٦- فى كل من الدرنات الساكنة وغير الساكنة كانت دكنة التحمير أعلى ما يمكن عند تواجد كلا الغازين بأعلى تركيز (Daniels-Lake & Prange ٢٠٠٩).

الظواهر والتغيرات المصاحبة للتخزين

تنفس الدرنات

يعتبر تنفس الدرنات أهم الأنشطة الفسيولوجية التى تحدث فيها؛ وهو نشاط يميز كافة الأنسجة الحية من غير الحية، ويؤثر فى عديد من صفات الجودة.

ويتأثر معدل تنفس الدرنات بالعوامل التالية:

١- درجة النضج: يكون أعلى معدل للتنفس فى الدرنات التى تحصد بعد بداية تكوينها مباشرة، ثم ينخفض معدل التنفس سريعًا فى الدرنات التى تحصد وهى أكبر حجمًا، كما يستمر انخفاض التنفس فى الدرنات التى تحصد وهى فى المراحل القريبة من النضج، وحتى اكتمال النضج.

٢- فترة التخزين: يقل تنفس الدرنات تدريجيًا أثناء التخزين حتى بداية نمو البراعم، ثم يزداد ثانية.

٣- درجة الحرارة: يزيد معدل التنفس بمقدار ضعفين مع كل زيادة قدرها ١٠ درجات مئوية ما بين صفر و ٢٠°م، أى أن الـ Q_{10} = ٢,٠، لكن تقديرات أخرى تشير إلى أنه قد يكون أقل من ذلك.

٤- تركيز غاز الأكسجين: ينخفض معدل التنفس مع انخفاض تركيز الغاز عن المستوى الطبيعى فى الهواء الجوى، وهو ٢٠٪.

٥- تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون: يقل معدل التنفس بزيادة تركيز الغاز.

٦- المركبات المثبطة والمحفزة للنشاط الحيوى: يتأثر معدل التنفس بالنقص أو الزيادة عند المعاملة بهذه المركبات حسب نوعيتها.

٧- الإثيلين: تؤدى المعاملة بالإثيلين إلى زيادة معدل التنفس.

٨- الإشعاع: تؤدى المعاملة بأشعة جاما إلى زيادة مؤقتة فى معدل التنفس، تستمر لمدة أسبوع، ثم تنخفض إلى المعدل الطبيعى بعد ذلك.

٩- نمو البراعم (التنبيت): تصاحب نمو البراعم زيادة كبيرة فى معدل تنفس الدرنات.

١٠- طريقة تداول الدرنات: يؤدى تداول الدرنات بخشونة إلى حدوث زيادة كبيرة فى معدل تنفسها (عن Burton ١٩٧٨).

ويتباين معدل تنفس درنات البطاطس (بالملليجرام ثانى أكسيد كربون لكل كيلوجرام واحد من الدرنات فى الساعة) حسب مدى اكتمال تكوين الدرنات وحرارة التخزين، كما يلى (Voss ٢٠٠٤).

حرارة التخزين (°م)	الدرنات غير المكتملة التكوين	الدرنات المكتملة التكوين
٥	٢٤	٩-١٨
١٠	٣٠-٤٠	١٣-١٩
١٥	٢٥-٥٧	١١-٢٢
٢٠	٣٢-٨١	١٤-٢٩

إنتاج الإثيلين

يكون معدل إنتاج الإثيلين فى البطاطس البلية والمكتملة النمو منخفضًا للغاية، حيث يقل عن ٠,١ ميكروليتر لكل كيلوجرام من الدرنات فى الساعة على ٢٠°م. ويزداد المعدل كثيرًا عن ذلك فى الدرنات المجروحة والمضارة.

ودرنات البطاطس ليست شديدة الحساسية للإثيلين الذى قد تتعرض له من مصادر خارجية. وقد وجد أن التعرض للمستويات المنخفضة من الإثيلين يمكن أن يرفع من معدل التنفس، وبخاصة فى البطاطس غير المكتملة التكوين؛ مما يؤدى إلى فقد فى وزن الدرنات وانكماشها. وبينما يمكن أن تثبط التركيزات المنخفضة للغاز من التبرعم — بعد تخزين البطاطس غير المعاملة بمثبطات التبرعم لمدة ٢-٣ شهور على ٥°م — فإن تعرضها حينئذٍ لتركيزات عالية من الإثيلين قد يستحث التزريع (Voss ٢٠٠٤).

التزريع

يؤدى تزريع الدرنات فى المخازن إلى ما يلى:

١- زيادة فقد الدرنات لرطوبتها؛ ومن ثم انكماشها.

