كلية الزراعة /علوم الاغذية
المرحلة الثالثة
((تصنيع اغذية٢))
اعداد
د.فراس نجم الحديثي

طرق تصنيع الخل

يتم تقسيم الطرق المتبعة لتصنيع الخل إلى طرق بطيئة وأخرى سريعة والتي سوف نأتي على شرح كل منها في الفقرات التالية.

أولا: الطرق البطيئة

قبل البدء بشرح هذه الطرق يجب أولا التعرف على الملامح العامة لهذه الطرق والتي تتلخص في النقاط التالية:

1-السائل الكحولي لا يتحرك أثناء تحوله إلى خل.

2-يتم في هذه الطرق استخدام عصائر الفواكه المتخمرة أو محاليل المولت لإنتاج الخل

3-لا يتم في هذه الطرق إضافة مواد مغذية للبكتريا حيث أن عصير الفواكه أو مستخلص المولت المستخدمة قادرة على إمداد البكتريا بما تحتاجه من مواد غذائية.

هذا وتتضمن الطرق البطيئة مايلي:

1-طريقة :Let-alone تعتمد هذه الطريقة على إحداث عملية التخمر والأكسدة ذاتيا وذلك بالاعتماد على الخميرة وبكتريا حمض الخل الموجودة بشكل طبيعي في عصير الفواكه، حيث تترك البراميل الحاوية على العصير مملوءة جزئيا مع ترك السدادة مفتوحة حتى يتحول العصير إلى خل ويتكون على السطح غشاء أم الخل mother of vinegar الناتج عن بكتريا حمض الخل.

وفي المقابل نلاحظ أن هذه الطريقة غير اقتصادية حيث أن الخل الناتج يكون قليل بالنسبة لكمية الكحول المنتجة بواسطة الخميرة ويمكن إرجاء هذا الأمر إلى السببين التاليين:

أ- غياب الأنواع النشطة من بكتريا حمض الخل والتي تمتاز بمقدرتها على الإنتاج العالي لأن هذه الطريقة تعتمد على التواجد الطبيعي لبكتريا حمض الخل وليس على السلالات المنتخبة.

ب- أكسدة حمض الخل الناتج بواسطة بكتريا حمض الخل أو بسبب نمو بعض أنواع من الخمائر و الفطريات على السطح والتي تؤدي إلى انخفاض كمية حمض الخل الناتج

2-طريقة Oreleans أو الطريقة الفرنسية: تمتاز هذه الطريقة باعتبارها طريقة مستمرة على الرغم من إجرائها ضمن براميل وتتلخص هذه الطريقة باستخدام السائل الكحولي الناتج من عملية التخمر الكحولي والذي يوضع داخل براميل خشبية سعتها ٢٠٠ لتر تملأ إلى ثلاثة أرباعها ويتم وضع هذه البراميل بشكل أفقي بغرض زيادة السطح المعرض ثم يضاف للسائل الكحولي كمية من الخل الطازج والذي يعتبر كبادئ بحيث تصبح نسبته ٣% كحول إلى ٣% حمض خل كما أن هذا الخل يساعد على تواجد الحموضة المطلوبة والتي تمنع نمو الأحياء الدقيقة غير المرغوبة، ثم يترك المحلول ليتخمر لمدة خمسة أسابيع، وقبل أن تقوم البكتريا بأكسدة كامل السائل الكحولي يسحب منه أسبوعيا نحو ١٠-١٤ لتر من فتحة متوضعه في أسفل البرميل ويوضع عوضا عنها سائل كحولي جديد وهكذا.

ويجب مراعاة عدم تخريب غشاء أم الخل المتوضع على سطح السائل عند إضافة السائل الكحولي الجديد لذلك يتم إضافة الكمية الجديدة من السائل الكحولي بواسطة قمع في أعلى البرميل بحيث يصل امتداد أنبوبة القمع إلى ماتحت سطح الغشاء، كما تم تزويد البراميل بفتحات مغطاة بسلك معدني لمنع دخول الحشرات ولتسهيل تبادل الهواء اللازم لعملية الأكسدة.
وبشكل عام تمتاز هذه الطريقة بإنتاج خل جيد النكهة حيث يجري تعتيق الخل أثناء إنتاجه أيضا.

