الفصل التاسع

صوامع الغلال
ومخازن الدقيق ومنتجاته

الاعتبارات الرئيسية فى تخزين الحبوب . الاشتراطات إلى تراعى فى تحديد طريقة التخزين . إشتراطات مبانى مخازن الحبوب. الضغط على جدران خلايا الحبوب. تخزين الحبوب الصغيرة فى الصوامع. تخزين كيزان الذرة الخضراء . صوامع الحبوب الكبيرة : بعض طرق التخزين الخاصة . صوامع الغلال المركزية . أخطار الصوامع . تجفيف الحبوب. الصوامع المصرية. تخزين الدقيق السائب. تخزين الزوائد . صعوبات مخازن الدقيق والزوائد . تعبئة وتخزين منتجات الحبوب . القوارض التى تصيب الحبوب المخزونة . تنفس الحبوب المخزونة . نمو الأحياء الدقيقة على الحبوب .

تفقد الدول المنتجة للحبوب الغذائية كميات كبيرة من الحبوب سنوياً بسبب سوء ظروف تخزينها وتداولها ، إذ تتعرض نسبة كبيرة من هذه الحبوب للتلف بفعل عوامل الفساد التى أهمها تقلبات الجو والإصابة بالحشرات والقوارض والأحياء الدقيقة . لذلك اتخذت معظم الدول المتقدمة خطوات إيجابية نحو تحسين طرق تخزين الحبوب فتطورت هذه من مجرد تكويم الحبوب على سطح الأرض معرضة للظروف الجوية ، أو رصها معبأة فى جوالات ، أو دفنها تحت سطح الأرض فى حفر ، إلى تخزين الحبوب فى المخازن الحديثة أو فى الصوامع . فعلى سبيل المثال أقيمت فى الولايات المتحدة الأمريكية شبكة من الصوامع الريفية Country elevators لتجميع الحبوب فى الريف ومنها تشحن الحبوب إلى المطاحن أو المصانع القريبة . كما أنشئت صوامع رئيسية فى جهات متفرقة لتجميع وتخزين الحبوب .

الاعتبارات الرئيسية فى تخزين الحبوب :

عند تخزين الحبوب الغذائية على نطاق واسع ، سواء كان ذلك فى مخازن ريفية بسيطة أو فى صوامع كبيرة حديثة ، توجد عدة اعتبارات يلزم أخذها فى الاعتبار للمحافظة على سلامة الحبوب وعدم تدهور جودة صفاتها . وهذه الاعتبارات تتلخص فى ثلاث نقاط هى ظروف الحبوب نفسها وتأثير مبنى التخزين فى المحافظة على صفات الحبوب ومواصفات المبنى .

فبالنسبة لظروف الحبوب نفسها ، يعتقد أن رطوبة الحبوب ودرجة حرارتها هما العاملان الرئيسيان المؤثران فى كفاءة التخزين . ويلى هذين العاملين فى الأهمية نسبتا الحبوب المكسورة والشوائب . فهناك درجة رطوبة قصوى فى الحبوب يجب عدم تجاوزها إذا أريد المحافظة على سلامة

الحبوب فى التخزين . وهذه الدرجة من الرطوبة تختلف تبعاً لنوع الحبوب وموقع المخازن وطرق تكييف الحبوب وطول مدة التخزين . وتعتبر درجات الرطوبة فى الحبوب المناسبة للتخزين لمدة عام كامل دون أن تتعرض الحبوب للتلف هى :

١٣ ٪	لحبوب الذرة والزمير والسورجم
١٣ — ١٣,٥ ٪	للقمح الشتوى الأحمر الصلب
١٣ — ١٤ ٪	للقمح الشتوى الأحمر اللين
١٤ — ١٤,٥ ٪	للقمح الربيعى الأحمر الصلب
١١	لفول الصويا

ويلزم خفض هذه النسبة بمقدار إثنين فى المائة فى حالة التخزين المدة أطول قد تصل إلى خمسة أعوام وكذلك عند تخزين حبوب التقاوى . ويجب الا يغفل أن هذه الأرقام قد حددت على ضوء تجارب أجريت فى الولايات المتحدة الأمريكية ، فتطبيقها فى الظروف المحلية يقتضى الحذر ، ويفضل أن تحدد الأرقام المناسبة بإجراء تجارب فى جمهورية مصر العربية . ولا تحدد درجة واحدة لتخزين النوع الواحد من الحبوب إذ تتوقف هذه الدرجة على ظروف المناخ فى مناطق التخزين المختلفة ، كما أن التباين فى درجة الرطوبة المناسبة بين الأنواع المختلفة من الحبوب يرجع إلى اختلاف الإتزان بين الرطوبة النسبية ورطوبة الحبوب لكل نوع منها . وهذا الإتزان له أهميته العملية إذ أن الفطريات لا تنمو على الحبوب عندما تنخفض الرطوبة النسبية عن ٦٥ فى المائة .

وعندما تنخفض نسبة الرطوبة فى حبوب الذرة والقمح إلى تسعة فى المائة يتوقف نشاط حشرات الحبوب . لكن هذه الدرجة من الرطوبة ليست عملية فى بعض الدول ذات الجو الرطب أثناء فترة نضج المحصول ولذلك

يشار بصفة عامة إلى أنه كلما انخفضت نسبة الرطوبة فى الحبوب كلما قلت الإصابة بالحشرات .

وبانخفاض درجـة حرارة الحبوب يقل نمو الفطريات والإصابة بالحشرات ، ولذلك ففى الأجواء الباردة يمكن تخزين الحبوب وبها نسبة من الرطوبة تزيد بمقدار الواحد أو الواحد ونصف فى المائة عن نظيرتها فى الجو الدافىء . كذلك مما يساعد على المحافظة على سلامة الحبوب المخزونة تقليبها وتهويتها من وقت لآخر مما يسبب برودتها ، أو تعديل درجة حرارة جو الصومعة ميكانيكياً . وفى التخزين الحديث تنحصر أهمية تهوية الحبوب المخزونة فى تبريد الحبوب ومنع تسرب رطوبتها إلى الطبقات السطحية وإزالة جزء من الرطوبة المتجمعة فى الطبقات السطحية والتخلص من جزء من الحرارة فى حالة التخزين فى الجو الحار . ويجب تحاشى إجراء عملية التهوية فى حالة الرطوبة المفرطة لأن هذا يسبب اندفاع الرطوبة داخل الحبوب .

وتساعد الشوائب عند وجودها فى الحبوب المخزونة بنسبة مرتفعة على نمو ونشـاط حشرات الحبوب المخزونة غـير الثاقبة المعروفة باسم brad or fungus beetles والتى تتغذى على غبار الحبوب والحبوب المكسورة والفطريات . ومن مساوئ ارتفاع نسبة الحبوب المكسورة والمواد الغريبة أيضاً تعذر تدخين هذه الحبوب جيداً .

الاشتراطات التى تراعى فى تحديد طريقة التخزين :

كل ما يراعى فى التخزين الحديث يتلخص فيما يلى :

١ — حماية الحبوب من الرطوبة الزائدة ومن الحشرات ومن القوارض ومن درجة الحرارة الملائمة لنشاط ونمو الحشرات والفطريات .

٢ — إمكان تخزين كميات كبيرة من الحبوب .

٣ – ضمان سلامة وسهولة نقل الحبوب من وإلى المخازن .

٤ – إمكان فحص الحبوب بسهولة داخل المخازن أو الصوامع دون اضطرار إلى نقلها للخارج .

٥ – إمكان تكييف الحبوب المخزونة .

وأهم هذه الاعتبارات بصفة عامة هو منع ارتفاع نسبة الرطوبة فى الحبوب إلى حد يزيد على درجة الأمان ، إذ أن ارتفاع الرطوبة عن الحد المناسب هو العامل المنشط لعوامل الفساد الأخرى . لذلك تؤخذ كافة الإحتياطات لعزل جو الصومعة أو مخزن الحبوب عن الجو الخارجى منعاً لتسرب الرطوبة من الجو إلى الداخل . ويراعى عدم نشع الرطوبة من أرضية المخزن إلى الحبوب ، كما يتحاشى وجود الرشح من الجدران أو صغر مساحة السقف لأنها تسبب تلف نسبة ضئيلة من الحبوب وهذه النسبة سوف تكون نواة لبداية الفساد إذا لم يتخلص منها سريعاً .

وتسرب الرطوبة فى الحبوب المخزونة بكميات كبيرة له أهميته . فتجمع الرطوبة يظهر فى مركز الطبقات السطحية للحبوب أثناء تغير الجو تجاه البرودة حيث تصبح طبقات الحبوب فى المركز أدفأ نسبياً من الحبوب المجاورة للجدران ، وهذا يسبب دوران الهواء المحيط بالحبوب فيرتفع الهواء الساخن من المركز إلى الطبقات الخارجية حيث يتعرض للبرودة ويسبب ذلك انتقال رطوبة من الهواء إلى الحبوب . والتأثير ليس طفيفاً بل إنه بالغ الخطورة إذ قد يسبب رفع نسبة الرطوبة فى الحبوب فى الطبقة السطحية التى يقرب سمكها من القدم الواحد إلى ما يقرب من ثلاثين فى المائة . وتزداد الحالة سوءاً فى هذه المنطقة بانتقال الحشرات إليها سعياً وراء الدفء ويترتب على نشاط هذه الحشرات ارتفاع كل من درجة الحرارة ونسبة الرطوبة . وبديهى أن حماية الحبوب من رطوبة الجو المحيط تتحقق بالتخزين فى حيز مغلق كالصومعة ، أما منع أو تقليل انتقال الرطوبة من

مناطق إلى أخرى فى الحبوب المخزونة فيتوصل إليه بتخزين الحبوب بكميات ضئيلة أو بسمك قليل وبتجفيف الحبوب نوعاً قبل تخزينها وبتبريد الحبوب أثناء التخزين .

وتعتبر المخازن الحديثة هى الوسيلة الوحيدة الفعالة فى تقليل تلف وفقد الحبوب وكذلك فى تقليل تلوث منتجات الحبوب بأجزاء الحشرات وشعر القوارض . ويمكن جعل الصوامع ومخازن الغلال مانعة لتسرب الحشرات إلى الحبوب بوضع شباك على فتحاتها فتمنع دخول الحشرات ، كما يمكن جعل المخازن محكمة القفل تمنع تسرب الهواء للداخل فيمتنع بالتالى دخول الحشرات بالإضافة إلى أن ذلك يسبب موت الحشرات الموجودة بالداخل .

ولدرجة الحرارة أهميتها فى التخزين . وعادة ترتفع درجة حرارة الحبوب المخزونة بتأثير نشاط الإنزيمات والأحياء الدقيقة وفعل الحشرات وبتأثير حرارة الهواء وأشعة الشمس . فالحشرات قد تسبب إرتفاع درجة الحرارة فى مناطق نشاطها إلى ما يقرب من ١٠٥° فهرنهيت عندما تشتد الإصابة. أما الإنزيمات والأحياء الدقيقة فنشاطهما يظهر بوضوح عندما تتجاوز نسبة الرطوبة فى الحبوب الدرجة الحرجة . وأما أشعة الشمس وحرارة الهواء فأثرهما يظهر على طبقات الحبوب المجاورة للجدران والمعرضة من أعلى ، وقد ترتفع درجة حرارة الحبوب بتأثير ذلك حوالى عشرة أو إثنى عشر درجة فهرنهيتية عند التخزين فى خلايا معدنية مجلفنة عن نظيرتها فى حالة التخزين فى خلايا معدنية مطلاة من الداخل باللون الأبيض أو مزودة بسطح عاكس . ولهذا فالتخزين الحديث يستخدم التهوية الآلية فى الصوامع ومخازن الحبوب لتحقيق برودة الحبوب فتطول مدة الحفظ وكذلك لمنع نشاط الحشرات وتقليل تسرب الرطوبة .

وتفيد المخازن الحديثة الحبوب فى تقليل الفقد بالقوارض والحيوانات والسرقات أيضاً، وهى تسهل نقل الحبوب للداخل وإلى الخارج بطرق آلية ،

خصوصاً فى الصوامع الرئيسية التى تعبأ وتفرغ عدة مرات سنوياً . وعند تشييد هذه المخازن يراعى عمل فتحات خاصة بأخذ العينات ، بدلاً من أخذها من المدخل والفتحات الصغيرة ، وبذلك يتيسر أخذ عينات من السطح قرب المركز حيث تبدأ التغيرات عادة . والشائع هو عمل فتحة وسطية بقطر أربعة أو خمسة أقدام فى سطح الصومعة أو المخزن تسمح بفحص الحبوب بالعين المجردة ويأخذ عينات باستعمال قلم أخذ العينات . ويحدد الفحص الحاجة للتهوية أو للتدخين عند الإصابة بالحشرات . هذا التدخين يزداد فعله عندما تكون الجدران والسقف والأرضية محكمة ، كما يراعى فى إنشاء المخازن إحتواؤها على قنوات التدخين . وقد تجهز خلايا التخزين بفتحات وأبواب تستخدم فى التجفيف وإزالة بعض الحبوب غير المرغوبة .

اشتراطات مبانى مخازن الحبوب :

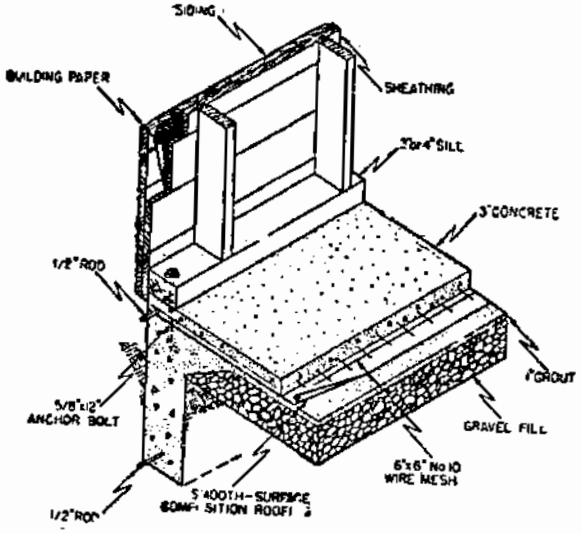
أهم ما يراعى فى إنشاء مخازن وصوامع الحبوب أن تكون أرضيتها وجدرانها قادرة على تحمل وزن الحبوب المخزونة بها . كما يجب أن تكون الجدران قادرة على تحمل الضغط الخارجى الذى يتفاوت تبعاً لنوع الحبوب وطبيعة المبنى ، والذى يجب تقديره بكل دقة منعاً للانهيار مستقبلا .

ويراعى فى تصميم ووضع أساس مخازن وصوامع الغلال أن يكون هذا قادراً على تحمل الوزن الثقيل الذى تزنه الحبوب المخزنة . ولذا يفضل أن تزداد مساحة أساس صوامع الغلال عن نظيرتها فى المبنى المماثل المستعمل فى أغراض أخرى غير تخزين الغلال . ويمكن الاستعاضة عن زيادة المساحة بعمل أعمدة ومشدات تؤدى نفس الغرض . ويراعى فى الأساس أن يكون قادراً على تحمل أى ثقل خارجى .

ويراعى فى أرضية الصوامع ألا تتسرب الرطوبة إلى الحبوب وألا تسمح بمرور القوارض إلى الداخل وأن تحتفظ بغازات التدخين وأن تخلو من الشقوق التى قد تدخل فيها الحبوب . وهذه الأرضية قد تكون واقعة فوق

سطح الأرض مباشرة أو تكون مرتفعة عن سطح الأرض بمثابة رصيف أو سطح الأساس المبنى . ومن المفضل أن تكون الأرضية مرتفعة عن سطح الأرض بحوالى ١٨ إلى ٢٤ بوصة لمنع تسرب الرطوبة والقوارض ، كما أن هذا النظام يسهل سرعة تبريد الحبوب المخزونة . وعند تغطية الأرضية بالطوب يجب أن يقع أسفله طبقة عازلة للرطوبة . ويمكن تغطية الأرضية بمادة معدنية وفى هذه الحالة يراعى تغطية السطح السفلى للمعدن بالأسفلت لمنع التآكل وكذلك تلحم الأطراف والتوصيلات جيداً . ويجب أن ترتفع الأرضية سواء أكانت حجارة أم معدناً عن سطح الأرض بمسافة لاتقل عن ثمانية بوصات .

ويراعى فى إنشاء الجدران أن تتحمل ثقل الحبوب المخزونة وألا تنفذ غازات التدخين أو ماء المطر . ويفضل أن تكون الجدران ذات طبقة عازلة من الورق المانع لتسرب الرطوبة بوسطها . ويراعى فى تصميم الجدران ألا تسمح بتجمع فضلات من الحبوب لأن هذه تكون مصدراً للتلوث بالحشرات فيما بعد . وفى حالة استخدام الطوب المفرغ فى بناء الجدران



(شكل ١٠١)

الأساس والأرضية والجدران فى صومعة خشبية مغطاة بالطوب

يجب عمل وقاية من تسرب المياه بتبطين الجدار من الداخل بطبقة من مادة عازلة للرطوبة ، أو بعمل هذه الطبقة فى الجدار نفسه . وفى المخازن المعدنية يجب مراعاة عدم وجود منافذ فى الجدران تسمح بتسرب الحبوب للخارج كنتيجة لعدم إحكام لحام التوصيلات .

ولا يشترط فى إنشاء جدران مخازن الغلال أن تكون عازلة للحرارة لأن الحبوب نفسها مادة عازلة جيدة ، فطبقة الحبوب بسمك ثلاثة بوصات تؤدى الفعل العازل مثل طبقة ألياف سمكها بوصة . لكنه يفضل على سبيل الوقاية من تسخين الحبوب المخزونة أن تظلل جدران مخازن الحبوب أو تجهز بسطح عاكس أشعة الشمس .

وكل ما يراعى فى إنشاء سقف مخازن الغلال هو أن يكون مانعاً لتسرب ماء المطر وغازات التدخين ، ولذلك يحكم اتصال السقف بالجدران لمنع تسرب الحشرات التى تطير أو تزحف إلى الداخل ، وتغطى فتحات التهوية والمنافذ الأخرى بالشباك لنفس الغرض . ويجب تهوية الفراغ الواقع أسفل السقف حتى فى حالة تخزين حبوب جافة وذلك لتغيير الهواء الساخن الذى ارتفعت حرارته بفعل أشعة الشمس ولتغيير الهواء الرطب الذى ارتفعت نسبة الرطوبة به نتيجة لتجمع الرطوبة على سطح الحبوب .

وفى حالة مخازن الحبوب المعدنية الخفيفة كالمصنوعة من الألومنيوم مثلاً وكذلك للصوامع الأخرى المصنوعة من مواد خفيفة أو بأساس ضعيف ، يجب أن تؤخذ الوقاية من الرياح منعاً لانهيار هذه المخازن عند هبوب الرياح .

الضغط على جدران خلايا صوامع الحبوب :

لضمان سلامة وكفاءة مبانى صوامع الغلال ، ولعدم الإسراف فى التشييد ، يقدر الضغط الذى يجب أن تتحمله أرضية وجدران الصومعة . ويفترض

دائماً أن نسبة وحدة الضغط الجانبي إلى وحدة الضغط العمودى ثابتة فى جميع مناطق خلية التخزين . ويحسب الضغط الجانبي بالأرطال على البوصة المربعة من المعادلة :

$$L = \frac{w\,R}{u}\left(\frac{}{1 - e^{-kuy/R}}\right)$$

باعتبار L ترمز للضغط الجانبي بالرطل على القدم المربع ، W وزن الحبوب بالرطل فى القدم المكعب ، u معامل احتكاك الحبوب على جدار الخلية وهو يساوى ظل الزاوية Φ أى زاوية إنحدار الحبوب على جدار الخلية بالدرجات ، K نسبة وحدة الضغط الجانبي إلى وحدة الضغط العمودى فى الحبوب ، R مساحة الخلية بالقدم المربع مقسومة على المحيط بالقدم ، Y عمق الحبوب المخزونة بالقدم .

وتحسب وحدة الضغط الرأسى V من نتيجة المعادلة السابقة باستخدام المعادلة .

$$K = \frac{L}{V}$$

ولتطبيق هاتين المعادلتين تستعمل الأرقام التى حسبت من التجارب العملية العديدة لإيجاد القيم k .. n w وهى مبينة فى الجدولين التاليين طبقاً لباحثين مختلفين.

الحبوب	w	Φ	U	K
	رطل قدم	درجة		
شعير	٣٨,٤	٢٦,٨	٠,٥٠٧	
	٤٠,٠—٤٣,٢	١٦ — ٢٨		
ذرة	٤٤,٠	٢٧,٥	٠,٥٢١	
	٤٧,٠	٢٧,٠	٠,٥١٠	٠,٥٩٩
	٤٧,٥	١٨,٧	٠,٣٤	٠,٦٥٤
	٤٨,٠	١٦ — ٢٧		
بنرة الكتان	٤٤,٨	٢٤,٣	٠,٤٥	
	٤٣,٢	١٤ — ٢٥		
ذرة سورجم	٤٠,٠—٤٤,٨			
	٤٦,٤	٢٠ — ٣٣		
زمير	٢٥,٦	٢٨,٠	٠,٥٣٢	
	٣٣,٦—٣٥,٢	١٨ — ٣٢		
بسلة	٥٠,٠	٢٥,١	٠,٣٧٢	
	٣٦,٠	٣٤,٠—٣٦,٠	٠,٦٧٥—٠,٧٢٧	٠,٤٨
أرز		٢٠ — ٣٦		
شيلم	٤٤,٨			٠,٢٣-٠,٤٥
	٤١,٦	١٧ — ١٦		
فول صويا	٤٦,٠	٣٠,٠	٠,٥٨٠	٠,٣٨٣
	٤٦,٤	١٦ — ٢٩		
قمح	٤٨,٠	٢٤,٩	٠,٤٦٦	٠,٣٠-٠,٣٤
	٤٦,٠	٢٧,٠	٠,٥١٠	٠,٦١٢
	٤٨,٨—٥٢,٠	١٦ — ٢٨		

قيمة (u) للحبوب على جدار الصوامع المختلفة طبقاً لباحثين مختلفين

الحبوب	مخازن خشبية			حديد أو صلب	طوب
	سطح خشن	سطح ناعم	جدران ممهدة		
شعير	٠,٤٢٤	٠,٣٢٥		٠,٣٧٦	٠,٤٥٢
	٠,٥٥٤			٠,٤٧٩	
فول	٠,٤٣٥	٠,٣٢٢		٠,٣٦٦	٠,٤٤٢
ذرة	٠,٣٤٤	٠,٣٠٨		٠,٣٧٤	٠,٤٢٣
	٠,٣٠٢			٠,٤٤٧	
					٠, ٢٥
				,٣٦٠	
بلدر الكتان	٠,٤٠٧	٠,٣٠٨		٠,٣٣٩	٠,٤١٤
	٠,٢٧٥			٠,٣٧٢	
زمير	٠,٤٥٠	٠,٣٦٩		٠,٤١٢	٠,٤٦٦
	٠,٣٨٠			٠,٤٤٥	
بسلة	٠,٢٨٧	٠,٢٦٨		٠,٢٦٣	٠,٢٩٦
أرز	—٠,٤٩٥	— ٠,٤٣٥		— ٠,٤٠٢	—٠,٤٧٣
	٠,٥٤٢	٠,٤٤٠		٠,٤٤٩	٠,٦٠٠
	٠,٥٣٠			٠,٤٧٩	
شيلم					
			٠,٥٤		٠, ٨٥
			٠,٧٨		
			٠,٣٧		
			٠,٥٥		
	,٣٣٠			٠,٤٠٦	

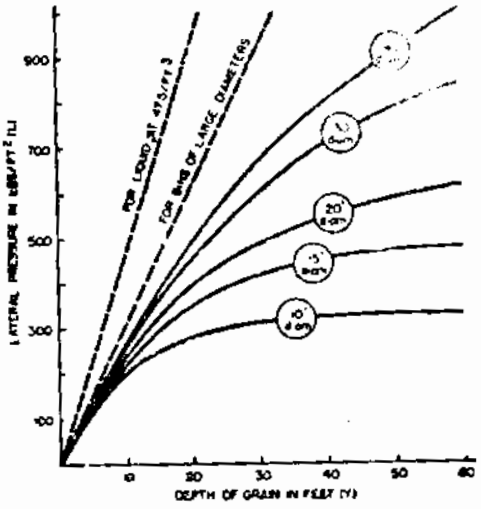
فول صويا				٠,٣٦٨	٠,٢٧
	٠,٣١٢				
قمح	٠,٤١٢	٠٣٦١		٠,٤١٤	٠,٤٤٤
			٠,٤٣		٠,٧١
			٠,٥٨		
			٠,٢٥		
			٠,٤٥		
			٠,٤٢٠	٠,٣٧٥	٠,٤٠٠
			٠,٤٥٠	٠,٤٠٠	٠,٤٢٥
					٠,٣٥
	٠,٢٧٧			٠,٣٤٠	
	٠,٢٩٨			٠,٣٦٦	

ويمكن حساب الضغط الكلى p الواقع على قطاع من جدار الصومعة يمثل وحدة العرض باعتبار عمق الحبوب y من المعادلة .

$$p = \int_{o}^{y} L \, dy$$

ويكون الضغط العمودى الواقع على هذا الحائط مساوماً $p \bar{u}$.

ويمكن إيضاح تاثير عمق الحبوب المخزونة على الضغط الجانبى الواقع على جدران المخزن أو الصومعة بالرسم البيانى التالى الذى يشير إلى زيادة الضغط الواقع على جدران الخلية المستديرة بازدياد عمق الحبوب ، غير ن هذه الزيادة فى الضغط تتأثر بقطر الخلية :



شكل (١٠٢)
الضغط الجانبى على جدران الخلايا المستديرة بتأثير حبوب الذرة المخزونة

وفى طريقة أخرى لحساب الضغط تطبق المعادلة فى حالة المخازن قلية الغور :

$$L = wy \left[\frac{}{\sqrt{u\,(u+u^{-})} + \sqrt{1+u^{2}}} \right]$$

والمعادلة التالية فى حالة المخازن الكبيرة ذات العمق الكبير :

$$L = \frac{w\,d}{u+u} \left[1 - \frac{\sqrt{1+u^{2}}}{\sqrt{\frac{2h}{d}\,(u^{-}+u^{-}) + 1 - u\,u^{-}}} \right]$$

باعتبار d عرض الصومعة بالقدم ، u معامل احتكاك الحبوب على الحبوب أى ظل الزاوية θ وهى زاوية الاستكنان repose ، h أعمق الحبوب

وتتلخص اعتبارات الضغط على جدران وأرضية الصومعة فيما يلى :

١ – يخضع ضغط الحبوب على جدران وأرضية الصوامع لقوانين المواد شبه السائلة التى تختلف تماماً عن قوانين ضغط السوائل .

٢ – يكون دائماً الضغط الجانبى للحبوب على جدران مخازنها أقل من الضغط العمودى ، فالأول لا يتجاوز ٠,٣ إلى ٠,٦ قيمة الثانى ، ويزداد هذا الضغط الجانبى قليلاً عندما يتجاوز العمق مسافة تبلغ ٢,٥ إلى ثلاثة أمثال عرض أو قطر الصومعة .

٣ – تختلف نسبة الضغط الجانبى إلى الضغط العمودى باختلاف الصوامع وأنواع الحبوب.

٤ – يكون ضغط الحبوب المتحركة على جدران خلايا التخزين أعلى قليلا من ضغط الحبوب الساكنة .

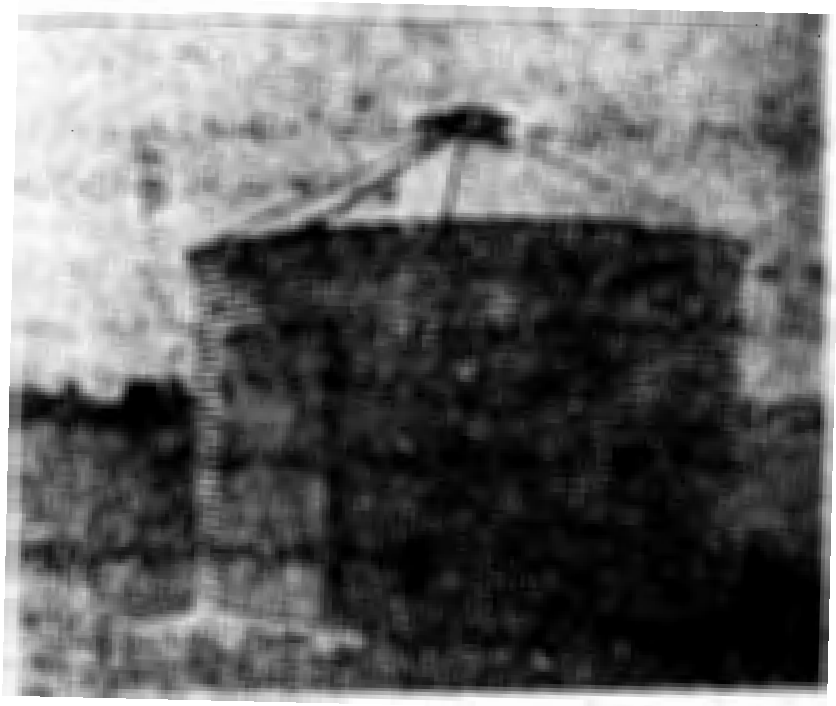
٥ – عند تفريغ خلية الحبوب من أحد جوانبها ينخفض الضغط على جدار الخلية الذى يتم خلاله التفريغ بينما يزداد الضغط على الجدار المقابل لفتحة التفريغ بسبب تحرك الحبوب .

٦ – يبلغ الضغط الجانبى أقصاه عقب إتمام ملأ خلية الحبوب .

تخزين الحبوب الصغيرة فى الصوامع :

عند إنشاء المخازن لتخزين الحبوب الصغيرة يجب أن يؤخذ فى الاعتبار عدة نقاط منها مناخ المنطقة ونسبة الرطوبة وانتشار الحشرات ومدة التخزين ونوع الحبوب وسعر الحبوب وسهولة النقل وتوفر عمال ومواد البناء . وتتلخص الاعتبارات التى تراعى فى التخزين فى المخازن أو الصوامع الصغيرة bins فى الريف فيما يلى :

١ – أنواع المخازن : يمكن استعمال مخازن صغيرة ثابتة أو متحركة، وفى الحالة الأخيرة تحمل الصومعة الصغيرة على أرضية من الخشب ذات عجلات للانزلاق . وتستعمل مثل هذه المخازن الصغيرة فى تخزين كميات صغيرة من الحبوب الجافة قد تصل إلى خمسة وعشرين طناً . ويمكن فى مثل هذه الصوامع الصغيرة تدخين الحبوب لكنه ليس ممكناً تهوية الحبوب وتكييفها إذا اقتضى الأمر ذلك . ويمكن أن تكون وحدة التخزين عبارة عن صومعتين أو أكثر ، وفى هذه الحالة يمكن تهوية وتكييف الحبوب إذا جهزت الوحدة بالآلات اللازمة لذلك .



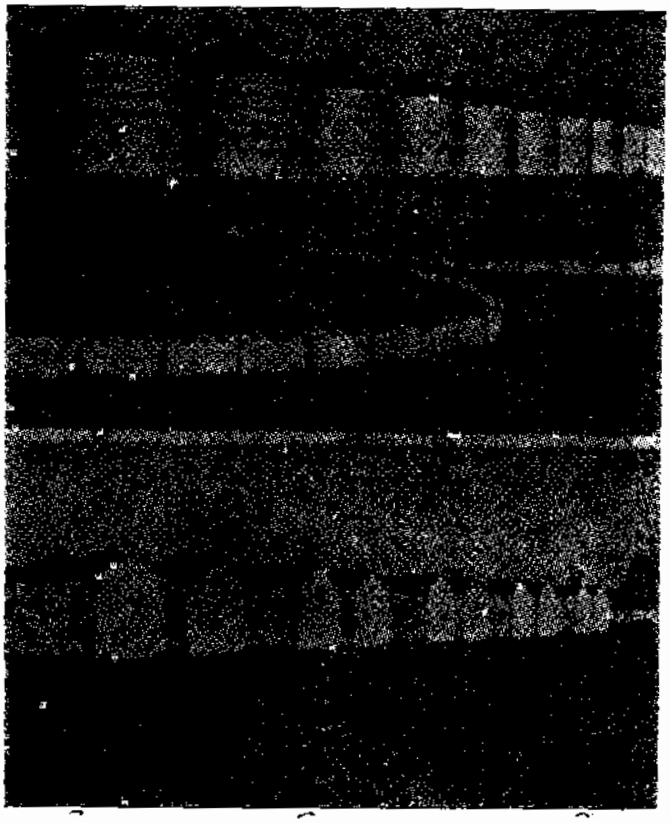
(شكل ١٠٣)

خلية معدنية مستديرة لتخزين الحبوب الجافة فى المزارع

وفى بعض الأحيان تخزن الزيادة من الحبوب فى مبانى المزرعة المستعملة

كمخازن للآلات والأدوات ؛ وفى هذه الحالة تكون الحبوب فى مأمن من أشعة الشمس والأمطار والعواصف ، لكن نسبة التلف تكون أعلى منها فى حالة التخزين فى الصوامع الخاصة .

ويمكن أن تزود المزارع بمجموعات من الخلايا المتوسطة الحجم المصنوعة من الخشب أو الألومنيوم أو الصلب أو غيرها لتجميع كميات من الحبوب قد تصل إلى عشرة أطنان . وبديهى أن مثل هذا المشروع يجب أن تتكفل بإقامته الدولة أو الجمعيات التعاونية الزراعية إذ أنه ليس ممكناً أن يقوم به المزارعون فرادى .



(شكل ١٠٤)

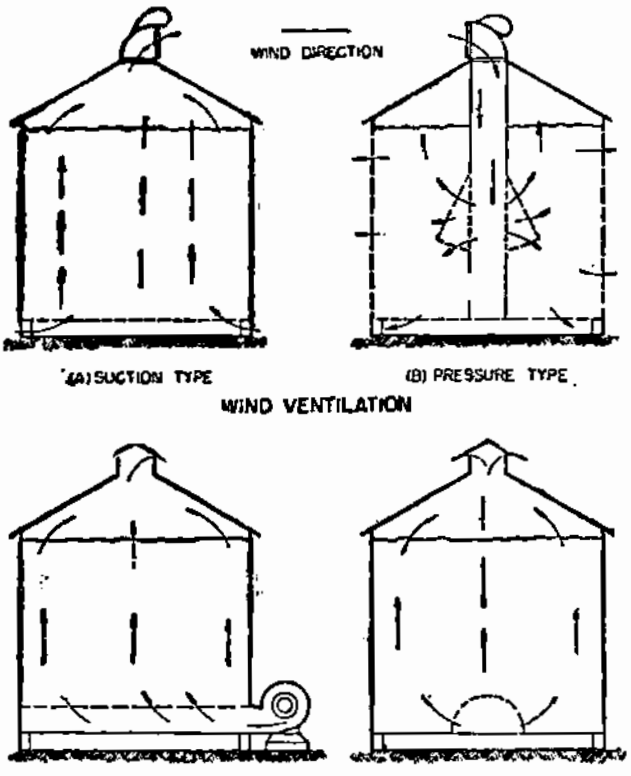
مجموعة من خلايا تخزين الحبوب فى الريف بعضها معدنى وبعضها خشبى

٢ – آلات ملأ وتفريغ خلايا الحبوب . يستعمل فى تعبئة الحبوب داخل خلايا الصوامع وفى تفريغها ماكينات elevators بعضها متنقل وبسيط وسهل التشغيل مثل النوع المعروف باسم Screw Conzcyer Or Euyer Type وبعضها كبير ينقل حوالى ألفى بوشل من الحبوب فى الساعة مثل النوع المعرف باسم elevator Flight – type . وقد يستعمل النوع الثالث المعروف باسم grain blowers لكنه يسبب تجريح بعض الحبوب ، وتزداد نسبة الحبوب المتشققة بزيادة سرعة الحبوب.

(شكل ١٠٥) آلة ملأ وتفريغ الحبوب من خلايا التخزين ومن سيارات الشحن

٣ – مشاكل التخزين الرئيسية : أهم مشكلات تخزين الحبوب فى الصوامع الصغيرة بالريف هى الإصابة بالحشرات وتسرب عوامل التلف من خلال تشققات السقف والجدران وانتقال الرطوبة بين طبقات الحبوب المخزونة.

٤ – طرق تكييف وتهوية الحبوب المخزونة : هذا التكييف له أهمية فى الدول ذات الجو الرطب الذى يسبب ارتفاع نسبة الرطوبة فى الحبوب أثناء فترة الحصاد إلى حد يتراوح بين تسعة وعشرين فى المائة . وهذه الرطوبة



(شكل ١٠٦) نظاما التهوية الطبيعية والميكانيكية فى مخازن الغلال

المرتفعة تسبب تلف الحبوب أثناء التخزين . لذلك يدخل ضمن برنامج تكييف الحبوب طرق التخلص من جزء من الرطوبة . وتتلخص معاملات الحبوب

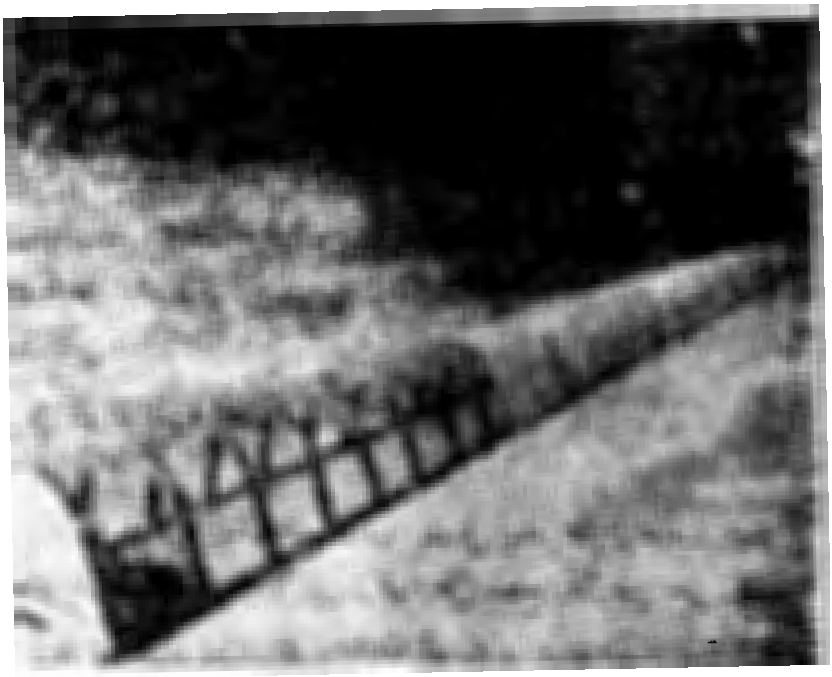
conditioning فى تدخينها قبل تنظيفها ، وتهويتها طبيعياً أو ميكانيكياً وتقليبها وتجفيفها صناعياً ، ويقتصر التجفيف الصناعى على الصوامع الكبيرة ، أما فى المخازن الصغيرة الريفية فيكتفى بتقليب وتبريد الحبوب .

وفى نظام التهوية الطبيعية يستخدم الهواء الجوى ، ويكون سير الهواء فى الاتجاهات الممثلة بالأسهم فى الشكل العلوى السابق . أما فى التهوية الميكانيكية فتزود الخلايا بمراوح وتكون أرضية المخازن مثقبة أو ذات قنوات تسمح بالتهوية كما هو موضح بالشكل السفلى السابق .

ويتم تجفيف الحبوب بانتقال الرطوبة منها إلى هواء التهوية وإلى الخارج على طريق جهاز التهوية . وفى نظام التهوية الطبيعية تفضل طريقة إمرار الهواء بالضغط على طريقة إمراره بالشفط لزيادة كفاءة الأولى فى التجفيف . وفى الصوامع والمخازن الكبيرة تستعمل التهوية الميكانيكية أيضاً إذ أنها تفيد فى تبريد الحبوب فيتحاشى بذلك الأثر الضار لارتفاع درجة حرارة الحبوب . كما أنها توقف تسرب الرطوبة من بعض مناطق الحبوب المخزونة إلى مناطق أخرى . ويمثل الشكل التالى قناة تمتد فوق الأرضية بطول قاعدة مخزن الحبوب الأفقى لتستعمل فى التهوية ، إذ أنها مثقبة وتقوبها مغطاة بالقماش السميك أو بشبكة من السلك تمنع تساقط الحبوب داخل القناة .

