التغيرات الكيميائية والطبيعية والغذائية التى تحدث للحبوب أثناء الخزن

المهندسين الزراعيين

عبد الحكيم محمد كامل ، وعبد الفتاح عبد الحافظ سليم

تحدث بعض التغيرات الكيماوية الملحوظة فى القيمة الغذائية للحبوب ونواتج طحنها بصرف النظر عن طريقة خزنها ، كما أن هذه التغيرات لها تأثير سيء على نوع النواتج وصفاتها . وبصفة عامة كلما كانت ظروف الخزن مؤاتية قلت التغييرات التى تؤدى إلى التدهور إلى حد بعيد، إذ أنه فى ظروف ملائمة خزنت فيها بعض أنواع الحبوب لسنوات عديدة كانت التغييرات الحادثة قليلة، وأمكن استعمال هذه الحبوب كغذاء مقبول، سواء كان ذلك للإنسان أو للحيوان، وعلى العكس من ذلك إذا كانت ظروف الخزن غير ملائمة فإن ذلك يكون سبباً فى تلف الحبوب تلفا كاملا فى فترة وجيزة .

العوامل التى تدعو الى تدهور الحبوب

من أهم العوامل المعروفة التى تدعو إلى تدهور الحبوب ومنتوجاتها هى الرطوبة والحرارة والأوكسجين وحالة الحبوب . وسنتكلم على كل من هذه العوامل على حدة :

الرطوبة : تعتبر الرطوبة أهم هذه العوامل أثرا، فإذا أمكن المحافظة على المحتويات المائية فى مستوى منخفض بدرجة كافية أمكن خزن الحبوب لسنوات عديدة دون

---

* المهندس الزراعى عبد الحكيم محمد كامل : مدير قسم بحوث آفات الحبوب والمواد المخزونة ، بوزارة الزراعة .

* المهندس الزراعى عبد الفتاح عبد الحافظ سليم ، معيد بقسم وقاية النباتات ، كلية الزراعة ، جامعة عين شمس .

حدوث تدهور كبير ، حتى لو كانت ظروف الخزن الأخرى غير ملائمة ، وعادة ما تحصد الحبوب بمحتويات مائية أعلى من الدرجة الحرجة للخزن المأمون ، وتوجد استحالة مادية فى تحديد هذه الدرجة الحرجة إذ توجد عوامل أخرى عديدة لها أثر هام على حفظ صفات الحبوب ومنتوجاتها .

والتدهور الناشىء عن ارتفاع الرطوبة يثير الدهشة فى بعض الأحيان ، حتى إذا كانت الحبوب المخزونة بدرجة رطوبة فى حدودها الأمينة مع تجانسها التام ، وتحدث هذه الظاهرة عندما يكون هناك تغيرات ملحوظة فى الحرارة — فى أماكن مختلفة — من حيز الخزن ، وتميل الرطوبة النسبية فى الهواء البيئى أن تبقى فى توازن مع الرطوبة فى الحبوب ، وقد وجد بصفة عامة أن السكمية الفعلية من بخار الماء لكل قدم مكعب من الهواء تتزايد بزيادة درجة الحرارة ، ويكون الهواء فى حيز الخزن فى حركة مستمرة نتيجة للانتشار أو الطرد ، فبينما يصل الهواء من منطقة ساخنة فى الحبوب إلى منطقة باردة ، فإنه يعطى بعضا من رطوبة إلى الحبوب ، حتى يمكن المحافظة على التوازن المناسب . ويحدث هذا التبادل الرطوبى عادة فى الصورة البخارية ، ولكنه فى بعض الأحيان عندما يصل الهواء الساخن إلى منطقة باردة فى حيز الخزن ، قد يبرد إلى ما تحت نقطة الندى وبذا يتكثف الماء على الأسطح الباردة من الحبوب أو الحوائط ، وهكذا فإن الرطوبة تنتقل من المناطق الأدفأ إلى المناطق الأكثر برودة من الحبوب المخزونة ، ويحدث التلف نتيجة للرطوبة الزائدة فى بعض أجزاء حيز الخزن حتى بالرغم من عدم احتواء الحبوب أصلا عند خزنها على رطوبة كافية تشجع على حدوث التلف . وينشأ التدرج الحرارى فى الحبوب المخزونة بصفة رئيسية من الحوائط نتيجة لتعرضها للحرارة الجوية الخارجية ، ومن تنفس الحشرات فى بعض الحبوب الموجودة فى الحبوب المخزنة . ويؤدى هذان العاملان إلى تحول فى انتقال الرطوبة مصحوبة بطبيعة الحال بتغيرات متدهورة ناتجة عن التراكم الموضعى للرطوبة الزائدة .

الحرارة : تحتفظ الأغذية والمواد الحية بجودتها عند حفظها على درجات حرارة منخفضة عنها فى درجات حرارة مرتفعة وخاصة عند احتوائها على نسبة عالية من الرطوبة ، ذلك بأن سرعة التفاعلات الكيماوية تزداد بزيادة درجة الحرارة

حتى لو كانت هذه التفاعلات مبنية بصفة أساسية على فعل الأنزيمات ، ولكنه عندما تكون درجة الحرارة عالية بدرجة كافية يثبط فعل الأنزيمات ، وتموت الكائنات الحية ، ويتسبب عن ذلك نقص ملحوظ فى سرعة التفاعلات الكيماوية ، وعلى ذلك فعندما تكون المحتويات المائية للحبوب غير ملائمة للخزن على درجة حرارة الصيف فإنه يمكن خزنها فى درجات حرارة منخفضة تمثل فصل الشتاء ، أما الالتجاء إلى التحقيم على درجات حرارة مرتفعة لقتل الفطر والبكتريا والكائنات الأخرى التى يمكن أن تكون موجودة ، والتى تؤدى إلى تثبيط النشاط الأنزيمى ، فمن المعتاد اتباعه عمليا فقط عندما تخزن هذه المواد لا هوائيا ، حيث لا توجد فرصة لإعادة التلوث بالكائنات التى تنشط أو تشجع على التلف ، ولا يمكن بطبيعة الحال اتباع هذه الطريقة فى تحقيم الدقيق حيث تتأثر صفات الخبيز بالحرارة المرتفعة ، إذ تغير الحرارة طبيعة البروتين تغيرا كبيرا .