3-الطريقة الفرنسية المعدلة :Pasteur of modified franch process

تم ابتكار هذه الطريقة من أجل التغلب على أهم مشاكل الخل بالطريقة السابقة والتي تتمثل في حدوث انخفاض في نشاط بكتريا أم الخل عند كل إضافة للمحلول الكحولي الجديد وذلك عن طريق عمل إطار داخلي من سدابات خشبية (قاع كاذب) يعمل كحامل لغشاء أم الخل، كما يمكن التغلب

على هذه المشكلة بإضافة المحلول الكحولي الجديد بواسطة قمع يصل امتداده لأسفل غشاء أم الخل كما سبق ذكر ذلك، ثم تتم عملية إنتاج الخل بشكل مماثل للطريقة السابقة.

ثانيا: الطرق السريعة

تعتمد هذه الطرق على مبدأ أن زيادة السطح المعرض للهواء تؤدي إلى زيادة كمية الخل الناتجة، وبالتالي يمكن تلخيص الملامح العامة لهذه الطرق في النقاط التالية:

1-السائل الكحولي المستخدم في إنتاج الخل دائم الحركة.
2-يتم في هذه الطرق استخدام المحاليل الكحولية لإنتاج الخل
3-عند استخدام الطرق السريعة لا بد من إضافة مواد مغذية للبكتريا مثل اليوريا والنشاء و الأسباراجين و الكلوكوز...

هذا وتتضمن الطرق السريعة مايلي:

1-**الطريقة الألمانية أو طريقة شويتزنباخ Schutzenbach**تعتبر من أقدم الطرق السريعة و تعتمد هذه الطريقة على استخدام المولدات وهي عبارة عن خزانات خشبية ذات أحجام مختلفة تتوضع بشكل عمودي، وقد تم تقسيم هذه الخزانات من الداخل إلى ثلاثة أقسام، القسم العلوي لدخول المحلول الكحولي على شكل رذاذ بواسطة موزع أو رشاش متوضع داخل القسم العلوي، والقسم الأوسط والذي يعتبر أكبر هذه الأقسام فيملأ عادة بنشارة الخشب أو قوالح الذرة أو البلاستيك أو أي مادة تعطي مساحة مسطح كبير لحمل بكتريا حمض الخل على أسطحها وفي نفس الوقت لا تنقل مواد غير مرغوبة للخل الناتج حيث تساعد هذه الرقائق على زيادة السطح المعرض والذي يغطى بأم الخل وبالتالي فعند مرور رذاذ السائل الكحولي من الجزء العلوي فوق طبقات الرقائق المتراصة في القسم الثاني وفي وجود الهواء تتم عملية الأكسدة بواسطة بكتريا حمض الخل، ويوجد في نهاية القسم الثاني قاع كاذب يسمح بمرور الخل إلى القسم الثالث والذي يعتبر أصغر الأقسام حيث يتجمع فيه الخل الناتج والذي يعاد دورانه إلى

أعلى وبذلك يزداد تركيز حمض الخل بعد كل دورة في الصهريج، أما الهواء فيتم دخوله من خلال فتحات موجودة في القاع الكاذب ونتيجة ارتفاع الحرارة بسبب الأكسدة الحاصلة يتصاعد الهواء ومن ثم يستمر في الحركة، وبشكل عام يجب مراعاة عدم ارتفاع درجة الحرارة بشكل كبير.

تبلغ فترة التخمر هذه نحو أسبوع، ويتراوح قطر الخزانات من ٠،٨- ٢ متر وارتفاعها من ١,٥- ٨ أمتار .

2-**طريقة ماكين :Mackin method** يتم في هذه الطريقة تجهيز محلول كحولي مخفف ومدعم بالمواد الغذائية اللازمة لنمو بكتريا حمض الخل حيث يضخ على هيئة رذاذ بواسطة عمود رشاش قرب قمة حيز يسمح بسقوط الرذاذ على هيئة ضباب حيث يقابله الهواء ثم يمر إلى الجزء الثاني من الصهريج حيث تتم أكسدته ثم ينتقل إلى الجزء الثالث حيث يبرد ويعاد دفعه تحت ضغط مرة أخرى حتى يتم تحويله بشكل كامل إلى خل.

