الباب السابع عشر

الخل : تعريفه ، أنواعه ، الخامات الزراعية ، الفوائد الصحية ، التخمر الكحولى ، التخمر الخليكى ، تحضير السائل الكحولى ، تقدير الكحول ، الطريقة البطيئة لتحضير الخل ، الطريقة السريعة لتحضير الخل ، الفقد أثناء التخمر الخليكى ، التعتيق ، الترويق ، البسترة ، المتاعب الصناعية ، تعديل تركيز حامض الخليك بالخل .

تعريف :

الخل هو محلول حامض الخليك ويحضر من خامات زراعية سكرية ونشوية عديدة بعد تخميرها كحولياً وخليكياً .

أنواع الخل :

١ ــ خل العنب (خل النبيذ) : ويحضر من عصير العنب أو العنب الجاف (الزبيب) أو النبيذ ، وتحتوى كل مائة سنتيمتر مكعب منه فى درجة ٢٠° مئوية على ٤ جرام حامض خليك على الأقل وجرام واحد من مركبات العنب الصلبة و٠,١٣ جرام من الرماد .

٢ ــ خل السيدر : ويحضر من عصير التفاح أو عصيره المتخمر (السيدر) ، وتحتوى كل مائة سنتيمتر مكعب منه على ٤ جرام على الأقل من حامض الخليك و١,٦ جرام على الأقل من مكونات التفاح الصلبة (نصفها سكريات محولة) .

٣ ــ الخل المقطر (خل الكحول) : ويحضر من الحبوب النشوية المتخمرة (كحولياً وخليكياً) ومن الدبس (العسل الأسود الناتج من صناعة السكر) وتحتوى كل مائة سنتيمتر مكعب منه على ٤ جرام من حامض الخليك على الأقل .

ويختلف هذا النوع عن الخل المحضر عن تقطير الخشب أو أية مادة سليلوزية أخرى ، إذ يحتوى الأخير على حامض خليك ناتج عن أكسدة كحول الميثيل عوضاً عن كحول الايثيل (الذى لا يتيسر تحضيره إلا بتخمير المواد النشوية والسكرية) ويسوق الخل المقطر دون أن يلون أو بعد تلوينه بالسكر المتكرمل أو المحترق ، كما قد تضاف اليه خلاصة حبوب الشمر أو الكراوية أو ماشابهها لاكسابه نكهة مقبولة ، وقد تلون بعض أصنافه بلون أحمر وتنحصر

طرق غشه التجارى فى مزجه بقدر مناسب من حامض الكبريتيك ، كذلك قد تحضر أنواع منه بتخفيف حامض الخليك المقطر من الخشب بالماء بواقع ٩٦ سنتيمتر مكعب لكل أربعة سنتيمترات مكعبة من الحامض . ويتركب حامض الخليك التجارى (المقطر من الخشب) من ١٠ ٪ حامض خليك و١,٥ ٪ كحول ميثيل و½ ٪ أسيتون و٨٧,٥ ٪ ماء ومواد أخرى أهمها حامض البيروليجنيوس (Pyroligneous) السام ، ولذلك تحظر التشريعات الغذائية فى كثير من البلدان استعماله فى تحضير الخل .

الخامات الزراعية :

يحضر الخل من مواد زراعية أولية عديدة أهمها : عصير العنب ، وقصب السكر ، والبنجر والبطيخ ، والعسل الأسود ، وعسل النحل ، كذلك يمكن تحضيره من الثمار التالفة المتساقطة تحت الأشجار ، أو المصابة بآفات التى لا يتيسر تصريفها بالأسواق ، وتحتوى مثل هذه الثمار على مقدار مناسب من السكريات التى يسهل تخميرها إلى سوائل كحولية ثم إلى خل ، وفضلا عن ذلك يمكن تحضيره من المواد النشوية كالذرة والبطاطس والقمح بعد تحليل النشاء إلى سكر بانزيم الدايستاز .

الفوائد الصحية : وتتلخص فيما يلى :

١ — تنظيم الاحتياطى القلوى للجسم ، وينصح أحياناً باستعماله عند انخفاض حموضة العصارات عن حدها الطبيعى .

٢ — تنبيه الشهية ، وتنشيط العصارات اللعابية والمعدية .

٣ — تنشيط عمليات الهضم ، وتأثيره المساعد فى تمثيل الصموغ وبعض البروتينات .

٤ — تأكسده بالجسم الى ماء وغاز ثانى أكسيد الكربون ، ويتماثل فى ذلك مع الدهون والكربو ايدرات .

استعمالاته : يستخدم الخل كمادة غذائية متبلة ، وفى التخليل ، وفى صناعة بعض منتجات الطماطم الحريفة ويحضر منه تجارياً الاسيتون ، كما يستعمل فى بعض الصناعات الكيمائية .

التخمر الكحولى :

ويقصد به تحويل السكريات إلى كحول إيثيل ، وتستخدم فى ذلك مزارع بكتريولوجية نقية من خمائر حقيقية أهمها خميرة النبيذ (Saccharomyces ellipsoideus) وخميرة البيرة

(S. cerevisiae)، وتحتوى هذه الخمائر على أنزيمين مهمين، وهما الانفرتاز الذى يحلل السكريات الثنائية إلى سكريات أحادية والالكحوليز (الزيماز) الذى يحلل السكريات الأخيرة إلى كحول ايثيل وغاز ثانى أكسيد الكربون تبعاً للمعادلتين الآتيتين :

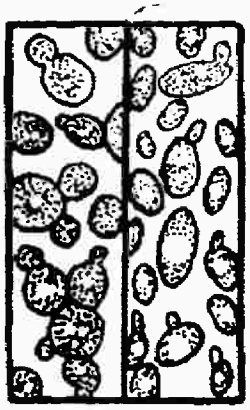
١ — $ك_{١٢}يد_{٢٢}ا_{١١} + يد_٢ا$ انفرتاز ← $ك_٦يد_{١٢}ا_٦ + ك_٦يد_{١٢}ا_٦$

سكر ثنائى ماء جلوكوز فركتوز

٢ — $٢ك_٦يد_{١٢}ا_٦$ الكحوليز ← $٤ك_٢يد_٥ا يد + ٤ك ا_٢$

سكر أحادى كحول ايثيل ثانى أكسيد الكربون

ويتضح مما تقدم أن كل ٣٤٢ جزء من سكر ثنائى تنتج ٣٦٠ جزء من سكر أحادى وأن المقدار الأخير يعطى ١٨٤ جزءاً بالوزن من كحول الايثيل، بمعنى أن كل ١٠٠ جزء من سكر الجلوكوز (المكافئة لمقدار قدره ٩٥ جزء من سكر القصب) تعطى ٥١,١ جزء من الكحول، غير أنه لا يتيسر عملياً الحصول على وزن من الكحول يزيد عن ٤٥ — ٤٧ جزء من كل ١٠٠ جزء من السكر الأحادى لاستهلاك الخمائر (وما قد يوجد معها من الأحياء الدقيقة الأخرى) لجزء منه أثناء قيامها بوظائفها الحيوية المختلفة.



١ ٢

١ — خميرة النبيذ
٢ — خميرة البيرة

ويقتصر فى هذه الصناعة على استعمال خميرة النبيذ، وتوجد لها سلالات عديدة ويختلف شكل خلاياها باختلاف سلالاتها، وتشمل الكروى المستدير والعصوى الطويل السميك وأشكال أخرى غير منتظمة، وهى خمائر قاعية وتخمر الجلوكوز والفركتوز والسكروز دون اللاكتوز، وطولها ثمانى ميكرونات وعرضها سبع، وتتجرثم عادة عند ارتفاع الحرارة الى درجة ٤٠° — ٤١° مئوية أو عند انخفاضها الى ٥,٠° مئوية، وتكون الخلية الواحدة ٢ — ٣ جراثيم، ويبلغ قطر الجرثومة الواحدة غالباً ٣ — ٤ ميكرون.

وتبلغ درجة الحرارة المناسبة لمعظم الخمائر ٨٠° فرنهيتية (٢٧° مئوية تقريبا).

