الخمائر

محمد صالح سنبل

تعد تقنية التخمير (Fermintation) من أقدم التقنيات الحيوية التقليدية، حيث لعبت دوراً أساسياً في إنتاج العديد من الأغذية، مثل: الأجبان والألبان وغيرها من الأغذية.

تعرف عملية التخمير بأنها تفاعل كيميائي يحدث فيه تنمية للكائنات الدقيقة؛ بهدف إنتاج أغذية معينة ذات خصائص محسنة، أو إنتاج عقاقير وأدوية صيدلانية.

كما يُعرِّف علماء الأحياء الدقيقة عملية التخمير بأنها أي عملية لإنتاج أي منتج غذائي أو دوائي باتباع كل الوسائل المزرعية والتحضين للكائنات الحية الدقيقة.

تنحصر أغلب عمليات التخمير في الكحول الإيثيلي والبيوتيلي، ولكن مع تقدم السنين وظهور ثورة التقنية الحيوية تمكن العلماء من اكتشاف المزيد من الخمائر المستخدمة في التطبيقات الصناعية والدوائية، كما أمكن استخدام أنواع عديدة من البكتيريا في تلك التطبيقات، بحيث لاتتطلب عمليات التخمير وجود الأكسجين، كما ابتكرت حاويات خاصة للتخمير في المصانع الغذائية تقوم بتلك العملية ذاتياً.

يتناول هذا المقال عملية التخمير لصناعة الأغذية والأدوية كما يلي:

وحدة التخمير

يختلف حجم وحدة التخمير باختلاف المكان المعد لإجراء خطوات هذه العملية، حيث تتراوح سعتها من لتر إلى لترين للتجارب المعملية، وقد يصل إلى مئات اللترات في التطبيقات الصناعية.

تتكون وحدة التخمير من حاوية التخمير ووحدات تحكم يمكن توضيحها كمايلي :

- **حاوية التخمير**

تختلف حاوية التخمير من حيث المادة المصنوعة منها، فقد تكون معدنية أو زجاجية أو بلاستيكية ذات غطاء على شكل قبة كروية، وتتكون الحاوية من الأجزاء التالية:

١- **مدخل ومخرج مائي (Water inlet and outlet)**: ويتكون من وعائين أسطوانيين معدنيين، كل منهما على جانب الحاوية ومرتبط بها من الخارج في شكل طولي.

٢- **ملفات تبريد داخلية (Internal cooling coils)**: وتوجد على جدار الحاوية من الداخل في شكل متوازي، وتستخدم في الحاويات الضخمة بغرض النقل النشط للحرارة.

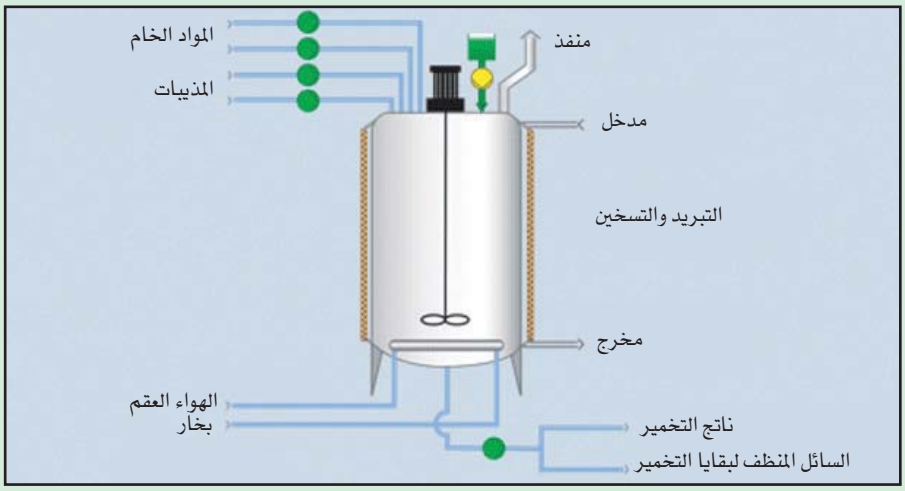
٣- **محرك دائري الشكل في قمة الحاوية**: ويتصل من الأسفل بأسطوانة التحكم بالسرعة والتي ترتبط - بدورها - بمانع تسرب الغاز.

