سلسلة
العلوم والتكنولوجيا للجميع
العدد السادس

أغذية من مصادر غير تقليدية

دكتور
حسين العروسى

2001

الناشر
مكتبة المعارف الحديثة
23 شارع تاج الرؤساء - سابا باشا - الإسكندرية
تليفون : 5826902

obeikandl.com

الميكروبات غذاء

الحاجة أم الاختراع ... مثال لم ينشأ من فراغ ... حكمة باقية بقاء العقل المدرك والفكر المدبر ... لم يعرف الإنسان الزراعة ، إلا عندما لم يجد كفايته من النباتات الطبيعية المرغوبة ... ولم يربى الإنسان الحيوانات الداجنة والأغنام والماشية إلا عندما لم يجد كفايته من نتاج صيده ... ولم يفكر إنسان العصر الحديث فى زراعة الأسماك إلا عندما اشتدت حاجته إلى البروتينات الحيوانية ، ولم يكفه منها نتاج البر وصيد البحر .

إزدحمت الأرض بسكانها ... اختل توازن أحيائها ... إختفت أحياء وسادت أحياء أخرى ... تربع الإنسان على قمة الأحياء ... أصبح معظم ما فى الأرض من حيوان ونبات وحتى الكثير من مواد الأرض فى خدمة الإنسان . والآن وقد كثرت أعدادنا ، وتعدينا الستة مليارات ، بعد أن كان ثلث أعدادنا فقط يقطن العالم منذ قرن من الزمان ، وسدس هذا العدد فقط منذ قرنين من الزمان ... الآن نشعر بالإزدحام ... نشعر بضغوط الحياة ... نصرخ من عدم كفاية ما تنتجه أرضنا من غذاء . لم تتغير مساحة الأرض ، ولكن تغيرت أشكال الحياة ووسائل المعيشة وأنماط الغذاء . اليوم ونحن نواجه تزايداً مطرداً فى الكثافة السكانية ، تشتد حاجتنا إلى المزيد من الغذاء لتغطية مطالب كثير من مناطق الجوع فى العالم ولسد حاجة الأفواه المتزايدة فى الأجيال القادمة وليس أمامنا إلا أن نفكر وأن نتدبر حلولاً قابلة للتنفيذ لهذه المشكلة فى ضوء قول الحق تبارك وتعالى :

(وسخر لكم ما فى السماوات وما فى الأرض جميعا منه إن فى ذلك لآيات لقوم يتفكرون) *

---

* الجاثية ، 13

تعددت فى عصرنا هذا مشاكل الغذاء ، ومن أبرز هذه المشاكل مشكلة الغذاء البروتينى ، فالبروتين هو المادة الأساسية لبناء أجسامنا ولتعويض ما تلف منها ، وهو يكمن فى اللحوم والبيض والألبان ومنتجاتها ، وبعضه نجده فى النباتات ، إلا أن البروتين النباتى كثيراً ما تنقصه أحماض أمينية معينة تعتبر أساسية لأجسامنا . لهذا كان للبروتينات وخاصة الحيوانية منها ، إهتمامات خاصة تفوق اهتماماتنا بغيرها من مكونات غذائنا ، فالإنسان يحتاج من البروتينات ما بين 50 إلى 80 جرام فى اليوم الواحد ، أى أن العالم اليوم يحتاج منه إلى حوالى 400 ألف طن يومياً أو حوالى 146 مليون طن سنوياً فى المتوسط .

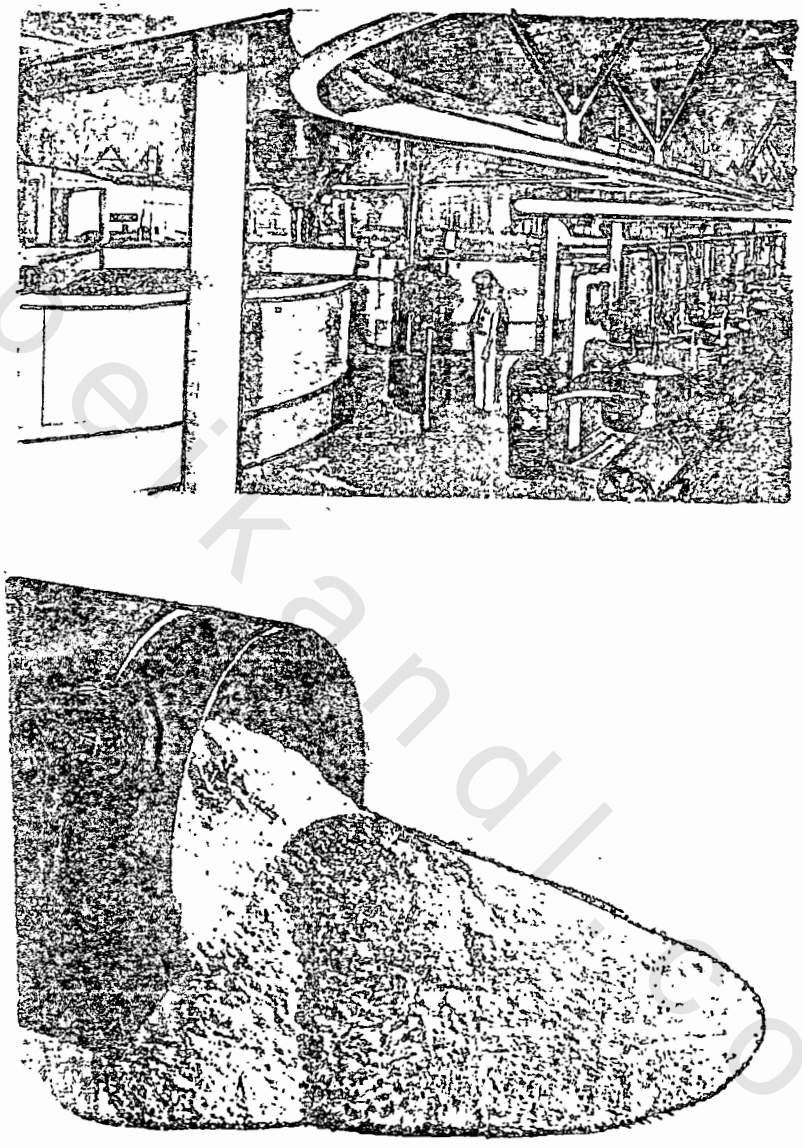
إتجه العالم ، ضمن ما إتجه فى بحثه عن مصادر جديدة للبروتين ، إتجه إلى بروتين الخلية الواحدة ... إلى بروتين الكائنات الدقيقة ، معظم هذه الكائنات تنمى على بقايا المحاصيل وعلى الأخشاب ومخلفات صناعة الأوراق ، وكذلك على البترول ، حيث نحصل منها على البروتين . بعض هذا البروتين سبق الحديث عنه عندما تكلمنا عن الطحالب الميكروسكوبية .

إن التغذية على كائنات دقيقة ليست عملية جديدة على الإنسان ، فقد بدأت قبل معرفة الإنسان لتلك الكائنات بآلاف السنين ، فصناعات التخمير المختلفة كصناعة الخبز وكثير من الفطائر والمعجنات والألبان المخمرة وبعض أنواع الجبن تحتوى مع مكوناتها الأساسية على كائنات مجهرية حية نتغذى عليها ونستطعمها ، فهى تعطى للطعام نكهة خاصة مميزة ومذاقاً مستحباً ، فالخبز الذى نأكله ، يحتوى على نسب تتراوح ما بين 1 إلى 4 % من وزن الدقيق المستخدم من فطر الخميرة الوحيد الخلية ، والألبان المخمرة مثل اللبن الزبادى يحتوى على أعداد كبيرة من البكتيريا المنتجة لحمض اللاكتيك تتراوح أعدادها ما بين 10 مليون إلى 10 مليار خلية بكتيرية حية لكل جرام واحد من اللبن المتخمر .

مع أوائل القرن الماضى بدأ التفكير فى زراعة الكائنات الدقيقة للإستخدام المباشر كغذاء للإنسان ، فقد استخدم الألمان ، أثناء الحرب العالمية الأولى (1914-1918) ، خميرة البيرة المعروفة علميا باسم سكارومييسيز سرفيسيا *Saccharomyces cerevisiae* ، والمنماة على المولاس وأملاح النشادر كغذاء للإنسان. وخلال الحرب العالمية الثانية (1939-1945) ، حيث كانت الشعوب الأوربية تعانى نقصا فى البروتين ، عالج الإنجليز ذلك بتنمية الخميرة كانديدا يوتيلس *Candida utilis* على المولاس ، واستخدمت الخميرة الناتجة كمكمل غذائى لرفع نسبة البروتين فى الغذاء.

نتج عن زيادة معدلات الخميرة فى الغذاء حالات حساسية عزيت إلى زيادة مجموعة فيتامين B فى الغذاء hypervitaminosis . بعد إنتهاء الحرب العالمية الثانية أقيم بترينيداد بأمريكا الوسطى مصنعا لإنتاج الخميرة على مخلفات صناعة السكر ، وكان المنتج يسوق فى الهند وماليزيا وشرق أفريقيا.

إن الزيادة الكبيرة فى تعداد السكان خلال النصف الثانى من القرن الماضى ، وما تبع ذلك من نقص شديد فى الغذاء ، أدى إلى ظهور أمراض ناتجة عن سوء التغذية وخاصة المتسببة عن نقص البروتين. كل هذه العوامل مجتمعة شجعت البحث عن مصادر جديدة للغذاء مع التركيز على الغذاء البروتينى. لهذا الغرض تشكلت فى عام 1955 المجموعة الاستشارية للبروتين والتى يرمز إليها بالرمز PAG لمساعدة المنظمتين الدوليتين للصحة WHO وللأغذية والزراعة FAO. إهتمت المجموعة بالبروتين الناشئ عن اللبن الفرز ودقيق فول الصويا ، ثم تركز الاهتمام على البروتين الميكروبى ، أى بروتين الخلية الواحدة. وقد حفز المجموعة الاستشارية للبروتين على تركيز إهتماماتها على البروتين الميكروبى ، ما ثبت من أن البروتين الميكروبى يتفوق فى كفاءته الإنتاجية على كفاءة إنتاج الأنواع الأخرى من البروتين ، فكيلوجرام واحد من الأبقار ينتج جراما واحدا من



شكل 21 : مصنع لإنتاج الخميرة للغذاء (أعلى) والخميرة الناتجة وقد صب من أحد البراميل (أسفل)

البروتين يوميا ، بينما كيلوجراما واحد من فول الصويا ينتج يوميا عشرة جرامات من البروتين فى اليوم ، فى حين أن كيلوجراما واحدا من فطر الخميرة ينتج حوالى 1500 جرام بروتين يوميا. أما فى حالة تنمية البكتيريا كغذاء بروتينى فإن الإنتاج يزيد كثيرا عن الحالات السابقة إذا ما توفرت ظروف النمو المثالية. وترجع الزيادة الكبيرة فى الإنتاج فى حالة الكائنات الدقيقة إلى سرعة تكاثرها ، حيث يتم الجيل فى الخميرة خلال ساعة إلى ساعتين ، وفى البكتيريا يتم ذلك فى أقل من الساعة.

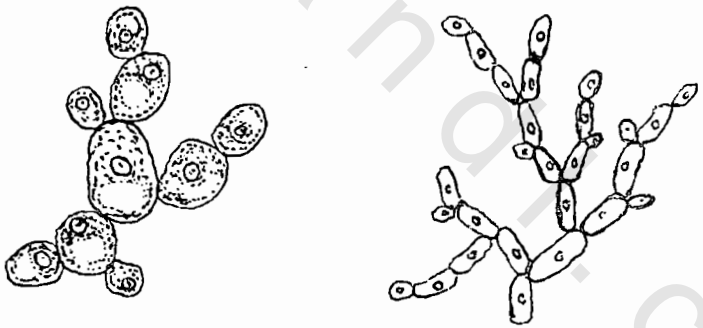
جدول 7

سرعة تكاثر الكائنات الحية الممكنة إستخدامها كغذاء بمقارنتها بالأغذية التقليدية

نوع الغذاء	مدة تضاعفه فى الوزن تحت أنسب الظروف	عدد مرات تضاعفه فى الوزن	
		بعد 24 ساعة	بعد سبعة أيام
بكتيريا	0.5 ساعة	250.000.000.000.000	10×500^{96}
خميرة	1.0 ساعة	16.000.000	10×250^{48}
طحلب وحيد الخلية	12 ساعة	4	16.000
نبات زهرى	168 ساعة	0.14	1.0
حيوان ثديى	720 ساعة	0.03	0.23

والخمائر مع غيرها من الفطريات والبكتيريا تهيئ لنا وسيلة لزيادة الإنتاج الغذائى وبخاصة البروتينى منها ، وذلك بتحويلها لأنواع رخيصة القيمة من المواد الكربوايدراتية أو الهيدروكربونية إلى بروتينات دون فقد الكثير من الطاقة الموجودة أصلا. ومن أهم الخمائر التى ثبت نجاحها فى هذا المجال خميرة كانديدا يوتيلس ، وهى خميرة غير متجرثمة ، ذات طعم ورائحة مقبولين ، ويمكن تنميتها جيدا على

مخلفات زراعية رخيصة مثل مولاس السكر ونواتج التحلل المائى للخشب وبعض مخلفات صناعة الورق وغيرها• تنمو خميرة الكانديدا جيداً فى غياب النتروجين العضوى ، ويمكن إستخدام أملاح الأمونيوم لتزويد بيئة النمو بعنصر النتروجين ، وكذلك فهى تنمو على السكريات الخماسية بجانب قدرتها على إستخدام السكريات السداسية ، ولا تحتاج هذه الخميرة إلى فيتامينات أو عوامل نموٍ خاصة ، وكذلك فهى تتحمل التركيزات العالية من الكبريتيت•



شكل 22 : فطريات خميرة تستخدم كغذاء
يمين : كانديدا يوتيلس
يسار : سكاروميسير سرفيسي

obeikandl.com

تتضاعف خلايا الخميرة عند وضعها فى البيئة المناسبة خلال بضعة ساعات ، ويتوقف المحصول النهائى منها على نوع الخميرة المستخدمة وعلى كميات ونوعيات الغذاء المنماة عليه وعلى درجة الحرارة والتهوية وعلى عمر المزرعة. وعادة يجفف محصول الخميرة الناتج على حرارة مرتفعة تقتل الخمائر وتحسن من قابلية بروتينها للهضم.

يقدر محصول الخميرة الجافة ، والتى تحتوى على 7 % رطوبة ، بحوالى 45 إلى 50 % من وزن السكر الموجود أصلاً فى بيئة النمو. وقد أمكن الحصول على طن من الخميرة الجافة يومياً من كل برميل ملىء بيئة مغذية تحتوى على حوالى 1500 كيلوجرام من السكر والمضاف إليه 225 كيلوجرام من بادئ الخميرة. المحصول الصافى الناتج من كل برميل وهو حوالى 775 كيلوجرام يعادل فى قيمته الغذائية خمسة عشر رأساً من الماشية ، حيث تحتوى الخميرة الجافة الناتجة على 45 – 50 % من وزنها بروتين.

إستخدام الخميرة كغذاء للإنسان بدلاً من اللحوم ليس هو المطلب الحالى ، فمعظمنا يفضل الحصول على البروتين من اللحوم ، لكن ليس فى إمكانيات الكثير الحصول عليه من اللحوم. إنتاج البروتين الحيوانى يتطلب خسائر كبيرة فى الطاقة الغذائية. ففى حسابات ثايسن Thaysen سنة 1943 وجد أن محصول فدان من محصول كربوإيدراتى إذا غذيت به ماشية فإنه يمكنه إنتاج 30 كيلوجراماً من البروتين فى صورة لحوم أو ألبان ، فى حين أن نفس المحصول يمكن إستخدامه فى إنتاج 380 كيلوجراماً من البروتين فى صورة خميرة.

إستخدام الخميرة كمصدر رئيسى لبروتين الإنسان لم ينجح حتى الآن إذ أن الإكثار منها تضر الإنسان فى كثير من الحالات ، ولكنها نجحت كغذاء إضافى للإنسان بجانب المصادر البروتينية الأخرى ، فيمكن خلط الخميرة بالدقيق عند عمل الخبز والحصول على خبز به معدلات بروتين مرتفعة وله نكهة اللحوم ، وقد ذكر

جوبين Gubin سنة 1944 أن إضافة 42 جرام من الخميرة إلى رغيف الخبز يرفع قيمة الرغيف الغذائية بما يعادل 2.5 بيضة أو 115 جرام من اللحم البقرى أو 56 جرام من الجبن.

وقد نصحت هيئة التغذية لأمريكا الوسطى وبنما INCAP فى حالات سوء التغذية الشديد والنقص الواضح فى البروتين والذى يؤدى إلى ظهور مرض كواشيوركور Kwashiorkor ، المنتشر بين الأطفال فى أماكن المجاعات ، والذى تظهر أعراضه فى فقر الدم والاستسقاء وإنتفاخ فى البطن وضمور فى العضلات وبهتان لون الجلد مع تسلخه وتساقط فى الشعر أو تغير فى لونه ، بالتغذية على خبز مصنع من دقيق مضاف إليه خميرة ويتركب كالآتى :

دقيق ذرة شامى كامل	% 29
دقيق ذرة رفيعة كامل	% 29
كسب بذرة قطن	% 38
خميرة تريولا	% 3
كربونات كالسيوم	% 1

ويضاف إلى ما سبق 4500 وحدة فيتامين A لكل 100 جرام خليط. الخليط السابق يحتوى على 27.5 % بروتين ، نوعيته تشبه نوعية بروتين اللبن ، وقد أدت التغذية عليه إلى نتائج تشبه نتائج التغذية على بروتين حيوانى.

تحتوى بروتينات الخميرة على جميع الأحماض الأمينية الأساسية ، إلا أنها أقل فى القيمة الغذائية من البروتين الحيوانى ، وذلك لإنخفاض نسبة الأحماض الأمينية المحتوية على كبريت مثل المثيونين والسيسيتين (جدول 4) ، ولهذا فإنه عند استخدامها للتغذية تكون فاعليتها عالية إذا أعطيت فى حدود 50 % من الغذاء البروتينى. ويعتقد أن إضافة الخميرة مع فيتامين C إلى غذاء المسنين يفيد فى تقليل أمراض الشيخوخة.

الغذاء من البترول

من المعروف أن البترول نتج عن تحول جيولوجى لأحياء عاشت منذ أحقاب سحيقة ، ثم طمرت بفعل عوامل الطبيعة التى تتسبب فى حدوث تغييرات فى سطح الأرض كالزلازل والبراكين وتعرضت لضغوط شديدة ، وحدث لها خلال الأزمنة الطويلة تحول إختزالى شديد ، تحولت بعدها أجساد تلك الأحياء إلى مركبات عضوية تتركب أساساً من عناصر الكربون والإيدروجين والأكسوجين ، وبفعل عوامل الاختزال فقدت تلك المواد معظم ما بها من عنصر الأكسوجين ونتج عن ذلك مكونات البترول الخام المتكونة أساساً من عنصرى الكربون والإيدروجين ، ولهذا فهى تعرف بإسم المواد الهيدروكربونية hydrocarbons .

فكرة إنتاج الغذاء من البترول تعتمد على نظرية إعادة الحياة إلى بعض مكونات البترول الخام بطريقة غير مباشرة ، وذلك باعتبارها مكونات أساسية لبيئة تغذية كائنات دقيقة واعتبار البترول مصدراً للكربون ، فتقوم هذه الكائنات الحية بتحويل المكون البترولى وخاصة ما به من كربون إلى مواد عضوية حية تدخل فى تركيب أجسام الكائنات الحية. والكائنات الحية النامية على البترول هى الغذاء غير التقليدى الذى سنتحدث عنه.

الكربون بوجه عام يعتبر العنصر الأساسى الذى يميز الكائنات الحية ، فهو يكون حوالى 50 % من مادته الحية الجافة ، يليه فى ذلك عنصر النتروجين الذى يمثل نسبة تتراوح ما بين 3 إلى 15 % من مادة الكائن الحى الجافة.

لاحظ المؤلف عند إفتتاح مشروع الجبيل الصناعى عام 1977 ، بالمملكة العربية السعودية وهو مشروع كبير يهتم بالصناعات المرتبطة بالبترول ، أن معظم هذه الصناعات يندرج تحت مسمى الصناعات البتروكيميائية petrochemicals ، إلا أنه

من الملاحظ أيضاً أن المخطط العام آنذاك إشتمل على مصنع لإنتاج البتروبروتين petroprotein ، أى البروتين البترولى وهو المصنع الوحيد فى المخطط الذى يندرج تحت مسمى الصناعات البتروبيولوجية petrobiology. بعد ذلك لم نسمع عن دراسات أو خطط تتجه نحو تنفيذ هذا المصنع وإنتاج البروتين من البترول ، تلك المادة الغذائية الهامة. ولعل الإرتفاع الشديد الذى طرأ ، عقب ذلك ، على أسعار البترول وإرتفاع الطلب عليه كان من أسباب إرجاء التفكير فى صناعة البروتين البترولى. لكن الوقت قد حان لإعادة الدراسة والعودة إلى المخطط بالنسبة لهذه الصناعة ، من أجل أمن غذائى نحن فى أمس الحاجة إليه ، لاسيما أن تعداد سكان كوكب الأرض فى تزايد مستمر ، وأن أسعار البترول قد تراجعت بعد الطفرة الكبيرة فى زيادة أسعاره ، وبعد تسخير مصادر أخرى للطاقة منافسة لطاقة البترول.

والبترول فى مجال صناعة البتروبروتين ليس إلا أحد مكونات وسط غذائى أو بيئة غذائية ، تشتمل بجانب البترول على مكونات أخرى تتلاءم مع نمو الكائنات الدقيقة التى لا تستطيع تثبيت الكربون أو الاستفادة من غاز ثانى أكسيد الكربون كمصدر لعنصر الكربون ، أى أن هذه البيئة تتلاءم مع نمو الكائنات الحية التى لا يدخل الكلوروفيل فى تكوين خلاياها كالبكتيريات والفطريات.

وفكرة استخدام البترول فى تنمية الكائنات الدقيقة هى جزء من فكرة عامة نشأت عن محاولات لتنمية كائنات دقيقة فطرية أو بكتيرية على مخلفات عضوية معظمها نباتية الأصل مثل المولاس ومصاصة القصب وتبن القمح وحطب القطن ، كمصادر لعنصر الكربون اللازم لتغذية ونمو وتكاثر الكائنات الدقيقة ، أو تنمية طحالب على محاليل مغذية خالية من المادة العضوية ، ثم إستخدام الكائنات الدقيقة النامية على تلك البيئات ، سواء كانت هذه الكائنات فطرية أو بكتيرية أو طحلبية كغذاء غنى فى البروتين. ونظراً لأن معظم هذه الكائنات الدقيقة وحيدة الخلية ، فقد أطلق على

البروتين المنتج فى هذه الحالة ، بروتين الخلية الواحدة single cell protein ، ولـهذا يمكن القول بأن البتروبروتين هو أحد أنواع بروتين الخلية الواحدة.

البتروبروتين

البتروبروتين كلمة مستحدثة ، إشتقت من مصدريـن ؛ أولـهما البـترول وثانيـهما البروتين ... أولهما الوقود الجيولوجى الهام وثانيـهما المـادة الغذائيـة الهامـة لنمـو الإنسان وكافة الحيوانات ... الإثنين غذاء ... أولهما غذاء للميكروبات وثانيهما غذاء للحيوان حاليا وللإنسان مستقبلا بإذن الله.

بدأت المحاولة الأولى لإنتاج بروتين تجارى من البترول فـى نهايـة الخمسينات من القرن الماضى ، وذلك بتنمية كائنات دقيقة على هيدروكربونات بالفرع الفرنسى لشركة البترول البريطانية ، BP ، ويتـم الإنتـاج أساسـا لتغذيـة الماشـية والدواجن. وقد قطعت الدراسة فى هذا المجال شوطا كبيرا وأصبح هناك دول منتجـة للبروتين من البترول وأخرى مستهلكة له ، فمن الدول المنتجة للبتروبروتين فرنسا وإسكتلندة والولايات المتحدة الأمريكية واليابان وروسيا.

ومن المواضيع الهامة التـى تشـغل أذهـان البـاحثين فـى هـذا المجـال ، اسـتخدام البتروبروتين فى تغطية النقص فى إحتياجات الإنسان من البروتين. وقد اتضح من الدراسات التى أجراها جونسن Johnsen عام 1967 أنه من الممكن إستخدام ما بين 15 إلى 20 % من إنتاج البترول العالمى فى ذلك الوقت لتغطية طلبات سـكان العـالم من البروتين وقتذاك. الموضوع ليس بالبساطة كما يتصور الكثيرون ، فالدراسات التى تجرى لمعرفة صلاحية البروتين المنتج من البترول ، لتغذية الإنسان مـا زالـت مستمرة. ذلك أن هنـاك مـن الأسـباب مـا يدعـو إلـى ضـرورة إسـتمرارية هـذه الدراسات حتى يتسنى إنتاج البروتين الملائم للإنسان.

ليست جميع مكونات البترول الخام صالحة لتنمية الكائنات الدقيقة ، ولعل أكثرها ملاءمة لهذا الغرض هى المركبات الهيدروكربونية المعروفة بالألكانات n-alkanes * ، وأفضل الألكانات فى هذا المجال تلك التى تحتوى جزيئاتها على عدد من ذرات الكربون تتراوح ما بين 10 إلى 22 ذرة ، غير أن المجموعة المفضلة من تلك الألكانات هى المكونة من سلاسل طولية غير متفرعة ، تليها فى الأفضلية المجموعة المكونة من سلاسل متفرعة ، وأقل منها فى الأفضلية المركبات الهيدروكربونية المكونة من أشكال حلقية.

الألكانات المستخدمة فى تنمية الكائنات الدقيقة ، عبارة عن مركبات سائلة تحت الظروف الجوية العادية ، لكنها قليلة الذوبان فى الماء ، وتتراوح معدلات ذوبانها فى الماء ما بين 6 إلى 16 جرام لكل لتر ماء. ولإنخفاض معدلات ذوبانها فى الماء ميزة ، إذ أنه يسهل فصل بقاياها التى لم تستهلك فى تنمية الكائنات الدقيقة ، إلا أن قلة الذوبان تلك ينشأ عنها صعوبة فى نقل الغذاء الهيدروكربونى من بيئة النمو إلى داخل خلايا الكائن النامى.

المركبات الهيدروكربونية الألكانية التى تحتوى جزيئاتها على ذرتين إلى تسعة ذرات كربون ، لا تقبل عليها الكائنات الدقيقة ، أما تلك التى تحتوى جزيئاتها على 23 ذرة كربون فأكثر فهى مركبات صلبة يصعب إستخدامها.

تهاجم المركبات الهيدروكربونية الألكانية السائلة والمناسبة لنمو الكائنات الدقيقة بعدد من تلك الكائنات منها الخمائر كانديدا *Candida* وتوريولا *Torula* وتوريولوبسس *Torulopsis* ، وأنواع من البكتيريا منها ميكوبكتيريا *Mycobacteria* وسيدومونس *Pseudomonas* ونوكارديا *Nocardia* وكورينبكتيريم *Corynebacterium* وميكروكوكس *Micrococcus* .

---

* الألكانات ، هى مركبات هيدروكربونية مشبعة ذات سلاسل مفتوحة تركيبها العام C_nH_{2n+2} ، وتعرف أيضا بالبرافينات paraffines . أول هذه المجموعة الميثان CH_4

ومن منتجات البترول الأخرى التى استخدمت بنجاح فى تنمية الكائنات الدقيقة ، بغرض إنتاج البتروبروتين ، غاز الميثان methane ، وهو غاز يحتوى جزيئه على ذرة كربون واحدة ؛ CH_4 ، كما إستخدم لنفس الغرض ولكن بدرجة أقل ، غازى البروبان propane ؛ $C_3 H_8$ والبيوتان butane ؛ $C_4 H_{10}$. ومن الممكن تحويل بعض الألكانات الغازية إلى كحولات والاستفادة منها فى تغذية الميكروبات ، ومن ذلك كحول الميثايل methanol ؛ $CH_3 OH$ وكحول الإيثايل ethanol ؛ $C_2 H_5 OH$ ، وكلا الكحولين يسهل دخولهما فى البيئة لتغذية الكائنات الدقيقة وإنتاج البروتين. وقد وجد أن ثلاثة أنواع من البكتيريا السالبة لصبغة جرام تستخدم الميثان أو كحول الميثايل كمصدر إجبارى للكربون والطاقة وهى سيدوموناس ميثانيكا *P. methanica* وميثانوموناس ميثانوأكسيدنس *Methanomonas methanooxidans* وميثايلوكوكس كبسيولاتس *Methylococcus capsulatus* . وقد وجد أن إستخدام مزرعة بكتيرية مختلطة ؛ أى تحتوى على اكثر من نوع من البكتيريا تعطى محصول أكبر عن المزارع النقية فى حالة إستخدام الميثان كمصدر للكربون. وقد اقترح البعض أنه من الممكن إنتاج مزرعة من البروتوزوا بالتغذية على البكتيريا المنماة على منتجات البترول ، ثم تغذية مزرعة سمكية على البروتوزوا ، والأسماك الناتجة تكون غذاءاً مقبولاً للإنسان. ومن الخمائر التى نجحت تنميتها على الميثان ومشتقاته كانديدا ليبوليتيكا *C. lipolitica* .

جدول 8
محصول أنواع من البكتيريا المنماة على بيئة تحتوى على الميثان كمصدر للكربون

نوع البكتيريا	المحصول جم / جم ميثان
Pseudomonas methanica	56
Methanomonas methanooxidans	110
Methylococcus capsulatus	110

ملاحظة : يقل المحصول بحوالى 20 % فى حالة استخدام كحول الميثايل بدلا من الميثان.

عند استخدام المنتجات البترولية فى تنمية الكائنات الدقيقة ، تكون المادة البترولية هى مصدر عنصر الكربون فى البيئة ، اللازم لتغذية الكائن الحى ، ويلزم مع هذا ضرورة توفر عناصر أخرى فى صور أملاح مختلفة. فمن الضرورى أن تشتمل بيئة النمو على مصدر لعنصر النتروجين مثل كبريتات الأمونيوم أو نترات البوتاسيوم أو اليوريا ، حتى يمكن للميكروب النامى تكوين المواد البروتينية. ومن العناصر الأخرى الضرورية لنمو الكائنات الدقيقة الفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنسيوم والمنجنيز وغيرها. كما يراعى توفر التهوية اللازمة ودرجتى الحرارة والحموضة الملائمتين أثناء نمو هذه الكائنات. وعموما فإن التركيبة التخميرية تتكون من أربعة أطوار ؛ مواد هيدروكربونية مستحلبة أو ذائبة أو غازية، مواد غذائية أخرى ذائبة فى الماء ، هواء متجدد ، ويضاف إلى ذلك الخلايا البكتيرية.

فى البيئات الغذائية المركبة العادية التى تستخدم عادة لتنمية البكتيريا والفطريات يكون مصدر الكربون فيها هو أحد المواد الكربوإيدراتية كالمواد السكرية ، وتتميز المواد الكربوإيدراتية على المواد الهيدروكربونية بإحتواء الأولى على عنصر الأكسوجين بجانب عنصرى الكربون والإيدروجين ، وغياب الأكسوجين فى المواد الهيدروكربونية ، مما يتضح معه زيادة حاجة الكائنات الدقيقة المنماة على منتجات البترول إلى الأكسوجين اللازم لأكسدة المواد البترولية. وقد قدر البعض نفقات تزويد الأكسوجين لبيئة التنمية على المركبات الهيدروكربونية بحوالى 20 % من قيمة الإنتاج. كذلك فقد وجد أن زيادة عمليات الأكسدة يصاحبها زيادة فى كميات الحرارة الناتجة عن نمو الميكروبات ، ويقابل هذا كفاءة عالية فى تحويل المواد الهيدروكربونية إلى خلايا حية. وتعتبر عملية التبريد أثناء التخمير من المشاكل الهامة وخاصة فى البلاد الحارة.

جدول 9
كفاءة تحويل المواد الهيدروكربونية إلى خلايا حية والأكسوجين المطلوب والحرارة الناتجة مقارنة بالمواد الكربوايدراتية

الميكروب	وسط النمو	معدل المحصول إلى وسط النمو جم / جم	الأكسوجين المطلوب جم /100 جم محصول جاف	الحرارة الناتجة عن نمو 100 جم ميكروب (كيلو كالورى)
بكتيريا	مواد هيدروكربونية	1/1	192	780
خميرة	مواد هيدروكربونية	1/1	197	799
خميرة	مواد كربو إيدراتية	2/1	67	383

ويمكن الاستفادة من الحرارة العالية الناتجة عن أكسدة المواد البترولية بتنمية كائنات دقيقة محبة للحرارة مثل البكتيريا باسلس ستيروثرموفيلس *Bacillus stearothermophilus* التى يمكنها النمو على حرارة 60 إلى 70 ° م ، وهذه البكتيريا ذات محتوى بروتينى مرتفع يصل إلى حوالى 70 % من وزنها الجاف. ومن الفطريات التى تتحمل حرارة مرتفعة خميرة كانديدا تروبيكالس *C. tropicalis* .

يتضح مما سبق أهمية الأكسوجين عند تنمية الكائنات الدقيقة على منتجات البترول ، فقد وجد أن إنتاج جرام واحد وزن جاف من الخمائر يحتاج إلى جرامين من الأكسوجين تقريبا عند التنمية على مواد هيدروكربونية ، وذلك مقابل حوالى 0.7 جرام أكسوجين عند التنمية على منتجات كربوايدراتية. كذلك فقد تبين أن إنتاج جرام واحد من خميرة كانديدا تتطلب جرام واحد من مواد هيدروكربونية وينتج عن ذلك ما بين 4.5 إلى 8 كيلو كالورى حرارة ، فى حين أن إنتاج نفس الكمية يتطلب حوالى جرامين من مواد كربوايدراتية وينتج عن ذلك حوالى نصف كمية الحرارة.

