13/12/2015
المعرفة للاستنساخ
مكتبة كلية الزراعة
قسم الاستنساخ - هدايا

ثالث صناعات / غور - نظري -

(7)

## انتاج الكحول الاثيلي:

يعتبر التخمر الكحولي اكبر قطاعات التخمرات الصناعية بالنسبة الهائلة لكمية الانتاج وكذلك كثرة وحدات انتاجهُ ومايضمهُ من الاعداد الوفيرة من الافراد الذين يعملون في هذا القطاع . وتعتبر صناعة التخمر الكحولي في الوقت الحاضر هي النمو المطرد لهذه الصناعة القديمة والتي يرجع السبب الرئيسي لانتشارها لاستعمال الانسان الكحول الاثيلي الناتج في حفظ بعض المواد الغذائية ، وعندما تعددت المشروبات الكحولية وازاداد انتاجها وجدت معظم الحكومات الفرصة لفرض ضرائب عديدة على هذا النوع من الانتاج الذي يدخل في اغراض عديدة .

من المصادر الاولية للتخمر الكحولي هي الذره ، الشعير ، المولاس ، التمر ،العنب و المصادر الكربوهيدراتية الأخرى . تحتاج بعض المواد الاولية الى معاملتها كيمياوياً وفيزياوياً قبل عملية التخمر للحصول على السكريات البسيطة بينما ينفرد التمر عن بعض هذه المواد بكونهُ يوفر هذه السكريات بشكل طبيعي . كما يمكن الاستفادة من مخلفات النخيل السليلوزية بعد اجراء الهضم لتكون مادة خام لانتاج الكحول الاثيلي.

التخمر يحدث بصورة رئيسية نتيجة لوجود الخمائر Yeast وان حدود درجات الحرارة التي تعيش فيها الخمائر لكي تحدث هذا التخمر هي ٤ – ٣٥م° ولكن اكفأ درجة حرارة لهذا التخمر هي بين ٢٧ – ٣٠ م° وان التفاعل الافضل الذي تميل لهُ الخمائر يكون في أس هيدروجين يميل الى الحموضة ٤ – ٤,٥ وفي المحاليل السكرية فأن الخمائر تحدث التخمر الكحولي والذي بموجبهُ يتجزأ جزئ واحد من السكر الى جزئيتين من الكحول الاثيلي وجزيئتين من غاز $CO_2$

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2CO_2 + C_2H_5OH + Energy\ (116\ Cal)$$

في التخمر الكحولي فأن المشاركة الوحيدة في العملية هي الخمائر وخصوصاً .

*Saccharomyces cerevisiae*
*Saccharomyces carlesbergensis*
*Saccharomyces ellipsoideus*

ومن مميزات هذه السلالات ان تكون سريعة التكاثر ولها القابلية على تحويل الكربوهيدرات الى كحول مع اعطاء نواتج ثانوية قليلة

**كفاءة التخمر :**

من الاهمية تقدير كمية الكحول المنتج صناعياً حيث تتضح نسبة الكحول الناتج بالنسبة لوحدة المادة الخام المستخدمة ، كما تعتبر كفاءة التخمر المؤشر الحقيقي للحالة الفسيولوجية للخميرة ، وفي المصنع يتم تقييم جميع العمليات من استلام المادة الخام الى تقطير الكحول وتخزينهُ .

$$\text{كفاءة التخمر \%} = \frac{\text{كمية الكحول المنتج فعلاً}}{\text{كمية الكحول الناتج نظرياً من السكر المتخمر}} \times 100$$

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

180 2(46) 2(44)

180 92

100 ×

$$\times = \frac{100 \times 92}{180} = 51.1\%$$

51.1% هي النسبة النظرية لكمية الكحول الناتجة وعادة الناتج المثالي يكون ٩٥% من هذه الكمية .

**خطوات الصناعة :**

١- تحضير المزرعة Culture : يجب ان تتوفر مزرعة خميرة لها مواصفات معينة من حيث قدرتها على تحمل تراكيز عالية من الكحول الناتج وقدرتها على تحمل درجات الحرارة عالية نسبياً خصوصاً في المناطق الحارة التي يصعب التبريد فيها اضافة الى ذلك يجب ان تكون كفوءة في تخمير تراكيز عالية من السكر وبسرعة عموماً تستخدم الـ *S. cerevisiae* او *S. carlesbergensis* وهذه الخمائر تنمى في المختبرات على المولت او الـ Molass Agar Slant وتجدد شهرياً.

