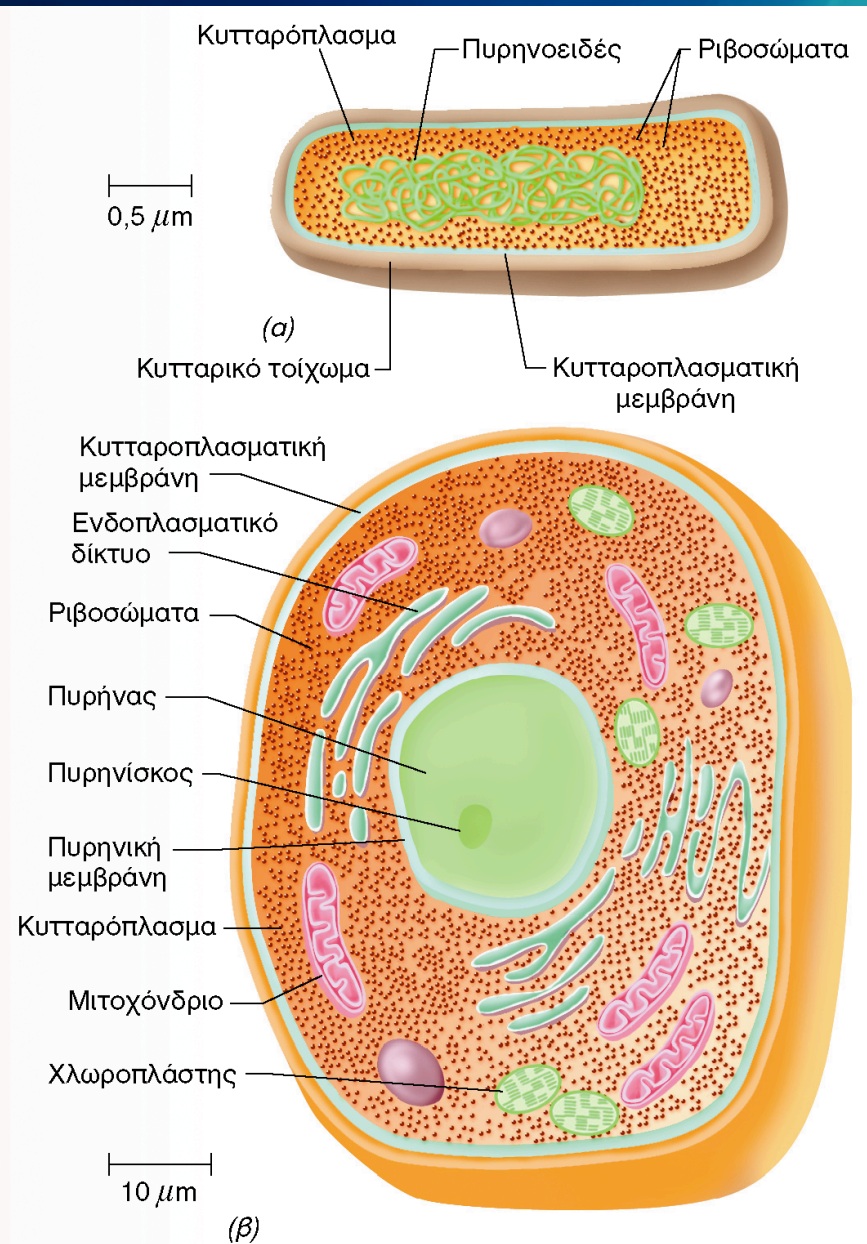


# **ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ**

**Γιώργος Τσιάμης**

**Αναπληρωτής Καθηγητής**

**Περιβαλλοντικής Μικροβιολογίας**

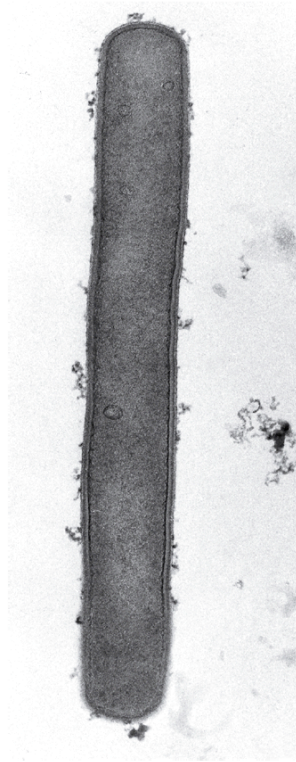


**Εικόνα 2.1** Εσωτερική δομή των μικροβιακών κυττάρων. (α) Διαγραμματική απεικόνιση ενός προκαρυώτη. (β) Διαγραμματική απεικόνιση ενός ευκαρυώτη.



