الفصل الحادي عشر

صناعة الخل والمخللات

Vinegar and Pickling Processing

تمت مراجعة هذا الفصل من قبل الأستاذ الدكتور خلف الصوالي
قسم التغذية والتصنيع الغذائي/كلية الزراعة/الجامعة الأردنية

(١١,١) مقدمة

Introducton

تصنف التخمرات إلى تخمرات طبيعية وتخمرات غذائية أو تغذوية. ويمكن القول بصفة عامة أن التخمرات الطبيعية عبارة عن تفاعل بين الميكروبات أو الأحياء الدقيقة وبين المادة العضوية. ويؤدي هذا التفاعل إلى تحلل المادة العضوية وعودة المكونات أو العناصر الكيميائية إلى التربة والهواء، ومن هنا جاءت أهمية التخمرات الطبيعية في المحافظة على ديمومة الحياة. ولتوضيح هذه الأهمية دعنا نتخيل نمو النباتات وما تحتاجه من معادن وكيميائيات تحصل عليها من التربة، فماذا سيحدث مثلا بعد ألفي سنة إن لم يكن هناك تعويض لما تستنزفه النباتات من معادن وكيميائيات من التربة بعد هذه السنين الطويلة؟ من جهة أخرى دعنا نتخيل أنه لا توجد ميكروبات وأن الجثث سواء أكانت لبني الإنسان أم الحيوان وكذلك الفضلات المختلفة لم تتحلل بواسطة الميكروبات وتراكمت لمدة آلاف السنين! فبعض العلماء يقدر أن ارتفاع الفضلات والجثث قد يصل إلى مئات الأمتار لو لم تتحلل! فهل يمكننا العيش بين هذه الفضلات؟ وهنا تتجلى رحمة الله عز وجل بنا نحن البشر وكيف سخر لنا هذه الأحياء

الدقيقة التي لا ترى بالعين المجردة لتقوم بافراز إنزيماتها وتحلل المواد العضوية من جثث أو قمامة لتستمر الحياة ونتعم بها نحن البشر.

أما فيما يتعلق بالتخمرات التغذوية فهي إحدى وأقدم طرق حفظ الأغذية التي تعتمد على تشجيع نمو ميكروبات مختارة تحت ظروف محددة لإنتاج أغذية معينة كالخبز واللبن والجبن والخل والمخللات والنقانق ...إلخ.

(١١,٢) تخمرات الأغذية

Food Fermentation

(١١,٢,١) أهمية التخمرات التغذوية وفوائدها

Food Fermentation: Importance & Benifits

توجد العديد من الفوائد للتخمرات سواء أكانت طبيعية أم تغذوية لجملها فيما يلي :

١- تقوم التخمرات الطبيعية بالمحافظة على ديمومة الحياة عن طريق تحليل المواد العضوية وإعادتها في صورة عناصر معدنية وكيميائيات وغازات إلى التربة والهواء.

٢- للتخمرات التغذوية العديد من الفوائد يمكن تصنيفها إلى فوائد أساسية وفوائد ثانوية. وتشمل الفوائد الأساسية اعتبار التخمرات إحدى الطرق الرئيسة لحفظ الغذاء فتحويل الحليب إلى لبن هو طريقة حفظ للحليب فبينما نجد أنه يمكن حفظ الحليب على درجة حرارة الغرفة لساعات قليلة نجد من زاوية أخرى أن اللبن أو الزبادي يمكن حفظه لعدة أيام. والفائدة الأساسية الأخرى للتخمرات التغذوية هي عملية إيجاد بدائل أو تنويع للأغذية، فالحليب مثلاً يمكن تحويله إلى لبن وجبنة وزبدة وكذلك الكثير من الخضار الطازجة يمكن تحويلها إلى مخللات وهكذا.

٣- تتضمن الفوائد الثانوية لعمليات التخمر الغذائي ما يلي :

أ) تأخير وتثبيط نمو الميكروبات الممرضة في الأغذية عن طريق خفض الرقم الهيدروجيني للأغذية وكما هو الحال في المخللات إلى أقل من ٤,٥ حيث إن النواتج النهائية لعملية التخمرات هي الكحول والحامض.

ب) العمل على زيادة أو رفع القيمة التغذوية للأغذية المتخمرة حيث إن الميكروبات ليست عوامل هدم فقط Catabolic بل هي أيضاً عوامل بناء Anabolic وتقوم بتخليق الفيتامينات والمضادات الحيوية ومحفزات النمو ..إلخ. كما تقوم الميكروبات بافراز الإنزيمات التي تساعد في تكسر أو تحلل العديد من المواد غير القابلة للهضم كاليسليلوز والهيميسيليلوز واللجنين إلى مكونات بسيطة كالسكريات والأحماض الأمر الذي يؤدي إلى رفع القيمة التغذوية للغذاء.

(١١,٢,٢) التخمرات كطريقة حفظ للأغذية

Fermentation as a Preservative Method

استعملت التخمرات التغذوية كطريقة لحفظ الأغذية منذ آلاف السنين. حيث تذكر بعض المراجع أن عملية تخليل الخيار والزيتون تعود إلى العصور القديمة ويعتقد أنها نشأت في الشرق حوالي سنة ٣٠٠ قبل الميلاد. وإذا رجعنا إلى الوراء فقط مائة عام لوجدنا أن تخمير الأغذية وتجفيف الأغذية كانتا التقنيتين الوحيدتين المستعملتين في حفظ الأغذية ولعبتا دوراً مهما في توفير الأغذية في ذلك الوقت.

ومما تجدر ملاحظته أنه حتى وقتنا الحاضر ما زال ما يزيد عن نصف سكان العالم وأغلبهم في الدول النامية يعتمدون على التجفيف والتخمير كطريقتين لحفظ وتوفير الغذاء. فمثلاً تشكل المخللات في الوقت الحاضر جزءاً لا يستهان به من الوجبة التغذوية في مختلف دول العالم.

وفي الدول الصناعية أو الدول المتقدمة فإن الصورة مختلفة بعض الشيء حيث لا تعد عملية التخمير الطريقة المفضلة في حفظ وتوفير الغذاء بل أنه نتيجة للتقدم الهائل في مجالات العلم والتقنية فقد انتشرت طرق أخرى لحفظ الغذاء ومنها التعليب والتبريد والتجميد والتشميع ..إلخ، وأصبحت طرق الحفظ هذه تنافس وفي كثير من الأحيان تتقدم على عملية التخمير.

وتختلف طريقة التخمير كطريقة لحفظ الأغذية في ميكانيكيتها عن طرق الحفظ الأخرى كالتعليب والتجفيف، فهاتين الطريقتين تعتمدان في حفظ الغذاء على مبدأ قتل أو تثبيط أو إعاقة أو منع أو عدم تشجيع نمو الميكروبات عن طريق استخدام الحرارة مثلا كما هو الحال في التعليب أو خفض درجات الحرارة وكما هو الحال في التبريد والتجميد، أو خفض نسبة الرطوبة المتاحة لنمو الميكروبات وكما هو الحال في طريقة الحفظ بالتجفيف. وعندما يتعلق الأمر بطريقة الحفظ بالتخمير نجد أن الصورة مختلفة تماماً وعلى النقيض من طرق الحفظ الأخرى حيث إن ميكانيكيتها أو مبدأها للحفظ يتوقف على تشجيع نمو ميكروبات محددة تعطي نواتج تمثيل مرغوبة كحامض اللاكتيك أو الخليك ومركبات نكهة مميزة.

وتقوم الأحماض التي تم إنتاجها وكذلك الملح الذي تم اضافته كما هو الحال في المخللات بتثبيط نمو الميكروبات المحللة للبروتينات والدهون الأمر الذي يشجع نمو ميكروبات التخمير.

وفيما يلي قائمة ببعض الأغذية المتخمرة والميكروبات المسؤولة عن إنتاجها.

اسم الغذاء المتخمر	الميكروبات المسؤولة عن النتاجه
١- المخللات، اللبن أو الزبادي، الجبنة، الزبدة، النقانق.	بكتيريا حامض اللاكتيك.
٢- الخل، المشروبات الكحولية.	بكتيريا حامض الخليك.
٣- الخبز، البيرة، الخمور.	الخمائر (سكارومايسيز سيرفيزيا).
٤- نكهات بعض أنواع الأجبان، بعض أنواع الشوربات.	بعض أنواع الفطريات.

(١١,٢,٣) التغيرات التي تصاحب عمليات التخمر

Changes Associated with Fermentation

لقد استعمل مصطلح التخمير منذ آلاف السنين لوصف عملية إنتاج الفقاعات والغازات أثناء تصنيع الخمور وكنتيجة لتكسير الكربوهيدرات وإنتاج الكحول وثاني

أكسيد الكربون. ولقد قام العالم باستور بشرح العلاقة بين الخمائر وإنتاج الخمور ومنذ ذلك الوقت أصبحت عملية التخمير تعزى للميكروبات. وفي مرحلة لاحقة تم الكشف على أن التخمرات ذات علاقة بالإنزيمات التي تنتجها الميكروبات. وتبين فيما بعد أمران مهمان لهما علاقة بالتخمرات، الأول أنه ليس بالضرورة أن يصاحب كل عملية تخمر عملية إنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون، والأمر الثاني أن المواد التي تتخمر ليست مقتصرة فقط على الكربوهيدرات بل تشمل أيضاً البروتينات والدهون.

ونجد في المراجع أن الباحثين يتعاملون مع مصطلح عملية التخمر بعدة طرق فالبعض يطلقه فقط على عملية تكسير الكربوهيدرات تحت ظروف لا هوائية مثل تحول اللاكتوز بواسطة بكتيريا الستريبتيكوكس لاكتس إلى حامض لاكتيك تحت ظروف لاهوائية ويسمى هذا التخمر بالتخمر الحقيقي True fermentation.

من جهة أخرى نجد أن باحثين آخرين يستعملون مصطلح التخمير لوصف عملية تكسير الكربوهيدرات تحت الظروف اللاهوائية وأيضاً تحت الظروف الهوائية وكما هو الحال في أكسدة الإيثانول إلى حامض خليك بفعل بكتيريا الأسيتوباكتر أستاي. وفي نهاية المطاف فقد أجمعت الهيئات العلمية على استخدام مصطلح التخمير لوصف عملية تكسير الكربوهيدرات والمواد الشبيهة لها سواء تحت ظروف هوائية أو لا هوائية.

يلاحظ أنه عند إنتاج الأغذية المتخمرة كالخبز والمخللات ومنتجات الألبان فإن عملية التخمر لا تتضمن فقط تكسير أو تحويل وتغيير الكربوهيدرات ولكنها تتضمن أيضاً البروتينات والدهون. وتم الاتفاق من قبل الهيئات العلمية على تسمية التغيرات في الكربوهيدرات والمواد الشبيهة بالتغيرات التخمرية Fermentative changes والتغيرات على البروتينات بالتغيرات ذات الطبيعة البروتينية Proteolytic changes والتغيرات على المواد الدهنية بالتغيرات ذات الطبيعة الدهنية Lipolytic changes.

ومما يجدر قوله أنه عند تخمير الأغذية فإنه تتم الأنواع الثلاثة من التغيرات (التخمرية وذات الطبيعة البروتينية وذات الطبيعة الدهنية) وبدرجات محددة، ويعتمد المنتج النهائي لعملية التخمر على طبيعة الغذاء ونوع الميكروب الموجود والظروف المحيطة بعملية التخمر كدرجة الحرارة والأكسجين والضوء وغيرها. ويتم في التخمرات التغذوية المحددة كالمخللات والخبز واللبن مثلاً السيطرة على العوامل السابقة الذكر والتي تؤثر على عملية التخمر وخاصة نوع الميكروب ونوع الغذاء والظروف المحيطة بعملية التخمر.

(١١,٢,٤) الميكروبات ذات العلاقة بالتخمرات التغذوية

سبق أن قسمت التغيرات في الأغذية نتيجة عمليات التخمر إلى ثلاثة أقسام هي التغيرات التخمرية وذات الطبيعة البروتينية وذات الطبيعة الدهنية. كما يمكن أيضاً تصنيف أو تقسيم الميكروبات ذات العلاقة بالتخمرات التغذوية إلى ميكروبات تخمرية Fermentative organism وثانية بروتينية Proteolytic organism وثالثة ميكروبات مسؤولة عن تخمير الدهون Lipolytic organism.

تقوم الميكروبات التخمرية بمهاجمة الكربوهيدرات والمواد الشبيهة لها وتنتج الكحول والأحماض وثاني أكسيد الكربون، وفيما يلي بعض الأمثلة على هذه الميكروبات:

سكر + خميرة السكارومايسيز سيرفيسيا ← كحول + ثاني أكسيد الكربون (خبز أو خمور)

سكر + ستربتوكوكس لاكتس ← حامض اللاكتيك (خثرة الجبن)

كحول الايثانول + أوكسيجين + أسيتوباكتر أسيتاي ← حامض الخليك (الخل)

ومما تجدر ملاحظته أن الكحول والحامض المنتج من قبل الميكروبات التخمرية تثبط نمو ميكروبات التحلل والتخمر البروتيني والدهني الأمر الذي يشجع نمو ميكروبات التخمير وهذا سبق وأن تمت الإشارة إليه على أنه المبدأ الذي تقوم عليه عملية الحفظ بالتخمرات.