3-**طريقة المولدات المغمورة :Dipping generators** يتألف الجهاز المستخدم في هذه الطريقة من صهريج بداخله قفص معبأ برقائق الخشب والتي تعمل كحامل لأم الخل، وهذا القفص مصمم بشكل يسمح له بالحركة نحو الأعلى والأسفل، فعند غمره في الصهريج الممتلئ بالكحول ثم عند رفعه إلى أعلى سطح السائل يتخلله الهواء فتحصل عملية الأكسدة وهكذا حتى يتحول كامل الكحول إلى خل.

4-طريقة مولدات فرنغس: تعتبر طريقة فرنغس طريقة محسنة للطريق الألمانية حيث يتم في هذه الطريقة استخدام المولدات نفسها ولكن بعد تزويدها بمضخات لضغط الهواء ومنظم لقياس سرعة التهوية وأنابيب للتبريد باعتبار أن عملية الأكسدة تعطي كميات كبيرة من الحرارة وبالتالي يجب السيطرة عليها وإبقائها في حدود ٣٩مْ وإلا أثرت على نشاط بكتريا حمض الخل، كما تم تزويد هذه المولدات بمضخات لضخ الخل الناتج وغير كامل الأكسدة.

يحتوي المصنع عادة على عدة مولدات تعمل بصورة متتالية حيث يمر السائل الكحولي خلال المولد فيتأكسد جزئيا وينتج كمية من الحمض، أما الكمية المتبقية من الكحول فيتم أكسدتها في المولد التالي وهكذا حتى يتم أكسدة كامل كمية الكحول.

وتمتاز هذه الطريقة بإنتاج الخل بصورة أسرع مقارنة مع الطريقة الألمانية حيث يبلغ ناتج المتر المكعب من الجهاز نحو ٨-١٢ كيلو يوميا.

5-الطريقة العميقة: تعتمد هذه الطريقة على عمل تهوية شديدة للسائل الكحولي أثناء أكسدته، ويتم في هذه الطريقة استخدام جهاز عبارة عن خزان كبير لا يحتوي على نشارة الخشب ومجهز بأجهزة لضغط الهواء وتوزيعه عن طريق ثقوب في أنابيب التهوية التي تتوضع بشكل حلزوني بالإضافة إلى أنابيب أخرى لتنظيم درجة حرارة السائل الكحولي الذي يتراوح تركيزه بين ٨ – ١٢% كحولاً والذي يتم تلقيحه ببادئ من بكتريا حمض الخل النقية، ويتم التخمر على درجات حرارة تتراوح بين ٢٤ – ٢٩مْ وتنمو البكتريا في معلق السائل المتخمر نفسه المحتوي على فقاعات هوائية ناتجة عن دفع الهواء داخله.

وتحتوي المصانع عادة على عدة خزانات وتمتاز هذه الطريقة بسرعة الإنتاج حيث ينتج المتر المكعب من الجهاز نحو ٢٣ كيلو من الخل يوميا.

أهم العمليات التي تتم على الخل المنتج بالطرق السريعة

1-يمتاز الخل المنتج بواسطة الطرق السريعة باحتوائه على ١٠% حمض الخل لذا يجري عليه عملية تخفيف حتى تركيز ٤-٦% ليصبح صالح للاستهلاك، ويعود السبب في إنتاج الخل بهذا التركيز المرتفع هو للحد من مخاطر تلوث الخل بأحياء دقيقة غير مرغوبة وبخاصة بعض أنواع الخمائر والبكتريا الضارة والتي يمكن أن تنمو على تراكيز ٥-٦% حمض خل.

