الفصل الأول

الخمائر: تعريفها، وتغذيتها
Yeasts: Identification, and nutrition

(١,١) فكرة عامة عن الخمائر Concept on yeasts

الخمائر هي فطريات وحيدة الخلية، يتراوح قطر خلاياها بين ١-٢ ميكرومتر بالنسبة للخلايا الصغيرة، و ٧-٨ ميكرومتر بالنسبة للخلايا الكبيرة، عديمة الحركة، قد تكون الخلايا ذات شكل بيضي، كروي، إهليلجي، أو أسطواني، باستثناء خميرة *Trigonopsis variabilis* التي تأخذ شكل المثلث وتتبرعم، أي تكون خلايا جديدة عند أركان هذا المثلث. الغشاء السيتوبلازمي المحيط بخلايا الخميرة لا يسمح بمرور المواد الغذائية ذات الحجم الكبير، وهي كائنات لها متطلبات غذائية بسيطة، ليست قادرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي، وتحتاج مصادر كربونية ومصادر نيتروجينية بسيطة التركيب. والمركب الوحيد ذو التركيب المعقد الذي تحتاجه الخميرة لكي تنمو هو البيوتين (فيتامين)، وبالطبع تحتاج إلى مجموعة مختلفة من الأملاح. تتكاثر الخمائر لا جنسيا عن طريق التبرعم والانقسام الثنائي، وقد تتكاثر جنسياً كما سيأتي توضيحه. لا تملك الخمائر أعضاء الحركة التي تسمى فلاجلا Flagella في أي مرحلة من مراحل

دورة حياتها. تكون مستعمرات ذات بناء متعدد الخلايا عندما تنمو على الأسطح الصلبة. هذه المستعمرات لها صفات مورفولوجية معينة تتكون أثناء الانقسام حسب نوع الخميرة. يمكن وصف الخمائر من الناحية الفسيولوجية على أنها هوائية إجباراً أو لا هوائية اختياراً ولم يعرف حتى الآن خمائر لا هوائية إجباراً. ومن أهم الخواص الفسيولوجية للخمائر، مقدرتها على تخمير السكر وإنتاج كحول الإيثانول في غياب الأكسجين، وذلك لتحصل على طاقتها من خلال تحويل السكريات إلى ثاني أكسيد الكربون والإيثانول كما في المعادلة :

$$C_6H_{12}O_6 \text{ (glucose)} \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

البيئات الصناعية الشائعة لتنمية الخميرة هي بيئة آجار دكستروز البطاطس(potato dextrose agar (PDA أو بيئة مرق دكستروز البطاطس potato dextrose broth وفي هذه البيئات يتم الحصول على مستخلص البطاطس عن طريق طبخ قطع صغيرة منها في الأوتوكلاف لمدة ٥ إلى ١٠ دقائق، ثم الترشيح، وبعد ذلك يضاف الدكستروز (الجلوكوز) بمقدار ١٠ جرام/ لتر ثم تعقم البيئة.

طرق التكاثر الأكثر شيوعاً في الخمائر هي التكاثر اللاجنسي، حيث أن التكاثر اللاجنسي هو عملية بيولوجية بواسطتها يمكن للكائن أن يكون نسخة من نفسه بدون توحيد أي مواد وراثية مع كائن أخر. فعلى سبيل المثال فإن الخمائر قادرة على التكاثر عن طريق التبرعم أو الانقسام الثنائي، وهي في حالة نقية، أي أن الخلايا ليست مختلفة عن بعضها في الجنس ومع ذلك فإن كل خلية قادرة على أن تكون من

نفسها خلية أخرى أو أكثر لتنمو وتصبح خلية ناضجة قادرة على تكرار نفسها. كما تتكاثر الخمائر جنسياً عن طريق تكوين الجراثيم الأسكية، على سبيل المثال فعند ظروف نقص العناصر الغذائية فإن الخمائر التي لها القدرة على التكاثر الجنسي تكون الجراثيم الأسكية.

يوجد نوعان من الخمائر المستخدمة في التخمرات الصناعية وذلك من حيث مكان سيادتها في المخمر، النوع الأول يسمى خمائر القمة Top-fermenting yeasts وتسمى بهذا الاسم لأنها تطفو على سطح بيئة التخمر، وتتميز بأنها تنتج تركيز عالي من الكحول وتفضل درجات الحرارة المرتفعة ومن أمثلتها الخميرة *Saccharomyces cerevisiae*. والنوع الثاني يسمى خمائر القاع Bottom-fermenting yeasts وتسمى بهذا الاسم لأنها لا تستقر في قاع المخمر، وتتميز بأنها يمكن أن تخمر تركيزات عالية من السكر وتعمل عند درجات حرارة منخفضة ومن أمثلتها الخميرة *Saccharomyces uvarum* والتي كانت تعرف في الماضي بالخميرة *Saccharomyces carlsbergensis*

يعتبر تعريف، وتسمية، ووضع الميكروبات في إطار نشأتها وتطورها من الأعمال الهامة في كثير من المجالات العلمية ومنها الزراعة، الطب، العلوم الحيوية، التكنولوجيا الحيوية، الصناعات الغذائية، وتقدير الحقوق فيما يتعلق باستخدام الميكروبات على المستوى الصناعي. وقد كانت طرق التقسيم في الماضي تقتصر على مقارنة الصفات المورفولوجية والفسيولوجية للميكروبات، ولكن تتم المقارنة الآن بين الميكروبات لمعرفة وضعها التقسيمي بطرق تشمل مقارنة الشكل المورفولوجي، والخواص الفسيولوجية، والصفات الوراثية، والخواص الكيموحيوية، والخواص

البيئية، والوراثة الجزيئية. وقد أدى ذلك إلى تغيير في الوضع التقسيمي لكثير من الميكروبات.

(١٠٢) البيئات الطبيعية للخمائر Natural media of yeasts

إن معرفة البيئة التي تعيش فيها الخميرة لها قيمة عملية كبيرة حيث أن مكونات البيئة لها دور أساسي في عملية التحول التي تحدث لبعض أجناس الخميرة والتي تسمى بعملية الانتخاب الطبيعي. إن البكتيريا والفطريات والحشرات بما فيها يرقات الذباب والخنافس الثاقبة، تحلل المواد النباتية إلى صور يمكن أن تقوم الخميرة بتمثيلها. فالخميرة لا تستطيع القيام بعملية التمثيل الضوئي ولا تستطيع تثبيت النيتروجين الجوي ولكنها كثيراً ما تعتمد على كائنات أخرى لتجهز لها المواد الأولية في صورة ميسرة. ولكن هذا لا يمنع أن هناك خمائر ولو أنها قليلة جداً، تستطيع أن تحلل المواد الهيميسليولوزية والمواد السليولوزية والبكتين إلى سكريات أحادية تستفيد بها باقي الخمائر.

تعتبر الخمائر في حد ذاتها غذاء لكثير من الحشرات سواء كانت يرقات أو حشرات كاملة، وذلك مثل ذبابة الدروسيفلا، والنحل، وخنافس لحاء الأشجار. وقد لوحظ حديثاً وجود بعض أنواع الخمائر على أشجار الموالح مثل البرتقال، والليمون ووجد أنها انتقلت إلى هذه الأشجار عن طريق بعض حشرات هذه الفاكهة. وهكذا يتضح أن هناك التحام شديد بين الخمائر والنباتات والحشرات والتربة والماء. فالخمائر تنمو على أسطح أوراق النباتات حيث تحصل على غذائها من إفرازات هذه الأوراق،

كما أن كثير من النباتات الاستوائية تحمل على أوراقها بكتيريا لها القدرة على تثبيت النيتروجين الجوي، أي تحويل النيتروجين الجوي من الصورة الغازية إلى صورة عضوية ميسرة مثل الأحماض الأمينية، وبالتالي يمكن للخمائر المتواجدة أن تستفيد من هذه المواد النيتروجينية.

