بسم الله الرحمن الرحيم

التخمرات الميكروبيـة
Microbial Fermentation

يطلـق تعبيـر التخمـرات الميكروبيـة Microbial fermentation أو الصناعات التخميرية على استخدام الكائنات الدقيقة لإنتاج منتجات ميكروبية مفيدة وذات أهمية اقتصادية كبيرة، سواء كانت الخلايا الميكروبية نفسها أو منتجات هذه الميكروبات نتيجة نموها على بيئة غذائية مناسبة. وتعتبر الصناعات الميكروبية أحد الصور التطبيقية الهامة للتكنولوجيا الحيوية، حيث يصل استثماراتها عالمياً الى مئات المليارات من الدولارات.

أنواع الصناعات التخميرية

١ – **إنتاج الخلايا الميكروبية** ومن أمثلتها إنتاج خلايا الخميرة التى تستخدم فى تخمير العجين وصناعة الخبز، وإنتاج خلايا بكتريا حامض اللكتيك التى تستخدم كبادىء فى صناعات الألبان مثل عمل الزبادى وأنواع الجبن المختلفة، وكذلك فى إنتاج اللقاحات البكتيرية التى تستخدم فى التطعيم لإحداث المناعة والوقاية من الأمراض، وأيضاً إنتاج خلايا ميكروبية تستخدم كمصدر للبروتين أو الدهون تستخدم كإضافات غذائية.

٢ – **إنتاج نواتج التمثيل الغذائى** أثناء نمو الميكروب مثل إنتاج الكحولات والأحماض العضوية والصموغ (السكريات العديدة) وكذلك إنتاج المضادات الحيوية والفيتامينات والمبيدات الحيوية. ولهذه المنتجات أهمية كبيرة فى مجال الصناعات الكيماوية أو الطبية ومجالات تطبيقية أخرى صناعية وزراعية عديدة.

٣ – **إنتاج الإنزيمات** مثل الأميليز الذى يحلل النشا والبروتيز الذى يحلل البروتين والليبيز الذى يحلل الدهون وغيرها، ولهذه الإنزيمات استخدامات متعددة فى الصناعات الدوائية ومجالات تطبيقية أخرى عديدة.

عوامل نجاح الصناعات التخميرية

أولاً : السلالة الميكروبية

ينبغى أن تتميز السلالة الميكروبية المستخدمة فى الصناعات التخميرية بعدة صفات أهمها:

١ – أن تكون ذات كفاءة عالية فى إنتاج المنتج المراد إنتاجه بكميات كبيرة وجودة عالية.

٢ – أن تكون لها القدرة على تحمل ظروف التصنيع مثل تحمل التركيزات العالية من المادة الخام المستخدمة فى الصناعة والتركيزات العالية من المنتج النهائى.

٣ – أن تحافظ لفترات زمنية طويلة على ثبات صفاتها السابقة، أى ثبات معدل إنتاجيتها وجودة المنتج وتحمل ظروف الإنتاج.

٤ – ألا تكون السلالة المستخدمة ضارة أو سامة أو مرضية.

ويمكن اختيار السلالة الميكروبية المناسبة بطريقة من الطرق الآتية :

١ – انتخاب سلالة تتمتع بالمواصفات المطلوبة من عدد كبير جداً من العزلات الميكروبية، ويتم ذلك فى المعمل قبل البدء فى الصناعة.

٢ – استحداث طفرة ميكروبية تتمتع بالمواصفات المطلوبة.

٣ – استخدام تكنولوجيا الهندسة الوراثية للحصول على سلالة ميكروبية مزودة بالصفات المرغوبة.

ثانياً : المادة الخام

يجب أن يتوفر فى المادة الخام المستخدمة فى الصناعات التخميرية عدة خصائص أهمها ما يلى:

١ – أن تكون متوفرة محلياً على مدار العام.

٢ – أن تكون غنية فى مصدر الكربون والعناصر الغذائية الأخرى بصورة مناسبة لتغذية السلالة الميكروبية المستخدمة.

٣ – أن تكون المادة الخام رخيصة الثمن.

٤ – أن تكون سهلة التخزين ويفضل تواجدها بالقرب من المصنع.

٥ – ألا تحتاج إلى عمليات كثيرة أو معقدة لأعدادها كبيئة غذائية تناسب تنمية السلالة الميكروبية المستخدمة.

