التى تعرف باسم film wraps. فالغشاء يجب أن يكون شبه منفذ للسماح بتبادل الغازات (الأكسجين وثانى أكسيد الكربون)، وبمرور بخار الماء إلى الخارج لأجل منع نمو الكائنات المسببة للأعفان. هذا إلاّ أن النفاذية الزائدة يمكن أن تسمح بمرور الرطوبة بمعدلات عالية؛ مما يؤدى إلى ذبول المنتَج. ويجب أن يكون الغشاء ناعمًا ليعطى إحساسًا مريحًا للمستهلك، وذلك على خلاف الأنواع الأولى من الأغشية، وهى التى كانت قاسية وسهلة التشقق.

ويفضل إجراء التغليف قبل الشحن، وليس فى مكان الوصول، حيث يحقق ذلك المزايا التالية:

١ - تتم إزالة ٢٠-٣٥٪ من وزن الرأس قبل تغليفها، وفى ذلك خفض لتكاليف الشحن.

٢ - لا تكون الرؤوس شديدة التزاحم فى العبوات؛ وبذا تقل فرصة خدشها وتجريحها.

٣ - يوفر الغشاء مزيدًا من الحماية للرؤوس.

٤ - لا تكون هناك حاجة للتخلص من الأوراق المجروحة والمكسورة، ولا لإجراء التغليف فى مكان الوصول (Ryder ١٩٩٩).

وعندما كان تخزين الخس على ٢°م لمدة أسبوعين ثم على ١٢°م لمدة يومين ونصف اليوم .. حُصل على أفضل النتائج (من حيث الجودة، وعدم الذبول، وقلة الأعفان، وقلة الإصابة بالتبقع الصدئ والعرق الوسطى الوردى) عندما برد الخس مبدئيًا بالتفريغ، ثم عُبِّأ إما فى أكياس من البروبيلين بسمك ٤٠ ميكرونًا تكفل تهيئة جو معدل مناسب، وإما فى أغشية من البروبلين بسمك ٣٠ ميكرونًا مع بداية التخزين فى هواء يحتوى على ما لا يقل عن ٥٪ أكسجين، وخال من ثانى أكسيد الكربون (Artés & Martinez ١٩٩٦، و Martinez & Artés ١٩٩٩).

الظروف المثلى للتخزين

التخزين المبرد العادى

يخزن الخس فى درجة حرارة الصفر المئوى، مع رطوبة نسبية تبلغ ٩٨-١٠٠٪

ويمكن أن تحتفظ الرؤوس بجودتها تحت هذه الظروف لمدة ٢-٣ أسابيع، بشرط أن تكون بحالة جيدة عند بدء تخزينها. يؤدى ارتفاع درجة حرارة التخزين، أو نقص الرطوبة النسبية عن الحدود المبينة إلى سرعة تدهور الرؤوس، حيث تذبل الأوراق، وتفقد لونها الأخضر الزاهى، وتظهر بها بقع بنية اللون، خاصة على العرق الوسطى.

وتجدر الإشارة إلى أن مدة احتفاظ الخس بجودته أثناء التخزين تتضاعف بخفض درجة الحرارة من ٣°م إلى الصفر المئوى؛ ويرجع ذلك إلى أن سرعة التنفس تزيد بشدة فى الخس مع ارتفاع درجة الحرارة عن الصفر المئوى. وتختلف الأصناف فى هذا الشأن؛ فنجد أن معدل التنفس فى الخس الورقى يبلغ ضعف معدل التنفس فى خس الرؤوس ويجب عدم تعريض الخس لدرجة التجمد فى أى وقت أثناء التخزين، علمًا بأن الخس يمكن أن يتجمد على -٠,٥°م (Lutz & Hardenburg ١٩٨٦).

تبدأ الإصابة بالعفن الطرى البكتيرى فى الأجزاء المجروحة من الأوراق، ولكن معدل الإصابة ينخفض كثيرًا فى درجة الصفر المئوى.

هذا ويجب عدم تحزين الخس مع الثمار المنتجة للإثيلين، مثل التفاح، والكمثرى، والكنتالوب، لأن الإثيلين يؤدى إلى زيادة إصابة الخس بالتبقع الصدئ.