كما تعيش الخمائر أيضاً على المواد اللزجة التي توجد في بعض النباتات، وعلى رحيق الأزهار، وعلى الثمار المتحللة، وعلى أجزاء أخرى من النباتات. وتحمل الحشرات الخمائر من نبات إلى آخر، فعلى سبيل المثال تحمل ذبابة الدروسوفلا الخمائر التي توجد على المواد اللزجة في النباتات والفاكهة والخضر العاطبة إلى أماكن أو نباتات أخرى.

كما يحمل النحل الخمائر من الأزهار إلى أقراص العسل، وهذا شيء متوقع لأن النحل يقوم بتجميع رحيق الأزهار، وهو بيئة مثلي لنمو ونشاط الخمائر ولذلك فإن الخمائر هي المسئولة عن فساد العسل غير الناضج في أقراص عسل النحل المنزلي. ويعتبر العسل المخزن عن طريق النحل الطنان Bumblebees مصدر جيد لعزل الخمائر التي جمعها النحل من الأزهار، حيث أن تركيز السكر فيه يكون منخفض بالمقارنة بعسل النحل المنزلي. كما يعتبر العسل مصدر جيد لعزل الخمائر التي تتحمل الضغط الأسموزي العالي.

كما تحمل خنافس اللحاء كثيراً من أنواع الخمائر، وخصوصاً من جنسي Hansenula و Pichia إلى الأنفاق التي تعيش فيها. وتتغذى يرقات بعض الحشرات شبكية الأجنحة على الطفيليات النباتية، وعندما تنمو هذه اليرقات إلى حشرات بالغة

فإن غذائها الأساسي المكون من حشرات المن ينقصه الأحماض الأمينية الأساسية، وهنا تقوم الخمائر بإمداد الحشرة بهذه الأحماض. ولا تقتصر العلاقة بين الخمائر والحشرات على التكافل المعيشي، بل إن بعض الخنافس وبعض أنواع الدروسوفلا تحتوي على خمائر بين خلاياها، حيث وجد نوع من الخمائر وهو Coccidiascus legeri يعيش في الخلايا الطلائية المعوية لأنواع من الدروسوفلا. وقد وجد أن أشجار الجريب فروت، وبعض أنواع الموالح الأخرى التي تهاجمها حشرات ذبابة فاكهة البحر المتوسط، وذبابة فاكهة أمريكا الشمالية، تحتوي في نفس الوقت على أنواع معينة من الخمائر مثل *Kloeckera* sp , *Pichia fernentans* و*Pichia* kluyveri.

إن التربة والماء يستقبلان كل أو معظم العناصر الغذائية التي توجد فيهما من مصادر خارجية مثل النباتات والحيوانات بما فيها الإنسان. وتعتبر المواد الناتجة عن نشاط الإنسان مصدر للعناصر الغذائية للخمائر، كما أنها أيضاً مصدر لتلوث البيئة. وتستقبل التربة كميات متزايدة من الملوثات الناتجة عن نشاط الإنسان والتي قد تعتبر مواد غذائية للخمائر، ولذلك فإن مجموعة الخمائر التي توجد في التربة تتغير في أعدادها وأنواعها حسب كمية ونوع هذه المواد الغذائية التي تصل إليها. فعلى سبيل المثال فقد وجد أن المواد العضوية الخفيفة التي تحملها الرياح عندما تتجمع في تربة معينة فإنها تؤدي إلى زيادة أجناس معينة مثل *Hanseniaspora* ، و *Kloeckera* أي أن هذه الخمائر تسود في التربة بصفة مؤقتة وتعتمد على النشاط التمثيلي للميكروبات الأخرى. غير أن هناك كثير جداً من الخمائر التي تسود في التربة بصفة دائمة.

ولا يوجد في عصرنا الحالي الماء الذي يمكن أن يطلق عليه ماء نقي، ولكن يوجد ماء ملوث بدرجة قليلة، وماء متوسط التلوث، وماء عالي التلوث، وذلك بناء على نوع وكمية المادة الملوثة. وتعيش الخمائر في هذه الأنواع الثلاثة من الماء ويتراوح عددها من خلايا قليلة/ ملليلتر "مل" من الماء القليل التلوث إلى مليون خلية/ مللي من الماء العالي التلوث، كما يختلف أيضاً توزيع أنواع الخميرة في الماء حسب كمية ونوع المادة الملوثة.

يتراوح عدد الخمائر في البحيرات والأنهار من ٢٠ خلية/ لتر في الأماكن النائية منها إلى٣٠٠ – ٤٠٠ خلية/ لتر في أماكن الاستجمام إلى ٤٠٠٠ خلية/ لتر في الأماكن القريبة من المدن. أما في المخلفات المائية الصناعية فيصل عدد الخميرة إلى ١١٥ × ١٠^{٤} خلية/ لتر، في حين يصل هذا العدد إلى ٩٨ ×١٠^{٦} خلية/ لتر في مياه المجاري المنزلية. ولكن بصفة عامة فإن عدد الخمائر الموجودة في كل أنواع المياه يقل في المناطق النائية ويزيد في الأماكن المأهولة بالسكان.

(١,٣) العوامل التي تؤثر على نمو الخميرة Factors affecting yeast growth

من أهم الخواص الفيزيائية التي تؤثر على نمو الخمائر في الأغذية (كما سيأتي عند الحديث عن دور الخمائر في فساد الأغذية) هو محتواها من الماء الحر أو ما يطلق عليه نشاط الماء (Water activity (a_w)، ودرجة الـ pH، ودرجة الحرارة، وتركيب الغلاف الجوي المحيط بالأغذية أثناء التخزين أي الغلاف الجوي في الأوعية التي تحفظ فيها هذه الأغذية. وعل كل حال فإن معظم الميكروبات التي تسبب فساد

الأغذية لها درجات متفاوتة من حيث تحملها لهذه الظروف. فعلى سبيل المثال فإن الخمائر تعيش في أغذية لها a_w من ٠،٦٢ إلى ١ كما تعيش في درجات pH تتراوح من ١،٥ إلى ١٠ وتعيش أيضاً في درجات حرارة تتراوح من ٣ إلى ٥٠ °م كما أن أنواع منها تستطيع أن تعيش في غياب الأكسجين. وبالطبع فإن التركيب الكيماوي لجميع الأغذية يناسب بدرجة كبيرة نمو معظم الميكروبات حيث أن الميكروبات بمختلف أنواعها تستطيع أن تستفيد بمدى واسع من مكونات الغذاء الذي يشمل البروتين والكربوهيدرات والأحماض العضوية والليبيدات. وعلى الرغم من أن إضافة المواد الحافظة يمكن أن تحد من نمو بعض الميكروبات إلا أن المواد الحافظة قد تكون في بعض الحالات هي النواة التي تبنى عليها عملية الفساد الميكروبي عندما تصاب الأغذية بميكروبات مقاومة لها.