٤- **عمود معدني داخلي مثبت في سقف الحاوية من الداخل**: ويمتد إلى القرب من قاعها، وينصفها إلى نصفين متماثلين. يرتكز حول هذا العمود من ٢-٦ مجاديف (Impellers)، تدور حول محوره لإتمام عملية التخمير وامتزاج سائل التخمير.

٥- **بدالات السرعة (Rushton impellers)**: وتتكون من ٢-٦ مجاديف متوازية ومرتبطة بالعمود المعدني الداخلي.

٦- **صفائح عائقة (Baffle plate)**: وتوجد على جانبي حاوية التخمير من الداخل بشكل متوازي، وتعمل على تنظيم سريان السائل بشكل محوري، بحيث يتجه إلى جانبي الحاوية - الأيمن والأيسر- كما تمنع هذه الصفائح تكون الدوامات (Vortexes) داخل الحاوية.

٧- **مرشح الهواء (Air filter)**: وهو عبارة عن حجرة صغيرة متصلة بالحاوية من الأسفل، وتعمل



■ المكونات الأساسية لحاوية التخمير .

■ وحدة التحكم بالتهوية بأحد أجهزة التخمير المعملية .

على ترشيح الهواء الداخل إليها.

٨- **منفذ الإضافة (Addition inlet):** وهو عبارة عن أنبوب معدني رأسي يخترق الحاوية من الجهة العلوية إلى داخل الحاوية، ويتم بواسطته إضافة البخار المعقم للحاوية.

٩- **منفذ خروج الهواء (Air Exhaust outlet):** ويتم عن طريقه إخراج المحتويات الغازية لحاوية التخمير بعد الانتهاء من عمليتي التعقيم والتخمير.

١٠ - منفذ الاستخلاص (Harvest Outlet): وهو عبارة عن أنبوب معدني متصل بالحاوية من الجهة السفلى، ويتم عن طريقه تفريغ محتوياتها بعد انتهاء عملية التخمير.

● **وحدات التحكم بالحاوية**

تقوم وحدات التحكم بتنظيم ومراقبة الظروف الكيميائية المختلفة داخل الحاوية؛ من أجل ضمان إتمام عملية التخمير، وسط ظروف مثالية من درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني والتهوية.

تنقسم وحدات التحكم في حاوية التخمير إلى ٤ أنواع هي:

■ **وحدة التحكم بدرجة الحرارة (Temperature control unit):** وتُعنى بمراقبة درجة الحرارة داخل الحاوية، عن طريق جهاز حساس ذو شكل أنبوبي، طرفه مدبب مرتكز في الطرف الجانبي الداخلي لحاوية التخمير، ومرتبط بالخارج بسلك يؤدي إلى شاشة وحدة التحكم. كما توجد مضخة للماء البارد بجانب الحاوية من الخارج ومرتبطة أيضاً بشاشة وحدة التحكم، وتعمل على إدخال تيار الماء البارد عبر أنبوب متصل بالحاوية، وذلك في حالة اختلال توازن درجة الحرارة داخلها.

■ **وحدة التحكم بالرقم الهيدروجيني (pH control Unit):** وتهدف إلى قياس ومتابعة الرقم الهيدروجيني داخل حاوية التخمير، وتوجد في الناحية العلوية من الحاوية. تتكون هذه الوحدة من شاشة رقمية مرتبطة - عن طريق سلك - بجهاز قياس الرقم الهيدروجيني الموجود على شكل أنبوبي ذو نهاية مدببة. كما ترتبط شاشة وحدة التحكم بخزان أنبوبي صغير- بجانب جهاز قياس الرقم الهيدروجيني- يعمل على موازنة الرقم الهيدروجيني عند اختلاله بإضافة بعض قطرات من الحمض أو القاعدة .

■ **وحدة التحكم بالتهوية (Ventilation control unit):** وتستخدم لموازنة حجم الهواء وضغطه والتحكم في خصائصه أثناء عملية التخمير داخل الحاوية، وتتكون هذه الوحدة من شاشة وحدة التحكم مرتبطة - عن طريق سلك - بجهاز حساس لقياس الأكسجين المذاب في وسط التخمير، كما ترتبط الشاشة بغرفة ضاغط الهواء (Air compressor) والذي يرتبط بمرشح هواء يرتبط بأنبوبة أخرى - تمتد داخل الحاوية - ذات ثقوب تسمى بالأنبوب الناضح (Sparger outlet) المسؤول عن إخراج فقاعات هوائية تمتزج مع السائل المراد تخميره.

