الفصل السابع

منتجات جديدة من الخميرة
New products from yeast

(٧,١) مقدمة Introduction

سوف نلقي الضوء في هذا الفصل على الاستفادة من خمائر معينة في أربعة تطبيقات جديدة وهي استخدام الخمائر كأغذية للإنسان وأعلاف للحيوان، واستخدام الخمائر في إنتاج صبغات ذات قيمة اقتصادية عالية، واستخدام مزرعة الخميرة الحية في مجال صحة الحيوان، ثم استخدام الخميرة الحية في مجال الوقاية من الأمراض أو علاجها .

على الرغم من أن تغذية الحيوانات بالخمائر تتم منذ زمن بعيد إلا أنه لم يكن هناك تفاصيل علمية واضحة من حيث مقننات منتجات الخميرة في هذه الأعلاف وآلية فعلها وتأثيرها على صحة الحيوان . وفي الوقت الراهن يوجد عدد محدود من سلالات الخميرة المستخدمة على نطاق تجاري في غذاء الإنسان على الرغم من أن هناك أعمال مكثفة تمت على عدد من أنواع وأجناس الخميرة وميكروبات أخرى بغرض استخدامها كغذاء للإنسان. وترجح المعلومات التاريخية المعروفة أن الأبحاث العلمية التي تتناول مدى ملائمة الخميرة لكي تصبح مصدر للبروتين بدأت في سنة ١٩١٠م

obeikandl.com

على يد العالم الألماني Delbruck ، الذي أدت أبحاثه إلى التطبيق العملي لاستخدام الخميرة كمصدر للبروتين في تغذية الإنسان والحيوان . وبلغ إنتاج ألمانيا من الخميرة الجافة ١٠,٠٠٠ طن سنويا من خلال ثمانية عشر مصنعاً وذلك أثناء سنوات الحرب العالمية الأولى . إن الأبحاث القائمة الآن والخاصة بتطوير تقنية الخميرة وإنتاج سلالات محسنة عن طريق العلوم الوراثية، لا تساهم فقط في محاربة نقص البروتين، وإنما تمكن أيضا من الاستفادة من المخلفات الصناعية والزراعية كمواد خام لإنتاج البروتين الميكروبي .

بالنسبة لاستخدام الخمائر في إنتاج صبغات ذات قيمة اقتصادية عالية فقد عزلت خميرة *Phaffia rhodozyma* لأول مرة في الستينيات من القرن الماضي، على يد العالم Herman Jan Phaff من إفرازات الأشجار متساقطة الأوراق المحتوية على تركيزات عالية من السكر، في مناطق جبلية باليابان وألاسكا. وتعرف هذه الخميرة في كثير من المراجع الحديثة باسم *Xanthophyllomyces dendrorhous* ، وأطلق عليها اسم الخميرة الحمراء . وهي الخميرة تختلف عن باقي أنواع الخمائر الملونة في أنها تصنع وتخزن في خلاياها صبغة أستاكسانثين Astaxanthin الكاروتينية بكميات تجارية. وقد تمكن العلماء من الحصول على طفرات من هذه الخميرة تنتج كميات ضخمة مما أتاح إقامة مشروعات تطبيقية لإنتاج هذه الصبغة بشكل تجاري.

لم يبدأ استخدام مزرعة الخميرة الحية في تغذية الحيوانات إلا منذ فترة قصيرة جداً ربما لا تزيد عن خمسين عاماً، حيث لوحظ تقدم واضح في سرعة زيادة وزن الخنازير بإحدى المزارع في ألمانيا عندما أضيفت مزرعة الخميرة إلى عليقة مكونة من

بعض المخلفات المطبوخة. ورغم هذه البداية الحديثة فقد انتشر استخدام مزرعة الخميرة في تغذية الحيوانات بشكل واسع جداً، ويصاحب هذا الانتشار معلومة هامة يعرفها معظم مربي الحيوانات تتلخص في أن استخدام مزرعة الخميرة في عليقة الحيوان يعقبه عدم وجود مواد غير مهضومة في مخلفات القناة الهضمية. أما السؤال الهام الذي شغل العلماء لفترة طويلة فهو "كيف تعمل مزرعة الخميرة". وقد لزم وقت طويل للإجابة على هذا السؤال من خلال مجموعات من الأبحاث في السنوات الحديثة الماضية. ويمكن القول أننا حصلنا من خلال أبحاث العلماء على فهم معقول لكيفية عمل مزرعة الخميرة عندما تقدم للحيوان في العليقة .

أما بالنسبة لاستخدام الخميرة الحية في مجال الوقاية من الأمراض أو علاجها فإن هناك إجماع بين العلماء على أن صحة الإنسان وحيويته ترتبط بدرجة كبيرة بما تحتويه الأمعاء من ميكروبات مفيدة مثل الـ Lactobacilli والـ Bifidobacteria وأنواع معينة من الخمائر وإذا حدث واختل توازن هذه المجموعة المفيدة من الميكروبات أو قل عددها في الأمعاء فيجب زيادة أعدادها وإعادتها إلى ما كانت عليه قبل حدوث ذلك الخلل. وعملية إعادة التوازن يجب أن تتم عن طريق تقديم وجبة غذائية تحتوى على العدد المناسب والنوعية المرغوبة من الميكروبات المفيدة والتي تسمى المعاونات الحيوية Probiotics. وقد توالت واتسعت المعرفة العلمية في مجال الميكروبيولوجي فيما يخص استخدام الميكروبات كعلاج. ولا نستطيع في هذا الجزء من الكتاب أن نتناول كل الميكروبات المفيدة حيث أنها خارج موضوع الكتاب ، كما أن للمؤلف مرجعين في هذا الصدد (بريشة وزهران، ٢٠٠١؛ وبريشة وزهران، ٢٠٠٧) ، ولذلك فسوف

نقتصر في الجزء على الأهمية الصحية للخمائر .

(٧,٢) خمائر الأغذية والأعلاف Food and fodder yeasts

(٧,٢,١) الكربوهيدرات كمواد خام لإنتاج خمائر الأغذية والأعلاف

Carbohydrates as substrates for production of food and fodder yeasts

تستخدم المواد السكرية والمواد السليلوزية والشرش المتخلف عن صناعة الجبن ومخلفات الصناعات الغذائية كمواد أولية لإنتاج خمائر الأغذية والأعلاف وقد سبق الكلام عن هذه المواد تفصيلياً في الفصل الرابع حيث أن استخدامها كمواد أولية لإنتاج الإيثانول (كما ورد في الفصل الرابع) لا يختلف عن استخدامها كمواد أولية لإنتاج خمائر الأغذية والأعلاف إلا من حيث ظروف التنمية.

(٧,٢,٢) الهيدروكربونات كمواد خام لإنتاج خمائر الأغذية والأعلاف

Hydrocarbons as substrates for production of food and fodder yeasts

ما يشغل العلماء هي المشاكل المتعلقة بالأمور المحظورة من الناحية الكيموحيوية أو التقنية عند تصميم طريقة لإنتاج الخمائر من المواد الهيدروكربونية. فبجانب الخطر الواضح المصاحب لوجود غازات قابلة للاشتعال أو سوائل قابلة للاشتعال أثناء مراحل الإكثار ومراحل تنظيف المنتج (الخميرة) المتحصل عليه باستخدام مذيبات مثل الهكسان والبروبان، فإن هناك عدة أمور أخرى يجب مراعاتها. أحد أهم هذه الأمور هو احتمال وجود درجة من السمية في المنتج النهائي نتيجة للمواد المتبقية بدون تخمر والمذيبات العضوية والتي قد تحتفظ الخميرة ببقايا منها. وفي

سنة ١٩٧٩م توقفت مشاريع من هذا النوع كانت تدعمها شركة البترول البريطانية لأسباب اقتصادية. ثم لأسباب بيئية عادت مشاريع تنمية الخميرة على المواد الهيدروكربونية مرة أخرى. وفي سنة ٢٠٠٣م استخدم Oguntona ومساعدوه الخمائر التي تم تنميتها على الهيدروكربونات (تحديداً على مركبات n-alkanes) لتغذية الدجاج، حيث تم تقديم وجبات للدجاج تحتوي على صفر، و ٥٠، و ١٠٠، و ١٥٠، و ٢٠٠، و ٢٥٠، أو ٣٠٠ جرام خميرة / كيلوجرام عليق وذلك لمدة ٧ إلى ٢١ يوماً، وقد اتضح أن الخميرة أدت في كل الحالات إلى زيادة معنوية جداً في الوزن المكتسب بواسطة الدجاج، وإلى تحسين جميع الصفات الأخرى الخاصة بالتحولات الغذائية. إلا أن الوجبات المحتوية على تركيز عالي من الخميرة التي سبق تنميتها على المواد الهيدروكربونية (٢٥٠ أو ٣٠٠ جرام/ كجم) أدت إلى خفض معدل النمو ، ما أدى إلى دعوة العلماء للوقوف على السبب بشكل دقيق، ويمكن القول أن البحث ما زال جاريا وأن هناك نتائج إيجابية في هذا الصدد ، ولكن لم تأخذ بعد صفة الحقائق العلمية.

(٧،٢،٢،١) الألكانات n-alkanes

قبل دخول المادة الخام إلى المخمرات تجرى لها عملية تقطير وذلك بغرض إزالة الألكانات ذات نقطة الغليان المنخفضة والتي لها عدد ذرات كربون أقل من ١٠ وذلك لأنها مواد سامة. كما يتم أيضاً إزالة المواد التي لها عدد ذرات كربون أعلى من ١٨ وذلك لأن الخميرة لا تستطيع تمثيلها. وعلى ذلك فإن كل المركبات البترولية التي

لها عدد ذرات كربون يتراوح من ١٠ إلى ١٨ هي التي تستخدم لإنتاج الخميرة. تقوم الخميرة في ظروف شديدة التهوية بتصنيع مركبات ذات سطح نشط تنطلق إلى البيئة وتكسر الهيدروكربونات إلى جزيئات كل منها ذات حجم أقل من الميكرومتر. وبطريقة ليست مفهومة جيداً فإن الألكانات بعد ذلك تمر إلى داخل الخلية وتبدأ عملية تمثيلها. ولابد أن تكون أوعية الإكثار بها مساحات كبيرة للتبريد ويجب أن يكون بها نظام تقليب جيد ليس فقط من أجل الإمداد بكميات وفيرة من الأكسجين ولكن أيضاً من أجل المساهمة في تكسير الألكانات. وكما في حالة الخميرة التي تنمو على الكربوهيدرات فإن الخميرة التي تنمى على الهيدروكربونات يجب أيضاً إمدادها بالكميات المثلى من النيتروجين في صورة أملاح الأمونيوم كما يجب الإمداد بالأملاح المعدنية مثل أملاح الفوسفات والبوتاسيوم. كذلك لابد من إمداد البيئة بعوامل النمو (الفيتامينات) اللازمة. هذه المواد وكذلك المواد اللازمة لضبط الـ pH يتم تحضيرها في صورة محاليل قبل بدأ التخمر. ولابد بالطبع من توفر مصدر للمياه التي تستخدم في التنظيف والتعقيم . بعد ذلك يبدأ التخمر تحت درجة حرارة متحكم فيها في بيئة الـ Paraffins التي يتم تهويتها وتقليبها بشدة. وقد يكون التخمر متقطع أو مستمر. ترفع درجة حرارة البيئة المتبقية بعد فصل الخميرة إلى أعلى من ٣٠ °م مما يحولها إلى بيئة غير هوائية، وهذه الظروف تناسب نمو جراثيم الميكروبات غير المرغوبة مما يستوجب إجراء عملية بسترة لقتل كل من الخميرة والميكروبات غير المرغوبة التي نمت ثم يتم الحصول على هذا الكم من الكتل الحيوية وتجفيفه كمنتج قابل للبيع. كميات السوائل الضخمة المتبقية بعد الحصول على هذه المنتجات القابلة للبيع لها درجة BOD عالية

وقد يعاد تدوير هذه المواد ولو بشكل جزئي ولكن لا تزال عملية صرف هذه المواد تسبب مشكلة .

(٧،٢،٢،٢) الميثان والميثانول Methan and methanol

المرحلة الأولى في تمثيل الميثان داخل الخلية بواسطة البكتيريا هي التحول الإنزيمي إلى ميثانول. وعلى الرغم من أن الخميرة لا تستطيع القيام بهذه الخطوة إلا أن هناك إمكانية أكسدة الميثان إلى ميثانول بالطرق الكيماوية ثم بعد ذلك يستخدم الميثانول كمادة خام لإكثار الخميرة. الاختلاف الرئيسي بين الميثانول و الهيدروكربونات الأخرى كمواد خام لإنتاج الخميرة، هو أن الميثانول قابل للاختلاط بالماء ولذلك فإن مشكلة الفصل النهائي للخميرة من بيئة التخمر تكون أسهل وأبسط منها في حالة استخدام الألكانات كمواد خام. هذه الميزة تعوض العيب المتمثل في الطريقة الكيماوية لتحويل الميثان إلى ميثانول والتي تتم في بداية عملية الإنتاج. تتبع النظم المعنية بإنتاج الخميرة على مستوى تجاري من الميثانول كمادة خام نفس الأسس المتبعة عند استخدام الألكانات كمواد خام على الرغم من أن الكيمياء الحيوية لمسارات التمثيل تختلف اختلافاً كبيراً.

(٧،٢،٢،٣) اختيار الخمائر التي تمثل الهيدروكربونات

Selection of hydrocarbon-assimilating yeast

حدد Yarrow و Meyer في سنة ١٩٧٨م أنواع الخميرة التي يمكن أن تنمو على المواد البترولية وهي أنواع تابعة للأجناس *Candida* و *Citeromyces* و *Debarymyces*

و *Hansenula* و *Torulopsis* (تعرف الآن على أنها *Candida*). ثم أضاف Levi وآخرون (١٩٧٩) أجناس أخرى تشتمل على أنواع لها نفس الصفات وهي :

Leucosporidium, Lodderomyces, Metschnikowia, Rhodotorulla, Saccharomycopsis, schwanniomyces, Sporidiobolus, Trichosporon, Wingea.

يعد مركب Dibenzofuran أحد المواد الهيدروكربونية شديدة الخطورة من الناحية البيئية ولم ينجح أي من الباحثين في الحصول على ميكروب يمكنه أن ينمو على هذه المادة حتى عام ٢٠٠٣م عندما قام Romero ومساعدوه بعزل ٢٤ سلالة خميرة، تنتمي لأجناس Candida ، و Pichia ، و*Rhodotorula* ، و *Trichosporon* ، وYarrowia . وقد استطاعت هذه الخمائر أن تنمو على مركبDibenzofuran ، و تحوله إلى مركبات Hydroxydibenzofuran عديمة السمية. وعلى أية حال لا يمكن على الأقل في الوقت الحالي اعتماد مثل هذه المادة كمادة أولية لإنتاج الخمائر بغرض استخدامها كغذاء أو كعلف حيث لابد من القيام بمزيد من البحث لأن الأمر يتعلق بصحة الإنسان. ومناقشة مسارات تمثيل المواد الهيدروكربونية هنا، لا تفيد الغرض من هذا الكتاب، خصوصاً وأن هناك مراجع كثيرة منذ سنة ١٩٨٩م تناقش بالتفصيل المسارات التي تتبعها الخميرة لتمثيل هذه المواد. وعلى سبيل المثال فإن العالمين Tanaka و Fukui في سنة ١٩٨٩م تناولا في كتابهما "The Yeasts"، ١٢٨ مرجع من سنة ١٩٧٠م إلى سنة ١٩٨٧م تناقش جميعها مسارات هدم مركبات n-alkanes. وقد ذكرا أن المواد الهيدروكربونية التي يمكن للخميرة أن تهاجمها ذات سلسلة كربون يتراوح طولها من ١٠ إلى ١٨.

(٧،٢،٣) التركيب Composition

على الرغم من استخدام مواد خام مختلفة وطرق إنتاج مختلفة وأنواع خميرة مختلفة إلا أن هناك تجانس معتبر بين تركيب الخمائر الناتجة من المواد المتشابهة. تحتوي الخمائر المنتجة من مادة واحدة على كميات ثابتة تقريباً من العناصر الأساسية وهي ٤٥٪ كربون ، و ٣١٪ أكسجين ، و ٩٪ نيتروجين ، و ٦٪ هيدروجين، و ٩٪ مواد غير عضوية. أما الخمائر المنتجة من مواد قريبة الصلة من بعضها البعض فتحتوي على ٣٣-٤٦٪ كربون، و ٣٨-٥٠٪ بروتين، و ٣٪ قواعد نيتروجينية، و ١٪ أمونيا، و ٢٪ دهون و استرولات، ومعادن ٩٪. وكما سبق الإشارة فإن هناك تركيب تجريبي أمكن التوصل إليه لخميرة الخبيز وهو $C_6H_{10}O_3N$ بالإضافة إلى ٩٪ من المواد غير العضوية والتي غالباً ما تكون بوتاسيوم و فوسفور و كبريت وماغنسيوم مع كميات صغيرة من معادن أخرى .

(٧،٢،٣،١) البروتينات Proteins

هناك اهتمام خاص بالبروتينات نظراً لأهمية إمكانية استخدام الخميرة (على الأقل خميرة العلف) كبديل لمنتجات البروتينات الحيوانية والنباتية التي تضاف لعلائق الحيوان مثل السمك وفول الصويا. وعندما تهضم البروتينات بواسطة الإنسان والحيوان بعد تحريرها من خلايا الخميرة بواسطة إنزيمات الأمعاء الدقيقة فإنها تقدم

نفس الفائدة التي تقدمها البروتينات الحيوانية والنباتية. تتكسر هذه البروتينات في الجهاز الهضمي إلى أحماض أمينية والتي يعاد استخدامها في بناء الإنزيمات والمركبات النيتروجينية الأخرى اللازمة لاستمرار الحياة. وبروتينات الخمائر مثلها مثل بروتينات كل الأحياء معقدة التركيب وتحتوي على عدة آلاف من الأحماض الأمينية. والمعلومات المتاحة هي فقط كمية كل حامض أميني يمكن فصله بالنسبة لكمية البروتين الكلية بعد التحليل.

والجدول رقم (٧،١) يوضح قيم محتوى بروتين الخمائر التي تستخدم في غذاء الإنسان والحيوان من الأحماض الأمينية وهي أكثر الأحماض الأمينية أهميةً مقارنة بمحتوى بروتين الأسماك واللحوم من نفس الأحماض. والقيم الموضحة في الجدول هي متوسط القيم المنشورة في ٢٥ مرجعاً لكل حامض أميني والتي تغطي عدد من أجناس وأنواع الخميرة وهي *Candida intermedia* و *C. pseudotropicalis* و *C. utilis* و *Saccharomyces cerevisiae* و *Kluyveromyces* fragilis و *K. lactis* و *Trichosporon cutaneum* والتي تم إكثارها بطرق مختلفة هوائياً و لا هوائياً باستخدام أكثر المواد الخام شيوعاً مثل الحبوب والمولاس و المخلفات الكبريتية والشرش ومركبات n-alkanes . ويتضح من هذا الجدول أن بروتين الخميرة المستخدمة في الغذاء والعلف يحتوي على كميات من الأحماض الأمينية تشابه أو يمكن مقارنتها بكمياتها في بروتين الأسماك أو فول الصويا أو اللحوم .

الجدول رقم (٧٠١). محتوى بروتين خمائر الغذاء والعلف من لأحماض الأمينية (جرام حامض أميني/ ١٠٠ جرام بروتين) مقارنة بمحتوى بروتين الأسماك وفول الصويا واللحوم من نفس الأحماض .

الحامض الأميني	الخميرة	الأسماك	فول الصويا	اللحوم
جلوتاميك Glutamic	١٣,٤	١٣,١	٢٠,٤	١٤,١
أسباراجين Asparagine	٩,٨	٩,٠	١١,٧	٦,٠
لايسين Lysine	٨,٢	٩,٢	٦,١	٨,٠
ليوسين Leucine	٧,٨	٨,١	٧,٩	٩,٥
ألانين Alanine	٦,٧	٦,٧	٤,٥	٧,١
فالين Valine	٥,٧	٥,٤	٤,٩	٦,٨
سيرين Serine	٥,٤	٤,٥	٦,٤	٧,١
أيزوليوسين Isoleucine	٥,٤	٥,٣	٥,٢	٢,٦
أرجنين Arginine	٥,٢	٦,٢	٧,٥	٣,٩
ثيرونين Threonine	٥,١	٤,٥	٤,١	٦,٥
جلايسين Glycine	٤,٥	٤,٠	٤,٣	٣,١
فينايل ألانين Phenylalanine	٤,٥	٤,٥	٥,١	٧,٠
برولين Proline	٣,٩	٤,٢	٥,٦	٧,٠
تيروسين Tyrosine	٣,٨	٣,٦	٣,٠	٢,٦
هيستيدين Histidine	٢,٥	٢,٧	٢,٥	٣,٤
ميثايونين Methionine	١,٩	٢,٩	١,٣	٢,١
تريبتوفان Tryptophane	١,٣	١,٠	١,٥	٢,٤
سيستين Cystine	١,٣	–	١,٤	٣,١

المصدر: Rose and Harrison (1993)

obeikandl.com

(٧،٢،٣،٢) الفيتامينات Vitamins

تحتوي خمائر الغذاء والعلف على معظم مجموعة فيتامين ب. وهذه الفيتامينات مهمة لكي تقوم كثير من الإنزيمات بتفاعلاتها الضرورية للنمو. وعندما يكون مصدر الكربون في عملية إنتاج الخميرة هي المواد الهيدروكربونية التي تحتوي فقط على كربون وهيدروجين فلابد من إمداد الخميرة بالفيتامينات وإلا لن تنمو. والجدول رقم (٧,٢) يوضح متوسط قيم الفيتامينات التي توجد في الخميرة النامية تحت ظروف مختلفة مقارنة بمحتوى الأسماك والمولاس من نفس الفيتامينات. و يلاحظ أن مقارنة محتوى الخلايا من الفيتامينات بمحتوى المواد الأخرى يختلف كثيرا عن المقارنة في حالة الأحماض الأمينية التي نوقشت في الجدول رقم (٧,١). وذلك لأن نسب الأحماض الأمينية يمكن التحكم فيها بدرجة كبيرة بمجرد معرفة أنواع البروتين المراد إكثارها والتي تصنعها الخلايا. ومن ناحية أخرى فإن محتوى خلايا الخمائر من عوامل النمو (فيتامينات خاصة) يمكن التحكم فيها ويمكن زيادتها عن طريق طبيعة وتركيب بيئة الإكثار وذلك لأن نواة عامل النمو يمكن أن تمر إلى داخل الخلية مباشرة. فعلى سبيل المثال يمكن زيادة محتوى الخميرة إلى تركيز يصل إلى ٠،١٪ من وزن الخميرة الجاف وذلك عندما تحتوي بيئة النمو على كميات كبيرة من مركبات البريميدين والثيازول مقارنة بكمية قدرها ٠،٠٠١٪ في حالة غياب هذه المركبات .

الجدول رقم (٧،٢). محتوى الخميرة والأسماك والمولاس من الفيتامينات.

الفيتامين	الخميرة (ميكروجرام/ جرام وزن جاف)	الأسماك (ميكروجرام/ جم)	المولاس (ميكروجرام/ جم مادة جافة)
بارا-أمينو بنزويك	٥-١٧٥	-	-
بيوتين	٠,٥-٣٥	٠-٠,١	٠,٠٦-٣,٢
كولين	٢١٠٠-٥٥٠٠	-	-
فوليك أسيد	٥-٨٠	٠,٨٦-٠,٩٥	٠,٢١-٠,٢٤
إينوسيتول	٣٠٠٠-٥٠٠٠	٣٥,٥-٢٠٦	٤٠٠٠-٦٠٠٠
نيكوتينيك أسيد	١٣٥-٧٠٠	٠,٠٤-٢٩,٧	٢٠-٣٠
بانتوثينيك أسيد	٤٠-٢٨٠	٠,٤٨-١٢,٥	٢٠-١٢٠
بريدوكسين	١٥-٦٥	٠,٢٤-١٨,٢	٦-٧
ريبوفلافين	٧,٥-١٠٠	٠,١٧-١٧	٢,٥
ثيامين	٥-١٦٥	٠٦,٨	١,٤-٨,٣

المصدر: Rose and Harrison (1993)

(٧،٢،٣،٣) المعادن Minerals

على الرغم من أن الكمية الكلية من العناصر غير العضوية في المادة الجافة للخميرة تشكل ٩٪ وعلى الرغم من أن التحليلات المنشورة توضح أن هذه الكمية تحتوي على عدد كبير من العناصر إلا أن كثير من هذه العناصر توجد بكميات صغيرة

obeikandl.com

جداً، وبعضها بلا شك يوجد بشكل عرضي. لابد من تقدير الرصاص والزرنيخ بالطبع بطرق قياسية حيث إن احتمال وجودهما سوف يكون بكميات لا تذكر . هناك بعض العناصر لها أهمية شديدة بالطبع لحياة الخميرة. ومن أكثر العناصر المعدنية أهمية للخميرة هو الفوسفور الذي يشكل ١،٠٢-٢،٠٠٪ من الوزن الجاف للخميرة. وغني عن الذكر أن أهمية الفوسفور تعود إلى مشاركته في كثير من التفاعلات الإنزيمية. والعنصر الذي يلي الفوسفور هو الكبريت الذي يشكل ٠،٠٣-٠،٠٥٪ من الوزن الجاف للخميرة وهو بالطبع عنصر أساسي في تكوين لأحماض الأمينية ومركبات أخرى في الخلية. ويلي الكبريت عنصر الماغنسيوم وهو يشمل ٠،٠١٥-٠،٠٥٪ من الوزن الجاف ويدخل أيضاً في التفاعلات الإنزيمية. وكثير من المواد الخام ذات الأصل النباتي والمستخدمة في إنتاج الخميرة تحتوي على كميات كبيرة من العناصر المعدنية اللازمة للنمو . وحسب تقديرات Zachariadis ومساعدوه (٢٠٠٢م)، وباستخدام طرق تقدير مختلفة، فإن الخميرة تحتوي على ١٣٣-١٤٧ مجم حديد/ كجم ، و ٥٢-٦٧ مجم زنك/ كجم ، و ٢٣٠-٤٤٠ مجم كالسيوم/ كجم ، و ٣٠٠-٤٠٠ مجم ماغنسيوم/ كجم، و ١٥٠-٢٥٠ مجم صوديوم/ كجم وذلك على أساس الوزن الجاف.

