الفصل الرابع

حصاد الفلفل، وتداوله، وتخزينه، وتصديره

مرحلة النضج المناسبة للحصاد

يبدأ نضج ثمار الفلفل بعد نحو شهرين إلى ثلاثة أشهر من الشتل، ويستمر لمدة شهرين إلى أربعة أشهر أخرى، ويتوقف ذلك على الصنف، وموعد الزراعة.

تقطف الثمار الخضراء بعد اكتمال نموها وهى مازالت خضراء، وتميز الثمار المكتملة النمو بلونها الأخضر الزاهى. أما الثمار غير المكتملة النمو .. فإنها تكون ذات لون أخضر قاتم. وطبيعى أن الأصناف ذات الثمار الصفراء، والبرتقالية، والحمراء تقطف عند وصولها إلى مرحلة التلوين الخاصة بالصنف.

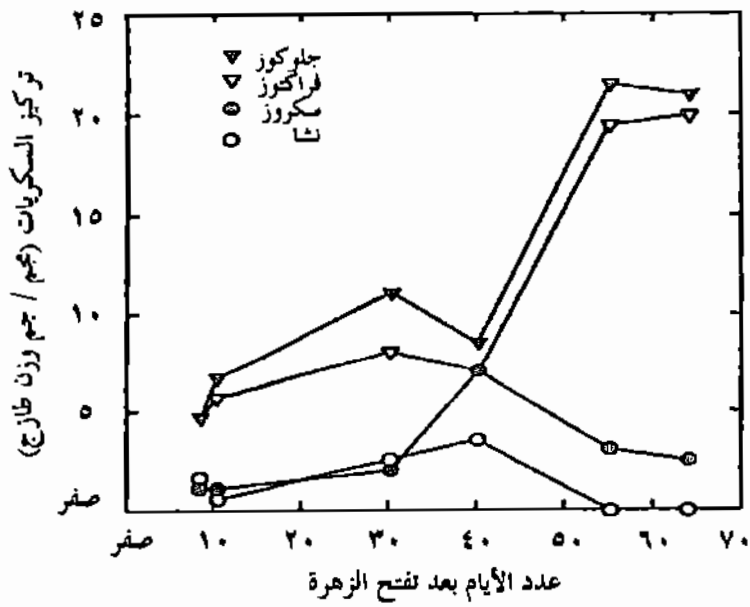
وتصل الثمار التى تستهلك وهى خضراء إلى طور النضج الاستهلاكى عادة بعد ٤٥-٥٥ يومًا من تفتح الزهرة. أما الأصناف الحلوة التى تستهلك ثمارها وهى حمراء فإنها تتطلب مدة أطول حتى تصل إلى مرحلة النضج الاستهلاكى. وقد قدرت هذه الفترة بنحو ٦٥ يومًا من تفتح الزهرة فى الصنف فيبولا Fibola، و ٧٠ يومًا فى الصنف أميريكانو Americano (Madrid وآخرون ١٩٩٩). كذلك تصل الأصناف الحريفة التى تقطف بعد تمام تلونها باللون الأحمر إلى هذه المرحلة - عادة - بعد ٦٠-٧٠ يومًا من التلقيح.

وقد وجِدَ أن تأخير الحصاد يؤدى إلى زيادة المحصول الصالح للتسويق بنسبة ٥٠٪، وزيادة عرض الثمار عند الأكتاف، وزيادة سمك جدرها، وحجمها، وذلك مقارنة بمحصول وثمار النباتات التى تحصد فى الموعد العادى. كما يؤدى تأخير الحصاد إلى تقليل عدد مرات القطف؛ ومن ثم خفض تكاليف الحصاد (Russo ١٩٩٦).

ويعتبر حساب الوحدات الحرارية المتراكمة - بالنسبة لكل موسم زراعى فى كل منطقة - أفضل وسيلة للتنبؤ بموعد الحصاد فى أصناف الفلفل الناقوسية (Perry وآخرون ١٩٩٣).

التغيرات المصاحبة لنمو الثمار ونضجها

يواكب النمو السريع للثمار بعد العقد ازدياد محتواها من الجلوكوز والفراكتوز، ونقص فى محتواها من السكروز والنشا. ومع تناقص معدل نمو الثمار، يتراكم السكروز والنشا مرة أخرى. وتحدث عند نضج الثمار زيادة أخرى سريعة وحادة فى محتواها من السكريات المختزلة، بينما ينخفض محتواها من السكروز والنشا (شكل ٤-١). وقد كان لنمو ثمرة الفلفل ومحتواها من السكريات السداسية علاقة قوية بمحتواها من إنزيم آسيد إنفرتيز acid invertase (عن Wein ١٩٩٧).



شكل (٤-١): التغيرات فى محتوى ثمار الفلفل من أهم السكريات خلال مختلف مراحل نموها حتى اكتمال النضج.

وبمتابعة التغيرات المورفولوجية فى ثمار الفلفل الشيلى Chile صنف New Mexico 6-4، لوحظ ما يلى:

١ - ازداد نشاط إنزيم β-galactosidase سريعًا بداية من اليوم الرابع والخمسين من نضج الزهرة، ووصل إلى أعلى مستوى له فى اليوم التاسع والثمانين.

٢ - كانت صلابة الثمار أعلى ما يمكن فى اليوم الرابع والخمسين من تفتح الزهرة، ونقصت جوهريًا فى اليوم التاسع والستين

٣ – كان إنتاج ثانى أكسيد الكربون ومحتوى الكلوروفيل أعلى ما يمكن عند عمر عشرين يومًا من تفتح الزهرة، ثم انخفض سريعًا بعد ذلك (Biles وآخرون ١٩٩٣).

هذا .. ويزداد محتوى ثمار البابريكا من مضادات الأكسدة: حامض الأسكوربيك، والتوكوفيرولات tocopherols، والكاروتينات .. يزداد تدريجيًّا أثناء نضج ثمار، ولكن يصل تركيز حامض الأسكوربيك إلى أعلى مستوى له فى مرحلة منتصف التلوين، ثم ينخفض، بينما يستمر تركيز مضادات الأكسدة الأخرى فى الزيادة. وبعد الحصاد – وأثناء التخزين والتجفيف – ينخفض تركيز حامض الأسكوربيك والتوكوفيرول بصورة حادة، بينما يحدث انخفاض تدريجى فى محتوى الكاروتينات. وقد أدى تجفيف الثمار بطريقة الدفع الجبرى للهواء الدافئ إلى احتفاظها بقدر أكبر من مضادات الأكسدة (Daood وآخرون ١٩٩٦).