● **وحدة التحكم في الرغوة**

تهدف وحدة التحكم في الرغوة (Foam control unit) إلى الكشف عن وجود الرغوة داخل الحاوية أثناء مرحلة التخمير، حيث إن الرغوة قد تنتج من التمثيل الحيوي للزيوت الطبيعية أو المواد الكيميائية الأخرى. تتكون هذه الوحدة من سلكين حساسين متوازيين أحدهما أطول ـ مغمور في السائل ـ من الآخر ويرتبط السلكان بوحدة الخزان المضاد للرغوة (Antifoam reservoir & control) التي تفرز بضع قطرات من مادة مانعة لتكون رغوة بواسطة أنبوب معدني داخلي.

مراحل عملية التخمير

تُقسم مراحل عملية التخمير إلى ثلاث مراحل رئيسة هي :

● **مرحلة الإدخال**

تبدأ هذه المرحلة بدخول البخار المعقم إلى الحاوية، عبر أنبوبين جانبيين أحدهما علوي والآخر سفلي، وذلك لتعقيم محتواها الداخلي من أي شوائب، قبل البدء في عملية سكب السائل المراد تخميره. يلي ذلك إضافة وسط التخمير السائل تدريجياً عبر منفذ الإضافة العلوي للحاوية حتى يشغل مساحة ٧٠ - ٨٠ ٪ كحد أقصى من مساحتها الإجمالية، ومن ثم تضاف السلالة البكتيرية المطلوبة إلى السائل المراد تخميره، عبر أنبوب علوي خاص بذلك.

● **مرحلة التخمير**

تبدأ مرحلة التخمير بتحرك المجاديف الثلاثية - المرتكزة حول العمود الداخلي المنصف للحاوية- حركة دائرية مستمرة، حيث تتدفق فقاعات هوائية من العمود الواقع أسفل الحاوية من الداخل والممتد من مرشح الهواء الخارجي، فيحدث امتزاج وتجانس في خليط السائل المراد تخميره مع السلالة البكتيرية الجديدة.

● **مرحلة الاستخلاص**

يتم في هذه المرحلة فصل الكتلة الحيوية (السائل المتخمر الجديد)، ومن ثم تجميعها في حاوية الطرد المركزي، حيث تنفصل كتلة الخلايا الحية إلى جانبي الأسطوانة.

صناعات التخمير

تقوم على عملية التخمير صناعات عديدة، منها:

● **صناعة الأدوية**

تعود المحاولات الأولى لصناعة الأدوية بالتخمير إلى العام ١٩٤١م، عندما بدأت محاولات تصنيع البنسلين تجارياً في الولايات المتحدة، حيث تمثلت عملية التخمير - آنذاك - في تنمية السلالة الفطرية *(Penicillum notatum)* على أحد أسطح الأوساط البيئية المزرعية لمدة تتراوح بين ٥ – ١٠ أيام الذي يحتوي على تركيزات من البنسلين تتراوح بين ١٠ -٢٠ وحدة بمقياس أكسفورد (٠,٠٠٦ - ٠,٠١٢ ملجم من مركب بنزايل البنسلين) . فضلا عن استخدام تقنية استخلاص المذيب لعزل المادة المطلوب استخدامها طبياً.

تعد صناعة البنسلين والستريتوماين من أهم الصناعات الدوائية حيث تعتمد الأولى على البكتيريا الهوائية بينما تعتمد الثانية على البكتيريا اللاهوائية. ويلاحظ أن الفرق بين

الميكروبات الهوائية واللاهوائية في عملية التخمير: أن البكتيريا الهوائية لاتحتاج لضخ الأكسجين عبر الأنبوب الداخلي الخاص بالضخ داخل حاوية التخمير، لأنها تستخدم الأكسجين الموجود في تركيباتها الخلوية لعمليات التمثيل الحيوي للكتلة الحية من الخلايا، بينما في حالة الميكروبات اللاهوائية مثل فطر البنسيليوم فإنه لابد من ضخ كمية من غاز الأكسجين في مرحلة التخمير؛ لإتمام عملية التمثيل الحيوي في مرحلة التخمير، ويوضح جدول (١) بعض أنواع الميكروبات الهوائية وغير الهوائية والمستخدمة في مراحل تخمير صناعة الأدوية

■ **صناعة البنسلين:** وتتضمن عدة مراحل وهي:

- **انتقاء السلالة الميكروبية المناسبة:** حيث يعد فطر البنسيليوم مصدر إنتاج البنسلين، إلا أن هناك عدة سلالات من هذا الفطر، أشهرها تجارياً السلالة كريزوجينم بنسيليوم (Penicilum chrysogenum) .