٢- زيادة الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة فى المخازن؛ ومن ثم زيادة مشاكل الأعفان.

٣- زيادة محتوى الدرنات من السكريات المختزلة؛ ومن ثم زيادة التلون البنى فى المنتجات المصنعة.

٤- فقد القيمة التسويقية للدرنات فى حالات التزريع الشديدة.

ويُستدل من الدراسات التى أجريت على سكون درنات البطاطس أن كلا من حامض الأبسيسك والإثيلين ضروريان لأجل حث السكون، ولكن حامض الأبسيسك فقط هو الذى يلزم لاستمرار سكون البراعم. ويبدو أن حدوث زيادة فى كل من محتوى السيتوكينين والحساسية له هما العاملان الرئيسيان اللذان يقودان إلى زوال حالة السكون. أما التغيرات فى محتوى الدرنات من كل من إندول حامض الخليك وحامض الجبريليلك فيبدو أنها أكثر علاقة بتنظيم النمو البرعمى بعد انتهاء حالة السكون (Suttle ٢٠٠٤).

وقد درس Suttle (٢٠٠٤) دور الجبريللينات الطبيعية فى درنات البطاطس فى خروجها من طور الراحة وبدء تنبيتها وذلك فى صنف البطاطس Russet Burbank، ولقد وُجِدَ أن السكون بدأ فى الانتهاء بعد ٩٨ إلى ١٣٤ يومًا من التخزين، حيث أظهرت الدرنات نموًّا محدودًا (< ٢ مم) للنبت. وأعقب ذلك ازدياد ضعف سكون الدرنات حيث ازداد طول النبت بعد ١٨٧ يومًا من التخزين، وانتهى سكون الدرنات تمامًا وكان النبت قويًّا بعد ٢١٢ يومًا من التخزين. وقد ظهر بعد الحصاد مباشرة أن محتوى الدرنات من كل من GA_{19}، و GA_{20}، و GA_1 كان عاليًا نسبيًّا (٠,٤٨–٠,٦٢ نانوجرام/جم وزن طازج)، بينما انخفض تركيزها بين ٣٣، و ٩٣ يومًا من بدء التخزين. وازداد محتوى الدرنات من كل من GA_{19}، و GA_{20}، و GA_1 قليلاً بين ٩٣، و ١٣٥ يومًا من بدء

التخزين، حيث وصل إلى مستويات مماثلة لتلك التى كانت تتواجد فى الدرنات الشديدة السكون بعد الحصاد مباشرة. وقد استمر مستوى تلك الجبريللينات فى الزيادة مع زيادة قوة نمو البراعم. ولم يعثر على أى أثر لكل من الـ GA_4 والـ GA_8 فى أى من الدرنات أيًا كانت حالة سكونها. وقد حفزت المعاملة بالجبريللينات التبرعم فى الدرنات التى كانت قد مرت بالفعل بفترة السكون العميق، وكان GA_1 أشدها تأثيرًا، ثم GA_{20}، ثم GA_{19}. ويستدل من تلك النتائج على أن الجبريللينات لا تلعب دورًا فى التخلص من حالة السكون، وإنما فيما يعقب ذلك من إنبات للبراعم.

فقد الرطوبة

يتأثر فقد الدرنات للرطوبة أثناء تخزينها بالعوامل التالية:

١- معدل التسميد السابقة للحصاد: تبعًا لـ Kolbe وآخرين (١٩٩٥) فإن الفقد فى الوزن فى الدرنات المخزنة على ٤°م ورطوبة نسبية لا تقل عن ٩٠٪ يزداد بزيادة التسميد الآزوتى أو البوتاسى قبل الحصاد، ويقل بزيادة التسميد الفوسفاتى. كذلك وجد Kolsch وآخرون (١٩٩١) أن زيادة التسميد قبل الحصاد أضعفت من جودة البطاطس وصلاحيتها للتخزين، وتسببت فى زيادة معدل التنفس، والفقد الرطوبى، والتبرعم؛ ومن ثم الفقد فى الوزن.

٢- الصنف: تختلف الأصناف فى سرعة فقدها للرطوبة، وربما يرجع ذلك إلى اختلافها فى سمك طبقة البيريدرم.

٣- النضج: يزداد فقد الماء من الدرنات غير الناضجة، ويقل الفقد تدريجيًا مع زيادتها فى النضج.

٤- الجروح والخدوش: يزداد فقد الماء مع زيادة تجريح وخدش الدرنات أثناء تداولها.

٥- البيريدرم: يقلل البيريدرم من فقد الدرنات للرطوبة.

٦- الفرق فى ضغط بخار الماء water vapor pressure deficit بين أنسجة الدرنة والهواء المحيط بها؛ فكلما ازداد هذا الفرق، ازداد فقد الماء من الدرنات.