وتزداد سرعة فقد الصبغات من ثمار البابريكا مع ارتفاع حرارة التخزين، بينما يقل فقدها مع ارتفاع الرطوبة النسبية، وتختلف الأصناف جوهريًّا فى تلك الخاصية (Gomez-Ladron de Guevara وآخرون ١٩٩٨).

الحصاد

يجرى الحصاد يدويًّا كل ٣–٤ أيام، ويتم ذلك بثنى عنق الثمرة لأعلى قليلاً، فتنفصل بسهولة عن النبات. ويمكن حصاد ثمار الأصناف الحريفة آليًّا، ويتم ذلك مرة واحدة بعد نضج معظم الثمار فى الحقل. ويتوقف نجاح الحصاد الآلى على توفر الأصناف التى تنضج ثمارها خلال فترة زمنية وجيزة.

بدأ حصاد الفلفل آليًّا فى عام ١٩٦٧، وحتى عام ١٩٩٥ كانت أكثر من ٢٠٠ آلة تعمل فى حصاد الفلفل فى أكثر من تسعة دول. وتصل كفاءة بعض تلك الآلات إلى نحو ٣٠٠٠ كجم من الفلفل الـ sweet cherry ونحو ٥٠٠٠ كجم من الفلفل الجالابينو jalapeno فى الساعة (Marshall ١٩٩٥). وتبلغ نسبة الفاقد فى ثمار البابريكا عند حصادها آليًّا حوالى ١٠٪ من المحصول (Palau & Torregrosa ١٩٩٧).

وعلى الرغم من أن حصاد الفلفل الحريف تباسكو آليًّا – مرة واحدة – يخفض كثيرًا

من تكاليف عملية الحصاد. إلا أن ذلك يقلل من جودة المنتج بسبب حصاد كثير من الثمار الخضراء والثمار غير المكتملة التلوين مع الثمار الحمراء الناضجة. ويتم غالبًا فرز المحصول يدويًا للتخلص من الثمار الخضراء، إلا أن ذلك يضيف إلى تكلفة الإنتاج. وقد وجد أن رش نباتات الفلفل التباسكو بالإثيفون بتركيز ٢٠٠٠-٣٠٠٠ جزء في المليون قبل الحصاد الآلي يفيد في التخلص من الثمار غير الكاملة التكوين ويقلل من نسبة الثمار الخضراء في المحصول المنتج، علمًا بأن هذه المعاملة لم تكن لها أهمية بالنسبة لتحفيز نضج الثمار وتلونها (Kahn وآخرون ١٩٩٧).

هذا .. وتنخفض كفاءة الحصاد الآلي، وتزداد تكلفة الحصاد اليدوى بزيادة القوة التي يلزم بذلها لقطف الثمرة، وتزداد هذه المشكلة تعقيدًا في الأصناف الحريفة ذات الثمار الصغيرة التي تشكل فيها عملية الحصاد أكبر نسبة من تكلفة الإنتاج، خاصة وأن مصانع "الصوص" sauce تتطلب عدم زيادة نسبة الثمار التي يبقى كأس الثمرة وعنقها متصلين بها عن ٥٪. ولحسن الحظ فإن الصنف تباباسكو التابع للنوع *C. frutescens* – والذى يعد أهم الأصناف المستعملة في صناعة الصوص على الإطلاق – تفصل ثماره بسهولة عن الكأس أثناء الحصاد، تاركة وراءها الكأس الأخضر وعنق الثمرة متصلين بالنبات أما في باقي أصناف الفلفل – وهي تنتمي إلى *C. annuum* – فإن القوة التي تلزم لفصل الثمرة عند الحصاد – وهي صفة وراثية – تتناسب طرديًا مع كل من طول الثمرة، وقطرها، وطول عنق الثمرة، وقطر ندبة (مكان) اتصال الثمرة بعنقها (عن Motsenbocker ١٩٩٦) وعلى النقيض من ذلك لم يجد Motsenbocker (١٩٩٦) أى علاقة بين القوة التي تلزم لفصل الثمرة عند الحصاد وأى من صفات الثمرة في سلالتين من الفلفل التباسكو .

كذلك وجدت اختلافات وراثية بين أصناف الفلفل الكايين Cayenne في القوة التي تلزم لفصل الثمار عند الحصاد، وقد تشابهت تلك الأصناف مع أصناف الفلفل الحلو في وجود علاقة طردية بين القوة التي تلزم لفصل الثمار عند الحصاد وكل من طول الثمرة، وقطرها، ووزنها. وتبين أن الأصناف التي تحتاج إلى قوة أكبر لفصل ثمارها تتميز بوجود عدة طبقات من الخلايا الدعامية اللجننة عند منطقة اتصال الثمرة بالعنق (Gersch وآخرون ١٩٩٨)

فسيولوجيا ما بعد الحصاد

الفقد الرطوبى

لاتوجد ثغور على سطح ثمار الفلفل، التى يكون فقدها للرطوبة – بعد الحصاد – من خلال طبقة الأديم cuticle التى تغطى سطح الثمرة. ويتناسب معدل الفقد الرطوبى للثمار طرديًّا مع محتواها الرطوبى عند القطف، كما يتناسب عكسيًّا مع سمك الغطاء لطبقة البشرة (Lownds وآخرون ١٩٩٣، و Blanke & Holthe ١٩٩٧).

التنفس، وإنتاج الإثيلين، وظاهرة الكلايمكتيريك

لاتعد ثمرة الفلفل من الثمار الكلايمكتيرية نظرًا لأن التغيرات اللونية التى تصاحب نضجها لا يسبقها، أو يواكبها، أو يعقبها أى زيادة كلايمكتيرية فى تنفس الثمار أو إنتاجها من الإثيلين، وإنما تكون تلك الزيادة بسيطة (Rylski ١٩٨٦). تأكدت تلك الخاصية فى ثمار الفلفل الحلو بصورة عامة، وإن كانت قد لوحظت ظاهرة الكلايمكتيرك فى تنفس ثمار أحد أصناف الفلفل الحلو الكورية، وهو Chooraehong (عن Biles وآخرين ١٩٩٣).