- **تحضير حاوية التخمير:** حيث يتراوح حجمها بين ٤٠ ألف إلى ٢٠ ألف لتر، وتحتوي على بيئات سائلة، ويتم تزويدها بالأكسجين عبر أنبوب خاص، فينتشر داخل الوسط السائل ويتغلغل في جزيئاته - بمساعدة التوربينات المتحركة - وذلك لإتمام عملية التمثيل الحيوي في مرحلة التخمير.

- **تحضير اللقاح:** ويتم بتخمير البنسلين في حاويات مصغرة تحتوي على بيئات سائلة، كما يعد الهدف الأساسي من إضافة اللقاح (Inoculum) إلى البيئة الميكروبية هو زيادة الكتلة الحيوية (Biomass) التي تؤدي عند إضافتها إلى زيادة عدد الخلايا الناتجة عن عملية التخمير. يتم تحضير اللقاح من خلال الخطوات التالية:

١- تحضير السلالات الميكروبية عند درجة حرارة ٢٥ °م في أنابيب وأوعية قابلة للرج، ثم وضعها في حاوية معدنية أو زجاجية مصغرة (Seed-container) يتراوح حجمها من لتر إلى لتر ونصف.

٢- إضافة المكونات التالية إلى حاوية السلالة الميكروبية.

- لتر ماء مقطر.
- مصدر لغاز النيتروجين (مثل محلول الذرة المركز).
- ٤٠ جرام من الجلوكوز بتركيز٢٪.
- بعض الأملاح المعدنية مثل نترات الصوديوم (٣جرام)، وكبريتات المغنيسيوم المائية (٠,٥ جرام)، وكبريتات الحديد المائية (٠,٠١ جرام).

٣- مزج المكونات السابقة، وتحضينها في جهاز أوتوكلاف (Autoclave)، مع ضبط الرقم الهيدروجيني على ٦، ثم تقسيم المحتويات على ٧ دوارق زجاجية، كل منها يحتوي على ٢٥٠ ملليلتر مع إضافة ١٠ ملليلتر من السلالة الفطرية *(Penicilium chrysogenum)* إلى محتويات كل دورق ورجها جيداً، ثم إضافتها مجدداً للحاوية الصغيرة.

٤- إضافة محلول كربونات الكالسيوم - كمحلول منظم (Buffer solution) - للحاوية الصغيرة بنسبة ٠,٥-١ ٪ وذلك للنمو الأولي للسلالة الفطرية في البيئة.

٥- ترك السلالة الفطرية في بيئة التخمير لمدة ٦ ساعات؛ بغرض نموها ومضاعفتها في بيئة التخمير.

٦- التخمير في وجود الهواء مع فترة زمنية تتراوح من ٤-٥ أيام عند درجة حرارة ٢٥-٢٧°م، ومن ثم ترشيح كتلة الخلايا الحية - إضافة إلى نواتج الذوبان الأيضي (Insoluble metabolites) باستخدام وعاء ترشيحي مغطى (Coated drum filter). يلي ذلك ضبط الرقم الهيدروجيني pH2 للسائل المترشح عند من خلال إضافة حامض الكبريتيك، وعندئذ يتواجد البنسلين على هيئة حامض غير معزول (Undissociated acid)، وغير قابل للذوبان في المذيبات العضوية.

٧- الاستخلاص بإضافة الفحم المنشط للمحلول - في حاوية الترشيح - وذلك لإزالة اللون والشوائب منه. يلي ذلك إضافة محلول خلات البوتاسيوم؛ لتعجيل تكوين البنسلين مما يجعل جزيئاته غير قابلة للذوبان في المذيبات العضوية.

٦- البلورة بإضافة هيدروكسيد البوتاسيوم أو هيدروكسيد الصوديوم لمرشح السائل المتخمر والمحتوي على تركيزات عالية من البنسلين، وذلك في وعاء قابل للرج (Agitated tank)، حيث تتكون بلورات البنسلين، ويتم جمعها من أنبوب خاص أسفل الوعاء.

٧- التجفيف بتعريض بلورات البنسلين لتيار من الهواء الساخن لتخليصها من محلول الآيزوبروبيل الكحول اللامائي وبيوتيل الكحول المستخدم في تنقيتها من الشوائب، وبالتالي تصبح أقراصاً جاهزة للتعبئة والتسويق.

