٢- عند تعرضها لحرارة ١٠°م أو أقل من ذلك لمدة أسبوع أو أكثر قبل الحصاد أو بعده.

٣- إذا تأخر علاجها لمدة يومين أو أكثر بعد الحصاد.

الظواهر والتغيرات المصاحبة للتخزين

نتناول بالشرح – فيما يلى – الظواهر والتغيرات التى تطرأ على بعض الخصائص الفيزيائية والفسيولوجية للجذور أثناء التخزين، ولمزيد من التفاصيل حول هذا الموضوع .. يمكن الرجوع إلى Uritani (١٩٨٢).

التنفس

يزداد معدل التنفس بشدة بعد الحصاد مباشرة، ثم ينخفض أثناء العلاج وخلال الشهور الأولى من التخزين. وقد أوضحت دراسات Ravi (١٩٩٧) أن معدل التنفس يكون أعلى فى الجذور المخدوشة عما فى المقطوعة حتى عمق ٢-٣ سم.

ويبلغ معدل تنفس جذور البطاطا المعالجة ١٠-١٢ ملليلتر ثانى أكسيد كربون/كجم فى الساعة على ١٥°م.

إنتاج الإثيلين وأضراره

يقل إنتاج جذور البطاطا من الإثيلين عن ٠,١ ميكروليتر/كجم فى الساعة على ٢٠°م.

ويستدل من دراسات Amand & Randle (١٩٨٩) أن الإثيلين يلعب دورًا فى عملية اللجننة وتكوين البيريدرم فى جذور البطاطا المجروحة.

ويزداد معدل إنتاج الإثيلين بشدة فى جذور البطاطا المصابة بالفطر *Ceratosystis fimbriata* مسبب مرض العفن الأسود (Okumura وآخرون ١٩٩٩)، ولدى تعرضها لأضرار البرودة أو التجريح.

ويجب عدم تعريض جذور البطاطا للإثيلين أثناء تخزينها وتداولها بتركيز يزيد عن

جزء واحد فى المليون؛ ذلك لأنه يحفز نشاط إنزيم الألفا أميليز وتمثيل المركبات الفينولية، والإنزيمات المؤكسدة للفينولات التى تزيد من التغيرات اللونية بالجذور، كما يتأثر طعم ولون البطاطا سلبيًّا بعد طهيها. ولذا .. يراعى عدم تخزين البطاطا مع الخضر والفاكهة المنتجة للإثيلين، مثل الموز، والمانجو، والكنتالوب (عن Cantwell & Suslow ٢٠٠٧). هذا .. إلاّ أن التهوية العادية التى ينبغى أن تتوفر فى مخازن البطاطا لا تسمح بتراكم الإثيلين إلى المستويات التى يمكن أن تحدث معها تلك الأضرار (Afek & Kays ٢٠٠٤).

النقص فى الوزن

يرجع معظم النقص فى وزن الجذور أثناء التخزين (جدول ٢-١) إلى الفقد الرطوبى، ويبلغ النقص فى الوزن نحو ٢٪-٦٪ أثناء فترة العلاج، ثم حوالى ٢٪ شهريًّا بعد ذلك أثناء التخزين. ويزيد الفقد الرطوبى بارتفاع درجة حرارة التخزين، وعند نقص الرطوبة النسبية فى المخزن، وفى حالة عدم اكتمال عملية العلاج قبل التخزين. هذا .. ويمكن أن تفقد الجذور ١٠٪ من وزنها الطازج قبل أن تظهر عليها أعراض الذبول.

جدول (٢-١): النسبة المئوية للفقد فى وزن جذور أربعة أصناف من البطاطا خلال العلاج والتخزين لفترات مختلفة.

الفترة	الفقد الكلى فى الوزن (٪) فى أصناف			
	Travis	Centennial	Jaspar	Jewel
العلاج[أ]	٣,٣	٢,٥	٢,٤	٢,١
التخزين[ب]				
٤ أسابيع	٥,١	٣,٨	٣,٩	٣,٤
١٠ أسابيع	٨,٠	٦,٠	٦,١	٥,٤
٣٠ أسبوع	١١,٥	٩,٤	٨,٨	٧,٧
٤٦ أسبوع	١٥,٢	١٢,١	١١,٣	٩,٤

[أ] أجرى العلاج لمدة ١٠ أيام على حرارة ٣٢°م ورطوبة نسبة ٩٠٪

[ب] أجرى التخزين على ١٥,٦°م ورطوبة نسبية ٩٠٪.

وإلى جانب الفقد الرطوبى .. فإن نسبة من الفقد فى الوزن تحدث نتيجة ما يلى:

١- فقدان المادة الجافة؛ نتيجة للتنفس الذى يزداد معدله بارتفاع درجة الحرارة.