التخزين المبرد فى الجو المتحكم فى مكوناته

يفيد تخزين الخس فى هواء متحكم فى مكوناته يحتوى على ٣٪ أكسجين، و ١,٥٪ ثانى أكسيد الكربون فى المحافظة على جودته، ومنع إصابته بالتبقع الصدئ والعرق الوردى. ويؤدى انخفاض تركيز الأكسجين عن ١٪ أو زيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون عن ٢,٥٪ إلى الإضرار بالخس. تؤدى التركيزات العالية من ثانى أكسيد الكربون إلى تكون الصبغة البنية بعد نقل الخس - عند تسويقه - إلى ١٠°م فى الهواء. وتزداد شدة تكون الصبغة البنية عند انخفاض نسبة الأكسجين إلى ٢-٣٪. وتؤدى زيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون إلى ٢٪ إلى تقليل الفاقد بالأعفان عند شحن الخس أو تخزينه لأكثر من شهر. ونظرًا لأن هذه الميزة تفوق احتمالات حدوث الأضرار؛ لذا يوصى - عند الرغبة فى تخزين الخس لفترات طويلة - زيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون إلى ٢٪.

ويوصى Saltveit (١٩٩٧) بتخزين وشحن الخس على حرارة صفر–٥°م فى هواء يحتوى على ١–٣٪ أكسجين، وصفر٪ ثانى أكسيد كربون. أما الخس المقطع فيفضل لتخزينه فى هواء يحتوى على ١–٥٪ أكسجين، و ٥–٢٠٪ ثانى أكسيد كربون. وبينما تطبق تلك التوصيات تجاريًا بدرجة متوسطة فقط (فى الولايات المتحدة) على خس الرؤوس ذات الأوراق المتقصفة والخس الورقى، فإنها تطبق على نطاق واسع بالنسبة للخس المجهز للاستهلاك بالتقطيع.

وقد وجد أن وقت حصاد الخس من اليوم يؤثر فى حساسية الخس للتركيزات العالية من ثانى أكسيد الكربون بعد الحصاد، وتبين أن ذلك الأمر يرتبط بمحتوى الأوراق من المواد الكربوهيدراتية الذى يتباين على مدار الساعة. ففى دراسة أجريت على صنف الخس Salinas (وهو من طراز خس الرؤوس ذى الأوراق المتقصفة) ازداد محتوى الأوراق الخارجية من النشا عندما أجرى الحصاد قبل الظهر عما كان عليه الحال عندما أجرى الحصاد بعد الظهر، ولكنه لم يتغير فى الأوراق الأخرى. كان تركيز السكروز أقل من ٥ مجم/جم وزن جاف قبل الظهيرة، ولكن الأوراق الخارجية، والورقة رقم ٢٠، ونسيج الساق كان تركيز السكروز فيها بعد الظهر ٤٣، و ٢٤، و ٦١ مجم/جم وزن جاف، على التوالى. وفى المنتج الذى تم حصاده قبل الظهر ازداد محتوى الجلوكوز بمقدار ٧٠–٢٦٠٪، والفراكتوز بمقدار ٢٠–١٢٠٪ عما فى المنتَج الذى تم حصاده بعد الظهر. وكان تركيز الجلوكوز والفراكتوز أعلى ما يمكن فى الورقة رقم ١٠ (١١٠، و ١٢٠ مجم/جم وزن جاف، على التوالى)، وانخفض بنسبة ٢٠–٥٠٪ فى الأوراق الداخلية والخارجية. وأدى تعريض الخس لتركيز ٧,٥٪ أو ١٠٪ من ثانى أكسيد الكربون لمدة ١٢ يومًا على ٢,٥°م ثم تعريضه للهواء لمدة ٣ أيام على ١٠°م إلى زيادة شدة الأضرار فى المنتج الذى تم حصاده فى الصباح عما فى المنتج الذى كان حصاده بعد الظهر، وكانت الأضرار محصورة فى الأوراق بين رقم ٧ ورقم ١٧، إلا أن أشد الأضرار كانت فى الأوراق من رقم ١٠ إلى رقم ١٥ (Forney & Austin ١٩٨٨).