وتوجد الخميرة عادة على سطح ثمار العنب (وفى هواء مزارعها) مختلطة بالخمائر الكاذبة، ويتميز عصير العنب عند تركه عدة أيام بعد تحضيره ببطء تخمره، أى على حالة غير نشطة لتلوثه بالخمائر الكاذبة، ولذلك تستعمل دائماً بادئات (Starters) تتكون من مزارع نقية نشطة من خميرة النبيذ حتى يتم تخمر المحاليل السكرية فى وقت مناسب بدون أن تفقد مقداراً من الكحول المتكون (يؤدى تكاثر الخمائر الكاذبة بالعصير المتخمر الى أكسدة الكحول).

ويتم التخمر الكحولى فى طورين، يتميز الأول منهما بشدة التخمر ويتحول فيه الوزن

الكامل تقريباً للسكريات إلى كحول وغاز ثانى أكسيد الكربون على حالة سريعة نشطة يستحيل بها نمو وتكاثر الأحياء الأخرى غير المرغوبة ، وتتراوح طول مدة هذا الطور النشط بين ٣ — ٦ أيام ، ويبدأ بعد ذلك الطور الثانى ، ويتميز ببطئه الشديد ويتراوح طول مدته بين ٢ — ٣ أسابيع ، ويتعرض السائل المتخمر (تبعاً لهذا البطء) إلى فعل كثير من الأحياء الدقيقة كبكتريا حامضى الخليك واللاكتيك وكذلك الميكودرما ، ويراعى عند اشتداد بطء التخمر فى هذه الحالة إضافة قدر من حامض الخليك لايزيد عن ٠,٥ ٪ من مجموع حجم السائل المتخمر . وعلى العموم يجب أن يتميز المحلول المتخمر بعد انتهاء طورى التخمر بخلوه التام من جميع السكريات الصالحة للتخمر بهذه الخميرة .

ثم تخزن المحاليل الكحولية الناتجة أسابيع قليلة حتى يتم رسوب الخمائر والمواد الصلبة ، وتنحصر طرق التخزين فى تعبئتها داخل أحواض خشبية وملئها حتى نهاياتها ثم قفلها باحكام شديد لعزلها عن الهواء الجوى منعاً لنمو الميكودرما على سطحها ، وقد تخزن فى أحواض مفتوحة (غير مغطاة) ويراعى فى هذه الحالة إضافة مقدار من حامض الخليك بواقع ١ ٪ بالحجم أو إضافة قدر مناسب من زيت معدنى متعادل (كالبرافين) فوق سطحها حتى تتكون طبقة عازلة غير سميكة (عمقها نحواً من ٥ — ١٠ ملليمترات) تمنع نمو الميكودرما وكذا التبخر .

التخمر الخليكى :

ويقصد به تحويل كحول المحاليل المتخمرة إلى حامض خليك (استيك) ، ويتوقف على أكسدة الكحول الى اسيتالديهيد ثم الى حامض خليك بانزيم الأكسيداز الموجود بالأنواع المختلفة لبكتريا حامض الخليك ، وذلك فى وجود الهواء تبعاً للمعادلتين الآتيتين :

(١) ٢ ك$_{٢}$ بد$_{٥}$ ا د + ا$_{٢}$ + أكسيداز البكتريا ← ٢ ك بد$_{٣}$ ك بد ا + ٢ بد$_{٢}$ ا

كحول الايثيل — اكسيجين — اسيتالديهيد — ماء

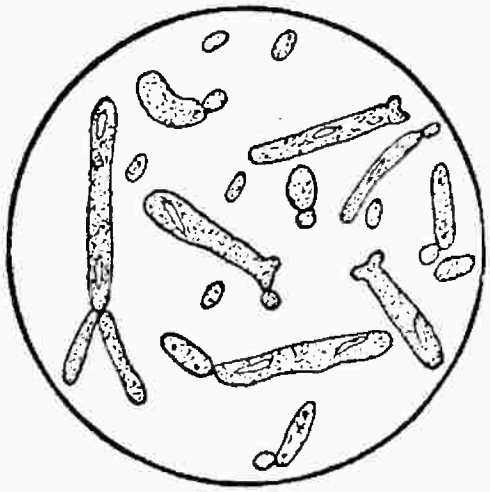
(٢) ٢ ك بد$_{٣}$ ك بد ا + ا$_{٢}$ + اكسيداز البكتريا ← ٢ ك بد$_{٣}$ ك ا ا د

اسيتالديهيد — اكسيجين — حامض خليك

ويتضح مما تقدم أن كل ٩٢ جزء من الكحول تنتج ١٢٠ جزء بالوزن من حامض الخليك ، وعلى ذلك ينتج كل ١٠٠ جزء من السكر الأحادى ٥١,١ جزء من كحول الايثيل ثم ٦٦,٦٥ جزء من حامض الخليك ، ولما كان المقدار الحقيقى من الكحول الذى يمكن إنتاجه عملياً من كل ١٠٠ جزء من السكر الأحادى هو ٤٥ — ٤٧ جزء فقط ، فان وزن حامض الخليك الذى يمكن إنتاجه بالتالى عملياً من كل ١٠٠ جزء من السكر الأحادى يتراوح فقط بين ٥٠ — ٥٥ جزء

(تبعا للفقد فى الحامض) ، وعلى ذلك يكفى عند تحضير الخل تجاريا استعمال محاليل سكرية ذات درجات من التركيز مضاعفة لدرجات تركيز حامض الخليك فى الخل الناتج ، بمعنى أن المحلول السكرى الذى يحتوى على ١٠ ٪ من سكر أحادى (أو ٩,٥ ٪ من سكر ثنائى) ينتج خلا يحتوى على ٥ ٪ حامض خليك تقريبا . والذى يحتوى على ٨ ٪ من سكر أحادى (أو ٧,٦ ٪ من سكر ثنائى) ينتج خلا يحتوى على ٤ ٪ حامض خليك تقريبا .

ولقد عرف التخمر الخليكى منذ أمد طويل لا يمكن تحديده ، غير أن تفاصيله المتعلقة بالأكسدة لم تعرف إلا خلال القرن التاسع عشر ، فأطلق برسون (Persoon) فى عام ١٨٢٢ كلمة ميكودرما (أى الغشاء المخاطى) على الغشاء المتكون فوق سطح النبيذ والجعة عند تعرضها للهواء الجوى . ثم شرح برزيليوس (Berzelius) فى عام ١٨٢٩ عمل غشاء أم الخل كعامل كيمائى مساعد ، ثم تمكن كوتزنج (Kützing) فى عام ١٨٣٧ من وصف الخلايا الدقيقة المرتبة فى سلاسل الموجودة بالغشاء المتقدم وعرفها كطحالب وسماها (Uvula aceti) ، ثم شرح ليبج (Liebig) فى عام ١٨٣٩ نظرية تأكسد الكحول إلى حامض خليك ، ثم وضع باستور فى عام ١٨٦٨ الاسم (Mycoderma aceti) للدلالة على الغشاء المؤدى لحموضة النبيذ ، والاسم (Mycoderma vini) للدلالة على الغشاء المتكون فوق سطح عصير العنب المتخمر ، وأن الأول يتطفل على الثانى حيث يقتصر نموه على المحاليل الكحولية بعد انتهاء تخمرها ، وعارض رأى ستاك (Stack) (عام ١٨٦٣) القائل بعلاقة تلك الأحياء بالبكتريا .