مصدر الأوكسجين : حيث إن التنفس الهوائى للحبوب والكائنات الدنيا المرتبطة بها عبارة عن عملية تشتمل على استهلاك الأوكسجين وانطلاق ثانى أكسيد الكربون ، لذلك فإن العملية يتحكم فيها المصدر الأوكسجينى ، ففى حالة الحبيز المغلق الذى يحتوى على حبوب فإنه كلما زاد تركيز ثانى أوكسيد الكربون تناقص تركيز الأوكسجين ، ويميل بذلك معدل التنفس إلى الانخفاض . أما إذا توافرت الكمية المناسبة من الأوكسجين فإن ذلك على عكس ماسبق يؤدى إلى زيادة فى التنفس ، فإذا كان معدل التنفس عاليا بدرجة كافية فإن الحرارة الناتجة عن هذه العملية تفوق تلك المفقودة ، مما يؤدى إلى حدوث سخونة فى الحبوب ، ولذلك (عند تهوية الحبوب الساخنة لخفض حرارتها) فإن التأثير المفيد الذى يمكن أن يحصل عليه قد يكون أكبر بكثير تحت بعض الظروف من أن يكون عاملا وقائيا بالتخلص من ثانى أكسيد الكربون المتراكم ، حيث يزيد المدد الأوكسيجينى ، وهذا يؤدى إلى زيادة عملية التنفس ونشاطها ، أو بمعنى آخر إلى رفع السخونة . أما إذا استخدم هواء ذو رطوبة نسبية منخفضة فى عملية التهوية فإن هناك عاملا آخر سيدخل حسابه ، حيث إن الرطوبة فى الحبة ستنخفض ، وهذا يؤدى إلى نقص فى معدل التنفس . وتهوية الحبوب — حتى باستخدام هواء جاف — قد يصاحبه على أى حال أخطار غير متوقعة ، فإذا مر تيار هوائى قوى خلال صومعة بها

حبوب باردة فإن الحبوب التى تقارب مدخل الهواء سوف تجف بسرعة ويحمل الهواء كميات لابأس بها من الرطوبة ، بينما يظل ساخنا . وحينما يبرد الهواء أخيراً بتأثير الحبوب الباردة فإن رطوبته سوف تنفرد وتصبح حرة ، وعلى هذا فإن هذه العملية على الأقل من الوجهة النظرية من الممكن أن تزيد رطوبة الحبوب فى مواضع معينة فى الصومعة ، حتى لو أدت هذه العملية إلى الخفض العام فى متوسط رطوبة الحبوب . وبخزن الحبوب فى صوامع محكمة الغلق فى أجواء خالية من الأوكسجين يكون تنفس الفطر ونموه معوقا إلى حد بعيد ، ولا يمكن للحشرات أو القوارض أن تحيا تحت هذه الظروف ، ولكنه قد يحدث تدهور فى تلك الحبوب إذا كانت محتوية على نسبة عالية نوعا من الرطوبة ، ويرجع ذلك أساسا إلى التحللات والتخمرات ونشاط الكائنات اللاهوائية التى أمكنها أن تستمر فى نموها على حبوب الذرة فى الغياب الكامل للأوكسجين .

حالة الحبوب :

يتأثر التنفس وكذا تدهور الحبوب ونواتجها أثنـــاء الخزن بحالة الحبوب أوسلامتها ، وهذا أحد الأسباب الرئيسية التى يتوقف عليها تحديد حد أقصى أمين للرطوبة اللازمة لخزن الحبوب ونواتجها ، وقد أثبت « بيلى وجوجار » أن معدل التنفس تحت ظروف محددة من الحرارة والرطوبة والمدد الأوكسجينى ، كان أكبر بدرجة واضحة فى حالة الحبوب غير السليمة . ومما يؤيد الشائع من الملاحظات أن الحبوب التالفة أكثر عرضة للسخونة من الحبوب السليمة . ومن المرجح أن يكون سبب ذلك أن الحبوب غير السليمة أكثر إعالة لأعداد كثيرة من جراثيم الفطريات والبكتريا . ومن المعتقد أنه يوجد من الكائنات الدنيا هذه على الحبوب المكسورة نسبة أكبر بكثير من الموجودة على الحبوب السليمة ، وعلى ذلك فإن معدل التنفس فى الحبوب المكسورة يفوق كثيراً معدل تنفس الحبوب السليمة . ويعتقد «ملتر وجدين» أن المواد الغذائية اللازمة لنمو الفطر والبكتريا تكون أكثر تناولا ويسراً فى حاله الحبوب التالفة ، حتى إذا احتوت على نسبة منخفضة من المحتويات المائية .

وقد لوحظ أن التوصل الكهربى فى الحبوب المكسورة يكون أعلى منه فى حالة

الحبوب السليمة وذلك عند تساوى المحتويات المائية فى كل منهما ، وقد يعزى ذلك إلى أن الحبوب التى تأخذ فى التحلل (التدهور) يكون الجزء المرتبط من رطوبتها بالبروتين آخذاً فى التحلل التدريجى وينتج عن ذلك ماء حر منفرد يرفع المحتويات المائية للحبة ، دون تغيير فى المحتويات المائية الكلية ، مما يسبب الزيادة الملحوظة فى التوصيل الكهربى ، حيث إن الحبوب التى تحتوى عن أقل من ٥ ٪ رطوبة ليس لها تقريبا درجة توصيل كهربى يمكن قياسها ، ولا يساعد الماء المرتبط بشدة فى الحبوب على مرور التيار الكهربى ، كما يمكن لهذه الظاهرة أن تفسر الزيادة من إمكان حصول الكائنات الدقيقة على المواد الغذائية التى تساعد على نموها فى الحبوب غير السليمة ، وتعتمد الرطوبة النسبية فى الهواء على الرطوبة الحرة بالحبوب أكثر من اعتمادها على الرطوبة الكلية ، وحيث إن النشاط التنفسى الذى يصاحب نمو العفن يعتمد بدوره على الرطوبة النسبية فى الهواء ، فإنه يتبع ذلك زيادة كبيرة فى نسبة الماء الحر إلى الماء المرتبط ، والتى قد توضح فى جزء من ذلك التنفس السريع الزائد فى الحبوب غير السليمة عند أى مستوى رطوبى ، وكذا اتجاهها الزائد إلى السخونة المفاجئة ، ولهذه الأسباب مجتمعة يستنتج أن خاصية التوصيل الكهربى فى الحبوب قد تكون أوضح دلالة من المحتويات الرطوبية على سلوك هذه الحبوب أثناء الخزن .

