عوامل التدهور في الحبوب المخزونة

للمهندس الزراعي عبد الحكيم محمد كامل
رئيس فرع أبحاث علاج المواد المخزونة
في وزارة الزراعة

المحتويات المائية والأحياء الدنيا بالحبة :

إن أشد العوامل أثراً في بقاء الحبوب سليمة أثناء الخزن الطويل المدى هو محتوياتها المائية water contents ، ذلك لأن ارتفاع محتويات الحبوب المائية يزيد من سرعة تنفسها وتنفس ماينمو عليها من كائنات دنيا حية فيسرع التلف إليها . والتنفس عملية حيوية تقوم بها جميع الكائنات الحية بالحبة حفظاً لكيانها وحياتها ويتم بها احتراق « تأكسد » مصادر الغذاء كالسكريات ، فتتولد عنها الطاقة في صورة حرارة وثاني أوكسيد كربون وماء .

وبالحبوب عدد كبير من الأحياء الدنيا تفرز أنزيمات Enzymes أو خمائر Fermants مسئولة عن عملية التنفس المشار إليها ، وعن هضم الغذاء المكتنز في البزور بما في ذلك البروتينات والنشويات والمواد الدهنية . والأنزيمات ليست من الأحياء ، وهي مقاومة للظروف الطبيعية التي تسبب فقد قوة الإنبات والبزور ، ولذلك يحدث في البزور الميتة ، التي فقدت قوة إنباتها ، تنفس بفعل هذه الأنزيمات ، وقد يكون هذا التنفس أقوى من تنفس البزور الحية ، ذلك لأن البزور الحية ، بل كل مادة حية تسيطر على فعل الأنزيمات ، أما البزور الميتة فإنها تفقد قوة سيطرتها على الأنزيمات فتقوم الأخيرة بعملها طليقة حرة .

لذلك تنشط عملية الإتلاف وتنطلق بسرعة في البزور التي أضعفت قوة إنباتها ، أما البزور التي يحتفظ بقوة إنباتها فهي البزور التي لم يلحقها تلف .

والتنفس مصدر كل من الحرارة وثاني أوكسيد الكربون والماء . وتتنفس الحبوب الجافة أثناء خزنها ، ولكن تنفسها بطيء إلى حد يجعل قدرتها في رفع درجة حرارة الحبوب « سخونتها » ضئيلة ، أما إذا كانت الحبوب محتوية على نسبة مرتفعة من المحتويات المائية أو في حالة إنبات فإن تنفسها يكون سريعاً .

والعامل الرئيسى المسبب لارتفاع درجة الحرارة فى الحبوب هو عمليـــة التنفس الناشئة عن نمو بعض أنواع الكائنات الدنيئة عليها micro-organisms ومنها Penicillium ' Aspergillus ' Ahernaria ' Rhizopus ' Cladosporum Fusarium

وما يصحب هذا النمو من العمليات الحيوية . وتوجد جراثيم هذه الكائنات على سطح الحبوب ، كما أنها توجد تحت القشرة . ولم تعرف حتى الآن كيفية استقرار هذه الكائنات الدقيقة داخل الحبة ـ وإن كان انتشار جراثيمها فى الهواء والتربة معروفا .

وتنبت هذه الجراثيم عندما تتهيأ الظروف المناسبة لها ، من حيث الرطوبة والأوكسجين مكونة نموات تعرف بالهفيات أو الميسيليا ، وهى تتنفس تنفساً قويا ، وتفرز خمائر هاضمة أقوى مما تفرزه الحبوب نفسها . وتشاهد أنواع العفن هذه على كثير من المواد العضوية الأخرى المتعفنة غير الحبوب ، ويبلغ تنفس هذه الكائنات معدلا عاليا فى الحبوب العالية نسبة محتوياتها المائية ، وينشأ عن ذلك ارتفاع فجائى فى درجة حرارة الحبوب وإنتاج كمية غزيرة من ثانى أكسيد الكربون والماء .