المواد الخام التى تستخدم فى الصناعات التخميرية

١ – المخلفات النباتية

مثل قش الأرز ومصاصة القصب وحطب القطن وقش القمح وقش الذرة وقوالح الذرة، وكل هذه المخلفات غنية فى المواد السليولوزية حيث تحتوى على حوالى ٤٠–٥٠% من وزنها الجاف سليولوز، وجدير بالذكر أن كمية المخلفات النباتية فى مصر تصل إلى حوالى ٣٠ مليون طن سنوياً. ويمكن أن تستخدم هذه المخلفات فى صناعات ميكروبية مختلفة مثل إنتاج السماد العضوى (الكومبوست) وإنتاج الغاز الحيوى. ولكن فى حالة استخدامها للصناعات التخميرية التى تحتاج السكريات البسيطة كمادة أولية فإنه يلزم إجراء معاملات أولية لتلك المواد السليولوزية لتحويل السليولوز والسكريات العديدة الأخرى إلى سكريات بسيطة، باستخدام الأحماض والحرارة، حتى تستطيع السلالات الميكروبية أن تتغذى عليها وتحولها إلى المنتجات المراد إنتاجها.

٢ – النواتج الثانوية لمصانع الأغذية

تستخدم العديد من النواتج الثانوية والمخلفات الناتجة من مصانع الأغذية كمواد خام فى الصناعات التخميرية، وفيما يلى أهم تلك المواد :

أ – المولاس Molasses

المولاس هو أحد المنتجات الثانوية لمصانع السكر، وهو الجزء الذى لم يتبلور من عصير قصب السكر أو بنجر السكر، وتصل كمية المولاس المنتجة فى مصر الى أكثر من نصف مليون طن سنوياً وهو يحتوى على حوالى ٥٠% سكر (١٥% سكروز، ٣٥% جلوكوز وفركتوز).

ب – الشرش Whey

الشرش أحد المنتجات الثانوية لصناعة الجبن والمنتجات اللبنية الأخرى الذى يتخلف بكميات كبيرة من مصانع الألبان ومنتجاتها، وهو يحتوى على حوالى ٥% سكر اللاكتوز وقد يحتوى على نسبة قليلة من البروتين والدهون، ولكن قد يحتوى على نسبة من الملح الذى يضاف أثناء صناعة الجبن.

ج– منقوع الذرة Corn Steep Liquor

منقوع الذرة أحد مخلفات مصانع نشا الذرة، وهو عبارة عن الماء الذى ينقع فيه الذرة قبل تصنيعه وهو غنى بالمواد الغذائية المختلفة ويحتوى على حوالى ٦– ١٢% مواد صلبة.

٣ – الهيدروكاربونات Hydrocarbons

قد ينتج من بعض الصناعات البترولية هيدروكاربونات غازية مثل الميثان والايثان والبروبان التى يمكن استخدامها كمواد خام تنمو عليها نوعيات معينة من الميكروبات المفيدة المستخدمة فى الصناعات التخميرية.

إنتاج كحول الإيثانول Production of Ethyl Alcohol

كحول الإيثانول له استخدامات عديدة فهو يستخدم كمطهر وكمذيب ويستعمل فى العديد من الصناعات الكيماوية والأغراض الطبية والدوائية، كما يستخدم حديثاً كمصدر للطاقة وكوقود للسيارات فى بعض دول العالم مثل البرازيل وأمريكا كبديل للبنزين.

السلالة الميكروبية المستخدمة

- تستخدم سلالة منتخبة من خميرة *Saccharomyces cerevisiae* ويجب أن تكون ذات كفاءة عالية فى تحويل السكر الى كحول ايثانول، ويكون لها القدرة على تحمل تركيزات عالية نسبياً من السكر والكحول.
- تحضير البادىء

المقصود بالبادىء هو اللقاح الميكروبى، أى الخلايا الميكروبية النشطة، التى تضاف الى الوسط الغذائى للبدء فى عملية التخمر.

ويحضر البادىء فى هذه الحالة بتنمية السلالة النقية من الخميرة المنتخبة السابقة وتنشيطها بإعادة تنميتها عدة مرات على الوسط الغذائى المناسب تحت ظروف التعقيم فى المعمل، وتتم التنمية تحت الظروف الهوائية لتشجيع الخميرة على تكوين كميات كبيرة من الخلايا إلى أن يصل حجم اللقاح الى ٤ لتر فينقل الى مصنع الإنتاج لإستخدامه كبادىء لإنتاج الكحول.

