وتتأثر كفاءة التبريد الأوّلي بالدفع الجبري للهواء بالعوامل التالية:

١– فتحات التهوية vent holes فى العبوات والتى يجب ألا تقل مساحتها عن ٥٪ من مساحة السطح الخارجى للعبوة.

٢– ضرورة أن تكون الفتحات فى مواجهة النفق وخارجه.

٣– ضرورة عدم تواجد ممرات للهواء بين العبوات أو البالتات، أو تحت البالتات؛ حيث إن تواجدها يمكن أن يتسبب فى زيادة فترة التبريد الأوّلى بنسبة تصل إلى ٤٠٪.

٤– ضرورة عدم زيادة طول النفق عن ست بالتات لتجنب الاختلافات الكبيرة فى ضغط الهواء بين أول النفق وآخره.

المعاملة بالـ 1-MCP

أدت معاملة الفاصوليا الخضراء بالـ 1-MCP بمعدل ٠,٥ ميكروليتر/لتر قبل تخزينها على ٧°م إلى تأخير التغير اللونى، وتكون البقع البنية، وإلى خفض معدل التنفس؛ إلا أن إنتاج القرون للإثيلين ازداد فى مرحلة متأخرة من التخزين استجابة لمعاملة الـ 1-MCP. لقد أخرت المعاملة ظهور البقع البنية — التى هى أحد أعراض التعرض للحرارة المنخفضة — بنحو خمسة أيام. كذلك قل تكون المساحات المائية المظهر بنسبة ٥٠٪ فى القرون التى سبقت معاملتها. ويعنى ذلك أن المعاملة بالـ 1-MCP قللت من أعراض الشيخوخة والبرودة فى الفاصوليا الخضراء خلال فترة التخزين الطويلة؛ مما يدل على وجود دور للإثيلين المنتج داخليًا بالقرون (وهى غير كلايمكتيرية) فى شيخوختها (Cho وآخرون ٢٠٠٨).

التخزين

التخزين البارد العادى

تحتفظ قرون الفاصوليا الخضراء بنضارتها لمدة أسبوع إذا خزنت فى ٦–٧°م، ورطوبة نسبية حوالى ٩٥٪–١٠٠٪، حيث يمكن تخزينها لمدة ٨–١٢ يومًا بحالة جيدة. هذا إلا أن بقاء الفاصوليا على ٥°م لمدة ٧–٨ أيام قد يعرضها للإصابة بأضرار البرودة.

وإذا خزنت القرون فى حرارة ٤°م، أو أقل – لمدة ثلاثة أيام أو أكثر – فإنها تتعرض للإصابة بأضرار البرودة على صورة نقر سطحية، وظهور لون أحمر صدئ، وهى التى تكون – كذلك – شديدة الحساسية للإصابة بالفطريات الممرضة، مع زيادة فى معدل تنفس القرون. وتشاهد هذه الأضرار بعد إخراج القرون من المخزن المبرد بيوم أو يومين. وتزداد حدة الاحمرار عند وجود رطوبة حرة على القرون، وهو ما يشاهد وسط العبوات حيث يتكثف بخار الماء عادة.

ولا ينصح بإضافة الثلج المجروش لعبوات الفاصوليا إذا كان من المتوقع أن تبقى فى درجة حرارة عالية بعد إخراجها من المخزن.

ومن الممكن حفظ الفاصوليا الخضراء بحالة جيدة لمدة يومين فقط على ١°م، ولمدة أربعة أيام على ٢,٥°م، ولمدة ٨–١٠ أيام على ٥°م قبل أن تظهر عليها أضرار البرودة، وذلك إذا استعملت الفاصوليا بعد انتهاء مدة التخزين مباشرة، وهو ما يحدث مثلاً عند التخزين المؤقت للمحصول المعد للتصنيع.

وأيًّا كانت درجة حرارة التخزين .. فإنه يجب الاهتمام بتوفير تهوية جيدة فى المخازن حتى لا ترتفع درجة الحرارة فى مركز العبوات، ويزداد فيها العفن (Lutz & Hardenburg ١٩٦٨).

