icing. ويتكون الملاط (المخلوط المتدفق) – عادة – من ٦٠٪ ثلج مجروش ناعم، و ٤٠٪ ماء. ويضاف إليهما ٠.١٪ كلوريد صوديوم لتخفيض درجة ذوبان الثلج. هذا .. إلا إنه قد تستعمل نسب أخرى من الثلج والماء (Thompson ٢٠٠٣).

يفيد اتباع هذه الطريقة – خاصة – مع المنتجات الكثيفة التواجد داخل عبواتها والتى يصعب تبريدها بالدفع الجبرى للهواء، حيث يمكن أن يفيد معها إما إضافة الثلج على البالیتات top icing، أو إضافة الثلج مع الماء liquid icing (أو slush icing). ففى الحالة الأولى يضاف الثلج المجروش على قمة المنتج يدويًا أو آليًا. أما فى الحالة الثانية فإن خليط من الماء مع الثلج يتم حقنه داخل عبوات المنتج من خلال فتحات التهوية دونما تحريك للعبوات من البالیتات أو فتحها. تفيد هذه الطريقة – خاصة – مع المنتجات التى يرتفع فيها معدل التنفس مثل البروكولى، والذرة السكرية. ويكفى – عادة – كيلوجرام واحد من الثلج لخفض حرارة ثلاثة كيلوجرامات من المنتج من ٢٩ إلى ٤°م (عن Boyette وآخرين ١٩٨٩).

وتلك هى الطريقة المثلى عند الحاجة لتبريد كمية كبيرة من المنتج فى وقت قصير. ولا تتطلب هذه الطريقة سوى آلة لجرش الثلج، وتانك مزود بخلاط لاستيعاب الثلج المخلوط بالماء، ومضخة، وخرطوم لإيصال الثلج السائل بالكراتين من خلال ما يوجد بها من فتحات.

تجمع هذه الطريقة بين مميزات إضافة الثلج للكراتين المعبأة والتبريد الأوَّلى بالماء البارد، ذلك لما للماء المثلج فى المخلوط من تأثير فى سرعة التبريد. حيث يعطى حوالى ٤٠٪ من حاجة التبريد بسرعة كبيرة. بينما يُستكمل باقى التبريد مع ذوبان الثلج داخل الكراتين (Boyette & Estes ١٩٩٢).

التبريد المائى

يتم التبريد المائى Hydrocoolin بالغمر فى الماء المثلج، أو بإمرار المنتج تحت رذاذ

من الماء المثلج. وهى من أكفاء وأسرع طرق التبريد الأوّلى، لكن يشترط لنجاحها أن تكون درجة حرارة الماء قريبة من الصفر المئوى، وأن يظل المحصول معرضًا للماء لفترة كافية حتى يتم تبريده. ومما يقلل من كفاءة هذه الطريقة ألا يكون الماء المستخدم باردًا بالقدر الكافى، أو ألا يتعرض المحصول له لمدة كافية.

ومن مزايا هذه الطريقة: سرعة التبريد (شكل ٨–١)، وزيادة نضارة الخضروات الذابلة، ولكن يعيبها المساعدة على انتشار الكائنات المسببة للعفن فى حالة إعادة استخدام الماء المثلج. وتصلح هذه الطريقة لتبريد كل من: الجزر، والفجل، والكرفس، والذرة السكرية، والخرشوف، والهندباء، والبطيخ، والبنجر، والبصل الأخضر، والسبانخ والأسبرجس. وبصفة عامة .. فهى تناسب الخضر الجذرية والساقية والورقية والزهرية والكنتالوب.

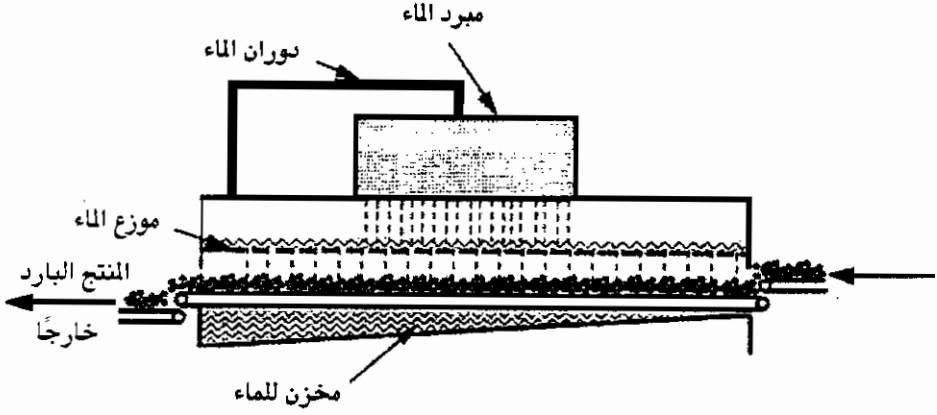
ولا يناسب التبريد الأوّلى باستعمال الماء البارد المنتجات التى لا يمكنها تحمل الابتلال، مثل البطاطس، والبطاطا، والبصل، والثوم.

