أنتاج خميرة الخبز

وأهم خميرة تستخدم لهذا الغرض هي *Saccharomyces cerevisiae* حيث تخمر الكاربوهيدرات الموجودة في الطحين بضمنها السكر لإنتاج غازثاني اوكسيد الكاربون (carbon dioxide) الذي تسبب تمدد العجين وارتفاعه وعمل الجيوب (pockets) أوفقاعات (bubbles) داخل نسيج الخبز. وعند شواء العجين أوخبزه ،فإن خلايا الخمائر تموت وان الفقاعات الهوائية المتكونة تعطي المنتج الطراوة والنعومة والقوام الأسفنجي.

ويستخدم معظم الخبازين الخميرة المنتجة تجارياً لأغراض صناعة الخبز حيث تتكون من مزروع نقي (pure culture) الذي يعطي منتوج متجانس،وسريع وذات نتائج معتمدة. ومعظم أنواع الخبز تنتج من خلال خلط المكونات في خطوة واحدة وعمل العجينة التي تشوي بعدفترة معينة يطلق عليها بزمن الأرتفاع (rising time). كما يمكن إجراء عملية التخمير (leavening) الذي ينتج عنه انتفاخ ورفع العجينة بإضافة مواد كيميائية لإنتاج الغاز مثل (baking powder) أو الطحين الذي يرتفع بصورة ذاتية نتيجة لاحتوائه على (baking powder) أو إضافة مكونات حامضية مثل (butter milk) مع الصودا (baking soda) حيث أن تفاعل الحامض مع الصودا يولد غاز بسبب انتفاخ ورفع العجين ويضاف ملح الطعام إلى عجينة الخبز لتعزيز النكهة ولتحديد فعالية الخميرة حيث يؤثر الملح على بنية أو تركيب وقوام الخبز من خلال تثبيت وتقوية الكلوتين في الخبز تستخدم الأحياء المجهرية لإنتاج الغاز الذي يساعدعلى إنتاج خبز بقوام مسامي (porous structure) مع إنتاج مواد نكهة (flavoring substances) وأثناء تحضير العجين تعمل الخمائر،كماذكرنا سابقا،على تخمير السكريات وإنتاج CO_2 والكحول (alcohol). وأثناء عملية التخميريحدث نمو قليل للخمائر،ألا إن عملية التخمير تبدأ حال خلط العجينة وتستمرحتى تعمل درجة حرارة الفرن المستخدم في شواء العجينة على تثبيط الإنزيمات.

الإنتاج التجاري لخلايا خمائر الخبز والمعجنات

Commercial production of baker's yeast cells

يعتبر إنتاج خمائر الخبزوالمعجنات من أكثر ألإستخدامات المنزلية للأحياء المجهرية في عمليات تحضيروتصنيع الإغذية.وخمائر الخبز هي عبارة عن سلالة من خميرة
Saccharomyces cerevisiae هذه السلالة يتم إنتخابها بدقة عالية حيث تكون بمواصفات خاصة لإنتاج وفرة من غاز ثاني اوكسيد الكاربون وبسرعة، كما تمتاز بقابليتها على النمو أوحيويتها Viability) أثناء الخزن الاعتيادي وكذلك قدرتها على تكوين نكهة مرغوبة.
تخلط الخميرة Saccharomyces cerevisiae مع عجينة الخبز وتقوم بتخميرالسكريات بشدة مؤدية إلى إنتاج ثاني اوكسيد الكاربون الذي يعمل على رفع وانتفاخ العجين.
ينمى المزروع النقي من السلالة المنتخبة من الخميرة اولاً في المختبر ثم ينقل تدريجياً من حجم إلى آخراكبر يبدأ من أنبوب الإختبار (test tube) إلى خزان المخمر الإنتاجي الكبير مع أخذ الحيطة والحذر الشديد لمنع حدوث التلوث في أي خطوة من خطوات تصعيد الإنتاج.
أثناء عملية الإنتاج الكمي يتم تلقيح وسط الإنتاج بالسلالة المطلوبة ويحتوي والوسط الإنتاجي على المولاس (Molasses) الذي هو ناتج عرضي لعمليات تنقية السكر أو البنجر(beets or cane) حيث يحتوي المولاس على كميات كبيرة من السكريات التي تكون كمصدر كاربوني جيد،ومصدرللطاقة،كما يحتوي المولاس المعادن والفيتامينات والأحماض الأمينية التي تُستخدم

من قبل الخمائر.كما يُستخدم وسط نقيع الذرة الناتج العرضي لصناعة النشأمن الذرة،الحاوي على المواد الكربونية والنتروجينية والأملاح المعدنية.كما يضاف حامض الفسفوريك كمصدرللفسفور وكبريتات الأمونيوم كمصدرللنتروجين والكبريت.ويتم تضبيط درجة حموضة التفاعل بين 4.4-4.6 ويحضن المزروع بدرجة حرارة بين 25-25مْ مع ضخ مستمر للهواء (aeration) طيلة فترة الحضن.تقوم الخمائر بأكسدة السكريات تحت الظروف الهوائية مع تحريرطاقة (liberation of energy) حيث يستخدم الجزء الأكبر من هذه الطاقة لبناء بروتوبلازم الخلية.تتكاثر خلايا الخمائر بسرعة مستهلكة السكرالموجود في الوسط خلال 10ساعات.