والقوة اللازمة لإدارة مراوح التهوية ليست كبيرة ، فالمخزن الذى يتسع لحوالى مائة طن من الحبوب يمكن إدارة مراوحة باستعمال موتور قوته حصان ونصف . ويمكن الحكم على كفاءة عملية التهوية إذا عرف أنه فى إحدى التجارب أمكن خفض درجة حرارة حبوب الذرة من ٥٤ إلى ٢٢° فهرنهيت خلال واحد وسبعين ساعة بالتهوية وباستخدام الهواء على درجة ١٧° فهرنهيت . كذلك ثبت بالتجربة أن درجة الرطوبة فى الحبوب قد ارتفعت من ١٢ إلى ٢٥ فى المائة فى المخازن غير المهواة بينما لم تتجاوز نسبة الرطوبة ١٥ فى المائة فى المخازن المهواة .

ويعتبر تقليب الحبوب أو نقلها من خلية لأخرى أحد وسائل تكييف الحبوب



(شكل ١٠٧) قناة التهوية فى قاعدة مخزن الحبوب

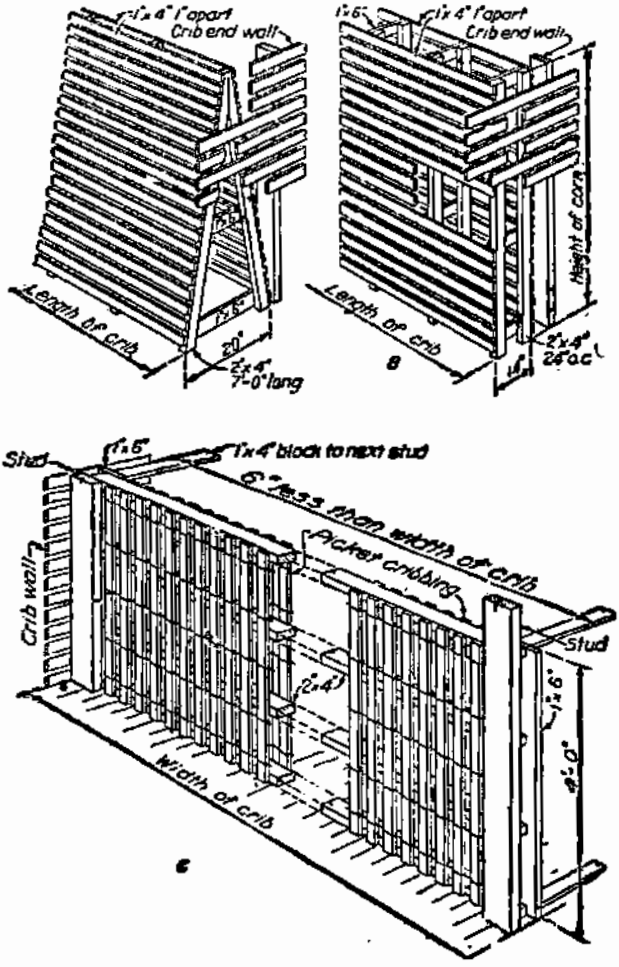
لكن هذه الطريقة لاتعتبر محبوبة تماماً إلا فى حالة إجرائها مراراً طول مدة التخزين . وتفيد عملية التقليب ونقل الحبوب من خلية لأخرى فى تسهيل الفحص بالعين لجميع طبقات الحبوب وبذلك يمكن اكتشاف الفساد عند بدء ظهوره والعمل على إزالته وإزلة مسبباته . وكثيراً ما يلجأ القائمون بالإشراف على مخازن الحبوب بإمرار الحبوب خلال أجهزة وماكينات النظافة أثناء نقلها من خلية لأخرى .

ويعتبر التجفيف الصناعى للحبوب أمراً ضرورياً فى بعض المناطق التى يصعب فيها إجراء التهوية باستخدام الهواء الجوى نظراً لارتفاع رطوبته النسبية . ويجرى التجفيف الصناعى للحبوب بتسخين الهواء عشرة أو عشرين درجة فهرنهيتية لخفض رطوبته النسبية إلى حوالى ثلاثين فى المائة ثم يمرر الهواء فى الحبوب كما فى التهوية الميكانيكية تماماً . وهذه العملية ليست مأمونة إذ قد يترتب عليها شدة جفاف الحبوب المجاورة لممرات الهواء عن باقى الحبوب وكذلك قد تسبب هذه العملية تسرب الرطوبة إلى الطبقات العلوية من الحبوب .

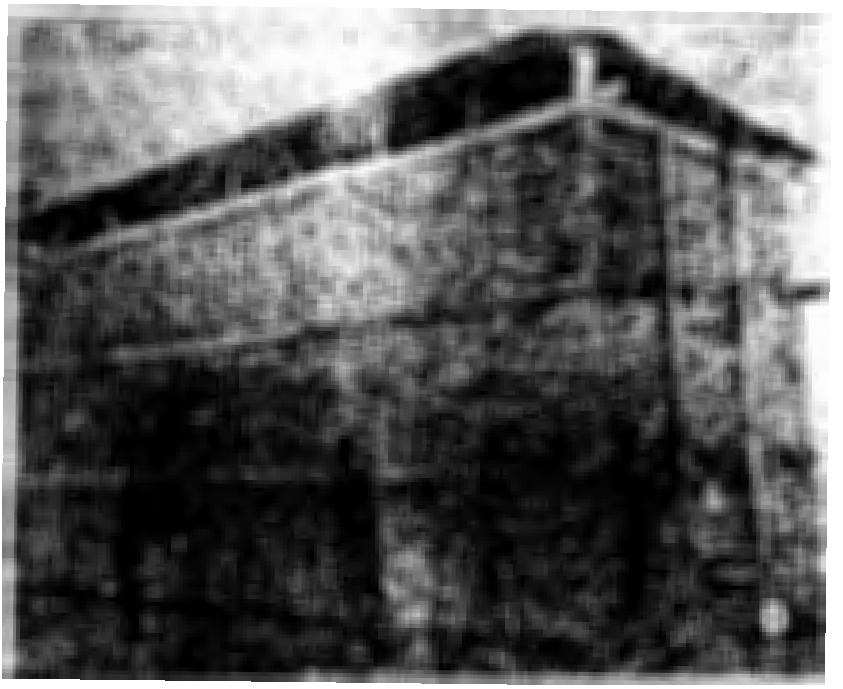
تخزين كيزان الذرة الخضراء :

عندما تتوفر الإمكانيات المادية يفضل بناء مخازن خاصة لتخزين كيزان الذرة الخضراء بدلاً من تركها على سطح الأرض حتى تجف . ويشترط فى مخازن كيزان الذرة Cribs أن تكون جيدة التهوية ليساعد ذلك على خفض رطوبة الكيزان إلى الحد الذى يسمح بتقشيرها وتفريط حبوبها . ويعتمد فى هذه المخازن على دوران الهواء طبيعياً ، ولذلك فسرعة الهواء ورطوبته النسبية يؤثران فى كفاءة هذه المخازن . وكذلك عرض المخزن يصبح ذا أهمية بالغة إذ أنه يؤثر فى سرعة الهواء . ويجب أن يراعى عند بناء مثل هذه المخازن أن تدرس العوامل الجوية فى منطقة الإنشاء وعلى ضوئها يحدد عرض المخزن . وهذه المخازن قد تكون مستديرة أو مستطيلة الشكل وجدرانها ذات فتحات تسمح بالتهوية ، وهذه الفتحات تمثل خمسة فى المائة من مساحة سطح المخزن على الأقل ، وقد ترتفع نسبة هذه الفتحات إلى ما يقرب من مائة فى المائة . وفى حالة ارتفاع نسبة الرطوبة فى كيزان الذرة كثيراً ، كأن تتجاوز ٢١ فى المائة ، يلزم تزويد المخازن

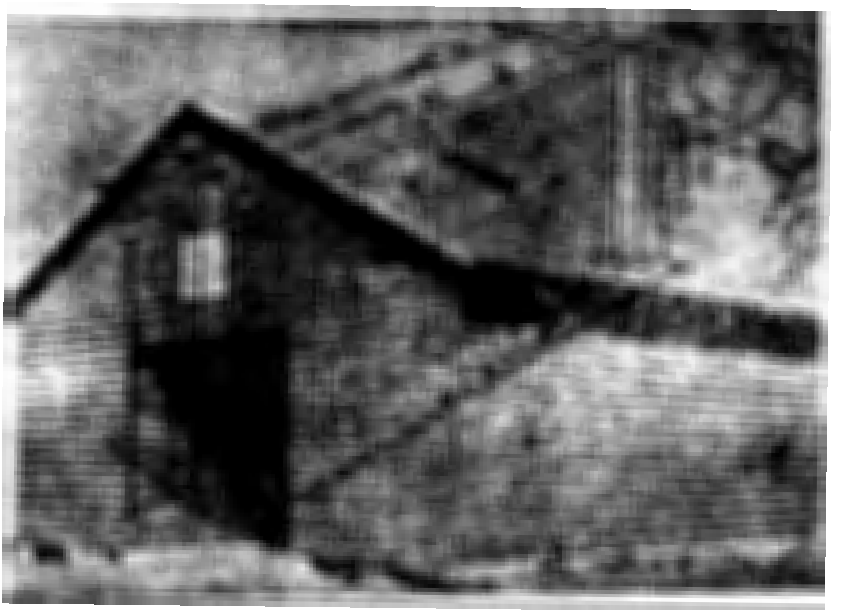
بوسائل التهوية . وتمثل القطاعات الطولية والعرضية فى الشكل المجاور نظام التهوية فى مخازن كيزان الذرة ذات الشكل المستطيل . وتمثل الأشكال التالية نماذج لبعض مخازن كيزان الذرة بعضها مستطيل والبعض بيضاوى ،وبعضها يملأ من السطح . وفى الإمكان تزويد بعض هذه المخازن بما يلزم للتهوية الصناعية .



(شكل ١٠٨) قطاعان طوليان (أ ، ب) وقطاع عرضى (ج) فى مخزن كيزان الذره



(شكل ١٠٩) مخزن عادى لكيزان الذرة



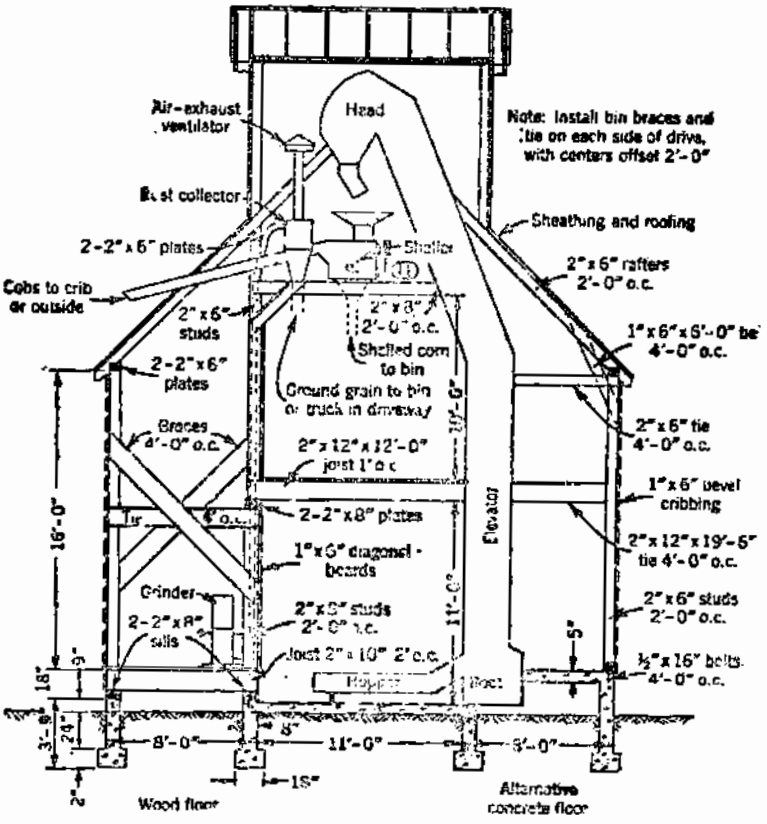
(شكل ١١٠) مخزن الذرة ذو المدخل الجانبى

(شكل ١١١) مخزن ذرة بيضاوى الشكل

وتجهز مخازن الذرة بأجهزة رفع الذرة أو الحبوب ، سواء أكانت أجهزة ثابتة أم متنقلة . كما قد تجهز بعض المخازن الكبيرة بماكينات تفريط حبوب الذرة ، كما هو واضح فى القطاع العرضى المبين فى الشكل التالى . وقد تزود المخازن بآلات التجفيف الصناعى باستعمال هواء يسخن لدرجة ١٣٠° فهرنهيت.

صوامع الحبوب الكبيرة :

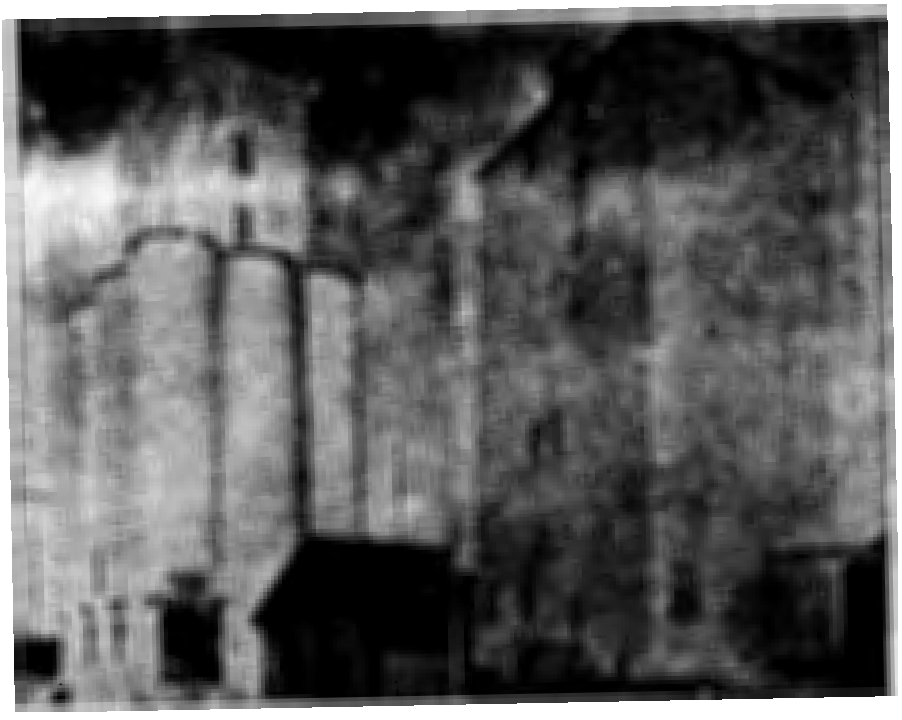
تنحصر مهمة صوامع الحبوب الكبيرة فى استقبال الحبوب من مناطق إنتاجها المختلفة وتنظيفها ووزنها وتخزينها ثم إعادة تعبئتها فى عربات النقل لتنقلها إلى المطاحن أو المصانع أو صوامع التخزين الرئيسية إن وجدت. وتتأثر العمليات



(شكل ١١٢) قطاع عرضى فى مخزن كيزان الذرة وحبوب الذرة

الجارية بهذه الصوامع بظروف المنطقة ونوع ومدى نظافة الحبوب . وتتفاوت سعة مثل هذه الصوامع فقد تبلغ فى الواحدة منها حوالى مائة وعشرين طناً من الحبوب . وتقام مثل هذه الصوامع بأبنية من الطوب أو من الصلب بأشكال مختلفة كما هو واضح فى الشكل التالى .

ومن الأهمية بمكان أن يختار الموقع المناسب لإقامة صومعة الغلال ، فأنسب الأماكن هى القريبة من المواصلات خصوصاً القليلة التكاليف منها سواء أكان



(شكل ١١٣) صومعتان مبنيتان بالطوب إحداهما ذات خلايا مستديرة

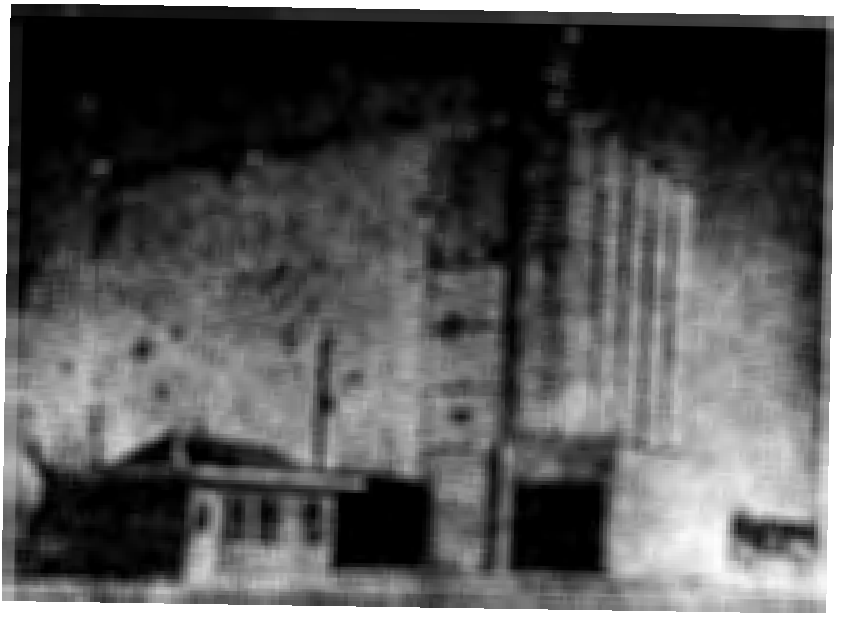
النقل بالطريق البحرى أو البرى ، بالقطارات أو بالسيارات ، وكذلك الأماكن التى تتوفر فيها الأيدى العاملة .

ويحتاج العمل بهذه الصوامع إلى معدات متنوعة هى :

١ – موازين كبيرة كالمعروفة محلياً باسم « البسكول » لوزن شحنات الحبوب الواردة للصومعة والخارجة منها .

٢ – ونش تفريغ الحبوب .

٣ – سواقى نقل الحبوب من أسفل boot إلى أعلى head ، وهذه السواقى تدار بالكهرباء ، وتتكون من سير يدور على عجلتين ومثبت به أكواب نقل



(شكل ١١٤) صومعة من الصلب

الحبوب . وعادة تجهز الصومعة بثلاث سواق elevator legs .

٤ – موزع لتوجيه الحبوب من القمة إلى خلاياها أو إلى أجهزة التنظيف أو إلى المجفف أو عربات النقل .

٥ – ماكينات تنظيف الحبوب وهى غرابيل متحركة متنوعة ومراوح لطرد الشوائب الخفيفة .

٦ – مجمعات الغبار cyclone dust collectors لتجميع الغبار المتصاعد من تنظيف الحبوب .

٧ – موازين أوتوماتيكية تزن أوزاناً محددة من الحبوب وتسجل الوزنات أوتوماتيكياً . وهذه الموازين قد توضع فى قمة الصومعة headhouse فتصب

القمح الموزون فى الخلايا المخصصة لذلك أو فى سيارات الشحن ، أو قد توضع فى قاعدة الصومعة فتستلم القمح الموزون إلى سواقى رفع ونقل الحبوب .

٨ ــ مجفف للحبوب إذا اقتضى الأمر ذلك . وعملية التجفيف لا تتطلبها الحبوب المنتجة محلياً نظراً لحرارة الجو أثناء موسم حصاد القمح مما يسبب انخفاض نسبة الرطوبة فى الحبوب . وتستعمل فى الدول الأجنبية أنواع متعددة من المجففات منها ، belt conveyer type ، column type bin type ودرجة حرارة هواء التجفيف تبلغ ١٨٠° فهرنهيت للحبوب التى تخزن بقصد استعمالها فى تغذية الماشية ، ونقل درجة الحرارة عن ذلك فى حالة القمح المعد للطحن والمولت وحبوب التقاوى وحبوب التصنيع .

٩ ــ أجهزة قياس وتسجيل درجات الحرارة .

فى تشغيل الصومعة ، يراعى أخذ عينات من الحبوب الواردة للتخزين بقصد فحصها وتحديد سعرها على أساس نسب الرطوبة والشوائب والحبوب النالفة بها وكذلك وزنها النوعى . وتؤخذ العينة من الشحنات الواردة بقلم أخذ العينات ، أو قد تؤخذ من العبوات أثناء تفريغها .

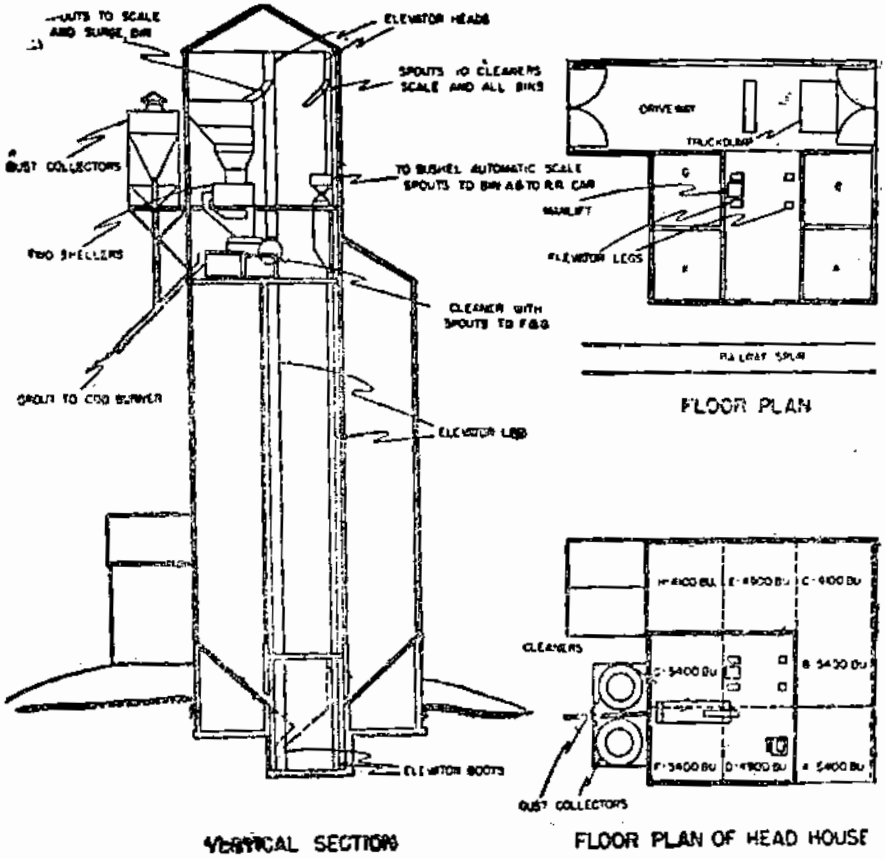
ويوضح الشكل التالى نقل الحبوب وتفريط حبوب الذرة وتنظيف الحبوب والموازين فى صومعة خشبية ، كما تظهر فى القطاع الرأسى للصومعة وقطاع القاعدة وقطاع القمة .

بعض طرق التخزين الخاصة :

توجد طرق أخرى لتخزين الحبوب ومنتجاتها ، بعضها لا يصلح لتخزين كميات كبيرة ، وهذه الطرق عموماً هى :

١ ــ التخزين فى حيز محكم القفل Gastight or hermetic storage ويقصد

بذلك منع تسرب أى غازات إلى داخل الحيز المحتوى على المواد المعبأة بإحكام قفل هذا الحيز . وهذه الطريقة تتميز بإحداث هلاك الحشرات الموجودة بالحبوب أثناء فترة التخزين ، وبانعدام تعرض الحبوب للإصابة بحشرات أخرى جديدة ؛ وبمنع نشاط الفطريات أو ارتفاع درجة حرارة المنتجات المحفوظة ذات الرطوبة المرتفعة ولو أن الحموضة تستمر فى الارتفاع أثناء التخزين بسبب حدوث التخمر اللاهوائى ، وبعدم امتصاص المواد المخزونة للرطوبة من الجو .



(شكل ١١٥) أماكن إجراء العمليات فى صومعة خشبية ممثلة فى قطاع رأسى وآخرين فى قاعدة ورأس الصومعة

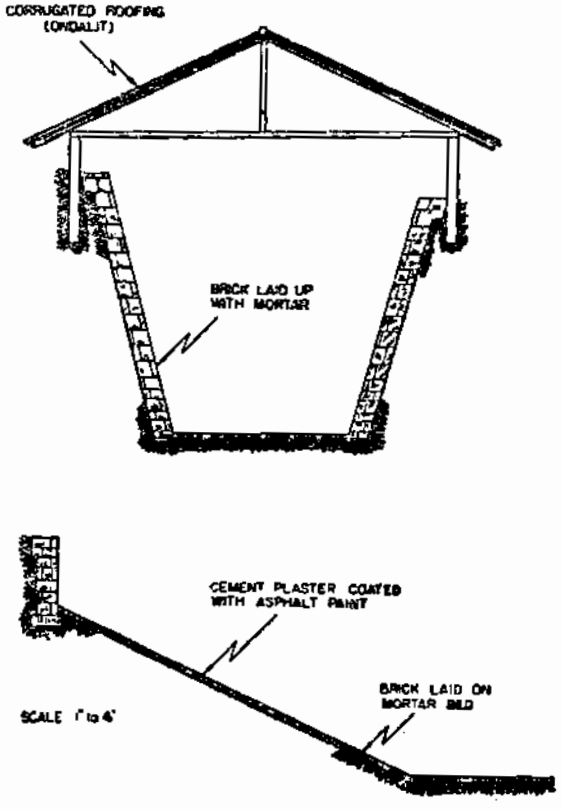
ويعزى هلاك الحشرات فى المواد المخزونة فى حيز محكم القفل إلى نفاذ كمية الأكسجين فى الحيز المقفل وتراكم ثانى أكسيد الكربون الناتج من التنفس . وتتوقف سرعة هلاك الحشرات على تركيز كل من الأكسيجين وثانى أكسيد الكربون وعلى نوع الحشرات ودرجة الحرارة ونسبة الرطوبة فى الحبوب .

وتوجد فى الولايات المتحدة صومعة محكمة القفل لتخزين الحبوب ، تتكون من أرضية من الطوب وجدران وسقف من المعدن ، وبأعلاها صمام يسمح بطرد الغازات المتراكمة أو تغيير الهواء من وقت لآخر دون أن يؤثر ذلك فى كفاءة طريقة التخزين حيث أن كمية الهواء التى تدخل تعتبر ضئيلة للغاية نسبياً . ولموازنة الضغط بين جو الصومعة والهواء الجوى توصل الجدران بالسقف عن طريق كيس ينتفخ أو يضمر تبعاً لتأثير الضغط .

وتظهر مساوئ هذه الطريقة فى حالة ارتفاع نسبة الرطوبة فى حبوب الذرة كثيراً إذ يؤدى ذلك إلى فقد قدرة الحبوب على الإنبات وارتفاع حموضة الدهن فى الحبوب وظهور رائحة كريهة نتيجة للتخمر .

٢ — التخزين تحت سطح الأرض underground storage : وتتميز هذه الطريقة بعدم نشاط الحشرات لقلة الأوكسجين ، وبعدم ارتفاع درجة حرارة الحبوب لبرودة التربة . ويجب تبطين حفر التخزين بمادة عازلة للرطوبة أو بالقش . والشائع فى بعض المناطق الريفية المحلية هو التخزين فى حفر pits قطرها متران وعمقها ثلاثة أمتار . ويمكن تغطية سطح الحبوب والحفر بورق مانع للرطوبة ، كما يمكن تغطيتها بالرمل . وتتوقف كفاءة هذه الطريقة فى التخزين على تبطين الحفر وتغطيتها بمواد مانعة للرطوبة . ويمكن تخزين الحبوب فى حفر بالمناطق الرملية لمدة ثلاثة

أعوام تقريباً . ومن التحسينات المقترح إدخالها على الطريقة تبطين الحفر بصفائح من ورق الألومنيوم ووضع شبكة تمنع تسرب الحشرات على بعد ثلاثة بوصات من جدران الحفر.



(شكل ١١٦)

قطاعان أحدهما عرضى وآخر طولى فى حفرة لتخزين الحبوب بالطريقة المحسنة

٣ ــ التخزين المؤقت فى العراء Temporary storageIin piles : وهذه الطريقة كانت السائدة فى جمهورية مصر العربية إلى بضعة أعوام مضت خصوصاً فى شون بنك التسليف. وتتوقف سلامة الحبوب المخزونة بهذه الطريقة

على حالة الجو أثناء فترة التخزين وطبيعة الأرض المخزن عليها الحبوب ومدة التخزين . وأسوأ ما تتعرض له الحبوب المخزونة بهذه الطريقة هو المطر الذى يتلف نسبة كبيرة من الحبوب ويسبب إنبات نسبة أخرى منها ، لذلك يجب أن يكون تخزين الحبوب فى العراء مقصوراً على المناطق الجافة ولمدة أسابيع قليلة فقط .

صوامع الغلال المركزية :

تقام الصوامع الكبيرة ذات الإرتفاع الشاهق والمكونة من عدد كبير من الخلايا بقصد استقبال الكميات الكبيرة من الحبوب وتخزينها حتى يحين موعد استهلاكها أو تصديرها . ففى الدول المستوردة تقام مثل هذه الصوامع قرب الموانى لتستقبل القمح المستورد ، وفى الدول التى لديها فائض من الحبوب تقام بها الصوامع الكبيرة قرب الموانى لتستقبل القمح الناتج وتخزنه إلى حين تصديره بالبواخر . وتنحصر المهمة الرئيسية للصوامع المركزية فى تخزين الغلال والمحافظة عليها من التلف بجانب المحافظة على صفاتها ، فالحبوب الواردة للصومعة الكبيرة تنظف وتجفف وتغسل وتدرج وتبخر ، كما قد تمزج الأصناف المختلفة من الحبوب ببعضها بنسب معينة لتعديل صفاتها ، ولهذه الصوامع المركزية مهمة أخرى فهى فى الدول ذات الإنتاج الوفير من الحبوب تعمل على موازنة أسعار البيع والشراء إذ أنها تستقبل الكميات الزائدة عندما يزداد العرض عن الطلب وتقدم الكميات المطلوبة للطحان أو غيره بمجرد الطلب . وهذه الصوامع الكبيرة يطلق عليها الإسم Elevators لأنها تستقبل الحبوب من قمتها بعد رفعها لأعلى ، كما أن تفريغها يجرى عن طريق القمة بعد نقل الحبوب إلى أعلى .

وتتكون الصومعة الكبيرة من جزءين رئيسيين أولهما يعرف باسم مبنى التشغيل Workhouse or headhouse وبه توجد ماكينات تفريغ وتعبئة ووزن

وتنظيف وتجفيف ورفع الحبوب ، والجزء الثانى عبارة عن خلايا تخزين الحبوب ، وهذه قد تكون منفردة أى أن كل خلية مستقلة عن الأخرى كما هو الحال فى الخلايا المصنوعة من الصلب ، وقد تكون فى صفوف أو مجموعات يلحق بكل مجموعة أو عدة مجموعات منها مبنى التشغيل ، كما هو الحال فى الخلايا المبنية بالأسمنت المسلح .

مثل هذه الصوامع يمكن صناعتها من خشب سميك بلغ سمكه عند القاعدة ثمانية بوصات وعند القمة أربع بوصات مثل الصوامع القديمة ، لكن هذه الصوامع تكون عرضة للاحتراق ، لذلك عدلت هذه الصوامع بتغطية الخشب بطبقة من الصلب ، ثم استبدل الخشب بالصلب . والنوع السائد حالياً من الصوامع الكبيرة هو المبنى بالأسمنت المسلح ، كما توجد بعض صوامع مشيدة من الصلب ويشترط فى بناء الخلايا بالأسمنت المسلح أن يستمر البناء لأعلى دفعة واحدة فلا يجوز أن تبنى الخلية على دفعات وتوصيل كل جزء بالآخر . وعادة تبنى الخلايا المستديرة بالأسمنت المسلح فى صفين متجاورين أو أكثر ، لذلك توجد فراغات بينية بين الدوائر وهذه الفراغات تستعمل فى التخزين أيضاً وتسمى خلايا بينية interstices or star bins ، كذلك يمكن تحويط الفراغات بين خلايا الصفوف الخارجية وفى هذه الحالة تستعمل هذه الفراغات فى التخزين أيضاً وتعرف باسم الجيوب pockets . ولكنه فى حالة بناء الصوامع من الصلب فليس ممكناً استخدام الخلايا البينية أو الجيوب فى التخزين . .

وترتفع خلايا الصومعة المشيدة بالخرسانة المسلحة إلى ارتفاع ثمانين أو مائة وأربعين قدماً ، تبعاً لمساحة الأرض المقامة عليها وحجم الصومعة المطلوب والوزن الذى يمكن للتربة أن تتحمله ونفقات رفع الحبوب لأعلى ونوع مبنى التشغيل المقرر تشييده . ولكن الخلايا دائماً أبداً مستديرة الشكل فى حالة صنعها من الصلب ، أما خلايا الخرسانة المسلحة فتكون مستديرة

أو بيضاوية أوسداسية الشكل ، غيرأن أفضلها وأقواها وأقلها تكلفة هى الخلايا المستديرة .

وتكون أرضية الخلايا منبسطة أو منزلقة ، وتفضل الأخيرة لتسهيل التفريغ أما حجم الخلية فيتفاوت تبعاً لكميات القمح المزمع تخزينها . ويفضل أن تتكون الصومعة من خلايا متفاوتة فى الحجم بحيث يتسنى تخزين الكميات الصغيرة فى الخلايا الصغيرة بدلا من وضعها فى خلايا كبيرة وترك فراغات كبيرة بالخلايا . كذلك تفيد الخلايا الصغيرة فى نقل ما يتبقى من حبوب فى الخلايا الكبيرة بعد سحب كميات منها . وكثيراً ماتكون خلايا الصومعة ذات أحجام متفاوتة بنسب ٥ : ١٠ : ٢٠ : ٥٠ .

وكثيراً ما يلحق بالصومعة المركزية خلية احتياطية تستقبل الكميات الزائدة من الحبوب عن سعة الصومعة ، وتعرف هذه الخلية ، التى تكون عادة عبارة عن خلية واحدة ونادراً ماتقسم إلى أقسام ، باسم auxiliary bin وهذه الخلية الاحتياطية بسيطة للغاية فهى أحياناً لا تتعدى سطح ينحدر موازياً لانحدار الحبوب وقد يمتد من سطح الصومعة المركزية حتى يصل إلى سطح الأرض . وقد يستعاض عن هذه الصومعة بتخزين الحبوب فى حفر عميقة تحت سطح الأرض ويغطى سطح الحبوب بالورق ثم بالتراب ، وتعرف هذه الحفر باسم الترنشات trenches .

وتنحدر الحبوب داخل خلايا الصوامع بزاوية تقرب من ٢٨° عندما تكون نظيفة وجافة ، أو بزاوية أكبر قليلاً عندما تكون الحبوب رطبة أو غزيرة الشوائب أو كثيرة القصلة والتراب والحبوب المكسورة . وهذه الزاوية المعروفة باسم angle of repose تعنى وجود فراغ داخل الخلية لايمكن استغلاله فى التخزين ، وهذا الفراغ يزداد حجمه فى حالة تعبئة الخلية من الجانب عنه فى حالة الملأ من الوسط . وتأخذ الحبوب داخل

(شكل ١١٧) خلية احتياطية بجوار صومعة غلال كبيرة

خلية الصومعة شكل المخروط الذى تتحدد أبعاد قاعدته بالبعد بين الحوائط ويتحدد مكان قمته بمركز فتحة الملأ . كذلك تتراص الحبوب وتسكن داخل الخلية فتشغل حجماً من الصومعة يقل عن حجمها العادى بحوالى ٠,٦ فى حالة القمح النظيف أو حوالى ٨ فى المائة فى حالة حبوب الزمير الخفيفة . ولا توجد علاقة طردية بين انضغاط الحبوب وبالتالى صغر الحيز الذى تشغله عن حجمها المحسوب وبين ارتفاع ووزن الحبوب داخل الخلية .

وعند صب الحبوب فى خلايا الصومعة أو عند تفريغها تميل الأجزاء الخفيفة إلى الانفصال عن الحبوب الثقيلة . فعند ملأ الخلايا تسقط الحبوب

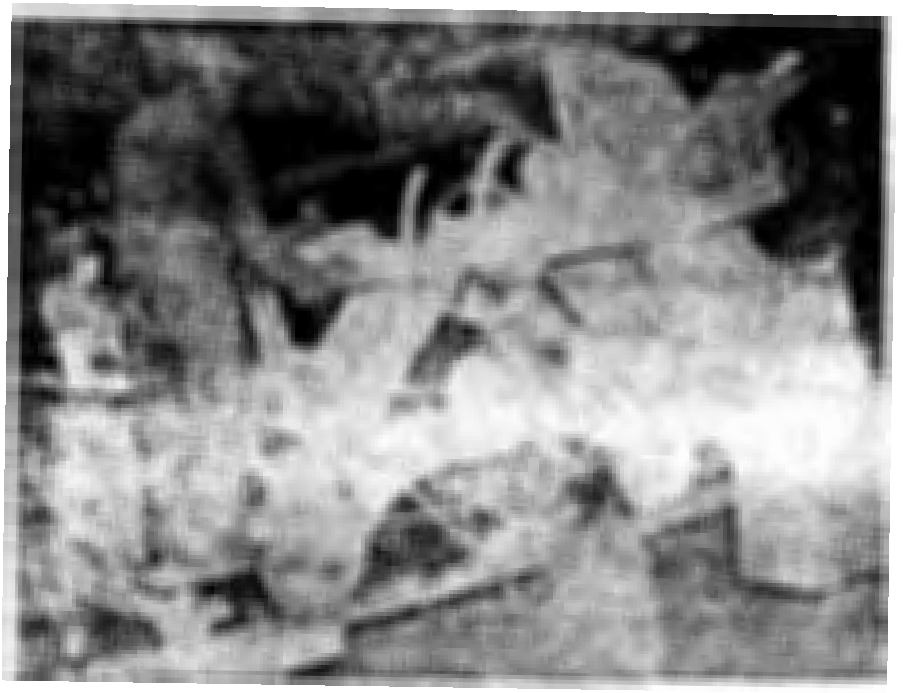
الثقيلة إلى القاع مباشرة بينما القصلة والشوائب الخفيفة تتجه للخارج أى تجاه جدران الخلايا ، وعند تمام ملأ الخلية تتركز البذور الغريبة فى الوسط بينما تتساقط حبوب القمح الثقيلة تجاه الجدران . وفى حالة التفريغ تتحرك القصلة بسرعة أبطأ من تحرك الحبوب الثقيلة .

ويحتل مبنى التشغيل مكانة رئيسية فى الصومعة إذ أنه يحتوى على معظم الماكينات وبه يتم معظم العمل والتوجيهات . ويقع هذا المبنى عادة فى نهاية مجموعة الخلايا أو بين مجموعتين منها . ويوجد بمركز هذا المبنى عدد من السواقى تتحرك بين قاعدة المبنى وطبقاته العلوية التى بها توجد الموازين وأجهزة توزيع الحبوب بين الخلايا التى تنخفض فى مستواها عن مبنى التشغيل ويرتفع هذا الطابق من المبنى عن خلايا التخزين المجاورة فيصل ارتفاعه إلى ١٥٠ أو ٢٠٠ قدما .

وعادة تشغل الخلايا الوسطية بالحبوب المتجهة من وإلى آلات النظافة والتجفيف والغسيل ، أما الخلايا الخارجية فيخزن بها الحبوب المعدة للتفريغ .