٧- درجة الحرارة: كلما ارتفعت درجة الحرارة انخفض ضغط بخار الماء فى الهواء المحيط بالدرنات، وازداد فقد الرطوبة تبعًا لذلك.

٨- التهوية: يزداد الفقد الرطوبى مع زيادة التهوية.

٩- التنبيت: يؤدى نمو البراعم وتنبيت الدرنات إلى حدوث زيادة كبيرة فى فقد الماء بالنتح من هذه النموات (عن Burton ١٩٧٨).

انكماش وذبول الدرنات

تنكمش الدرنات وتقل فى الوزن تدريجيًّا مع التخزين؛ ويرجع ذلك إلى حدوث فقد فى كل من الرطوبة والمادة الجافة، إلا أن الفقد فى الرطوبة يكون أكبر. ويصل إلى ٩٠٪ من جملة الفقد فى الوزن، بينما يكون الفقد فى المادة الجافة نتيجة التنفس فى حدود ١٠٪ من الفقد فى الوزن الجاف.

ويزيد الفقد فى الرطوبة فى بداية فترة التخزين؛ بسبب الجروح والتسلخات والكدمات التى تحدث فى بعض الدرنات، ويكون الفقد فى الرطوبة أكبر فى الدرنات غير الناضجة. ومع علاج الدرنات يترسب السيوبرين، ويتكون بيريدرم الجروح، ويقل فقد الدرنات للماء تدريجيًّا. ومع انتهاء فترة العلاج التجفيفى يقل فقد الدرنات للماء بدرجة كبيرة. ولا يوجد فرق بين أصناف البطاطس فى فقدها للرطوبة خلال هذه المرحلة. ومع استمرار التخزين. وبداية تزريع الدرنات يزداد الفقد مرة أخرى؛ نتيجة سهولة تبخر الماء من النموات الجديدة. وتختلف الأصناف كثيرًا، فى بداية تلك المرحلة؛ نتيجة لاختلافها فى طول فترة السكون من جهة، وفى سرعة نمو النبت الذى يزداد فقد الماء من خلاله من جهة أخرى. هذا .. ويزيد فقد الرطوبة أثناء التخزين عند انخفاض الرطوبة النسبية أو ارتفاع درجة الحرارة، أو زيادة التهوية.

يتبع الفقد فى المادة الجافة بالتنفس نفس مسلك الفقد فى الرطوبة؛ فيكون مرتفعًا فى بداية فترة التخزين، ثم ينخفض لفترة حتى بداية التزريع؛ حيث يرتفع معدل التنفس مرة أخرى؛ فبعد الحصاد مباشرة يزيد معدل التنفس فى الدرنات غير

الناضجة عنه فى الدرنات الناضجة؛ وذلك بسبب ارتفاع نسبة سكر السكروز فيها، ولوجود علاقة طردية مباشرة بين نسبة السكروز وسرعة التنفس. وتزيد الأضرار الميكانيكية من سرعة التنفس؛ ومن ثم فإن وسيلة الحصاد تؤثر على سرعة التنفس، لتأثيرها على نسبة الدرنات المصابة بالأضرار الميكانيكية. وبعد انتهاء فترة العلاج تنخفض سرعة التنفس بدرجة كبيرة، لكن العلاقة تبقى طردية بين سرعة التنفس ودرجة حرارة التخزين. ويكون مقدار سكر السكروز المستخدم فى التنفس لكل جرام من درنات البطاطس كما يلى:

حرارة التخزين (°م)	كمية السكروز المستهلكة فى التنفس (ملليجرام/كجم درنات)
صفر	٢,٣
٣	٢,٨
٦	٣,٥
١٠	٤,٥
٢٠	٩,٥

يمكن القول إجمالاً بأن التنفس يؤدى إلى نقص الوزن الجاف للدرنات تحت ظروف التخزين الجيدة بنحو ٠,١٪ من المادة الجافة شهريًا.

ونظرًا لأن الفقد فى الرطوبة يكون بسرعة أكبر من الفقد فى المادة الجافة بالتنفس؛ لذا تتحسن الكثافة النوعية للدرنات مع التخزين. وقد يعتبر انكماش الدرنات قليلاً خسارة أو فائدة للمنتج، ويتوقف ذلك على نوعية الاستعمال المتوقعة للبطاطس المخزنة؛ فعند التخزين لغرض الاستهلاك الطازج يعتبر أى فقد فى الوزن خسارة مباشرة. وإذا زاد الفقد على ١٠٪ تنكمش الدرنات بوضوح، وربما لا يمكن تسويقها، أو ربما يمكن بيعها بأسعار مخفضة. أما عند التخزين لغرض التصنيع، فإن أى فقد فى الرطوبة يُحسن من نوعية الدرنات؛ وذلك بما يُحدثه فقد الرطوبة من زيادة فى الكثافة النوعية، لكن زيادة نسبة الفقد على ١٠٪ تؤدى إلى صعوبة تقشير الدرنات.