■ **صناعة الستربتومايسين:** ويمكن صناعته باستخدام نفس الخطوات المستخدمة في إنتاج البنسلين، إلا أن آلية التخمير تختلف، حيث لا يتم إضافة الأكسجين عبر الأنبوب الداخلي للحاوية؛ وذلك لأن البكتيريا المستخدمة في هذا التخمير هوائية، إضافة إلى اختلاف نوع السلالة الميكروبية، حيث تستخدم هنا البكتيريا من نوع ستربتومايسيز جرسيس *(Streptomyces griseus)* بدلاً من السلالات الفطرية، كما يضاف لوسط التخمير كربونات الكالسيوم ومادة الباربيتال والأملاح المعدنية والجلوكوز؛ وذلك لتنظيم نمو السلالة البكتيرية وتجانس وسط التخمير معها.

يتم تحضير البيئة بحفظ البكتيريا مجمدة، ومزجها مع التربة حتى يأتي وقت استخدامها،

التنفس	نوع الميكروب	السلالة الميكروبية	نوعها	اسم الدواء
هوائية	بكتيريا	*Streptomyces cattleya*	مضاد حيوي	Thienamycin
هوائية اختيارياً	فطريات	*Trichoderma viride*	مضاد حيوي	Alamethicin
هوائية	بكتيريا	*Bacillus subtilis*	مضاد حيوي	Bacillomycins
هوائية	بكتيريا	*Bacillus mesentericus*	مضاد حيوي	Esperin
هوائية	بكتيريا	*Streptomycis puniceus*	مضاد حيوي	viomycin
هوائية	فطريات	*Cephalosporium acremonium*	مضاد حيوي	Cephalosporin
هوائية	بكتيريا	*Streptomyces chrysomallus*	مضاد حيوي	Actinomycin
هوائية	بكتيريا	*Streptomyces coeruleorubidus*	مضادات للسرطان	Anthracyclines
لاهوائية	فطريات	*Penicium chrysogenum*	مضاد حيوي	Penicillin
هوائية	بكتيريا	*Streptomyces griseus*	مضاد حيوي	Streptomycin

جدول (١) بعض أنواع السلالات الميكروبية المستخدمة في مراحل تخمير العديد من الأدوية.

حيث يتـم عزلها في بيئـة آجار دقيق فول الصـويا (Soybean flour agar) علـى أطبـاق بـتري أو زجاجـات خاصـة، ومـن ثم تحضـينها لمـدة ٢- ٣ أسابيع عند درجة حرارة ٢٧°م.

● صناعة الأغذية

تعـد الخمائر أحد أنواع الفطريات المسـتخدمة في صـناعة الأغذيـة، مثل: الخبـز والحليب والجبن ودبس السـكر، إضـافة إلى إنتاج الكحول، ومن أهم الصناعات في هذا المجال:

■ **خميـرة الخبـز (Bakers yeast)**: وتعـد مـن أشـهر أنواع الخمائر المسـتخدمة في صناعة الخبز والمعجنـات، وتنتمـي هـذه الخميـرة إلى عائلـة (Saccharomyces)، كما تعد سلالة سكارواميسيس سيريفيسـيا *(Saccharomyces cervisiae)* مـن أشـهر السـلالات المسـتخدمة في صـناعة الخبـز والمعجنات على مستوى العالم.

تتميـز خميرة الخبـز بلون أبيض مائل إلى الصفرة، وطعم ورائحة مميزين، فضلاً عن قوام متماسك نصف صلب. توجد طريقتان رئيسيتان لإنتاج خميرة الخبز، الأولى قديمة، وهي طريقة الدفعـات (Batch method)، أمـا الثانيـة فهي الطريقـة المسـتمرة (Continuous method) وتعـد الطريقة الأحدث في إنتاج الخميرة وتحتاج إلى تقنيـة عاليـة، وكادر فني متخصـص، وهي الطريقة المنتشـرة في المصـانع الغذائيـة حالياً، ويسـتعمل فيهـا المولاسـ (Molas) النقي المعقم كمادة أولية لإنتاج الخميرة.

تشمل عملية إنتاج خميرة الخبز *(S.cerevisiae)* صناعياً المراحل التالية:

- **الإكثـار المختـبري**: وتتم في المختـبر، وتهدف إلى الحصـول على نمو خمائري لكتلة خميرة وزنها ٥٠٠ جرام عن طريق تنمية سـلالتها مع اتخاذ إجراءات النظافة والتعقيم.