وتحتوى الصومعة المركزية على الآلات والأدوات اللازمة لسير العمل بها ، وهذه المعدات يجب أن تكون ذات قدرة كافية تتمشى مع سعة الصومعة وعدد مرات ملئها وتفريغها وكيفية تشغيلها ، وتنحصر المعدات فى الصومعة المركزية فيما يلى :

١ — معدات التفريغ والشحن : هذه المعدات ضرورية لاستقبال الحبوب الواردة ، خصوصاً عندما تكون غير معبأة فى جوالات . وتفرغ الحبوب من سيارات الشحن بطرق متعددة منها رفع مقدمة السيارة فتسقط الحبوب من



(شكل ١١٨) ماكينة تفريغ الحبوب من الناقل إلى خلية التخزين

الخلف ، ومنها دفع الحبوب بواسطة لوح يحركه ونش ، ومنها خفض القاعدة التى تقف عليها السيارة من المؤخرة فتتساقط الحبوب. وتستعمل نفس الطرق فى تفريغ الغلال من عربات القطارات ، فعادة يستعمل ونشان ، وقد يرفع أحد طرفى العربة قليلاً لأعلى ولأحد الجانبين فتفرغ الحبوب .

وتنصب الحبوب فى حفرة معدة لاستقبال شحنة كاملة وتنتقل من هذه الحفرة بواسطة ناقل أو قواديس إلى أجهزة رفع الحبوب فى الصومعة أى إلى السراق ذات القواديس المتحركة من أسفل لأعلى حيث تعبأ القواديس بالحبوب أثناء مرورها من أسفل وتصب محتوياتها أثناء دورانها من أعلى . وتستقبل الحبوب أعلى الصومعة فى garner ومنه تمر إلى الموازين ثم إلى خلايا التخزين أو إلى ناقل يسير بها فى قمة الصومعة حتى يصبها فى الخلية المحددة للتخزين .

ويفضل نظام التفريغ بالشفط على نظام التفريغ بالسواقى فى حالة اختلاف العمق الذى تفرغ منه الشحنات المختلفة كما هو الحال عند الشحن بالبواخر ، لكن نظام الشفط يستنفذ طاقة أكبر أى أنه مكلف أكثر نسبياً .

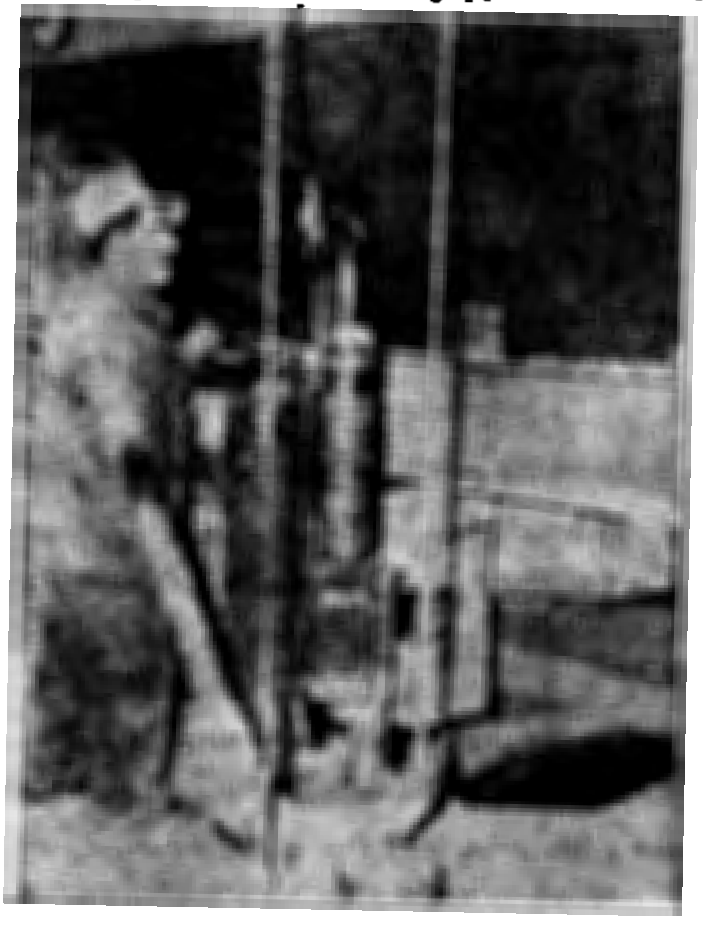
وتحتوى معظم خلايا التخزين على قاعدة منحدرة تساعد على تساقط الحبوب إلى ناقل بقاعدة الخلايا ومنه إلى سواقى الرفع التى تنقل هذه الحبوب إلى خلية أخرى أو إلى أجهزة التجفيف والنظافة أو إلى عربات النقل .

وعند الشحن تتساقط الحبوب من ارتفاع شاهق يبلغ حوالى خمسة وستين قدماً ليساعد ذلك فى طرد الحبوب إلى جوانب عربة الشحن . وتثنى نهاية ماسورة التفريغ قليلاً .

ويراعى بصفة عامة أن تكون معدات التفريغ ذات قدرة تزيد على قدرة معدات استقبال الحبوب . ويجب أن تتناسب قدرات المعدات المختلفة مع بعضها . فمثلا يتحتم أن يكون ناقل الحبوب من قاعدة الخلايا إلى جهاز رفع الحبوب لأعلى له نفس قدرة جهاز الرفع هذا .

٢ — الموازين : وهذه ضرورية لاستلام وتسليم الحبوب وتوزن الحبوب بطرق مختلفة منها وزن عربات السكة الحديد الممتلئة بالحبوب الواردة للصومعة على ميزان أرضى فتوزن العربة ممتلئة ثم توزن بعد تفريغها ويحسب الفرق الدال على وزن الحبوب ، ومنها استعمال الميزان المستدير أو المربع ذى الصندوق hopper scale وبه يوازن ثقل شحنة الحبوب بتحريك ثقل صغير على ذراع الميزان ، كما يمكن بهذا الميزان تسجيل مقدار الوزن على بطاقة منفردة . وغالباً ، ما توجد مثل هذه الموازين فى أعلى مبنى التشغيل أسفل قمة ناقل الحبوب leg مباشرة . وقد يزود كل ناقل بميزانين . وفى بعض الأحيان توضع هذه الموازين فى الدور السفل لمبنى التشغيل ، وفى هذه الحالة تنقل الحبوب إليه بواسطة ناقل صغير يعرف باسم Jack leg ، وعقب الوزن يتولى الناقل

الكبير الرئيسى رفع الحبوب إلى قمة الصومعة . ومعنى هذا أن الميزان فى قمة التشغيل يوفر اقتصادياً إذ يستغنى فى هذه الحالة عن النقل المزدوج ، هذا بالإضافة إلى أنه فى هذه الحالة يتيسر استعمال الميزان فى أغراض أخرى منها

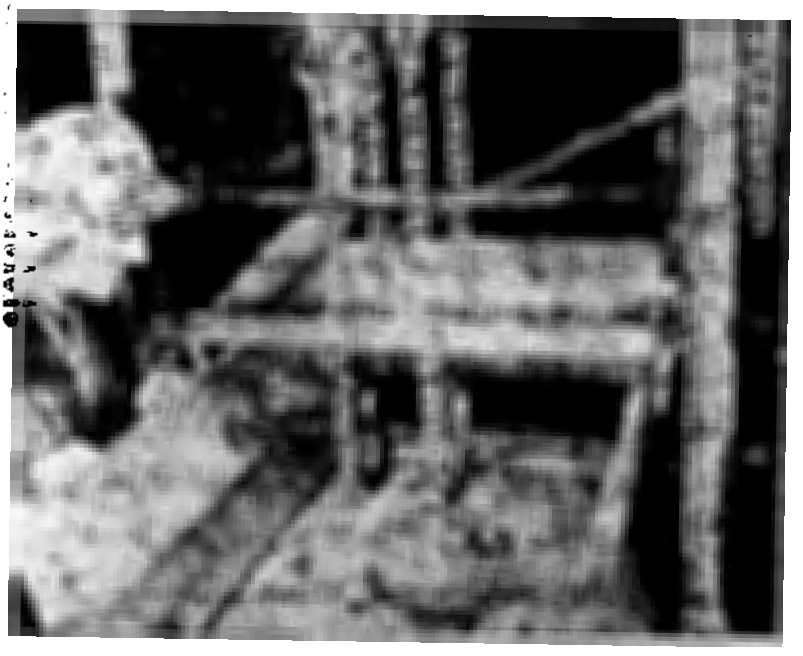


(شكل ١١٩) الميزان ذو الصندوق سعة ٢٠٠٠ بوشل

وزن الحبوب الداخلة إلى المجفف أو إلى آلات التنظيف أو إلى الخارج . وهناك الموازين الأتوماتيكية التى تمتلىء بحجم معين وتفرغه أوتوتيكياً ، وفى هذه الموازين يسجل عدد مرات التفريغ التى يعرف كل منها باسم draft . وهذا النوع من الموازين صغير لا تقارن قدرته بالموازين الكبيرة السابق

الإشارة إليها ، ولذلك فهو يستعمل فى وزن الحبوب عند تعبئتها فى الجوالات أو عند نقلها للتجفيف أو التنظيف مثلاً . ويمكن أن يؤخذ من هذا الميزان عشر وزنات فى الدقيقة ، وكل وزنة منها تمثل واحد إلى خمسة بوشل .

٣ — معدات أخذ العينات وفحصها . وهذه تستعمل لأخذ عينات ممثلة لشحنات الحبوب بقصد فحصها وتدريجها . وتؤخذ العينات بطرق متعددة أشهرها قلم أخذ العينات probe الذى يتكون من اسطوانتين حول بعضهما بطول خمسة أقدام وبقطر بوصة ونصف وبكلى الأسطوانتين فتحات متعددة. فبإدارة الأسطوانة الداخلية تختفى فتحاتها ويدخل القلم فى شحنة الحبوب ، ثم تدار الاسطوانة الداخلية حتى تعود فتحاتها الانطباق على فتحات الاسطوانة الخارجية فتدخل الحبوب لتملأ الاسطوانة وبعدها تدار الاسطوانة مرة أخرى لحبس الحبوب بداخلها ويسحب القلم للخارج بالعينة . وعادة تؤخذ عينة الحبوب من خمس مناطق متباعدة فى عربة السكة الحديد أو فى سيارة الشحن . وفى حالة أخذ العينات من الصنادل والبواخر يستعمل قلم أطول نسبياً قد يصل إلى عشرة أقدام . ولأخذ عينات الحبوب من خلايا التخزين يستعمل القلم المعروف باسم bucket probe المكون من أنبوبة قصيرة مثبتة فى نهاية قضيب أو ماسورة فبعد دفع القلم إلى العمق المطلوب يسحب القضيب فتنتفخ الأنبوبة وتمتلىء بالعينة . ولأخذ عينات الحبوب أثناء تعبئتها فى البواخر للشحن يستعمل كيس من الجلد مثبت فى نهاية عامود ويعرف باسم pelican فيوضع هذا أسفل فتحة صب الحبوب ليمتلىء بالعينة . وتؤخذ العينات من الحبوب المارة على سير باليدين . وهناك أجهزة أتوماتيكية حديثة لأخذ العينات . وتمثل العينة المأخوذة حوالى جزءاً من خمسة آلاف جزء من شحنة سيارة النقل ، أو جزءاً من مائة ألف جزء من شحنة الباخرة .



شكل ١٠٢) جهاز أوتوماتيكى لأخذ العينات

وتفحص العينات المأخوذة بقصد تحديد جودة وصفات وسعر الحبوب فتقدر نسبة الرطوبة بالحبوب والوزن النوعى ونسبة الحبوب الغريبة ونسبة بذور الحشائش ونسبة الشوائب الأخرى ونسبة الحبوب التالفة ونسبة البروتين ومدى ظهور الرائحة الغريبة ، كما قد تقدر نسبة الزيت فى البذور الزيتية . وهذه الاختبارات هى الأساس فى تحديد درجات الحبوب . ففى الولايات المتحدة الأمريكية مثلا يعبر عن درجات الحبوب بالأرقام ، وهذه الأرقام الدالة على مواصفات الحبوب مستقاة من الحد الأدنى للوزن النوعى والحد الأقصى لنسبة الرطوبة والحد الأقصى المسموح به من نسب المواد الغريبة والحبوب المصابة والحبوب الغريبة كما يلحق بهذه الأرقام اشتراطات تتعلق بوجود الصدأ والحشرات والثوم وبطبيعة اللون . وفى كندا تؤخذ هذه

التقديرات فى الاعتبار ولكن التشريعات تحدد الحد الأقصى المسموح به من العيوب بصفة عامة بدلاً من تحديد حد أقصى لكل نوع من التلف على حده .

٤ — معدات النظافة : وهذه المعدات تستعمل فى فصل البذور الغريبة والشوائب وفى تدريج الحبوب تبعاً للحجم وفى فصل أنواع الحبوب المختلفة عن بعضها وفى غسيل الحبوب. والطرق الرئيسية لتنظيف الحبوب فى الصوامع هى النسف والغربلة والتدريج ، فاستخدام الهواء aeration فى طرد الأجزاء الخفيفة قد يجرى منفرداً وقد يقرن بطرق النظافة الأخرى . واستخدام الغرابيل perforated screens هو العملية الرئيسية فى تنظيف الحبوب ، ففيها تفصل الشوائب والحبوب الغريبة ، كما قد تدرج بها الحبوب إلى صغيرة ومتوسطة وكبيرة . وعادة تكون الغرابيل ذات حركة اهتزازية. أما الأجهزة ذات الفجوات المحددة الأشكال Pockets or indents فتستعمل لفصل الحبوب ذات الحجم المعين عن غيرها ، وهى تكون عادة أسطوانية الشكل تدور حول محورها أفقياً وينغمس نصفها السفلى فى الحبوب مما يسبب دخول الحبوب ذات الحجم المعين فى فجواتها وهذه تستقبل فى وعاء آخر .

وفى عملية الغسيل يستعمل رذاذ الماء فى إزالة القاذورات من سطح الحبوب ، وخصوصاً التفحم .

٥ — المجففات : وهذه الأجهزة توجد فى الصوامع المركزية فى الدول الأجنبية التى تنتج أقماحاً وحبوباً ذات نسبة مرتفعة من الرطوبة . وتوجد أنواع متعددة من المجففات ففى أحد الأنواع توضع الحبوب فى شكل أعمدة بين جدران مثقبة ويمرر خلالها الهواء الساخن المحدد درجة حرارته ودرجة رطوبته ، وفى طريقة أخرى توضع الحبوب فى مقصورة ويمرر الهواء الساخن خلالها ، وفى طريقة ثالثة تمرر الحبوب على مراوح تدفع الهواء الساخن خلالها ، وقد تستعمل المجففات الأسطوانية التى تدور أفقياً

حول محورها ويمرر بداخلها الهواء الساخن فوق الحبوب ، وقد توضع الحبوب فوق سيور مثقبة وتتحرك هذه فوق مصادر الهواء الساخن، ونادراً ما تجفف الحبوب بالهواء العادى داخل خلايا صغيرة .

وتستعمل مواقد الغاز كمصدر للحرارة إذ تمزج الغازات الناتجة منها بالهواء العادى ويدفعان خلال الحبوب ، مع مراعاة ضبط درجة الحرارة فى حالة حبوب التقاوى منعاً لتلف الأجنة بفعل الحرارة ، ويعوض هذا الانخفاض فى الحرارة بزيادة حجم الهواء المار . وتحدد تشريعات بعض الدول درجات الحرارة القصوى الممكن استخدامها فى التجفيف ، ففى كندا يجب ألا تتجاوز درجة الحرارة ١١٠° فهرنهيت فى تجفيف شعير المولت أو ١٨٠° فهرنهيت فى تجفيف الحبوب الأخرى .

ويفضل دائماً وضع المجففات خارج مبنى التشغيل ولكن على مسافة قريبة منه ليتسنى استعمال أجهزة النقل . ويجب أن تؤخذ الاحتياطات لمنع نشوب حريق .

ويقل وزن الحبوب بالتجفيف ، وتحسب نسبة الفقد فى الوزن من المعادلة :

$$\text{النسبة المئوية للفقد فى الوزن} = \frac{١٠٠ \left(\text{نسبة الرطوبة فى الحبوب فى البداية} - \text{نسبة الرطوبة بعد التجفيف} \right)}{١٠٠ - \text{نسبة الرطوبة بعد التجفيف}}$$

٦ – أجهزة قياس وتسجيل درجات الحرارة : وهذه ضرورية لتتبع أى تغيرات تطرأ على درجة حرارة الحبوب . والمعتاد هو وضع أنابيب فى أجزاء متفرقة من الخلايا ويوضع بداخلها المزدوجات الحرارية thermocouples ، وتجهز الصوامع الحديثة عادة هذه الأنابيب التى تثبت بها المزدوجات

الحرارية فى أماكن متفرقة من الخلية تبعد كل منها عن الأخرى بحوالى خمسة أقدام ، وتتصل هذه الأجهزة بلوحة معينة تمكن من قراءتها على فترات . وقد يستعمل جهاز واحد يدفع فى الحبوب إلى مسافات مختلفة ، كما قد يستعمل ترمومتر مغلف بغلاف معدنى للمحافظة عليه عند دفعه فى مناطق متفرقة من الحبوب .

٧ — مجمعات الغبار : وهذه ضرورية لمنع تراكم التراب على جدران وأرضية خلايا تخزين الحبوب . فالحبوب دائماً ترد وبها كمية من التراب والأكلونة ، وغالباً ما يتجمع التراب عند قمة سواقى رفع الحبوب والموازين . ومهمة مجموعات الغبار هى سحب الغبار الذى يمثل حوالى ١,٠ فى المائة من وزن الحبوب . والكمية من الغبار التى يفصلها مجمع الغبار لا يستهان بكميتها ، فالصومعة المركزية التى تستقبل مليون بوشل من الحبوب يومياً تفرغ حوالى أربعين طناً من التراب كل يومين .

٨ — مولدات الطاقة : وهذه كانت فى الماضى آلات بخارية . أما الآن فالسائد هو استخدام الكهرباء . وعادة تجهز كل ماكينة بالموتور الخاص بها .

إدارة وتشغيل الصومعة المركزية :

جميع الصوامع الحديثة الرئيسية فى جمهورية مصر العربية خاضعة كلية لإشراف وإدارة القطاع العام بينما فى الدول الأجنبية ، مثل الولايات المتحدة الأمريكية ، توجد صوامع حكومية وأخرى أهلية ، وهذه الأخيرة بعضها يمتلكه شركات النقل والبعض ملك لتجار الحبوب والبعض خاص بأصحاب المصانع . وكثيراً ما تخزن حبوب الغير فى بعض خلايا هذه الصوامع نظير أجر معين . وتحقق الصوامع الملحقة بالمصانع غرضان أولهما الاستفادة من هبوط الأسعار حيث تخزن الحبوب وقت انخفاض الأسعار وتستعمل عندما يرتفع السعر ، كما أن هذه الصوامع تمد المصانع باحتياجاتها

من الحبوب فى كل وقت وبذلك يمتنع ارتباط العمل فى المصنع بالمواصلات أو بالعرض والطلب :

وتتلخص واجبات مدير الصومعة فى ثلاث نقاط :

أولا : استغلال جميع مساحات ومعدات الصومعة بأقصى حد .

ثانياً : تقليل النفقات إلى أقل حد ممكن .

ثالثاً : منع حدوث تلف أو فقد فى الحبوب .

فلاستغلال الصومعة جيداً ترسم خطة محكمة قبل ورود الشحنات بوقت كاف ، وتؤخذ فى الاعتبار احتمالات الطلبات المفاجئة وانقطاع بعض العمال عن العمل وتأخر مواعيد وصول الشحنات وغير ذلك . ويلزم توزيع العمل على المشرفين والعمال قبل ورد الشحنة ، كما يلزم إخلاء الخلايا المحدد استقبال شحنات الحبوب بها قبل ورود الشحنة بوقت كاف حتى لو اقتضى الأمر إجراء ذلك ليلا .

وتتلخص العمليات التى تتعرض لها شحنات الحبوب الواردة للصومعة فى أخذ العينات من كل شحنة وفحصها وتحديد درجتها بمعرفة متخصص مرخص له من قبل الدولة بالقيام بهذه المهمة ، ثم يحدد المشرفون بالصومعة الخلية التى تخزن بها حبوب الشحنة سواء أكانت الخلية خالية تماماً أم أنها تحتوى على حبوب لها نفس الدرجة ومن نفس الصنف . وتوزن الشحنة ويسجل الوزن على بطاقة ثم تفرغ الحبوب فى حفرة الاستقبال ومنها ترتفع الحبوب فى سواقى ساق الصومعة ، أى الناقل ، إلى قمة الصومعة حيث تنصب الحبوب أثناء دوران وانقلاب القواديس فى مستقبل garner ومنه إلى الخلايا المحددة . ويقوم مدير الصومعة بإثبات رقم الخلية وتاريخ ملئها وصفات الحبوب التى خزنت بها فى لوحة مخصصة لهذا الغرض . وعندما

يراد تنظيف أو تجفيف هذه الحبوب يفتح الباب فى قاعدة الخلية فتمر الحبوب إلى الناقل الذى يرفعها إلى أعلى لتمر خلال المخزن والميزان إلى الخلايا المخصصة لهذه الخدمات . ومن هذه الخلايا الأخيرة تسحب الحبوب إلى معدات النظافة أو المجفف ومنه إلى الخلايا المحددة لتخزينها .

ويجب حساب الفقد فى وزن الحبوب نتيجة للتنظيف والتجفيف ، كما يجب أن تفحص الحبوب على فترات للتأكد من احتفاظها بالمواصفات والدرجات المحددة لها .

وعند صرف كميات من الحبوب المخزونة بالصومعة تحدد الكمية فى أمر التوريد وتستقبل العربات الخالية وتوزن وتوضع أسفل ماسورة التفريغ وتترك حتى تمتلىء ثم يعاد وزنها . ويلى ذلك أخذ عينة من العربة وفحصها ومطابقة درجة وصفات الحبوب بالمطلوب .

ويجب تحاشى الأسباب المؤدية إلى عدم استغلال حجم الصومعة بالكامل ومنها التباطؤ فى عمليات التنظيف والتجفيف والمبالغة فى فصل الدرجات عن بعضها ووضع كل درجة منها فى خلية منفصلة ، واستقبال كميات من الحبوب تقل عن الكميات المنتظرة .

ومن مهام مدير الصومعة المركزية دوام الإشراف على صلاحية المعدات وسلامة المبانى والتنبيه إلى مباشرة الترميمات والإصلاحات مباشرة . فمن هذه العمليات الكشف عن خلخلة قواديس السواقى وتآكل سيور الناقل وضعف الموتورات وضبط الموازين وتشققات الجـــدران والسقف وغيرها .

أخطار الصوامع :

أقصى ما يمكن أن تتعرض له الصوامع يتلخص فى أمرين :

أولهما : ارتفاع نسبة التلف فى الحبوب المخزونة مما يترتب عليه خسائر مادية باهظة .

ثانيهما : تعرض الصومعة للحريق أو تلف بعض معداتها أو إصابة بعض عمالها .

فالتلف الذى تتعرض له الحبوب قد يكون فى صورة تغير لون الحبوب بفعل الحرارة أو الفطريات أو البكتريا ، وقد يكون التلف سببه الحشرات أو النشاط الإنزيمى . ومن نتائج التلف فقد الحيوية ورداءة صفات الزيت وفقد بعض الفيتامينات وانخفاض القيمة الغذائية .

ومن أهم عوامل تلف الحبوب هى نسبة رطوبتها ، فهذه يجب ألا تتجاوز أربعة عشر فى المائة . وترتفع هذه النسبة بانخفاض درجة حرارة الجو أى أنه يصبح ممكناً تخزين الحبوب ذات درجة رطوبة أكثر ارتفاعاً فى الأجواء الباردة ، كما أنها تنخفض بارتفاع درجة حرارة الحبوب أو الجو الخارجى . ولا توجد درجة حرارة معينة يمكن أن يقال أنها أنسب الدرجات لتخزين الحبوب ، غير أنه يمكن أن يقال أن درجات الحرارة المنخفضة أكثر أماناً من الدرجات المرتفعة . فنمو الفطريات والبكتريا المسببة لفساد الحبوب ينعدم عند درجة حرارة أقل من ٧٠° فهرنهيت . والحشرات يقف نشاطها على درجة حرارة أقل من ٦٠° فهرنهيت . وعندما تنخفض درجة الحرارة عن ٧٠° فهرنهيت ينعدم تغير لون أجنة حبوب القمح والشيلم المعروف باسم « Sick damage » أو « blue eyes » ، « germ rancid » فى الذرة أو « heat damage » فى الشعير والزمير . وليس من الضرورى أن تظهر كل هذه العيوب أو بعضها فى الحبوب عندما ترتفع درجة الحرارة عن مائة فهرنهيت .

وأخطر حشرات الحبوب هو السوس ويلاحظ أن سوسة الحبوب granary weevil وإسمها العلمى Sitophilus glranarius أكبر حجماً وأدكن لوناً من سوسة الأرز rice Weevil وإسمها العلمى Sitophilus oryza فقادرة على الطيران

والمدافهى تصيب الحبوب فى الحقل. ولا تتلف الحبوب المخزنة بفعل ثاقبة الحبوب grain borer المسماة Rhizopertha domintca لأنها تتغذى على الغبار. وتسبب حشرات الردة bran bugs ارتفاع درجة الحرارة بنسبة أعلى مما يسببه السوس بسبب تراكمها فى جيوب ترتفع فيها درجة الحرارة بسرعة بينما السوس يتحرك وينتشر فى أنحاء المخزن. ولا يتجاوز الارتفاع فى درجة حرارة الحبوب فى أى حالة من الحالات درجة ١٠٦° فهرنهيت لأنه بتجاوز هذه الدرجة ينعدم تكاثر هذه الحشرات أو تموت. وترتفع درجة حرارة الحبوب أيضاً بفعل بعض أنواع العتة خصوصاً Sitotroga cerealela المعروفة باسم Angoumois، Plodia interpunctela المعروفة باسم Indian-meal moth.

وعادة يستدل على تلف الحبوب بفعل الحشرات والأحياء الدقيقة بارتفاع درجة حرارة الحبوب، غير أن هذا ليس صحيحاً فى حالة التلف المعروف باسم blue mold فى الذرة والآخر المسمى Sick damage فى القمح والجودار. فالنوع الأول من التلف يظهر عادة وليس دائماً فى حبوب الذرة الجافة ويبدأ ظهوره فى هيئة خيط يخترق مركز الجنين ثم يمتد أسفل غلاف الحبة المغلف للجنين، ولا تتجاوز الإصابة منطقة الجنين فى الحبة. والفطر المسبب لهذا التلف لا يتكاثر عندما تنخفض درجة الحرارة عن ٦٥ فهرنهيت، وعندما ترتفع درجة الحرارة يبدأ ظهور رائحة كريهة. ويبدأ ظهور النوع الثانى من التلف فى حبوب القمح بتغير لون جنين الحبة إلى الأصفر الباهت ثم إلى البنى وفى النهاية إلى الأسود. وهذا التلف يسبب ضعف أو فقد حيوية الحبوب.

ويعتمد فى التعرف على حدوث التلف فى الحبوب على قراءة درجة الحرارة والفحص بالعين المجردة والاعتماد على الخبرة، وهذا التلف ينعدم أو يقل مقداره فى حالة برودة الحبوب وانخفاض رطوبتها وعدم تجفيفها صناعياً وعدم ارتفاع درجة حرارتها وخلوها من الحبوب المكسورة وعدم إصابتها بالحشرات وارتفاع درجتها ونظافتها. ففى حالة الحبوب ذات

الرطوبة المرتفعة تمزج هذه بكميات مناسبة من الحبوب الجافة أو تستهلك هذه الحبوب أولا . وفى حالة استلام الحبوب ذات درجة حرارة مرتفعة يجب تبريدها مباشرة . وفى حالة الحبوب المصابة بالحشرات يجب تدخينها بمزيج من رابع كلوريد الكربون مع واحد أو أكثر من المواد التالية : ثانى كلوريد الإيثيلين ، ثانى بروميد الإيثيلين ، ثانى كبريتيد الكربون . وهذه المخاليط تصب فى الخلية على فترات منتظمة أثناء ملأ الخلية . وقد يستعمل سيانيد الكالسيوم فيصب ضمن تيار الحبوب على هيئة مسحوق . وهذا المسحوق يتحلل منتجاً حامض إيدروسيانيك الذى يسمم جميع الحشرات . وقد يستعمل الكلوروبكرين chloropicrin السائل الذى يصب على الحبوب أثناء الملأ فيتحول إلى غازات تقتل الحشرات .

وتبرد الحبوب الساخنة عادة بنقلها من خلية إلى أخرى أو بإمرار الهواء خلالها أو بإمرارها فى المجفف مع عدم تسخين الهواء المار به .

وأخطر الحوادث التى تتعرض لها الصومعة هى انفجار الغبار dust explosion الذى قد يؤدى إلى تدمير الصومعة بأكملها . فالغبار به بعض أجزاء من قشور الحبوب وهذه قابلة للاشتعال وإحداث الانفجار . والظروف التى تهيء لحدوث الانفجار هى وجود الغبار والهواء بنسبة معينة وحدوث الشرر وضيق الحيز . والشرر قد يكون مصدره سيجارة أو احتكاك مسمار فى حذاء أحد القائمين بالعمل بالأرضية أو احتكاك جاروف أو آلة بالأرض أو خلل فى موتور أو مفتاح كهربائى أو تعرية واتصال سلكين كهربائيين أو غيرها .

ولتحاشى حدوث الانفجار فى الصوامع يزال الغبار منها دواماً وتؤخذ الاحتياطات لمنع حدوث شرر أو إشعال لهب وتصمم الصومعة بحيث يسمح تكوينها بزوال أى ضغط بمجرد تكونه .

ومن حوادث العمال المألوفة غور العامل داخل الحبوب بسبب وقوفه فوق سطحها أثناء سحب الحبوب من أسفل ، أو بسبب وقوفه تحت كتلة

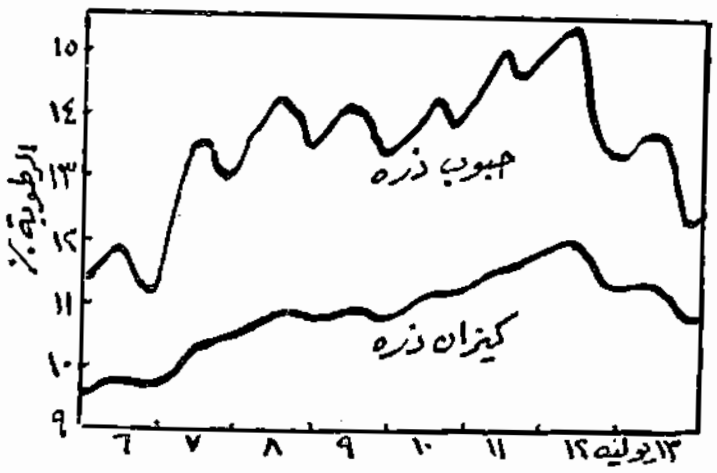
كبيرة من الحبوب ملتصقة بالحائط تسقط فجأة ، أو بسبب وقوفه على سطح الحبوب التى تماسكت وبقى تحتها فراغ من أثر سحب الحبوب من الطبقات السفلى . وفى بعض الحالات يصاب العمال باختناق asphyxiation بسبب قلة الأوكسيجين على سطح الحبوب فى الخلايا نتيجة لتنفس الحبوب والفطريات. ففى بعض خلايا الحبوب وجدت نسبة الأكسيجين تقرب من أربعة فى المائة. وكثيراً ما تحدث الوفاة للعمال بسبب غازات التدخين حتى فى حالة استعمالهم قناعات الغازات . ولذلك ينصح لتحاشى إصابات العمال بألا يسمح للعامل بالنزول فى خلية الحبوب إلا بعد أن يحيط جسمه بحزام الأمان الذى يتصل بحبل طويل يمتد خارج الخلية ويمسك به عامل آخر يستطيع جذبه فى حالة ظهور الخطر.

تجفيف الحبوب :

لا يختلف تجفيف الحبوب الغذائية عن تجفيف المواد الغذائية الأخرى، فقط تتميز الحبوب بانخفاض رطوبتها كثيراً عن الخضروات . وتتوقف سرعة وظروف تجفيف الحبوب على سرعة تسرب الرطوبة فى أجزاء الحبة ، أما سرعة تبخر الرطوبة من سطح الحبوب فأثرها أقل كثيراً .

وتنسب كمية الرطوبة فى الحبوب إلى الوزن الرطب أى الوزن الطازج عادة، كما قد تنسب إلى الوزن الجاف . فمثلاً ٢٥ فى المائة رطوبة منسوبة للوزن الرطب تعنى احتواء المائة جرام من الحبوب الطازجة على ٢٥ جراما من الماء ، أما ٢٥ فى المائة رطوبة منسوبة للوزن الجاف فتعنى أن مائة جراما من الحبوب الطازجة بها ٨٠ جراماً من المادة الجافة وعشرين جراماً من الماء.

وتتأثر رطوبة الحبوب بالرطوبة النسبية فى الهواء ، فهناك تبادل دائم بين رطوبة الحبوب ورطوبة الجو ، وعندما ترتفع رطوبة الجو النسبية تمتص الحبوب



(شكل ١٢١)
التغيرات فى رطوبة حبوب وكيزان الذرة المعرضة للجو

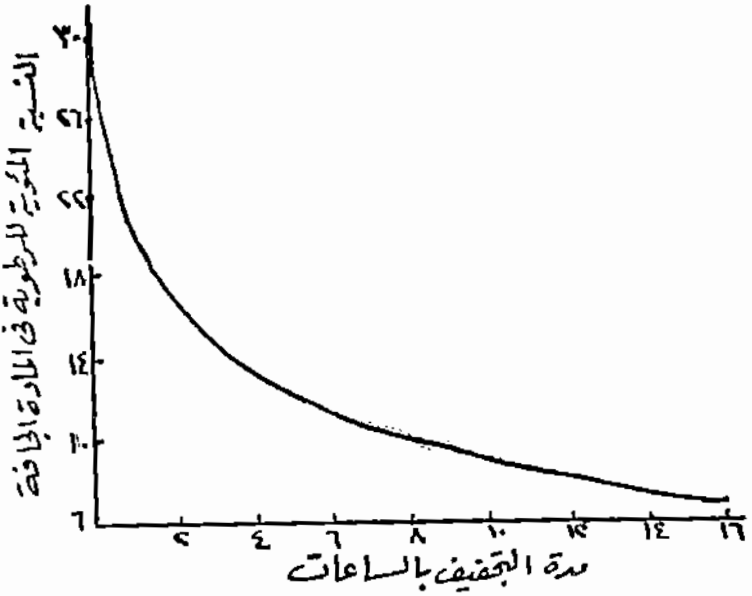
رطوبة من الجو ، بينما تعريض الحبوب فى طبقات رقيقة لجو جاف يسبب فقد الحبوب لجزء من رطوبتها . وتصل الحبوب إلى حالة اتزان مع الجو عند درجة رطوبة معينة ، وهذه الحالة تختلف تبعاً لنوع الحبوب وتبعاً لدرجة حرارة الجو . ويبين الشكل التالى التغيرات فى درجة رطوبة حبوب الذرة وكيزان الذرة المعرضة للجو ، كما يبين الجدول فى الصفحة السابقة نسب الرطوبة فى الحبوب المختلفة عند نقطة الاتزان مع رطوبة الجو عند درجة حرارة الجو العادية وهى حوالى ٧٧° فهرنهيت .

وتصل نسبة الرطوبة فى الحبوب إلى حالة الاتزان مع رطوبة الجو عندما يتساوى ضغط البخار فى كل من الحبوب والجو . ويتأثر تسرب الرطوبة من الحبوب إلى الجو بدرجة حرارة الجو وطبيعة وحجم وشكل الحبوب .

الحبوب	النسبة المئوية للرطوبة منسوبة للوزن الرطب					
	رطوبة نسبية	١٥	٣٠	٤٥	٦٠	٧٥	٩٠	١٠٠
شعير		٦,١	٨,٥	١٠,٠	١٢,١	١٤,٤	١٩,٥	٢٦,٨
حنطة		٦,٧	٩,١	١٠,٩	١٢,٧	١٥,٠	١٩,١	٢٤,٥
ذرة صفراء		٦,٤	٨,٤	١٠,٥	١٢,٩	١٤,٨	١٩,١	٢٣,٨
ذرة بيضاء		٦,٦	٨,٥	١٠,٤	١٢,٩	١٤,٧	١٨,٩	٢٤,٦
ذرة فيشار		٦,٨	٨,٥	٩,٨	١٢,٢	١٣,٦	١٨,٤	٢٣,٠
بذركتان		٤,٥	٥,٦	٦,٣	٧,٩	١٠,٠	١٥,٢	٢١,٤
زمير		٥,٧	٨,١	٩,٦	١١,٨	١٣,٨	١٨,٥	٢٤,١
أرز أبيض		٦,٨	٩,٠	١٠,٧	١٢,٦	١٤,٤	١٨,١	٢٣,٦
شليم		٧,٠	٨,٧	١٠,٥	١٢,٢	١٤,٨	٢٠,٦	٢٦,٧
سورجم		٦,٥	٨,٦	١٠,٥	١٢,٠	١٥,٣	١٨,٨	٢١,٩
فول صويا		—	٦,٢	٧,٤	٩,٧	١٣,٢	—	—
قمح أبيض		٦,٨	٨,٦	٩,٩	١١,٨	١٥,٠	١٩,٧	٢٦,٣
قمح ديورم		٦,٦	٨,٥	١٠,١	١١,٥	١٤,١	١٩,٣	٢٦,٧
قمح لين		٦,٣	٨,٦	١٠,٦	١١,٩	١٤,٦	١٩,٧	٢٥,٦
قمح صلب شتوى أحمر		٦,٤	٨,٥	١٠,٥	١٢,٥	١٤,٦	٢٠,١	٢٥,٤
قمح صلب ربيعى أحمر		٦,٨	٨,٥	١٠,١	١١,٨	١٤,٨	١٩,٧	٢٥,٠

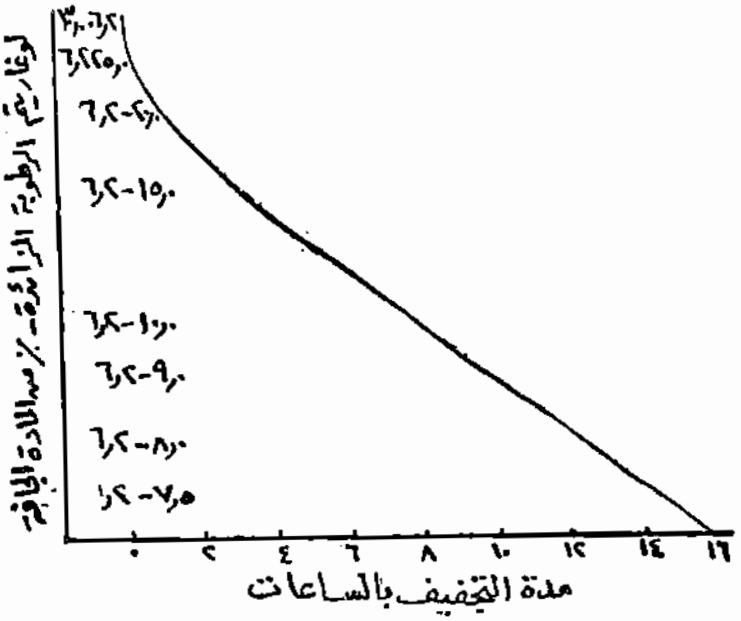
ويمثل المنحنى السابق سير عملية تجفيف الحبوب بالهواء ومنه يتضح سرعة فقد الرطوبة فى البداية ثم بطء تبخيرها .

وينطبق هذا على كافة الحبوب ، فالفقد فى رطوبتها عند تعرضها لتيار هواء ذى درجة حرارة ورطوبة نسبية ثابتتين تزداد سرعته فى البداية وعند ارتفاع درجة الحرارة أو درجة رطوبة الحبوب أو عندما تنخفض رطوبة الهواء أو عندما تزداد سرعة تيار الهواء كثيراً . وبصفة دائمة لاتتناسب سرعة التجفيف مع كمية الرطوبة التى تتبخر فى أى وقت معين ، كما هو واضح من الرسم البيانى التالى المحدد للعلاقة اللوغاريتمية بين الرطوبة المتبخرة وبين مدة التجفيف . وهذا يدل على عدم إمكان تطبيق معادلة الخط المستقيم ، لكن هذه المعادلة تعطى نتائج قريبة من الواقع تصلح للأغراض العملية .