أوضحت الدراسات التي أجريت على المواد الغذائية المنتجة بطرق تقليدية بصفة عامة أن هناك أربعة من عوامل الإجهاد التي تعمل بشكل متعاون على تفضيل نمو الخميرة عن بقية الميكروبات الأخرى. هذه العوامل هي انخفاض مستوى الماء النشط وانخفاض الـ pH وانخفاض درجة الحرارة ووجود مواد مضادة لنمو البكتيريا. وبالطبع فإن مجرد نقص نمو البكتيريا بواسطة هذه العوامل سوف يكون له تأثير لصالح سيادة الخميرة. وحيث أن هذه العوامل الأربع تناسب أيضاً نمو أعفان أخرى فإن هناك عوامل إجهاد أخرى تسمح بنمو الخميرة فقط دون سائر الميكروبات مما يجعلها تنجح في إفساد الأغذية. وطبقاً لما ذكره العلماء فإن الحالة الفيزيائية للغذاء تعتبر مهمة جداً. ففي المواد الصلبة فإن الخميرة تبقى متمركزة في هذه المواد ووجودها

يكون خفي حيث تسود الفطريات الأخرى على أسطح هذه المواد وفي بعض الأحيان فإن الخميرة تخترق هذه المواد الصلبة وتبقى في الطبقات الداخلية. أما في المواد السائلة فإن تكاثر الخميرة يؤدي إلى سرعة انتشارها في هذه المواد. عدم توفر كميات كبيرة من الهواء قد يكون مفضلاً للخمائر التي لها نشاط تخمري عالي وخصوصاً في ظل وجود مواد كربوهيدراتية وفيتامينات. بالطبع سوف يحدث فساد للغذاء إذا وجد عدد كافي من الخميرة يتحمل واحد أو أكثر من تلك العوامل غير الملائمة للميكروبات والتي أشرنا إليها. وبالتالي فإن دراسة فساد الأغذية بواسطة الخميرة يجب أن تأخذ في الاعتبار العوامل التي تؤدي إلى انتشار الخميرة حتى ولو كانت عوامل قاسية بالنسبة للميكروبات الأخرى. وفي الواقع فإن من المقبول بصفة عامة في صناعة الحلويات أن التلوث الشديد لأسطح أماكن العمل أحد أسباب إنتاج المواد المفسدة للغذاء بواسطة الخميرة. من ناحية أخرى فإن فساد الأغذية بواسطة الفطريات غالباً ما يبدأ بنمو جراثيم هذه الفطريات التي تحملها تيارات الهواء إلى المنتجات الغذائية.

أدت احتياجات المستهلكين إلى تغيير في المنتجات التقليدية في بعض الحالات إلى خلق ظروف اختيارية جديدة تؤدي إلى فساد الأغذية بواسطة الخميرة، والمثال على ذلك هو الزبادي المحلى بالسكريات أو أنواع مختلفة من الفاكهة. فالزبادي المصنع بالطرق التقليدية ثابت من الناحية الميكروبيولوجية على الأقل لمدة معينة، لأنه أثناء التخمر الذي تقوم به بكتيريا حامض اللبن تستهلك المواد القابلة للتخمر (السكر) ويتخثر لكازين أثناء إنتاج حامض اللاكتيك كما يزال الأكسجين الذائب. ولكن الطلب المتزايد على الزبادي الذي له طعم الفاكهة أدى إلى تغيير هذه الظروف لأن

إضافة الفاكهة والعصائر إلى الزبادي المصنع بالطرق التقليدية تقدم مواد كربوهيدراتية قابلة للتخمر، كما تقدم ملوثات للزبادي إذا لم يتم اتخاذ الحذر اللازم. تدخل هذه الملوثات إلى الزبادي في الوقت الذي ينخفض فيه عدد بكتيريا حامض االلبن وتقل قدرتها على المنافسة، وتكون الظروف الحامضية بسبب وجود حامض اللبن مناسبة بالطبع لنمو الخميرة.

(١,٤) تغذية الخمائر Yeast nutrition

الخمائر مثل باقي الكائنات الحية تحتاج إلى مصادر للكربون، النيتروجين، الفوسفور، العناصر الصغرى، وعوامل النمو. و لا تستطيع الخمائر أن تنمو في غياب كامل للأكسجين. معظم الخمائر البرية أي غير المعرفة، تستطيع تمثيل الجلوكوز، المانوز، والفركتوز، كما أن أنواع الخمائر المختلفة تستطيع الاستفادة من النترات، و أملاح الأمونيوم، وكثير من الأحماض الأمينية. كل الخمائر تحتاج إلى كميات صغيرة جداً من العناصر الصغرى. بعض الخمائر يمكن أن تصنع في داخل خلاياها عوامل النمو (الفيتامينات) اللازمة لحياتها، والبعض الآخر يحتاج إلى إضافة هذه المواد إلى بيئة النمو.

ورغم أن البيئات الغذائية للخمائر، تم تعريفها ودراستها جيداً على مدى مئات من السنين، إلا أنه يصعب تنمية بعض الخمائر مثل *Cyniclomyces guttulatus*، حيث تحتاج إلى معظم الأحماض الأمينية والفيتامينات، كما تحتاج إلى غلاف جوي يحتوي على ١٠-١٥٪ ثاني أكسيد كربون، ولذلك فإن بيئتها الطبيعية التي تعيش فيها هي أمعاء

الأرنب. وعلى الرغم من أن بعض المعلومات عن تغذية الخمائر وردت بشكل متفرق في هذا الكتاب فسوف نعطي عنها فكرة متكاملة في هذا الجزء دون تكرار لما ورد في أجزاء أخرى.

(١,٤,١) مصادر الكربون Carbon sources

تختلف الخمائر التي لها أهمية صناعية مثل خميرة الخبيز *Saccharomyces cerevisiae*، والخمائر القريبة اختلافاً بيناً في مقدرتها على تمثيل السكريات كمصدر للكربون كما يتضح من الجدول رقم (١،١). ولا يمكن لخميرة الخبيز على سبيل المثال أن تمثل سكر اللاكتوز (سكر الحليب) كمصدر للكربون. ولذلك فقد بذلت جهوداً من قبل علماء الميكروبيولوجي لبناء سلالات من خميرة الخبيز قادرة على الاستفادة من هذا السكر، وذلك بالاعتماد على نقل الجينات المسئولة عن تحليل هذا السكر من بعض الخمائر مثل *Kluyveromyces fragilis* إلى خميرة الخبيز، ولكن لم تتم الاستفادة من هذه الخمائر على المستوى الصناعي بسبب عدم ثبات الصفة المنقولة، وما زالت هذه الجهود مستمرة حتى الوصول إلى بناء ميكروب له ثبات وراثي.

ونادراً ما تستطيع الخمائر أن تمثل الدكسترينات والنشا. وهناك خمائر تستطيع الحصول على الكربون من البنتوزات (السكريات الخماسية)، وخمائر تحصل على الكربون من السكريات الثلاثية، وخمائر تحصل على الكربون من السكريات العديدة، وخمائر تحصل على الكربون من الكحولات، وخمائر تحصل على الكربون من تمثيل الأحماض العضوية، وخمائر تحصل على الكربون من تمثيل الجليكوسيدات، وأخرى

يمكن أن تحصل على الكربون من تمثيل الهيدروكربونات، الأحماض الدهنية، الجليسريدات، والمواد الأروماتية.

وتقوم الخمائر في كل الظروف سواء أكانت هوائية أو غير هوائية بعملية تحلل السكر " Glycolysis " في داخل سيتوبلازم الخلية وينتج عنها حامض بيروفيك، ثم يرتبط بعد ذلك تمثيل حامض البيروفيك بوجود الأكسجين في الوسط. يحدث لحامض البيروفيك في وجود كميات كبيرة من الهواء ثلاث عمليات متوالية، الأولى تفاعل الانتقال Transition reaction وفيها يتعرض حامض البيروفيك إلى مزيد من الأكسدة ويتحول إلى Acetyl co-enzyme A، والثانية دخول المركب Acetyl-coenzyme A في سلسلة متتالية من التفاعلات الكيموحيوية تعرف بدورة كربس، يتم فيها إزالة كل الهيدروجين من المادة العضوية (Acetyl-coenzyme A) وتختزل مرافقات الإنزيم بهذا الهيدروجين المزال، والناتج النهائي لدورة كربس ٦ جزيئات $NADH_2$ و٢ جزيء $FADH_2$، ونتيجة هذا التفكك يرتبط الكربون بالأكسجين ويتكون ثاني أكسيد الكربون. أما العملية الثالثة والأخيرة فهي دخول مرافقات الإنزيم المختزلة في سلسلة من التفاعلات تسمى سلسلة التنفس Respiratory chain، وهي باختصار عبارة عن إعادة أكسدة مرافقات الإنزيمات التي اختزلت في دورة كربس وذلك بنزع الهيدروجين منها وتوصيله إلى الأكسجين ليتكون ماء. يطلق على هذه العمليات مجتمعةً "التنفس" Respiration ، أي أن التنفس عبارة عن أكسدة تامة للسكر إلى ثاني أكسيد كربون وماء. وينتج عن التنفس كميات كبيرة من الطاقة (٣٨ جزيئ ATP لكل جزيئ جلوكوز يتم تمثيله) تستخدمها الخميرة في النمو وتكوين كتل خلوية كبيرة.