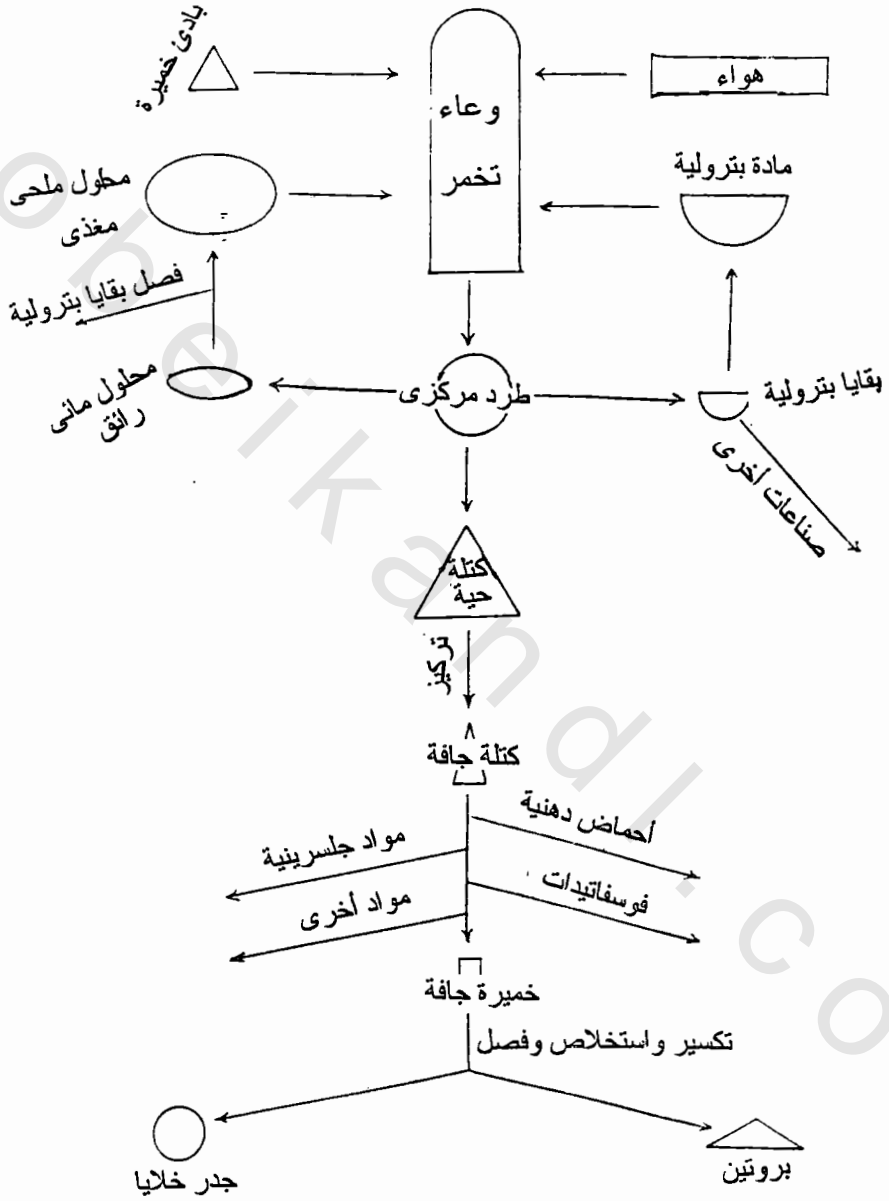
وكما سبق ذكره فالبتروبروتين ، بالرغم من أن أهم خامات إنتاجه هى بعض مشتقات البترول ، إلا أنه ينتج أساسا من كائنات دقيقة حية ، قد تكون بكتيرية وقد تكون فطرية ، وأكثر تلك الكائنات قبولا ونجاحا فى هذا المجال ، ميكروبات فطرية تعرف بالخمائر • والخمائر فى نموها لا تكون نموا خيطيا متصلا ، بل تكون خلايا فردية غالبا ، وقد تتبرعم تلك الخلايا • خلايا الخميرة تكبر خلايا البكتيريا عشرات المرات ، كما تتميز بخلايا الخميرة نواة محددة بكل منها ، لا توجد مثيلاتها فى خلايا البكتيريا • وقد تركزت صناعات البتروبروتين الناجحة حتى الآن على إنتاج الخمائر • وقد عرفت منها فى الصناعة أنواع مختلفة من أشهرها كانديدا ليبوليتيكا *C. lipolitica* وكانديا تروبيكالس *C. tropicalis* ، حيث تعتمد عليهما مصانع شركة البترول البريطانية ؛ BP لإنتاج البتروبروتين المعروف تجاريا باسم توبرينا toprina فى كل من فرنسا واسكتلندا وسردينيا • كذلك فإن كل من روسيا وألمانيا قد اتفقتا على إنتاج بتروبروتين باسم فرموسين fermosin من سلالة من خميرة كانديدا •

لقد فضلت الخمائر عن البكتيريات فى إنتاج البتروبروتين لسببين أساسيين فى الصناعة • السبب الأول فى تفضيل الخمائر عن البكتيريا يرجع إلى سهولة مهاجمة البكتيريا بمفترسات تقوم بتحليلها ، وبطفيليات فيروسية تهاجمها تعرف بالفاج phage ، مما يتطلب إجراءات خاصة للتعقيم قبل وأثناء التنمية فى حالة استخدام البكتيريا وليس فى حالة الخمائر • السبب الثانى لتفضيل الخمائر يتمثل فى صعوبة فصل البكتيريا من وسط النمو نتيجة لصغر حجمها مقارنة بحجم الخمائر • ويجرى الفصل فى الصناعة عادة باستخدام الطرد المركزى ، ومن المعروف أن سرعة فصل الأجزاء الصلبة بالطرد المركزى يتناسب طرديا مع مربع قطر الجزء المفصول ، لهذا فإن البكتيريا وهى أصغر الكائنات المستخدمة فى إنتاج البتروبروتين ، وفى نفس الوقت فإن كثافتها تقترب من كثافة الماء ، تحتاج لفصلها

إلى جهد زائد ، وتقدر تكاليف فصلها بأربعة أمثال تكاليف فصل الخمائر الأكبر حجما . وقد أمكن تسهيل عمليات فصل الميكروبات عموما وخفض تكاليفها بتجميع الكائنات الدقيقة قبل إجراء عملية الطرد المركزى وذلك بطريقة التجميع الكهربائى . وهناك سبب آخر لتفضيل الخمائر عن البكتيريا فى صناعة البتروبروتين تتعلق بالصفات الصحية للمنتج ، وهى إرتفاع معدلات الأحماض النووية فى البكتيريا عنها فى الخمائر .

تتم صناعة البتروبروتين من الخمائر على خطوات ... الواحدة تلو الأخرى ، بدءا بتجهيز خليط التخمير ؛ أى بيئة التنمية ، فى وعاء التخمر . يجهز المحلول الملحى المغذى والمحتوى على عناصر التغذية المختلفة ، عدا الكربون مذابة فى ماء . يستكمل سائل التخمير بإضافة المصدر الكربونى ، وهو منتج بترولى سائل غالبا ، وعادة ما يكون فى صورة مستخلص بترولى بارافينى مكون من سلاسل كربونية طولية تتراوح عدد ذرات الكربون فى الجزيئى الواحد منها ما بين 10 إلى 22 ذرة . وتفضل بعض الشركات إستخدام زيت البترول الخفيف الذى تتراوح درجة غليانه ما بين 240 إلى 360 ° م ، ويفضل البعض الآخر الزيت الثقيل الذى يغلى على حرارة 300 إلى 380 ° م .

ولبدء عملية التخمر ، يلزم إضافة كمية من الخميرة تعمل كبادىء لعملية التخمر . ويشترط فى بادئ الخميرة المختار أن تكون الخميرة المنتقاه قادرة على إنتاج محصول مرتفع ذى عائد اقتصادى جيد . لهذا وجب أن تكون هذه الخميرة ذات تركيب وراثى ثابت حتى يضمن إستمرارها فى الإنتاج الجيد جيلا بعد آخر ، وأن تكون نشطة سريعة التكاثر ، سائدة فى نموها على سائر الميكروبات الأخرى التى قد تنمو على بيئة النمو البترولية تحت ظروف الصناعة ، ملوثة مزرعة



شكل 23 : رسم تخطيطي لخطوات صناعة البتروبروتين

obeikandl.com

الخميرة المنماة. تؤدى القوة السيادية للخميرة المستخدمة إلى عدم الحاجة إلى التنمية تحت ظروف معقمة. يؤدى ذلك بالتالى إلى الإقلال من التكاليف الناتجة عن التعقيم فى المبدأ والمحافظة على ظروف التعقيم خلال التنمية.

لا تستكمل عملية التخمر إلا بتوفير وسط جيد للتهوية ، نظرا لاحتياج عمليات تخمر المركبات الهيدروكربونية إلى أكسوجين يفوق كثيرا إحتياجات التخمر فى حالة إستخدام مواد كربوايدراتية (جدول 9).

ونظرا لأن مخلوط التخمر يتكون من طورين سائلين غير قابلين للإمتزاج ، هما المحلول الملحى المائى والسائل البترولى ، لهذا وجب أن يكون الاتصال بينهما كاملا ، وكذلك بين الطورين السائلين والهواء الجوى والخميرة المنماة ، ويتم ذلك بالرج المستمر الكافى لاستحلاب الكمية القليلة من السائل الهيروكربونى فى الكمية الكبيرة من المحلول المائى ، ولإمتزاجهما بالكائن الحى النامى والهواء الجوى الكافى.

بعد تمام عملية التخمر ، التى تختلف مدتها حسب نوع وسلالة البادىء المستخدم وكميته ، وحسب تركيب المخلوط المغذى ودرجة التهوية ودرجة الحرارة ، تبدأ عملية فصل الخميرة عن سائل التخمر ، ويتم ذلك بالتصفية أولا ثم بالطرد المركزى ثانيا ، وبذلك يتم فصل حوالى 60 % من المحتوى المائى لمخلوط التخمر ، كما تفصل معظم بقايا المواد البترولية التى لم تستخدم فى التغذية. تظهر الكتلة الحية المفصولة فى صورة سائل قشدى يحتوى على خلايا الخميرة الحية وماء ، وقد يحتوى على بقايا بترولية ممتصة على جدر خلايا الخميرة.

عقب ذلك ، تبدأ عمليات تركيز الكتلة الحية وتنقيتها ، حيث تجفف فى وحدات تجفيف ، ثم يعاد تنقيتها لضمان خلوها تماما من المواد البترولية. تتضمن عمليات التنقية إستخلاص متعدد المراحل للكتلة الحية ، مستخدما فى ذلك مذيبات مختلفة مثل الكحولات والأسيتون اللاتى تعمل على إزالة الماء وبعض الدهون الداخلية ،

فيؤدى ذلك إلى تحسن خواص الخميرة ، حيث أن إحتواء الخمائر على الدهون يفوق المعدلات الطبيعية للأغذية الأخرى المماثلة. كذلك فإن هذه المعاملات تؤدى إلى تسهيل فصل بقايا البترول الممتص على جدر خلايا الخميرة.

من الطبيعة أن يعقب كل إستخلاص أو غسيل عملية فصل خلايا الخميرة من المذيب أو سائل الغسيل ، ويتم ذلك عادة بالطرد المركزى ثم بالتقطير أحيانا. وبذلك يمكن إستعادة المذيبات وإعادة إستخدامها ، كما يمكن الاستافدة من بعض المواد الذائبة مثل الفوسفاتيدات والأحماض الدهنية والمواد الجلسرينية والإرجوستيرين ergosterine وغير ذلك ، بعد فصلها بمعاملات خاصة. كذلك فإن ما يتخلف من المادة البترولية بعد استهلاك الخميرة النامية لمعظم ما بها من برافينات ، يمكن الاستفادة منها بخلطها مع زيت الديزل فتحسن من خواصه الحرارية.

بعد تمام عمليات الاستخلاص والتنقية والتجفيف نحصل على محصول من خلايا خميرة غير حية تحتوى على معدلات عالية من البروتين تصل إلى 65 %.

بروتين الخلية الواحدة .. ما له .. وما عليه

يتساءل البعض عن إمكانية صلاحية البروتين المنتج من البترول كغذاء للإنسان. الحقيقة أن هذا المنتج يحتاج إلى رقابة كيميائية وفيزيائية وصحية شديدة لضمان نقاوته ، كما أنه يحتاج إلى دراسات إكلينيكية للتأكد من سلامته للصحة الآدمية ، وقد أوصت بذلك مجموعة البروتين الاستشارية ؛ PAG النابعة عن هيئة الأمم المتحدة عام 1971 ، ويرجع ذلك إلى عدة أسباب. ولعل أكثر الأسباب إثارة لدى جمهور المستهلكين هو إحتمال وجود بعض المواد المنبهة لإحداث خلايا سرطانية فى المنتج المنمى على البترول ، ومن المواد المسرطنة المحتمل وجودها بالمنتج مادتى ميثيل كولانثرين methyl cholanthrene وبنزبيرين 3,4-benzpyrene ، علما بأن التركيز الذى وجد من هذين المركبين بالخمائر المنماة على البترول يقل كثيرا عن مثيليهما الموجودان فى اللحوم المدخنة. وقد اتضح حتى الآن أن وجود المواد المسرطنة بالبتروبروتين لا تمثل مشكلة عويصة الحل ، بل هى من المسائل القابلة للحل. كذلك فقد لوحظ فى تجارب تغذية على الفئران ، تكون قرح فى كبد الفئران المغذاة على الخمائر ، وقد علل ذلك بنقص فى عنصر السلينيم وفى فيتامين B_{12} ، ومثل هذا النقص يسهل علاجه بإستكمال هذا النقص بالإضافة فى الوجبات الغذائية.

المشكلة الحقيقية التى تحد كثيرا من إستخدام الغذاء الميكروبى ، سواء أكانت بيئة نموها تدخلها مركبات بترولية أو كربوإيدراتية ، لتغذية الإنسان ، تكمن فى إرتفاع معدلات الأحماض النووية بخلايا الكائنات الدقيقة حيث تصل إلى 8- 25% من بروتيناتها ، مقارنة بنسبة 4 % فى بروتين الكبد وحوالى 1 % فى بروتين دقيق القمح. يعزى الضرر الناتج عن إرتفاع نسبة الإحماض النووية إلى إحتواء تلك الأحماض النووية على بيرينات pyrines التى ينتهى تحولها الغذائى فى الإنسان إلى تكوين حمض يوريك uric acid ، مما يؤدى إلى زيادة ضغط العمل على الكلى وإلى

إرتفاع معدل وجوده فى بلازما الدم. كذلك فإن قلة ذوبان حمض اليوريك تحت ظروف الحموضة الفسيولوجية تزيد من إحتمالات تكون الحصى بالمجارى البولية، أو تكوين بلورات فى المفاصل مسببة مرض النقرس gout أو التهاب المفاصل.

بالنسبة لبعض الأشخاص ، قد تتسبب زيادة معدلات الأحماض النووية بالوجبات الغذائية إلى حدوث إضطرابات معوية وحدوث قيء وإسهال. ومن الأعراض الأخرى التى قد تحدث ، تقشر الجلد فى راحة اليد أو أخمص القدم مع حدوث إستسقاء وهرش فى إصبع القدم الكبير.

وبالرغم من الآثار الضارة الناجمة عن إرتفاع معدلات الأحماض النووية فى الخمائر ، فإن المستقبل يبشر بإمكانية علاج هذا العيب ، فقد عرفت عدة طرق لتقليل الأحماض النووية فى البتروبروتين ، وبدأ المشتغلون فى صناعة بروتين الخلية الواحدة ، أى بروتين الكائنات الدقيقة فى أقلمة هذه الصناعة للإستخدام على نطاق واسع.

ومن العيوب الأخرى لبروتينات الخميرة بالنسبة للإستهلاك الآدمى ، صعوبة هدم جدر خلايا الخميرة وفصل البروتين ، ويتطلب ذلك تحليل أو كسر جدر الخلايا ثم فصل البروتين ، ويتم ذلك بالطرد المركزى ، ويعقب ذلك استخلاص البروتين ثم تركيزه.

تغذية الحيوانات المزرعية ببروتينات الكائنات الدقيقة لا تصحبه حدوث الأضرار السابق الإشارة إليها فى تغذية الإنسان ، ذلك أنه فى معظم الثدييات الأخرى لا تنتهى عملية التحول الغذائى البروتينى بتكوين حمض اليوريك كما يحدث فى حالة الإنسان ، بل يتعداه ، فينتهى بتكوين مادة اللانتوين allantion التى يتخلص منها الجسم بسهولة. وفى حالة تغذية الدواجن ببروتين الخلية الواحدة يتكون حمض اليوريك ، إلا أنه لا يحدث للدواجن أضرار منه ، بل يكون هذا الحمض مفيدا لها ، حيث يؤدى إلى تنظيم فقد الماء خلال فتحة المجمع.

وعموما فإن بروتين الخلية الواحدة يحتوى على معدلات عالية من البروتين النقى يتراوح ما بين 50-70 % ، كما يحتوى هذا البروتين على كميات مرضية من الأحماض الأمينية الأساسية وخاصة الليسين lysine التى توجد به بمعدلات تفوق معدلات وجودها فى البروتينات الأخرى ، ويشذ عن ذلك الأحماض الأمينية المحتوية على كبريت مثل المثيونين methionine والتربتوفان tryptohane اللذان يوجدان بمعدلات منخفضة (جدول 4) وقد وجد أن إضافة البروتين الميكروبى إلى دقيق المحاصيل النجيلية مثل القمح والأرز والذرة الفقيرة فى الأحماض الأمينية ليسين وثريونين يرفعان من القيمة الغذائية للدقيق. هذا وقد إتضح للجنة البروتين الاستشارية أن إضافة جرامين من الأحماض النووية إلى وجبات الشخص البالغ يومياً يعتبر حداً أعلى. فقد وجد أن الإنسان البالغ يحتاج يومياً إلى حوالى 75 جرام بروتين ، ويفقد الإنسان خلال مجرى البول ، عند تغذيته بهذه الكمية من بروتينات خالية من البيرينات ، 350 إلى 400 ملليجرام من حمض اليوريك يومياً ، كما تحتوى بلازما الدم فى هذه الحالة على 50 ميكروجرام فى كل ملليلتر من البلازما. ترتفع هذه المعدلات فى حالة إشتمال الوجبة اليومية على 2 جرام من الحمض الريبوينوكليك RNA فى صورة صورة خميرة ، فيرتفع الفقد اليومى فى البول من حمض اليوريك إلى 670 ملليجرام ، كما يرتفع حمض اليوريك فى بلازما إلى 60 ميكروجرام فى الملليلتر. وتعتبر هذه الزيادة حد أعلى مقبول صحياً ، أما إذا إرتفعت معدلات حمض اليوريك عن ذلك ، فمن المتوقع حدوث أضرار صحية.

إن الزيادة المضطردة فى أعداد سكان العالم ، ستجعل من المحتم استغلال جميع الفرص المتاحة لاستغلال مصادر الغذاء المختلفة ... تقليدية كانت أم غير تقليدية. ويكفى أن أذكر أنه من الممكن تزويد العالم بعشر حاجته من البروتين من المصدر الميكروبى ، أى من بروتين الخلية الواحدة ، ومنها البتروبروتين ، من وحدات إنتاجية تشغل مساحة 2.5 كيلومتر مربع (250 هكتار) فقط من سطح

الأرض ، مما تتضح معه أهمية استكمال تلك الدراسات والتوسع فى إنتاج هذا النوع من البروتين• وليس أدل على إهتمام العالم بهذه الدراسات من تشكيل المجموعة الاستشارية للبروتين ، PAG سنة 1955 التابعة لهيئة الأمم المتحدة والتى ركزت إهتماماتها بهذا النوع من البروتين ، وإرسائها للتوجيهات الخاصة بصفات هدا البروتين الغذائية والصحية فى كل من حالتى الاستخدام الآدمى والإستخدام الحيوانى•

وإلى أن تنتهى هذه الدراسات ، والوصول إلى منتج مأمون الإستخدام فى الغذاء الإنسانى دون ما أضرار صحية ، فإن المنتج التجارى منه سيكون موجها إلى تغذية الحيوانات الزراعية من ماشية وأغنام ودواجن•

obeikandl.com

الميكروبات مكون هام فى الغذاء

فى حديث سابق ، فى كتاب عن عالم خفى ... عالم ما لا نراه من ميكروبات، ذكرنا أننا قد أعجبنا ببعض مكروبات الغذاء ، ووجدنا فيها نفعا وليس ضررا ... ووجدنا أنها صانعة غذاء وليست متلفة غذاء. مثل تلك الميكروبات قمنا بفصلها عن غيرها من منافسيها ، ثم إستأنسناها ، كما سبق واستأنسنا بعض حيوانات الغابة من بقر وجاموس وخراف وماعز وجمال وخيول ، فكانت الميكروبات المستأنسة رهن إشارتنا وطوع بناننا ... نربيها تربية جيدة وننتخب منها سلالات ذات منفعة، كما سبق وإنتخبنا من الأبقار ما تخصص لإنتاج اللبن ، وما تخصص لإنتاج اللحم ، وكما إنتخبنا من الدجاج ما يصلح للتسمين وما يصلح لإنتاج البيض ، وكما إنتخبنا من الخيل ما يصلح للجر وما يصلح للركوب وما يتناسب مع السباق. فالميكروبات ، وهى كائنات حية توجد من أنواعها فى الطبيعة سلالات وسلالات ، ويظهر بينها ، بين الحين والآخر طفرات وطفرات ، وقد يحدث بين بعضها والبعض تزاوجات تنتج عنه هجن يتبعها إنعزالات قد ينتج عنها سلالات جديدة.

من الميكروبات التى استأنسناها ما كان بذاته غذاء ، نربيها كما نربى الماشية والأغنام ، ونزرعها فى البيئات المغذية كما نزرع القمح والذرة فى التربة ، ثم نحصد ما ربيناه وزرعناه من ميكروبات فيصير لنا ولأنعامنا غذاءا قيما مفيدا ، وهذا كان حديثنا فى الصفحات السابقة. ومما استأنسنا من ميكروبات ما صلح لإنتاج أغذية بعينها ودخل فى تركيبها وأصبح مكونا أساسيا بها ... نتغذى عليها ضمن مكوناتها الأخرى ، دون أن يدرى معظمنا بأننا نأكل فى طعامنا ملايين بل مليارات من الميكروبات ، وذلك كما فى الخبز وأنواع من الجبن وغيره من منتجات الألبان.

إن دخول الكائنات الدقيقة فى تصنيع كثير من الأغذية الشعبية قد عرف منذ أن عرفت الميكروبات ، وتتنوع الأغذية التى تدخل فيها الميكروبات ، وخاصة بين دول الشرق الأقصى. وقد عرفت الأغذية التى تدخل الكائنات الدقيقة فى تصنيعها، منذ فجر التاريخ وإستخدمت تلك الأغذية فى مختلف الحضارات ، وعادة ما يحدث النمو الميكروبى فى تلك الأغذية تحسينا فى قوامها وفى نكهتها وفى قيمتها الغذائية، وفى نفس الوقت فإن هذا النمو الميكروبى كثيرا ما يؤخر فساد تلك الأغذية بفعل ميكروبات أخرى ضارة ، لهذا فإننا نجد أن الأغذية التى تدخل الميكروبات فى صناعتها ذات أعمار تخزينية أطول من الأغذية الغير مخمرة فى تصنيعها. وهذا هو موضوع حديثنا فى هذا الفصل من الكتاب.

الميكروبات وتخمير المعجنات

تستخدم بعض الكائنات الدقيقة ، وبخاصة أنواع من فطريات الخميرة ، فى تخمير العجين. وقد كان المصريون القدماء أول من خمر العجين لتصنيع الخبز ، وعنهم إنتقلت هذه الخبرة إلى الإغريق والرومان. وتعتمد فكرة التخمير على النشاط اللاهوائى للخميرة المؤدى إلى تحويل السكر السداسى إلى كحول إيثايل وغاز ثانى أكسيد الكربون.

سكر سداسى ⟵ كحول إيثايل + ثان أكسيد كربون

$$C_6H_{12}O_6 \longleftarrow 2\,C_2H_5OH + 2\,CO_2$$

الناتج الفعال فى هذا التفاعل هو غاز ثانى أكسيد الكربون الذى يتسبب فى إنتفاخ العجين وزيادته فى الحجم ، وذلك بتكوينه لفقاعات صغيرة من الغاز تنتشر وتنحصر وسط العجين ، ويساعد على ذلك عملية العجن الجيد. العجن الجيد ينتج عنه تكون نظام شبكى من بروتين الدقيق المعروف بالجلوتين gluten ، يعطى

للعجين مرونة ويمكنه من حجز ثانى أكسيد الكربون الناتج. يبدأ التخمر بقيام الخميرة بتحليل السكريات البسيطة الموجودة بالدقيق ، ثم يستخدم سكر المالتوز الناتج عن التحلل المائى للنشا. يحتاج التخمر لفترة 2 إلى 4 ساعات على درجة حرارة 27 ° م. يلاحظ أنه بعد فترة من نشاط الخميرة ، يحدث هبوط فى النشاط نظراً لإنفصال الخميرة فى فقاعات الغاز المتكون ، عن العجين ، وحينئذ يلزم إعادة العجن لإعادة توزيع الخميرة. فى نهاية التخمر نجد أن نسبة الكحول فى العجين قد ارتفعت إلى حوالى0.5 % ، وعندئذ يكون العجين جاهزاً للخبيز. أثناء الخبيز ، وبعد تمام التخمر ، وتعريض العجين للحرارة العالية يتمدد غاز ثانى أكسيد الكربون المحصور بالعجين ، بدرجة عالية فيزداد سمك العجين ، كما تزداد مسامية الخبيز الناتج ، أما الكحول الذى تكون بالعجين فإنه يتطاير بفعل الحرارة المرتفعة. فى ضوء تفاعل التخمر السابق بيانه نجد أن الخمائر تستخدم أيضاً فى تصنيع الكحول والمشروبات الكحولية.

الخميرة المستخدمة فى تخمير الخبز والكثير من المعجنات تعرف بخميرة البيرة، وذلك لاستخدامها أيضا فى صناعة البيرة وتعرف علميا بسكاروميسيس سرفيسيا *Saccharomyces cervisiae* (شكل 22). ويمكن استبدال الخميرة ببعض المواد الكيميائية التى تولد غازات عند تعرضها لحرارة مرتفعة ، من ذلك بيكربونات الصوديوم والمركبات النشادرية فيتولد عن أولهما غاز ثانى أكسيد الكربون وعن الثانية غاز النشادر.

بيكربونات صوديوم ⟵ كربونات صوديوم + ثانى أكسيد كربون + ماء

$$2\ NaHCO_3 \longleftarrow Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O$$

وفى هذه الحالات لا يحتاج العجين إلى فترة تخمر ، بل يخبز مباشرة.

يمتاز التخمير عن إضافة المواد الكيميائية ، بأن إضافة فطر الخميرة يتسبب فى تحسين القيمة الغذائية للخبيز الناتج ، حيث يزداد المكون الميكروبى الغنى

بالبروتينات ، كما يزداد المحتوى الفيتامينى للخبيز الناتج. تعتبر الخميرة من المغذيات الهامة ، إذ أنها غنية فى محتواها البروتينى وبها نسبة معقولة من الدهون، كذلك فإن الخميرة غنية بمجموعة فيتامينات B . يسوق فائض خميرة الخباز ؛ خميرة البيرة فى الدول الغربية كمواد غذائية مكملة. التغذية على الخميرة ذات أهمية كبيرة فى الدول الفقيرة والتى يتكون معظم غذائها من مواد نشوية ، إذ من المفروض أن لا تقل نسبة البروتين فى الغذاء عن 16 % من محتواه الجاف ، وتزداد هذه النسبة عند الأطفال. *

الميكروبات وصناعة اللبن الزبادى

اللبن الزبادى أو اليوغورت youghurt وأنواع أخرى من الألبان المتخمرة ، هى أغذية هامة لدى كثير من الشعوب ، وتعتمد صناعاتها على تخمير اللبن الطازج بواسطة أنواع خاصة من الكائنات الدقيقة ، وعادة يركز اللبن المستخدم بالغليان ، أو يستخدم لبن فرز مبستر ومضاف إليه مسحوق لبن خالى الدسم ، ليصل تركيز المواد الصلبة غير الدهنية باللبن المستخدم إلى 10 %. ومن أنواع البكتيريا المستخدمة لاكتوباسلس أسيدوفيلس *Lactobacillus acidophillus* ولاكتوباسلس بلجاريكس *L.bulgaricus* وستربتوكوكس ثرموفيلس *Streptococcus thermophilus* وستربتوكوكس لاكتس *S. lactis* ، وقد تضاف إلى أى من البكتيريا أنواع من فطريات الخميرة لتساعد فى عمل البكتيريا المخمرة. عند صناعة اللبن الزبادى يضاف البادئ إلى اللبن الطازج المبستر والمبرد إلى حوالى 42 ° م وذلك بنسبة 2 إلى 3 % . البادئ المستخدم عبارة عن الكائنات الدقيقة المعدة للقيام بعملية التخمير. وقد يكون البادئ جزء من مزرعة نقية من البكتيريا المرغوبة ، وقد

* لمزيد من التفاصيل يمكن الرجوع إلى كتاب عالم خفى للمؤلف.

يكون جزءا من لبن مخمر سابق• ينشط البادئ عند وضعه فى الحرارة الملائمة له، فيتكاثر باللبن ويقوم بتحليل سكر اللبن ؛ اللاكتوز lactose إلى حمض اللبن ؛ حمض اللاكتيك lactic acid • يؤدى هذا النشاط إلى ارتفاع حموضة اللبن فيتخمر اللبن كليا أو يصبح أكثر لزوجة ، حسب نوعية البادئ المستخدم ، كما يعطى هذا النشاط قوام ونكهة قشدية creamy flavour • يجب إيقاف نشاط الكائنات الدقيقة باللبن المخمر عند وصول الحموضة إلى الدرجة المناسبة ، ويتم ذلك تحت الظروف المناسبة بعد مرور 4 إلى 5 ساعات من إضافة البادئ ، وذلك بالتبريد السريع أو بالسترة•

أحيانا يصنع اللبن الزبادى من اللبن الجاف بعد تخفيفه بالماء السابق غليانه والمبرد إلى حوالى 45 ° م ، بمعدل 50 جرام لبن جاف لكل لتر ماء•

يعتقد أن للألبان المتخمرة فضل كبير فى الصحة الجيدة والأعمار الطويلة التى يتمتع بها سكان المناطق التى يعتمد سكانها إعتمادا كبيرا على تلك الألبان فى تغذيتهم مثل كثير من شعوب دول البلقان والقوقاز وآسيا الوسطى• وقد ثبت أن لبعض أنواع البكتيريا الداخلة فى هذه الصناعة أهمية كبيرة فى علاج بعض أمراض الجهاز الهضمى للإنسان كالإمساك والإسهال ، فتستعمل البكتيريا لاكتوباسلس أسيدوفيلس الداخلة فى صناعة اللبن الزبادى فى علاج بعض حالات الإمساك أو الإسهال المزمنين وكذلك فى حالة إلتهاب القولون ، وذلك بالتغذية على هذه البكتيريا الحية• ويمكن لهذه البكتيريا إستيطان القناة الهضمية للإنسان فتقلل فى نفس الوقت من نمو البكتيريا التعفنية المحللة للبروتينات• لهذا فإنه ينصح ، عقب العلاج بالمضادات الحيوية ، التغذية باللبن الزبادى حتى يحل ما بها من ميكروبات نافعة محل الميكروبات التى قضت عليها المضادات الحيوية•

تزيد الكائنات الدقيقة من المحتوى الفيتامينى للألبان المخمرة ، والحموضة الناتجة عن نشاط هذه الكائنات ، برفع قابلية الأملاح الموجودة باللبن للذوبان وبالتالى فإنها تسهل من قابلية هذه الأملاح للإمتصاص بالأمعاء.

الأجبان

الأجبان من المنتجات الهامة للألبان ، ويقدر أن حوالى 10 % من الألبان المنتجة على مستوى العالم تذهب إلى صناعة الأجبان. يحتوى الجبن على دهون وبروتينات وبخاصة الكازين casein والألبيومين albumin ، كما يحتوى الجبن على سكر لاكتوز وبعض الشرش. فى صناعة الجبن يتجمع الكازين لعمل الخثرة ، وقد يتم ذلك نتيجة لحموضة اللبن أو بفعل الأنزيمات وخاصة أنزيمى الرينين rennin والببسين pepsin. نحصل على الرينين من عجول صغيرة فى طور الرضاعة ، لهذا الغرض تذبح العجول فى عمر أسبوعين. فى السنين الأخيرة إزداد الطلب على اللحوم وقل كثيرا ذبح العجول فى عمر الرضاعة ، وفى نفس الوقت إزداد الطلب على الأجبان واشتدت الحاجة إلى إنزيم الرينين الذى لم يعد متوفرا ، ولهذا لجأ العلماء الى البكتيريا المعدلة وراثيا وإستخدمت لإنتاج إنزيم الرينين. كذلك فقد وجد أن بعض الفطريات يمكنها إفراز أنزيمات خارجية ومنها الرينين ، من هذه الفطريات ، الفطر المسبب لمرض اللفحة فى أشجار أبو فروة ؛ إندوثيا بارازيتيكا *Endothia parasitica* والفطر ميوكر بسيلس *Mucor pusilus* . إستخدم الرينين الميكروبى بتوسع فى صناعة كثير من أنواع الجبن ومنها الجبن الشيدر والجودة والايدام والكمبرت وغيرها.