المادة الخام المستخدمة

إذا كانت المادة الخام المتوفرة نشوية أو سليولوزية فيجب إجراء معاملة أولية لها لتحويلها إلى مواد سكرية حتى تتمكن الخميرة من استخدامها، أما إذا كانت المادة الخام سكرية مثل المولاس الذى يستخدم فى مصر فيتم استخدامه مباشرة بعد تخفيفه دون الحاجة الى معاملات أولية.

الظروف المثلى للإنتاج

- يضبط تركيز السكر فى المولاس الى ١٢%، التركيز الأعلى من ذلك قد يبطئ العملية والأقل من ذلك غير اقتصادى فى الإنتاج.
- يضاف الى محلول المولاس المخفف مصدر للنيتروجين مثل كبريتات الأمونيوم ومصدر للفوسفور فى صورة فوسفات الأمونيوم لأن عنصرى النيتروجين والفوسفور أساسيان لتغذية الخميرة ويفتقر المولاس لهما.

- يضبط درجة pH الى ٤,٥، هذه الدرجة تتحملها سلالة الخميرة المستخدمة فى الإنتاج، وتمنع فى نفس الوقت نمو العديد من البكتريا الملوثة والتى لايناسب نموها هذه الدرجة من الحموضة.
- تضبط درجة الحرارة الى ٢٠-٢٧°م، أقل من ذلك يؤدى الى أبطاء عملية التخمر وأعلى من ذلك يؤدى الى احتمال تطاير الكحول المتكون كما يساعد على نمو بكتريا ملوثة.
- تتم عملية التخمر تحت ظروف لاهوائية حتى يتحول السكر بكفاءة الى كحول الإيثانول وثانى أكسيد الكربون، لذلك يجب توفير الظروف اللاهوئية أثناء عملية التخمر.

وعادة تبدأ خلايا الخميرة (البادىء) فى استهلاك الهواء الذائب فى المحلول أولاً ثم تبدأ الظروف اللاهوائية تسود بعد ذلك ويبدأ تحول السكر الى كحول بدلاً من إنتاج خلايا الخميرة.

إذا لم يحكم توفير الظروف اللاهوائية وتسرب الهواء إلى المخمر تتجه الخميرة الى التكاثر وتكوين خلايا خميرة جديدة ويكون ذلك على حساب كمية الكحول المتكونة.

- تستغرق عملية التخمر لتمام تحول السكر الى كحول الإيثانول وثانى أكسيد الكربون حوالى ٤٨ ساعة فى حالة التحكم فى توفير الظروف المثلى للإنتاج.

نظم التخمر لإنتاج الكحول

يوجد نظامين للتخمر لإنتاج الكحول

نظام تخمر الدفعة الواحدة Batch fermentation

وهو النظام السابق شرحه، حيث تضاف خلايا الخميرة (البادىء) بواقع حوالى ٥-١٠% إلى محلول التخمر (يعرف باسم الماش Mash) بعد إعداده بالشكل المناسب من حيث ضبط تركيز السكر و pH والحرارة وإضافة أملاح النيتروجين والفوسفور، فى بداية عملية التخمر، ويترك الماش فى المخمر مع الخميرة تحت الظروف اللاهوائية، وبعد ٤٨ ساعة تنتهى عملية التخمر ويستخلص الكحول.

نظام التخمر المستمر Continuous fermentation

فى هذا النظام يضاف المحلول السكرى والمواد الغذائية وكل المدخلات بالتركيزات المناسبة فى صورة تيار مستمر بمعدل زمنى ثابت ومحسوب بدقة ويسحب الناتج النهائى بنفس المعدل الزمنى، وبذلك تصبح عملية التخمر مستمرة وغير مرتبطة بزمن معين. وفى هذا النظام يتم ضبط كل ظروف التخمير آلياً مثل الحرارة و pH والتهوية.

استخلاص الكحول

يتم استخلاص الكحول من محلول التخمير (الماش) بالتقطير حيث يصل التركيز فى البداية الى حوالى ٦٠-٩٠% ثم يجرى تركيزه إلى أكثر من ٩٥%.