ويرجع التنفس البسيط الذى يحدث للحبوب الجافة كالقمح المحتوى على نسبة منخفضة من المحتويات المائية إلى تنفس جنين الحبة نفسه ، ومثل هذه الحبوب تحتفظ بقيمتها وخواصها مدة طويلة من خزنها . غير أنه إذا زادت المحتويات المائية عن حد معين ، ويختلف ذلك الحد باختلاف أنواع الحبوب ودرجة الحرارة أثناء الخزن ، يزداد إذ ذاك معدل التنفس بدرجة كبيرة ، ويحدث بالتالى ارتفاع فجائى فى درجة الحرارة ، ويعرف هذا الحد من المحتويات المائية الذى ينمو عنده الفطر وينشط بـ « النسبة الحرجة للمحتويات المائية » أو بالمعدل المائى الخطر .

وقد أثبت ملنر وآخران من تجربة لهم على قمح ويحنت خزن على درجة ٣٠°م مدة ٢٠ يوما أن هناك علاقة وثيقة بين المحتويات المائية للحبوب ومعدل تنفسها واحتفاظها بقوة إنباتها وحموضتها الدهنية ، كما هو موضح فى الجدول الآتى :

المحتويات المائية للحبوب	معدل التنفس ملليجرام ك ا ٢ فى اليوم الأخير	٪ للإنبات	الحموضة الدهنية بالوحدة ملليجرم بوايد/ ١٠ جم
١٢,	,٠٧	٩٥	٣٥,٣
١٣,١	,١١	٩٥	٣٥,٥
١٣,٧	,٢٣	٩٥	٣٥,٥
١٤,٣	,٧٥	٩٢	٣٧,٨
١٤,٦	٢,٥٣	٩١	٤٢,٣
١٦,	٢٣,٣٥	٦٧	٦٦
١٦,	١١١,٠٠	٣٧	١١٥

وكان المعتقد أن الزيادة الحادة فى معدل التنفس التى تحدث فوق المعدل المائى الخطر ترجع إلى الحبوب نفسها ، ولكن الآراء الحديثة تؤيد نسبتها إلى إنبات الجراثيم ونموها .

ويعتقد المهندس رزق عطية أن هذه النسبة يجب ألا تزيد فى مصر عن ١٢ ٪ وإن كان قد خزن قمح تبلغ محتوياته المائية ١٦ ٪ بأجواء باردة ، مثل انجلترا وبعض أنحاء أمريكا وبالأخص إذا كانت الحبوب كاملة النضج والحجم ، غنية بالبروتين غير ضامرة وغير معرضة لتذبذب فجائى فى درجة الحرارة ، ويرجع ذلك إلى ارتفاع درجة الحرارة فى مصر .

الحشرات :

يوجد عامل حيوى آخر له تأثير كبير فى تلف الحبوب ، ألا وهو نشاط الحشرات ، فقد تتم بعض الحشرات دورة حياتها داخل الحبوب مثل سوسة القمح والأرز ، ويسبب نشاط الحشرات التنفسى ارتفاع درجة الحرارة للحبوب ، وارتفاع محتوياتها المائية .

وتبدأ الإصابة الحشرية فى الحبوب ذات النسبة المرتفعة من المحتويات المائية بخنافس الحبوب المفلطحة من جنس Laemophloeus وبعض أنواع الحلم mites وغيرها .

وتنشأ عن الإصابة بالحشرات فى المناطق المصابة بها زيادة المحتويات المائية للحبوب بسبب تنفس هذه الكائنات فتزداد الحرارة فى هذا الجزء وتأخذ

فى الارتفاع حتى تبلغ حدا معينا لا تتحمله الحشرات، وعندئذ تأخذ فى الهجرة إلى المناطق المجاورة ذات الدرجة المناسبة من الحرارة لها حيث تبدأ الحرارة فى الارتفاع ، كما تزداد المحتويات المائية للحبوب بسبب التنفس، وهذا يشجع نمو الفطر والبكتريا وهكذا

علاقة المحتويات المائية فى الحبوب بالظروف الجوية المحيطة
(الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة)

فى الغالب تتأثر جميع المواد العضوية ببخار الماء الموجود فى الهواء المحيط بها ، وتمتص هذه المواد أو تفقد ماء على هيئة بخار حتى تصبح محتوياتها المائية water contents فى حالة توازن مع رطوبة الجو النسبية relative humidity . وتعرف خاصية فقد وامتصاص الماء بالخاصية الهيجروسكوبية ، وتكون فى المادة القابلة لامتصاص الماء نسبة معينة من الماء الهيجروسكوبى فى درجات معينة من الرطوبة النسبية والحرارة ، وتعرف النقطة التى يتم التوازن فيها بين الماء الذى يضاف إلى الجو المحتوى على نسبة معينة من الرطوبة بنقطة التوازن الهيجروسكوبى . وتتأثر كثير من المواد بهذه الخاصية ومنها الخشب والجلد والأنسجة والورق والحبوب ومنتجاتها

وعلى ذلك تعتبر الرطوبة النسبية فى الجو المحيط بالحبوب عاملا هاما فى تلف الحبوب أو سلامتها أثناء خزنها ، إذ تتوقف عليها المحتويات المائية فى الحبة ، وبالتالى نشاط الكائنات الدنيا وابتداء ارتفاع درجة الحرارة فى الحبوب .