هذا .. وتوجد اختلافات معنوية بين أصناف الفاصوليا فى مدى حساسيتها لأضرار البرودة (Watada & Morris ١٩٦٦ ب).

ويعد فقد الرطوبة أحد أهم مشاكل ما بعد حصاد الفاصوليا الخضراء؛ حيث يؤدى فقد القرون لـ ٥٪ من وزنها إلى ذبولها وطراوتها، وتصبح غير صالحة للتسويق بعد فقدها لنحو ١٠٪–١٢٪ من وزنها.

ويمكن تقدير الفقد الرطوبى للفاصوليا بالمعادلة التالية:

النسبة المئوية للفقد فى أى يوم = ٠,٧٥٤ × الفرق فى ضغط بخار الماء.

هذا مع إمكان الحصول على قيمة الفرق فى ضغط بخار الماء من اللوحة السيكرومترية psychrometric chart إذا ما عُلِمت درجة الحرارة والرطوبة النسبية.

ويزيد الفقد فى الوزن فى القرون الصغيرة عما فى تلك الأكثر تقدمًا فى التكوين.

وتحدث أضرار التجمد لدى تعرض الفاصوليا لحرارة -٠,٧°م أو أقل وتكون على صورة مساحات مائية المظهر بالقرون (Cantwell & Suslow ٢٠٠٧).

التخزين فى الهواء المتحكم فى مكوناته

أمكن حفظ قرون الفاصوليا بحالة نضرة، ومنع حدوث أى تلون فى مواضع الأضرار الميكانيكية بها لمدة ثلاثة أسابيع بتخزينها فى جو يحتوى على ٣٪ أكسجين مع ٨٪-١٨٪ ثانى أكسيد كربون على حرارة ٤-٨°م، وذلك حسب درجة حرارة التخزين (٨٪ CO_2 على ٤°م، و ١٨٪ على ٨°م). وقد أحدث ثانى أكسيد الكربون بتركيزات أعلى من ٢٠٪ أضرارًا شديدة بالقرون ظهرت على صورة تحلل، وكان أعلى مستوى من ثانى أكسيد الكربون تحملته القرون على ١°م هو ٨٪، بينما أحدث تركيز ١٨٪ أضرارًا على ٤°م، ولم يحدثها على ٨°م (Costa وآخرون ١٩٩٤).

ويوصى Saltveit (١٩٩٧) بأن يكون تخزين الفاصوليا الخضراء على حرارة ٨°م (بمدى من ٥ إلى ١٠°م) فى هواء يحتوى على ٢٪-٣٪ أكسجين، و ٤٪-٧٪ ثانى أكسيد الكربون.

ويؤدى تخزين الفاصوليا الخضراء فى ٢٪-٥٪ أكسجين إلى خفض معدل تنفسها. وتتحمل الفاصوليا تركيزات من ثانى أكسيد الكربون تتراوح بين ٣٪، و ١٠٪ وتستفيد منها. وتعد الفائدة الرئيسية لذلك المحافظة على اللون الأخضر وإبطاء التغيرات اللونية فى الأجزاء المضارة من القرون (Cantwell & Suslow ٢٠٠٧).

وأمكن تخزين الفاصوليا الخضراء بحالة جيدة لمدة ٣ أسابيع على ٤°م فى وجو ٢٪ أكسجين، و ٦٪ ثانى أكسيد كربون. ويمكن بدلاً من ذلك وضع الفاصوليا فى عبوات

معدلة للجو، حيث يؤدى تنفس القرون إلى رفع نسبة ثانى أكسيد الكربون داخل العبوات أو البالتات. ويفيد هذا الإجراء — كذلك — فى المحافظة على رطوبة نسبية مرتفعة حول القرون.