وقد كان الفقد فى الوزن ومعدل التنفس أقل ما يمكن عندما كان التخزين فى هواء يحتوى على ٣٪ أكسجين، و ٣٪ ثانى أكسيد كربون، واعتبرت تلك النسب – وكذلك النسب: ٥٪ أكسجين، و ٥٪ ثانى أكسيد كربون – هى أفضل الظروف لتخزين الخس (Eris وآخرون ١٩٩٤).

وأدى التخزين فى ١,٥٪ أكسجين – مقارنة بالتخزين فى الهواء العادى – إلى خفض الإصابة بالتبقع الصدئ – الذى يحدثه الإثيلين – بشدة، وكان ذلك مصاحبًا بخفض فى نشاط إنزيمى الـ PAL والـ IAA oxidase، وفى محتوى الفينولات الذائبة. كذلك أدى المستوى المنخفض للأكسجين إلى تثبيط إنتاج الإثيلين، ومعدل التنفس، ونشاط إنزيم البولى فينول أوكسيديز (Ke & Saltveit ١٩٨٩).

إلاّ أن تخزين الخس لمدة ثلاثة أسابيع على ١°م فى هواء متحكم فى مكوناته (٣٪ ثانى أكسيد كربون + ٥٪ أكسجين، أو ١٠٪ ثانى أكسيد كربون + ١٠٪ أكسجين)، ثم لمدة ٢٤ ساعة على ٥°م فى الهواء العادى أدى إلى إحداث زيادة كبيرة فى الفينولات الكلية وفى نشاط كل من البولى فينول أكسيديز (الكايتكول أكسيديز) والبيروكسيديز، وانخفاض محتوى حامض الأسكوربيك بمقدار ٩٠٪ من محتواه الابتدائى (Leja وآخرون ١٩٩٦).

العيوب الفسيولوجية المصاحبة لظروف التخزين غير المناسبة

نتناول بالشرح تحت هذا العنوان العيوب الفسيولوجية التى تظهر برؤوس الخس أثناء التخزين – وهى التى تسببها ظروف تخزينية غير مناسبة – وكيف يمكن الحد من أضرارها.

التبقع الصدئ

يعتبر التبقع الصدئ Russet Spotting من العيوب الفسيولوجية الهامة التالية للحصاد، والتى تظهر فى خس الرؤوس من مجموعة الأوراق النضرة السهلة التقصف Crisphead، وهو أحد أعراض الشيخوخة الهامة. تظهر الإصابة فى شكل بقع صغيرة، بقطر ١–٤ مم بيضاوية، أو غير منتظمة الشكل ذات لون رمادى مائل إلى الأحمر، أو زيتونية اللون على السطح السفلى للعرق الوسطى، وخاصة على امتداد جانبى العرق الوسطى (شكل ٤–٢، يوجد فى آخر الكتاب).

وقد أظهرت الدراسات التشريحية ازدياد فى سمك الجدر الخلوية وتغير لون الخلايا فى أماكن الإصابة (عن Ke & Saltveit ١٩٨٩ب).

تزيد حدة الإصابة فى الرؤوس الزائدة النضج، والصلبة، وعند التعرض لغاز الإثيلين بتركيز ٠,١ جزء فى المليون سواء أكان مصدر الغاز من المحاصيل الأخرى المخزنة مع الخس، أم من الخس ذاته. كما يزداد ظهور الأعراض إذا بلغت درجة الحرارة نهارًا ٣٠°م أو أكثر لمدة يومين متتاليين خلال الفترة التى تسبق الحصاد بنحو ٩-١٤ يومًا. وتختلف أصناف الخس كثيرًا فى مدى قابليتها للإصابة بهذه الظاهرة.

وقد درس Ke & Saltveit (١٩٨٩أ) الإصابة بالتبقع الصدئ فى العرق الوسطى لستة أصناف من الخس خزنت على ٥°م مع التعرض للإثيلين بتركيز ١٠ ميكروليتر/لتر، ووجد أن حالة التبقع الصدئ بدأ ظهورها فى الأوراق التى كانت بعمر ٥٠ يومًا وازدادت مع زيادة عمر الأوراق حتى ١٠٠ يوم. وقد كانت أكثر الأصناف قابلية للإصابة Winter Haven، و Salinas وأكثرها مقاومة Calmar، كما وجد ارتباط بين شدة الإصابة (فى مختلف الأصناف وأعمار الأوراق) ونشاط إنزيم الـ Phenylalanine ammonia-lyase (اختصارًا PAL).