ويوضح الجدول الآتى النسبة المئوية للمحتويات المائية فى حبوب أصبحت فى حالة توازن هيجروسكوبى مع الرطوبة النسبية فى الجو بعد فترات من الخزن على درجة ٧٧ ف (٢٥°م) :

الرطوبة النسبية	المحتويات المائية (مقدرة على أساس الوزن الجاف)					
	١٥ ٪	٣٠ ٪	٤٥ ٪	٦٠ ٪	٧٥ ٪	٩٠ ٪	١٠٠ ٪
الأصناف :							
الشعير	٦,١	٨,٥	١٠,٥	١٢,١	١٤,٤	١٩,٥	٢٦,٨
ذرة شامى	٦,٤	٨,٤	١٠,٥	١٢,٩	١٤,٨	١٩,١	٢٣,٨
أرز مبيض	٦,٨	٩,٠	١٠,٧	١٢,٦	١٤,٤	١٨,١	٢٣,٦
قمح ديوروم	٦,٦	٨,٥	١٠,١	١١,٥	١٤,١	١٩,٣	٢٦,٧
قمح صلب أحمر شتوى	٦,٤	٨,٥	١٠,٥	١٢,٥	١٤,٦	٢٠,١	٢٥,٤
كتان	٥,٤	٦,٥	٦,٣	٧,٩	١٠,	١٥,٢	٢١,٤
فول صويا	—	٦,٢	٧,٤	٩,٧	١٣,٢	—	—

ولا يحدث التوازن الهيجروسكوبى فى الحال ، بل يتم بعد مدة من الزمن . ويذكر ملنر Milner أنه إذا عرض قمح على محتويات مائية قدرها ٨٪ فى جو رطوبته النسبية ٧٥٪ فإن التوازن الهيجروسكوبى يتم فى نحو ثمانية أيام . وتختلف المدة اللازمة للحبوب المختلفة لامتصاص الرطوبة إلى درجة التوازن الهيجروسكوبى ، فمثلا عندما تتعرض بذور الكتان التى بها ٥٪ من المحتويات المائية لجو رطوبته النسبية ٧١,٥٪ وفى درجة حرارة ٧٧ ف فإن محتوياتها المائية تصل إلى درجة التوازن أى تصبح ٩,٥٪ بعد ستة أيام ، أما فول الصويا فتصل محتوياته المائية إلى درجة التوازن بعد ١٤ يوما من تعرضه لظروف مماثلة .

وتهبط سرعة امتصاص الحبوب للرطوبة الجوية هبوطا شديدا بهبوط درجة الحرارة ، ففى القمح مثلا يكون معدل امتصاصه للرطوبة الجوية على درجة حرارة ٨٦ ف (٣٠° م) ضعف معدلها على درجة حرارة ٥٥ ف (١٢,٧° م)

والعلاقة وثيقة بين الرطوبة النسبية ودرجة حرارة الجو ، اذ تتغير إحداهما بتغير الأخرى ، ولهذا فإن العلاقة بينهما وما يحدث فيهما من تغيرات وتذبذبات بين موسم وآخر ، وبين يوم وآخر ، بل بين ساعة وأخرى له أثر هام فى خزن الحبوب .

حركة بخار الماء فى القمح المخزن سائباً

يراعى عند خزن القمح عادة ألا تزيد محتوياته المائية عن المعدل المائى الخطر الذى تحدث عنده زيادة فى معدل التنفس أو ارتفاع فجائى فى درجة الحرارة ، ولكنه لا يوجد ضمان لاستمرار الحال على هذا المستوى الأمين من المحتويات المائية أثناء الخزن فى جميع أجزاء كمية الحبوب المخزونة ، وهذا الأمر من الأهمية بمكان ، فى مشكلات الخزن .