تشـمل هذه المرحلة زرع سـلالة الخميرة في أنابيـب اختبار، ثم نقلها في وعاء **فرودين ريتش** (Freuden-Reich) الزجاجي ذي الغطاء المفتوح - تبلغ سـعته ١٠٠ مل - حيث يتم تحضين الخميرة في درجة حرارة ٣٢°م لمدة ٤٨ ساعة. يتم تنمية سلالة الخميرة في وعاء **كارلسـبرغ** - سـعة ٢٠ لتراً - بعد تعبئتـه بوسـط زراعي مكـون من: ٢ لـتر مولاس، ١ كجم مستخلص المولت، ١٠ جرام فوسفات أمونيوم، ٢ جرام كبريتات المغنيسيوم، مع إضافة الماء المقطر لاستكمال سعة الإناء.

- **المرحلـة الإنتاجيـة**: وتهـدف إلى زيـادة نتائـج التخمر النهائية؛ بحيث تكون في بداية المرحلة ٢٠٠ - ٢٥٠ كجم من النمو الخمائري، وتصـل في نهايتها إلى نحـو ١٧ طنـاً من الخميرة. تقسـم هذه المرحلة الإنتاجية إلى ٣ مراحل هي:

- **إعـداد البـاديء النقـي**: وتتـم في خـزان معـدني حجمـه ١٢ مـتر مكعـب، ومـزود بأنبـوب حلـزوني الشـكل لتبريده في حالة ارتفاع درجـة الحرارة عن طريق ضخ الماء البارد، كما يتم تهيئة الخزان لعملية التخمير بغسـله بمحلول هيدروكسيد الصوديوم، ثم تعقيمه بواسـطة بخار في درجة حـرارة ١٢٠°م لمدة ٣٠ دقيقة. يتم ملء الخزان بالمواد التالية:

- ١٢٠٠ لتر من المولاس المعالج .
- ٧٠٠ لتر من الماء المعالج بالكلورة.
- ٢٠ لتر محلول فوسفات ثنائي الأمونيوم ١٠٪.
- ١٠ لترات محلول كبريتات الأمونيوم ١٠٪.
- ٢ لتـر مـن سـائـل المضـاد الـرغـوي (Anti-foaming solution).

تخلـط المكونات السـابقة جيداً بواسـطة جهاز مـزود بمروحـة، مـع ضـبط الحموضـة علـى رقم هيدروجينـي (PH) ٤,٩، وتسـخن على درجة ١٢٠ °م لمدة ٣٠ دقيقة ثم تبرد إلى درجة حرارة ٣٠-٣٢°م لمدة ١٨-٢٠ ساعة.

- **مرحلـة الـزرع الأولى**: وتتـم في حاويـة تخمـير

■ خزانات التخمير في المرحلة الانتاجية في أحد المصانع .

سـعتها ٦٥ مـتر مكعب، مـع اتباع خطـوات المرحلة السـابقة نفسها، وتبرد الحاوية لدرجة حرارة ٣٠°م مع نقل محتويات خزان الباديء النقي بالكامل إليها بواسـطة مضـخة خاصـة، مع الحفاظ علـى درجة الحرارة ثابتة عند ٣٠°م. يضاف لمحتويات الحاوية: المولاسـ والمواد المغذية والمضـاد الرغوي، حيث يبدأ حدوث التخمر بعد إدخال الهواء المعقم إلى الحاوية بواسطة جهاز **فرانكس**. تستمر مدة التخمر في هذه المرحلـة نحو ١٧ سـاعة متواصـلة وينتـج عنها نحو ٣٠٠٠ كجم من النمو الخمائري.

- **مرحلـة الـزرع الثانيـة**: وتتم في حاوية تخمير ضخمة حجمها ١٥٥ متر مكعب، حيث تنقل إليها محتويات حاوية التخمير- في المرحلة السـابقة- بشـكل كامل، ثم تضـاف المـواد المغذية والمولاس والمضـاد الرغوي، مع ضـخ كمية أكبر من الهواء المعقم؛ لزيادة حاجة الخميرة إليها.

يسـتمر التخمير لمدة ١٨ ساعة؛ لينتج معلقاً من النمـو الخمائري، يتـم تمريره خـلال أجهزة الفرز للحصـول على كتلة خميرة مركزة يقدر وزنها بنحو ١٨ طناً، يتم تخزينها في درجة حـرارة منخفضـة (٤°م) في غرف مبردة خاصة بها .

