جاف نسبيًا، كالبصل. والبطاطا. ويمكن التحكم فى درجة الحرارة والرطوبة النسبية إلى حد ما بالتحكم فى التهوية.

وتُنشأ بعض هذه الأبنية تحت سطح التربة عندما تسمح حالة الصرف بذلك، وتسمى "Cellars". وتجب العناية بعملية التهوية فى هذه المنشآت؛ لأنها تكون – عادة – عالية الرطوبة النسبية، وتخزن فيها البطاطا وغيرها من الخضروات الجذرية بنجاح.

وفى مصر تخزن البطاطس فى نوالات، وهى أبنية ذات فتحات كافية للتهوية فى الجدران، وتغلق نهارًا، وتفتح ليلاً لاستقبال الهواء البارد.

التخزين البارد مع التحكم فى الرطوبة النسبية

يعتبر التخزين فى المخازن المبردة هو أكثر طرق التخزين شيوعًا؛ نظرًا لأنه يساعد على حفظ المنتجات بحالة جيدة لفترة طويلة نسبيًا. ويتم فى هذه الطريقة التحكم فى درجة الحرارة والرطوبة النسبية، لكى تبقى مكونات الهواء الجوى كما هى.

المخازن المبردة

تصميم البناء

يمكن حساب مساحة أرضية المخزن المبرد بتحديد الحد الأقصى لكمية المنتج التى يمكن أن تتواجد فى المخزن فى وقت واحد بالمتر المكعب وقسمتها على ارتفاع التخزين. ويكون ارتفاع التخزين – عادة – مترين، وهو ارتفاع حمل البالتة. ويمكن زيادة ارتفاع التخزين بإضافة حوامل بالتات، أو – إذا كانت الكراتين قوية بما فيه الكفاية – بوضع البالتات فوق بعضها بارتفاع ثلاث منها. يُضاف إلى تلك المساحة مساحة أخرى للممرات ولحركة الرافعات الشوكية

حركة الهواء

يلزم أن يتحرك هواء المخزن المبرد فى جميع أنحاء المخزن لأجل المحافظة على

التجانس فى درجة الحرارة. وتصمم معظم المخازن المبردة بقدرة تحريك للهواء بمعدل ٢,٨٣م^{٣} فى الدقيقة لكل طن من المنتج الذى يمكن أن يحتويه المخزن (١٠٠ قدم مكعب/طن). هذا .. ويصل المنتج إلى الحرارة المستهدفة فى خلال أيام قليلة حتى أسبوع من ملئ المخزن بالمنتَج. وبعد ذلك يمكن خفض حركة الهواء داخل المخزن إلى نحو ٢٠٪ إلى ٤٠٪ من القدرة المصمم عليها المخزن مع استمرار المحافظة على حرارة المنتَج التى وصل إليها واستمرار تجانس درجة الحرارة داخل المخزن. ويمكن أن يتم ذلك التخفيض إما بتشغيل المراوح على فترات بالاستعانة بجهاز توقيت، وإما باستعمال مراوح يمكن تشغيلها بسرعات مختلفة. هذا .. مع العلم بأن خفض سرعة حركة الهواء يقلل من فقد المنتج لرطوبته (Thompson ٢٠٠٤).

القدرة التبريدية

كقاعدة عامة .. فإن المخزن المبرد يلزمه حوالى ١٠–١٤ كيلووات kW من القدرة التبريدية لكل ١٠٠٠م^{٣} من حجم المخزن (٠,٠٨–٠,١١ طن تبريد لكل ١٠٠٠ قدم مكعب)، ويلزم الحاويات ١٤ إلى ٢٥ كيلووات لكل ١٠٠٠م^{٣} (٠,١١–٠,٢ طن لكل ١٠٠٠ قدم مكعب).

وسائل التبريد

تعتمد معظم المخازن المبردة على التبريد بإعادة ضغط البخار vapor recompression، وهى الطريقة التى تعرف بالتبريد الميكانيكى.