فمثلا عند خزن القمح سائبا ومتجانسا فى المحتويات المائية فى مكان مغلق ، وفى حالة توازن هيجروسكوبى مع الهواء الجوى لمكان الخزن فإنه إذا زادت درجة الحرارة أثناء الخزن فى أحد أجزاء كمية القمح المخزنة بسبب عوامل خارجية ، فإن الهواء المحيط بهذا الجزء الساخن يحمل بعض بخار الماء من هذا المكان ، وقد يتحرك هذا الهواء الساخن المحمل ببخار الماء بخاصية الانتشار للأماكن الباردة حيث يتراكم بخار الماء على القمح البارد الجاف الموجود فى هذه الأماكن ، وتشبه هذه العملية عملية التقطير ، إذ يفقد القمح فى المنطقة الدافئة بخار الماء الذى تمتصه كمية أخرى من القمح

فى مكان آخر يحتوى على قمح منخفض فى درجة الحرارة ، أولا تصل عمليات فقد الرطوبة وامتصاصها فى أماكن مختلفة من الحبوب إلى درجة تكثيف الماء الطلق على الحبوب إلا إذا كان الفرق فى درجة الحرارة بالداخل كبيرا إلى حد وصول الهواء إلى نقطة الندى dew point

ويتسبب عن انتقال بخار الماء من مكان إلى آخر وتركيز المحتويات المائية فى المكان البارد ارتفاع المحتويات المائية للقمح فى هذا الجزء إلى الحد الذى يتسبب عنه نمو الفطر ، وبالتالى ارتفاع درجة الحرارة ، وحينئذ يبدأ التلف .

وكثيراً ما تحدث هذه الظاهرة فى صوامع الغلال ومخازن الحبوب والأهراء أو أى مكان آخر تخزن به الحبوب ، خصوصا إذا خزنت فى أهراء كبيرة داخل مخازن رديئة التهوية ، أو حتى إذا خزنت فى غرارات داخل تلك المخازن ، ذلك لأن حرارة القمح النوعية منخفضة ، ولهذا كانت قدرته العازلة « وهى تقارب القوة العازلة لنشارة الخشب » كبيرة إلى درجة تجعله قادراً على الاحتفاظ بكمية كبيرة من الحرارة أثناء الخريف والشتاء ، فإذا خزن سائبا فى أهراء خلال أشهر يونيه ويوليه وأغسطس الحارة ، حيث يلامس مثل هذا القمح الحوائط والأعمدة والأرضيات ، أو عند ما يلامس سطحه أو قمته الهواء الخارجى الذى تكون حرارته منخفضة عن حرارة القمح ، ويكون ذلك فى الخريف والشتاء ، حدث تبريد فى هذه المواضع ينشأ عنه تغير فى درجة الحرارة يتسبب عن توالى الهبوط فى الحرارة وترسيب الماء المنفرد المتكثف على سطح حبوب القمح فى الأماكن المعرضة للهواء الجوى مباشرة أو للسطوح الباردة بعد مدة من الخزن فتنمو على الحبوب جراثيم العفن وتكسو سطحها وتصاب بالتلف حتى لو كانت فى الأصل سليمة عند بدء الخزن .

ويجب لتلافى مثل هذه الحالات العمل على تجديد هواء الحيز المخزن به القمح بوسائل ميكانيكية حتى يتساوى القمح المخزن فى درجة حرارته وفى جميع أجزائه مع درجة حرارة الجو ، كما يجب أن يتم ذلك فى أبرد أوقات اليوم ، أما فى الصوامع الصغيرة فإنه يمكن امتصاص الكميات الزائدة من الماء المنفرد بواسطة وضع كميات من الجير الحى على سطح الحبوب داخل الصومعة وتغييرها كلما تحولها إلى إيدروكسيد الكالسيوم (جير مطفأ) أو خفض درجة حرارة القمح خفضا متجانساً بالوسائل الميكانيكية كذلك .