- **مرحلـة الـزرع التجـاري**: ويتـم إنجازها ضـمن خزان التخمر التجاري، حيث يضاف المولاس والمواد الغذائيـة والمضـاد الرغوي إلى حاويـة التخمير كما في المراحل السـابقة. يقسـم سـائل الخميرة المركز الناتج إلى عدد من الأجزاء، حيث يسـتعمل كل جزء منها كبـاديء لزرع خزان التخمر، ومن ثم يضـاف جـزء من سـائل الخميرة المركز إلى خـزان التخمر ثم تضبط درجة الحرارة على ٣٠°م مع ضبط الرقم الهيدروجيني (PH) بين ٤,٨ و ٥.

- **مـرحلـة فـرز الـخمـيـرة وتـصـفـيتـها (Centrifugal yeast separation & filtration)**: وتعد المرحلة الأخيرة في عملية التخمير، حيث يتم فرز ناتج خزان التخمر التجاري بواسطة فارزات خاصـة - أجهـزة فـرز آليـة- ثم يغسـل ويبرد بتمريره من خلال المبادلات الحرارية، ثم يجرى تخزينه في الغرف المبردة.

تتـم تصـفية الخميرة المفـروزة باسـتعمال جهـاز الترشـيـح الـدوراني تحـت التفريـغ (Rotary vacuum filter)، الـذي يحتـوي علـى منخل معدني مثقب مغطى بطبقة من نشـأ البطاطا

(Potato starch)، وذلك لحجز الخميرة ومنع مرورها خلال الثقوب، بينما تسمح بمرور الماء إلى داخل الأسطوانة ليطرح خارجاً. تنتقل الخميرة المصفاة إلى قسم التعبئة لتعبأ في قوالب، حيث تغلف الخميرة الطرية المضغوطة آلياً، ثم تعبأ في علب كرتونية تمهيداً للتسويق.

■ **الإنزيمات:** وتعد الإنزيمات المنتجة بواسطة الخمائر والميكروبات الأخرى ضرورية لصناعة الأغذية، كما أن مصادر هذه الإنزيمات قد يكون نباتياً أو حيوانياً . وتنقسم الإنزيمات المتكونة نتيجة التخمير إلى نوعين:

- الإنزيمات المحللة للبروتين (Proteolytic Enzyme): وتعد الأكثر أهمية، حيث تستخدم بشكل واسع على النطاقين التجاري والصناعي - نحو ٦٠٪ من إجمالي الإنزيمات - ولها القدرة على تكسير البروتينات عن طريق تفكيك الروابط الببتيدية للأحماض الأمينية في وجود جزيئات الماء، كما تعمل بعض هذه الإنزيمات بشكل فعَّال في الوسط الحمضي، وقد يعمل بعضها الآخر في الوسط المتعادل أو القلوي.

تمثل إنزيمات البروتييز (Protease Enzymes) مجموعة الإنزيمات المحللة للبروتينات، ويتم إنتاجها إما عن طريق تخمير السلالات الميكروبية التالية: (بكتيريا *Bacilli*، فطريات *Aspergilli، Rhizoups*) أو عن طريق استخلاص الإنزيم من عدد من الحيوانات أو أنسجة النباتات.

وتقسم الإنزيمات المحللة للبروتينات إلى ٤ مجموعات رئيسة بناء على أهميتها في التطبيقات الصناعية وآلية عملها التحفيزية هي:

١- بروتينيز السيرين (Serine proteinases): يحتوي على الحمض الأميني السيرين (Serine) والهستيدين (Histidine) وتشمل كلا من: بروتييز البنكرياس (Pancreatic digestive proteases) والتربسين (Trypsin)، والكيموتربسين إضافة الى البروتييز القلوي لبكتيريا *(Bacilli)* وفطر *(Aspergilli)*، كما يعد إنزيم المسمى (Subtilisin Carlsberg) المنتج من السلالة البكتيرية *(Bacillus licheniformis)* هو الإنزيم المطهر السائد صناعياً، حيث حقق أرباحا تسويقية وصلت إلى حوالي ١٠٠ مليون دولار في الثمانينات من القرن الماضي.