وتزداد الإصابة بالظاهرة كلما ازدادت فترة التخزين، وعند التخزين فى درجة حرارة ٥°م، ولدى حدوث أى ضرر ميكانيكى للرؤوس، أو إصابتها بالأمراض؛ حيث يزيد ذلك كثيرًا من معدل إنتاجها لغاز الإثيلين. كما تتأثر الإصابة بتركيز كل من غازى: الأكسجين، وثانى أكسيد الكربون فى هواء المخزن.

ومن الدراسات التى أجريت على علاقة الإثيلين، والأكسجين، وثانى أكسيد الكربون بالظاهرة ، ما يلى:

ظهرت حالة التبقع الصدئ russet spotting عند تواجد الإثيلين فى هواء المخزن، ولو بتركيزات منخفضة وصلت إلى ٠,١ ميكروليتر/لتر، ووصلت الحالة إلى أقصى مداها فى تركيز ١٠ ميكروليتر/لتر على ٣°م. هذا بينما أدى خفض تركيز الأكسجين فى هواء المخزن إلى ٨٪، أو زيادة تركيز الأكسجين إلى ٥٪ – أو إلى أعلى من ذلك – إلى منع ظهور هذه الحالة الفسيولوجية. وعمليًا .. لا يجب استعمال التركيزات المرتفعة من ثانى أكسيد الكربون لأنها تحفز ظهور الصبغة البنية (عن Lougheed ١٩٨٧).

وأدت معاملة الخس بالإثيلين بتركيز ١٢٦ ميكرومول/م^3 على ٦°م إلى ظهور أعراض

التبقع الصدئ على ٥-١٠٪ من نسيج العرق الوسطى بحلول اليوم الثالث من بدء المعاملة بالإثيلين، وعلى ٣٠-٣٥٪ بحلول اليوم التاسع، بينما أدت المعاملة السابقة لمعاملة الإثيلين بالمركب 1-methylcyclopropene وهو مثبط لفعل الإثيلين - لمدة ٤ ساعات على ٦°م إلى منع ظهور أعراض التبقع الصدئ (Fan & Mattheis ٢٠٠٠).

ومن الدراسات التي أجريت حول التغيرات الفسيولوجية المصاحبة للظاهرة، ما يلي:

وُجد أن الإثيلين يؤدى إلى زيادة نشاط إنزيم PAL فى الصنف الحساس ساليناس، بينما لم تكن للمعاملة بالغاز أى تأثير على الصنف كالمار المقاوم للظاهرة.

كما وجد Ke & Saltveit (١٩٨٦) أن معاملة الخس الحساس أيسبرج بالكالسيوم بتركيز ٠,٣-٠,٥ مول، أو بالأوكسين ٢،٤- د 2,4-D بتركيز ٠,١-١,٠ ملى مول تمنع ظهور الظاهرة، وتقلل جوهريًا من نشاط إنزيم PAL فى الأوراق.

وأدى تخزين خس الآيس برج فى ١,٥٪ أكسجين - مقارنة بالهواء العادى - إلى إحداث تثبيط شديد فى الإصابة بالتبقع الصدئ (الذى يسببه التعرض للإثيلين)، وكذلك إلى تثبيط نشاط PAL، والبيروكسيديز، والـ IAA oxidase، وإلى خفض محتوى الفينولات الذائبة. كذلك فإن المستوى المنخفض من الأكسجين ثبط كلا من إنتاج الإثيلين والتنفس (Ke & Saltveit ١٩٨٩ب).

كذلك أدى تعريض أوراق الخس للإثيلين على ١٥ أو ٢٠°م إلى سرعة وصول نشاط إنزيم PAL إلى أقصى معدل له ولكن على مستوى من النشاط أقل مما كان عليه الحال على ٥°م. وقد توافقت الزيادة فى نشاط PAL مع تراكم فى الفينولات الذائبة الكلية والإصابة بالتبقع الصدئ (Ritenour وآخرون ١٩٩٥).