وفى الفلفل الشيلى Mexican chile peppers (صنف New Mexico 6-4) لم تلاحظ كذلك – أى زيادة كلايمكتيرية فى تنفس الثمار أثناء نضجها، ولكن لوحظت زيادة فى معدل إنتاج الإثيلين مرتان: كانت أولاهما عند عمر ٦١ يومًا من تفتح الزهرة وصاحبت مرحلة الزيادة الكبيرة فى نمو الثمرة، وكانت الثانية عند عمر ٦٩ يومًا من تفتح الزهرة وصاحبت مرحلة التغيرات اللونية فى الثمرة (Biles وآخرون ١٩٩٣).

وعلى الرغم من أن إنتاج الإثيلين كان أعلى فى الثمار الحمراء عما فى مراحل النضج الأخرى، إلا أن هذا الإنتاج لم يكن كافيًا لتحفيز الثمار ذاتيًا لإنتاج مزيد من الغاز، كما لم تلاحظ أى زيادة فى معدل تنفس الثمار عند بداية نضجها. وقد أوضحت دراسات Villavicencio وآخرون (١٩٩٩) اختلافات جوهرية بين ١٣ صنفًا من الفلفل (الأخضر والأحمر فى درجات مختلفة من التلوين) فى معدل تنفس الثمار وإنتاجها من الإثيلين. وبصورة عامة .. ازداد إنتاج الإثيلين جوهريًّا عند اكتمال التكوين – أو قبل اكتماله – فى كل الأصناف فيما عدا صنفين، هما: Cubanelle، و Hungarian Wax.

هذا .. وتعد البذور غير الناضجة والمشيمة المصدرين الرئيسيين لغاز ثانى أكسيد الكربون الذى يتراكم فى تجويف الثمار الخضراء، بينما يكون تنفس الجدر الثمرية منخفضًا (Blanke & Holthe ١٩٩٧).

أضرار البرودة

من أهم مظاهر أضرار البرودة Chilling injury تكون نقر سطحية على الثمار، واكتساب البذور لونًا بنيًا، وتغير لون كأس الثمرة وتحلله، وظهور لون بنى ضارب إلى الرمادى على سطح الثمرة فى الحالات الشديدة. تظهر الأعراض على الثمار بعد نقلها إلى الحرارة العالية وليس أثناء تخزينها فى الحرارة المنخفضة. وتزداد الفترة التى تكفى لظهور أضرار البرودة من يوم واحد على حرارة ١°م إلى نحو ١٤ يومًا على حرارة ٦°م. ويزداد التنقير السطحى مع انخفاض الرطوبة النسبية. هذا .. إلا أن الفلفل الأحمر لا يصاب بالتنقير السطحى (Salunkhe & Desai ١٩٨٤).

ولم تظهر أعراض أضرار البرودة (متمثلة فى النقر السطحية) فى ثمار الفلفل الخضراء، والناضجة الحمراء، والصفراء عندما خزنت فى حرارة ١٣°م لمدة أسبوعين، كما لم تظهر أضرار البرودة على الثمار الناضجة التى خزنت على حرارة ١°م لمدة أسبوعين، ولكنها ظهرت على الثمار الخضراء التى خزنت لمدة ثلاثة أيام على ١°م. وقد حفزت حرارة التخزين المنخفضة (١°م) زيادة إنتاج الثمار من الإثيلين (Lin وآخرون ١٩٩٣أ، و ١٩٩٣ ب). هذا مع العلم بأن أضرار البرودة تظهر بعد يوم واحد من نقل الثمار من الحرارة المنخفضة إلى حرارة الغرفة.

ووجد أن مستوى الـ 1-aminocyclopane-1-carboxylic acid (اختصارا ACC)، وكذلك الإثيلين ازدادا فى الثمار الخضراء التى خزنت على ٢°م بعد نقلها إلى حرارة الغرفة، بينما لم تحدث تلك الزيادة فى الثمار الخضراء التى خزنت على ١٠°م، أو فى الثمار التى خزنت على ٢°م أو ١٠°م كذلك ظل مستوى البوترسين putrescine ثابتًا فى كل الحالات فيما عدا الثمار الخضراء التى خزنت على ٢°م، والتى ازداد فيها مستوى البوترسين إلى الضعف بعد أسبوع واحد، وإلى عشرة أمثال مستواه الابتدائى بعد خمسة أسابيع من التخزين. أما الاسبرميدين spermidine فلم يتغير مستواه فى كل من الثمار

الخضراء والحمراء الناضجة سواء أكان تخزينها على ١٢°م أم ١٠°م (Serrano وآخرون ١٩٩٥).

كذلك ظهرت أضرار البرودة على ثمار الفلفل الخضراء المكتملة التكوين المخزنة على ٢°م، بينما لم تظهر تلك الأعراض على الثمار الحمراء من الصنف ذاته (صنف لامويو Lamuyo). وقد صاحب ظهور أضرار البرودة على الثمار الخضراء المكتملة التكوين زيادة جوهرية فى معدل إنتاج الثمار من الإثيلين، وفى مستويات كل من الـ ACC، والبوترسين putrescine، وحامض الأبسيسيك ABA، بينما لم تحدث أى من تلك التغيرات فى الثمار الخضراء المكتملة التكوين التى خزنت على ١٠°م، أو فى الثمار الحمراء الناضجة التى خزنت على ٢ أو ١٠°م. هذا بينما ظل محتوى الثمار من الاسبرميدين spermidine ثابتًا فى كل الحالات (Serrano وآخرون ١٩٩٧).

ويحدث فقد بسيط إلى متوسط فى الجلسريدات الليبيدية glycerolipids أثناء التخزين البارد على حرارة ٢°م، ولكن يزداد هذا الفقد بشدة وتزداد الأضرار التى تحدث للأغشية الخلوية بعد تدفئة الثمار التى سبق تعريضها للحرارة المنخفضة، وتعد البلاستيدات الخضراء – بصورة خاصة – شديدة الحساسية لأضرار البرودة (Whitaker ١٩٩٥).

التغيرات فى النشاط الإنزيمى المؤثر فى صلابة الثمار

لوحظ أن التغيرات فى نشاط الإنزيمات المسئولة عن تحلل الجدر الخلوية لثمار الفلفل أثناء نضجها، كانت كما يلى:

١ – ازداد نشاط إنزيم polygalacturonase، وصاحب ذلك تدهور فى بنية (texture) الثمرة.

٢ – نقص نشاط إنزيم pectinestrase (أو methyl esterase).