وفيما يتعلق بميكروبات تخمير المواد البروتينية ومنها ميكروب البروتياس فالجاريس *(Proteous vulgaris)* فإنها تهاجم البروتينات والمواد المحتوية على نيتروجين وتنتج طعوماً وروائح (Putrid) تعد مقبولة ضمن تراكيز معينة فإن زادت عن تلك الحدود المعينة أصبحت غير مقبولة.

ويشمل النوع الثالث من الميكروبات تلك المسؤولة عن تحلل وتخمير الدهون، ومن الأمثلة عليها بكتيريا الألكاليجينز ليبوليتيك *(Alkaligenes lipolytic bacteria)*، حيث تهاجم الدهون والفوسفوليبيدات وتنتج روائح وطعوماً تزنخية وسمكية (Rancid and fishy) تعد مقبولة ضمن تراكيز معينة فإن زادت عن تلك الحدود المعينة أصبحت غير مقبولة.

(١١,٢,٥) العوامل التي تؤثر على التخمرات التغذوية

هناك العديد من العوامل التي تؤثر على التخمرات التغذوية والتي قد تشمل تركيز الحامض وتركيز الكحول وإضافة البادىء ودرجة الحرارة ووجود الأكسجين وتركيز الملح وغيرها.

١ـ تركيز الحامض Level of acid: من الأمور المسلم بها أنه في الأغذية الحامضية وحيث يقل الرقم الهيدروجيني عن ٤,٥، فإن الميكروبات الممرضة كبكتيريا الكلوستريديوم بوتشيلينيوم لا تستطيع النمو في تلك الأغذية، ومع ذلك فإن الميكروبات تتفاوت في قدرتها على تحمل الحموضة. فقد بينت إحدى الدراسات التي تمت على الخليب الخام أن هناك أربع مراحل يمكن تحديدها فيما يتعلق بنمو الميكروبات وهي كما يلي:

المرحلة الأولى: مرحلة عدم النمو Germicidal action حيث لا تظهر نموات ملفتة للنظر للميكروبات.

المرحلة الثانية: تبدأ الميكروبات بالنمو وتكون السيادة لبكتيريا الستريبتوكوكاس لاكتيس حيث تحول اللاكتوز إلى حامض لاكتيك وترتفع الحموضة إلى حوالي ١ ٪ حيث يتم تثبيط الستريبتوكوكس لاكتيس.

المرحلة الثالثة: تنشط في هذه المرحلة بكتيريا حامض اللاكتيك *Lactobacilli* ويزداد تركيز الحامض إلى أن يصل إلى ٢,٤ ٪ الأمر الذي يؤدي إلى تثبيط عمل اللاكتوباسيلاي.

المرحلة الرابعة: لوحظ عند التراكيز المرتفعة من الحموضة pH (٤, ٢ أو أكثر) أنه يبدأ نمو الأعفان والخمائر حيث تقوم الأعفان بأكسدة الأحماض وتخفض الحموضة في حين أن الخمائر تقوم بتخمير بعض البروتينات وإنتاج مواد قلوية تعادل جزءاً من الحموضة الموجودة، وعليه يبدأ تركيز الحموضة بالانخفاض وتنشط بعض الميكروبات المحللة للبروتينات والدهون مما يؤدي إلى إنتاج بعض مواد النكهة المرغوبة.

إن هناك بعض الأنواع من الخبز يتم تخميرها ببكتيريا حامض اللاكتيك *Lactobacilli* وتسهم الحموضة المتكونة في حفظ الخبز ضد بكتيريا الباسيللاس المكونة للأيواغ أو الجراثيم والمسببة لما يسمى بتحبل الخبز Ropy bread كما تعطي أيضاً نكهة مرغوبة. ومما تجدر ملاحظته أنه في الخبز العربي وأنواع أخرى من الخبز لا تكون عملية التخمر بواسطة بكتيريا حامض اللاكتيك بل تقوم الخميرة من نوع السكارومايسيز سيرفسيا Saccharomyces *cerviciae* بتخمير السكر وإنتاج الكحول وثاني أكسيد الكربون ومنتجات تخمرية أخرى وبكميات قليلة. ويقوم ثاني أوكسيد الكربون المنتج بدور المواد النافخة Leavening agent كما أنه يؤثر على الصفات الفيزيائية لجلوتين عجينة الخبز الأمر الذي يؤدي إلى الحصول على خبز بصفات مميزة.

٢- تركيز الكحول Level of alcohol: عند إنتاج المشروبات الكحولية كالخمور مثلاً تقوم الخميرة بتخمير سكريات عصير العنب أو غيره من العصائر وإنتاج الكحول. ويكون تركيز الكحول الناتج في حدود ١٢-١٥ ٪، وهذا التركيز من الكحول لا يكفي لحفظ هذه المشروبات الكحولية، وعليه إما أن تبستر وإما أن يتم زيادة تركيز الكحول إلى ٢٠٪.

٣— إضافة البادئ Addition of starters: لقد أدى التقدم في مجال العلم والتقنية إلى الحصول على بادئات Starters من ميكروبات التخمير لكل نوع من المنتجات المتخمرة كاللبن الرائب والأجبان والخبز والخل وغيرها. وتتوفر هذه البادئات على نطاق تجاري وتقوم بتوفيرها مختبرات متخصصة. تتوفر هذه البادئات أو البيئات النقية في صورة مساحيق وكما هو الحال في بادئات الخبز والأجبان أو في صورة مركزات مجمدة.

وتتصف هذه البادئات بالعديد من الصفات الإيجابية مثل مقاومتها لمتبقيات المضادات الحيوية ومتبقيات المبيدات الموجودة في المواد الأولية التي تدخل عملية التخمر. كما أن هذه البادئات مقاومة للفيروسات البكتيرية.

ومما تجدر ملاحظته أنه قبل إضافة البادئات إلى المواد الأولية المراد تخميرها كالحليب أو العصائر يجب تسخين هذه المواد الأولية لتثبيط نمو الميكروبات الأخرى.

٤— درجة الحرارة Temperature degree: لوحظ في التخمرات المختلطة أن ميكروبات التخمر تحتاج إلى درجة حرارة مثلى لنموها. ومن الأمثلة على ذلك إنتاج مخلل الملفوف Sauer krawt والذي يكثر الإقبال عليه في كل من أوروبا وأمريكا. فعند إنتاج هذا المخلل تستعمل ثلاثة أنواع من الميكروبات هي اللوكونوستوك ميزينتيرويدز *Leuconostoc mesenteroids* واللاكتوباسيللاس كوكاميريس *Lactobacillus cucumeries* والنوع الثالث هو اللاكتوباسيللاس بينتوأسيتكاس *Lactobacillus pentoaceticus* ومما تجدر ملاحظته أن النوعين الأخيرين من البكتيريا تنتجان حامض اللاكتيك وليس الخليك.

يبدأ تخمر بكتيريا اللوكونوستوك ميزينتيرويدز حيث يتحول سكر عصير الملفوف إلى حامض خليك والقليل من حامض اللاكتيك إضافة إلى الكحول وثاني أكسيد الكربون. وتحتاج هذه البكتيريا درجة حرارة منخفضة لنموها (٢٠ °م)، وتستطيع تحمل تركيز من الحموضة يصل إلى ١٪. وبناء عليه يبدأ التخمر بهذه البكتيريا عند الوصول إلى تركيز مناسب من حامض الخليك ومكونات النكهة يتم رفع درجة الحرارة الأمر الذي يثبط نمو

بكتيريا اللوكونوستوك ميزينتيرويدز. ومن ثم تبدأ بكتيريا اللاكتوباسيللاس كوكاميريس بعملية التخمير وتستمر في نشاطها إلى أن يصل تركيز الحامض إلى ٢ ٪، بعدها تبدأ بكتيريا اللاكتوباسيللاس بينتوأسيتكاس وتستمر في نشاطها حتى يصل تركيز الحامض إلى ٢,٥ ٪. ومن هنا نلاحظ تأثير درجة الحرارة على عملية التخمر.

٥- تركيز الأكسجين Level of Oxgen: تحتاج بعض الميكروبات لنموها الطبيعي إلى ظروف هوائية أي إلى وجود الأكسجين Aerobic، في حين أن أنواعاً أخرى منها تفضل النمو في ظروف لاهوائية Anaerobic. ومن الأمثلة على الميكروبات الهوائية بكتيريا الأسيتوباكتر أستاي والتي تؤكسد الكحول إلى حامض خليك أثناء إنتاج الخل. أما الميكروبات اللاهوائية فمن الأمثلة عليها بكتيريا الستريتيكوكس لاكتس التي تستخدم في صناعة الأجبان وكذلك خميرة السكارومايسيز سيرفسيا والتي تخمر السكر إلى كحول.

ومن الجدير ملاحظته أن هذه الخميرة تحتاج إلى ظروف هوائية لنموها وتكاثرها وإلى ظروف لاهوائية أثناء نشاطها التخميري، فسبحان الله عز في علاه حين قال "وما أوتيتم من العلم إلا قليلاً".

٦- تركيز الملح Level of salt: تصنف الميكروبات بناءً على قدرتها على تحمل الملوحة إلى صنفين. الصنف الأول يتحمل تراكيز منخفضة من الملوحة (١- ٥, ٢ ٪) ومن الأمثلة على هذه الميكروبات الميكروبات المحللة للبروتينات وغيرها من ميكروبات فساد الأغذية. والصنف الثاني هو الذي يتحمل تراكيز متوسطة إلى مرتفعة من الملوحة (١٠-١٨ ٪) ومن الأمثلة عليها بكتيريا حامض اللاكتيك مثل بكتيريا اللوكونوستوك ميزينتيرويدز وكذلك اللاكتوباسيللاس كوكاميريس واللاكتوباسيللاس بينتوأسيتكاس وعندما تبدأ الميكروبات التي تتحمل الملوحة المتوسطة والعالية بالنمو فإنها تنتج الأحماض الأمر الذي يعمل وبالتعاون مع الملوحة على تثبيط نمو الميكروبات المحللة للبروتين وكذلك ميكروبات الفساد الغذائي.

إن إضافة الملح للخضار أو خثرة الجبن أو نقانق اللحوم يؤدي إلى خروج السكر والماء من تلك المواد بفعل الخاصية الأسموزية. ويشكل السكر المصدر الكربوهيدراتي لنمو ميكروبات التخمر.

وفي مخلل الملفوف على الرغم أن تركيز الملح منخفض (٢,٥ ٪) إلا أن وجود الحامض يساعد على الوصول إلى التأثير الحافظ المطلوب. أما في مخلل الزيتون فإن تركيز الملح قد يصل ما بين ٧ — ١٠ ٪ في حين يصل هذا التركيز إلى حوالي ١٥ ٪. ويصل الرقم الهيدروجيني في المخللات إلى ما بين ٥, ٢ — ٣,٥ وبمساعدة الملح نصل إلى الفعل الحافظ في المخللات. أما في النقانق فإن الرقم الهيدروجيني يتراوح ما بين ٤— ٥,٥ وعليه فإن الوصول إلى الفعل الحافظ لهذه الأغذية يتطلب التأثير المشترك للمضافات الأخرى كالملح والبهارات والتدخين والتجفيف.

(١١,٣) صناعة المخللات

(١١,٣,١) مقدمة

تعد صناعة المخللات من الصناعات التغذوية المهمة وهي تقع تحت مظلة صناعة الحفظ بالتخمرات، ويعود تاريخ صناعة تخليل الخضار والفواكه وخاصة الخيار والزيتون إلى العصور القديمة ويعتقد أنها نشأت في الشرق حوالي ٣٠٠ قبل الميلاد، وبدأت عمليات التخليل بادئ ذي بدء على نطاق المنزل إلا أنها تحولت في أيامنا هذه إلى التصنيع على النطاق التجاري حيث إن معظم المخللات المتوفرة في الوقت الحاضر تنتج في المصانع. وتشكل المخللات في الوقت الحاضر جزءًا لا يستهان به من الوجبة التغذوية وفي مختلف بلاد العالم. لقد بدأ وضع الأسس العلمية للمخللات وكذلك التعرف على البكتيريا والخمائر ذات العلاقة بالمخللات منذ حوالي ٩٠ عاماً فقط. وتعتمد عمليات التخليل كطريقة لحفظ الخضار والفواكه على التأثير الحافظ لملح

الطعام وحامض اللاكتيك والخليك الناتجين عن التخمر اللاكتيكي للسكريات والتي تقوم على بكتيريا حامض اللاكتيك وهي لاهوائية إضافة إلى تأثير التوابل والبهارات.

تتصف المخللات بشكل عام بطعم حامضي مائل للملوحة بناءً على المواد الأولية الداخلة في التصنيع وخاصة الأحماض العضوية والتوابل والبهارات والخل والملح وبعض الأعشاب.

هناك العديد من الخضار والفواكه التي تستعمل لأغراض التخليل ويعد الخيار والزيتون الأكثر انتشاراً يليه الملفوف والفلفل والزهرة والباذنجان واللفت والبصل والبندورة والجزر والشمندر.