تختلف الألبان فى القوام فمنها الأنواع الطرية والأنواع الجافة والأنواع نصف الجافة. وفى معظم تلك الأنواع ، تحتاج الألبان المصنعة إلى عملية إنضاج لرفع درجة حموضة اللبن قليلا قبل إضافة المنفحة ، وأثناء الإنضاج يزداد تحول أملاح

الكالسيوم من الصورة غير الذائبة إلى صورة قابلة للذوبان. قد يتم الإنضاج بتخزين اللبن الطازج لمدة محدودة تنشط أثناءها البكتيرية الطبيعية ، أو أن يبستر اللبن ثم يضاف بادئ من بكتيريا مكونة لحمض لاكتيك ، كما فى حالة صناعة اللبن الزبادى ، وتشمل هذه البكتيريا أنواع من الجنسين لاكتوباسلس وستربتوكوكس ، وفى بعض أنواع الجبن كالأجبان السويسرية التى يتكون بداخلها فقاعات غازية تضاف البكتيريا بروبيونيبكتريم *Propionibacterium* spp. وذلك فى حدود 1 %. بعض أصناف الجبن يضاف إليها أنواع أخرى من الميكروبات فى فترة لاحقة من الصناعة وذلك كما فى حالتى الجبنة الركفورت والجورجونزولا Gorgonzola حيث يتغلغل الميكروب المستخدم داخليا ، والجبن الكمبرت حيث يكون معظم النمو الميكروبى سطحيا.

الشرش المتبقى بعد تخثر كازين اللبن يعتبر غذاء غنى ويمكن استخدامه فى إنتاج خميرة للغذاء أو فى إنتاج حمض الستريك باستخدام الفطر كلايفيروميسيز ماركسيانس *Kluyveromyces marxianus* أو فى إنتاج حمض لاكتيك باستخدام أنواع من البكتيريا لاكتوباسلس *Lactobacillus* .

الجبن الركفورت : نشأ الجبن الركفورت roquefort cheese فى مناطق تربية الأغنام بجنوب فرنسا ، حيث يصنع من لبن الأغنام ، ويصنع نوع مشابه له يعرف بالجبن الأزرق blue cheese من اللبن البقرى فى الولايات المتحدة الأمريكية. يخثر اللبن بأنزيم الرينين على حرارة منخفضة ، ثم تقطع الخثرة إلى قطع صغيرة ، وتصفى من كثير من مائها. تجمع قطع الخثرة فى أكوام مفككة ، ثم تلقح بقطع من الخبز سبق تنمية الفطر بنسيليوم ركفورتى *Penicillium roqueforti* عليها. تحضن الخثرة الملقحة على حرارة 18 إلى 20 °م ورطوبة 80 إلى 90 %. تمشط الخثرة على فترات خلال ثلاثة إلى عشرة أيام ، ثم تغسل وتملح. يثقب الجبن

للتهوية وتنشيط الفطر ، وتترك مدة شهرين للإنضاج. خلال فترة الإنضاج يفرز الفطر إنزيمات خارجية تقوم بهضم بروتينات ودهون الجبن وينتج عن ذلك تكون أحماض دهنية ذات أوزان جزيئية مرتفعة منها أحماض كابريك capric acid وكابرويك caproic acid وكابريلك caprylic acid ، وبذلك نحصل على الطعم المميز لهذا النوع من الجبن.

جبن الكممبرت : صنعت الجبنة الكممبرت camembert cheese لأول مرة فى شمال غرب فرنسا. يخثر اللبن بإستخدام إنزيم رينين ، ثم تكوم الخثرة وتترك خلال الليل للتصفية ، بعدها تقلب جيدا ثم تترك لتصفى مرة أخرى. بعد مرور يومين إلى ثلاثة أيام تقسم الخثرة إلى قطع ، تبرم على سطح ملحى ، ثم ترش بجراثيم الفطر الأبيض بنسيليم كممبرتاى *Penicillium camemberti* . تساعد عملية التمليح على تصفية الشرش من الخثرة ، فتصبح الطبقة الخارجية جامدة ، وتكون قطع الجبن فى هذه المرحلة عبارة عن خثرة طرية مرة محاطة بغلاف ملحى ناعم يحفظ الخثرة الداخلية من البكتيريا والفطريات الأخرى. تنبت جراثيم فطر البنسيليم المرشوشة على السطح الخارجى ، ويخترق الميسيليوم الفطرى الغلاف الملحى الخارجى. يستمر نمو الفطر بالداخل ويفرز أنزيمات محللة للبروتين فتصبح الخثرة طرية زبدية القوام وتختفى المرارة والحموضة مما يسمح لأنواع من البكتيريا وللفطر جيوتريكم كانديدم *Giotrichum candidum* بالنشاط ، فتظهر النكهة النشادرية المميزة. يحتاج إنضاج الجبن إلى حوالى أربعة أسابيع ، وتجرى التسوية فى حجرات خاصة على درجات حرارة من 10 إلى 16 °م ورطوبة نسبية من 86 إلى 88 %.

الكشك

الكشك غذاء شعبى مصرى وخاصة فى مصر العليا• يصنع الكشك من حبوب قمح مطبوخة مع لبن حامض sour milk يعرف بلبن الزير بنسبة 2 : 1 • تغسل حبوب القمح ثم تغلى فى الماء حتى تلين الحبوب ، تغسل الحبوب المغلية بماء بارد لإزالة المادة الجيلاتينية ، ثم تفرد لتجف ، ثم تدعك باليد على غربال لإزالة أغلفة الحبوب ، بعدها تطحن الحبوب للحصول على مسحوق خشن•

يحضر اللبن الحامض فى أواخر الربيع ، وهو فى نفس الوقت أوان نضج القمح؛ عندما ترتفع حرارة الجو ، ويتعرض اللبن للفساد السريع بفعل الميكروبات، ويصبح غير صالح لصناعة الأجبان• يحفظ اللبن تحت هذه الظروف فى أوانى فخارية مسامية كبيرة تعمل على خفض درجة حرارته نتيجة التسرب البطىء للشرش خلال مسام الأوانى الفخارية ، وتبخر ما به من ماء• وللمساعدة على إستمرار تصريف الشرش وبقاء المسام مفتوحة تغسل الأوانى من الخارج على فترات كما ترش أسطحها الخارجية بالملح• وعند إضافة لبن جديد إلى اللبن السابق يضاف إليه قليل من الملح• بخروج الشرش تزداد كثافة اللبن ، كما تزداد حموضته نتيجة لنشاط أنواع من بكتيريا حمض اللاكتيك *Lactobacillus* spp. وبعض الخمائر ويصل رقم حموضة اللبن الحامض إلى رقم pH 3.5 - 3.8 •

يوضع مسحوق القمح المطبوخ والمزال أغلفته فى وعاء فخارى مصقول• يبلل مسحوق القمح بماء ساخن ، وبعد أن يبرد يضاف إليه ثلث اللبن الحامض بعد تخفيفه بماء أو بلبن طازج• يخلط مسحوق القمح مع اللبن جيدا ليصبح عجينا ناعما• يترك العجين ليخمر مدة 24 ساعة ، بعدها يضاف باقى اللبن الحامض إلى العجين المخمر ، ثم يترك لمدة 24 ساعة أخرى لإستكمال التخمير• يشكل العجين بعد تمام تخميره بشكل كرات صغيرة وتترك لتجف فى الشمس ثم يستكمل التجفيف بالفرن ، بعدها تخزن لحين الاستعمال•

الكشك غذاء متوازن غنى فى فيتامين B ، ويحتوى على حوالى 8 % ماء و52 % مواد كربوايدراتية و 10 إلى 19 % بروتينات و 13 % دهون و 4 إلى 11 % رماد و 2.5 % ألياف و 1.5 إلى 3 % حمض لاكتيك.

أغذية أخرى مخمرة

كثيرا ما يكون تخمر الغذاء بفعل نمو كائنات دقيقة به سببا لفساده. إن الكثير من الأغذية ... نباتية كانت أم حيوانية ، التى نستخدمها طعاما أو شرابا ، هى فى نفس الوقت غذاء ممتع لكثير من الأحياء الدقيقة ، التى قد تتواجد عادة بهذه الأغذية، أو الموجودة بالجو المحيط بها. هذه الأحياء لا تراها عيوننا المجردة ، بل نلمس آثارها ، فما كان لنا غذاءا شهيا أصبح بعد نمو وتكاثر تلك الكائنات الخفية ، طعاما غير مقبول ... لطعمه نحن غير سائغين ... ولرائحته صرنا كارهين ... ولمظهره أصبحنا نافرين ... وقد يصبح الطعام داءا ممرضا أو سما قاتلا ، فنلقى بقوتنا فى سلال القمامة ... مستسلمين لتلك الميكروبات ... تاركين لها غذاءنا بعد أن تمكنت منه ، لتستكمل توغلها فيه حتى تنتهى من استغلاله ، ثم تنتقل منه بوسيلة أو بأخرى إلى غذاء آخر فتفعل به ما فعلت بسابقه.

ليس هذا هو الحال مع جميع الميكروبات ، فالبعض منها يهاجم الغذاء لصالحنا ، تهاجمه بمعرفتنا ورغبتنا ، تتغذى على غذائنا ونتغذى عليها ... تحدث بأغذيتنا تغييرات نرضى عنها ونقبلها ؛ تغييرات لصالحنا ، فيصبح الطعام مع تلك الميكروبات النامية أشهى وألذ مما كان عليه بدونها ... تتحسن نكهة الطعام ويصبح أسهل هضما وقد تزداد قيمته الغذائية. لاحظنا ذلك فى بعض منتجات الألبان ، وسنشاهد أمثاله فى أغذية أخرى تقبل عليها بعض الشعوب وبخاصة فى شرق آسيا.

صلصة الصويا : صلصة الصويا soya sauce عبارة عن سائل بنى اللون واسع الإنتشار عالميا. يستخدم فى تتبيل أنواع عديدة من الأطعمة وخاصة فى الصين واليابان والفلبين وإندونيسيا والولايات المتحدة الأمريكية. تحضر هذه الصلصة بالتحليل المائى لبروتين ودهون وكربوايدرات فول الصويا ، قد يتم ذلك بطريقة كيميائية غير عضوية ، بإستخدام حمض هيدروكلوريك مركز ثم تعادل الحموضة الزائدة بإستخدام إيدروكسيد الصوديوم ، وهذا هو الأسهل والأعم ، وقد يجرى التحليل بطريقة بيولوجية بإستخدام فطريات وهو الأفضل طعما ونكهة. وتعتبر الصين واليابان فى مقدمة الدول المنتجة لصلصة الصويا ، وأن 90 % من إنتاجهما يتم بتدخل فطرى.

لعمل صلصة الصويا تغسل بذور فول صويا ثم تنقع فى ماء لمدة 15 ساعة على درجة حرارة الغرفة ، ثم تنضج على بخار ماء ، وقد يتم ذلك تحت ضغط. فى خلال الوقت السابق تنظف حبوب قمح أو أرز وتحمص ثم تطحن. يخلط القمح أو الأرز المسحوق جيدا مع بذور الصويا المسواة بالبخار بنسبة 45 : 55 . يلقح الخليط السابق بالفطر أسبرجيللس أريزى *Aspergillus oryzae* أو أسبرجيلس سويى *A. soyae*. يحضن الخليط الملقح على حرارة 25 - 35 °م لمدة ثلاثة أيام إلى أربعة أيام ، يقلب خلالها الخليط مرتين على الأقل. يتغذى الفطر أولا على المسحوق النجيلى المغلف لحبوب الصويا. وفى نهاية فترة الحضانة يكون ميسيليوم الفطر قد غطى حبوب فول الصويا جيدا. يوضع خليط الحبوب النجيلية وبذور الصويا والفطر فى براميل كبيرة ، ويضاف إلى الخليط كمية مماثلة من محلول ملحى قوى بحيث يصل التركيز النهائى للملح إلى حوالى 20 % ، ويترك للتخمر من ثلاثة إلى أربعة أشهر إذا كان الجو دافئا أو لمدة قد تصل إلى عام كامل إذا كان الجو باردا. خلال فترة الإنضاج يقلب الخليط عدة مرات بإستخدام هواء مضغوط. خلال هذه الفترة تتدخل كائنات دقيقة أخرى موجودة بالجو فى عملية

الإنضاج ، ففى الفترة الأولى تقوم بعض البكتيريا بتكوين حمض لاكتيك ، بعدها تتدخل بعض الخمائر لتكوين كحول إيثايل وغاز ثانى أكسيد الكربون وحمض خليك• تتسبب الإنزيمات الميكروبية المفرزة فى تحليل البروتينات إلى أحماض أمينية ، والدهون إلى أحماض دهنية ، والنشويات إلى سكريات ذائبة• فى الفترة الأخيرة للإنضاج يضعف النشاط الميكروبى• بإنتهاء فترة الإنضاج يصفى الخليط جيدا مع الكبس ، ويستخلص السائل• يعقم السائل المصفى لقتل الميكروبات وإفساد ما به من إنزيمات وإيقاف النشاط الحيوى به•

التمبة : التمبة tempe من الأغذية الشائعة فى بعض دول شرق آسيا وأمريكا الجنوبية وبخاصة فى إندونيسيا وغينيا الجديدة وسيرنام ، وهى تعتبر من بدائل اللحوم• تحضر التمبة من البذور الجافة الناضجة للمحاصيل البقولية وبخاصة فول الصويا• تغسل البذور ثم تنقع فى الماء طول الليل ، ثم تنزع قصرتها• تغلى البذور المنزوع قصرتها لمدة نصف ساعة ، ثم تصفى وتبرد ، ثم تلقح بجراثيم الفطر ريزوبس أوليجوسبورس *Rhizopus oligosporus* ، وقد يتم التلقيح بإستخدام قطع من تمبة قديمة• تقسم فول الصويا الملحقة إلى كميات صغيرة ، تغلف كل منها بورقة نبات ثم تربط بخيط وتحفظ فى جو دافئ ، حوالى 37 ° م لمدة تتراوح من يوم إلى ثلاثة أيام ، خلالها ينشط الفطر وتنمو خيوطه داخل البذور وحولها ، وتصبح البذور متماسكة مترابطة ومغلفة بطبقة بيضاء اللون من الفطر النامى ، وعندئذ تصبح جاهزة للإستهلاك فتنزع من ورق النبات المغلف• قطع التمبة الناتجة تحتوى على أكثر من 40 % من وزنها الجاف بروتين• تجهز التمبة كغذاء بتقطيعها إلى شرائح تغمر فى ماء مالح ثم تحمر فى زيت ، وقد تشوى ، وقد تقطع إلى مكعبات تضاف إلى الحساء كبديل للحوم•

فول الصويا غير المعامل بالفطر لا يلين فى الطبخ ويصعب هضمه ، فهو يحتاج إلى 4 - 6 ساعات غليان لإنضاجه ، لكنه بعد المعاملة بالفطر فإنه يحتاج فقط إلى ثلاثة إلى أربعة دقائق فقط لتحميره أو عشر دقائق غليان لتسويته ، كما أن طعمه وقيمته الغذائية تتحسن فيزداد محتواه من فيتامينات الريبوفلافين والنياسين و B_{12} ، لكن محتواه من الثيامين يقل. بالنسبة للمحتوى النتروجينى نجد أن معدله لا يتغير بالتخمير ، لكن نسبة النتروجين الذائب تزداد ، وعموما فإن القابلية للهضم تتحسن.

الإنتجوم : الأنتجوم ontjom ويقال له أحيانا الأنكم oncom غذاء إندونيسى مصنع من كسب الفول السودانى أو جوز الهند. هذه المخلفات المضغوطة ذات محتوى ألياف مرتفع وغير قابلة للهضم وتستخدم أساسا فى تغذية الماشية والأغنام. تخمر هذه المخلفات بإستخدام فطر التمبة ؛ ريزوبس أوليجوسبورس أو بإستخدام الفطر نيروسبورا سيتوفيلا *Neurospora sitophila* . ينمو الفطر الملقح على الكسب ويتغلغل فى الأنسجة النباتية ، وتقوم أنزيماته بتحليل الألياف والبروتينات والدهون منتجة مركبات أكثر قابلية للذوبان وأسهل هضما ، وفى نفس الوقت يحدث تحسن كبير فى المذاق والنكهة وتصبح من الأغذية الصالحة لطعام الإنسان. وهذا يدعونا إلى التفكير فى تحويل كافة المخلفات الزراعية والتى كثيرا ما نشكو من صعوبة التخلص منها ، إلى صور صالحة للتغذية الآدمية وبخاصة فى الدول الفقيرة التى أصبح توفير الغذاء لشعوبها ضرورة ملحة مع التزايد السريع فى الأفواه المتعطشة للغذاء.

السوركراوت : السوركراوت sauerkraut أحد أنواع المخللات ، وهو عبارة عن ورق كرنب مقطع إلى شرائط تملح وتخمر فى عصيرها بإستخدام نوع من بكتيريا لاكتوباسلس شبيهة بالبكتيريا المستخدمة فى صناعة اللبن الزبادى وينتج عن نشاطها تكون حمض لاكتيك الذى يساعد على حفظ المنتج ضد الميكروبات الأخرى.

عند عمل السوركراوت يضاف ملح طعام خشن إلى شرائط الكرنب بمعدل 2 إلى 3 % ، فيقوم الملح بسحب العصارة من ورق الكرنب ، فيساعد العصير على نشاط البكتيريا المخمرة. يبدأ التخمر عادة بفعل البكتيريا ليكونوستوك ميزنترويدس *Leuconostoc mesenteroides* التى ينتج عن نشاطها تكون أحماض لاكتيك وخليك وكحول الإيثايل والمانيتول وثانى أكسيد الكربون ، ويؤدى هذا إلى وصول حموضة سائل التخمير إلى 0.7 - 1.0 %. تنشط عقب ذلك بكتيريا لاكتوباسلس بلانتارم *Lactobacillus plantarum* التى تكون حمض لاكتيك فقط ، بعدها تنشط البكتيريا لاكتوباسلس بريفس *L. brevis* فتصل الحموضة إلى 1.7 – 1.8 % وينتج حمض خليك.

عموماً فإنه فى كافة عمليات التخليل الطبيعى لمختلف النباتات كالجزر والخيار واللفت والزيتون ، يحدث تخمر ميكروبى للسكر الموجود بالمادة المخللة. ففى تجهيز الخيار توضع فى محلول ملحى 8 % ، وتزاد الملوحة تدريجياً حتى تصل إلى 16 – 18 % ، ويترك لمدة حوالى ستة أسابيع ، تنشط أثناء بكتيريا حمض الخليك لاكتوباسلس بلانتارم ولاكتوباسلس بريفس وبديوكوكس سريفيسيا *Pediococcus cerevisiae* ويتكون حمض لاكتيك بنسبة 0.6 – 1.0 % ، ترفع بعدها النباتات المخللة من المحلول الملحى وتوضع فى خل أو فى حمض لاكتيك أو فى خليط منهما مع بهارات.

الكاسافا : الكاسافا cassava نبات إستوائى شجيرى ، يكون جذور درنية نشوية ، واسع الانتشار بين دول أمريكا الجنوبية والوسطى وغرب إفريقيا. درناته الجذرية كبيرة غير متفرعة غالباً ، وقطرها فى المتوسط عشرة سنتيمترات وطولها حوالى نصف متر ، وأحياناً تكون متفرعة وتصل فى الطول إلى متر. الدرنات معرضة للفساد السريع عقب الجمع ، لهذا فإنها تقشر ثم تقطع إلى شرائح ثم تجفف. تحتوى الدرنات الطازجة على 64 % ماء و 34 % مواد كربوايدراتية وأقل من ٢ % بروتين ، مما يعرض الأهالى الذين يعتمدون على الكاسافا كغذاء رئيسى لسوء التغذية الناتج عن النقص الشديد فى البروتينات ، كما هو الحال فى بعض الدول الأفريقية الفقيرة مثل زامبيا. ولرفع قيمة الكاسافا الغذائية يضاف إلى طحين الكاسافا ملح أمونيوم ثم يلقح الطحين بفطر ريزويس *Rhizopus* spp. الذى يتغذى على الأمونيوم مع بعض مكونات الدرنات فينتج عن ذلك مواد بروتينية تحسن من القيمة الغذائية للمنتج.

الكاكاو والشيكولاته : يصنع الكاكاو cocoa والشيكولاته chocolate من ثمار شجر الكاكاو بتخميره بفعل عدد من الكائنات الدقيقة فيحدث التخمر أولاً بفعل الخميرة ثم بفعل بكتيريا حمض اللاكتيك وبكتيريا الخل. والتخمير بفعل هذه الكائنات ضرورى لإعطاء المنتج النهائى النكهة الخاصة به. بعد تمام التخمر المطلوب تجفف وتسخن وتصنع.

استخدام الميكروبات فى إنتاج مواد غذائية أو ذات علاقة بالغذاء

استخدمت الكثير من الكائنات الدقيقة فى إنتاج بعض المنتجات الهامة للإنسان ، وقد بدأ الاهتمام بذلك منذ إكتشاف المضاد الحيوى البنسيلين سنة 1929 ، ثم إنتاجه تجارياً من أحد الفطريات عقب ذلك. وقد تم بعد ذلك التوصل إلى حوالى 1000 مضاد حيوى تنتجها الميكروبات ، منها حوالى 60 نوع تنتج وتستخدم طبياً. كما أمكن إنتاج الكورتيزون cortisone تجارياً لعلاج التهاب المفاصل الروماتزمى rheumatoid arthritis وذلك بواسطة الفطر ريزوبس نيجريكانز *Rhizopus nigricans* بتنميته على بيئة محتوية على مركب بروجستيرون progesterone سنة 1956. وقد أدى التطور الكبير فى إكتشاف أغوار التركيبات الوراثية وإمكانية نقل بعض الصفات والوظائف من كائن إلى آخر مهما بعدت الشقة بينهما ، بوسائل الهندسة الوراثية إلى الاستفادة الكبيرة من الكائنات الدقيقة فى الحصول على منتجات ما كنا لنستطيع الحصول عليها من مصادرها الأصلية ، وأكبر مثال على ذلك مادة الأنسولين الضرورية للتحكم فى معدلات السكر بالدم وأهميتها بالنسبة لكثير من مرضى السكر ، فبعد أن كان مصدر الحصول عليها بعض الحيوانات الثديية ، أمكن برمجة البكتيريا إشيريشيا كولاى *Escherichia coli* لإنتاج أنسولين آدمى (جدول 10).

إن الكثير من الكائنات الدقيقة تفرز طبيعيا منتجات ذات فوائد غذائية أو طبية والميكروب الواحد قد يكون قادرا على إنتاج أكثر من منتج ، ويمكن التحكم فى تحديد المنتج المطلوب وذلك بالتحكم فى الظروف البيئية لنموه ، وقد يتم ذلك بإضافة مادة معينة فى بيئة النمو ، أو بالتحكم فى درجة حموضة بيئة النمو مما ينتج عنه تنشيط إنزيمات معينة أو تثبيط إنزيمات أخرى ، أو بإضافة مواد خاصة ذات تأثير مثبط لبعض الإنزيمات مما يؤدى إلى إيقاف بعض التفاعلات عند نقطة وسطية يكون فيها تكوين المنتج المطلوب ، وغير ذلك من وسائل التحكم فى سير عمليات

التحول الغذائى للميكروب• إن معظم الإنزيمات المنتجة صناعياً تحضر من أنـواع من بكتيريا موجبة لصبغة جرام ومن فطريات ، وأن كثـيراً مـن الأحمـاض الأمينيـة تحضر ميكروبياً ومنها الليسين lysine والألانيـن alanine والاسـبارتات aspartate والجلوتامـات glutamate ، والكثيـر من الفيتامينـــات تحضـــر ميكروبياً ومن ذلـك B_2 و B_{12} • ومن الصناعات الواسعة الإنتشار والتى تنتج عن نشاط ميكروبى على منتجات زراعية كربوايدراتية ولكن المنتج النهائى يكون خالياً من الميكروبات ، من ذلك صناعة الكحول والمشروبات الروحية وصناعة الخل•

صناعة الكحول والمشروبات الروحية : جميع أنواع المشروبات الروحيـة تحتـوى على كحول إيثايل ، والذى ينتج عن تخمر محصول نباتى كربوايدراتى بفعـل نشـاط كائنات دقيقة وبخاصة فطر خميرة البيرة (خميرة الخبز) ؛ سكاروميسيس سرفيسيا• المحصول النباتى المستخدم يختلف من منتج إلى آخر ، فهو الشعير فى حالة البيرة ، والتمر والعنب فـى حالـة العرقـى ، والأرز فـى حالـة السـاكى ، والقمـح أو الـذرة أو الشعير فى حالة الوسكى ، وعصير أنواع من الفاكهة أو الخضر وبخاصة العنب فى حالة النبيذ• ويمكن تحضير الكحول النقى من عمليات التخمير السابق ذكرها•

صناعة الخل : الخل vinegar يستخدم عادة فى صناعة التخليل• والخل عبارة عن محلول مخفف من حمض الخليك acetic acid • ينتج حمض الخليك بفعل البكتيريـا الخيطيـة أسـيتوباكتر *Acetobacter* sp. أو أسـيتومـوناس *Acetomonas* sp. علـى كحول الإيثايل• تعمل هذه البكتيريا ذاتياً أثناء عمليـة تخمـير السـكريات ، وبمجـرد تعرض المـادة المتخمـرة للهـواء الجوى يتأكسد كـحولها ويتحول إلى حمض خليك•

كحول إيثايل + أكسوجين ⟵ حمض خليك + ماء

$$O_2 + C_2H_5OH \longleftarrow H_2O + CH_3COOH$$

ولن ندخل فى تفاصيل أكثر بالنسبة لهذا الموضوع وإنما سنبين فـى جدولين بعـض الميكروبات المستخدمة فى إنتاج مواد غذائية أو مواد ذات علاقة بتغذية الإنسان مع بيان المنتج وأهميته (جدولى 10 ، 11)•

جدول 10
مواد ذات قيمة غذائياً تنتج تجارياً من بكتيريات

اسم البكتيريا	المنتج	استخدامات المنتج
Acetobacter suboxydans	فيتامين C (ascorbic acid)	1- ضرورى لامتصاص الحديد من الأمعاء. 2- نقصه يؤدى لظهور مرض الاسقربوط. 3- للوقاية ضد أمراض السرطان. 4- مضاد للأكسدة. 5- يساعد على سرعة إلتئام الجروح.
Streptococcus olivaceus *S. griseus* *Bacillus megaterium*	فيتامين B_{12} (cobalamide)	1- علاج الأنيميا الخبيثة. 2- يساعد على نقل الدهون بالجسم. 3- يمكن الجسم من الاستفادة من حمض الفوليك.
Erwinia herbicola	تربتوفان	حمض أمينى أساسى
Corynebacterium glutamicum	حمض جلوتاميك ليسين	أحماض أمينية
Escherichia coli	حمض دايأمينوبيميلك diaminopimelic	خطوة وسطية للحمض الأمينى ليسين
Klebsiella aerogenes	ليسين	حمض أمينى أساسى تكونه البكتيريا من حمض دايأمينوبيميلك المتكون سابقا.
Lactobacillus spp.	حمض لاكتيك	1- يدخل فى صناعة التخليل. 2- يدخل فى صناعة بعض المشروبات الخفيفة.
Acetobacter aceti	حمض خليك	1- يدخل فى صناعة التخليل 2- له إستخدامات طبية
Streptococcus lactis	نيسين nisin	إنزيم يستخدم لحفظ الأغذية
Escherichia coli مهندسة وراثيا	إنسيولين	أنزيم لعلاج مرضى البول السكرى

جدول 11

مواد ذات قيمة غذائيا تنتج تجاريا من فطريات

اسم الفطر	المنتج	استخدامات المنتج
أنواع من فطريات الخميرة	مجموعة فيتامين B	مكملات غذائية ، واقية ضد مرض البلاجرا
Ashbya gossypii *Eremothecium gossypii*	فيتامين B_2 (riboflavin)	1- واق ضد سرطان الكبد الناشئ عن بعض الكيماويات. 2- هام فى حالات إدمان الخمور وزيادة معدلات الدهون فى الغذاء وكذلك فى حالات الحمل والرضاعة.
Blakeslea trispora *Rhodotorula* sp.	بيتا كاروتين (B-carotene)	1- بادئ لفيتامين A الضرورى لحماية العيون وسلامة الجلد. 2- من مكسبات اللون للأغذية.
Aspergillus niger	حمض الستريك citric acid	1- عمل أملاح فوارة. 2- صناعة المشروبات الغازية.
	حمض جلوكونيك gluconic acid	يستخدم طبيا لزيادة قابلية أملاح الكالسيوم للذوبان.
Penicillium spp.	دهون وزيوت	مكملات غذائية ومصدر هام للطاقة
	إنزيمات بكتينية	تدخل فى بعض الصناعات الغذائية
Fusarium moniliforme	جبريللين gibberellin	أكسين منبه للنمو النباتى
Endothia parasitica *Mucor pusilus*	رينين rennin	إنزيم لتخثير اللبن وصناعة الجبن
Aspergillus sp. *Mucor* sp.	ليبيز lipase	أنزيم لتحليل الدهون يستخدم فى صناعة الدهون والزيوت والجبن والزبد.
Trichoderma rusei *Aspergillus* sp.	سليوليز celluase	أنزيم لتحليل السليلوز يستخدم فى تجهيز الفاكهة والخضروات.

المراجـــــع

1 - العروسى ، حسين (1974) : غذاء المستقبل من الكائنات الدقيقة. كتاب الموسم الثقافى لجامعة الرياض ، 2 : 269 – 295 .

2 - العروسى ، حسين (1981) : الكمأة غذاء فريد ، العربى (الكويت) ، 30 (344): 48 – 510

3 - العروسى ، حسين (1984) : غذاء المستقبل من البترول. القافلة ، 32 (9) : 24 - 25 .

4 - العروسى ، حسين (1984) : الميكروبات غذاء. القافلة ، 32 (10) : 40 – 41.

5 - العروسى ، حسين (1986) : البتروبروتين. القافلة ، 34 (7) : 17-19.

6 - العروسى ، حسين (1998) : عالم خفى ، سلسلة العلوم والتكنولوجيا للجميع ، 4 ، مكتبة المعارف الحديثة ، الإسكندرية.

7 - العروسى ، حسين (1998) : الميكروبات والنباتات ، سلسلة العلوم والتكنولوجيا للجميع ، 5 ، مكتبة المعارف الحديثة ، الإسكندرية.

8 - العروسى ، حسين وأسامة عبد الحميد المنوفى (2000) : النبات العام ، مكتبة المعارف الحديثة ، الإسكندرية.

9 - العروسى ، حسين و محمود أحمد سالم (2000) : المشروم - أنواعه - زراعته- إقتصادياته ، مكتبة المعارف الحديثة ، الإسكندرية.

10- العروسى ، حسين (2001) : الماء والحياة ، سلسلة العلوم والتكنولوجيا للجميع، 3 ، مكتبة المعارف الحديثة ، الإسكندرية.

11- Abd-el-malek, Y. (1978): Traditional Egyptian dairy fermentations. GIAM 5, kuala lampur.

12- Brown, C.M., I. Campbell & F.G. Priest (1988): Introduction to biotechnology. Blackwell Sc. Pub., Oxford.

13- Blurlew, J.S. (1976): Algal culture, Carnegie Inst. Wash. Pub. Washington.

14- Davis, P. (1974): Single cell protein, Acad. Pr., Lond.

15- Major, A. (1977): The book of seaweed. Gerd. & Chem., Lond.

16- Malek, I. (1978): Protein production from deselination of seawater in agroindustrial complexes at nuclear energy centers. GIAM 5, Kuala Lumpur.

17- Moore-Landecker, E. (1982): Fundamentals of the fungi. Prentice-Hall, N.J.

18- Postgate, J. (1992): Microbes and man. Cambridge Un, Pr. Cambridge.

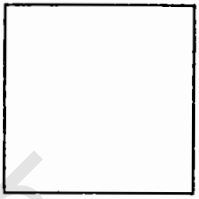
19- Saleh, A.M. (1971): Technological and biochemical studies on algae as a source of protein. M.Sc. Thesis, Fac. Agric., Al-azhar Univ., Cairo.

20- Steinkraus, K.H. (1978): Contributions of asian fermented foods to international food sciene and technology. GIAM 5, Kuala Lumpur.

21- Tiffany, L.H. (1968): Algae, the grass of many waters. Thomas books, Springfield, USA.

تم بحمد الله

دكتور حسين محمد العروسى



- دكتوراه نبات - جامعة مانشستر .
- أستاذ بجامعات الإسكندرية ، الرياض ، الملك فيصل .
- عميد ومؤسس لكلية العلوم الزراعية والأغذية ، جامعة الملك فيصل .
- عضو فى الجمعيات العلمية التالية :
  * أمراض النبات المصرية .
  * وقاية النبات العربية .
  * الميكولوجية البريطانية .
  * علوم الحياة السعودية .