(٧،٢،٤) تكنولوجيا الإنتاج Production Technology

(٧،٢،٤،١) النمو على المواد الكربوهيدراتية Growth on carbohydrates

تفاعلات عامة Overall reactions

يمكن حساب الحد الأقصى من المنتج (الخميرة) بدرجة كبيرة من الدقة في حالة

نمو الخميرة على المواد الكربوهيدراتية تحت الظروف الهوائية. وبالنظر إلى الصيغة $C_6H_{10}O_3N$ المعبرة عن المادة الجافة المكونة للخميرة نجد أن الكربون والهيدروجين متوافران في المواد الكربوهيدراتية المستخدمة . وإذا حدث نقص في الأكسجين يمكن بسهولة توفيره من خلال ضخ الهواء كما أن النيتروجين يضاف في صورة أملاح الأمونيوم أو قد يوجد في صورة قابلة للتمثيل في المواد الخام. وباختصار ومن خلال التأكد أن مكونات الصيغة $C_6H_{10}O_3N$ متوفرة في البيئة فإن الحسابات تقول :

إذا كانت المادة الكربوهيدراتية تحتوي على ٤٠٪ كربون (وزن/ وزن) في صورة جلوكوز ($C_6H_{12}O_6$) فإن الحد الأقصى الممكن إنتاجه من هذه المادة سوف يكون ٤٥٪ من وزن الجلوكوز الذي تم تمثيله على افتراض غياب أي مواد أخرى في البيئة تحتوي على كربون مثل الأحماض الأمينية . وإذا تم حساب المحتوى من الأملاح غير العضوية في المادة الجافة فإن الحد الأقصى الممكن إنتاجه سوف يكون ٥٠٪ من السكر المستخدم. ولكن الحد الأقصى المتحصل عليه حسابياً والقائم فقط على أساس الكربون الميسر لا يمكن الوصول إليه عملياً لأن هناك جزء من هذا الكربون يستهلك في إمداد الخلية بالطاقة اللازمة للتفاعلات ولتصنيع مواد الخلية. وفي صناعة خميرة الخبيز من مولاس السكر أو مولاس البنجر فقد وجد أن أي كمية متاحة من السكروز ($C_{12}H_{22}O_{11}$) والتي تحتوي على ٤٢،١٪ كربون (وزن/ وزن) عندما يتم تخميرها تحت ظروف مثلى فإنها تنتج كمية من الخميرة تعادل تقريباً نصف وزنها على أساس الوزن الجاف. نفس الشيء يمكن تطبيقه على خميرة الغذاء والعلف. وهذا المثال العملي يتوافق تماماً مع التوازن النظري الذي ذكره العلماء والذي يفيد بأن ٢٠٠ جرام من

السكروز + ١٠.٧ جرام من الأمونيوم + ٩٨،٢ جرام من الأكسجين تتفاعل لكي تكون ١٠٠ جرام من المادة الجافة للخميرة (٩١ جرام مادة عضوية و ٩ جرام مادة غير عضوية) + ٧٦ جرام ماء + ١٤١،٩ جرام ثاني أكسيد الكربون. إن المشكلة الرئيسية من وجهة نظر الهندسة الحيوية في إنتاج الخميرة على المستوى التجاري هي تعقيم الأجهزة والمواد الخام وكمية من الهواء تعادل ٣،٥ × ٤١٠ متر كعب / طن من الخميرة الجافة لكي تمد الخميرة بالأكسجين اللازم. كما أن تبريد خليط التفاعل يعتبر أيضاً من مشاكل الهندسة الحيوية حيث أن المطلوب في صناعة الخميرة عادة ما يكون إزالة ٣،٩ × ٦١٠ كيلو كالوري/ طن مادة جافة على أساس الحساب النظري . وقد تم تأكيد هذه الحسابات في تجارب عملية على المستوى التجاري.

عامل المحصول Yield factor

عامل المحصول في أبسط صوره يعرف على أنه" الوزن الجاف للمنتج مقسوماً على الوزن الجاف لكربون المادة الخام" هذه القيمة قدرها ٠،٥ بالنسبة لتحويل السكروز إلى المادة الجافة للخميرة باستخدام المولاس كمادة خام وذلك عند توفير الظروف التي تؤدي إلى الوصول إلى الحد الأقصى من الإنتاج على المستوى التجاري. وعند ما تكون ظروف التفاعل أقل من الحالة المثالية لأسباب كثيرة مثل النقص في الأكسجين أو التقليب مما يؤدي إلى ظروف لا هوائية أو وجود مواد سامة أو التلوث بميكروبات ضارة أو نقص بعض المغذيات اللازمة أو عدم ملائمة درجة الحارة ودرجة الـ pH فإن ذلك يقلل من قيمة عامل المحصول. وبغض النظر عن السبب فإن النتيجة هي نقص الإكثار. باستخدام الحسابات النظرية فإن نقص الأكسجين على

سبيل المثال الذي يؤدي إلى نقص الإنتاج بحيث يكون ٩٠٪ من القيمة النظرية للحد الأقصى سوف يجعل البيئة لا هوائية بالقدر الذي تخفض فيه عامل المحصول إلى ٠،٤٥٢ وذلك لأن كمية صغيرة من النواتج الوسطية غالباً ما تكون إيثانول بما يكافئ ٥٪ من وزن السكروز المستهلك. وبسبب معدل النمو التصاعدي للخميرة في التخمر المتقطع فإن الفقد في محصول الخلايا سوف يحدث في أواخر فترة الإكثار. إذا كان الإمداد بالأكسجين أقل من الحد الأمثل فإن فترة النمو سوف تطول وفي هذه الحالة فإن جزء من السكر سوف يستهلك في إمداد الخلايا بالطاقة اللازمة للحفاظ على حياتها مما يتسبب عنه نقص أكثر في عامل المحصول. وبالمثل فإن النقص في مصادر النيتروجين القابل للتمثيل سوف ينتج عنه أيضا محصول أقل بسبب انخفاض تصنيع بروتين الخلايا. كما أن الإصابة الشديدة بميكروبات غريبة سوف تؤدي إلى استهلاك السكر بواسطة هذه الميكروبات غير المرغوبة بجانب إنتاج مواد سامة أو مواد مثبطة أو تغيير درجة الـ pH بواسطة هذه الميكروبات مما يؤدي إلى تأثيرات ضارة. خلاصة كل ما سبق هو أن عامل المحصول التجاري والحد الأقصى النظري للمنتج يوضحان بلا شك مدى كفاءة عملية الإنتاج.

(٧،٢،٤،٢) النمو على المواد الهيدروكربونية Growth on hydrocarbons

إن تمثيل المواد الهيدروكربونية بواسطة الخميرة وخصوصاً الخميرة *Candida* spp وهي أكثر خمائر العلف شيوعاً يختلف بشكل كبير عن تمثيل المواد الكربوهيدراتية. وكما سبق أن أوضحنا فإن الحد الأقصى من كمية الخميرة الناتجة يعتمد على محتوى

المادة الخام من الكربون الميسر. وكما أوضحنا أيضاً فإن ٢٠٠ جرام من السكروز والتي تحتوي على ٨٤،٢ جرام من الكربون تنتج ١٠٠ جرام من الخميرة كمادة جافة تحت ظروف شديدة التهوية وهذه الكمية من الخميرة تحتوي على ٤٥،٥ جرام كربون . ما بقية الكربون ومقداره ٣٨،٧ جرام فيستخدم كمصدر للطاقة اللازمة لتصنيع المواد الخلوية ثم تفرزه الخلية مرة أخرى في صورة ثاني أكسيد الكربون. إلا أن مادة هيدروكربونية مثل الهيكساديكان n-hexadecane وتركيبها $C_{16}H_{34}$ تحتوي على ٨٥٪ كربون أي أكثر من ضعف الكمية التي توجد في السكروز. وهذا التركيب يتفق مع عامل المحصول المنخفض بصفة عامة بالنسبة للألكانات. كما وجد أيضاً أن عامل المحصول للخميرة *Hansenula polymorpha* التي تم تنميتها على الميثانول يساوي ٠،٣٦ وفي تقدير آخر ٠،٣٨ وهذا يتناسب مع محتوى الإيثانول من الكربون وهو ٣٧،٥٪ . وبالنظر إلى أكثر الألكانات إنتاجية وهي مادة hexadecane والتي نميت عليها الخميرة وكان لها عامل محصول يساوي ١،٠٣٥ فإن معادلة النمو الهوائي عليها هي كما يلي:

$$0.4580\ C_{16}H_{34} + 0.6319\ NH_3 + 7.2749\ O_2 \longrightarrow 0.6319\ c6H_{10}O3N + 5.5745\ H_2O + 3.5366\ CO_2$$

ونظراً لأن الألكانات لا تحتوي على أكسجين فإن الكمية المطلوبة لتحقيق المعادلة السابقة أكثر بكثير جداً (٢٣٢ جرام أكسجين) من الكمية المطلوبة في حالة النمو على المواد الكربوهيدراتية مثل السكروز (٩٨ جرام أكسجين). ومن ناحية

أخرى تتشابه كمية ثاني أكسيد الكربون المنتجة رغم اختلاف تركيب المواد الخام مما يدل على أن محتوى المادة من الكربون يتحكم في سير التفاعل. وكمية الطاقة الحرة المنتجة في صورة حرارة أثناء تمثيل الألكانات تساوي ٧ كيلو كالوري/ جرام مادة خميرة جافة مقارنة بكمية قدرها ٣.٧ كيلو كالوري عندما تكون المادة الخام هي السكروز وهذا بالطبع يزيد من مشكلة الحفاظ على درجة الحرارة في المدى ٣٠-٤٠°م.

(٧،٢،٤،٣) نظم الإكثار باستخدام المواد الكربوهيدراتية

Propagation systems using carbohydrates

طرق التخمر المتقطع الهوائي Aerobic batch processes

إن إكثار الخميرة بالطرق التقليدية باستخدام بيئات سائلة هو في الأساس عملية بسيطة ويوجد لها مراجع كثيرة متاحة. وأصلاً يستخدم لذلك أحواض خشبية و أنابيب وصمامات مصنوعة من النحاس . أما الطرق الحديثة فتستخدم أوعية ضخمة جداً من الفولاذ غير القابل للصدأ Stainless steel مزودة بالأجهزة اللازمة لعملية التبريد وأنابيب توصيل وصمامات ومضخات لنقل المواد المتفاعلة والهواء. وبالإضافة إلى ذلك توجد أجهزة ومواد مساعدة مثل المرشحات و أجهزة نفخ blowers وأجهزة طرد مركزي ومجففات وغلايات لإنتاج البخار وأجهزة تحكم في معدل التغذية بالبيئة والحرارة والأكسجين والـ pH . كما أن هناك متطلبات خاصة للتحكم في التلوث بميكروبات أخرى . وتعقيم الأجهزة يكون ملائم جداً باستخدام

البخار بعد التنظيف الفيزيائي الروتيني على الرغم من أن بعض المواد الكيماوية يمكن أيضاً استخدامها. ولكن من الناحية العملية تعتبر عملية التسخين أو البسترة بالبخار عملية مناسبة. في هذه الظروف شديدة التهوية فإن هناك حذر يجب أن يؤخذ في الاعتبار من أجل تنظيف هذه الكميات الضخمة من الهواء .

إن التخطيط الدقيق لشراء الأجهزة اللازمة يعتمد على نوع المادة الخام، وعلى ما إذا كان التخمير متقطع أو مستمر. ولتوضيح كيف يتم النمو المتقطع فقد نقلنا برنامج لذلك قام به Burrows سنة ١٩٧٠م ، حيث كان يسود التخمر المتقطع في ذلك الوقت. في هذا البرنامج تم تنمية كمية صغيرة من الخميرة *Saccharomyces cerevisiae* في بيئات متزايدة الحجم حتى وصل حجم البيئة إلى ٥٠٠٠ كيلو جرام من المولاس وتحتوي على ٢٥٠٠ كيلو جرام من السكروز ووصل وزن الخميرة الجاف في المرحلة النهائية إلى ١٢٠٠ كيلوجرام خلال ١١ ساعة في وعاء حجمه ٢٠٠ متر مكعب. وهكذا كلما وصلنا إلى نهاية النمو ووصوله إلى الحد الأقصى يمكن أن تضاف كميات أخرى من البيئة وتكرر عملية الإكثار حتى يحدث مستوى عالي من التلوث لا يسمح باستمرار عملية الإكثار. نفس البرنامج أو برنامج مشابه يمكن اتباعه لإنتاج خميرة الغذاء أو خميرة العلف. بعد نهاية الإكثار يتم ترسيب المعلق ثم الترشيح أو الطرد المركزي ثم بعد ذلك يتم التجفيف باستخدام اسطوانات التجفيف لتنتج خميرة محتواها من الرطوبة حوالي ٨٪. وعملية تجفيف خميرة الغذاء والعلف تجعل غلاف الخلية منفذ جداً مما يجعل محتويات الخلايا الداخلية سهلة الهضم بواسطة الإنسان أو الحيوان .

الطرق الهوائية المستمرة Aerobic continuous processes

في هذه الطرق تستخدم أجهزة أكثر تطوراً من الأجهزة المستخدمة في الطرق المتقطعة. و هناك برامج كثيرة لإكثار الخميرة بالطريقة المستمرة منها برنامج استخدام المخلفات الكبريتية السائلة كمادة خام . في هذا البرنامج وقبل الإكثار يتم إزالة ثاني أكسيد الكبريت من المادة الخام عن طريق التهوية أو عن طريق المعاملة بالبخار عند درجة pH تتراوح من ١،٥ إلى ٣، وبعد ذلك تبرد البيئة ثم يعاد ضبط درجة الـ pH إلى الدرجة المطلوبة للنمو ويتم إمداد البيئة بمصدر مناسب للنيتروجين القابل للتمثيل وكذلك الفوسفور والبوتاسيوم والكبريت والعناصر المعدنية الأخرى وعوامل النمو.

ثم بعد ذلك يتم اختيار سلالة من الخميرة *Candida utilis* والتي لها المقدرة على تمثيل السكريات الخماسية الناتجة من تحلل الخشب وتوجد في المخلفات الكبريتية السائلة الناتجة عن صناعة الخشب كما سبق توضيحه وذلك على عكس الخميرة *Saccharomyces cerevisiae* التي لا تستطيع تمثيل هذه السكريات.

وفي الإكثار المستمر يلزم تهوية شديدة عن طريق التقليب الميكانيكي ويوجد تحكم آلي في كل الظروف التي تؤدي إلى نمو جيد للخميرة وتثبط نمو الميكروبات غير المرغوب فيها. هذه الظروف تشمل الحرارة التي يتم التحكم فيها بواسطة نظام تبريد آلي ودرجة الـ pH التي يتم التحكم فيها بواسطة وحدات تحكم آلية تضيف حامض أو قلوي آليا حسب درجة الـ pH المرغوبة. و لابد أن تكون الحسابات النظرية التي سبق شرحها مفهومة جيداً حتى يمكن التنبؤ بسلوك الميكروبات الملوثة ومدى ملائمة بيئة النمو لها وتأثير ذلك على إنتاج الخميرة. أما بالنسبة لفصل الخميرة ومعالجتها فلا

تختلف عن حالتها في الإكثار المتقطع. الإكثار المستمر بالطبع يمكن تطبيقه في كل الحالات طالما توفرت المادة الخام المناسبة مثل المولاس بكميات كافية ليتم الإنتاج التجاري بشكل اقتصادي .

الطرق غير الهوائية Anaerobic processes

رغم أن هناك كميات كبيرة من الخميرة التي تنمو في العمليات غير الهوائية تستخدم للحيوانات كمواد تضاف للعلف إلا أن استخدام الطرق غير الهوائية لا يتم إطلاقاً بغرض إنتاج الخميرة فقط و لكن في العمليات غير الهوائية فإن الغرض الأساسي يكون إنتاج مواد أخرى باستخدام الخميرة مثل لإيثانول. في هذه الحالة تنتج كميات كبيرة من الخميرة والزيادة منها هي منتج وسطي . ونظراً لأن بعض المنتجات يجب أن تكون خالية من المواد الصلبة ورائقة فإن البيئة السائلة يتم ترويقها قبل التخمر وتفصل الخميرة بعد التخمر.

(٧،٢،٤،٤) نظم الإكثار الهوائي على الهيدروكربونات

Propagation systems using hydrocarbons

منذ أوائل الثمانينات بدأ تطبيق بعض النظم لإنتاج خميرة الغذاء والعلف على نطاق تجاري باستخدام الميثان والميثانول والألكانات كمواد خام. وكما سبق الإشارة فإن تصميم نظام الإنتاج وخصوصاً أوعية التخمير يختلف بشكل كبير عنه في النظم المصممة لإنتاج الخميرة من المواد الكربوهيدراتية . ويجب أن يكون هناك اهتمام خاص بالتهوية في حالة المواد الهيدروكربونية ويتم استخدام نظام الإكثار المستمر

بالتوازي مع الصناعات البترولية. وتحضير بيئة الإكثار في حالة المواد الهيدروكربونية أكثر تعقيداً من تحضيرها من المواد الكربوهيدراتية لأن كل عنصر غذائي مطلوب بالإضافة إلى الكربون والهيدروجين يجب أن يكون بالضبط متوافق مع التفاعلات التي تحدث. وكل المكونات يجب أن تعقم منفصلة وتحفظ في أوعية منفصلة قبل أن تضاف إلى وعاء الإكثار المستمر بمعدل تدفق محسوب. وكما سبق الإشارة فإن هناك حاجة لاتخاذ الحذر بسبب طبيعة المادة الخام القابلة للاشتعال. وعلى كل حال وكما سبق أيضاً الإشارة فإن إنتاج خميرة الغذاء والعلف من المواد الهيدروكربونية ما زال يعاني من صعوبات اقتصادية .

(٧,٢,٥) القيمة الغذائية Nutritional value

هناك عدد كبير من المراجع ومنذ فترة زمنية طويلة تحتوي على دراسات عن القيمة الغذائية للخميرة عندما تستخدم لتغذية الحيوانات أو الحيوانات الأليفة أو الدواجن أو الأسماك أو النحل . وبسبب دخول المواد البترولية كمواد خام لإنتاج الخميرة تجددت حديثاً الأبحاث التي تتناول القيمة الغذائية للخميرة. وقد وضعت المنظمات الحكومية والمنظمات الصحية وكذلك القائمين على هذه الصناعة حدود لمستويات بعض العوامل في الخميرة مثل الرطوبة و محتواها من المعادن ومحتواها من البروتين ومن أنواع البكتيريا الأخرى أو الفطريات والتي تكون حية أو نشطة وخصوصاً بالنسبة لخميرة الغذاء أي التي تستخدم أو تدخل في مكونات غذاء الإنسان. وبالطبع فإن هذه المقاييس أقل تشدداً في حالة الخميرة المستخدمة كعلف.

ورغم أن تفاصيل هذه الضوابط تختلف من بلد إلا آخر إلا أن كلها تتفق في ضمان أن تكون هذه الخمائر آمنة بالنسبة للإنسان أو الحيوان عندما تستخدم بالجرعات الموصى بها . وهناك عدد من الاختبارات لمختلف الباحثين على حيوانات المزرعة والتي شملت الدواجن والخنازير والأرانب والتي تم تغذيتها على وجبات تحتوي على نسب مختلفة (١٠-٢٠٪ من البروتين الكلي للعليق) من الخميرة التي أنتجت من الشرش كمادة خام. ويمكن تلخيص نتائج هذه الاختبارات بالقول ، أن كفاءة الخميرة كغذاء للحيوانات هي نفس كفاءة بروتينات فول الصويا أو الأسماك. هذه النتائج هي بالضبط مطابقة لمعظم الأبحاث العلمية التي تتم الآن .

ثم ظهرت بعض الشكوك فيما يتعلق بالتأثير السام للأحماض النووية التي توجد في الخميرة إذا ما زادت نسبة تركيزها في العليقة عن ٢٠٪. هذه الشكوك هي السبب في التردد القائم حاليا في استخدام الخميرة بنسبة عالية في وجبات الإنسان، كما أنها هي السبب في أن نسبة دخولها في مكونات غذاء الإنسان ما زالت محددة بقيم منخفضة. وجدير بالذكر أن القيمة الغذائية للخميرة التي سبق إنتاجها من المواد البترولية وخصوصاً محتواها من النيتروجين مطابقة تماماً للقيمة الغذائية لخمائر الغذاء والعلف التي أنتجت من مواد أخرى. إلا أن هناك مواد وخصوصاً تلك التي توجد في الخمائر بتركيزات صغيرة جداً ويكون لوجودها علاقة بنوع المادة الخام، لها خصائص صحية ضارة مما يتطلب أن يكون هناك اهتمام جاد بمعرفة مصدر الخميرة ومدى مسئوليته عن مكوناتها.

وكباقي أنواع البروتين النباتي فإن بروتين الخميرة يحتوي على مستويات

منخفضة من الأحماض الأمينية الكبريتية أو المحتوية على كبريت ولكن تدعيم الخميرة الجافة بمستوى ٠.٥٪ من الميثايونين يمكن أن يرفع جودة البروتين في هذه الناحية ليضاهي الكازين .

وفي حين أن القيمة الغذائية للخميرة تم معرفتها منذ فترة طويلة فإن تعريف العوامل الغذائية التي توجد في الخميرة والتي تؤدي إلى الشفاء من الأمراض الغذائية لم يتم تحديدها إلا منذ فترة زمنية قصيرة وذلك منذ اكتشاف مجموعة فيتامين ب حيث أن كثير من فيتامينات هذه المجموعة تم استخلاصها والتعرف عليها لأول مرة من الخميرة وذلك مثل البيوتين والنياسين وحامض البانتوثينيك والثيامين . وبالطبع لا تخفى القيمة الغذائية والصحية لفيتامينات ب حيث تحافظ على صحة البشرة وتناغم عضلات الجسم وتنشط الجهاز المناعي والجهاز العصبي وتساعد على نمو وانقسام خلايا الجسم بما ذلك كرات الدم الحمراء مما يمنع مرض الأنيميا. هذا بالإضافة إلى أن هذه الفيتامينات تقاوم كل أعراض الإجهاد والاكتئاب وغيرها من الأمراض. وكل فيتامينات ب ذائبة في الماء وتنتشر في الجسم بسهولة ومن المفروض أن يتناولها الإنسان بشكل يومي علماً بأن الزيادة من هذه الفيتامينات تفرز في البول .

وعلى أية حال فإن مكونات خلايا الخميرة من العناصر الغذائية الأساسية كما أوردها Rose و Harrison سنة ١٩٩٣هي: رطوبة ٢٥٪ ، بروتين خام ٥٠-٥٢٪ ، بروتين نقي ٤٢-٤٦٪ ، أحماض نووية ٦-٨٪ ، عناصر معدنية ٧-٨٪ ، ليبيدات ٤-٧٪ ومواد كربوهيدراتية ٣٠-٣٧٪ .

وفي الواقع فإن خلايا الخميرة يجب أن يتم تحليل جدرها أو كسرها قبل تناولها

وذلك لجعل العناصر الغذائية الموجودة داخل الخلايا في صورة ميسرة للهضم والامتصاص وهذا التحليل أو الكسر عادة ما يتم بشكل طبيعي في القناة الهضمية بواسطة إنزيمات البروتييز والجلوكانيز الميكروبية التي توجد في القناة الهضمية والتي يمكن أن تكسر وتفتح خلايا الخميرة من الخارج. كما قد يتم تحليل خلايا الخميرة بواسطة الإنزيمات الداخلية لخلايا الخميرة فيما يعرف بالتحلل الذاتي Autolysis حيث يتم التحلل من الداخل إلى الخارج .

وعلى الرغم من أن الخميرة ليست مصدر غذائي لفيتامين د، إلا أنها تحتوي على الإرجسترول Ergosterol الذي يتحول إلى فيتامين د٢ عندما يتم تعريض الخمائر إلى الأشعة فوق البنفسجية.

إن جميع الأسئلة الخاصة بالقيمة الغذائية والسمية مع أسعار المواد الخام وأسعار العمالة وتكلفة الإنتاج على المستوى التجاري لا بد أن توضع في الاعتبار عندما يراد رسم صورة لمستقبل إنتاج الخميرة ، خصوصاً المستخدمة في تغذية الإنسان والحيوان. وفي السنوات الحديثة فتح مجال البحث العلمي أمام محاولة زيادة القيمة الغذائية للخميرة عند إنتاجها بغرض استخدامها كغذاء للإنسان أو الحيوان. ومن النقاط الهامة والشيقة في هذا المجال هي إغناء كتل الخميرة الحيوية التي يتم الحصول عليها بعنصر السلينيوم Selenium. ذلك لأن عنصر السلينيوم تم تعريفه منذ سنوات على أنه مضادة للأكسدة Antioxidant.

إن الفكرة النظرية لعملية إغناء الخميرة بعنصر السلينيوم تتلخص في أنه تحت ظروف مناسبة وصحيحة فإن الخميرة لديها المقدرة على تخزين كميات كبيرة من هذا

العنصر في خلاياها، ولذلك فإن المهتمين بإنتاج هذا النوع من الخميرة يدركون أن الخميرة يمكن أن تدمج عنصر السلينيوم في صورة مركبات عضوية تحتوي على هذا العنصر وأهمها مركب سلينوميثايونين Selenomethionine الذي يعتبر من أحسن مصادر السلينيوم. وعلى الرغم من أن الخميرة بطبيعتها تخزن هذا العنصر الهام إلا أن تقديمه في البيئة الغذائية يؤدي إلى زياد الكمية المتراكمة منه داخل خلايا الخميرة. وبهذه الطريقة تمكن Stabnikova ومساعده سنة ٢٠٠٥م من إنتاج خميرة *Saccharomyces cerevisiae* تحتوي على أكثر من ١٥٠ ميكروجرام سلينيوم/ جرام خميرة جافة.