كما اننا في هذه العملية (اي التخمر) نحتاج الى Starter بحجم كبير لاستخدامهُ في تلقيح الـ Main Mash (البيئة الرئيسية التي تخمر في المصنع) الذي قد يصل الى عدة الاف من الغالونات مزرعة الخميرة الموجودة على الآكار تنقل الى ١٠ مل من الـ Malt Extract Broth وتحضن على حرارة ٢٥ – ٣٠ م° ولفترة مناسبة ، تنقل الـ ١٠ مل الى ٢٠٠ مل من Mash المعقم ثم تنقل هذه الكمية الى ٤ لتر من نفس البيئة . كل العمليات السابقة تتم داخل المختبر ثم تنقل المزرعة الاخيرة التي تحتوي حوالي غالون واحد الى المعمل لتضاف الى ١٠ – ٤٠ غالون من الـ Mash ويراعى في عملية التنشيط السابقة ظروف التنمية ويجب ان تكون هوائية لنحصل على كمية كبيرة من الخلايا .

٢- تحضير الـ Mash :

أ- يخفف المولاس او عصير التمر بالماء حتى يصل تركيز السكر من ١٤ – ١٨% وعادةً يستخدم مربع بيرسن للحصول على هذه التخافيف .

ب- يحمض المولاس السابق بعد التخفيف بالـ $H_2SO_4$ او الـ HCl او حامض اللاكتيك للوصول الى أس هيدروجين ٤ – ٥ .

ج- المواد المغذية : يحتوي التمر والمولاس على مواد مغذية كافية لنمو الخميرة ويفضل في بعض الاحيان اضافة املاح الامونيوم والفوسفات خاصةً اذا كان المحلول السكري فقير لعنصري النتروجين والفسفور .

٣- التخمير Fermentation :

بعد تحضير الـ Mash تتم عملية التلقيح (٢-٤%) وتضبط درجة الحرارة بحدود ٢٥ – ٣٠ م° وان انخفاض او ارتفاع درجة الحرارة عن الدرجة المثلى يؤثرعلى كفاءة التخمر . كما ان ارتفاعها قد يؤدي الى تبخر قسم من الكحول المتكون وغالباً ما يسيطر على هذه العملية بأستخدام انابيب تبريد داخلية لانهُ من المعروف بأن عملية التخمر عملية باعثة للحرارة .

ان وقت التخمير يصل الى حوالي ٣٦ – ٧٢ ساعة حسب نوع المادة الخام المستعملة وعادة تتم عملية التخمر بعد ٢- ٤ ساعة من ملئ الـ Fermenter واضافة البادئ في نهاية فترة التخمير فأن نسبة الكحول تتراوح بين ٦ – ٩% ثم يضخ الناتج الى التقطير لعدة مراحل للوصول الى تركيز كحولي بين ٩٥% الى ٩٩% .

**مشاكل التلوث :**

عادة لايعقم الـ Mash على النطاق التجاري ولكن تبقى هنالك جملة امور يجب مراعاتها لتقليل فرص التلوث .

١ - الـ PH على درجة ٥ او اقل تقل فرصة التلوث بالكثير من الاحياء المجهرية .

٢ - الظروف اللاهوائية هي السائدة في خزانات التخمير اضافة الى ذلك فأن سرعة بداية عملية التخمر تؤدي الى تكوين كمية من $CO_2$ التي توجد ايضاً ظروف لاهوائية وبذلك تقل فرصة نمو الاحياء المجهرية الهوائية .

٣- التركيز العالي من السكر الموجود في الـ Mash المستخدم هو بحدود ١٥% يمنع نمو الكثير من الاحياء المجهرية .

## صناعة الخل : vinger

### المواصفات القياسية العراقية للخل :

١- تكون نسبة حامض الخليك لاتقل عن ٤%.
٢- الناتج المستخرج من عملية التخمير يكون بتركيز ٧-٨% لذا يخفف بالماء.
٣- لايجوز اضافة اي حامض له اي تخمير طبيعي.
٤- يمنع اضافة اللون ويكون بلون المادة المصنع منها فملاً التمر يكون اصفر والدبس يكون لونه احمر . ولايسمح باضافة مواد النكهة.
٥- لايسمح بأضافة اي مادة اي مادة خارج المواد الموجودة في الفاكهة.
٦- يحتوي على قليل من الكليسيرول و الكحول الاخرى وهذه تعطي نكهة خاصة للخل الطبيعي.
٧- يكتب على العلبة المادة المصنعة منها .