- مؤلف ومشارك فى تأليف الكتب التالية :
  - التلوث المنزلى ، سلسلة العلوم والتكنولوجيا للجميع .
  - الشمس ، أم الطاقات وأنظفها ، سلسلة العلوم والتكنولوجيا للجميع .
  - الماء والحياة ، سلسلة العلوم والتكنولوجيا للجميع .
  - عالم خفى ، سلسلة العلوم والتكنولوجيا للجميع .
  - الميكروبات والنباتات ، سلسلة العلوم والتكنولوجيا للجميع .
  - تلوث البيئة وملوثاتها .
  - الصراع بين الميكروبات والنباتات .
  - الإنسان بين الميكروبات والنباتات .
  - أمراض الخضر .
  - أمراض أشجار الفاكهة .
  - مكافحة الأمراض النباتية .
  - أمراض النبات .
  - عملى أمراض النبات .
  - آفات وأمراض الخضر .
  - المشروم .
  - النبات العام .
  - مورفولوجيا وتشريح النبات .
  - المملكة النباتية .
  - الأطلس النباتى .
  - أساسيات علوم النبات .
  - دراسات حول الطب الوقائى .

obeikandl.com

فهرس

المحتويات	الصفحة
مقدمة	5
النقص العالمى فى الغذاء	9
ما المقصود بالكائنات البسيطة	19
البروتوزوات	20
البكتيريات	21
الفطريات	25
الطحالب	29
الطحالب غذاء المستقبل	31
غذاء من طحالب ميكروسكوبية	43
لماذا الطحالب الميكروسكوبية	44
زراعة الطحالب الميكروسكوبية	48
طحلب كلوريللا	50
طحلب سبيريولينا	53
مستقبل الطحالب الميكروسكوبية فى عصر الفضاء	55
الوضع الحالى للطحالب الميكروسكوبية	57
الطحالب الكبيرة وزراعتها	59
طحلب بورفيرا	60
طحلب ماكروسيستس	62
طحلب لا مينياريا	65
طحلب روديمينيا	66
طحلب كوندرس	67
طحلب الفا لاكتوكا	68
منتجات الطحالب الكبيرة	69
الفطريات الكبيرة	71
فطريات المشروم المظلية	73
الكمأة	78

obeikandl.com

المحتويات	الصفحة

الميكروبات غذاء	81
الغذاء من البترول	89
البتروبروتين	91
بروتين الخلية الواحدة ما له وما عليه	101
الميكروبات مكون هام فى الغذاء	105
الميكروبات وتخمير المعجنات	106
الميكروبات وصناعة اللبن الزبادى	108
الأجبان	110
الجبن الركفورت	111
جبن الكمبرت	112
الكشك	113
أغذية أخرى مخمرة	114
صلصة الصويا	115
التمبة	116
الانتجوم	117
السوركراوت	118
الكاسافا	119
الكاكاو والشيكولاتة	119
استخدام الميكروبات فى إنتاج مواد غذائية أو ذات علاقة بالغذاء	121
صناعة الكحول والمشروبات الروحية	122
صناعة الخل	122
المراجع	125

obeikandi.com

مقدمة

يعيش الإنسان مع غيره من مخلوقات أخرى فى مناطق محدودة من كوكبنا الأرضى ... فى حيز ضئيل من الكون الفسيح ، لا يستطيع البعد عنه إلا لفترات محدودة ، نظراً لمتطلبات حياته التى لا تتوفر إلا فى الجزء الذى يقطنه من الأرض، والتى قد تتوفر فى كوكب بعيد بعداً شاسعاً لا يستطيع له وصولاً. تتطلب حياة الإنسان إلى جو يتوفر به غاز الأكسوجين اللازم لتنفسه وقليل من غاز ثانى أكسيد الكربون الضرورى لنمو نباتاته التى تنقل إليه طاقة الشمس ، وماء ضرورى لشربه ومتطلباته الحياتية وإنتاج غذائه ، وغذاء يصلح لنموه وإقامة حياته.

إختلفت الآراء حول تاريخ ظهور الإنسان على وجه كوكبنا ، وكان إختلافهم فى ذلك كبير ، فمنهم من قدره بعشرات من آلاف السنين ، ومنهم من قدره بربع مليون سنة ، ومنهم من وصل فى تقديره إلى المليون ، بل إن البعض قد بالغ فى تقدير عمر النوع الإنسانى الذى ننتمى إليه والذى يعرف علمياً باسم هومو سيبينز *Homo sapiens* فقدره بمليونين ونصف من السنين.

ومهما اختلفت تواريخ البداية ، فالبداية كانت محدودة للغاية ... بدأت باثنين لا ثالث لهما ؛ آدم عليه السلام ؛ أبو البشر ، والجدة الكبرى عليها رحمة الله ... تزاوج الأبناء ... وأبناء الأبناء ... تكاثرت الأجيال ، فكانت الزيادة مطردة ، لكنها زيادة بطيئة للغاية ، فقسوة الحياة كانت شديدة فى البداية ... منافسة قاسية مع أحياء عديدة سبقتها وجوداً وتأقلماً مع البيئة ... أحياء يفوقونهم عدداً ويزدادون عنهم قوة وبأساً ، وحيث عوامل البيئة الأخرى من برودة قارصة أحياناً وحرارة شديدة أحياناً أخرى ... وثلوج وأمطار وسيول فى أماكن ، وجفاف فى أماكن أخرى.

كان غذاء الإنسان فى سنينه الأولى على وجه الأرض ، صيداً بلا آلات أو أسلحة ... إعتماده فى ذلك على الحيلة وقوة العضلات ... قد يصيد الإنسان حيواناً ويأكله ... وقد يتغلب الحيوان على الإنسان ، فيصبح الإنسان طعاماً للحيوان المفترس. بجانب تغذية الإنسان على ما يصطاده من حيوانات نيئة ، كان عليه أن يختبر نباتات الأرض ... يستسيغ ويستطعم بعضها فيجعل منها غذاءاً له، وقد يختبر أخرى فلا يستسيغها وينفر منها ... وقد يصادفه نبات سام فيكون فيه مرضه أو يكون سبباً فى إنهاء حياته ... وقد يجد فى نبات شفاء لمرض ألم به ، فيجعل منه دواء للعلة التى إشتكى منها. ولولا نعمة العقل التى ميز بها الله الإنسان على غيره من مخلوقاته ، ما تمكن من منافسة الأحياء التى سبقته فى استيطان الأرض ، فكثير منها يمتلك من ملكات القوى الجسمية والعضلية ومن القدرات الأخرى التى تمكنها من تحمل الظروف البيئية ما لا يمتلكه الإنسان. عقل الإنسان الناضج ، الذى تفوق على عقول الأحياء الأخرى التى تتصرف بعقولها أو تلك التى تتصرف بغرائزها ، مكنه من إكتساب الخبرات سريعاً ومن نقلها إلى الأجيال التالية، عرف الإنسان بعد فترة من وجوده بين أحياء الأرض النبات الصالح لغذائه وميزه عن غيره الذى لا يصلح لغذائه. كذلك فقد عرف فى مجال المنافسة الحيوان القوى المفترس الذى يخشى على نفسه منه ، كيف يتقى شره ، وعرف الحيوان الوديع ، والذى يكون غالباً من آكلى الأعشاب ، والذى لا يخشى منه مكروهاً ، والذى يسهل عليه مطاردته وصيده.

تتكاثر كافة مخلوقات الله على سطح الكرة الأرضية وداخل قشرتها الرقيقة بدرجة تكاد تكون منتظمة ، إلا أن معظمها يبقى فى حالة من التوازن مع غيرها من الأحياء التى تشاركها نفس الوسط الحيوى الذى يجمعهم معاً ، بمعنى أن أعداد كل نوع منها يكاد أن يكون ثابتاً لا يتغير إلا بتغير الظروف البيئية المحيطة ، وإذا حدثت زيادة لنوع ما من الأحياء فى وقت ما يعقبه فى وقت لاحق نقصان فى أعداد

هذا النوع ، تحكمها فى ذلك إمكانيات البيئة من غذاء وماء وهواء وأحياء أخرى متوافقة معها أو مضادة لها ، وما ينتج عنها وعن مشاركيها فى البيئة من مخلفات ، قد تكون مغذية لكائنات أخرى وقد تكون ملوثة لمخالطيها من أحياء .

يختلف الإنسان عن معظم الأحياء الأخرى ، فهو منذ خلقته فى تزايد مستمر ، تزداد معه متطلباته من منتجات غذائية ناتجة عن أحياء حيوانية سهل عليه صيدها وتربيتها وأعجبته لحومها ، وأحياء نباتية إستساغ طعمها ... يزيد منها على حساب أحياء أخرى لا يحتاج إليها ولا يستفيد منها ، فمما فضله الإنسان من حيوانات ، الماشية والأغنام والدواجن التى يستأنسها ويرعاها ، فيزيدها عدداً كلما زادت أعداده ، ومما فضله من نباتات وقام بزراعتها القمح والأرز والبطاطس وغيرها . يقابل هذه الزيادة فى الحيوانات والنباتات المنتقاه ، تناقص فى الكثير من الحيوانات والنباتات البرية وفى مساحات الغابات والمراعى الطبيعية وفى إختفاء العديد من أنواع الأحياء .

الزيادة الكبيرة فى أعدادنا حالياً والزيادة الكبيرة المتوقعة فى السنين القليلة القادمة ، والعجز الكبير فيما ننتجه من غذاء ، وظهور القحط والمجاعات فى أماكن غير محدودة من العالم ، تدعونا إلى البحث عن مصادر غير تقليدية للغذاء ، لتكفى مع ما اعتدنا عليه من أغذية تقليدية ، متطلباتنا الغذائية فى الحال وفى المستقبل .

النقص العالمى فى الغذاء

إكتسب الإنسان ، بما قام به من محاولات فى البحث عن غذاء مناسب له ، وبما تعرض له من مخاطر عرف بها أخطاؤه ، خبرات كثيرة ، وتجمعت لديه العديد من المعارف ، التى انتقلت من جيل إلى آخر مع ما إستجده كل جيل من مكتسبات جديدة، ساعده على ذلك بجانب عقله المتميز عن المخلوقات الأخرى ، منحه أخرى من منح الله على الإنسان ، التى لا تحصى ولا تعد ، فقد أعطاه الله وسيلة للتفاهم تفوق وسائل تفاهم سائر الأحياء ... أعطاه الله لغة التفاهم ، ولغة التفاهم موجودة بين كثير من الحيوانات ... إلا أنها فى الحيوانات لغة محدودة الأصوات ، أو محدودة الحركات ، وفى جميع هذه الحالات محدودة المعانى. أما لغة الإنسان فهى لغة واسعة ... لغة تستوعب كل المستجدات ... لغة تشمل وتعبر عن المعانى والأشياء المختلفة لكل ما يحيط بالإنسان كما يمكنه بها التعبير عن متطلباته ... لغة يمكن بها نقل المعارف والمستكشفات من الآباء إلى الأبناء ، أو من جيل إلى ما يليه من أجيال. هى لغة كلامية تنطق باللسان وتسمع بالأذن ، ويمكن التعبير عنها فى معظم الأحوال بالكتابة أو بالرسم أو بالنحت أو بغير ذلك من الفنون ، واللغة هى هبة الله لآدم عليه السلام.

(وعلم آدم الأسماء كلها ثم عرضهم على الملائكة

فقال أنبئونى بأسماء هؤلاء إن كنتم صادقين)*

بجانب ميزتى العقل واللغة اللتين مكنتا أجيال الإنسان من منافسة باقى الأحياء فى الحصول على الغذاء ، فهناك ميزة ثالثة ساعدت الإنسان على الصيد وجمع الغذاء ، ألا وهى استقامة قامته ومرونة حركة أصابع يديه ، والتى مكنت الإنسان

* سورة البقرة ، 31

من استخدام يديه بسهولة وحرية وخاصة فى الصيد واستخدام ما استحدثه من آلات والإمساك بالفريسة وتجهيزها وكذلك فى جمع الغذاء ونقله وتخزينه ، وبيديه تمكن من تدوين خبراته التى استفاد منها غيره فى جيله وفى الأجيال التالية.

مرت سنوات طوال على وجود الإنسان على ظهر البسيطة ، وهو يتناول غذاءه نيئا ؛ غير مطهى ، إلى أن إكتشف النار ، وتعلم كيف يطهو طعامه ، ويعتقد أن ذلك حدث منذ حوالى نصف مليون سنة ، باعتبار أن عمر الإنسان على الأرض مليون سنة.

استمرت الحياة بهذه الدرجة البدائية آلاف السنين ، تكاثرت فيها أعداد البشر الذين إنتشروا فى نواحى مختلفة من الكرة الأرضية ، إستوطنوها ، وتكونت منهم العشائر والقبائل ، التى عمرت نواحى مختلفة من الأرض. بإزدياد المعارف تمكن الإنسان من الاستفادة من بعض ما يجده فى الطبيعة ، فمن حجارة الأرض ومن عظام الحيوانات تمكن من صناعة أسلحة يستخدمها فى القنص وفى تجهيز ما إقتنصه للطعام ، كما إستخدمها فى الدفاع عن النفس.

وقد قدرت أعداد سكان الأرض فى نهاية العصر الحجرى القديم ، أى منذ ما يقرب من أربعة عشر ألف عام ، بحوالى ستة ملايين شخص. وقد بنى تقدير أعداد السكان آنذاك على أساس أن السكان جميعا كانوا يعيشون على الصيد ، وأن مساحة الأرض الصالحة للصيد وقتذاك هى ستون مليونا من الكيلومترات المربعة ، وأن معدل وجود الإنسان يقل عن شخص لكل كيلومتر مربع من أرض الصيد ، والدلائل تشير إلى أن تواجد الإنسان كان يعيش فى مجموعات صغيرة متناثرة ومحدودة من أرض الصيد ، مرتبطة بتوفر مصادر الغذاء ، وأن الآثار المتحجرة تدل على أن عمر الإنسان ، تحت تلك الظروف البدائية كان نادرا ما يتعدى عشرين عاما ، وهذا العامل الأخير كان وحده عاملا كبيرا فى الحد من أعداد السكان.

بدءا من العصر الحجرى ، أخذت وسائل حياة الإنسان فى التطور ففرص النجاة من الأعداء تزداد تحسنا ، وإمكانيات الحصول على الغذاء أصبحت أيسر ، فالأسلحة الحجرية والعظمية والرماح من فروع الأشجار ، التى تعلم الإنسان صناعتها من الخبرات السابقة ، مكنتهم من المنافسة مع الكائنات الأخرى وسهلت لهم الصيد والدفاع عن النفس .

مرت أربعة آلاف سنة منذ نهاية العصر الحجرى ؛ أى منذ عشرة آلاف سنة ، بدأت حياة الإنسان فى الاستقرار ، فعرف البعض الزراعة ، واستأنست بعض الحيوانات ، فقل الاعتماد على جمع النباتات البرية التى تصلح للغذاء أو لتغذية ما إستأنس من حيوانات ، كما قل الاعتماد على الصيد ، وكان لذلك أثر كبير على إزدياد معدلات النمو السكانى . ويعتقد أن الزراعة بدأت فى سفوح جبال منطقة الهلال الخصيب والتى تشمل غزة والأردن ، ممتدة شمالا إلى سوريا فجنوب تركيا عند الإسكندرونة وأنطاكيا ، وتمتد شرقا إلى العراق ثم جنوبا إلى شرق الخليج العربى . وهناك رأى آخر يعتقد فى النشأة المستقلة للزراعة من مراكز متفرقة فى آسيا وإفريقيا وأوروبا والأمريكتين .

وبإتجاه الإنسان إلى الزراعة ، اختبر ما صادفه من نباتات الأرض ، والتى تقدر بحوالى مائتى ألف نوع من النباتات البذرية ، فاختار منها البعض للزراعة . وحاليا يوجد سبعة عشر نوعا نباتيا تكون المزروعات الرئيسية الغذائية فى العالم ، وهى الأرز والقمح والذرة والشعير والذرة الرفيعة وقصب السكر وبنجر السكر والبطاطس والبطاطا والكاسافا والفول والفاصوليا والفول السودانى وفول الصويا وجوز الهند والموز ونخيل البلح . كذلك فقد إختار الإنسان من آلاف الحيوانات البرية عشرة أنواع رئيسية إستأنسها وقام بتربيتها على نطاق واسع واستخدمها للحصول على لحومها وألبان الثديية منها وبيض الطيور منها ، وهذه الحيوانات هى

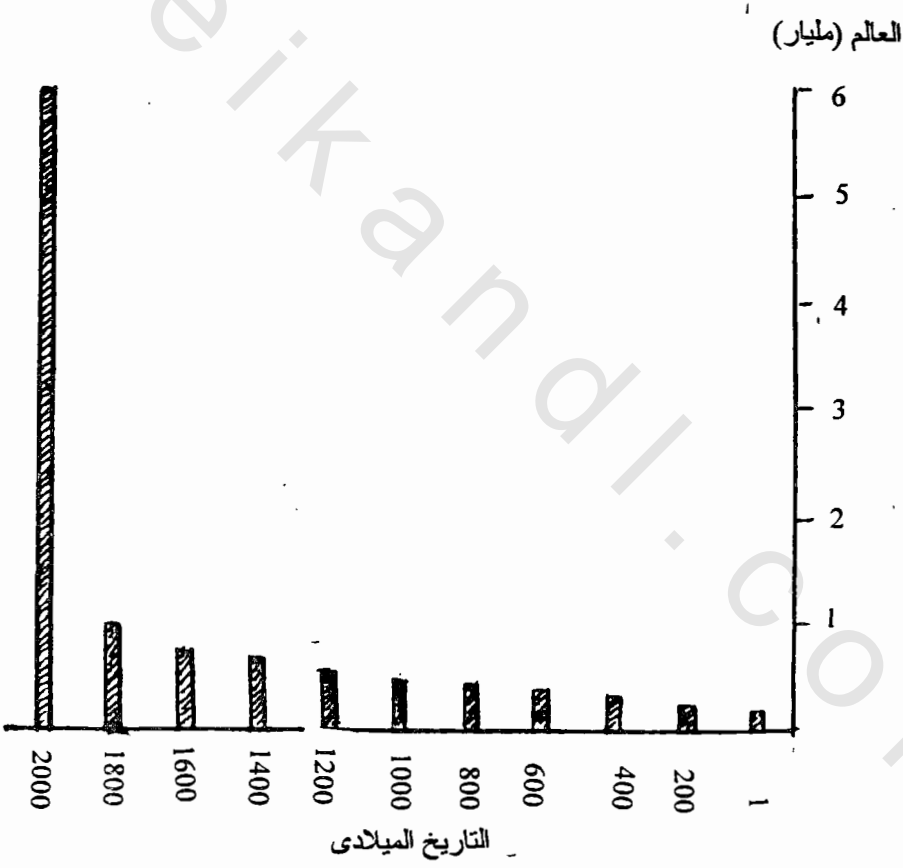
الأبقار والخنازير والخراف والماعز والجاموس والجمال والدجاج والبط والأوز والدجاج الرومى.

الإنسان فى تزايد مستمر ، والرقعة الزراعية فى تذبذب بين الزيادة والنقصان، تزيد الرقعة الزراعية باستصلاح أراضى جديدة لم تكن منزرعة فى الماضى وبإزالة الغابات والمراعى وتحويلها إلى أراضى زراعية منتجة ، وتتناقص ثانية باستمرار تزايد السكان وتزايد متطلباتهم من أراضى يبنى عليها مساكن تفى بالسكان الجدد ، وطرقات تتسع لحركة السيارات المتزايدة ومتنزهات وملاهى وملاعب للترويح عن النفس ، ومصانع جديدة لمواجهة طلبات الأعداد المتزايدة من الإنسان والتطور المستمر فى إحتياجات الإنسان. كل ذلك يتم فى معظم الأحوال على حساب أراضى زراعية قديمة خصبة.

يقدر البعض عدد سكان الأرض منذ عشرة آلاف سنة ، أى منذ بدء الاستقرار الزراعى بما لا يتعدى ثلاثين مليون نسمة. تزايد سكان الأرض منذ ذلك الوقت بسرعة بسيطة ... وقد قدرت فترة التضاعف السكانى بحوالى 2250 سنة فى المبدأ واستمرت كذلك حتى عام 1650 ميلادية ، حيث بدأ الإنسان فى اكتشاف الطاقات الجيولوجية المخزنة ، وكان الفحم فى مقدمتها ، وقد ساعد ذلك على تحسين الظروف البيئية وعلى تطور طرق الزراعة ، فبدأ معدل النمو السكانى فى الازدياد، وقد قدرت فترة التضاعف السكانى منذ ذلك الوقت وحتى سنة 1850 بحوالى 186 سنة ، فوصلت أعداد البشر سنة 1800 إلى 1000 مليون نسمة.

منذ عام 1850 دخلنا عصر العلوم الحديثة وعرفنا الميكروبات الممرضة وأضرارها وكيفية الوقاية منها ، وحدث تطور سريع فى وسائل الحياة ، وتبعه إستغلال كبير لمصادر الغذاء ، فإزدادت فرص الحياة للإنسان ، واختل التوازن الطبيعى للأحياء ، وصار للإنسان السيادة الكاملة بفضل عقله وما إكتسبه من علوم وخبرات ، فإزدادت معدلات تكاثره عن ذى قبل ، وقلت فترات التضاعف السكانى

حتى أصبح سكان الكرة الأرضية يتضاعفون عددا كل 97 عاما فوصلت أعدادنا إلى حوالى المليارين سنة 1900 ، ثم صار ثلاثة مليارات سنة 1950 • ومنذ ما يزيد عن خمسين عاما عرفت المضادات الحيوية وانتصرنا على كثير من الأمراض ، وخاصة تلك التى كانت تفتك بالأطفال ، فإزدادت معدلات التكاثر وقلت فترات التضاعف السكانى وأصبحت أعدادنا أربعة مليارات سنة 1980 ، ثم وصلت أعدادنا إلى ستة مليارات قبيل نهاية القرن العشرين ، بعد أن كانت أعدادنا لا تتعدى الثلاثين مليونا منذ عشرة آلاف سنة •



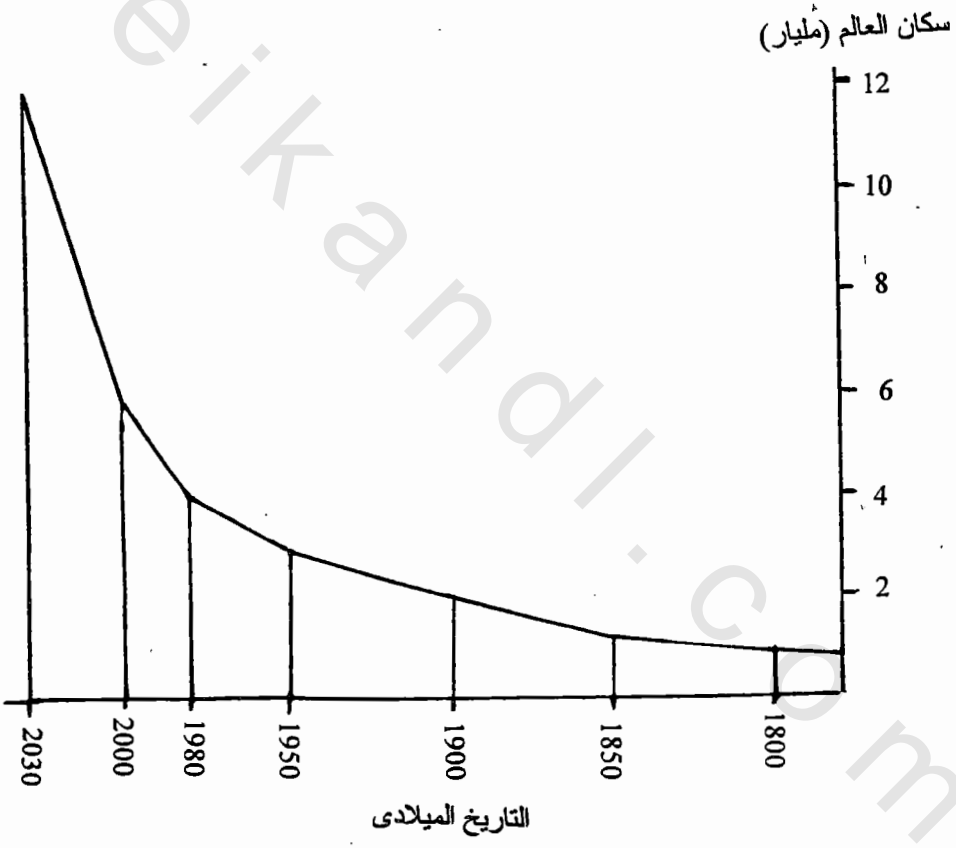
شكل 1 : رسم بيانى للنمو السكانى خلال الألفيتين الأولى والثانية

obeikandl.com

ووفقا لمعدلات النمو السكانى الحالية ، فمن المتوقع أن يحدث تضاعف فى أعدادنا خلال ثلاثين عاما أو أقل ، مما يتوقع معه أن تصل أعداد البشر إلى ما يقرب من اثنى عشر مليارا قبل عام 2030 ، وما يتبع ذلك من تضاعف فى مساحات المدن والطرقات والمناطق الصناعية ، وزحف آخر على الرقعة الزراعية الجيدة. ورغم كوننا حاليا فى حالة التوازن الغذائى السلبى ، فما بالكم بالحال بعد مرور ثلاثين عاما من الآن !! وكيف يصبح الحال بعد ستين عاما حين يحدث تضاعف آخر ويصل سكان الأرض إلى أربعة وعشرين مليارا من البشر !! ولو أن البعض يستبعد حدوث التضاعف الثانى ويعتقد بأن تعداد العالم من البشر سيصل إلى حده الأقصى عند أربعة عشر مليارا ، حيث أن عوامل البيئة التى من المتوقع أن تزداد سوءا ، سوف تقوم بعملها فى الحد من الزيادة أكثر من ذلك. تلك أزمات متوقعة خلال أزمنة مستقبلية ليست ببعيدة ... التضاعف الأول سوف يعيشه - بإذن الله - أكثر من نصف سكان الكرة الأرضية الحاليين ، وذلك وفقا لمتوسطات الأعمار الحالية ، والتضاعف الثانى سوف يشهده كثير من أطفال هذا الجيل والمعمرون من شبابه... سيشهدون إستفحال الأزمات الغذائية وما ينتج عن ذلك من حروب بين مناطق الفقر ومناطق الشبع ... مناطق ندرة الغذاء ومناطق وفرته ... سيشهدون زيادة فى حوادث العنف والإرهاب من سلب وقتل بين الأفراد ، ما لم نجد حلولا جذرية للزيادة فى متطلباتنا الغذائية أو الإقلال من معدلات زياداتنا السكانية.

منذ منتصف القرن العشرين ومشكلة الغذاء تشغل أذهان المفكرين والعلماء. فالزيادة السكانية رهيبة ، تقدر بحوالى 2 % سنويا ، أى بما يعادل حوالى مليون شخص كل ثلاثة أيام فى وقتنا الحالى. ومن الملاحظ أن الدول المتقدمة تقل فيها معدلات النمو السكانى بدرجة واضحة عن الدول النامية ، فمعظم الزيادة السكانية تحدث فى الدول الفقيرة النامية والتى تعانى عجزا فى متطلبات شعوبها من الغذاء.

من هذا نجد أنه فى عـام 1950 قدرت أعداد سكان الدول المتقدمة بحوالى 1000 مليون شخص مقابل حوالى 2000 مليون شخص فى الدول النامية ، إزدادت هذه الأعداد فصارت حوالى 1150 مليونا فى الدول المتقدمة وحوالى 2800 مليونا فى الدول النامية معظمهم من سكان آسيا وأفريقيا وذلك فى عام 1975 • ومن المقدر أن تكون أعداد السكان عام 2000 قد وصلت إلى حوالى 1300 مليونا فى الدول المتقدمة وحوالى 4700 مليونا فى الدول النامية•



شكل 2 : رسم بيانى للنمو السكانى خلال القرنين الأخيرين من الألفية الثانية والمتوقع بعد ثلاثين عاما

obeikandl.com

طلب الغذاء هو الشاغل الأول لكافة المخلوقات ... تهاجر من أماكن ندرته إلى أماكن وفرته ... تنمو وتتكاثر حيثما يوجد الغذاء الوفير ، نلاحظ ذلك بين أبسط المخلوقات وأدناها ، كما نشاهده فى أرقى المخلوقات. الهجرات الأساسية لبنى الإنسان تتجه دائما من أماكن الفقر الغذائى والقحط إلى حيث الوفرة فى الغذاء والنماء ... القلة تقطن الصحارى والكثرة تتواجد بجوار العيون والأنهار.

ومن المؤسف حقا أننا نجد أن الدول النامية تظهر معدلات عالية من النمو السكانى ، وتظهر فى نفس الوقت معدلات منخفضة فى التنمية الزراعية وإنتاج الغذاء. يحدث العكس تماما فى الدول المتقدمة حيث تزداد معدلات الإنتاج الغذائى عن معدلات النمو السكنى ، ففى الفترة من عام 1952 حتى عام 1972 كانت الزيادة فى الإنتاج الغذائى على المستوى العالمى تتفوق على الزيادة فى أعداد السكان ، وقد تبع ذلك حدوث زيادة سنوية فى نصيب الفرد من الغذاء قدرت بحوالى 1.75 % فى الدول المتقدمة ، مقابل زيادة سنوية فى نصيب الفرد من الغذاء فى الدول النامية قدرت بحوالى 0.7 % وذلك فى العشرة سنين الأولى من هذه الفترة ، أى من عام 1952 إلى 1962 . تناقص بعد ذلك نصيب الفرد فى النمو الغذائى بالدول النامية فصارت الزيادة السنوية حوالى 0.3 % فى العشرة سنين التالية. بعد ذلك بدأ نصيب الفرد فى الغذاء يتناقص فى الدول النامية حتى قلت معدلات الزيادة الغذائية عن معدلات الزيادة السكانية ، ففى عام 1973 زاد الإنتاج الغذائى بالدول النامية بمعدل يقل عن 1 % ، فى حين إزدادت أعداد سكان تلك الدول بمعدل 2.4 % ، أى أن شعوب تلك الدول بدأت تعانى من إزدياد العجز الغذائى.

تفيد التقديرات الحالية بأن ما يزيد عن 60 % من الدول النامية تشكو عجزا واضحا فى الغذاء ، وأن 30 % من سكان قارة أفريقيا و 25 % من سكان الشرق الأقصى لا يجدون الغذاء الكافى. هذا ويقدر عدد سكان الأرض الذين يواجهون المجاعات بما يزيد عن 500 مليون شخص فى الوقت الحالى.

المشكلة الغذائية ستزداد سوءا عاما بعد آخر ، إذا إستمرت معدلات النمو السكانى ومعدلات النمو الغذائى بالدول النامية على معدلاتها الحالية ، أى إذا ما إستمر نصيب الفرد فى الإنتاج الغذائى فى تناقص عاما بعد آخر .

النظرة الأولى للمستقبل قد تكون متشائمة ، إلا أنه بالعلم والتدبير قد يكون من المستطاع أن تتحسن النظرة إلى المستقبل وتصبح متفائلة ، فمساحات الأراضى غير المستغلة حتى الآن لازالت شاسعة ، وإمكانية تحسين وزيادة إنتاجية وحدة الأرض المنزرعة ما زالت عالية . إن معظم الأراضى الصالحة للزراعة والغير مستغلة تقع فى دول أمريكا اللاتينية حيث تقدر بحوالى 75 % من أراضيها الصالحة للزراعة ، يليها دول إفريقيا حيث تصل تلك المساحات إلى حوالى 65 % . العقبة القائمة فى إمكانيات استصلاح واستزراع هذه الأراضى ، إحتياجها إلى رءوس أموال طائلة واستثمارات كبيرة لا تتوفر لدى حكومات وأفراد تلك الدول . التنبؤات النظرية تشير إلى أن الأرض إذا ما استغلت إستغلالا جيدا لصالح البشر يمكنها أن تفى بالاحتياجات الغذائية لسكان يصل أعدادهم إلى 38 مليار شخص ، إلا أن ذلك يتطلب إستحداث تغييرات جذرية فى التقنية الزراعية والغذائية ، وتطور فى وسائل نقل الغذاء عالميا من أماكن وفرته إلى أماكن شحه وندرته .

فى الوقت الحالى فإننا لم نصل بعد إلى نمو غذائى يتمشى مع الزيادة السكانية ، مما يدعونا إلى البحث عن مصادر جديدة للغذاء ... عن أغذية غير تقليدية تمكننا من تلبية المتطلبات الغذائية المتزايدة لجيلنا والأجيال القادمة ، وسيكون حديثنا فى الصفحات التالية عن مصادر للغذاء من كائنات بسيطة . من الممكن أن يستفاد منها فى سد الفجوة الغذائية الحالية . بعض هذه الأغذية مستخدمة فعلا كغذاء لبعض الشعوب فهى بالنسبة لهم أغذية تقليدية ، لكنها بالنسبة لنا ولكثير من شعوب الأرض أغذية غير تقليدية .

ما المقصود بالكائنات البسيطة

الكائنات البسيطة هى كائنات بدائية ، تركيبها بسيط غير معقد ، لا تتشكل إلى أعضاء مميزة ولا يتميز بها أجهزة عضوية واضحة المعالم ، غالبا ما تكون وحيدة الخلية أو محدودة الخلايا ، القليل منها كبير الحجم ، أو يكون فى أحد أطواره أجساما مميزة كبيرة الحجم. تنتمى بعض هذه الكائنات إلى النباتات لوجود بعض الصفات النباتية بها ، كإحتوائها على صبغة الكلوروفيل الخضراء التى تميز النباتات الراقية، أو لحصولها على الغذاء عن طريق الامتصاص من أسطح أجسامها ، والبعض ينتمى إلى الحيوانات لحركته الواضحة أو لتناول الغذاء دون إذابة بطريقة الابتلاع ، والبعض يتنازعه علماء النبات والحيوان فقد جمع صفاتا نباتية وأخرى حيوانية.

تعرف الكائنات البسيطة الميكروسكوبية بالميكروبات microbes ، وهذه الميكروبات واسعة الإنتشار فى الطبيعة ، حيث تقدر كمية الميكروبات التى تقطن الكرة الأرضية بحوالى 5 إلى 25 مرة قدر كتلة الحيوانات المائية والبرية التى تعيش على الأرض ، وهى تمثل حوالى 90 % من المادة الحية الموجودة بالكرة الأرضية، وهذه الميكروبات تعتبر المسئولة عن معظم التغيرات البيولوجية التى تحدث على كوكبنا.