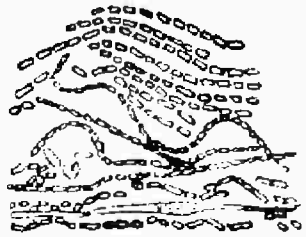


Mycodérma vini

ولقد بطل علميا استعمال كلمة الميكودرما للدلالة على بكتريا حامض الخليك منذ عام ١٨٧٨ عند ما تمكن هانسن (Hansen) من إثبات عدم علاقة الميكودرما (الخميرة الكاذبة) ببكتريا حامض الخليك ، على أساس أن الأولى خمائر كاذبة والثانية بكتريا ، وتمكن من فصل ثلاث سلالات متنوعة لهذه البكتريا عرفها بالأسماء الآتية : (Bacterium aceti) و(Bacterium Pasteurianum) و (Bacterium Kützingianum) وأن كلا منها تختلف عن الأخرى فى الشكل المورفولوجى والنمو ، ولا تزال حتى الوقت الحاضر تطلق كلمة الميكودرما فى بعض مصانع الخل بدلا عن البكتريا وهو تعريف خطأ ، وتنحصر الأنواع الرئيسية لبكتريا حامض الخليك فيما يأتى :

١ — Bacterium aceti (Hansen) : وهى بكتريا عصوية الشكل يتراوح طولها بين ميكرون واحد وميكرونين ، وتميل للضيق النوعى فى منتصفها ، وترقد فى صفوف متوازية مكونة اسلاسل (Chains) فى الغشاء المخاطى المعروف بأم الخل (Mother of Vinegar) الذى يتميز بنعومة ملمسه وميوعته وتمزقه ، ويتكون عادة فوق سطح المحاليل المتخمرة (وفى الخل البكر غير المعقم) بعد انقضاء يوم عليها من حين تعرضها للهواء الجوى فى درجة قدرها ٣٤° مئوية ، وتكون البكتريا عند إنمائها فى بيئات الجيلاتين مجموعات محدبة الشطح شمعية اللون ذات حواف غير مفصصة كما قد تكون مجموعات تجمية الشكل .

٢ — Bacterium Pasteurianum (Hansen) : وهى بكتريا أكبر حجما عن النوع الأولى وشكلها خيطى وترتيب خلاياها أيضاً فى سلاسل على حالة صفوف متوازية ، وتكون عند إنمائها فى بيئات الجيلاتين مجموعات أصغر حجما عما تكونه السابقة ، ويتلون غلاف خلاياها الجيلاتينى بالزرقة عند صبغه بمحلول اليود بخلاف الأولى التى لا تتلون .



Bacterium Pasteurianum (Hansen)

Bacterium aceti (Hansen)

٣ — Bacterium Kützingianum (Hansen) : وخلاياها تشبه خلايا النوع الأول ، وتختلف عنها فى وجودها على حالة منفردة أو زوجية أى غير مرتبة فى سلاسل ، ولا يختلف غشاؤها المخاطى عن مثيله للنوع الأول إلا فى تسلقه لجدران الأوانى المعبأة بالخل ، ويتلون غلاف خلاياها الجيلاتينى بالزرقة عند صبغه بمحلول اليود .

Bacterium Kützingianum (Hansen)

٤ — Bacterium xylinum (Brown) : وتكون خلاياها غشاء سليلوزيا سميكا خشناً ، ويتلون غلاف خلاياها الجيلاتينى بالزرقة عند معاملته بحامض الكبريتيك وصبغه بمحلول

اليود ، وتتميز هذه البكتريا بأكسدتها لكحول البروبيل إلى حامض بروبيونيك دون كحولى الميثيل والأميل وتماثل فى هذه الخاصية النوع الأول .

٥ — Bacterium industrium (Henneberg) : وشكلها عصوى يتراوح طولها بين ٢,٤ — ٢٠ ميكرون ، وعرضها بين ٠,٣ — ٠,٨ ميكرون ، وتبلغ درجة الحرارة المثلى لنموها ٢٥° مئوية .

٦ — Bacillus oxydans (Henneberg) : وشكلها عصوى يتراوح طولها بين ٢,٤ — ٢,٧ ميكرون ، وعرضها بين ٠,٨ — ١ ميكرون ، وتكون غشاء مخاطيا رقيقاً يتلون بالزرقة عند صبغه بمحلول اليود .

٧ — Bacillus acetigenus (Henneberg) : وتستخدم فى ألمانيا فى صناعة الخل ، وتتميز عن الأنواع الأخرى بتكوينها لغلاف ناعم يتكون من السليلوز ، ويتلون بالزرقة عند صبغه بمحلول اليود .

٨ — Bacillus Orleanensis (Henneberg) : وتتميز بسرعة أكسدتها للكحول ، وتكون غلافا خشنا للغاية يصقل سطحه عند ما يقدم عهده ، والباسيلوس خلايا عصوية صغيرة يتراوح طولها بين ١,٥ — ٢,٥ ميكرون ، وعرضها بين ٠,٤ — ٠,٥ ميكرون ، ثم يزداد طولها حتى يصبح خيطى الشكل ، وتتراوح درجة الحرارة المثلى لنموها بين ٢٠° — ٢٥° مئوية ، ويمتنع نموها فى درجة ٨° مئوية وكذا ٣٩° مئوية ، ولا يتلون غلافها بمحلول اليود .

٩ — Bacillus Schützenbachii (Henneberg) : وتكون خلايا عصوية مستطيلة أو بيضاوية منفردة أو فى سلاسل ، ويتراوح طولها بين ١,٦ — ٢,٤ ميكرون ، وعرضها بين ٠,٣ — ٠,٤ ميكرون ، ولا يتلون غلافها بمحلول اليود .

١٠ — Bacillus vini acetati (Henneberg) : وتكون غلافا غير صلب ويؤدى نموها إلى تعكر السائل فى مبدأ الأمر ، ويتراوح طولها بين ١ — ٢ ميكرون ، وعرضها ٠,٤ ميكرون ، وتنمو فى درجة تتراوح بين ١٥ — ٣٦° مئوية ، ويمتنع نموها فى درجة ٨° مئوية .

وأهم العوامل الرئيسية المتعلقة بنمو الأنواع المختلفة لبكتريا حامض الخليك هى :

١ — الأكسيجين : وهو عامل مهم نظراً لعدم نمو هذه البكتريا إلا فى وجود الهواء حتى تقوم بأكسدة الكحول ويتحد كل سنتيمتر مكعب واحد منها مع ١,٣ جرام من غاز الأكسجين .

٢ — درجة الحرارة : وتبلغ فى المتوسط ٣٠° مئوية وتتراوح درجات الحد الأدنى بين

٤° — ٧ مئوية فى حين تبلغ درجة الحرارة القصوى ٤° مئوية ، (عادة بين ٢٥ — ٣٣° مئوية).

٣ — تركيز الكحول بالمحاليل المتخمرة : يمتنع عادة نمو وتكاثر هذه البكتريا عند ارتفاع تركيز الكحول فى المحاليل الكحولية عن ١٤ ٪ ، وفى هذه الحالة يشتد بطء التخمر الخليكى وقد لا يتكون غشاء أم الخل ، كما لا يتم تأكسد الكحول وتتكون الديهيدات غير كاملة ومواد أخرى مهيجه للاغشية المخاطية المبطنة للقناة الهضمية .

وتحتفظ البكتريا بنشاطها عند مالا يزيد تركيز الكحول عن ١٤ ٪ وتتكون بعض الأثيرات مع حامض الخليك ، ويزداد تكون الأثيرات عند بطء التخمر الخليكى . وكذا عند انخفاض تركيز الكحول الى مقدار يتراوح بين ١ — ٢ ٪ (لتأكسد الجزء الآخر من الكحول الى حامض خليك) ، وتقوم البكتريا فى هذه الحالة بتحليل الأثيرات ، كما قد تحلل فى النهاية حامض الخليك المتكون الى ماء وغاز ثانى أكسيد الكربون تبعا للمعادلة الآتية:

ك هـ م ك ا ا هـ + ١٤ ا ← ٢ ك ا ٢ + ٢ هـ ٢ ا

حامض خليك — أكسجين نشوء — ثانى أكسيد الكربون — ماء

ولتلافى هذه الحالة ، يضاف قدر مناسب من محلول كحولى جديد الى المحلول المتخمر خليكياً ، غير أن مصانع الخل توقف عادة عملية التخمر عند ما ينخفض تركيز الكحول بالمحلول المستعمل الى ١ — ٢ ٪ .

٤ — تركيز حامض الخليك بالخل : يمتنع نمو البكتريا عند ارتفاع تركيز حامض الخليك بالمحلول المتخمر خليكياً عن ١٠ — ١٢ ٪

٥ — القوة الحيوية للبكتريا : يقتصر على استخدام البكتريا النشطة الفعالة ، وتتوقف قوتها الحيوية على مقدار الرطوبة بالبيئة وتركيز الكحول ودرجة الحرارة والهواء الجوى ، وعلى العموم تحتفظ هذه البكتريا بقوتها الحيوية لمدة طويلة قد تصل عشر سنوات فى المحاليل الغنية بالعناصر الغذائية التى تتطلبها البكتريا ، ولمدة ثلاثة شهور فى درجات الحرارة العادية فى البيئات الجافة واثنى عشر فى درجة ٢° مئوية فى البيئات الجافة أيضاً .