الاخضرار

تحدث ظاهرة اخضرار الدرنات لدى تعرضها للضوء، سواء أكان التعرض قبل الحصاد، أم بعده، وهى الظاهرة التى ترجع إلى تمثيل الكلوروفيل بالدرنات تحت تأثير الإضاءة، ويتحدد العمق الذى يصل إليه تمثيل الكلوروفيل فى الدرنة ومدى تركيزه على شدة الإضاءة التى تتعرض لها الدرنات وطول مدة التعرض، وعلى عوامل أخرى من أهمها درجة الكتمال نمو الدرنات حيث تزداد الظاهرة فى البطاطس "البلية". ويكون تمثيل الكلوروفيل مصاحبًا – دائمًا – بتمثيل الجليكو ألاكالويد السام: السولانين solanine.

وقد أدى تعريض درنات البطاطس من ثلاث أصناف لضوء الشمس غير المباشرة لمدة ٢٠ يومًا إلى زيادة محتوى القشرة الخارجية من الكلوروفيل بمقدار ١٠–١٨ ضعفًا ومن الجليكوألكالويدات glycoalkaloids الكلية بنسبة ٨٪ إلى ٥٦٪، إلا أن تلك الزيادة ارتفعت إلى ٢٦٪ حتى ٧٥٪ عندما كان التعرض لضوء الشمس المباشر (Sukumaran وآخرون ١٩٧٥).

أضرار البرودة

أضرار البرودة chilling injury هى تلك التى تصيب الدرنات عند تعرضها لفترة طويلة لحرارة من صفر إلى ٢°م؛ حيث تظهر على الدرنات حالة تسمى التلون الماهوجانى mahogany browning، وفيها تتحلل الأنسجة الداخلية بدرجات مختلفة، فقد تقتصر الإصابة على الحزم الوعائية فقط، وقد تكون الإصابة فى مناطق غير منتظمة بلون بنى ضارب إلى الاحمرار، وتنتشر فى القشرة، والأسطوانة الوعائية، والنخاع أحيانًا .. ومع ازدياد الانخفاض فى درجة الحرارة التى تتعرض لها الدرنات تنهار الأنسجة المصابة تمامًا، ويصبح لونها بنيًّا داكنًا، وتصبح الدرنات أكثر قابلية للإصابة بالعفن الطرى.

وقد تظهر أعراض أضرار البرودة على صورة تحلل شبكى net necrosis؛ حيث

تموت خلايا اللحاء، بينما لا تتأثر الخلايا البرانشيمية المحيطة به التى تكون أقل تأثرًا بالحرارة المنخفضة من خلايا اللحاء. وقد يكون اللحاء المتأثر متناثرًا فى نسيج الدرنة، أو فى أحد جوانب الدرنة (الجانب الذى تعرض للحرارة المنخفضة)، أو قد يكون مركزًا فى منطقة الحزم الوعائية. وتتشابه أعراض التحلل الشبكى تلك – كثيرًا – مع أعراض مماثلة تحدث نتيجة الإصابة بفيرس التفاف أوراق البطاطس، لكن يمكن التمييز بينهما بسهولة بتعريض الأنسجة المصابة للأشعة فوق البنفسجية؛ حيث تظهر الأنسجة المصابة بأضرار البرودة بلون أزرق، بينما تظهر الأنسجة المصابة بالفيرس بلون أخضر.

تختلف الأصناف فى مدى حساسيتها لأضرار البرودة. ومن أكثر الأصناف الأمريكية مقاومة كل من جرين ماونتن Green Mountain، ووارببا Warba (Talburt & Smith ١٩٥٩).

أضرار التجمد

قد تتعرض الدرنات للتجمد وهى مازالت فى الحقل، أو أثناء التخزين فى المخازن المبردة. ويطلق على حالة التجمد فى الحقل اسم frost injury، وتظهر أعراضها على شكل تحلل شبكى للأنسجة، مشابه لأعراض الإصابة بفيرس التفاف الأوراق. أما حالة التجمد فى المخازن، فيطلق عليها اسم freezing injury.