٣ – لم تفقد الثمار التى خزنت فى حرارة ٨°م (لمدة ٢٠ يومًا) بنيتها بسرعة كتلك التى حدثت فى الثمار التى كان تخزينها فى حرارة الغرفة.

٤ – كذلك تغير نشاط إنزيمات الـ glycanases، وهى: cellulase، و xylan endo-1,3-β-xylanase (أو xylanase)، و mannase، و α-D-mannosidase (أو glucanase)،

و β-D-galactosidase (أو galactanase) .. تغير نشاطها أثناء النضج، وكان أقل تغير فى النشاط الإنزيمى فى الثمار التى خزنت فى الحرارة المنخفضة، مقارنة بما كان عليه الحال فى الثمار الطازجة. وقد ازداد نشاط معظم تلك الإنزيمات، وكذلك نشاط إنزيمات laminarinase، و hemicellulase مع النضج، بينما قل نشاط إنزيم xylanase (Sethu وآخرون ١٩٩٦، و Prabha وآخرون ١٩٩٨).

عمليات التداول والإعداد للتسويق

أصناف الاستهلاك الطازج

يعد الفلفل للتسويق بعمليات التبريد الأولى، والتنظيف، والتشميع بطبقة رقيقة من الشمع لتقليل الفاقد فى الوزن قبل التسويق، ثم التعبئة فى عبوات مناسبة؛ وقد يُدرج الفلفل. ويراجع لذلك Seelig (١٩٦٨) بخصوص درجات الفلفل المعتمدة فى الولايات المتحدة

يفضل تبريد الفلفل أوليًا بالماء البارد، وليس بطريقة الدفع الجبرى للهواء، الذى يمكن أن يُفقد الثمار جزءًا كبيرًا من رطوبتها.

ويتعين إجراء جميع عمليات التداول بعد الحصاد بحرص شديد لتجنب إحداث أى خدوش، أو تشققات، أو تهتكات بالثمار، فيتم تفريغ الثمار بحرص، وتدور آلات التدريج (شكل ٤-٢، يوجد فى آخر الكتاب) بالسرعة المناسبة، وتبطن كل الآلات التى تمر عليها الثمار بالوسائد المناسبة، ولا تزيد مسافة سقوط الثمار من مكان لآخر عن ٨ سم إن لم يكن المكان الذى تنقل إليه مبطنًا أو عن ٢٠ سم إن كان مبطنًا (Marshall & Brook ١٩٩٩).

أصناف التجفيف

تحصد ثمار أصناف الفلفل التى تستعمل جافة بعد تمام نضجها، ثم تجفف وتترك فى كومة مغطاة حتى يحدث توازن بين رطوبة الثمار والرطوبة النسبية فى الجو المحيط بها. ويمكن حينئذ تخزينها فى مخازن غير مبردة لمدة ٦ أشهر طالما أن درجة الحرارة تتراوح بين ١٠ و ٢٧°م. وقد تخزن الثمار المجففة فى درجة حرارة صفر-١٠°م حتى يتم تصنيعها، ويفيد ذلك فى احتفاظ الثمار بلونها الأحمر بصورة جيدة.

وأيًا كانت طريقة التخزين .. فإن نسبة الرطوبة فى ثمار الفلفل المجففة يجب أن تبقى فى حدود ١٠-١٥٪، وذلك لأن نقصها عن ذلك يؤدى إلى تفتتها عند التداول، ويصاحب ذلك تناثر أجزاء دقيقة منها فى الهواء تُحدث التهابات بالجلد، وبالجهاز التنفسى للعمال القائمين بالعمل. كما أن زيادة رطوبة الثمار عن ١٥٪ تؤدى إلى تكوّن نموات فطرية عليها. ويؤدى تخزين الثمار المجففة فى أكياس مبطنة بالبوليثيلين إلى إطالة أمد التخزين، وتقليل مشكلة الغبار، مع حفظ نسبة الرطوبة فى الثمار عند مستوى واحد أثناء التخزين أيًا كانت الرطوبة فى الجو الخارجى (Lutz & Hardenburg ١٩٦٨).

التخزين، ومعاملات زيادة القدرة التخزينية لأصناف الاستهلاك الطازج

تأثير درجة الحرارة

تخزن ثمار الفلفل فى مجال حرارى يتراوح بين ٧ و ٩°م، مع رطوبة نسبية تتراوح بين ٩٠ و ٩٥٪. ويمكن لثمار الفلفل أن تحتفظ بجودتها فى هذه الظروف لمدة ٣ أسابيع إن كان التخزين فى أوعية منفذة للرطوبة، ولمدة ٤ أسابيع إن كان التخزين فى أكياس من البوليثيلين المثقب.

وتتعرض ثمار الفلفل للإصابة بأضرار البرودة، إذا خزنت فى درجة حرارة تقل عن ٧°م، وأهم أعراضها تكون نقر سطحية على الثمار (تظهر هذه النقر فى خلال أيام قليلة من تخزين الثمار فى درجة حرارة ٢°م)، ويتغير لون الثمار قريبًا من الكأس، وتصبح الثمار أكثر عرضة للإصابة بفطر الألترناريا *Alternaria* لدى إخراجها من المخازن.

ويؤدى تخزين الثمار فى درجة حرارة أعلى من ١٠°م إلى سرعة نضجها، وزيادة فقدها للرطوبة، وذبولها.

تأثير الرطوبة النسبية

ازدادت إصابة ثمار الفلفل بالأعفان - عندما تركت معروضة لمدة ٧ أيام على حرارة ٢٠°م ورطوبة نسبية ٧٠٪ - وذلك كلما ازدادت الرطوبة النسبية خلال فترة التخزين التى سبقت العرض، والتى دامت لمدة ١٥ يومًا على حرارة ٨°م، علمًا بأن معاملات الرطوبة النسبية خلال فترة التخزين البارد تراوحت بين ٨٥٪، و ١٠٠٪. وعلى العكس

من ذلك ازداد الفقد فى الوزن وازدادت طراوة الثمار كلما انخفضت الرطوبة النسبية خلال فترة التخزين البارد (Polderdijk وآخرون ١٩٩٣).