تحضير السائل الكحولى :

تهرس الثمار العصيرية ثم تعصر ، وتقطع الثمار اللحمية الصلبة كالبلح بعد فصل النوى ، ثم تغطى بقدر مناسب من الماء وتغلى نصف ساعة ثم تصفى ، ويقدر السكر بالمحلول ويخفف بالماء حتى الحد المطلوب ، كما قد يضاف اليه مقدار من أحد السكريات الرخيصة وخصوصاً عند تحضير الخل من ثمار لم يكتمل تكونها .

وتحضر المحاليل السكرية من المنتجات النشوية كالبطاطس بتحليلها مائيا بأنزيم الديستاز أو بأحد الأحماض المعدنية المخففة . وتتلخص العملية الأولى فى طبخ الثمار المهروسة بالحرارة المرتفعة تحت ضغط جوى مرتفع أو بالماء فى درجة الغليان أو بالبخار الحى ثم تبريد العجينة المتكونة الى درجة ٦٠° مئوية وخلطها بطحين المولت بواقع ٢ — ٥ ٪ ومزجها جيداً فيتم تحول النشاء الى سكر ملتوز ثم يخفف بالماء حتى درجة التركيز المطلوبة.

ويجب تحضير بادىء (أى محلول متخمر يحتوى على خميرة نبيذ نشطة) قبل إعداد المحلول السكرى ، ويستخدم البادىء بواقع عشر حجم المحلول ، بمعنى أن يضاف خمسون لتراً من بادىء حديث التحضير (٣ — ٤ أيام) الى كل ٥٠٠ لتراً من المحلول السكرى أو عصير الفاكهة ، ثم يترك المخلوط ليتخمر لمدة ٣ — ٥ أيام ويضاف الى ٥٥٠٠ لتراً من المحلول أو العصير وهكذا ، ويراعى تغيير الخميرة المستخدمة عند تلوثها بخمائر كاذبة أخرى غير مرغوبة أثناء العمل عند استعمال ثمار فاسدة من الفاكهة .

أحواض التخمير

ونظراً للتأثير المثبط لغاز ثانى أكسيد الكربون على التخمر الكحولى ، فانه يجب تهوية السائل المتخمر من وقت لآخر وتقليبه جيداً لطرد الغاز المتكون . فاذا اشتد بطء التخمر فانه يجب نقل السائل إلى أحواض أخرى وبذلك تتسنى تهويته وطرد أكبر قدر من الغازات المتكونة به . كذلك يجب خفض درجة حرارة المحلول المتخمر عند ارتفاعها عن ٨٠° فرنهيتية (٢٧° مئوية) ، ويرجع هذا الارتفاع الحرارى الى تحلل السكريات الكحول ، ويولد الجرام الواحد من سكر الجلوكوز ١٢٠ سعراً صغيراً ، كما يؤدى انحلال الجرام الواحد منه الى رفع درجة حرارة ١٠٠ سنتيمتر مكعب من المحلول ١,٢ ° مئوية (أى ٢,١٦ ° فرنهيتية) . ويمتنع التخمر تماما عند ارتفاع الحرارة الى ٣٥ — ٤٠,٥ °مئوية ، وينشط هذا الارتفاع نمو بكتريا حامض الخليك قبل اكتمال تخمر السكريات ، ويتم التبريد صناعيا بامرار المحلول المتخمر داخل أنابيب حازونية مزدوجة الجدران تعد الداخلية لمروره والخارجية لمرور ماء بارد ، ويراعى كذلك رفع درجة حرارة الجو الداخلى لحجرات التخمر الكحولى عند

انخفاضها عن ٢٥° — ٣٣° مئوية ، ويستخدم فى ذلك البخار الساخن المار خلال أنابيب للتسخين تقام فى مواضع مناسبة بالحجرات المذكورة .

ويجب تنظيف أحواض التخمر الكحولى جيداً قبل البدء بالعمل للتخلص من جميع أنواع بكتريا حامض الخليك وحامض اللاكتيك والخمائر غير المرغوبه والفطريات ، ويستخدم فى غسيلها محلول مخفف من الصودا الكاوية (قوة ١ ٪) ثم تبخيرها بغاز ثانى أكسيد الكبريت ، كذلك تفضل معاملة جميع الأجهزة المعدة لهرس الفاكهة وعصرها ونقل عصيرها وخلافها بنفس المعاملة السابقة ، وقد يفضل أحيانا إضافة ٦ — ٨ أوقيات من ميتابيسلفيت البوتاسيوم أو ٣ — ٤ أوقيات سائلة من ثانى أكسيد الكبريت للطن الواحد من الثمار المهروسة أو لكل ٩٠٠٠ لتر من المحلول المعد للتخمر ، وقد أثبت (Cruess, Zion and Sefredi) فى عام ١٩١٥ تأثير هذه المعاملة على التخمر وتثبيط ثانى أكسيد الكبريت نمو الأحياء غير المرغوبة وتنشيط التخمر بالتالى .

تقدير الكحول بالسوائل المتخمرة :

يقدر الكحول بالمحاليل الكحولية بواسطة الوزن أو الحجم أو دليل الكحول (Proof Spirit) فمثلا إذا مزج خمسون لتراً من الكحول المطلق بخمسين لتراً من الماء المقطر فان المحلول الكحولى الناتج يحتوى على ٥٠ ٪ من الكحول تقريبا حجما ، وإذا مزج خمسون رطلا من الكحول المطلق بخمسين رطلا من الماء المقطر فان المحلول الكحولى الناتج يحتوى على ٥٠ ٪ من الكحول تقريبا وزنا .

ويعرف دليل الكحول على وجه التقريب بكونه نصف درجة التركيز المئوية للكحول فى محلول كحولى ما مقدراً على أساس الحجم ، ويمكن تعريفه على وجه أدق بأن المحلول الكحولى النموذجى (Proof) هو ماكان بزن $\frac{12}{13}$ من حجم مساو له من الماء ، ويتركب هذا المزيج وزنا من ٤٩,٢٨ جزئيا بالوزن من كحول الايثيل (الذى تبلغ كثافته ٠,٧٩٣٨١) + ٥٠,٧٢ جزيئا بالوزن من الماء المقطر ، ويتركب المحلول الكحولى النموذجى حجما من ٥٧,١٠ جزيئا بالحجم من كحول الايثيل + ٦٤,٦٨ جزيئا بالحجم من الماء المقطر ، وأنه رغما عن أن مجموع هذين الرقمين يزيد فى قيمته عن الرقم ١٠٠ إلا أن مجموع أحجامها تكون فى الواقع مائة جزء بالحجم على وجه الدقة ، ويرجع سبب هذا الاختلاف فى القيمتين الى انتشار جزيئات الكحول فى المسافات البينية لجزيئات الماء .

وتوجد عدة طرق لتقدير النسبة المئوية للكحول فى السوائل المتخمرة والكحولية ويتطلب بعضها استعمال الدقة المتناهية عند التقدير ووقت طويل كطريقة تقدير الوزن النوعى بقنينة الكثافة أو بالريفراكتومتر أو بطرق كيمائية مستفيضة كأكسدة الكحول إلى حامض خليك ثم تقدير الحموضة بالمحلول الحمضى المتكون ، فى حين يتميز البعض الآخر بالبساطة وسهولة الاستعمال وسرعة العمل مما قد لا يتطلب أكثر من عشر دقائق لتقـــدير تركيز الكحول بالمحاليل المختبرة .

وتنقسم الطرق المهمة المستخدمة لتقدير الكحول بالمحاليل الكحولية إلى قسمين كالآتى :

١ — استخدام الايدرومترات وأهمها ايدرومتر ترالز (Tralles) ،ويشبه الايدرومترات المستخدمة لتقدير السكر أو الملح فى المحاليل السكرية أو الملحية .