إن أهم ما يجب الاهتمام به فى تصميم المبردات هو المحافظة على التجانس فى كل من درجة الحرارة والرطوبة النسبية فى المخزن. ويتحقق التجانس فى درجة الحرارة بتوفير قدرة تبريدية مناسبة، مع تجانس فى توزيع حركة الهواء؛ الأمر الذى يقلل من الاختلافات فى درجة الحرارة بين ملف التبريد والهواء، مع توفر نظام دقيق للتحكم الحرارى. ويلزم توفر رطوبة نسبية عالية لخفض الفقد الرطوبى من المنتَج. وتتطلب معظم الخضروات رطوبة نسبية تتراوح بين ٨٥٪، و ٩٥٪ إلاّ أن بعض الخضر مثل البصل

(الأبصال) تتطلب رطوبة نسبية منخفضة عن تلك. وتتحقق الرطوبة النسبية العالية بالحد من التباين فى درجة الحرارة بين أجزاء المخزن، وبتشغيل ملف التبريد على حرارة قريبة من تلك المستهدفة فى المخزن. ويتحقق ذلك باستعمال ملف تبريد ذات مساحة سطحية كبيرة وبالاعتماد على نظام تحكم يمكنه المحافظة على عمل المبرد قياسًا على أعلى حرارة فى المخزن.

بدائل التبريد الميكانيكى

قد يمكن اللجوء إلى بعض بدائل التبريد الميكانيكى فى المناطق التى لا تتوفر فيها البنية الأساسية للتبريد، ومن هذه البدائل ما يلى:

١- التبريد الصحراوى:

يعرف نظام التبريد الصحراوى – كذلك المستخدم فى تبريد البيوت المحمية – باسم evaporative cooling، أو نظام الوسادة والمروحة pad and fan system. يفيد استعمال هذا النظام فى خفض حرارة الهواء إلى درجة قريبة من درجة حرارة الترمومتر المبتل بالهواء الخارجى؛ وهو يفيد – خاصة – فى الأجواء الجافة، وهى التى يكون الليل فيها مائلاً للبرودة، حيث يمكن استمرار التبريد ليلاً بمجرد التهوية.

٢- الاستفادة من حقيقة أن حرارة التربة على عمق مترين تكون معادلة للمتوسط السنوى لحرارة الهواء، وذلك بالتخزين على هذا العمق.

٣- الاستفادة كذلك من أن مياه الآبار تكون حرارتها معادلة – تقريبًا – للمعدل السنوى لحرارة الهواء. وذلك باستعماله فى تبريد المنتجات أوليًا.

٤- استعمال الثلوج التى تتكون شتاءً.

٥- التخزين فى أماكن مرتفعة.

مولدات الرطوبة

ربما يحتاج الأمر إلى مولدات رطوبة humidifiers لإضافة رطوبة إلى مواد التعبئة الورقية والخشبية. وإلا فإن مواد التعبئة سوف تمتص احتياجاتها من الرطوبة من المنتَج

ذاته. وكبديل لذلك .. يمكن استعمال عبوات بلاستيكية لا تمتص الرطوبة، واستخدام أكياس بلاستيكية تقلل الفقد الرطوبى. ويفيد استعمال مواد بلاستيكية بأقل قدر من التثقيب فى خفض الفقد الرطوبى من المنتَج، وقد تسمح بالمحافظة على مستوى أقل من الرطوبة النسبية فى هواء المخزن.

وبالنسبة للمنتجات ذات معدلات النتح المنخفضة فإنها تفقد الرطوبة ببطء، وقد لا تحتاج إلى تجهيزات خاصة لرفع الرطوبة النسبية بالمخزن، خاصة إن لم تكن هناك حاجة لتخزينها لفترات طويلة.

وسائل التحكم فى الإثيلين ومكونات الهواء

يمكن تزويد المخازن بوسائل للتحكم فى الإثيلين وفى مكونات الهواء.

فنجد أن بعض المنتجات تتضرر بشدة من الإثيلين الذى يتعين خفض مستواه فى هواء المخزن لتجنب حدوث تلك الأضرار. وما لم تكن حرارة الهواء الخارجى شديدة الارتفاع أو شديدة الانخفاض فإن التهوية تعد هى الطريقة الأقل تكلفة لخفض تركيز الإثيلين. كذلك يمكن امتصاص الإثيلين ببرمنجنات البوتاسيوم التى تحضر فى صورة حبوب صغيرة لهذا الغرض. ويمكن أحيانًا معاملة بعض المنتجات – كالزهور ونباتات الزينة – كيميائيًا لجعلها غير حساسة للإثيلين.

أما التحكم فى مكونات هواء المخزن فإنه يمكن أن يتحقق بزيادة تقدر بنحو ٥٪ من تكلفته الإنشائية. وتنفق تلك التكلفة الإضافية فى لحام الوصلات بين الحوائط والسقف والأرضيات، وفى توفير أبواب غير منفذة للغازات وتحتاج تلك المخازن – كذلك – إلى أجهزة للتحكم فى غازات هواء المخزن بالتركيزات المطلوبة (Thompson ٢٠٠٤).