في خزانات التخمير لغرض الإنتاج الكمي الواسع يكون حجم الإنتاج بين 40 ألف إلى 200ألف لتر.وهناك عدة خطوات لابد من إنجازها لعملية التصعيد الكمي (Scaling up) ومن غير المستحب أن تضاف كمية المولاس لمرة واحدة أثناء الانتاج الكمي إلى المخمر لان هذا يؤدي إلى وجود زيادة في كمية السكر والذي تقوم الخمائر بتحويله أثناء عملية التخمير إلى كحول وثاني اوكسيد الكاربون بدلاً من استهلاكه في بناء خلايا الخمائر.لذلك فإن كمية قليلة من المولاس تضاف في البداية،وعند نمو الخمائرواستهلاكها للسكر تضاف كمية أخرى من السكر. في نهاية فترة النمو فإن خلايا الخمائر ترفع من وسط الإنتاج،بعملية الطردالمركزية (centrifugation)،ثم تغسل خلايا الخمائر الناتجة من عملية الطرد المركزي بالماء ويعاد إسترجاعها منه ثانية بواسطة عملية طرد مركزي أخرى،لحين تصبح الخلايا بلون فاتح.

تسوق خمائر الخبز والمعجنات بطريقتين أما على شكل باودر جاف (dry powder) وفي حالة كيك الخميرة المضغوطة (compressed yeast cakes)يتم إضافة المواد المستحلبة مثل النشاأو خلاصة الذرة ثم تضغط على شكل كيك مضغوط وذلك لإعطائها قوام ملائم ومتجانس وعمر خزن معقول. هذاالنوع من المنتج يحتوي على 70%رطوبة ممايتطلب خزنه في ثلاجات (refrigerator) للحفاظ على فعاليته.أما الخمائر التي تسوق جافة يطلق عليها بالخميرة الجافة الفعالة (active dry yeast).وفي هذه الحالة فإن خلايا الخمائر المغسولة بعد الطرد المركزي تجفف تحت فراغ (dried under vacuum) حتى تصل نسبة الرطوبة إلى 8% ثم تعبأ بأكياس خاصة. وبالرغم من أن الخمائر الجافة الفعالة لاتعطي ارتفاع عالي للعجينة كما في منتج كيك الخمائر المضغوطة إلا أن لها عمر خزن أطول.

ومن الجدير بالذكر هنا أن الأقطار العربية التي كان لها دور سباق في إنتاج خميرة الخبز والمعجنات، هو العراق حيث يقوم مصنع إنتاج الخميرة في نينوى شمال العراق بإنتاج الخميرة من مخلفات بنجلر السكرويغطي هذا الإنتاج نسبة عالية من الإنتاج التجاري والمنزلي من كيك الخميرة المضغوطة والتي تكون على شكل مكعبات طرية.

وهناك خميرة التغذية (Nutritional yeast) التي يكون إنتاجها مشابه لإنتاج خميرة الخبز والتي تستخدم كمعززات للغذاء،إلا أن المرحلة الأخيرة من الإنتاج تتضمن التسخين لقتل الخلايا ومن ثم تجفيفها.وتحتوي خلايا الخمائر على نسبة عالية جداًمن الفيتامينات خصوصاً فيتامين Bوكذلك البروتين عدا الأحماض الحاوية على الكبريت (Sulfur-containing amino acids). وتضاف الخمائر إلى الحنطة أوطحين الذرة لرفع القيمة الغذائية لهذه الأغذية،كما أنها تباع على شكل حبوب (pelleted) كأغذية صحية.

تخمر حامض الخليك او الخل Acetic acid fermentation

الخل (Vinegar) هوناتج 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 الوين (wine) أو عصير التفاح الكحولي السيدر (Alcoholic apple juice cider) وكذلك من عصير العنب أوعصير 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 (pickles). كماأنه يعتبرمادة 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 (Organic electron donors) كلياً إلى ثاني اوكسيد الكاربون والماء،لذلك فهي تحول الكحول الاثيلي (ethyl alcohol) كمانح للالكترونات وتؤكسدة الى حامض الخليك (acetic acid) الذي يتراكم في الوسط. وتمتاز بكتريا حامض الخليك بتحملها للحموضة (acid-tolerant) ولاتُقتل بالحموضة التي تعمل على إنتاجها.وتحتاج الى اوكسجين بكمية كبيرة من لإنتاج الخل عليه يجب توفير تهوية كافية في الوسط لإكمال عملية الإنتاج . التفاعل الكيمياوي المؤدي لإنتاج حامض الخليك (الخل) يوضح في المعادلة التالية

$$\underset{\text{أيثانول}}{CH_3CH_2OH} \longrightarrow \underset{\text{أستلديهايد}}{CH_3CHO} \longrightarrow \underset{\text{حامض الخليك}}{CH_3COOH}$$

إنتاج الخل Vinegar production

هناك ثلاثة عمليات مختلفة تستخدم لإنتاج الخل. أقدمها طريقة اورلنس (Orleans method) وهي الطريقة الأصلية ولاتزال تستخدم في فرنسا.في هذه الطريقة يوضع الوين (wine)في جرة كبيرة (vat) 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 هوسطح السائل فقط.