يقوم الأساس العلمي لعملية التخليل على وجود محاليل ملحية لا تستطيع أن تنمو فيها البكتيريا المسببة للفساد الغذائي بينما تنمو بها وتنشط بكتيريا حامض اللاكتيك وهي المسؤولة عن عمليات التخمير وإنتاج المخللات. تقوم البكتيريا المسؤولة عن التخليل بإفراز إنزيمات تحول السكريات الموجودة في الخضار والفواكه إلى أحماض وكحول. ونتيجة لتكون هذه الأحماض ينخفض الرقم الهيدروجيني لمحلول التخليل الأمر الذي يساعد على تنشيط البكتيريا المسؤولة عن التخليل وهي عادة موجودة على أسطح الخضار والفواكه وتتفاوت في مدى تحملها لدرجات الملوحة والحموضة ولذلك فإن هناك أكثر من نوع من أنواع البكتيريا يشترك في عمليات التخليل كما سيتم شرحه لاحقاً في الجزء الخاص بميكروبيولوجيا المخللات.

(١١,٣,٢) طرق التمليح في صناعة المخللات

إن هناك ثلاث طرق رئيسة لتمليح المخللات وهي:

١ــ التمليح الجاف

ويتم بهذه الطريقة إضافة ٦٪ ملح من وزن الخضار المراد تخليلها كبداية ثم يتم زيادة تركيز المحلول الملحي بنسبة ٢٪ كل أسبوع وحتى الوصول إلى تركيز ملحي

مقداره ١٥٪ ومن عيوب هذه الطريقة حدوث انكماش في مخلل الخيار. والهدف من البدء بتركيز منخفض هو إعطاء فرصة لبكتيريا حامض اللاكتيك للنمو بكفاءة.

٢- المخاليل الملحية

يتم في هذه الطريقة تحضير محلول مخفف تركيزه ٢.٥ ٪ وتبقى به الخضار التي يتم تخليلها مدة خمسة أسابيع بعدئذ يتم رفع تركيز المحلول الملحي تدريجياً وحتى الوصول إلى تركيز ١٥٪.

٣- طريقة المخزون الملحي

يتم البدء بمحلول ملحي تركيزه ٧.٥ ٪ ويتم رفع التركيز بمعدل ٠.٥٪ كل يومين لمدة أسبوعين ثم يرفع التركيز بمعدل ١٪ كل يومين وحتى الوصول إلى محلول ملحي تركيزه ١٥٪.

ومما يجدر ذكره أنه في المخاليل الملحية ذات التركيز ١٥٪ لا تستطيع أية أنواع بكتيريا النمو، والنشاط فيها وحتى تلك المسؤولة عن التخليل كبكتيريا حامض اللاكتيك ويمكن عند هذا التركيز من المحلول الملحي حفظ المخللات فترات طويلة جداً تصل إلى عدة سنوات.

(١١,٣,٣) المراحل التي تمر بها عملية التخليل

يمكن تمييز أربع مراحل تمر بها عمليات التخليل وهي:

١- التمليح والتخليل وهذه تشمل خلط الخضار والفواكه بالملح الجاف أو بمخاليل ملحية لفترات زمنية مختلفة ويسمى المخلل الناتج بالمخزون المملح.

٢- إخراج الخضار أو الفواكه التي تم تخليلها من المخاليل الملحية وعمل تدريج حجمي لها.

٣- تصنيع المخللات كإضافة مخاليل ملحية جديدة وخل وبهارات وتوابل وأعشاب ومن ثم التعبئة في عبوات مناسبة وإجراء عمليات البسترة لهذه المخللات.

٤- إعداد المخللات للتسويق.

ويتضمن الشكل رقم (١١,١) وحدة لإنتاج المخللات والمقبلات والآلات والعمليات التي يمكن أن تتضمنها في حالة الإنتاج التجاري للمخللات.

(١١,٣,٤) المواد الأولية والمكونات التي تدخل في صناعة المخللات

١- الخضار والفواكه: وهذه يجب أن تكون سليمة وخالية من العيوب وأن تكون من صنف مناسب للتخليل وذي درجة نضج مناسبة وأن تكون متناسقة في الحجم والشكل ....الخ.

٢- الماء: ويجب أن يكون خالياً أو قليل العسرة، لا يحتوي على مواد عضوية وغير قلوي وخالي من أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم والتي قد تسبب الطعم المر للمخللات. كما يجب أن يكون الماء خالياً من أيونات الحديد والتي قد تسبب اسوداد المخلل، كما يجب أن لا يحتوي الماء على الكلور حتى لا يؤدي ذلك إلى التأثير على نشاط الميكروبات المسؤولة عن عمليات التخليل.

٣- الملح: هناك ثلاثة أنواع من الملح المستخدم في عمليات التخليل ويسمى الأول بملح الألبان والثاني بملح المائدة أما الثالث فهو الملح الصخري، وعموما يجب أن لا تزيد الشوائب في الملح المستعمل عن ١٪ وأن يكون خالياً من أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم والحديد.

٤- البهارات والتوابل: وتضاف لإكساب المخللات طعماً خاصاً وتقسم إلى خمس مجموعات تسمى الأولى بالبهارات الحادة أو الحريفة ومن الأمثلة عليها الخردل والزنجبيل والفلفل أما المجموعة الثانية فتسمى بالبهارات العطرية وتشمل جوزة الطيب والهيل. وتنتمي المجموعة الثالثة من البهارات إلى العائلة الخيمية وتشمل اليانسون والكرفس والكراوية والشبت والكمون. وتضم المجموعة الرابعة بعض الخضار كالبصل والثوم والفجل، أما المجموعة الخامسة والأخيرة من البهارات فتشمل القرفة والقرنفل والكركم والزعفران.

٥— **الخل**: ويقاس تركيزه بالحبة أو كنسبة مئوية وعادة يستعمل الخل بعد تخفيفه إلى تركيز ٤٪ في صناعة المخللات، وعموماً فإن هناك مواصفاتٌ خاصة للخل الذي يستعمل في صناعة المخللات.

٦— **المواد المضافة**: وهذه قد تشمل مواد حافظة كالبنزوات ويسمح القانون بإضافتها بنسبة لا تتجاوز ٠,٢٥٪ ملجم/كجم من وزن المنتج، وكذلك ثاني أكسيد الكبريت والزنجبيل والنشاء والسكر والمواد المحسنة للقوام مثل كلوريد الكالسيوم أو كبريتات الصوديوم والألمنيوم. وهناك بعض المصانع التي تستخدم المواد الملونة الاصطناعية وأحياناً تكون هذه الألوان غير مسموح باستخدامها أو قد يتم استخدامها بتركيزات أعلى من تلك المسموح بها.

٧— **البكتيريا**: وسيرد تفصيلها في البند القادم.

(١١,٣,٥) ميكروبيولوجيا المخللات

تتم عملية تخليل الخضار والفواكه بواسطة التخمير باستخدام بكتيريا حامض اللاكتيك حيث تحتوي الخضار والفواكه على سكر ومواد أخرى تكفي لنمو بكتيريا حامض اللاكتيك وأنواع أخرى من البكتيريا. وعموماً فإن هناك عدداً قليلاً من البكتيريا المسؤولة عن تخمر الخضار وإنتاج المخللات. لقد أثبتت الدراسات العلمية أن غالبية البكتيريا الموجودة على سطح الخضار هي من النوع الهوائي. وقد يصل العدد الكلي للبكتيريا على سطح الخضار كالملفوف مثلاً إلى ١٣ مليون خلية أو أكثر لكل جرام واحد ويزداد هذا العدد في حالة الجذور كالجزر والفجل . وتوجد البكتيريا المسؤولة عن التخمرات بأعداد قليلة نسبياً على سطح الخضار وذلك مقارنة بأعداد أنواع البكتيريا الأخرى الهوائية الأمر الذي يستدعي خلق ظروف مثبطة لنمو هذه البكتيريا الهوائية. وعليه يجب عند تعبئة الخضار لغرض تخميرها خلق ظروفٍ مناسبة لنمو بكتيريا حمض اللاكتيك المسؤولة عن التخمر، وخلق ظروف غير مناسبة لنمو البكتيريا الأخرى الهوائية. ويعد عدم وجود الأكسجين والتركيز المناسب من المحلول الملحي من العوامل المهمة لخلق مثل هذه الظروف.

يمكن القول أن هناك حوالي سبعة أنواع من البكتيريا التي تلعب دوراً مهماً في تخمير الخضار والفواكه وإنتاج المخللات وهذه تشمل اللاكتوباسيلاس كوكاميراس واللاكتوباسيلاس براسيكا، واللاكتوباسيلاس بلانتاريوم واللاكتوباسيلاس بريفس واللاكتوباسيلاس بنتوأستيكس واللوكونوستك ميزينيتروبدس والبيديوكوكس سيرفسيا.

وعادة فإن بكتيريا اللوكونوستك هي التي تبدأ عمليات التخمير في الخضار حيث إن العصارة التي تظهر على سطح الخضار نتيجة القطف والتقطيع تعد بيئة صالحة لنموها. وتنتج هذه البكتيريا ثاني أكسيد الكربون وأحماض عضوية هي اللاكتيك والخليك الأمر الذي يؤدي إلى سرعة خفض درجة حموضة الوسط ومن ثم الحد من نشاط الميكروبات الأخرى والإنزيمات التي قد تسبب طراوة الخضار، ويعمل ثاني أكسيد الكربون الناتج على طرد الهواء وخلق ظروف غير هوائية مناسبة للمحافظة على لون الخضار ومحتواها من فيتامين ج. إن نمو ميكروب اللوكونوستك يهيأ الظروف المناسبة لنمو الأنواع الأخرى من اللاكتوباسيلاس وبطريقة تدريجية حسب قدرتها على تحمل نسبة الحامض. فعند وصول نسبة الحامض إلى ١٪ يقل نشاط اللوكونوستك ويبدأ نشاط اللاكتوباسيلاس كوكاميراس وهذه يستمر نشاطها حتى وصول تركيز الحامض إلى ٢٪، عندئذ يبدأ نشاط بكتيريا اللاكتوباسيلاس بنتوأستيكس والبلانتاريوم وهذه يمكنها تحمل درجات حموضة تصل إلى تركيز ٢,٥٪.

(١١,٣,٦) شروط إنجاح صناعة التخليل

١- اختيار أنواع الخضار والفواكه من الأصناف الملائمة والجيدة على أن تكون طازجة وغير ذابلة ومناسبة من حيث الحجم والنضج واللون، وخالية من الإصابة الحشرية أو الأمراض أو الجروح أو الكدمات.

٢- تطبيق طرق التخليل المناسبة مع الاستعانة بالخبرات المتوفرة في هذا المجال.

٣- استعمال الملح المناسب الخالي من أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم والحديد وكذلك الأتربة وغيرها من المواد التي تؤثر على جودة المنتجات.

٤- استعمال الماء النظيف اليسر الخالي من المواد العضوية وأيونات الكالسيوم والمغنيسيوم ومن القلوية والتي تؤثر على حموضة المخللات وتعادلها وتعرضها للفساد وتؤثر على طعمها.

٥- استعمال البهارات والتوابل والخل من النوعية الجيدة.

٦- يجب أن تكون أوعية التخمير والتخزين والتعبئة وأدوات التحريك وخزانات التحضير والأنابيب مصنوعة من مواد لا تتفاعل مع أحماض المخللات أو ملح الطعام ويفضل الفولاذ غير القابل للأكسدة، ويفضل أن تكون العبوات زجاجية أو معدنية مطلية بطلاء مناسب وقد تستعمل العبوات البلاستيكية، وعموماً يجب أن تكون هذه العبوات نظيفة وجافة قبل الاستعمال.

٧- مراعاة شروط النظافة في الصناعة والتخزين وعدم إفساح المجال لعوامل الفساد من أعفان وخمائر وبكتيريا مع تجنب استعمال المواد المضافة الضارة بالصحة وخاصة المواد الملونة الاصطناعية كلما كان ذلك ممكناً.

٨- توجد بكتيريا حامض اللاكتيك بصورة طبيعية على سطح الخضار والفواكه قبل التخليل. ويجب إضافة بادئ في حالة غسلها يكون عبارة عن محلول مأخوذ من مخلل جيد وغير معامل بالحرارة أو البرودة أو مضاف إليه مواد حافظة ويحتوي على بكتيريا حامض اللاكتيك الحية حيث إن ذلك يسرع من عملية التخليل.

٩- تضاف الأحماض العضوية كاللاكتيك والخليك أو الستريك (شرائح الليمون) عند الحاجة وخاصة عند انخفاض نسبة الحموضة في المخللات عن الحد المناسب. وقد يضاف في نهاية الأسبوع الأول من التخليل السكر بنسبة ١٪ وخاصة عندما يكون محتوى الخضار والفواكه المستعملة في التخليل من السكر قليلاً.

١٠- المحافظة على درجة تتراوح ما بين ٢٥-٣٠°م أثناء فترة التخليل حيث أنها الدرجة المناسبة لنمو ونشاط بكتيريا حامض الخليك.

