيض التخمر. هذا .. ويمكن

لبعض المنتجات أن تتحمل التخزين لأيام قليلة فى حرارة منخفضة فى جو لا يحتوى إلاَ على غاز النيتروجين، أو فى تركيزات عالية جدًا من ثانى أكسيد الكربون.

يتبين مما تقدم ضرورة توفر كمية كافية من الأكسجين؛ لكى يستمر التنفس هوائيًا وينطلق الماء وغاز ثانى أكسيد الكربون؛ وحتى لا يؤدى غياب الأكسجين إلى جعل التنفس لا هوائيًا، وما يتبع ذلك من إنتاج للكحول، وحامض الخليك، وثانى أكسيد الكربون، علمًا بأن الكحول ضار بالأنسجة النباتية. ويؤدى إلى موت الخلايا. كما أن المركبات الوسطية الأخرى التى تتكون أثناء عملية التنفس اللاهوائى هذه ضارة أيضًا. فدرنات البطاطس يتكون بها التيروزين tyrosine المسئول عن اللون الأسود فى الدرنات المصابة بحالة القلب الأسود، وتتكون بالكرنب والكرفس مواد تحدث نقرًا وبقعًا صغيرة متناثرة فى أعناق الأوراق والعروق.

وتتضح من ذلك أهمية التهوية فى حجرات التخزين. كما أنه من الضرورى تحريك الهواء خلال المحصول المخزن لنقل الحرارة الناتجة من التنفس.

تأثير الشدِّ الفيزيائى

إن تعرض المنتجات لأى شدِّ بيئى – حتى ولو كان معتدلاً – يحدث اضطرابًا فى تنفسها، بينما تُحدث المعاملة الفيزيائية القاسية ارتفاعًا فى معدل التنفس يكون – غالبًا – مصاحبًا بزيادة فى إنتاج الإثيلين. إن الإثارة التى تحدثها عملية الشدِّ الفيزيائى تنتقل من موضع الضرر لتستحث مدى واسع من التغيرات الفسيولوجية فى الأنسجة المجاورة غير المجروحة. ومن أكثر تلك التغيرات التى تُستَحَث: التنفس، وإنتاج الإثيلين، وأيض الفينولات، والتئام الجروح. هذا .. ولا يدوم أثر الجروح على معدل التنفس – غالبًا – عن ساعات أو أيام قليلة. وعلى الرغم من ذلك، فإن الجروح تحفز فى بعض الأنسجة تغيرات تطورية، مثل تحفيز النضج؛ وهو الذى يؤدى – بدوره – إلى زيادة فى التنفس تستمر لفترة طويلة. كذلك فإن الإثيلين يحفز التنفس، وقد يكون للشدِّ الذى يستحثه الإثيلين تأثيرات فسيولوجية على المنتجات إلى جانب تحفيز التنفس.

تأثير مرحلة التكوين والنضج

تتباين مختلف المنتجات فى معدل تنفسها. ويرتبط ذلك بتباينها فى الأجزاء النباتية التى يزرع من أجلها المحصول. فنجد – مثلا – أن معدل التنفس يكون منخفضًا فى النقل والدرنات، بينما الأنسجة التى تتكون من أنسجة ميرستيمية مثل الأسبرجس والبروكولى يكون فيها معدل التنفس عاليًا. ومع اكتمال تكوين الأعضاء النباتية فإنه ينخفض معدل تنفسها. ويعنى ذلك أن المنتجات التى تُحصد خلال فترة نموها النشيط – مثل كثير من الخضر والثمار غير المكتملة التكوين – يكون فيها معدل التنفس عاليًا. أما الثمار المكتملة التكوين والبراعم الساكنة وأعضاء التخزين فيكون معدل التنفس فيها منخفض نسبيًا.

وبعد الحصاد نجد أن معدل التنفس ينخفض، ويكون ذلك الانخفاض بطيئًا فى الثمار غير الكلايمكتيرية وفى أعضاء التخزين، وسريعًا فى الأنسجة الخضرية والثمار غير المكتملة التكوين. ويفترض أن التناقص السريع فى معدل التنفس يعكس استهلاكًا للمواد العضوية اللازمة للتنفس، وهى التى تكون بطبيعتها منخفضة التركيز فى مثل تلك الأنسجة. ويشذ عن قاعدة التناقص فى معدل التنفس بعد الحصاد الزيادة التى تكون أحيانًا سريعة جدًا فى معدل التنفس فى الثمار الكلايمكتيرية. وتجزأ تلك الزيادة على أربع مراحل مميزة. هى: التناقص قبل الكلايمكتيرى، والارتفاع الكلايمكتيرى، والقمة الكلايمكتيرية، والتناقص بعد الكلايمكتيرى (عن Saltveit ٢٠٠٤أ).

ظاهرة الكلايمكترك

اكتشف Kidd & West ظاهرة الكلايمكتريك Climacteric أثناء دراستهما للتغيرات فى معدل تنفس ثمار التفاح عند نضجها، فقد لاحظا أن ثمار التفاح تمر بثلاث مراحل كالتالى:

١– فى المرحلة الأولى يحدث انخفاض طفيف فى معدل التنفس، يستمر – تدريجيًا