كذلك أمكن تخزين القرون الخضراء بحالة جيدة فى الهواء على حرارة ٨°م لمدة ١٨ يومًا، وزادت تلك الفترة إلى ٢٢ يومًا عندما كان التخزين فى هواء يحتوى على ١٪ O_2، و ٣٪ CO_2 (Cano وآخرون ١٩٩٧، و Monreal وآخرون ١٩٩٨). وقد كانت تلك الظروف — مقارنة بعدد من المعاملات الأخرى — هى الأفضل — كذلك — للمحافظة على أعلى مستوى من حامض الأسكوربيك فى القرون، كما لم يحدث معها أية تغيرات معنوية فى محتوى القرون من فيتامينات B القابلة للذوبان فى الماء: B_1، و B_2، و B_6 (Camara وآخرون ١٩٧٧، و Torija-Isasa وآخرون ١٩٩٨).

ومن المعتقد أن بقاء مستوى الأكسجين أقل من ٥٪، وثانى أكسيد الكربون أعلى عن ٧٪ يؤدى — على المدى الطويل — إلى تكوين طعم غير مرغوب فى قرون الفاصوليا (عن Lougheed ١٩٨٧).

وقد ازداد نشاط إنزيما البيروكسيديز peroxidase والبولى فينول أكسيديز polyphenol oxidase تدريجيًا فى قرون الفاصوليا المخزنة فى الهواء وفى الجو المتحكم فى مكوناته (١٪ O_2، و ٣٪ CO_2) على ٨°م. وأدى نقل القرون إلى ٢٠°م إلى زيادة نشاط الإنزيمين فى كل المعاملات التى كانت مخزنة فى حرارة منخفضة، وخاصة فى تلك التى كانت فى مستوى منخفض من الأكسجين (Monreal وآخرون ١٩٩٨).

التخزين فى الجو المعدل

أمكن تخزين أربعة أصناف من الفاصوليا (دربى Derby، وبرونكو Bronco، وهيالية Hialeah، وبروسبرتى Prosperity) فى أكياس من أغشية البوليوليفين polyolefin بصورة جيدة لمدة ثلاثة أسابيع على حرارة ٥°م، ولكن ظهرت أضرار البرودة على صنف خامس (G 91) بعد أسبوع واحد من التخزين على ٧°م. وقد توازن تركيب الهواء داخل

الأكياس واستقر فى جميع الأصناف عند حوالى ٤٪ CO_2، و ٥٪ O_2. هذا إلا أن الأصناف اختلفت فى مدى التغيرات اللونية التى حدثت بها، وكان أفضلها بروسبرتى، وهياليه. وكان الفقد فى الوزن بعد ٢١ يومًا من التخزين أقل من ٣٪ فى جميع الأصناف (Mekwatanakarn & Richardson ١٩٩٧).

أهمية التخلص من الإثيلين

يجب عدم تخزين الفاصوليا مع المنتجات الأخرى المنتجة للإثيلين، مثل الكنتالوب، وذلك بسبب حساسية الفاصوليا للإثيلين الذى يؤدى إلى سرعة اصفرار القرون، كما لا يجب تخزين الفاصوليا مع البصل الأخضر أو الفلفل لأنها يمكن أن تكتسب الرائحة منهما، وكذلك من كافة المنتجات الأخرى التى تنبعث منها روائح مميزة.

وقد أدى خفض تركيز الإثيلين فى الهواء المحيط بالقرون المخزنة حتى ٠,٠٠٥ ميكروليتر/لتر إلى مضاعفة فترة احتفاظها بجودتها أيًا كانت حرارة التخزين، وذلك مقارنة ببقاء الإثيلين عند تركيز ٠,١–١,٠ ميكروليتر/لتر، علمًا بأن تركيز الغاز الموجود طبيعيًا فى هواء محلات البيع (السوبر ماركت) التجارية يتراوح – عادة – بين ٠,١٧، و ١,١٧ ميكروليتر/لتر (Wills & Kim ١٩٩٦).