٢ — استخدام جهاز لونج (Joseph Long'S alcoholometer) أو أى جهاز آخر مماثل له .

أولا — ايدرومتر ترالز : وتدل قراءته على عدد الأجزاء من الكحول المطلق الموجودة بالسائل المختبر وذلك على أساس الحجم ، ولما كان تركيز المحاليل يتوقف الى حد كبير على درجة حرارة الجو فان استخدام هذا الايدرومتر يتطلب ، للحصول على نتائج حقيقية اختبار المحاليل الكحولية فى درجة قدرها ١٥,٦° مئوية (٦٠° فهرنهيتية) مع تصحيح قيمة القراءة عند اختلاف درجات الحرارة عن الدرجة السابقة ، بمعنى أنه يتأتى إضافة رقم تصحيح إلى قيمة القراءة المستخرجة لمحلول كحولى فى درجة تقل عن الدرجة السابقة ، وأن يطرح رقم التصحيح المناسب من قيمة القراءة المستخرجة لمحلول كحولى فى درجة تزيد عن الدرجة السابقة .

ويبين الجدولان الآتيان أرقام التصحيح التى يجب إضافتها أو طرحها من قراءات المحاليل الكحولية المختبرة للحصول على درجة التركيز الحقيقية فى درجة قدرها ٦٠° فرنهيتية ، ويبين العمود (ا) تركيز الكحول بالمحاليل الكحولية مبينة على أساس النسبة المئوية بالحجم ويبين العمود (ب) فى الجدول الأول درجات الحرارة الفرنهيتية اللازم إضافتها ، وفى الجدول الثانى درجات الحرارة الفرنهيتية اللازم طرحها إلى أو من النسبة المئوية المتحصل عليها فى درجة تقل عن ٦٠° فرنهيتية أو تزيد عنها .

ويبين الجدول الآتى قيمة التصحيح لتركيز المحاليل الكحولية عند انخفاض حرارتها عن ٦٠° فرنهيتية :

ا	ب	ا	ب	ا	ب
٢١	٥,٤	٥٧ — ٦٢	٥,٤	٨٩	٧,٤٢٥
٢٢	٥,١٧٥	٦٣ — ٦٧	٥,٦٢٥	٩٠	٧,٦٥
٢٣	٤,٧٢٥	٦٨ — ٧٣	٥,٨٥	٩١	٧,٥٧٥
٢٤ — ٢٧	٤,٥	٧٤ — ٧٧	٦,٠٧٥	٩٢	٨,١
٢٨ — ٣٤	٤,٢٧٥	٧٨ — ٨٠	٦,٣	٩٣	٨,٣٢٥
٣٥ — ٤٠	٤,٥	٨١ — ٨٢	٦,٥٢٥	٩٤	٨,٧٧٥
٤١ — ٤٤	٤,٧٢٥	٨٣ — ٨٦	٦,٧٥	٩٥	٩
٤٥ — ٤٩	٤,٩٥	٨٧	٦,٩٧٥	٩٦	٩,٤٥
٥٠ — ٥٦	٥,١٧٥	٨٨	٧,٢	٩٧	١٠,١٢٥

ويبين الجدول الآتى قيمة التصحيح لتركيز المحاليل الكحولية عند ارتفاع حرارتها عن ٦٠° فرنهيتية :

ا	ب	ا	ب	ا	ب
٢١	٥,٨٥	٥٣ — ٥٥	٤,٩٥	٨٩	٦,٧٥
٢٢	٥,٦٢٥	٥٦ — ٦٥	٥,١٧٥	٩٠ — ٩١	٦,٩٧٥
٢٣	٥,٤	٦٦ — ٦٨	٥,٤	٩٢ — ٩٣	٧,٤٢٥
٢٤	٥,١٧٥	٦٩ — ٧٤	٥,٦٢٥	٩٤ — ٩٥	٧,٦٥
٢٥ — ٢٦	٤,٩٥	٧٥ — ٧٨	٥,٨٥	٩٦ — ٩٧	٨,١
٢٧ — ٢٨	٤,٧٢٥	٧٩ — ٨٢	٦,٠٧٥	٩٨	٨,٣٢٥
٢٩ — ٤٦	٤,٥	٨٣ — ٨٥	٦,٣	٩٩	٩,٤٥
٤٧ — ٥٢	٤,٧٢٥	٨٦ — ٨٨	٦,٥٢٥	١٠٠	٩,٩

ونذكر فيما يلى مثالا لشرح طريقة استعمال الجدولين السابقين :

إذا كان تركيز الكحول فى محلول كحولى اختبر فى درجة ٤٥ فرنهيتية هو ٤٠ ٪ فما هى درجة التركيز الحقيقية ؟

∴ الفرق بين درجتى الحرارة = ٦٠ — ٤٥ = ١٥ درجة فرنهيتية .

وعند البحث فى الجدول الأول نجد أن العدد المقابل للرقم ٤٠ فى العمود ا هو الرقم ٤,٥ فى العمود ب .

ويدل ذلك على ضرورة زيادة تركيز الكحول درجة واحدة لكل ٤,٥ درجات فرنهيتية .

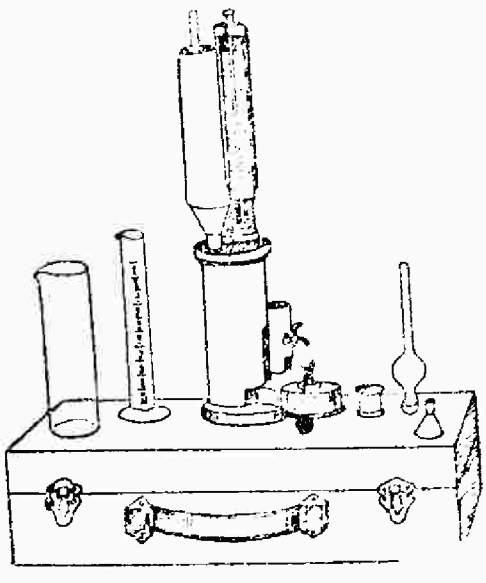
أى يجب إضافة $\frac{١ \times ١٥}{٤,٥} = ٣,٣$ درجات تركيز لكل ١٥° فرنهيتية .

وعلى ذلك تكون القراءة الحقيقية فى درجة ٦٠° فرنهيتية ٤٠ + ٣,٣ = ٤٣,٣ ٪

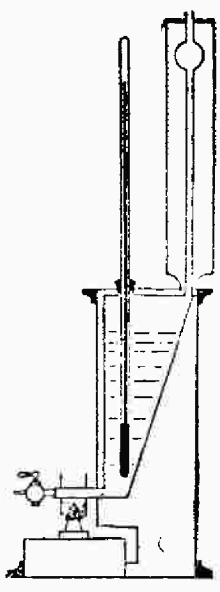
ثانياً — جهاز لونج لتقدير الكحول : ويشمل نوعين ، يبين الأول منهما تركيز الكحول بالمحاليل الكحولية مباشرة ويتطلب الثانى جداول معينة لمعرفة قيمته ، ويفضل النوع الأول .

وتتوقف نظرية تقدير الكحول بهذا الجهاز على قياس درجات غليان المحاليل الكحولية المختلفة وتبلغ درجة غليان الماء المقطر تحت الضغط الجوى العادى ١٠٠° مئوية ، وتنخفض عن ذلك عند مزج الماء بمقادير متنوعة من الكحول ، ولقد روعى عند تصميم هذا الجهاز ، نظراً لتغير درجات غليان المحاليل على وجه عام باختلاف الضغط الجوى ومقدار المواد الصلبة الذائبة ، وضع تعديلات مناسبة بتدريج المقياس لبيان تركيز الكحول مباشرة ، فيتم تسخين المحاليل للغليان تحت الضغط الجوى العادى وتكشف الأبخرة المتصاعدة فى مكثف خاص متصل بالجهاز . ثم تقدر درجة غليان المحاليل مع اعتبار درجة غليان الماء المقطر (تحت الضغط الجوى المعتاد قبل القيام بالاختبار مباشرة) كأساس للمقارنة .