١١- يراعى أن يغطى المحلول الملحي خلال فترة التخمير كامل الثمار والمواد الأولية ليكون التخمير لا هوائياً حيث إن ذلك يحول دون نمو الخمائر والأعفان على سطح أوعية التخمير ويسمح فقط لبكتيريا حمض اللاكتيك بالنمو وتحويل السكر إلى حامض وللمساعدة في ذلك تضاف أحياناً الزيوت المعدنية أو النباتية لهذا الغرض.

(١١,٣,٧) عيوب المخللات وطرق التخلص منها

١- طراوة واهتراء الثمار نتيجة نشاط بعض أنواع البكتيريا والأعفان والخمائر التي تفرز إنزيمات محللة للبكتين، وتنمو هذه الميكروبات على سطح المحاليل الملحية لفترات زمنية طويلة نسبياً. وللتخلص من هذا العيب ينصح بإزالة هذه النموات والتي غالباً ما تكون على شكل طبقة بيضاء من فوق المخللات أو إضافة طبقة من الزيوت المعدنية أو التغذوية لخلق ظروف لا هوائية لا تناسب نمو هذه الميكروبات ووجد أن تغطية أوعية التخليل بأوراق العنب يحول دون حدوث هذا العيب، كما أن البسترة وتعريض أوعية المخللات للشمس (للأشعة فوق البنفسجية) يمنع اهتراء المخللات.

٢- المخلل اللزج ويحدث نتيجة نمو بعض أنواع من البكتيريا الهوائية على سطح المخللات، ويمكن تجنبه بعمليات البسترة أو التعرض للشمس.

٣- المخلل الأجوف: ويعود إلى نمو الخمائر وبعض البكتيريا داخل الثمار أو نتيجة استعمال ثمار عبرت مرحلة النضج، ومجوفة. ويمكن تجنب هذه الظاهرة بانتقاء الثمار عند مرحلة النضج المناسبة وكذلك بضبط الحموضة وتركيز المحلول الملحي.

٤- ظهور الروائح الكريهة والتي قد تظهر نتيجة وجود بكتيريا حامض البيوتاريك وغالباً ما يصاحب هذه الظاهرة ظهور جيوب غازية تحت قشرة الثمار نتيجة لنشاط بكتيريا القولون (الكوليفورم) وإفرازها لإنزيمات تسبب تزنخ دهون الخضار والفواكه. ومن الحلول التي تقترح لتجنب هذه العيوب إجراء عملية البسترة وضبط تركيز المحاليل الملحية عند الحد المناسب.

٥- انكماش الثمار وسببه زيادة تركيز المحلول الملحي وينصح باستعمال محاليل ملحية لا يزيد تركيزها عن ١٠٪ في بداية التخمير.

٦- التبقع بظهور البثور والتي تأخذ شكل عين السمكة ويظهر ذلك في الزيتون المخلل وتسببه بعض أنواع البكتيريا ومن الحلول التي تقترح لتجنبه ضبط تركيز المحلول الملحي، ورفع نسبة الحموضة، وخلق ظروف لاهوائية أثناء عملية التخمير.

٧- تغيير اللون واسوداده أحياناً وبسبب ذلك وجود الأكسجين وبعض المعادن وبعض أنواع البكتيريا التي تنتج غاز ثاني أكسيد الكبريت ويقترح لتجنب هذا العيب إجراء عملية البسترة والقفل المحكم للعبوات.

(١١,٣,٨) قراءات في المواصفة الأردنية للمخللات

أولاً: الاشتراطات القياسية

يجب توافر الاشتراطات القياسية التالية في المخللات:

١- خلوها من المواد المخاطية والشوائب والعوالق الطافية.

٢- خلوها من الاهتراء والجيوب الغازية.

٣- خلوها من الإصابات الفطرية والحشرية وبيوضها.

٤- خلوها من الطعم المر والروائح الغريبة المنفرة.

٥- خلوها من الطين والرمل والميدات الحشرية.

٦- خلوها من الأحماض المعدنية.

٧- خلوها من الأجزاء النباتية المتخشبة أو المتجعدة وغير المرغوب فيها.

٨- يجب أن يكون لونها طبيعياً متجانساً.

٩- أن لا تزيد نسبة ملح الطعام في وسط التعبئة عن ١٢٪ (المفضل ٧٪).

١٠- أن لا تزيد نسبة الحموضة الكلية عن ٤ ٪ ولا تقل عن ١,٥ ٪ (مقدرة كحامض الخليك).

١١- أن لا يقل حجم المحتويات عن ٩٠٪ من السعة المائية الكلية.

١٢- يجوز بسترة المنتج.

ثانياً: المواد المسموح باستخدامها في صناعة المخللات

١- الأجزاء النباتية الصالحة للاستهلاك البشري (ثمار، سيقان، أوراق، جذور، نورات). أما الأنواع الصالحة للتخليل تشمل الخيار، فلفل، جزر، لفت، زهرة، ملفوف، فقوس، ثوم، بصل، زيتون، شمندر.

٢- الماء الصالح للشرب وملح الطعام والسكر والخل.
٣- ملح الطعام.
٤- السكر.
٥- الزيوت النباتية (زيتون، قطن).
٦- بعض أنواع المكسرات (جوز، صنوبر).
٧- التوابل والبهارات.

ثالثاً: الإضافات التغذوية

١- مواد تسهيل الإذابة.	أعلى حد مسموح به ٥٠٠ ملجم /كجم من المخللات.
٢- مواد التثبيت (كلوريد الكالسيوم).	٢٥٠ ملجم/كجم من المخللات.
٣- مواد حافظة (حامض البنزويك أو أملاحه).	٢٥٠ملجم/كجم من المخللات.
٤- مواد ملونة (كلوروفيل، صبغات طبيعية).	٣٠٠ ملجم/كجم من المخللات.

٥- مواد مدخنة (نشا أو بكتين).
٦- مواد تحميض (خل، لاكتيك، سيتريك).
٧- المنكهات

(١١,٣,٩) تطبيقات عملية على صناعة المخللات

أولاً: تخليل الزيتون الأخضر

١- يتم اختيار الزيتون الأخضر من الأصناف المناسبة للتخليل، وتنظف الثمار من الأوراق وأية شوائب أخرى ويتم تدريجها حسب الحجم.

٢- يتم تشطيب الثمر أو عمل جروح طولية بها (٣-٤ جروح) باستخدام السكاكين أو يتم رصعها (تضرب الثمار بالشاكوش في التخليل المنزلي أو تستخدم مكائن خاصة لهذا الغرض حيث تتعرض الثمار لعملية تهشيم جزئية للإسراع بعملية التخليل). وتساعد عملية التشطيب والرصع على خروج المواد المسؤولة عن الطعم المر وعلى اختراق المحلول الملحي للثمار.

٣- تعبأ ثمار الزيتون بعد ذلك في العبوات الزجاجية ويضاف لها محلول ملحي تركيزه ١٠٪ أو ٤٠ سالوميتر. ونظراً لاحتواء ثمار الزيتون على نسبة مرتفعة من الماء فإنه بمرور الأيام يحدث تخفيف للمحلول الملحي ولذا يجب إضافة محلول ملحي مشبع ويكون تركيزه ٢٦.٥ ٪ ويحضر بإذابة الملح في كمية من الماء والاستمرار في إضافة الملح والتحريك إلى أن تبقى الكميات المضافة من الملح كما هي ودون إذابة، عندئذ يسمى هذا المحلول بالمحلول المشبع ويستبدل كل يومين جزء من المحلول الملحي المغمورة به ثمار الزيتون بهذا المحلول المشبع وذلك للمحافظة على تركيز المحلول الملحي في العبوات الزجاجية بحدود ١٠٪ وإذا كانت هناك صعوبة في عملية إضافة المحلول الملحي المشبع كل يومين فيمكن استبدال هذه الطريقة بطريقة أخرى وهي استعمال محلول ملحي منذ البداية ذي تركيز ١٢.٥٪.

٤- قد يضاف الليمون والفلفل الأخضر بعد تقطيعه إلى شرائح.

٥- بعد إتمام عملية التخمير والتي قد تحتاج إلى ستة أسابيع تتحول ثمار الزيتون إلى اللون الأخضر المصفر ويصبح الطعم ممتازاً والنسجة أو القوام على درجة عالية من الجودة.

٦- قد تخضع ثمار الزيتون بعد اكتمال تخليلها إلى عمليات تصنيعية أخرى تشمل إعادة الفرز والتدريج وإزالة النوى والحشو بشرائح من الفلفل أو المكسرات، وإضافة ٠,٢-٠,٥ ٪ حامض الخليك أو اللاكتيك وقد يتم تغيير المحلول الملحي

بمحلول جديد أقل في التركيز وأخيراً يمكن إجراء عملية البسترة لمخلل الزيتون بعد تعبئته في عبوات صغيرة.

٧- ضرورة حساب نسبة التصافي عن طريق وزن ثمار الزيتون قبل التخليل وبقسمة الثاني على الأول يتم الحصول على نسبة التصافي.

ثانياً: المخللات المخلوطة

١- هناك العديد من الخضار التي يمكن تحضير المخللات المخلوطة منها وهذه قد تشمل الخيار واللفت والبنجر والزهرة والجزر والفلفل والبصل والبندورة..الخ. يتم اختيار الثمار السليمة والخالية من العيوب وتنظف وتستبعد الأوراق والمواد الغريبة ثم تغسل الثمار.

٢- يتم تقشير البنجر واللفت والجزر وتسلق في ماء مغلي حتى تصبح طرية وقد يستغرق ذلك من ٣٠ إلى ٤٥ دقيقة. وفي حالة الزهرة فإنها تجزأ إلى قطع صغيرة وتسلق في ماء مغلي لمدة ١٠ دقائق. وبخصوص الخيار والفلفل الأخضر فيتم تقطيعها إلى شرائح مناسبة.

٣- عند التخليل للأغراض المنزلية فإنه يتم تحضير محلول ملحي تركيزه ١٠٪ ويضاف له خل بنسبة ٢٪ وكذلك بهارات بنسبة ٢ ,٠ ٪.

٤- تخلط مجموعة الخضار بعد تجهيزها وتغطى بمحلول التخليل السابق ذكره في البند ٣. بعد تعبئتها في العبوات المناسبة.

٥- أما في حالات التخليل في المصانع أو على نطاق تجاري فإن كل نوع من الخضار يتم تخليله لوحده وبدون إضافة خل أو بهارات ، وبعد الانتهاء من التخمير فإنه يتم خلط مخللات الخضار المختلفة بالنسبة المرغوبة ويضاف الخل والبهارات وكذلك محلول ملحي ذو تركيز مناسب لتغطية المخللات بعد أن تعبأ في عبوات مناسبة ومن ثم تبستر.

ويبين الشكل رقم (١١.١) وحدة لانتاج المخللات والمقبلات والمكائن والعمليات التي يمكن أن تتضمنها.

٦- قد تستغرق عملية التخليل من ٤-٦ أسابيع حسب درجة الحرارة وتوفر الظروف الملائمة للتخليل. ويراعى هنا أيضاً حساب نسبة التصافي عن طريق وزن الخضار المخلوطة قبل التخليل وبعد التخمير وقسمة الثاني على الأول.

ثالثاً: تخليل الخيار

١- يتم اختيار الخيار من صنف يصلح للتخليل. وتفضل الثمار ذات الحجم الصغير لأغراض التخليل، ينظف الخيار وتستبعد الشوائب ومن ثم يدرج حسب الحجم.

٢- يحضر محلول ملحي تركيزه ٧.٥٪ ويستعمل لتغطية الخيار بعد تعبئته في العبوات المناسبة.

٣- يتم رفع أو زيادة تركيز المحلول الملحي كل يومين باستبدال جزء وليكن ٢٥٪ من المحلول الملحي في العبوة الزجاجية بمحلول ملحي مشبع، سبق شرح طريقة تحضيره عند تصنيع مخلل الزيتون الأخضر. وتستمر عملية الاستبدال هذه حوالي خمسة أسابيع وإلى أن يصل تركيز المحلول الملحي إلى ١٥٪.

٤- بعد الوصول إلى كمال عملية التخمير أو التخليل، وهذا قد يستغرق ٥-٦ أسابيع حسب ظروف التخمير المتوفرة من درجة حرارة وتركيز محلول ملحي وغيره، يفرغ الخيار من العبوات وينقع في الماء مرتين أو ثلاث لمدة ثمان ساعات في كل مرة وذلك لإزالة الملوحة من مخلل الخيار في محلول مائي أو ملحي مناسب بعد إضافة الخل والبهارات إليه وأخيراً تتم عملية البسترة لهذه المخللات.

٥- يلاحظ أنه في الطريقة المنزلية يتم تحضير محلول ملحي عالي التركيز (١٠-١٢٪) بدلاً من ٧.٥٪ وتجري بعد عملية تخليل الخيار وغالباً لا يستبدل هذا المحلول الملحي بعد إتمام عملية التخليل بل يتم استهلاك المخلل وهو مغمور بهذا المحلول الملحي المرتفع ولذا قد يشكل ذلك بعض المخاطر الصحية لذوي ضغط الدم المرتفع وخاصة عند استهلاك كميات كبيرة من هذا الخيار المخلل ذي الملوحة المرتفعة. لقد آن الأوان لتغيير بعض عاداتنا التغذوية وخاصة عندما يتعلق الأمر بالصحة والسلامة.

