التخمرات الصناعية Industrial Fermentation

هي التغيرات الحيوية المسؤولة عن تحويل المواد الكربوهيدراتية والمواد المشابهة لها تحت ظروف هوائية او لاهوائية بفعل الاحياء المجهرية الدقيقة لما تحتويها من انزيمات وحوامض عضوية وكحولات مثبطة او قاتلة لبعض الاحياء المجهرية حيث تعمل هذه المواد على اعطاء الطعم والرائحة واللون والقوام الخاص بحيث تجعل المنتوج مختلفاً عن المادة الأولية.

اهم انواع التخمرات:

اولاً :التخمر الكحوليAlcoholic fermentation

هذا النوع من التخمر يتضمن إنتاج الإيثانول (Ethanol) والمشروبات الأخرى وبصورة عامة فإن إنتاج هذه المواد يعتمد على التخمر الذي تقوم به الخمائر (yeasts) وتتضمن أحيانا التخمر الناتج عن الاعفان المشابهة للخمائر مثل *Amylomyces rouxii* والخمائر المشابهة للاعفان مثل *Endomycopsis* واحيانا أخرى البكتريا مثل بكتريا . *Zymomonas mobilis* والمواد الاولية الداخلة في هذه الصناعة تتضمن السوائل المتبقية من صناعات أخرى كقصب السكر (sugar cane) ، عصير الفواكه المختلفة مثل العنب والمواد الحاوية على النشأ المحلل (Hydrolyzed starch) وجميع هذه المواد حاوية على السكريات قابلة للتخمر والتي تتحول بسرعة إلى الإيثانول كما يحدث في التخمر الطبيعي بواسطة الخمائر في الطبيعة والبيئة.

يُنتج من هذا التخمر كميات متساوية من الإيثانول وثاني اوكسيد الكاربون ويعمل الأخير على طرد الأوكسجين للحفاظ على بيئة لاهوائية للتخمير .تنمو الخمائر وتُخمر بسرعة المواد القابلة للتخمير بينما تكون الأحياء المجهرية الأخرى الهوائية غير قادرة على التنافس مع الاولى .الإيثانول المنتج كما هو معروف هو مادة قاتلة للجراثيم ولطالما بقي المنتج المخمر بحالة لاهوائية فإن هذا المنتج يكون ثابت ومستقر ومحفوظ بشكل جيد.

في دول آسيا هناك طريقتان تقليديتان لتخمير نشأ الرز إلى أغذية أو مشروبات كحولية .الطريقة الاولى تعتمد على استخدام العفن مثل *Amylomyces rouxii* الذي ينتج إنزيمات الأميليز (Amylases) التي تحول نشأ الرز إلى سكريات .والخمائر مثل *Endomycopsis fibuliger* التي تحول الكلوكوز والمالتوز إلى الإيثانول

Asst. Prof. Dr. Shayma Tiyab Cdoa

الشروط الواجب توفرها في عملية التخمر الكحولي:

1- يستخدم المحلول السكري بتركيز 10-18% ويفضل ان يكون 12 % لان زيادة التركيز عن ذلك يؤدي الى تثبيط نمو الخميرة ويؤدي ذلك الى بقاء السكر بدون تخمر، اما انخفاض التركيز يؤدي الى انخفاض اقتصادية التصنيع.

2- يجب ان تكون الظروف لاهوائية لان الظروف الهوائية تسبب انخفاض الكحول المتكون .

3- ضبط الحرارة باستمرار اثناء عملية التخمر وجد ان 1 غم من السكر يؤدي الى اطلاق كمية من الحرارة تقدر 120 كالوري مما يؤدي الى تثبيط الخميرة وزيادة نشاط بكتريا حامض اللاكتيك ، يمكن السيطرة على الحرارة باستخدام اجهزة التبريد.

4- زيادة نسبة الكحول المتكون في نهاية التخمر يضاف CS_2 او احد املاحه بنسبة 125ppm قبل اضافة بادئ الخميرة حيث يساعد على اتمام عملية التخمر ويمنع نمو الفطريات وبكتريا الخليك واللاكتيك ويسرع نمو الخمائر المرغوبة.