معاملات الحد من الفقد الرطوبى

التشميع والتغليف بأغشية صالحة للأكل

أعطت معاملة تشميع ثمار الفلفل بأى من نوعى الشموع بريما فرش Primafresh، أو برولونج Prolong (الأخير بتركيز ٠,٥٪)، مع التخزين فى حرارة صفر، أو ٥°م .. أعطت أفضل النتائج من حيث زيادة القدرة التخزينية للثمار (Manzano & Zambrano ١٩٩٥).

وفى دراسة أخرى استعملت فى تغليف coating ثمار الفلفل تحضيرات تجارية صالحة للأكل edible أساسها زيت معدنى (مثل PacRite)، أو السيليلوز (مثل Nature Seal)، أو بروتين الحليب (مصل اللبن Whey البروتينى الذى ينفصل عند صناعة الجبن مع الجليسرول). وبينما لم تؤثر أى من المغلفات coatings على معدل تنفس الثمار أو تلونها، فإن التحضير PacRite كان هو الوحيد الذى قلل الفقد الرطوبى من الثمار وأدى إلى إطالة فترة صلاحيتها للتخزين (Lerdthanangkul & Krochta ١٩٩٦).

التعبئة فى أكياس البوليثيلين، والبولى فينيل كلورايد، والبولى بروبلين

تعبأ ثمار الفلفل فى أكياس غير منفذة للرطوبة (شكل ٤-٣، يوجد فى آخر الكتاب) بهدف تقليل الفقد الرطوبى منها وقد أدى وضع ثمار الفلفل فى عبوات من البوليثيلين المثقب إلى نقص الفقد الرطوبى إلى نحو ٥٪ فقط من الفقد الرطوبى فى حالة عدم التغليف، وصاحب ذلك نقص فى معدل طراوة الثمار وتلونها عندما كان التخزين فى حرارة ١٤ أو ٢٠°م. هذا إلا أن الثمار المغلفة فى الأكياس كانت أكثر تعرضًا للإصابة بالأعفان، الأمر الذى قلل من قدرتها التخزينية (Lownds وآخرون ١٩٩٣).

كما أمكن إطالة فترة احتفاظ ثمار الفلفل بجودتها بعد الحصاد حتى ٤٠ يومًا بتشميع الثمار ثم تغليفها فى أغشية منخفضة الكثافة من البوليثيلين بسمك ٤٢ أو ٦٥ ميكرونا، وتخزينها على ١٠°م، مع ٧٥٪ رطوبة نسبية. وقد أدت عمليتا التشميع والتغليف إلى زيادة فترة الصلاحية للتخزين على ١٠°م بمقدار ٢٠ يومًا وأبطأتا جوهريا كلا من وصول

الثمار إلى مرحلة الشيخوخة ومن التغيرات اللونية فيها، كما أحدثتا نقصًا فى معدلات فقد الثمار لوزنها، وإصابتها بالأعفان، مقارنة بالتغيرات فى ثمار الكنترول. ولم تظهر أى تغيرات غير طبيعية فى طعم الثمار التى عوملت بهذه الطريقة وخزنت حتى ٤٠ يومًا (Gonzalez & Tiznado ١٩٩٣).

هذا إلا أن تعبئة ثمار الفلفل فى أغشية من البوليثيلين المنخفض الكثافة يؤدى إلى رفع الرطوبة النسبية داخل العبوة إلى درجة قريبة من التشبع، وتكثف الرطوبة على الثمار والأسطح الداخلية للأغشية. وقد أمكن التغلب على هذه المشكلة بوضع مادة ماصة للرطوبة – مثل كلوريد الصوديوم – داخل العبوة بمعدل ١٠ جم لكل عبوة تحتوى على أربع ثمار (٥٠٠–٦٠٠ جم) من الفلفل الأحمر. وعلى الرغم من أن إضافة كلوريد الصوديوم إلى العبوة أدت إلى زيادة الفقد فى الوزن قليلاً مقارنة بالفقد فى الوزن فى ثمار الكنترول، إلا أن هذه المعاملة حافظت على الرطوبة النسبية فى حدود ٩٢–٩٥٪، وجعلت من الممكن تخزين الثمار على ٨°م لمدة ثلاثة أسابيع دون أن تتعرض للإصابة بالأعفان (Rodov وآخرون ١٩٩٥).

وقد أمكن – كذلك – خفض الرطوبة النسبية داخل العبوات – دون التأثير على الفقد فى الوزن – باستعمال بوليثيلين مثقب بدلاً من البوليثيلين العادى، وكانت الثمار المعبأة فى البوليثيلين المثقب أقل تعرضًا للإصابة بالأعفان (عفن بوتريتس *Botrytis*) من نظيرتها غير المعبأة فى البوليثيلين غير المثقب، كما كانت أقل فقدًا فى الوزن من نظيرتها غير المعبأة فى أغشية البوليثيلين (Ben-Yehoshua وآخرون ١٩٩٦).

وأوضحت الدراسات أن تثقيب الغشاء يؤثر كثيرًا على تركيز الأكسجين وثانى أكسيد الكربون، ويقلل التكثيف المائى داخل العبوات، ويؤدى إلى تعديل الهواء المحيط بالثمار بما يتناسب واحتفاظها بجودتها لفترة طويلة أثناء التخزين (Ben-Yehoshua وآخرون ١٩٩٨).

وأوضحت دراسات Meir وآخرون (١٩٩٥) بخصوص تأثير تعبئة ثمار الفلفل الأحمر الحلو فى أكياس من البوليثيلين المثقب بدرجات مختلفة (تراوحت بين ٠,٠٦٤٪، و ٠,٤٢٪) .. أوضحت وجود عدة مزايا لذلك، كما يلى:

١ – أنقصت التعبئة فى أكياس البوليثيلين المثقب الفقد الرطوبى بنسبة ٤٠–٥٠٪ فى الثمار التى خزنت فى حرارة ٧,٥°م لمدة أسبوعين، ثم فى حرارة ١٧°م لمدة ٣ أيام إضافية.

٢ – لم تُحدث التعبئة فى أكياس البوليثيلين المثقبة زيادة جوهرية فى نسبة إصابة الثمار بالأعفان خلال فترتى التخزين (١٤ يومًا على حرارة ٧,٥°م) والعرض (٣ أيام على حرارة ١٧°م).

٣ – أمكن مع التعبئة فى أكياس البوليثيلين المثقبة تخزين ثمار الفلفل الحلو الأحمر فى حرارة ٣°م دون أن تظهر عليها أضرار البرودة.