(شكل ١٢٢)

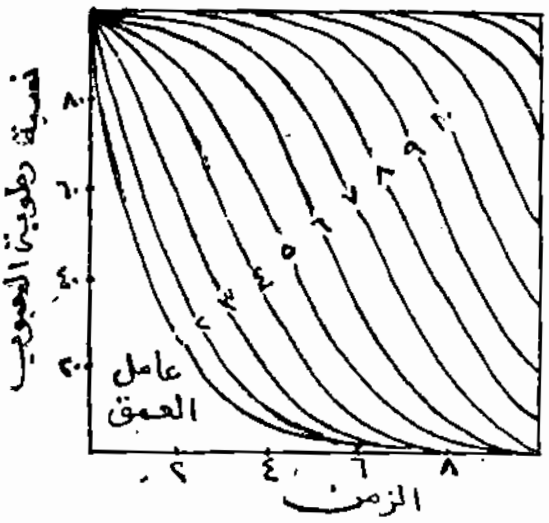
فقد رطوبة الحبوب أثناء تجفيفها بالهواء على درجة حرارة ورطوبة نسبية ثابتتين



(شكل ١٢٣)

الرسم البيانى اللوغاريتمى الموضح للعلاقة بين سرعة التجفيف وكمية الرطوبة المتبخرة ،

والتجفيف الصناعى للحبوب عادة يجرى على كميات كبيرة حيث يدفع الهواء ذو درجة حرارة ورطوبة ثابتتين على سطح وخلال الحبوب . وتتوقف سرعة الجفاف فى حبوب الطبقات الداخلية على صفات هذه الحبوب وظروف الهواء وكمية الحبوب وحجم الهواء المار . ويعتقد أن كل حبة من الحبوب تجفف كما لو كانت معرضة بمفردها للهواء ، وهذ رغماً من استمرار تغير درجتى حرارة ورطوبة الهواء الملامس لها . وتتأثر درجتا الرطوبة النسبية والحرارة لهواء التجفيف بسرعة فقد الرطوبة من الحبوب ، ولهذا فإن جميع التغيرات التى تحدث بداخل الخلايا وهى انخفاض رطوبة الحبوب وارتفاع رطوبة الهواء وانخفاض حرارة الهواء تتأثر بسرعة فقد الرطوبة من كل حبة من الحبوب كما لو كانت معرضة بمفردها . ويوضح الشكل البيانى التالى العلاقة بين نسبة الرطوبة فى الحبوب ومدة التجفيف وعمق طبقة الحبوب . ويستفاد من هذا الشكل فى معرفة نسبة الرطوبة فى أى طبقة من طبقات الحبوب بعد انقضاء فترة معينة من التجفيف .



(شكل ١٢٤)

العلاقة بين رطوبة الحبوب ومدة التجفيف وعمق طبقة الحبوب

وتحسب الحرارة النوعية specific heat للحبوب من المعادلة :

$$Mw\ 0.008 + 0.2 = S$$

باعتبار S الحرارة النوعية بالوحدات الحرارية البريطانية BTU لكل رطل مقدرة كدرجات فهرنهيتية ، وأن Mw النسبة المئوية للرطوبة فى الحبوب منسوبة لوزن الحبوب الرطبة . وقد افترض واضع المعادلة أن الحرارة النوعية لماء الحبوب هى واحد صحيح وأن الحرارة النوعية للمادة الجافة فى الحبوب ٠,٢ .

أما حرارة التبخير heat of vaporization فهى أكثر ارتفاعاً لماء الحبوب عنها للماء الحر ، ويعتبر مقدار الزيادة مساوياً لحرارة الترطيب heat of wetting . وتصل الحرارة الكامنة latent heat إلى أقصاها عند درجة الرطوبة المنخفضة فى الحبوب ، أما عند درجة الرطوبة المرتفعة

فتكون قيمتها مساوية تقريباً للحرارة الكامنة للماء الحر . وبالنسبة لحرارة التأدرت heat of hydrtion فقد وجـــد أن إضافة كميات من الماء إلى الدقيق أو النشا ذات درجة الرطوبة المنخفضة جداً تسبب إنطلاق حرارة تقدر بحوالى مائة سعر للجرام الواحد ، أى ٣٦٠ وحدة حرارة بريطانية لكل رطل . وبافتراض أن حرارة التأدرت تساوى الفرق بين حرارة تبخير الماء من الدقيق وحرارة تبخير الماء الحر ، يستنتج أن الحرارة اللازمة لتجفيف الدقيق تساوى حرارة تبخير الماء الحر (وهى حوالى ألف وحدة حرارة بريطانية لكل رطل) مضافاً إليها ٣٦٠ وحدة حرارة بريطانية . وتنخفض هذه القيمة فى حالة ارتفاع نسبة الرطوبة فى الحبوب. والقيمة المقدرة تبلغ حوالى ١١٢٠ وحدة حرارة بريطانية لكل رطل . وفى بعض التجارب وجد أن حرارة التأدرت للنشا التامة الجفاف تبلغ حوالى ٢٣ إلى ٣٠ سعر للجرام الواحد .

وتوجد معادلة أخرى لحساب حرارة التبخير من الضغط البخارى للرطوبة فى الحبوب وهى :

$$H_{fg} = V_{rg}\ T \frac{\delta P}{\delta T}$$

باعتبار H_{fg} حرارة التبخير للرطل V_{fg} حجم البخار بالقدم المكعب للرطل ، T درجة الحرارة المطلقة R° و P ضغط البخار بالرطل لكل قدم مربع .

وتجفف الحبوب بطرق متعددة ، ففى إحدى الطرق توضع الحبوب فى مقصورة ذات جوانب رأسية وقاعدة مثقبة ، ويدفع الهواء المسخن إلى درجة حرارة معينة وبه نسبة رطوبة محددة خلال ثقوب الأرضية فيرتفع لأعلى . وتزداد كمية الرطوبة فى الهواء بتصاعده لأعلى كما تنخفض درجة حرارته ، وهذان التغيران يتمشيان مع كمية الحرارة المستنفذة

فى تبخير الماء ، ولذلك تبقى كمية الحرارة الكلية فى الهواء بدون تغير تقريباً أى يمكن اعتبارها ثابتة ، وهذا يفسر دلالة الترمومتر الرطب الذى يستدل منه على الحرارة الكلية للهواء ، فقراءة هذا الترمومتر الرطب تبقى ثابتة عند مروره فى طبقات الحبوب . وتتوقف سرعة الانخفاض فى درجة حرارة الهواء على سرعة تبخر الرطوبة من الحبوب.

ولمعرفة نسبة الرطوبة فى أى طبقة من طبقات الحبوب وفى أى وقت أثناء تجفيف الحبوب بكميات كبيرة يستفاد من توازن الحرارة heat balance . فالحرارة المستفدة فى تبخير الرطوبة من حبة القمح يجب أن تساوى الحرارة التى اكتسبتها الحبة من الهواء وبسببها انخفضت درجة حرارة الهواء مضافاً إليها الحرارة المكتسبة من جراء تغير درجة الحرارة فى الحبوب المجاورة ومضافاً إليها أيضاً الحرارة المكتسبة من أثر التوصيل أو الإشعاع من الحبوب المجاورة أو من جدران المقصورة . وتعتبر الحرارة المستمدة من تأثير الإشعاع بفعل الجدران ضئيلة ويمكن تجاهلها . فالاتزان الحرارى إذن يقع بين حرارة التبخير وحرارة الهواء وحرارة الحبوب . ويمكن تجاهل تأثير حرارة الحبوب أيضا ، وبذلك يكون الاتزان الحرارى عبارة عن تساوى حرارة تبخير الرطوبة من الحبوب مع الحرارة المفقودة من هواء التجفيف وذلك فى أى بقعة داخل المجفف وفى أى وقت خلال فترة التجفيف . ومن المعادلة التالية يتبين أن مدى تغير رطوبة الحبة يتناسب طرديا مع الفرق بين درجتى حرارة الهواء الواقع فوق وتحت الحبة مباشرة .

$$\frac{\delta M}{\delta t} = P. \frac{\delta T}{\delta x}$$

باعتبار P رقم ثابت يتوقف على مجموع ظروف التجفيف ويساوى $\frac{6000\,QSA}{WV}$ ، W كثافة المادة الجافة فى الحبوب ، V وحدة حرارة التبخير

لرطوبة الحبوب ، A مساحة القطاع العرضى لتيار الهواء المار فى الحبوب ، δT الانخفاض فى حرارة الهواء ، Q وزن الهواء ، SA الحرارة النوعية للهواء ، δx سمك طبقة الحبوب الرقيقة ، X ارتفاع طبقة الحبوب فى المقصورة ، St الوقت ، M نسبة الرطوبة ، δM الانخفاض الطفيف فى الرطوبة .

وبتغيير درجة حرارة ونسبة رطوبة هواء التجفيف تتغير سرعة التجفيف فالهواء تنخفض حرارته وتزداد رطوبته بارتفاعه إلى أعلى ، حتى تصل درجة حرارة الهواء إلى حد معين لاتنخفض بعده وهو درجة الحرارة TG التى عندها تصبح الرطوبة النسبية للهواء فى حالة اتزان مع رطوبة الحبوب . وتعرف درجة الحرارة هذه بقراءة درجة حرارة الترمومتر الجاف فى البداية To ودرجة حرارة الترمومتر الرطب فى البداية Tw . وتتوقف سرعة اقتراب درجة الحرارة T من درجة الحرارة TG على سرعة تبخر الرطوبة من الحبوب ، وذلك عندما تكون جميع الحبوب متجانسة فى درجة رطوبتها ، وتحدد هذه العلاقة بالمعادلة التقريبية :

$$T-T_G = \Delta\ Te^{-cx}$$

باعتبار $T\ \Delta$ تساوى To مطروحاً منها TC ، C سرعة التبريد X المسافة من قاع المقصورة . وهذا يعنى أنه عندما تكون رطوبة الحبوب متجانسة تنخفض درجة حرارة الهواء أثناء ارتفاعه إلى أعلى المقصورة بسرعة تتناسب طرديا مع الفرق بين درجة الحرارة فى هذه النقطة المحددة ودرجة الحرارة عند الاتزان TG :

وتتلخص العلاقة بين عوامل التجفيف فى المعادلات التالية :

$$M-M_E = \Delta\ Me^{-kt}$$

باعتبار M نسبة الرطوبة فى أى وقت ، M_E الرطوبة عند الاتزان ، ΔM التغير فى نسبة الرطوبة ، t الزمن بالساعات ، k ثابت عدد انحدار المنحنى . وهذه المعادلة تنطبق على الحبوب المعرضة بأكملها لظروف التجفيف ، كما هو الحال فى طبقة الحبوب التى تقع فى قاع المقصورة. فسرعة التجفيف لاتتوقف على سرعة الهواء إذ عند تجانس نسبة الرطوبة فى الحبوب ، كما هو الحال فى بداية عملية التجفيف ، يكون :

$$T-T_G = \Delta T e^{-cx}$$

وعند إهمال حرارة التوصيل والإشعاع تكون العلاقة :

$$\frac{\delta M}{\delta} = p \frac{\delta T}{\delta}$$

وتتداخل عوامل التجفيف مع بعضها ، ولذلك يمكن التكهن بدرجة رطوبة الحبوب ودرجة حرارة هواء التجفيف فى أى بقعة داخل مقصورة التجفيف فى أى وقت عند ثبات ظروف التجفيف بتطبيق المعادلتين :

$$M = \Delta M \frac{e^{cx}}{e^{tx} + e^{kt} -} + M_E$$

$$T = \Delta T \frac{e^{kt}}{e^{cx} + ek - 1} + T_G$$

ويمكن تبسيط المعادلات السابقة بتبسيط ثوابتها ، ولذلك تستعمل أعداد الرطوبة فى صورة نسبة أى :

$$M = \frac{M - M_E}{\triangle M}$$

وتكون m قبل التجفيف تساوى الواحد الصحيح وعند الاتزان تساوى صفراً . وتستعمل أعداد الزمن فى صورة فترة كاملة أو نصف فترة وهكذا، باعتبار الفترة الكاملة (H ساعة) هى المدة اللازمة لخفض رطوبة الحبوب التامة التعريض إلى ٠,٥ فى الظروف المحددة، وبذلك يكون e^{-KH} تساوى ٠,٥ أو تكون e^{KH} تساوى اثنان ، ويكون الزمن محسوباً فى صورة نصف فترة :

$$Y = t / H$$

ويعبر عن العمق المكافى (D) ، أى العمق الذى به كفاية من الحبوب تجعل كمية الحرارة اللازمة لتبخير الرطوبة منها بحيث تنخفض من نسبة قدرها الواحد الصحيح إلى نسبة قدرها صفر ، أى من m = ١ إلى m = صفر ، مساوية لكمية الحرارة التى اكتسبتها الحبوب من الهواء فى وحدة الزمن عندما تنخفض درجة حرارة الهواء من T_O إلى T_G عند أى مستوى فى مقصورة التجفيف بالمعادلة .

$$D = \frac{x\,WV\triangle M}{6000QSAH\triangle T}$$

فبتطبيق المعادلات السابقة يصبح ممكناً تبسيط معادلة التجفيف العامة لتأخذ الوضع التالى :

$$m = \frac{{}_2D}{{}_2D + {}_2V - 1}$$

وبهذه المعادلة الأخيرة وبالرسم البيانى شكل ١١٤ يمكن حساب الوقت الذى تصل فيه طبقة معينة من الحبوب إلى نسبة الرطوبة المطلوبة ، كما يمكن تقدير التعديلات المطلوب إدخالها على سرعة الهواء أو العوامل الأخرى .

فعلى سبيل المثال إذا أريد تجفيف كمية من ذرة السورجم عمقها ١٠,٨ بوصة فى مقصورة بإمرار الهواء عليها بمقدار ٢٠ قدماً مكعباً فى الدقيقة لكل قدم مربع بحيث يدخل الهواء من القاع المثقب ويرتفع إلى أعلى ماراً خلال الحبوب تحت الظروف التالية :

كثافة المادة الجافة فى الحبوب W = ٣٥,٢ رطلا للقدم المكعب

نسبة الرطوبة فى البداية منسوبة للمادة الجافة Mo = ٢١,٩٪

عمق الحبوب فى المقصورة (١٠,٨ بوصة) × = ٠,٩ قدماً

درجة حرارة الهواء أى الترمومتر الجاف فى البداية STo = ٨٦,٥° فهرنهيت .

درجة حرارة الترمومتر الرطب Tw = ٦٩,٦° فهرنهيت

الرطوبة النسبية = ٤٢ فى المائة

فيكون كمية الهواء المستخدم فى التجفيف Q = $\frac{٢٠}{١٤}$ = ١,٤٣ رطلا للقدم المربع فى الدقيقة

وتكون M_E محسوبة من الرسم البيانى = ١,٢١ فى المائة منسوبة للوزن الجاف

وتكون H = ١,٨ ساعة

ويفترض أن V = ١١٧٠ وحدة حرارة بريطانية للرطل

وأن s_A = ٠,٢٤ وحدة حرارة بريطانية للرطل بالدرجات الفهرنهيتية

ويكون G من السيكرومتر = ٧٣,٠° فهرنهيت

و ΔM = ٢١,٩ − ١٢,١ = ٩,٨ فى المائة .

و ΔT = ٨٦,٥ – ٧٣ = ١٣,٥ °ف :

وباعتبار عمود الحبوب قطاعه العرضى بوصة مربعة يكون العمق المكافئ D لطبقة الحبوب التى سمكها ١٠,٨ بوصة هو :

$$D = \frac{٩,٨ \times ١١٧٠ \times ٣٥,٢ \times ٠,٩}{١٣,٥ - ١,٨ \times ٠,٢٤ \times ١,٤٣ \times ٦٠٠٠} = ٧,٢٥$$

فالطبقة السطحية من الحبوب فى المقصورة تصل نسبة الرطوبة فيها إلى ١٧ فى المائة منسوبة للوزن الجاف مثلا بعد مدة تحسب من النسبة بين نسبتى الرطوبة أى m :

$$m = \frac{١٢,١ - ١٧,٠}{٩,٨} = ٠,٥٠$$

ففى المنحنى المبين بالشكل رقم ١٢٤ تؤخذ قراءة الزمن التى عندها يتقاطع الخط D المساوى ٧,٢٥ مع قيمة m المساوية ٠,٥٠ وهذه القراءة تكون ٧,٤ وتعطى الرمز Y . ولما كانت $Y = t \div H$ فيكون الوقت بالساعات YH مساوياً ١٣,٣ . ومعنى هذا أن الطبقة السطحية من الحبوب سوف تصل نسبة الرطوبة بها إلى ١٧ فى المائة بعد ١٣,٣ ساعة .

وفى حالة اختلاف درجة حرارة الحبوب فى بدء التجفيف عن درجة حرارتها النهائية كثيراً يجب أن تؤخذ حرارة الحبوب فى الاعتبار فتعدل المعادلة باستبدال V بالرمز V_1 الدال على مجموع حرارة التبخير وحرارة الحبوب .

$$V_1 = V + (T_0 - T_1)\left(I + \frac{20}{\Delta M}\right)$$

باعتبار T_1 درجة حرارة الحبوب فى بداية عملية التجفيف .

وفى التجفيف الصناعى يجب أن توضع الكفاءة الحرارية thermal efficiency فى الاعتبار . وهذه الكفاءة الحرارية عبارة عن نسبة الانخفاض فى درجة حرارة الهواء عند تسخينه قبل دخوله المجفف محسوبة كنسبة مئوية :

$$E = 100 \frac{To - T_F}{To - Ta}$$

باعتبار E الكفاءة الحرارية كنسبة مئوية ، To درجة حرارة الهواء الساخن بالفهرنهيت ، T_F درجة حرارة الهواء الخارج من المجفف بالفهرنهيت ، Ta حرارة الجو بالفهرنهيت .

وحيث أن التبخير لا يخفض درجة حرارة الهواء بأقل من الدرجة T_G ، كما سبق إيضاحه ، لذلك يكون الحد الأقصى للكفاءة الحرارية هو :

$$100 \frac{To - T_G}{To - Ta}$$

والطرق المتبعة فى تجفيف الحبوب متعددة ، ويحدد اختيار المجفف المناسب سعة المجفف وتكاليف إقامته وتوفر وسائل الأمان عند تشغيله وإمكان التحكم فى درجة الحرارة به وتجانس إنتاجه وسهولة تشغيله وسهولة تنظيفه. وتتلخص العيوب التى يحتمل ظهورها فى الحبوب المجففة فى فقد حيوية الحبوب وازدياد صلابتها مما يصعب طحنها وانخفاض صفات الخبيز لدقيقها وتكسر بعضها خصوصاً فى حالة الأرز وانخفاض قيمتها الغذائية كعلف وانخفاض تأثيرها الشهى ونمو الفطريات عليها خصوصاً فى حالة طول مدة التجفيف وشياطها بتأثير الحرارة .

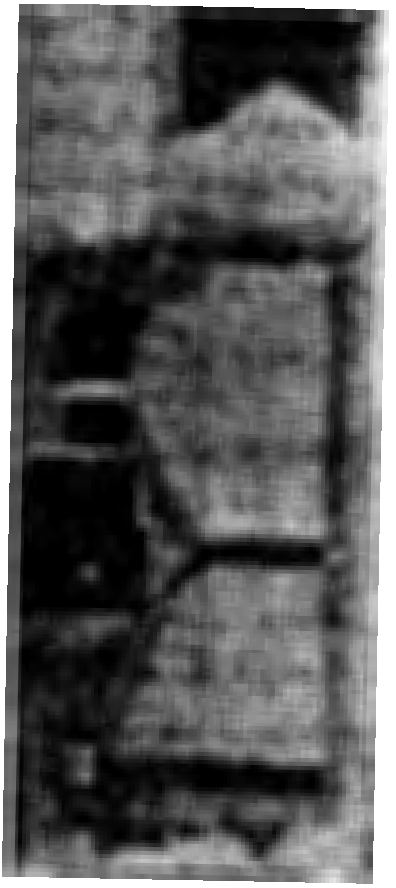
ففى طريقة تجفيف الكميات batch drying تكون الكفاءة الحرارية مرتفعة بشرط ازدياد عمق طبقات الحبوب. غير أنه فى هذه الطريقة يلاحظ تجانس الرطوبة فى الحبوب المجففة عندما يكون عمق الحبوب قليلا أو عندما يستمر التجفيف حتى تصل جميع الحبوب إلى حالة اتزان رطوبتها . لكنه ليس مرغوباً أن يستمر تجفيف الحبوب إلى درجة رطوبة بالغة الانخفاض كما أن هذا لا يكون اقتصاديا . لذلك عند اتباع هذه الطريقة للتجفيف يلزم اختيار أى الوضعين أى الناحية الاقتصادية أو تجانس الرطوبة .

وتعدل الطريقة السابقة فيمرر الهواء الساخن فى أكثر من مقصورة وبذلك تجفف الحبوب فى المقصورة الأولى إلى الدرجة المناسبة بينما تجفف الحبوب فى المقصورة الثانية جزئياً بفعل هواء العادم الخارج من المقصورة الأولى . ويستكمل التجفيف فى المقصورة الثانية بهواء ساخن يرد من السخان مباشرة وبعد خروجه من هذه المقصورة يدخل فى المقصورة الثالثة فيجفف الحبوب بها جزئياً . وفى نفس الوقت تفرغ محتويات المقصورة الأولى ويعاد ملؤها . وتعرف هذه الطريقة باسم التجفيف على مراحل stage drying ، وتتميز بتحاشى زيادة جفاف الحبوب برغم استعمال طاقة الهواء الساخن كاملة ، أى أنها تضمن تجانس رطوبة الحبوب الناتجة دون أن يكون ذلك على حساب الناحية الاقتصادية . ويتصف إنتاج هذه الطريقة بالجودة فى حالة وضع الحبوب بعمق صغير نسبياً .

ومن مشاكل طريقة تجفيف الكميات تبلل حبوب الطبقة السطحية ويعرف ذلك باسم sweat ing ، وسببه برودة الحبوب على السطح عن هواء العادم أو فقد الحرارة من السطح بالإشعاع ؛ وهذه الظاهرة لا تسبب ضرراً اقتصادياً يذكر لكنها قد تسبب نمو الفطريات على سطح الحبوب . وعادة لا تحدث هذه الظاهرة إلا فى حالة تعبئة مقصورات التجفيف بكميات كبيرة من الحبوب ، أى أن عمق

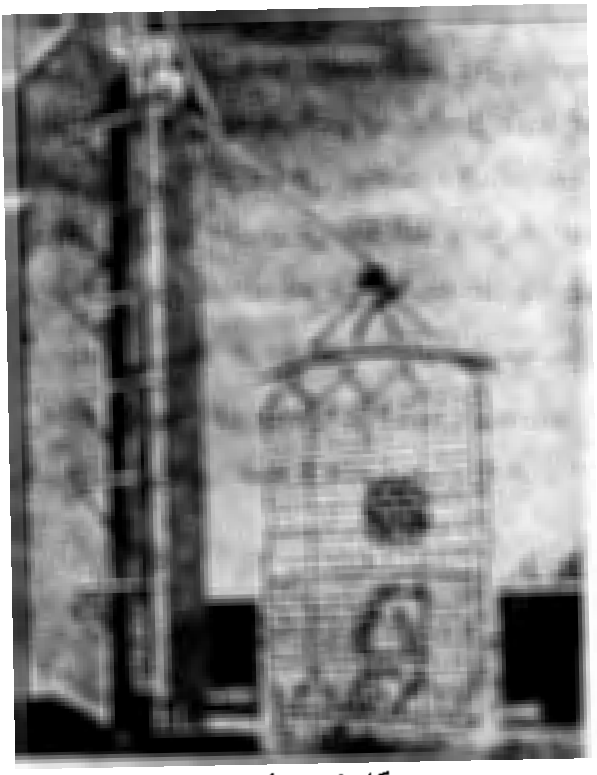
الحبوب يكون كبيراً للغاية .

والطريقة الثالثة لتجفيف الحبوب هى الطريقة المستمرة continuous drying الشائع استخدامها فى تجفيف حبوب الذرة والحبوب الصغيرة . وفى هذه الطريقة تصب الحبوب فى شكل تيار مستمر بتأثير ثقلها وفى أثناء تساقطها يمر خلالها الهواء الساخن . وقد يكون اتجاه الهواء أفقياً فيتخلل تيار الحبوب المتساقطة بدون تقليب ، وتعتبر هذه الطريقة شبيهة بطريقة تجفيف الكميات كما أنها تعطى ناتجها . وقد يمرر الهواء خلال قطاع سفلى فى الحبوب ثم خلال قطاع علوى بالتتابع فتصبح الطريقة شبيهـــة بطريقة التجفيف على مرحلتين . وفى حالة تقليب الحبوب داخل المقصورة يزداد تجانس الحبوب المجففة غير أن الكفاءة الحرارية لاتكون كبيرة .

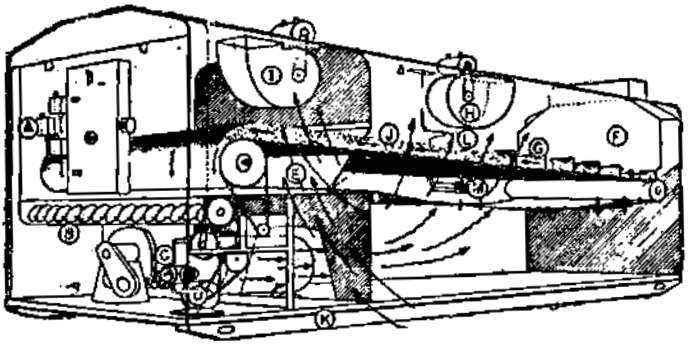


شكل (١٢٥)
مجفف حبوب ويظهر به قسم التجفيف وقسم التبريد

وأشهر أنواع المجففات المستخدمة تجارياً فى الدول الأجنبية مبينة فى الأشكال التالية ، وجميعها تسخن بالغاز أو بالوقود السائل . ويفضل دائماً مزج غازات الاحتراق بهواء التجفيف ، وهذه الغازات لا تؤثر فى كفاءة هواء التجفيف كما أن الرطوبة التى تتكون باحتراق الوقود الزيتى لاتؤثر تأثيراً ملحوظاً فى رطوبة الهواء النسبية .



شكل (١٢٦) مجفف حبوب



شكل (١٢٧)

مجفف حبوب فيه يمرر الهواء خلال الحبوب المارة على سير متحرك .

١ – منظمات درجة الحرارة ٢ – فتحة الخروج ٣ – قرن احتراق السائل
٤ – جهاز الترطيب ٥ – مجرى سير نقل الحبوب ٦ – قادوس الحبوب الرطبة
٧ – عامود التقليب ٨ – مروحة التجفيف ٩ – مروحة التبريد
١٠ – الحبوب أثناء التجفيف ١١ – منظم حرارة علوى ١٢ – منظم حرارة سفلى

ففى المجفف الأول شكل ١٢٥ تنقسم المقصورة إلى قسمين العلوى منهما يمر فيه الهواء الساخن لتجفيف الحبوب والسفلى منهما يمر فيه هواء عادى لتبريد الحبوب حتى لا تخزن وهى ساخنة . وفى المجفف الثانى شكل ١٢٦ يمرر فيه الهواء متخللا الحبوب فى عدة نقط داخل قنوات على شكل رقم ٨ ، ويخرج الهواء من قنوات أخرى ، وبهذه الطريقة يتحرك الهواء رأسياً من قناة مدخله إلى قناة مخرجه، ماراً خلال الحبوب . وفى المجفف الثالث شكل ١٢٧ تتحرك الحبوب من طرف حيز التجفيف إلى الطرف الآخر فى طبقة رقيقة على سير متحرك مثقب يسمح بدخول الهواء وتخلله الحبوب .

ويسخن هواء المجففات عادة إلى درجة ٢٠٠° فهرنهيت لتجفيف حبوب الذرة أو القمح أو الزمير . ويمكن رفع درجة الحرارة فتزداد كمية الرطوبة المتبخرة فى الساعة كما تزداد الكفاءة الحرارية .

وتؤثر عملية تجفيف الحبوب على صفاتها من عدة وجهات هى :

١ — التأثير على صفات الطحن : فارتفاع درجة حرارة التجفيف كثيراً بسبب ظهور حالة الجفاف السطحى فى الحبوب case hardening وتصبح بذلك صعبة الطحن . كذلك يصعب فصل النشا من حبوب الذرة المجففة على درجة حرارة بالغة الأرتفاع . أما صفات الخبز فتسوء أحياناً بتأثير حرارة هواء التجفيف ، ولكنها تتحسن فى حالات أخرى كثيرة . لذلك يعتقد أن درجة حرارة هواء التجفيف يجب ألا تتجاوز ١٨٠° فهرنهيت .

٢ — التأثير على الإنبات : فعند تخزين الحبوب بقصد استعمالها فى التقاوى وكذلك فى تخزين حبوب الشعير لصناعة المولت يجب ألا تتجاوز درجة حرارة تجفيف الحبوب ١١٠ فهرنهيت . وتتأثر درجة الحرارة القصوى للتجفيف التى

عندها لاتتأثر قدرة الحبوب على الإنبات بنسبة الرطوبة فى الحبوب وبنوع الحبوب .

٣ ــ التأثير على القيمة الغذائية : فلا تؤثر حرارة التجفيف على نسبتى الكاروتين والنتروجين الأميدى فى الحبوب .

٤ ــ التأثير على تبييض الأرز : فقد لوحظ أن ارتفاع حرارة التجفيف وكذلك سرعة إجراء التجفيف يسببان تشقق حبوب الأرز مما يؤدى إلى تكسرها أثناء التبييض . لذلك ينصح بجعل درجة حرارة هواء التجفيف لاتتجاوز ١٢٠ إلى ١٣٠ فهرنهيت ، وتبخر الرطوبة فى حدود ٢ أو ٣ فى المائة فقط فى كل مرة ، وحفظ الحبوب بعد خروجها من المجفف فى مقصورة لمدة إثنى عشر ساعة تقريباً قبل إدخالها فى مجفف آخر ستكمال التجفيف ، ويكرر ذلك حتى تنخفض درجة الحرارة إلى الحد المطلوب .

وفى الدول المتقدمة حيث يتوفر التيار الكهربائى فى الريف يمارس بعض المنتجين عمليات تجفيف الحبوب فى المزارع باستخدام مجففات صناعية يتكون كل منها من مروحة لدفع الهواء وسخان لرفع درجة حرارة الهواء ، كما قد تستبدل الكهرباء بفرن احتراق يستعمل فيه الكيروسين أو غيره . وهذه المجففات قد تكون مباشرة direct heat وفيها تدفع غازات الفرن فى هواء التجفيف أو غير مباشرة indirect heat وفيها يكون التسخين غير مباشر ، أما غازات الاحتراق فتطرد خلال فتحة خاصة إلى الجو . ويجب أن تدار مثل هذه المجففات بغاية الحذر منعاً لنشوب الحرائق .

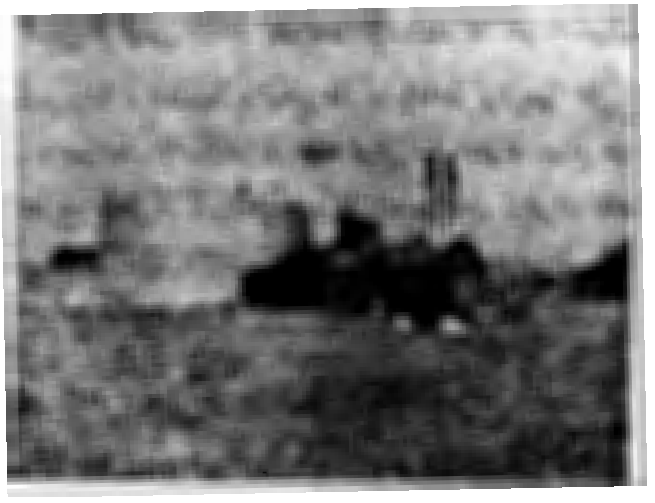
فعلى سبيل المثال للتجفيف فى المزارع ، وجد أن الظروف المناسبة لتجفيف كيزان الذرة فى مجففات المزارع عندما تكون حبوب الذرة بها ٣٠ فى المائة رطوبة هى :

قدرة السخان جالون فى الساعة	قدرة المروحة بالقدم المكعب فى الدقيقة	مدة التجفيف بالأيام
٤	٥٤٠٠	٤ إلى ٦
٢	٣٦٠٠	٨ إلى ١٢
١	٢٧٠٠	١٦ إلى ٢٤
٠,٥	٢٧٠٠	٣٢ إلى ٤٨

وعادة يجرى التجفيف بوضع الحبوب على أرضية مثقبة توضع فوق الأرضية الثابتة لمخزن غلال علف ريفى crib . ويجب أن تكون جدران المخزن غير منفذة للهواء كما يجب وجود فتحة لخروج هواء العادم تعلو سطح الحبوب مباشرة . ويبين الشكلان التاليان وحدتين لتجفيف الحبوب فى المزارع .

(شكل ١٢٨)

وحدة تسخين هواء التجفيف ملحقة بمخزن ريفى تجفف فيه كيزان الذرة بالهواء الممزوج بغازات الاحتراق



(شكل ١٢٩)
وحدة تسخين هواء التجفيف بالطريقة غير المباشرة
ملحقة بمخزن ريفى مستدير يجفف فيه كيزان الذرة

ويمكن اتباع نفس الطريقة السابقة فى تجفيف الحبوب الصغيرة ، فقط تستلزم هذه زيادة القوة اللازمة لدفع الهواء خلال الحبوب .

وفى بعض المزارع تجفف كيزان الذرة بالهواء الجوى غير المسخن ، وتحتاج البوشل إلى حوالى ٣ إلى ٧ أقدام مكعبة من الهواء فى الدقيقة .

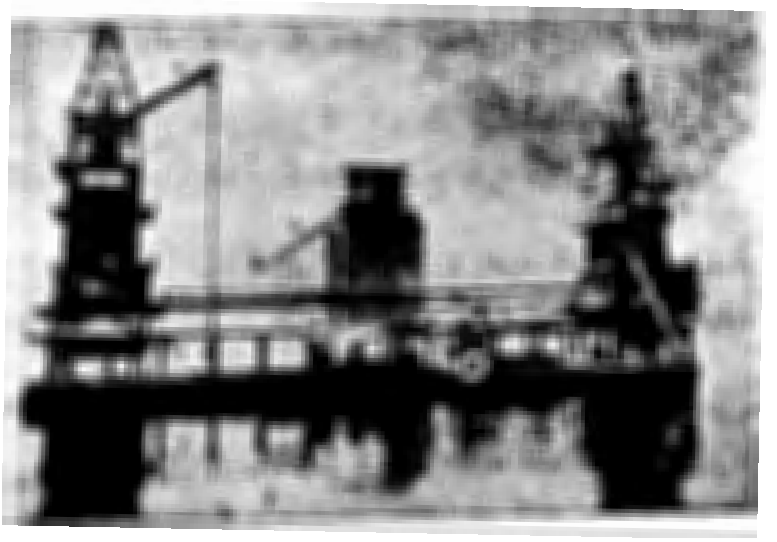
وهناك طريقة لتجفيف الحبوب ما زالت فى دور التجربة وهى مزج الحبوب بمواد كيمائية تمتص الرطوبة chemical desiccants مثل السليكا جل أو كلوريد الكالسيوم .

الصوامع المصرية :

بدأت جمهورية مصر العربية منذ أعوام قليلة فى بناء مجموعة من صوامع الغلال ، وقد تمت إقامة صومعتى القاهرة والإسكندرية ، والأولى

تتسع ثمانية وخمسين ألف طناً من القمح أما الثانية فسعتها ثمانية وأربعين ألف طناً ، والعمل الرئيسى المناط بصومعة الإسكندرية هو استقبال شحنات الحبوب المستوردة وتنظيفها وتبخيرها ثم إعادة توزيعها على المحافظات المختلفة . وصومعة الإسكندرية هذه توفر على الدولة مبالغ طائلة كانت تنفق فى التفريغ البطىء للبواخر . وكلى الصومعتين توفران للدولة مبالغ طائلة تقدر بحوالى ثمانية ملايين من الجنيهات قيمة الحبوب التى كانت تتلف سنوياً نتيجه لسوء التخزين .

وتستمر الدولة حالياً فى استكمال شبكة الصوامع المقدر عددها باثنين وخمسين صومعة سعتها التخزينية ٧٤٩٠٠٠ طناً ، كما ستقام عدة مخازن أفقية لتخزين الحبوب سعتها ٢٤٢٠٠٠ طناً .



(شكل ١٣٠) صومعة القاهرة

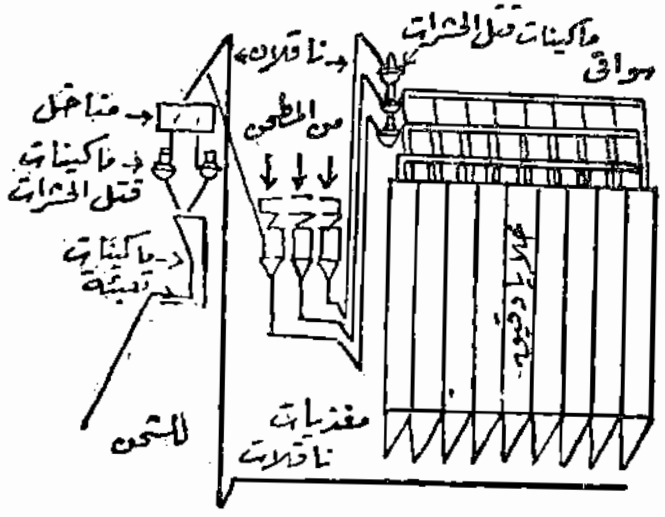
مقامة على مساحة عشرة أفدنة بامبابة – السعة الكلية ٥٨٠٠٠ طن – مجهزة أتوماتيكياً لاستقبال الغلال عن عربات السكة الحديد بقوة ١٦٠ طن / ساعة أو من الصنادل بقوة ١٦٠ طن / ساعة أو من اللوريات بقوة ٤٠ طن ساعة – كذا يمكن التفريغ إلى وسائل النقل بسعة إجمالية ١٦٠ إلى ٣٢٠ طن / ساعة – معدة أتوماتيكياً لتنظيف وتبخير وتهوية الغلال المخزونة .

تخزين الدقيق السائب :

فى بعض الدول تنتج المطاحن الكبيرة كميات كبيرة من الدقيق تفوق ما يمكن تسويقة مباشرة ، ولذلك تعمد هذه الدول إلى إقامة مخازن ضخمة لتخزين كميات كبيرة من الدقيق . وليس ضرورياً أن تقام مثل هذه الصوامع فى البلاد التى تعمل مطاحنها طول الوقت ويتم تصريف منتجاتها أولا بأول . وهذا الوضع يختلف عنه فى حالة القمح ، إذ أن القمح ينتج فى موسم معين ويلزم تخزينه لاستعماله على مدار السنة ، كما أن كميات كبيرة من القمح تستورد وهذه تحتاج إلى تخزين وحفظ طول فترة السحب منها .

وهذا الدقيق يمكن تخزينه معبأ فى جوالات أو براميل ترص فى مبانى متعددة الطوابق أو فى شون بنك التسليف ، غير أن هذا ليس نظاماً نموذجياً أو اقتصادياً . فتخزين الدقيق فى العراء يعرضه لتقلبات الجو والحشرات والقوارض وغيرها ، كما أن التخزين فى عبوات مكلف اقتصادياً . لذلك يفضل إقامة صوامع الدقيق flour bulk-storage plants عندما يقتضى الأمر ذلك .

وتتكون صومعة أساساً من خلال bins مبنية بالمسلح أو مصنوعة من الصلب ، ومن أجهزة نقل الدقيق إلى الخلايا intake side ، ومن أجهوة نقل الدقيق من الخلايا إلى آلات التعبئة discharge side ، ومن ناقلات لنقل الدقيق من خلية إلى أخرى transfer system وتضم الصومعة مناخل لإعادة نخل وتنظيف الدقيق ، وموازين أوتوماتيكية ، وناقلات رأسية وأخرى أفقية فى مبنى التشغيل ، وهذه جميعها تستخدم فى تحركات الدقيق الداخلية . كما تحتوى الصومعة على منظمات لتفريغ الدقيق من خلايا التخزين عند تعبئته ، وناقلات رأسية وأخرى أفقية ، ومناخل وآلات تعبئة الدقيق ، وهذه جميعها تستخدم فى تفريغ الصومعة . وقد تخصص فى الصومعة خلايا خاصة بالتعبئة فتستقبل الدقيق من الخلايا الأخرى ومنها يعبأ الدقيق فى العبوات . ويبين الشكل التالى نموذجاً لصومعة دقيق متوسطة السعة ملحقة بأحد المطاحن الحديثة الكبيرة .