خطوات التخمر الكحولي:

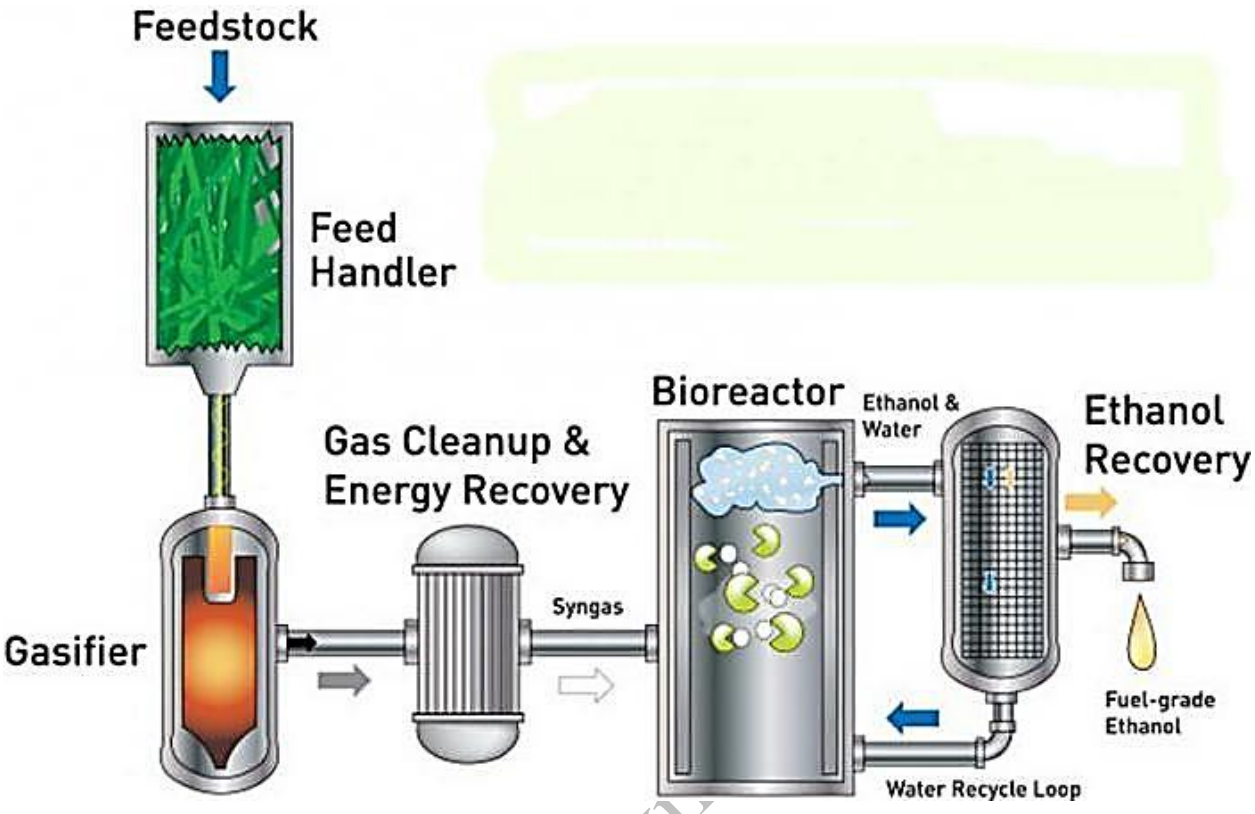
1– الخطوة الأولى تكون سريعة جدا وتستغرق 3-6 أيام حيث يتم خلالها تحويل معظم المادة السكرية الى الايثانول وثاني اوكسيد الكاربون، تمتاز الظروف المرافقة لهذا التخمر عدم حدوث تلوث بكائنات حية دقيقة غير مرغوبة.

2- الخطوة الثانية تكون بطيئة مقارنة بالخطوة الاولى تستغرق مدة زمنية بين2 -3 أسابيع مما يزيد من خطورة حدوث تلوث بالأحياء الدقيقة مثل بكتريا حامض الخليك وبكتريا حامض اللاكتيك مما يؤدي الى بطيء التخمير، وبالتالي يجب اتخاذ التدابير لمنع حدوث التلوث وتقوية الخميرة وزيادة درجة الحرارة وخاصة بالأشهر الباردة ودرجة الحرارة المثلى لمنو الخميرة 25-30 مْ. والمعادلات التالية تبين تحويل الكلوكوز الى ايثانول