يجب إجراء عملية تعتيق للخل المنتج بالطرق السريعة من أجل أن تتكون مواد النكهة المرغوبة، لذا لابد من تخزين الخل المنتج لمدة زمنية تتراوح

بين عدة أسابيع إلى عدة شهور وذلك ضمن براميل مملوءة تماما تلافيا لوجود الهواء

ترويق وترشيح الخل

من الأمور الهامة والواجب توافرها في الخل الجيد أن يكون رائقا وشفافا مما يحتم إجراء عملية ترويق وترشيح للخل من أجل إزالة المواد العالقة، ويتم ذلك باستخدام إحدى المواد التالية:

1-الجيلاتين والتانين :Gelatin and Tannin يتم استخدامهما عن طريق إذابة التانين أولا في الخل ويخلط مباشرة معه أما الجيلاتين فيتم إذابته في ماء ساخن قبل استخدامه، حيث تستخدم كميات متساوية من التانين و الجيلاتين وتخلط مع الخل وتترك للترسيب لمدة ٥-٧ أيام ثم يسحب الخل الرائق.

2-تراب البنتونت :High grade bentonite clay يتم استخدامه عن طريق نقعه لمدة أيام في الماء أو الخل ثم يرج هذا المحلول من أجل الحصول على محلول يحتوي ٥% من الطين، ثم يضاف ١,٥ جالون من المحلول السابق لكل ١٠٠ جالون من الخل ثم يترك المحلول فترة زمنية تتراوح من ١-٢ أسبوع لترسيب المواد العالقة ثم يسحب الخل الرائق.

كما يمكن ترشيح الخل باستخدام جهاز الترشيح ذو ألواح الأسبستوس تحت الضغط، حيث يمر الخل خلال مرشحات الأسبستوس والتي تعمل على حجز المواد العالقة في الخل.

وفي المقابل نلاحظ أنه بعد إتمام عملية الترشيح يمكن أن يحتوي الخل على عكارة ناتجة عن نمو بكتريا حمض الخل ويمكن التغلب على هذه المشكلة ببسترة الخل المرشح على درجة حرارة ١٤٠فْ لمدة ٣-٥ ثواني.

عيوب الخل وأمراضه Vinegar Defects&Spoilage

1-المعادن: يؤدي وجود آثار من الحديد في الخل الناتج بسبب تأثير الآلات المستخدمة إلى حدوث دكانه في لون الخل نتيجة أكسدة أيون الحديدوز إلى أيون الحديديك حيث يتفاعل الأخير مع التانينات أو الفوسفات أو البروتينات مكونا راسب يؤدي إلى حدوث تعكير في الخل مع تغير لون الخل إلى اللون الغامق، لذا يفضل استخدام الأجهزة الخشبية أو الأجهزة المصنوعة من المعدن الغير قابل للصدأ، كما يمكن أن تتشكل العكارة في الخل نتيجة لوجود أملاح القصدير والنحاس.

2-ذبابة الدروسوفيلا :Drosophila وهي حشرة صغيرة تنمو في الخل وتتغذى على البكتريا، كما أنها غير مرغوبة من الناحية النفسية للمستهلك وتسبب مضايقات للعمال عند كثرتها، ويمكن التخلص منها عن طريق الالتزام بالشروط الصحية للمصانع.

3-سوس الخل: يمكن أن يتواجد في الخل عن طريق فتحات التهوية في البراميل، وتساعد الحرارة الدافئة والرطوبة على نشاط السوس والذي يؤثر على جودة الخل الناتج.

4-دودة الخل: وهي من ديدان النيماتودا Anguillula aceti لونها أبيض ويمكن مشاهدتها بالعين المجردة بصعوبة، وتمتاز أنها تتكاثر بسرعة في المحلول حيث تعطي الدودة الواحدة خلال أسبوع نحو ٥٠ دودة والتي تصل إلى نموها الكامل بعد شهر حيث تهاجم غشاء أم الخل، ونلاحظ تواجدها في حالة الإنتاج بالطرق البطيئة مما يؤدي إلى إنتاج خل رديء النوعية، ويمكن تلافيها عن طريق منع التهوية في آواني التعبئة نظرا لحاجتها للهواء، كما يمكن القضاء عليها بواسطة البسترة على درجة حرارة ١٣٠فْ وإزالتها بعد ذلك بواسطة الترشيح.