(١١,٣,١٠) مثال على دراسات الجدوى الاقتصادية لصناعة المخللات

وحدة إنتاج المخللات والزيتون والصلصات (الشكل رقم ١١,١)

حجم الإنتاج السنوي: ٣٠٠ طن مخللات و٥٠ طن زيتون

مساحة وحدة الإنتاج ٣٠٠ متر مربع.

الطاقة التخزينية على شكل صهاريج ٧٠ طن (موزعة على ٣٥ صهريج سعة ٣ طن للصهريج الواحد).

المعدات المطلوبة

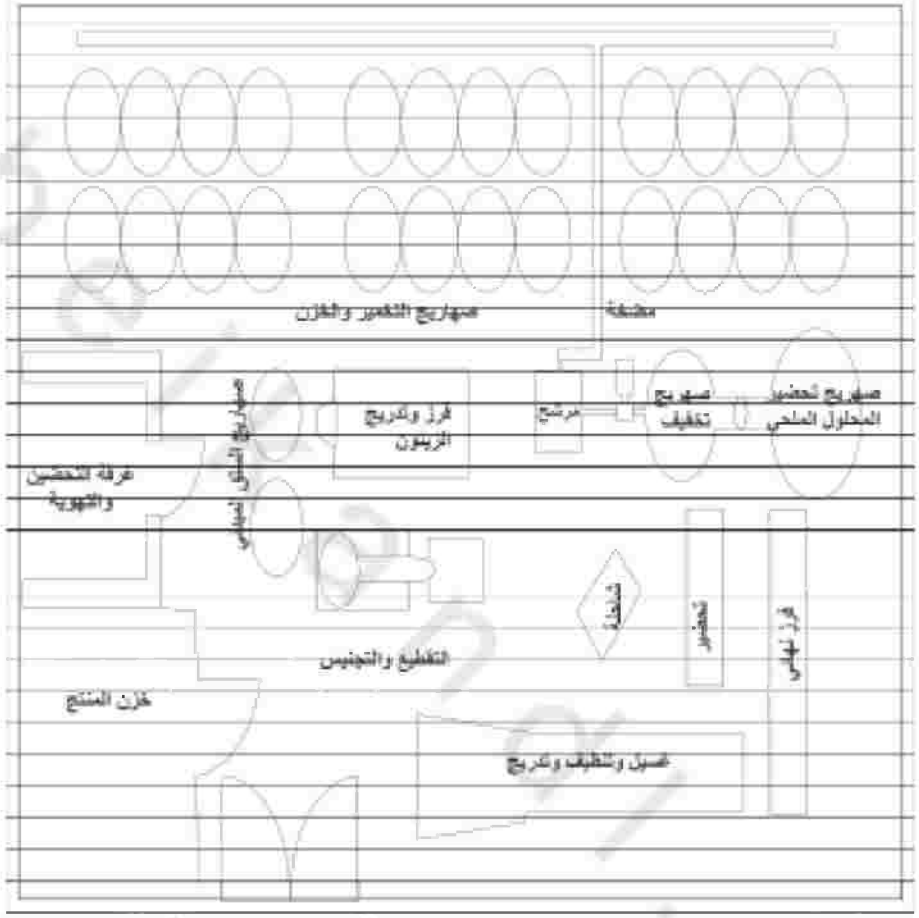
الوحدة	التكلفة بالدينار
٣٥ صهريج	٧٨٥٠
معدات تنظيف المواد الأولية	١٥٠٠
طاولات تصنيف وتعبئة	٦٠٠
عربات نقل	٤٠٠
صهريج إعداد المحلول الملحي مع خلاط	١٠٠٠
وحدة تصفية الفواليل مع مضخة	٢٠٠٠
مضخة خاصة مقاومة للأحماض والأملاح	١٠٠٠
أحواض معالجة حرارية عدد ٤	
(مصنعة من فولاذ غير قابل للصدأ)	١٢٠٠
غرفة حضن وتهوية ٣ X ٢,٥ م	١٠٠٠
تمديدات ومنشآت	٢٠٠٠
آلة إغلاق أكياس بلاستيك	٥٠٠
آلة تصنيف الزيتون ورصمه	٢٠٠٠
آلات تقطيع وطحن ومجانسة	٥٠٠٠
المجموع	٣٠٠٠٠

حساب الكلفة والربح

كمية الزيتون المصنعة بواقع ٥٠ طناً سنويا.

كلفة طن الزيتون	٤٠٠ دينار
كلفة تصنيع الطن مع تعبئته	٢٠٠ دينار
المجموع	٦٠٠ دينار
سعر البيع	٩٠٠ دينار
الربح الصافي	٣٠٠ دينار
الربح السنوي: ٥٠ × ٣٠٠=	١٥٠٠٠ دينار
المخللات: بواقع ٣٠٠ طن سنوياً	
كلفة الطن للمواد الأولية	٢٠٠ دينار
كلفة تصنيع الطن مع تعبئته	١٥٠ ديناراً
المجموع	٣٥٠ دينار
البيع للطن الواحد	٥٠٠ دينار
الربح الصافي للطن	١٥٠ ديناراً
الربح السنوي: ١٥٠ × ٣٠٠=	٤٥٠٠٠

obeikandl.com



الشكل رقم (١١,١). وحدة لإنتاج المخللات والمقبلات والمكائن والعمليات التي يمكن أن تتضمنها.

المصدر: أبو الخير (١٩٨٦)

(١١,٤) صناعة الخل

Vinegar production

(١١,٤,١) تعريف الخل واستعمالاته Vinegar Definition and Uses

تعرف المواصفة الأردنية الخل الطبيعي بأنه ناتج عملية التخمر الكحولي ثم التخمر الخليكي للخامات الطبيعية المحتوية على النشاء أو السكر أو كلاهما معاً دون أن

يتخلل صناعته عملية تقطير، وهذا ما يميزه عن الخل الصناعي وهو الخل المحتوي على حامض الخليك الصالح للاستهلاك البشري وغير الناتج من عملية التخمر الكحولي.

يعد الخل من الأغذية التقليدية الواسعة الانتشار حيث يستعمل لأغراض عديدة وعموماً يمكن تصنيف استعمالاته إلى استعمالات غذائية وأخرى طبية.

١- استعمالات الخل الغذوية

أ) يستعمل في عمل سلطات المائدة.

ب) يستخدم في صناعة المخللات والكاتشب والمايونيز والكاري ومنتجات السمك والخردل.

ج) يستخدم في تحضير الماسترد وهي مادة حارة تضيف طعما للحوم.

د) يضاف أحيانا للخبز لمنع نمو الفطريات عليه.

هـ) يضاف لبعض الأغذية لخفض رقمها الهيدروجيني ومنع نمو الميكروبات المكونة للجراثيم.

٢- الاستخدامات الطبية

أ) يعد الخل بشكل عام أول مضاد حيوي عرفه الإنسان حيث استخدم في علاج الجرب والتهابات الأذن المزمنه ومرض الاسقربوط وعلاج الجروح وبعض أنواع التسمم والحروق والدوالي.

ب) استعمل الخل في تثبيط نمو الخلايا السرطانية وحقق بعض النجاح في علاج السرطان.

ج) يساعد في علاج حصوات الكلى.

د) يساعد في تخفيف الوزن والتجميل.

هـ) يدخل في صناعة المطهرات والاستون.

(١١,٤,٢) تعريف بعض المصطلحات الخاصة بصناعة الخل Terms definition

الخل Vinegar: عرفت المواصفة الدولية الخل بأنه المادة التي تنتج من التخمرين الكحولي والخليكي لأية محاليل تحتوي على سكر.

خل التفاح Cider vinegar: هو الخل الناتج من التخمر الكحولي لعصير التفاح ومن ثم التخمر الخليكي.

الخل المقطر Dstilled vinegar: يستعمل هذا المصطلح في بريطانيا للتعبير عن الخل الناتج من الشعير المنبت Malt والذي تم تقطيره بعد التخمر الخليكي. أما في أمريكا الشمالية فيعني هذا المصطلح الخل المصنع مباشرة من التخمر الخليكي لكحول الإيثايل ويسمى أحياناً خل الاسبيرتو Spirit vinegar.

الخل المنكه Flavoured vinegar: يشير هذا المصطلح إلى الخل المقطر بالطريقة الأمريكية والمضاف إليه مواد ملونة ونكهات ليصبح شبيهاً بخل التفاح.

تركيز الخل Vinegar concentration: يتم التعبير عن تركيز الخل بطرق مختلفة في الدول المختلفة. ومن أكثر الوحدات استعمالاً الحبة Grain وتعادل الحبة الواحدة تركيز مقداره ١,. ٪ وزن/حجم حامض خليك حسب المواصفة الأمريكية بينما في بريطانيا فإن الحبة الواحدة تعني ٢,. ٪ حامض خليك وزن/حجم. مما سبق نرى وجود اختلافات في مصطلحات الخل من مكان إلى آخر.

(١١,٤,٣) بعض الاعتبارات الكيميائية والميكروبية لصناعة الخل

Chemical and Microbiological Aspects of Vinegar Production

تمر عملية إنتاج الخل بمرحلتين رئيستين، الأولى هي مرحلة التخمر الكحولي حيث تقوم خميرة السكارومايسيز سيرفسيا *Saccharomyces cerviciae* بتخمير السكر وإنتاج الكحول وثاني أكسيد الكربون ومنتجات تخمرية أخرى وبكميات قليلة وكما يتبين من المعادلة التالية:

سكر + خميرة ⟶ ثاني أوكسيد الكربون + إيثانول (كحول) + طاقة (٥٥ كيلوسعر حراري)

أما فيما يتعلق بالمرحلة الثانية من عملية التخمر فيتم تحويل الكحول المنتج في المرحلة الأولى إلى حامض خليك بفعل بكتيريا الأسيتوباكتر أسيتاي *Acetobacter aceti* وهو ما يسمى بالتخمر الخليكي وكما يتبين من المعادلة التالية :

كحول الايثانول + أوكسيجين + أسيتوباكتر أسيتاي ------» حامض خليك + ماء + طاقة (١١٦ كيلوسعر حراري)

ويتضح من المعادلات السابقة أن التفاعل من النوع المنتج للحرارة Exothermic وعلية فليست هناك حاجة لاستخدام الحرارة بل العكس هو الصحيح إذ يجب التخلص من الحرارة المتكونة باستخدام التبريد للمحافظة على ميكروبات التخمر بحالة جيدة.

(١١,٤,٤) خطوات إنتاج الخل Steps involved in vinegar production

يبين الشكل رقم (١١,٢) الخطوات المتبعة لإنتاج خل التفاح، ويمكن اتباع هذه الخطوات لإنتاج الخل من فواكه ومواد أولية أخرى كالتمور والعنب والعصائر المختلفة ولكن مع إدخال بعض التعديلات الطفيفة.

١- إعداد ثمار الفواكه وعصرها وتجهيزها لصناعة الخل

تختلف المعاملات التي تتعرض لها ثمار الفواكه أو الخضار أثناء تجهيزها لصناعة الخل وعموماً تشمل المعاملات كلاً من الغسيل والتجفيف (للتخلص من ماء الغسيل) والتقطيع والتقشير والطحن والتنعيم (كما في التفاح) وإزالة البذور (كما في التمور) وإزالة القلب (تفاح) والعصر (كما في العنب والتفاح) والتحول الى عجينة (تمور). وقد تستعمل العصائر الطازجة في صناعة الخل أو قد تستعمل المركزات بعد تخفيفها وأحياناً يتم عصر مخلفات صناعة عصير الفواكه كالقشور وغيرها ويستعمل العصير الناتج في صناعة الخل. ومما تجدر مراعاته أن يكون العصير المستخدم في صناعة الخل ذو تركيز مناسب من السكر (١٠-١٥ ٪)، حيث إن التراكيز المرتفعة من السكر تؤثر على ميكروبات التخمر.

الشكل رقم (١١,٢). خطوات تصنيع خل التفاح.

المصدر: Lea (1990)

٢- التخمر الكحولي Alcoholic fermentation

تتم عملية التخمر الكحولي بفعل الخميرة (سكارومايسيز سيرفسيا) التي تحول السكريات إلى كحول وثاني أوكسيد الكربون وكما تم توضيحه سابقاً. إلا أن هناك بعضَ الخمائر التي تتواجد طبيعياً في المادة الخام أثناء هذا التخمر وتؤدي نتائج غير مرغوبة. ومن الأمثلة على هذه الخمائر الهانسينيا *(Hansenia)* ، والمايكوديرما *(Mycoderma)* ، والتوريلا *(Torula)* وغيرها. وتوجد الهانسينيا في جميع عمليات تخمر عصير الفواكه ، وتنمو وتتكاثر بسرعة في العصير وتستهلك الجزء الأكبر من غذاء الخميرة المرغوبة مما يترتب عليه قلة نشاط ونمو الخميرة المرغوبة. وتفرز الهانسينا أثناء نموها ونشاطها بعض المواد السامة المثبطة لنشاط الخميرة المرغوبة، ولتحاشي الضرر الناشيء عن هذه الخميرة الضارة تضاف كمية زائدة من البادئ.