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH+2CO_2$$

سكر سداسي ⟵ كحول الايثانول +ثنائي اوكسيد الكاربون

Asst. Prof. Dr. Shayma Thyab Oddoa



مخطط يمثل انتاج الايثانول في معمل ريادي

مسارات إنتاج الإيثانول Ethanol production pathway

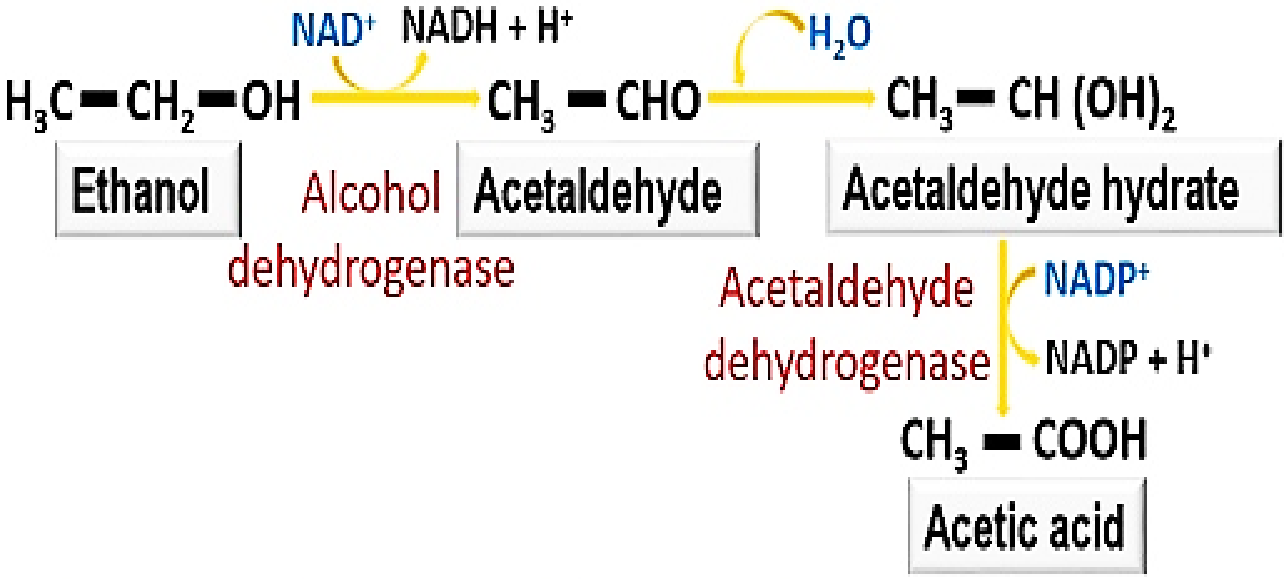
إنتاج الكحول الأثيلي أو الإيثانول بواسطة التخمير يحدث نتيجة لفعل إنزيمات تعمل على تحويل السكريات أو البوليمرات الحاوية على السكريات هذه الإنزيمات تنتجها الأحياء المجهرية مثل خميرة *Saccharomyces cerevisiae* المعروفة في الصناعة وكذلك خميرة *Kluyveromyces* كما استخدمت خميرة *Candida* لهذا الغرض ومن بين البكتريا المستخدمة هي بكتريا *Zymomonas mobilis* والتي أصبحت مفضلة جداً في إنتاج الأيثانول .تقوم الأحياء المجهرية بتكسير السكريات وتحويلها إلى حامض البيروفيك (pyruvic acid) بواسطة أحد المسارات الثلاثة المعروفة لإنتاج هذا الحامض وهي مسار Embden- mayerhoff-parnas (EMP) ومسار Entner-Doudoroff (ED) ومسار Phospho katose pathway والأخير تسلكه بكتريا حامض اللاكتيك غير متجانسة التخمر في انتاج الايثانول .

Asst. Prof. Dr. Shayma

ثانيا: التخمر الخليكي او تخمر حامض الخليكAcetic acid fermentation

الخل (Vinegar) هو ناتج عملية تحويل الكحول الأثيلي (ethyl alcohol) إلى حامض الخليك (acetic acid)بواسطة بكتريا حامض الخليك acetic acid bacteria وتضم أنواع من الأجناس *Acetobacter* و *Gluconobacter* .ويمكن إنتاج الخل من اي مادة كحولية .إلا إنه عادة ينتج من النبيذ أو عصير التفاح الكحولي السيدر Alcoholic apple juice cider وكذلك من عصير العنب أو عصير الفواكه الأخرى . وينتج الخل كذلك من مزيج الكحول النقي في الماء ويطلق عليه بالخل المقطر(Distilled vinegar) .

يستخدم الخل كمادة نكهة وطعم في السلطات المختلفة والأغذية الاخرى وكذلك في صناعة المخللات. كما أنه يعتبر مادة حافظة جيدة حيث يمكن إضافته إلى اللحوم والخضروات وبالتالي يمكن حفظها بدون تبريد اي بدرجة حرارة الغرفة عدة سنوات. وتمتاز بكتريا حامض الخليك بكونها هوائية مجبرة وتختلف عن بقية البكتريا الهوائية بأنها لاتؤكسد المواد المانحة للالكترونات كليا إلى ثاني اوكسيد الكاربون والماء، لذلك فهي تحول الكحول الاثيلي كمانح للإلكترونات وتؤكسدة الى حامض الخليك الذي يتراكم في الوسط .وتمتاز بكتريا حامض الخليك بتحملها للحموضة ولأتقتل بالحموضة التي تعمل على إنتاجها. وتحتاج الى اوكسجين بكمية كبيرة لإنتاج الخل ويجب توفير تهوية كافية في الوسط لإكمال عملية الإنتاج .التفاعل الكيمياوي المؤدي لإنتاج حامض الخليك (الخل). وحسب المعادلات في المخطط التالي:



الشكل يوضح المعادلات الكيميائية لتحويل الايثانول الى خل

Shayma Thyab Gadda

العوامل التي تتوقف عليها كمية الخل:

1-مدى نشاط البكتريا ونقاوتها .