تنفس القرون أثناء التخزين

وجد Watada & Morris (١٩٦٦أ) أن فترة احتفاظ قرون الفاصوليا بجودتها بعد الحصاد كانت أطول ما يمكن فى حرارة ٥°م. وقد تساوى إجمالى تنفس القرون (ثانى أكسيد الكربون المنتج المتراكم) طوال فترة التخزين المناسبة (التى استمرت خلالها القرون محتفظة بجودتها) سواء أكان التخزين على ٥°م، أم على حرارة أعلى من ذلك. وأمكن تخزين قرون الفاصوليا من صنف تندركروب Tendercrop على حرارة ٠,٥°م لمدة يومين، وحرارة ٢,٥°م لمدة ٤ أيام، وحرارة ٥°م لمدة ١٢ يومًا، وذلك قبل أن تتعرض للإصابة

بأضرار البرودة، علمًا بأن نقل الفاصوليا من الحرارة الشديد الانخفاض إلى حرارة أعلى أسرع من ظهور أضرار البرودة، وتحفيز معدل تنفس القرون.

ونجد فى معظم الثمار التى تحدث بها ظاهرة الكلايمكتيرك التنفسى أن البذور والأنسجة الثمرية تكمل نموها فى آن واحد، بينما نجد فى الفاصوليا أن البذور لا تبدأ فى الزيادة فى الحجم إلا بعد أن يكمل البيريكارب معظم نموه. وقد لاحظ Watada & Morris (١٩٦٧) أن القرن الكامل أظهر كلايمكترك تنفسى، نتج عنه زيادة فى إنتاج ثانى أكسيد الكربون بواسطة البذور النامية، أعقبها نقص بادٍ فى معدل إنتاج الغاز بواسطة نسيج البيريكارب، ولكن لم تصاحب ذلك زيادة فى معدل إنتاج الإثيلين؛ مما يعنى أن الكلايمكترك التنفسى الظاهرى الذى لوحظ لا يقارن بالظاهرة المعروفة فى الثمار الناضجة.

التغيرات المصاحبة للتخزين

إن أهم صفات الجودة فى قرون الفاصوليا، والتى يمكن أن تحدث فيها تغيرات بعد الحصاد وأثناء التخزين، ما يلى:

١- اللون:

يتغير اللون تدريجيًّا من الأخضر البراق إلى الأخضر المصفر غير المقبول. لا يحدث هذا التغير فى لون القرون عند تخزينها فى أكياس من البوليثيلين ذى الكثافة المنخفضة على ٥°م لمدة ١٦ يومًا، ولكنه يحدث بعد ٥ أيام فقط من التخزين على ١٠°م (Trail وآخرون ١٩٩٢).

٢- الفقد الرطوبى، وما يترتب عليه من فقد فى نضارة القرون وخاصية انقصافها crispness بسهولة، مع ذبولها.

٣- التلون البنى:

تتعرض قرون الفاصوليا أثناء حصادها آليًّا وتداولها - بالجملة - بعد ذلك إلى التقطيع والإصابة بالخدوش. وهذه الأسطح المقطوعة والمخدوشة سرعان ما تتلون باللون

البنى خلال ثمانى ساعات أثناء نقلها إلى مصانع التعليب أو التجميد، أو إذا لم تبرد سريعًا قبل تصنيعها؛ مما يجعلها غير مقبولة للتصنيع. ويرتبط ذلك التلون البنى بصورة مباشرة بزيادة أكسدة المركبات الفينولية بواسطة إنزيم الكاتيكولين catecholase (Buescher وآخرون ١٩٧٤).

وقد أدت زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء المحيط بالقرون إلى ٣٠٪ إلى منع حدوث التلون البنى بأطراف القرون، ولكن ذلك لم يؤثر فى نشاط إنزيم الكاتيكولين.

كذلك وجدت اختلافات معنوية بين أصناف الفاصوليا فى سرعة تلون الأجزاء المقطوعة والمخدوشة من القرون باللون البنى، وكان من أقلها تلونًا بلوكروب Bluecrop، و NCX8005، ومن أشدها تلونًا بروفيدر Provider، و GP72-122، وكانت ظاهرة التلون البنى مرتبطة بزيادة مستوى المركبات الفينولية بعد حدوث الأضرار الميكانيكية أيًا ما كان مستوى نشاط الفينوليز Phenolase، والبيروكسيديز peroxidase (Henderson وآخرون ١٩٧٧).