ويراعى ، عند تقدير تركيز الكحول بالسوائل الكحولية المحتوية على مقدار منخفض من الكحول كالخمور الجافة كالبيرة ، تعبئة العينة مباشرة بالجهاز وتقدير درجة الغليان مباشرة ثم مقارنتها بدرجة غليان الماء المقطر بالجهاز نفسه ، ويراعى فى حالة المحاليل المحتوية على مقدار مرتفع



جهاز لونج



رسم تفصيلى لجهاز لونج

من السكر والكحول كالخمور الحلوة ، تقطير ١٠٠ سنتيمتر مكعب من العينة لفصل القدر الزائد من المواد الصلبة الذائبة ثم يقدر الكحول بالسائل المقطر ، ويمكن فى هذه الحالة أيضا الحصول على نتائج تقريبية بتخفيف الخمور الحلوة مباشرة إلى ضعف حجمها بالماء المقطر وتقدير الكحول بالمحلول المخفف .

طريقة الاستعمال : وتتلخص فيما يأتى :

١ — يغسل المستودع بالماء لازالة جميع الآثار التى قد تكون عالقة بالجهاز .

٢ — يوضع ٥٠ سنتيمتر مكعب بالضبط من الماء المقطر فى المستودع ، ويكفى فى تقدير هذا الحجم من الماء استخدام المخبار الخاص الملحق بالجهاز ، ثم يصب الماء فى المستودع بقمع وتقفل فتحة المستودع بالغطاء المعد لذلك باحكام شديد مع وضع الجلبة المطاط فى مكانها بحذر شديد .

٣ — يثبت الترمومتر فى مكانه مع إحكام وضع السدادة المطاط التى ينفذ ساقه من خلالها ، منعاً لفقد أية أبخرة من السائل عند غليه ، ويعدل موضع الترمومتر بمسمار علوى يقع بالقرب من الحافة العليا للمسطرة (المدرجة إلى تدريجين أحدهما يبين تركيز الكحول بالوزن والآخر بالحجم) .

٤ — يملأ المكثف بالماء (ماء الصنبور) إلى دون حافته العلوية بسنتيمتر واحد ، ويجب حفظ الماء فى المكثف بارداً بتغييره من وقت إلى آخر حتى لا تقل سعة العملية لتكثيف أبخرة الكحول عند ارتفاع حرارته .

٥ — عند ما يثبت ارتفاع عمود الزئبق فى الترمومتر بعد انتهاء غليان الماء ، تحرك المسطرة المدرجة إلى أعلى أو إلى أسفل بالمسمار الخاص حتى ينطبق صفر التدريج مع نهاية ارتفاع عمود الزئبق ثم يطفأ اللهب بعد ذلك .

٦ — يملأ المستودع ثانية بالعينة المختبرة بواقع ٥٠ سنتيمتر مكعب ، بعد غسيل المستودع أولا بالسائل الكحولى ، ثم تغلى العينة وتقدر نقطة غليانها ويقرأ ما يقابلها على التدريج وتدل القراءة فى هذه الحالة على نسبة الكحول بالعينة المختبرة .

٧ — يراعى ، عند استعمال الجهاز لمدة تزيد عن ساعة واحدة لتعدد العينات ، اختبار نقطة غليان الماء المقطر من وقت إلى آخر خوفاً من تغير قيمة الضغط الجوى .

٨ — يغسل المستودع بالماء المقطر عقب الانتهاء من العمل .

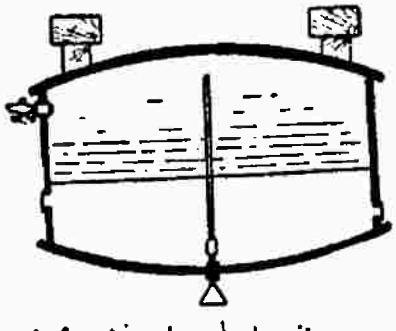
الطريقة البطيئة الأولى :

وهى قديمة العهد وتتميز ببساطة قواعدها وعدم تطلبها خبرة عملية واسعة ، وبشدة بطئها عن الطريقة السريعة وتقل صفات الخل المحضر بها عن المحضر بالطريقة الأخرى ، وتصلح هذه الطريقة لصناعة الخل بالمنازل وبالمزارع لانخفاض سعتها وإنتاجها .

ولاتختلف هذه الطريقة عن طريقة أورليانس (Orleans Process) الفرنسية إلا فى بضع تفاصيل ، والأصل فى الطريقة الأخيرة تحضير الخل من النبيذ فقط وتشوين البراميل داخل سراديب تحت الأرض وتنظيم الهواء المار اليها بفتحات فى سقوفها وأبوابها ، والحرارة بامرار ماء ساخن إلى درجة ٣٠° مئوية (٨٦° فرنهيتية)فى أنابيب معدة لهذا الغرض ، ولقد احتفظت منطقة أورليانس بطريقتها رغماً عن عيوبها وابتكار الطريقة السريعة نظراً لعدم أكسدة الأخيرة لكحول النبيذ عند انخفاض تركيزه عن ٢٥ ٪ وحاجته فى الحالة الأخيرة لاضافة مواد فوسفاتية وأزوتية أى إلى تخفيف النبيذ بالتالى وإنتاج خل يختلف عن خل النبيذ الذى يقتصر تحضيره على الطريقة السابقة .

من اليمين لليسار : برميل خشبي عادى فدجانة معدة للتخمر الكحولى فبرميل خشبي مجهز لصناعة الخل

ويتكون جهاز الطريقة البطيئة من برميل خشبي مقفل تتراوح سعته بين ٤٠ — ٢٠٠ لتراً تحتوى فتحته العلوية (الجانبية للبرميل) على قطعة من الفلين تمر خلالها أنبوبة من الزجاج ملتوية الطرف (أحيانا) وتمر إلى البرميل حتى تنغمس تحت سطح السائل المتخمر عند ملء البرميل به بدون أن يلاصق طرفها السفلى جدران البرميل ويوضع بطرفها العلوى الخارجى قمع زجاجى يعد لصب السائل المتخمر وإمراره إلى داخل البرميل حتى



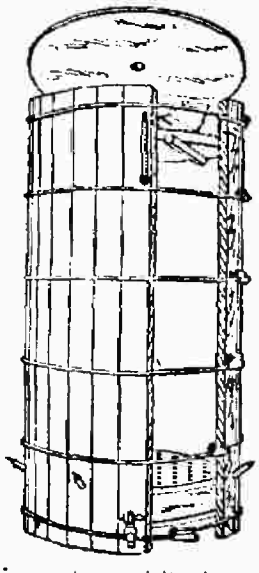
رسم تفصيلى لبرميل خشبي مجهز لصناعة الخل

يتيسر صب السائل المتخمر إلى داخل البرميل بدون إتلاف غشاء أم الخل عند تكونه على سطح السائل المتخمر ، ثم تثبت للجهاز أنبوبة زجاجية ملتوية لبيان حجم السائل بالبرميل ، ويثقب بالبرميل فى موضعين جانبيين فتحتان بقطر قدره خمسة سنتيمترات على ارتفاعين مختلفين فوق مستوى ارتفاع السائل داخله ، ثم تغطى الفتحتان بقطعتين من السلك الدقيق (لمنع دخوله الذباب إلى البرميل) لمرور الهواء إلى داخل الجهاز وانكساره على حالة زاوية مائلة حتى يتخلل السائل المتخمر ويغذيه بالأكسيجين الذى تتطلبه الأكسدة .

وتتلخص طريقة استعماله فى ملء نصف أو ثلث حجمه بسائل كحولى كالنبيذ أو العصير المتخمر الذى تم تحول محتوياته السكرية إلى كحول ، ثم يضاف إليه خل غير معقم أى بكر (يحتوى على بكتريا حامض الخليك) بواقع ١٠ ٪ من حجمه ويترك البرميل بعد ذلك فى حجرة تبلغ حرارتها ٣٠° مئوية حتى يتم تحويل الكحول الموجود بالسائل الكحولى إلى حامض خليك ، وتتراوح المدة التى يتطلبها تكون الخل بين شهر واحد وسنة كاملة ويفصل من الحجم الموجود الربع أو الخمس ويعوض بسائل كحولى جديد وتكرر العملية باستمرار .