2-نسبة الكحول في المحلول .

3-درجة الحرارة المثلى 30 مْ.

4-نسبة السطح المعرض للهواء من المحلول الكحولي الى كمية المحلول بأكملها وقد تصل نسبة حامض الخليك في الخل الناتج الى % 5 وبهذا يكون ذو قابلية حفظ عالية بعد البسترة والقضاء على المحتوى الميكروبي.

طرق انتاج الخل

1- طريقة اورلنس(Orleans method)

وهي الطريقة الأصلية ولاتزال تستخدم في فرنسا. في هذه الطريقة يوضع النبيذ في جرة كبيرة بصورة سطحية لضمان تعرض السائل للهواء بكمية كافية وتوضع بكتريا حامض الخليك كطبقة لزجة (slimy layer)على سطح السائل وهذه الطريقة غير كفؤة وذلك لأن المكان الوحيد الذي تكون فيه البكتريا ملامسة للسائل والهواء هو سطح السائل فقط.

2- طريقة تقطير السائل (Trickle method)

في هذه الطريقة يمكن زيادة التلامس بين البكتريا والهواء والمادة بواسطة تقطير السائل الكحولي فوق نشارة الخشب في وعاء أو عمود مع تمرير تيار من الهواء باتجاه أعلى الوعاء. تنمو البكتريا على سطح نشارة الخشب وبالتالي يكون تعرضها للسائل والهواء بحدوده القصوى. ويطلق على جهاز توليد الخل مصطلح (Vinegar generator) ويطلق على العملية بالعملية الألمانية. إن نشارة الخشب المستخدمة في إنتاج الخل ممكن أن تُعمر من 5-30سنة اعتماداً على نوع السائل الكحولي المستخدم في العملية .تعتبر هذه الطريقة من أسرع الطرق في إنتاج الخل وتكون مولدات الخل بأحجام واشكال مختلفة حيث ممكن ان يصل قطر الجهاز الى 15 قدم. ويقطر السائل الكحولي خلال نشارة الخشب ويمرر الهواء من الأسفل إلى الأعلى على نشارة الخشب. وتقوم بكتريا حامض الخليك *Acetobacter aceti* المتواجدة على سطح السائل ونشارة الخشب بأكسدة الكحول الى حامض الخليك، وبعدها يتجمع حامض الخليك في غرفة التجميع أسفل المولد ويجمع

Asst. Prof. Dr. Shayma Thyab Gadoa

بصورة دورية من الجهاز .إن عملية الأكسدة التي تقوم بها البكتريا بتحويل الايثانول الى حامض الخليك ينتج منها حرارة لذلك يجهز مولد الخل بغرفة للتبريد للحفاظ على درجة حرارة تتراوح بين 25-30 درجة مئوية.

3-طريقة الفقاعات (Bubble method)

تستعمل المزرعة المغمورة بالطريقة المشابهة لإنتاج المضادات الحيوية أو الإنزيمات مع تهوية عالية وكفؤة أكثر من تلك المستخدمة في إنتاج المضادات الحيوية .ويكون نمط الإنتاج من النوع المستمر ويضاف السائل الكحولي بمعدل مساوي إلى معدل إزالة الخل المتكون .وهذه الطريقة كفؤة جداً حيث أن 90-98 % من الكحول يتحول إلى حامض الخليك (الخل). أما بالنسبة لمساوئ الطريقة فهي تحتاج إلى فلترة لضمان فصل البكتريا وإزالتها من السائل على العكس من الطريقتين السابقتين اذ تبقى البكتريا أما ملتصقة بالطبقة اللزجة على سطح السائل أو ملتصقة بنشارة الخشب .وعلى الرغم من أن صناعة حامض الخليك كيميائيا سهلة جداً إلا أن الخل المنتج بواسطة الأحياء المجهرية له خواص ومزايا تخص النكهة والطعم والمذاق نتيجة لوجود مواد أخرى تنتج من عملية التخمير عليه فإن صناعة الخل بالطرق الميكروبية لا يمكن استبدالها بالطرق الكيميائية.

Asst. Prof. Dr. Shayma Thyab Gddoa