(٧,٢,٦) التقييم التطبيقي Applied evaluation

لقد تم بالفعل تقييم الخمائر كمواد أساسية أو إضافية إلى أغذية الحيوانات في تجارب تطبيقية كثيرة . وفي السبعينيات كان علماء الميكروبيولوجي في الولايات المتحدة مشغولون بأبحاث في مجال استخدام الخمائر كمواد غذائية للمزارع المائية كان لها هدف اقتصادي هام، فعلى سبيل المثال هناك نوع من السمك المخطط أو المقلم Striped-bass يعتبر أسرع أنواع السمك نمواً في صناعة المزارع المائية في الولايات المتحدة ويلقى اهتماماً كبير من جهة منتجي الأسماك، ومن المتوقع أن يصبح أهم وأشهى الأغذية البحرية خلال القرن الواحد وعشرين على حد اعتقاد العالم Kohler في بحثه الذي نشره سنة ٢٠٠٠م . إلا أن التوسع في صناعة مزارع إنتاج هذا النوع من الأسماك يواجه قيود خاصة بحساسية هذه الأسماك للظروف القاسية وقابليتها

للإصابة بمسببات العدوى الطبيعية في المزارع المائية، وأهمها الميكروبات المرضة والتي تشمل البكتيريا، الفطريات والبروتوزوا. وفي السنوات الحديثة ثبت لدى العلماء المهتمين أن البكتيريا المرضة *Streptococcus iniae* لها تأثير سلبي وضرر اقتصادي هام على إنتاج الأسماك في المزارع المائية حيث تسبب أمراض قاتلة لكثير من أنواع الأسماك، ومنها هذا النوع الذي نتكلم عنه. هذه البكتيريا يمكن أن تسبب خسارة اقتصادية ثقيلة عندما تصيب السمك المقلم علاوة على أنها إن لم تقتل هذا السمك فإنها تعطيه مظهر غير قابل للتسويق. وللأسف فإن السمك المقلم شديد الحساسية للإصابة بهذا النوع البكتيري المرض. والأخطر من ذلك أنه في حين أن بعض الدراسات ذكرت أن هناك فرق وراثي بين نوع هذه البكتيريا المسبب للمرض في الإنسان والنوع المسبب للمرض في الأسماك ، إلا أن بعض الدراسات الأخرى أثبتت إمكانية انتقال المرض من الأسماك المصابة إلى الإنسان عند تداولها . ولذلك فإن وجود استراتيجية لحماية هذه الأسماك من الإصابة بهذه البكتيريا، ليس فقط حاجة اقتصادية ، ولكن أيضا لحماية العاملين في مجال المزارع السمكية. والطرق التقليدية لحماية الأسماك من الإصابة بالبكتيريا المرضة، هي إضافة بعض الكيماويات المصرح بها من جانب الحكومات مثل المضادات الحيوية وغيرها. إلا أن هذه الطرق لها عيوب كثيرة، حيث أنها مكلفة، وليست دائماً فعالة، كما أن هذه الكيماويات قد تتراكم داخل لحوم الأسماك مسببة مشاكل كثيرة للإنسان والبيئة. أما الإستراتيجية البديلة فهي التعديل الغذائي للاستجابة المناعية ومقاومة الأمراض، بمعنى إضافة مواد غذائية لكي تجعل الأسماك لديها مناعة ضد الإصابة بالبكتيريا المرضة. وقد حظيت

المستخلصات الطبيعية كمواد مناعية تضاف إلى علائق السمك المقلم، باهتمام العلماء، ولكن يمكن القول أن هذا المجال من البحث ما زال وليد ولكن نتائجه واعدة بشكل لم يكن متوقع. إن إضافة الخمائر أو مستخلصاتها إلى مزارع الأسماك الأخرى أثبتت بشكل مبشر جداً أنها تؤدي إلى تأثير إيجابي على المناعة غير المتخصصة وعلى نمو وزيادة أوزان هذه الأسماك كما جاء في تقرير Sealey و Gatlin سنة ٢٠٠٢م. لكن تجارب إضافة الخمائر إلى مزارع السمك المقلم ليست كثيرة بسبب تأخر التصريح بذلك من جانب الإدارة الأمريكية للغذاء والدواء. وأخيراً ظهرت دراسة حديثة مطولة للعالمين Li و Gatlin سنة ٢٠٠٣م لتقدير تأثير إضافة مستويات مختلفة من خميرة Saccharomyces cerevisiae الجافة (١-٤٪) على نمو السمك المقلم ومدى مقاومته للإصابة بالبكتيريا S. iniae. وبصفة عامة فإن إضافة الخميرة الجافة إلى عليق هذا السمك أدى إلى زيادة في وزن السمك ، وزيادة في كفاءة التغذية بالمقارنة بالكنترول الذي لم يضاف إليه خميرة. كذلك فإن خصائص تركيب جسم السمك ككل ومستويات إنزيمات الليسوزايم في السيرم Serum lysozyme لم تتغير وكان في المدى العادي . وبعد تسعة أسابيع من التغذية على العليق المحتوي على خميرة جافة لم تظهر أي حالات هلاك أو موت في الأسماك ولم تظهر أي علامات للمرض الناتج من الإصابة ببكتيريا S. iniae في العليق المحتوي على ٢ أو ٤٪ خميرة جافة، في حين كانت نسبة الموت أكثر من ٢٠٪ في الكنترول الذي لم يضاف إلية خميرة . لقد لفتت هذه النتائج أنظار العلماء ودفعتهم إلى إجراء تحاليل للأسماك خاصة بجهاز المناعة غير المتخصصة. وبناء على نتائج هذه الأعمال يمكن القول أن إضافة خميرة

البيرة إلى عليق السمك يؤثر بشكل إيجابي على نمو الأسماك والكفاءة الغذائية بالإضافة إلى أنه يؤثر بشكل إيجابي على مقاومة الأسماك للإصابة ببكتيريا *S. iniae* الممرضة. بالإضافة إلى ذلك فإن النتائج تؤكد أن خميرة البيرة الجافة يمكن أن تستخدم لفترة طويلة دون أن تسبب للأسماك تثبيط نتيجة اكتساب مناعة أي دون أن يحدث ما يعرف بالـ Immunosuppression.

وكمثال آخر على التطبيق العملي لتغذية الأسماك على الخميرة في المزارع المائية، نتناول تغذية سمك سرطان البحر الأسترالي، حيث يتميز هذا النوع من الأسماك بأن له مميزات عديدة تجعله في مقدمة الأسماك التي يمكن تربيتها في مزارع كثيفة، لأنه من الأسماك التي لا تصنع لأنفسها حفر في أرضية المزرعة، ويتكيف مع ظروف النمو المزدحمة، وله معدل نمو سريع، ينمو في مدى واسع من درجات الحرارة (٢٣-٣١°م)، ويعيش في أنواع مختلفة من المياه بما فيها المياه منخفضة المحتوى من الأكسجين الذائب، والمياه المحتوية على مستويات مرتفعة نسبياً من الأمونيا والنتريت. وأكثر من ذلك فإن أكثر من ٣٠٪ من وزن أجسام هذه الأسماك، عبارة عن لحوم مأكولة، مقارنة بحوالي ١٥-٢٠٪ بالنسبة لأنواع سرطان البحر الأخرى .

وقد وجد أن تكلفة الوجبات الغذائية التي تقدم للأسماك في المزارع المائية تمثل حوالي ٧٠٪ من التكلفة الكلية للمشروع، وحيث أن الوجبة الغذائية للأسماك تقدم بصفة أساسية كمصدر للبروتين ، فإن الاستبدال الكلي أو الجزئي لهذه الوجبات بمصدر رخيص للبروتين وبدون ظهور أي تأثير سلبي على نمو وصحة الأسماك، كان وما زال هدف هام بالنسبة لمنتجي الأسماك. وقد نجحت محاولات عديدة في هذا

الشأن كان أهمها هو استبدل وجبات الأسماك بخليط مكون من فول الصويا وكتل حيوية من خميرة *Saccharomyces cerevisiae* وخصوصاً تلك الخميرة التي تنتجها مصانع البيرة كأحد النواتج الوسطية. وقد كان من أبرز الأعمال التي تمت بنجاح في هذا الصدد، هو ما قام به Muzinic ومساعدوه سنة ٢٠٠٤م ، حيث تم تقييم الاستبدال الكامل أو الجزئي لوجبة أسماك سرطان البحر الأسترالي بمخلوط من فول الصويا والخميرة. وأثبتت نتائج هذه الأعمال أن وجبة هذه الأسماك يمكن أن تستبدل بالكامل بمخلوط من فول الصويا وخميرة البيرة دون أن تتأثر حيوية الأسماك التي لم تقل عن ٩٨٪ في مختلف المعاملات، ودون أن تتأثر أي خواص مرغوبة ومحببة لدى المستهلك، كما لم يكن هناك فرق في الوزن ، وفي معدل وكفاءة التحولات الغذائية بين الأسماك التي تم تغذيتها على الوجبة العادية وتلك التي تم تغذيتها على الوجبة البديلة، مما يؤكد على ضرورة استخدام الوجبات المحتوية على الخميرة لزيادة الكفاءة الاقتصادية.

ومنذ فترة زمنية بعيدة نسبياً، وبالتحديد في سنة ١٩٨٢م استخدم العلماء خميرة Torula التي سبق تنميتها على مولاس قصب السكر، لتدعيم عليق الدجاج البياض أثناء فترة النمو وفترة التبييض أو وضع البيض، حيث أضيفت هذه الخميرة بمستويات مختلفة من مكونات العليق وذلك خلال فترات النمو وكذلك خلال فترة التبييض. واتضح أن خميرة *Torula* تلعب دوراً إيجابياً في زيادة وزن الدجاج أثناء فترة النمو وفي زيادة إنتاج البيض أثناء فترة التبييض. والمستويات من خميرة *Torula* التي يمكن أن تدعم بها وجبات الدجاج الأبيض تدور حول ٢٠٪ من مكونات العليقة

خلال الستة أسابيع الأولى للنمو ، و ١٧٪ من الأسبوع السابع وحتى الأسبوع الثالث والعشرين ، ثم ١٨٪ خلال فترة التبييض.

(٧,٢,٧) جدر خلايا الخميرة Yeast cell walls

تبقى جدر خلايا الخميرة كنواتج ثانوية لصناعة مستخلصات الخميرة وغالباً ما تسمى قشور أو أغلفة الخميرة yeast hulls أو قد تسمى أشباح الخميرة yeast ghosts. وجدر خلايا الخميرة عبارة عن مواد كربوهيدراتية تتكون بشكل أساسي من مواد البيتا جلوكان ومواد المانان وكلاهما عبارة عن سكريات عديدة. ومواد البيتا جلوكان هي عبارة عن سلسلة من جزيئات سكر الجلوكوز مثل النشا ولكن الاختلاف في أن وحدات السكر مرتبطة مع بعضها بروابط مختلفة (بيتا ١،٣ وبيتا ١،٦ بدلاً من الروابط ألفا ١،٤وألفا ١،٦). ولذلك فإن إنزيمات مختلفة هي المطلوبة لتكسير مركبات البيتا جلوكان إلى سكريات قابلة للامتصاص. كذلك فإن المنان وهو أحد المكونات الرئيسية لجدر خلايا الخميرة هو عبارة عن سلسلة من مختلف سكريات المانوز. بعض التخمرات الصناعية يحدث تراكم لأحماض دهنية مثل حمض كابريليك وحمض كابريك، وتراكم هذه الأحماض يؤدي إلى وقف وتثبيط هذه التخمرات الصناعية ولذلك يضاف منتج أشباح الخميرة إلى هذه التخمرات فتدمص علية هذه الأحماض ولا تحدث مشكلة توقف التخمر.

وقد اعتقد العلماء منذ فترة طويلة أن جدر خلايا الخميرة لديها قدرة فريدة في الارتباط بمركبات معينة في القناة الهضمية وخصوصاً المواد السامة والمواد التي تعيق

امتصاص الفيتامينات والفيروسات والبكتيريا الممرضة كما أن للخميرة أيضاً أثر واقي بالنسبة للقناة الهضمية. كذلك فإن الجزء من الجدار الخلوي للخميرة المتكون من المانان يعتقد أن له دور هام في نمو البكتيريا الصديقة والتي تسمى المعاونات الحيوية Probiotics في القناة الهضمية حيث يمكن لهذه البكتيريا أن تمثل سلاسل المانان وتنمو عليها. ونمو البكتيريا الصديقة أو الجيدة Good bacteria يؤدي بالتالي إلى تثبيط وقتل البكتيريا السيئة أو الرديئة Bad bacteria مثل بكتيريا السالمونيلا . وهذا هو نفس التأثير الذي يحدثه المنتج الذي يسمى Fructooligosaccharide أو FOS وهو عبارة عن مركب من سكريات عديدة قصيرة السلسلة (٣-١٠ وحدات سكر أحادي) . يدخل ضمن المركبات التي تسمى Prebiotics وهي المواد التي لا تهضم في المعدة ولا في الجزء العلوي من الأمعاء الدقيقة، وتنتقل إلى الجزء السفلي من الأمعاء الدقيقة ، وإلى الأمعاء الغليظة لتكون مواد أولية لنمو البكتيريا الجيدة المفيدة للإنسان. وبالمثل فإن هناك منتج أخر يدخل ضمن الـ Prebiotics وينتج من مكونات جدر خلايا الخميرة ويسمى mannanoligosaccharide أو MOS وهو عبارة عن سكريات المانوز الأوليجية (سلسلة قصيرة من سكريات المانوز) وله نفس التأثير على ميكروبات المعاونات الحيوية.

لقد تم تقييم جدر خلايا بعض طفرات الخميرة في دراسة حديثة قام بها Marques و مساعدوه سنة ٢٠٠٤م كمادة غذائية تقدم للأسماك القشرية. وقد كانت جدر خلايا هذه الطفرات تحتوي على كميات كبيرة من المانو بروتينات غير المرتبط بمادة بيتا-جلوكان. وخلصت الدراسة إلى أن المعاملات التي تحتوي على جدر خلايا

خميرة برية (غير متطفرة) كانت دائماً أفضل من معاملات الكنترول التي لم بضاف إليها أي جدر خلايا خميرة، كما أن جدر خلايا الخميرة المتطفرة كانت دائما أفضل من جدر خلايا الخميرة البرية وبالطبع أفضل من الكنترول كمادة غذائية للأسماك حيث أدت إلى زيادة في الوزن وفي كفاءة التحولات الغذائية.

(٧,٢,٨) أغذية متخمرة تنتج بواسطة الخمائر

Fermented foods produced by the yeasts

(٧,٢,٨,١) الكفير

هذا المنتج هو أقدم أنواع الألبان المتخمرة وأشهرها في بلاد القوقاز، وهو من الألبان المتخمرة التي لها أهمية تجارية وعلاجية كبيرة في روسيا، ويصنع من حليب الأبقار أو الأغنام أو الماعز بعد تلقيحها بحبوب الكفير، وهذه الحبوب لها قطر يتراوح من ١-٣ ملليمتر وهى عبارة عن حبوب تشبه حبة الفشار والمكونات الميكروبية الأساسية لحبوب الكفير هي بكتيريا حامض اللاكتيك وبكتيريا حامض الخليك والخميرة وهى موزعة في طبقات داخل الحبة. وبصفة عامة فإن المكونات الأساسية لحبوب الكفير هي كازين اللبن ، وبكتيريا *Lactococcus lactis* ssp lactis ، *L. delbrucekii* ssp *bulgaricus* ، و *Acetobacter aceti*، وخمائر *Klyvermoyces fragilis*، و *Troula kefir* .

وتستخدم حبوب الكفير كبادئ في تحضير لبن الكفير المتخمر والمتاح في الأسواق فى صورة عبوات تحتوى على نكهات وطعوم مختلفة. وحبوب الكفير لا

تذوب في الماء ولا في المذيبات العادية وتطفو على سطح الكفير عند التخمر نتيجة وجود غاز ثاني أكسيد الكربون المتكون ويمكن فصلها بالتصفية واستخدامها في تلقيح دفعات جديدة من الحليب. كما يمكن غسلها وتجفيفها وتخزينها لمدد طويلة حتى استعمالها مرة ثانية، ولتنشيط حبوب الكفير تجدد بالنقل يومياً في حليب فرز مبستر ويزداد حجمها كلما زاد نشاطها وتصبح جلاتينية القوام وتميل إلى الطفو على السطح ويكون لون الحبوب أصفر وهى جافة ويتغير لونها إلى اللون الأبيض أثناء فترة نشاطها وهى تسقط إلى القاع عند تلقيح الحليب بها لكنها سرعان ما تطفو مرة أخرى على السطح . وتتلخص صناعة الكفير كما يلي :

١- يجهز بادئ نشط عن طريق نقع حبوب الكفير الجافة في ماء دافئ على درجة حرارة تتراوح من ٢٥ إلى ٣٠ درجة مئوية طوال الليل. وخلال تلك الفترة يغير الماء من ٢ إلى ٣ مرات .

٢- تنقل حبوب الكفير المنتفخة إلى حليب درجة حرارته ٢١ درجة مئوية (حليب مبستر ثم يترك ليبرد) بنسبة جزء من حبوب المنتفخة إلى عشرة أجزاء من الحليب.

٣- تترك حبوب الكفير حتى تطفو على سطح الحليب ويكون ذلك في فترة زمنية تبلغ حوالي ٢٤ ساعة .

٤- يمرر الحليب بعد ذلك خلال منخل معدني معقم ويجمع البادئ الذي سيستخدم في صناعة الكفير ، أما الحبيبات فإنها تحجز لاستخدامها مرة أخرى في تحضير كمية أخرى من البادئ .

٥- يضاف هذا البادئ إلى الحليب المبستر المعبأ في زجاجات والمبرد على درجة حرارة من ٢٠ إلى ٢٢ درجة مئوية وتحضن لمدة ١٤ إلى ١٦ ساعة .

٦- يتم إخراج الزجاجات من الحضان وتحفظ على درجة حرارة من ١٢ إلى ١٦ درجة مئوية لمدة ٤ ساعات.

٧- تحفظ الزجاجات في الثلاجة وتكون صالحة للاستهلاك في هذه المرحلة .

(٧,٢,٨,٢) القهوة

قد يظن البعض أن الخمائر لا تشترك في إنتاج مشروبات متخمرة لا تحتوي على كحول ، حيث إن الشائع هو اشتراك الخميرة في إنتاج مشروبات كحولية فقط، ولكن الواقع أن هناك مشروبات كثيرة متخمرة ولا تحتوي على كحول.

وللمؤلف كتاب (بريشة وزهران، ٢٠٠١م) يتناول جميع الأغذية المتخمرة المعروفة على مستوى العالم ، ولكننا في هذا الجزء نقتصر فقط على الأغذية المتخمرة التي تشارك الخمائر في إنتاجها حتى تتمشى مع موضوع الكتاب. ومن المشروبات المتخمرة نذكر هنا القهوة والكاكاو فقط، حيث تساهم الخميرة بدور فعال في إنتاجها. وهذه المنتجات تشتمل على عمليات تخمر تنتج عنها النكهة المعروفة عنها. وعلى عكس المشروبات الكحولية التي تنتج في كل مكان فإن القهوة والكاكاو تنتج في آسيا وفي شبه القارة الهندية وبعض دول جنوب أفريقيا والبرازيل.

في حالتي القهوة والكاكاو يزال اللب المحيط بالحبوب عن طريق عملية تخمر معقدة ثم يتم تحسين نكهة ورائحة الحبوب المتبقية. وهذه الحبوب المتخمرة يتم

تحميصها قبل الاستهلاك وذلك لزيادة تحسن نكهتها. وتنقل هذه المنتجات عالية القيمة إلى مسافات طويلة حيث تستهلك ولا يضاف لها الماء إلا عند الاستخدام.

والقهوة عبارة عن حبوب يتم الحصول عليها من شجيرات القهوة بعد تخمير القشرة المحيطة بها . وتنتج القهوة في المناطق الدافئة من العالم ما عدا أوروبا وأمريكا الشمالية. وتعتبر البرازيل هي المنتج الرئيسي للقهوة حيث تنتج ثلث إنتاج العالم الذي يبلغ أكثر من ٤,٥ مليون طن سنويا. وتستهلك القهوة بعد إضافتها للماء الساخن في معظم أنحاء العالم مع زيادة استهلاكها في أوروبا وأمريكا ، حيث وجد أن الفرد يستهلك أكثر من ١٤٠ لتر سنوياً في هذه البلاد .

تصنيع القهوة

١- تحصد الثمار اللبية ذات اللون الأحمر لنوعين من شجيرات البن وهما Coffea arabica و Coffea canephora ، ثم تنثر حبوب البن في طبقات رقيقة في الشمس لكي تجف ولكي يحدث تخمر لطبقة اللب الخارجية ، حيث تتحلل المواد البكتينية المكونة للقشرة الخارجية لحبوب البن عن طريق الإنزيمات الناتجة من خميرة *Saccharomyces cerevisiae* وبعض أنواع جنس الخميرة Endomycopsis كما تسود أيضاً في هذا التخمر بكتيريا حامض اللاكتيك وخصوصاً الأجناس *Leuconostoc, Streptococcus, Lactobacillus*، حيث تنتج حامض اللاكتيك. ويتم التخمر في خلال مدة لا تزيد عن يومين في الغالب .

٢- تجفف حبوب البن وتتم إزالة الغلاف الداخلي للقشرة ميكانيكياً .

٣- تحمص حبوب البن الجافة على درجة حرارة عالية حتى تأخذ لونها البني ونكهتها

المميزة قبل طحنها ونقعها في الماء المغلي لإعداد مشروب القهوة .

وتحتوي حبوب البن على ١٪ من الكافين (An alkaloid drug) كما تحتوي على الـ trimethylxanthin الذي ينشط الكلى ويزيل الأرق بشكل مؤقت ويسبب ارتفاع في ضغط الدم. ويمكن استخدام تحضيرات تجارية من الإنزيمات المحللة للبكتين في تخمير حبوب البن ولكنها عالية التكلفة جداً. وتأخذ حبوب البن نكهة القهوة المعروفة أثناء عملية التحميص حيث تتفاعل الأحماض الأمينية مع سكريات حبوب البن معطية مركبات عديدة خاصة بالنكهة وهو ما يعرف بتفاعل ميلارد Maillard reaction.

التركيب والقيمة الغذائية

يحتوي البن المحمص على ٣-٤٪ رطوبة. وكل ١٠٠جرام تحتوي على ما يلي: بروتين ١٠-١٢ جم ، دهون ١٥-١٨ جم ، كربوهيدرات ٢٧-٣٣ جم ، ألياف ٤-٧ جم ، رماد ٢-٤ جم ، طاقة ٣٠٠-٣١٠ كيلو كالوري ، حديد ٤ مجم ، نحاس ٩ مجم ، كبريت ١٢٠ مجم ، كالسيوم ٢٥ مجم ، ريبوفلافين ٢، مجم ، نياسين ١٠-٤٠ مجم، ولا تحتوي على فيتامينات ب١٢ ، ج ، د . وتعتبر القهوة مصدر غني بالنياسين الذي يزداد أثناء التحميص.

(٧,٢,٨,٣) الكـــاكـاو

في غانا يتم تخمير الكاكاو في شكل كومات في المزرعة ورغم بساطة هذه الطريقة فهي تعطي كاكاو ذو قيمة جيدة بالمقارنة بذلك الكاكاو المنتج في صناديق

وحدات التخمير مثل التي توجد في ماليزيا. ويشتمل تخمر الكاكاو على البكتيريا والخمائر والفطريات ولكن الظروف البيئية هي التي تحدد بالضبط ترتيب أهمية هذه الميكروبات ولكن بصفة عامة تسود البكتيريا ويليها الخميرة ثم بكتيريا حامض الخليك.

والكاكاو عبارة عن الحبوب المتخمرة لأشجار الكاكاو Theobroma cacao والتي يتم تحميصها وطحنها. وتستخلص الدهون أو ما يعرف بزبدة الكاكاو من هذه الحبوب وتستخدم في صناعة الشيكولاتة أو في صناعة أدوات التجميل أما المتبقي بعد استخلاص الزبد فيستخدم كمشروب أو يدخل كمكون رئيسي في صناعة الشيكولاتة.

وينتج الكاكاو في غرب الهند وفي وسط وجنوب أمريكا وفي غرب أفريقيا وفي جنوب شرق آسيا. وتعتبر غانا ونيجيريا والبرازيل هي أهم مناطق إنتاج الكاكاو على مستوى العالم الذي يزيد إنتاجه السنوي عن ١,٥ مليون طن تستهلك في كل أنحاء العالم .

تصنيع الكاكاو

١- تحصد القرون الناضجة من أشجار الكاكاو ويتم استخراج الحبوب المغلفة بقشرة لبية من تلك القرون.

٢- توضع الحبوب في أكوام بحيث تكون هذه الأكوام فوق طبقة من أعواد الأشجار وأوراق الموز كما يحدث في غرب أفريقيا أو توضع الحبوب في صناديق خاصة من الخشب، حجم كل صندوق ٢م × ٢م × ١م ، بحيث تكون قاعدة الصندوق

مكونة من ألواح خشبية بينها مسافات أي أنها قاعدة مفتوحة وذلك كما يحدث في أمريكا الجنوبية وماليزيا وجنوب شرق آسيا.

٣- تغطى الكومات أو الصناديق بأوراق الموز أو بألواح خشبية وتترك للتخمر عند درجة حرارة ٢٥-٣٥ °م . تخمر حبوب الكاكاو من العمليات المعقدة جداً، ففي هذا التخمر تقوم أنواع من الخمائر *Kloeckera, Hansenula, Saccharomyces* بتحويل السكريات الناتجة من تحلل القشرة إلى كحول الإيثانول وثاني أكسيد الكربون. ثم تقوم بكتيريا حامض الخليك (Gluconobacter في المراحل الأولى و Acetobacter في المراحل المتأخرة) بتحويل الإيثانول إلى حامض الخليك. وتحت هذه الظروف الحامضية ومع انخفاض تركيز السكر تختفي الخمائر وتحل محلها بكتيريا حامض اللاكتيك وخصوصاً النوع *Lactobacillus plantarum* (متجانس التخمير Homofermentative) والنوع L.collinoides (غير متجانس التخمير heterofermentative). وهذا يؤدي إلى تكون حامض اللاكتيك الذي يظهر في المراحل الأخيرة من التخمر حيث يكون التركيز النهائي للأحماض ٢-٣٪ حامض خليك و ٠،٥ -١٪ حامض لاكتيك. كما توجد أيضا أنواع من البكتيريا المتجرثمة *Bacillus* والتي يكون عددها قليل في بداية التخمر ثم تزداد في المراحل الأخيرة عندما تقتل الميكروبات الأخرى بسبب الحرارة المرتفعة وأثناء التجفيف. وتحلل بروتين الكاكاو أثناء عملية التخمر يؤدي إلى إنتاج الببتيدات والأحماض الأمينية التي تساهم في النكهة المرغوبة عن طريق تفاعل ميلارد. ويعتبر الكاكاو المتخمر المنتج في غرب أفريقيا هو أجود الأنواع المنتجة، وعادة يكون له رقم pH

من ٥,١ إلى ٥,٣ في حين أن النوع الآسيوي يكون أقل جودة وله درجة pH من ٤,٥ إلى ٤,٨.

٤- يستمر التخمر لمدة ٦-٨ أيام مع تقليب الكومات أو نقل الحبوب إلى صناديق أخرى كل يوم أو يومين.

٥- في خلال هذه المدة تموت الحبوب نتيجة الحرارة الذاتية المتولدة من عملية التخمير والتي تصل إلى ٤٥-٥٥°م وتتحلل القشرة الخارجية للحبوب في شكل سوائل تنزل أسفل الكومات أو الصناديق.

٦- تجفف الحبوب المتخمرة في الشمس لمدة ٥-٦ أيام كما في غرب أفريقيا أو تجفف ميكانيكياً بواسطة الهواء لمدة ٣-٤ أيام كما في ماليزيا وذلك قبل أن تصبح الحبوب جاهزة لعملية التحميص.

التركيب والقيمة الغذائية

بالنسبة لحبوب الكاكاو المتخمرة فتحتوي على ٣-٥٪ رطوبة وكل ١٠٠ جرام وزن جاف تحتوي على ١٢-١٦جم بروتين ، ٤٧-٥٣ جم دهون ، ٢٦-٣٠ جم كربوهيدرات ، ٢-٤ جم ألياف ، ٣-٥ جم رماد ٦٠٠ كيلو كلوري طاقة، ١٢٠ مجم كالسيوم، ٦٠٠ مجم فوسفور .

والكمية الضخمة المنتجة من القهوة والكاكاو تجعل من المدهش أنه ما يزال هناك نقص كبير في فهم عمليات التخمر الخاصة بهذه المنتجات. وربما يقود التطور التكنولوجي المتنامي إلى فهم تفاصيل أكثر عن عمليات تخمر هذه المشروبات .

(٧,٢,٨,٤) الخبـز

أهم الأغذية المتخمرة من الحبوب هو الخبز الذي عرف إنتاجه منذ أيام الرومان ويوجد من الخبز أنواع عديدة جداً وهو عبارة عن غذاء ناتج من عملية الخبيز بعد تخمير عجين دقيق القمح أو الراي أو خليط منهما. والخبز غذاء رئيسي يستهلك في كل أنحاء العالم حيث يستهلك الفرد في أوروبا (وهي أقل استهلاكاً للخبز من باقي القارات) ٥٠ كجم في السنة. ويتم تخمير الخبز بصفة رئيسية بالخميرة *Saccharomyces cerevisiae* وأحيانا مع قليل من بكتيريا حامض اللاكتيك وتقوم الخميرة مع إنزيمات الأميليز التي توجد في الدقيق بتحويل النشا إلى سكريات ثم تخمير هذه السكريات لنتج ثاني أكسيد الكربون الذي يتمدد مما يجعل بروتين القمح الوحيد (الجلوتين) يتمدد بشكل مطاطي مما يجعل العجين يرتفع في الحجم ويظل محافظاً على شكله عند الخبيز .