توجد الميكروبات فى أوساط مختلفة ، لكن معظمها تحتاج إلى وسط مائى لنموها وتكاثرها. والبعض منها يمكنها البقاء حية فى أوساط جافة وتحمل ظروف بيئية قاسية يصعب على كائنات أخرى تحملها ، فقد وجدت جراثيم بكتيرية وفطرية بكثرة فى الجو حتى ارتفاع كيلومترا من سطح الأرض ، وتتناقص أعدادها تدريجيا حتى ارتفاع 32 كيلومترا. كذلك فقد وجدت ميكروبات حية فى أعماق البحار حيث يزداد الضغط كثيرا ، وقد جمعت ميكروبات من قاع وأعماق المحيط الهادى حتى عمق 11 كليلو مترا ، كما وجدت ميكروبات حية فى داخل صخور على عمق

400 متر ، من هذا يمكن القول بأن الطبقة الحيوية biosphere من الكرة الأرضية ، أى الطبقة من الأرض التى تحتوى على كائنات حية سمكها يزيد قليلا عن 40 كيلومترا٠

يمكن تقسيم الكائنات البسيطة إلى مجاميع وفقا للتقسيمات العلمية المعتمدة ، وهذه المجاميع هى البروتوزوات والبكتيريات والفطريات والطحالب ، بجانب كائنات أخرى غير خلوية تعرف بالفيروسات لا تظهر أنشطتها إلا عند وجودها داخل أجسام أحياء أخرى٠ الذى يهمنا فى مجال حديثنا عن المصادر الغذائية غير التقليدية من هذه الكائنات البسيطة هى الكائنات التى يمكنها النمو والتكاثر والمعيشة الحرة٠

البروتوزوات

البروتوزوات protozoa هى كائنات وحيدة الخلية ، حيوانية الطباع ، فهى إضافة إلى خلوها من صبغة الكلورفيل الخضراء المميزة للنباتات الراقية ، فإن خلاياها لا تغلف بجدار خلوى يثبت من شكلها ويحد من حركتها وتمددها ، فهى تتحرك بحرية ، وقد يتغير شكلها أثناء حركتها٠ بعض أنواعها يتحرك بواسطة أهداب تحيط بأجسامها ، أو بأسواط طويلة قد تكون أمامية وقد تكون خلفية٠ البعض يتحرك بظهور نتوءات تظهر من حواف سيتوبلازمها وتعرف بالأقدام الكاذبة pseudopods ٠

تحتاج كائنات البروتوزوا إلى مواد عضوية لتغذيتها ، وقد تتغذى بالامتصاص من كافة أسطح أجسامها ، لكن معظمها يتغذى بابتلاع أجسام كاملة ثم تهضمها بإنزيماتها الداخلية ، وتتجمع متخلفات الهضم بعد التغذية ، فى فراغات بجسم خلية البروتوزوا ، وتعرف هذه الفراغات بالفراغات المنقبضة contractile vacuoles ،

وتتحرك هذه الفراغات داخل السيتوبلازم نحو الخارج ، ثم تنفجر طاردة المخلفات خارج جسم البروتوزوا.

من أنواع البروتوزوا ما هو ضار ، فقد تكون من مسببات الأمراض مثل بروتوزوا الأميبا *Amoeba* spp. المسببة لمرض الدوسنتاريا الأميبية ، والجنس بلازموديوم *Plasmodium* المسبب لمرض الملاريا والذى تنقله أنواع من البعوض، والجنس تريبانوسوما *Trypanosoma* مسبب مرض النوم والذى تنقله ذبابة التسى tsetse fly .

معظم أنواع البروتوزوا مترممات لا ينتج عن نشاطها أضرار للإنسان ، وليس لها فوائد واضحة ، إلا فى اشتراكها مع أنواع من البكتيريات والفطريات الرمية فى مجال تحليل المواد العضوية المعقدة إلى مواد بسيطة ، وكذلك فى مجال البحوث الغذائية والوراثية.

البكتيريات

البكتيريات bacteria كائنات وحيدة الخلية ، خالية من صبغات الكلوروفيل ، لها جدار مميز يحدد من شكلها ولكن ليس لها نواة واضحة. الخلايا البكتيرية ذات أشكال محددة ، فقد تكون كروية أو عصوية أو حلزونية أو خيطية ، البعض منها يشبه الفطريات فى نموها الخيطى المتفرع إلا أنها ذات أقطار دقيقة تقل عن الميكرون * ولا تتميز بها نوايات وتعرف هذه الأنواع بالأكتينوميسيتات actinomycetes .

البكتيريات واسعة الانتشار فى الطبقة الحيوية من الكرة الأرضية ، وخاصة فى التربة الخصبة والمياه السطحية ، فالجرام الواحد من التربة الخصبة يحتوى على

* الميكرون micron مقياس طولى يعادل جزء من ألف من المليمتر.

حوالى مائة مليون خلية بكتيرية ، كما يحتوى الهكتار من الأراضى الزراعية الجيدة على 210 إلى 500 كيلوجرام من الميكروبات (90 - 230 كجم/ فدان)٠

عموماً فإن قطر الخلية البكتيرية لا يتعدى الميكرون الواحد ، وللدلالة على مدى صغر هذه الكائنات الحية نتصور أننا قمنا بترتيب خلايا بكتيرية كروية قطر كل منها ميكرون واحد متلاصقة فى صف طولى فسوف نجد أن مليوناً منها تكون صفاً طوله متراً واحداً٠ أما إذا رتبنا تلك الخلايا البكتيرية متلاصقة على سطح مربع طول ضلعه سنتيمتر واحد وسمكه خلية واحدة ، فإن هذا المربع سوف يحتوى على مائة مليون خلية بكتيرية٠ وإذا رتبنا هذه الخلايا البكتيريا فى شكل مكعب ، فإن السنتيمتر المكعب الواحد سوف يحتوى على مليون مليون خلية بكتيرية٠

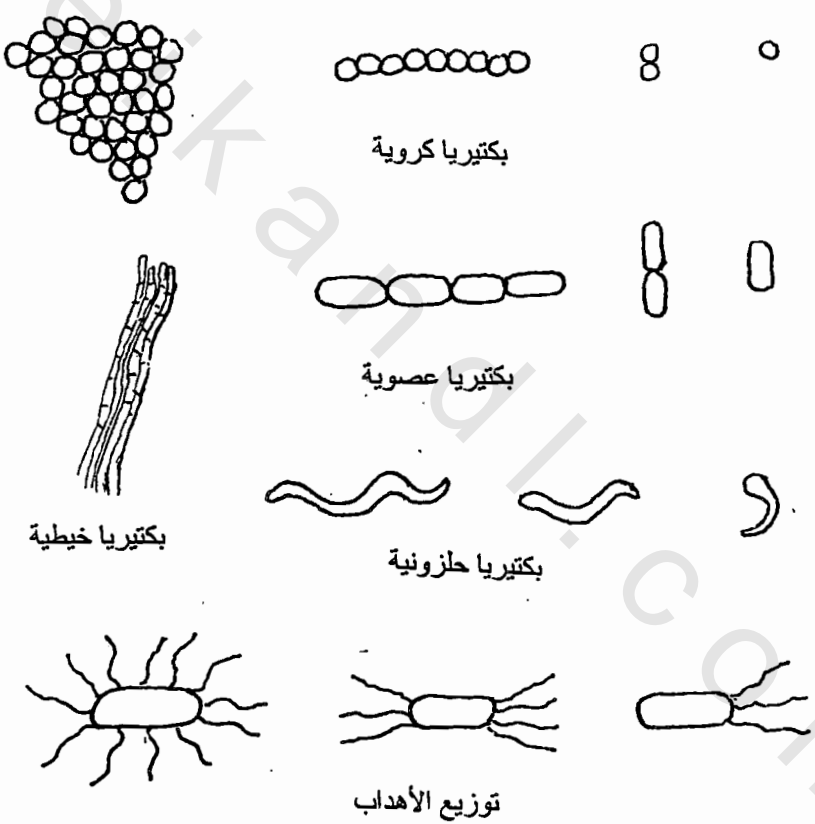
توجد الخلايا البكتيرية فى الطبيعة منفردة أو فى تجمعات تختلف أشكالها فى الأنواع المختلفة ، فقد يكون التجمع فى أزواج ، وقد يكون فى سلاسل ، وقد يأخذ شكل مكعبات وقد تتجمع بشكل عناقيد٠

بعض أنواع البكتيريا لا تتحرك حركة ذاتية ، والبعض يمكنه الحركة الذاتية وبخاصة الأنواع العصوية منها والحلزونية٠ الحركة قد تكون بالانزلاق ، لكنها غالباً ما تكون بالأهداب التى يختلف توزيعها على جسم الخلية البكتيرية من نوع إلى آخر ، فقد تكون الأهداب طرفية تتكون على أحد طرفى الخلية أو على طرفيها ، وقد تتوزع الأهداب على كافة أسطح الخلية٠

تكون بعض أنواع البكتيريا جراثيماً فى فترة من حياتها٠ تختلف الجراثيم البكتيرية عن الجراثيم التى تكونها أنواع أخرى من الكائنات مثل الفطريات والنباتات الحزازية والسرخسية ، فى أن الجراثيم البكتيرية ليست وسيلة للتكاثر ، وإنما هى وسيلة لمجابهة ظروف بيئية سيئة وتخطيها ، فهى فى تجرثمها أشبه بما يحدث لبعض الحيوانات بدخولها فى حالة بيات ، فالخلية البكتيرية عند تجرثمها يتكون عنها جرثومة واحدة تبقى فى حالة سكون ، حتى إذا ما تحسنت الظروف

المحيطة نشطت الجرثومة وخرج منها خلية بكتيرية واحدة. التجرثم فى البكتيريا لا يؤدى إلى أية زيادة عددية. وقد وجدت جراثيم بكتيرية حية فى صخور رسوبية إستمرت فى بياتها وحافظت على حيويتها ما يزيد عن ألف عام.

تتكاثر البكتيريا بالانقسام البسيط ، حيث تنقسم كل خلية بكتيرية بحدوث انقباض فى جدارها يقسم بروتوبلازمها إلى جزئيين متساويين تقريبا ويصبح كل منهما خلية



شكل 3 : أشكال وتجمعات البكتيريا ، وطرق توزيع الأهداب على الخلايا

openkanal.com

بكتيرية. التكاثر البكتيرى سريع متى توافرت الظروف البيئيـة الملائمـة لـه ، ففـى معظم الحالات يحدث انقساماً كل 30 إلـى 60 دقيقـة تحت الظـروف المثاليـة للنمـو والتكاثر ، فخلية واحدة من بكتيريا إشيريشيا كـولاى *Escherichia coli* ، إذا توفر لها الغذاء المناسب الكافى والظروف البيئية الملائمة الأخرى يمكـن بتكاثرهـا خـلال ثلاثة أيام فقط أن تصل كمياتها إلى ما يزيد عن كتلة الكرة الأرضية !! هذا لا يحدث لأن الغذاء سينفذ سريعاً ومخلفات نشاطها سوف يعوق إستمرار تكاثرها.

التكاثر الجنسى بين البكتيريات غير معروف إلا فى حالات قليلة ، حيث شـوهد تزاوج بدائى بين سلالات خاصة.

تتغذى البكتيريـا بالإنتشـار الغشـائى خـلال أسطح أجسامها ، لـهذا كـان مـن الضرورى أن تكون المادة الغذائية فى حالة ذوبان فى وسط الإنتشار. ونظراً لخلو الخلايا البكتيرية مـن صبغـات الكلورفيـل ، التـى تمكـن النباتـات مـن تكويـن المـواد العضوية من غاز ثانى أكسيد الكربون والماء ، لذلك فإن البكتيريا غـير قـادرة علـى الاستفادة من الطاقة الشمسية والقيام بعملية التمثيل الضوئى الـذى ينتـج عنـه تكويـن المادة العضوية. لهذا وجب أن يحتوى غذاء البكتيريا علـى مـواد عضويـة بجـانب توفر عناصر الغذاء الأخرى من نتروجين وفوسفور وبوتاسيوم وغيرها فـى صـور مناسبة.

معظم أنواع البكتيريا هوائية ، أى لا تنمو وتتكاثر إلا إذا توفر لـها الأكسـوجين بالهواء الجوى المحيط بها ، لكن البعض ينمو فى جو خال من الأكسـوجين وتعـرف بالبكتيريا اللاهوائية.

العديد من أنواع البكتيريا يدخل فى نطاق الميكروبـات الضـارة ، والتـى يمكنـها إحداث إفساد للأغذية أو إتـلاف للمنتجـات المختلفـة ، كمـا تشـمل البكتيريـا المسببة لأمـراض تصيـب الإنسـان أو الحيوانـات أو النباتـات. مَـن البكتيريـا الممرضـة ميكوبكتريم تيوبركيولوسس *Mycobacterium tuberculosis* المسببة لمرض الـدرن

للإنسان وبعض الحيوانات ، والبكتيريا فبريو كوليرا *Vibrio cholera* المسببة لمرض الكوليرا ، ومنها ستربتوكوكس بيوجينس *Streptococus pyogens* المسببة لمرض إلتهاب اللوزتين ، ومنها ستربتوكوكس بنموني *S. pneumoniae* المسببة للإلتهاب الرئوى.

ومن البكتيريا المسببة لأمراض نباتية نذكر البكتيريا أجروباكتريم تيومفسينس *Agrobacterium tumefaciens* المسببة لمرض التدرن التاجى فى كثير من النباتات، والبكتيريا إروينيا أميلوفرا *Erwinia amylovora* المسببة لمرض اللفحة النارية فى الكمثرى والتفاح ، والبكتيريا كورينبكتريم سبيدونكم *Corynebacterium sepedonicam* المسببة لمرض العفن الحلقى فى البطاطس.

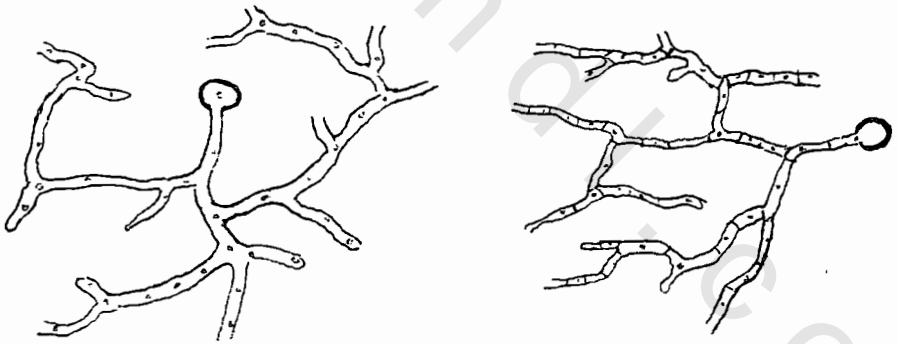
ومن أنواع البكتيريا ما هو مفيد فمنها ما يدخل فى إنتاج بعض المنتجات الهامة كبعض المضادات الحيوية ومنها ما أمكن تسخيره بطرق الهندسة الوراثية لإنتاج مركبات معينة كالأنسولين ، ومنها ما يدخل فى التصنيع الغذائى ، ومنها ما يستخدم مباشرة كغذاء ، وسيأتى ذكر بعض هذه الأنواع المرتبطة بالغذاء تفصيلياً فى سياق حديث هذا الكتاب.

الفطريات

الفطريات fungi كائنات بسيطة خلاياها ذات نوايات مميزة وسيتوبلازمها خالى من البلاستيدات الخضراء التى تحتوى على صبغة الكلوروفيل ، تتكون معظمها من خيوط دقيقة سمكها خلية واحدة وتعرف بالهيفات hyphae . هيفات الفطر تزيد فى أقطارها عن الميكرون الواحد ، تتفرع وتتشابك كثيراً. الهيفات قد تكون مقسمة بجدر عرضية وقد تكون غير مقسمة إلى خلايا. مجموع النمو الفطرى الناتج عن إنبات جرثومة يعرف بالمسيليوم mycelium . فى حالات قليلة

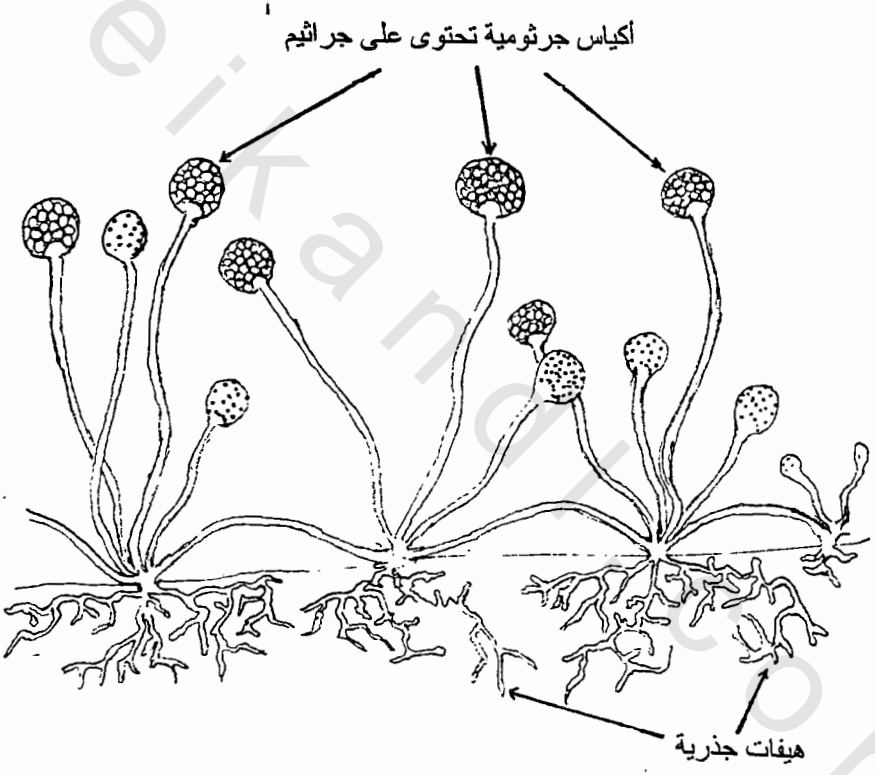
يكون النمو الفطرى غير خيطى كما فى حالة الخمائر yeasts ، حيث تكون وحيدة الخلية ، والخلية قد تتبرعم وبراعمها قد تتبرعم ثانية وهكذا ، ثم تنفصل البراعم إلى خلايا• تختلف خلايا الخميرة عن خلايا البكتيريا فى أن الأولى تزيد فى أقطارها عن الميكرون فى حين أن الثانية تقل عن الميكرون ، وفى أن خلية الخميرة بها نواة مميزة أو أكثر فى حين أن الخلية البكتيرية لا تحتوى على نواة مميزة•

تتكاثر الفطريات بتكوين جراثيم ، إلا فى حالات نادرة• وتختلف الفطريات فى طريقة تكوينها للجراثيم ، وفى أشكال تلك الجراثيم ، وفى عدد خلايا الجرثومة الواحدة• الكثير من الفطريات يكون أكثر من نوع من الجراثيم ، قد ينتج بعضها عقب عملية تزاوج وتعرف بالجراثيم الجنسية sexual spores ، وقد تنتج خضرياً دون تزاوج وتعرف بالجراثيم اللا جنسية unsexual spores •



شكل 4 : الميسيليوم الفطرى ناتج عن إنبات جرثومة
يمين : ميسيليوم هيفانة مقسمة بجدر عرضية
يسار : ميسيليوم هيفانة غير مقسمة

معظم الفطريات صغيرة الحجم لا ترى إلا بالميكروسكوب ، أو ترى عند تجمعها بكميات كبيرة. وبعض الفطريات ، كما فى فطريات المشروم ، تكون أجساما ثمرية كبيرة ، تختلف كثيرا فى أشكالها وفى أحجامها وفى نوعية وأشكال الجراثيم التى تكونها وفى طريقة تكوينها. بعض هذه الأجسام الثمرية يستخدم كغذاء وسيأتى الحديث عن بعضها لاحقا ، والبعض منها يستخدم طبيا ، والبعض منها شديد السمية.



شكل 5 : فطر عفن الخبز

obeikandl.com

تنمو بعض الفطريات فى أوساط صلبة ، كما فـى فطـر عفن الخبز ، ريزوبس نجريكانس *Rhizopus nigricans* الذى يكون رءوس سوداء ، لكن معظمـها يفضـل الأوساط الرطبة فنشاهد البعض منها ينمو على المربات وأنواع من الجبن والفاكهة. معظم الفطريات تتنفس الأكسوجين الجوى ، إلا أن القليل منها يمكنه النمو فى غياب الأكسوجين ومنها الخمائر التى يمكنها تخمير المواد السكرية لا هوائيا وإنتاج كحول إيثايل وثانى أكسيد الكربون.

تتغذى الفطريات بالامتصاص من سطوح خلاياها كلـها أو مـن سـطوح منـاطق معينة متخصصة لهذا الغرض ، كما فى فطر عفن الخبز حيث يتم امتصاص الغـذاء بواسطة هيفات خاصة تنمو فى وسط النمـو وتفـرز أنزيمـات خارجيـة تحلـل الغذاء الخـارجى ، فيمكن ذوبانـه وامتصاصـه ، وتعـرف هـذه الـهيفات بالـهيفات الجذريـة rhizoids .

ونظرا لعدم إحتـواء الخلايـا الفطريـة علـى صبغـات الكلوروفيـل ، ولـهذا فإنـها وكذلك البكتيريات والبروتوزوات تعتبر غير ذاتيـة التغذيـة heterotrophs ، أى أنـها فـى حاجـة إلـى كائنـات أخـرى لتوفير الغذاء العضـوى ، ولـهذا يجـب توفـر غـذاء عضوى ضمن المغذيات الأخرى عند تنمية الفطريات فى بيئات صناعية.

يتسبب العديد من الفطريـات فـى إحداث أمـراض للنباتـات ، مـن ذلـك أمـراض الأصـداء والتفحمـات والبيـاض الزغبـى والبيـاض الدقيقـى ، والكثـير مـن تبقعـات الأوراق وأعفان الثمار . والقليل من الفطريات يحدث أمراضا للإنسان والحيوانـات ومنها فطريات كانديدا *Candida* spp. المسببة لمرض السلاق thrush الذى يصيـب الأطفال عـادة ، وفطريـات ميكروسبورون *Microsporon* spp. المسببة للمـرض الجلـدى المعروف بـالدودة الحلقيـة ringworm ، والفطـر نيمـو سيستس كارينيـاى *Pneumocystis carinii* الذى يمكنه إحداث مرض الإيدز AIDS .

تعيش بعض الفطريات مع أنواع من الطحالب معيشة تعاونية مشتركة ، يستفيد كل شريك منهما من الشريك الآخر ، فهما يتبادلان المنافع ، ويكمل كل منهما الآخر فى توفير احتياجات الحياة. يعرف الكائنين المتعاونين الشريكين بالآشن Lichien. وكثيرا ما نجد أشنات نامية على جذوع بعض الأشجار.

الطحالب

تختلف الطحالب عن غيرها من الكائنات البسيطة ، السابق توضيح كنهها ، فى أن خلاياها تحتوى على صبغات الكلوروفيل chlorophyll الخضراء اللون ، وقد تحتوى ، بجانب الكلوروفيل على صبغات أخرى ذات ألوان مختلفة. قد يطغى اللون الأخضر على الصبغات الأخرى فتكون الطحالب خضراء اللون ، وقد تحجب الصبغات الأخرى اللون الأخضر. وعلى ضوء الصبغة السائدة فى الطحلب والمكونة للون المميز للطحلب ، تقسم الطحالب إلى مجموعات ، فمنها الطحالب الخضراء التى تحتوى على صبغات الكلوروفيل بجانب صبغات الكاروتين carotene والزانتوفيل xanthophyll الصفراء اللون ، ومنها الطحالب الخضراء المزرقة والتى تحتوى على صبغتى الفيكوسيانين phycocyanin الزرقاء والفيكوإرثرين phycoerythrin الحمراء ، ومنها الطحالب البنية والتى يرجع لونها البنى إلى وجود صبغة فيكوزانثين fucoxanthin البنية اللون ، ومنها الطحالب الحمراء والتى يسود بها صبغة الفيكوإرثرين الحمراء.

تحتوى كل خلية من الخلايا الطحلبية على نواة مميزة ، وقد تحتوى الخلية الواحدة فى بعض الأنواع على أكثر من نواة ، ويستثنى من ذلك الطحالب الخضراء المزرقة فخلاياها لا تظهر بها نوايات مميزة ، فهى أقرب فى الشبة إلى الخلايا البكتيرية.

بعض الطحالب وحيدة الخلية ، والغالبية متعددة الخلايا ، وبالنسبة للحجم نجد أن البعض منها غاية فى الصغر ولا ترى إلا بالميكروسكوب والبعض كبير عملاق قد يصل فى الطول إلى العديد من الأمتار .

تتكاثر الطحالب بتكوين الجراثيم التى تختلف شكلا وعددا ، كما تختلف فى طرق تكوينها من نوع إلى آخر ، كما أن منها ما ينتج عقب عملية تزاوج ومنها ما ينتج خضريا ، أى دون تزاوج .

تعيش الطحالب فى المياه العذبة والمياه والمالحة ، وتتغذى بالامتصاص من أسطح أجسامها . ونظرا لاحتواء خلاياها على صبغات الكلوروفيل فإنها لا تحتاج فى تغذيتها إلى كربون عضوى كغيرها من الكائنات الخالية من الكلوروفيل ، بل يمكنها القيام بتثبيت الكربون الموجود فى صورة غاز ثانى أكسيد الكربون بمساعدة ضوء الشمس وتفاعله مع الماء الممتص من بيئة النمو وتكون منها المواد العضوية التى تحتاج إليها فى نموها . ولهذا فإن الطحالب تعتبر من الكائنات ذاتية التغذية autotrophs ، فهى لا تعتمد فى تغذيتها على نشاط كائنات أخرى .

بعض أنواع الطحالب يستفاد منها كغذاء فى كثير من دول شرق آسيا ، وذلك كما فى كثير من محاصيل الحقل ، وسنتحدث عن بعضها فيما بعد ، والبعض يستفاد منه فى تصنيع مواد ذات قيم صناعية وكيميائية ودوائية .

الطحالب غذاء المستقبل

يعيش الإنسان على اليابسة التى تمثل ربع مساحة مسطح الأرض ، أما ما تبقى من مساحة سطح الأرض فهى مغطاة بمياه مالحة أو عذبة وفيها تعيش معظم أحياء الأرض. الطحالب من أحياء الماء وتعتبر أول سلسلة الغذاء لكافة الأحياء المائية ، وبين الأحياء المائية يتجه الفكر الإنسانى للبحث عن الغذاء بعد أن شحت اليابسة بإنتاجها، فمعظم سكان السواحل يعتمدون اعتماداً كبيراً على ما تنتجه البحار ، وفى حديثنا الحالى سنركز اهتماماتنا على الغذاء النباتى الممكن الحصول عليه من الأراضى المغطاة بالمياه ، ذلك أن الغذاء الحيوانى البحرى من أسماك وقشريات وأصداف وحيوانات بحرية أخرى قد شملتها دراسات متعددة ، وأن إستغلالها بالصيد والاستزراع يتم على نطاق واسع ، أما الغذاء على المنتجات النباتية من البحار فإنه لم يلقى النصيب الوافى من الاهتمامات والدراسات.

تنتمى معظم النباتات التى تنمو بالمياه إلى مجموعة الطحالب ، وقد نالت دراسة الطحالب اهتماماً كبيراً خلال القرن الماضى فوصف ما يزيد عن سبعة عشر ألفاً من الأنواع ، نال بعضها إهتمامات خاصة من الناحية الغذائية. وللحكم على أهمية الطحالب كمستقبل غذائى للإنسان سوف نجرى مقارنة بسيطة بينها وبين النباتات الراقية التى نقوم بزراعة بعض أنواعها باليابسة.

تعتمد الزراعة التقليدية على قدرة النباتات المنزرعة على تثبيت الكربون الجوى والموجود فى صورة غاز ثانى أكسيد الكربون والاستفادة من الطاقة الشمسية فى إنتاج المواد العضوية ، بعكس الحيوانات والفطريات والبكتيريا التى تحتاج فى نموها وحياتها إلى الطاقة الكامنة فى المواد الغذائية العضوية والتى تقوم النباتات بتصنيعها أصلا. الطحالب تقوم فى البحار والمحيطات بنفس مهمة النباتات الخضراء على اليابسة فهى مصدر الطاقة والغذاء العضوى لسائر سكان البحار

والمحيطات من كائنات حيوانية. ويمكن للطحالب أن تقدم للإنسان نفس المهام التى تقدمها النباتات الخضراء الزهرية فى عالمنا الحالى وفى عالم المستقبل المزدحم بالسكان. تعتبر النباتات الخضراء أول درجات السلم الغذائى ، بدونها لا يمكن أن تتم حياة حيوانية على وجه الأرض ، حيث أنه أثناء عملية التحول الغذائى الضوئى تخزن بعض الطاقة الشمسية فى المادة العضوية المتكونة فى صورة طاقة كامنة تستفيد منها الكائنات الحيوانية عند تغذيتها عليها.

الإشعاعات الشمسية التى تسقط سنوياً على مساحة هكتار من الأرض سواء أكانت أرضاً يابسة أو مغطاة بالمياه تعادل 17.4 مليار كيلو كالورى* ، تثبت منها النباتات المنزرعة فى المناطق المعتدلة ما يعادل 0.1 إلى 0.5 % فقط فى صورة طاقة كامنة بالمواد العضوية المتكونة بالنباتات ، ولا تزيد الكمية المستفادة من تلك الطاقة المثبتة فى المادة العضوية ، من الناحية الغذائية عن النصف.

وتعتبر النموات النباتية الخضراء بنظمها الدقيقة ومحتوياتها من الصبغات القادرة على اجتذاب الطاقة الشمسية وبمجموعة الأنزيمات التى تكونها والقادرة على تصنيع الغذاء وتحويله إلى صوره التخزينية ، مصانع للغذاء على أعلى درجة من الكفاءة. وكأى مصنع فإنه من الضرورى أن تتوفر له المواد الخام لتصنيع المنتج. والمواد الخام المكونة للمادة العضوية الأولى ؛ وهى عادة من المواد السكرية المتكونة من عناصر الكربون والإيدروجين والأكسوجين ، عبارة عن غاز ثانى أكسيد الكربون والماء. الماء تحصل عليه النباتات الأرضية من التربة عن طريق الجذور ، وتحصل عليه الطحالب من كافة أسطح أجسامها ، سواء الملاصقة للماء أو المعرضة للهواء الجوى. وغاز ثانى أكسيد الكربون تحصل عليه الطحالب المغمورة فى الماء من الغاز الذائب فى الماء ، بينما تحصل عليه النباتات الأرضية من الجو. يعمل الماء كمصدر لعنصر الأيدروجين ، الذى يعمل بدوره

---

* كيلو كالورى = 1000 كالورى أى 1000 سعر حرارى

على هدرجة غاز ثانى أكسيد الكربون وتحويله إلى مادة عضوية ، وأثناء ذلك ينطلق غاز الأكسوجين ، الذى يعمل بدوره على تنقية الجو وتحسين صفات الماء ورفع كفاءته فى تنفس أحيائه.

$$6\,O_2 + C_6H_{12}O_6 \longleftarrow 6\,H_2O + 6\,CO_2$$

يحتوى الهواء الجوى من غاز ثانى أكسيد الكربون على نسبة 0.03 إلى 036 %، وإلى هذه النسبة الضئيلة يرجع الفضل فى وجود كافة الأحياء على اليابسة. ويعتقد العلماء أنه إذا تضاعفت هذه النسبة مع توفير باقى الظروف الملائمة فإن معدلات التمثيل الضوئى لمختلف النباتات ستتضاعف أيضا ؛ بمعنى أن يتضاعف الإنتاج النباتى ؛ أى يتضاعف أيضا الاستفادة من الطاقة الشمسية. ينطبق هذا الكلام على ثانى أكسيد الكربون الذائب فى الماء بالنسبة للنباتات المائية.

النباتات التى تعتمد معظم شعوب الأرض عليها فى الغذاء تمثل نسبة ضئيلة جدا من أنواع نباتات المملكة النباتية المنتشرة طبيعيا فى الأرض. ومعظم النباتات المختارة للغذاء ، اختارها القدماء وتوارثها الأبناء جيلا بعد جيل ، مع إحداث تحسينات وراثية فيها نتجت عن قيام الزراع عادة باختيار أفضل ما نتج عن زراعته للحصول منه على تقاوى للمحصول التالى. ومع التقدم العلمى الحديث أمكن إحداث تحسينات وراثية جذرية باستخدام طرق الوراثة وتربية النباتات والهندسة الوراثية ، مما نتج عنه تحسين كبير فى إنتاجية المحاصيل كما ونوعا. من هذه النباتات المختارة نستفيد من أجزاء محدودة منها فى الغذاء فى معظم الأحوال ، قد تكون ثمارها وقد تكون بذورها أو أوراقها أو جذورها أو سيقانها. ومن هذه الأجزاء التى تؤكل نجد أن مادة السليلوز المكونة لمعظم الجدر النباتية يعجز جهازنا الهضمى عن الاستفادة منها.

لا يعمل النبات ككل فى صناعة الغذاء ، بل تقوم بذلك أجزاء محدودة من النباتات المنزرعة ، ألا وهى أنصال الأوراق والتى تعتبر مصانع الغذاء الرئيسية

فى النبات. عند تنمية المحاصيل الحقلية بغرض إنتاج الغذاء ، نجد أن أكبر طاقة امتصاص وتمثيل للغذاء تحدث خلال فترة قصيرة من عمر النبات ، وتكون هذه الفترة قرب نهاية فترة النمو الخضرى وقبل الحصاد ، وعند توفر الظروف المطلوبة لذلك ، فى حين أنه فى مزارع الطحالب فإنه فى أى يوم من نموها إذا ما توفر الغذاء وتوفرت الإضاءة المناسبة فإن درجة امتصاص المحلول الغذائى وتمثيله تكون عالية.