الطريقة السريعة للخل :

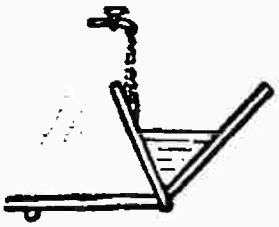
ومبتكرها الباحث الألمانى (Schützenbach)فى عام ١٨٢٣ وتستخدم فى ألمانيا وبعض البلدان الأخرى فى صناعة الخل من الكحول ، وقد أدخلت إلى انجلترا لتحضير الخل من المولت بعد تعديلات بسيطة بجهازها ، ويشتبه فى انتقال هذه الطريقة من فرنسا لألمانيا إذ كانت تستعمل طريقة مماثلة فى الأولى منذ عام ١٦٧٠ .



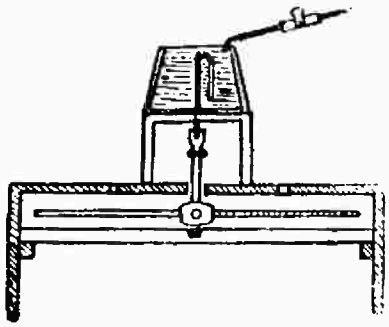
جهاز الطريقة السريعة لصناعة الخل

ويتكون الجهاز المستخدم فى المعتاد من اسطوانة خشبية مصنوعة من خشب جيد غير قابل للتشقق كالأرو والعزيزى ، ويتراوح قطر الحجم المستعمل بين ٤٨ — ٦٠ بوصة و١٠ — ١٤ قدماً فى الطول ، وتتكون من ثلاث مقصورات ، تعبأ الوسطى منها ، وهى أكبرها حجما ، بمساحة خشب جيد كالعزيزى كما قد تعبأ بقوالح الذرة ، كذلك قد يستخدم قطع الفحم البلدى والكوك فى تحضير الخل المقطر من الكحول ، ويتكون سطح وقاع المقصورة الوسطى من قرصين خشبيين مثقوبين بثقوب عديدة ، وتحتوى المقصورة العليا على جهاز صغيرة لتنظيم توزيع المحلول الكحولى داخل أجزاء المقصورة الوسطى ، وتنحصر أجهزة التوزيع الرئيسية فى نوعين ، يتكون القديم منهما من أنبوبة (أو أنبوبتين

متعامدتين فى منتصفهما) مثقوبة فى مواضع عديدة ، وتتحرك أفقيا حول محورها الوسطى وتتصل منه رأسيا بأنبوبة أو بسيفون لمرور المحلول الكحولى ، وتصنع هذه الأنابيب من المطاط الصلب ، وتتحرك رحوياً أفقياً عند سقوط المحلول بفعل الجاذبية الأرضية ومروره داخلها ، وتقوم بذلك بتوزيع المحلول فوق المادة المالئة المقصورة الوسطى ، وتعرف هذه



موزع حديث



موزع قديم

الأنابيب بالرشاشات (Sparge) ولاتختلف فى نظريتها عن المستعملة فى رش المسطحات الخضراء ، وقد تتصل بسيفونات لتنظيم مقدار السائل الذى يجب إمراره فى وقت معين آلياً وبدون حاجة إلى مراقبة عملية ، وتتكون أجهزة التوزيع الحديثة من أحواض خشبية ذات ثلاثة أضلاع (Trough) تتصل ببعضها طولياً فى ضلع منها ، وتشبه بدالات مياه الرى المستخدمة بمصر غير أنها غير مزدوجة ، ويقام هذا النوع من الموزعات فوق منتصف القرص العلوى للمقصورة الوسطى وفى أسفل مسقط المحلول الكحولى ، فيمتلىء جانب منه ، عند مرور السائل الأخير ، حتى يرتفع به إلى حد يثقله فيتحرك ناحية جانبه الثقيل ويسكب السائل المعبأ به فوق نصف سطح المادة المالئة للجهاز ، ويمتلىء فى نفس الوقت النصف الثانى بالسائل ويتحرك كذلك عند امتلائه مسكباً له فوق سطح النصف الآخر من المادة المالئة وهكذا ، وتتكون المقصورة الثالثة « السفلية » من فراغ يعلوه القرص المثقوب السفلى للمقصورة الوسطى ويحده من أسفل قرص صامت ، وتقوم هذه المقصورة كمجمع عام للخل المتكون .

وتتوقف نظرية العمل بهذا الجهاز على تكوين المواد المالئة لمسطح كبير المساحة إلى حد متناهى تنمو فوقه بكتريا حامض الخليك ، وبذلك يتم أكسدة الكحول إلى حامض خليك خلال بضع دقائق ، ويراعى تزويده بالهواء باستمرار باستخدام صمامات جانبية بالجهاز تسمح بنفاذ الهواء دون السوائل ، وينطلق عن أكسدة الجرام الواحد من كحول الايثيل ٢٥٠٠ سعراً صغيراً من الحرارة ، ويؤدى ذلك إلى رفع درجة حرارة كل ١٠٠ سنتيمتر مكعب من المحلول الكحولى ٢٥° مئوية (٤٥° فرنهيتية) ، ولذلك يجب خفض درجة حرارة المحلول عند الأكسدة ،

ويراعى دائماً اجتناب بلوغ درجة ٤٠° مئوية (١٠٥ فرنهيتية) حتى لا يثبط نشاط البكتريا، ويتم التبريد بتنظيم سرعة مرور المحلول المتخمر ونفاذ الهواء خلال الجهاز، فضلا عن أنه يتسنى بالعاملين السابقين تنظيم درجة حرارة المحلول بالجهاز تبعاً لدرجة حرارة الجو وموسم العمل، ويحسن دائماً الاحتفاظ بها فى نطاق يقرب من ٣٠° مئوية (٨٦° فرنهيتية) حيث يفقد الكحول والاستيالديهيد بالتبخر عند ارتفاع الحرارة عنها فى حين يبطء التأكسد عند ارتفاعها، ولذلك تزود الأجهزة بترمومترات قائمة الزوايا لبيان درجة حرارة المحلول المتخمر خليكياً فى الأجزاء المختلفة للجهاز.

الفقد أثناء التخمر الخليكى :

تفقد فى الطريقة السريعة مقادير غير ضئيلة من الكحول وحامض الخليك (بالتبخر)، وغاز ثانى أكسيد الكربون وماء (بالأكسدة)، فضلا عن استهلاك البكتريا الجزء من مكونات المحلول المتخمر خليكياً واحتفاظ المحلول النهائى (الخل) بمقدار يسير من الكحول، ويتج نظرياً الجرام الواحد من الكحول ١,٣٠٤ جراماً من حامض الخليك، غير أنه لا يتسنى عملياً إنتاج أكثر من ١,٢٦ جراما من الحامض، وتؤدى سرعة مرور الهواء بالمحلول الكحولى إلى أكسدته إلى غاز ثانى أكسيد الكربون وماء، ولذلك يراعى دائماً تعديل سرعة مرور المحلول تبعاً لسرعة التيار الهوائى المستخدم فى الأكسدة، ويجب اختيار تركيز الكحول وحامض الخليك بالجهاز من وقت إلى آخر، الأول بجهاز لونج، والثانى بالتعادل بمحلول قلوى عشر أساسى.

التعتيق :

ويقصد به تخزين الخل بعد تحضيره (وخصوصاً بالطريقة السريعة) لمدة من الوقت لا تقل عن ست شهور حتى تكتمل نكهته ويفقد طعمه الغض الناشىء عن بعض الكحوليات والأستيالديهيد وبعض الأحماض، وتنحصر التغيرات الكيمائية الرئيسية بالخل عند التخزين فى تكوين اسيتات الايثيل ومركبات أخرى تكسبه نكهة مقبولة، ويراعى إحكام أوانى التخزين منعاً للتبخر.

ولا يتطلب الخل المحضر بالطريقة البطيئة التخزين لعتيقه، فان بطء العملية التى تتراوح عادة بين شهر — ١٢ شهر تكفل اكتمال التغيرات الكيمائية بطعمه ونكهته.