أما في حالة نقص الأكسجين وزيادة تركيز السكر مع سيادة إنزيم Carboxylase في الخمائر، تنزع مجموعة الكربوكسيل من حامض البيروفيك وينتج عن ذلك أسيتالدهيد وثاني أكسيد كربون، ثم تختزل الأسيتالدهيد إلى كحول الإيثانول، ويطلق على ذلك "التخمر" Fermentation.

يتضح مما سبق أن الفرق الرئيسي بين التنفس والتخمر هو في الناتج النهائي حيث يكون عبارة عن ثاني أكسيد كربون وماء في حالة التنفس ويكون عبارة عن مادة عضوية (أحماض وكحولات) في حالة التخمر، أي أنه ببساطة يمكن القول أن التخمر هو تنفس غير تام أو أكسدة غير تامة.

والحقيقة أن علاقة الأكسجين بمدى نجاح عملية التخمر معقدة جداً، فمن ناحية لابد من إمداد الخمائر أثناء التخمر بالأكسجين، حيث أنه ضروري لتصنيع الأحماض الدهنية غير المشبعة والليبيدات اللازمة لحياة الخلية، ومن ناحية أخرى فإن وجود الأكسجين قد يؤدي إلى فشل أو توقف عملية التخمر ودخول حامض البيروفيك في اتجاه التنفس. ولذلك فلابد من وجود كمية قليلة من الأكسجين. وقد أجريت كثير من الأبحاث لتحديد كمية الأكسجين التي يجب أن تضاف أثناء التخمر وتحديد المرحلة التي يضاف فيها الأكسجين. وأسفرت نتائج الأبحاث عن أن الأكسجين يجب أن يضاف في المرحلة التي يتكون فيها حامض البيروفيك وهي طور الثبات Stationary phase كما ذكر Luparia و مساعدوه (٢٠٠٤). كما وجد المؤلف (Zayed , 2009) أن أفضل كمية هواء لنجاح عملية التخمر هي ١،٧٥ ملليلتر هواء/ دقيقة/ لتر بيئة وذلك خلال الاثني عشر ساعة الأولى فقط من التخمر.

الجدول (١٠١). مقدرة أنواع جنسي *Saccharomyces* و *Kluyveromyces* من الخمائر على تمثيل مختلف أنواع السكر.

السكر	الخميرة		
	Saccharomyces cerevisiae	*Saccharomyces uvarum*	*Kluyveromyces fragilis*
جلوكوز	+	+	+
مالتوز	+	+	–
مالتوتريوز	+	+	–
سللبيوز	–	–	–
تريهالوز	+/–*	–/+	–
جالاكتوز	+	+	+
مانوز	+	+	+
لاكتوز	–	–	+
ميليبيوز	–	+	+
فركتوز	+	+	+
سوربوز	–	–	–
سكروز	+	+	+
رافينوز	–/+	+	–/+
رامنوز	–	–	–
دي أوكسي ريبوز	–/+	–/+	–/+
أرابينوز	–	–	–
زيلوز	–	–	–

* بعض الأنواع تمثل السكر وبعضها لنفس الجنس لا تمثله.

المصدر: جابر زايد وعادل حماد (٢٠٠٢).

obeikandl.com

(١،٤،٢) مصادر النيتروجين Nitrogen sources

تستطيع كل الخمائر، تمثيل أملاح الأمونيوم كمصدر وحيد للنيتروجين، بمعدلات مختلفة ما عدا Cyniclomyces guttulatus فإنه يحتاج إلى عدد كبير من الأحماض الأمينية كمصدر للنيتروجين، ولا تستطيع أي خميرة أن تستخدم النيتروجين الجوي كمصدر للنيتروجين.

لا تستطيع بعض أجناس الخميرة مثل *Saccharomyces*، *Pichia*، *Metschnikowia*، *Zygosaccharomyces* أن تستخدم النترات كمصدر للنيتروجين. وتستطيع الخمائر المستخدمة لإنتاج المشروبات الكحولية أن تستفيد بدرجة جيدة من أحماض الأسباراتيك، الأسبراجين، والجلوتاميك كمصادر للنيتروجين عندما تتوفر في البيئة كميات كافية من الفيتامينات. وبصفة عامة تختلف الخمائر اختلافاً كبيراً في تمثيل الأحماض الأمينية كمصادر للنيتروجين. والاختلاف في مقدرة الخميرة على الاستفادة من الأحماض الأمينة قد يتسبب في ظاهرة توقف التخمر (انظر الفصل الثاني)، كما قد يكون الحامض الأميني المستخدم كمصدر للنيتروجين هو السبب في تحمل الخمائر لتركيزات عالية من الإيثانول الذي تنتجه، حيث وجد أن الخمائر يمكن أن تتحمل تركيزات من الإيثانول تزيد عن ٢٠٪، إذا تم إمدادها بالتركيز المضبوط من الحامض الأميني المطلوب.

هناك خمائر تستطيع تمثيل اليوريا كمصدر للنيتروجين، كما تستطيع أيضاً أن تستخدم القواعد البيورينية والبريميدينية مثل الأدينين، الجوانين، والسيتوسين كمصادر وحيدة للنيتروجين.

كذلك هناك خمائر مثل *Candida utilis*، تنتج أحماض أمينية وأوليجوببتيدات، وأميدات، وعلى حسب مصدر الطاقة الموجود، يمكن لهذه الخمائر أن تعيد امتصاص هذه المواد مرة أخرى، كمصدر للنيتروجين.

(١, ٤ ,٣) الفوسفور Phosphorus

تستخدم كل الخمائر الفوسفور غير العضوي لكي تنمو. وتحصل الخمائر على الفوسفور غير العضوي في صورة أملاح البوتاسيوم، التي من أهمها ملح فوسفات أحادي البوتاسيوم. وتقوم الخمائر بتخزين الفوسفات غير العضوي في صورة ميتافوسفات (حبيبات الفوليوتين) في الفجوات التي توجد داخل الخلية. وقد وجد أن النمو السريع للخمائر يتطلب وجود كميات كافية مخزنة داخل الخلية من الميتافوسفات.

(١, ٤ ,٤) الكبريت Sulfur

تستفيد بعض الخمائر مثل خميرة الخبيز، من الصور غير العضوية للكبريت مثل الكبريتات Sulfate، والكبريتيت Sulfite ، والثيوكبريتات Thiosulfate. ولا تستطيع هذه الخمائر أن تستفيد من الأحماض الأمينية المحتوية على كبريت (السيستين والسيستئين) كمصدر للكبريت، كما لا تستطيع الحصول على الكبريت من بعض عوامل النمو مثل البيوتين أو الثيامين، على الرغم من أن بعض السلالات يمكن أن تحصل على الكبريت من عوامل نمو أخرى مثل الميثايونين، والجلوتاثيون

Glutathione. ورغم ذلك فهناك خمائر أخرى مثل *Candida utilis* تستطيع تمثيل كل المواد السابقة كمصدر للكبريت.

وحصول الخميرة على الكبريتات يتطلب طاقة، ولذلك فإن البيئة يجب أت تحتوي على سكر قابل للهضم، ومصدر للنيتروجين حتى تستطيع الخميرة أن تحصل على الكبريت. وتستطيع الخمائر أن تحصل على الكبريت تحت الظروف الهوائية، وغير الهوائية، كما أن هناك مركبات كبريتية تثبط حصول الخميرة على الكبريت من مركبات كبريتية أخرى، فعلى سبيل المثال وجد أن الثيوكبريتات يمنع الخميرة من الحصول على الكبريتات الموجودة في البيئة، كما أن الميثايونين يمنع استفادة الخميرة من الأحماض الأمينية المحتوية على كبريت.