٢- تنبيت (تزريع) الجذور، وهو يزداد عند ارتفاع درجة الحرارة عن ١٨°م.

٣- الإصابة بالأعفان، وتكون الإصابة أقل ما يمكن فى حرارة ١٣°م، وهى الدرجة المناسبة للتخزين.

المحتوى الكيميائى

النشا والسكريات

يزداد محتوى الجذور من السكروز، والسكريات الكلية أثناء فترتى العلاج والتخزين، فبينما تكون نسبة السكريات حوالى ٣٪ عند الحصاد .. فإنها تزيد بسرعة كبيرة أثناء فترة العلاج، ثم تستمر زيادتها ببطء أثناء التخزين، إلى أن تصل إلى حوالى ٦٪ بعد ثلاثة شهور من التخزين فى حرارة ١٥°م، ولكن تختلف الأصناف كثيرًا فى تلك الخاصية. وتقل سرعة التحول من النشا إلى سكر، مع ارتفاع درجة الحرارة ما بين ٤، و ٣٠°م.

يشكل السكروز – وحده – حوالى ٦٥٪ من السكريات الكلية، على الرغم من استمرار زيادة تركيز الجلوكوز والفراكتوز بعد العلاج وأثناء التخزين.

وتؤدى تلك الزيادة فى تركيز السكريات إلى زيادة حلاوة الجذور، وزيادة طراوتها عند الأكل.

ويقابل ذلك انخفاض تركيز النشا فى جذور البطاطا – تدريجيًّا – أثناء العلاج، ويستمر ذلك لمدة حوالى خمسة شهور أثناء التخزين.

وبينما يتكون حوالى ٧٥٪ من النشا من الأميلوبكتين عند الحصاد، فإن تلك النسبة تزداد إلى ٨٠٪ – مع ٢٠٪ أميلوز – بعد العلاج.

ولا توجد سوى نسبة بسيطة من الدكسترينات dextrins بالجذور عند الحصاد، ولكن نسبتها تزداد أثناء المعالجة.

وقد درس Picha (١٩٨٦) التغيرات التى تحدث — فى محتوى جذور ستة أصناف من البطاطا — فى المواد الكربوهيدراتية بعد العلاج لمدة ١٠ أيام على ٣٢°م و ٩٠٪ رطوبة نسبية وأثناء التخزين لمدة ٤٦ أسبوعًا على ١٥,٦°م و ٩٠٪ رطوبة نسبية. ووجد ما يلى:

١- ازداد السكروز — وهو السكر الرئيسى فى البطاطا الطازجة — ازداد بشدة أثناء العلاج واستمر فى الزيادة فى أربعة أصناف ذات جذور برتقالية اللون داخليًا على امتدد فترة التخزين، بينما انخفض تركيز السكروز بعد العلاج فى صنفين من ذوات الجذور البيضاء داخليًا، ثم ازداد فيهما بعد ١٤ أسبوعًا من التخزين.

٢- كان تركيز الجلوكوز أعلى قليلاً عن تركيز الفراكتوز فى جميع الأصناف فيما عدا الصنف سنتينيال Centennial الذى تساوى فيه تركيز الجلوكوز والفراكتوز.

وأوضحت دراسات Huang وآخرون (١٩٩٩) حدوث زيادة كبيرة فى نشاط الإنزيم انفرتيز invertase (وهو: <beta>-fructofuranosidase) وفى تركيز السكريات المختزلة فى الجذور التى خزنت لمدة ٧ أسابيع على ٤,٥°م، وذلك مقارنة بالحالة فى تلك التى خزنت على ١٥,٦، أو ٢٤°م. وكان الإنزيم acid invertase أكثر الإنزيمات أهمية فى التأثير على مستوى السكريات المختزلة فى جذور البطاطا المخزنة.

وبينما كانت السكريات الرئيسية فى جذور البطاطا الطازجة هى السكروز، والجلوكوز، والفراكتوز، فإن السكريات الرئيسية فى الجذور المشوية فى الفرن كانت المالتوز، والسكروز، والجلوكوز، والفراكتوز (Picha ١٩٨٥).

هذا .. وتنخفض نسبة المادة الجافة فى الجذور خلال فترات التخزين الطويلة، حيث يفقد النشا فى التنفس.