أنواع التغييرات التى تحدث للحبوب أثناء الخزن

التغييرات فى الكربوهيدرات : يهاجم الألفا والبيتا أميليزات نشا الحبوب ومنتجاتها أثناء الخزن ويحولها إلى ديكسترين ومالتوز . وقد أشار « بوبوف » وآخرون إلى نشاط أنزيم الأميليز فى القمح . وقد أوضح أنه يزيد فى المراحل الأولى من الخزن ، كما قد لوحظ زيادة فى الوزن الجاف للحبوب المخزونة تحت ظروف خاصة . وقد فسر «جروس» هذه الظاهرة بأن الماء يستهلك فى التفاعلات التى تدخل فى التحلل المائى للنشا ، ولذا فإن الوزن الجاف لنواتج التحلل المائى للنشا يكون أكبر من الوزن الجاف للنشا الأصلى . وبالرغم من أنه من المتوقع نتيجة لهذا التحلل المائى زيادة واضحة فى السكريات المختزلة للحبوب ، إلا أن الظروف التى تلائم تحلل النشا تلائم أيضاً النشاط التنفسى ، حيث تستهلك السكريات متحولة

إلى ثانى أكسيد كربون وماء ، وتحت هذه الظروف التى تحدث عادة عندما تكون المحتويات المائية ١٥ ٪ أو أكثر فإن الحبوب تفقد كلا من النشا والسكر ويتناقص الوزن الجاف . وقد ذكر « ليفيت وآخرون » أن السكريات الكلية فى القمح تميل بصفة عامة إلى الزيادة أثناء الخزن . وقد أشار « ميلنر وجيدس » إلى اختفاء السكريات فى فول الصويا الذى يتعرض للسخونة المتسببة حيويا ، ولكنه عندما تكون السخونة متقدمة وقد وصلت إلى مرحلتها غير الحيوية نتيجة للأكسدة الكيماوية فإنه يحدث عند ذلك زيادة فى السكريات المختزلة . وقد أوضح « بوتوملى وآخرون » اختفاء السكريات غير المختزلة فى الذرة المخزونة تحت ظروف ملائمة للتدهور . وقد أخذت عينات من حبوب مخزنة فى مقابر قدماء المصريين حوالى ٣٠٠٠ سنة ، ووجد « جيدس » أنها تحتوى على ديكسترينات وكمية لا بأس بها من السكريات المختزلة ، ويبدو أن هذا يوضح أن نشاط أنزيم الأميليز يستمر حتى بعد أن تصبح الحبوب فى حالة من غير الممكن أن تستمر فيها عملية التنفس ، وتحدث فى درجات الرطوبة العالية عملية تخمر ، وينتج عنها كحول وحامض خليك ، وما ينتج عن ذلك من روائح مميزة .

ويؤثر الخزن السيء للذرة الرطبة تأثيراً سيئاً إذ يؤدى إلى صعوبة فصل النشا فصلا جيداً عن مكونات الحبة وذلك بالرغم من عدم وجود أى تلف ظاهر . وتشير الدراسات التى أجريت على الطحن المبتل للذرة إلى أن ناتج النشا لا يتعدى ٤٥ ٪ مما ينتجه الذرة العادى ، وأن معلقات النشا فى الماء منخفضة جداً ، وفى بعض الأحيان تبدو حبيبات النشا مشققة إلى أجزاء انسيابية Wedge shaped fragments .

ومن ناحية القيمة الغذائية فقد ذكر « سريتيفا سان » أن الأرز الحديث الحصاد لا يهضم بسهولة مثل الأرز الذى خزن لفترة من الزمن ، ويحتوى الأرز الحديث الحصاد على الألفا اميليز ، الذى يسبب لزوجة الأرز عند طهيه ، ويبدو أن هذا الأنزيم يقل نشاطه أثناء الخزن .

التغييرات فى البروتين : بالرغم من أن المحتويات البروتينية الكلية للحبوب مقدرة على هيئة نيتروجين يفترض بقاؤها دون تغيير أثناء الخزن ، فقد أوضح « شت » أن هناك زيادة مضطردة ضئيلة فى محتويات القمح من البروتين خلال

الخزن الطويل المدى ، وهذه الزيادة مقدرة على أساس نسبة مئوية — مما لا شك فيه — نتيجة للنقص فى الكربوهيدرات نتيجة للتنفس . وفى عينة أخرى من الشعير أخذت من كهف فى آسيا الصغرى (٣٠٠٠ — ٥٠٠٠ سنة عمراً) وجد أنها تحتوى على ٣,٢ ٪ نتروجين ، وهذا ما يوازى ٢٠ ٪ من البروتين ، على أساس الوزن الجاف، وبمقارنة هذا الرقم بمتوسط المحتوى البروتينى للشعير الحديث نجد أنه يحتوى على نسبة قد تصل إلى ١٢ ٪ . وقد لوحظ أن الشعير القديم قد اسود لونه بمضى الزمن ، كما أصبح خفيفا فى الوزن وهشا ، بالرغم من بقاء الشكل المميز للحبة . واحتواء هذه الحبوب على البروتين أمر مشكوك فيه. ومن المحتمل وجود النتروجين فى صور أخرى، ويمكن التعليل لذلك بالإشارة إلى أن المركبات المحتوية على النتروجين تفقد أبطأ من مكونات الحبة الأخرى .

وتحلل الأنزيمات المحللة للبروتين فى الحبوب والكائنات الحية المرتبطة بها البروتين إلى عديد الببتيدات ، وفى النهاية إلى أحماض أمينية ، ومن المعتاد أن تتقدم هذه التفاعلات ببطء شديد ، ولا يمكن قياسها بسهولة ما لم تصل الحبوب إلى درجة سيئة من التدهور . وقد أوضح « زيلينى وكولمان » أن الأحماض الأمينية الحرة التى تحتويها الحبة يمكن أن تقدر بطريقة محورة عن فورمان .