يؤدى تجمد الدرنات إلى تكوين بللورات ثلجية فى أنسجتها، يعقبه موت سريع للأنسجة المتجمدة. ويوجد – عادةً – حد فاصل وواضح بين النسيج المتجمد والنسيج غير المتجمد من الدرنة. وبعد تفكك النسيج، فإن لونه يتغير سريعًا من الأبيض الشاحب إلى الوردى، فالأحمر، فالبنى، أو الرمادى، أو الأسود، ويلى ذلك انهيار خلايا النسيج المصاب وطراوته.

وتتوقف درجة الحرارة التى تتجمد عندها الدرنات على تركيز وطبيعة المواد الذائبة فى العصير الخلوى. وتتراوح درجة حرارة التجمد بين -١، و -٢,٢°م.

وتنخفض درجة الحرارة التى تتجمد عندها الدرنات إذا كان قد سبق تخزينها فى درجة حرارة منخفضة؛ ويرجع ذلك إلى زيادة نسبة السكر فى العصير الخلوى فى هذه الظروف.

وتظهر أضرار التجمد خلال نصف دقيقة من بداية تكوين البلورات الثلجية. وتتوقف شدة الأضرار على مدة التعرض لدرجة التجمد كما يلى:

١- عندما تكون مدة التعرض لدرجة حرارة التجمد قصيرة، تظهر الأعراض على شكل حلقة متقطعة، لونها أسود ضارب إلى الزرقة فى منطقة الحزم الوعائية. ويطلق على هذه الأعراض اسم التحلل الشبكى net necrosis.

٢- مع ازدياد فترة التعرض لدرجة حرارة التجمد تمتد الأعراض إلى النخاع.

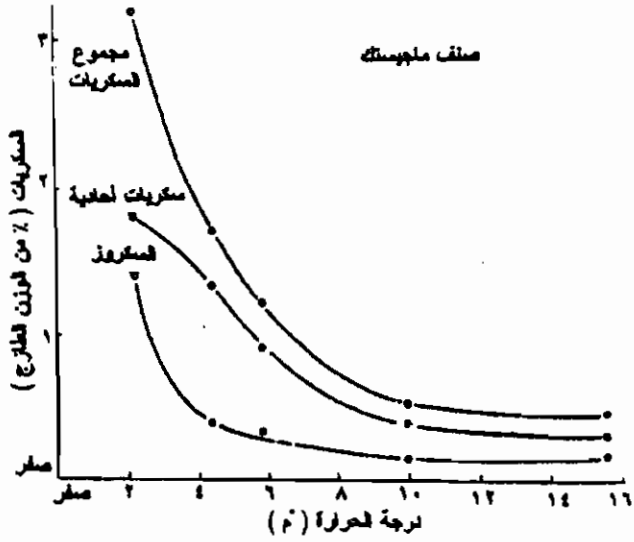
٣- مع استمرار التعرض لدرجة حرارة التجمد لمدة ساعة تظهر بالدرنات من الداخل مناطق متداخلة غير منتظمة الشكل، وسوداء اللون.

٤- إذا استمرت فترة تعرض الدرنات لدرجة حرارة التجمد أربع أو خمس ساعات، فإنها تصبح مائية المظهر، وسميكة، وتخرج منها سوائل.

زيادة نسبة السكريات

تأثير درجة حرارة التخزين فى نسبة السكريات

تزداد نسبة السكريات فى درنات جميع أصناف البطاطس عند تخزينها فى درجات الحرارة المنخفضة. ويزداد تراكم السكر مع الانخفاض فى درجة الحرارة. ويبين شكل (١-٧) العلاقة بين درجة حرارة التخزين، ونسبة كل من السكريات الأحادية. والسكروز فى الدرنات. ويتضح من الشكل أن نسبة السكريات تزداد كثيرًا فى حرارة ٤°م، وهى الدرجة التى يوصى بها لتخزين البطاطس لأطول فترة ممكنة، وأن انخفاض حرارة التخزين عن ٤°م يؤدى إلى ارتفاع حادّ فى نسبة السكروز والسكريات الأحادية، وتعرف هذه الظاهرة باسم زيادة الحلاوة المصاحبة للحرارة المنخفضة low temperature sweetening.



شكل (١-٧): العلاقة بين درجة حرارة التخزين، ونسبة كل من السكريات الأحادية والسكروز فى الدرنات.

المشاكل المترتبة على زيادة نسبة السكريات

قد يعد المحتوى العالى للدرنات من السكروز أحد العوامل غير المباشرة التى تُسهم فى دكنة لون الشبس المصنع منها؛ نظرًا لأن السكروز يعد مصدرًا هامًّا لتراكم السكريات المختزلة عند تخزين البطاطس فى حرارة منخفضة (Clegg & Chapman ١٩٦٢).