(شكل ١٣١)
صومعة الدقيق

هذه الصوامع تحقق مزايا اقتصادية تتلخص فيما يلى :

١ — توفير نفقات التعبئة قبل التخزين .

٢ — توفير نفقات إعادة التعبئة .

٣ — المحافظة على الدقيق المخزن من التلف بفعل عوامل الفساد التى تتصف بها المخازن العادية أو الشون .

٤ — ضمان تجانس الدقيق بخلط منتجات المطحن فى الأيام المتتالية ببعضها داخل الصومعة .

٥ — تسهيل تحضير شحنات الدقيق بمواصفات محددة حسب الطلب بخلط درجات مختلفة من الدقيق ، وذلك فى الدول التى تسمح تشريعاتها بإنتاج الدقيق بدرجات مختلفة .

٦ ــ تحقق ضمان مطابقة الدقيق للمواصفات المطلوبة بتعبئة الشحنات المصدرة بدقيق من نفس الدرجة دائماً يوجد فى خلايا مختلفة .

٧ ــ تسهيل إجراء الفحص والتحليلات على الدقيق للتأكد من مطابقتها للمواصفات .

ويتوقف حجم الصومعة على كمية الدقيق المطلوب تخزينها ، فهذه قد تكون عبارة عن مقدار الاستهلاك ليومين أو ثلاثة أو لشهر كامل ، ويجب أن يؤخذ فى الاعتبار عند إنشاء الصومعة اختيار المكان المناسب لضمان سلامة الناحية الاقتصادية . فبعد اختيار المكان المناسب وتحديد السعة المطلوبة يحدد عدد الخلايا وحجم كل منها وعدد الناقلات اللازمة والأدوات والآلات اللازمة .

وهناك بعض قواعد تراعى فى تحديد سعة الصومعة منها : أن يكون الحد الأدنى لصومعة الدقيق يسمح بتعبئة إنتاج الأربعة وعشرين ساعة خلال ثمان ساعات يومياً فتكون سعة خلايا التخزين تسمح باستيعاب الإنتاج فى ستة عشر ساعة وتكون كفاءة قسم التعبئة تسمح بتعبئة إنتاج الأربعة وعشرين ساعة خلال ثمان ساعات فقط أى بقدرة تعادل ثلاثة أمثال قدرة الإنتاج . ويمكن فى نظام آخر أن تزداد سعة التخزين بحيث تستوعب إنتاج أربعين ساعة وتكون قدرة جهاز التعبئة ٣,٦ مرة قدر قدرة الإنتاج ، وبذلك يمكن أن تكون التعبئة خلال خمس دورات كل منها ثمانى ساعات مع استمرار تشغيل المطحن ستة أيام أسبوعياً . وفى حالة الرغبة فى تشغيل صومعة الدقيق بصفة مستمرة يجب زيادة سعة التخزين لتستوعب إنتاج أربعة وستين ساعة ، وبذلك تزداد قدرة قسم التعبئة إلى ٤,٢٥ مرة قدر القدرة على الإنتاج . ويجب أن يؤخذ فى الاعتبار التشريعات المحلية المحددة لعدد ساعات عمل العمال . ومن العوامل المحددة لسعة وعدد خلايا صومعة الدقيق أيضاً عدد درجات الدقيق التى تنتجها الدولة .

وتشيد مخازن الدقيق من الصلب أو من الأسمنت المسلح ، وتتوقف أفضلية أحد النوعين على الآخر على انخفاض تكاليف أى النوعين مقارناً بالآخر فى ظروف المكان والدولة التى تقام بها المخازن .

ويعتقد أن الصلب هو الأنسب لإقامة المخازن الصغيرة ، بينما يكون الأسمنت المسلح هو الأنسب للمخازن الكبيرة ، وذلك من جهة تكاليف الإنشاء وهناك تأثير مساحة الأرض المخصصة للمخازن ، فصغر المساحة يقتضى إقامة المخازن بالأسمنت المسلح ليتسنى الاستفادة من كل المساحة ، بعكس الصلب الذى يستلزم إقامة الخلايا بشكل مستدير فتترك بعض مساحات من الأرض ، ولو أن هذا التأثير طفيف للغاية إذ أن البناء بالمسلح يقتضى زيادة سمك الجدران وترك فراغات هوائية حول مجموعة الخلايا لمنع التكثف condensation .

ويراعى فى تصميم مخازن الدقيق نظام تهوية الخلايا ، فملأ الخلايا بالدقيق يترتب عليه خروج الهواء منها ، لذلك تعمل فتحة فى قمة الخلية وتغطى هذه بمجمع الغبار . وللتهوية فى مخازن الدقيق أهميتها البالغة فى منع التكثف ، إذ أن الدقيق يدخل المخزن وهو ما يزال ذا درجة حرارة ورطوبة مرتفعتين مما يسبب سخونة وارتفاع رطوبة الهواء فى أعلى الخلية . هذا الهواء إذا ترك ليبرد سوف تتكثف به قطرات الماء التى تتساقط فيما بعد على سطح الدقيق مكونة عجينة . لذلك يجب تهوية خلايا الدقيق دواماً ، وأفضل الطرق لذلك هى إمرار تيار هواء ضعيف من خلية إلى أخرى . ومن الطرق المفيدة المتبعة إحداث تفريغ فى الخلية أثناء ملئها بالدقيق فيساعد ذلك على عدم تطاير ذرات الدقيق فى الجو ، لكن هذه الطريقة باهظة التكاليف .

ويتلخص نظام ملأ مخازن الدقيق فى إعداد موازين خاصة لوزن الدقيق الداخل للخلايا ، وسواقى لنقل الدقيق من المطحن إلى مخزن الدقيق . ويجب خلط ناتجات المطحن المرغوب خلطها ببعضها للحصول على دقيق ذى درجة معينة قبل وصول الدقيق إلى الموازين .

أما نظام تفريغ مخازن الدقيق فيعتمد على وجود مغذى يمد آلات التعبئة بالدقيق ، وتكون فتحته مناسبة . وأهم ما يراعى فى تصميم نظام تفريغ الدقيق من المخازن هو تحاشى تكتل الدقيق وتكوينه عروشاً لاتصل إليها أجهزة التفريغ . ولذلك فهناك العديد من التصميمات التى ابتكرت فى هذا الشأن ومنها النظام السويسرى الذى يقسم قاعدة خلية الدقيق إلى ست فتحات كلها تؤدى إلى غرفة مستديرة تغذى جهاز نقل الدقيق . وبصفة دائمة تكون القاعدة منحدرة بزاوية مناسبة . وهناك أنواع متعددة من أجهزة التغذية بالدقيق أهمها wing type feeder الذى يناسب الكميات الصغيرة و double screw الذى يناسب الكميات الأكبر ، travelling belt الذى يستعمل أساساً فى مزج الدقيق . وينتقل الدقيق من هذه المغذيات بواسطة سواقى إلى ناقل يحمله إلى أعلى ويصبه فى المناخل حيث يمر خلالها إلى قادوس آلة التعبئة فى العبوات .

ونظام النقل من خلية لأخرى يفيد فى تكملة محتويات خلية بمحتويات الأخرى وكذلك فى حالة الرغبة فى إعداد خليط من درجات متنوعة ووضعه فى خلية خاصة به . ويعتمد النظام على وجود ناقل للدقيق يعمل داخلياً بين الخلايا ، ويجب أن يراعى فى الإنشاء إمكان تشغيل هذا الناقل فى كل وقت حتى فى وقت ملأ أو تفريغ الخلايا . ويجب أن يزود هذا الجهاز بميزان لتحديد أوزان الكميات التى تنقل من خلية إلى أخرى .

ولتحديد آلات تعبئة الدقيق اللازمة يراعى أن تكون ذات قدرة تسمح بتعبئة جميع منتجات المطحن فى خلال مدة إنتاجها . هذا فى حالة عدم وجود مخازن للدقيق بالمطحن ، أما فى حالة وجودها فيجب أن تكون أجهزة الدقيق ذات قدرة تعادل ثلاثة أمثال قدرة إنتاج الدقيق . وحالياً توجد ماكينات كل منها قادرة على تعبئة مائة أو مائة وعشرين جوالا فى الساعة ويدير هذه الماكينة رجل واحد . والعامل المحدد لقدرة جهاز التعبئة هو عدد أيام وساعات الإنتاج وعدد أيام وساعات التفريغ أو الشحن . ويعبأ

الدقيق عادة فى جوالات قطنية أو مصنوعة من الجوت . وتختلف سعة العبوات من دولة إلى أخرى فقد تكون هذه ١٠٠ أو ٢٥ أو ١٠ رطلا أو ٥٠ أو ٨٠ أقه أو غير ذلك . وحالياً توجد ماكينات تعبئة كميات صغيرة من الدقيق فى عبوات يحكم قفلها أتوماتيكياً . ومن أكفأ ماكينات تعبئة الدقيق فى أكياس من الورق الماكينة المعروفة باسم Bates valve bag packer التى تستطيع تعبئة وقفل ألف كيس سعة عشرة أرطال فى الساعة .

ومن الأمور البالغة الأهمية فى صوامع ومخازن الدقيق موضوع نظافة الدقيق . ولذلك تجهز هذه المخازن عادة بمناخل حريرية رقم ٩ ×× لإعادة نخل الدقيق وفصل الحشرات منه . وهذه المناخل يجب أن تكون سليمة دائماً إذ أن تسرب الحشرات الحية من بعض أجزاء الحرير الممزقة يسبب تكاثر هذه الحشرات فى المخزن أو فى العبوات إذا خزنت هذه مدة طويلة . وفى حالة ظهور تكاثر الحشرات داخل المخازن يجب تفريغها مباشرة وتدخينها بمادة قاتلة للحشرات مثل بروميد الميثايل ، كما يمكن تبخير الدقيق فى عبواته أيضاً . وفى المخازن الحديثة تستعمل ماكينة قتل الحشرات entoleter impact machine وهى زهيدة الثمن وسهلة التشغيل وبها يضمن إبادة جميع الحشرات التى قد تمر من حرير المناخل . والشائع فى الصوامع الكبيرة هو تركيب ماكينة لإبادة الحشرات أمام كل ناقل ، بدلا من تركيب ماكينة كبيرة واحدة مرتفعه الثمن عند مدخل تعبئة الصومعة ويجب ألا يستغنى بوضع هذه الماكينات عن عملية النخل إذ أن الأخيرة تفيد فى فصل الشوائب الأخرى . ومما ينصح به اقتصادياً تركيب مناخل حريرية رقم ٩ ×× عند مدخل الصومعة وتركيب مناخل سلك رقم ٣٨ عند فتحة التفريغ لنخل الدقيق قبل تعبئته فى العبوات . ويراعى فى تحديد قدرة المناخل أن تتمشى مع القدرة على الإنتاج .

وأكفأ نظام لتنظيف الدقيق هو وضع ماكينات قتل الحشرات عند مدخل كل خلية لتستقبل الدقيق الذى يمر منها إلى مناخل رقم ٩ ×× ومن هذه إلى

ماكينات قتل الحشرات المثبتة عند كل جهاز لتعبئة الدقيق فى الجوالات أو العبوات الأخرى. وهذا النظام مكلف نسبياً . وهناك نظام آخر أقل تكلفة يتلخص فى إمرار الدقيق خلال مناخل حريرية رقم ٩ ×× فى المطحن ثم خلال ماكينات قتل الحشرات المثبتة عند مدخل جميع خلايا التخزين ثم خلال مناخل سلك رقم ٣٨ وماكينات قتل الحشرات المؤدية إلى آلات تعبئة الدقيق ويمكن الاستغناء عن ماكينات قتل الحشرات فى حالة دوام المحافظة على نظافة المخازن وعدم تلوثها بالحشرات ، وكذلك فى حالة جعل جو خلايا التخزين غير مناسب لحياة الحشرات .

تخزين الزوائد :

يقتضى الأمر تخزين متخلفات طحن القمح mill feeds مثل الدقيق تماماً . وينطبق على تخزين الزوائد كل ماذكر فى تخزين الدقيق . هذه الزوائد أى الردة الخشنة والردة الناعمة والسن الأحمر والسن الأبيض ، تمثل حوالى ١٨ إلى ٢٥ ٪ من الوزن الكلى لمنتجات المطحن تبعاً لنسب الاستخلاص وللدول المنتجة ، وهذا يعادل ٢٠ إلى ٣٣ فى المائة من حجم منتجات الطحن . فحجم خلايا التخزين المطلوب للزوائد أصغر مما يلزم لتخزين الدقيق أو الحبوب ، مثال ذلك مطحن قدرته الإنتاجية ستة آلاف طن يومياً ينتج حوالى خمسة وأربعين إلى خمسة وثمانين طناً من الزوائد كل ساعة . وهذه الكمية الناتجة من الزوائد يسهل تعبئتها بعدد قليل من الأيدى العاملة ، ولذى فليس من الحكمة تخصيص عمال متفرغين لهذا الغرض ، وبالتالى يفضل تخزين الزوائد فى مخازن خاصة . وكذلك يفيد التخزين فى تسهيل الشحن وتوفير نفقاته إذ يصبح ممكناً تعبئة الشحنة خلال ساعتين ، بينما الاستلام من ناتج المطحن أولا بأول قد يستغرق أربع وعشرين ساعة لتجميع شحنة كاملة مما يترتب عليه زيادة النفقات وتعطيل سيارات الشحن . وتجهز مخازن الزوائد عادة بماكينات تعبئة أتوماتيكية وبعض هذه الماكينات تصل قدرته إلى ٢٠٠ أو ٢٥٠ جوال سعة مائة رطل فى الساعة .

صعوبات مخازن الدقيق والزوائد :

أبرز صعوبات تخزين الدقيق السائب هى تماسك بعض طبقاته مكونة شبه قبوة وهذه الكتل المتماسكة تكون عرضة للسقوط فى لحظة مسببة تلف ماكينات التغذية أو طفح سواقى نقل الدقيق . ويساعد على حدوث هذا التماسك برودة جو الصومعة مما يترتب عليه تكثف قطرات الماء .

وتسبب الموازين الأتوماتيكية عند مدخل مخازن الدقيق عدم استمرار تيار الدقيق أو الزوائد أى تقطعه وعدم انتظامه .

وهناك صعوبات تعترض عملية خلط الدرجات المختلفة من الدقيق بقصد إنتاج دقيق بمواصفات معينة . فعملية الخلط هذه تستلزم دقة الموازين ومعرفة الفروق بين الدرجات المختلفة من الدقيق والتأكد من انتظام أجهزة التغذية والإلمام بتأثير تغيرات الضغط على كفاءة أجهزة التغذية وتقدير التفاوت فى كثافة الدقيق والتأكد من سلامة الصمامات وأجهزه التنبيه .

وفى تعبئة الدقيق داخل عبوات يجب ضبط سرعة انسياب الدقيق لتتمشى مع حجم العبوات وسرعة الماكينة ، فليس ممكناً تعبئة الجوالات سعة المائة رطل والأكياس سعة العشرة أرطال من فتحة واحدة .

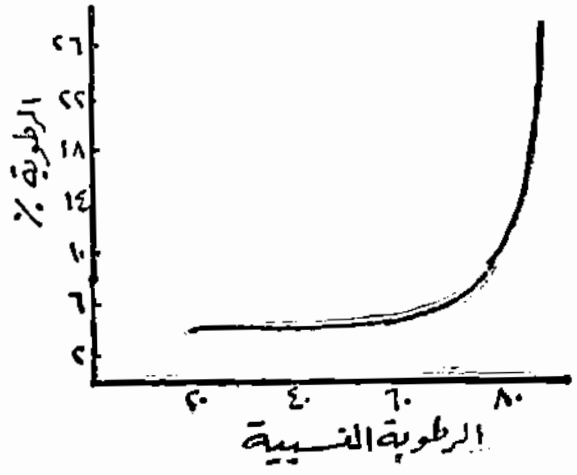
تعبئة وتخزين منتجات الحبوب :

أهم ما يراعى فى تعبئة منتجات الحبوب داخل عبوات مناسبة هو المحافظة على المنتجات بأقل تكاليف ممكنة . وهذه المنتجات عادة زهيدة الثمن ومتوسطة الكثافة وثابتة تقريباً . وقد تصنع بعض هذه المنتجات ، كما قد يضاف لبعضها مواد أخرى مما يسبب ارتفاع قيمة المنتجات النقدية وضرورة تعديل طريقة تعبئتها وحفظها . وتتأثر التعبئة أيضاً بظروف

العرض والطلب ، أى بمدة تعريض وتخزين المنتجات ، وكذلك بذوق ورغبات المستهلكين وبالمواصفات التى تحددها التشريعات الحكومية وبتوفر الخامات أو عدم توفرها . ولما كانت هذه العبوات عديمة النفع للمستهلكين تقريباً فإنه يجب أن يراعى دواماً إنخفاض ثمن العبوات إلى أقل حد ممكن وكذلك ضآلة ثمنها مقارناً بثمن المنتجات المعبأة .

ويفضل دائماً تعبئة منتجات الحبوب لأن هذا يسهل تداولها فى النقل وعند البيع والشراء ويطيل مدة حفظها . كذلك تفيد تعبئة المنتجات داخل عبوات فى إمكان إعطائها إسماً تجارياً تعرف به ويعلن عنها به .

ويلزم دراسة تأثير العبوات على صفات المنتجات بإجراء التجارب المعملية وأهم الخواص التى يجب التعرف عليها فى هذا الشأن هى رطوبة الاتزان equilibrium humidity ومسببات الفساد ووجود الدهون على حالة حرة وكل من الخواص الطبيعية والكيميائية للمنتجات . فدرجة الرطوبة التى عندها يمتنع فقد وامتصاص الرطوبة من المنتجات ، والمعروفة باسم رطوبة الاتزان ، تؤثر



(شكل ١٣٣)

العلاقة بين الرطوبة النسبية بالجو ورطوبة الاتزان بالكعك

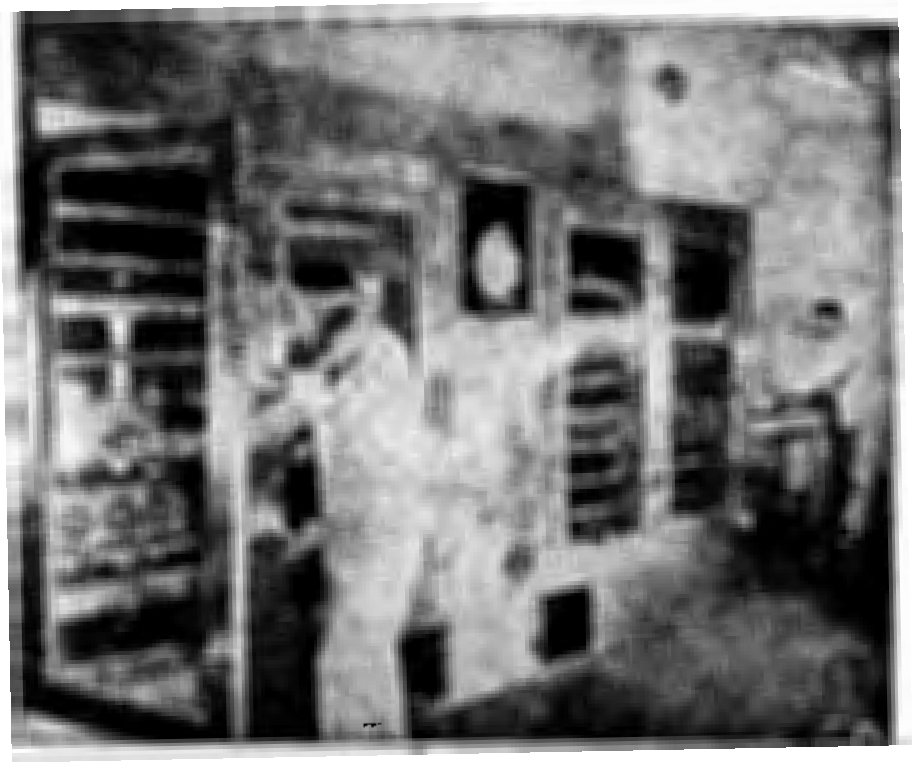
فى حالة المنتجات المعبأة أثناء تخزينها إذ تمتص هذه الرطوبة من الجو عند انخفاض قيمة رطوبة الاتزان بينما تفقد جزءاً من رطوبتها بارتفاع هذه القيمة . مثال ذلك الكيك الذى تنخفض نسبة رطوبة الاتزان به ولذلك يلزم حمايته بالتغليف المناسب من امتصاص رطوبة من الجو.

يسبب فقد أو امتصاص الرطوبة من المنتجات تغير صفاتها وقد تصبح غير صالحة للاستهلاك أوقد تقل جودتها . كذلك حدوث التزنخ يسىء إلى صفات المنتجات ولذلك يجب أن يراعى فى تصميم غلاف المواد المعرضة للتزنخ ألا تساعد الأغلفة أو العبوات على حدوث التزنخ الأكسيدى للدهون وأن تمنع حدوث التزنخ باستبعاد الضوء أو أكسجين الجو أوكليهما ، كما يجب أن تكون العبوات بحالة تسمح بتسرب الرائحة غير المقبولة التى تنشأ عن التزنخ . وللدهون تأثير آخر فهذه قد تكون حرة ، سواء الموجودة منها أصلا فى المنتجات أو المضافة إليها فى التصنيع ، فتتسرب أثناء التخزين إلى سطح المنتجات وقد يمتصها الغلاف بقلة أو بشدة . ففى الحالة الأخيرة يقتضى الأمر استعمال عبوات مانعة لتشرب الدهن . ويمكن الاستدلال على نوع الغلاف المناسب بإجراء تجربة عملية فيها توضع المنتجات على ورق أبيض غير مصقول غير مقوى وتترك لمدة ٢٤ ساعة على درجة ٩٠ إلى ١٠٠° فهرنهيت ومشاهدة الأثر الدهنى على الغلاف ، فإن ظهرت بقع دهنية بسيطة أمكن الاستغناء عن الورق المانع للدهن . ومن أمثلة العبوات المانعة لتشرب الدهن ورق السيلوفان وورق البارشمنت وأغلفة البلاستيك . ويجب أن يراعى فى اختيار العبوات ، عدم تصاعد رائحة ظاهرة منها أثناء التخزين.

وأهم الخواص الطبيعية للمنتجات التى يجب الإلمام بها عند تحديد شكل ونوع العبوات هى كتلة المادة المعبأة ونعومتها وقوامها وسبب أخذ هذه الصفات فى الاعتبار هو العمل على منع تأثير المنتجات على شكل وصفات العبوات ومنع تكسر المنتجات داخل الغلاف . وتؤخذ الخواص الكيميائية فى الاعتبار لمنع تفاعل المنتجات مع الغلاف مما يؤدى إلى تلف أحدهما أوكليهما فمثلا قد تمتص

المنتجات المواد الطيارة من الغلاف فتتلف نكهتها ، وقد تمتص المنتجات الجافة نسبياً رطوبة الغلاف فيضعف ويلين إن كان مصنوعاً من السلوفان ، وقد يتغير لون حبر طباعة الغلاف أو الزبيب المضاف للمنتجات بفعل المواد الطيارة أو ناتجات الأكسدة .

ويجب أن يحدد حجم وشكل العبوات على ضوء تداولها وتجارتها ، كما أن هذا يحدد أيضاً مدى صلابة الغلاف وأهمية طبعه وتزيينه . وكل ما يضعه مصمم الغلاف نصب عينيه هو ضرورة وصول المواد المعبأة بأكملها إلى المستهلك وهى فى حالة صالحة للاستعمال تماماً .



(شكل ١٣٣)

كابينة اختبار العبوات معملياً فى جو محدد الرطوبة

وتوجد طرق قياسية معروفة دولياً لاختبار صلاحية العبوات ، منها طرق معهد التعبئة Packaging Institute ، الجمعية الفنية لصناعة اللب والورق Technical Association of the pulp and paper ، والجمعية الأمريكية لاختبار المواد American Seciety of Testing Materials Industry :

ومن أمثلة أنواع الفساد التى تظهر على منتجات الحبوب المعبأة مايلى :

١ ــ تمزق الغلاف وذلك بفعل خشونة التداول أو ضعف مادة العبوة . ويتحاشى حدوث ذلك باستعمال عبوات من مواد مناسبة .

٢ ــ تكتل الدقيق نتيجة لتغير نسبة الرطوبة . ولمنع حدوث ذلك يحكم قفل العبوات وتستخدم عبوات مانعة للبلل .

٣ ــ تجلد المنتجات المخبوزة بسبب تغير نسبة الرطوبة فى المنتجات وحدوث تغيرات أخرى. ولتفادى ذلك تستعمل عبوات من نوع خاص .

٤ ــ حدوث التزنخ الأكسيدى فى المنتجات بسبب تأكسد الدهن بالأكسجين . وللتغلب على ذلك يحكم قفل العبوات لمنع دخول الأكسجين وتهوية المنتجات لمنع تراكم الرائحة الزنخة .

٥ ــ فقد المواد الطيارة بسبب تسربها من الأغلفة ، وهذا يقتضى استعمال عبوات خاصة تمنع نفاذ المواد المتطايرة .

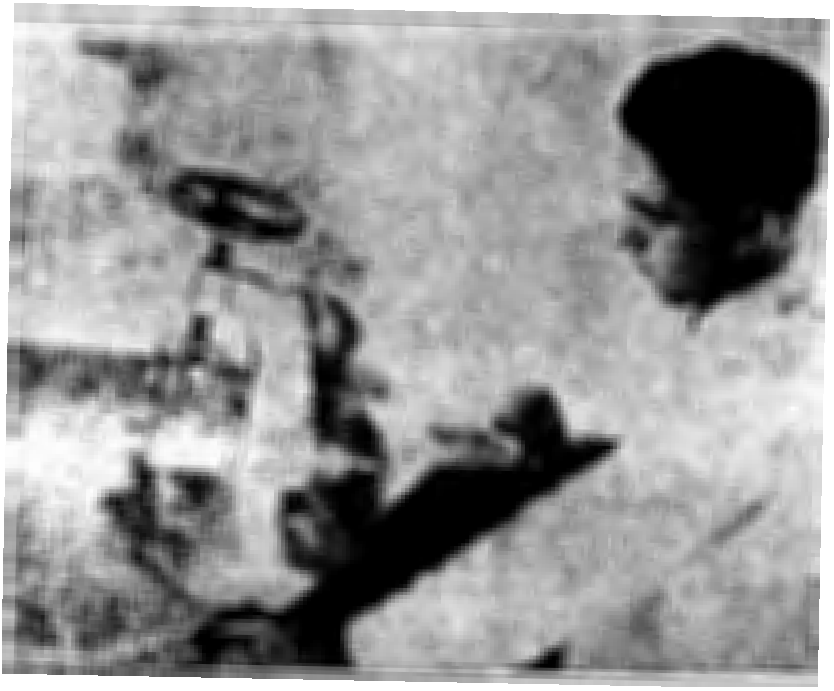
٦ ــ الإصابة بالحشرات نتيجة للتخزين فى أماكن موبوءة . ولذلك يجب أن تكون العبوات محكمة القفل ، أو تستعمل عبوات معدنية .

وأكثر العبوات استعمالا فى تعبئة الدقيق وبعض منتجاته هى الجوالات والأكياس التى قد تكون قطنية أو ورقية أو من الجوت . وتتميز العبوات الورقية بنعومة سطحها وسهولة تعبئتها أوتوماتيكياً وتفريغها وفتحها .

(شكل ١٣٤) تعبئة الأكياس الورقية بالدقيق أوتوماتيكيا

أما العبوات المصنوعة من النسيج فتتميز بإمكان تعبئتها عدة مرات ، ولو أنها لاتحول دون الإصابة بالحشرات والقوارض خلالها متشابهة فى ذلك مع العبوات الورقية . وكثيراً مايعاد تغليف عبوات منتجات الحبوب بورق شفاف ، كما قد تعمل العبوات الورقية بأشكال متعددة بعضها ذو قاع معدنى . وتستعمل العبوات المعدنية فى تعبئة منتجات الحبوب المطلوب تخزينها مدة طويلة أو المراد شحنها لمسافات بعيدة أو المعرضة لأجواء متقلبة .

وتختبر قدرة عبوات منتجات الحبوب باستخدام اختبار مولن Mullen Test أو اختبار كادى Cady tesl .

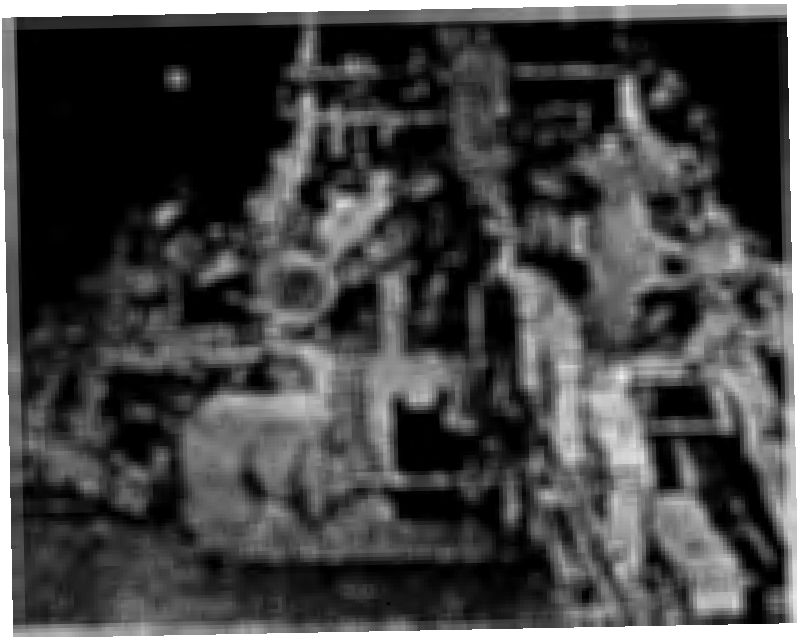


(شكل ١٣٥)
ماكينة موان لتقدير قوة مواد صناعة العبوات!

وحالياً توجد ماكينات متنوعة تنتج العديد من العبوات التى تصاح لتعبئة الدقيق أو الخبز أو أطعمة الإفطار أو الكيك أو غيرها ، وبعضها ينتج العبوات بأشكال مختلفة .

القوارض التى تصيب الحبوب ومنتجاتها المخزونة :

أكثر وسائل التخزين تعرضاً لهجمات الحيوانات القارضة كالفئران الكبيرة أو الصغيرة هى التخزين فى العراء كما هو الحال فى شون بنك التسليف، وكذلك التخزين فى حفر تحت سطح الأرض . وهذه القوارض تسئ أيضاً إلى صفات الحبوب التى لم يلحقها تلف مباشر إذ تتلوث هذه بشعر القوارض وإفرازاتها . وتتضح خطورة هذا التلوث إذ عرف أن



(شكل ٣٦)
ماكينة إعداد العبوات المبطنة من الداخل

ماكينات تنظيف الحبوب فى المطاحن قبل طحنها مباشرة ليس لها القدرة على إزالة القاذورات التى تخلفها القوارض ، سواء فى عمليات الغربلة أو الغسيل أو النسف وأصعب هذه المتخلفات هى إفرازات الفأر الصغير mouse pellets التى يقرب حجمها من حجم حبوب القمح مما يجعل فصلها متعذراً . وتلتصق شعيرات الفأر بالأهداب الرفيعة فى قمة حبة القمح مما يجعل إزالتها فى عملية غسل الحبوب متعذراً .

فمن الأهمية بمكان أن تؤخذ الاحتياطات لمنع الإصابة بالقوارض فى حالة التخزين فى العراء وأثناء النقل فى سيارات أو عربات السكة الحديد أو البواخر وفى المطاحن وفى المخازن الريفية . كذلك يراعى المحافظة على العبوات من التمزق تحاشياً للتلوث .

وتنتشر القوارض فى جميع أنحاء العالم ، وهى متعددة الأنواع . فالفأر المعروف باسم roof rat (Rattus rattus Linnaeus) يعرف منه أكثر من خمسين حيوان مختلف susbspies وتنتشر بعض القوارض فى العالم القديم دون العالم الجديد ، والعكس صحيح . وعادة يطلق القوارض المنتشرة فى بيئة معينة الإسم Commensul rodents أى القوارض التى تأكل على نفس المائدة . وهذه القوارض تقسم إلى ثلاثة أنواع هى فيران الجحور burrow ing rats والفيران المتسلقة Climbing rats والفيران الصغيرة mice.

ومن أمثلة فيران الجحور فأر النرويج Rattus norvegicus Exleben الذى انتقل إلى بقاع مختلفة من العالم . وهذا الفأر ذو لون بنى يزن حوالى ٣٤٠ جراماً ويصل طوله إلى حوالى ٤٠ سنتيمتراً وذنبة قصير خالى من الشعر تقريباً . ويعيش هذا الفأر فى جميع الأماكن التى يطرقها الإنسان كالمنازل والحظائر والمخازن والقنوات والمزارع وأماكن القمامة وغيرها . ويتوالد هذا الفأر فى جحور تقع فى أى من الأماكن السابقة ، لكنه يفضل الأدوار السفلية . وهو يتغذى على اللحوم والأسماك والفاكهة والحبوب والخضراوات. وتلد هذه الفيران من أربعة إلى ستة مرات سنويا . وتبلغ الصغار مرحلة النضج بعد أربعة شهور تقريباً .

ومن أمثلة الفيران المتسلقة فأر السطوح الذى يتميز بصغر حجمه ونحافته وطول ذنبه عن فأر النرويج . ويتفاوت لون هذه الفيران بين الرمادى والبنى أو الأسود المزرق. فالفأر المعروف باسم Rattus r. alexandrinus Geoffroy رمادى اللون مستطيل الوجه كبير الأذنين وزنه حوالى ٢٢٥ جراماً وطوله حوالى ٣٨ سنتيمتراً وذنبه طويل خال من الشعر تقريباً وتحت النوعين المنتشران فى أمريكا هما Rattus r. frugivorus (Rafinesque) الرمادى اللون ، Rattue r . rattus المسود اللون. ويبدو أن هذه الفيران هى الأكثر انتشاراً فى معظم الدول وهى تدخل المخازن والمبانى من خلال الفتحات الضيقة والمواسير

وعلى أسلاك الكهرباء والتليفون . وتفضل هذه الفيران التغذية على المواد النباتية كالفاكهة والخضروات والحبوب .

وتنتشر الفيران الصغيرة Mus musculus Linnaeus فى المنازل وهى تتميز بصغرها إذ لايتجاوز وزنها ١٥ إلى ٢٥ جراماً ويصل طولها إلى ٦ أو ٨ بوصات ويقارب طول ذنبها مجموع طول الجسم والرأس تقريباً . ويغطى الذنب شعر قليل كما يغطى الجسم شعر بنى اللون تقريباً ، أما البطن فلونها باهت . وهذه الفيران منتشرة فى جميع أنحاء العالم . ويعزى ذلك إلى صغر حجمها وتحملها العطش . وهى تتسلق المبانى بسرعة فائقة ، وتتوالد بسرعة فائقة . وتفضل هذه الفيران التغذية على الحبوب والبذور .

وتتعرض الحبوب المخزونة لهجمات كثير من القوارض الأخرى مثل wood rats ، (Microtus) meadow mice ، (peromyscus) deer mice (Neotoma)، السنجاب الأرضى ground squirrels (Citellus, Eutamias) وسنجاب الأشجار tree squirels (Sciuridae) (Tamas . كذلك تتعرض الحبوب المخزنة فى العراء للطيور والدواجن ، كما قد تتلوث بإقامة القطط فيها سعياً وراء الفيران .

وهذه القوارض تسبب خسائر مادية فادحة ، فعلى سبيل المثال ، وجد أن الفأر الكبير يستهلك حوالى ٢٤ جراماً من القمح يومياً ، أى بمعدل عشرين رطل من القمح سنوياً لكل فأر . وهذا بخلاف الجزء من القمح الذى يتلف بتأثير قاذورات القوارض ، وكذلك بخلاف نفقات مقاومة هذه القوارض وقيمة التلف الذى تتعرض له المبانى والآلات والسيور والمواسير والعبوات بفعل القوارض . ويضاف إلى ذلك الأخطار الصحية التى يتعرض لها الإنسان نتيجة لتلوث الحبوب بميكروبات وقاذورات تتركها القوارض . فمن الأمراض المتسببة عن القوارض التيفوس والتسمم الغذائى trichinosis و rat-bite fever و rickettsial pox ، Leptospirosis .

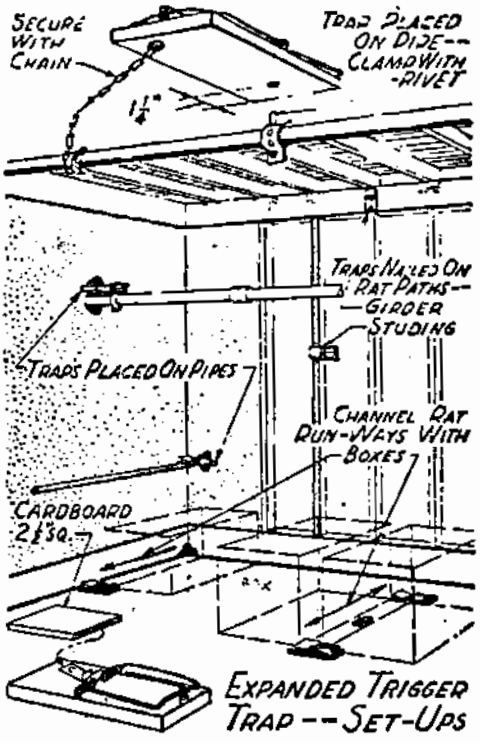
ويستفاد من عادات القوارض فى تنظيم وسائل مقاومتها . فالمعرفة بالعادات الغذائية تمكن من اختيار الطعم المناسب فى مصايد الفيران . ومعرفة حجم الفيران المنتشرة يحدد على ضوئها نوع السلك المستخدم فى تغطية فتحات المخازن ومعرفة نوع القوارض إن كانت متسلقة أم حفارة يحدد مدى جعل مبانى المخازن مانعة لتسرب القوارض. وتكثر تغذية الفيران ليلا . وعادة لاتستمر الفيران فى تغذيتها على الحبوب حتى تمتلىء تماماً ، بل تتردد على الحبوب عدة مرات قد تصل إلى سبعين مرة فى الساعة ، وتبتعد الفيران عن الحبوب بمجرد سماعها الضوضاء لذلك إذا أريد مقاومة القوارض باستعمال المواد السامة فمن المفيد وضع هذه المود قبل بداية فترة نشاط القوارض اليومية مباشرة على أن توضع فى الممرات التى تسلكها الفيران عادة وقريباً من أماكن القمامة ، كما تفضل الأماكن المظلمة . ويراعى عدم إحداث ضوضاء بعد توزيع الطعم السام . كذلك يؤخذ فى الاعتبار عند عمل الطعم السام أن الفأر يشعر بتغير الغذاء بسرعة ، ويستنفذ بعض الوقت فى التعود على الغذاء الجديد .

وأفضل الطرق للوقاية من الإصابة بالقوارض هى جعل الصوامع محكمة ضد تسرب هذه القوارض . فالمعروف أن القوارض يجب أن تتوفر لها ثلاث اشتراطات لتنشط وهى المأوى المناسب والغذاء الكافى وقلة الآفات الأخرى التى تنافس القوارض فى عملها . ويجب أيضاً العناية بنظافة وسلامة المخازن والمبانى ودوام التفتيش عليها .

وتتلخص وسائل مقاومة القوارض فى الطرق التالية :

١ — استخدام المصايد : وهذه الطريقة تعطى نتائج طيبة أحياناً فى مخازن الحبوب المصابة بعدد قليل من القوارض . وتتميز هذه الطريقة بتحاشى

استخدام السموم فى المواد الغذائية . وتعرض فى الأسواق أنواع عدة من المصايد ، منها المبين فى الشكل التالى :



(شكل ١٣٧)

طريقة استعمال نوع بسيط من المصايد

وتوضع بالمصايد أطعمة تجتذب الفيران ، منها بعض الحبوب نفسها مع قليل من مادة جذابة كالعسل أو بعض الدهن الذى يعطى رائحة مميزة ، ومنها الكيك الجاف أو القرص .