(١,٤,٥) عناصر غير عضوية أخرى Other inorganic elements

هناك حوالي ٥٠ عنصراً من العناصر المعروفة سام للخمائر، وتتراوح درجة السمية من سمية بسيطة إلى سمية شديدة. عناصر الماغنسيوم، البوتاسيوم، الاسترونتيوم، الكالسيوم، الكبريت، والفوسفور ليست سامة للخمائر، عندما توجد بتركيزات منخفضة.

يعد البوتاسيوم عنصر هام بالنسبة لنمو الخميرة، وبالنسبة لعملية التخمر، ويمكن أن تستبدل أملاح البوتاسيوم جزئياً بأملاح الصوديوم أو الأمونيوم. وخلايا الخميرة التي تحتوي على تركيز أكثر من اللازم من البوتاسيوم تنمو ببطئ وتقوم بعملية التخمير ببطئ.

الماغنسيوم من العناصر الهامة لحياة الخميرة، حيث يعمل كمنشط لعدد كبير من الإنزيمات، ولذلك فهو مطلوب كأحد عوامل النمو بالنسبة للخميرة. و لا يصلح الماغنسيوم أن يستخدم كبديل للبوتاسيوم، حيث إذا استبدل البوتاسيوم بالماغنسيوم يحدث تثبيط لنمو الخميرة ومعدل النشاط التخمري. الكالسيوم، أيضاً من المواد الهامة لتنشيط نمو الخميرة وتخمير السكريات.

كما يعتبر النحاس، الحديد، والزنك تعتبر من العناصر الضرورية لحياة الخميرة. المنجنيز أيضاً قد يكون مطلوب بكميات صغيرة بالنسبة للخمائر ولكن زيادة تركيز المنجنيز عن ٥–١٠ مليمول تؤدي إلى حدوث تطفر في خلايا الخميرة.

معظم العناصر الثقيلة الأخرى ليست سامة ولا مثبطة للخميرة طالما أنها في المدى من التركيز المناسب. ويبدوا أن الكلوريد له دور هام في نمو الخميرة، لكنه لا يعتبر عامل محدد للنمو.

(١,٤,٦) عوامل النمو Growth factors

تحتاج خميرة الخبيز إلى البيوتين، ولكن أنواع كثيرة من أجناس *Hansenula*، *Brettanomyces*، وخميرة *Candida* utilis، وخميرة *Hansenula anomala*، لا تحتاج إلى البيوتين. وقد تحتاج الخمائر حسب النوع إلى حامض البانتوثينك، الإينوسيتول، الثيامين، حامض النيكوتينيك، البيريدوكسين، الريبوفلافين، حامض البارا–أمينوبنزويك، وحامض الفوليك. فعلى سبيل المثال فإن حامض البانتوثينك، عبارة عن مرافق إنزيم ويشترك بدرجة هامة في تمثيل الأحماض الدهنية. والإينوثيتول من

المواد الهامة المطلوبة لخميرة الخبيز رغم أن دوره ما زال غير مفهوم، ويمكن لخمائر الجنس *Cryptococcus* أن تستخدمه كمصدر وحيد للكربون، وقد ظل يستعمل كمادة محددة لهذا الجنس في علوم التقسيم إلى أن تم اكتشاف خمائر أخرى يمكن أن تستخدمه كمصدر للكربون.

الثيامين أيضاً ينشط خمائر الخبيز، وفي التخمرات المختلفة وجد أن خمائر القمة، أي الخمائر التي تنمو على سطح السائل تحتاج إلى أي من الثيامين أو البيريدوكسين، في حين أن خمائر القاع، أي الخمائر التي تنمو في قاع وعاء التخمير لا تحتاج إلى أي من هاتين المادتين. ومن المعروف أن أهمية الثيامين أنه يعمل مرافق لإنزيم الكاربوكسيليز عندما يكون في صورة ثنائي فوسفات الثيامين.

تحتاج كثير من أنواع الخمائر التابعة لأجناس *Kloeckera* ، *Candida*، *Zygosaccharomyces*، *Saccharomyces*، و*schizosaccharomyces* إلى حامض النيكوتينك (في صورة NAD)، في حين لا تحتاجة خميرة الخبيز *Saccharomyces cerevisiae*. كذلك فإن خميرة *Kluyveromyces* spp التي تخمر اللاكتوز تحتاج إلى حامض النيكوتينك، حيث أنه عبارة عن مرافق إنزيم.

تحتاج أنواع من خمائر *Saccharomyces*، *Kloeckera* ، *Candida* ، *Brettanomyces*، *Pichia* إلى البيريدوكسين (فيتامين ب٦) حيث يعمل كمرافق إنزيم عندما يوجد في صورة فوسفات البيرودوكسال. وتستطيع جميع الخمائر تصنيع الريبوفلافين وحامض الفوليك داخل خلاياها.

تحتاج أنواع خمائر الجنس *Rhodotorula* إلى حامض البارا-أمينوبنزويك، ولكن عندما يوجد بتركيز عالي فإنه يثبط عمل إنزيم الإنفرتيز، ويثبط نمو ونشاط الخميرة.

تحتاج الخمائر بصفة عامة إلى الإيرجسترول، وأحماض الأوليك، واللينوليك أو اللينولينك تحت الظروف غير الهوائية.

(١, ٤, ٧) تخزين المغذيات Nutrient reserves

هناك مواد كربوهيدراتية تقوم الخمائر بتصنيعها وتخزينها داخل الخلايا، لتؤدي دوراً هاماً في حماية حياة الخمائر عندما تتعرض لظروف بيئية أو تصنيعية قاسية. ومن أهم هذه المواد، الجليكوجين ، والتريهالوز، حيث يتراكم الجليكوجين في خلايا خميرة *Saccharomyces cerevisiae*، عندما تنمو في ظروف نقص النيتروجين. والمحتوى العادي للخميرة من الجليكوجين حوالي ١٢٪، وفي الظروف غير المناسبة يزداد هذا المحتوى مما يؤدي إلى جعل خلايا الخميرة مقاومة للموت عن طريق التحلل الذاتي.

حظي سكر التريهالوز بدراسات مستفيضة حديثة، حيث وجد أن سلالات خمائر الخبيز أو خمائر التخمرات الصناعية الجيدة تحتوي على كميات كبيرة (حوالي ١٤٪) من التريهالوز. ويتراكم سكر التريهالوز في الخميرة عندما تنمو في ظروف هوائية، ويقل عند النمو في ظروف غير هوائية. وقد وجد حديثاً أن هذا السكر يلعب دور أساسي في حماية خلايا الخميرة أثناء عملية التجفيد التي تجرى بغرض الحصول على بادئات جافة وفي حالة نشطة من الخميرة، كما يلعب التريهالوز نفس الدور الواقي

للخميرة خلال فترة تخزين هذه البادئات على درجات حرارة منخفضة جداً (سالب ٨٥°م).