كما ينتج غاز ثانى أكسيد الكربون كمنتج ثانوى مع إنتاج كحول الإيثانول ويتم تجميع الغاز الناتج وينقى ويضغط فى اسطوانات ليستعمل بعد ذلك فى صناعة المياه الغازية أو طفايات الحريق أو الثلج الجاف.

إنتاج الخل Vinegar Production

الخل عبارة عن محلول من حامض الخليك Acetic acid ولكنه يحتوى أيضاً على مجموعة من المواد الأخرى، مثل الأسترات والزيوت الطيارة والجليسرول، بكميات قليلة جداً ولكنها تعطى للخل نكهة خاصة وترجع هذه المواد إلى المادة الخام المصنوع منها، ويسمى بأسمها مثل خل الفاكهة كالتفاح والعنب أو خل سكر الذرة أو المولت (منقوع الشعير المنبت) أو المولاس، وترجع النكهة أيضاً إلى نواتج التمثيل الغذائى للبكتريا المستخدمة فى عملية التخمر. ونسبة حامض الخليك فى الخل تتراوح من ٥ إلى ٨%.

ويتم إنتاج الخل من المحلول السكرى على مرحلتين :

المرحلة الأولى : تحويل السكر الى كحول إيثانول تحت الظروف اللاهوائية بواسطة الخميرة.

المرحلة الثانية : تحويل كحول الإيثانول المتكون إلى حامض خليك تحت ظروف هوائية بواسطة بكتريا حامض الخليك.

السلالة الميكروبية المستخدمة

تستخدم سلالة بكتيرية من *Acetobacter curvum*، ويجب أن تتميز السلالة المختارة بكفاءة عالية على أكسدة كحول الإيثانول وتحويله الى حامض خليك وقدرة على تحمل تركيزات عالية من الكحول وحامض الخليك.

وقد يستخدم فى الصناعة خليط من مجموعة من السلالات البكتيرية ذات الكفاءة العالية بدلاً من استخدام سلالة واحدة.

المواد الخام المستخدمة

يمكن استخدام مواد سكرية أو نشوية مختلفة ولكن بعد تحويل السكريات بها الى كحول إيثانول عن طريق التخمر الكحولى بالخميرة كما سبق الذكر، ثم يستخدم كحول الإيثانول الناتج كأساس للتخمر الخليكى وإنتاج الخل. ويستخدم فى مصر كحول الإيثانول الناتج من التخمر الكحولى للمولاس لإنتاج الخل.