٤ – أدى وضع ثمار الفلفل الأحمر فى تلك الأكياس لمدة يومين على حرارة ٢٥°م إلى اكتمال تلوينها بشكل جيد فى نهاية فترة التخزين التى استمرت لمدة ١٢ يومًا، وذلك دون أن تفقد الثمار صلابتها أو جودتها.

كما أمكن إطالة فترة تخزين ثمار الفلفل الحلو – مع الاحتفاظ بجودته – بغمس الثمار فى محلول هيبوكلوريت بتركيز ١٪، ثم وضعها – بعد جفافها – فى صوان ألومنيومية، وتغطيتها بغشاء من البولى فينيل كلورايد PVC بسمك ١٦,٥ ميكرونًا، وتخزينها على ٨°م. وبهذه الطريقة .. لم يتعد الفقد الرطوبى من الثمار ١١,٦٪ بعد ٣٠ يومًا من التخزين (Barros وآخرون ١٩٩٤).

كذلك أدت تعبئة ثمار الفلفل الأخضر المكتملة التكوين من صنف لاموبو فى أغشيته من البولى بروبلين التى تتفاوت فى درجة نفاذيتها (نفاذية قدرها ١٠ أو ٨٠ لتر/م٢/ يوم لكل من الأكسجين، وثانى أكسيد الكربون) .. أدت إلى تقليل تعرضها لأضرار البرودة عند تخزينها على ٢°م، وخاصة فى الغشاء الاقل نفاذية. وقد كانت الزيادة فى إنتاج كل من الـ ACC، والبوترسين، والـ ABA فى الثمار المعبئة فى هذه الأغشية أقل مما فى نظيراتها من الثمار المخزنة فى الحرارة المنخفضة دون تغليف (Serrano وآخرون ١٩٩٧).

معاملات الحد من أضرار البرودة

معاملة النباتات بمنظمات النمو قبل الحصاد

أدى رش نباتات الفلفل فى مرحلة الإزهار بأى من: الباكلوبترازول paclobutrazol (بتركيز ٥٠ أو ١٠٠ جزء فى المليون)، أو اليونى كونازول uniconazole (بتركيز ٢٠ أو ٥٠ جزء فى المليون)، أو المفليوداید mefluidide (بتركيز ٢٠ أو ٥٠ جزء فى المليون) إلى الحد بشدة من أضرار البرودة التى ظهرت على ثمار الفلفل الخضراء والحمراء بعد ٢٨ يومًا من تخزينها على ٢°م. ولم يختلف معدل إنتاج الإثيلين وثانى أكسيد الكربون – فى حرارة ٢٠°م – بين الثمار التى أعطيت معاملة الباكلوبترازول والتى سبق تخزينها لمدة ٢٨ يومًا على حرارة ٢°م، وثمار معاملة الكنترول التى لم تعط تلك المعاملات (Lurie وآخرون ١٩٩٣، و ١٩٩٥).

معاملة الثمار بالمثيل جاسمونيت

أمكن الحد من أضرار البرودة فى ثمار الفلفل المخزنة على ٢°م لمدة ٤–١٠ أسابيع بغمرها – قبل التخزين – لمدة ٣٠ ثانية فى محلول المثيل جاسمونيت methyl jasmonate بتركيز ٢٥ ملى مول. كما أعطت المعاملة بالمركب فى صورة غازية لمدة ساعة نتيجة مماثلة لمعاملة الغمر (Meir وآخرون ١٩٩٦).

معاملة الثمار بالماء الساخن قبل التخزين

أمكن الحد من ظهور أضرار البرودة فى ثمار الفلفل الحلو الخضراء المخزنة على ٤°م لمدة يومين، وذلك بمعاملتها قبل التخزين بالغمر فى الماء الدافئ على حرارة ٤٠ أو ٤٥°م لمدة ٤٥ دقيقة، أو بالتدفئة على حرارة ٤٠°م لمدة ٢٠ ساعة، وصاحب تلك المعاملات نقص جوهرى فى التسرب الأيونى من الثمار التى تعرضت للبرودة مقارنة بنظيراتها التى لم تعط المعاملة الحرارية. هذا إلا أن غمر الثمار فى الماء على حرارة ٥٠°م لمدة ٤٥ دقيقة أحدث تلفًا كبيرًا فى الأغشية الخلوية (Mencarelli وآخرون ١٩٩٣).

وأدت معاملة ثمار الفلفل بالماء الساخن على حرارة ٥٠°م لمدة ٣ دقائق إلى مكافحة كلا من العفن الرمادى grey mould الذى يسببه الفطر *Botrytis cinerea*، والعفن الأسود black mould الذى يسببه الفطر *Alternaria alternata*، حيث أمكن

مكافحتهما بصورة تامة أو خفض الإصابة بهما بصورة معنوية حتى مع تعريض الثمار للعدوى الصناعية بأى من الفطرين قبل معاملتها بالماء الساخن. ولم تظهر أضرار على ثمار الفلفل من جرّاء معاملة الماء الساخن إلا إذا استمر التعريض لحرارة ٥٠°م لمدة ٥ دقائق، أو كان التعريض لحرارة ٥٥°م لمدة دقيقة واحدة أو أكثر، وكانت الأضرار على صورة شقوق ونقر على سطح الثمار (Fallik وآخرون ١٩٩٦).

وقد قام Fallik وآخرون (١٩٩٩) بغسيل ثمار عدة أصناف من الفلفل الحلو بالماء العادى أولاً، ثم بالماء الساخن على حرارة ٥٤-٥٦°م لمدة ١٠-١٤ ثانية أثناء مرورها على فرش التنظيف، ثم تجفيفها - قبل تعبئتها - وتخزينها على ٧°م لمدة ١٥ يومًا، ثم على ١٦-١٨°م لمدة ٤ أيام إضافية. كانت الثمار المعاملة بهذه الطريقة - التى تناسب التصدير بطريق البحر إلى الأسواق الأوروبية والخليجية - أكثر صلابة ونظافة عن نظيراتها التى نظفت فقط بالفُرَش الجافة، كما كانت خالية تمامًا تقريبًا من الأعفان، وتبين أن المعاملة أدت إلى التخلص من الأتربة الدقيقة والجراثيم الفطرية التى تتواجد فى كأس الثمرة وجلدها.