5-وجود أجناس :Lactobacillus & Leuconostoc حيث أن تواجدهما في عصير العنب أو مستخلص المولت أو السيدر المستخدمة لإنتاج الخل

يؤدي إلى إعاقة التخمر الكحولي ونمو الخميرة، كما أنها تنتج مواد ذات رائحة كريهة وذلك تحت الظروف اللاهوائية، ويمكن التغلب على هذه الظاهرة بإضافة ثاني أكسد الكبريت للعصير قبل إجراء عملية التخمر الكحولي . ولكن يجب التنويه هنا أن هذه الإضافة تعيق نمو بكتريا حمض الخل لذا يجب التخلص منها قبل إجراء التخمر الخلي.

ومن الجدير ذكره في هذا المجال أن أحد عيوب الخل يكمن في بكتريا حمض الخل نفسها حيث أن بعض الأنواع تقوم بأكسدة الحمض الناتج (الأكسدة الكاملة) كما سبق وأن ذكرنا ذلك، كما أن بعض الأنواع تكون مواد مخاطية لزجة تعمل علىGluconobacter oxydans انسداد فتحات جهاز التخمير .

ملاحضات مهمة

1-من المعروف أن صناعة الخل تبدأ بإتمام عملية التخمر الكحولي بهدف تحويل السكريات إلى كحول، وعادة مايستخدم المحلول السكري بتركيز ١٠-١٨% ويفضل أن يكون ١٢% لأن زيادة التركيز عن ذلك يؤدي إلى تثبيط نمو الخميرة الأمر الذي يؤدي إلى بقاء كمية من السكر دون تخمر، أما انخفاض التركيز فيؤدي إلى انخفاض اقتصادية عملية التصنيع.

2-ضرورة ضبط درجة الحرارة باستمرار أثناء عملية التخمر حيث وجد أن تخمير ١جرام من السكر يؤدي إلى انطلاق كمية من الحرارة تقدر بنحو ١٢٠ كالوري مما يؤدي إلى تثبيط نشاط الخميرة وزيادة نشاط بكتريا حامض اللاكتيك، ويمكن السيطرة على ارتفاع الحرارة باستخدام أجهزة التبريد أو عن طريق رش الماء على السطح الخارجي للصهريج.

3-يؤدي إضافة ثاني أكسد الكبريت أو أحد أملاحه إلى العصير قبل عملية التخمر إلى إتمام عملية التخمر بصورة جيده مع زيادة كمية الكحول والتي بلغت ١%، كما تساعد هذه المعاملة على إيقاف نمو الفطريات وبكتريا حامض اللاكتيك وبكتريا حمض الخل والخمائر المتوحشة، كما ساعدت

على تسريع نمو ونشاط الخمائر المرغوبة، وتبلغ الكمية المضافة من ثاني أكسيد الكبريت أو أحد أملاحه ١٢٥. P.P.m

4-ضرورة فصل الخميرة المترسبة في قاع خزانات التخمر بعد إتمام عملية التخمر بقدر الإمكان لأن هذا الراسب يتعرض للتحلل مؤديا إلى إنتاج رائحة غير مرغوبة كما يشجع على نمو بكتريا حامض اللاكتيك.

5-يجب إجراء عملية الأكسدة الخلية مباشرة بعد إتمام عملية التخمر وعدم اللجوء إلى تخزين العصير المتخمر في الصهاريج لأن ذلك قد يعرضه للهواء مما يشجع نمو الميكودرما Wine flowers الأمر الذي يؤدي إلى حدوث انخفاض في كمية الكحول المنتجة.

مراعاة أن يكون تركيز الكحول من ١٠-١٢% عند بدء عملية الأكسدة الخلية لأن الزيادة عن هذا المستوى يؤدي إلى عدم أكسدة الكحول بشكل كامل حيث تبقى كمية من الكحول دون أكسدة، أما انخفاض نسبة الكحول فيؤدي إلى أكسدة الكحول أكسدة كاملة إلى CO_2 و ماء الأمر الذي يؤثر على اقتصادية عملية التصنيع.