الظروف المثلى للإنتاج

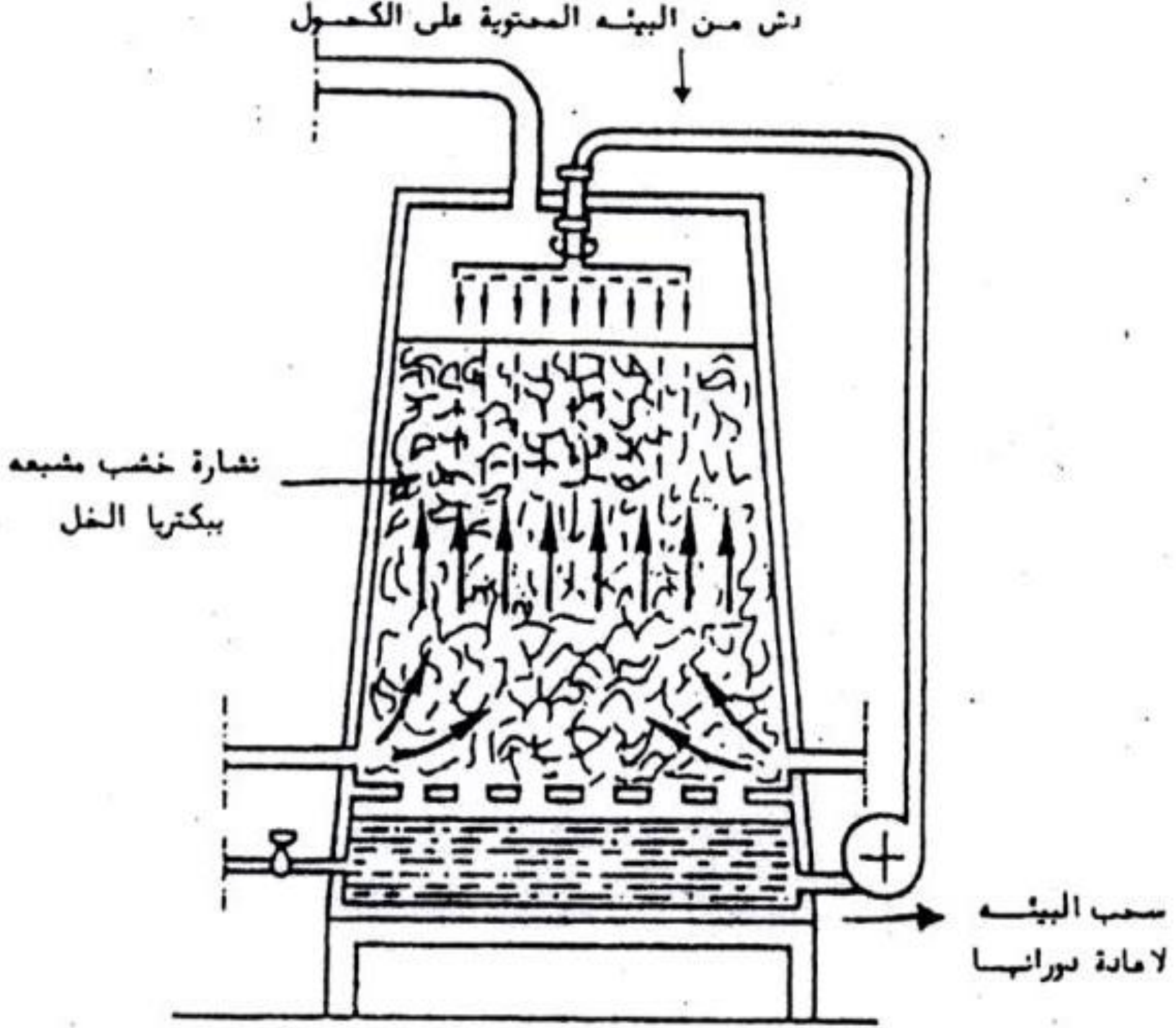
- يضبط تركيز الكحول الى حوالى ١٢% (١٠-١٣%)، فى حالة استخدام تركيزات أعلى من ذلك لا يتحول كل الكحول الى حامض الخليك، كما قد لا تتحمله سلالات بكتريا حامض الخليك المستعملة فى التخمر، وفى حالة استخدام تركيزات منخفضة من الكحول ينخفض إنتاج الخل وقد يتأكسد الخل الناتج الى ثانى أكسيد الكربون والماء.
- تجرى عملية تحميض المحلول الكحولى المستخدم فى الإنتاج بإضافة خل سابق مركز غير مبستر بنسبة حوالى ١% وذلك بغرض تلقيح محلول التخمر بسلالات بكتريا حامض الخليك وأيضاً لخفض درجة pH لجعل الظروف غير مناسبة للميكروبات الملوثة.
- يضاف لمحلول التخمر الكحولى بعض العناصر الغذائية الأساسية لنمو البكتريا خصوصاً أملاح الأمونيوم والفوسفات كمصدر لعنصرى النيتروجين والفوسفور، وقد يضاف أيضاً بعض الفيتامينات وعوامل النمو اللازمة لنشاط البكتريا.
- يجب توفير ظروف هوائية شديدة أثناء عملية التخمر، لأن إنتاج الخل يعتمد أساساً على أكسدة الكحول إلى حامض خليك مما يتطلب توفير الأكسجين، وأى خفض فى درجة التهوية يؤدى الى إنخفاض الإنتاج، وقد يؤدى الى ضعف البكتريا المستخدمة أو هلاكها.
- تضبط درجة الحرارة الى ٢٧ - ٣٠°م، ويلاحظ أن عملية التخمر نفسها (أكسدة الكحول الى حامض خليك) ينشأ عنها ارتفاع فى الحرارة لذلك يجب مراعاة تبريد المخمر بالوسائل المناسبة حتى لا ترتفع الحرارة عن اللازم والتى قد تؤدى الى تبخر الكحول وحامض الخليك.
- تحتاج عملية التخمر لإنتاج الخل من ٣٠ ساعة الى ٣ أيام حسب درجة تطبيق العوامل المثلى للإنتاج خصوصاً معدل التهوية.
- قد يتم تخزين وتعتيق الخل الناتج فى أوعية أو براميل، مملوءة تماماً لمنع أكسدة حامض الخليك المتكون، ثم يتم ترويق وترشيح الخل وضبط تركيزه وتعبئته فى زجاجات وبسترته تمهيداً لتسويقه.