النظرة الأولى على فكرة استخدام الطحالب فى تغذية الإنسان نظرة جذابة ، ذلك أن دورة الطحالب فى النمو دورة سريعة ، وبالتالى فإنه يالإمكان الحصول على محصول وفير من نفس وحدات الضوء الساقط على مزرعة الطحالب أو من نفس المساحة ولنفس الزمن ، مقارنة بالمحاصيل الزراعية التقليدية. وترجع زيادة معدلات نمو الطحالب عن النباتات الزهرية تحت الظروف البيئية الملائمة لكل منهما ، إلى أن النباتات الزهرية تضيع جزءاً كبيراً من نموها فى تكوين أنسجة واقية وأخرى دعامية وثالثة ناقلة ، كما يستنفذ جزء كبير من الطاقة المتحصل عليها فى عمليات نقل الغذاء من أماكن تصنيعه إلى أماكن تخزينه ، فى حين أن نسبة ضئيلة فقط من أنسجة النبات الراقى هى التى تقوم بمهمة تصنيع الغذاء. أما فى حالة الطحالب فمعظم نموها يتكون من أنسجة تمثيلية تحتوى على كلوروفيل وتعتبر مصانع الغذاء ، ولا تستهلك ، فى معظم الحالات ، طاقة فى نقل أو تخزين الغذاء ، فهى لا تحتوى على أنسجة خاصة ناقلة للغذاء.

مما سبق يتضح معه أن النبات الطحلبى كله أو معظمه مبرمج لتصنيع الغذاء وتخزينه فى أماكن تصنيعه ، مما يترتب عليه ارتفاع معدلات الاستفادة من الطاقة الشمسية فى تكوين الغذاء ، كذلك فإنه من المتيسر التحكم صناعيا فى الإضاءة عند زراعة بعض أنواع الطحالب صناعيا. تصل الطحالب إلى أعلى مستوى من النمو السريع فى وقت قصير إذا ما قورنت بالنباتات الراقية ، مما يمكننا من الحصول

على عروات عديدة من الطحالب المنزرعة فى موسم النمو الواحد ، وكمية المحصول الجاف الناتج من عروة واحدة من الطحلب تعادل غالبا كمية المحصول الجاف الناتج عن نبات راقى فى موسم النمو ، من نفس وحدة المساحة المنزرعة. لكن بالنسبة لتعدد العروات الطحلبية فى الموسم الواحد نجد أن كمية المحصول الطحلبى تصبح أضعاف كمية محصول النبات الراقى.

تمتاز الطحالب عن النباتات الراقية من حيث القيمة الغذائية وذلك لارتفاع محتواها الغذائى الكربوايدراتى والبروتينى ، فبالنسبة للوزن الجاف نجد أن معظم الطحالب تحتوى على 2 إلى 10 أضعاف محتوى معظم النباتات الراقية من البروتين.

جدول 1

القيمة الغذائية لبعض الطحالب المجففة *

الطحلب	ماء %	بروتين %	دهون %	كربوايدرات %	ألياف %	رماد %
طحلب ميكروسكوبى نوستوك *Nostoc commune*	10.6	20.9	1.2	55.7	4.1	7.5
طحالب كبيرة خس البحر *Ulva lactuca*	18.6	14.9	0.1	50.6	0.2	15.6
فيوكسى *Fucus vesiculosus*	12.4	5.0	2.0	62.0	5.5	13.1
لامينارىا *Laminaria* spp.	23.5	5.8	1.1	41.9	6.7	21.0
بورفيرا *Porphyra tenera*	17.1	27.5	0.8	44.3		10.3

* تحتوى الطحالب الطازجة على 80 – 90 % ماء

من حيث المحصول البروتينى الناتج عن وحدة المساحة خلال وحدة زمنية نجد أن الطحالب تعطى من 6 إلى 30 ضعف محصول بروتين النباتات الراقية. ومن الملاحظ أن النوع الواحد من الطحلب يتوقف كمية إنتاجه من البروتين على الظروف البيئية وبخاصة على مكونات بيئة التغذية ، ففى أحد التجارب على طحلب كلوريللا بيرونويدوزا *chlorella pyrenoidosa* تراوحت نسبة البروتين من 7.3 إلى 88.22 % من الوزن الجاف الخالى من الرماد. تزداد كفاءة الطحلب لإنتاج البروتين كثيرا إذا ما قورنت بكفاءة تنمية محاصيل المراعى عند استغلالها فى تنمية الحيوانات للحصول على بروتين حيوانى.

جدول 2
محصول البروتين من مصادر مختلفة
الناتج عن زراعة هكتار خلال عام ، مقدرا بالكيلوجرام

مصدر البروتين	وزن بروتين جاف	بروتين لحوم على نفس المصدر
طحلب سبيرويولينا	24300	2180
طحلب كلوربللا	15700	1410
طحالب خيطية مختلفة	20000	1800
أوراق برسيم	1680	150
نباتات مراعى	670	60
فول سودانى	450	
بسلة	395	
قمح	300	
لبن مواشى مغذاة على مراعى	100	
لحوم مواشى مغذاة على مراعى	60	

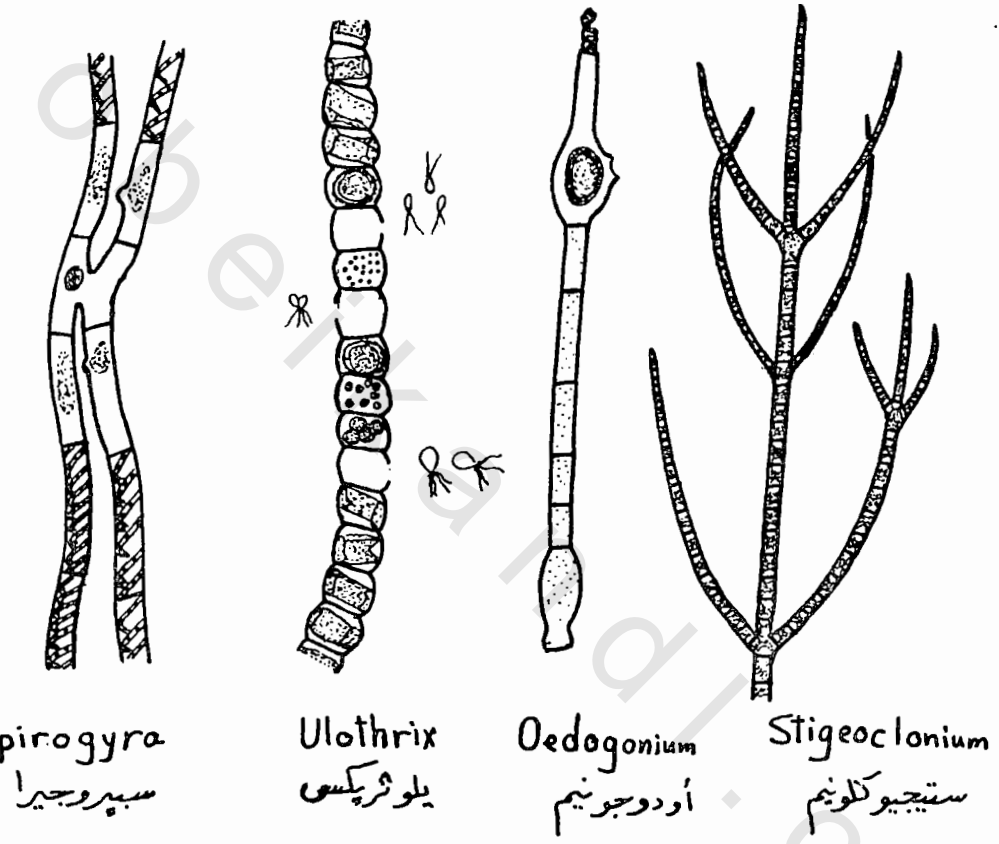
ولمقارنة المساحات اللازمة لإنتاج بروتين كاف لتغذية شخص واحد سنويا ، علما بأن الفرد البالغ يحتاج يوميا إلى حوالى 80 جرام بروتين ، أى 29.2 كيلو جرام بروتين سنويا نجد أن المساحات المطلوبة لذلك تقل كثيرا فى حالة الطحالب مقارنة بالنباتات الراقية.

جدول 3
المساحات اللازمة لإنتاج بروتين كافى لشخص واحد سنويا
مقدرة بالمتر المربع من مصادر مختلفة

مصدر البروتين	المساحة المطلوبة
طحلب سبيريولينا	12
طحلب كلوريللا	17.5
طحالب خيطية مختلفة	14.6
أوراق برسيم	173
فول سودانى	620
بسلة	740
قمح	970
لحوم مواشى منماة على برسيم	1950
لحوم مواشى منماة على مراعى	4870

لكى يتغذى الفرد على بروتين حيوانى فقط فإنه يحتاج إلى 1950 مترا مربعا ، أى حوالى 2 دونم أو حوالى 11 قيراط تزرع برسيما وتنمى عليها ماشية ، فى حين أنه إذا أمكن تنمية طحلب مثل سبريولينا بلاتنسس *Spirulina platensis* على نفس المساحة لأمكننا الحصول على بروتين يكفى لتغذية 162 شخصا ، أما إذا زرعت نفس المساحة بطحالب خيطية مختلفة لأمكننا الحصول على بروتين يكفى

لتغذية 133 شخصا ، وإذا زرعت نفس المساحة بالفول السودانى فإن ما نحصل عليه من بروتين سيكفى ثلاثة أشخاص فقط.



شكل 6 : طحالب خيطية مختلفة ممكن الحصول منها على بروتينات

إضافة إلى ما ذكر من أن الطحالب غنية فى محتواها البروتينى والكربوإيدراتى، فإن الطحالب غنية أيضا بالفيتامينات وبخاصة فيتامينات A ، C ، H . كذلك فإن الطحالب البحرية لها قدرة عالية على امتصاص اليود من ماء البحر وتخزينه فى

أنسجتها. ويعتبر اليود أهم عنصر يمكن الغدة الدرقية من إنتاج الثيروكسين thyroxine ، الهرمون الذى ينظم معدل البناء فى الجسم ، كما يحدد سرعة قيام غدد الجسم الأخرى بوظائفها. هذا ويعزو البعض عدم وجود مرض تضخم الغدة الدرقية بين أفراد الشعب اليابانى إلى كثرة استخدام الأهالى للطحالب كغذاء ، حيث تتكون أكلتهم الرئيسية من أرز وسمك وأعشاب بحرية. وقد استخدم الأطباء الصينيون القدامى حشائش البحر فى علاج مرض تضخم الغدة الدرقية منذ أكثر من ثلاثة آلاف عام. ويرجح البعض ارتفاع مستوى الذكاء عند اليابانيين إلى غذائهم البحرى.

سؤال يطرح نفسه ... من الناحية الاقتصادية للإنسان ككل ، هل من الأصلح التغذية على الطحالب ، أم التغذية على الأسماك؟

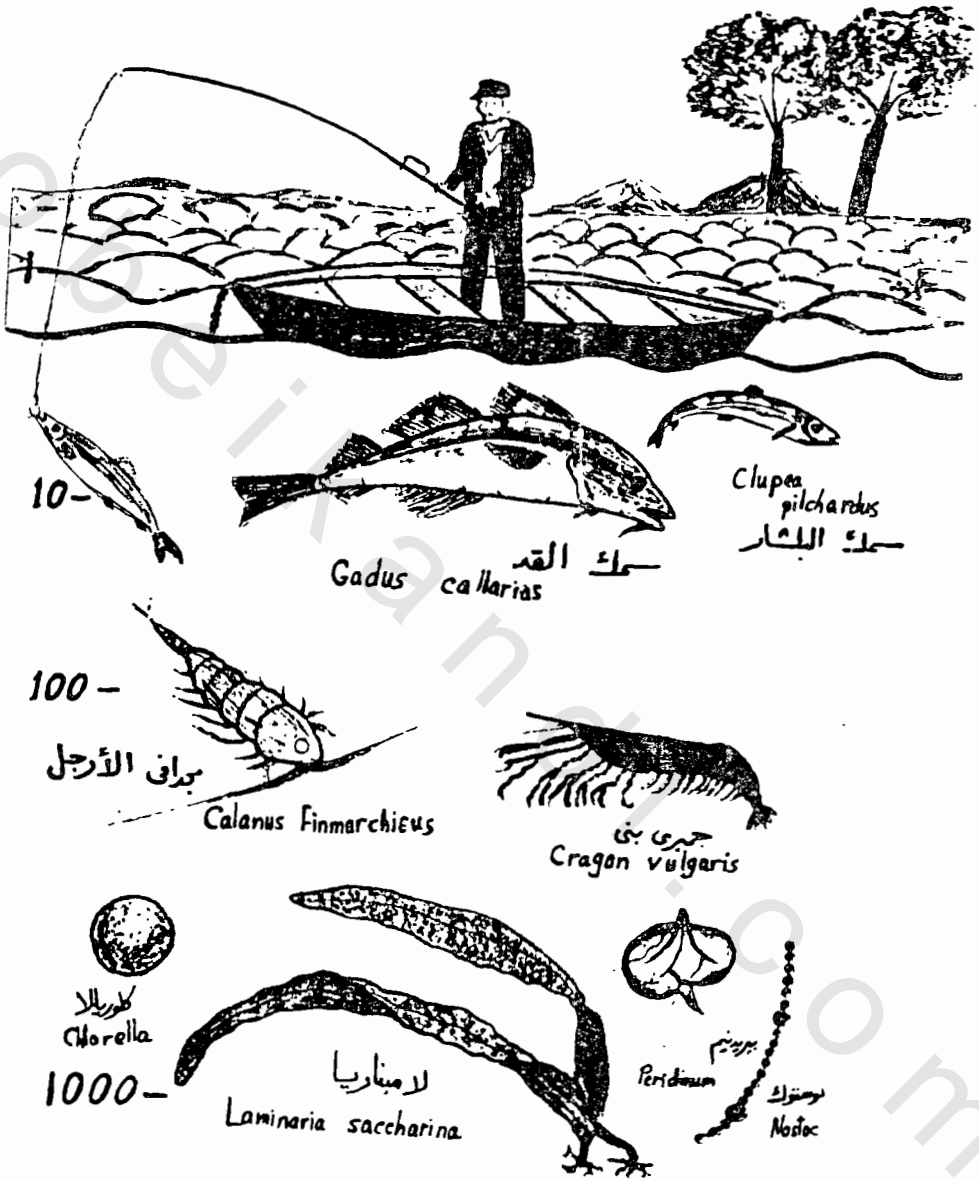
أجاب على هذا الاستفسار العالم الأمريكى تيفانى Tiffany سنة 1968 ، وذلك بتقديره للطاقة الغذائية لبحيرات ولاية أوهايو Ohio الأمريكية ، والتى تقدر مساحاتها بحوالى 200 ألف فدان ، وذلك فى حالة إستغلالها بزراعة الطحالب والاستفادة منها مباشرة كمصدر للطاقة ، وفى حالة تربية أسماك بالبحيرات تتغذى على تلك الطحالب فوجد الآتى :

1 - المحصول السنوى للطحالب بالبحيرات فى حالة زراعتها بالطحالب فقط يقدر بمليار رطل.

2 - الطاقة الكامنة فى محصول الطحالب الناتج يعادل 300 مليار كالورى.

3 - المحصول السنوى للأسماك بالبحيرات فى حالة زراعتها بالأسماك يقدر بحوالى 28 مليون رطل.

4 - الطاقة الكامنة فى محصول الأسماك يعادل 14 مليار كالورى.



شكل 7 : الفقد النسبى فى المادة العضوية نتيجة تغذية أحياء على أحياء

يتضح من ذلك أن نسبة الطاقة المتحصل عليها من الطحالب والأسماك تعادل 1 : 21 لصالح الطحالب. الأسماك التى تعيش فى تلك البحيرات قد تتغذى على طحالب نامية ، وقد تتغذى على أسماك أخرى أو حيوانات بحرية أخرى.

وعموما فإن تغذية كائن حى على كائن حى آخر يؤدى إلى حدوث نقص نسبى فى المادة العضوية بالبحيرة تقدر بحوالى 90 % ، ولهذا نجد أن الفقد فى المادة العضوية وبالتالى فى الطاقة الكامنة يزداد كلما بعدت الشقة بين الطحالب والحيوان البحرى الذى يعيش بالبحيرة.

obeikandl.com

غذاء من طحالب ميكروسكوبية

تزايد سكان الأرض ... إشتد الطلب على الغذاء ... أصبح أمر تدبيره مشكلة تؤرق بال السياسيين والاقتصاديين وتشغل بال المفكرين والعلماء ... تركز التفكير فى إتجاهين ، أولهما العمل على إيقاف أو تحديد التزايد السكانى ، وثانيهما العمل على الوفاء بمتطلبات الشعوب من الغذاء بتنمية مصادره التقليدية والبحث عن مصادر جديدة. وفى هذا الفصل من الكتاب أسلط الضوء على مصدر جديد للغذاء، نال إهتمام بعض الباحثين ... مصدر غير تقليدى ، ليس مما نعرف ونأكل من نباتات وحيوانات ، وإنما هو من كائنات نباتية صغيرة ، غاية فى الصغر ... لا ترى أفرادها بعيوننا المجردة ... لا تشعر بها حواسنا إلا فى تجمعات كبيرة ، هذه الكائنات هى طحالب ميكروسكوبية.

قد يظن البعض ، للوهلة الأولى أن الطحالب الدقيقة ، وهى تلك الكائنات الصغيرة جداً ، والتى تحتاج أفرادها إلى مجاهر تقوم بتكبيرها فى نظرنا مئات المرات ، هى مصدر ضعيف للغذاء. تنمو بعض هذه الطحالب فى المياه العذبة ، وتنمو بعض أنواعها فى مياه مالحة ، وتعرف مع غيرها من نباتات الماء الصغيرة غير المثبتة فى القاع والتى لا تتحرك حركة ذاتية واضحة وإنما حركتها الواضحة تنتج عن حركة الماء ، بالعوالق النباتية وتسمى علمياً بالفيتوبلانكتونات phytoplanktons ، تمييزاً لها عن العوالق الحيوانية والتى تعرف علمياً بالزوبلانكتونات zooplanktons . هذه العوالق ، نباتية وحيوانية لها من القيمة الغذائية ما يجعل أكبر المخلوقات الحية المعروفة حالياً وعلى مر العصور تعتمد فى تغذيتها إعتماداً كلياً عليها. هذه الكائنات العملاقة هى الحيتان الزرقاء التى تصل فى أطوالها إلى أكثر من 35 متراً ، وتصل فى أوزانها إلى أكثر من 180 طناً. الحيتان الزرقاء آكلة العوالق أكبر كثيراً من الفيلة ، التى يصل وزن الفرد منها إلى

خمسة أطنان ، وأكبر من الديناصورات أكبر كائنات اليابسة ظهورا على الأرض والتى قدر أوزان بعضها بثمان وثلاثين طنا٠ تعيش الحيتان الزرقاء على الكائنات الدقيقة البحرية والتى تشتمل على قشريات صغيرة وطحالب ميكروسكوبية وغيرها من العوالق ٠٠٠ يفتح الحوت فمه الضخم ، فيبتلع عدة أطنان من ماء البحر بما تحتويه من كائنات عالقة ٠٠٠ يغلق الحوت فمه على ما فيه من ماء ٠٠٠ يمر الماء بمساعدة اللسان إلى سقف الحلق خلال صفائح متقاربة مبطنة بشعور دقيقة ، تعمل كمرشحات تقوم بحجز العوالق المختلفة ٠٠٠ يخرج الماء بعد أن تم فصل كثير مما كان يحمله من عوالق نباتية وحيوانية من فتحة علوية على هيئة نافورة قوية٠ أما ما تم فصله من عوالق فهو غذاء الحوت٠

لماذا الطحالب الميكروسكوبية ؟

الطحالب الميكروسكوبية ، قد تكون وحيدة الخلية وقد تكون عديدة الخلايا٠ تعيش هذه الطحالب فى المياه العذبة وكذلك المالحة ، وتمتاز باحتواء خلاياها على معدلات مرتفعة من صبغات الكلوروفيل الخضراء التى توجد غالباً داخل عضيات تعرف بالبلاستيدات الخضراء ، ما عدا فى الطحالب الزرقاء المخضرة حيث يكون الكلوروفيل حراً فى السيتوبلازم٠ تصل نسبة صبغات الكلوروفيل فى الطحالب الميكروسكوبية إلى 4 – 6 % من الوزن الجاف ، مما يرفع من كفاءة هذه الطحالب فى عملية التمثيل الضوئى وإنتاج المركبات العضوية ، بالمقارنة بنبات البرسيم الحجازى الذى تقل به نسبة صبغات الكلوروفيل والذى يستخدم عادة فى الإنتاج التجارى للكلوروفيل ، مما يبرر إستخدام هذه الطحالب فى الحصول على الكلوروفيل مع الاستفادة من باقى الطحلب فى إنتاج الغذاء٠ بجانب صبغات الكلوروفيل الخضراء تحتوى كثير من هذه الطحالب على صبغات أخرى ، قد تكون صفراء أو زرقاء أو حمراء أو بنية٠ ووفقاً لنوعية الصبغات السائدة تصنف

الطحالب المختلفة. ففى طحلب كلوريللا *Chlorella* ، وهو من مجموعة الطحالب الخضراء ، سجل البعض إحتوائه على 1200 جزء فى المليون من صبغة بيتا كاروتين beta carotene الصفراء اللون ، وهى تعادل نفس نسبة الكاروتين فى الجزر المجفف ، وتقل هذه النسبة فى البرسيم الحجازى المجفف حيث تصل إلى 200 - 300 جزء فى المليون.

درست بعض أنواع الطحالب الميكروسكوبية التى تبشر بنجاح مستقبلى كغذاء دراسة مستفيضة ، وبخاصة الطحلب كلوريللا. وقد أظهرت الدراسات المختلفة تميز الطحالب الميكروسكوبية على النباتات الخضراء العادية من الناحية الغذائية فى بعض النواحى.

تستفيد الطحالب الميكروسكوبية من الضوء بدرجة أعلى بكثير من درجة استفادة النبات الراقى منه ، ويرجع ذلك إلى ارتفاع المحتوى الكلوروفيلى فى الطحلب مقارنة بالنبات الراقى. كذلك فإن استفادة النبات الراقى من الضوء لا يصل إلى أفضل مستوى له إلا فى مرحلة معينة من العمر ، وبتوفر أنسب الظروف البيئية من ضوء وحرارة ورطوبة ومعدلات غاز ثانى أكسيد الكربون أثناء تلك المرحلة ، ومن الصعب التحكم فى الظروف البيئية للنبات الراقى. أما بالنسبة للطحالب الميكروسكوبية ، فقد وجد أن معدلات تثبيت الطحالب للطاقة الشمسية تزيد بمقدار الضعف على الأقل عن النباتات الراقية. زيادة على ذلك فإن قصر فترة الاستفادة الكاملة من الضوء فى النباتات الراقية ، يحدد درجة الاستفادة الكلية من الضوء ، مقارنة بالطحالب الميكروسكوبية التى تستفيد من الضوء بصفة مستمرة ، مما ينتج عنه زيادة كبيرة فى المحصول الطحلبى عن محصول النبات الراقى. ولهذا أمكن التوصل إلى إنتاج طحلبى جاف يصل إلى 20 جرام يومياً من المتر المربع ، أى 84 كيلوجرام من الفدان يومياً (200 / كجم / هكتار / يوم). وهذا الناتج من الطحلب الميكروسكوبى يمكن الاستفادة منه جميعاً كغذاء ، بخلاف النبات

الراقى الذى يؤكل منه أجزاء محدودة ، فالقمح تؤكل حبوبه فقط ، والفول والبسلة تؤكل بذورها ، والبطاطس تؤكل درناتها ، واللفت والبنجر تؤكل جذورها ، والفاكهة تؤكل ثمارها .

معدلات المواد البروتينية فى الطحالب الميكروسكوبية مرتفعة ، إذ كثيراً ما تزيد عن 50 % من أوزانها الجافة ، وخاصة إذا ما توفر عنصر النيتروجين فى مكونات بيئة التغذية . لا يكفى أن تكون نسبة البروتينات فى الطحلب مرتفعة ليعتبر الطحلب ذو قيمة غذائية عالية ، بل من الضرورى أن تحتوى هذه البروتينات على معدلات متوازنة من الأحماض الأمينية الأساسية . تتكون البروتينات من حوالى 20 حمض أمينى متصلة فى سلسلة واحدة ، من هذه الأحماض الأمينية تسعة تعتبر أساسية وهذه يجب توفرها فى غذاء الإنسان ، ولهذا فإن البروتينات النباتية تعتبر أقل قيمة من البروتينيات الحيوانية لنقصها فى بعض الأحماض الأمينية الأساسية والتى تتوفر جميعها فى البروتينات الحيوانية . وقد وجد أن الطحالب الميكروسكوبية تحتوى بروتيناتها على الأحماض الأمينية الأساسية ، وهى ثمانية للأشخاص البالغين ؛ فينايل ألانين phenylalanine وليوسين leucine وفالين valine وليسين lysine وأيزوليوسين isoleucine وثريونين threonine وتريبتوفان tryptophane وأرجينين arginine . ويضاف إلى ما سبق الحمض الأمينى هستيدين histidine الأساسى للأطفال . ومن المميزات الأخرى لبروتينات الطحالب الميكروسكوبية إنخفاض أوزانها الجزيئية ، مما يعنى سهولة هضمها .

جدول 4

تقدير معدلات البروتينات وأهم ما بها من أحماض أمينية (%) فى طحلب كلوريللا *chlorella pyrenoidosa* مقارنة بفطر الخميرة *Torula* ولحم بقرى مقدرة على أساس الوزن الجاف

البروتين أو الحمض الأميني	طحلب كلوريللا	فطر توريولا	لحم بقرى
بروتين	42	44	60
فينابل ألانين	2.0	3.2	5
ليوسين	2.9	5.6	8
فالين	2.6	4.5	5.5
ليسين	2.3	5.5	10
أيزوليوسين	1.7	4.6	6.0
ثريونين	2.0	4.0	5.0
تربتوفان	0.6	1.1	1.4
أرجينين	2.2	3.9	7.7
هستيدين	0.6	1.5	3.3
ميثيونين	0.5	0.8	3.2

وعموما فإن بروتينات الكائنات الميكروسكوبية والتى يطلق عليها بروتينات الخلية الواحدة single cell protein ، تعانى إنخفاضا فى معدلات الأحماض الأمينية المحتوية على الكبريت وبخاصة الميثيونين ، والذى يلاحظ إنخفاض معدلاته أيضا فى النباتات الراقية ، ولحسن الحظ فقد أمكن صناعيا تحضيرَ هذا الحمض الأمينى من مواد غير زراعية• وحاليا يضاف حمض ميثيونين المصنع لعلف الدواجن ، أما بالنسبة لأعلاف الماشية فقد اتضح عدم أهمية هذه الإضافة ويعتبر الميثيونين حمض أمينى غير أساسى للماشية ، وذلك لإمكانية الحيوانات المجترة فى تكوينه مع غيره من الأحماض الأمينية الأساسية بالنسبة للإنسان•

يقابل النقص فى الحمض الأمينى ميثيونين فى بروتينات الخلية الواحدة زيادة فى الحمض الأمينى ليسين.

زراعة الطحالب الميكروسكوبية

منذ إستخدم الفطر أسبرجيللس نيجر *Aspergillus niger* سنة 1919 فى إنتاج حمض الستريك بدأ التفكير فى إدخال الكائنات الدقيقة فى الهندسة الكيميائية chemical engineering. وقد تمت أول محاولة فى إستخدام الطحالب الميكروسكوبية فى هذا المجال بمعهد أبحاث ستانفورد Stanford Res. Inst. فى الأعوام 1948 – 1950 بعمل مزارع طحلبية. وفى عام 1951 أمكن زراعة طحلب كلوريللا وأمكن التوصل إلى معدل إنتاج سنوى من هذا الطحلب المجفف قدر بـ 17.5 طن من الفدان فى السنة (حوالى 42 طن / هكتار / سنة). وحاليا تجرى زراعة طحلب كلوريللا فى بلدان عديدة تشمل ألمانيا واليابان والولايات المتحدة الأمريكية. وفى دراسات لاحقة أمكن زيادة محصول كلوريللا بإحداث تعديلات فى بيئة النمو والحصول على 70 جرام من المتر المربع يوميا أى 255 طن/ هكتار / سنة.

ساعد على الإهتمام بزراعة الطحالب الميكروسكوبية قلة إحتياجاتها المائية مقارنة بإحتياجات المحاصيل الحقلية ، فقد قدر أن إنتاج وحدة بروتين من نبات حقلى تحتاج إلى كمية ماء تزيد عن عشرة أمثال الماء المتطلب لإنتاج هذه الوحدة من بروتين طحلبى ميكروسكوبى ، مما يعطى أفضلية لزراعة هذه الطحالب كمصدر للبروتين فى المناطق الجافة. فى دراسة لمالك Malek عام 1978 ، قارن فيها محاصيل حقلية مختلفة بطحلب ميكروسكوبى ، من حيث إستهلاكها للماء وإنتاجها للبروتين خلال مائة يوم ، وجد أن الطحلب الميكروسكوبى أقلها إستهلاكا للماء بدرجة كبيرة بالنسبة لإنتاجيتها من البروتين

جدول 5
الاحتياجات المائية لمحاصيل مختلفة ومدى إنتاجيتها للبروتين
خلال مائة يوم

المحصول	إستهلاك الماء (طن) لكل طن بروتين	إنتاج البروتين كجم / هكتار
طحلب ميكروسكوبى	1250	8000
برسيم	8400	500
فاصوليا	9400	500
ذرة علف	11200	400

تنمى الطحالب الميكروسكوبية فى محاليل مائية مذاب فيها بعض الأملاح غير العضوية المحتوية على العناصر الغذائية الضرورية لنمو الطحلب ، وهى نفس العناصر الضرورية لنمو النباتات الراقية والتى تعطى للنباتات فى صورة أسمدة ، وتشمل أملاح نتروجينية وفوسفاتية وبوتاسية وغيرها٠ وتكتمل الاحتياجات الغذائية للطحلب بتوفر غاز ثانى أكسيد الكربون بوسط النمو٠ وقد وجد أنه يلزم للحصول على كيلوجرام واحد وزن جاف من الطحلب تحت الظروف البيئية الملائمة توفر كيلوجرامين من غاز ثانى أكسيد الكربون الجوى أو المذاب فى المحلول المغذى ، كما يستهلك الطحلب فى نفس الوقت حوالى 40 جرام من النتروجين فى صورة نترات أو أمونيوم أو يوريا٠ ويعتبر ضوء الشمس أو أية إضاءة أخرى صناعية مماثلة ضرورية لتكوين المواد السكرية والتى يتحول بعضها إلى مواد عضوية أخرى ، وخلال النمو الطحلبى تخزن بعض الطاقة الضوئية فى صورة طاقة كامنة٠ ويلاحظ أن معظم النمو الطحلبى يحدث فى طبقات رقيقة قريبا من سطح المحلول المغذى٠

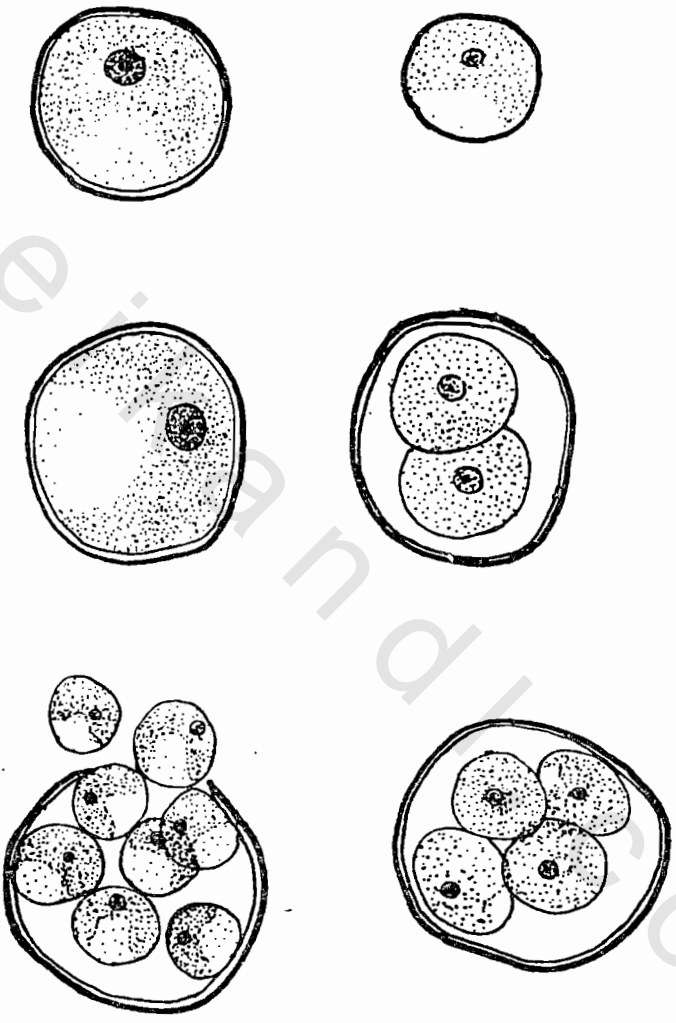
إهتم العلماء بزراعة الطحالب الميكروسكوبية لسد النقص فى الاحتياجات الغذائية وبصفة خاصة البروتينية منها. من هذه الدراسة التى نالت أهتمامات العلماء ، الطحالب كلوريلا *Chlorella* (شكل 8) وسبيريولينا *Spirulina* وسندسمس *Scenedesmus* (شكل 9).

طحلب كلوريللا : الكلوريللا طحلب أخضر وحيد الخلية كروى الشكل غير متحرك سريع التكاثر. تتحول الخلية الطحلبية عند التكاثر إلى كيس جرثومى ، ينقسم ما به من بروتوبلازم إلى بروتوبلاستين ثم إلى أربعة بروتوبلاستات ثم يصبح بداخل الكيس ثمان بروتوبلاستات ، بعدها ينفجر جدار الكيس الجرقومى ، وتنطلق البروتوبلاستات ، وتحاط كل منها بجدار وتصبح كل منها خلية طحلبية. لا يعرف لهذا الطحلب تكاثر تزاوجى.