تصنيع الخبـز

١- يخلط ١ كجم من دقيق القمح أو دقيق الراي أو خليط منهما مع ١٥–٢٠ جم ملح و ٥–١٠ جم دهون و ٢٠–٣٠ جم خميرة (وأحياناً كميات صغيرة من المولت والسكر ودقيق فول الصويا وحامض الأسكوربيك) و٥٠٠–٦٠٠ مللي من الماء ثم يتم تقليب الخليط السابق جيداً حتى يتكون عجين.

٢- يترك العجين للتخمر على درجة حرارة ٢٧ إلى ٣٣ °م ثم يقطع ويشكل ثم يخبز في الفرن على درجة حرارة ٢١٠–٢٤٠°م لمدة ١٥–٤٥ دقيقة مع الأخذ في الاعتبار أنه كلما زاد حجم الرغيف يزيد الوقت اللازم للخبيز. والميكروب

الرئيسي في إنتاج الخبز هو الخميرة *Saccharomyces cerevisiae* التي تستخدم السكريات الموجودة أو الناتجة عن إنزيمات الدقيق وينتج عن ذلك ثاني أكسيد الكربون الذي يرفع العجين ويزيد حجمه كما ينتج عن ذلك كحول (لا يتبقى شيء من الكحول أثناء عملية الخبيز) وأحماض وإسترات ومركبات أخرى خاصة بالطعم. وعملية الخبيز تختزل حجم فقاعات غاز ثاني أكسيد الكربون وتعيد توزيعه لتعطي نسيج متماسك بدون ثقوب كبيرة في الرغيف. وتلعب بكتيريا حامض اللاكتيك دوراً أقل أهمية في التخمير حيث تنتج كمية قليلة من حامض اللاكتيك ومركبات أخرى خاصة بالطعم. وللخبز رقم pH يتراوح من ٤,٧-٥,٢ .

التركيب والقيمة الغذائية

يحتوي الخبز على ٣٥-٤٠٪ رطوبة. وكل ١٠٠ جرام وزن جاف تحتوي على بروتين ١٣-١٦جم ، دهون ٣-٥ جم ، كربوهيدرات ٧٠-٨٠ جم ، ألياف ٤-١٣ جم ، رماد ٣-٥ جم ، طاقة ٣٦٠-٣٩٠ كيلو كالوري ، صوديوم ٩٠٠-٩٧٠ مجم ، بوتاسيوم ١٥٠-٣٥٠ مجم ، كالسيوم ٤٠-١٦٠ مجم ، فوسفور ١٦٠-٣٨٠ مجم ، حديد ٣-٤ جم، نحاس ٠.٣-٠.٥ مجم ، زنك ١-٣مجم ، كبريت ١٥٠ مجم، كلورين ١٥٠٠ مجم ، ثيمين ٠.٣-٠.٩ مجم ، ريبوفلافين ٠,٠٥-٠,١٧ مجم ، نياسين ٢-٦ مجم ، فيتامين ب٦ ٠,٠٧-٠,٢٥مجم ، حامض الفوليك ٣٠-٦٥ ميكروجرام، بيوتين ٢-١٠ ميكروجرام .

(٧,٢,٨,٥) النان Nan أو الخبـــز العربـــي

هو خبز متخمر ومسطح مع انتفاخ في المركز وقد يملأ مركزه باللحم أو بأي طعام آخر ويؤكل سندوتشات ويرجع أصل إنتاج هذا النوع إلى دول الشرق الأوسط والهند ولكنه ينتج الآن في كل دول العالم.

خطوات التصنيع

١- يضاف ٥٠٠ مللي ماء إلى ١ كجم من دقيق القمح الأبيض ثم يضاف ٢٠ جم من خميرة *Saccharomyces cerevisiae* وبكتيريا حامض اللاكتيك وخصوصاً الجنس *Lactobacillus* أو يضاف ٣٥٠ جم عجين من عملية إنتاج سابقة ثم يعجن الخليط لمدة ١٥ دقيقة وعادة تضاف كمية من زيت نباتي لجعل العجين طرياً .

٢- يقسم العجين إلى كرات ثم يترك للتخمر على درجة حرارة ٢٥-٣٢ °م لمدة ٢-٢,٥ ساعة .

٣- يتم طرق كرات العجين ميكانيكياً أو يدوياً بحيث تصبح مسطحة ذات سمك ٥-٧ مم ثم يرش الدقيق على السطح وتغطى ثم تترك للتخمر مرة أخرى على نفس درجة الحرارة السابقة لمدة ٣٠ دقيقة.

٤- تخبز الأرغفة بعد ذلك سريعاً في فرن ساخن درجة حرارته ٢٣٠-٢٦٠°م لمدة ٥-١٠ دقائق وقد وجد أن الحرارة المرتفعة السريعة تسبب تمدد سريع للعجين وتسبب انتفاخ أو ارتفاع في مركز الرغيف .

التركيب والقيمة الغذائية

يحتوي هذا الخبز على ٢٨-٣٥٪ رطوبة وكل ١٠٠ جم وزن جاف تحتوي على

بروتين ١٠-١٣ جم، دهون ١-٢ جم، كربوهيدرات ٧٤-٨٤ جم، ألياف ٤-٨ جم، رماد ٢-٤ جم ، طاقة ٣٦٠-٣٨٠ كيلو كالوري ، كالسيوم ٧٠ مجم، حديد ١-٧ مجم ، ثيمين ٠,١٥-٠,٣ مجم، ريبوفلافين ٠,٠٧ مجم، نياسين ١,٥-٥ مجم .

(٧,٢,٨,٦) مخبوزات أخرى

من المخبوزات المتخمرة الأخرى التي تشترك الخميرة في إنتاجها، الخبز المسمى رولز Rolls فهو أساساً قطع صغيرة من الخبز بها نسبة عالية من قشور الحبوب مما يجعله يحدث صوتاً طاحناً أثناء الأكل. وقد يؤكل وحده أو يقطع وتفرد عليه الزبد ويؤكل كما قد يستعمل في عمل سندوتشات من الجبن أو السجق. وعملية إنتاجه مشابهة لإنتاج الخبز العادي غير أن الدقيق يضاف إليه الدهن بمعدل ٥٠-٧٠ جم/ كيلو كما يضاف السكر بمعدل ١٥-٢٠ جم/ كيلو كما قد يضاف إلية كمية صغيرة من اللبن.

أما خبز البون bun فهو أيضاً يشبه الخبز العادي من حيث ميكروبات التخمر ومن حيث عملية الإنتاج غير أنه له طعم حلو نتيجة إضافة كمية سكر كبيرة (حوالي ٢٠٪) كما قد تضاف له فاكهة مجففة وكذلك يضاف البيض وبعض التوابل المجففة .

وهناك أرغفة أكبر حجما ومحلاة أيضاً وتسمى خبز الشاي Tea bread وهو خبز غني يحتوي على بيض ولبن وزبيب وأحياناً جوز هند مبشور ويشبه الخبز العادي من حيث الميكروب القائم بالتخمير ومن حيث أسس عملية الإنتاج. وكل الأصناف السابقة تنتج بكميات كبيرة في شتى أنحاء العالم .

وفي أوروبا يتم استهلاك كميات كبيرة من حبوب الراي التي قد تستخدم وحدها أو مخلوطة مع القمح لعمل الخبز الحامضي Sourdough bread والذي يستهلك بكميات كبيرة في شمال وشرق أوروبا وفي هذا الخبز تستخدم الخميرة *Candida millers* غير المتجرثمة والقريبة جداً من الخميرة *Saccharomyces* وذلك بالإضافة إلى بكتيريا حامض اللاكتيك وخصوصاً *Lactobacillus sanfrancisco* وقد نقل المهاجرون الأوروبيون بادئ الخبز الحامضي الخاص بهم إلى أمريكا الشمالية التي تعتبر الآن أهم ثاني منطقة في إنتاج هذا النوع من الخبز.

وهناك منتجات أخرى ذات أصل أوروبي تشمل بعض المخبوزات ذات المحتوى الرطوبي المنخفض مثل البيتزا Pizza والمنتجات المشابهة .

أما الفطائر التي تعرف باسم Pancake فهي أيضاً من منتجات الحبوب المتخمرة بواسطة الخمائر ، وتنتج في كل أنحاء العالم حيث تؤكل ساخنة في الإفطار أو كوجبة خفيفة مع شراب حلو أو مع القشدة ولها نفس أسس تخمر الخبز البلدي. كما أن الكعك المعروف باسم doughnuts ينتج عن طريق القلي في الزيت الساخن بعد التخمير. وعلى أية حال فإن كثير من الفطائر والكعك يتم تخميرها باستخدام بديل كيماوي للتخمير وهو بيكربونات الصوديوم لتعطي قوام متفتح .

(٧,٢,٨,٧) صلصة فول الصويا

هناك منتجات كثيرة متخمرة تنتج في آسيا من مخلوط من فول الصويا بكميات متفاوتة مع الحبوب سواء كانت دقيق القمح أو الأرز أو كما يحدث في صلصة فول

الصويا Soy sauce التي تنتج في إندونيسيا من فول الصويا والمحصول الشتوي الكاسافا. ويعتقد أن صلصة فول الصويا نشأت في الصين ولكن اليابان هي أكبر منتج لها. وتختلف صلصة فول الصويا اليابانية في احتوائها على كميات أكبر من دقيق القمح بالإضافة إلى فول الصويا .

وتستخدم صلصة فول الصويا كمكون رئيسي في الأغذية اليابانية والصينية ولذلك فهي دائماً مطلوبة حيث تقدم هذه الأغذية في أي مكان في العالم. وقد أدى هذا التزايد في الإقبال على صلصة فول الصويا إلى إنشاء مصانع لها في إنجلترا وأمريكا .

صلصة فول الصويا هي سائل بني اللون مكون من فول الصويا مع دقيق القمح أو محصول حبوب أو محصول نشا أخر. تستخدم كمكسب للنكهة أو كمكون لعديد من الأطباق الشرقية. تنتج بشكل تقليدي في اليابان وكوريا والصين وتايلاند والفليبين وإندونيسيا وماليزيا وسنغافورة. كما تنتج الآن في بريطانيا والولايات المتحدة الأمريكية. وفي اليابان يوجد أكثر من ٤٠٠٠ مصنع لإنتاج صلصة فول الصويا.

تصنيع صلصة فول الصويا

١- في المرحلة الأولى ينقع فول الصويا في الماء ويغلى ثم يصفي .

٢- يضاف دقيق القمح أو دقيق أي محصول حبوب أو محصول نشا آخر ويتم الخلط جيداً .

٣- يوضع الخليط بعمق ٢٥-٥٠ مم في صواني مصنوعة من الخيزران ثم يلقح بميكروبات التخمر ويترك للتخمر على درجة حرارة ٢٨-٣٠° لمدة أسبوع لكي

يتكون المنتج الوسطي الذي يسمى Koji .

٤- في المرحلة الثانية يضاف محلول ١٧-٢٢٪ ملح ليتكون المنتج الوسطي الذي يسمى Moromi والذي يترك للتخمر على درجة حرارة ٢٥-٣٣°م لمدة قد تصل إلى سنة في أوعية خزفية عميقة سعة كل منها حوالي ٢٠٠ لتر.

٥- في المرحلة الثالثة والنهائية يرشح الـ Moromi المتخمر ويكبس ويستخدم الراشح كصلصة فول الصويا وفي هذه الحالة يسمى Koilkuchi shoyu أو يستخدم الراشح بعد خلطه ببعض البقايا كصلصة فول صويا وفي هذه الحالة يسمى Tamari.

وفي هذا المنتج، يستخدم فطر *Aspergillus oryzae* أو *A. soyae* وهذه الفطريات تنتج إنزيمات تحلل الكربوهيدرات والبروتين في مرحلة تخمر الـ Moromi . وتقوم البكتيريا المحبة للملوحة والمنتمية لجنسي *Bacillus* و *Lactobacillus* والنوع *Pediococcus halophilus* بإنتاج أحماض مما يخفض الـ pH ولذلك تنشط الخميرة *Saccharomyces rouxii* في أواخر تخمر الـ Moromi وينتج عن ذلك مزيد من إنزيمات التحلل التي ينتج عنها بعض الكحول (أقل من ٠،١ جم/ ١٠٠ مللي) ومواد النكهة. وعلى العموم يمكن التحكم في ظروف التخمر بحيث يكون المنتج من الكحول يساوي صفر. وحوالي ٣٥-٤٥٪ من نيتروجين صلصة فول الصويا توجد في صورة Amino nitrogen كما توجد السكريات المختزلة بكمية٤-٧.٥ جم/ ١٠٠ مللي. والحموضة الكلية تتراوح من ٠،٨ إلى ١٪ كحامض لاكتيك مع رقم pH ٤،٦-٥.

في اليابان يبستر المنتج عادة ويعبأ في زجاجات وفي الصين يضاف ملح بنزوات

الصوديوم كمادة حافظة. وبسبب الطلب الشديد على صلصة فول الصويا وبسبب طول مدة النضج التي تصل إلى شهور فقد أنتجت اليابان صلصة فول صويا عن طريق التحلل الكيماوي وهي أقل جودة وإنتاجها محرم قانوناً في الصين.

التركيب والقيمة الغذائية

المحتوي الرطوبي ٥٧-٧٠٪ وكل ١٠٠ جم وزن جاف تحتوي على : بروتين ١٣-١٨ جم ، دهون ١-٢ جم ، كربوهيدرات ٢٨-٣٥ جم، ألياف ٠-١،٥جم، رماد ٥٠-٥٣ حم، كلوريد صوديوم ٢٥-٣٠ جم ، طاقة ١٨٠-٢١٠ كيلوكالوري ، كالسيوم ٢٠٠ مجم ، فوسفور ٢٠٠ مجم ، حديد ١٤ مجم ، بوتاسيوم ٦٥٠ مجم، ثيمين ٠،١٥-٠،٥ مجم ، ريبوفلافين ٠.٦ مجم ، نياسين ٧،-٣ مجم ، فيتامين ب١٢ ٠،٢-١ ميكروجرام .

(٧,٢,٨,٨) منتج البابادام Papadam

ينتج البابادام بشكل رئيسي في الهند وباكستان وقد أصبح شائعاً في المطاعم الهندية المنتشرة في جميع أنحاء العالم. والمادة الخام المستخدمة في إنتاج البابادام ، عبارة عن خليط من دقيق القمح والبطاطس مع البقوليات، حيث يكون الشكل النهائي للمنتج عبارة عن رقائق كبيرة جافة تؤكل كوجبة خفيفة أو مع الوجبات. وتشترك في تخميره الخمائر *Saccharomyces* و *Candida* وبكتيريا حامض اللاكتيك ،وقد أصبح هذا المنتج مرافقاً للوجبات الهندية التي تقدم في أي مكان في العالم حيث أنه غني بالفيتامينات والعناصر المعدنية.

خطوات تصنيع البابادام

١- يتم عمل عجينة صلبة إلى حد ما من دقيق البقول الذي قد يكون فاصوليا Phaseolus aureus مع دقيق الأرز أو البطاطس أو خليط منهما .

٢- يضاف الملح والتوابل بما فيها الكراوية والفلفل .

٣- يقطع العجين إلى أجزاء ويتم فرد كل جزء بشكل دائري حتى يصبح رقيق جداً (١٠-٢٠ سم في القطر، ٠،٥-١مم في السمك) مع إضافة بعض الزيوت أثناء الفرد .

٤- تترك الـ Papadam الدائرية المسطحة للتخمر بواسطة أنواع من خمائر *Saccharomyces* و *Candida* وبكتيريا حامض اللاكتيك، ثم يجفف المنتج في الشمس أو بواسطة الهواء الساخن لعدة ساعات .

٥- أحياناً تضاف بعض المواد الكيماوية التي تسرع من عملية التخمير .

٦- تخزن الرقائق في علب لحين الاستخدام .

٧- قبل الاستخدام تخبز الرقائق أو تقلى في الزيت لتعطي ناتج جاف ورقيق .

التركيب والقيمة الغذائية

المحتوى الرطوبي ١٠-١٥٪ وكل ١٠٠ جم وزن جاف تحتوي على: بروتين ١٥-٣٠جم (يزداد بزيادة المحتوى من البقول)، دهون ٢-٨ جم، كربوهيدرات ٤٠-٥٥ جم، ألياف ١٢-١٥ جم ، رماد ٦-٨ جم ، طاقة ٢٨٠-٣٥٠ كيلو كالوري، صوديوم ٣٠٠٠ مجم ، بوتاسيوم ١٠٠٠ مجم، كالسيوم ١٠٠ مجم ، ماغنسيوم ٣٠٠ مجم ، حديد ١٥ مجم ، نحاس ٠،٧ مجم ، زنك ٣مجم، ثيمين ٠.٢٥

مجم، ريبوفلافين ٠،١٥ مجم، نياسين ١،٧ مجم، حامض فوليك ٧٥ ميكروجرام .

وتعتبر شبه القارة الهندية هي مهد كثير من منتجات البقوليات المتخمرة التي تطلق عليها أسماء كثيرة. ومعظم هذه المنتجات يسود في جنوب الهند حيث تكثر زراعة الأرز الذي يضاف إلى البقوليات بنسب معينة.

(٧,٢,٨,٩) الخـــــل Vinegar

يعتبر الخل من منتجات التخمر الهامة جداً، حيث تشترك في إنتاجه خميرة Saccharomyces cerevisiae، وبكتيريا حامض الخليك من مواد خام مختلفة. والخل عبارة عن محلول حامض الخليك ، يستخدم في عمل المخللات والسلطة وفي عمل مزيج متبل يضاف إلى الطعام وفي عمل المسطردة والمايونيز، كما يستخدم في تحميض كثير من الأغذية. وينتج من كثير من المواد الخام في كل أنحاء العالم. وحوالي ٣٠٪ من الإنتاج العالمي يخصص للاستخدام المنزلي .

تصنيع الخـــل

تعرف طريقة إنتاج الخل الأصلية والقديمة بالطريقة البطيئة وقد كانت تتم في براميل يتم تهويتها عن طريق ثقوب توجد في النصف الأعلى لكل برميل. وكانت هذه الطريقة تتم بملء كل برميل حتى الثلث بالخل النقي ثم يضاف لكل برميل كمية صغيرة من اللقاح من بكتيريا حامض الخليك ثم يضاف الكحول الطازج المنتج بواسطة الخميرة لتشكل المادة الأولية ثم يسمح لعملية التخليل أن تتم ببطئ لمدة خمسة أسابيع مع إضافة كمية من المادة الأولية كل أسبوع حتى تمتلئ البراميل إلى النصف. وبعد ذلك يسحب الناتج الذي تم تخليله (الخل) من البراميل حتى تعود إلى الثلث

مرة أخرى مع تكرار إضافة الكحول كمادة أولية وهذا يعطي عملية شبه مستمرة ولكنها بطيئة. وهذه الطريقة البطيئة ينتج عنها خل من نوعية ممتازة ولكن هذه الطريقة استبدلت الآن بالطرق الحديثة.

والطرق الحديثة السريعة لإنتاج الخل تعتمد على توفير مساحة سطح كبيرة تسمح بحدوث اتصال بين البكتيريا والمادة الكحولية الأولية والأكسجين وذلك للمساعدة في أكسدة السائل الكحولي إلى حامض خليك. ونظراً لاستخدام الخل المنتج في التغذية فلا يجب استخدام مواد كيماوية لمنع تكون الرغوة في المخمرات . لذلك يزود مخمر إنتاج حمض الخليك بمانع رغوة يعمل أوتوماتيكياً عند تراكم كمية من الرغوة لتجنب تدفق الرغوة خارج المخمر.

التركيب والقيمة الغذائية

يحتوي الخل على ٩٤-٩٦٪ رطوبة وكل ١٠٠ جم وزن جاف تحتوي على: بروتين ٥-٨ جم، كربوهيدرات ٧٥-٨٢ جم، طاقة ٨٠-٢٠٠ كيلو كالوري، كالسيوم ١٨٠-٣٠٠ مجم، فوسفور ٧٠٠-١٥٠٠ مجم، صوديوم ١٠٠-٤٠٠ مجم، بوتاسيوم ١٠٠-٤٠٠ مجم، ماغنسيوم ٩٠ مجم، حديد ١٠-٢٥ مجم، نحاس ٠.٨ مجم، كبريت ٤٠٠ مجم، كلور ٩٠٠ مجم، ثيمين ٠.٦ مجم ريبوفلافين ٠.٦ مجم، نياسين ١٧ مجم.

(٧,٣) استخدام خميرة *Phaffia rhodozyma* في إنتاج صبغة أستاكسانثين Astaxanthin

(٧,٣,١) خصائص عامة General characteristics

يحتوي جنس *Phaffia* على نوع واحد، وهذا النوع يضم عشرة سلالات

تستخدم الآن على نطاق تجاري في إنتاج صبغات الكاروتين. وقد جرت محاولات عديدة لإحداث تزاوج بين هذه السلالات بغرض إنتاج هيفات تحتوي خلاياها على نواتين وتكون جراثيم تيليتية، وبذلك تكون أسرع في التكاثر، ولكن هذه المحاولات باءت كلها بالفشل. وتختلف خميرة *Phaffia rhodozyma* تماماً عن باقي الخمائر المنتجة للصبغات في نقطتين هامتين، الأولى أن هذه الخميرة تخمر سكر الجلوكوز والسكريات الأخرى، والثانية أن هذه الخميرة تصنع بشكل رئيسي صبغة أستاكسانثين كإحدى صبغات الكاروتين. أما باقي أجناس الخمائر المنتجة للصبغات مثل *Cryptococcus*، *Rhodotorula*، *Rhodosporidium* ، *Sporidiobolus* ، و *Sporobolomyces* ، فإنها خمائر هوائية إجباراً أي لا تستطيع تخمير السكريات إلى إيثانول وثاني أكسيد كربون، كما أنها تصنع صبغات بيتا–كاروتين، جاما–كاروتين، توريولين Torulene ، وتوريلارهودين Torularhodin بشكل رئيسي.

والحقيقة أن منتجي الأسماك، والباحثون في هذا المجال والجهات الحكومية المعنية بصناعة المزارع المائية، أجمعوا على ضرورة تدعيم وجبات الأسماك في المزارع المائية وخصوصاً مزارع أسماك السلمون والسلمون المرقط أو التروتة، والجمبري بصبغة أستاكسانثين، وذلك لإكساب لحوم هذه الأسماك اللون الأحمر أو البرتقالي المحبب لدى المستهلك، بالإضافة إلى فوائدها الصحية، حيث ثبت حديثاً أنها مركب مضاد للأكسدة ولها تأثير فعال جداً في إيقاف نشاط الأورام الخبيثة ، وذلك كما ذكر Fang و Wang سنة ٢٠٠٢م. وتعتبر صبغة أستاكسانثين هي أكثر مكونات العليق تكلفة في صناعة المزارع المائية ، حتى أن Johnson و Schroeder سنة ١٩٩٦م قدروا ما

ينفق في سوق الصبغات المضافة إلى مزارع أسماك السلمون بحوالي ٣٠٠ مليون دولار سنويا. وعلى الرغم من أن صبغة أستاكسانثين، يمكن إنتاجها الآن صناعياً إلا أن إدارة الأغذية والأدوية في الولايات المتحدة لا تسمح بذلك ولم تعط ترخيص لأي مصنع بإضافة الصبغةالمصنعة إلى العلائق، وذلك لأسباب تتعلق بالصحة العامة .

وبمقارنة تركيب خميرة *Phaffia rhodozyma* بباقي الخمائر، يتضح أن هذه الخميرة تحتوي على ٦٪ رماد، ٤.٨٪ نيتروجين كلي على أساس الوزن الجاف وهي قيم منخفضة بالمقارنة بباقي الخمائر . كما تحتوي على ٤٠٪ كربوهيدرات كلية ، وهي قيمة عالية بالمقارنة بباقي الخمائر وتعكس سبب سماكة الجدار الخلوي لهذه الخمائر ووجود الكبسولة. كما تحتوي هذه الخميرة على ١٧٪ ليبيدات كلية وهي قيمة أعلى من تلك التي توجد في معظم أنواع الخمائر. وقد وجد أن الأحماض الدهنية السائدة في هذه الخميرة هي أحماض الأوليك واللينولينيك. تحتوي خلايا خميرة *Phaffia rhodozyma* على محتوى متوازن من معظم الأحماض الأمينية الضرورية، ولكن محتواها من الحامض الأميني ميثايونين منخفض، ومتوسط محتوى هذه الخميرة من حامض RNA، حوالي ٨،٢٪ .

أما بالنسبة لتركيب صبغات الكاروتين التي تنتجها خميرة *Phaffia rhodozyma*، فقد وجد أكثر من ٨٥٪ منها عبارة عن أستاكسانثين، أما باقي الصبغات التي تكون الـ ١٥٪ الباقية فهي بيتا-كاروتين ، جاما-كاروتين، نيوروسبورين، ليكوبين..الخ. وقد وجد أن تركيز صبغة أستاكسانثين في هذه الخميرة يتراوح بين ٣٠ و ٨٠٠

ميكروجرام / جرام خميرة بالاعتماد على ظروف النمو. توالت الأبحاث الخاصة بمعرفة الظروف المثلى التي تؤدي إلى زيادة تركيز صبغة أستاكسانثين، على مدى السنوات الماضية، وبالفعل وصل تركيز هذه الصبغة إلى ١٪ من الوزن الجاف للخميرة وربما أكثر في كثير من الأحوال . تنتج صبغة أستاكسانثين تحت الظروف الهوائية، وقد وجد أن تقليل كمية الهواء يؤدي إلى انخفاض شديد في كمية هذه الصبغة وتتراكم في الخلايا صبغات أخرى من صبغات الكاروتين .

(٧,٣,٢) العوامل المؤثرة على النمو وإنتاج الصبغة

Factors influencing growth and pigmentation of *Phaffia rhodozyma*

إن العوامل التي تتحدى العلماء في إنتاج صبغة أستاكسانثين من خلال الأنظمة البيولوجية هي انخفاض إنتاج كثير من السلالات وارتفاع تكلفة استخلاص الصبغة من خلايا الخميرة . وقد طبقت محاولات كثيرة على خميرة *Phaffia rhodozyma*، بغرض زيادة إنتاج الصبغات الكاروتينية . وقد شملت هذه التطبيقات تحسين في طرق التخمر، وإنتاج طفرات لها قدرة كبيرة على إنتاج الصبغة ، واختيار كيماويات معينة لتضاف إلى بيئة الإنتاج. لقد أوضحت التجارب التي يطلق عليها صبغ الحيوانات Animal-pigmentation بخميرة *Phaffia rhodozyma*، أنه يمكن الوصول إلى مستويات عالية من صبغة أستاكسانثين، في أسماك السالمون، جراد البحر، التروتة Trout (السلمون المرقط)، وصفار بيض الدجاج . وعلى أية حال فإن هناك عوامل ثابتة ومؤثرة على نمو الخميرة وإنتاج الصبغة نتناولها فيما يلي :

(٧،٣،٢،١) مصدر الكربون Carbon source

أوضحت التجارب أن الجلوكوز والسكروز يعطيان نمو أسرع لخميرة ***Phaffia rhodozyma***، بالمقارنة بباقي مصادر الكربون، وذلك كما يتضح من الجدول رقم (٧,٣). وقد وجد العلماء أن السلوبيوز يدعم إنتاج صبغة أستاكسانثين، بدرجة كبيرة، حيث وصل تركيز هذه الصبغة إلى ٦٥٢ ميكروجرام/ جرام من خلايا الخميرة على أساس الوزن الجاف. كما وجد أيضاً أن بعض السكريات الثنائية الأخرى (المالتوز والسكروز) بالإضافة إلى المانيتول والزيلوز وأملاح حامض السكسينيك ، تدعم إنتاج صبغة أستاكسانثين .