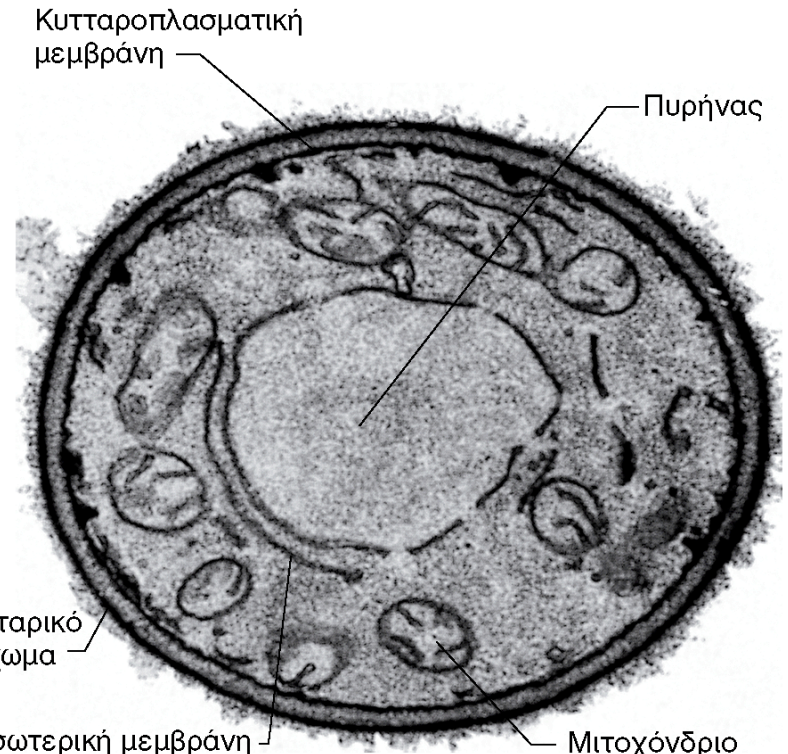
John Bozzola and M. T. Madigan

(α)



R. Rachel and K. O. Stetter

(β)



S. F. Conti and T. D. Brock

(γ)

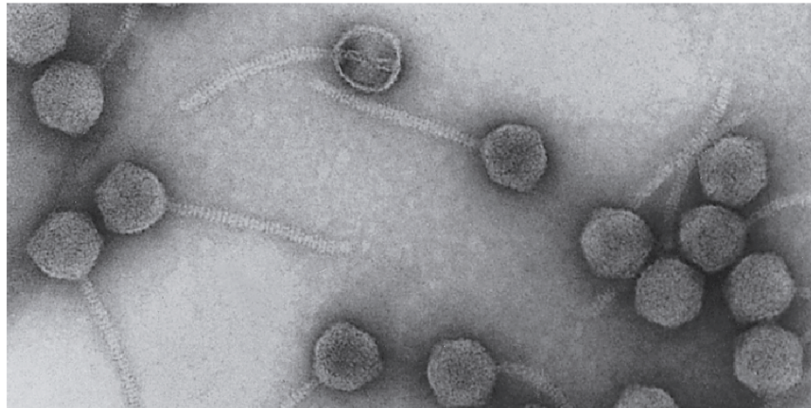
**Εικόνα 2.2** Ηλεκτρονικά μικρογραφήματα κυτταρικών τομών από τους τρεις «χώρους» των ζωντανών οργανισμών. (α) *Heliobacterium modesticaldum* (Βακτήρια): οι διαστάσεις του κυττάρου είναι  $1 \times 3 \mu\text{m}$ . (β) *Methanopyrus kandleri* (Αρχαία): οι διαστάσεις του κυττάρου είναι  $0,5 \times 4 \mu\text{m}$ . [Reinhold Rachel & Karl O. Stetter, 1981. *Archives of Microbiology* 128:288-293. © 1981 Springer-Verlag GmbH & Co. KG.] (γ) *Saccharomyces cerevisiae* (Ευκάρυα): η διάμετρος του κυττάρου είναι  $8 \mu\text{m}$ .