وقد وجد أن المحتوى من الحمض الأمينى فى الذرة مقدرة بهذه الطريقة ومعبرا عنه فى صورة ملليجرامات ايدروكسيد بوتاسيوم اللازمة لمعادلة مجموعات الكربوكسيل فى ١٠٠ جم من الذرة على أساس الوزن الجاف، وجد أن هذه القيمة تقارب ١١٠ ملليجم فى الذرة الناضجة السليمة ، و ٣٢٠ ملجم فى الذرة التالفة . وبدراسة توزيع النتروجين فى الذرة فى مراحل نضجه المختلفة أوضح « زيلنى » أن بروتين « زين Zein » الذرة يخلق بسرعة كلما قارب النبات النضج وأن هذه الزيادة السريعة فى نسبة البروتين متوازية تماما مع النقص السريع فى النيتروجين اللابروتينى الذائب فى الماء . ويبدو أن المركبات النيتروجينية القابلة للذوبان فى الماء تستغل فى بناء البروتين . وهناك ظواهر مشابهة من المحتمل حدوثها فى نضج حبوب أخرى ، ومن المعقول أن يفترض أن هذا التغير السريع فى نسب بروتينات الحبة المختلفة قد يستمر إلى ما بعد وقت النضج وفى المراحل الأولى المبكرة من خزن الحبوب ، وعلى وجه الخصوص إذا كانت الحبوب لم تنضج تماما عند الحصاد .

وقد أيد هذه الافتراضات « تاكاشى » وغيره إذ قرر أن الزيادة الملحوظة فى البرولامين والنقص المرافق فى البروتين القابل للذوبان فى الماء يحدث فى الشعير خلال مراحل الخزن الأولى .

وقد درس « جونز وآخرون » التغيرات التى تحدث فى البروتين فى البذور المختلفة ونواتج طحنها ، وقد درسوا التغيرات الطبيعية والكيماوية للبروتينات ، وما يصاحب ذلك من تغيرات فى قابلية البروتين للهضم . وقد وجد أن البروتينات فى القمح والذرة وفول الصويا ونواتج طحنها تتناقص فى ذوبانها وهضمها بالبيبسين والتريبسين ، وفى نفس الوقت حدثت زيادة فى النتروجين الأمينى ونقص فى البروتين الحقيقى . وقد أظهر القمح المحتوى على ١١ ٪ م . م نقصا فى قابلية البروتين للهضم عن ذلك المحتوى على ٨ ٪ حين خزن فى أوعية مقفلة تماما Sealed على درجة ٧٦°ف لفترة عامين . أما الذرة المخزنة تحت نفس الظروف والمحتوية على ١٢ ٪ م . م أظهرت نقصا قدره ٣,٦ ٪ فى قابلية البروتين للهضم . وهذه التغيرات بالإضافة إلى قابلية البروتين للذوبان تحدث بسرعة أكبر فى نواتج طحن الحبوب عنها فى حالة الحبوب السليمة .

وقد أطعمت فيران على ذرة مطحونة مخزنة على درجة ٧٦°ف لفترات مختلفة وقد كان نتيجة لهذه التجارب أن ناتج هذه الحبوب لا يقبل عليه وتقل قيمته الغذائية باستطالة فترة التخزين . وقد أجريت تجارب أخرى باستخدام الدقيق الكلى للقمح والدقيق الأبيض وجريش القمح ولم يظهر أى نقص معنوى فى القيمة الغذائية خلال ٢٤ شهرا . وفى كل هذه التجارب كانت الحبوب ومنتجاتها خالية من الإصابة الحشرية أو نمو عفن خلال فترات الدراسة . وقد أوضحت تجارب جامعة « اليونوى » أن الخنازير التى غذيت على ذرة سليمة قد استفادت كثيرا واستهلكت غذاء يوميا أقل مما استهلكته من الذرة المتعفن ، ولا يعرف بالضبط السبب الذى يعزى إليه ذلك ، وهل هذا النقص فى القيمة الغذائية يعزى إلى تغيرات بروتينية أو إلى مواد سامة ناتجة من نمو العفن .

التغيرات فى الدهون : التغيرات التدهورية فى دهون الحبة أو زيوتها إما أن تكون تأكسدية مسببة روائح ونكهة متزنخة ، أو نتيجة للتحليل المائى مسببة فى

إنتاج أحماض دهنية . وتحتوى الحبوب على مانعات للتأكسد بحالة متوسطة النشاط ، ولذا فإن الدهون فى الحبوب السليمة غير المكسورة تكون فى وقاية إلى حد ما من تأثير الأوكسجين الجوى ، ولهذه الأسباب فإن تكون الزنخات التأكسدية نادرا ما يعتبر مشكلة فى خزن الحبوب بالرغم من اعتبارها مشكلة كبيرة فى خزن الحبوب الزيتية ونواتج الطحن وخاصة نواتج طحن الحبة مجتمعة . فمثلا يمكن حفظ دقيق القمح لمدة قصيرة نسبيا حيث تترنخ بصرف النظر عن المحتويات المائية ، وتحلل الدهون فى الحبوب بسهولة أثناء الخزن بواسطة أنزيم الليباز إلى أحماض دهنية حرة وجلسرين ، وخاصة عندما تكون درجة الحرارة والمحتويات المائية عالية وملائمة لحدوث تدهور عام . وهذا النوع من التغيرات يتزايد نتيجة نمو العفن نظرا لارتفاع النشاط المحلل للبيوبيدات ، يتأثر العفن ويحدث التحلل للدهن بسرعة أكبر من تحلل البروتين أو الكربوهيدرات فى الحبوب المخزونة ، ولهذا السبب فإن محتويات الحبوب من الأحماض الدهنية الحرة قد تستعمل كدليل حساس على بدء تدهور الحبوب .