السخونة المفاجئة spontaneous heating

يطلق على ارتفاع درجة الحرارة الفجائى للحبوب المخزونة بالسخونة المفاجئة وتحدث هذه الظاهرة فى القمح وفى الدريس ، ويكون ذلك نتيجة لعمليات التنفس . وتظهر السخونة الملموسة للقمح بعد نمو العفن mould الذى ينشط عادة بعد ارتفاع نسبة المحتويات المائية إلى حد أعلى من الدرجة أو النسبة الحرجة من المحتويات المائية ، كما تسبب الحشرات أيضاً ارتفاعا فى درجة الحرارة بسبب عملياتها الحيوية ، ويحدث هذا الارتفاع فى درجة حرارة القمح المخزون سائبا بسبب خاصية احتفاظه بالحرارة وعزلها فتتراكم الحرارة وتزداد ، وإذا كانت المحتويات المائية للحبوب مرتفعة لدرجة البلولة فإن الحبوب تأخذ فى الإنبات ويسرع عند ذلك تنفسها فتتولد عنه سخونة . إلا أن المحتويات المائية فى الحبة التى تساعد على الإنبات وهى ٢٥ ٪ نادرة الحدوث إلا فى حالة قواعد الأهراء عقب تساقط الأمطار .

وقد تحدث السخونة بسبب الإصابة الحشرية فى قمح محتوياته المائية فى حدود النسبة الحرجة من المحتويات المائية ، ولكن تلك الحرارة نادرا ما تصل إلى ١١٠ف (٤٣°م) حيث تهاجر الحشرات فى تلك الحالة من تلك المنطقة إلى مكان آخر أقل فى درجة الحرارة وهكذا ، وبذلك تتسع المنطقة التى بها سخونة نتيجة لإصابتها بالحشرات .

وقد تحدث السخونة أيضاً بسبب إنبات الحبوب نفسها ، وتحدث هذه الحالة عادة عند ما تكون المحتويات المائية عالية ، وتقف هذه السخونة كذلك عند درجة ١١٠ف (٤٣°م) حيث تموت الحبوب المنبتة عند هذه الدرجة .

اما السخونة الناشئة عن الفطر فإنها قد تصل إلى درجة ١٣٠ف (٥٥°م) أو أكثر وتحدث أضراراً جسيمة للحبوب قبل أن تموت هذه الفطر بفعل الحرارة التى تتوالد منها . والحبوب التى تبدأ فى السخونة تكون قد وصلت إلى درجة ملموسة من التلف لنمو العفن mould الذى يسبب انحطاط صفات القمح . ونادرا ما توجد فى الحبوب المخزونه عفونة decay وقد تشاهد هذه الحالة فى حبوب أرضية الأهراء حيث تمتص نسبة مرتفعة من ماء الرشح ، أو عقب تساقط الأمطار فى الجهات الشمالية بالشون المكشوفة . كما قد توجد هذه الحالة عند فتحات الصوامع وغير ذلك .

وقد تحدث السخونة أيضاً بسبب نمو البكتريا bacteria وتنمو هذه الكائنات الدقيقة على الحبوب التى تتعادل محتوياتها المائية مع ٩٥ ٪ من الرطوبة النسبية

فى الجو ، وقد تحدث بعض أنواع البكتريا حرارة قد تصل إلى ١٦٠° ف (٧١°م) وهذه الأنواع من الكائنات الدنيا تسبب التحلل والفساد rotting الذى يجعل الحبوب غير صالحة لأى غرض من الأغراض .

والسخونة الناشئة فى الحبوب ترجع أساسا إلى العوامل البيولوجية السابق الكلام عنها ،وقد تحدث سخونة كيمائية مفاجئة بسبب تفاعل كيمائى مع الاوكسجين بعد أن تكون السخونة العادية قد وصلت إلى درجات عالية من الحرارة .

والسخونة المفاجئة فى الحبوب تقف عند حد معين أقل من نقطة الاشتعال ، وذلك لفقدان الحرارة ، وعدم وجود أوكسجين كاف فى الهواء بين الحبوب ، أما السخونة الناشئة عن التفاعل الكيماوى فتنشأ من أكسدة مركبات الحبة كالدهون والسكريات ، ويحدث ذلك فى أقصى درجات الحرارة الناشئة من المصادر البيولوجية، وعندما يصل القمح إلى هذا الحد يصبح غير صالح لأى عملية من العمليات الصناعية .

وتعتبر السخونة المفاجئة ، على وجه العموم ، أشد أنواع التلف الذى يحدث فى الحبوب .