التدرئة المتقطعة أثناء التخزين

تبدأ التغيرات الأيضية المصاحبة لأضرار البرودة قبل ظهور أية أعراض مرئية لتلك الأضرار، وتتمثل فى حدوث زيادة فى معدل التنفس، ومعدل إنتاج الإيثلين، ونفاذية الأغشية الخلوية. هذا إلا أن تبادل تعريض الثمار لحرارة عالية مع الحرارة المنخفضة (صفر إلى ١°م) أثناء تخزينها أبطل التأثير الضار للحرارة المنخفضة، وأدى إلى ضَعف تراكم الكحول، والأسيتالدهيد، والأسيتون، وزيادة نشاط إنزيمات الـ peroxidase، والـ catalase، وتثبيط نشاط إنزيم phenylalnine ammonia-lyase، ونقص التسرب الأيونى، وتقليل أضرار البرودة (Chen وآخرون ١٩٩٤). وعلى الرغم من أن تدفئة ثمار الفلفل المخزنة على ٥°م، و ٩٠-٩٥٪ رطوبة نسبية (برفع حرارة الثمار إلى ٢٤-٢٥°م مع ٧٠-٧٥٪ رطوبة نسبية لمدة ٢٤ ساعة كل ٢-٥ أيام) أدى إلى تقليل أضرار البرودة، إلا أن ذلك كان مُصاحبًا بزيادة فى الفقد فى الوزن، ونقص فى الصلاحية للتسويق (Kluge وآخرون ١٩٩٨).

معاملات الحد من الإصابة بالأعفان

المعاملة بالمبيدات الفطرية

أدى غمس ثمار الفلفل الحلو فى محلول من الثيابندازول thiabendazole (اختصارًا TBZ) بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون على حرارة ٥٠°م، ثم تخزينها فى ٤°م .. أدى ذلك إلى تقليل إصابتها بأضرار البرودة مما فى الثمار التى تم غمسها فى الـ TBZ على حرارة ٢٥°م. وأدت معاملة الـ TBZ إلى خفض الإصابة بالأعفان جوهريًا. وكانت أفضل المعاملات هى غمس الثمار فى الـ TBZ على ٥٠°م ثم التخزين فى جو متحكم فى مكوناته CA على حرارة ٤°م، وذلك من حيث احتفاظ الثمار بجودتها، وعدم تعرضها للإصابة بالأعفان، وبأضرار البرودة (Yang & Lee ١٩٩٨).

المعاملة ببيكربونات البوتاسيوم

كانت معاملة ثمار الفلفل ببيكربونات البوتاسيوم أكثر تأثيرًا فى مكافحة الفطر *Alternaria alternata* – مسبب مرض العفن الأسود – عن استعمال أى من الـ penconazole، أو الزيوت، أو المواد الناشرة (Ziv وآخرون ١٩٩٤). وفى دراسة أخرى (Fallik وآخرون ١٩٩٧) أدى غمس ثمار الفلفل فى محلول من بيكربونات البوتاسيوم بتركيز ١٪ أو ٢٪ إلى إحداث نقص معنوى فى إصابات الثمار بكل من العفن الرمادى (*Botrylis cinerea*)، والعفن الأسود (*Alternaria alternata*)، مقارنة بالكنترول، بينما أدى النقع فى بيكربونات البوتاسيوم بتركيز ٣٪ إلى التأثير سلبيًا على نوعية الثمار. وقد تبين من الدراسات المختبرية أن تأثير بيكربونات البوتاسيوم على كل من الفطرين كان مثبطًا (وليس قاتلاً)، وذلك من خلال تثبيطه لنمو الغزل الفطرى، وإنبات الجراثيم، واستطالة الأنابيب الجرثومية. ومن المعلوم أن أملاح البيكربونات تستعمل فى الأغذية بتركيزات قد تصل إلى ٢٪.

المعاملة بفوق أكسيد الأيدروجين

أدى غمس ثمار الفلفل فى محلول من السانوسل Sanosil-25 (وهو يحتوى على H_2O_2 – أى فوق أكسيد الأيدروجين hydrogen peroxide – بنسبة ٤٨٪) بتركيز ٠,٥٪ .. أدى إلى خفض إصابات الثمار بكل من العفن الرمادى والعفن الأسود إلى المستويات المقبولة تجاريًا، وذلك مقارنة بالكنترول (Fallik وآخرون ١٩٩٤).

المعاملة بالشيتوسان

أدت معاملة ثمار الفلفل بالشيتوسان chitosan إلى خفض إنتاج الفطر *Botrytis cinerea* لإنزيمات الـ polygalacturonases (وهى التى تقوم بتحليل البكتين فى الجدر الخلوية للثمار المصابة)، والإضرار البيولوجى الشديد بهيفات الفطر ذاته، الأمر الذى أضعف كثيرًا من قدرة الفطر على إصابة الثمار (Ghaouth وآخرون ١٩٩٧).

المعاملة بأشعة جاما

أحدثت معاملة ثمار الفلفل (صنف ماجده Magda) بأشعة جاما بجرعات تراوحت بين ٢٠٠، و ٨٠٠ Gy (بمعدل ١,٤٦ Gy/ساعة) .. أحدثت زيادة كبيرة فى قدرة ثمار الفلفل على التخزين، حيث بلغت ٤٩–٥٨ يومًا عندما كان تخزين الثمار المعاملة بالإشعاع على حرارة ٧–٩°م، مع ٥٠–٥٥٪ رطوبة نسبية (Wiendl وآخرون ١٩٩٦).

التخزين فى الهواء المتحكم فى مكوناته

كان لتخزين الثمار لمدة ٢٤ ساعة فى هواء تنخفض فيه نسبة الأكسجين إلى ١,٥٪ تأثير بالغ فى خفض معدل تنفس تلك الثمار لمدة ٢٤ ساعة أخرى بعد نقلها إلى الهواء العادى، وأدت زيادة فترة التخزين حتى ٧٢ ساعة فى ١,٥٪ أكسجين إلى زيادة الفترة التى استمر فيها الانخفاض فى معدل تنفس الثمار – بعد نقلها إلى الهواء العادى – إلى ٤٨ ساعة. وكان التخزين فى هواء يحتوى على ٥٪ أكسجين أقل تأثيرًا فى هذا الشأن، بينما لم يكن للتخزين فى ١٠٪ أكسجين أى تأثير، وذلك مقارنة بالكنترول (Rahman وآخرون ١٩٩٣).