ويمكن أن يعاق النشاط التحللى للبيوبيدات وتدهور الحبوب ، بمعاملة الحبوب بمواد كيماوية معينة وعلى وجه الخصوص باستعمال الأيثيلين كلوروهيدرين وأكسيد البروبلين ورابع كلورور الكربون ، وترجع أهمية هذه المركبات بصفة جزئية على الأقل دون شك إلى تأثيرها المثبط لنمو العفن والذى يعتبر مصدراً أساسيا من مصادر الليبيزات فى الحبوب المخزونة ، كما قد وجد أن تعريض بذور القطن الرطبة لفترة قصيرة إلى حقل إشعاعى كهربى ترددى radio frequency يؤدى إلى تثبيط المواد المحللة للبيوبيدات وتكوين الأحماض الدهنية الحرة، ويبدو أن الحرارة الناتجة من الحقل الإشعاعى الكهربى تقلل من نشاط الأنزيمات المحللة للبيوبيدات ، كما أنها تبيد العفن المسئول عن هذه الأنزيمات ، كما تقلل المحتويات المائية للبذور حيث يعاق أى نمو آخر للعفن .

وقد أظهر فول الصويا المحتوى على ١٥٪ م . م على الأقل فى زجاجات مغلقة لمدة سنة نقصا فى الرقم اليودى لزيوتها ، وكان يبدو على هذا الفول نمو للعفن واضح . وتدل هذه الملاحظات على أن الزيت الناتج من فول الصويا المخزن بمحتويات مائية مرتفعة قد يكون له صفات جفاف أقل .

التغيرات فى المواد المعدنية : لا تحدث أية تغيرات ملحوظة فى المحتويات المعدنية للحبوب أو نواتجها أثناء الخزن إلا فى الظروف غير العادية جدا . وقد أوضح « ماكسون ولايان » أن الحبوب التى تنمو فى أرض سيلينية قد تفقد ما يقرب من ٧٣٪ من عنصر السيلينوم أثناء الخزن . ويبدو أن هذا الفقد يكون على شكل مركبات سيلينية قابلة للتطاير ، ويتوقف معدل الفقد على نوع مركبات السيلينوم الموجودة ، وعلى درجة حرارة الحبوب .

ومن الممكن أن تزيد النسبة المئوية للمادة المعدنية الكلية فى الحبوب إذا ما قدرت بطريق المحتوى الرمادى، نظرا لفقد المكونات الأخرى ، ويمكن قياس هذا النوع من التغير فى الحبوب التى قطعت شوطا كبيرا من التنفس . ومثل ذلك ما سبق ذكره فى عينة الشعير التى أخذت من كهف فى آسيا ، إذ تحتوى من الرماد على أساس الوزن الجاف على ٢ر١٧ ٪ ، وبمقارنة ذلك بالشعير العادى نجد أن النسبة حوالى ٣ ٪ ويبدو على الشعير الذى خزن لتلك الفترة الطويلة اسوداد فى اللون وخفة فى الوزن وفقده الواضح لكثير من المواد العضوية .

وبالرغم من أن المواد المعدنية قلما تفقد أو تكتسب أثناء الخزن ، إلا أن عنصر الفسفور ، وهو ذو أهمية غذائية خاصة بالنسبة للإنسان أو الحيوان ، يبدو أنه يزيد بالخزن ، ويكون هذا العنصر فى الحبوب على شكل فيتين وهو ملح كالسيوم — مغنسيوم لحمض إينوسيتول فوسفوريك ، ولا يمكن الاستفادة جيدا من الفسفور الموجود فى هذا المركب بواسطة جسم الحيوان ، ويفرز الإنسان حوالى ٦٠ ٪ دون تغيير ، أما أثناء خزن الدقيق أو الحبوب فيتأثر الفيتين بواسطة أنزيم الفيتيز بصورة أسرع فى حالة الدقيق عنها فى حالة الحبوب ، محولا إياه إلى مركبات فوسفورية قابلة للذوبان فى الماء سهلة التمثيل .

التغير فى الفيتامينات : تعتبر الحبوب ومنتجاتها من المصادر الهامة لفيتامينات معينة فى غذاء الإنسان والحيوان ، والفقد فى محتويات الحبوب من الفيتامين أثناء الخزن يعتبر من الأهمية بمكان . والمعلوم عن هذا الموضوع ليس بكثير ، وعلى وجه العموم تعتبر الحبوب من المصادر الجيدة للثيامين والنياسين والبيريدوكسين

والأينوسيتول والبيوتين وفيتامين (هـ) ، كما تحتوى الحبوب أيضا على كميات لابأس بها من حمض البانتوثينيك وحمض البارا أمينوبنزويك ، ويظهر نشاط فيتامين (ا) فى الذرة الصفراء ، ولكنه يغيب كله فى أنواع الحبوب الأخرى .

وقد أوضح « بايفيلد ودونيل » أن القمح المحتوى على حوالى ١٧٪ من الرطوبة يفقد حوالى ٣٠٪ من الثيامين خلال خمسة أشهر من خزنه ، وبطبيعة الحال تدهور القمح تدهورا كبيرا خلال هذه الفترة نظرا لارتفاع محتوياته المائية ، كما قد أوضح أنه عندما تكون المحتويات المائية ١٢٪ وهى درجة طبيعية كان الفقد فى الثيامين حوالى ١٢٪ .

وقد اختبر الباحثون نسبة وجود الثيامين فى عينات مختلفة الأعمار من القمح السليم ظاهريا ، ولم تكن المحتويات الأصلية من الثيامين لهذه العينات معروفة ، ولكن القيمة المنخفضة جدا التى أمكن الحصول عليها من العينات القديمة يمكن الاستدلال منها أنه قد حدث فقد ملحوظ فى محتويات هذه الحبوب من الثيامين ، ولعل من الأهمية الإشارة إلى أن بعض العينات التى وصلت فترة خزنها إلى ٢١ سنة ما زالت تحتوى على نسبة عالية إلى حد ما من الثيامين ، مما يبدو معه أنها فقدت كمية قليلة خلال هذه الفترة الطويلة ، وتشير التجارب التى أجريت فى جامعة « أيوا » إلى أن محتوى الذرة الصفراء من الثيامين المخزن تحت ظروف مثالية يبدو أنه لم يتأثر خلال أربع سنوات كما يبدو من الدراسات التى أجريت على الأرز أن الثامين يعتبر ثابتا أثناء الخزن . وقد احتفظ الأرز الذى أزيلت أغلفته والمخزن فى أكياس من القش لمدة أربع سنوات بمحتوياته الأصلية من الثيامين مدة العامين الأولين تلاه فقد ملحوظ خلال العامين الأخيرين ، وقد وجد أن الأرز المنزوع القشرة والمخزن فى أوعية محكمة لمدة تتراوح بين ٢٦ ، ٣٨ عاما يحتوى على كمية من الثيامين تزيد على نصف ما يحتويه الأرز الحديث ، كما أن الأرز المخزن فى صوامع أسمنتية محكمة لمدة خمسة أعوام لم يحدث به فقد ملحوظ لكمية الثيامين الموجودة ، سواء أكان الأرز مقشورا أم شعيرا ، وقد وجد « كوندو وأوكامورا » أن الأرز غير المقشور المخزن بمحتويات مائية قدرها ١٠٪ أو أكثر عانى نقصا ملحوظا فى الثيامين ولا يتناسب هذا النقص فى الثيامين مع النقص الحادث فى حيوية الحبوب .