الأضرار الناشئة عن ارتفاع المحتويات المائية

عندما تطول مدة خزن الحبوب التى ترتفع محتوياتها المائية عن النسبة الحرجة فإن الأغراض التى تظهر هى رائحة غير مرغوبة شديدة النفاذ من الصعب إزالتها من الحبوب ، وهى بداية لتغيرات كيماوية فى مركبات الحبة ، ذلك أن الفطر النامية تنتج خمائر ferments نشيطة تؤثر فى البروتين والنشا والدهون الموجودة بالحبة ، فإذا طالت مدة التفاعل بين الخمائر ومركبات الحبة فإن الحبوب تصير غير صالحة للأغراض التجارية .

وتنمو الفطر فى مبدأ الأمر على بروتين جنين الحبة ، فتحول زيت الجنين إلى أحماض وتستهلك عملية تنفس الفطر جزءا من النشا والسكر ، ويتسبب عن ذلك نقص فى وزن المادة الجافة للحبة ، ويؤثر هذا النوع من التلف على الدقيق من حيث الطعم والرائحة .

وتنشأ عن نمو الفطر واطراد نموه زيادة فعلية فى نسبة المحتويات المائية ، وهذا العامل يزيد نمو الفطر قوة فيزداد التلف .

ويوجد مظهر آخر من مظاهر التلف أثناء الخزن يعرف فى الخارج باسم الحبوب المريضة . وتتميز باللون الداكن وتعفن الجنين والرائحة الكريهة ، وهذا القمح يكون منخفضاً فى نسبة الإنبات ، ويحتوى على نسبة عالية من الحموضة الدهنية ، وينشأ ذلك عادة من عدة عوامل منها نمو البكتريا ، وقلة الهواء ، وبالتالى قلة الأوكسجين أو الإصابة بضمور فى الجنين بسبب عوامل جوية أو بالعدوى من حبوب أخرى ، غير أنه لم تجر تجارب تثبت صحة هذه الآراء ، ولكن من المعروف أن الحبوب الداكنة فى اللون « المريضة » تنشأ عن ارتفاع فى محتوياتها المائية عند الخزن فى حرارة عالية ، كما أن نمو الفطر غير ضرورى لظهور هذه الحالة ، لأنها قد تظهر عندما تكون المحتويات المائية فى حدود النسبة الحرجة إذا كانت الحرارة مرتفعة بدرجة كافية مع استطالة مدة الخزن . وقد تظهر هذه الحالة فى الحبوب المخزونة والمحتوية على محتويات مائية عالية حتى فى غياب الأوكسجين ، وهو ضرورى لنمو العفن ، ولكن نمو الفطر يعقبه ظهور الحبوب المريضة .

وتدل الحبوب المريضة فى القمح التجارى عادة على وجود إصابة بالعفن ، كما أنها تبين أن تلك الحبوب كانت تحتوى فى إحدى فترات الخزن على محتويات مائية عالية .

ولمنع ظهور حبوب مريضة يجب العمل قبل الخزن على خفض المحتويات المائية إلى النسبة الحرجة ، والخزن فى درجات حرارة منخفضة إن أمكن ، وتهوية أماكن الخزن ، ووضع جير حى فى أوان مفلطحة على سطح الصوامع لامتصاص الرطوبة وتغيير الجير كلما تم تحوله إلى جير مطفأ .

المـــــراجـــــع

١ — * خزن الحبوب ١٩٤٩ قسم الحشرات فى وزارة الزراعة .
« من مطبوعات المعرض الزراعى الصناعى العام السادس عشر بالقاهرة »

٢ — رزق عطيه ١٩٣٩ « النشرة الفنية ١٩٢ - وزارة الزراعة » * .
(*) « العوامل المختلفة التى تؤثر فى درجة حرارة كومة من الحبوب فى العراء »

3. — Anderson, J. A., Alcock, A. W. : Storage of cereal grains and their products.

4. — Milner, Christensen, Geddes : Grain storage studies. IV Biological and chemical factors involved in the spontaneous heating of soy beans.

5. — Milner, Christensen, Geddes : Grain storage studies. V. Chemical and microbiological studies on «sick wheat».

6. — Milner, Christensen, Geddes : Grain storage studies. VI Wheat respiration in relation to moisture content, mold growth chemical deterioration and heating.

7. — Oxley, T. A. : The Scientific principles of grain storage.
8. — Oxley, T. A. : Grain storage research. USDA. Tech. Bull 1113

(*) تام بكتابة هذه النشرة المهندس الزراعى رزق عطية