ولقد سبقت الإشارة إلى أن تراكم السكر فى درنات البطاطس هو المسئول عن ظهور اللون البنى غير المرغوب فيه فى الشبس والبطاطس المقلية؛ فيما يعرف بالتفاعل البنى Browning Reaction الذى تشارك فيه السكريات المختزلة، وتفاعل ميلارد Millard Reaction الذى تلزم له مركبات أخرى؛ مثل الأحماض الأمينية التى تتوفر دائمًا فى درنات البطاطس؛ مما يجعلها عاملاً غير محدد لسرعة هذه التفاعلات؛ وبذا يبقى تركيز السكريات المختزلة هو العامل المسئول عن التلون باللون البنى عند القلى.

هذا .. إلا أن دراسات Brierley وآخرين (١٩٩٦) أوضحت أن الأحماض الأمينية الحرة والبروتين الذائب ازدادا مع التخزين على ٥°م أو ١٠°م لمدة ٤٠ أسبوعًا، وأن معظم الزيادة حدثت خلال الفترة الأخيرة من التخزين. وإلى جانب تردى لون الشبس المصنع من الدرنات التى خزنت على ١٠°م – الأمر الذى لم يمكن تفسيره على أساس الزيادة فى نسبة السكريات المختزلة تحت هذه الظروف – فإن إعادة تهيئة الدرنات على ٢٠°م لم يؤثر على مستوى الأحماض الأمينية والبروتينات الحرة – الذى ارتفع خلال الفترة الأخيرة من التخزين – الأمر الذى قلل من أهمية إعادة التهيئة فى تحسين لون الشبس المصنع من الدرنات؛ لتواجد الأحماض الأمينية للتفاعل مع أية كمية متراكمة من السكريات المختزلة.

ولقد درس Ohara-Takada وآخرون (٢٠٠٥) التغيرات فى محتوى درنات البطاطس من السكر والأحماض الأمينية أثناء التخزين وتأثير ذلك على مستوى الأكريلميد acrylamide فى الشبس بعد التحمير، ووجدوا أن مستوى الأكريلميد بدأ فى الزيادة بعد ثلاثة أيام من التخزين على ٢°م استجابة لزيادة حدثت فى محتوى الدرنات من كل من الجلوكوز والفراكتوز. ووجد ارتباط قوى بين محتوى السكريات المختزلة ومستوى الأكريليمد (R^2 = ٠,٨٧٣ للفراكتوز، و R^2 = ٠,٨٣٦ للجلوكوز). أما محتوى الدرنات من السكروز فقد استمر فى الانخفاض حتى بعد ٤ أسابيع من التخزين؛ ولم يكن مرتبطًا بمستوى الأكريلميد. كذلك لم يُظهر محتوى الدرنات من أربعة أحماض أمينية – هى حامض الأسبارتك، والأسباراجين، والجلوتامك، والجلوتامين – أى ارتباط جوهرى بمستوى الأكريلميد. وتعنى تلك النتائج أن مستوى الأكريلميد – الذى يرتبط جيدًا بلون الشبس – يعتمد على محتوى الدرنات من السكريات المختزلة ويرتبط بها.

تباين الأصناف فى شدة حساسيتها لظاهرة تراكم السكريات

تتباين أصناف البطاطس فى سرعة تراكم السكر فى درناتها أثناء تخزينها فى حرارة منخفضة؛ فمثلاً يكون تراكم السكر فى الدرنات الصنف مين شب MainChip فى

الحرارة المنخفضة بطيئًا إلى درجة أنها يمكن أن تُصنع فى صورة شبس مباشرة بعد تخزينها على ٧°م، دونما حاجة إلى إخضاعها إلى عملية إعادة التهيئة reconditioning فى الحرارة العالية نسبيًا. كما أن عملية إعادة التهيئة يمكن أن تجرى لها بسهولة عند الضرورة (Reeves وآخرون ١٩٩٤). كذلك يعتبر الصنفان برودك Brodick، وعدن Eden قليلى التأثر بالحرارة المنخفضة، حيث يظل محتواهما من السكريات ثابتًا نسبيًا، بينما يزداد السكر بشدة فى الحرارة المنخفضة فى أصناف مثل ركورد Record وبنتلاند دل Pentland Dell (Cottrell وآخرون ١٩٩٣).

الأساس الفسيولوجى للظاهرة

يستدل من دراسات Claassen وآخرين (١٩٩٣) على الصنف بنجى Bintje الذى يتراكم السكر فى درناته فى الحرارة المنخفضة، والسلالة KW77-2916 التى يقل فيها هذا التراكم .. يستدل منها على أن الزيادة فى نشاط إنزيم الفوسفوريليز phosphorylase التى تحدث فى الحرارة المنخفضة (٢ أو ٤°م) تقدح عملية تراكم السكر فى الدرنات أثناء التخزين.