٢- بروتينيز الثيول (Thiol proteinases): وتحتوي على الحمض الأميني السيستين، ومن أشهر هذه الإنزيمات إنزيم البابين (Papin) المستخلص من عصارة ثمرة البابايا عن طريق السلالات البكتيرية *(Streptococcul)* ويستخدم هذا الإنزيم في العديد من التطبيقات الصناعية وفي معالجة الأغذية، مثل:

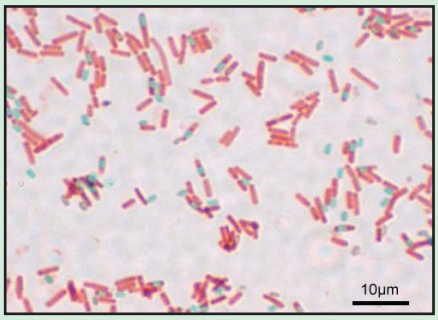
(أ)- إنزيمات البروتينيز الحامضية (Acid Proteinases): وتعمل بشكل فعَّال عند الرقم الهيدروجيني ٣-٤، وتحتوي إنزيمات هذه المجموعة على الخميرة المجبنة والمستخلصة من معدة الحيوانات، والتي تساعد على تخثر الحليب عن طريق التميؤ، كما يوجد إنزيم الببسين Pepsin المستخلص من فطريات *(Aspergillus)* و *(Rhizopus)*.

(ب)- إنزيمات ميتالو بروتينيزس (Metallo proteinases): وتستخلص إنزيمات هذه المجموعة من السلالة البكتيرية (Bacillus subtilis)، والسلالة الفطرية (Aspergillus oryzae)، كما تنقسم هذه الإنزيمات إلى مجموعتين طبيعية وقلوية، وتستخدم في تطبيقات عديدة منها صناعة الأجبان ومعالجة الجلود، كما تستخدم في الصناعات الدوائية.

■ **إنزيمات التميؤ (Hydrolytic Enzymes):** وتنحصر استخداماتها في الصناعات الغذائية وتشتمل على خمسة أنواع هي:

١- **السليوليز (Cellulases):** ويستخدم بنطاق واسع في تصنيع الجلوكوز والكحول من السليولوز واللجنوسليولوز (ligncellulose)، كما تستخدم إنزيمات السليوليز في صناعة الحبوب، حيث تدخل في مرحلة المعالجة والاستخلاص. وتعد السلالات الفطرية *(Trichoderma reesi)*، *(Aspergillus niger)* هما مصادر تكوين هذا الإنزيم.

٢- **الجلوكانيز (Glucanase):** ويعمل على التحليل



■ السلالة البكتيرية *(Bacillus subtilis)* مصدر انزيمات الميثالو بروتينيزس.

المائي لمادة بيتا جلوكان في الشعير، كما يدخل في مرحلة الاستخلاص عند معالجة الحبوب الأخرى.

٣- **اللاكتيز (Lactases):** ويعمل على التحليل المائي لسكر اللاكتوز في الحليب والقمح، حيث يحول اللاكتوز إلى جلوكوز وجالاكتوز، كما يوجد هذا الإنزيم في بعض الفواكه كالتفاح والمشمش والخوخ، ومجموعة واسعة من البكتيريا والفطريات.

من الجدير بالذكر أن إنزيم اللاكتيز المستخدم تجارياً يصنع من بكتيريا *(Kluyveromyces lactis)*،كما يجب التنويه إلى أن الإنزيمات المستخرجة من البكتيريا تفضل الرقم الهيدروجيني (pH) ٦-٧ للعمل بنشاط، بينما تفضل الإنزيمات المستخرجة من الفطريات الرقم الهيدروجيني (pH) ٥.

٤- **ليبيزس (lipases):** وتستخدم في الصناعات الدوائية وصناعة الصابون، حيث يستخلص من بنكرياس الأبقار. كما يتم إنتاج هذا الإنزيم من عدة سلالات ميكروبية هي: rhizopus, Aspergillus, Candida .

٥- **البكتينيز (Pectinase):** ويتكون بشكل أساسي من إسترات البكتين ويستخلص من السلالة الفطرية *(Aspergillus nigr)*، كما يستخدم هذا الإنزيم تجارياً في مصانع عصائر الفواكه تحديداً في مرحلة الاستخلاص، حيث أنه يخفض اللزوجة، ويزيد درجة نقاء اللون ويزيد حجم سائل العصير المستخلص.

المراجع

Comprehensive Biotechnology, Murray Moo-Young, 1985
www.google.com.sa
www.zira3a.net
www.bio.org/speeches/pubs/er/biotechGuide2008.pdt