ويعد الماء البارد أسرع خمس مرات من الهواء فى سرعة التخلص من الحرارة، ولكنه أقل كفاءة من الهواء البارد فى استخدام الطاقة (Stewart & Couey ١٩٦٣، و Lutz & Hardenburg ١٩٦٨، و Boyette وآخرون ١٩٨٩).

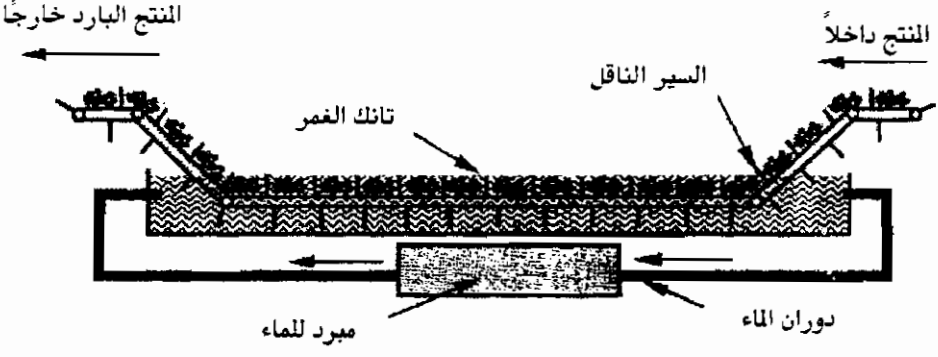
ويجرى التبريد الأوّلى مائيًا hydrocooling بتحريك ماء بارد حول المنتج إما رشًا (شكل ٨–٢)، وإما بغمر المنتج مباشرة فى الماء البارد (شكل ٨–٣).

يمكن أن يتم التبريد بطريق الرش shower coolers بإمرار المنتج على سير متحرك تحت "دش" من الماء البارد. كما قد يستعمل السير المتحرك وهو مغمور فى ماء بارد بما عليه من منتج، لكن طريقة الغمر لا تناسب إلاّ المنتجات التى لا تطفو على سطح الماء، كما أنها أقل كفاءة من طريقة "الدش" لأن حركة الماء خول المنتج تكون أقل فيها مما فى طريقة رش الماء (Thompson ٢٠٠٤).

شكل (٨–١): معدل الانخفاض فى حرارة التجويف الداخلى لثمار الفلفل الحلو مع الوقت مقارنة بحرارة ماء التبريد (Thompson ٢٠٠٣).



شكل (٨-٢): رسم تخطيطى لجهاز تبريد أوّلى بطريقة الرش المستمر بالماء البـارد.



شكل (٨-٣): رسم تخطيطى لجهاز تبريد أوّلى بطريقة الغمر المستمر فى الماء البارد.

يعد الماء وسطًا أفضل من الهواء لانتقال الحرارة؛ ولذا .. فإن التبريد الأوّلى المائى يكون أسرع مما فى طريقة الدفع الجبرى للهواء. ويمكن أن يتم تبريد المنتجات ذات الأحجام الثمرية الصغيرة – مثل الكريز – فى خلال عشر دقائق تحت "الدش البارد" على السير المتحرك، بينما يستغرق تبريد ثمار الكنتالوب بين ٤٥، و ٦٠ دقيقة بنفس النظام، وتزداد مدة التبريد عن تلك الحدود فى حالة الغمر فى الماء البارد مع السير المتحرك.

يجب أن تسمح عبوات المنتج — فى حالة التبريد الأوّلى المائى — بالحركة الرأسية للماء. كما يجب أن تتحمل تلك العبوات التعرض للماء. وأنسب العبوات لذلك البلاستيكية والخشبية. وإذا ما استعملت العبوات الكرتونية فإنها يجب أن تكون معاملة بالشمع لكى تتحمل ملامسة الماء لها.

هذا .. ولا يتسبب التبريد الأوّلى المائى فى أى فقد رطوبى من المنتج؛ بل إنه يمكن أن يكسب المنتج ماءه الذى يكون قد فقده بعد الحصاد وحتى التبريد.

ويُعاب على هذه الطريقة أن ماء التبريد يعمل على انتشار الكائنات المسببة للعفن؛ ولذا يتعين أن يكون الماء المستعمل صالح للشرب وأن يعامل بالكلور للحد مما قد يتواجد فيه من كائنات مسببة للعفن (Thompson ٢٠٠٤).