### طرق صناعة الخل :

١- يحضر العصير من المواد الخام المختلفة من مواد نشوية بعد تحويلها الى مواد سكرية بالنسبة للتمور يستخلص السكر كما في صناعة الدبس ويضغط التركيز الى ١٠% وقد يضاف غاز $CO_2$ او احد املاحه الى العصير ويترك لمدة ساعتين قبل عملية التخمر للقضاء على الفطريات والخمائر الضارة والبكتريا الضارة ( لبكتريا حامض الخليك وحامض اللاكتيك) لذا البكتريا في مرحلة التخمر غير مرغوبة بها وبهذا يزداد نشاط الخميرة وترتفع نسبة الخل في العصير المتخمر .
٢- تضاف خميرة الخبز بعد تنشيطها كما ذكر في صناعة الكحول مع مراعاة التهوية في بداية التخمر لزيادة اعداد الخميرة وزيادة تنشيطها ((التخمر الهوائي تزداد كمية الكحول)) مع مراعاة التهوية خاصة في المراحل الاخيرة ربما يؤدي وجود الهواء الى نمو البكتريا غير المرغوب وبالتالي فقدان الكحول المنتج لذا يبرد العصير وذلك لارتفاع درجة حرارته بسبب الحرارة المنبعثة من تحول السكريات الى الكحول فعند ارتفاع درجة الحرارة الى ٣٥ – ٤٠ م° يتوقف التخمر بفعل الخميرة وكذلك يؤدي ارتفاع الحرارة الى نمو بكتريا حامض الخليك واللاكتيك ، ودرجة الحرارة المثلى ٢٥ – ٢٦ م° والتخمر الكحولي يمر بمرحلتين :

**المرحلة الاولى** : تستغرق مابين ٣ – ٦ ايام يتحول معظم السكر الى كحول وهي مهمة وسريعة .

**المرحلة الثانية** : مرحلة التخمر الكحولي البطئ يستغرق ما بين ٢ - ٣ اسابيع تقاس نسبة السكر في السائل المتخمر وعند تمام التخمر يكون تركيز السكر يساوي صفر اذا وجد السكر اكثر من ٠,٥% بعد فترة ٣ – ٤ اسابيع فهذا يدل على ان عملية التخمر غير كاملة لسبب او اكثر مما يلي :

١- درجة الحرارة اما اعلى او اقل من الدرجة المطلوبة .
٢- التخمر الحامضي : وجود بكتريا حامض الخليك واللاكتيك يعيق عملية التخمير.
٣- يمكن انه يحتوي العصير على كمية هائلة من السكر اساساً.

بأنتهاء عملية التخمر الكحولي تترسب الخميرة وبقايا الثمار الصلبة في قاع الخزان ، لذا يجب فصلها مباشرة خوفاً من تحللها ونمو بكتريا حامض اللاكتيك وتكوين روائح غير

مرغوبة ، يفصل السائل ويرشح نظراً لطول فترة التخمر الثانية ثم ينقل المحلول المتخمر الى خزان تخمر مغلق ممكن ان يبقى تحت ظروف لا هوائية لحمايته من الخمائر الهوائية وبكتريا حامض الخليك والاكسدة الكيمياوية اما اذا اريد حفظ الكحول لفترة طويلة يجب ان يبقى تحت ظروف لا هوائية حتى لايفقد الكحول اضافة الى نمو الاحياء المجهرية وكذلك لمنع ذبابة الخل والحشرات الاخرى والتي تتواجد بكمية كبيرة وتسبب حتماً تلوث الخل .

يحمض المحلول بحامض الخليك بتركيز ٢% لمنع نمو الاحياء الضارة ومنها بكتريا حامض اللاكتيك او اضافة $CO_2$

مرحلة التخمر الخليكي : هناك عدة طرق لصناعة الخل ومنها
أ- الطريقة البطيئة ب- الطريقة السريعة.

أ-الطريقة البطيئة:

١- الطريقة البيتية Lot Alone

يترك العصير السكري يتخمر ذاتياً معتمداً على الاحياء المجهرية الموجودة في المادة الخام ، وهذه الطريقة غير معتمدة ، حيث يتلوث المحلول (العصير) احياناً بأحياء مجهرية غير مرغوبة ولايكون التخمر الكحولي كاملاً ويكون تكون حامض الخليك بطيئاً.

يوضع العصير عادةً في براميل خشبية ويوضع على احد جوانبه مع جعل الفتحة للاعلى وابقاءهُ مفتوحاً ليتخمر بواسطة الخميرة ويصل تركيز الكحول ١١-١٣% ثم يترك ليتأكسد بواسطة بكتريا حامض اللاكتيك الى حامض الخليك.

٢- طريقة اوريلانز : يؤخذ السائل المتخمر ويوضع في براميل سعة البرميل ٤٠ – ٥٠ غالون ثم يملأ الى حوالي ٤/٣ برميل ويضاف للسائل مايوازي ٥/٤ حجمهُ خل طازج لرفع الحموضة يمنع نمو الخمائر السطحية ، ويمنع بكتريا حامض الخليك اضافة الى زيادة عددها حيث يعتبر الخل المضاف كبادئ ، يزود كل برميل بفتحات التهوية تعلو سطح السائل وتضبط درجة الحرارة ٢٥ – ٢٦ م° ، تستغرق عملية تكوين الخل ثلاثة اشهر لذا يسحب السائل كل شهر من البرميل حوالي ربع الى ثلث محتوياتهُ ويضاف الى البرميل كمية مماثلة من السائل الكحولي ، وهكذا تستمر عملية التخمير ، وتتميز هذه الطريقة بأنتاج خل جيد حيث ان الطريقة تسمح بتعتيق الخل ويكون الخل الناتج احسن من الطريقة السريعة .