وقد أظهرت معظم أصناف البطاطا نقصًا بسيطًا فى محتوى النشا خلال ١٨٠ يومًا من التخزين باستثناء الصنف Hi-dry الذى كان النقص فى النشا فيه كبيرًا. وقد ازداد نشاط الألفا أميليز alpha-amylase خلال الشهرين الأول والثانى من التخزين، ثم نقص فى

النشاط إلى أن وصل إلى المستوى الذى كان عليه عند الحصاد، وكان الانخفاض فى محتوى النشا مرتبطًا بنشاط الألفا أميليز خلال الستين يومًا الأولى من التخزين. أما الجلوكوز والسكروز فقد ازداد تركيزهما خلال الفترة الأولى من التخزين، ثم بقيا ثابتين بعد ذلك (Zhang وآخرون ٢٠٠٢).

المواد البكتينية والصلابة

ينخفض محتوى الجذور من المواد البكتينية، كما تنخفض صلابتها بنسبة قد تصل إلى ٤٠٪ خلال الستة شهور الأولى من التخزين. وبينما ينخفض تركيز البروتوبكتين ويزداد تركيز البكتينات الذائبة أثناء العلاج، فإن العكس يحدث أثناء التخزين.

اللون والصبغات الكاروتينية

يزداد تركيز اللون والصبغات الكاروتينية أثناء العلاج وخلال الفترة القصيرة الأولى من التخزين.

حامض الأسكوربيك

ينخفض تركيز حامض الأسكوربيك فى جذور البطاطا خلال العلاج والتخزين (عن Afek & Kays ٢٠٠٤).

المركبات الفينولية ومضادات الأكسدة إجمالاً

أدى تخزين جذور البطاطا على ٥°م إلى زيادة محتواها معنويًا من كل من المركبات الفينولية والنشاط المضاد للأكسدة خلال الأسبوعين الأول والثانى من التخزين فى كل من الجذور التى كانت قد عولجت بعد الحصاد وتلك التى لم تعالج، واستمرت تلك الزيادة بعد ذلك فى الجذور التى لم تعالج فقط، وأحدث تعريض الجذور التى لم تعالج لحرارة ٢٢°م لمدة ٣ أيام بعد ٤ أسابيع من التخزين على ٥°م زيادة معنوية أخرى فى النشاط المضاد للأكسدة، علمًا بأن أضرار البرودة ظهرت على الجذور بعد ٣ أسابيع من التخزين البارد، وخاصة فى تلك التى لم تعالج (Padda & Picha ٢٠٠٧).

أضرار البرودة

تصاب جذور البطاطا بأضرار البرودة chilling injury إذا تعرضت لحرارة تقل عن ١٢°م، وهى الدرجة التى يمكن أن تتعرض لها شتاءً وهى مازالت فى التربة قبل الحصاد، أو أثناء الحصاد والتداول والتخزين فى المخازن العادية غير المتحكم فى حرارتها.

وتظهر أعراض أضرار البرودة على الجذور فى غضون أسبوع واحد فى ٤°م، وتزيد المدة فى درجات الحرارة الأعلى حتى ١٢°م، وتقصر فى درجات الحرارة الأقل حتى درجة التجمد (حوالى -١,٩°م). وتقل الأضرار فى الجذور التى سبق علاجها جيدًا.

ومن أهم أعراض أضرار البرودة، ما يلى:

١- ذبول وتغضن الجذور.

٢- ظهور النقر السطحية.

٣- تكوين بيريدرم الجروح بصورة غير طبيعية.

٤- الإصابة بالأعفان الفطرية.

٥- حدوث تحلل وتلون بنى بالأنسجة الداخلية التى تصبح - كذلك - لبية (مخوخة) pithy. ويرتبط ذلك بتمثيل حامض الكلوروجنك chlorogenic acid والمركبات الفينولية.

٦- فقدان خصائص الجودة الأكلية للبطاطا المشوية بظهور طعم غير مقبول بها، مع صلابة قلبها.

تتوقف شدة الإصابة بأضرار البرودة على شدة الانخفاض فى درجة الحرارة عن ١٢°م ومدة التعرض للحرارة المنخفضة. ولا تظهر أضرار البرودة - عادة - إلا بعد إعادة الجذور للحرارة العالية.

وتتباين أصناف البطاطا قليلاً فى شدة حساسيتها لأضرار البرودة، كما تزداد الحساسية فى الجذور غير المعالجة عما فى الجذور المعالجة (جدول (٢-٢).