(٨, ٤ , ١) الأكسجين وثاني أكسيد الكربون Oxygen and carbon dioxide

يعتبر الأكسجين عنصر ضروري لحياة الخميرة ، وعلى الرغم من أن الخمائر يمكن أن تنمو في وسط يحتوي على كمية ضئيلة من الهواء، إلا أنه لم تعرف حتى الآن خمائر يمكن أن تكون لا هوائية إجباراً. وكثير من أنواع الخميرة هوائية إجباراً ولا يمكن أن تنمو إلا في وجود كميات كبيرة من الأكسجين. ومعروف دور الأكسجين في الكائنات الهوائية، حيث يلعب دوراً رئيسياً في سلسلة التنفس التي تقوم بها الميكروبات بغرض الحصول على الطاقة، ففي هذه السلسلة، تكون جميع مرافقات الإنزيمات في حالة مختزلة، أي أن مرافق الإنزيم NAD على سبيل المثال يكون في الصورة NADH، ولكي تستمر حياة الخمائر، لابد من إعادة أكسدة جميع مرافقات الإنزيمات مرة أخرى. تتم إعادة الأكسدة هذه بواسطة إنزيمات سلسلة التنفس والتي يطلق عليها إنزيمات السيتوكروم، حيث تقوم هذه الإنزيمات بنقل الإلكترونات من مرافقات الإنزيمات المختزلة إلى مستقبل آخر. هذا المستقبل الآخر هو الأكسجين، وهذا هو الدور الأساسي للأكسجين في حياة الخمائر وفي حياة كل الميكروبات الهوائية. كما يلعب الأكسجين دوراً أساسياً في تصنيع مادة الهيم Heme، وهي مادة أساسية في تركيب إنزيمات السيتوكروم التي تلعب الدور الأساسي في سلسلة التنفس.

ويختلف الأكسجين عن باقي العناصر الغذائية الضرورية لحياة الخميرة في أنه بطيئ الذوبان في الماء، ولذلك فإن كمية الأكسجين المطلوب إضافتها للبيئة قد تبدوا

أنها تفوق حاجة الميكروبات، ولكن العبرة بالكمية الذائبة، وليس بالكمية المضافة. وطريق وصول الأكسجين إلى خلايا الخميرة يعتبر أطول طريق بالمقارنة بالعناصر الغذائية الأخرى، حيث أن جزيء الأكسجين لا بد أن يعبر منطقة التداخل بين السائل والغاز ليصل إلى بيئة النمو. وعندما يصبح الأكسجين في المحلول أي في البيئة فإنه يلقى مقاومة أقل لكي ينتقل من السائل إلى جدار الخلية ثم إلى الغشاء السيتوبلازمي. وليس من المعروف حتى الآن ما إذا كان هناك نظام نقل خاص بالأكسجين في الخلية أم لا.

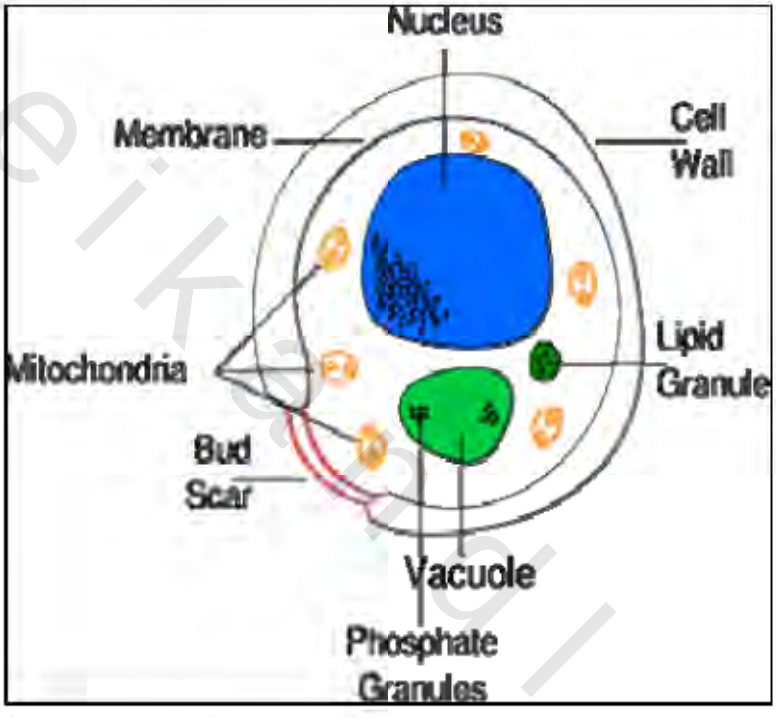
ولا يكفي قياس الأكسجين الذائب في البيئة لتقدير تأثيره على أيض الخلية، ولكن لابد أيضاً من تقدير معدل حصول الخميرة على الأكسجين، حيث قد يتوفر الأكسجين الذائب في البيئة ولكن قد تكون هناك معوقات تحول دون حصول الخلايا على الأكسجين.

ينتج غاز ثاني أكسيد الكربون أثناء نمو معظم أنواع الخميرة، ولكنه أيضاً يمثل بواسطة بعض الخمائر، بل إنه يعتبر مطلب أساسي بشكل مطلق بالنسبة لبعض الخمائر مثل *Cyniclomyces guttulatus* . ولكن بصفة عامة ليس من الضروري أن يتم إمداد مزارع الخميرة بغاز ثاني أكسيد الكربون.

(١,٥) خلية الخميرة Yeast cell

يوضح الشكل رقم (١٠١) تركيب خلية الخميرة بصفة عامة، علماً بأن التركيب الدقيق للمكونات قد يختلف من نوع إلى آخر ويظهر في الشكل منطقة تسمى Bud Scar وهي المكان الذي انفصل البرعم (التبرعم وسيلة تكاثر كما سيأتي شرحه) منه

عندما وصل إلى حجمه النهائي، والجدير بالذكر أن البرعم لا يتكون من نفس المكان إلا مرة واحدة في عمر الخلية الأم. ونتناول فيما يلي نبذة عن أهم هذه المكونات.



الشكل رقم (١٠١). مكونات خلية الخميرة

(١,٥,١) جدار الخلية The cell wall

تعتبر مورفولوجيا خلية الخميرة من الداخل، والمعلومات الخاصة بعلم الخلية بالنسبة للخميرة، أكثر إثارة، وأكثر تعقيداً من مظهرها الخارجي. وقد يوجد اختلاف بين الخمائر المختلفة بالنسبة لتركيب الجدار، ولكن من الصعب تناول تركيب جدار

الخلية لكل جنس على حدة، ولذلك سوف يقتصر الشرح على خميرة *Saccharomyces cerevisiae*، على اعتباراً أنها أكثر الخمائر شيوعاً وأهمية، وعلى اعتبار أن غالبية الخمائر تشبهها من حيث التركيب، علماً بأننا سوف نشير إلى الاختلافات إن وجدت عند ذكر خميرة أخرى.

يعتبر جدار خميرة *Saccharomyces cerevisiae* معقد التركيب، فالطبقة الخارجية تتكون من المانان المختلط بالفوسفور بدرجات مختلفة حسب نوع الخميرة، والطبقة الوسطى تتكون من بيتا–جلوكان الذائب، أما الطبقة الداخلية فهي عبارة عن طبقة صلبة تتكون من بيتا–جلوكان غير الذائب. هذه الطبقة الأخيرة هي التي تعطي صلابة وشكل مميز لخلية الخميرة. يحتوي جدار الخلية أيضاً على مختلف أنواع البروتينات ذات التركيب المعقد. يحمل جدار خلية الخميرة ندبات Scars أو آثار لتاريخ الخلية، حيث أن كل برعم يتكون على الخلية ثم ينفصل أثناء عملية التكاثر اللاجنسي بالتبرعم، يترك مكانه ندبة أو أثر مثل أثر الجرح، ويختلف عدد وموقع هذه الندبات باختلاف نوع الخميرة.

يختلف التركيب الكيماوي للطبقة الخارجية لجدار الخميرة باختلاف نوع الخميرة ويعتبر خاصية مميزة لكل نوع، ولذلك تستخدم المعلومات الخاصة بالتركيب الكيماوي لهذه الطبقة في تقسيم الخميرة. ويعتبر تقدير طبيعة المكون الرئيسي للطبقة الخارجية وهو المانان مسألة ليست سهلة وتحتاج إلى تجارب طويلة وشاقة. معظم الخمائر الأسكية (ومنها خميرة الخبيز) لها جدار خلوي بنفس التركيب الذي تم شرحه، أما التركيب الدقيق لكل من المانان، والجلوكان فيختلف باختلاف النوع.