وقد وجد أن الحرارة المنخفضة ٤°م تسرع من تلف أغشية الأميلوبلاستيدات Amyloplasts (البلاستيدات المخزنة للنشا)؛ بدرجة أكبر فى صنف البطاطس نورشب Norchip الحساس لتراكم السكريات فى درناته فى الحرارة المنخفضة — مما فى صنف DT860-2 المقاوم لظاهرة تراكم السكريات فى درناته أثناء التخزين البارد؛ الأمر الذى يفيد احتمال وجود علاقة بين حساسية أغشية الأميلوبلاستيدات وتراكم السكريات فى درنات البطاطس (O'Donoghue وآخرون ١٩٩٥)، وخاصة أن أصناف البطاطس تختلف فى حساسيتها لظاهرة تراكم السكريات فى درناتها فى ظروف الحرارة المنخفضة، بينما لا تتحكم إنزيمات الـ invertases فى ذلك التراكم (Zenner وآخرون ١٩٩٦). كما لم تختلف الأصناف — التى تتباين فى حساسيتها لتراكم السكريات فى درناتها فى الحرارة المنخفضة — لم تختلف فى نشاط إنزيمات: ألفا أميليز alpha-amylase، وبيتا أميليز beta-amylase، والـ debranching enzyme (Cottrell وآخرون ١٩٩٣).

وقد وجد أن تخزين درنات البطاطس من الصنف رَصت بربانك على ١°م لمدة ٢٨ يومًا أدى إلى زيادة محتواها من كل من السكروز والجلوكوز والفراكتوز، وصاحب ذلك زيادة فى نشاط كلا من الإنزيمين sucrose phosphate synthase (اختصارًا: SPS) – بمقدار ٢,٢ ضعف – و β-fructofuranosidase (سابقًا: invertase بمقدار ٧,٢ ضعف، بينما ظل نشاط الإنزيم sucrose synthase (اختصارًا: SS) ثابتًا خلال فترة التخزين البارد، ولم يختلف نشاطه عما فى درنات خزنت على ١٠°م. وعندما أعقب التخزين البارد على ١°م تهيئة للدرنات – بتخزينها على ١٠°م – حدثت زيادة أولية حادة فى معدل التنفس وصلت إلى ذروتها بعد حوالى ٧ أيام، أعقبها انخفاض تدريجى. كذلك انخفض تركيز السكروز سريعًا خلال فترة وضع الدرنات على ١٠°م، بينما كان الانخفاض فى تركيز الجلوكوز والفراكتوز أقل حدة. وقد كانت تلك التغيرات مصاحبة بزيادة حادة فى نشاط الـ SS وصلت ذروتها بعد ٧ أيام من التخزين على ١٠°م. أعقبها انخفاض تدريجى إلى أن وصل نشاطه إلى مستوى النشاط فى درنات الكنترول. أما نشاط الـ SPS والإنفرتيز فقد انخفض أثناء فترة التهيئة إلى أن وصل إلى مستوى النشاط فى درنات الكنترول بعد ١٥ يومًا (Illeperuma وآخرون ١٩٩٨).

وبالإضافة إلى زيادة محتوى الدرنات من السكريات المختزلة أثناء تخزينها على ٤°م، فإن الـ pH ينخفض بصورة واضحة ويزداد نشاط إنزيم الفوسفورليز phosphorylase. وتؤدى تهيئة الدرنات على ٢١°م – بعد تخزينها على ٤°م – إلى خفض محتواها من السكريات وارتفاع رقمها الأيدروجينى وتحسن لون الشبس المصنع منها. والجدير بالذكر أن إنزيم الفوسفورليز يعمل على تحلل النشا؛ مما قد يجعله مؤثرًا فى محتوى السكر ودكنة لون الشبس. وقد وجد أن pH عصير الدرنات يرتبط سلبيًا بمحتواها من السكر، ويعد دليلاً جيدًا لتقدير جودة الشبس التى يمكن أن تُصنَّع منها (Hyde & Morrison ١٩٦٤).

انخفاض نسبة النشا

تنخفض نسبة النشا فى درنات البطاطس عند تخزينها فى درجات حرارة منخفضة؛

بسبب زيادة معدلات تحوله إلى سكر فى هذه الظروف، بينما قد تزداد نسبة النشا عند التخزين فى درجات الحرارة المرتفعة؛ بسبب زيادة معدلات فقد الرطوبة فى هذه الظروف، وزيادة نسبة المادة الجافة تبعًا لذلك. ولا تتأثر الخواص الطبيعية للنشا بدرجة حرارة التخزين، لكن حبيبات النشا قد تقل فى الحجم بازدياد فترة التخزين؛ بغض النظر عن درجة الحرارة.