أما المايكوديرما فهي خميرة تعرف أحياناً باسم زهور الخمر (Wine flowers) وهي هوائية تتكاثر على سطح العصير أثناء التخمر الكحولي، ولها قدرة كبيرة على أكسدة الكحول والسكريات والأحماض العضوية المنتجة إلى ثاني أكسيد الكربون وماء.

وعادة تبدأ الميكوديرما نشاطها بعد إتمام التخمر الكحولي وقبل أن تبدأ الأكسدة للكحول إلى حامض خليك. ويظهر نشاطها في صورة غشاء مبيض اللون ومموج المظهر ذي رائحة أستيرية قريبة من رائحة الفواكه على سطح السائل. ويمكن إيقاف نشاط المايكوديرما بجعل الظروف غير هوائية أو بإضافة حامض الخليك وزيادة نسبته الى ١ ٪.

وهناك نوعان من الخميرة المرغوبة في مجال التخمر الكحولي، الأولى وسبق الإشارة إليها وهي سكارومايسيز سيرفسيا، والثانية هي سكارومايسيز ايليبسويداس *Saccharomyces ellipsoideus*. وتتميز هذه الخمائر بكفاءتها العالية في تحويل السكر إلى كحول، كما تمتاز هذه الخمائر بسرعة ترسبها بعد التخمر، وتخلو السوائل التي تنشط فيها من الروائح الغريبة ومن المظهر الغريب.

ويلاحظ إضافة الخميرة المرغوبة النقية بكمية كافية للتغلب على الخمائر الضارة الموجودة في المادة الخام. ويمكن الحصول على مزارع الخميرة النقية من بعض المصادر التجارية المتخصصة.

يحضر بادئ الخميرة من المزرعة النقية باستعمال انبوبة اختبار محتوية على بيئة آجار حيث يضاف عصير الفواكه إلى المزرعة بالقدر الموازي لنصف حجم أنبوبة مع مراعاة تحاشي تلوث المزرعة بالأعفان وميكروبات الفساد الغذائي الأخرى. تترك المزرعة مع العصير في الغرفة على درجة حرارة ١٨– ٢٤ °م لبضعة أيام وحتى يتم التخمر ويعرف ذلك بتصاعد الغاز بوفرة، بعدها يضاف العصير المتخمر إلى ٣ لترات عصير طازج مع الخلط الجيد، ثم تسد الفوهة بسدادة قطنية معقمة وتترك العصير لمدة ٢–٣ أيام حتى يتخمر تماماً. تضاف هذه الكمية المتخمرة إلى ١٥٠–٢٠٠ لتر من العصير المبستر على درجة حرارة ٧١–٧٤ °م والمبرد إلى درجة ٢٤ °م، وبعد الخلط الجيد والترك لمدة ٢–٤ أيام لإتمام التخمر عليه يكون قد تم تحضير البادىء (حوالي ٢٠٠ لتر)، وتكفي هذه الكمية لتخمير حوالي ١٤٠٠ لتر عصير طازج. ويراعى تجديد الخميرة على فترات متعاقبة.

ويمكن تقسيم فترة التخمر الكحولي إلى مرحلتين، الأولى تستغرق ٣–٦ أيام ويكون التخمر فيها سريعاً حيث يتحول معظم السكر إلى كحول. أما المرحلة الثانية فتستغرق حوالي ٢–٣ أسابيع ويكون التخمر فيها بطيئاً. وجرت العادة على قياس تركيز السكر في المحلول وهو ما يسمى بقراءة البالنج للتعرف على طبيعة وسرعة عمليات التخمر، وتكون قراءة البالنج صفراً عند انتهاء التخمر.

وعند انتهاء التخمر الكحولي تترسب الخميرة وبقايا الثمار الصلبة في أسفل الصهريج، ويراعى التخلص من هذه الرواسب عقب انتهاء عملية التخمر مباشرة لمنع تحللها ونمو بكتيريا حامض اللاكتيك عليها وتكوين روائح غير مقبولة. كما يتم فصل

السائل عن الراسب بالمضخة وتسمى هذه العملية Sacking. وعادة يتم ترشيح الراسب لاسترداد بقايا العصير.

لوحظ أن إضافة ثاني أكسيد الكبريت أو أحد أملاح الكبريت قبل التخمر تسبب ارتفاع نسبة الكحول الناتج وعزيٌ ذلك إلى قيام الكبريت بتثبيط نشاط الأعفان والخمائر الضارة الموجودة في المادة الخام وبكتيريا حامضي اللاكتيت والخليك مما يترتب عليه زيادة نشاط الخميرة المرغوبة. ويضاف غاز ثاني أكسيد الكبريت عادة بتركيز يصل إلى ١٢٥ جزءاً بالمليون. ويعد الإضافة يترك العصير مدة ساعتين ومن ثم يضاف البادئ (الخميرة) إلى العصير. وتهدف هذه الفترة الزمنية إلى قيام الكبريت بقتل الأعفان والخمائر والبكتيريا الضارة الموجودة في المادة الخام أو إيقاف نشاطها.

ترتفع درجة حرارة العصير أثناء التخمر نتيجة الحرارة المنطلقة من تحول السكريات الى كحول وكما تم ايضاحه سابقاً عند عرض معادلات التفاعل. ووجد أنه عند وصول درجة الحرارة في محيط عملية التخمر إلى ما بين ٣٥–٤٠ °م يتوقف التخمر بفعل الخميرة. ومن هنا يلزم تبريد العصير أثناء تخمره سواء بغمس صفائح مبردة بالماء البارد في العصير أو بدفع العصير في أنابيب مبردة خارجياً بالماء البارد.

ويعد تبريد عصير العنب ضرورياً إذا استعمل بدون تخفيفه نظراً لارتفاع نسبة السكر به إلى ٢٢ ٪ بينما لا يعد التبريد ضرورياً في حالة عصير التفاح أو العصائر الأخرى المخففة. وتعد درجة الحرارة المثلى للتخمر الكحولي ٢٧ °م.

بعد الانتهاء من عملية التخمر الكحولي يتم قياس تركيز الكحول الناتج باستخدام الهيدروميتر أو جهاز لونج (Alcohol meter) استعداداً لبدء المرحلة التالية وهي التخمر الخليكي. ويفضل أن يكون تركيز الكحول ما بين ١٠–١٣ ٪. أما في التراكيز المرتفعة من الكحول فإنه يصعب تحويله بالكامل إلى حامض خليك. أما إذا

استعملت تراكيز منخفضة من الكحول (١-٢ ٪) فإن كمية الخل الناتج من الكحول تكون قليلة كما أن طعم الخل الناتج لا يكون في أحسن صوره.

٣- التخمر الخليكي Aceteous fermentation

يتم أثناء التخمر الخليكي تحويل الكحول الناتج أثناء مرحلة التخمر الكحولي أو أكسدته بواسطة بكتيريا الأسيتوباكتر أسيتاي إلى حامض خليك. وقد سبق وأن تم توضيح المعادلة الخاصة بذلك في باب الجوانب الكيميائية والميكروبية لصناعة الخل.

وبالإضافة إلى ميكروب الأسيتوباكتر أسيتاي فهناك أنواع أخرى من هذا الجنس تقوم بمهمة أكسدة الكحول إلى حامض خليك. ومن ذلك الأسيتوباكتر باستيريانم *Acetobacter pasteurianum* وكذلك الأسيتوباكتر كاتزينجيانم *Acetobacter kutzingianum*.

وتمتاز بكتيريا الأسيتوباكتر بأنها عصوية قصيرة جدا وتظهر كخلايا منفردة أو في أزواج أو على هيئة سلاسل. وتتصف بعض أنواع هذا الجنس من البكتيريا مثل الأسيتوباكتر زيلينام *xylinum* بتكوينها أغشية على سطح السائل المتخمر كما أنها تكون طبقة فلينية في الخل المعبأ بزجاجات وهو ما يسمى بأم الخل ويعد أحد عيوب الخل. وتعد جميع أفراد جنس الأسيتوباكتر هوائية ولها القدرة على أكسدة بعض المركبات العضوية الأخرى بالإضافة إلى كحول الإيثايل، كما أنها تمتاز بعدم تكوينها للأبواغ أو الجراثيم.

٤- الترشيح المبدئي للعصير المتخمر أو الخل وتلميعه أو طرده مركزياً

Rough filtration/centrifugation/fining

تتم عملية الترشيح بعد عملية التخمر الكحولي وكذلك بعد عملية تكوين الخل بشكل نهائي وقبل عملية البسترة وذلك بهدف الحصول على خل رائق وخالي من الشوائب. كما يرشح الخل لتحسين مظهره وتستعمل عادة بعض المواد المساعدة على الترشيح. وتستعمل أيضاً أجهزة الترشيح تحت ضغط. ويفضل أن تصنع أجهزة ترشيح الخل من الصلب غير القابل للصدأ أو من البرونز والألمنيوم المقاوم للتآكل ويجب عدم صناعتها من النحاس المطلي بالقصدير لأن مثل هذه المعادن تتآكل بتأثير الخل فتتكون العكارة.

وقد يستعمل الطرد المركزي للمساعدة في عملية الترشيح والتخلص من الشوائب المتناهية في الصغر كتلك المركبات التي تتشكل من تفاعل السكر والبروتين وعديد الفينولات، كما يتم تلميع العصير المتخمر(بعد التخمر الكحولي) عن طريق إضافة لتر من محلول الشيتوسان Chitosan solution لكل ١٠٠ لتر من العصير المتخمر وتسمى هذه العملية Fining.

وتتم عملية التلميع في بعض مصانع الخل(والتي قد يعدها البعض بديلاً أو مكملاً لعمليتي الترشيح والترويق) بإضافة ١ كجم إيسينج جلاس أو جيلاتين إلى ٥٠٠٠ لتر خل يتبعها إضافة ٢ كجم من عجينة البنتونايت، ثم الخلط والتحريك، بعدها يترك لمدة أسبوع قبل أن يتم سحب الخل الرائق عن الراسب.

ومن الجدير ملاحظته أن عملية التلميع يفترض أن تتم على خل سبق إنضاجه جيداً Well-aged vinegar حيث إن ذلك يقلل من أعداد الأسيتوباكتر في الخل المراد تلميعه ويقلل من احتمالية إعادة العكارة مرة أخرى.

٥- إنضاج الخل Maturation

بعد اكتمال عملية التخمر الخليكي يضخ الخل إلى خزانات خاصة وتتم عملية إنضاجه، وذلك بهدف تحسين طعمه وترويقه والتخلص من ظاهرة الغباشة Hase التي قد تصاحبه أحياناً نتيجة تجمع مركبات عديد الفينول وارتباطها بمركبات أخرى.

كانت عملية الإنضاج في السابق تستغرق سنة كاملة إلا أنه حديثاً ونتيجة زيادة عمليات الإنتاج وارتفاع كلفة التخزين وتقدم تقنية الترشيح والترويق فإنها تستغرق شهراً واحداً أو شهرين في أحسن الأحوال.

وتسمى هذه العملية أحياناً بعملية تعتيق الخل Aging حيث تتحسن نكهته ورائحته بزوال محتوياته من الكحولات مرتفعة الوزن الجزيئي والأستالدهايد وبعض الأحماض.

٦- الترويق Clarification

يتم ترويق الخل لتحسين مظهره وذلك بإضافة مواد الترويق إليه مثل الجيلاتين والكازين وطمي البنتونايت حيث ينقع الأخير في الماء أو الخل بضعة أيام ويرج بشدة لتكوين معلق تركيزه حوالي ٥ ٪، ثم يضاف هذا المعلق للخل بنسبة ٦ لتر/٤٠٠ لتر خل، ويترك الخل للترسيب ثم يفصل الخل الرائق، وينصح بعمل الترويق على كمية قليلة من الخل في البداية ومن ثم التعميم على نطاق أوسع.

وتعد المادة الصمغية المسماة إيسينج جلاس Isinglass من أفضل المواد لترويق الخل حيث يؤخذ منها ٢٥٠ جراماً وتخلط بكمية مماثلة من حامض الستريك وتنقع في ٢ لتر من الماء لمدة ٢٤ ساعة ثم تمزج وتخلط جيداً وتصفى خلال مصفاة دقيقة الثقوب، وتكفي هذه الكمية من مادة الترويق لترويق حوالي ٢٠٠ لتر خل. ويعبأ الخل بعد خلطه بمادة الترويق في برميل ويغلق الأخير ويقلب الخل جيداً ويترك لمدة عشرة أيام، يسحب بعدها الخل الرائق بعيداً عن الرواسب.

وعند استعمال الكازين تذاب كازينات الصوديوم أو البوتاسيوم في الماء الساخن بتركيز ٢ ٪، وتكفي خمسة لترات من محلول الترويق المحضر لترويق ٤٠٠ لتر خل. وفي حالة استعمال التانين تذاب كمية مناسبة منه مع القليل من الخل ثم تخلط هذه الكمية ببقية الخل وتترك لمدة أسبوع.

٧- بسترة الخل وتعبئته Paseurization/sterilization and bottling

تتم عملية البسترة للخل بتعبئته في زجاجات محكمة الإغلاق وذلك بهدف القضاء على أي نوع من البكتيريا التي قد تحدث تغيير في الطعم واللون. وتتم عملية البسترة على ٦٠-٦٦ °م لمدة ٣٠ دقيقة أو على ٧٢ °م لمدة خمس دقائق أو على ٨٠ °م لمدة ثلاث ثواني أو بإضافة ١١٠-١٥٠ جزءاً بالمليون ثاني أكسيد الكبريت أو ما يعادلها من بايكبريتيت الصوديوم.