وأدى تخزين الفلفل فى ٣٪ ثانى أكسيد كربون، و ٣٪ أكسجين لمدة ١٥ يومًا على حرارة ٨°م .. أدى إلى تقليل أعفان الثمار عندما وضعت بعد ذلك على حرارة ٢٠°م لمدة سبعة أيام، وذلك مقارنة بالتخزين فى صفر٪ ثانى أكسيد كربون و ٢١٪ أكسجين (Polderdijk وآخرون ١٩٩٣).

وقد أمكن شحن الفلفل من هولندا إلى الولايات المتحدة بطريق البحر فى رحلة استغرقت ١٠ أيام على حرارة ٨°م، ورطوبة نسبية ٩٢٪، مع ٤٪ أكسجين + ٣٪ ثانى أكسيد كربون، كان الفقد فى الوزن خلالها ٣٪ فقط، وبعد ٧ أيام إضافية من العرض على حرارة ١٧°م ورطوبة نسبية ٧٥٪ بلغ الفقد فى الوزن ٥٪ (Janssens ١٩٩٤).

وعلى الرغم من أن ثمار الفلفل لم تصب بأضرار البرودة عندما خزنت على حرارة ٥ أو ١٠°م لمدة ١٨ يومًا فى الهواء العادى، إلا أن أضرار البرودة ظهرت بعد ٦ أيام فقط من التخزين على ٥°م عندما احتوى هواء المخزن على ١٠٪ ثانى أكسيد الكربون (+ هواء أو ٣٪ أكسجين)، ولكن هذه النسبة العالية من ثانى أكسيد الكربون لم تؤثر فى نوعية الثمار عندما كان التخزين على ١٠°م. وقد كانت معدلات التنفس وإنتاج الإيثلين (بعد إخراج الثمار من المخزن وحفظها لمدة ٣ أيام على حرارة ١٥°م) أعلى فى الثمار التى كان تخزينها على حرارة ٥°م مع ١٠٪ ثانى أكسيد كربون عما فى تلك التى كان تخزينها على ١٠°م. وقد كانت نوعية الثمار أفضل ما يمكن عندما كان التخزين فى ٥٪ ثانى أكسيد كربون (Mercado وآخرون ١٩٩٥).

وقد احتفظت ثمار الفلفل من صنف كاليفورنيا وندر بأفضل نوعية لها لمدة ٤ أسابيع على حرارة ١٠°م عندما كان تخزينها فى ١٪ أكسجين، وذلك مقارنة بالتخزين فى ٣، أو ٥، أو ٧، أو ٢١٪ أكسجين؛ فبعد أسبوعين فقط من التخزين كانت نسبة الثمار التى أصيبت بالأعفان ٣٣٪ عندما كان التخزين فى ٢١٪ أكسجين، بينما كانت الأعفان ٩٪ فقط فى ١٠٪ أكسجين. وبينما انخفضت نسبة الإصابة بالأعفان قليلاً خلال الأيام الأولى من التخزين فى ٣٪ أو ٥٪ أكسجين، فإن التخزين فى ٧٪ أكسجين لم يختلف عن التخزين فى الهواء العادى (٢١٪ أكسجين) فيما يتعلق بالإصابة بالأعفان. وقد استمرت فاعلية التخزين فى ١٪ أكسجين فى خفض الإصابة بالأعفان طوال فترة التخزين التى استمرت لمدة ٤ أسابيع، وكان معدل تنفس هذه الثمار وإنتاجها من الإثيلين أقل مما فى الثمار التى خزنت فى نِسَبٍ أعلى من الأكسجين (Luo & Mikitzel ١٩٩٦).

ويتبين من دراسات Tang & Lee (١٩٩٧) بخصوص تأثير التخزين فى الهواء المتحكم فى مكوناته على إصابة الثمار بأضرار البرودة، ما يلى:

١ – أصيبت الثمار بأضرار البرودة، ولم تكن صالحة للتسويق عندما خزنت لمدة ٧ أيام على حرارة ١°م، أو لمدة ١٥ يومًا على ٤°م.

٢ – لم تظهر أعراض أضرار البرودة عندما كان التخزين على ١٠°م، ولكن الثمار التى خزنت على هذه الدرجة لمدة ٣٠ يومًا لم تكن صالحة للتسويق كذلك لشدة تدهورها.

٣ – كانت أكثر معاملات الهواء المتحكم فى مكوناته فاعلية فى خفض أضرار البرودة على ٤°م هى: ١٪ ثانى أكسيد كربون + ١٪ أكسجين، أو ٣٪ ثانى أكسيد كربون + ١٪ أكسجين.

٤ – لم تكن الثمار صالحة للتسويق بعد تخزينها لمدة ١٥ يومًا فى ١٠٪ ثانى أكسيد كربون + ٣٪ أكسجين، على ٤°م.

٥ – ازدادت إصابة الثمار بالأعفان، وازداد إنتاجها من ثانى أكسيد الكربون والإثيلين مع زيادة إصابتها بأضرار البرودة، وزيادة فترة تخزينها.

٦ – كانت أفضل ظروف للتخزين على ٤°م – مع احتفاظ الثمار بجودتها لأطول فترة ممكنة – هى: ١٪ ثانى أكسيد كربون + ١٪ أكسجين، و ٣٪ ثانى أكسد كربون + ١٪ أكسجين.

كذلك وجد أن خفض نسبة الأكسجين فى هواء المخزن إلى ٢٪ أو ٥٪ أدى إلى تقليل إصابة ثمار الفلفل بأضرار البرودة عندما خزنت فى حرارة ٥°م لمدة ٢١ يومًا ثم نقلت إلى ١٥°م لمدة ٥ أيام (عن Lougheed ١٩٨٧).

التصدير

يصدر الفلفل الأخضر إلى بعض دول أوروبا الغربية خلال الفترة من يناير إلى منتصف أبريل. تفرز وتستبعد الثمار غير المطابقة للصنف، وغير المنتظمة الشكل، والمصابة بجروح أو خدوش أو أمراض، والمصابة بلفحة الشمس، وعديمة العنق. ويجب أن تكون الثمار المصدرة كاملة وسليمة وطازجة، وفى درجة مناسبة من النضج، وذات لون طبيعى، وخالية من آثار المبيدات، وآثار الإصابات المرضية والحشرية.

تعبأ الثمار فى كراتين سعة ٣ كجم، ترص فيها الثمار يدويًا فى صفوف. وتبقى الثمار بحالة جيدة لمدة ٣٠ يومًا عند تداولها جيدًا.