نال هذا الطحلب إهتمام كثير من العلماء والباحثين ، ورأى البعض فيه وسيلة لحل مشكلة النقص الغذائى العالمى ، خاصة بالنسبة لشعوب المناطق الفقيرة فى العالم ، ورأى البعض فيه حلا لمشاكل متعددة فى المعيشة لمدد قد تطول فى رحلات وسفن الفضاء وللحياة داخل الغواصات لمدد طويلة فى أعماق البحار.

تحت ظروف النمو المثالية تصل أعداد طحلب كلوريللا إلى حوالى 18 مليار فرد فى اللتر الواحد من المحلول المغذى ، وقطر كل فرد منها يتراوح ما بين 4 إلى 8 ميكرون. ويمكن لهذه الأعداد أن تتضاعف كل 24 ساعة إذا ما توفر الغذاء والعوامل البيئية الملائمة.

طحلب الكلوريللا الجاف له طعم ورق الشاى الأخضر وكذلك بعض الخضروات النيئة مثل فاصوليا الليما والقرع المستدير ، ويمكن للطاهى الماهر تغيير طعمه بإضافة التوابل المختلفة ، كما يمكن إضافته إلى حساء الدواجن. القيمة



شكل 8 : طحلب كلوريللا فى أطوار مختلفة من نموه وتكاثره

الغذائية لهذا الطحلب مرتفعة حيث تحتوى خلاياه على حوالى 50 % من وزنها الجاف بروتين ، وذلك عند زراعته فى بيئة محتوية على مصدر نتروجينى كاف. وتشتمل بروتينات طحلب كلوريللا على الأحماض الأمينية الأساسية (جدول 4) ، إلا أن الحمض الأمينى الكبريتى ميثيونين كميته منخفضة نوعا ما. كذلك فإن هذا الطحلب ذو قيمة فيتامينية عالية (جدول 6).

جدول 6
معدل الفيتامينات فى طحلب كلوريللا بيرينويدوزا

الفيتامين	الكمية فى الرطل
كولين	1370 ملليجرام
كاروتين	218 ملليجرام
نياسين	815 ملليجرام
ريبوفلافين	213 ملليجرام
بيريدوكسين	10.4 ملليجرام
ثيامين	7.8 ملليجرام
حمض بنتوثنيك	6.4 ملليجرام
بيوتين	67.0 ميكروجرام
فيتامين B_{12}	27.5 ميكروجرام

فى حالة زراعة طحلب كلوريللا على بيئة فقيرة فى مصدر نتروجينى نجد أن التركيب الكيماوى للطحلب يختلف كثيرا ، فتقل معدلات البروتين كثيرا ، وتزداد معدلات الدهون كثيرا ، وقد تصل نسبة الدهون إلى 86 % من الوزن الجاف مقارنة بنسبة 20 – 25 % تحت ظروف البيئة المثالية. نوعية الدهون التى يكونها للطحلب تشبه لحد كبير الدهون النباتية ، إلا نسبة عدم التشبع تزيد فى الطحلب عن نسبتها فى

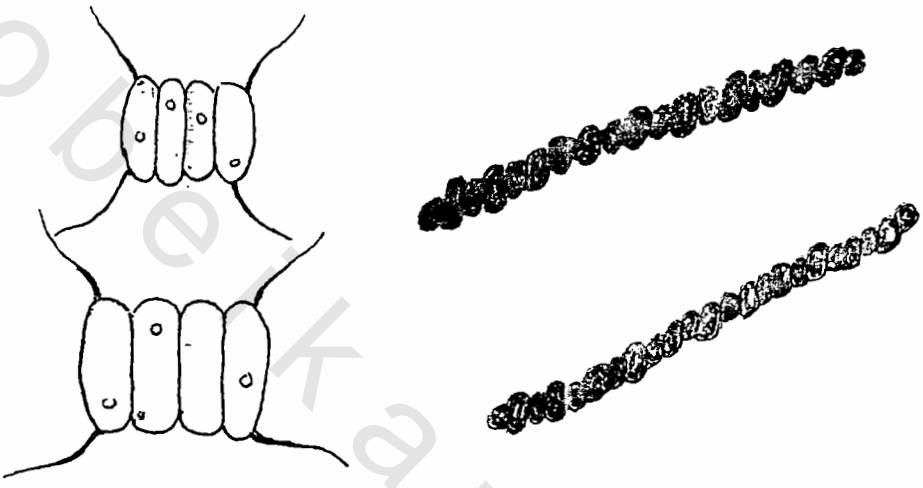
معظم المحاصيل النباتية ، فنجد بالطحلب أن نسبة حمض اللينوليك linolenic acid تصل إلى 55 % وحمض اللينوليك linoleic acid تصل إلى 21 %.

بالنسبة للمحتوى الكربوايدراتى فإنه يقل عادة عن 20 % ، فطحلب كلوريلا يخزن المواد الكربوايدراتية فى صورة دهون بدلاً من النشا ، وأن جدر خلايا الطحلب تحتوى على معدلات ضئيلة من السليلوز وتحتوى على بكتين.

طحلب سبيريولينا : طحلب سبيريولينا من الطحالب الزرقاء المخضرة القريبة الشبة بالبكتيريا نظراً لعدم وجود نواة مميزة ببروتوبلازمها. الطحلب وحيد الخلية حلزونى الشكل ، تحتوى خلية الطحلب بجانب الكلورفيل والكاروتين على الصبغة الزرقاء فيكوسيانين ، وقد يحتوى أيضاً على الصبغة الحمراء فيكو إرثرين. وهو من الطحالب الميكروسكوبية التى تبشر بنجاح فى مجال التغذية. ينمو طحلب سبيريولينا طبيعياً فى البحيرات المالحة بتشاد والمكسيك ، حيث يجمع من البحيرات غير العميقة والغنية فى البيكربونات. يجمع الأهالى الطحلب النامى على سطح البحيرات ، ثم يجففونه فى الشمس ، ويؤكل كنوع البسكويت ، ويستخدم كطعام غنى فى الكربوإيدرات والبروتينات.

درس هذا الطحلب بفرنسا ، وقد قدر المحصول الجاف منه بحوالى 44 كيلوجرام للفدان يومياً ، أى حوالى 105 كجم / هكتار / يوم ، تزداد صيفاً إلى حوالى 56 كجم/ فدان/ يوم ، أى حوالى 133 كجم/ هكتار/ يوم. ويقدر المحتوى البروتينى لهذا الطحلب بحوالى 65 % من الوزن الجاف. وبمقارنة المحصول البروتينى السنوى المنتج من مساحة هكتار بغيره من المصادر ، نجد أنه يصل إلى حوالى 24 طناً من طحلب سبيريولينا الجاف مقابل 450 كيلوجراما من محصول فول سودانى و 300 كيلوجراماً من محصول قمح ، ومقابل 60 كيلوجراماً فقط من بروتين اللحم البقرى المنمى على هكتار مراعى (جدول 2). أما إذا ما قارنا

المساحة اللازمة لإنتاج بروتين يكفى لتغذية شخص واحد سنويا ، نجد أننا نحتاج لمساحة 12 متر مربع فقط لزراعته بالطحلب مقابل لمساحة 4870 مترا مربعا لزراعتها مراعى تستغل لتنمية ماشية (جدول 3)٠



شكل 9 : طحلبى سبيريولينا (يمين) وسندسمس (يسار)

من المعاملات الهامة التى تعقب زراعة الطحالب الميكروسكوبية ، هى الكيفية التى يمكن بها فصل الطحلب النامى عن وسط النمو ، ثم تجفيفه عقب ذلك٠ وقد وجد أنه بالإمكان فصل الطحلب المنزرع بواسطة الطرد المركزى، لكن ثبت أن الفصل بالطرد المركزى عملية مكلفة نظرا لأن النمو الطحلبى يكون نسبة ضئيلة من المحلول المغذى ، فهو يوجد بمعدل 100 إلى 300 ملليجرام باللتر ، وأحيانا تتعقد عملية الفصل عند تجمع فقاعات أكسوجين بكثرة تنتج عن التمثيل الضوئى للطحلب ، فيلتصق الطحلب بالفقاعات ويطفو أعلى السائل بدلا من ترسيبه٠ وأحيانا يكشط النمو الطافى وبذلك يمكن رفع تركيز معلق الطحلب من 0.1 – 0.3

جم / لتر إلى 30 – 60 جم / لتر فى الجزء المكشوط. وقد وجد أن أنجح طريقة لفصل الطحلب هى بالترشيح ، ويتم ذلك خلال نسيج رقيق شبكى. يعقب ذلك عملية التجفيف للتخلص من باقى المحلول المغذى والحصول على مسحوق ناعم أو حبيبى. ومن الأفضل فى حالة استخدام المنتج لتغذية الحيوانات أن يكون الناتج حبيبى.

مستقبل الطحالب الميكروسكوبية فى عصر الفضاء

خلال عام 1954 قامت دراسات فى جامعة كاليفورنيا بالاشتراك مع البحرية الأمريكية لدراسة إمكانيات الإستفادة من الطحالب الميكروسكوبية فى تعديل جو الغواصات الذرية التى تبقى مددا طويلة تحت سطح الماء بالمياه البحرية العميقة ، وذلك بغرض تثبيت نسب وجود كل من غازى الأكسوجين وثانى أكسيد الكربون فى جو الغواصة ، إذ أنه من المعروف أن تنفس الإنسان فى الحيز المقفول ؛ غير المتجدد الهواء سوف يؤدى إلى الإقلال المتواصل من أكسوجين الهواء الضرورى للتنفس والزيادة المستمرة فى غاز ثانى أكسيد الكربون ، مؤديا ، بعد فترة تختلف حسب حيز الفراغ بالغواصة وعدد الأشخاص المتواجدين ، إلى حتمية الهلاك ما لم يجدد الهواء أو يضخ أكسوجين بالجو الداخلى. إستخدم فى هذه الدراسة طحلب كلوريللا السابق توضيح إمكانياته الغذائية ، فوجد أن مائة لتر من المعلق النامى من هذا الطحلب ، إذا ما نمى الطحلب ، تحت إضاءة صناعية قدرها 800 وات ، داخل الغواصة ، يمكنها أن تستهلك 720 لترا من غاز ثانى أكسيد الكربون ، وفى نفس الوقت سوف ينتج عن نموها إمداد جو الغواصة بحوالى 600 لتر من الأكسوجين ، وهذه الكمية من الأكسوجين هى الكمية التى يحتاجها شخص زنته 70 كيلوجرام أثناء تنفسه ، وأثناء ذلك سينتج 20 جرام من طحلب الكلوريللا الجاف الغنى بالبروتين ، يمكن الاستفادة منه غذائيا.

النتائج السابقة يمكن تطبيقها أيضا على رحلات سفن الفضاء المسافرة فى رحلات طويلة. وعموما فإن الطحالب الميكروسكوبية يمكنها أن تؤدى أربعة أغراض هامة فى سفن الفضاء والغواصات وغيرهما من الأماكن المغلقة ، وذلك بأن تقوم بنفس الدور الذى تقوم به النباتات البرية والبحرية فى دورة الحياة على الكرة الأرضية وذلك كالآتى :

أولا : القيام بعملية التمثيل الضوئى بالاستعانة بإضاءة صناعية ، حيث تقوم الطحالب بسحب غاز ثانى أكسيد الكربون ، من الجو ، الناتج عن تنفس الرواد ، وتعيد فى نفس الوقت إمداد جو الحيز المغلق بغاز الأكسوجين الضرورى لتنفس الرواد.

ثانيا : تزويد الرواد بمصدر مستمر للطاقة والبروتين بإستخدام محصول الطحلب كغذاء مكمل لما يحملونه من أغذية.

ثالثا : التخلص من فضلات الإنسان ، وخاصة فى الرحلات الطويلة ، وذلك بتحليلها أولا إلى مركبات بسيطة غير عضوية مستخدمين فى ذلك كائنات دقيقة رمية ، ثم إستخدام المركبات البسيطة الناتجة عن التحلل السابق كبيئة صالحة لتنمية الطحالب الميكروسكوبية.

رابعا : الإقلال من الوزن الكلى لمحتويات السفينة عند الانطلاق ، وذلك بالاستغناء عما كانت ستحمله السفينة من غاز الأكسوجين المضغوط ، ومن بعض كميات من الغذاء. ومن الأشياء الهامة بالنسبة لسفن الفضاء الإقلال من الوزن الكلى للسفينة عند إطلاقها ، ذلك أنه كلما زاد وزن السفينة كلما تطلب ذلك زيادة فى كمية الوقود الضرورى لعملية الإنطلاق للفضاء الخارجى. وقد وجد أن كل كيلوجرام من وزن السفينة يحتاج إلى ثلاثة كيلوجرامات ونصف من الوقود لإطلاقها للفضاء.

لهذا فإنه من المحتمل فى المستقبل القريب ، عند التخطيط لرحلات فضائية طويلة ، أن تحتوى السفن الفضائية المسافرة وكذلك المحطات الفضائية التى سيعيش فيها الإنسان لمدد طويلة ، أن تحتوى هذه السفن والمحطات الفضائية على وحدات لزراعة الطحالب الميكروسكوبية ، مما سيترتب عليه توفير كبير فى تكاليف الرحلات التى ستكلف بنقل الأكسوجين والغذاء ، إضافة إلى أثر هذه الطحالب على أقلمة هواء الناقلات والمحطات الفضائية ليصبح شبيها بالجو على سطح الكرة الأرضية.

الوضع الحالى للطحالب الميكروسكوبية

يصلح الإنتاج الحالى من الطحالب الميكروسكوبية للإستخدام المباشر فى تغذية الحيوانات المجترة كالماشية والأغنام. وتقدر الزيادة فى لحوم الحيوانات المجترة المغذاة على محصول طحلبى ميكروسكوبى ناتج من مساحة معينة من أرض مستغلة لزراعة الطحلب بما يزيد عن عشرة أمثال المحصول الناتج عن تغذية هذه الحيوانات على نفس المساحة المنزرعة بمحصول علف تقليدى كالبرسيم أو على أرض مراعى (جدول 5).

وبالنسبة للإنسان فإن طحلب مثل كلوريللا يمكن إعطاؤه للإنسان البالغ فى حدود 30 جرام وزن جاف يوميا ، وهذه الكمية تعادل 15 جرام بروتين ، على أن تستكمل باقى إحتياجاته البروتينية من مصادر أخرى. ولإنتاج هذه الكمية من بروتين الطحالب الميكروسكوبية لتغطية إحتياجات سكان العالم المقدر عددهم حاليا بحوالى ستة مليارات نسمة فإننا فى حاجة إلى زراعة حوالى 2 مليون هكتار من طحلب ميكروسكوبى مثل كلوريللا. وعموما فإن تغذية الإنسان على الكائنات الدقيقة والتى تشمل الطحالب الميكروسكوبية تبشر بمستقبل زاهر.

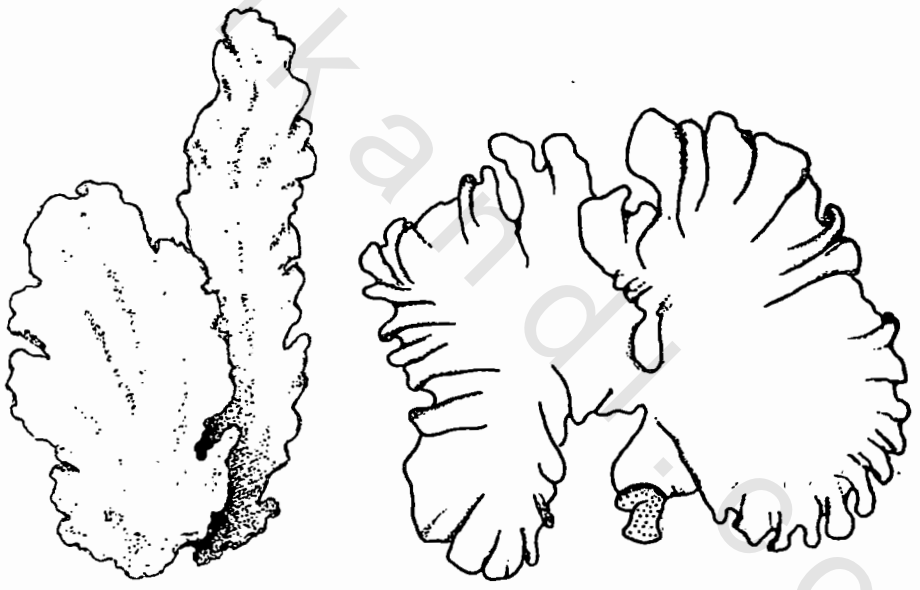
الطحالب الكبيرة وزراعتها

إزدحمت أعداد الإنسان باليابسة ... تكاثف سكان الأرض على سطحها ... ضاقت الأرض بنا ، وشحت بإنتاج ما يسد رمقنا ... أصبحت الحاجة ماسة للخروج من اليابسة إلى البحار بحثاً عن مصادر جديدة للغذاء. لم تكن البحار فى الماضى مطلباً أو ملاذاً ، عندما كنا فى العدد قليلون ، وكانت الأرض ، فى الإنتاج كريمة سخية ... تعطى بلا جهد يذكر ... تجود بخيراتها بسعة ويسر ، أما الآن وقد حل القحط محل الرخاء ... والجوع بعد الشبع ، فلا مفر من ركوب الصعب، وللضرورة أحكام. سبق أن غزونا البحار والمحيطات والأنهار بحثاً عن حيواناتها ، والآن وجب أن يمتد بحثنا إلى نباتاتها ، ونباتاتها الهامة ، طحالب ميكروسكوبية ، وقد سبق حديثنا عنها ، وطحالب كبيرة يمكن أكلها وزراعتها. وللحقيقة فإن الطحالب الكبيرة ليست جديدة على سكان الأرض كغذاء ، فقد استخدمت على نطاق واسع كغذاء تقليدى فى بعض بلدان شرق آسيا وخاصة بالنسبة لشعوبها القاطنين قريباً من السواحل البحرية ، كما عرف بعضها كمصدر لمواد مختلفة تدخل فى صناعة الغذاء بين كثير من شعوب العالم.

إشتهرت بعض الطحالب الكبيرة فى اليابان ، من سنين بعيدة ، كأغذية مفضلة ، فمنها يؤكل حوالى ثلاثين نوعاً من الطحالب. كذلك يستخدم فى أغذية شعب جزر هاواى حوالى سبعين نوعاً منها. وعموماً فإن استخدام الطحالب كأغذية ، معروفة بين كثير من شعوب الأراضى الساحلية ، وخاصة عندما تكون الأراضى المحيطة فقيرة الإنتاج. ومن الطحالب الكبيرة الهامة التى يكثر استخدامها فى صناعة الأغذية والتى تلاقى رواجاً كبيراً نذكر بعض الأنواع كالآتى :

طحلب بورفيرا

ينتمى طحلب بورفيرا *Porphyra* إلى مجموعة الطحالب الحمراء. ينتشر هذا الطحلب بالمناطق الساحلية فى البلاد المعتدلة الحرارة وخاصة فى سواحل اليابان وأمريكا الشمالية وأيرلندة وإنجلترا. يثبت الطحلب نفسه فى الصخور. يعرف هذا الطحلب بأسماء مختلفة ، ففى اليابان يقال له نورى nori أو أمورى amori وفى أيرلنده يعرف باسم سلوك sloke. يتكون الطحلب من ساق قصيرة ، الجزء القاعدى مثبت فى الصخر. تمتد من الساق نصل يصل طوله إلى حوالى 30- 60 سم



شكل 10 : نوعان من طحلب بورفيرا
يمين : بورفيرا بيرفوراتا *P. perforata*
يسار : بورفير كولمبينا *P. columbina*

والنصل عريض متموج وأحياناً يكون مفصصاً. الطحلب لونه أخضر وهو صغير ثم يتحول إلى أرجوانى يميل إلى البنى ثم يصبح شيكولاتى داكن وأخيراً أسود اللون، وعندها يكون صالحاً للجمع.

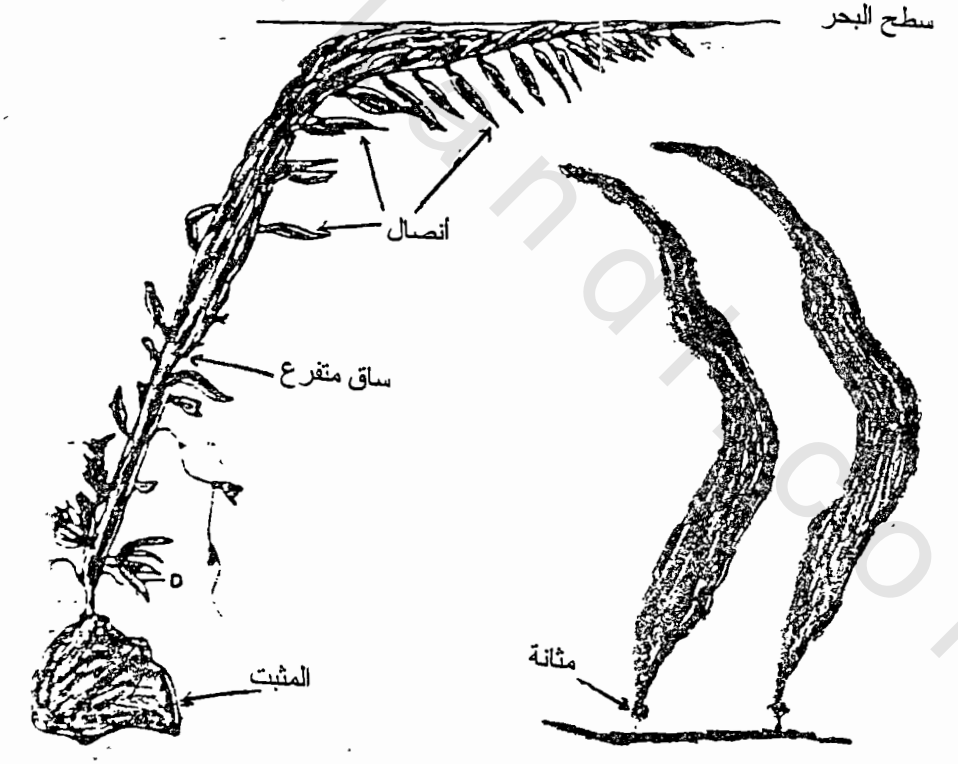
عرفت زراعة هذا الطحلب فى الخلجان منذ عام 1736 حيث زرع فى شواطىء خليج طوكيو ، وذلك بتثبيت سيقان نباتات بامبو فى صفوف فى الأجزاء الضحلة من الخليج وذلك فى أواخر الخريف ؛ خلال أكتوبر ونوفمبر ، ثم تثبت جراثيم الطحلب على سيقان البامبو. تنمو الطحالب مكونة أنصالاً كبيرة يصل طول الواحدة منها إلى أكثر من نصف متر. وحالياً تستخدم طرق حديثة لزراعة هذا الطحلب فى اليابان وكوريا تستخدم فيها شباك تنثر عليها جراثيم الطحلب التى تلتصق بها. بعد شهر تثبت الشباك فى مواقعها. الشبكة الواحدة حوالى 1.2 × 18 متراً ، وينتج عنها خلال موسم نمو من أربعة إلى ثمانية أشهر 35 إلى 105 كيلوجرام من الأنصال فى المتوسط. تجمع الأنصال عادة فى الشتاء ثم تجمع مرة أخرى فى الربيع التالى. ينظف الطحلب بالماء العذب وينشر فى طبقات رقيقة ويجفف فى الشمس.

يؤكل طحلب بورفيرا طازجاً أو مجففاً ، فى أوربا وغرب الولايات المتحدة وشيلى وآلاسكا واليابان ، كما يؤكل بعد غليه ثم إضافة عصير الليمون عليه فى إنجلترا حيث يطلق عليه لافر laver. ويؤكل الطحلب أيضاً مع المكرونة ، وقد يعمل منه حساء ، أو يضاف إلى الحساء لإعطائه نكهة مستحبة. ويستخدم الطحلب فى اليابان لعمل لفائف مع الأرز والخل تشبه فى ذلك محشى ورق العنب وتعرف بإسم سوشى sushi .

يمتاز هذا الطحلب بإحتوائه المرتفع من البروتين الذى يصل إلى 30 % من الوزن الجاف ، كما يمتاز بغنائه بفيتامينات A ، B ، C ، H ، بالإضافة إلى كثير من المعادن. وهو أغنى فى فيتامين C من ثمار البرتقال.

طحلب ماكروسيستس

ينتمى طحلب ماكروسيستس *Macrocystis* إلى الطحالب البنية ، وهو من الطحالب العملاقة المعروفة بطحالب الكِلب kelb ، ومنها الطحلب ماكروسيستس بيريفيرا *M. pyrifera* المعروف بالكِلب العملاق giant kelb. ينمو الكِلب العملاق فى الماء على عمق 10 - 30 متر ، وله ساق متكررة التفريع تصل فى الطول إلى 50 متر فى المتوسط ، وتكون فى نهاية تفريعاتها أنصال ، ولكل نصل عند قاعدته مثانة هوائية كمثرية الشكل تساعدها على الطفو. ينتشر هذا الطحلب بالساحل الغربى الأمريكى ؛ بالمحيط الهادى. وهو من الطحالب التى نالت إهتماما كبيرا



شكل 11 : طحلب الكِلب العملاق ونصلين

لزراعتها. ففى مشروع مولته الحكومة الأمريكية وبعض الشركات الخاصة ، وقام بإدارته والعمل على تنفيذه مركز البحرية لتحت البحار بسان دييجو ، كاليفورنيا ، تقرر زراعة مائة ألف فدان بالطحالب وبخاصة طحلب الكلب العملاق وذلك بالمحيطين الهادى والأطلسى ، لمدة 11 إلى 15 سنة عام 1990 ، بغرض الحصول منها على منتج غذائى ، والاستفادة منها فى صناعة الأسمدة والوقود والإنتاج والبلاستيك وغير ذلك.

لقد كانت هناك عقبتان رئيسيتان فى الماضى تحد من زراعة الطحالب الكبيرة فى المياه العميقة ، مقارنة بزراعة الخلجان. أول هذه العقبات يتمثل فى عمق القاع كثيراً عن سطح البحر ، حيث يقل الضوء بالماء كلما إزداد العمق ، والضوء ضرورى لتمكين الطحلب من القيام بعملية التمثيل الضوئى ، مما ينتج عنه قلة النمو النباتى بالأعماق. ثانى تلك العقبات هو ثبات وهدوء سطح الماء فى المناطق العميقة البعيدة عن الساحل ، وفقره فى كثير من العناصر المغذية. لهذا فإنه كان من الضرورى التغلب على هاتين العقبتين حتى تنجح الزراعة فى المياه العميقة. تم ذلك باختيار طحالب سريعة النمو ، ثم زراعتها على مرحلتين. تزرع أولاً فى مشاتل بخلجان ساحلية ، ثم تنقل بعد ذلك على نسيج شبكى إلى أعماق تتراوح ما بين 13 – 26 متراً ، وبذلك أمكن التغلب على صعوبة النمو فى العمق. ولعلاج مشكلة سكون الماء السطحى وفقره فى العناصر الغذائية ، فقد تم علاج ذلك بضخ المياه العميقة الباردة ، الغنية بالعناصر الغذائية ، من عمق حوالى 350 متراً إلى السطح.

وقد وجد فى طحلب الكلب العملاق النموذج الجيد الذى يتناسب مع ظروف التجربة ، فهو طحلب سريع النمو ، يزيد فى الطول بمعدل 60 سنتيمتر يومياً ، ويصل فى الطول عند توفر ظروف النمو الملائمة إلى حوالى ثمانين متراً ، وقد سجل بعضها بطول 200 متر. يثبت هذا الطحلب نفسه فى القاع بمثبت قوى ضخم يصل قطره إلى أكثر من 180 سم. جذع هذا الطحلب متفرع يشبه جذوع الأشجار ،

ويخرج منه على مسافات منتظمة أنصال كبيرة تشبه أوراق النباتات ، طولها حوالى 40 إلى 80 سم• معظم النمو النباتى يكون طافياً على سطح الماء معرضاً لضوء الشمس• يعيش النصل لمدة ستة أشهر ثم يموت ، ويتكون بإستمرار أنصال جديدة بدلاً من الميتة ، ويمكن للنبات أن يكون مثل وزنه كل ستة أشهر •

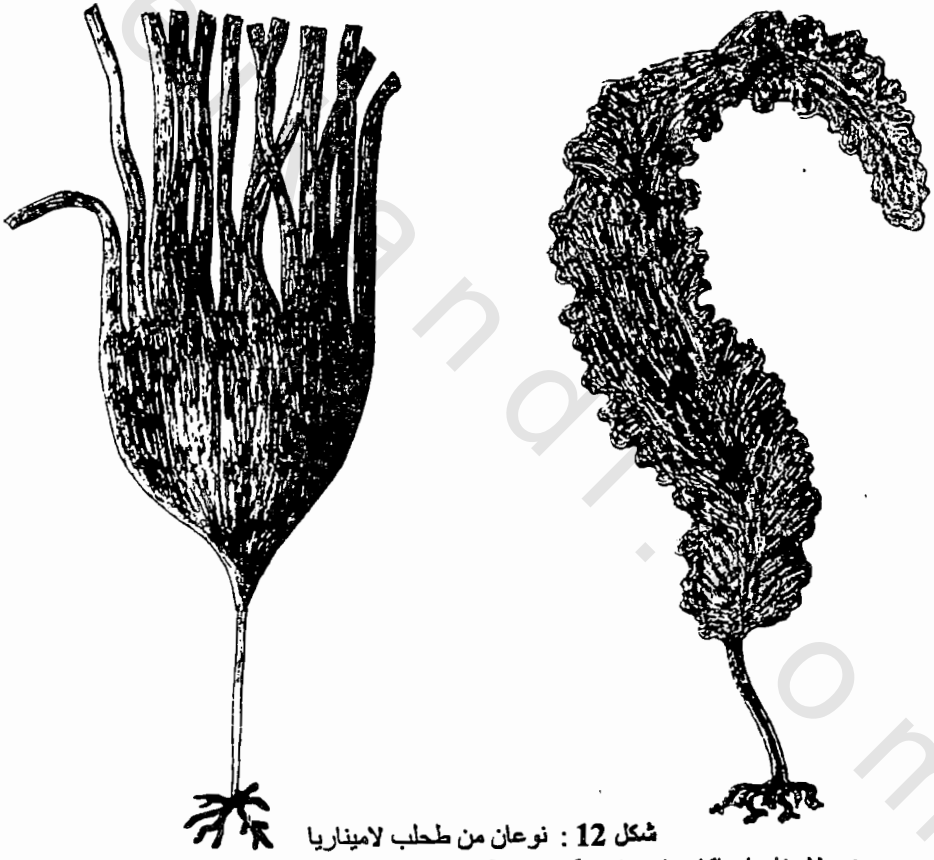
تتم الزراعة فى مزرعة المحيط بمعدل 436 نبات لمساحة فدان (1308 نبات / هكتار) ، تزرع على أبعاد ثلاثة أمتار بين النبات والآخر• تجمع الأنصال كل ثلاثة أشهر• هذا الطحلب معمر ، لهذا فهو لا يحتاج إلى إعادة زراعة بعد جمع المحصول• يقدر المحصول بحوالى 300 – 500 طن وزن رطب من الفدان سنوياً (715 – 1190 طن / هكتار)• هذا وقد بدء فى تنفيذ المشروع بزراعة سبعة أفدنة غرب سان دييجو حيث يصل عمق الماء إلى 100 متر• يتم الحصاد بإستخدام صنادل خاصة تسير فوق المزرعة وتحصد النموات العلوية الطافية•

يباع طحلب الكلب العملاق مع غيره من طحالب الكلب فى صورة جافة تعرف فى اليابان بالكومبو kombo• تجمع الطحالب فى الفترة من يولية إلى أكتوبر بواسطة قضبان طويلة يتصل بنهاياتها خطاطيف• تنشر الطحالب على الشاطئ حتى يجف ما بها من ماء• بعد الجفاف ترسل إلى مصانع الكومبو حيث تغلى فى ماء عذب لعدة دقائق لإزالة ما بها من مادة فاكويدان fucoidan ، ثم تجفف ثم تكبس بشدة بواسطة مكابس خشبية حتى تصبح كتلة مضغوطة ، بعدها تقطع قطع سميكة• أحيانا يجهز الكومبو بغمره فى خل ثم يقطع شرائح•

القيمة الغذائية لطحلب الكلب العملاق مرتفعة ، ففى أحد التحاليل وجد أن هذا الطحلب يحتوى على 41.2 % بروتين و 57.6 % كربوايدرات و 1.2 % دهون مقدرة على أساس الوزن الجاف•

طحلب لامينياريا

ينتمى طحلب لامينياريا *Laminaria* إلى الطحالب البنية ، وهو من طحالب الكلب الكبيرة. من أنواعه المشهورة لامينياريا ساكارينا *L.saccharina* والمعروف فى اليابان وأمريكا الشمالية والجزر البريطانية باسم الكلب السكرى sugar kelb ، طوله فى المتوسط ثلاثة أمتار وقد يصل إلى تسعة أمتار ، له ساق سميكة ملساء غير متفرعة وتنتهى من أسفل بمثبت متشعب الأطراف يشبه الجذر ويحمل نصل طويل منبسط جلدى متموج الحواف ، عرضه 30 إلى 45 سم.