وتتميز طريقة التبريد الأوّلى بالماء البارد بما يلى:

١- سرعة التبريد.

٢- تسمح بزيادة معدلات الحصاد حسب متطلبات الأسواق.

٣- تسمح بتداول كميات كبيرة من المنتج. كما يمكن تصميم وحدات صغيرة لتبريد الكميات المحدودة.

٤- تعتبر أقل طرق التبريد الأوّلى من حيث التكلفة الإنشائية.

ولكن توجد محددات لاتباع هذه الطريقة كما يلى:

١- لا تستعمل إلا مع المنتجات التى لا تكون حساسة للبلل؛ علمًا بأن كثيرًا من الأمراض تزداد سرعة انتشارها فى وجود الرطوبة الحرة.

٢- تكون غالبًا أقل كفاءة فى استهلاك الطاقة عن غيرها من طرق التبريد الأوّلى.

٣- توجد قيود على أنواع العبوات التى يمكن استعمالها مع التبريد الأوّلى بالماء البارد. وكذلك على طريقة تستيفها (Boyette وآخرون ١٩٩٢).

يمكن أن يحتوى ماء التبريد المثلج على كائنات دقيقة ضارة سواء أكان ضررها على المنتج أم على الإنسان. ويمكن التخلص من الأطوار الخضرية لتلك الكائنات بكلورة

الماء بتركيز ٥٥–٧٠ جزء فى المليون. ولكن الأطوار الجرثومية لهذه الكائنات تزداد صعوبة قتلها بمقدار ١٠ إلى ١٠٠٠ ضعف الأطوار الخضرية ولا يفيد الكلورين فى التخلص منها.

يمكن التوفير فى الطاقة عند استعمال وحدات التبريد بالماء المثلج بمراعاة ما يلى:

١– عزل كل الأسطح الباردة جيدًا وجعل وحدات التبريد بعيدة عن التعرض للرياح وأشعة الشمس.

٢– وضع ستائر بلاستيكية مدلاه عند مدخل ومخرج المبردات العادية للحد من اكتساب ماء التبريد للحرارة جراء تلامسه مع الهواء الخارجى الدافئ.

٣– تشغيل وحدات التبريد بأقصى قدرتها ودونما انقطاع لأن عدم مراعاة ذلك يزيد دون مبرر من استهلاك الطاقة.

٤– استعمال تانك مناسب الحجم لاستيعاب الماء فى وحدات الغمر، لأن الحجم الزائد يعنى فقدًا للطاقة التى استعملت فى تبريد الماء عندما يتم التخلص من الماء المستعمل فى نهاية الأمر.

توجد فى معظم وحدات التبريد بالماء البارد hydrocoolers مضخة تحرك الماء المثلج ليتلامس مع المنتج الدافئ. ثم يُجمع الماء ثانية ليعاد تبريده وضخه مرة أخرى. ويتم تبريد الماء بالاستعانة بمبردات عادية. هذا .. إلاّ أن بعض وحدات التبريد تعتمد على الثلج فى تبريد الماء، حيث يتم نقل كتل كبيرة من الثلج – قد يصل وزن الواحدة منها إلى ١٥٠ كجم – من مصانع الثلج إلى محطة التعبئة، حيث تُسحق وتضاف حسب الحاجة إلى تانك من الماء متصل بوحدة التبريد الأوّلى. وتعد هذه الطريقة فى التبريد أقل فى التكلفة الإنشائية وأنسب للاتباع عند محدودية كمية المنتج الذى يراد تبريده. أو قِصَر فترة موسم الحصاد، ولكن يتعين عند الاعتماد عليها التأكد من وجود مصدر للثلج موثوق فى استمراريته.

وأكثر أنواع العبوات استخدامًا عند استعمال الماء البارد فى التبريد الأوّلى هى الكراتين

المشمعة waxed fiberboard cartons. ويتعين أن توجد بتلك الكراتين فتحات بالقمة والقاع لكى تسمح بمرور الماء المثلج خلالها عندما ترتب فى بالتات.