وقد أجريت دراسات قليلة فى مطاحن الدقيق التجارية على فقد الفيتامينات فى الدقيق المقوى ، وتشير النتائج إلى أن الفقد الواضح للثيامين يكون أثناء الخزن ، ويعتمد هذا الفقد إلى حد كبير على درجة الحرارة والمحتويات المائية اللذين تساعد زيادتهما على هدم الثيامين ، كما يعتمد الفقد على فترة التخزين .

وعندما يستعمل الثيامين كلوريد هيدروكلوريد كمادة للتقوية فإنه من المتوقع أن يفقد الدقيق المقوى حوالى ١٠ ٪ من محتواه من الثيامين خلال ستة أشهر من الخزن العادى ، بالرغم من أنه قد يحدث بمعدل أكثر من ذلك ، فقد يصل إلى ٢٠ ٪ أو أكثر فى ظروف الخزن غير الملائمة . ونظرا لثبات الثيامين آحادى النيترات ، فقد حل محل الثيامين كلوريد كمادة مقوية للدقيق ، وعندما يستعمل على هذه الصورة يمكن تقليل الفقد إلى نصف أو أكثر ، ولم يحدث نقص ملحوظ فى الريبوفلافين والنياسين (حامض النيكوتنيك) فى الدقيق المقوى خلال الخزن العادى .

وليست هناك معلومات محددة واضحة تتعلق بفقد مجموعة فيتامينات (ب) ، وبخلاف الثيامين يوجد فى الحبة الريبوفلافين ونياسين والبيريدوكسين وحمض الباتوثينيك وحمض البارا أمينوبنزويك والأينوسيتول ، ومن المعتقد بصفة عامة أن هذه الفيتامينات — باستثناء حمض الباتوثينيك — فيتامينات ثابتة إلى حد ما ، ولا تتلف فى الحبوب السليمة تحت ظروف الخزن العادية ، ويعتبر الريبوفلافين والبيريدوكسين حساسين نوعا ما للضوء ، وقد يكونان لذلك غير ثابتين فى نواتج الطحن عند تعرضهما للضوء الشديد .

ويوجد فيتامين (أ) فى الذرة الصفراء بقدر يعادل ٣,٥ — ٥ وحدات دولية لكل جرام ، ويعتبر ذا أهمية خاصة فى تغذية الحيوان والإنسان . ويعتبر وجود فيتامين (أ) فى الذرة الصفراء نتيجة أساسية لمحتوياتها من البيتا كاروتين والكريبتوزانثين والنيوكريبتوزانثين وبدرجة أقل إلى الألفا كاروتين و ك ، كاروتين التى يقال عنها إنها سوابق للفيتامينات تتحول بدرجات مختلفة فى جسم الحيوان إلى فيتامين (أ) .

ويفقد فيتامين (أ) فى الذرة أثناء خزنها ، وقد ذكر « فرابس وكميدير » أن الذرة الصفراء وجريش الذرة يتعرضان لفقد كبير فى الصبغات الكاروتينية حتى تحت ظروف الخزن . ردالبافى حالة جريش الذرة يفقد ما يقرب من ٣٤ ٪

من الكاروتين الخام خلال الأسبوع الأول من الخزن على درجة ٣٥°م ، بالرغم من أن الفقد يقل بعد ذلك كثيرا . وقد دلت الدراسات التى أجريت على الذرة الصفراء المخزنة فى صوامع من الصلب فى ولاية « الينوى » لمدة أربع سنوات ، أنها احتوت بعد هذه المدة على أقل من النصف من الكاروتين الخـــام ، بالنسبة للذرة الجديدة.

ونتيجة للدراسات التى تمت على الذرة الصفراء المخزنة فى ولايتى « الينوى وايوا » فى المدة بين ١٩٣٧ — ١٩٤١ أظهرت الاختبارات الحيوية والكيماوية فقدا فى كل من الكاروتين وفيتامين (ا) نتيجة للخزن ، وتصل هذه النسبة فى الذرة المخزنة لأكثر من عام إلى حوالى ٧٠٪ ، ويبدو أن النسبة الكبيرة فى الفقد تحدث بسرعة أكثر خلال السنة الأولى من الخزن .

ويبدو أن مرض الاستسقاء فى المواشى يرجع إلى نقص فيتامين (ا) ويميز هذا المرض بفقد الشهية والعرج وانتفاخ واضح للأنسجة تحت الجلد ، ونقص فى الرؤية وخاصة العمى الليلى ؛ ويسبب هذا المرض خسائر اقتصادية بالغة ، والعلاقة الواضحة بين هذا المرض ونقص فيتامين (ا) تعطى أهمية عملية لفقد نشاط فيتامين (ا) فى الذرة الصفراء ، وعلى أية حال فحتى فى الأغذية التى تحتوى على ذرة صفراء حديثة فإنها تحتاج إلى أن تدعم بإضافة مواد أخرى خشنة ذات نسبة عالية من هذا الفيتامين مثل دريس البرسيم .