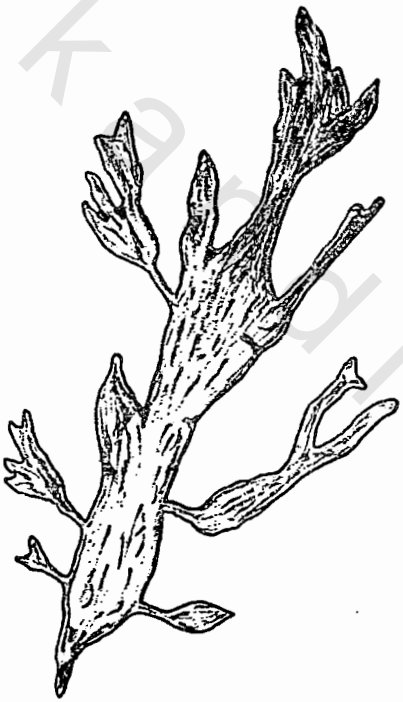
شكل 12 : نوعان من طحلب لامينياريا

يمين : لامينياريا ساكارينا *L. saccharina* **يسار** : لامينياريا ديجيتاتا *L. digitata*

طحلب روديمينيا

روديمينيا *Rhodymenia* من الطحالب الحمراء ، ومنها النوع روديمينيا بلماتا *R. palmata* ، المنتشر بالشواطىء الصخرية على جانبى المحيط الأطلسى.

يستخدم هذا الطحلب بكثرة كغذاء للإنسان ويعرف بإسم دلس dulse أو كرنب البحر sea cabbage . يجمع الطحلب وينظف ثم يجفف ويسوق كغذاء أو من المقبلات ، فى غرب أوروبا وبريطانيا والولايات المتحدة الأمريكية وكندا.



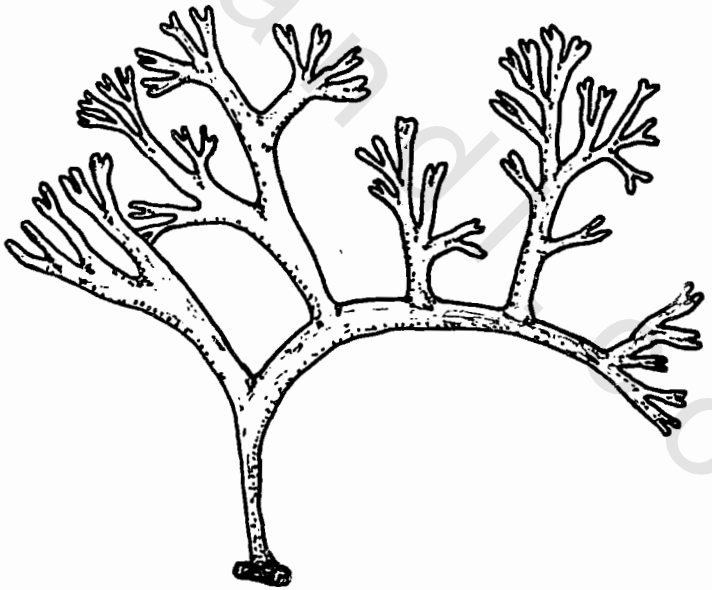
شكل 13 : طحلب كرنب البحر (روديمينيا)

obeikandl.com

طحلب كوندرس

كوندرس *Chondrus* من الطحالب الحمراء ، ومنـها النـوع كونـدرس كرسـبس *C.crispus* المعروف بالطحلب الإيرلنـدى Irish moss. ينتشـر هـذا الطحلـب فـى شواطئ أوروبا وأمريكا الشمالية ، ويعتبر من أهم أعشاب البحر فى الساحل الشرقى للولايـات المتحـدة الأمريكيـة وكنـدا وأوروبـا الغربيـة. يختلـف لـون الطحلـب مـن الأحمر الداكن إلى البنى المحمر والأحمر القرنفلى وقد يكون لونه أصفـر مخضـر. طول الطحلب حوالى 15 سم ، والنصل غشائى عرضـه 1.2 إلـى 2.5 سـم ، وأحيانـاً يكـون النصـل مجـزءاً بشـكل تفـرع ثنـائى وتظـهر أطرافـه بشـكل نـهايات صغـيرة كروية. الساق قصيرة منبسطة تنتهى فى القاعدة بمثبت قرصى منبسط.

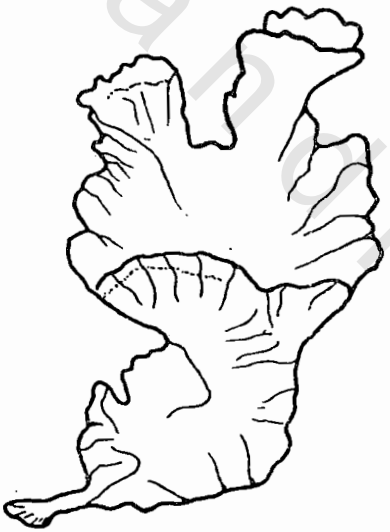
يستخدم هذا الطحلب غذائياً فى عمل أنواع من الجيلى والفطائر ، كما يصنع منه مع طحلب الكلب السكرى ، جيلى يعرف بخبز أعشاب البحر.



شكل 14 : الطحلب الإيرلندى (كوندرس)

ألفا لاكتوكا

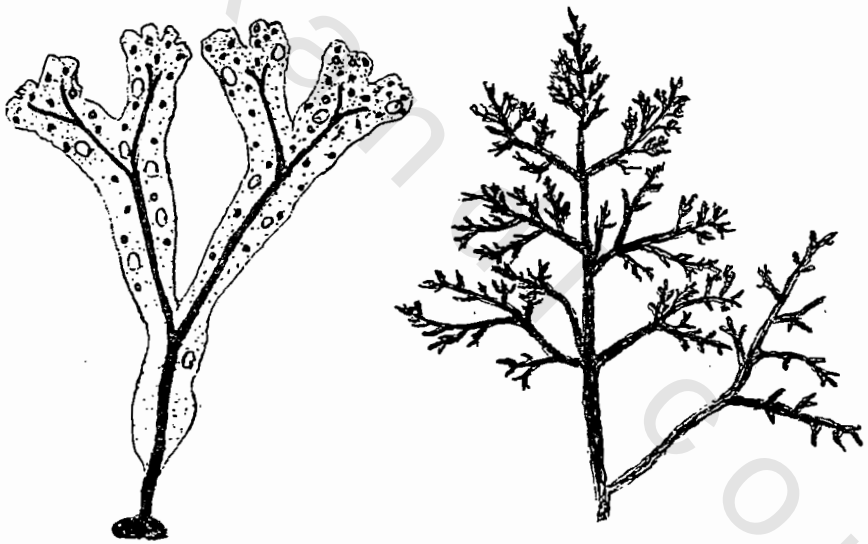
ينتمى طحلب ألفا لاكتوكا *Ulva lactuca* إلى الطحالب الخضراء ، ويعرف بإسم خس البحر sea lettuce • ينمو هذا الطحلب فى البحار ، ويكثر وجوده فى الشواطئ المصرية ، ويجمع بكثرة من شواطئ أوروبا الغربية وجزر الهند الغربية وخاصة عقب العواصف • يتكون الطحلب من مثبت ونصل ، المثبت سميك ومعمر وتتكون منه أنصال جديدة كل عام ، أما النصل فشريطي رقيق يصل طوله إلى حوالى 30 سم أو أكثر وسمكه خليتان • يؤكل هذا الطحلب ، كما يستخدم فى عمل سلاطة ، وهو غنى فى فيتامينات A ، B ، وفى المواد الكربوإيدراتية والبروتينية حيث قدر محتوى الطحلب الجاف منه بحوالى 69 % كربوايدرات و 30 % بروتينات •



شكل 15 : طحلب خس البحر (ألفا لاكتوكا)

منتجات الطحالب الكبيرة

تستخرج من بعض الطحالب الكبيرة منتجات تجارية ذات أهمية كبيرة فى صناعة الأغذية وغيرها من الصناعات ، نذكر منها دقيق حشائش البحر الذى ينتج فى فرنسا وبريطانيا وأيرلندة والنرويج والولايات المتحدة الأمريكية وكندا وجنوب أفريقيا ، ومعظم الإنتاج يحصل عليه من الطحلب البنى أسكوفيللم نودوسم *Ascophyllum nodosum* • يضاف دقيق أعشاب البحر لغذاء الإنسان ، خاصة عند نقص اليود ، ويفيد فى الوقاية من تضخم الغدة الدرقية goiter • يستخرج اليود وكذلك البوتاسيوم من بعض الطحالب مثل طحلب فيوكس *fucus* وطحلب لامينار يا •



شكل 16 : الطحلب جليديم (يمين) والطحلب فيوكس (يسار)

ومن منتجات الطحالب الهامة نذكر مادة آجار أجار agar agar الواسعة الاستعمال فى المعامل البيولوجية والطبية وخاصة عند عمل المزارع البكتيرية أو الفطرية ، كما تستخدم فى بعض الصناعات الغذائية ، وتستخرج هذه المادة من بعض الطحالب الحمراء مثل طحلب جليديم *Gelidium* الذى يشاهد فى السواحل المصرية.

ومن المركبات التجارية الطحلبية حمض ألجينيك alginic acid ومركب ألجين algin ويستخلصان من طحلبى الكلب مكروسيستس ولامينارياً ، ويعملان كغروى محب للماء ويستخدمان كمغلط لزيادة اللزوجة ، ويستخدم الحمض كمستحلب فى بعض المضادات الحيوية غير القابلة للذوبان فى الماء وفى الطباعة على المنسوجات ولإعطاء لمعة فى صناعات الورق والسيراميك ، كما يدخل مركب ألجين فى بعض الصناعات الغذائية وفى صناعات الصابون والشامبوهات وأفلام التصوير.

ومن المنتجات الطحلبية مركب كاراجينان carrageenan ويستخرج من الطحلب الإيرلندى كوندرس ، وهو مركب غروى يستخدم فى عمل الجيلى وفى صناعات الصابون والشامبوهات وأفلام التصوير وفى تغطية الجروح.

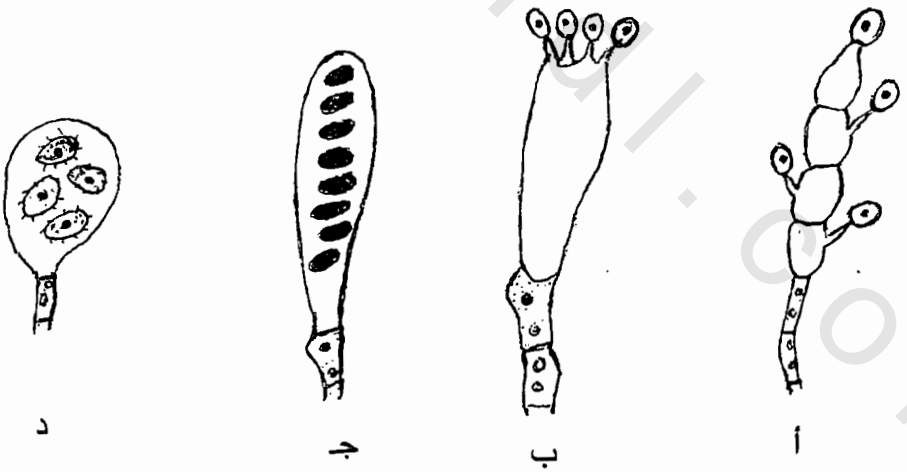
الفطريات الكبيرة

فى كثير من بلدان العالم ، حيث تكثر المراعى الطبيعية والغابات ، تتكشف بين النباتات ظاهرة فوق سطح التربة فطريات كبيرة الحجم ، تنمو برياً ، يبحث عنها الأهالى ويجمعونها ، كما تجمع أيضاً من بعض الأراضى الصحراوية والأراضى الغنية بنباتاتها أنواع أخرى من الفطريات الكبيرة تنمو تحت سطح التربة. تعامل هذه الفطريات كما تعامل المحاصيل النباتية الغذائية ، قد تسلق وقد تحمر وقد تدخل مع محاصيل أخرى نباتية وحيوانية فى عمل أكلات خاصة ، فهى أغذية مرغوبة لنكهتها المستحبة ولقيمتها الغذائية ولفوائدها الطبية. لكن يجب على من يجمعها ويتغذى عليها أن يكون خبيراً بأنواعها ، حتى لا يقع المحظور ويجمع منها ما يضر بالصحة فمنها ما هو سام ينبغى تحاشيه ، ولحسن الحظ فإن الضار منها قليل والمفيد المرغوب هو الأكثر.

تنمو الفطريات الكبيرة فى المبدأ بالتربة فى صورة خيوط رقيقة ميكروسكوبية متفرعة ، لا ترى بالعين المجردة (شكل 4) ، إلا أنه تحت ظروف معينة يحدث تجمع لبعض النموات الخيطية مكونة ما يعرف بالأجسام الثمرية ، حيث يتكون بها الأعضاء الجنسية والتى ينتج عن تزاوجها تكون جراثيم الفطر ، التى تقوم بدورها مستقبلاً فى تجديد تكاثر الفطر. هذه الأجسام الثمرية هى التى تجمع وتؤكل. تعرف هذه الفطريات بفطريات عيش الغراب ، معظمها يكون أجسامه الثمرية فوق سطح الأرض ، والقليل الذى يعرف بالكمأة أو الفقع تنمو أجسامه الثمرية فى باطن التربة.

الأجسام الثمرية لفطريات عيش الغراب التى تؤكل سميكة لحمية ، معظمها ينمو فوق سطح التربة وتتبع غالباً الفطريات البازيدية Basidiomycetes والتى تمتاز بتكوين جراثيمها الجنسية خارجياً على حوامل خاصة تعرف بالحوامل البازيدية

basidia ، والبعض منها ينمو فى باطن التربة ومعظمه يتبع الفطريات الأسكية Ascomycetes والتى تمتاز بتكوين جراثيمها الجنسية داخل أكياس خاصة تعرف بالأكياس الأسكية asci. يجمع الهواة الكثير من فطريات عيش الغراب من أماكن نموها الطبيعية فى مواسم ظهورها ، بغرض الاستخدام الشخصى أو للإتجار بها. ونظراً لما تدره هذه التجارة من أرباح فقد اهتم البعض بزراعتها ، وقد اختير بعضها بعد أن ثبت نجاح زراعته من الناحيتين التكنولوجية والاقتصادية. تزرع معظم الفطريات الكبيرة فى أماكن مغلقة ، وتحتاج فى زراعتها إلى عناية خاصة ، من حيث تهيئة المكان المناسب ، واختيار النوع المرغوب والذى يتلاءم مع توفر مكونات بيئة النمو ، وتحضير الغذاء المناسب ، وبسترة المكان والغذاء ، وتحضير اللقاح ، وتوفير التهوية والحرارة والرطوبة المناسبة خلال فترات النمو ، ومقاومة مختلف الآفات التى تتعرض لها ، وأخيراً جمع المحصول وتعبئته وتسويقه.



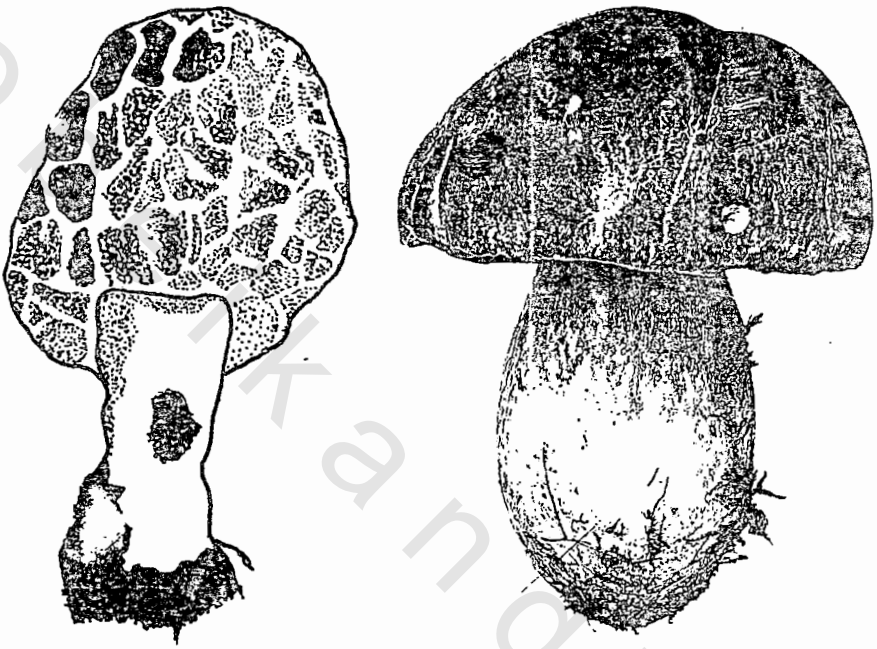
شكل 17 : حوامل بازيدية وأكياس أسكية

أ - حامل بازيدى مقسم يحمل الجراثيم جانبياً
ب- حامل بازيدى غير مقسم يحمل الجراثيم طرفياً
جـ - كيس أسكى به ثمان جراثيم أسكية
د - كيس اسكى لأحد فطريات الخميرة وبه أربعة جراثيم أسكية

فطريات المشروم المظلية

عرفت فطريات عيش الغراب والمعروفة باسم المشروم mushroom منذ عهود قديمة ، حيث كانت تجمع وتقدم كغذاء ، فقد كانت معروفة لدى الإغريق والرومان وبين قدامى الشعوب الأسيوية. قدرت القيمة الغذائية لمعظم أنواع المشروع ووجد أنها تقارب الكثير من الخضروات الطازجة وذلك لارتفاع نسبة الماء فى كل منها ، حيث تقرب فى معظمها من 90 % ، إلا أن باقى المحتويات فى فطريات المشروم سهلة الهضم وتحتوى على حوالى 35 % بروتين من وزنها الجاف. ونظراً لما تمتاز به فطريات المشروم من نكهة خاصة مرغوبة فإن أسعارها مرتفعة وتزيد غالباً عن أسعار اللحوم. يباع المشروم طازجاً أو مجففاً أو معلباً.

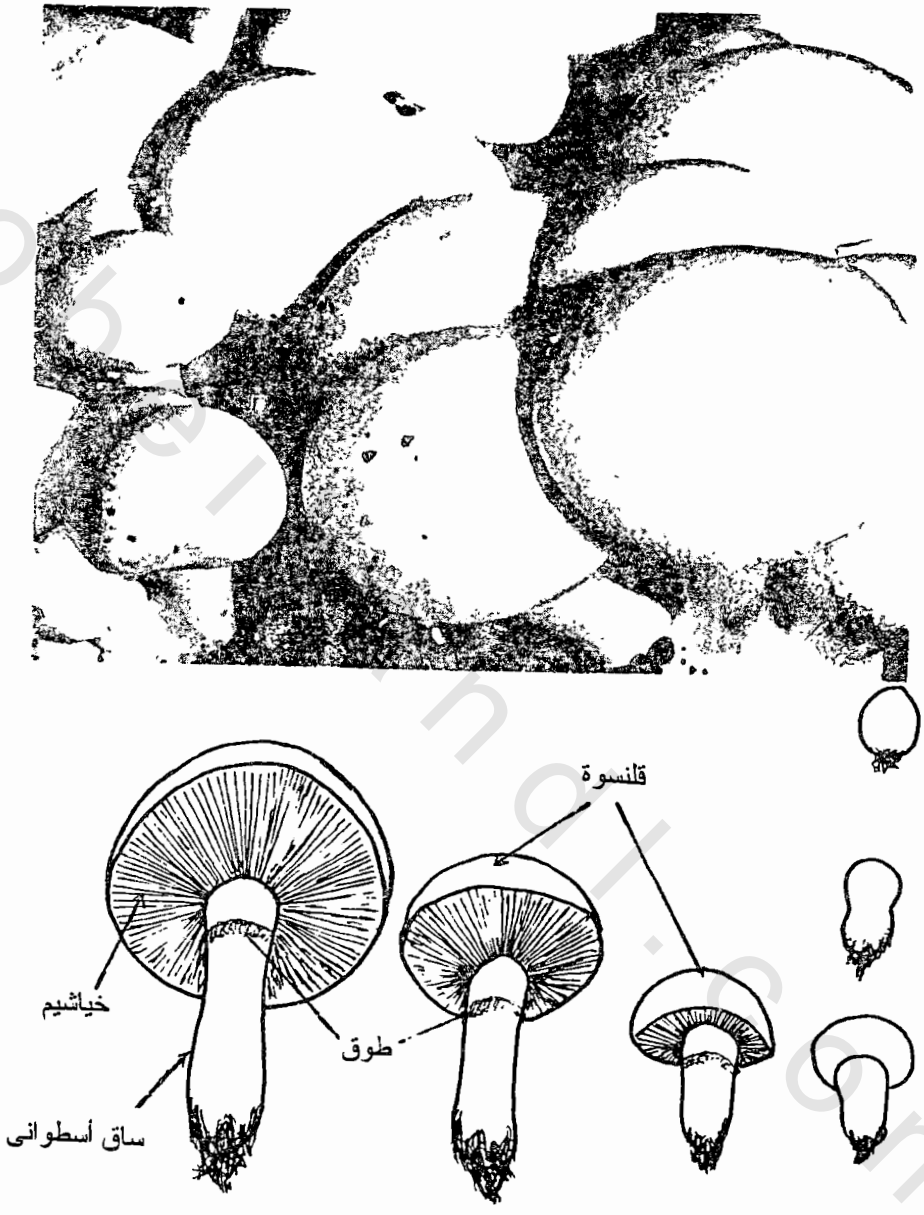
معظم أنواع المشروم التى تنمو ظاهرة فوق سطح التربة ، ذات شكل مظلى ، حيث تتكون من ساق يعلوها قرص كبير يعرف بالقلنسوة. ومن الأنواع المظلية التى تجمع طبيعياً وتباع للتغذية بأسعار مرتفعة مشروم ملك البوليت والمعرف علمياً باسم بوليتس إديوليس *Boletus edulis* والمشروم الإسفنجى المعروف بمشروم الغوشنة الشائع وبالإسم العلمى مورشيللا إسكيولنتا *Morchella esculenta*. وأكثر أنواع المشروم زراعة على مستوى العالم تتبع الجنس أجاريكس *Agaricus* وبخاصة النوع المشهور باسم المشروم الشائع common mushroom والمعروف علميا بالاسم أجاريكس بيسبورس *A. bisporus* ، والذى يزرع معظمه فى غرب أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية. يتكون جسم هذا المشروم من ساق أسطوانى قصير أملس أبيض اللون ، معدل طوله 6 سم وقطره 1.3 سم ، ويحيط به من أعلى طوق رقيق أبيض اللون. ينتهى الساق من أعلى بقرص سميك قطره 5 إلى 10 سم. يتكون السطح السفلى من القرص من شرائح نصف قطرية ممتد لأسفل من ناحية الساق نحو حواف القرص ، وتعرف بالخياشيم gills. تحمل الخياشيم على



شكل 18 : فطرى ملك البوليت (يمين) والغوشنة الشائع (يسار)

جانبيها حوامل بازيدية دقيقة تحمل الجراثيم طرفيا (شكل 17 ب)٠ يتكون على السطح العلوى للقرص قشور مثلثة بيضاء ، لا تلبث أن يتغير لونها إلى البنى٠

ينمى مشروم الأجاريكس فى الكهوف والمناجم المهجورة والمخازن القديمة والحجرات المظلمة ، على بيئة غذائية ، مكونها الأساسى سبلة الخيل المخمرة٠ تعمل السبلة أكواماً بعد أن يضاف إليها القش أو أية مخلفات نباتية أخرى بحيث تمثل



شكل 19 فطر المشروم الشائع
أعلى جزء من مرحلة الفطر
اسفل حصوات نمو الأجسام الثمريه للفطر

السبلة حوالى 40 إلى 45 % من الخلطة. وقد يضاف جبس زراعى للخلطة السابقة فى حالة إرتفاع لزوجة الروث ، ويحدث ذلك عادة عند تغذية الخيل على عليقة خضراء ، ويضاف الجبس بمعدل 1.5 إلى 3 %. وقد تستبدل السبلة بزرق الطيور، ولكن بمعدلات أقل ، حوالى 35 % من البيئة.

تترك أكوام السبلة والمخلفات النباتية مع الإضافات المختلفة عدة أيام لتتخمر ، فترتفع درجة حرارتها لحوالى 60 °م ، ويراعى أن لا تزيد الحرارة عن 72 °م ، فإذا ما وصلت حرارة الكومة إلى 70 °م وجب إعادة تقليبها وتهويتها مع إضافة ماء إلى الخلطة إن كانت رطوبتها أقل من 70 % يعاد التكويم ثانية ثم التقليب كل 4 إلى 7 أيام. تستمر عمليات التكويم والتقليب لمدة 3 إلى 5 أسابيع ، خلالها تتحلل المخلفات النباتية وتموت كثير من أطوار الحشرات والكائنات الدقيقة التى قد تضر المشروم وذلك بفعل الحرارة الناتجة عن التخمر ، وتفقد السبلة أثناء ذلك رائحتها الكريهة ويصبح لونها داكنا ، وعندئذ تكون السبلة صالحة لزراعة المشروم. تفرد السبلة فى صوانى خشبية ذات أرجل قصيرة حتى يمكن وضع الصوانى فوق بعضها. ويمكن إستخدام أسبتة من البلاستيك بدلا من الصوانى ، ويراعى أن يكون عمق البيئة داخل الصوانى أو الأسبتة من 15 إلى 20 سم. يفضل الكثير إجراء عملية بسترة للسبلة بعد تعبئتها فتوضع فى حجرة مغلقة ، يضخ بها تيار من بخار الماء لرفع درجة حرارة الغرفة إلى 50 – 60 °م ، ويحافظ على هذه الحرارة لمدة 6 إلى 8 ساعات ، ثم تبرد الحجرة إلى 40 – 45 °م بدفع هواء بارد بالحجرة ، وتحافظ على الحرارة لمدة ثلاثة أيام ثم تخفض ثانية إلى حرارة 20 – 25 °م وهى الملائمة لزراعة المشروم الشائع، عندئذ يضاف اللقاح spawn.

يحصل على اللقاح من محصول سابق ، والأفضل أن يحصل عليه كمزارع فطرية نقية ، تجهز فى معامل متخصصة وتعتبر المزرعة النقية هى مزرعة الأساس والتى منها يحضر اللقاح. فيؤخذ جزء قليل من المزرعة النقية وتلقح بها

حبوب نجيليات كاملة أو مجروشة ، ثم تحضن على حرارة 20 إلى 25 ° م لمدة ثلاثة أسابيع بعدها يمكن إستخدامها أو تخزينها فى ثلاجات حتى موعد الاستخدام.

ينثر اللقاح أو يوضع فى سطور ، وذلك بمعدل نصف كيلوجرام لكل متر مربع من سطوح التنمية ، ثم يغطى بطبقة رقيقة من الطمى أو بيئة التنمية السابق بسترتها، كما يجب المحافظة على رطوبة بيئة التنمية ما بين 65 إلى 75 % وعلى حرارة الغرفة 20 – 25 ° م ، وأن تكون الحجرة فى حالة إظلام قدر الإمكان. بعد مرور أسبوع إلى ثلاثة أسابيع تظهر نموات المشروم الخيطية على سطح البيئة. عند ذلك تغطى النموات الخيطية بطبقة سمكها 2 إلى 3 سم من الطمى أو من بيئة نمو سبق بسترتها ، ويندى سطح التغطية بالماء. بعد حوالى أسبوعين من التغطية تظهر النموات الفطرية الثمرية فوق سطح مادة التغطية. تجمع الأجسام الثمرية عند وصولها لدرجة النضج الملائمة للتسوق ، إما بخلعها باليد أو بقطعها بسكين حاد. بعد الجمع يعاد تسوية سطح بيئة التنمية ، ويعاد الجمع كل 7 إلى 10 أيام.

توجد أنواع أخرى من المشروم * تنمى على المخلفات الزراعية مثل قش الأرز وتبن القمح ومصاصة القصب وورق الموز وحطب القطن ونشارة الخشب ، ويراعى فى هذه البيئات إضافة مصدر نتروجينى مثل زرق الدواجن أو سبلة الخيل أو يوريا أو سلفات الأمونيوم ، بحيث يحتوى الخليط المخمر على حوالى 2.5 % نتروجين. ويستحسن إضافة جبس زراعى أو كربونات كالسيوم. ومن أنواع المشروم التى نجحت زراعتها فى مصر وبعض دول الشرق الأوسط مشروم المحارى ؛ بليروتس أستریاتس *Pleurotus ostreatus* الذى يلائم نموه درجات حرارة من 20 إلى 30 ° م والمشروم الصينى ؛ فولفاريللا فولفاسيا *Volvariella volvacea* الذى يلائمه حرارة 28 إلى 35 م.

---

* لمزيد من التفاصيل يمكن الرجوع إلى كتاب المشروم ، أنواعه – زراعته – اقتصادياته ، 246 صفحة ، للعروسى وسالم ، 2000 .

الكمأة

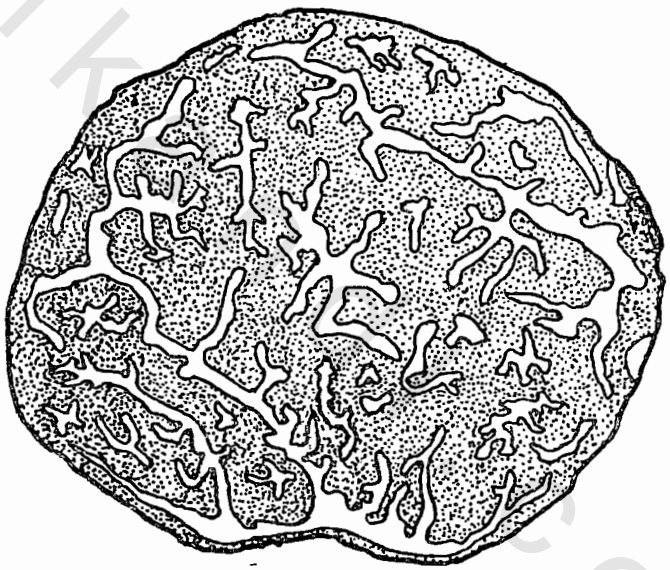
الكمأة truffle من الفطريات اللحمية التى تكون أجسامها الثمرية تحت سطح التربة وتتبع الفطريات الأسكية ، وتشبه أجسامها الثمرية فى الشكل درنات البطاطس. من الناحية الاقتصادية ، نجد أن الكمأة أغلى ثمنا من الفطريات المظلية المنزرعة ، كما أنها أعلى فى القيمة الغذائية لقلة محتواها المائي الذى يتراوح ما بين 75 إلى 80 % ، وهى فى نفس الوقت أقوى نكهة من الفطريات المظلية. تعرف الكمأة فى دول الخليج العربى بإسم الفقع ، كما تعرف فى شبه جزيرة سيناء بنبات الرعد ، وفى صحارى مريوط بالترفاس. معظم أنواع الكمأة ينتمى إلى الأجناس تيوبر *Tuber* ويكثر وجودها فى مناطق الغابات بالدول الأوربية ، وترفيزيا *Terfezia* وتيرمانيا *Tirmania* ويرتبط وجودهما بأنواع معينة من نباتات عشبية صحراوية.

تجمع الكمأة من أماكن تواجدها الطبيعى ، وقد يستعان على تحديد أماكن نموها ببعض الحيوانات تميزها حاسة شمية عالية ، مثل الكلاب والخنازير والماعز المدربة على ذلك ، وأفضلها فى ذلك الكلاب لقوة حاسة الشم لديها ولسهولة قيادتها والسيطرة عليها.

من أفضل أنواع الكمأة عالميا النوعان العالميان ؛ كمأة بريجورد السوداء المعروفة علميا باسم تيوبر ميلانوسبورم *Tuber melanosporum* وكمأة بدمونت البيضاء المعروفة علميا باسم تيوبر مجناتم *T. magnatum* . يتواجد هذا النوعان عادة بين أشجار البلوط والزان والتامول بفرنسا وإيطاليا وأسبانيا ، ويحصل على محصول سنوى واحد منهما خلال أشهر الربيع.

أمكن زراعة الكمأة منذ أكثر من نصف قرن فى فرنسا وإيطاليا وبعض الدول الأوربية الأخرى ، بعد أن عرفت العلاقة الارتباطية بين بعض أشجار الغابات وفطريات الكمأة ، وذلك بتلقيح التربة بين أشجار الأنواع المناسبة بميسيليوم فطر

الكمأة المطلوب زراعته والسابق تنميته على بيئة مغذية مناسبة. وفى حالات أخرى زرعت الأرض بأشجار الزان أو البلوط ، ثم بعد نجاح زراعة الأشجار ، تضاف إلى التربة قطع من الكمأة وتخلط بالتربة ، وأمكن بذلك الحصول على أول محصول بعد مرور 6 إلى 10 سنوات ، ويستمر فى الحصول على محصول سنوى بعد ذلك لمدة عشرين سنة أو أكثر .



شكل 20 : قطاع من فطر كمأة من نوع تيوبر *Tube*

تختلف كمأة الصحارى عن كمأة الغابات من حيث أنواعها كما سبق ذكره ، وكذلك من حيث النباتات المرتبطة بها ، حيث ترتبط الكمأة الصحراوية بأنواع من الأعشاب ، ومن أهم هذه الأعشاب الإرجة والرقروق وكلاهما ينتمى إلى الجنس هليانثيمم *Helianthemum* • يعرف من كمأة الصحراء نوعان ينتميان للجنس ترفيزيا هما الخليصى والجبأة وهى داكنة اللون ونوع ينتمى للجنس تيرمانيا ولونه أبيض •

يعرف سكان البادية أماكن تواجد الكمأة وموعد ظهورها ، فيذهب الكثير منهم إلى تلك الأماكن فى موسم الربيع عند نمو الأعشاب عقب تساقط أمطار الشتاء ، فيجمعون منها كميات كبيرة فى الصباح الباكر ، ويعرفون أماكنها عند مشاهدة ارتفاع سطح التربة قليلا وتشققها فوق الجسم الثمرى للكمأة النامية • ومن الخبرات المتجمعة لدى جامعى الكمأة ، أن فطريات الكمأة يكثر وجودها عند سقوط أمطار غزيرة فى الخريف وخاصة إذا صادفتها عواصف رعدية ثم استمرار تساقط المطر على فترات حتى شهر مارس •

obeikandl.com