أمور أساسية تتعلق بالتصميم والتشغيل

إن من أهم ما تجب ملاحظته بشأن تصميم وتشغيل وإدارة المخازن المبردة ما يلى:

١– تزويد المخازن بوحدات لجعل الهواء رطبًا humidifiers حتى لا تنخفض رطوبته النسبية عما ينبغى.

٢– تأمين دوران جيد لهواء المخزن بحجم وسرعة مناسبتين لضمان تجانس حرارة المخزن فى كل جزء منه، ولكن مع مراعاة عدم زيادة سرعة حركة الهواء عما ينبغى، لكى لا يؤدى ذلك إلى زيادة فقد المنتَج للرطوبة. ويكفى – عادة – تدفقًا للهواء بمعدل ٣٤–٦٨م^{٣}/ساعة.

٣– توفير مراوح متعددة السرعات تسمح بزيادة سرعة الهواء فى بداية التخزين، ثم خفضها بعد ذلك عندما تصبح كل حجرة التبريد فى الحرارة المرغوب فيها.

٤– تخفيض حرارة المخازن المبردة إلى أقل حرارة يمكن أن يتحملها المنتَج المخزن فيها، والتى تزيد – عادة – بمقدار نصف درجة إلى درجة واحدة مئوية عن الحرارة التى يمكن أن تصيبه بأضرار البرودة.

٥– يتعين قياس درجة الحرارة فى أجزاء مختلفة من المخزن للتأكد من تجانسها وعدم وجود مناطق دافئة أو أبرد مما ينبغى. كما يجب عدم تثبيت وحدات قياس الحرارة على الجدران التى تفصل المخزن عن الجو الخارجى؛ لأنها قد تتأثر بالحرارة الناتجة عن الأشعة الشمسية التى تسقط عليها بالخارج.

٦– ضرورة استعمال شرائح طولية من البلاستيك الثقيل على أبواب المخازن المبردة للحد من تسرب الهواء الدافئ داخلها.

٧– يجب تبريد الممرات وأرضية تحميل الشاحنات والحاويات للمحافظة على سلسلة التبريد، ويكتفى – عادة – بتبريدها إلى حوالى ٥–٧م.

٨– ضرورة تصميم المبنى بطريقة تسمح بسهولة تطهيره.

٩– ضرورة تطهير أرضيات وجدران المخزن بالمطهرات المسموح بها مع استخدام الماء الساخن أو البخار عند تغيير المنتجات المخزنة، أو إخراجها من المخزن.

١٠– ضرورة غسيل أرضيات وجدران المخزن والممرات على فترات منتظمة (Tator ١٩٩٧).

أضرار تنشأ عن عيوب فى المخازن

تصاب الحاصلات البستانية بأضرار معينة نتيجة لوجود عيوب خاصة فى المخازن. ومن هذه الأضرار ما يلى:

أضرار الأمونيا

تحدث أضرار الأمونيا ammonia injury عندما يتسرب الغاز من أجهزة التبريد؛ حيث تتلون الأنسجة الخارجية للمنتجات المخزنة بلون بنىٍّ أو أخضر مُسْوَدٍّ. وقد تؤدى الأضرار الشديدة إلى ليونة الأنسجة الداخلية، وفقد المنتجات صلاحيتها للتسويق. ويحدث الضرر – عادة – عندما يصل تركيز الأمونيا فى جو المخزن إلى ٠,١٪، ولكنه لا يظهر إلا بعد عدة ساعات من التعرض لهذا التركيز؛ ولهذا يوصى بوضع أجهزة للتنبيه بتسرب الغاز.

ويمكن التخلص من أبخرة الأمونيا بالتهوية، أو بغسيل هواء المخزن بالماء إذا كان ذلك ممكنًا، أو بمعادلة الأمونيا بغاز ثانى أكسيد الكبريت sulfurdioxide إن كانت الخضر المخزنة غير حساسة لذلك الغاز، مع عدم زيادة تركيزه على ١٪ (Lurtz & Hardenburg ١٩٦٨).

أضرار نقص الأكسجين

يحدث النقص فى الأكسجين من جرّاء تنفس المنتجات المخزنة مع عدم توفر تهوية جيدة فى المخازن، ويكون ذلك مصحوبًا بزيادة فى نسبة ثانى أكسيد الكربون. وتختلف المنتَجات فى مدى حساسيتها لذلك.

ومن الأضرار التى يحدثها نقص الأكسجين ما يلى:

١– ظهور حالة القلب الأسود فى درنات البطاطس.

٢– تبقع قرون الفاصوليا الخضراء ببقع بنية اللون.