تحتوي جدر خلايا الخمائر البازيدية، على الكيتين، في حين أن جدر خلايا الخمائر الأسكية، وخصوصاً *Saccharomyces cerevisiae* لا تحتوي على الكيتين إلا في الندبات أو الآثار المتكونة مكان انفصال البراعم. ولكن أنواع جنس *Schizosaccharomyces* لا تحتوي على الكيتين. كما وجد أن معظم جدر الخمائر البازيدية تحتوي على سكر الزيلوز. إن جدار خلية الخميرة ليس مكون خامل، فهو حصن تصنعه الخلية لنفسها. كما أن مهمة جدار الخلية ليست مجرد تنفيذ لأوامر مكونات أخرى، فعلى الرغم من أن الغشاء الستوبلازمي للخلية هو الذي يتحكم في مرور المواد من وإلى داخل الخلية، فإن جدار الخلية هو الذي يقرر ما إذا كان المنتج الخارج من الخلية يصل إلى الوسط الخارجي أم يظل محجوز في منطقة ما قبل البروتوبلازم (أي المنطقة بين جدار الخلية والغشاء السيتوبلازمي).

(٢,٥,١) الكبسولات Capsules

تنتج كثير من الخمائر مواد كبسولية تحيط بالخلية تتكون عادة من الفوسفومانان Phosphomannans، منان مرتبط برابطة بيتا β-linked mannans،سكريات عديدة تحتوي على سكريات خماسية وبقايا حامض الجلوكيورونك، د–جلاكتوز. بعض أنواع جنس *Cryptococcus* تنتج نشا خارجي (أميلوز). وظيفة هذه المواد ليست معروفة بالضبط، فقد عرفت الميكروبات المحاطة بكبسولة على أنها ممرضة وأن الكبسولة تحمي هذه الخلايا الممرضة، ولكن اتضح أن هذا ليس شرط حيث أن هناك ميكروبات ليست ممرضة وتحاط بكبسولة. كما أن الفوسفومانان الذي تتكون منه الكبسولة، والذي

تنتجه أجناس *Hansenula* و *Pichia* يزيد ارتباط هذه الخمائر بالخنافس التي تهاجم بعض الأشجار، ويزيد عدد الخمائر التي تحملها هذه الخنافس إلى الأنفاق التي تصنعها الحشرات في الأشجار، وهذه الخمائر ليست ممرضة للأشجار ولكن قد تمثل السكريات وبعض المواد الأخرى التي توجد في هذه الأنفاق.

(١,٥,٣) الأجليوتينات Agglutinins

الأجليوتينات عبارة عن جليكوبروتينات ترتبط مع بعضها على سطح الخلية. هذه المواد لها علاقة بالصفات الوراثية للخلية وتتكون أساساً داخل الخلية، ثم تنتقل في منطقة ما قبل البروتوبلازم، ثم تمر خلال جدار الخلية وتستقر في الطبقة الخارجية له. هذه المواد هي التي تقوم بالاتصال بجليوتينات خلية أخرى لتبدأ عملية التكاثر التاي تتكون فيها نواة ثنائية مجموعة الكروموسوم.

(١,٥,٤) الغشاء السيتوبلازمي Cytoplasmic membrane

يقع الغشاء السيتوبلازمي بعد جدار الخلية بالاتجاه إلى الداخل، ولكن قبل الوصول إلى الغشاء السيتوبلازمي يجب الإشارة إلى أن هناك فراغ ما بين جدار الخلية والغشاء السيتوبلازمي، الذي سبق الإشارة إليه. هذا الفراغ أو هذه المنطقة لها أهمية كبيرة، حيث توجد فيها مواد كثيرة لها أهمية في حياة الخلية مثل إنزيمات الإنفرتيز، والفوسفاتيز.

obeikandl.com

يتكون الغشاء السيتوبلازمي بشكل أساسي من وحدات كل منها عبارة عن طبقتين من الليبيدات، ويمكن أن يتغير تركيب الغشاء السيتوبلازمي مع تكون طفرات من الخميرة، أو عندما تتعرض الخميرة لظروف نمو غير عادية (مثل النمو في ظروف غير هوائية، أو في وجود أحماض دهنية معينة). يحتوي الغشاء السيتوبلازمي أيضاً على بروتينات، التي غالباً ما تكون إنزيمات وأهمها إنزيمات النقل التي تنقل السكريات والمواد الغذائية الأخرى من خلال الغشاء السيتوبلازمي إلى داخل الخلية. توجد على الغشاء السيتوبلازمي مستقبلات هرمونات التزاوج، والتي ترتبط بهذه الهرمونات وتمررها إلى داخل الخلية لتقوم بالتفاعل الذي يؤدي إلى اندماج نواة أحادية مجموعة الكروموسوم مع نواة أحادية مجموعة الكروموسوم من خلية أخرى لينتج عن ذلك نواة ثنائية مجموعة الكروموسوم. وعلى ذلك، يعتبر الغشاء السيتوبلازمي ضروري لحياة خلية الخميرة.

(١,٥,٥) السيتوبلازم ومحتوياته The cytoplasm and organells

يوجد السيتوبلازم، أو المواد السيتوبلازمية في داخل الخلية. إن المواد المنتشرة في السيتوبلازم يقدر عددها بعشرات الآلاف وتوجد معبأة في أبنية غاية في الدقة. وتعتبر الريبوسومات من المكونات الكبيرة داخل السيتوبلازم وهي عبارة عن ماكينات تصنيع البروتين داخل الخلية وترتبط مع عدد كبير من المركبات داخل الخلية، حيث تقوم بالتعاون مع هذه المواد بإفراز البروتينات. أما المكون المعروف باسم جسم جولجي Golgi body فإنه يقوم بتصنيف البروتينات إلى مجموعات متشابهة ويعبأها إلى

حويصلات الإفراز، التي تهاجر بما تحمله من بروتينات إلى الغشاء السيتوبلازمي أو إلى الفجوات الموجودة في الخلية. إذا هاجرت هذه الحويصلات إلى الغشاء السيتوبلازمي فإنها تندمج معه وتفرز محتوياتها من البروتين في الفراغ الذي يفصل بين جدار الخلية وبين الغشاء السيتوبلازمي، كما تفعل نفس الشيئ إذا هاجرت إلى الفجوات.

(١,٥,٦) الريبوسومات Ribosomes

تتكون الريبوسومات من حامض RNA الريبوسومي (rRNA) وبروتين. أثناء تصنيع البروتين تتحد الريبوسومات مع حامض RNA الرسول (m RNA) الذي يحمل شفرات أو معلومات تصنيع البروتين، وتكون معقد في سلاسل يسمى البوليسومات Polysomes. يقوم حامض RNA الناقل (tRNA) بنقل البوليسومات بما تحتويه من أحماض أمينية منشطة إلى موقع تصنيع البروتينات في الريبوسومات. وفي خميرة *Saccharomyces cerevisiae*، يوجد نوعين من الريبوسومات وهما الريبوسومات السيتوبلازمية، والريبوسومات الميتوكوندريالية أي التي توجد في الميتوكوندوريا، والتي سوف نعطي عنها فكرة فيما بعد.

(١,٥,٧) جسم جولجي The Golgi body

يوجد جسم جولجي في خميرة *Saccharomyces cerevisiae* في شكل كومة مركزية تتكون من ثلاث بناءات مستوية (تسمى سيستيرنات Cisterna)، تحاط بعدد هائل من حويصلات الإفراز. وقد سبق توضيح وظيفة جسم جولجي.