تأثير خزن القمح والرقيق على الجلوتين وصفات الخبيز

يكون الخبز المصنوع من دقيق طازج حديث الطحن ، ما لم يكن قد عومل بمواد صناعية تطيل من عمره ، أقل فى الحجم والقوام بالنسبة للخبز المصنوع من نفس الدقيق بعد مضى فترة من الوقت ، وتميل صفات الخبيز من الدقيق عادة ، إلى الجودة لفترة من الوقت تعتمد على طبيعة الدقيق وحالة الخزن ، وإنه فى عملية إطالة عمر الدقيق صناعيا يوجد حد معين لا يؤدى ذلك بعده إلى تحسين صفات الخبز . ويؤدى الخزن الطويل إلى ما يصاحب ذلك من التدهور التدريجى فى صفات صناعة الخبز ، وحيث إن معظم هذه المواد الصناعية التى تحدث هذه العملية تعتبر

مؤكسدات قوية فإنه يفترض أن عملية إطالة العمر الطبيعية ما هى إلا عملية أكسدة لبعض مكونات الدقيق بفعل الهواء ، بالرغم من أن هناك تغييرات فى لون الدقيق قد تحدث نتيجة للفعل التبييضى للهواء على بعض الأصباغ الكاروتينية فى الدقيق ، والتغيرات فى خواص الجلوتين التى تؤثر على حجم وقوام الخبز المصنوع من الدقيق يبدو أنها تعزى أساسا إلى أسباب أخرى غير الأكسدة .

وقد أوضح « كوزمين » أن التغيرات فى الخواص الطبيعية للجلوتين المبتل نتيجة لعملية إطالة العمر تعتبر نتيجة للكميات الزائدة من الأحماض الدهنية غير المشبعة فى الدقيق ، وتتكون بفعل التحلل المائى للأنزيمات لدهن الدقيق ، وكلما تقدمت عملية الـ aging كان الجلوتين المغسول والمحضر من الدقيق أقل قدرة على الامتداد وأكثر مطاطية ، ويصبح حبيبيا ويسهل تمزيقه ، كما قد وجد أن إزالة الدهن من الدقيق الذى قد أطيل عمره aged قد أحال الجلوتين إلى حالته الأصلية وإضافة هذا الدهن المستخلص أو حمض الأوليبك إلى الدقيق الحديث الطحن أدى إلى أن تكون خواص الجلوتين مشابهة لتلك التى فى الدقيق الذى أطيل عمره ، ولم تؤد المعاملة بالأحماض المشبعة إلى مثل تلك النتيجة ، وقد عزز هذه الآراء ، آراء « كوزمين » ما ذكره « سوليفان » بالرغم من أنه فى جميع الحالات تؤدى إضافة الأحماض الدهنية غير المشبعة إلى الدقيق فيما يبدو إلى ظهور تأثير واضح على الخواص الطبيعية للجلوتين المبتل . فإن التأثير على صفات صناعة الخبز تتأثر بدرجة متغايرة بوجود نواتج التأكسد للأحماض غير المشبعة ، وقد وجد « فيشر و هالتون وكارتر » أن التحسين فى صناعة الخبز من الدقيق الحديث الطحن بدرجة مشابهة لما يحدث بإضافة المواد الصناعية aging agents يمكن أن يتوصل إليه بإضافة كمية من الدقيق الذى (بحكم تدمه) أصبح غير صالح لعملية الخبز ، ويبدو أنه من المعقول أن يفترض أن هذا التحسن نتيجة لمحتوياته العالية من الأحماض الدهنية المنفردة فى الدقيق القديم ، والذى أدى إلى رفع النسبة فى الدقيق الحديث إلى الحد الأمثل لتحسين صفات الجلوتين فى إتمام عملية الخبز .

ويبدو أن خواص الخبز الطبيعية للقمح الحديث الحصاد تتحسن بعض الشىء خلال الخزن بطريقة مشابهة لما يحدث فى الدقيق ، ولكن بمعدل أبطأ . وقد أوضح

« سوندرز » أن هناك زيادة ملحوظة فى قوة الخبز فى الدقيق المطحون من دقيق قد خزن لمدة عام بمقارنته بنفس القمح بعد حصاده مباشرة . وقد أشارت بحوث « فيتز » أن الجزء الأكبر من هذا التغيير يحدث فى المراحل الأولى من الخزن .

وقد بحث « سوندرز ونيكولز وكوان » قوة الخبيز للدقيق المطحون دوريا فى عينات من القمح على مدار خمس سنوات ، فظهر أن سلالات معينة (أصناف) من القمح تزيد فيها هذه القوة خلال الخمس سنوات، بينما فى أصناف أخرى تصل فيها هذه الخاصية إلى قمتها بعد أربع سنوات ، ثم تقل بعض الشىء فى صفات الخبيز . وقد أوضح « شلنبرجر » نتيجة لبحوثه أنه بالرغم من أن صفات الخبز لا تتحسن أثناء الخزن وبعد الحصاد فإن امتداد هذا التحسن عادة ما يكون محدداً . ومن المفترض أن تتدهور صفات صناعة خبز القمح بوضوح إذا ما خزن القمح لفترة طويلة ، ولكنه تحت ظروف الخزن المثالية ، فإن هذا التدهور يبدو أنه يتقدم ببطء . وقد قرر « روبرتسن وآخرون » أنه قد أمكن صناعة خبز ذى صفات مقبولة ومرضية من دقيق مطحون من قمح خزن ٩ — ٢٢ سنة تحت ظروف خزن مثالية تقريبا، ولم تتغير صفات الخبز بدرجة ملحوظة خلال السنوات الخمس الأخيرة ، ولم تكن هناك إحصائية لصفات الخبز الأصلية لهذه اللوطات عند بدء الخزن .

وتدعو خبرة الطحانين الطويلة إلى الاعتقاد أنه فى سنوات معينة تتحسن صفات الخبز الطبيعية للقمح الحديث الحصاد بدرجة قليلة فقط أثناء فترة الخزن الابتدائية، بينما فى سنوات أخرى قد يكون ذلك التحسن واضحا ، كما يعتقد أنه يجب طحن القمح قبل أن تصل مدة خزنه إلى عام لكى يمكن تجنب التدهور الممكن فى صفات الخبز ، بالرغم من أنه فى المناطق الباردة من الولايات المتحدة الأمريكية فإن الخزن لفترات طويلة نسبيا يعتبر إلى حد ما مأمونا .