ولقد ظهرت أعراض البرودة الخارجية - المتمثلة فى النقر السطحية ثم الإصابة الفطرية - فى جذور ستة أصناف من البطاطا بعد تعرضها لحرارة ٧°م لمدة أسبوعين أو

أكثر من ذلك ثم تخزينها على ١٥,٦°م. وظهرت أعراض أضرار البرودة داخليًّا – وخاصة زيادة دكنة لون الحزم الوعائية – في جذور البطاطا غير المعاملة من الصنفين هوايت ستار Whitestar، وروجو بلانكو Rojo Blanco بعد تعرضها لحرارة ٧°م لمدة ثلاثة أسابيع وفي الصنف سنتينيال Centennial بعد تعرضها لتلك الدرجة لمدة ٤ أسابيع قبل تخزينها على ١٥,٦°م. وكان جول Jewel أكثر الأصناف تحملاً للحرارة المنخفضة. وقد ازدادت أضرار البرودة ومعدل التنفس بزيادة فترة التعرض لحرارة ٧°م، وفي الجذور غير المعالجة عما في الجذور المعالجة (Picha ١٩٨٧).

جدول (٢-٢): نسبة الجذور التي ظهرت عليها أعراض أضرار البرودة في أربعة أصناف من البطاطا بعد فترات مختلفة من التعرض لحرارة ٧,٢°م ثم التخزين لفترات مختلفة على ١٥,٦°م.

المعاملة	الجذور المصابة بأضرار البرودة (٪) في أصناف[أ]			
	Travis	Centennial	Jaspar	Jewel
علاج + أسبوع على ٧,٢°م + ٤ أسابيع على ١٥,٦°م	صفر	صفر	صفر	صفر
علاج + ٢ أسبوع على ٧,٢°م + ٣ أسابيع على ١٥,٦°م	صفر	١١	١١	٦
علاج + ٣ أسابيع على ٧,٢°م + ٢ أسبوع على ١٥,٦°م	٦	٢٥	٢٥	٢٣
علاج + ٤ أسابيع على ٧,٢°م + أسبوع على ١٥,٦°م	٧	٣٦	٣٧	٣٨

[أ] ظهرت أضرار البرودة على مالا يقل عن ١٠٪ من السطح الخارجي للجذر – في صورة نقر سطحية أو عفن فطري – في جميع الجذور التي صنفت على أنها مصابة بأضرار البرودة.

العيوب الفسيولوجية

من أهم هذه العيوب ما يلي:

١- القلب الصلب:

يظهر العيب الفسيولوجي القلب الصلب hardcore بفشل أجزاء من الجذر في أن تصبح طرية أثناء الطهي. ويعتقد بأن تلك الظاهرة تحدث بفعل التعرض للحرارة

المنخفضة على الأغشية الخلوية. وعلى الرغم من قابلية جميع الأصناف للإصابة بالقلب الصلب، فإنها تختلف فى مدى تلك القابلية، وتعد الجذور غير المعالجة أكثر قابلية للإصابة عن الجذور المعالجة.

٢- الفساد والتحلل:

يطلق لفظ الفساد والتحلل souring على الجذور التى تتلف أثناء المعالجة أو التخزين عقب تعرضها – قبل الحصاد – لظروف لاهوائية، تسببها حالة من الرطوبة الأرضية الزائدة. قد تبدو الجذور فى بداية الأمر طبيعية المظهر، ولكنها تتحلل سريعًا أثناء التخزين، وتنطلق منها رائحة حامضية متخمرة واضحة. وإذا لم يُكتمل تحلل الجذور فإنها تنكمش بشدة خلال ما يتبقى من فترة التخزين، وتكون صفاتها الأكلية رديئة.

٣- التحلل الداخلى أو الإسفنجية:

تحدث حالة الإسفنجية pithiness فى جذور تبدو طبيعية المظهر الخارجى، ولكن تقل فيها الكثافة النوعية عن الجذور العادية، وتزداد فيها المسافات الداخلية بين الخلايا إلى أكثر من ١٢٪. وقد أرجعت تلك الحالة إلى حدوث زيادة فى معدلى التنفس والفقد الرطوبى. وتتباين الأصناف فى قابليتها للإصابة. وعندما تكون ظروف المعالجة والتخزين محفزة للأيض السريع فإنها تزيد من التحلل الداخلى internal breakdown والإسفنجية، حيث تُستهلك المواد الكربوهيدراتية سريعًا. كذلك تزداد الظاهرة عند حدوث التبرعم فى المخازن، وعند تعرض الجذور فى التربة – قبل الحصاد – لحرارة منخفضة، مثل ٥-١٠°م. وتختلف الأصناف فى شدة حساسيتها للإصابة بتلك الظاهرة.

٤- التشقق:

قد تظهر التشققات على جذور البطاطا أثناء النمو أو التخزين. وتكون الشقوق التى تظهر أثناء التخزين طولية وقريبة من نهاية الجذر، كما تكون – بصورة عامة – أقل عمقًا من تشققات النمو (Afek & Kays ٢٠٠٤، و Kays ٢٠٠٤).