(١ , ٥ ,٨) الفجوة The vacule

يمكن رؤية الفجوة أو الفجوات في خلايا الخمائر بواسطة الميكروسكوب الضوئي، حيث أنها أكثر مكونات السيتوبلازم وضوحاً. وتحاط الفجوة أو الفجوات بواسطة غشاء، يحمل عدد هائل من الجزيئات التي قد تكون ريبوسومات. قد تحتوي الفجوات على حبيبات الفوليوتين، قطرات من الليبيدات، وعدد هائل من إنزيمات التحلل (عدد هائل من إنزيمات البروتينيز، الريبونيوكليز، والإستيريز). كثير من هذه الإنزيمات قد يوجد فقط في الفجوة أو الفجوات ولا يوجد في أي مكان آخر في الخلية. ولا توجد إنزيمات الفوسفاتيز، أو ألفا–جلوكوسيديز في الفجوات. يوجد في الفجوات أيضاً أحماض أمينية مثل الليسين، وبيورينات مثل الأيزوجوانين، وحامض اليوريك، وأيونات البوتاسيوم.

(١ , ٥ ,٩) النواة The nucleus

تعتبر النواة أحد المكونات الهامة في خلية الخميرة، للنواة شكل هلالي، تظهر معتمة وبجانبها جزء نصف شفاف وتحتوي على الكروموسومات (الكروماتين). تعتبر النواة هي المكون الرئيسي الذي يحمل الصفات الوراثية لخلية الخميرة، ويتم تصنيع حامض RNA الرسول على حامض DNA الكروموسومي ثم ينتقل حامض RNA الرسول إلى السيتوبلازم ليؤدي وظيفته في تصنيع البروتين كما سبق توضيحه.

والكروموسومات في معظم الخمائر، وخصوصاً في خميرة *Saccharomyces cerevisiae*، صغيرة حتى أنه من الصعب تمييزها. وفي بداية تسعينيات القرن الماضي،

اعتقد بعض الباحثون أنهم صبغوا كروموسوم خميرة *Saccharomyces cerevisiae* وأن بإمكانهم رؤيته تحت الميكروسكوب الضوئي، ولكن اتضح فيما بعد أن الأشياء التي تم رؤيتها لم تكن كروموسومات. وقد نشرت حديثاً بعض صور من الميكروسكوب الإلكتروني للكروموسومات، ولكن ليست بنفس وضوح صور الكروموسومات النباتية أو مستحضرات خمائر أخرى مثل جنس *Neurospora*.

تحاط النواة بغشاء نووي، ويحتوي الغشاء النووي على عدد كبير من الثقوب. ولا يتكسر الغشاء النووي أثناء انقسام الخلية في خميرة *Saccharomyces cerevisiae*، وكثير من الخمائر الأسكية الأخرى، حيث أن جزء من النواة يدخل إلى البرعم ثم ينفصل هذا الجزء عن نواة الخلية الأم، ويكون نواة البرعم. تتكون النواة في خميرة *Schizosaccharomyces pombe* من منطقتين كرويتين، إحداهما غنية بالحامض النووي DNA وتحتوي على الكروموسومات، والأخرى غنية بالحامض النووي RNA وتحتوي على مواد نووية أخرى. يمكن رؤية كروموسومات خميرة *Schizosaccharomyces pombe* الثلاث بوضوح تحت الميكروسكوب الفلورسنتي.

(١, ٥, ١٠) الميتوكوندريا Mitochondria

الميتوكوندريا عبارة عن مكونات في السيتوبلازم يمكن رؤيتها عند عمل تحضير رقيق من الخميرة، وفحصه تحت الميكروسكوب الإلكتروني في شكل بيضي أو مستطيل، غالباً ما تكون غير مرئية جيداً من الداخل في خميرة *Saccharomyces cerevisiae*، خصوصاً عندما تنمو هذه الخميرة في ظروف نقص تهوية أو زيادة تركيز سكر الجلوكوز. وتمتلك الخمائر التي لها نشاط تمثيل تأكسدي عالي، ميتوكوندريا أكثر

تطوراً، حيث أن هذه المكونات (الميتوكوندريا) هي موقع عمليات الفسفرة التأكسدية. تحتوي الميتوكوندريا على حامض DNA الميتوكوندريالي (mtDNA)، والذي يمكن رؤيته تحت الميكروسكوب االفلورسنتي بعد صبغه باستخدام صبغة DAPI كما سيأتي توضيحه. ولم يتم حتى الآن تحديد طبيعة ارتباط حامض mtDNA بوظائف الميتوكوندريا، رغم أنه تم تحديد خصائص هذا الحامض بشكل جيد، حيث عرف أنه دائري، طوله تقريباً ٢١–٢٥ ميكرومتر، وزنه الجزيئي يتراوح بين ٤٦ و ٥٢ × ١٠^{٦}، ويحمل جينات سلسلة التنفس. كما توجد في الميتوكوندريا الشفرات الوراثية المسئولة عن مقاومة بعض الخمائر لمستويات عالية من المضادات الحيوية مثل الكلورامفينيكول، الإيريثرومايسين، الأوليجومايسين، الباروموميسين، وأدوية أخرى. ويختلف حجم حامض mtDNA من خميرة إلى أخرى حيث يتراوح بين ٦ ميكرومتر في خميرة *Torulopsis glabrata*، و ٣٤ ميكرومتر في خميرة *Brettanomyces custersii*، وعلى كل حال فإن حجم هذا الحامض يتم تقديره عن طريق التحلل الإنزيمي، حيث من الصعب جداً عزل هذا الحامض لتقديره بالطرق العادية.

وقد كان يظن أن النظام الوراثي في الخلية الموجود في النواة يتحكم وحده في أنشطة الخميرة الخاصة بتخمر المواد الكربوهيدراتية، التجرثم، الإنبات، وأنشطة تمثيل أخرى، ولكن اتضح أن الميتوكوندريا لها دور أيضاً في هذه الأنشطة.

(١,٦) المراجع

بريشة، جابر و حماد، عادل محمود (٢٠٠٢) أساسيات الميكروبيولوجيا الصناعية، الدار العربية للنشر والتوزيع، القاهرة جمهورية مصر العربية.

obeikandi.com

Barnett, J.; Payne, R. and Yarrow, D. (1990) Yeasts, Characteristics and Identification. Cambridge University Press, New York..

Kawamura, D. (1999) Breeding of yeast strains able to grow at 42°C. Biosci. *Biotechnol. Biochem*., 63: 560-562.

Luparia, V.; Soubeyrand, V.; Berges, T.; Julien, A. and Salmon, J. (2004) Assimilation of grape phytosterols by Saccharomyces cerevisiae and their impact on enological fermentations. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 65: 25-32

Maupas, J.; Champemont, P. and Delforge, M. (1983) Treatment of irritable bowel syndrome with *Saccharomyces boulardii*: a double blind, placebo controlled study. *Medicine Chirurgie Digestives*. 12(1): 77–9.

McCullough, M.; Clemons, K.; McCusker, J. and Stevens, D. (1998) Species identification and virulence attributes of *Saccharomyces boulardii* (nom. inval.). *J Clin Microbiol*. 36: 2613-2617.

Posteraro, B.; Sanguinetti, M.; D'Amore, G.; Masucci, L.; Morace, G. and Fadda, G. (1999) Molecular and epidemiological characterization of vaginal Saccharomyces cerevisiae isolates. *J Clin Microbiol.* 37: 2230-2235.

Sláviková, E. and Vadkertiová, R. (2003) The diversity of yeasts in the agricultural soil. *J. Basic Microbiol.* 43 (5): 430–6.

Spencer, J.; Spencer, D. and de Figueroa, L. (1997) Yeasts as living objects: Yeast nutrition. *In Yeasts In Natural and Artificial Habitats*. Spencer, J., Spencer, D. (eds) Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

What are yeasts?. *Yeast Virtual Library*. 200-09-13. http://www.yeastgenome.org/VL-what_are_yeast.html.

Zayed, G. (2009) Production of 16% ethanol from 35% sucrose. *Biomass* and *Bioenergy* (in press)

obeikandl.com