٢ — استخدام الغازات السامة : وهذه الطريقة فعالة فى مقاومة القوارض . فتدخن المخازن والصوامع بالغازات السامة مثل حمض الايدروسيانيك الذى ينطلق من سيانيد الكالسيوم الذى يباع على صورة مسحوق ناعم أو متحبب أو على هيئة شرائح . وفى طريقة أخرى يستعمل ثانى كبريتيد الكربون الذى يباع على صورة سائل كثيف مميز الرائحة .

ويستعمل أيضاً بروميد الميثايل أو الكلوروبكرين أوأول أكسيد الكربون . مثل هذه المواد تدفع فى الحجور بالطرق المناسبة . ويلاحظ أن ثانى أكسيد الكبريت قابل للاشتعال . بينما أول أكسيد الكربون يتميز بعدم قابليته للاشتعال .

٣ ــ استخدام القطط والكلاب لاصطياد الفيران : وهذه الطريقة ليست مفيدة إذ أن هذه الحيوانات تسبب تلوث الحبوب . وعادة تتبع هذه الطريقة فى المزارع الصغيرة .

٤ ــ استخدام البكتريا المرضية : وهذه الطريقة خاطئة وفيها مجازفة وأكثر البكتريا استخداماً هى من مجموعة السالمونيلا Salmonella التى تسبب أمراضاً للقوارض ولكنها تسبب التسمم الغذائى .

٥ ــ استعمال المواد الكيماوية الطاردة للقوارض : وهذه الطريقة ليست فعالة تماماً . ويجب أن تكون المواد المستعملة غير سامة .

٦ ــ استخدام عبوات من نوع قوى تعجز القوارض عن تثقيبه .

٧ ــ استخدام الطعم السام : وهذه الطريقة هى الأكثر شيوعاً . وتستخدم فى هذه الطريقة مواد سامة تضاف لمواد غذائية مألوفة . ويفضل أن تستخدم فى عمل الطعم أغذية مخالفة لتلك المخزنة ، كأن تستعمل اللحوم أوالأسماك أو الفاكهة الطازجة أوالخضروات فى مخازن الحبوب . وقد تمزج مثل هذه المواد بثلاثة أمثال وزنها حبوباً جافة أو لبابة خبز . وقد تستعمل مواد سائلة فى عمل الطعم إذ ثبت فاعليتها فى مخازن الحبوب لأنها كانت المصدر الوحيد لماء الشرب فى هذه المخازن : وأحياناً تستعمل محاليل للمواد السامة . ومن المفيد إضافة السكر بنسبة عشرة فى المائة للماء فيستهوى القوارض . وكثيراً مايستعمل اللبن أوعجينة الطماطم . ويلاحظ فى العلائق الجافة ألا تنخفض فيها نسبة الرطوبة

إلى حد كبير مما يجعل الحيوان يعرض عنها . ويجب فى جميع الحالات تحاشى تلوث الحبوب المخزونة بالطعم السام .

وأشهر المواد السامة المستخدمة فى تحضير الطعم السام للقوارض هى :

المادة السامة	القابلية للذوبان فى الماء والثبات	النسبة المئوية من وزن الطعم ٪
كربونات باريوم	غير ذائبة ، ثابتة	٢٠
حامض زرنيخوز	قليل الذوبان . ثابت	١ — ٢
زرنيخيت الصوديوم	ذائبة . ثابتة	١
أستركنين قلوى	غير ذائب . ثابت	٠,٥
كبريتات استركنين	ذائبة . ثابتة	٠,٥
فوسفور أصفر	غير ذائب . يتأكسد بتعرضه للهواء	١
فوسفيد زنك	غير ذائب . يتحلل فى وجود الماء	١
مسحوق Red squill	غير ذائب . ثابت	١٠
مستخلص « «	يمتزج بالماء	١٠
كبريتات ثاليوم	قليله الذوبان . ثابتة	١,٥
ألفا نافثايل ثيويوريا ANTU	غير ذائبة . ثابتة على درجة حرارة عادية	١ — ٣
فلوروخلات الصوديوم ١٠٨٠	ذائبة . ثابتة	٠,٢٥ — ٠,٥
وارفارين werfarin	قليل الذوبان . ملح الصوديوم	٠,٠٢٥ للطعم الجاف
٣ — ألفا أسيتونيل بنزيل — ٤ — هيدروكسى	يذوب	٠,٠٠٥ للطعم السائل

كومارين		
بيفال Pival ٢ —	يذوب	٠,٠٠٥ للطعم السائل
بيفاليل — ١ ، ٣ —		
إندانديون		
تومورين Tomorin	قليل الذوبان	٠,٠٢٥ للطعم الجاف
٣ — (١ — باراكلورو فينايل		فقط
— ٢ — أسيتيل إيثايل		
— ٤ — هيدروكسي كومارين		

وتشير نتائج اختبار المواد السالف ذكرها علمياً إلى ان الزرنيخ والفسفور والثاليوم وفلوروخلات الصوديوم تكون ذات أثر فعال على جميع أنواع الفيران ، أما كربونات الباريوم و Anru, Red squill فأثرها ضعيف على الفيران الصغيرة ، وأما الاسترکنين فأثره ضعيف جداً على الفأر الكبير .

ويستعمل الطعم السام بطريقتين . فى الأولى توضع المادة السامة عند الفتحات بكمية تؤدى إلى تسمم الحيوان بمجرد تذوقه ، وبعد أربع وعشرين ساعة تجمع بقايا الطعم وتعدم . وفى الطريقة الثانية تستعمل أوانى ذات غطاء يمكن ملأها بالمادة السامة كلما خلت منها . وهذه الطريقة يمكن استعمال الطعم بكميات كبيرة وبنسبة من المادة السامة أقل انخفاضاً مما يستدعى تردد الحيوان على الطعم عدة مرات حتى يصل مقدار ما يتعاطاه من الطعم السام إلى مستوى الجرعة السامة فيهلك . ولهذا فليس ممكناً فى الطريقة الأخيرة أن يستعمل الطعم الواضح الطعم والرائحة مثل فوسفيد الزنك red squill إذ أن الحيوان يعرض عن تناول هذا الطعم بعد تذوقه للمرة الأولى . وأفضل السموم فى الطريقة الثانية هى كبريتات الثاليوم .

وينصح بالمداومة على وضع السم لمدة أسبوع أوأسبوعين ضماناً للإبادة .

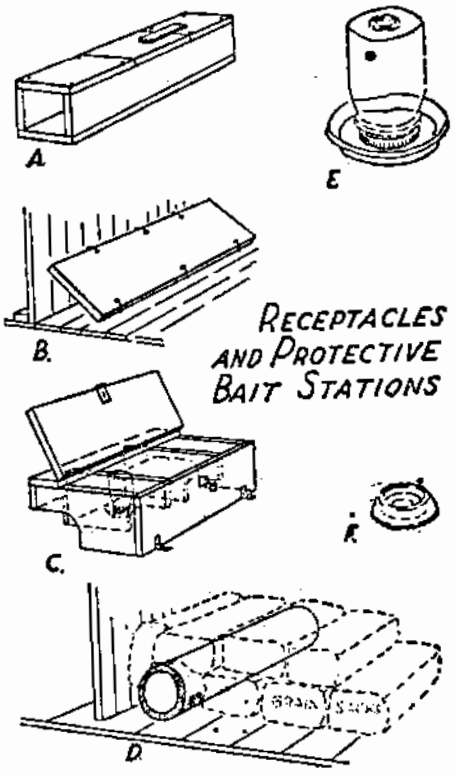
ويجب أن تؤخذ خلال هذه المدة كافة الاحتياطات لمنع الأثر السام على الإنسان والماشية والخيل والكلاب . فالطعم red squill لايخشى أثره السام على الإنسان وحيونات المزارع ، والطعم ANTU ليس ساماً بالنسبة للإنسان لكنه يضر الخيل والكلاب والخنازير والدواجن الصغيرة السن ، ومادة كربونات الباريوم لاتسبب أثراً ضاراً إلا فى حالة تناولها بكميات كبيرة ، وأما مركبات الزرنيخ فسامة لجميع الكائنات الحية . ويتفاوت الأثر السام لكل مادة باختلاف الحيوانات ، فمثلا وجد أن فلورو خلات الصوديوم ذات أثر سام على الكلاب يعادل خمسين مرة قدر أثرها السام على الفأر. وتفقد بعض المواد السامة فعلها بطول فترة تعرضها للجو ، مثل مركبات الفوسفور . ومن الطرق المتبعة أحياناً لتحذير الأفراد من وجود الطعم السام تلوين هذه المواد بلون مميز أو إكسابها رائحة مميزة ، فمن الألوان المستخدمة صبغة النجروسين السوداء nigrosine black dye التى تضاف إلى فلورو خلات الصوديوم ، واللون الوردى الذى يضاف لمركبات الزرنيخ ، واللون الأخضر فى مستحضرات الثاليوم ، واللون الأصفر الزاهى فى مستحضرات البيفال .

وفى حالة استعمال المحاليل السامة فى مقاومة القوارض يجب أن تؤخذ الاحتياطات الشديدة لمنع تلوث الحبوب المخزونة بهذه المحاليل إذ أنها سامة جداً للإنسان . مثال ذلك محاليل فلورو خلات الصوديوم وكبريتات الثاليوم فالجرعة القاتلة للطفل من المحلول الأول لاتتجاوز نصف أوقية . ويجب تحاشى التعفير ضد القوارض بالمساحيق السامة مثل مسحوق DDT فى مخازن الغلال لأن الكمية المتخلفة على الحبوب أو الدقيق قد تكون سامة . ويكتفى باستخدام هذه الطريقة فى مقاومة القوارض داخل الجحور فى المزارع والمبانى بعيداً عن الحبوب .

ولتحضير الطعم السام الجاف تمزج الكمية المحددة من المركب السام بوزن مناسب من مادة مالئة مثل نشا الذرة و دقيق القمح وكربونات المغنسيوم

ويصحن المخلوط ليصبح ناعماً ومتجانساً . وفى حالة إضافة مادة سائلة للطعم كالعسل أو الزيت فمن الأفضل تقليب المركب السام أولا فى السائل ثم إضافة المواد المالئة . ومن المفيد إضافة مادة ملونة للمخلوط ليستدل من لونها على تجانس المخلوط وتمام الخلط . وفى كثير من الأحيان تحضر المواد السامة باستعمال مواد مالئة لها القدرة على اللصق مثل عجينة النشا المضاف إليها عسل أو جلسرين أو ليسيثين أو زيوت معدنية أو مركب سليلوزى معين . وفى حالة استعمال زيوت ينصح بإضافة مواد مانعة للأكسدة بحيث تبطئ سرعة تزنخ الزيت لأن التزنخ بمجرد حدوثه ينفر القوارض من الطعم السام . ويمكن إطالة مدة حفظ الطعم السام المكون من فاكهة أو خضروات طازجة بغمس هذا الطعم المشكل فى هيئة مكعبات فى مخلوط دافئ من البارافين والزيت المعدنى بنسبة ٨٠ فى المائة من الأول مع ٢٠ فى المائة من الثانى ثم تصفية السائل الزائد .

ومما يساعد على ترغيب الحيوانات القارضة فى تناول الطعم السام تغطية مواد الشرب والطعام الأخرى ، كأن تغطى مصادر المياه وتخزن المواد الغذائية فى مخازن محكمة . كذلك جعل الطعم السام جذاباً للحيوانات باحتوائه على خليط من عدة مواد غذائية مرغوبة ، وتعريض هذا الطعم خالياً من المادة السامة بعض الوقت فى أماكن متفرقة لتتعود الحيوانات على تناوله قبل أن تضاف المادة السامة إليه ، وجعل تركيز المادة السامة فى الطعم كافياً لقتل الحيوانات بمجرد تذوقه . ويوضع الطعم السام داخل ورق شفاف بمعدل ملعقة صغيرة من الطعم فى كل لفة . أما السموم التى تترك معرضة مدة طويلة فيجب أن توضع داخل أوانى محكمة مثبتة فى الأرض أو فى الجدران بعيداً عن أيدى الأطفال والعمال غير المدربين وبهذه الأوانى فتحات تتسع لدخول الفيران . ومن أمثلة هذه الأوانى ما هو مبين فى الشكل التالى :



(شكل ١٣٨)

أوعية الطعم السام الأربعة الأولى منها تصلح للطعم الجاف والأخيرتان تصلحان للطعم السائل

ويعتبر التلوث بمخلفات القوارض من أخطر ما يتعرض له الحبوب المخزونة ، إذ أن هذا بالإضافة إلى إساءته لصفات الحبوب فإنه قد يجعل الحبوب الغذائية غير صالحة للتغذية بموجب التشريعات الغذائية التى تحتم خلو الحبوب من المواد الغريبة . فالقانون الأمريكى مثلا : Act (1938) Food , Drug , and Cosmetic يعتبر الأطعمة ، ومنها الحبوب الغذائية ، مغشوشة فى حالة احتوائها على قاذورات أو مواد متحللة وعندما تكون غير صالحة للتغذية أو معبأة تحت ظروف غير صحية تؤدى إلى تلوثها أو تجعلها ضارة بالصحة . وتعتبر القاذورات الملوثة للحبوب أى مادة

لا تدخل فى تركيب هذه الحبوب ، أى أن مخلفات هذه القوارض تعتبر ضمن الشوائب الملوثة أى ضمن مواد الغش .

كذلك يجب أن يقتصر فى استعمال المواد السامة المبيدة للقوارض على تلك المواد المختبرة والمصرح باستعمالها قانوناً ، أسوة بما هو متبع فى الدول المتقدمة .

ويستدل على تلوث الحبوب المخزونة بمخلفات القوارض عن طريق مشاهدة إفرازات هذه الحيوانات وآثار تحركاتها . ومن السهل التعرف على براز الفيران بشكله وحجمه . أما براز الحيوانات الصغيرة فيلتبس أمره على إفرازات بعض الحشرات ، ولذلك يعتمد فى التمييز على اختبارات أخرى منها اختبارات لونية Spot tests . ومن الاختبارات الهامة للتعرف على نظافة الحبوب والدقيق اختبار filth test . الذى يعتمد على الفحص الميكروسكوبى لشعر القوارض وأجزاء الحشرات . وهذا الاختبار الأخير مشروح فى الجزء الأول من هذا الكتاب وهو يعتمد إلى حدكبير على الخبرة فى تمييز هذه الشوائب .

الحشرات التى تصيب الحبوب المخزونة :

تتلف الحشرات حوالى خمسة فى المائة من مجموع الإنتاج العالمى من الحبوب الغذائية سنوياً . فالكمية التى تتلف من الحبوب سنوياً تقدر بحوالى ٢٥٧٥٠ ٠٠٠ طناً ، نصفها على الأقل يعزى تلفه إلى فعل الحشرات .

ويقدر عدد أنواع الحشرات التى تصيب الحبوب المخزونة بالمئات ، إلا أن خمسين منها فقط هى التى تسبب أضراراً جسيمة . ويتفاوت مدى انتشار هذه الحشرات فى الدول المختلفة بسبب تفاوت الطقس . وأشهر هذه الأنواع من الحشرات ما هو مدون فى الجدول التالى :

وتميز سوسة الأرز بوجود أربع بقع صفراء أو محمرة قليلا على ظهرها وكذلك بوجود أجنحة . ولهذه الأجنحة أهمية خاصة إذ أنها تساعد الحشرة

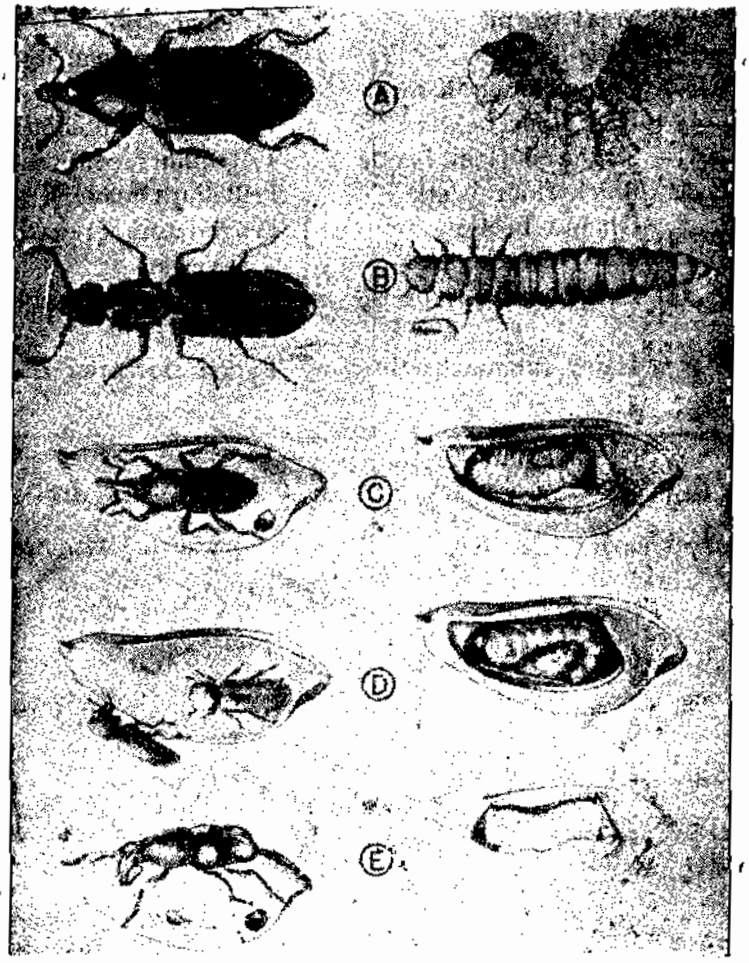
على الطيران ومهاجمة الحبوب فى المزارع قبل الحصاد ، وكذلك الانتقال من الحشرات المصابة إلى الحشرات السليمة :

وهذه الحشرات تقوى على ثقب أغلفة الحبوب ، وبهذه الطريقة تتغذى على الأندوسپرم وتضع بويضاتها فى داخل الحبوب فتصبح هذه فى مأمن من عوامل التلف الخارجية . وهذا البيض يفقس بعد بضعة أيام وتتحول اليرقات إلى حشرات كاملة بعد بضعة أيام أخرى . وتستغرق الفترة من وقت وضع البيض حتى تكون الحشرات الكاملة حوالى أربعة أسابيع فى الظروف المناسبة . وعادة تضع الأنثى بضع مئات من البيض . وتتفاوت الحشرات الكاملة فى حجمها فقد تكون صغيرة فى الحبوب الصغيرة كالذرة الرفيعة والسورجم أو كبيرة فى الحبوب الكبيرة كالذرة الشامية . وقد يستمر تكاثر الحشرات فى الدقيق وفى المكرونة أيضاً .

مدى الاصابة بالآفة	الاسم الدارج	الاسم العلمى
رئيسية	Flour or grain mite	Acarus siro L.
فى القمامة	Foreign grain beetle	Ahasverus adventa waltl
فى القمامة	Black fungus beetle	Alphitobius piceus oliv.
تطفل	–	Aplastomorpha calandrae how
ثانوية	Coffee bean weevil	Araecerus fasciculatus Deg
ثانوية	Black carpet beetle	Attagenus piceus oliv.
فى القمامة	Corn sap beetle	Carpophilus dimidiatus F.
ثانوية	Broad-nosed grain weevil	Caulophilus latinasus Say
ثانوية	Rice moth	Corcyra cephalonica Staint.
ثانوية	Larger black flour beetle	Cynaeus angustus Lec.
رئيسية	The almond moth	Ephestia cautella Wlkr.
رئيسية	Tobacco or cacao moth	Ephestia elutella Hbn,
رئيسية	Mediterranean flour	Ephestia kühniella Zell.
رئيسية	Flat grain beetles	Laemophloeus spp.
ثانوية	Cigarette beetle	Lasioderma Serricorne F.
ثانوية	Long-headed flour beetle	Latheticus oryzae Waterh.
تطفل	–	Microbracon hebetor Say
بشراهة	Window pane fly	Omphrale fenestralis L.
رئيسية	Saw-toothed grain beetle	Oryzaephilus surinamensis L.
رئيسية	Indian-meal moth	Plodia interpunctella Hbn.
ثانوية	Brown spider beetle	Ptinus hirtellus Sturm
ثانوية	Hairy spider beetle	Ptinus villiger Reit.
رئيسية	Lesser grain borer	Rhyzopertha dominica F.
رئيسية	Granary weevil	Sitophilus granarius L.
رئيسية	Rice weevil	Sitophilus oryza L.

رئيسية	Angoumois grain moth	Sitotroga cerealella Oliv.
ثانوية	Drug–store beetle	Stegobium paniceum L.
ثانوية	Meal worms	Tenebrio spp.
رئيسية	Cadelle	Tenebroides mauritanicusL.
ثانوية	European grain moth	Tinea granell L.
رئيسية	Red flour beetle	Tribolium ca tauenumHbst.
رئيسية	Confused flour beetle	Triboiinm confusum Duv.
ثانوية	Black flour beetle	Tribolium madens charp.
رئيسية	Khapra beetle	Trogoderma granarium Everts
ثانوية	Larger cabinet beetle	Trogoderma versicolor creutz
فى القمامة	Hairy fungus beetle	Typha stercorea L.

وأخطر هذه الحشرات جميعاً هى سوس الحبوب ومنها سوسة الأرز (Sitophilus oryza L.) rice weevil وسوسة الحبوب Granary weevil (S. granariu1 L.) المبينة فى الرسم التالى .



(شكل ١٣٩)

الحشرات الكاملة ويرقات سوس الحبوب

ا – Broad-nosed weevil ب – Saw-toothed grain beetle

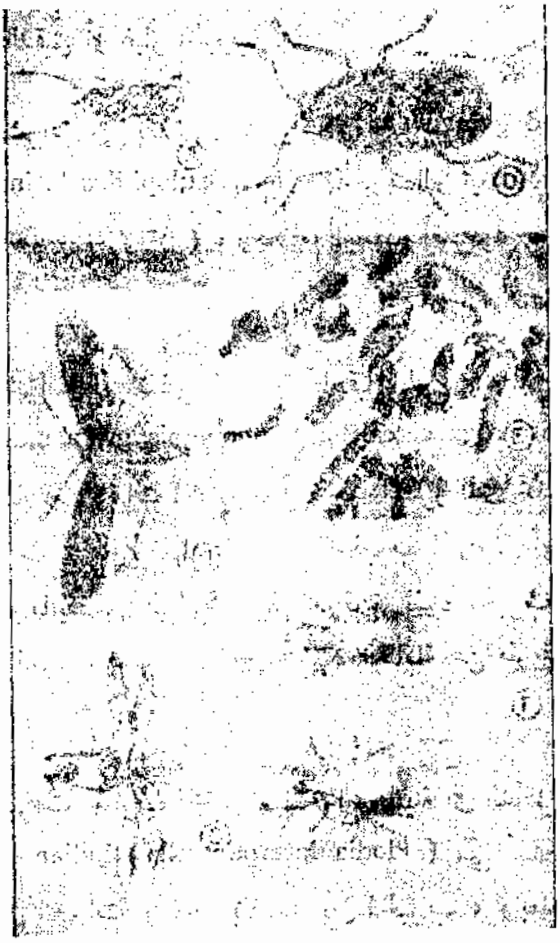
جـ – Granary weevil د – ثاقبة الحبوب الصغرى هـ – سوسة الأرز

وتتشابه ثاقبة الحبوب الصغرى (Rhyzopertha) the lesser grain borer (cdominica) مع سوسة الأرز فى عاداتها ، لكنها تستطيع التغذية خارج الحبوب على الدقيق أو غبار الحبوب .

ومن الحشرات التى تقضى مدة حياتها فى الحبوب Broad-nosed gain coffee bean weevil (Caulophilus latinasus) وسوسة حبوب البن (Araecerus fasciculatus) ، وكلاهما لايسبب أضراراً جسيمة للحبوب المخزونة .

ومن الحشرات التى تقضى فترة حياتها قبل بلوغ مرحلة النضج داخل الحبوب (Angoumois grain moth) Sitotroga cerealella وهى تأتى فى المرتبة الثانية بعد ثاقبات الحبوب من وجهة الضرر الذى تحدثه للحبوب . وهذه الحشرات تضع بيضها على سطح الحبوب المخزونة أو الحبوب فى المزارع وعند ما يفقس البيض تتولى اليرقات ثقب الحبوب والاختفاء بداخلها مكونة ممراً يسهل خروج الحشرة الكاملة عن طريقه إلى خارج الحبوب .

ومن حشرات الحبوب المخزونة الأنواع المبينة فى الشكل التالى ومنها Indian-meal moth (Plodia interpunctella) التى تهاجم الحبوب فى المخازن وفى العبوات وتضع بيضها بين الحبوب ، وبعد أن يفقس البيض تتجمع اليرقات فى شكل تجمعات كبيرة متعلقة بأنسجة دقيقة وتهاجم الحبوب خصوصاً فى منطقة الجنين .



(شكل ١٤٠)

بعض حشرات الحبوب

أ – Flat grain beetle ب – فراشة الأرز

جـ – Angoumois grain moth د – سوسة حبوب البز

هـ – عنفساء الدقيق المتشابهة و – حلم الحبوب

(شكل ١٤١) بعض حشرات الحبوب المخزونة

ا – dark meal worm
ب – يرقة Indian-meal moth
جـ – Indian meal moth
د – Hairy Spider beetle
هـ – Red flour beatle
و – يرقة Cadelle
ص – Cadelle
ص – Black flour beetle

وتنتشر بعض الحشرات على الردة والحبوب المكسورة والدقيق وغبار الحبوب، وهذه يطلق عليها عادة الإسم bran bugs أو bran beetles أو flour beetles ، وهذه الحشرات تضع بيضها فى أغلب الأحوال بين الحبوب وتتحرك يرقاتها حرة فيما عدا يرقات flat grain beetle التى تفضل أن تثقب الأجنة . واللون السائد فى هذه الحشرات هو البنى المحمر ، ويتراوح طول الحشرة بين $\frac{1}{16}$ ، $\frac{1}{8}$ بوصة . ويسبب تكاثر هذه الحشرات بأعداد كبيرة ارتفاع درجة حرارة الحبوب مما يؤدى إلى تلف السطح البارد لتكثف الرطوبة عليه وهى الرطوبة المنبعثة من المناطق التى أرتفعت درجة حرارتها . وأكثر هذه الحشرات انتشاراً هى flat grain beetles (Laemophloeus spp.), saw-toothed grain beetle ، (Tribolium castaneum Hbst) redflour beetle ، Oryzaephilus surinam ensis L. (T.confusum Duv.) confused flour beetle ، والحشرة الأخيرة أقل خطراً من سابقتها بسبب عجزها عن الطيران مما يجعل وصولها إلى المطاحن صعباً بعكس الأخرى ، كما أن الحشرة (T . madens) black flour beetle التى تتبع نفس الجنس تنتشر فى الحبوب المخزونة وفى مطاحن الغلال .

ومن الحشرات المهمة أيضاً حشرة (Tenebroides maurianitcus) Cadelle التى تنخر يرقاتها خشب مخازن الغلال لتختبىء فيها حتى يعاد ملأ المخازن بالحبوب . كذلك حشرة (Trogoderma granarium) Khapra beetle انتشرت فى كثير من الدول ومن بينها جمهورية مصر العربية .

وتصاب الحبوب المخزونة أيضاً بحشرات mites صغيرة الحجم عديمة الأجنحة رمادية اللون ناعمة الملمس رخوة الجسم ، وهذه لاتعتبر حشرات حقيقية نظراً لأن الحشرة الكاملة ذات ثمانية أقدام بدلا من ستة ، كما أنها لاتعتبر من آفات الحبوب المخزونه الخطرة . وأكثر أنواع هذه الكائنات ضرراً هى : Acarus siro L.

والحشرات التى تعيش على الحبوب التالفة Scavengers لاتسبب أضراراً ملموسة للحبوب المخزونة إلا فى حالة وجودها بكميات كبيرة . ومن أمثلة هذه الحشرات : (Tenebrio Spp ,) Hairy fungus beetle , (TyFhaea meal worms corn sap beetle , (Ahasverus abvena) foreign grain beetle (stercorea L. (Alphitobius piceus) . black fungus beetle , . (Carphilus dimibiatus)

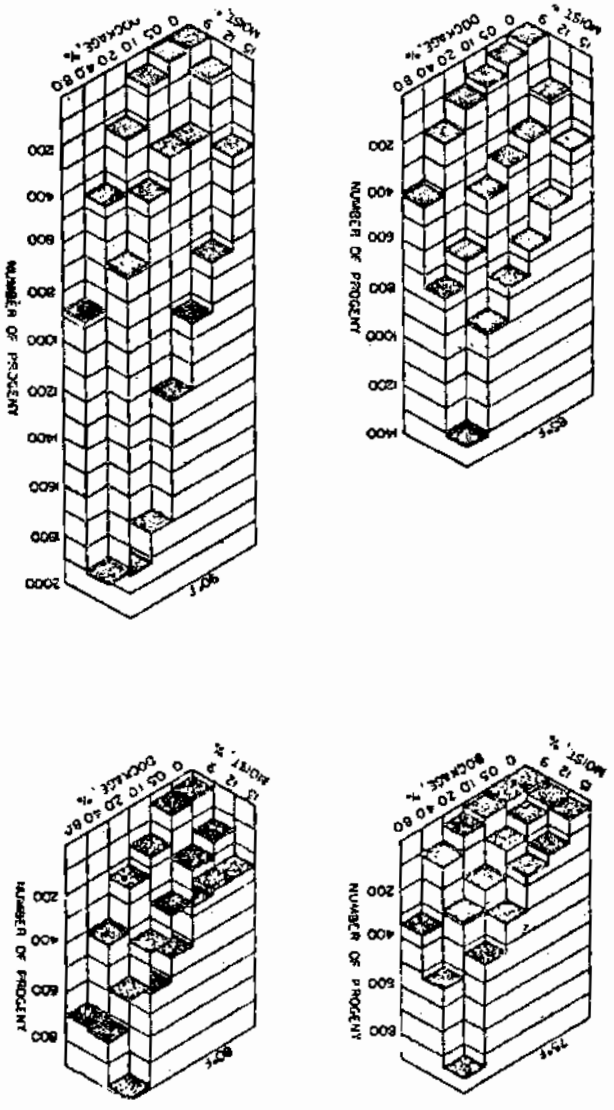
وكثيراً ما تشاهد بعض الطفيليات عل سطح الحبوب المخزونة ، وهذه تفيد بتطفلها على حشرات الحبوب ، ويطلق عليه الاسم Associated insects ومن هذه الطفيليات Aplastomorpha calandrae التى تتطفل على سوسة الأرز وسوسة الحبوب . ولإناث هذه الطفيليات القدرة على تبين وجود الديدان الصغيرة المختبئة داخل الحبوب فتضع عليها بيضها الذى يفقس وتهاجم يرقاته ديدان هذه الحشرات . ومن هذه الطفيليات أيضاً :

Chelifer, (Omphrale fenestralis) window panc fly , Microbracon . hebetor cancroides

وأخطر حشرات منتجات الحبوب الغذائية المطحونة هى Confused flour . beetle red flour beetle ، ويلى هذين Mediterranean Flour moth أما Indian-meal moth فتفضل النمو على الجنين والردة بدلا من الدقيق الفاخر ، وهى منتشرة جداً . وتعتبر cadelle من أخطر آفات الحبوب . وعادة يزداد انتشار mites فى منتجات الحبوب الغذائية فى البلدان ذات الجو البارد الرطب .

ويتطلب انتشار وتكاثر حشرات الحبوب الغذائية توفر الظروف الملائمة ، خصوصاً درجات الحرارة والرطوبة والغذاء فبالنسبة لدرجة الحرارة وجد أن معظم حشرات الحبوب المخزونة تناسبها درجة الحرارة المرتفعة نسبياً ، فدرجة ٧٠° فهرنهيت هى نقطة الانتقال من الضرر المحدود إلى الضرر البالغ . فبارتفاع درجة الحرارة عن ذلك يزداد نشاط وتكاثر حشرات الحبوب المخزونة . ويقل النشاط

والتكاثر بارتفاع درجة الحرارة عن ٩٥° فهرنهيت باستثناء ثاقبة الحبوب الصغرى. وتموت الحشرات بتجاوز درجة حرارة ١٠٠° فهرنهيت، باستثناء Acarus siro. ويمكن إيضاح تأثير درجة الحرارة على تكاثر ونشاط الحبوب المخزونة بالشكل التالى المستمد من تجربة أجريت على خمس وعشرين حشرة من خنفساء الدقيق المتشابهة لمدة تسعة عشر أسبوعاً.



(شكل ١٤٢) تأثير درجة الحرارة والرطوبة والشوائب على تكاثر خنفساء الدقيق المتشابهة فى القمح

ويتأثر نشاط وتكاثر حشرات الحبوب أيضاً بنسبة الرطوبة فى الحبوب إذ أن الحبوب هى المصدر الوحيد للماء اللازم لحياة الحشرات النامية فيها . ولهذا كان التحكم فى نسبة الرطوبة فى الحبوب المخزونة هو أحد الوسائل الفعالة التى يعتمد عليها فى وقاية الحبوب من الحشرات . فسوسة الأرز وسوس الحبوب يموت بانخفاض نسبة الرطوبة فى الحبوب عن تسعة فى المائة . ويبين الجدول التالى نتائج بعض التجارب التى أجريت لدراسة تأثير درجة الحرارة ونسبة الرطوبة على تكاثر سوسة الأرز :

درجة الحرارة	عدد الحشرات الناتجة من مائة سوسة بعد خمس شهور عند ما كانت النسبة المئوية الرطوبة فى القمح :						
	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣	١٤
٧٠	٠	٠	٠	٨٧	٤٨٢٧	٨٦٩٢	١٠٧٤٥
٧٥	٠	٠	٠	٠	٤٢٦٢	٩٢٤٤	١٢٤٤٤
٨٠	٠	٠	٣٢٦	٨٨٥	٩٦٨١	١٠٢٦٧	١٣٥٥١
٨٥	٠	٠	٠	—	٥٠٩٠	٦٤٣٦	٥٩٨٣
٩٠	٠	١٢	٤١٣	٩٨٤	٢٢٣٣	٣٢٣٠	٣٩٣٤

ولا تنطبق هذه الظروف على حشرات الردة Bran beetles إذ تستطيع هذه النمو والتكاثر فى غبار القمح الجاف الذى يكاد يخلو من الرطوبة . لكنه بارتفاع نسبة الرطوبة يزداد تكاثر الحشرة وتطول فترة حياتها .

ويترتب على إصابة الحبوب ذات النسبة المرتفعة من الرطوبة بالحشرات ارتفاع درجة حرارة هذه الحبوب . ويعلل الإرتفاع فى درجة الحرارة بتأثير التمثيل الغذائى فى الحشرات أساساً وفى الحبوب المخزونة أيضاً . ويسبب عدم تسرب الحرارة بسرعة من المناطق الساخنة إلى الجو ارتفاع درجة الحرارة إلى الحد الذى يدفع الحشرات البالغة إلى الهجرة من المناطق الساخنة إلى المناطق الباردة ، أما أطوار الحشرة غير التامة النضج فتموت بتأثير الحرارة ومن مساوئ ارتفاع درجة الحرارة أيضاً انتقال الرطوبة من مناطق الحبوب الساخنة إلى المناطق الباردة حيث تتكثف على سطح الحبوب وهذا يشجع على نمو

الفطريات إلى عمق قد يصل إلى ثمانية بوصات من سطح الحبوب المخزونة .
وقد لوحظ أن الحبوب التى تحتوى على حوالى ١٥ فى المائة رطوبة تسبب ارتفاع درجة الحرارة حتى فى حالة خلو الحبوب من الإصابة بالحشرات .

وتعزى إصابة الحبوب المخزونة بالحشرات إلى إصابة بعض الحبوب أثناء نموها فى المزارع ، أما الإصابة بعد التخزين فمرجعها للحشرات التى تتكاثر داخل المخازن واختفت فى جدران المخازن حتى بداية الموسم التالى . وقد تتسرب الحشرات إلى مخازن الحبوب بطيرانها أو بزحفها من أماكن القمامة أو من مخازن العلف .

وتتوزع الحشرات فى مناطق الحبوب المخزونة تحت تأثير عدة عوامل . فالحشرات الرهيفة الضعيفة مثل moth تنتشر على السطح نظراً لعجزها عن شق طريقها فى الحبوب إلى أسفل لتضع بيضها فى مناطق عميقة من الحبوب . أما السوس فقادر على شق طريقه فى مناطق الحبوب ولذا فانتشاره يتوقف على درجتى الحرارة والرطوبة .

وتعتبر درجة الحرارة أكثر تأثيراً من درجة الرطوبة . وأكثر المناطق عرضة لتكاثر الحشرات فى خلايا الصوامع الحديثة هى الطبقتين السطحية والسفلية ، غير أن توزيع هذه الحشرات فى الخلايا يتوقف إلى حد كبير على توزيع الجزء المصاب من الحبوب أثناء ملأ الخلايا . ويمكن الاستدلال على تجمعات الحشرات فى خلايا الصوامع بملاحظة المناطق التى ارتفعت درجة حرارتها hot spots . وتتحرك تجمعات حشرات الحبوب عادة فى اتجاه المناطق الرطبة التى قد يعزى ارتفاع الرطوبة فيها إلى تسرب مياه المطر أو تكثف بخار الماء المتصاعد من مناطق الحبوب الساخنة .

وتختلف أنواع الحشرات السائدة فى منطقة معينة دون الأخرى . فالتخزين قريباً من المزارع يساعد على إصابة الحبوب بالحشرات التى لها القدرة على الطيران مثل سوسة الأرز ، Angoumois grain moth ، وهذا يمهد الطريق للتلوث بحشرات أخرى هى : bran beetles و scavenger Insects

وسيادة أنواع معينة من الحشرات فى منتجات طحن الحبوب تتأثر أيضاً بنفس العوامل ، غير أنه يلاحظ أن عمليات الطحن والتحضير تجعل منتجات الحبوب أكثر جاذبية للحشرات. وقد لوحظ أن بعض حشرات الحبوب تستطيع النمو والتكاثر فى مخازن الدقيق الذى جفف وأزيل منه جزء كبير من الرطوبة .وقد ساعد تدعيم الدقيق بالفيتامينات والمواد المعدنية على تكاثر الحشرات الملوثة للدقيق ، وعلل ذلك باحتياج حشرات الحبوب إلى بعض الفيتامينات مثل الثيامين والريبوفلافين وحمض النيكوتنيك والبريدوكسين وحمض البانتوثنيك والكولين والبيوتين وأحياناً الإينوزيتول وحمض البارا أمينوبنزويك . وتتفاوت أنواع الحشرات فى احتياجاتها من الفيتامينات إذ أن بعضها يحتوى على أحياء دقيقة تمد الحشرات ببعض المواد .

وتنحصر الأضرار التى تلحق بالحبوب المخزونة من جراء إصابتها بالحشرات فى تغذية الحشرات على هذه الحبوب ، وفى فقد قدرة الحبوب على الإنبات فى حالة تغذية الحشرات على أجنة الحبوب ، وفى تلف بعض الحبوب نتيجة لارتفاع درجة حرارتها ، وفى تلوث الحبوب ببراز وأجزاء الحشرات .ويعتقد أن نسبة الخسارة المادية نتيجة لتغذية الحشرات على الحبوب تكون ضئيلة مقارنة بنسبة الخسارة نتيجة للفساد الناشىء عن ارتفاع درجة الحرارة وتكثف الرطوبة والتلوث بالقاذورات وظهور الرائحة الكريهة وتغير الطعم .

ويلزم المداومة على فحص الحبوب المخزونة فى مواعيد دورية ، ومن المفضل أن يكون كل أسبوعين. ويراعى فى الفحص أن يكون شاملا لجميع مناطق الخلايا وأن يحدد فيه الأنواع السائدة من الحشرات. وأسهل أنواع الحبوب فى عملية الفحص هى الطبقة السطحية . ويمكن أخذ العينات من الحبوب بقلم أخذ العينات الذى يدفع من خلال فتحات خاصة أو من خلال فتحات التهوية إذا كانت هذه مصممة لتؤدى هذا الغرض أيضاً . ويستدل على مناطق الإصابة بقراءة درجة الحرارة ، ولذلك يلزم المداومة على تسجيل قراءات الترمومتر .