وارتبطت المستويات النهائية لكل من نشاط الـ PAL وشدة الإصابة بالتبقع الصدئ المحدثتان بفعل الإثيلين .. ارتبطتا بشدة فى مختلف الأصناف، وظروف التخزين، ومواعيد الحصاد. وفى المقابل كان الارتباط ضعيفًا بين محتوى إندول حامض الخليك الحر فى العرق الوسطى للأوراق وشدة الإصابة النهائية بالتبقع الصدئ فى مختلف

الأصناف، وظروف الزراعة، ومواعيد الحصاد، كذلك لم يرتبط تطور تكوين البراعم الجانبية جوهريًا مع أى من أعراض التبقع الصدئ أو محتوى العرق الوسطى من إندول حامض الخليك الحر (Ritenour وآخرون ١٩٩٦).

ولقد اقترح أن الإثيلين يحفز نشاط إنزيم PAL الذى يؤدى إلى تراكم المركبات الفينولية فى الخلايا، وهى التى تؤدى إلى تلونها ثم موتها. وعلى الرغم من إمكان زيادة أيض المركبات الفينولية بالشدّ الفيزيائى، فإن الأعراض المميزة للتبقع الصدئ لا تظهر إلا بعد تعرض الأنسجة للإثيلين فى الحرارة المناسبة؛ مما يعنى أن للإثيلين تأثيرات أخرى إلى جانب تحفيز أيض الفينولات (عن Peiser ١٩٩٨).

وقد تبين أن أولى مراحل ظهور أعراض التبقع الصدئ تكون مستقلة عن الزيادة التى تحدث فى نشاط الـ PAL وفى تمثيل المركبات الفينولية على خلاف ما اقترح سابقًا. هذا إلاّ أن تراكم المركبات الفينولية يسهم فى التلون البنى الذى يظهر بعد ذلك والذى يميز أعراض التبقع الصدئ (Peiser وآخرون ١٩٩٨).

ويرتبط تحفيز الإثيلين لنشاط إنزيم البيروكسيديز peroxidase بزيادة فى كل من تكوين اللجنين وسمك الجدر الخلوية، وهى التى تعد أحد مظاهر الإصابة بالتبقع الصدئ. هذا .. وتتأكسد النواتج الأيضية الأخرى مثل الفلافونات وحامض الكلورجنك – بمساعدة إنزيم البولى فينول أوكسيديز polyphenoloxidase – لتكون الصبغات البنية (عن Fan & Mattheis ٢٠٠٠).

ولقد أظهرت دراسة على صنفين حسّاسين (هما: Salinas، و Red Coach) وآخرين مقاومين (هما: El Toro، و Calmar) للتبقع الصدئ عدم وجود ارتباط قوى بين محتوى العرق الوسطى للأوراق من إندول حامض الخليك الحر وشدة الإصابة النهائية بالتبقع الصدئ بعد ثمانية أيام من التخزين على ٥°م (Ritenour وآخرون ١٩٩٦).

وتقل الإصابة بالتبقع الصدئ فى الظروف التالية:

١ – عند تجنب تراكم الإثيلين فى هواء المخزن.

٢ – عند التخزين على الصفر المئوى.

٣ - عند انخفاض نسبة الأكسجين فى هواء المخزن إلى ١-٨٪.

٤ - عند زيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون فى هواء المخزن، إلاَ أن ذلك يتسبب فى الإصابة بالصبغة البنية.

٥ - عند عدم اكتمال تكوين الرؤوس وضعف صلابتها.

٦ - عند عدم سبق تعرض الرؤوس لأى شدٍّ بيئى.

٧ - فى الأصناف غير الحساسة، مثل كالمار (عن Ryder ١٩٧٩، و Lipton ١٩٨٧، و Ritenour وآخرين ١٩٩٥).