طرق الإنتاج

1- الطريقة السطحية Surface Method

- وتسمى أيضاً طريقة المولد Generator وتعتمد هذه الطريقة على رش المادة الخام (محلول التخمير المحتوى على الكحول والعناصر الغذائية) من أعلى المخمر الذى يحتوى على نشارة الخشب (يوجد على سطحها بكتريا حامض الخليك) ومع إنسياب المحلول الكحولى على أسطح نشارة الخشب تقوم البكتريا بتحويله الى حامض الخليك، ثم يتم ضخ المحلول من أسفل الى أعلى وهكذا الى ان يتم التحول الذى يستغرق حوالى 3 أيام.

والهدف من استخدام نشارة الخشب فى المخمر هو زيادة مسطح الهواء بين البكتريا والمحلول الكحولى لرفع كفاءة عملية أكسدة الكحول إلى حامض خليك.


دش من البيئه المحتوية على الكحول
نشارة خشب مشبعه
ببكتريا الخل
سحب البيئه
لاعادة دورانها

الطريقة المغمورة Submerged Method

يتم الإنتاج بهذه الطريقة باستخدام مخمر مزود بنظام لضخ الهواء فى محلول التخمير ومراوح لتوزيع الهواء بغرض إمتزاج الأكسجين مع المحلول الكحولى والبكتريا، مما يسرع من أكسدة الكحول وإنتاج الخل، وتضبط بقية عوامل الإنتاج مثل الحرارة وتركيز الكحول ودرجة pH آلياً. وهذه الطريقة سريعة وتستغرق حوالى ٣٠ ساعة لإتمام عملية التخمر.

إنتاج حامض الستريك Citric Acid Production

حامض الستريك مكون طبيعى لكثير من الفواكه خصوصاً الموالح، ولكن يمكن إنتاجه بواسطة الميكروبات حيث تتمكن بعض الفطريات من تحويل سكر الجلوكوز الى حامض الستريك.

ولحامض الستريك إستخدامات عديدة فى المجالات التطبيقية المختلفة، فيستخدم فى الصناعات الغذائية فى تحضير المربات والحلويات والفواكه المحفوظة والعصائر وغيرها، كما يستخدم فى مستحضرات التجميل وبعض المستحضرات الدوائية، ويستخدم أيضاً فى دباغة الجلود.

السلالة الميكروبية المستخدمة

تستخدم سلالة من فطر *Aspergillus niger*، ويشترط أن تكون ذات كفاءة عالية فى تحويل السكر الى حامض الستريك ولها القدرة على تحمل تركيزات عالية من كل من السكر وحامض الستريك المتكون دون أن يؤثر ذلك على نشاطها وحيويتها.

وتضاف جراثيم الفطر السابق بعد تنشيطها إلى محلول التخمير، لتبدأ عملية التخمر وتحويل السكر الى حامض الستريك متى توافرت بقية ظروف الإنتاج المثلى.

المادة الخام المستخدمة

يمكن استخدام المولاس أو أى محاليل سكرية أخرى فى الإنتاج ولكن فى حالة استخدام المولاس ينبغى إجراء بعض المعاملات الأولية عليه للتخلص من الزيادة فى بعض العناصر الموجودة بكثرة فى المولاس والتى لها تأثير ضار على عملية إنتاج حامض الستريك مثل الحديد والمنجنيز والزنك.

الظروف المثلى للإنتاج

- يضبط تركيز السكر إلى ١٢ – ١٥%، ويعتمد التركيز الأنسب على طريقة الإنتاج المستخدمة وعلى كفاءة الميكروب المستعمل.
- تضبط درجة pH الى ٢ فى محلول التخمير، وهذه الدرجة المنخفضة لاتسمح بنمو الميكروبات الملوثة، بينما يتحملها الفطر المستخدم فى الإنتاج ويشجعه الى توجيه التخمر فى إتجاه تكوين حامض الستريك دون الأحماض الأخرى.
- يضاف إلى محلول التخمير أملاح الأمونيوم وأملاح الفوسفات لتوفير العناصر الأساسية اللازمة لتغذية الفطر،
- تضبط درجة الحرارة الى ٢٦ – ٢٨°م، ويلاحظ أن ارتفاع الحرارة قد يؤدى إلى توجيه التخمر لتكوين أحماض أخرى خلاف حامض الستريك.
- يتم توفير الظروف الهوائية أثناء عملية التخمر، لأن عملية تحول السكر إلى حامض ستريك هى عملية أكسدة تحتاج إلى توفير الأكسجين بكمية كافية.
- تستغرق عملية التخمر حوالى ١٠ أيام، حسب كفاءة الفطر المستخدم وطريقة الإنتاج ومعدل التهوية.