الجدول رقم (٧،٣). تأثير مصادر الكربون على إنتاج صبغة أستاكسانثين بواسطة خميرة ***Phaffia rhodozyma***

مصدر الكربون	محصول الخميرة (جم/ جم سكر)	محصول الصبغة (ميكروجرام/ جم خميرة)
جلوكوز (١٪)	٠,٣٩	٤٢١
جلوكوز (٤٪)	٠,٢٦	١٧١
جلوكوز (١٠٪)	٠,٢٠	١٧٠
جلوكوز (٦٪)	٠,٢٦	٣٢٥
جلوكوز (٢٪)	٠,٤٨	٣٣٦
لاكتوز (١٠٪)	–	٤٤٥
سكروز (٤,٩٪)	٠,١٦	٨٧٥
مولاس (١٪)	٠,٣٢	٤٤٤

openkandil.com

تابع الجدول رقم (٧,٣).

مصدر الكربون	محصول الخميرة (جم/ جم سكر)	محصول الصبغة (ميكروجرام/ جم خميرة)
مولاس (٤٪)	٠,٣١	٨٧٦
مولاس (١٠٪)	٠,٢٠	١٠٨٦
مولاس (٢٪)	٠,٣٤	٤٧٨
بيرمييت الشرش (١٠٪)	-	٣٤٣

(٧,٣,٢,٢) مصدر النيتروجين Nitrogen source

لا يوجد بصفة عامة فرق كبير بين ملح كبريتات الأمونيوم بتركيز يتراوح بين ٠,٢٥ و ٥ مجم/ مل، فوسفات الأمونيوم، أو الببتون، كمصادر للنيتروجين، حيث إن كل من هذه الأملاح كانت لها تأثيرات متشابهة على معدل نمو الخميرة وعلى إنتاج صبغة أستاكسانثين. وقد وجد من ناحية أخرى أن إضافة مستخلص الخميرة إلى بيئة نمو لا تحتوي على فيتامينات بمعدل ٩,١ إلى ١٠ مجم/ مل، قد أدى إلى زيادة في إنتاج الصبغة من ١٥٦ إلى ٥٢٤ ميكروجرام/ جرام. وعلى أية حال فإن خميرة *Phaffia rhodozyma* شأنها شأن باقي الخمائر لا تستفيد من النيتروجين عندما يقدم لها في صورة معقدة أو في صورة مكونات ذات وزن جزيئي كبير، وإنما تحتاج غلى النيتروجين في صورة مكونات ذات وزن جزيئي منخفض مثل الأملاح التي سبق الإشارة إليها.

obeikandi.com

(٧,٣,٢,٣) تأثير قيمة رقم الأس الهيدروجيني Effect of pH value

تعتبر قيمة رقم الأس الهيدروجيني أو الـ pH لبيئة النمو أحد أهم العوامل المؤثرة على نمو خميرة *Phaffia rhodozyma* . فقد وجد أن درجة الـ pH المثلى لنمو هذه الخميرة في دوارق النمو، كانت ٥.٨ . وهذه الدرجة تختلف قليلاً عن درجة الـ pH المثلى لإنتاج صبغة أستاكسانثين وهي ٥ كما وجدها العلماء. وعندما يكون رقم الـ pH في المدى من ٤ إلى ٧، فإن اختيار المحلول المنظم للبيئة يكون هو العامل المحدد لإنتاج صبغة أستاكسانثين، حيث وجد أن المحلول المنظم فوسفات الصوديوم، كان له تأثير مثبط على إنتاج الصبغة بالمقارنة بمحلول هيدروجين فثاليت البوتاسيوم Potassium hydrogen phthalate، وذلك عند نفس قيمة رقم الـ pH. وفي المخمرات التي يضبط فيها الـ pH آلياً، دون الحاجة إلى محلول منظم، وجد أن رقم الـ pH الأمثل لإنتاج صبغة أستاكسانثين، هو ٤,٥. وعلى كل حال فقد وجد كثير من الباحثين أنه يمكن الحصول على إنتاج مرضي عند درجات pH تتراوح بين ٤,٥ و ٦.

(٧,٣,٢,٤) الحرارة Temperature

تلعب درجة الحرارة دوراً مؤثراً جداً في إنتاج صبغة أستاكسانثين، حيث أن هذه الخميرة ليست محبة لدرجات الحرارة المرتفعة، و أقصى درجة حرارة يمكن أن تنمو عندها هي ٢٨°م. درجة الحرارة المثلى لنمو هذه الخميرة وإنتاج صبغة أستاكسانثين ، هي ٢٢°م، رغم أن كثير من الباحثين حددوا المدى من ١٤ إلى ٢٥°م كحد أدنى وأعلى على الترتيب لإنتاج صبغة أستاكسانثين، بواسطة خميرة *Phaffia rhodozyma*.

(٧,٣,٢,٥) الأكسجين Oxygen

يتم نمو خميرة *Phaffia rhodozyma*، وإنتاج صبغة أستاكسانثين، في ظروف هوائية، وقد وجد أن النمو وإنتاج الصبغة ينخفضان بشدة عندما يكون معدل التهوية أقل من ٣٠ مليمول أكسجين/ لتر/ ساعة ، حيث تتراكم صبغة بيتا-كاروتين بدلاً من صبغة أستاكسانثين. إن انخفاض درجة التهوية يؤدي إلى سلوك الخميرة مسلك تخمري للسكر، وهذا يقلل من كمية الكتل الحيوية المنتجة من الخميرة وبالتالي يقلل من كمية الصبغة المنتجة.

(٧,٣,٢,٦) الضوء Light

لا ينشط الضوء إنتاج صبغة أستاكسانثين، بواسطة خميرة *Phaffia rhodozyma*، على عكس معظم الميكروبات المنتجة للصبغات، فإن الضوء حيث وجد أن محصول الخميرة والصبغة في الظلام وفي الضوء كان تقريباً متساو. إلا أن بعض الباحثين مثل An و آخرون سنة ١٩٩٦م، وجدوا أن محصول صبغات الكاروتين في وجود الضوء كان ضعف المحصول في عدم وجود الضوء وذلك عند معاملة خميرة *Phaffia rhodozyma* بالمضاد الحيوي أنتيمايسين Antimycin. وقد فسر هؤلاء العلماء ذلك، بأن الأنتيميسين يثبط نظام إنزيمات الأوكسيديز التي تلعب دوراً هاماً في إنتاج صبغة أستاكسانثين، وأن الضوء يعتبر بديل لنظام الأوكسيديز، ولذلك يساعد على نمو الخميرة، ربما بدرجة أفضل من الأوكسيديز الذي تم تثبيطه. وفي دراسة تالية قام بها Storebakken ومساعدوه سنة ٢٠٠٤م وجد أن الضوء الشديد يؤدي إلى زيادة إنتاج

أحد مشابهات صبغة أستاكسانثين، وهو المشابه Z (Z-isomers)، وقد ذكر في نفس البحث أن هذا المشابه يقل في كفائته كغذاء للأسماك عن المشابهة E . وبناء على ما هو متوفر من معلومات خاصة بتأثير الضوء على إنتاج صبغة أستاكسانثين، يمكن القول أن وجود الضوء أفضل من عدم وجوده، ولا توجد حتى الآن دراسات تصف هذا العامل بأنه محدد لعملية الإنتاج .

(٧,٣,٣) النمو وإنتاج صبغة أستاكسانثين في بيئات معقدة

Growth and astaxanthin production on complex media

أصبح استخدام مخلفات تصنيع الغذاء، كبيئات للميكروبات الصناعية أمراً شائعاً خلال الثلاثة عقود الماضية. وقد وجد أن استخدام مخلفات إنتاج العصائر، كمادة خام لتنمية خميرة *Phaffia rhodozyma* ، وإنتاج صبغة أستاكسانثين، كان لها نتائج جيدة على نمو الخميرة، ولكن كان لها نتائج سلبية على إنتاج الصبغة، حتى أن تدعيم البيئة بواسطة بعض المغذيات لم يؤد إلى التغلب على هذه المشكلة، ولكن ما زالت الأبحاث مستمرة في هذا المجال، حيث أمكن في كثير من الأحوال، التعرف على المواد المثبطة لإنتاج الصبغة مثل مركب سابونين Saponin، وربما يمكن في المستقبل القريب التغلب على هذه المشكلة.

وثبت حديثاً لدى كثير من العلماء أن المولاس يعتبر بيئة ممتازة لنمو خميرة *Phaffia rhodozyma*، وإنتاج صبغة أستاكسانثين، لدرجة أن المولاس يمكن أن يؤدي إلى إنتاج كمية من الخميرة والصبغة تعادل ضعف الكمية المنتجة من بيئة صناعية

تحتوي على نفس سكريات المولاس وبنفس التركيز. لقد أثبتت نتائج هذه الأبحاث أن المولاس بتركيبته المعقدة يقدم عناصر غذائية ذات قيمة كبيرة بالنسبة لتصنيع صبغة أستاكسانثين بواسطة الخميرة. ولقد وجد هؤلاء العلماء أن صبغة أستاكسانثين زاد تركيزها من ٥٠٠ ميكروجرام/ جرام خلايا جافة إلى ١٠٠٠ ميكروجرام/ جرام خلايا جافة، وذلك عند زيادة تركيز المولاس من ١٪ إلى ١٠٪ (حجم/ وزن) في بيئة الإنتاج. لقد لاحظ العلماء أن زيادة تركيز الجلوكوز في البيئات الصناعية عن ٤٪، يؤدي في كثير من الأحوال إلى تثبيط إنتاج صبغة أستاكسانثين ولكن لم يلاحظ هذا التأثير المثبط للسكريات عند استخدام المولاس كمادة خام. وهناك أمثلة أخرى كثيرة ، توضح أن المولاس، بيئة واعدة لإنتاج صبغة أستاكسانثين، بواسطة خميرة *Phaffia rhodozyma*. وجدت An ومساعدوها سنة ٢٠٠١م في دراسة أخرى على استخدام المولاس أن أحسن بيئة لإنتاج صبغة أستاكسانثين من المولاس تتكون من ٥٪ مولاس، ٣٠ جرام يوريا/ لتر، و ٥ جرامات فوسفات أحادي الصوديوم/ لتر ، مع ضبط رقم الـ pH إلى ٤.٩ خلال مراحل النمو الأولى ثم يكون رقم الـ pH من ٢،٦ إلى ٣،٥ خلال مرحلة ثبات النمو، وقد وجد هؤلاء العلماء أن البيئة السابقة تعطي كتل حيوية من الخميرة مقدارها حوالي ٣٦ جرام/ لتر.

كما درس العلماء أيضاً استخدام راشح الشرش كبيئة لنمو خميرة Phaffia rhodozyma، وإنتاج صبغة أستاكسانثين. وقد وجد أنه عندما يضاف إنزيم اللاكتيز التجاري (٠،٠٠٣٪ حجم/ حجم) إلى بيئة الشرش تحت ظروف مثلى من درجتي الحرارة والـ pH فإن الإنزيم يحلل اللاكتوز ولا يؤثر على نمو الخميرة . وقد وجد أن

الخميرة تنمو ببطئ على هذا اللاكتوز المتحلل، ولم تفلح إضافة الأمونيا والأملاح غير العضوية في زيادة معدل نمو الخميرة. لكن إضافة مستخلص الخميرة (٠،٢٪ وزن/ حجم) ، مع أو بدون هذه الأملاح تؤدي إلى زيادة كبيرة في سرعة نمو الخميرة وكمية صبغة أستاكسانثين المنتجة . ولقد خلص العلماء إلى أن الظروف المثلى لنمو الخميرة وإنتاج الصبغة من بيئة الشرش هي :

١- شرش يحتوي على تركيز عالي من اللاكتوز (حتى ١١٪) .

٢- كمية كبيرة من اللقاح .

٣- إضافة إنزيم اللاكتيز بالتدريج أثناء التخمير .

٤- إضافة مستخلص الخميرة .

٥- ظروف مثلى من حيث درجات التهوية، والحرارة والـ pH .

الجدير ذكره أن خميرة *Phaffia rhodozyma*، لا تستطيع أن تمثل سكر الجلاكتوز الناتج من تحلل اللاكتوز ، وأن هذا السكر يتبقى كما هو في البيئة بعد انتهاء عملية الإنتاج .

تتكون البيئات الصناعية المناسبة لنمو خميرة *Phaffia rhodozyma* والتي تعطي أعلى إنتاج من صبغة أستاكسانثين ، من ٢٥ جرام جلوكوز، ٤ جرام مستخلص خميرة، ١ جرام يوريا، و ٠،٣ جرام فوسفات أحادي الصوديوم وذلك لكل لتر ماء مقطر ينخفض إنتاج صبغة أستاكسانثين في غياب اليوريا ، أو فوسفات أحادي الصوديوم. وقد وجدت An ومساعدوها سنة ١٩٩٦م أن زيادة تركيز الجلوكوز إلى ٨٠ جرام / لتر، وزيادة تركيز اليوريا إلى ٦،٨ جرام/ لتر أدى إلى إنتاج كتل حيوية من الخميرة

تزيد عن ٤٠ جرام لكل لتر ، وتحتوي على ١٪ من صبغة أستاكسانثين .

يأمل العلماء في استخدام المخلفات الزراعية وتحويلها بالكامل إلى منتجات ذات قيمة . والتصنيع الزراعي بصفة عامة يتخلف عنه كميات كبيرة من المواد الصلبة، فعلى سبيل المثال فإن تصنيع كل بوشل (٢٥ كيلو جرام) من الذرة في إنتاج المحليات، الزيت، أو الإيثانول، يتخلف عنهم ٧ كيلوجرام من الألياف الغنية جداً بالمواد البروتينية. هذه المواد تباع كعليقة للحيوانات بسعر منخفض جداً . وعلى الرغم من أن ألياف هذه المخلفات مقاومة لفعل إنزيمات الهضم التجارية، إلا أن مخلوط الإنزيمات الخام التي تنتجها الميكروبات يمكن أن تحللها جزئياً وينتج منها كميات معتبرة من السكريات القابلة للتخمر. هذه السكريات يمكن أن تكون بيئة جيدة لإنتاج مواد ذات قيمة. استخدم Leathers سنة ٢٠٠٣م المخلفات الناتجة من تصنيع الذرة في إنتاج صبغة أستاكسانثين، بواسطة خميرة *Phaffia* rhodozyma وأعطت نتائج مرضية.

(٧,٣,٤) المزرعة المختلطة مع ميكروبات أخرى

Mixed culture with other microorganisms

إن تقطيع أو تحليل جدر خلايا الخميرة الحمراء قبل إضافتها إلى عليق الأسماك أو الدواجن أمر أساسي وضروري لامتصاص هذه الصبغة في أمعاء الحيوانات. وقد جرت محاولات عديدة استخدمت فيها طرق كيماوية وفيزيائية وإنزيمية بغرض تحليل جدر خلايا خميرة *Phaffia rhodozyma* قبل إضافتها إلى العلائق ، وكان لكل طريقة عيوب ومميزات .

نميت بكتيريا *Bacillus circulans* في بيئة تحتوي على جدر خلايا خميرة *Phaffia rhodozyma* ، في محاولة لتحسين هضم خميرة *Phaffia rhodozyma*، وجعل صبغة أستاكسانثين ميسرة أثناء تغذية الأسماك والدواجن، ووجد أن بكتيريا *Bacillus circulans* تنتج معقد إنزيمي يمكنه أن يحلل جدر خلايا خميرة *Phaffia rhodozyma* بالكامل. ولقد وجد أن تحضين هذا المعقد الإنزيمي لمدة ١٢ ساعة مع خلايا خميرة *Phaffia rhodozyma* وهي في طور النمو اللوغاريتمي تنج عنه تحليل كامل لجدر هذه الخلايا . وقد استنتج العلماء أن بكتيريا *Bacillus circulans*، تنتج إنزيمات جلوكانيز بيتا–(١–٦) و بيتا–(١–٣) ، فقط عندما تنمو في بيئة تحتوي على جدر خلايا خميرة *Phaffia rhodozyma*، وأن هذه الإنزيمات تلعب الدور الرئيسي في تحليل جدر خلايا الخميرة.

ولقد درس العلماء الظروف المثلى التي تؤدي إلى إنتاج أكبر كمية من هذه الإنزيمات، حيث يتم تحضير بيئة لها درجة pH تتراوح بين ٦،٢ و ٦،٨ ثم تلقح هذه البيئات بالبكتيريا والخميرة معاً بحيث يكون حجم لقاح البكتيريا أربعة أضعاف حجم لقاح الخميرة ويتم تغذية البيئة ببطئ بسكر الجلوكوز. تنمو في هذه الحالة الخميرة والبكتيريا ثم تصبح جدر خلايا الخميرة مادة أولية لإنتاج إنزيمات التحلل، ثم في خلال ٤٨ ساعة يمكن الحصول على راشح يحتوي على الإنزيمات المحللة لجدر خلايا الخميرة. هذا الراشح يستخدم في معاملة الخميرة التي أنتجت منفصلة عن البكتيريا وذلك قبل تقديمها كوجبة غذائية للأسماك أو الدواجن .

يتضح مما سبق أن إنتاج صبغة أستاكسانثين من الناحية النظرية يتكون من

عمليتين، العملية الأولى هي إنتاج الإنزيمات المحللة لجدر خلايا الخميرة عن طريق تنمية الميكروبين معاً بالطريقة التي تم شرحها ، والعملية الثانية هي تنمية الخميرة وحدها والحصول على أكبر قدر ممكن من الكتلة الحيوية لهذه الخميرة ، ثم بعد ذلك يضاف مخلوط الإنزيمات التي تم الحصول علية إلى الكتل الحيوية للخميرة وذلك قبل أن تقدم للحيوانات.

هذا من الناحية النظرية، أما من الناحية العملية فلم يكن من الممكن اقتصاديا أن يتم إنتاج صبغة أستاكسانثين في عمليات منفصلة ولذلك بذلت مجهودات كبيرة حتى أمكن إنتاج هذه الصبغة في عملية واحدة ولكنها مكونة من مرحلتين، وقد طبقت هذه التقنية منذ سنوات قليلة. في هذه التقنية يتم تنمية الخميرة الحمراء *Phaffia rhodozyma* وحدها في تخمر متقطع، ويمكن بالطبع تحسين إنتاج الخميرة حيث إن الميكروب ينمو وحدة ومن ثَم تراعى ظروف النمو والمتطلبات الغذائية، حتى يتم الحصول على أكبر كمية من الكتل الحيوية للخميرة وهذه هي المرحلة الأولى. أما المرحلة الثانية فتشمل إضافة بكتيريا *Bacillus circulans* إلى نفس المخمر المحتوي على الكتل الحيوية للخميرة ثم تراعى أيضاً ظروف النمو والمتطلبات الغذائية للبكتيريا من حيث مصدر النيتروجين، والكربون الميسر، ودرجة الحرارة..الخ ثم يسمح للتخمر أن يستمر لفترة تسمح بنمو كافي للبكتيريا وبالتالي إنتاج الإنزيمات التي تحلل جدر الخميرة بشكل جزئي أي، ليس من الضروري أن يكون التحلل بشكل كامل حيث أن مجرد حدوث تمزق Disruption لجدار الخلية يجعل الحيوانات قادرة على استخلاص الصبغة عندما تتغذى على هذه الخمائر.

من ناحية أخرى فإن هناك إستراتيجية جديدة تطبق على الميكروبات الصناعية بصفة عامة، وهي إضافة مستخلصات ميكروبات أخرى إلى بيئة إنتاج الميكروب الصناعي محل الاهتمام. فعلى سبيل المثال فإن هناك تقارير تدل على أن عفن *Aspergillus* ينشط إنتاج صبغة بيتا-كاروتين بواسطة ميكروب *Phycomyces blakesleeanus* ، ولكن هذه الاستراتيجية لم تطبق على خميرة *Phaffia rhodozyma* مما دفع Erasun و Johnson سنة ٢٠٠٤م إلى تطبيقها على هذه الخميرة بغرض تنشيط وزيادة إنتاج صبغة أستاكسانثين. وقد قام هذان العالمان بتجربة إضافة أنواع مختلفة من الأعفان إلى بيئة نمو الخميرة عن طريق تلويث المستعمرات النامية على أطباق الآجار بالأعفان، وبعد نموها على نفس الأطباق قد حدثت زيادة ملحوظة من الصبغة في مستعمرات الخميرة النامية قريباً من أحد الأعفان، مما دفعهما إلى تكرار التجربة بطريقة أخرى، حيث تم تنمية هذا العفن في بيئة منفصلة وتم أخذ راشح النمو وأضيف إلى بيئة نمو الخميرة ولوحظت نفس النتيجة وهي الزيادة الملحوظة في إنتاج صبغة أستاكسانثين، بالمقارنة بالعينة الضابطة التي لم يضف إليها راشح العفن. وعندما أخذ راشح الفطر وتم تركيزه وإضافته مرة أخرى إلى بيئة إنتاج صيغة أستاكسانثين، زاد الإنتاج بما يصل إلى ٤٠٪ لكل وحدة وزن جاف من الخميرة. جعلت هذه النتيجة هذان العلمان يبذلان جهداً إضافيا في تعريف هذا الفطر عن طريق الدراسات المورفولوجية والفسيولوجية وتحليل الـ DNA حتى تم تعريفه على أنه فطر *Epicoccum nigrum*. ومن النتائج المدهشة في هذا العمل أن راشح العفن *Epicoccum nigrum* ، أدى إلى تراكم صبغة أستاكسانثين، في طفرات من خميرة *Phaffia*

rhodozyma ، لا تستطيع إنتاج الصبغة، ما جعل هذان العالمان يسجلان هذا العمل كبراءة اختراع ويدعوان إلى تطبيقه على المستوى الصناعي لإنتاج صبغة أستاكسانثين بواسطة خميرة *Phaffia rhodozyma*.

(٧,٣,٥) عزل طفرات منتجة لتركيز عالي من صبغة أستاكسانثين

Isolation of high astaxanthin-producing mutants

على الرغم من أن المواد معقدة التركيب مثل المولاس، تعتبر بيئات واعدة لزيادة نمو خميـرة *Phaffia rhodozyma* وإنتاج صبغة أستاكسانثين، إلا أن علوم تقنية الخمائر توصلت إلى طفرات من هذه الخميرة يمكن أن تعطي إنتاج عالي من الصبغة، يزيد عن ١٪ من الوزن الجاف للخلايا. وقد تم تجربة كثير من المواد المطفرة، ووجد أن بعضها ملائم للحصول على طفرات جيدة، في حين أن بعضها غير ملائم لذلك. فعلى سبيل المثال، وجد أن الأشعة فوق البنفسجية غير ملائمة للحصول على طفرات، جيدة من الخميرة، حيث أنها تؤدي إلى قتل الخلايا بدرجة عالية جداً، كما لا ينتج عنها طفرات لها ثبات وراثي. ومن ناحية أخرى وجد أن مادة N-Methyl-N-nitro-nitrosoguanidine والتي تسمى اختصاراً NTG ، هي أحسن المواد المطفرة بالنسبة لخميرة Phaffia rhodozyma. هذه المادة ينتج عنها طفرات ذات قدرة عالية وثابتة على إنتاج الصبغة، بعد تكرار استخدامها عدة مرات. كما تم أيضاً الحصول على طفرات باستخدام مثبطات إنزيمات سلسلة التنفس، ولكنها لم تكن طفرات جيدة، حيث أعطت معدلات منخفضة من إنتاج صبغة أستاكسانثين. وفي نفس المجال ذكر وجد

أن تنمية خميرة *Phaffia rhodozyma* ، في أطباق تحتوي على بيئة أجار-المولت، ومضاف إليها ٥٠ ميكرومول من المضاد الحيوي أنتيميسين، ينتج عنها مستعمرات لها شكل مورفولوجي غير عادي، وتتراكم في خلاياها كميات كبيرة من الصبغة، بعد شهرإلى شهرين من بداية النمو. كما أن بعض الطفرات الجيدة التي أمكن الحصول عليها باستخدام مادة NTG ، تنتج كميات كبيرة من الصبغات، بالمقارنة بالسلالة الأم، فعلى سبيل المثال فإن السلالة ant-1-4، تنتج كمية من الصبغة تزيد عن ١٣٠٠ ميكروجرام / جرام خميرة على أساس الوزن الجاف، في حين أن إنتاج السلالة الأم لا يزيد عن ٤٥٠ ميكروجرام / جرام خميرة على أساس الوزن الجاف. أما بالنسبة للطفرات الناتجة عن استخدام المضاد الحيوي أنتيميسين، فعلى الرغم من أنها بطيئة النمو، ولا تنمو بسهولة عند إضافة مواد معينة كمصدر للنيتروجين مثل الجلوتاميت Glutamate، أو الجلوتامين Glutamine، كما تنتج محصول منخفض من الخلايا عند استخدام مواد معينة عديدة كمصدر للكربون، إلا أنها ما زالت جاذبة وتلقي اهتمام الباحثين في مجال صناعة الزراعات المائية، حيث يسود اعتقاد أن هذه الصفات غير الجيدة يمكن تحسينها طالما أن الطفرات ثابتة وراثياً وتنتج كميات كبيرة من الصبغة، وطالما أن أسباب هذه الصفات غير الجيدة أصبحت معروفة تقريباً، وكلها تتعلق بالعلاقة بين المضاد الحيوية وتفاعلات سلسلة التنفس في الخلية.

وفي محاولة لتحسين عملية الإنتاج قام Misawa و Shimada سنة ١٩٩٧م بنقل الجينات المسئولة عن التخليق البيولوجي لصبغات الكاروتين من خميرة *Phaffia rhodozyma* إلى بكتيريا *Escherichia coli* ، ولكن الإنتاج كان منخفضاً مما جعل

العلماء يتراجعون عن هذه الفكرة ويفضلون استخدام العائل الطبيعي لهذه الجينات.

(٧,٤) مزرعة الخميرة لتغذية حيوانات المزرعة

Yeast culture for livestock feeds

(٧,٤,١) استجابة الإنتاج لإضافة مزارع ميكروبية لعلائق المجترات

Production responses obtained from addition of microbial cultures to diets for ruminants

لابد أولاً من الإشارة إلى أن تعريف مزرعة الخميرة لتغذية حيوانات المزرعة حسب الجمعية الأمريكية الرسمية لضبط التغذية Official American Association of Feed Control هو "مزرعة الخميرة المستخدمة في تغذية الحيوان هي منتج جاف يتكون من الخميرة والبيئة التي نميت عليها، تم تجفيفها بطريقة تحافظ على حيويتها". وقد افترض Lyons وآخرون سنة ١٩٩٣م أن خصائص خميرة *Saccharomyces cerevisiae*، من حيث الاستساغة والقدرة على النمو في كرش الحيوان، تجعل هذه الخميرة نموذجية لإنتاج مزرعة الخميرة. كما أن قدرة هذه الخميرة على استهلاك الأكسجين، يساعد على نمو البكتيريا غير الهوائية إجباراً، والتي لها فوائد متعددة في معدة الحيوان. وبالإضافة إلى ذلك فإن الحقيقة التي أصبحت معروفة تماماً عن خميرة *Saccharomyces cerevisiae*، من حيث أنها آمنة وأنه يمكن إنتاج كميات هائلة منها باستخدام مواد خام رخيصة الثمن، تجعل هذه الخميرة جذابة لاستخدامها في تغذية الحيوانات. وهناك كثير من الأبحاث العلمية الحيوية التي توضح أساسيات وقواعد هذا النوع من الغذاء في الحفاظ على صحة الحيوان ورفع جودة اللحوم أو البيض.