هذا .. ويتعين دائمًا تجنب كل مصادر الإثيلين فى مخازن الخس، وهى: الثمار المنتجة للإثيلين (مثل الطماطم والكنتالوب)، والآليات التى تستخدم الوقود الحفرى كمصدر للطاقة (حيث تستبدل بتلك التى تعمل بالبطاريات الكهربائية).

الصبغة البنية

تظهر الحالة الفسيولوجية المعروفة باسم الصبغة البنية Brown Stain على صورة بقع بنية صغيرة، ذات حافة قاتمة، ومركز غائر قليلاً على سطح الورقة، أو بالعرق الوسطى فقط بالقرب من قاعدة النصل، كما تتلون حواف أوراق القلب غالبًا باللون الأحمر

وتحدث الإصابة لدى تخزين الخس فى جو متحكم فى مكوناته يزيد فيه تركيز ثانى أكسيد الكربون عن ٢٪، وتزداد الحالة سوءًا بنقص تركيز الأكسجين إلى ٣٪.

وقد ازدادت شدة الإصابة بالتخزين على الصفر المئوى مقارنة بالتخزين على ٢,٥°م.

وتباينت أصناف الخس فى شدة حساسيتها للإصابة بالصبغة البنية، ومن بين ١١ صنفًا تم اختبارها كانت الأصناف Greenland، و Climax، و Francisco أقلها إصابة وإن لم تكن مقاومة (Brecht وآخرون ١٩٧٣).

وأدى خفض مستوى الإثيلين عند تخزين الخس (على صفر أو ٢٠°م) من ميكروليتر واحد/لتر إلى ٠,٠٠٥ ميكروليتر/لتر إلى زيادة فترة صلاحيته للتخزين وتأخير التلون البنى بالأوراق. وقد وجد أن مستوى الإثيلين العادى حول الخس المعد للتسويق التجارى يتراوح - عادة - بين ٠,١١، و ٠,٨٥ ميكروليتر/لتر. وقد ازدادت فترة تخزين الخس

جوهريًا على كل من الصفر، و ٢٠°م بتعبئته فى أكياس من البوليثيلين لخفض الفقد الرطوبى، مع تزويد العبوات ببرمنجنات البوتاسيوم لأجل خفض مستوى الإثيلين (Kim & Wills ١٩٩٥).

العرق الوردى

يعتبر العرق الوردى Pink Rib حالة فسيولوجية تظهر على صورة تلون وردى فى قاعدة العرق الوسطى للورقة. وتكون الإصابة فى الأوراق الخارجية فقط فى الحالات البسيطة، وتزداد – فى الحالات الشديدة – لتشمل كل أوراق النبات فيما عدا الأوراق الداخلية الصغيرة. وقد يمتد التلون الوردى من العرق الوسطى إلى العروق الفرعية الرئيسية (شكل ٤-٣، يوجد فى آخر الكتاب).

قد يظهر المرض فى الحقل قبل الحصاد، ولكن الأغلب هو ظهوره بعد الحصاد، خاصة فى الرؤوس الزائدة النضج. وتزداد شدة الإصابة عند ارتفاع درجة حرارة التخزين عن الصفر المئوى، أو نقص نسبة الأكسجين فى المخازن. وقد أمكن عزل البكتيريا *Pseudomonas marginalis* من البقع المصابة، وأدت عدوى النباتات السليمة بها إلى ظهور بقع وردية اللون بعد ٧ أيام فى الحرارة المنخفضة، وبقع بنية اللون فى الحرارة المتوسطة، والمرتفعة.

تداول الخس المجهز للاستهلاك

إن أهم مشاكل الخس المجهز للاستهلاك بالتقطيع، هى: سرعة تعرض الأوراق للذبول، وتغير لون الأسطح المقطوعة، وسرعة فقد المنتَج لفيتامين C، والتلوث بالميكروبات الضارة بصحة الإنسان.

التلوث الميكروبى

كانت أكثر الأنواع البكتيرية المرضة تواجدًا فى الخس المقطع للاستهلاك والمعبأ فى أكياس بلاستيكية مغلفة والمخزن على ٢ أو ١٠°م، ما يلى (Freire & Robbs ٢٠٠٠):

Pseudomonas aeruginosa	*P. fluorescens*
Klebsiella oxytoca	*Enterobacter cloacae*