تعتيق الخل المخضر بالطريقة السريعة

ويفضل التخزين فى براميل أو أحواض خشبية صغيرة مقفلة عن الأوانى الزجاجية أو ما يماثلها من الأوانى الصامتة حتى يتسنى للهواء أن يتخللها من مسام الخشب .

الترويق :

وتستخدم فى ذلك الطرق التى سبق ذكرها بباب عصير الفاكهة ، ويراعى دائماً عدم ملامسة الخل المعادن منعاً لتآكلها . ولذلك يكتفى غالباً بطرق الترويق الطبيعية ، ويفصل الخل الرائق بالسيفون ثم يرشح خلال الآلات الايدروليكية على شرط أن تكون أقراصها المعدنية غير قابلة للتآكل .

البسترة :

نظراً لاحتفاظ الخل بعد ترويقه وترشيحه بكثير من بكتريا حامض الخليك التى تكون عند توفر العوامل الملائمة لنموها غشاء مخاطياً يعكر صفاء لون محلوله ، فانه يجب بسترة الخل لقتل جميع الأحياء الملوثة له وتستخدم فى ذلك :

١ — البسترة المستمرة والتسخين إلى درجة ١٤٠° فرنهيتية عدة دقائق .

٢ — البسترة السريعة والتسخين إلى درجة ١٩٠° فرنهيتية لعدة ثوانى ، ثم التبريد إلى ١٢٠° فرنهيتية .

٣ — البسترة المحدودة وتسخين الزجاجات المعبأة المقفلة إلى درجة ١٨٠° فرنهيتية عدة

دقائق ، ويراعى فى النوعين الأوليين استخدام أجهزة مصنوعة من معادن مقاومة للآكل بفعل حامض الخليك وتعقيم الأوانى المعـــدة للتعبئة (براميل خشبية عادة) بالبخار الحى قبل العمل مباشرة .

المتاعب الصناعية :

وتنحصر فيما يأتى :

١ — ديدان الخل : ومصدرها الهواء والماء وذباب الخل والثمار التالفة ولها نوعان أحدهما يعرف باسم (Leptodera oxophila) ، وهى ديدان أسطوانية الشكل تنتهى بطرف حاد ، وجلدها أملس عديم التقاسيم غير هش ، ويبلغ طول الذكر منها ملليمتراً واحداً تقريباً والأنثى ١,٥ ملليمترا تقريباً ، والثانى باسم (Anguillula aceli) وطول ديدانها يقرب من ١,٥ ملليمتر وتشبه السابقة .

وتتميز على العموم بحركتها الأمامية والخلفية وانسيابها فى حركتها كالثعبان ، وتتكاثر غالبا بالطبقات السطحية من الخل لحاجتها للهواء للتنفس ، وتعيش فى المحاليل المخففة من الكحول وحامض الخليك وكذا الخل وتقتل فى درجة تتراوح بين ١٤٠° — ١٥٠° فرنهيتية ، ويتلخص ضرر هذه الديدان فى منافستها لبكتريا حامض الخليك فى استهلاك الهواء وتثبيطها لها بالتالى تدريجياً حتى يمتنع تكون حامض الخليك فى النهاية بتاتاً ، وتنحصر طرق مقاومتها فى تبخير الأجهزة بغاز ثانى أكسيد الكبريت .

٢ — حلم الخل : ويتميز بسرعة تكاثره بأجهزة الخل عند تلوثها ، وتقاوم أكسدة الكحول وتكون الخل بالتالى ويتلخص ضرره فى نمو بعض الأحياء الدقيقة التعفنية فى أجسامه بعد موته وتعارض هذه الأحياء مع عمل بكتريا حامض الخليك ، وتنحصر طرق المقاومة فى تبخير الأجهزة المستعملة بغاز ثانى أكسيد الكبريت .

٣ — ذباب الخل : ويكثر بمعظم مصانع الخل وتنحصر أهم أنواعه فى (Drosophila funebris and D. cellaris) وهى على وجه عام حشرات غير مرغوب فيها نظراً للأدران المتخلفة عنها ، وتنحصر طرق الوقاية منها فى إحاطة ثقوب الهواء بأجهزة الخل بمواد لزجة أو بتغطيتها بقماش خفيف وتبخير الحجر بمواد مهلكة لها وإقامة ستائر من الشبك المعدنى الدقيق بنوافذ وفتحات حجرات العمل لمنع دخولها .

٤ — تكون طبقات مخاطية : وهى غشاء أم الخل وينشأ عند طول الاستعمال ولعلاجها تغسل المساحة بالماء ثم بمحاليل من الكحول ثم بالخل من وقت إلى آخر ، ويحتفظ دائماً

بمعدل ثابت بين الهواء والمحاليل الكحولية المعدة للعمل ، والمحافظة على نظافة الطبقات العلوية من المساحة .

٥ — الميكودرما : وقد سبق ذكرها ، وتتعرض غالبا المحاليل الكحولية بعد اكتمال تخمرها لنموها وتكاثرها ، وتقاوم هذه الحالة بالتعبئة الكاملة أو باضافة طبقة رقيقة من زيت معدنى متعادل (برافين) فوق سطحها .

٦ — بكتريا حامض اللاكتيك : وهى بكتريا غير هوائية من النوع الاختيارى ، وتتعرض المحاليل السكرية غير مكتملة التخمر الكحولى لنموها وتكاثرها وتكون حامض اللاكتيك ، وتؤثر على الطعم والنكهة وتعارض التخمر الخليكى ، ولمقاومتها يضاف للمحاليل المتخمرة كحولياً غاز ثانى أكسيد الكبريت بواقع ٧٥ — ١٠٠ جزء فى المليون أو حامض الخليك بواقع ١ ٪ ، ويراعى استخدام بادئات نقية من الخمائر حتى يتسنى حفظ التخمر الكحولى على حالة نشطة فعالة .

٧ — رسوب الطرطرات : وترسب هذه المادة على مساحة الخشب أو المواد المالئة الأخرى عند استعمال النبيذ على حدة أو مخلوط منه والكحول فى تحضير الخل ، ويؤدى ذلك الى تكوين طبقات صلبة فوق سطحها مما يتعارض مع التخمر الخليكى ، ولهذا السبب يفضل فى فرنسا استعمال طريقة أورليانس .

تعديل تركيز حامض الخليك

نظراً لصعوبة إنتاج خل يحتوى على درجة تركيز ثابتة من حامض الخليك ، ونظراً لما تتطلبه العمليات التجارية والتشريعات الغذائية من توحيد التركيز بالخل التجارى ، ولما كان مقدار الحامض يتوقف على تركيز السكريات فى المحلول المعد للتخمر الكحولى مما يقتضى نظرياً البدء بدرجات معينة من التركيز ، ولما كان التركيز الحقيقى لحامض الخليك بالخل الناتج يتوقف على كثير من الاعتبارات ، فانه يجب معرفة مقداره فى الخل النهائى ثم مزجه بخل أكثر تركيزاً أو تخفيفه بالماء تبعاً لدرجة التركيز المطلوبة (راجع المعادلات المتعلقة بالمزج بصحيفة ١٤٤) .

المراجـــع

1. Allen, P.W. ; Industrial Fermentations ; (Book), (1926).

2. Cruess, W. V. ; Commercial Fruit and Vegetable Products (Book), (1938).

3. Cruess, W.V. ; and Joslyn, M.A ; Home and Farm Preparation of Vinegar ; Univ. of Calif., Agr. Expt. Sta , Cir 332, (1934).

4. Cruess, W. V., Zion, J. R. and Silredi ; A. V. ; The Utility of Sulfurous Acid and Pure Yeast in Cider Vinegar Manufacture ; Jour. of Ind. and Eng. Chem., April, (1915).

5. Le Fevre, E. ; Making Vinegar In the Home and On the Farm ; U. S. D. A. ; Farm. Bull. No. 1424, (1924).

6. Mitchell, C. A. ; Vinegar; Its Manufacture and Examination; (Book), (1926).

7. Mrak ; E. M. and Le Roux, J. C. ; Corrosion of Bronzes By Vinegar ; Jour. of Ind. and Eng. Chem. , (1932).

8. Saywell, L. G. ; Clarification of Vinegar ; Ibid, (1934).

9. Schoen, M. ; The Problem of Fermentation ; (Book), (1928).