كذلك أمكن منع حدوث التلون البنى بالأجزاء المكسورة من القرون بمعاملة القرون قبل تخزينها بثانى أكسيد الكبريت SO_2 بتركيز ٧٥٠٠ إلى ١٠٠٠٠ جزء فى المليون لمدة ٣٠ ثانية، أو بتخزينها فى هواء يحتوى على ٢٠٪ أو ٣٠٪ ثانى أكسيد الكربون لمدة ٢٤ ساعة قبل تصنيعها. هذا علمًا بأن خصائص الجودة فى المنتج المصنع (اللون، والقوام، والطعم) لم تتأثر بتلك المعاملات. ولم يكن للتركيز العالى لثانى أكسيد الكربون أية تأثيرات سلبية على طعم الفاصوليا ما لم تقل نسبة الأكسجين عن ١٠٪ (Henderson & Buescher ١٩٧٧).

إن زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى هواء المخزن – مع التخزين لمدة ٢٤ ساعة على ٢٧°م – ساعد على نقص تلون الأطراف المقطوعة للقرون، وازداد تحسن الحالة مع زيادة تركيز الغاز حتى ٣٠٪. وقد أرجع النقص فى التلون البنى لأطراف

القرون إلى ضعف نشاط إنزيم الفينوليز ونقص المحتوى الفينولى. وبالمقارنة بالكنترول، فإن وضع القرون فى الجو الغنى بثانى أكسيد الكربون أدى إلى تحسين اللون والطعم، وانخفاض اهتراء نسيج البشرة فى المنتج المعلب، بينما لم يتأثر قوام المنتج بمعاملة التخزين، ولم يترتب عليها أية تأثيرات ضارة. وقد أجريت هذه الدراسة فى نظام متدفق flowing system للتخزين لا يسمح بتراكم المركبات التى تكسب الفاصوليا طعمًا غير مرغوب فيه، كما كانت نسبة الأكسجين ١٦٪، وهى ظروف يصعب توفيرها على نطاق تجارى (Bueschner & Henderson ١٩٧٧، و Lougheed ١٩٨٧).

ويوصى Saltveit (١٩٧٧) بأن يكون تخزين الفاصوليا التى تنتظر دورها فى التصنيع فى حرارة ٨°م (بمدى من ٥–١٠°م) فى هواء يحتوى على ٨٪–١٠٪ أكسجين، و ٢٠٪–٣٠٪ ثانى أكسيد الكربون.

وحتى بالنسبة للفاصوليا الطازجة السابقة التجهيز – بالتقطيع (pre-cut) والتقصيف (pre-snapped) – فإنها تحتفظ بجودتها بشكل جيد عند حفظها فى أكياس محكمة الإغلاق من البوليثيلين غير المثقب، ويرجع ذلك إلى تراكم غاز ثانى أكسيد الكربون داخل الأكياس نتيجة لتنفس القرون، وكان ذلك كافيًا لمنع التدهور فى اللون، والطعم، والقوام وغيرها من صفات الجودة خلال ١٤ يومًا من التخزين (Buescher & Adams ١٩٧٩).

وبالنظر إلى أن المحصول السابق التجهيز يتعرض للتلف والتدهور السريعين؛ فإنه يتعين أن تكون جميع عمليات التداول متكاملة، ويتضمن ذلك قصر التجهيز المسبق على المحصول الطازج ذى النوعية الجيدة، مع المحافظة على النظافة العامة المستمرة أثناء الإعداد، والتداول والتخزين فى حرارة منخفضة، والتعبئة فى عبوات تسمح بتوفير الرطوبة والجو المعدل حول القرون.

التصدير

يمتد موسم تصدير الفاصوليا الفائقة الرفع، والرفيعة جدًا، والرفيعة، والبوبى خلال