وتعد العبوات الزجاجية هي الأفضل في مجال تعبئة الخل، ويراعى أن يكون الغطاء مبطناً بحيث لا يصل الحامض إلى معدن الغطاء، كما تراعى نظافة العبوات وتعبئتها كاملة لمنع وجود الهواء. وفي حال استعمال العبوات البلاستيكية فيراعى توخي الحذر فيما يتعلق بنفاذيتها للأكسجين.

(١١,٤,٥) طرق تصنيع الخل Vinegar manufacturing processes

يتم تصنيع الخل بإحدى ثلاث طرق، الأولى هي الطريقة البطيئة والثانية الطريقة السريعة والثالثة طريقة الغمر.

١- الطريقة البطيئة Slow process

وتسمى أيضاً بطريقة أورليانز أو بطريقة البراميل Orleans or barrel process. وتعد الطريقة المنزلية لتصنيع الخل، وهي من أقدم طرق إنتاج الخل. تستخدم فيها البراميل الخشبية سعة ٢٠٠ لتر، ويفضل استعمال أوعية ذات مساحة سطحية أكبر وعمق أقل لتسريع عملية إنتاج الخل.

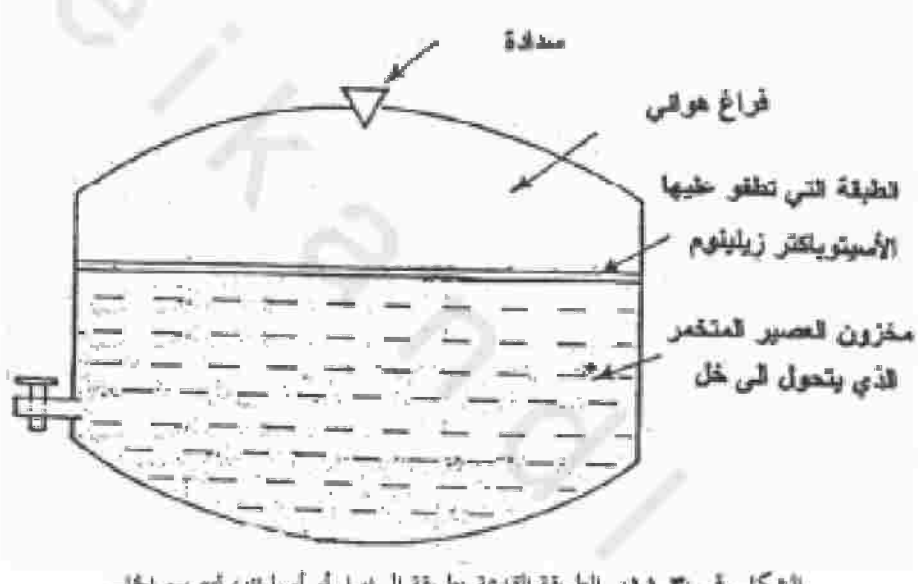
يملأ ثلث هذه البراميل بالخل (لرفع الحموضة ومنع نمو المايكوديرما وتنشيط الأسيتوباكتر أسيتاي)، ثم يضاف ١٥ لتراً من الكحول أسبوعياً ولمدة أربعة أسابيع كما يزود كل برميل بفتحات تهوية تعلو سطح السائل مباشرة وكما يتضح من الشكل رقم (١١,٣).

تستغرق عملية تكوين الخل بهذه الطريقة من عدة أسابيع إلى ثلاثة أشهر، وعليه يسحب كل شهر ثلث إلى ربع الخل الناتج لإعداده للاستهلاك وتضاف كمية مماثلة من العصير المتخمر أو السائل الكحولي بدلاً من الكمية المسحوبة وتصبح العملية بعد ذلك مستمرة. ويراعى حفظ البراميل عند درجة حرارة ٢٩ °م.

تتميز هذه الطريقة بإنتاج خل جيد النكهة للأسباب التالية:

١- احتواء الخل على أحماض عضوية مثل اللاكتيك نتيجة لدور بعض أنواع من البكتيريا التي تعيش في الهواء الأمر الذي يكسب الخل نكهة خاصة.

٢- تكون بكتيريا الأسيتوباكتر زيلينوم *A. xylinum* نمواً لزج جيلاتينياً من السيليلوز على شكل طبقة سطحية أو فيلم يسمى أم الخل Mother of vinegar. ويعد ذلك ميزة في الطريقة البطيئة إلا أنه عيباً في الطرق الأخرى. وكونها ميزة يعزى إلى تجمع خلايا الأسيتوباكتر على هذه الطبقة وتعرضها للهواء مباشرة.



الشكل رقم (١١,٣). الطريقة القديمة (طريقة البراميل أو أورليانز) لتصنيع الخل.

المصدر: Salunkeh et. Al (1991)

٣- تحقق هذه الطريقة تعتيق الخل أثناء إنتاجه الأمر الذي يؤدي إلى تحسين مظهره ونكهته.

وتتلخص عيوب هذه الطريقة بأنها تستغرق وقتاً طويلاً وأن كفاءتها الإنتاجية منخفضة نظراً لفقدان جزء من الكحول نتيجة التبخر، كما أن أي اهتزاز للبراميل قد يؤدي إلى سقوط النموات البكتيرية إلى أسفل البرميل الأمر الذي يعيق عملية إنتاج الخل.

٢- الطريقة السريعة The quick vinegar making (packed generator) process

تمتاز هذه الطريقة بسرعة تحول الكحول إلى خل ويتناسب ذلك مع كمية الأكسجين المتوفرة والمتصلة بالعصير المتخمر أي مع السطح المعرض للهواء فبزيادة مساحة هذا السطح تزداد سرعة تكوين الخل.

وتستخدم في الطريقة السريعة لإنتاج الخل العديد من الأجهزة، بعضها قديم والآخر حديث. والأجهزة القديمة هي إما براميل لها قاع كاذب مثقب وفي وسطها رف ويتم ملؤها بنشارة الخشب لزيادة المساحة السطحية. وقد تكون الأجهزة القديمة عبارة عن صهريج رأسي أسطواني الشكل تُملأ منطقة الوسط به بنشارة الخشب ويبلغ قطره حوالي ١٥٠ سم وارتفاعه ٤٠٠ سم، وهو مزود قرب القاعدة بفتحات للتهوية، كما يثبت أعلى الفراغ الوسطي الحوض الدوار الخاص بتوزيع العصير المتخمر.

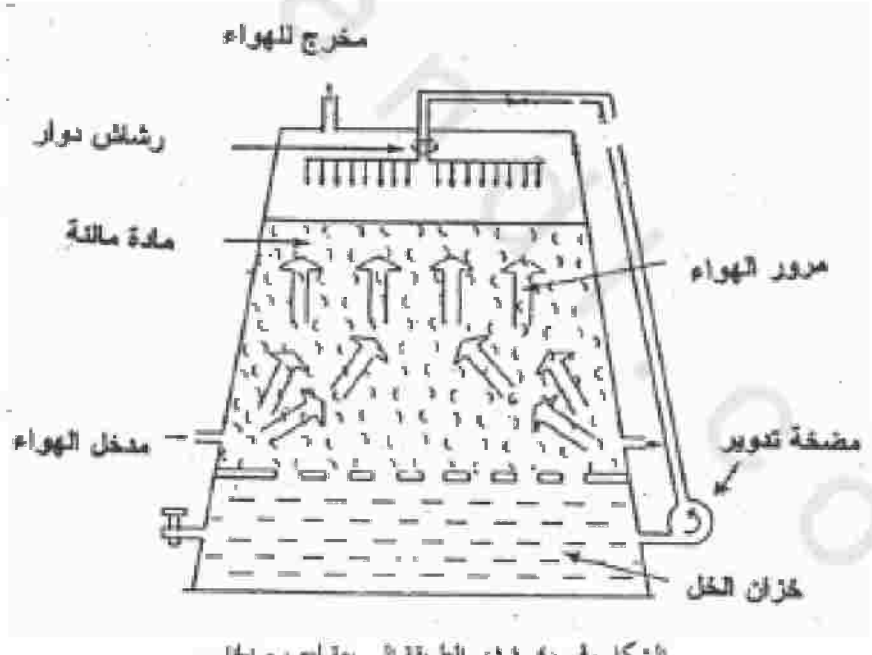
ومن الصعوبات التي تعترض استخدام أجهزة الخل القديمة تكون نمو لزج جيلاتيني من السيليلوز على شكل طبقة سطحية أو فيلم يسمى أم الخل Mother of vinegar بواسطة بكتيريا الأسيتوباكتر زيلينوم *A. xylinum* الأمر الذي يستلزم إيقاف عملية تصنيع الخل وتنظيف الجهاز جيداً.

من جهة أخرى فقد تم البدء باستعمال أجهزة حديثة لتصنيع الخل بالطريقة السريعة، ومنها على سبيل المثال أجهزة الدوران السريعة Recirculating generators وتلحق بها مضخة تثبت أسفل الجهاز لدفع العصير المتخمر من خلال أذرع مثقبة مصنوعة من الصلب غير القابل للصدأ أو من المطاط الصلب (الشكل رقم ١١.٤)، وعليه يتوزع العصير المتخمر بانتظام على نشارة الخشب والفحم، ويتم ضبط درجة الحرارة للجهاز بواسطة أنابيب مزدوجة يمر بين جدرانها الماء الذي تم تحديد درجة حرارته. وفي جميع الأحوال يجب تجنب درجة الحرارة الخطرة والتي تقدر بحوالي ٤٠°م حيث يتوقف عندها نمو ميكروبات التخمر في حين أن درجة الحرارة المثلى عند إنتاج الخل ٢٩ °م.

كما يزود الفراغ السفلي للجهاز بثقوب التهوية أو بمروحة لدفع الهواء، وتستغرق عملية إنتاج الخل حوالي أسبوعاً. ويتم عادة سحب ثلثي كمية الخل من الجهاز ويترك الثلث كبادئ لتحميض الدفعة القادمة من العصير المتخمر.

٣- طريقة الغمر Submerged-culture fermenter

تتميز هذه الطريقة بعدم استخدام المواد المالئة كنشارة الخشب والفحم وبذلك لا يخشى من مشكلة أم الخل أو اسوداد لون الخل نتيجة التلوث بحديد الفحم. وتستخدم عدة أنواع من الأجهزة لإنتاج الخل بطريقة الغمر وكما يتبين من الشكلين رقمي (١١,٥ ، ١١,٦).



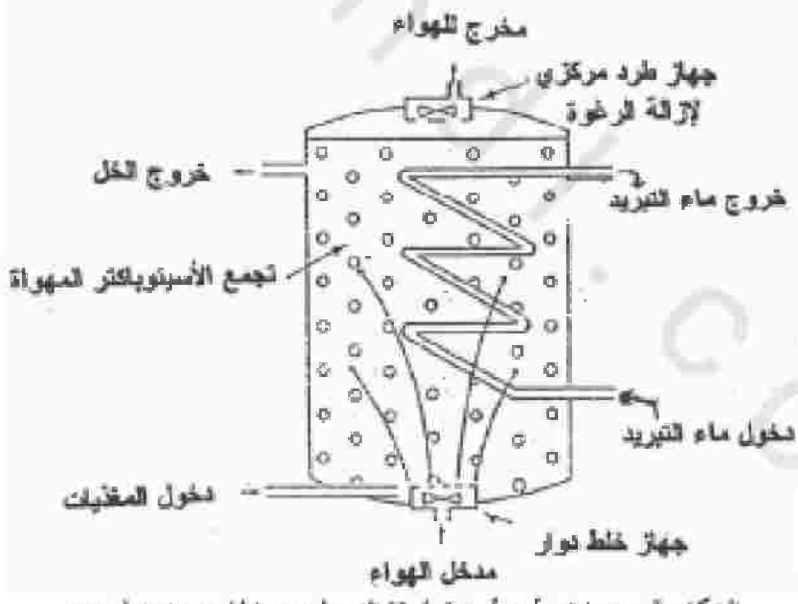
الشكل رقم (١١,٤). الطريقة السريعة لتصنيع الخل.

المصدر: Sahinkeh et. Al (1991)

ويتم ضخ الهواء وإعادة دورته داخل هذه الأجهزة، كما يمنع تصميم هذه الأجهزة تكون كتل من الأحياء المجهرية التي تعيق سريان العصير المتخمر والهواء.