ويمكن تتبع التغيرات فى درجات الحرارة باستخدام thermocouple أو بوضع الترمومترات داخل مواسير تنتشر فى خلايا الحبوب . وتتميز هذه الطريقة الأخيرة برغم عدم دقتها مقارنة بالطريقة الأولى بأنها تسهل الحصول على درجات الحرارة فى المناطق التى تمتد فيها المواسير . وفى المخازن الصغيرة الريفية يكتفى أحياناً بدفع الذراع داخل الحبوب لأخذ العينات ودرجات حرارة الحبوب . ويلزم اتخاذ إجراء سريع عند مشاهدة ارتفاع درجة حرارة الحبوب سريعاً . كأن ترتفع بمعدل ثلاث درجات فهرنهيتية أسبوعياً مثلا . وفى بعض الحالات يمكن الاستدلال على تلف الحبوب وإصابتها بظهور رائحة مميزة للحبوب . ومن الطرق المفيدة فى تقدير مدى إصابة الحبوب فى الطبقات الداخلية بالمخازن طريقة تقدير ثانى أكسيد الكربون التى تعتمد على قدرة الحشرات على إنتاج ثانى أكسيد الكربون بكميات كبيرة نسبياً . وفى هذه الطريقة تؤخذ عينات متجانسة من الحبوب باتباع طريقة قياسية وتغربل هذه الحبوب للتخلص من الحشرات الحية وتوضع الحبوب فى محضن على درجة ٢٥° مئوية أى ٧٧° فهرنهيت لمدة أربع وعشرين ساعة بعدها يقدر غاز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء الموجود بالفراغات البينية فى الحبوب باستخدام طريقة دقيقة لا يتجاوز الخطأ التجريبى فيها + أو — ٠,٢ فى المائة . ويطلق على نتيجة التقدير ، أى على النسبة المئوية لتركيز ثانى أكسيد الكربون ، الإسم « عدد ثانى أكسيد الكربون » carbon dioxide figure . وتعتبر الإصابة بالحشرات خطيرة عندما يتجاوز عدد ثانى أكسيد الكربون واحد فى المائة . بينما العدد ٠,٣ فى المائة يعنى خلو الحبوب من الحشرات فى حالة تجاوز نسبة الرطوبة فى الحبوب ١٤ فى المائة : بينما فى حالة انخفاض الرطوبة عن ١٤٪ يعنى العدد ٠,٣٪ أن الحبوب مصابة إصابة طفيفة . ويدل عدد ثانى أكسيد الكربون المتراوح بين ٠,٣ ، ٠,٥٪ على أن الإصابة بالحشرات طفيفة أو أن نسبة الرطوبة فى الحبوب تزيد على ٥١ فى المائة . وعندما يكون العدد محصوراً بين نصف وواحد فى المائة تعتبر الحبوب ليست صالحة للتخزين الطويل .

وهناك طريقة أخرى سريعة لاكتشاف الإصابة بالحشرات سواءاً أكانت حية أم ميتة، وهى طريقة J . C . Frankenfeld . ففى هذه الطريقة تستخدم الكيماويات لصبغ لون إفرازات الحشرات التى بها تثبت بيضها فى أماكنه داخل الحبوب ، كما قد يلون الجزء من الإندوسبرم المجاور للبيض أو المنطلق من أثر تغذية الحشرات أو من إصابة ميكانيكية . ومن أفضل المحاليل المستخدمة فى هذا الإختبار محلول يحضر بإضافة خمسين ملليمترا حامض خليك ثلجى إلى ٩٥٠ ملليمتراً ماء مقطر ثم إضافة . نصف جرام فوكسين حمضى . وتحضر العينات بنقع الحبوب فى ماء دافئ لمدة خمس دقائق ثم إعادة نقعها فى الصبغة لمدة دقيقتين أو خمس دقائق بعدها تغسل العينات بماء الصنبور للتخلص من بقايا الصبغة . ويشاهد لون أحمر قرمزى داكن على إفرازات البيض إن وجدت ، أما الثقوب الناشئة عن تغذية الحشرات أو عن إصابة الحبوب ميكانيكياً فتأخذ لوناً ورديا باهتاً . وقد نجح هذا الاختبار مع حبوب القمح والذرة .

والطريقة الأخرى المفيدة فى كشف الإصابة بالسوس هى طريقة Milner التى فيها تستخدم أشعة إكس لفحص الحبوب .

والطريقة السريعة لتقدير إصابة الحبوب بالحشرات داخلياً تعتمد على تقدير عدد الحبوب المثقوبة بفعل الحشرات وضرب هذا لعدد فى خمسة للحصول على عدد الحبوب المصابة داخلياً ، ويعرف عدد الحبوب المثقوبة باتباع طريقة الطفو التى تتلخص فى وضع مائة جرام قمح فى محلول نترات حديديك تركيز اثنين فى المائة محضر بإذابة جرامين نترات حديديك مائية فى مائة ملليمتر ماء ، وبعد نصف دقيقة بالضبط تقلب العينة فى المحلول حتى تترطب فيشاهد طفو الحبوب على سطح المحلول ويمكن عدها .

ويمكن التعرف على مدى إصابة منتجات الحبوب المعبأة بالحشرات فى حالة الإصابات الشديدة فقط . فمن علامات الإصابات الشديدة وجود نسيج دقيق على

عبوات الدقيق والمنتجات الأخرى ، وكذلك مشاهدة الحشرات الكاملة motp على جدران المخازن وملاحظة آثار تحركات الحشرات فى بقايا الدقيق المتناثرة على سطح أرضية المخازن ، ورؤية تجمعات الحشرات beetles تحت جوالات الدقيق . ويمكن التخلص من جميع الحشرات والبرقات والبيض بنخل الدقيق خلال منخل سلك رقم ٦٤ .

ويمكن التعرف على تلوث منتجات الحبوب بأجزاء وبقايا الحشرات بالفحص الميكروسكوبى ، وفى حالة صغر الشوائب إلى الحد الذى يجعل رؤيتها ميكروسكوبياً مستحيلا تتبع طرق خاصة فى الفحص تتلخص إحداها فى هضم العينة باستعمال خلاصة البنكرياس pancreatin أو حامض الكلوردريك وعزل الشوائب فى طبقة زيت معدنى خفيف أو غازولين ثم فحص وتمييز الشوائب المنفصلة . ويمكن إجراء هذا الاختبار باستخدام الطريقة المشروحة فى الجزء الأول من هذا الكتاب المعنونة باسم اختبار نظافة الدقيق .

وللوقاية من إصابة الحبوب المخزنة فى المخازن الريفية بالحشرات يلزم العناية بنظافة المخازن وجعلها محكمة لاتتأثر بالتغيرات الجوية وبعيدة بقدر الإمكان عن أى مصادر للتلوث بالحشرات . فالعناية بنظافة المخازن هى أنجح الوسائل لوقاية الحبوب المخزونة من الإصابة بالحشرات إذ أن هذه الحشرات تتطلب غذاء فى الفترة بين موسمى الحصاد والذلك . فإزالة بقايا الحبوب ومنتجاتها وغبارها من المخازن يترتب عليه موت الحشرات . وفى المخازن الخشبية ينصح برش الجدران والأرضية والسقف بمحلول مطهر مثل محلول D D T ٢,٥ فى المائة بمعدل جالونين لكل ألف قدم مربع لضمان قتل الحشرات التى تختبئ فى الشقوق حتى الموسم التالى .

وفى حالة توقع إصابة بالحشرات الرهيفة Angoumois grain moth يمكن تدخين الحبوب المخزونة خلال شهر ونصف من انتهاء الحصاد فيساعد ذلك على عدم الإصابة بهذه الحشرات لمدة عام كامل تقريباً .

ومن الطرق المفيدة فى مقاومة بعض الحشرات مثل Indian-meal moth رش سطح حبوب الذرة بزيت البترول الأبيض النقى petroleum oil بمعدل نصف جالون لكل ألف بوشل . ويجب تدخين الأرز عند تخزينه فى المخازن الريفية مرة واحدة سنوياً .

ولوقاية الحبوب من الإصابة بالحشرات فى الصوامع الكبيرة يعتنى بنظافة خلايا التخزين . وتفيد عملية التهوية ، أى نقل الحبوب من خلية لأخرى فى إزالة الحرارة المرتفعة من أثر الإصابة بالحشرات لكنها لاتفيد فى التخلص من الحشرات نفسها كذلك يترتب على نقل الحبوب من خلية لأخرى أن تمتص الحبوب الجافة بعض الرطوبة من الحبوب الرطبة مما يؤدى إلى تجانس رطوبة الحبوب جميعها ، وهذا يؤدى أيضاً إلى موت بعض الحشرات Mites فى طبقات الحبوب التى تصبح غير ملائمة لحياتها . ولا يجوز نقل الحبوب من خلية لأخرى عندما تكون مصابة بحشرات Indian-meal moth إذ أن هذه الحشرات تنمو على سطح الحبوب فى طبقة سمكها حوالى أربعة أقدام ، فنقل الحبوب يعرض طبقات منها للتلوث بهذه الحشرات . ولذلك ينصح فى هذه الحالة بقتل هذه الحشرات وإزالة مخلفاتها قبل نقل الحبوب لخلية أخرى . ومن المؤكد أن نقل الحبوب من خلية لأخرى يؤدى إلى خفض كمية المواد السامة اللازمة لتبخير الحبوب .

وعند تخزين الحبوب داخل عبوات فى العراء ينصح بإحاطة مساحة التخزين بسور معدنى ناعم يمنع مرور القوارض ، وبتغطية الحوالات بسطح معدنى ناعم يمنع تسرب مياه المطر إلى الحبوب . وهذه الحواجز والغطاء يمكن رشها بمحلول مطهر . وعندما ترص العبوات فى مخازن مقفلة يمكن تبخير هذه المخازن ببروميد الميثايل .

وفى حالة تخزين الحبوب فى حفر تحت سطح الأرض يؤدى تراكم غاز ثانى أكسيد الكربون إلى قتل الحشرات والقوارض ، لكنه يسىء إلى صفات

الحبوب بحدوث التنفس اللاهوائى فى أنسجة الحبوب ونشاط الأحياء الدقيقة اللاهوائية .

وكثيراً ما تموت أنسجة الحبوب التى حدث فيها التنفس اللاهوائى ، ولذا فهذه الطريقة لاتصلح لتخزين حبوب التقاوى . ولا تصلح هذه الطريقة أيضاً لتخزين الحبوب ذات الرطوبة المرتفعة .

وأسوأ طرق تخزين الحبوب هى التخزين فى العراء ، إذ تتعرض الحبوب للتقلبات الجوية والقوارض والحشرات والطيور . وليس من السهل وقاية الحبوب فى هذه الطريقة ، غير أنه يفيد أحياناً تدخين الطبقات السطحية . ومن المفيد أيضاً تغطية الحبوب بطبقة من الغبار المعدنى Mineral dusts مثل مسحوق Magnesite ناعم يمر جميعه خلال منخل ٢٠٠ ثقب ، بمعدل ٢٥ أوقية لكل ياردة مربعة .

وتستعمل مواد عديدة فى إبادة الحشرات ، منها مستخلص البيرثرم pyrethrum الزيتى المحتوى على ٠,٨ فى المائة على الأقل بيرثرين pyrethrins فى زيت جيد ، الذى يرش فى الفراغات التى تعلو سطح الحبوب داخل خلايا التخزين المقفلة بنسبة ستة أوقيات لكل ألف قدم مكعب . ويجب أن تزاد كمية المستحلب إلى ثمانية أوقيات فى حالة خلايا التخزين المفتوحة من أعلى . وفى حالة استخدام pyrethrum aerosols يتحصل على نتائج طيبة باستعمال أوقية ونصف لكل ألف قدم مكعب من الفراغ العلوى فى خلايا التخزين . ويلزم مداومة الرش على فترات إذ أن هذه المبيدات تقتل الحشرات الموجودة على سطح الحبوب فقط فبإعادة الرش بعد مدة يتسنى قتل الحشرات التى تنتقل من الطبقات الداخلية إلى سطح الحبوب . ومن المبيدات المفضلة فى هذا الشأن محلول يحتوى على عشرة فى المائة piperonyl butoxide وواحد فى المائة بيرثرين ومادة استحلاب مناسبة . ويخفف هذا المحلول الأخير بالماء بنسبة واحد إلى تسعة .

وعند تدخين الحبوب المخزونة يراعى احتواء الحبوب على مواد التدخين موزعة بانتظام فى جميع الطبقات على أن يستمر فعلها مدة كافية تقتل خلالها الحشرات الكاملة والأطوار غير الكاملة . ويجرى التدخين فى الصوامع الحديثة بثلاث طرق رئيسية spot Application, grain stream application, surface application فالطريقة الأولى تفيد فى قتل الحشرات النامية على سطح الحبوب وقد تقتل بعضها فى الطبقات العميقة نسبياً إذا كانت مواد التدخين المستخدمة من النوع الثقيل ، يشترط فى هذه الطريقة الأولى أن يحكم غلق فتحات الخلايا . ومن الأمثلة لهذه الطريقة الرش بمحلول الكلوروبكرين بنسبة ١,٥ إلى ٢ رطل لكل ألف قدم من الفراغ الذى يعلو سطح الحبوب ، فهذا يعطى نتائج طيبة فى إبادة Indian-meal moth . أما الطريقة الثانية فهى المفضلة فى إبادة الحشرات التى توجد على عمق بعيد فى الحبوب المخزونة ، وفى هذه الطريقة الثانية تنقل الحبوب من خليتها إلى خلية أخرى وتعامل بالمواد المبيدة أثناء تفريغها فى الخلية الثانية . ويحدد مدى المعاملة بالمبيدات بسرعة صب الحبوب فى خلية التدخين . وواضح أن هذه الطريقة يضمن معها تعريض كافة طبقات الحبوب للمبيدات . وأما الطريقة الثالثة فتستخدم لإبادة الحشرات فى مناطق محددة داخل أكوام الحبوب تكون مصابة بشدة . وفى هذه الطريقة تحدد أماكن الإصابة تقريباً باستعمال جهاز أخذ العينات ، وتحقن هذه الأماكن بالمبيدات فى مناطق متباعدة بمسافة قدمين حول محيط الأماكن المصابة . وتفيد هذه الطريقة الأخيرة فى وقف تفاقم الإصابة المحلية بعض الوقت حتى يتسنى معالجة كل الحبوب .

ويجب أن يراعى دائماً إضافة المبيدات بالقدر الكافى ، فيضاف مثلاً جالون ونصف من مواد التدخين لكل ألف بوشل حبوب . وفى حالة استخدام تركيزات منخفضة من المبيدات ، كما هو الحال فى الكلوروبكرين ، تستخدم مواد مالئة لزيادة الحجم مثل رابع كلوريد الكربون .

ويبين الجدول التالى بعض المواد المبيدة للحشرات الشائعة الاستعمال ونسب الإضافة . ويجب أن تزداد هذه النسب فى حالة وجود كمية زائدة من الشوائب وفى حالة ارتفاع نسبة الرطوبة فى الحبوب كثيراً ، كما يجب أن تتضاعف عند استخدامها فى مخازن خشبية .

مادة التدخين	نسبة الخلط بالحجم	الجرعة بالجالون لكل ألف بوشل		
		ذرة سورجم	ذرة	قمح ، زمير شيلم
رابع كلوريد الكربون	—	٨	٦	٣
رابع كلوريد الكربون مع ثانى كبريتيد الكربون	١٩—١	٦	—	٢
بروميد الإثيلين	٤ — ١	٦	٥	٢
ثانى كلوريد الإثيلين	١ — ٣	٨	٦	٤
ثانى كلوريد الإثيلين (١ : ٣) مع بروميد الميثايل ١٠ فى المائة	—	—	٢	٢
كلوروبكرين	٦ — ١	—	١	١,٥
كلوريد البتاميثايل أليل	٣ — ١	—	٢	٢
١,١dichloro-l-olnirocthane	٥ — ١	—	١,٥	١,٥

لتدخين الأرز يستعمل لكل ألف بوشل مخزنة فى صوامع أسمنتية جالونان من مزيج رابع كلوريد الكربون وثانى كبريتيد الكربون (٤ — ١) ، أو أربعة جالونات من مزيج رابع كلوريد الكربون وثانى كلوريد الإثيلين (١ — ٣) ، أو جالون ونصف من مزيج رابع كلوريد الكربون والكلوروبكرين . وتضاعف هذه الكميات فى حالة المخازن الخشبية . وينصح للحصول على أحسن النتائج أن تضاف مواد التدخين فى المائة بوشل الأخيرة من كل ألف أو ألف وخمسمائة بوشل أثناء ملأ الصوامع . ويمكن التدخين بسيانيد الكالسيوم بمعدل ١٥ رطلا لكل ألف بوشل . أما الأرز المعبأ فى عبوات فيدخن ببروميد الميثايل بمعدل ١½ رطل لكل ألف قدم مكعب من حجم الفراغ ، أو بحامض إيدروسيانيك بمعدل رطل أو رطل ونصف لنفس الفراغ .

ويجب أن تؤخذ كافة الاحتياطات عند التدخين لمنع التسمم والتهابات الجلد . لذلك ينصح بارتداء الملابس المانعة والقفازات الجلدية والأحذية والقناعات الواقية .

وأحياناً تخلط الحبوب المخزنة فى المخازن العادية برماد جاف خامل كيمائياً غير سام فهو يمنع تكاثر الحشرات بامتصاص الرطوبة من أجسامها .وكثيراً ما يستعمل مسحوق سليكاجل ناعم أومسحوق فوسفات صخرية أو مسحوق طباشير أو أكسيد مغنسيوم أوكسيد ألمنيوم . ويضاف المسحوق بمعدل جزء لكل ألف جزء من الحبوب ، مع مراعاة انتشار المسحوق جيداً فى الحبوب . وتوجد مساحيق تجارية محتوية على بيرثرين مع بيوتوكسيد بيرونيل أو سلفوكسيد . وتخفف هذه المواد باستعمال قمح مطحون وتضاف بنسبة ٧٥ إلى ١٠٠ رطل لكل ألف بوشل من الحبوب .

وعند تخزين منتجات الحبوب المطحونة يجب التأكد من تمام خلوها من الحشرات وإلا تفاقمت شدة الإصابة . لذلك تنخل منتجات الحبوب المطحونة باستعمال منخل حرير رقم ١٠×× ثم تمرر هذه المنتجات خلال ماكينة entoleter . وقد تعامل المنتجات الخشنة بالحرارة لتعقيمها . ومن المحقق قتل جميع أطوار الحشرات بتعريض منتجات الحبوب لدرجة حرارة ١٤٠° فهرنهيت لمدة عشر دقائق . وينصح بتعبئة منتجات الحبوب فى عبوات مانعة للحشرات ، إذ أن هذه المنتجات عادة تجتذب الحشرات . وتوجد أنواع مختلفة من العبوات بعضها من الورق المقوى والبعض من القطن أو الجوت . وفى كثير من الدول تعامل العبوات بمواد مطهرة مثل DDT وهكسا كلوريد البنزين والكوردين . وأكثر الحشرات انتشاراً فى منتجات الحبوب هى cadelle وهى من الثاقبات . ويتم التلوث فى مراحل متعددة منها أثناء النقل والشحن . لذلك ينصح بتطهير عربات الشحن بمحلول البيرثرم أو بمحلول

DDT . وتدخن بواخر الشحن بغاز حمض الايدروسيانيك بمعدل ثمانى أوقيات لكل ألف قدم مكعب ، أو ببروميد الميثايل بنسبة رطل منه لنفس الحجم .

وعند ورود شحنات منتجات الحبوب إلى المخازن تفحص المنتجات لتقدير مدى إصابتها بالحشرات ، وذلك بنخل هذه المنتجات خلال منخل رقم ٦٤ . وفى حالة ظهور الحشرات على العبوات تدخن هذه قبل تخزينها باستعمال ستة إلى عشرة أرطال بروميد ميثايل لكل عربة قطار ، أو بمعدل رطل إلى رطل ونصف لكل ألف قدم مكعب . ويجب العناية بنظافة المخازن وحسن إدارتها والمداومة على فحص محتوياتها والمسارعة إلى إبادة الحشرات التى تظهر بها . وتعتبر مواد التدخين fumigants أسرع من مواد الرش sprays فى إبادة حشرات المخازن . وفى حالة عدم صلاحية المخازن للتدخين بسبب عدم مراعاة ذلك فى التشييد يمكن تدخين منتجات الحبوب فى غرف تدخين منفصلة قبل تخزينها .

التغيرات التى تحدث فى الحبوب أثناء التخزين :

تحدث فى الحبوب المخزونة بعض التغيرات التى تؤثر فى صفات الحبوب تأثيراً غير مرغوب فى أغلب الأحوال . وهذه التغيرات يتفاوت مداها تبعاً لظروف التخزين ، فهى بالغة فى حالة التخزين فى العراء بينما تكون ضئيلة فى حالة التخزين فى الصوامع . ويعزى ضآلة التغيرات التى تعترى الحبوب عند تخزينها فى الصوامع الحديثة إلى إمكان التحكم فى ظروف التخزين تماماً ، أى فى العوامل المؤثرة على هذه التغيرات وهى الرطوبة ودرجة الحرارة والتهوية وحالة الحبوب .

وتعتبر الرطوبة هى أهم العوامل المؤثرة فى سرعة حدوث التغيرات فى الحبوب المخزونة . فعند خفض نسبة الرطوبة فى الحبوب إلى حد كبير

يمكن تخزينها مدة طويلة ، لكنه فى الواقع تحصد الحبوب وتستخرج منتجات الحبوب بدرجة مرتفعة من الرطوبة تتجاوز النقطة الحرجة . وقد تصاب الحبوب بالتلف أيضاً أثناء تخزينها بالرغم من انخفاض رطوبتها إلى حد الأمان ، ويعزى ذلك إلى ارتفاع درجة الحرارة فى بعض مناطق الحبوب مما يؤثر على الرطوبة النسبية للهواء فى جو خلايا التخزين . والحرارة تأثير آخر فهى تزيد من سرعة التفاعلات الكيمائية أو التفاعلات الأنزيمية التى تحدث فى الحبوب . وبديهى أن درجة الحرارة لاترتفع إلى الحد القاتل للبكتريا والفطريات . كذلك ليس ممكناً حفظ الحبوب بتعقيمها بالحرارة ، وكذلك الدقيق ، لأن درجة الحرارة المرتفعة سوف تسىء بل تتلف صفات الخبز لهذه المواد . ويقتصر استخدام الحرارة للحفظ على المنتجات الممكن حفظها فى الأوانى المحكمة القفل .

وتؤثر نسبة الأكسيجين فى هواء المخازن على الحبوب بسبب ضرورته لتنفس الحبوب والأحياء الدقيقة الهوائية . وباستمرار التنفس تزداد كمية ثانى أكسيد الكربون وتقل كمية الأكسيجين فى جو الصومعة مما يؤدى إلى انخفاض سرعة التنفس وإيقاف نمو الفطريات .

وقد لوحظ أن ارتفاع درجة حرارة الحبوب يكون ملموساً فى حالة ارتفاع نسبة الشوائب فى الحبوب .

وتتلخص التغيرات التى تعترى الحبوب المخزونة فيما يلى :

١ — تغيرات الكربوإيدرات :

تهاجم إنزيمات الألفا والبيتا أميليز النشا فى الحبوب ومنتجاتها أثناء التخزين منتجة دكسترينات وملتوز وجلوكوز . غير أنه يلاحظ أن الزيادة فى كمية الجلوكوز لاتكون ملحوظة لأنها تستهلك فى عمليات تنفس الحبوب

متحولة إلى ثانى أكسيد كربون وماء، إذ أن الظروف التى تشجع على التحلل المائى للنشا هى بدورها تشجع على زيادة سرعة تنفس الحبوب. لهذا فالمشاهد أثناء تخزين الحبوب هو انخفاض فى نسبتى النشا والمواد الصلبة الكلية. وفى حالة ارتفاع نسبة الرطوبة فى الحبوب كثيراً تتعرض الكربوإيدرات للتخمر ويتكون كحولى أو حامض خليك مع ظهور رائحة حموضة. وقد لوحظ فى الصناعة أن نسبة النشا المستخرجة من حبوب الذرة تكون منخفضة فى حالة تخزين الحبوب تحت ظروف غير ملائمة.

ويعتقد أن الأرز الطازج يكون أسهل هضماً من الأرز المخزون تحت ظروف غير ملائمة بسبب إحتواء الأرز الطازج على إنزيم ألفا أميليز الذى يساعد على ظهور اللزوجة فى الأرز أثناء الطهى، أما الأرز فيفتقر إلى هذا التأثير بسبب فقد الإنزيم لنشاطه أثناء التخزين.

٢ — تغيرات البروتين.

لاتتعرض نسبة البروتين فى الحبوب للتغير أثناء التخزين، غير أن التغير قد يظهر بعد التخزين الطويل — فالحبوب تحتوى على إنزيمات بروتيوليتية يؤدى نشاطها إلى تحلل جزء من البروتين إلى ببتيدات معقدة ثم إلى أحماض أمينية، وهذا التحليل لايكون ملموساً إلا بعد تلف الحبوب المخزونة تلفياً واضحاً. ويمكن التعرف على مدى حدوث هذا التلف بتقدير الأحماض الأمينية بطريقة Foreman التى تعتمد على تقدير الفوسفات الحامضية ومجموعات الكربوكسيل الحرة الداخلة فى تركيب الأحماض الأمينية فى الحبوب بعد استخلاصها بالإيثانول تركيز ستين فى المائة وذلك بالتعادل فى محلول إيثانول ٨٥ فى المائة. ويجب أن تستخلص المواد بعد التخلص من دهنها. ويلى ذلك تقدير الفوسفات الحمضية بمفردها فى مستخلص إيثانول تركيزه خمسة فى المائة، ثم طرح نتيجة التعادل من النتيجة السابقة للحصول على نتيجة تقريبية لكمية الأحماض الأمينية فى الحبوب، وهذه النتيجة

لاتتضمن البرولين أو الأحماض الأمينية ثنائية الأمين . وهذه الطريقة تعطى على سبيل المثال ١١٠ ميللجراماً فى حبوب الذرة السليمة ، ٣٢٠ ملليجراماً فى حبوب الذرة الفاسدة لكل مائة جرام حبوب . وقد لوحظ أن نسبة البرولامين فى حبوب الذرة فى بداية مراحل التخزين تزداد بشكل واضح على حساب نسبة البروتين الذائب فى الماء التى تنخفض بقدر يقابل الزيادة فى البرولامين . وهذا التغير هو استمرار لعملية التغير نفسها التى تحدث فى حبوب الذرة أثناء نضج المحصول ، وقد أوضحت بعض التجارب المعملية أن نسبة البروتين فى كل حبوب القمح والذرة وفول الصويا تنخفض قابليتها للذوبان وينخفض معامل هضمها بإنزيمى البيسين والتربسين ، بينما لوحظ إرتفاع فى نسبة النتروجين الأمينى وانخفاض فى نتروجين البروتين الحقيقى . فعلى سبيل المثال بلغ الانخفاض فى نسبة هضم بروتين حبوب القمح المحتوية على ١١ فى المائة رطوبة حوالى ثمانية فى المائة بعد عامين من التخزين فى علب محكمة القفل على درجة ٧٦° فهرنهيت ، وفى حبوب الذرة المحتوية على ١٢ فى المائة رطوبة بلغ الانخفاض ٣,٦ فى المائة ، وكان الانخفاض أكثر فى منتجات الحبوب المطحونة عنه فى الحبوب نفسها .

وأجريت بعض التجارب المعملية على تغيرات البروتين أثناء تخزين حبوب القمح فكانت النتائج كما يلى موضحة كملليجرامات لكل مائة جرام حبوب :

التقديرات	المادة الطازجة	التخزين فى أوانى على درجة ولمدة			
		٣٠° ف		٧٦° ف	
		٩	٢٤	٩	٢٤ شهراً
رطوبة	١٠٩٥٠	١٠٩٦٠	١٠٩٦٠	١٠٩٥٠	١٠٩٤٠
نتروجين كلى	٢١٤٠	٢١٤٠	٢١٤٠	٢١٤٠	٢١٤٠
نتروجين البروتين الحقيقى	١٦٨٢	١٦٥٢	١٥٧٤	١٦٣٢	١٥١٩
نتروجين أمينى حر	٣٧	٣٧	٣٧	٣٨	٣٨
نتروجين ذائب فى محلول ص كل ٣٪	٧٥٦	٦٢٠	٦٠٦	٥٥٧	٥١٦
نتروجين ذائب فى كحول ٧٠٪	٩١٠	٧٧٠	٧٤٨	٧٢٢	٧١٣
نتروجين ذائب فى محلول ساليسيلات صوديوم ٣٪	—	١٠٦١	١٠٣٨	٩٩٨	٩٢٢
نتروجين ذائب فى محلول ص كل يترسب بواسطة حامض ثالث كلورو خليك	٦١٦	٥١٨	٥٠٩	١٣٤	١٦٣
نتروجين ذائب فى محلول ساليسيلات صوديوم يترسب بواسطة حامض ثالث كلورو خليك	—	٩٤٣	٩١٩	٨٧٤	٧٨٨
نتروجينى أمينى ذائب فى مستخلص ص كل	١٠٩	١٠٢	١٠٠	٩٤	٨٨
نتروجين ذائب فى مستحضرات إنزيمية	٢٠٥٠	٢٠٣٣	١٩٨٧	٢٠٢٦	١٨٧٨

وبالنسبة لدقيق القمح الكامل كانت التغيرات فى البروتينات أثناء التخزين فى أوانى زجاجية محكمة القفل وفى جوالات كما يلى ، موضحة كالميجرامات فى كل مائة جرام دقيق :

وبالنسبة للدقيق الأبيض كانت التغيرات فى البروتين بعد التخزين كما يلى ، موضحة كملليجرامات فى كل مائة جرام دقيق :

التقديرات	المادة الطازجة	التخزين فى أوانى على درجة ولمدة :				التخزين فى جوالات على درجة ولمدة			
		٣٠°ف		٧٦°ف		٣٠°ف		٧٦°ف	
		٧	٢٤	٧	٢٤	٧	٢٤	٧	٢٤
رطوبة	١٢٩٠٠	١٢٩٠٠	١٤٠٢٠	١٢٩٠٠	١٢٩٩٠	١٤٢٠٠	١٢٣١٠	١١٣٠٠	١١٣٤٠
نتروجين كلى	١٩١٠	١٩٠٠	١٨٩٠	١٩١٠	١٩٠٠	١٩٠٠	١٨٨٠	١٨٩٠	١٨٩٠
نتروجين البروتين الحقيقى	١٢٨٤	١١٨٤	١٠٦٩	١١٠٦	٩٨٩	١١٤٣	١٠٤٨	١٠٨٦	٩٥٥
نتروجين أمينى حر	٢٣,٥	٢٤,١	٢٤,٠	٢٣,٧	٢٤,٠	٢٤,٥	٢٤,	٢٤,٢	٢٣,٠
نتروجين ذائب فى محلول ص كل ٣٪	٦٢٤	٤١٠	٣٩٢	٣٢٦	٢٦٨	٤٠٩	٣٧٦	٣٠٥	٢٤٣
نتروجين ذائب فى كحول ٧٠٪	١٠٢٦	٩٢٤	٨٨٤	٨١٢	٧١٣	٩١٧	٨٦١	٧٩١	٦٨٣
نتروجين ذائب فى محلول ساليسيلات صوديوم ٣٪	—	٧٧٧	٧٢٦	٧٢٥	٦١١	٧٦٧	٦٨٧	٧٠٤	٥٥١
نتروجين ذائب فى مستخلص ص كل يترسب بحامض ثالث كلوروخليك	٥٠٧	٢٧٣	٢٢٧	١٨٢	٩٧	٢٤٦	١٩٠	١٤٨	٦٤
نتروجين ذائب فى مستخلص ساليسيلات صوديوم يترسب بحامض ثالث كلوروخليك	—	٧١٩	٦٥١	٦٤٠	٥٠٧	٩٦٥	٥٩٦	٦٠٠	٤٣٧
نتروجين أمينى فى مستخلص ص كل الهضم	٥٩,٦	٥٩,٥	٦٧,٠	٧٤,٤	٧٥,٠	٦١,٩	٧١,٠	٧٨,٣	٨٣,٠
	١٨٩٤	١٧٩٦	١٦٦٢	١٧٦٠	١٥٧٣	١٧٦٧	١٦٣١	١٨٣١	١٥٢٤

التقديرات	المادة الطازجة	التخزين فى أوانى على درجة ولمدة :				التخزين فى جوالات على درجة ولمدة :			
		٣٠° ف		٧٦° ف		٣٠° ف		٧٦° ف	
		٧	٢٤	٧	٢٤	٧	٢٤	٧	٢٤ شهراً
رطوبة	١٠٩٥٠	١٠٩٦٠	١٠٩٨٠	١٠٩٤٠	١٠٩٦٠	١٠٩٨٠	١٤١١٠	١٠٤٩٠	١٠٥٠٠
نتروجين كل	٢١٤٠	٢١٣٠	٢١٣٠	٢١٣٠	٢١٣٠	٢١٣٠	٢١٢٠	٢١٣٠	٢١٤٠
نتروجين البروتين الحقيقى	٢٦٨٢	١٥٦٩	١٥٠٧	١٤٥٠	١٣٦١	١٥٣٤	١٤٢٥	١٤٣٦	١٢٨٥
نتروجين أمينى حر	٣٧	٣٧	٣٧	٣٧	٣٧	٣٦	٣٧	٣٧	٣٨
نتروجين ذائب فى محلول ص كل ٣٪	٧٥٦	٥٨٣	٥٥٠	٥٣٦	٤٧٧	٥٧٣	٥١٥	٥٠٩	٤٢٨
نتروجين ذائب فى كحول ٧٠ فى المائة	٩١٠	٧٠٧	٦٨٩	٦٥٨	٥٨٣	٦٨٦	٦٥٣	٦٤٤	٥٣٨
نتروجين ذائب فى محلول ساليسيلات صوديوم ٣٪	—	١٠١٩	٩٦٠	٩٧٧	٨٩٤	٩٩٨	٩٠٥	٩٥٦	٨٦٦
نتروجين ذائب فى مستخلص ص كل يترسب بواسطة حامض ثالث كلوروخليك	٦١٦	٣٨٨	٣٢٦	٣٠٣	٢١٣	٣٧٠	٢٧٨	٣٢٥	١٣٨
نتروجين ذائب فى مستخلص ساليسيلات صوديوم يترسب بواسطة حامض ثالث كلوروخليك	—	٨٦٩	٧٨١	٧٩٥	٦٧٥	٨٤٢	٧٠٩	٧٦٧	٦٢٧
نتروجين أمينى فى مستخلص ص كل الحمض	١٠٩	١٠٠	١٠٩	١٢٨	١٣٠	١١١	١١٧	١٣٦	١٣٧
	٢٠٥٠	٢٠٣٦	١٨٨٧	٢٠٢٦	١٨٥٧	١٩٥٤	١٧٨٨	١٩٤٠	١٧٥١

٣ – تغيرات الدهون :

أثناء التخزين تتعرض دهون الحبوب إلى الأكسدة أو التحلل المائى فتتكون أحماض دهنية حرة وتظهر رائحة ونكهة كريهة للحبوب . ولا يسبب للتزنخ الأكسيدى ضرراً كبيراً فى الحبوب المخزونة لاحتوائها على مواد مانعة للأكسدة بكمية مناسبة . أما منتجات الحبوب كالدقيق الكامل فتكون عرضة للتزنخ الأكسيدى . وتتعرض دهون الحبوب أو منتجاتها المخزونة للتزنخ التحللى بفعل إنزيمات الليبيز ، وتزداد سرعة التحلل بوجود الفطريات بسبب احتواء هذه على الإنزيمات المحللة للدهون . لذلك يعلل تأثير إضافة بعض الكيماويات فى منع التزنخ التحللى بتثبيط هذه المواد لنشاط الإنزيمات فى الفطريات . مثال ذلك المعاملة برابع كلوريد الكربون أو أكسيد البروبيلين أو الإثيلين كلورهيدرين .

٤ – تغيرات المعادن :

لايطرأ على معادن الحبوب أى تغيرات ملموسة أثناء التخزين ، فقط أشير فى بعض التجارب إلى أن الحبوب قد تفقد حوالى ٧٣ فى المائة من السيلينيوم الموجود بها فى صورة مركبات متطايرة ، ويتوقف مدى الفقد على درجة الحرارة وطبيعة مركبات السلينيوم . وبديهى أن نسبة المواد المعدنية الكلية ، أى الرماد ، ترتفع بفقد بعض المواد العضوية من الحبوب نتيجة لتلفها . ومن التغيرات المفيدة أثناء تخزين الحبوب إنطلاق الفوسفور العضوى المرتبط فى الفيتين بتأثير نشاط إنزيم الفيتيز . ففوسفور الفيتين يفرز ٦٠ فى المائة منه لعدم قابليته للامتصاص فى جسم الإنسان أو الحيوان :

٥ ــ تغيرات الفيتامينات :

تعتبر الحبوب الغذائية مصـــدراً جيداً لفيتامينـــات الثيامين والنياسين والبيريدوكسين والإينوزيتول والبيوتين وفيتامين هـ ، ومصدراً متوسطاً لفيتاميني حمض البانتوثنيك وحمض البار أمينو بنزويك . أما فيتامين ا فيوجد فى الذرة الصفراء فقط .

ويفقد القمح حوالى ١٢ فى المائة من الثيامين الذى به خلال خمسة شهور من بداية التخزين ، وقد ترتفع النسبة إلى ٣٠ فى المائة عندما يكون القمح زائد الرطوبة . ويعتقد أن جودة ظروف التخزين تقلل من فقد الثيامين أو تمنعه تماماً . وأهم العوامل المؤثرة من هذه الوجهة هى درجتا الحرارة والرطوبة ومدة التخزين . والدقيق المدعم بالفيتامينات يفقد جزءاً من فيتامیناته تتوقف نسبته على طبيعة المواد المضافة للتدعيم . فإضافة thiamine chloride hydrochloride يتبعها فقد حوالى عشرة فى المائة من الثيامين خلال ستة أشهر ، بينما إضافة الثيامين أحادى النترات فتؤدى إلى خفض الفاقد بمقدار النصف تقريباً ، ويعلل ذلك بزيادة ثبات المركب الأخير . أما الفقد فى نسبتى الريبوفلافين والنياسين من الدقيق المدعم أثناء التخزين فليس ملموساً . كذلك باقى أفراد مجموعة فيتامينات « ب » فلا يفقد منها نسبة محسوسة أثناء التخزين .

وتفقد الذرة الصفراء أثناء تخزينها كميات ملموسة من فيتامين ا الموجود بها فى صورة كاروتين أو كربتوزانثين أو نيوكربتوزانثين مع قليل من الألفا كاروتين وكاروتين k ، ويكون الفقد فى بداية مرحلة التخزين كبيراً ثم يتضاءل تدريجياً ، فقد يبلغ ٣٤ فى المائة من الكاروتين الخام خلال الأسبوع الأول من فترة التخزين على درجة ٣٥° مئوية . لذلك ففى الدول التى يعتمد فيها على الذرة الصفراء فى تغذية الماشية إلى حد كبير تتعرض الحيوانات للإصابة بمرض يعرف باسم anasarca نتيجة

لنقص فيتامين ا ، وتظهر أعراض المرض بضعف الإبصار خصوصاً ليلاً وفقد الشهية للطعام وتورم بعض الأنسجة . وتعالج هذه الحالة بخلط الذرة الصفراء ببعض البرسيم .

ومن التغيرات الهامة التى تعترى الدقيق أثناء التخزين تحسن صفات الخبيز تدريجياً إلى حد معين بعده يؤدى طول فترة التخزين إلى إتلاف هذه الصفات بالتدريج . ويتوقف هذا التحسن على ظروف التخزين وصفات الدقيق . وهذا التغير يؤثر فى حجم وقوام ومسامية الخبز الناتج ، كما أنه يحسن لون الدقيق نسبياً نتيجة لأكسدة بعض الصبغات الكاروتينية فى الدقيق بفعل الهواء . ويعزى تحسن صفات جلوتين الدقيق أثناء التخزين إلى تكون بعض الأحماض الدهنية الحرة فى الدقيق بتأثير أنزيمات الليبيز على الدهن .