عوامل تدهور الحبوب

يمكن قياس الدلائل الطبيعية للحبوب فى الفحص العملى ، وتشمل المظهر العام ، الحرارة ، الرائحة ، الحبوب التالفة ، والحشرات الضارة .

وحين تتدهور الحبوب أثناء الخزن خصوصا حين يتسبب ذلك عن السخونة الذاتية المفاجئة spontaneous heating فإن الحبوب تفقد لمعانها luster الطبيعى وتصبح سيئة المظهر dull وتبدو كأنها لاحياة بها ، وهذه كلها دلائل على أن هناك تغيرات طبيعية أخرى للتدهور قد توجد داخل الحبة ، ويجب أن تفحص الحبوب بإحكام لاكتشاف أى من هذه التغيرات ، ويمكن اعتبار المظهر الخارجى وحده كأحد العوامل المحددة للصفات فى الفحص الروتينى وتدريج تحديد درجة الشعير الشوفان ، الذرة الرفيعة وفول الصويا ، ويعتبر المظهر الخارجى إلى حدما دليلا على درجة سلامة الحبوب .

ودرجة الحرارة العالية فى الحبوب والتى تعتبر نتيجة للحرارة الذاتية تنتج أساسا من نمو العفن ، وتحدث هذه الحالة عند احتواء الحبوب على نسبة عالية من المحتويات المائية وقد يؤدى وجود الحشرات بأعداد كبيرة إلى سخونة الحبوب ، ويمكن تقدير درجة حرارة الحبوب باستخدام الترمومترات أو التوصيلات الترمومترية thermocouples وفى أسوأ الحالات بالإحساس باليد . ودرجة الحرارة العالية فى الحبوب إذا حدثت من الحرارة الذاتيه تعتبر دليلا إيجابيا على التدهور، وحتى الارتفاع البسيط فى درجة الحرارة (فوق الدرجة التى تعتبر عادية فى الظروف السائدة) قد تشير إلى بدء التدهور .

وكذا الروائح غير العادية مثل الروائح اللاذعة وغيرها musty or sour تصاحب عادة الحبوب الساخنة أو التى تدهورت تدهورا سيئا . والروائح اللاذعة تنتج أساسا من نمو أنواع معينة من العفن ، وقد يكون للحبوب تلك الرائحة فى بداية تدهورها ، ولكن هذه الروائح تظهر عادة عندما تصل الحبوب إلى مرحلة مناسبة من التدهور ، وتنتقل هذه الروائح من القمح عادة إلى الدقيق والخبز أو نواتج الخبيز الأخرى المصنوعة منه .

وتعتبر الحبوب التى تلفت أجنتها نتيجة لنمو العفن أو السخونة الذاتية ، أو الحبوب التى تلفت بتأثير الحرارة أو الحبوب التى تلفت نتيجة للتزريع ، كلها تشير إلى حدوث تدهور مميز بالحبوب. وتحدث هذه الأنواع من التلف عادة فى الحبوب التى تحتوى على نسبة عالية من المحتويات المائية والتى لم تهو أو تتناول بما يؤدى إلى

إيقاف تدهورها . ويمكن تمييز الحبوب التى تلفت أجنتها بتغير لونه إلى اللون البنى الأسود ، وهذه الحالة هى مايشار إليها بالحبوب المريضة والحبوب التى تلفت بتأثير السخونة إلى الحد الذى تلوثت معه الأجنة ومناطق من الأندوسبرم فى الحبة بدرجة واضحة باللون الأحمر إلى «الماهوجانى» يمكن اعتبارها على أساس ما تعارف عليه خبراء الحبوب التالفة بتأثير الحرارة ، ويمكن تمييز الحبوب المزروعة بوجود كتل متصلة من الزراريع أو بوجود نهاية الجنين فى الحبة وقد انفتحت نتيجة للإنبات ، ويمكن تمييز هذه الحالة فى المراحل الأولى من الإنبات ، وكذا بعد خروج الزريعة وكسرها للحبة .

أما الجزء الأكبر من التلف للحبوب فيحدث نتيجة للإصابة بالحشرات أثناء الخزن . وقد ينتج عن نفسها قدر كاف من الحرارة يؤدى إلى سخونة الحبوب . وتعتبر الحبوب التى تحتوى على الحشرات الميتة أو أجزائها أو إفرازاتها وحبوب القمح ، الراى ، الشعير والذرة الرفيعة ، التى تحتوى على ثقوب الإصابة الحشرية ، تعتبر أيضا حبوبا تالفة فى عرف تجار الحبوب ، ويعتبر مجرد وجود حشرات ضارة فى الحبوب المخزونة دليلا على التدهور .

ويمكن اكتشاف هذه المظاهر السابقة فى مراحل مبكرة بالملاحظة الدقيقة الواعية ، وإذا ما أزيلت أسبابها فإنه يمكن أن يوقف التدهور أو يقلل من أضراره إلى حد كبير ، فإذا ما خزنت الحبوب بطريقة مناسبة وهويت أو جففت عند اللزوم ، فإن التدهور كما تدل عليه الصفات الطبيعية يمكن أن يمنع حدوثه .

المراجع

(1) Anderson, J. A. and A. W. Alcock (1954) Storage of Cereal Grains and their Products. AACC, St. Paul, Minn., U.S.A.

(2) Milner, M., C. H. Christensen, and W. F. Geddes (1947) Chemical and microbiological studies on "sick" wheat. Cer. Chem., 24: 23-38.

(3) Milner, M., and W. F. Geddes (1946) Grain storage studies. III. The relation between moisture content, mold growth, and respiration of soybeans. Cer. Chem., 23: 225-247.

(4) Milner, M., and W. F. Geddes (1946) Grain storage studies. IV. Biological and chemical factors envolved in the spontaneous heating of soybeans. Cer. Chem., 23: 449-470.

(5) Oxley, T. A. (1948) Scientific Principles of Grain Storage. Liverpool: Northern Publishing Co. Ltd.

(6) Oxley, T. A. (1948) The movement of heat and water in stored grain. Amer. Assoc. Cer. Chem. Trans., 6: 84-112.

(7) Zelleny, L. (1935) The distribution of nitrogen in the seed of Zea mays at different stages of maturity. Cer Chem., 12: 536-542.

* * *