طرق الإنتـاج

الطريقة السطحية Surface method

ويستخدم فيها صوانى ضحلة تحتوى محلول التخمير والسلالة الفطرية المختارة، وتتم التهوية فى هذه الطريقة بإمرار تيار من الهواء فوق النمو الفطرى على سطح محلول التخمير.

الطريقة المغمورة Submerged method

يتم توفير التهوية فيها إما عن طريق دفع الهواء وتقليبه فى محلول التخمير أو باستخدام المزرعة المهتزة باستخدام جهاز رج ميكانيكى لتوفير التهوية اللازمة أثناء عملية التخمر.

إستخلاص حامض الستريك

يتم استخلاص حامض الستريك من محلول التخمير، بإضافة الجير الحى (أكسيد الكالسيوم) لترسيب السترات الناتجة فى صورة راسب من سترات الكالسيوم ثم معاملة الراسب بحامض الكبريتيك لفصل حامض الستريك بصورة نقية ثم يتم تركيزه تحت تفريغ للحصول على بللورات نقية من حامض الستريك.

Baker's Yeast Production إنتاج خميرة الخباز

السلالة الميكروبية المستخدمة

تستخدم سلالة من خميرة *Saccharmyces cerevisiae* ويجب أن تختار سلالة سريعة النمو وذات قدرة ثبات عالية وتتحمل التخزين فترة طويلة دون أن تتأثر حيويتها. وتكون ذات كفاءة عالية فى تخمير السكر الموجود فى العجين مع إنتاج غاز ثانى أكسيد الكربون بكمية كبيرة ويكون لها طعم ورائحة مرغوبة.

المادة الخام المستخدمة

يمكن استخدام محاليل سكرية مختلفة، وفى حالة استخدام المولاس، فيجب معاملته معاملة أولية للتخلص من المواد الغروية والملونة التى تعطى الخميرة لون غامق غير مرغوب كما تسبب تكوين رغوة Foaming قد تسبب مشاكل أثناء عملية التخمر.

الظروف المثلى للإنتاج

- يضبط تركيز السكر الى ٠,٥ – ١,٥% فقط، لأن ارتفاع تركيز السكر فى محلول التخمير يؤدى الى تخمر كحولى وإنتاج الكحول بدلاً من إنتاج خلايا الخميرة المطلوبة فى هذا النوع من التخمر.
- تضبط درجة pH إلى ٣,٥ – ٤، لمنع نمو الميكروبات الملوثة.
- يضاف إلى محلول التخمير أملاح الأمونيوم وأملاح الفوسفات وبعض عوامل النمو والفيتامينات خصوصاً مجموعة فيتامين ب المركب لضمان التغذية المناسبة للخميرة وتنشيط نموها.
- تضبط درجة الحرارة فى المخمر الى ٢٥ – ٢٦°م.
- يتم توفير ظروف التهوية الكافية أثناء عملية إنتاج خلايا الخميرة، وذلك لضمان توفير الأكسجين الكافى لتنفس الخميرة وتكاثرها لإنتاج أكبر قدر من خلايا الخميرة.
- تستغرق عملية التخمر من ٢٤ – ٤٨ ساعة.

طرق الإنتاج

- طريقه مزرعه الدفعه الواحدة Batch culture method

وفى هذه الطريقة تضاف كل مكونات محلول التخمير (المولاس المخفف وأملاح الأمونيوم والفوسفات والفيتامينات) فى بداية العملية ويضاف إليها بادىء الخميرة المنشطة، وتضبط كل الظروف المثلى للإنتاج مثل درجة الحرارة، pH، ومعدل التهوية. وفى نهاية فترة التخمير تستخلص خلايا الخميرة.