ويمكن التعرف على فساد الحبوب ومنتجاتها المخزونة بأى من الطرق التالية :

١ — فحص المظهر الطبيعى .

تفحص الحبوب من وجهات المظهر ودرجة الحرارة والرائحة ووجود الحشرات والتلف الميكانيكى . فالحبوب التالفة تفقد لمعانها ، والتلوث بالفطريات والإصابة بالحشرات يرفع درجة حرارة الحبوب ، ونمو الفطريات وحدوث التخمر يترتب عليهما ظهور رائحة حمضية أو مكروهة فى الحبوب ، ويؤدى ارتفاع الحرارة ونمو الفطريات أيضاً إلى تلف أجنة الحبوب فيدكن لون هذه الأجنة متحولاً إلى البنى أو الأسود .

٢ — تقدير الحموضة :

تقدر الحموضة الكلية فى الحبوب ومنتجاتها المخزونة إذ أنها ترتفع

بدرجة ظاهرة بمجرد حدوث الفساد . أما تغير رقم pH فلا يكون ملموساً إلا بعد أن يبلغ الفساد درجة كبيرة بسبب تأثير المنظمات الموجودة فى الدقيق وهى البروتينات وبعض المكونات الأخرى . وتقدر الحموضة الكلية بأى من الطرق التالية :

(ا) طريقة Bailey and Baston .

(ب) طريقة Balland .

(جـ) طريقة Schulerud .

(د) طريقة A. O. A. C. .

(هـ) طريقة مبنية على أساس تقدير الأحماض الدهنية الحرة .

ففى الطريقة الأولى يهضم مطحون الحبوب مع الكحول تركيز ٨٠ فى المائة ويرشح ويخفف حجم منه بالماء ويعادل بمحلول قلوى معروف القوة فى وجود دليل الفينولفثالين وتحدد النتائج بعدد ملليترات إيدروكسيد البوتاسيوم الأساسى التى تلزم لمعادلة الحموضة فى ألف جرام حبوب .

وفى الطريقة الثانية ، المعروفة باسم الطريقة اليونانية ، يستخلص الدقيق بالكحول تركيز ٨٥ فى المائة ويرشح المستخلص ويعادل بمحلول البوتاسا الكاوية فى الكحول فى وجود curcuma وتحسب النتائج فى صورة حامض كبريتيك كنسبة مئوية .

وفى الطريقة الثالثة يهضم الدقيق مع كحول تركيزه ٧٥ فى المائة ويرشح المستخلص ويعادل بمحلول قلوى معروف القوة فى وجود دليل الفينولفثالين . وتحسب النتائج فى صورة ملليمترات القلوى الأساسى التى تلزم لمعادلة الحامض فى مائة جرام دقيق .

وفى الطريقة الرابعة يهضم الدقيق فى الماء لمدة ساعة على درجة حرارة ٤٠° مئوية ويرشح المستخلص ثم يعادل بمحاول قلوى معروف القوة فى وجود دليل الفنولفثالين وتحسب الحموضة فى صورة حمض لكتيك كنسبة مئوية .

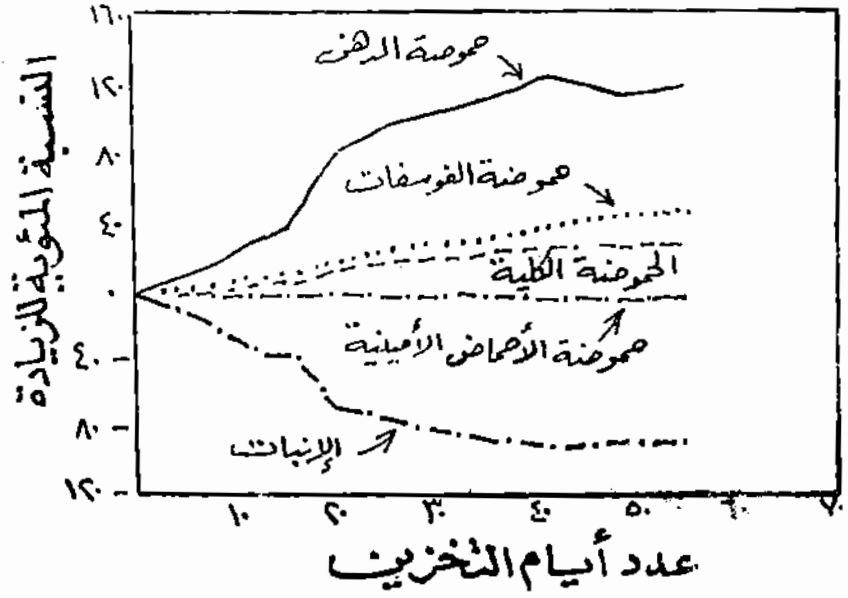
وفى الطريقة الخامسة يستخلص الدهن والأحماض الدهنية الحرة باستعمال المذيب المناسب وتقدر الأحماض الدهنية الحرة .

وتتفاوت النتائج المتحصل عليها فى تقدير الحموضة الكلية بالطرق المختلفة ، ويعلل ذلك بوجود الأحماض فى الحبوب بصور متعددة إذ توجد أحماض دهنية حرة ناتجة من فعل إنزيمات الليبيز وتوجد فوسفات حامضية ناتجة من فعل إنزيم الفيتيز على الفيتين وتوجد أحماض أمينية ناتجة من فعل الإنزيمات البروتيوليتية على البروتينات . وعادة تكون الزيادة فى حموضة الدهن أسرع من الزيادة فى حموضة الفوسفات ، أما حموضة الأحماض الأمينية فلا تزداد أثناء التخزين بشكل واضح . ويمكن إيضاح ذلك بالرسم البيانى التالى :

٣ — تقدير السكريات غير المختزلة :

يتحول جزء من السكريات غير المختزلة إلى سكريات مختزلة أثناء تخزين حبوب الذرة الرطبة بفعل إنزيم الإنفرتيز الذى يوجد فى الفطريات النامية على الحبوب ، فيقدر الانخفاض فى نسبة السكريات غير المختزلة فى الحبوب ليستدل منه على مدى فساد الحبوب . وبديهى أن هذا الانخفاض يتمشى مع ازدياد نمو الفطريات على الحبوب .

وتستخدم الحبوب التى تتلف بالتخزين علفاً للماشية مع تحاشى استخدام الحبوب الملوثة بالفطريات Gibberella لأنها تصبح سامة بشدة للماشية . وفى حالة ازدياد التلف كثيراً يفضل استخدام الحبوب فى صناعة الكحول .



(شكل ١٤٣)

تغير الحموضة والحيوية أثناء تخزين الحبوب

تنفس الحبوب المخزونة :

لما كانت الحبوب المخزونة تحتوى على خلايا حية فمن المتوقع أن تستمر فيها عملية التنفس مما يؤدى إلى ارتفاع درجة حرارتها . فالتنفس يتضمن إنطلاق طاقة أثناء بعض التفاعلات الحيوية الجارية فى الحبوب التى تتضمن أكسدة بعض الكربوايدرات والمواد العضوية الأخرى . وبديهى أن ارتفاع درجة حرارة الحبوب ، وبالتالى ظهور التلف الحرارى ، يحدثان عندما تكون سرعة انطلاق الطاقة تفوق سرعة تسرب الحرارة من الحبوب. ومن أعراض هذا التلف الحرارى تغير لون الحبوب وظهور رائحة كريهة وفقد الحيوية وازدياد حموضة الدهن وانخفاض القيمة الغذائية للحبوب . ولا يغفل أن ارتفاع درجة حرارة الحبوب له مصدران آخران ، بخلاف الطاقة المنطلقة أثناء التنفس ، وهو نمو الفطريات على الحبوب ، خصوصاً

الزائدة الرطوبة ، وكذلك الإصابة بالحشرات . ويعتقد أن هذه المسببات تؤدى إلى ارتفاع درجة حرارة الحبوب المخزونة إلى حد معين قد يتجاوز درجة ٥٥° مئوية ، غير أن الحرارة ترتفع بعد ذلك إلى حد كبير بتأثير استمرار الأكسدة الكيمائية دون ارتباط بالنشاط الحيوى أو مسايرة له .

ويحدث التنفس فى جميع الكائنات الحية ، وهو المسئول عن توليد الطاقة اللازمة للتمثيل الغذائى . ففى الظروف الهوائية يمتص الأكسجين ، وهذا يؤكسد المواد العضوية ، خصوصاً الكربوايدرات والدهون ، منتجاً ثانى أكسيد كربون وماء فى نهاية التحولات . وقد تحدث هذه الأكسدة فى الحبة بدون تدخل الأكسجين الجزيئى فتسمى العملية بالتنفس اللاهوائى ونواتجه النهائية عبارة عن ثانى أكسيد كربون أو كحول إيثايل أو حمض فورميك ، أو حمض خليك أو حمض بروبيونيك أو حمض أكساليك أو خليطاً من بعض هذه المركبات . وهذه العملية الأخيرة تتضمنها عملية التخمر التى تحدثها بعض الأحياء الدقيقة .

ويمثل الإحتراق الكامل للدهون والكربوايدرات بالمعادلتين التاليتين ؛ أولاهما للجلوكوز والثانية للبالمتين الثلاثى ، ومنهما يتضح أن كمية الطاقة المتولدة تختلف باختلاف المواد المحترقة .

ك٦ يد ١٢ ا٦ + ١٦ ا٢ ← ٦ ك ا٢ + ٦ يد٢ ا + ٦٧٧,٢ سعراً
١٨٠ جراماً + ١٣٤,٤ لتراً ← ١٣٤,٤ اتراً + ١٨٠ جراماً
١ جراماً + ٠,٧٤٧ لتراً ← ٠,٧٤٧ لتراً + ٠,٦٠ جراماً + ٣,٧٦ سعراً

لتر أكسيجين مستنفد = ٥,٠٤ سعراً
لتر ثانى أكسيد كربون متولد = ٥,٠٤ سعراً

(ك ١٥ يد ٣١ ك ١١) ٣ ك ٣ يد ٥ + ٢١٧٢½ − ٥١ ك ا٢ + ٤٩ يد ٢ ا +
٧٦١٦,٧ سعراً

٨٠٦,٨ جراماً + ١٦٢٤ لتراً ← ١١٤٢,٤ لتراً + ٨٨٣ جراماً

١ جراماً + ٢,٨٨ لتراً ← ١,٤٢ لتراً + ١,٠٩ جراماً + ٩٤٤ سعراً

لتر أكسيجين مستنفد = ٤,٦٩ سعراً

لتر ثانى أكسيد كربون متولد = ٦,٦٧ سعراً .

فالنواتج النهائية فى التنفس اللاهوائى هى ثانى أكسيد الكربون مع بعض المركبات العضوية البسيطة . ونتيجة الأكسدة والاختزال لبعض مكونات الخلية الحية فى التنفس اللاهوائى هى إنطلاق طاقة ، إلا أن كمية الطاقة المنبعثة من وحدة المواد المتفاعلة أى من وحدة مكونات الخلية تكون أقل بكثير من مقدار الطاقة التى تنبعث من وحدة مماثلة فى التنفس الهوائى ويمكن تمثيل ذلك بالمعادلات التالية :

$ك_{٦}يد_{١٢}ا_{٦}$ ← ٢ ك يد ٣ ك يد ا يد ك ١١ يد + ٢٢,٥ سعراً

حمض لكتيك

$ك_{٦}يد_{١٢}ا_{٦}$ ← ٢ $ك_{٢}$ يد ٥ ا يد + ٢ $ك ا_{٢}$ + ٢٢,٠ سعراً

كحول إيثايل

$ك_{٦}يد_{١٢}ا_{٦}$ ← ٣ $ك_{٢}$ ك ١١ يد + ١٥,٠ سعراً

حمض خليك

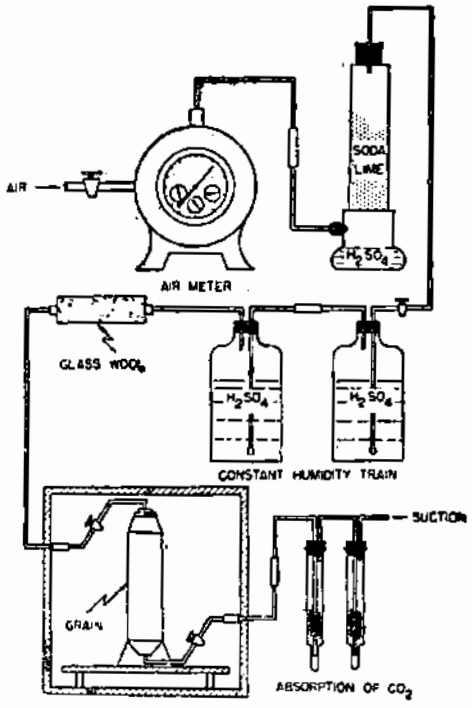
وتفاعلات عملية التنفس تجرى تحت تأثير عدد كبير من الإنزيمات . وعادة تبدأ عملية التنفس فى النباتات ، وكذلك فى الحيوانات ، بتحلل بعض المواد دون تدخل الأكسجين ، غير أن المواد الناتجة عن هذه المرحلة اللاهوائية تتأكسد هوائياً بعد ذلك متحولة إلى ثانى أكسيد كربون وماء . وعموماً فمعظم الكائنات الحية تتطلب الأكسيجين الحر ليستمر نشاطها طبيعياً ، وهى تعيش فترة قصيرة فقط فى ظروف التنفس اللاهوائى . ويعلل ذلك

بالتأثير السام لبعض ناتجات التفاعلات على بروتوبلازم الخلايا ، أو بتراكم ناتجات التفاعلات مما يؤثر على حالة الإتزان .

وينسب حجم أوعدد جزيئات ثانى أكسيد الكربون المتصاعد إلى حجم أو عدد جزيئات الأكسجين المستنفذة فى التنفس للحصول على النسبة التنفسية Respiratory quotient R. Q . فهذه النسبة تختلف باختلاف المواد المؤكسدة فهى واحد صحيح للجلوكوز المؤكسد فى التنفس الهوائى ، أو ٠,٧٠ للبالمتين التام التأكسد . ويمكن استخدام هذه النسب التنفسية فى حساب مقدار الطاقة المنطلقة المقابلة لقدر معين من الأكسيجين المستنفذ . ويجب دائماً تصحيح قراءات حجم الغاز تبعاً لاختلاف درجة الحرارة والضغط ، كما يؤخذ فى الاعتبار الضغط البخارى والتغير فى تركيز النتروجين أثناء تبادل الغازات . كذلك يجب ألا يغفل أن النسبة التنفسية تتأثر بعدة عوامل أخرى . فتحول الدهون إلى كربوإيدرات قبل تأكسدها فى النباتات يتضمن استنفاذ قدر من الأكسيجين ، وهذا القدر لا يقابله كمية ثانى أكسيد الكربون التى تنتج بتأكسد الكربوإيدرات . لذلك كانت النسبة التنفسية منخفضة للأنسجة النباتية التى تخزن فيها المواد الغذائية فى صورة دهون . ويفسر ذلك أيضاً ارتفاع النسبة التنفسية عن الواحد الصحيح أثناء نضج البذور الزيتية إذ أنه فى هذه الفترة تتحول الكربوإيدرات إلى دهون فينطلق أكسيجين يمكن أن يستعمل فى التنفس وبذلك تقل كمية الأكسيجين التى تدخل فى عملية التنفس ممتصة من الجو. لذلك يعتقد أن قياس الأكسيجين وحده أو ثانى أكسيد الكربون وحده لا يعطى صورة صادقة عن مدى التنفس الهوائى أو اللاهوائى ، بل يجب أن يقدر حجم الغازان .

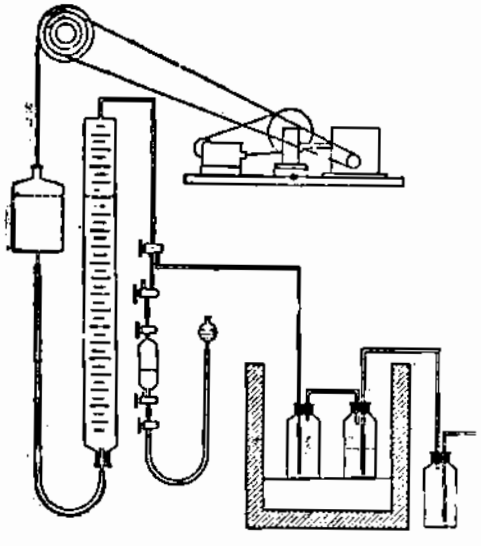
ولاختبار تنفس الحبوب تستخدم طريقتان ، فى الأولى توضع الحبوب داخل حيز مقفل وتترك مدة كافية بعدها يقدر ثانى أكسيد الكربون فى الحيز . وفى الطريقة الثانية تعرض الحبوب لتيار من الهواء

بعض الوقت ثم يحلل الهواء المستخدم فتقدر نسبة الأكسيجين به . ويمكن استعمال الجهاز المبين فى الشكل التالى فى طريقة الحيز المقفل ، والجهاز الآخر فى طريقة التهوية .

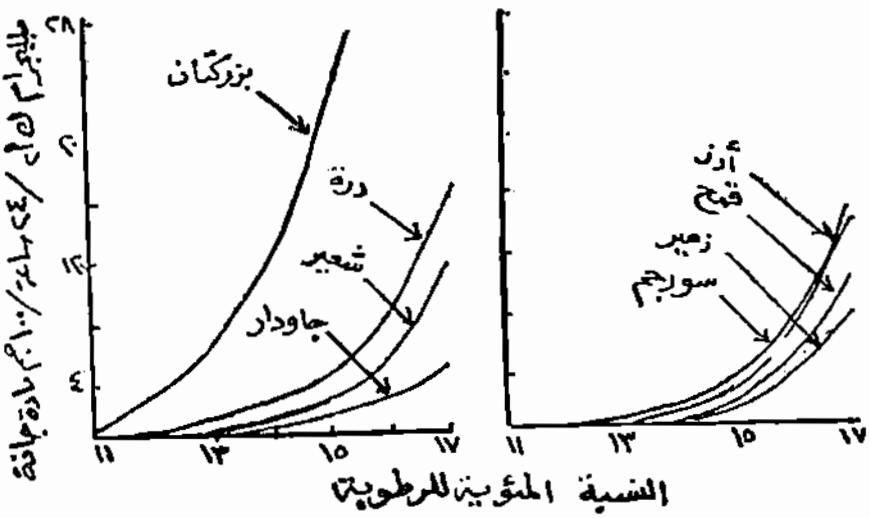


(شكل ١٤٤)

رسم تخطيطى لجهاز تقدير سرعة التنفس فى الحبوب داخل حيز مقفل



(شكل ١٤٥) رسم تخطيطى لجهاز تقدير سرعة التنفس بطريقة التهوية على درجة حرارة ثابتة



(شكل ١٤٦)

مقارنة سرعة التنفس فى بعض الحبوب

ويمكن ملاحظة أثر نسبة الرطوبة فى سرعة التنفس فى الحبوب من الجدول التالى المتضمن أيضاً لأثر الرطوبة فى تكاثر الفطريات وحيوية الحبوب وحموضة الدهن وتحول السكريات فى حبوب القمح الصلب .

وفى دراسة لتأثير درجة الحرارة على سرعة تنفس حبوب القمح الصلب المحتوى على ١٥ فى المائة رطوبة كانت النتائج كما يلى :

درجة الحرارة المئوية	ملليجرامات ك ! ٢ الناتجة من التنفس بعد أربعة أيام فى زجاجات مقفلة
٤	٠,٢
٢٥	٠,٤
٣٥	١,٣
٤٥	٦,٦
٥٥	٣١,٧
٦٥	١٥,٧
٧٥	١٠,٣

نسبة الرطوبة		الوقت فى	مدى التنفس	عدد	النسبة	الإنبات	حموضة	السكريات	السكريات المختزلة
فى البداية	فى النهاية	جهاز التنفس	فى النهاية	الفطريات	التنفسية		الدهن	الكلية	منسوبة للسكريات الكلية
%	%	يوم	ملليجرام CO_2	فى الجرام	اليوم السابع عشر	%	ملليجرام بوايد فى ١٠ جرام	ملليجرام فى ١٠ جرام	%
١٢,٣	١٢,٠	٢٠	٠,٠٧	٥٠٠	٠,٦٠	٩٣	٣٥,٣	٢٥٢	١٩,٠
١٣,٦	١٣,١	٢٠	٠,١١	١٠٠	٠,٨٥	٩٥	٣٥,٥	٢٦٣	١٧,٩
١٣,٨	١٣,٧	٢٠	٠,٢٣	١٠٠	٠,٩١	٩٥	٣٥,٣	٢٣٧	١٩,٨
١٤,٥	١٤,٣	٢٠	٠,٥٧	٤٠٠	٠,٨٩	٩٢	٣٧,٨	٢٥٢	١٩,٨
١٥,٤	١٤,٦	٢٠	٢,٥٣	٤٨٠٠	٠,٧٨	٩١	٤٢,٣	٢٥٥	٢٠,٠
١٦,٣	١٦,٠	٢٠	٢٣,٤	٣٩٦٠٠٠	٠,٩١	٦٧	٦٦,٠	٢٤٨	٢١,٨
١٦,٨	١٦,٤	١٧	٢٠,٣	٢٠٩٠٠٠	٠,٩٠	٨٨	٣٨,٦	٢٤٧	٢٠,٦
١٨,٥	١٩,٠	١٧	١١١,٠	٢٢٧٥٠٠٠	٠,٨١	٣٧	١١٥,٠	٢٢٥	٢١,٨
٢٠,٨	٢٢,٠	١٧	٦٠٤,٩	١١٣٠٠٠٠٠	٠,٩٣	١٤	١٤٩,٧	٢٠٢	٢٧,٢
٢٥,٢	٣٠,٠	١٧	١٧٢٤,٨	٣٧٥٠٠٠٠٠	٠,٩٩	٢١	١٤٠,٧	١٨٤	٣٣,٧

وتوثر التهوية فى سرعة تنفس الحبوب أيضاً ، كما يتأثر التنفس بحالة الحبوب المخزونة مثل نسبة الشوائب والحبوب التالفة والتلوث بالأحياء الدقيقة كما هو واضح من البيانات التالية المأخوذة من تجربة على فول الصويا :

الحبوب المصابة	الإنبات	الحبوب الملوثة بالأحياء الدقيقة	حموضة الزيت	النيتروجين غير البروتينى	السكريات		التنفس
					الختزلة	غير المختزلة	
	%	%	ملليجرام	ملليجرام فى ١٠ جرام	ملليجرام فى ١٠ جرام	ملليجرام فى ١٠ جرام	ملليجرام
١٠,٣	٥٣	٣٠	١٥,٦	١٣,٩	٦٥	٢٧٩	١٠٧
١٣,٣	٤٤	٢٣	١٩,٤	٣٠,٦	٧٨	٢٨٤	١١٢
٢١,٠	٢٧	٥٠	١٧,٩	٢٩,٧	٨١	٢٤٧	١٨٥
٢٦,٠	٢٩	٥١	١٧,٨	٣٢,٦	٨٣	٢٦٣	٢٣٨
٤١,٠	١٤	٥٨	١٩,٤	٣٥,٢	٨١	٢٧٥	٢٣٩
٥٥,٠	٥	٧٣	٢٨,٨	٤٥,٩	١١٠	٢٢٩	٢٥٧

وقد أجريت محاولات عديدة لإطالة مدة حفظ الحبوب المخزونة بإضافة مواد كيميائية تقلل من سرعة تنفس الحبوب . وهذه الكيماويات بعضها غازى وبعضها صلب . فمن الكيماويات الغازية المستعملة فى حفظ الحبوب الإيثير والهكسان الحلقى ورابع كلوريد الكربون واللجروين ligroin وهى جميعاً لا تؤثر فى نمو الفطريات بدرجة ملموسة ولا تتلف أجنة الحبوب بنسبة ملموسة ومنها أيضاً الأسيتون وكحول الإيثايل المطلق والميثايل فيوران methyl furan، dioxan 1,4 وجميعها تمنع تكاثر الفطريات لكنها تتلف أجنة حبوب التقاوى . ومنها كذلك البنزين وثالث كلوريد الإيثلين والكلوروفورم وجميعها تقاوم نمو الفطريات ولا تتلف حيوية الحبوب بدرجة ضارة اقتصاديا . أما المواد الكيميائية الصلبة المستخدمة فى حفظ الحبوب فأشهرها ما يلى :

Propylene chlorohydrin, Ethylene bromhydrin, Allyl alcohol, Beta-chloroallyl alcohol, Diethyl oxalate, Diethyl malonate, Glycol diacetate, Vinyl Propionate, Propylene glycol dipropionate, Tributyl borate, Propylene glycol diacetate, Ethyl chloracetate, Ethyl chloropropionate, Methylchloracetate, Ethyl isovalerate, Triethyl phosphite, o-Vanillin, 1,3 - Dimethyl - 2,4 - (bichloromethyl) benzene, Benzotrichloride, chlorazene (chloramine T), Chloramine B (sodium N - chlorobenzene sulfonamide) Sulfanilamide, P - Toluene sulfonamide, Diethyl phosphite, Propionic acid, Beta - chloropropionic acid, Acetic acid, Butyric acid, Valeric acid, Phenol, 1,3 - Dichloropropene - 2, 1,3 - Dichlorobutene, Salicyl aldehyde, P - Tertiary - amylphenol (Pentahen), Sodium pentachlorophenate (Santobrite), Hyamine lox, Hyamine 1922, 2 - chloro - 4 phenylphenol (Dowicide 4), Chloro - 2 - Phenyl phenol (Dowicide 4), Chloro 2 - phenyl phenol (Dowicide 30), 2 - Aminothiazole, Chloroacetamide, Acrolein, Methyl vinyl ketone, Sodium cyanide, Crotonic acid.

فالواضح من الجداول السابقة أن هناك تغيرات حيوية تحدث فى الحبوب المخزونة مرتبطة بعملية التنفس. وهذه التغيرات تشمل الكربوإيدرات والدهون والبروتينات والسكريات المختزلة وحموضة الدهن. كذلك تأثرت حيوية الحبوب أثناء التخزين، وكانت أهم العوامل المؤثرة فى الحيوية هى نسبة الرطوبة ودرجة الحرارة ومدة التخزين وتكاثر الفطريات. ويستدل على فقدان الحيوية فى حبوب القمح بظهور اللون الداكن فى أجنة الحبوب التى يطلق عليها حينئذ الإسم sick wheat، كما أن حموضة الدهن ترتفع بشكل ملحوظ. ويمكن دراسة ارتفاع درجة حرارة الحبوب تلقائياً spontaneous heating بتأثير عملية التنفس إ باستخدام الجهاز respirometer المبين فى الشكل التالى، وهو يتكون من ترموستات خشبى معزول « A » وزجاجة ديورس Dewar flask سعة ربع جالون (D) توضع بداخلها عينة الحبوب المراد اختيارها ومقياس ضوء الحرارة النحاسى thermopile « T » ذى الأربع وعشرين نقطة إتصال نصفها فى عينة الحبوب والنصف الآخر معرض خارج زجاجة ديورس إلى هواء الحمام. فبارتفاع درجة حرارة الحبوب قليلاً يتكون فارق فى الجهد بين طرفى الثرموبيل مما يؤدى إلى سريان تيار كهربائى فى الجلفانومتر. وتعمل المرآة على تحويل شعاع الضوء المنعكس الصادر من مصدر الضوء فى الاتجاه X إلى لوح حساس متصل بمنظم الحرارة فى الصندوق R الذى يحدد درجة الحرارة فى حمام الهواء. وتعمل المروحة S والموتور M على دوران الهواء باستمرار.

ويمكن ملاحظة تأثير ارتفاع درجة حرارة الحبوب المخزونة تلقائياً على التركيب الكيميائى من البيانات المستخرجة من تجربة على حبوب فول الصويا المحتوية على ٢٢,٨ فى المائة رطوبة وهى مدونة فى الجدول التالى :

الأيام	درجة الحرارة ٥ م	البروتين الخام %	النتروجين غير البروتيني بالملليجرام في ١٠ جرام	السكريات بالملليجرام في ١٠ جرام: الكلية	غير مختزلة كسكروز	مختزلة كجلوكوز	السكريات المختزلة منسوبة للسكريات الكليه %	مستخلص الايثير منسوباً للوزن الجاف %	الحبوب الملوثة بالفطر %	الإنبات %
٠	٢٤,٤	٣٥,٤	٢٢,٤	٤٤٤	٤٠٠	٤٤	١٠,٠	٢١,١	٣	٩٣
٣	٢٩,٤	٣٥,٤	٢١,٢	٤١٠	٣٧٨	٣٢	٧,٨	١٩,٥	١	٧٣
٥	٣٧,١	٣٥,٨	٢١,٢	٥٠٤	٣٧٣	٣٢	٦,٩	٢٠,٢	١٦	٥٢
٧	٤٤,٤	٣٥,١	٢٢,٢	٣٧٨	٣٤٧	٣١	٨,١	٢٠,٢	١٧	٣٠
٨	٤٩,٣	٣٥,٢	٢٣,٦	٤٣٣	٣٨٢	٥١	١١,٨	٢٠,٣	٦٤	٠
١٠	٥٣,٧	٣٥,٤	٢٨,٢	٤١٧	٣٣٤	٨٣	١٩,٩	١٩,٤	٤٠	٠
١٢	٥٥,١	٣٥,٧	٣٤,٧	٤٩١	٢٤٥	٢٤٦	٥٠,١	١٥,٣	١٤	٠
١٣	٥٥,٢	٣٥,٨	٣٢,٤	٤٣٨	٢٥١	١٨٧	٤٢,٦	١٤,٩	١٣	٠
١٥	٥٩,٧	٣٦,١	٣٢,٣	٤٤٣	٢٢٦	٢١٧	٤٨,٩	١٣,٦	٩	٠
١٧	٦٧,٣	٣٦,٣	٣٥,٧	٤٣٢	١٧٢	٢٦٠	٦٠,٢	١٢,٠	٠	٠
١٩	٧٧,٠	٣٦,٦	٣٥,٠	٢٩١	٢٧	٢٦٤	٩٠,٨	١٠,٥	٠	٠

نمو الأحياء الدقيقة على الحبوب المخزونة :

توجد الأحياء الدقيقة على سطح الحبوب وفى داخلها أيضاً . ففى الحبوب من الداخل تنتشر بعض النباتات الرمية والطفيلية ، إذ تصاب بها الحبوب أثناء فترة النمو والنضج خصوصاً فى الجو الدافىء الرطب . ويمكن التعرف على إصابة الحبوب داخلياً بعدة طرق منها مشاهدة نمو هذه الكائنات الدقيقة فى الحبوب المصابة المطهر سطحها من الخارج عند تخزينها وهى رطبة أو عند وضعها فى بيئة محضرة معملياً ، وبمشاهدة تكرار الإصابة فى الأجزاء الخضرية الناتجة من إنبات الحبوب المصابة وبالفحص الميكروسكوبى لأنسجة الحبوب ، وبفحص الحبوب المتكرمشة والأجنة القاتمة اللون والمقصعة والأندوسبرم والبريكارب وهيفات الفطر . والطريقة الشائعة فى المعامل هى نقع الحبوب فى محلول كلوريد زئبقيك مطهر لمدة عشر دقائق بعدها تغسل الحبوب بماء معقم وتوضع فى بيئة آجار

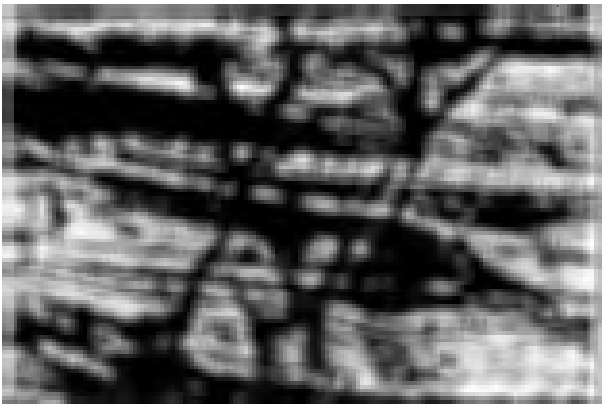
(شكل ١٣٧)

حبوب الزمير على بيئة اجار وتظهر الفطريات نامية فى عينة الحبوب اليسرى بينما خلت العينة اليمنى من الأحياء الدقيقة الداخلية

ومن الفطريات والبكتريا التى وجدت نامية فى بعض الحبوب ما يلى :

الفطريات	قمح	زمير	شعير	شليم	ذرة
Calonectria graminicola	+			+	
Celetotrichum graminicolum		+		+	
Diplodia macrospora					+
D. zeae					+
Fusarium spp.	+	+	+	+	+
Gibberella fujikuroi					+
G. zeas	+	+	+	+	+
Helminthosporium carbonum					+
H. gramineum			+		
H. sativum	+	+	+	+	
H. victoria		+			
Pyterophora avenae		+			
P. teres			+		
Siptoria avenae		+			
S. nodorum	+				
S. secalis					
S. tritici	+				
Ustilago avenae		+			
U. nuda			+		

البكتريا	قمح	زمير	شعير	شليم	ذرة
البكتريا :					
Bacteriurm stewartii					+
Pseudomonas coronafaciens		+			
Ps. striafaciens		+			
Xanthomonas translucens	+		+	+	



(شكل ١٤٨)

ميسيليوم الفطر على السطح الداخلى للبريكاب فى حبوب القمح

ومن الفطريات التى وجدت على سطح حبوب القمح ما يلى :

Acrostalagmus cinnabarinus	Hormodendrum pallidum
Alternaria tenuis	H. viride
Aspergillus glaucus	Mucor circinelloides
Aspergillus candidus	M. racemosus
A. flavus	Paecilomyces varioti
A. fumigatus	Penicillium chrysogenum
A. niger	P. flavi–dorsum
A. oryzae	P. frequentans
A. versicolor	P. purpurogenum
Cephalosporium spp.	P. rugulosum
C. curtipes	P. spinulosum
Cephalotheoinm roseum	P. terrestre
Fusarium culmorum	Rhizopus spp.
F. poae	Scopulariopsis spp.
F. scirpi var. acuminatum	S. brevicaule
F. semitectum var. major	Septoria nodorum
Helminthosporium sativum	Trichederma lignorum

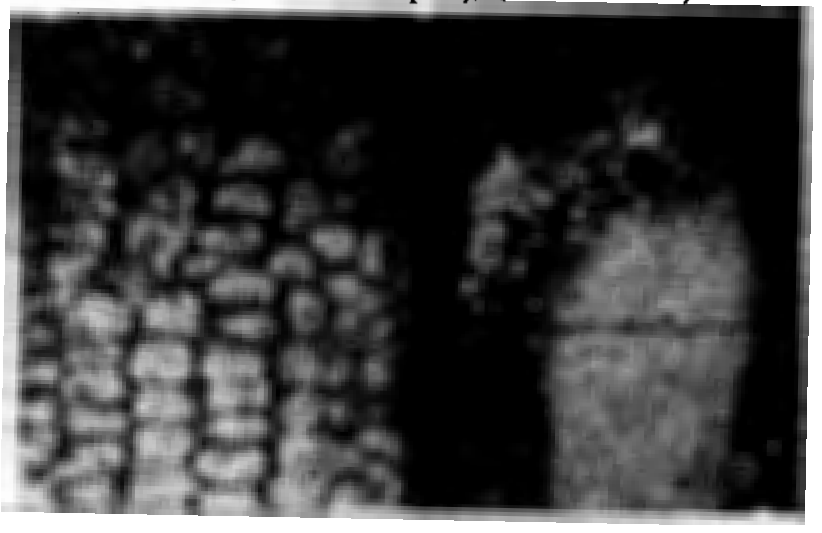
ومن الفطريات والخمائر التى وجدت على الحبوب المخزونة ما يلى :

Candida albicans	C. pseudotropicalis
C. humicola	Oospora sp.
C. krusei	O. abortifaciens
O. aegeritoides	Chromosporium maydis
O. variabilis	Fusidium griseum
O. verticillioides	Geotrichum candidum
Monilia sitophila	Trichosporium maydis
Species of Rhinotrichum	Species of sporotrichum
Species of Toruls	Species of Torulopsis

ويوجد على الحبوب أيضاً خميرة التخمر مثل :

Saccharomyces cervisiae var. ellipsoideus و S. pastorianus كما توجد

خمائر وحشية لاتحدث التخمر مثل Pullularia (Dematium) .Hansenula (Villia) anomala Gryptococcus (Torula) sanguinea, Mycoderma cerevisiae, pullulans Candida valgaris (Momilia candida) Pichia sp., C. pulcherrima, C. utilis Geotrichum candidum, Trichosp-nron variable (Monilia variapilis), (Oidium lactis).

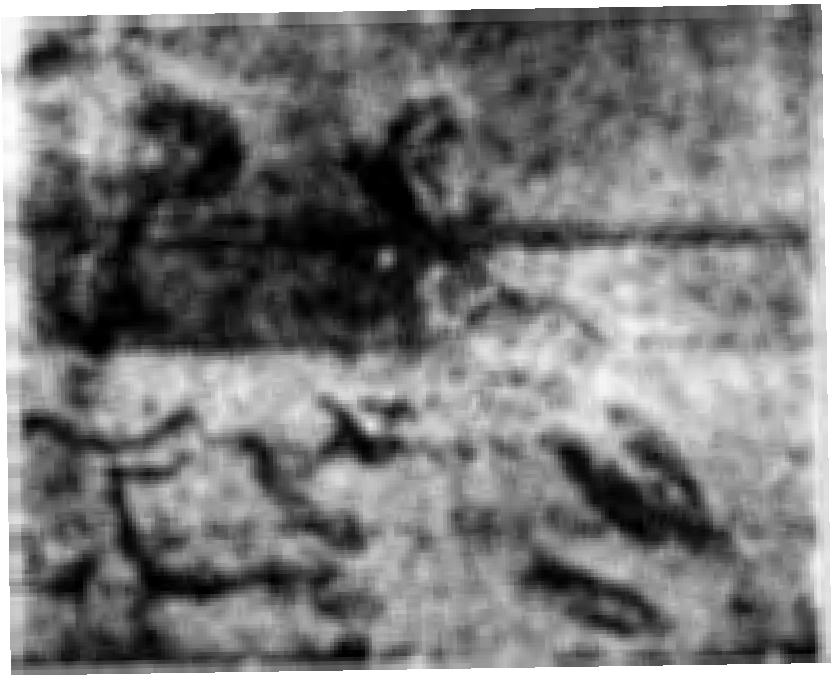


(شكل ١٤٩)
نمو أسبرجللس جلوس على كوز الذرة

وقد أمكن تمييز عدد كبير من البكتريا النامية على الحبوب وفى منتجاتها ومن أمثلتها ما يلى :

Pseudomonas	maidis	Acetobacter	rancens
,,	fluorescens	,,	oxydans
Micrococcus	pulcher	Pedicoccus	acidi lactici
,,	zeae	..	lindneri

Sarcmaxima	Streptoccus lactis
Lactobacillus caneus	Aerobacter aerogenes
„ xylosus	„ cloacae
Escherichia coli	Sarratia marcecens
Proteus mirabilis	Paracolobactrum aeroginoides
„ vulgaris	„ coliforme
Bacterium crenatum	Bacillus cereus
„ esterificans fluorescens	„ cylindricus
Chlostridium roseum	Chlostribium viscifaciens



شكل (١٥٠)

بعض الجراثيم والميسليوم والهيفات الفطريات توجد عادة فى الحبوب أو على سطحها

A – Aspergillus B – Penicillium C – Rhizopus D – Alternaria
E – Helminthosporium

ومن الأحياء الدقيقة التى أمكن تميزها فى الحبوب المخزونة ما يلى :

Actinomyces graminis, Streptomyces albus, Actinomyces albido fuscus, Actinomyces globisporus, Actinomyces cinereus niger aromaticus, Actiomyces griseus Actinomyces violaceus·

ويمكن فحص محتويات الدقيق المخزون من الأحياء الدقيقة بتقليب وزن معين من الدقيق فى الماء المعقم أو فى محلول ملحى فسيولوجى saline ثم يخفف المعلق ويضاف إلى بيئة الأجار أو الجيلاتين .

ويقاوم نشاط وتكاثر الأحياء الدقيقة بطرق متعددة تؤدى إلى التحكم فى درجة الحرارة ونسبة الرطوبة والتهوية والحموضة ، كما قد تستخدم بعض الكيماويات السامة .