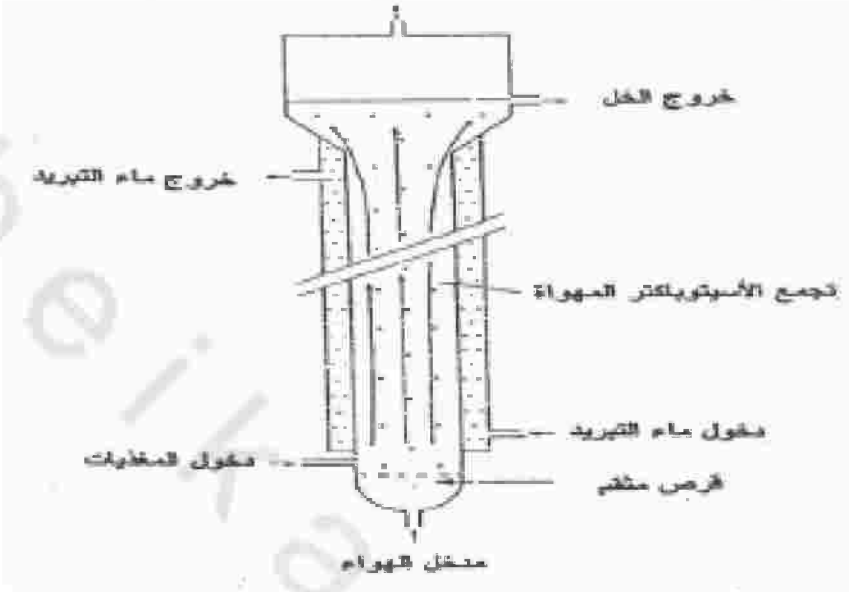
وتعمل أجهزة التخمير بالغمر بكفاءة عالية وبمعدل إنتاج سريع، كما أنها صغيرة الحجم مقارنة بأجهزة الطريقتين البطيئة والسريعة وعليه فإنها تحتل مساحة صغيرة في المصنع.

تحتاج أجهزة التخمير بالغمر إلى وسائل تبريد وكما هو الحال في إنتاج الخل بالطريقة المستمرة كما أنها بحاجة إلى استعمال مرشحات بكفاءة عالية. ومن سلبيات طريقة الغمر ظهور الرغوة وضرورة السيطرة عليها كما تواجه هذه الطريقة مشاكل ضعف نمو ميكروبات التخمر أحياناً الأمر الذي يستدعي تفريغ الجهاز والبدء بعملية تخمير جديدة.



الشكل رقم (١١,٥). أحد أجهزة طريقة الغمر لتصنيع الخل (من نوع فريتج).

المصدر: Salunkeh et. Al (1991)



الشكل رقم (١١,٦). أحد أجهزة طريقة الغمر لتصنيع الخل (من نوع البرج).

المصدر: Sahinkeh et. Al (1991)

(١١,٤,٦) مكونات الخل ومواصفاته

Vinegar Composition and Specification

تعتمد مكونات الخل بشكل عام على طبيعة المادة الأولية المصنع منها. وسبق لنا أن عرفنا الخل الاصطناعي بأنه الخل المحتوي على حامض الخليك الصالح للاستهلاك البشري وغير الناتج من عملية التخمر الكحولي الخلي. وتتوفر العديد من الطرق التي يمكن استعمالها للتفريق بين الخل الطبيعي والخل الاصطناعي وكذلك بين الخل الناتج من كحول إيثانول بترولي أو كحول إيثانول ناتج من تخمير عصير الفواكه. ويبين الجدول رقم (١١,١) مكونات خل التفاح الطبيعي.

تتوفر مواصفة خاصة بالخل الاصطناعي أو روح الخل وأخرى بالخل الطبيعي. كما أن للخل الطبيعي مواصفاته حسب المادة الأولية التي صنع منها فهناك خل التفاح وكذلك خل العنب وخل التمر وما إلى ذلك. وفيما يلي بعض ما جاء في مواصفة خل التفاح الطبيعي:

١- أن يكون له نكهة خاصة بنوع المادة الخام المنتج منها وهي التفاح.
٢- أن لا يقل ما يحتويه من حامض الخليك عن ٤ (٪ وزن/حجم).
٣- أن لا تزيد نسبة الرماد عن ٠,٥٠ (٪ وزن/حجم).
٤- أن لا تزيد نسبة المواد الصلبة عن ٢٪.
٥- أن لا تزيد نسبة الكحول عن ٠,٥٠ (٪ وزن/حجم).
٦- أن لا تزيد نسبة حامض الفوسفوريك عن ٠,٥٠ (٪ وزن/حجم) محسوبة كخامس أكسيد الفوسفور.

الجدول رقم (١١,١). مكونات خل التفاح الطبيعي.

الكثافة النسبية	١,٠١ — ١,٠٢
مجموع الأحماض كحامض خليك (٪ وزن/حجم)	٣,٣٠ — ٩
الأحماض المتطايرة كحامض ماليك (٪ وزن/حجم)	٠,٠٣ — ٠,٤
المواد الصلبة الكلية (٪ وزن/حجم)	١,٣٠ — ٥,٥
الرماد الكلي (٪ وزن/حجم)	٠,٢٠ — ٥,٠
قلوية الرماد (عدد الملل من الحامض الذي عياريته ٠,١ مولر لكل ١ ملل خل)	٢,٢٠ — ٥,٦
مواد صلبة غير سكرية (٪ وزن/حجم)	١,٢٠ — ٢,٩
سكريات كلية (٪ وزن/حجم)	١٥,٠ — ٧٠,٠
كحول (٪ وزن/حجم)	٠٣,٠ — ٢
بروتين ٪	٠٣,٠
عديد الفينول ٪	٠٢,٠ — ١
فوسفات كخامس أكسيد الفوسفور ٪	٠٢,٠ — ٣,٠
جليسيرول (٪ وزن/حجم)	٢٣,٠ — ٤٦,٠
سوربيتول (٪ وزن/حجم)	١١,٠ — ٦٤,٠

المصدر: Lea (1990)

(١١,٤,٧) عيوب الخل Defects of Vinegar

يتعرض الخل أثناء وبعد تصنيعه إلى العديد من المشاكل والعيوب والتي من أهمها:

١– ديدان الخل Vinegar eels: وهي عبارة عن نيماتودا تنتقل من مكان لآخر بواسطة ذبابة الفواكه Drosophila fruit fly، وتبلغ طول الدودة ١–٢ ملم وتتجمع عادة على الجزء العلوي من البرميل أو الصهريج وهي تتغذى على ميكروبات الأسيتوباكتر الميتة. وتظهر ديدان الخل في أي مرحلة من مراحل إنتاج الخل إلا أنها أقل ظهوراً في عملية الإنتاج بالطريقة المغمورة. وهناك اختلاف في وجهات النظر لدى مصنعي الخل بالنسبة لديدان الخل. فالبعض يراها مفيدة وخاصة أنها تتغذى على الميكروبات الميتة وتعمل على تنظيف وتنشيط عملية التخمر كما أنه يسهل التخلص منها عند تعبئة المنتج النهائي. في حين أن البعض الآخر يرى أنها ضارة ويعتقد أنها تقلل العدد الكلي لميكروبات التخمر كما أنها تخفض حموضة الخل عن طريق أكسدة الخل إلى ثاني أكسيد الكربون والماء. ولم يتضح بعد أي الفريقين أكثر صواباً.

ومما تجدر ملاحظته أنه يمكن تقليل احتمالية انتشار ديدان الخل عن طريق ممارسة التصنيع الجيد وتطبيق الشروط الصحية على المواد الخام الداخلة في التصنيع وعلى العاملين ومباني مؤسسة التصنيع الغذائي. كما يمكن التخلص من هذه الديدان في جهاز التخمير برفع درجة الحرارة إلى ٤٠ °م حيث إن ذلك لا يؤثر على ميكروبات التخمر. كما تستخدم عمليات الترشيح والبسترة للتخلص من هذه الديدان.

٢– أم الخل Mother of vinegar: وتتصف بعض أنواع الأسيتوباكتر مثل الأسيتوباكتر زيلينام *A. xylinum* بقدرتها على تكوين أغشية على سطح السائل المتخمر كما أنها تكون طبقة قلبنية أو سيليلوزية في الخل المعبأ بزجاجات غير محكمة الإغلاق

أو غير المبسترة جيدا، وهو ما يسمى بأم الخل ويعد أحد عيوب الخل عند استخدام الطريقة الحديثة أو طريقة الغمر لإنتاج الخل، ولكنه لا يعد من وجهة نظر العديد من المهتمين بصناعة الخل عيبا بالنسبة للطريقة القديمة بل هو ميزة حيث تقوم خلايا الأسيتوباكتر بالتجمع على هذه الطبقة وتعرضها للهواء مباشرة. ويبين الشكل رقم (١١,٧) هذا العيب في عبوات الخل الزجاجية.

الشكل رقم (١١,٧). نمو الأسيتوباكتر زيلينوم في الخل وتكوين ما يسمى بأم الخل.

المصدر: Sahinkeh et. Al (1991)

٣- الغباشة أو العكارة الناتجة عن عديد الفينول Polyphenol hases

تعد مشاكل الخل الحيوية كديدان الخل وأم الخل بسيطة ويتم التعرف عليها بسهولة وكذلك التغلب عليها باليسترة. إلا أن المشاكل غير الميكروبية كالغباشة أو العكارة تعد أكثر تعقيداً من المشاكل الحيوية. وكان يعتقد في السابق أن هذه المشاكل تعزى إلى البروتينات وثبت أن هذا الاعتقاد خاطئ.

ففي خل التفاح مثلاً عديد الفينول هو السبب الرئيس لتكون الغباشة. وتعد البروسيانيدين Procyanidin أو ما يمكن تسميته ببساطة بالتانين مبلمرات معقدةً ولها دور رئيس في تكوين الغباشة في الخل وذلك نظراً لقابليتها لتكوين مبلمرات أخرى أكثر تعقيداً. وهناك ثلاث نظريات تناقش آلية تكون الغباشة من قبل عديد الفينول في الخل إلا أن المجال لا يتسع للخوض في تفاصيل هذه الفرضيات.

ومن الوسائل الناجعة للمنع أو التقليل من احتمالية حدوث الغباشة إجراء عمليات التعتيق والتلميع التي سبق الإشارة إليها.

٤- أزهار الخمر Wine flowers

وتطلق هذه التسمية على الطبقة البيضاء المتكونة على سطح الخل والناتجة من نمو خلايا شبيهة بالخمائر. وتتلخص مضار هذه الطبقة في تسببها بتكوين الغباشة في الخل وفقد الخل لنكهته. وحيث إن الميكروبات التي تسبب هذه المشاكل هوائية لذا فإن تعبئة أجهزة التخمير بالكامل ومنع وصول الهواء يحول دون حدوث هذه المشكلة.

(١١,٤,٨) حسابات خاصة بصناعة الخل

سنحاول التعرف على كيفية حساب كمية الخل التي يمكن إنتاجها من كمية محددة من فاكهة ما عن طريق حل المسألة التالية:

احسب كمية الخل التي يمكن إنتاجها من خمسة أطنان من التمور إذا علمت أن التمور تحتوي على ٧٠ ٪ سكر على أساس وزنها الطازج، وأن كفاءة الخميرة في

تحويل السكر إلى كحول هي ٨٠ ٪ وكفاءة بكتيريا الأسيتوباكتر في تحويل الكحول إلى خل هي ٧٥ ٪ وأن كفاءة استخلاص سكريات التمور تبلغ ٩٠ ٪.

لحل المسألة أعلاه لا بد من استحضار المعادلتين الخاصتين بالتخمر الكحولي والخليكي، بحيث تكون (المعادلتان) موزونتين لكي نتمكن من حساب كميات المواد الداخلة في التفاعل بدقة.

سكر (١٨٠) + خميرة ------» ٢ ثاني أكسيد الكربون (٨٨) + ٢ ايثانول (٩٢) + طاقة (٥٥ كيلوسعر حراري)

كحول الايثانول (٤٦) + أكسيجين (٣٢) + أسيتوباكتر أسيتاي ------» حامض خليك (٦٠) + ماء (١٨)+ طاقة (١١٦ كيلوسعر حراري)

كمية السكر الموجودة في خمسة أطنان من التمور: ٥ X ٧٠ / ١٠٠ = ٣,٥ طن سكر.

كمية السكر الفعلية التي يمكن استخلاصها: ٣,٥ X ٩٠/١٠٠ = ٣,١٥ طن سكر.

من معادلة التخمر الكحولي فإن كل ١٨٠ جم سكر تعطي ٩٢ جم كحول، وعليه فإن كمية الكحول التي تنتج من ٣,١٥ طن سكر هي:

٣,١٥ X ٩٢/١٨٠ = ١,٦١٧ طن كحول (١٠٠٪)

وحيث إن كفاءة التحويل من سكر الى كحول هي ٨٠ ٪:

١,٦١٧ X ١٠٠/٨٠ = ١,٢٩٣ طن كحول

تحسب كمية الخل الناتجة من ١,٢٩٣ طن كحول وكما يلي:

١,٢٩٣ X ٦٠/٤٦ = ١,٦٧٩ طن حامض خليك

وحيث إن كفاءة التحويل من كحول إلى حامض خليك هي ٧٥ ٪:

١,٦٧٩ X ١٠٠/٧٥ = ٢,٢٣٩ طن حامض خليك (١٠٠ ٪)

وحسب المواصفة فإن تركيز حامض الخليك يجب أن لا يقل عن ٤٪، وعليه فإن كمية الخل التي يمكن إنتاجها من خمسة أطنان من التمور هي: ٢,٢٣٩ X ١٠٠/٤ = ٥٥,٩٧٥ طن.