- طريقة المزرعة المستمرة Continuous culture method

فى هذه الطريقة تضاف العناصر الغذائية بصورة مستمرة الى محلول التخمير المحتوى على الخميرة النشطة فى المخمر، ولكن تتم الإضافة بتركيزات محسوبة بدقة وبمعدل يتوافق مع معدل نمو خلايا الخميرة، مما يتيح سحب خلايا الخميرة التى تم نضجها بإستمرار من المخمر، وتضبط كل عوامل وظروف التخمر آلياً.

إستخلاص خلايا الخميرة

يتم فصل خلايا الخميرة بالطرد المركزى وتغسل ثم يتم إعدادها بأحد طريقتين :

١ – **الخميرة المضغوطة Compressed yeast**

حيث يتم ضغط الخميرة وتعبئتها، ويجب حفظها دائماً تحت تبريد وتحافظ على حيويتها لعدة أيام فقط.

٢ – **الخميرة النشطة الجافة Active dry yeast**

تجفف خلايا الخميرة الناتجة بطرق خاصة تحت تفريغ على حرارة من ٢٥ – ٤٥°م وتحفظ جافة، وتحتفظ بحيويتها بهذه الطريقة لأكثر من عام.

إنتاج البروتين الميكروبى Single Cell Protein Production

نظراً لتزايد السكان فى العالم إلى أكثر من ٦ بليون نسمة، ونقص الغذاء بشكل عام والبروتين على وجه الخصوص، فهناك إتجاه لإنتاج البروتين من الميكروبات لما تتميز به من الخصائص الآتية :

- نسبة البروتين فى الخلايا الميكروبية أكثر من ٥٠% من الوزن الجاف.
- سرعة نمو الميكروبات مقارنة بمصادر البروتين الأخرى مثل النبات والحيوان.
- يمكن للميكروبات النمو على مواد خام أو منتجات ثانوية رخيصة الثمن وتحويلها الى بروتين داخل خلاياها.
- لا تحتاج الميكروبات الى مساحات من الأرض للزراعة ولا يتوقف نموها على الظروف البيئية والمناخية.
- يمكن استخدام البروتين الميكروبى للتغذية بإضافته إلى أغذية الإنسان والعلف الحيوانى.

إنتاج البروتين الميكروبى من الخميرة

تستخدم أنواع مختلفة من الخميرة كمصدر للبروتين والفيتامينات، لاستخدامها فى التغذية أو فى المستحضرات الطبية، ويتوقف نوع الخميرة على المادة الخام المستخدمة فيمكن استخدام خميرة *Saccharomces cerevisiae* فى حال استخدام المولاس كوسط غذائى.

وتستخدم خميرة *Candida utilis* فى حال استخدام مخلفات صناعة الورق المحتوية على سكر البنتوز لقدرتها على النمو السريع وعدم احتياجها إضافات غذائية لدعم بيئة النمو.

ويتم تنمية خلايا الخميرة بغرض إنتاج البروتين الميكروبى بنفس الطرق السابق عرضها لتنمية خميرة الخباز، حيث يتم إتباع نفس ظروف التخمير من حيث الحرارة و pH وتوفير الظروف الهوائية.

ولكن بعد استخلاص خلايا الخميرة وغسلها يجرى تجفيفها على حرارة عالية نسبياً لقتلها حيث لا تستخدم خلايا الخميرة الحية فى التغذية لقيامها بتحليل السكريات داخل القناة الهضمية وإنتاج غاز ثانى أكسيد الكربون مما يسبب ارتباكات معوية.

وبالرغم من المزايا العديدة السابق ذكرها للبروتين الميكروبى إلا أن له بعض السلبيات التى يجب أخذها فى الإعتبار ومحاولة التغلب عليها، حيث يفتقر البروتين الميكروبى إلى الأحماض الأمينية الكبريتية ويمكن التغلب على ذلك بإضافة هذه الأحماض بطرق بسيطة إلى الغذاء. وتحتوى الخلايا الميكروبية على نسبة عالية من الأحماض النووية التى تسبب تكون حامض اليوريك الذى يترسب فى المفاصل ويسبب آلام المفاصل للإنسان، ولكن يمكن استخدامه لتغذية الحيوان لأن له القدرة على التخلص من حامض اليوريك وبفرزه فى البول وبذلك لا يسبب مشكلة للحيوان. ومن مشاكل البروتين الميكروبى أيضاً أن جدر الخلايا الميكروبية لا تهضم بسهولة ويمكن علاج ذلك بمعاملة أولية قبل تقديمها كمصدر للبروتين.

الحمد لله
Thank you