إن من بين أنواع المبردات بالماء البارد hydrocoolers ما يلى:

١- المبردات التقليدية conventional hydrocoolers:

تسمح المبردات التقليدية للمنتج – سواء أكان فى كرتونات، أم فى الصحارات الكبيرة bins – بالمرور على سير متحرك تحت دش من الماء المثلج. ويكون تحرك المنتج – عادة – بسرعة حوالى ٣٠سم فى الدقيقة ولكن يمكن تعديل هذه السرعة. ويتحدد – عادة – موديل المبرد بطول سير التبريد. فيقال – مثلاً – أنه ١٠ أقدام؛ بمعنى أن المنتج يخضع للتبريد فيه لمسافة ١٠ أقدام على الرغم من أنه قد يكون بطول ٢٠ قدمًا. علمًا بأن الفارق بين الطولين يخصص لكل من التزود بالمنتج، وإخراجه. وكلما ازداد طول جزء السير الذى يحدث فيه التبريد كلما ازدادت كفاءة المبرد. وتوجد مبردات يصل فيها طول السير الذى يحدث فيه التبريد إلى ٥٠ قدمًا ويصل عرضه إلى ثمانى أقدام. هذا .. إلاّ إنه لا يكفى تحديد قدرة المبرد على التبريد بمجرد طول السير دون أن يؤخذ فى الاعتبار سرعته، وعرضه. وحرارة ماء التبريد، ومعدل تدفقه، ومدى الانخفاض المطلوب فى حرارة المنتج. ويتدفق الماء المثلج على السير المتحرك – عادة – بمعدل ٢٠ جالون (٧٥,٧ لتر) فى الدقيقة لكل قدم^{٢} (٠,٠٩٢٩م^{٢}) من مساحة التبريد بالسير. فمثلاً إذا كان السير الذى يحدث فيه التبريد بطول ٢٠ قدم (٦,٠٩٦م) وبعرض ٤ أقدام (١,٢٢م) أى بمساحة ٨٠ قدم مربع (٧,٤٣م^{٢}) فإنه يحتاج إلى ضخ الماء المثلج بمعدل ١٦٠٠ جالون (٦٠٥٦ لتر) فى الدقيقة. ونظرًا لضخامة هذه الوحدات فإنه يتعين وجود منتَج كافٍ لتشغيلها بكفاءة لفترات طويلة من العام.

٢- مبردات الوحدات batch hydrocoolers:

تحتوى مبردات الوحدات على مكان مغلق تبرد فيه كمية من المنتج وهى فى بالتات. تُحمل تلك البالتات باستعمال رافعة شوكية حيث يغلق مكان التبريد بعد ذلك ليتدفق عليه كميات كبيرة من الماء المثلج. حيث تجمع من أسفل ويعاد تبريدها واستعمالها.

وغالبًا .. لا يمكن لهذا النوع من المبردات تبريد أكثر من بالتة واحدة فى وقت واحد، ولكن يمكن تصميم وحدات يمكنها تبريد حتى ثمانى بالتات فى المرة الواحدة. وعمومًا فهذه المبردات أقل تكلفة وتناسب صغار المزارعين.

ومن أهم عيوب المبردات العادية ومبردات الوحدات عدم تجانس عملية التبريد نظرًا لعدم تجانس توزيع الماء المثلج أثناء مروره على المنتج؛ مما يتسبب فى ضعف التبريد فى أجزاء منه. وللتغلب على هذه المشكلة تزود بعض مبردات الوحدات بمروحة عالية القدرة على جذب رذاذ دقيق من الماء المثلج خلال العبوات، علمًا بأن جذب المراوح للماء يكون بطريقة أكثر تجانسًا عما يحدث بتأثير الجاذبية وحدها. وتعرف هذه الوحدات باسم hydro-air cooling.

٣- مبردات الغمر immersion hydrocoolers:

تكون مبردات الغمر كبيرة وغير عميقة، ومستطيلة تسمح باستيعاب ماء بارد متحرك. توضع عبوات المنتَج الدافئ فى أحد نهايتى حوض التبريد وتتحرك بسير متحرك مغمور فى الماء إلى النهاية الأخرى، حيث ترفع. ويمكن الاستفادة بثلج مسحوق للمحافظة على برودة الماء، وبمضخة للمحافظة على حركة الماء. وتتحدد مدة بقاء المنتج فى الماء بحرارته الابتدائية ومقدار الخفض المطلوب فى حرارته.

وتزيد كفاءة هذا المبرد بمقدار الضعف عن كفاءة تبريد النوعين الآخرين، بسبب ملامسة الماء البارد التامة لكل منتج (Boyette وآخرون ١٩٩٢).

التبريد الأوَّلى بطريقة السريان الجبرى للهواء

يتشابه التبريد بطريقة السريان أو الدفع الجبرى للهواء Forced Air Cooling مع الطريقة الأولى من حيث إجرائها على الخضر المعبأة والموضوعة فى غرف ثابتة، وتختلف عنها فى أن الهواء يتم توجيهه فى مسارات محددة يتخلل خلالها العبوات التى يتم رصها بطريقة معينة (شكل ٨-٤). وهى تعطى تبريدًا سريعًا جدًّا. بالمقارنة بالطريقة الأولى.