توجد حالياً نتائج عدد ضخم من أبحاث التغذية التي تدعم وتؤيد إضافة مزرعة الخميرة إلى غذاء مواشي اللبن، ومواشي اللحم، والأغنام، والماعز، والخيل، والدواجن، والكلاب. ولكن لابد أن نعلم أن استجابة الحيوانات للتغذية على مزرعة الخميرة تختلف باختلاف نوع الحيوان، تركيب العليقة ، ونوع الخميرة المستخدمة. والجدول رقم (٧,٤) يوضح بعض معايير استجابة بعض حيوانات المزرعة نتيجة تغذيتها على عليقة تحتوي على مزرعة خميرة .

الجدول رقم (٧,٤). استجابة حيوانات المزرعة والدواجن لتدعيم العليقة بمزرعة الخميرة.

التطبيق	الاستجابة
مواشي الألبان	زيادة محصول الحليب
	زيادة محتوى اللبن من الدهون
	زيادة محتوى اللبن من البروتين
مواشي اللحم	زيادة الوزن بدرجة أسرع
	زيادة فائدة الوجبة الغذائية
الخيل	زيادة هضم الألياف
	زيادة هضم الفوسفور والكالسيوم
	سرعة نمو المهر الصغير
الدواجن	زيادة قوة قشرة البيض
	زيادة نسبة الفقس في البيض

المصدر: Rose and Harrison (1993)

obeikandl.com

باختصار يمكن القول أن مزرعة الخميرة تلعب دور هام في زيادة كفاءة تخمر المواد السليولوزية ، وفي زيادة الكتلة الحيوية من الميكروبات في معدة الحيوانات. ومن المعروف أن وجود نظام كفء لهضم المواد السليولوزية، ووجود تصنيع كفء للبروتين الميكروبي، هما اعتباران هامان جداً لصحة الحيوان. ذلك لأن هضم المواد السليولوزية الجيد، يمد الحيوان بالطاقة في صورة أحماض دهنية طيارة، كما أن وجود البروتين في صورة كتل حيوية من الميكروبات، ثم تكسير هذا البروتين يمد الحيوان بالأحماض الأمينية اللازمة. ومفتاح الحصول على هضم جيد للمواد السليولوزية هو كفاءة عملية التخمر في القناة الهضمية.

وعلى أية حال تختلف كفاءة هذه التخمرات حسب عوامل كثيرة مثل أنواع العلائق المختلفة ونسبة القش إلى الحبوب في تركيب هذه العلائق. فإذا كانت العليقة تحتوي على نسبة كبيرة من الحبوب، فهذا يعني وجود تركيز عالي من النشا، وهو مادة غنية بالطاقة ينتج عنها تخمر سريع، وإنتاج أحماض عضوية ، وانخفاض في رقم الـ pH. وعلى العكس من ذلك، يتخمر السليلوز والمواد الكربوهيدراتية البنائية الأخرى في العليقة ببطء مع تغير أقل في رقم الـ pH في بيئة المعدة. تؤثر كذلك الاختلافات في أنماط التغذية ، مثل تقديم العلف والحبوب في صورة مطحونة مختلطة مع بعضها أو تقديمها منفصلة للحيوان، على أنماط التخمر في معدة الحيوان. وفي كل الحالات فإن الخميرة المضافة، توفر العناصر الغذائية والفيتامينات اللازمة لنمو ميكروبات تكسير مواد العلف المختلفة. ومدى توفر الظروف المناسبة التي تجعل الخميرة تقوم بوظيفتها،

له أهمية كبيرة في فهم مقدرة هذه الخميرة على تحسين إنتاج الحليب أو اللحم.

إن الاستجابة المفيدة المتحصل عليها نتيجة إضافة ميكروبات لبيئة الكرش تركزت على نشاط مزرعة خميرة *Saccharomyces cerevisiae* عندما استخدمت كمدعم لعلائق الأغنام أو الماشية. ويبدوا أن مفتاح التأثيرات المفيدة لإضافة خميرة حية إلى أغذية الحيوانات، يعود إلى مقدرتها على أن تبقى نشطة في المعدة من الناحية الميتابوليزمية. فقد وجد Dawson و Newman سنة ١٩٨٨م أن الخميرة *Saccharomyces cerevisiae* زاد عددها في الوجبة المكونة من ٧٥٪ علف، و٢٥٪ مركزات بمقدار ٣ إلى ٦ مرات مقارنة بعدد خلايا الخميرة الحية في مزرعة الخميرة المضافة لهذه الوجبة، ما يدل على تكاثر الخميرة في الوجبة، ولكن لم يتمكن هؤلاء الباحثون من ملاحظة تكون براعم للخميرة عندما وصلت الوجبة الغذائية إلى معدة الحيوان، وقد فسروا ذلك بأن النشاط التكاثري للخميرة في المعدة كان منخفضاً ، ولكن لم يؤكدوا أنه كان منعدماً. من ناحية أخرى فقد أكد كثير من العلماء أن الخميرة تظل حية وتتكاثر في معدة الحيوان .

ومن أحسن المصادر التي يمكن الحصول منها على معلومات بخصوص تأثير مزرعة الخميرة الحية على زيادة الإنتاج ، ما نشره Huber ومساعديه من الولايات المتحدة الأمريكية سنة ١٩٨٩م ، و Gunther من ألمانيا في نفس السنة. لقد وجد Huber أن إنتاج الحليب من الأبقار التي أضيف إلى غذائها مزرعة الخميرة زاد بمقدار ١،٢

لتر/ يوم. إن إضافة مزرعة الخميرة تساعد مساعدة معنوية في هضم العليقة مما يجعل الحيوان يقبل على الغذاء وينتج عن ذلك زيادة في المقدار الممتص من العناصر الغذائية، تمد الحيوان بالطاقة اللازمة لإنتاج اللبن. ولكن علماء تغذية الحيوان يربطون بين استجابة الحيوان المتوقعة وبين المقدار الممتص من الغذاء بالإضافة إلى الحالة الهامة لجسم الحيوان. ولذلك فإن الأبقار التي لها جسم ضعيف أو هزيل ، سوف تستخدم جزء من المقدار الممتص من العناصر الغذائية في بناء أنسجة الجسم قبل أن تظهر الاستجابة في شكل زيادة إنتاج اللبن .

وقد وجد أن أثر مزرعة الخمير الحية يظهر بشكل أوضح عندما تكون العليقة محتوية على عناصر غذائية مركزة، فعلى سبيل المثال عندما تم تغذية عجول أبقار اللحم على عليقة تحتوي على بروتين مركز وكان الوزن الأصلي لكل منها، حوالي ٢٤٠ كجم، اكتسب كل منها حوالي ١٩٪ زيادة في الوزن نتيجة إضافة مزرعة الخميرة الحية بالمقارنة بالعجول التي قدم لها نفس العليقة ولكن لم يقدم لها مزرعة الخميرة الحية.

يمكن الحصول على مزيد من المعلومات من الجدول رقم (٧,٥)، الذي يوضح الأوزان المكتسبة نتيجة إضافة الخميرة إلى العلائق العادية لعجول اللحم. كما وجد أيضاً أن كفاءة تحويل الأغذية أي كفاءة تمثيل الأغذية وتحويلها إلى لحم أو حليب تزداد زيادة معنوية نتيجة إضافة مزرعة الخميرة.

الجدول (٧,٥). الوزن المكتسب لعجول اللحم نتيجة إضافة ١٠٠ جرام مزرعة خميرة إلى العليقة / يوم/ عجل.

	٢٨ يوماً		٨٤ يوماً		١٢٠ يوماً	
	كنترول	مزرعة خميرة حية	كنترول	مزرعة خميرة حية	كنترول	مزرعة خميرة حية
متوسط الوزن المكتسب (كجم/يوم)	١,٠٨	١,٠٩	٠,٨٣	٠,٨٩	٠,٦٨	٠,٨٢
متوسط الغذاء الممتص (كجم/يوم)	٥,٦٥	٥,٦٣	٦,٢٥	٦,٢٩	٦,٣٧	٦,٦٥

المصدر: Lyons et al (1993)

(٧,٤,٢) تأثير مزارع الخميرة على هضم الوجبة

Effect of yeast cultures on digestibility of the diet

يتطلب التحويل الأمثل للأغذية إلى لبن أو لحم أن تؤدي عملية الهضم إلى استخلاص الحد الأقصى من العناصر الغذائية الموجودة في الغذاء. إلا أنه في حالة الأبقار التي تنتج كميات كبيرة من اللبن فلابد وأن يكون هناك توازن ما بين معدل الهضم وكمية أو مدى حدوث الهضم، حيث أن غذاء هذه الحيوانات يحتوي على كميات كبيرة من الألياف التي تتخمر بمعدل بطيء. ومن أجل تقصير المدة اللازمة لإضافة كميات من الأغذية، فلابد من أن تتخلص البقرة من مخلفات الوجبات السابقة. وعلى الرغم من أن تعرض الألياف للميكروبات القادرة على تحليلها، لفترة أطول في القناة الهضمية ، قد يزيد من الحد الأقصى لعملية الهضم، فإن إزالة المخلفات المهضومة جزئياً، تؤدى إلى جعل الأبقار تأكل كميات أكبر، وهذا يؤدي إلى حصول

الأبقار على كميات أكبر من المواد الغذائية اللازمة لإنتاج اللبن ، وبالتالي يؤدي إلى إنتاج كميات أكبر من اللبن. ولقد قام Offer سنة ١٩٩٠م بعدة تجارب لتحديد تأثير الخميرة الحية على معدل الهضم وكيف تساعد في زيادة كمية الغذاء الذي تأكله الحيوانات المجترة .

وقد تلخصت نتائج أبحاث هؤلاء العلماء في أن الخميرة الحية تؤدي إلى زيادة سرعة هضم الوجبات الغذائية خلال اثني عشر ساعة من تقديم الوجبة. وقد كان ذلك واضحاً بدرجة أكبر في الوجبات التي تتكون من القش أو من خليط القش والشعير، كما أن وجود الخميرة مع بعض المواد المدعمة للعليق أدى إلى تلافي التأثير السلبي للشعير. كذلك خلص العلماء إلى أن وجود الخميرة الحية، يؤدي إلى اختزال الوقت اللازم لكي تبدأ عملية هضم المواد السليولوزية، وهذا بدورة يؤدي إلى اختزال المدة الزمنية بين الوجبات، مما يجعل الحيوانات تقبل على تناول كميات أكبر من الغذاء. وتختلف المدة الزمنية اللازمة لهضم المواد السليولوزية في كرش الحيوان باختلاف سلالة الخميرة الحية المقدمة مع الوجبة ولكن في كل الحالات ولأسباب ما زالت مجهولة، فإن مستخلص الخميرة لا يؤدي دور الخميرة الحية، حيث لا تحدث استجابة بالنسبة لسرعة لهضم المواد السليولوزية نتيجة إضافة مستخلص الخميرة .

(٧,٤,٣) تغير أنماط تخمرات الكرش ونمو الميكروبات نتيجة وجود الخميرة الحية

Changes in rumen-fermentation patterns and microbial growth in response to live yeast culture

من الناحية العملية فإن كل الأعمال التي تناولت تأثيرات الخميرة الحية في

كرش الحيوان شملت تقدير تركيزات ونسب الأحماض الدهنية الطيارة Volatile fatty acids (VFAs) كدليل على النشاط الميكروبي. ولقد وجد Williams ومساعدوه سنة ١٩٩١م أن مزرعة الخميرة الحية تؤثر بشكل معنوي جداً على نسبة حامض الخليك إلى حامض البروبيونك في الكرش. وقد وجد هؤلاء العلماء أن هذا التأثير يرتبط بموعد أخذ العينات بعد التغذية على وجبة تحتوي على ٥٠٪ قش، و٥٠٪ شعير. وقد انخفضت نسبة حامض الخليك إلى حامض البروبيونك (٣,٤ إلى ٢,٨) في وجود مزرعة الخميرة ولكن تداخل عامل الزمن أوضح أنه عندما يزيد تركيز الـ VFAs بسبب التخمر السريع للشعير، ينخفض التغير في النسبة الذي تحدثه الخميرة. ومن المعروف أن كفاءة ميكروبات الكرش في تخمير المواد الغذائية ترتبط بإنتاج غاز الميثان. وقد وجد العلماء أن تدعيم الوجبة الغذائية للحيوان بمزرعة الخميرة الحية يؤدي إلى خفض إنتاج الميثان من ٣٩,٥ إلى ٣٥,٢ لتر/ يوم. ورغم أنه انخفاض بسيط إلا أنه معنوي كما ذكر Williams ومساعدوه سنة ١٩٩١م. ولا شك أن انخفاض كمية الميثان المنتجة يعتبر أمر إيجابي بالنسبة لمربي الحيوان، ذلك لأن إنتاج الميثان يمكن أن يستهلك نسبة تصل إلى ١٢٪ من طاقة الوجبة الغذائية. ولعل دور الخميرة في ذلك يكمن في دورها في تحويل نمط التخمر بحيث تنتج كمية أقل من حامض الخليك الذي يعتبر المادة الأولية الهامة لإنتاج الميثان. أما بالنسبة لزيادة أعداد ميكروبات الكرش الأخرى كنتيجة لتدعيم الوجبة الغذائية بمزرعة الخميرة الحية فقد تناولها كثير من الباحثين الذين لاحظوا زيادة كبيرة في عدد البكتيريا المحللة للسليلوز، وكذلك عدد البكتيريا اللاهوائية نتيجة تدعيم الوجبة الغذائية بالخميرة الحية (الجدول رقم ٧,٦). وبالنسبة

لزيادة عدد بكتيريا السليلوز في كرش الحيوانات نتيجة إضافة الخميرة الحية إلى الوجبة الغذائية فإن كثير من العلماء وجد نفس النتيجة عندما أضيفت الخميرة غير النشطة إلى الوجبة الغذائية .

والحقيقة أن تنشيط معدل نمو الميكروبات في كرش الحيوانات لـه تـأثير إيجـابي بالنسبة لمربي الحيوانات. فهذه الميكروبات تعتبر مصدر جيد للبروتـين الميسر بالنـسبة للحيوان، حيث لوحظ زيادة في البروتين الميكروبي في منطقة الاثنى عشر نتيجة إضافة الخميرة الحية إلى العليقة. وفي دراسات كثيرة لوحظ أن إضافة الخميرة الحية إلى عليقـة الحيوان تؤدي إلى زيادة انتقال المواد البروتينية من كرش الحيوان إلى مناطق أخرى من الجسم. كما أن وجود الخميرة يؤدي إلى تغيير في أنواع ونسب الأحماض الأمينية المكونة للبروتين خارج الكرش، حتى أن كثير من الباحثين يعتبرون أن وجود الخمـيرة الحيـة هو الذي يحدد أنواع الأحماض الأمينية للبروتين الميكروبي في المناطق التي ينتقـل إليهـا بعد الأمعاء الدقيقة، كما أن وجود الخميرة يؤدي إلى تغيير في أنواع ونـسب الأحمـاض الأمينية المكونة للبروتين خارج الكرش.

الجدول رقم (٧,٦). تأثير مزرعة الخميرة الحية على تركيز الخميرة وأنواع معينة من البكتيريا في كرش الحيوانات المجترة التي تم تغذيتها على عليقة خشنة.

نوع الميكروب	نوع التدعيم	
	لا شيء	خميرة حية
الخميرة (لوغاريتم عدد الخلايا/مل)	٠,٢١	١,٢٣
البكتيريا اللاهوائية (لوغاريتم عدد الخلايا/مل)	٨,٨٥	٩,٥٤
بكتيريا السليلوز (لوغاريتم عدد الخلايا/مل)	٧,٢٩	٨,٢٠

المصدر: Lyons et al (1993)

إن المعلومات الخاصة بالدور الذي تلعبه الخميرة في تركيب الأحماض الأمينية المكونة للبروتين هي معلومات مثيرة، وجديدة، وسوف تلقى اهتمام كبير، من العلماء ذوي التخصصات المختلفة في المستقبل القريب.

ولا شك أن تنشيط تصنيع البروتين الميكروبي في حد ذاته دون النظر إلى أنواع الأحماض الأمينية السائدة، يعتبر من العوامل الهامة التي لها دور أساسي في نظم إنتاج اللحم، حيث أن الكرش بدون وجود هذا العدد من الميكروبات، لا يوفر بصفة دائمة العناصر الغذائية اللازمة للحصول على الحد الأقصى من الإنتاج. إن الوصول إلى طريقة لتحسين تصنيع البروتين الميكروبي عن طريق تنشيط النمو الميكروبي في الكرش سوف يكون له أهمية كبيرة في سد الاحتياج إلى أحماض أمينية معينة في لحوم الحيوانات عالية الإنتاج.

(٧,٤,٤) تأثير مزرعة الخميرة على رقم pH الكرش

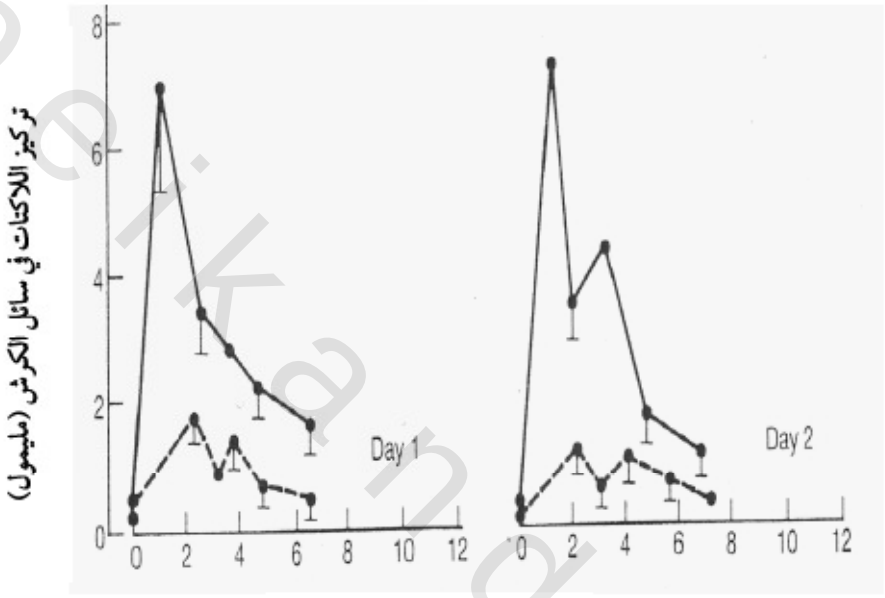
Effect of yeast culture on the rumen pH value

اهتم العلماء بشكل كبير بتأثير الخميرة المضافة للوجبة الغذائية على رقم الـ pH، وقام كثير منهم بمتابعة قيم الـ pH في كروش الحيوانات التي تضاف إلى علائقها، مزرعة الخميرة الحية لمدد تتراوح بين ٢٠ إلى ٣٠ يوماً. وقد وجد أنه بعد تقديم وجبة شعير للحيوان مباشرة ولمدة أربعة ساعات يحدث انخفاض كبير في درجة pH الكرش، ولكن مزرعة الخميرة الحية تقلل بدرجة كبيرة من حدة هذا الانخفاض خلال الأربعة ساعات الأولى من تقديم الوجبة. وقد أشارت معظم الدراسات إلى أن

دور الخميرة في زيادة درجة الـ pH يكون واضح فقط خلال الأربعة ساعات التي تلي إضافة الوجبة الغذائية . أما بعد هذه الأربعة ساعات وحتى موعد تقديم الوجبة التالية فلا يكون هناك دور واضح للخميرة الحية في رفع قيمة الـ pH. وقد أشارت معظم الدراسات إلى أن الخميرة الحية يمكنها أن ترفع درجة الـ pH من حوالي ٦,٣ إلى حوالي ٦,٧ . وهذه الخاصية تعتبر جيدة وإيجابية بالنسبة للقدرة الإنتاجية للحيوان، ولكن ما زالت هناك حاجة لإجراء مزيد من الدراسات في هذا المجال وما هي السبل التي تزيد من كفاءة هذه الخاصية بالنسبة للخميرة الحية. وينخفض رقم الـ pH في الكرش إما بسبب تركيز الأحماض الدهنية الطيارة، وإما بسبب وجود أحماض أخرى غير الثلاث أحماض دهنية الرئيسية (الخليك، البروبيونك، والبيوتيرك) مثل حامض اللبن . و ينخفض رقم الـ pH بدرجة كبيرة في حالة وجود كميات كبيرة من حامض اللبن. وقد ثبت بما لا يدع مجالاً للشك أن الخميرة الحية تؤدي إلى انخفاض كبير في كمية حامض اللاكتيك في الكرش كما يتضح من الشكل رقم (٧,١) .

وكما يتضح من الشكل فإن الخميرة تمنع حدوث ارتفاع مفاجئ في كمية حامض اللاكتيك، كما يحدث بعد ساعتين من إضافة الوجبة الغذائية بدون مزرعة خميرة حية. يفسر هذا مقدرة الخميرة الحية على خفض رقم الـ pH. وحيث أن حامض اللاكتيك لا يعتبر مادة أولية بالنسبة للخميرة *Saccharomyces cerevisiae* ، أي أن هذه الخميرة لا تمثل هذا الحامض، فلابد من وجود آلية أخرى تتبعها الخميرة لخفض كمية حامض اللاكتيك في الكرش. تساهم هذه الآليات الأخرى في خفض إنتاج حامض اللاكتيك أو استهلاكه بواسطة كائنات أخرى، حيث أظهرت التجارب المعملية أن

الخميرة تساعد بدرجة معنوية جداً على استهلاك حامض اللاكتيك بواسطة ميكروب الكرش *Selenomonas ruminantium*.



الشكل رقم (٧,٢). تأثير مزرعة الخميرة على تركيز اللاكتات في كروش العجول التي تم تغذيتها على شعير وقش (٥٠:٥٠ على أساس الوزن الجاف) بمعدل مرتين يوميا). خط متصل بدون خميرة، خط متقطع مع ٨ جرام خميرة في اليوم.

المصدر: Lyons et al (1993)

من ناحية أخرى تتوقف سيادة السكريات الأوليجية التي تتكون من وحدات من السكريات السداسية غير قابلة للهضم بسهولة،في كرش الحيوان على تركيب

الوجبة الغذائية، كما تتوقف على مدى وجود الخميرة الحية في الكرش. تتواجد هذه السكريات بتركيز عالي في كرش الحيوان عندما تتم التغذية بوجبات تحتوي على الشعير ، بالمقارنة بالوجبات التي تحتوي على القش فقط. أما بالنسبة لدور الخميرة في مدى سيادة السكريات الأوليجية فقد أثبتت جميع الأبحاث التي أجريت في هذا الصدد أن الخميرة الحية تختزل مستويات هذه السكريات بشكل معنوي جداً. وعلى أية فما زالت هناك حاجة ماسة لمعرفة حقيقة الدور الذي تقوم به الخميرة والذي يؤدي إلى اختفاء السكريات الأوليجية من كرش الحيوان .

(٧,٥) استخدام مزرعة الخميرة في مجال صحة الإنسان

Yeast culture and human health

(٧,٥,١) الصفات العلاجية للخمائر

Therapeutic properties of yeasts

يمكن أن تكون الخمائر مصدر جيد لكثير من المنتجات العلاجية التي تبدأ من الفيتامينات إلى الهرمونات. والخميرة سواء كانت في صورة مجففة أو في صورة مستخلص هي مصدر ممتاز لفيتامين ب المركب ويشمل ذلك الريبوفلافين والثيامين والكاروتينات وغيرها، كما تنتج الخمائر فيتامين د٣ والفانوكسينين والمواد الممهدة لإنتاج كثير من الفيتامينات الأخرى. كما أن الـGlycan وهو ناتج ثانوي ينتج أثناء تصنيع مستخلص الخميرة يضاف إلى الأغذية كمصدر للبروتين. كما تعتبر الخمائر مصدر جيد للحصول على الأحماض النووية، وقد ثبت أن الحامض النووي RNA له صفات علاجية هامة. كما أن كثير من المراهم المستخدمة في علاج جروح الجلد عبارة

عن منتجات مستخلصة من الخمائر. كما تستخدم بعض مرافقات الإنزيمات التي تنتجها الخميرة مثل مرافق الإنزيم A في الكشف المبكر عن مرض السرطان. وهناك أنواع كثيرة من الخمائر تستخدم في إنتاج البروتينات الغير متجانسة Heterologous proteins والتي لبعضها خصائص علاجية عظيمة مثل الإنترفيرون وبعض مولدات المضادات المستخدمة في إنتاج الفاكسينات وعوامل نمو البشرة المستخدمة في إسراع شفاء الجروح التي قد تحدث في القرنية والحالات المشابهة والأنسولين البشري وعوامل نمو الألياف الخلوية وعوامل نمو الصفائح الدموية ومنشطات البلازما ومنتجات أخرى كثيرة. وتنتج الخميرة كثير من الإنزيمات بعضها لها خواص علاجية . وقد تستخدم الخمائر كوجبات خاصة للمرضى كأن تستعمل كمصدر لعنصر الكروم اللازم لمرضى البول السكري.

ويعتبر بروتين الخميرة عالي الجودة رغم أنه ينقصه الأحماض الأمينية المحتوية على كبريت (ميثايونين). ورغم أن بروتين الخميرة لا يتساوى مع البروتين الحيواني إلا أن نقص بعض المكونات الهامة به يمكن تعويضها عن طريق تحضير وجبات مختلطة من عدة أنواع من هذا البروتين .

وتستخدم الخميرة في الحصول على إنزيم بيتا ـ جلاكتوسيديز الذي يستخدم في إزالة سكر اللاكتوز من الحليب ليستخدمه الأشخاص الذين ليس لديهم القدرة على احتمال سكر اللاكتوز. كذلك فإن الحليب المزال منه اللاكتوز أو الأيس كريم المصنوع من هذا الحليب لا يكون بلورات عند حفظه بالتجميد.

وفيما يلي نتناول أهم الخمائر التي تندرج تحت ميكروبات البروبيوتكس :

(٧,٥,٢) الخميرة Saccharomiyces boulardii

كان عالم الميكروبيولوجي الفرنسي Henri Boulard في سنة ١٩٢٣م يبحث في الهند الصينية عن سلالة خميرة مقاومة لدرجة الحرارة المرتفعة وذلك لاستخدامها في أنواع معينة من التخمرات. ولاحظ Boulard أن السكان الأصليين يتناولون شراب معين يؤدي إلى علاجهم من الإسهال المعوي . كان يتم تحضير هذا الشراب بنقع قشور ثمار الأشجار الاستوائية مثل شجرة الـ Mangosteen التي تتميز بنكهة مماثلة لنكهة الأناناس. كان الناس يشربون منقوع هذه القشور فتتوقف حالات الإسهال لديهم . وقد استطاع Boulard أن يعزل العامل المسئول عن إيقاف الإسهال من على أسطح هذه القشور ووجد أنه نوع من أنواع الخمائر أطلق عليه اسم *Saccharomyces boulardii*. وهكذا استطاع هذا العالم أن يخلد اسم عائلته وأن يجعله اسماً محبوباً لدى مرضى الإسهال على الدوام.