الطريقة الثانية هي طريقة تقطير السائل (trickle method) أوجعله يسيل على نحو خفيف،وفي هذه الطريقة يمكن زيادة التلامس بين البكتريا والهواء والمادة بواسطة تقطير السائل الكحولي فوق نشارة الخشب (wood shavings) المعبأ برخاوة (packed loosely) في جرة أو عمود مع تمريرتيار من الهواء (الجرة أو العمود)باتجاه أعلى الوعاء.تنموالبكتريا على سطح نشارة الخشب وبالتالي يكون تعرضها للسائل والهواءبحدوده القصوى.ويطلق على جهاز توليد الخل مصطلح (Vinegar generator) ويطلق على العملية بالعملية الألمانية (German process).وتجري بتقنية الإنتاج المستمر()إن نشارة الخشب المستخدمة في إنتاج الخل ممكن أن تُعمر من 5-30 سنة اعتماداًعلى 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 15قدم.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 (collecting chamber) أسفل المولد ويجمع بصورة دورية من الجهاز. إن عملية الأكسدة التي تقوم بها البكتريا بتحويل البكتريا الى حامض الخليك ينتج منها حرارة لذلك يجهز مولد الخل بملغ للتبريد (cooling coil) للحفاظ على درجة حرارة تتراوح بين 25-30 درجة مئوية.

الطريقة الثالثة في إنتاج الخل طريقة الفقاعات (Bubble method) بإستخدام المزروع الغاطس أو التخمير الغاطس (submerged fermentation) بالطريقة المتشابهة لإنتاج المضادات الحيوية أو الإنزيمات مع تهوية عالية وكفؤة أكثر من تلك المستخدمة في إنتاج المضادات الحيوية. ويكون نمط الإنتاج من النوع المستمر (continuous) ويضاف السائل الكحولي بمعدل مساوي إلى معدل إزالة الخل المتكون. وهذه الطريقة كفوؤة جداًحيث 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 حيث 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.

التخمر الكحولي Alcoholic fermentation

هذا النوع من التخمر يتضمن إنتاج الأيثانول (ethanol) والمشروبات الأخرى مثل البيرة والواين المعروفة بسلامتها الغذائية. وبصولرة عامة فإن إنتاج هذه المواد يعتمد على التخمر الذي تقوم به الخمائر (yeasts) وتتضمن أحياناً التخمر الناتج عن الاعفان المشابهة للخمائر مثل *Amylomyces rouxii* والخمائر المشابهة للأعفان مثل *Endomycopsis* واحياناً 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 حبوب الغلال المنبته (germinated cereal grains) والسوائل 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 الأيثانول وثاني اوكسيد الكاربون ويعمل الأخير على طرد الأوكسجين للحفاظ على بيئة لاهوائية للتخمير . تنمو الخمائر وتُخمر بسرعة المواد المواد القابلة للتخمير بينما تكون الأحياء المجهرية الأخرى الهوائية غير قادرة على التنافس مع الاولى. الأيثانول المنتج كما هو معروف هو مادة قاتلة للجراثيم (germicidal) ولطالما بقى المنتج المخمر بحالة لاهوائية فإن هذا المنتج يكون ثابت ومستقر بشكل ومحفوظ بشكل جيد.

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

(أ)-إنتاج الأيثانول Ethanol production

إنتاج الكحول الأثيلي أو الأيثانول (ethanol) بواسطة التخمير يحدث نتيجة لفعل إنزيمات تعمل على تحويل السكريات أو البوليمرات الحاوية على السكريات (sugar-containing polymers). هذه الإنزيمات تنتجها الأحياء المجهرية مثل خميرة *Saccharomyces cerevisiae* المألوفة في الصناعة وكذلك خميرة *Kluyveomyces* كما إستخدمت Candida لهذا الغرض ومن بين البكتريا المستخدمة هي بكتريا Zymomonas mobilis والتي أصبحت مفضلة جداً في إنتاج الأيثانول. تقوم الأحياء المجهرية بتكسير السكريات إلى حامض البيروفيك (pyruvic acid) بواسطة أحد المسارات الثلاثة المعروفة لإنتاج هذا الحامض وهي مسار (Embden- mayerhoff-parnas EMP)ومسار (Hexose mono phosphate, HMP) والمسار الأخير