التغيرات فى الكاروتينات

يتأثر محتوى الدرنات من الكاروتينات بكل من فترة وحرارة التخزين، وأيضًا بمعاملة الإشعاع لمنع التزريع. فقد وجد أن محتوى الكاروتينات يزداد فى درنات جميع الأصناف المختبرة المخزنة على ٢٥-٣٠°م، وبدرجة أقل على ٢-٤°م أو ١٥°م. وعندما عوملت الدرنات قبل تخزينها بأشعة جاما بجرعة مقدارها ١٠ كيلوراد انخفض محتواها من الكاروتينات أثناء التخزين، وبخاصة على حرارة ١٥°م، حيث بلغ الفقد ٥٠٪ بعد ستة شهور من التخزين. وعندما تمت تهيئة الدرنات التى عوملت بالإشعاع وخزنت على ١٥°م لمدة ٧ شهور (وذلك بوضعها على ٣٤-٣٥°م لمدة ٦-١٢ يومًا) تضاعف محتواها من الكاروتينات بمقدار الضعفين إلى الستة أضعاف (Janave & Thomas ١٩٧٩).

التغيرات فى بعض المركبات الأخرى

١- المركبات النيتروجينية: لا تحدث أى تغيرات فى المركبات النيتروجينية إلا عند بداية نمو البراعم؛ حيث يزيد البرولين، وينتقل إلى النموات الحديثة.

٢- المركبات الفينولية: يزيد حامض الكلوروجينك فى البراعم أثناء التخزين وفى الخلايا المجاورة للجروح. ويزيد التيروزين — وهو أحد المركبات النيتروجينية أيضًا — عند تعرض الدرنات للخدش أو التجريح.

٣- الكلوروفيل: يتكون الكلوروفيل فى الخلايا السطحية إذا تعرضت الدرنات للضوء.

٤- الجليكوألكالويدات glycoalkaloides: تزداد هى الأخرى عند تعرض الدرنات للضوء.

٥- التربينويدات terpenoides: أهمها: الريشتين rishitin والفيتيوبيرين phytuberin، وقد يصل تركيزها فى الدرنات المصابة بالأمراض إلى ملليجرام واحد لكل جرام من الوزن الطازج. ويزداد التركيز عند الإصابة ببعض الفطريات، مثل الفطر المسبب لمرض الندوة المتأخرة، والبكتيريا المسببة لمرض التعفن البكتيرى الطرى.

٦- فيتامين جـ: يقل تركيز فيتامين جـ كثيرًا أثناء التخزين من نحو ٣٠ ملليجرام/١٠٠جم عند الحصاد إلى حوالى ١٠ ملليجرام/١٠٠جم بعد أشهر قليلة من التخزين، لكن ثلثا الفقد فى فيتامين ج يكون خلال الثلاثة أو الأربعة أسابيع الأولى من التخزين.

وقد أدى التخزين لمدة ستة أسابيع على حرارة ٣٠°م إلى انخفاض محتوى درنات أربعة أصناف من البطاطس من فيتامين جـ بنحو ٥٠٪ فى المتوسط، واستمر الانخفاض بعد ذلك – ولكن بدرجة أقل خلال فترة إعادة التهيئة التى أعقبت التخزين البارد ودامت لمدة أسبوعين على حرارة ٢٥°م (Okeyo & Kushad ١٩٩٥).

أما الفيتامينات الأخرى .. فيبدو أنها لا تتأثر بحرارة التخزين.

التصدير والشحن

تصدر البطاطس إلى كل من الدول الأوروبية – خاصة إنجلترا – والدول العربية. ومعظم البطاطس المصدرة إلى إنجلترا هى من البطاطس الجديدة new potatoes (البلية) التى تحصد قبل تمام نضجها ويقل قطر درناتها عن ٣ سم، وترتفع فيها نسبة الرطوبة كثيرًا، حيث تبلغ كثافتها النوعية حوالى ١,٠٨، ولا تلتصق قشرتها بالدرنة.

تصدر البطاطس البلية فى أجولة من الجوت المبطن بالبولى إيثيلين الأسود المثقب سعة ٢٢ كجم. وتخلط درنات كل جوال بنحو كيلوجرام واحد من البيت موس المندى بنحو لتر ونصف من الماء، حتى تحتفظ برطوبتها خلال فترة الشحن التى تستغرق ٢-٣ أسابيع، والتى تكون فى ثلاجات على حرارة من ٣°-٥°م.