وخميرة الـ *Saccharomyces boulardii* عبارة عن تحت جنس Subspecies لخميرة الخبيز المعروفة *Saccharomyces cerevisiae*. وقد أثبت العلماء في الولايات المتحدة الأمريكية أنها لا تختلف من الناحية الوراثية عن خميرة الخبيز *Saccharomyces cerevisiae*. وعلى ذلك فقد سجلت الخميرة *Saccharomyces boulardii* في أوروبا تحت اسم *Saccharomyces cerevisiae* إلا أن المنتجين لهذه الخميرة لغرض استخدامها في الأغراض الطبية يصرون على أنها تختلف عن الخميرة *Saccharomyces cerevisiae*. وربما يكون هؤلاء المنتجون على صواب لأنه من المعروف أن خميرة الخبيز *Saccharomyces cerevisiae* لها مدى واسع من درجات حرارة النمو الأمثل، وتنمو

جيداً عند درجة حرارة تتراوح من ١٢ إلى ٢٧°م أما خميرة الـ *Saccharomyces boulardii* فإنها فتنمو جيداً عند درجة حرارة أعلى من ٣٠°م وهي درجة قريبة من درجة حرارة القناة الهضمية للإنسان. تحتوي القناة المعدوية للإنسان على نظام ميكروبي معقد جداً فهناك بلايين من الخلايا البكتيرية تعيش ملتصقة بجدر أوعية الجهاز الهضمي. تجد هذه البكتيريا الغذاء والملجأ في القناة الهضمية وفي المقابل تعطي الجسم فيتامينات ونواتج تمثيل مفيدة كثيرة .

وقد أدرجت الخميرة *Saccharomyces boulardii* بصفة نهائية منذ فترة طويلة نسبياً ضمن ميكروبات المعاونات الحيوية Probiotics، وهي حالياً متاحة في الأسواق في صورة عبوات علاجية لا تستعمر هذه الخميرة القناة الهضمية أي ليست لديها القدرة على الالتصاق بالجدر الداخلية للأمعاء مثل باقي المعاونات الحيوية Probiotics، وهذا يحتم تناولها باستمرار أثناء فترة العلاج. وخميرة *Saccharomyces boulardii* مقاومة بدرجة كبيرة لحموضة المعدة ولذلك تمر من المعدة دون أن تموت في معظم الأحوال. كذلك فإن هذه الخميرة مقاومة جداً للتحلل والموت عن طريق إنزيمات القناة الهضمية . وبمجرد تناول هذه الخميرة عن طريق الفم فإنها سرعان ما تبدأ في تكوين كتل من الخلايا داخل القناة الهضمية. تقوم خميرة الـ *Saccharomyces boulardii* في داخل القناة الهضمية بإفراز كميات كبيرة من حامض اللاكتيك وفيتامين ب المركبة كما أنها تزاحم أنواع الخمائر الأخرى غير الصديقة وغير المرغوب فيها وتؤدي إلى إزالتها وتعطي الفرصة للبكتيريا الصديقة الأخرى في أن تستعمر القناة الهضمية وتمدها بالعناصر الغذائية. ولكن تزال خميرة الـ *Saccharomyces boulardii* من القناة

الهضمية بمجرد التوقف عن تناولها ولذلك فلابد من الاستمرار في تناولها حتى يتم القضاء على المرض الذي تؤخذ من أجله.

وقد استعملت الخميرة *Saccharomyces boulardii* في أوروبا لسنوات عديدة في علاج الإسهال وأثبتت التجارب الطبية كما سيرد ذكره أن لها دور فعال جداً في علاج الإسهال المصاحب لتناول المضادات الحيوية. وقد وجد أن هذه الخميرة تحسن وظائف القناة الهضمية بدرجة كبيرة جداً وذلك عن طريق مقدرتها على القضاء على الطفيليات وعلاج أمراض الأمعاء والقضاء على الخميرة الممرضة *Candida* والبكتيريا الممرضة *Salmonella* والبكتيريا *Pseudomonas* وعلاج إسهال المسافرين وغيره من أنواع الإسهال.

كما أثبتت الدراسات الطبية أيضاً قدرة هذه الخميرة على حماية القناة الهضمية من بكتيريا *Clostridium difficile* التي تحدث التهاب الأغشية المخاطية للأمعاء مسببةً نوع خطير من الإسهال المعوي . كذلك وجد أن الخميرة *Saccharomyces boulardii* تحمي القناة الهضمية من خطر بكتيريا الكوليرا . وقد وجد أن مقدرة هذه الخميرة على حماية القناة الهضمية يعود إلى قيامها بأنشطة عديدة داخل القناة الهضمية أهمها تثبيط السموم المنتجة بواسطة البكتيريا الممرضة وتنشيط مناعة القناة الهضمية وإنتاج عدد من مركبات البولي أمينيز Polyamines الهامة. تعتبر بكتيريا *Clostridium difficile* مسئولة عن ٩٥٪ من الإسهال المتسبب عن التهاب أغشية الأمعاء ومسئولة عن أكثر من ٣٠٪ من الإسهال المتسبب عن تناول المضادات الحيوية. تنتج هذه البكتيريا نوعين من السموم وهما Enterotoxin A، و Cytotoxin B وتقوم الخميرة Saccharomyces

boulardii بإفراز إنزيم البروتييز Protease الذي يحطم النوع الأول من هذه السموم ويمنع تكون النوع الثاني. كذلك من المعروف أن بكتيريا الكوليرا تقوم بإفراز سموم تسمى AMP ويكون لها فعل يسمى Cyclic AMP action مؤداه أنه يمنع الأمعاء من امتصاص الماء الذي تفرزه خلايا التجويف Crypt cells وينتج عن ذلك إسهال شديد. ويقوم نفس إنزيم الـ Protease الذي تنتجه الخميرة *Saccharomyces boulardii* بإيقاف الـ Cyclic AMP action وبالتالي يتم القضاء على الإسهال.

وبالنسبة لتنشيط الجهاز المناعي للخلايا الطلائية للأمعاء فقد ثبت أن الخميرة *Saccharomyces boulardii* تزيد من إفراز الجلوبيولين المناعي IgA و IgG. أما بالنسبة لمركبات الـ Polyamines الهامة التي تنتجها هذه الخميرة فقد وجد أنها تنتج مركبات الـ Spermine والـ Spermidine ولـ Putrescine وهذه المركبات معروفة جيداً بأنها تزيد من صحة الأغشية المخاطية للأمعاء حيث وجد أن هذه المركبات تزيد من نشاط إنزيمات السكريات الثنائية مثل اللاكتيز Lactase والسكريز Sucrase والمالتيز Maltase وهذه الإنزيمات تساعد بدرجة كبيرة في القضاء على الإسهال .

وعلى عكس كثير من المعاونات الحيوية فإن *الخميرة Saccharomyces boulardii* تقاوم كل أنواع المضادات الحيوية بل في الحقيقة أن المضادات الحيوية التي تؤخذ مع هذه الخميرة تزيد من حيويتها حيث أن المضادات الحيوية تقتل الميكروبات الأخرى التي يمكن أن تهاجم هذه الخميرة. أما بالنسبة للأدوية المضادة للفطريات Antifungals فقد وجد أنها تقتل الخميرة *Saccharomyces boulardii* ولذلك فمن المفروض أن تؤخذ الأدوية المضادة للفطريات في وقت مختلف عن الوقت الذي تؤخذ فيه هذه الخميرة.

obeikandl.com

ويعتقد العلماء أيضاً أن وجود الكحول قد يكون فيه خطورة على حياة هذه الخميرة.

وهناك تزايد منذ ثمانينات القرن الماضي في عملية إدخال ميكروبات المعاونات الحيوية إلى الأغذية كملحقات تساعد على الحفاظ على توازن ميكروبات القناة الهضمية وتؤدي الأعمال الصحية السابق الإشارة إليها. ركزت هذه الأعمال في فترتها الأولى على إدخال بكتيريا المعاونات الحيوية المعروفة (*Lactobacillus*، *Bifidobacterium*) إلى الألبان المتخمرة. إلا أن إدخال الخميرة بالذات إلى منتجات الألبان المتخمرة كان وما زال محدوداً (ربما بسبب تأخر اكتشاف صفات المعاونات الحيوية في الخميرة) ، على الرغم من وجود الخميرة الطبيعي في كثير من منتجات الألبان، مما جعل العلماء يدركون أن هناك أعمال خاصة بالخميرة يجب ألا تغفل أكثر من ذلك، وأن البحث عن بادئات جديدة لمنتجات الألبان المتخمرة يجب أن يشمل إدخال مزارع خميرة لها صفات مرغوبة .

وعلى الرغم من أن عملية تخمر الزبادي لا تدخل فيها الخميرة، إلا أن الخميرة تسود عندما يفسد الزبادي، وهذا يوضح قدرة الخميرة على الحياة في اللبن وتمثيل مكوناته. وعلى ذلك فإن الخميرة يمكن أن تنمو في اللبن كثاني أكبر مجموعة ميكروبية بعد بكتيريا حامض اللاكتيك، التي تقوم بتحليل حوالي ٣٥٪ من لاكتوز اللبن إلى جلوكوز وجلاكتوز، ثم تحول الجلوكوز فقط إلى حامض لاكتيك، أما الجلوكوز فستخدمه الخميرة التي ليس لها نشاط تخمري في النمو. بالإضافة إلى ذلك فإن انخفاض رقم الـ pH ، بواسطة بكتيريا حامض اللاكتيك ومقدرة الخميرة على الاستفادة من الأحماض العضوية الناتجة يهيئ ظروف أخرى مناسبة لنمو الخميرة. إن

الغرض من هذا الشرح هو توضيح أن الخميرة يمكنها أن تنمو جيداً في منتجات الألبان، ولذلك أدخلها العلماء بجانب الميكروبات الأخرى في إنتاج الأغذية المتخمرة.

وكما يتضح من المراجع فإن التأثير الصحي لميكروبات المعاونات الحيوية لا يظهر أثره على الإنسان إلا إذا دخل جسمه يوميا ١٠^٨ إلى ١٠^١٠ خلية من هذه الميكروبات، وهذا يساوي الحصول على جرعة يوميا من الغذاء المحتوي على هذه الميكروبات مقدارها ١٠٠ جرام بحيث يحتوي الجرام على ١٠^٦ إلى ١٠^٧ خلية . إلا أن العلماء في كثير من المراجع أشاروا إلى أن بكتيريا المعاونات الحيوية التي يتم إدخالها إلى منتجات الألبان مثل منتج الزبادي الحيوي Bio-yogurt، لا يبقى عددها ثابت وإنما تقل حيويتها بسبب انخفاض رقم الـpH وعدم تحملها للأحماض.

ومن هنا ، فقد اقترح Hattingh و Viljoen سنة ٢٠٠١م تنمية خميرة *Saccharomyces boulardii* متحدة مع باقي ميكروبات الزبادي الطبيعية، وذلك عن طريق إدخال هذه الخميرة في المنتج المعروف بالزبادي الحيوي. وقد كان الافتراض العلمي الذي جعلهما يعتقدان بنجاح هذه الخطة، هو أن وجود هذه الخميرة في هذا المنتج الغذائي العلاجي، سوف يؤدي إلى ثبات بل وزيادة أعداد بكتيريا المعاونات الحيوية ، حيث أن الخميرة تستهلك الأحماض العضوية الموجودة. وبالفعل قام هذان العالمان بإدخال خميرة *Saccharomyces boulardii* إلى منتجات الألبان ثم تم تخزين هذه المنتجات على درجة حرارة ٤°م لمدة أربعة أسابيع، مع قياس كمية اللاكتوز المستهلكة وإنتاج الأحماض العضوية كل فترة منتظمة . واعتماداً على نتائج هذا العمل ، فإن

خميرة *Saccharomyces boulardii* البروبيوتيكية Probioticum yeast كان لها المقدرة على النمو في الزبادي الحيوي ووصل نموها إلى ٧١٠ خلية/ جرام، وقد زاد عدد هذه الخميرة بشكل ملحوظ في الزبادي المضاف إليه فاكهة نتيجة وجود كميات من السكروز، والفركتوز .إن نجاح إنتاج زبادي حيوي يحتوي على أعداد كبيرة من الخميرة العلاجية *Saccharomyces boulardii* ، بالإضافة إلى البكتيريا العلاجية يجعل هذا المنتج عالي القيمة الصحية .

ذكر الدكتور Leo Gaalland مدير الهيئة الطبية المتكاملة بالولايات المتحدة الأمريكية في سنة ١٩٩٧م ما يلي: "لقد استخدمت التغذية على الخمائر كنوع من الوقاية من الأمراض على مدى أجيال كثيرة حيث أنها مصدر لكثير من الفيتامينات والعناصر المعدنية التي تفيد في علاج كثير من أمراض الجهاز الهضمي. وبعد أن تردد على المستشفى الذي أعمل به، عدد من الناس الذين لديهم حساسية للخميرة كنت من أشد المعارضين لوصف الخميرة كعلاج لأي من المرضى. وقد ظللت على ذلك حتى اكتشفت ذلك التحضير الذي أعده الفرنسيون والذي أطلقوا عليه اسم "الخميرة ضد الخميرة"، فلم أعد أنصح مرضى الإسهال ومرضى التهابات الجهاز التناسلي إلا بتناول هذا التحضير. إن الخميرة التي تغزو أنسجة الإنسان وتسبب له العدوى والأمراض هي في الغالب أنواع تنتمي للجنس Candida أما التحضير الذي يطلق علية "الخميرة ضد الخميرة" فهو عبارة عن عدد هائل من الخلايا الحية للخميرة *Saccharomyces boulardii* التي عزلها العلماء الفرنسيون من على أسطح بعض ثمار الأشجار الاستوائية في العشرينات من القرن السابق. وقد استعمل تحضير "الخميرة

ضد الخميرة" بنجاح شديد في علاج الالتهابات الناتجة عن الإصابة بالخميرة *Candida* حتى أن الحل الأمثل بالنسبة لكثير من الناس وخصوصاً النساء اللاتي يصبن بدرجة أكبر بخميرة الـ *Candida* هو استخدام تحضير هذا التحضير".

(٧,٥,٣) مجموعة Saccharomyces cerevisiae

تباع خميرة الخبيز الآن في الصيدليات في شكل خلايا مكبسلة حيث يصفها الأطباء كمصدر لعناصر غذائية معينة أو كعلاج لبعض الأمراض. وهذه المجموعة تشتمل على ثلاثة أنواع قريبة الصلة جداً من بعضها البعض وهي *Saccharomyces cerevisiae*، *S. carlsbergensis* و *S. bayanus*. وهناك تقارب بين هذه الأنواع لدرجة أن هناك بعض الشكوك حول ما إذا كانت هذه الميكروبات يجب أن تقيم على أنها أنواع مختلفة أو يجب أن تسمى كلها Saccharomyces *cerevisiae* حيث أن الاختلافات بينها بسيطة فعلى سبيل المثال فإن *Saccharomyces cerevisiae* يمكن أن تستفيد من سكر الملليوبيوز في حين أن *S. carlsbergensis* لا تستطيع الاستفادة من هذا السكر.

وقد ثبت لدى العلماء أن خميرة *Saccharomyces cerevisiae* فعالة في علاج بعض أنواع الإسهال وذلك عن طريق تغييرها للتركيب الميكروبي داخل القناة الهضمية لصالح الميكروبات المفيدة. وتتميز هذه الخميرة بأن لها طعم شديد المرارة رغم أنه يمكن تنميتها خصيصاً للأغراض الغذائية بحيث تكون منزوعة المرارة إلا أن كثير من الباحثين يرون أن الخميرة غير المرة لا تعتبر *Saccharomyces cerevisiae* حقيقية.

وتعتبر خميرة الخبيز (*Saccharomyces cerevisiae*) أحسن مصدر لعنصر الكروم

من حيث نوعيته ومن حيث نشاطه البيولوجي. ويوجد عنصر الكروم في الخميرة في صورة عضوية. ويسمى هذا العنصر "عامل تحمل الجلوكوز glucose tolerance factor" حيث أن له أهمية كبيرة في تنظيم تمثيل السكر . ويتكون مركب الكروم الذي يوجد في الخميرة من كروم ثلاثي مرتبط بالببتيدات النشطة بيولوجيا والأحماض الأمينية والنياسين ويبدوا أن مركبات الكروم في الخميرة تلعب دوراً هاما في الوصول إلى تمثيل فعال للمواد الكربوهيدراتية وذلك بالاقتران مع الأنسولين. وعنصر الكروم النشط بيولوجيا له أهمية خاصة بالنسبة لكبار السن ومرضى السكر وأطفال مرضى السكر حيث تعاني هذه الفئات من انخفاض مستوى الكروم في الأنسجة أو لديهم قدرة منخفضة على امتصاص الكروم أو عدم تأقلم مع سكر الجلوكوز. وعلى الرغم من عدم معرفة كيفية عمله فقد أكدت الدراسات أن تناول الكروم العضوي النشط حيوياً والموجود في الخميرة يؤدي بشكل معنوي وفعال إلى خفض مستوى السكر في الدم وإلى عدم الاعتماد بشكل أساسي على الأنسولين كما يؤدي إلى خفض الكلسترول في السيرم وإلى خفض الجليسريدات الثلاثية.

ولأن خميرة *Saccharomyces cerevisiae* تحتوي على صورة نشطة جداً من الكروم فإن التغذية عليها تؤدي إلى زيادة فعالية الأدوية التي يتناولها مرضى السكر مثل الأنسولين أو أي مواد أخرى تؤدي إلى خفض السكر في الدم. ولذلك فإن مرضى السكر لابد من إمدادهم إما بعنصر الكروم وإما بالخميرة *Saccharomyces cerevisiae* . ولم يرد أي ذكر لأي آثار جانبية لاستخدام هذه الخميرة في العلاج أو في الوقاية من الأمراض إلا أن بعض الناس قد يكون لديهم حساسية ضد هذه الخميرة.

كذلك فإن الخمائر تعتبر مصدر جيد لعنصر السلينيوم Selenium الذي يوجد في شكل Selenomethionine وهي صورة عضوية للسلينيوم. هذا العنصر له أهمية في تنشيط النظام الإنزيمي الذي له تأثير واقي للكبد وأنسجة أخرى في الجسم. ويبدو أن هذه الإنزيمات مثل الـ glutathione peroxidase تمنع التحطيم التأكسدي للجدار الخلوي لخلايا الأنسجة. وقد وجد أن هناك أهمية خاصة للسلينيوم في صناعة أغذية الحيوانات الأليفة ولذلك تستخدم أنواع معينة من الخميرة تحتوي على تركيز عالي من هذا العنصر في صناعة هذه الأغذية. وهناك منتجات من الخميرة تحتوي على تركيز عالي من السلينيوم وتباع تجارياً للأشخاص الذين يحتاجون تركيز عالي من هذا العنصر كما أن هذه المنتجات تضاف في مصانع الأدوية إلى أقراص الفيتامينات والمعادن. وفي حين أن الخمائر في حالتها الطبيعية قد تحتوي على هذا العنصر بتركيز ١-٢ جزء في المليون فإن خمائر معينة يتم إنتاجها تجارياً تحت ظروف معينة وتحتوي على ٢٠٠٠ جزء في المليون من هذا العنصر.ومن ناحية أخرى فإن هناك مجال حديث جداً يوضح الأهمية الصحية لخميرة *Saccharomyces cerevisiae*، حيث تستخدم جدر خلايا هذه الخميرة والتي يتم الحصول عليها عن طريق المعالجة الكيماوية ، كمادة مغلفة للعقاقير الطبية التي توجد في صور كبسولات أو أقراص. ويعتبر Yuasa من أكثر العلماء الذين عملوا في هذا المجال، حيث قام ومساعدوه في سنة ٢٠٠٠م بتغليف أقراص تحتوي على مادة الأسيتامنوفين acetaminophen الدوائية بسائل يحتوي على ٥٪ (وزن/ حجم) من جدر خلايا الخميرة ، ٠,٣٥٪ (وزن/ حجم) جليسرول. ولا شك أنه من المهم أن يكون الغشاء المغلف للكبسولة أو القرص ، غير معيق لعملية تحرر

المادة الدوائية عندما يتناولها المريض، ولذلك فقد درس هؤلاء العلماء تحرر الدواء من الأقراص المغلفة بجدر خلايا الخميرة، بالإضافة إلى دراسة مواصفات أخرى. وقد أظهرت النتائج تحرر مثالي للمادة الدوائية عندما تعرضت الأقراص لظروف تشبه ظروف المعدة. لقد ثبت أن الأدوية التي غلفت بجدر خلايا الخميرة كانت مقاومة للتغيرات في رقم الـ pH، ولم تتأثر بالتخزين على درجة حرارة الغرفة لمدة تزيد عن ١٢٠ يوم. كما أن الغشاء المغلف للأدوية والمكون من جدر خلايا الخميرة كان تقريباً غير منفذ للأكسجين ومطابقاً تماماً لأغلفة ورق الألومونيوم التي تستخدم في تغليف العبوات نفسها، كما أن هذا الغشاء كان غير منفذ للماء وبالتالي يوفر حماية كبيرة للأدوية من الرطوبة. هذا بالإضافة إلى أن هناك أبحاث كثيرة تدل على أن مكونات جدر خلايا الخميرة، يمكن أن تضيف إلى مكونات العقار فوائد علاجية ، وصحية.

ومنذ حوالي عشر سنوات بدأت موجة من الأبحاث على دور خميرة *Saccharomyces cerevisiae* في حماية تسوس الأسنان، كما أن لهذه الخميرة تأثير مضاد لسرطان مينا الأسنان، وحمايتها من التسوس . وقد وجد أن هذه الحماية تكون أكثر فعالية عند استخدام خميرة طازجة بالمقارنة بالخمائر المعبئة منذ فترة . كذلك فإن محتوى الخميرة من المعادن (انظر الفصل الثالث، الرابع) ، وخصوصاً الكالسيوم يلعب دور هام في منع عملية نقص الكالسيوم التي تؤدي إلى تلف الأسنان، وغلى أمراض أخرى للإنسان .

لهذه الأسباب ظهرت في الأسواق منتجات دوائية مثل الكبسولات التي تعرف باسم K-DENT والتي تنتجها مؤسسة كوزموفارم .Cosmopharm Ltd. هذا المنتج

ومنتجات أخرى شبيهة عبارة عن كبسولات تحتوي كل منها على ١٠٠ مليجرام خميرة، ٣٠٠ مليجرام زيليتول، و ١٠٠ مليجرام مانيتول، ١٪ برتقال طبيعي.

(٧,٥,٤) جنس *Kluyveromyces*

لهذه الخمائر فوائد اقتصادية عظيمة ولكن فوائدها الصحية ما زالت تحتاج إلى مزيد من الدراسة ، رغم أن هناك كم لا بأس به من هذه الفوائد تم توثيقها. تستخدم خمائر هذا الجنس غالباً في خفض المادة العضوية الخاصة بشرش اللبن وبقية مخلفات مصانع الألبان قبل صرفها في الأنهار حتى لا تكون مصدرا للتلوث. يمكن أن تخمر بعض أنواع هذا الجنس الأنيولين ولذلك تستخدم في إنتاج إنزيم الأنيولينيز . كما تستخدم الأنواع التي تخمر سكر اللاكتوز من هذه الخميرة في الحصول على إنزيم بيتا ـ جلاكتوسيديز الذي يستخدم في إزالة سكر اللاكتوز من اللبن ليستخدمه الأشخاص الذين ليس لديهم القدرة على احتمال سكر اللاكتوز.

تلعب خمائر جنس *Kluyveromyces* دوراً أساسياً وهاما في حياة الناس الذين يعانون من عدم تحمل سكر اللاكتوز ويصابون بإسهال يسمى إسهال عدم تحمل اللاكتوز Lactose intolerance diarrhea ، ولكي يتضح دور الخميرة في التخلص من هذا النوع من الإسهال، فسوف نلقي الضوء على ظاهرة عدم تحمل سكر اللاكتوز.

من المعروف أن سكر اللاكتوز أو ما يسمى بسكر اللبن هو سكر ثنائي يتكون من الجلوكوز والجلاكتوز. ويوجد هذا السكر في ألبان الحيوانات الثديية بنسب تتوقف على نوع الحيوان كما تختلف النسبة المئوية لسكر اللاكتوز اختلافاً كبيراً بين

المنتجات اللبنية المختلفة. وقد أوضحت الدراسات أن تناول حوالي لتر لبن في اليوم يؤدي إلى ظهور أعراض حادة Severe symptoms من مغص وإسهال وانتفاخ وآلام في منطقة البطن لدى كثير من الناس. وقد استقر رأي العلماء على أن تلك الحالات تشكل مرض يسمى مرض عدم تحمل سكر اللاكتوزLactose Intolerance. ويرجع هذا المرض إلى وجود نقص في إفراز إنزيم اللاكتيز β-galactosidase الذي يفرز من الخلايا المبطنة للغشاء المخاطي في الأمعاء الدقيقة.

وقد اكتشف هذا المرض لأول مرة في عام ١٩٠١م وذلك بواسطة مجموعة من أطباء الأطفال Pediatricians حيث قاموا بدراسة نشاط إنزيم اللاكتيز (β-galactosidase) في الأمعاء وتوصلوا إلى أن إنزيم اللاكتيز يوجد في أمعاء صغار الحيوانات الثديية، ولكن نشاط هذا الإنزيم ينخفض عند وصول الحيوان إلى سن البلوغ.

كما ثبت أن معظم الأطفال لهم القدرة عند الولادة على إفراز إنزيم اللاكتيز ، وبالتالي فإن سكر اللاكتوز في لبن الأم يتم تكسيره إلى جلوكوز وجلاكتوز، حيث تمتص هذه السكريات عن طريق الخملات في جدر الأمعاء الدقيقة، وبعد الامتصاص يتحول الجلاكتوز إلى جلوكوز في الكبد وهذا يعنى أن كل جزيئ واحد اللاكتوز ينتج عنه جزيئين اثنين من الجلوكوز تمد الطفل الرضيع بالطاقة اللازمة لنموه ونشاطه. توجد في أمعاء الأطفال الرضع بعض الميكروبات التي تحول سكر اللاكتوز غير المهضوم إلى حامض اللاكتيك، وبالتالي تزيد حموضة الجزء الأخير من الأمعاء الدقيقة Ileum، وزيادة الحموضة في الأمعاء تؤدى إلى زيادة امتصاص بعض المعادن كما أن

وجود بعض اللاكتوز حر في الأمعاء يزيد من نفاذية Permeability الأغشية المعوية مما يترتب عليه زيادة في امتصاص كل من الكالسيوم والزنك والفوسفور.

ومع تطور نمو الرضيع وزيادة احتياجاته من الطاقة، فإنه يحتاج إلى مصادر أخرى إضافية للغذاء وبالتالي يقل الدور الذي يلعبه اللبن كغذاء أساسي للطفل، فيقل اللاكتوز المتناول وبناءاً عليه ينخفض إفراز إنزيم اللاكتيز.