٣- طريقة باستور: تعتبر معدلة للطريقة السابقة (طريقة اوريلانز) توضع على سطح السائل المتخمر الكحولي طبقة من نشارة الخشب يعمل على حفظ غشاء بكتريا حامض الخليك النامي على سطح السائل الكحولي فلا يتمزق عند سحب كمية من محتويات البرميل .

ب – الطريقة السريعة :

١- طريقة المولد Generator Process

تعتمد هنا سرعة تحول الكحول الى الخل على كمية الاوكسجين المتصل بالسائل المتخمر بزيادة مساحة السطح المعرض للهواء ، تزداد سرعة تكون الخل ويستخدم خزان اسطواني يبلغ قطرهُ (١٠قدم) وارتفاعهُ (٢٠قدم) يزود بفتحات تسمح بمرور الهواء قرب القاعدة ينقسم الجهاز الى ثلاث غرف : الغرفة العليا يوضع فيها موزعات السائل الكحولي وهي على شكل رشاش يتحرك بصورة دائرية لتوزيع الكحول توزيعاً منتظماً . الغرفة الوسطية : وهي الأكبر يوضع فيها نشارة الخشب (خشب الزان) او عرانيص الذرة او أي مادة اخرى لزيادة المساحة السطحية كما يوضع الثرمومترات قرب مركز الفراغ الوسطي . الغرفة السفلية لتجميع الخل.

عند بدء العملية يحمض نشارة الخشب او المواد الاخرى بخل جيد لرفع حموضتها وتزويدها ببكتريا حامض الخليك ثم يمرر بالجهاز ببطء سائل كحولي محمض بخل جيد لتنشيط نمو بكتريا حامض الخليك وبعد بضعة ايام يمرر السائل الكحولي المراد تحويلهُ الى خل ، تضبط درجة الحرارة ويمكن التخلص من الحرارة الزائدة من الاكسدة بأدخال انابيب تبريد داخل الخزان او خارجها ، كما تنظم سرعة مرور السائل الكحولي وحجم الهواء الداخل الى الجهاز ، كما يجب ان تكون نشارة الخشب خالية من الروائح غير المرغوبة او الطعم غير المرغوب والمعادن وبالاخص الحديد.

يحصل فقد كثير في الكحول والخل بهذه الطريقة بسبب الاكسدة وتحويلها الى $CO_2$ وماء او غذاء الى بكتريا . ينتج الجهاز البالغ طولهُ ٢٠ قدم مابين ٨٠ – ١٠٠ غالون خل / باليوم . يسحب الخل الى خزانات التخزين حيث يترك لمدة اسابيع او اشهر للتعتيق واحياناً فترة قصيرة من الطريقة السريعة .

٢- الطريقة الغاطسة : Submerged Method

في التخمير الغاطس يلقح الوسط الهائج من المحلول الذي يحتوي على كحول بنسبة ٨ – ١٢% بواسطة البكتريا ويترك بدرجة الحرارة ٢٤,٤ – ٤٩,٤م° مع التهوية المسيطر عليها وبكميات كبيرة ، لذا تسمى احياناً بطريقة الفقاعات ، يستخدم متخمرين متجاورين ومسيطراً عملياً على العمليات من بداية المحلول الكحولي الى خروج الخل احد المتخمرين يسمى الاول Acettator والثاني Cauitator ولاتستخدم في هذه الطريقة نشارة الخشب او أي مادة مالئة اخرى وانما يخرج السائل الكحولي وبكتريا البادئ ويضخ خلالهما الهواء بواسطة جهاز تهوية وفي حركة مستمرة في قاع اسطوانة مصنوعة من الحديد.

وتسمى بالطريقة الغاطسة وذلك لنمو البكتريا في معلق مكون من فقاعات الهواء والسائل المتخمر ومن مميزات هذه الطريقة :

١- سريعة حيث يمكن الحصول على الخل خلال ٢٤ ساعة ونسبة الحامض فيه ٤-٦ %

٢- يمكن تشغيل هذه الطريقة وايقافها حسب الرغبة ومزودة بتصاميم خاصة لتسجيل نسبة الحامض.

٣- رخيصة لعدم استخدام المادة المالئة فيها.

٤- ذات كفاءة انتاجية عالية حيث لايترك الا شي قليل جداً من الكحول.

٥- لاتتكون مواد لزجة تعيق الخل كما في طريقة المولد .

٦- لاتتكون دودة الخل.

٧- يمكن تعتيق الخل الناتج لوجود البكتريا فيه .