وفي حالة عدم قدرة الجسم على تكسير سكر اللاكتوز فإن هذا السكر الحر Free lactose يبقى في الأمعاء الدقيقة دون أن يمتص، لأن وزنة الجزيئي كبير ولا يحدث له نقل نشط Active transport، ومعنى وجود سكر اللاكتوز في الأمعاء الدقيقة هو زيادة الأسموزية وبالتالي يدخل الماء إلى تجويف الأمعاء ، أي ينتقل من الجسم إلى الأمعاء، وعليه فإن حجم العصارة المعوية يزداد مما يؤدى إلى ظهور أعراض المرض. وعند دخول السكر إلى الأمعاء الغليظة تزداد المشكلة حيث تقوم البكتيريا التي تستوطن القولون بإفراز إنزيم اللاكتيز البكتيري حيث يتحول جزئ واحد من السكر إلى عدة جزئيات من الغاز (غاز الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون، وأحياناً غاز الميثان) وإلى أحماض دهنية قصيرة السلسلة مثل حامض الخليك بالإضافة إلى حامض اللاكتيك. إن وجود هذه النواتج الثانوية يلعب دوراً هاماً في ظهور المشاكل الصحية الناتجة عن وصول اللاكتوز الحر إلى القولون، كما أن بعضها يؤدى إلى زيادة الأسموزية في الأمعاء الغليظة فيترتب عليه خروج ماء من الجسم إلى الأمعاء وبالتالي زيادة الإسهال. و ربما يحتاج الإنسان في بعض الحالات إلى العلاج في المستشفي نتيجة لشدة الحالة من مغص شديد وإسهال والآم حادة في منطقة البطن.

وهناك نسبة كبيرة من سكان العالم ممن يعانون من الاضطرابات الهضمية الناتجة عن نقص إنزيم اللاكتيز الذي تفرزه خلايا الغشاء المخاطي لجدار الأمعاء الدقيقة وتتراوح هذه النسبة ما بين ١٠٠ ٪ من عدد السكان كما هو الحال في تايلاند وبعض الدول الأفريقية إلى حوالي ٣ ٪ في دول شمال أوروبا مثل الدانمارك والسويد. وتبلغ هذه النسبة حوالي ٨٠ ٪ بين شعوب الدول العربية .

توجد طرق عديدة لتشخيص ظاهرة سوء هضم اللاكتوز، ولكن من أسهل هذه الاختبارات هو ما يسمى اختبار التنفس، ويبنى على أساس تقدير هيدروجين التنفس وهو يجرى في كثير من المستشفيات ومعاهد طب الأطفال، وكما ذكر سابقاً فإن تخمر سكر اللاكتوز في القولون يؤدى إلى تكون غازات منها غاز الهيدروجين الذي يوجد في هواء الزفير بنسبة قليلة جداً في الأشخاص العاديين، ولكن تزداد هذه النسبة بدرجة كبيرة في حالة تخمر اللاكتوز في منطقة القولون، ووجود هذا الغاز هو الذي يسبب الانتفاخ والمغص .

والمشاكل الصحية طويلة المدى المترتبة على وجود نقص في إفراز إنزيم اللاكتيز المعوي يمكن تلخيصها فيما يلي:

١- يمتنع الشخص الذي يعانى من ظهور أعراض عدم تحمل اللاكتوز كلياً أو جزئياً عن شرب الحليب وتناول منتجاته المحتوية على سكر اللاكتوز ومعنى ذلك نقص في كمية الكالسيوم التي يتناولها الإنسان عن طريق الغذاء بما يؤدى إلى زيادة هشاشة العظام Osteoporosis. من الملاحظ أن حوالي ٤٧ ٪ من الأشخاص المصابون بعدم تحمل اللاكتوز يعانون أيضاً من هشاشة العظام . إن

نقص الكالسيوم يؤدي إلى ظهور حالات ارتفاع ضغط الدم، وعموماً فإن الألبان ومنتجاتها تساهم بحوالي ٧٥ ٪ من كمية الكالسيوم الكلية التي يتناولها الإنسان في بعض الدول .

٢- استمرار الإسهال عند الأطفال ممكن أن يؤدى إلى حدوث جفاف للطفل Dehydration.

٣- هناك علاقة بين قرحة القولون وبين نقص إنزيم اللاكتيز، حيث أوضحت بعض النتائج أن حوالي٥٠ ٪ ممن يعانون من قرحة القولون يعانون من نقص في إفراز إنزيم اللاكتيز.

٤- نتيجة للاضطرابات التي تحدث في الأمعاء ونتيجة لحالات الإسهال الشديدة فإن معدل نمو البكتيريا الصديقة مثل الـ Bifidobacteria يتناقص بدرجة كبيرة وتزداد أعداد الميكروبات الضارة.

٥- ربما تظهر حالات تسمم الدم Loxemia نتيجة للنقص الشديد في إنزيم اللاكتيز.

٦- هناك بعض الأبحاث التي أوضحت أنه توجد علاقة بين الأمراض الجلدية Eczema وعدم تحمل اللاكتوز، وأن إعطاء المريض وجبه خالية من اللاكتوز أدى إلى اختفاء أعراض المرض تماماً.

أما في حالة الأطفال الذين لا يستطيعون تحمل سكر اللاكتوز-Lactose intolerant children ، فإن اللاكتوز ربما يكون سام ويسبب تدمير الغشاء المخاطي للأمعاء ويؤدى ذلك إلى ظهور أعراض مرضية تشبه المغص Coeliac في منطقة البطن

(٧،٦) المراجع

بريشة ، جابر زايد و زهران، أحمد شوقي (٢٠٠١) الأغذية المتخمرة وعلاقتها بصحة الإنسان . الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة .

بريشة ، جابر زايد و زهران ، أحمد شوقي (٢٠٠٧) الأغذية العلاجية والميكروبات الصديقة. جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية .

An, G.; Jang, B. and Cho, M. (2001) Cultivation of the carotenoid hyperproducing mutant 2A2N of the red yeast Xanthophyllomyces dendrorhous (Phaffia rhodozyma) with molasses. Journal of Bioscience and Bioengineering, 92: 121-125

An, G.; Kim, C.; Choi, E. and Rhee, S. (1996) Medium optimization for cultivation of carotenoid hyperproducing Phaffia rhodozyma mutant HT-5FO1C. Journal of Fermentation and Bioengineering, 82: 515-518

Berner, L. and O'Donnell, A. (1998) Functional Foods and health Claims Legislations: Applications to Dairy Foods. International Dairy Journal, 8: 355-362.

Burrows, S. (1970) Production of food yeasts. In The Yeasts. Eds A. Rose and J. Harrison, 1st edn, Academic Press, London, 3: 348-420.

Dawson, K.and Newman, K. (1988) Journal of Animal Science 65, 452

El-Gendy, S. (1983) Fermented foods of Egypt and the Middle East. J. Food Protection, 46: 358-367.

Erasun, C., and Johnson, E. (2004) Stimulation of astaxanthin formation in the yeast Xanthophyllomyces dendrorhous by the fungus Epicoccum nigrum. FEMS Yeast Research, 4: 511-519

Fang, T. and Wang, J. (2002) Extractability of astaxanthin in a mixed culture of carotenoid over-producing mutant of Xanthophyllomyces dendrorhous and Bacillus circulans in two-stage fermentation. Process Biochemistry, 37: 1235-1245

Gunter, K. (1989) In "Biotechnology in the feed Industry" (Proceedings of the Fifth Annual Symposium) (T. P. Lyons, ed.) pp 39 -46. Alltech, Nicholasville, Ky.

Hattingh, A. and Viljoen, B. (2001) Growth and survival of a probiotic yeast in dairy products. Food Research Internationl, 34: 791-796

Huber, T.; Taylor, B.; Burgos, A. and Cramer, S. (1989) In "Biotechnology in the

feed Industry" (Proceedings of the Fifth Annual Symposium) (T P Lyons, ed.) pp. 35 -38. Alltech, Nicholasville, Ky.

Jonson, E. and Schroeder, W. (1996) Microbial carotenoids. In: Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology, 53: 119-178. Springer, Berlin

Kohler, C. (2000) Striped bass and hybrid striped bass. In Stickney, R., Editor, 2000, Encyclopedia of Aquaculture, Wiley, New York, pp 898-907

Leathers, T. (2003) Bioconversion of maize residues to value-added coproducts using yeast-like fungi. FEMS Yeast Research, 3: 133-140

Levi, J.; Shennan, J. and Ebbon, G. (1979) Yeast strains growing on hydrocarbons. In Economic Microbiology, ed A. Rose, Academic Press, London, 4: 361-419.

Li, P. and Gatlin, D. (2003) Evaluation of brewers yeast (Saccharomyces cerevisiae) as a feed for hybrid striped bass. Aquaculture, 219: 681-692.

Lyons, T., Jacques, K. and Dawson, K. (1993) Miscellaneous Products Yeast. In Yeast Technology, Eds A. Rose and J. Harrison, Academic Press, New York, 5: 293-323.

Marques, A.; Dhont, J.; Sorgeloos, P. and Bossier, P. (2004) Evaluation of different yeast cell wall mutants and microalgae strains as feed for gnotobiotically grown brine shrimp. J. Experimental Marine Biology and Ecology, 312: 115-136.

Misawa, N. and Shimada (1997) Metabolic engineering for the production of carotenoids in non-carotenogenic bacteria and yeasts. J. Biotechnol 59: 169-181

Muzinic, L.; Thompson, K.; Morris, A.; Webster, C.; Rouse, D. and Manomaitis, L. (2004) Partial and total replacement of fish meal with soybean meal and brewer's grains with yeast in practical diets for Australian red claw crayfish. Aquaculture 230: 359-376.

Offer, N. (1990) In Biotechnology in the feed Industry (Proceedings of the 6th Annual Symposium" (T. P. Lyons, ed.) Alltech, Nicholasville, Ky.

Oguntona, T.; Neale, R. and Lewis, D. (2003) The effect of pelleting on the utilisation of yeast grown on n-alkanes by broiler chicks. Animal Feed Science and Technology, 2003, 12: 285-293.

Platt, G. (1987) Fermented Foods of The World, A Dictionary and Guide, Butterworths, London, UK.

Reed, G. and T. W. Nagodawithana. (1991) Yeast Technology (2nd ed.), Van Nostrand Reinhold, New York.

Robinson, R. (1991) Therapeutic properties of fermented milks. Elsevier Applied

Food Science Series.

Romero, M.; Hammer, E.; Cazau, M. and Arambarri, A. (2002) Isolation and characterization of birylic structure-degrading yeasts: hydroxylation potential of dibenzofuran. Environmental Pollution, 118: 379-382.

Rose, A. and Harrison, J. (1993) Yeast Technology, Academic Press, New York, 5th ed.

Rose, A. (1979) Hydrocarbons as a substrate for yeasts. In Economic Microbiology, ed A. Rose, Academic Press, London 4: 29.

Sanders, M. (1998). Overview of functional foods. Emphasis on probiotic bacteria. Int. Dairy Journal 8: 341-347.

Sealey, W. and Gatlin, D. (2002) Dietary supplementation of vitamin C and/or vitamin E before or after experimental infection with Streptococcus iniae has limited effects on survival of hybrid striped bass. J. Aquqt. Anim. Health, 14: 165-174.

Stabnikova, O.; Wang, J.; Ding, H. and Tay, J. (2005) Biotranformation of vegetable and fruit processing wastes into yeast biomass enriched with selenium. Bioresource Technology, 96: 747-751.

Storebakken, T.; Sorensen, M.; Bjerkeng, B.; Harris, J.; Monahan, P. and Hiu, S. (2004) Stability of astaxanthin from red yeast, Xanthophyllomyces dendrorhous, during feed processing: effect of enzymatic cell wall disruption and extrusion temperature. Aquaculture, 231: 489-500

Tanaka, A. and Fukuii, S. (1989) The Yeasts. Eds A. Rose and J. Harrison, 2nd edn, Academic Press, London, 3: 261-287.

Williams, P.; Tait, C. and Newbold, C. (1991) Effects of the inclusion of yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae* plus growth medium) in the diet of dairy cows on milk yield and forage degradation and fermentation patterns in the rumen of steers. Journal of Animal Science, 69: 3016-3026.

Yarrow, D. and Meyer, S. A. (1987) Metabolism of hydrocarbons. International Journal of systematic Bacteriologt, 28: 611-618.

Yuasa, H.; Kaneshige, J.; Ozeki, T.; Kasai, T.; Eguchi, T. and Ishiwaki, N. (2000) Application of acid-treated yeast cell wall (AYC) as a pharmaceutical additive. II: effect of curing on the medicine release from AYC-coated tablets. International J. Pharmaceutics, 209: 69-77

Zachariadis, G.; Raidou, E.; Themelis, D. and Stratis, J. (2002) Determination of mineral content of active dry yeast used in pharmaceutical formulations. J. Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 28: 463-473.

Zayed, G. (1987) Microbiological studies on ethanol production from certain waste

materials. Ph. D. Thesis, UCC, Cork, Ireland.

Zayed, G. and Mostafa, N. (1992) Studies on the production and kinetic aspects of single cell protein from sugar cane bagasse saccharified by Aspergillus niger. Biomass & Bioenergy 3, 363-367.

obeikandl.com

ثبت المصطلحات

أولاً عربي- إنجليزي

أ

الاتصال الخطافي	Clamp Connections
أحادية الكروموسوم	Haploid
استخلاص	Extraction
الإكثار	Propagation
الأكسجين المطلوب حيوياً	Biological Oxygen Demand
الألبان المتخمرة	Fermented milks
إنزيم بنائي	Constitutive enzyme
إنزيم مستحث	Inducible enzyme
الانقسام	Fission
التبرعم	Budding
التجرثم الذاتي	Self-sporulating

obeikandl.com

التحلل الذاتي	Autolysis
التخمر المتقطع الهوائي	Aerobic batch fermentation
التخمر الهوائي المستمر	Aerobic continuous fermentation
التزاوج	Mating
المعاونات الحيوية	Probiotics
النحل الطنان	Bumblebees

ب

بروتينات غير متجانسة	Heterologous proteins
بصمة الحامض النووي	DNA fingerprinting
بيئات العزل	Isolation media

ت

تأثير الجلوكوز	Glucose effect
تبرعم أحادي القطبية	Monopolar budding
تبرعم ثنائي القطبية	Bipolar budding
تبرعم متعدد القطبية	Multipolar budding
تثبيت الإنزيمات	Enzyme immobilization
تثبيت الخلية	Cell immobilization

obeikandl.com

Productinhibition	تثبيط بالمنتج
Immunosuppression	تثبيط مناعة
Glycolysis	تحلل السكر
Nutrient reserves	تخزين المغذيات
Fermentation	تخمر
Bulk-fermentation	تخمر الكتلة
Heterofermentation	تخمر غير متجانس
Homofermentation	تخمر متجانس
Continuous fermentation	تخمر مستمر
High-gravity fermentation	تخمر مواد عالية التركيز
Rumen-fermentations	تخمرات الكرش
Yeast-recycling	تدوير الخميرة
Loxemia	تسمم الدم
Yeast nutrition	تغذية الخمائر
Transition reaction	تفاعل الانتقال
Classification	تقسيم
Extractive distillation	تقطير استخلاصي
Flocculation	تلبد
Inoculation	تلقيح

obeikandl.com

تلوث	Contamination
تمثيل	Assimilation
تهجين	Hybridization
توقف التخمر	Stuck fermentation

ث

ثنائية الكروموسوم	Diploid

ج

جفاف	Dehydration

ح

حليب محلى مركز	Sweetened condensed milk
حماية ذاتية	Self-protection

خ

خطأ بيولوجي	Biological fault
خلايا التجويف	Crypt cells
خلايا متممة	Complementary cells
خميرة القاع	Bottom- yeast

obeikandl.com

Top- yeasts	خميرة القمة
Pressed yeast	خميرة مضغوطة
س	
Respiratory chain	سلسلة التنفس
ش	
Xerotolerant	شديد التكيف
ص	
Animal-pigmentation	صبغ الحيوان
Nuclear staining	صبغ نووي
Therapeutic properties	صفات علاجية
ض	
Quality control	ضبط الجودة
ط	
Ultracentrifugation	طرد مركزي الفائق
Entrapping methods	طرق الحبس
Mutants	طفرات

obeikandl.com

Stationary phase	طور الثبات
Yeast slurry	طين الخميرة

ع

Yield factor	عامل المحصول
Sourdough	عجين حامضي
Lactose-intolerant	عدم تحمل اللاكتوز
Isolation	عزل
Fed-batch process	عملية التغذية المتقطعة
Growth factors	عوامل النمو

ف

Flagella	فلاجلا

ق

Electrostatic	قوة كهربائية ساكنة

ل

Free lactose	لاكتوز حر
Sulphited meats	لحوم مكبرتة

obeikandl.com

م

Osmophilic	محب للضغط الأسموزي
Yeast culture	مزرعة الخميرة
Mixed culture	مزرعة مختلطة
Reaction pathways	مسارات التفاعل
Satellite colonies	مستعمرات مرافقة
Antioxidant	مضاد الأكسدة
Antifungal	مضادات الفطريات
Manifestation of spoilage	مظاهر الفساد
Pretreatment	معالجة أولية
Coeliac	مغص
Mash	مهروس
Substrates	مواد أولية
Protective compounds	مواد حامية
Generative morphology	مورفولوجيا توالدية
Vegetative morphology	مورفولوجيا خضرية

ن

Water activity	نشاط الماء

obeikandl.com

Permeability	نفاذية
Active transport	نقل نشط
By-products	نواتج وسطية

ه

Osteoporosis	هشاشة العظام

obeikandl.com

ثانياً: إنجليزي–عربي

A

Active transport	النقل النشط
Aerobic batch fermentation	التخمر المتقطع الهوائي
Aerobic continuous fermentation	التخمر الهوائي المستمر
Animal-pigmentation	صبغ الحيوان
Antifungal	مضادات الفطريات
Antioxidant	مضاد الأكسدة
Assimilation	تمثيل
Autolysis	التحلل الذاتي

B

Biological fault	خطأ بيولوجي
Biological Oxygen Demand	الأكسجين المطلوب حيوياً
Bipolar budding	القطبية تبرعم ثنائي
Bottom- yeast	خميرة القاع
Budding	التبرعم
Bulk-fermentation	تخمر الكتلة
Bumblebees	النحل الطنان
By-products	نواتج وسطية

obeikandl.com

C

Cell immobilization	تثبيت الخلية
Clamp Connections	الاتصال الخطافي
Classification	التقسيم
Coeliac	مغص
Complementary cells	خلايا متممة
Constitutive enzyme	إنزيم بنائي
Contamination	تلوث
Continuous fermentation	تخمر مستمر
Crypt cells	خلايا التجويف

D

Dehydration	جفاف
Diploid	ثنائية الكروموسوم
DNA fingerprinting	بصمة الحامض النووي

E

Electrostatic	قوة كهربائية ساكنة
Entrapping methods	طرق الحبس
Enzyme immobilization	تثبيت الإنزيم
Extraction	استخلاص
Extractive distillation	تقطير استخلاصي

obeikandl.com

F

Fed-batch process	عملية التغذية المتقطعة
Fermentation	تخمر
Fermented milks	الألبان المتخمرة
Fission	الانقسام
Flagella	فلاجلا
Flocculation	تلبد
Free lactose	لاكتوز حر

G

Generative morphology	مورفولوجيا توالدية
Glucose effect	تأثير الجلوكوز
Glycolysis	تحلل السكر
Growth factors	عوامل النمو

H

Haploid	أحادية الكروموسوم
Heterofermentation	تخمر غير متجانس
Heterologous proteins	بروتينات غير متجانسة
High-gravity fermentation	تخمر المواد عالية التركيز
Homofermentation	تخمر متجانس
Hybridization	تهجين

obeikandl.com

I

Immunosuppression	تثبيط المناعة
Inducible enzyme	إنزيم مستحث
Inoculation	تلقيح
Isolation	عزل
Isolation media	بيئات عزل

L

Lactose-intolerant	عدم تحمل اللاكتوز
Loxemia	تسمم الدم

M

Manifestation of spoilage	مظاهر الفساد
Mash	مهروس
Mating	التزاوج
Mixed culture	مزرعة مختلطة
Monopolar budding	تبرعم أحادي القطبية
Multipolar budding	تبرعم ثنائي القطبية
Mutants	طفرات

N

Nuclear staining	صبغ نووي
Nutrient reserves	تخزين المغذيات

obeikandl.com

O

Osmophilic	محب للأسموزية
Osteoporosis	هشاشة العظام

P

Permeability	نفاذية
Pressed yeast	خميرة مضغوطة
Pretreatment	معالجة أولية
Probiotics	المعاونات الحيوية
Product inhibition	تثبيط بالمنتج
Propagation	إكثار
Protective compounds	مواد حامية

R

Reaction pathways	مسارات التفاعل
Respiratory chain	سلسلة لتنفس
Rumen-fermentations	تخمرات الكرش

S

Satellite colonies	مستعمرات مرافقة
Self-protection	حماية ذاتية
Self-sporulating	تجرثم ذاتي

obeikandl.com

Sourdough	عجين حامضي
Stationary phase	طور الثبات
Stuck fermentation	توقف التخمر
Substrates	مواد أولية
Sulphited meats	لحوم مكبرتة
Sweetened condensed milk	حليب محلى مركز
T	
Therapeutic properties	خواص علاجية
Top- yeast	خميرة القمة
Transition reaction	تفاعل الانتقال
U	
Ultracentrifugation	طرد مركزي فائق
V	
Vegetative morphology	مورفولوجيا خضرية
W	
Water activity	نشاط الماء
X	
Xerotolerant	شديد التكيف
Y	
Yeast culture	مزرعة الخميرة

obeikandl.com

Yeast nutrition	تغذية الخميرة
Yeast slurry	طين الخميرة
Yeast-recycling	تدوير الخميرة
Yield factor	عامل المحصول

obeikandl.com

obeikandl.com

كشاف الموضوعات

أ

الاختبارات الفسيولوجية ٥٢، ٨٤

استخلاص الإيثانول ١٣٤، ١٤٦

الإصابة بالبكتيريا ١٦٠، ١٧١

الأغذية البحرية ٣٦١، ٣٦٣

الأغذية المتخمرة ٤٠٤، ٤١٢

الألبان المتخمرة ٣٣١، ٤٠٦

ألجينات الكالسيوم ١٨٣، ٢١٠

الألكانات ٣٧٥

أنماط التخمرات ٤٣٩، ٤٤٥

الإيثانول كوقود ١٢٠

الفيتامينات ١٠، ٥٧، ٣٨٢

القهوة ٤٠٦، ٤٠٧

القيمة الغذائية ٤٠٨، ٤١١، ٤١٨

الكاراجينن ٢٠٨، ٢٠٩

الكاكاو ٤٠٨، ٤١١

الكفير ٤٠٤، ٤٠٦

اللحوم المكبرتة ٣٥٩، ٣٦٠

المركبات الطيارة ٢٨١

ب

باليستوكونيديا ٣٤

بروتينات ٣٧٩

بيئات العزل ٢٩٣، ٢٩٥

obeikandl.com

بيئات طبيعية ٤، ٥

ت

تأثير الجلوكوز ٨٢، ٨٣
تبرعم ٣٥، ٣٨، ٤٠
تحلل السكر ١٣٥، ١٤٢
تخمر متقطع ٣٩٠
تخمر مستمر ٢٠٠، ٢٠٩، ٣٩١
تركيب الخلية ٢٢
تركيب الخميرة ٢٣، ٢٥، ٣٠
تزاوج ٥٩، ٦٠، ٦٢
تعريف الخمائر ١، ٣، ١٤٩
تفاعل الانتقال ١٢، ١٣
تقسيم الخمائر ٣٣، ٦٩
تقنيات جديدة ١٨٣، ٢٠١
تقييم تطبيقي ٣٩٧، ٣٩٩
تكاثر جنسي ٤٣، ٤٨، ٦٢
تكاثر لاجنسي ٣، ٣٧، ٤٠
تلبد ١٥١
تمثيل الكربوهيدرات ٥٤، ٢٧٦
تمثيل مركبات النيتروجين ٢٧٩
توقف التخمر ١٧٨

ج

جراثيم كلاميدية ٤١، ٤٤
جراثيم تيليتية ٥٢
جراثيم أسكية ٤٦، ٤٧

ح

حبس الخلايا ٢٠٥
حلويات ٣٠٩، ٣١١
حماية ذاتية ٢٨٣، ٢٨٥
حموضة ٤٤٨، ٤٥٠

obeikandl.com

خ

خبز ٢٢٤، ٢٣٢، ٤١٢

خبز العجين الحامضي ٢٧٣

خـــل ٤٢١

خلايا مثبتة ٢٠٨، ٢١٣

خلية الخميرة ٢٣، ٤٠٢

خمائر أسكية ٧٠، ٩٠، ١٠٠

خمائر الأغذية والأعلاف ٣٧٤

خمائر بازيدية ١٠٢، ١١٠

خمائر القاع ٣

خمائر القمة ٣

خميرة الخبيز ٢٢١، ٢٤٩، ٢٧١

خميرة مضغوطة ١٤٨، ٢٣٥

خميرة جافة نشطة ١٥٣، ٢٦٣

خواص فسيولوجية ٥٢

خواص مورفولوجية ٣٣

د

دورة كربس ١٢، ١٣٧

س

سكر التريهالوز ٢٥٣، ٢٦٨

سكر الحليب ٤٦٤، ٤٦٦

سلالات الخميرة ١٥٠، ٣٧٧

سلسلة التنفس ١٢، ١٣

سلينيوم ٣٩٦

ص

صبغة أستاكسانثين ٤٢٢، ٤٣٧

صحة الإنسان ٤٥١

صفات مرغوبة ١٥١، ٣٧٦

صفات علاجية ٤٥١، ٤٦٢

صلصة فول الصويا ٤١٦

ض

ضبط الجودة ١٨٠، ٢٥٤

obeikandl.com

ضغط أسموزي ٢٥٨

ط

طرق تثبيت الخلايا ٢٠٤

طين الخميرة ١٥٠

ع

عامل المحصول ٣٨٦، ٣٨٧

عوامل إختزال الإنتاج ١٦٠

عوامل النمو ١٨، ٢٠

ف

فساد الأغذية ٢٩٩، ٣٢٩، ٣٥٤

فساد الحليب ٣٣١، ٣٤٣

م

مزرعة الخميرة ٤٣٣، ٤٣٩

مسارات التفاعل ١٣٤، ١٣٦

مصادر النيتروجين ١٥

مظاهر الفساد ٢٩٩، ٣٠٧

معالجة المواد السليولوزية ١٨٦

معاونات حيوية ٣٧٣، ٤٥٦

مقاومة التجميد ٢٦٠

مقاومة فساد الأغذية ٣٦٤، ٣٦٨

منتج البابادام ٤١٩

منتجات الحبوب ٣٤٥، ٣٤٩

منتجات وسطية ١٦٢، ١٦٥

ميكروبات جديدة ٢١٣، ٢١٧

مهروس ١٣٨، ١٥١

مواد أولية ١٢٢، ١٣٠

مواد سليولوزية ١٨٦، ١٩٥

مواد سيتوبلازمية ٢٠، ٢٧

مواد حافظة ٣٢٠، ٣٣٣

مواد عالية التركيز ٢٠٩، ٢١١

مورفولوجيا توالدية ٤٣، ٤٥، ٤٨

obeikandl.com

مولاس ١٢٥، ٢٣٥
ميكروبات مفيدة ٣٧٤، ٤٥٧

ن

نشاط الماء ٧، ٨
نظم الإكثار ٣٨٩، ٣٩٢
نكهة الخبز ٢٢٦، ٢٢٩
نمو لاجي ٢٩٧
نمو لوغاريتمي ٢٩٧

هـ

هيدروكربونات ٣٧٤، ٣٨٨

obeikandl.com