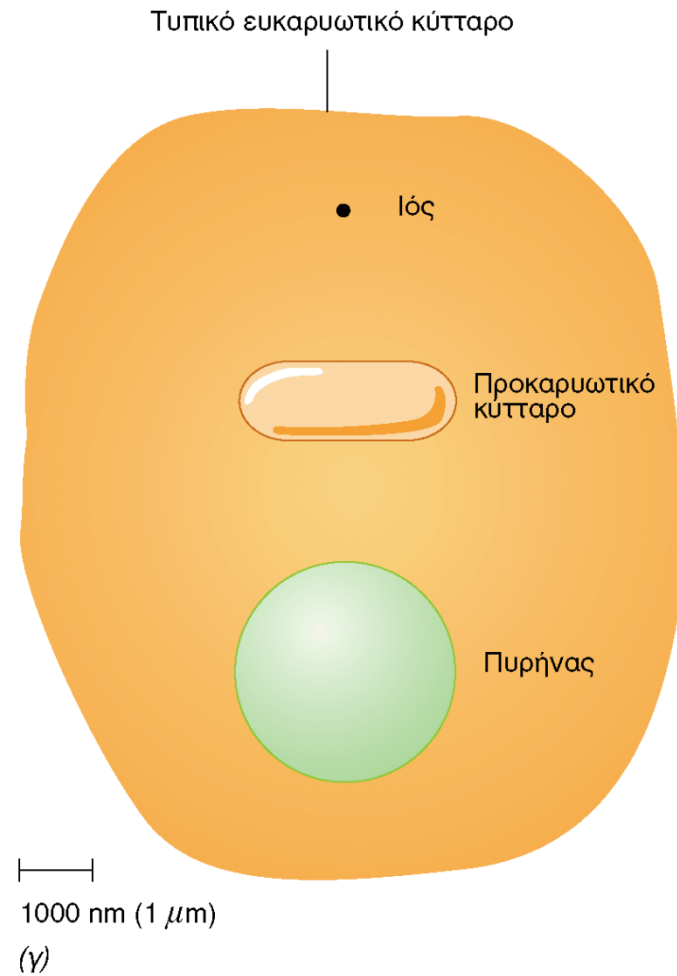
Erskine Caldwell

(a)



D. Kaiser

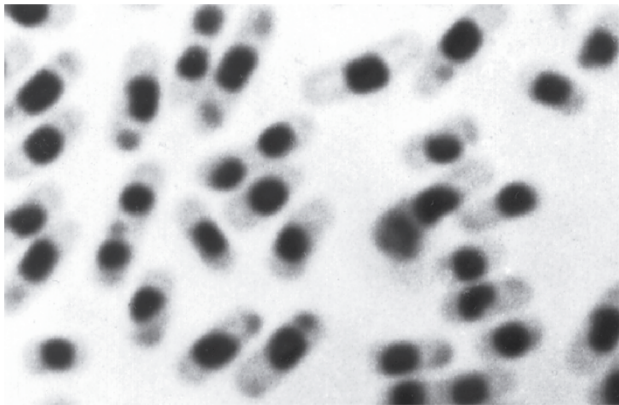
(b)



**Εικόνα 2.3**

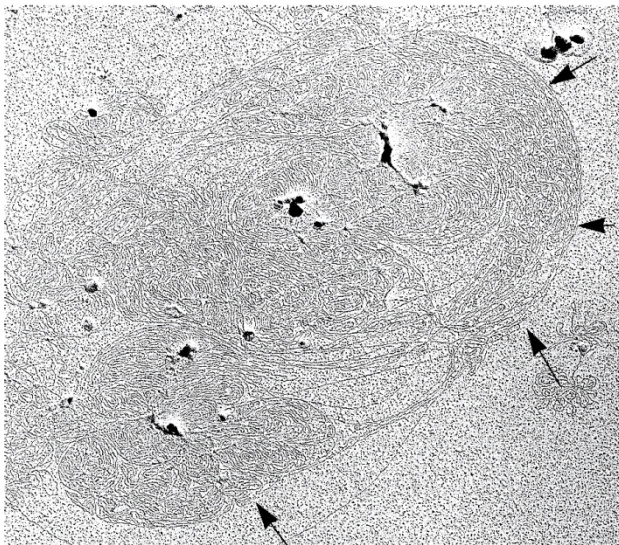
Δομή των ιών και σχετικά μεγέθη ιών και κυττάρων (a) Σωματίδια ραβδοϊού (ιού των ευκαρυωτών). Ένα μεμονωμένο ιόσωμα έχει διάμετρο περίπου 65 nm (0,065  $\mu$ m). (b) Ο ιός λάμδα των Βακτηρίων (Βακτηριοφάγος). Η κεφαλή του ιόσωματος έχει διάμετρο περίπου 65 nm. (γ) Το μέγεθος των ιών στα (a) και (b) σε σχέση με ένα βακτηριακό και ένα ευκαρυωτικό κύτταρο.





E. Kellenberger

(α)



B. Arnold-Schulz-Gahmen

(β)

**Εικόνα 2.4** Το πυρηνοειδές. (α) Μικροφωτογραφία οπτικού μικροσκοπίου κυττάρων της *Escherichia coli*, που έχουν υποστεί κατεργασία με ειδικό τρόπο ώστε να διακρίνεται το πυρηνοειδές. (β) Ηλεκτρονικό μικρογράφημα μεμονωμένου πυρηνοειδούς που έχει απελευθερωθεί από ένα κύτταρο *E. coli*. Το κυτταρικό τοίχωμα έχει υποστεί ήπια λύση προκειμένου να παραμείνει αέραιο το συμπυκνωμένο πυρηνοειδές. Τα βέλη υποδεικνύουν το περίγραμμα των κλώνων του DNA. Το πυρηνοειδές των περισσότερων βακτηρίων αποτελείται από ένα κυκλικό μόριο (το βακτηριακό χρωμόσωμα), αν και υπάρχουν ορισμένα είδη με γραμμικό χρωμόσωμα (🧬 Τμήμα 7.4).

1. Το σύνολο των γονιδίων ενός οργανισμού αποτελεί το γονιδίωμα του.

2. Το γονίδιο ενός κυττάρου μπορεί να οριστεί ως το τμήμα του κυτταρικού DNA που κωδικεύει μια πρωτεΐνη, ή ένα άλλο μόριο RNA.



Μέγεθος  
γονιδιώματος σε  
διαφορετικούς  
οργανισμούς

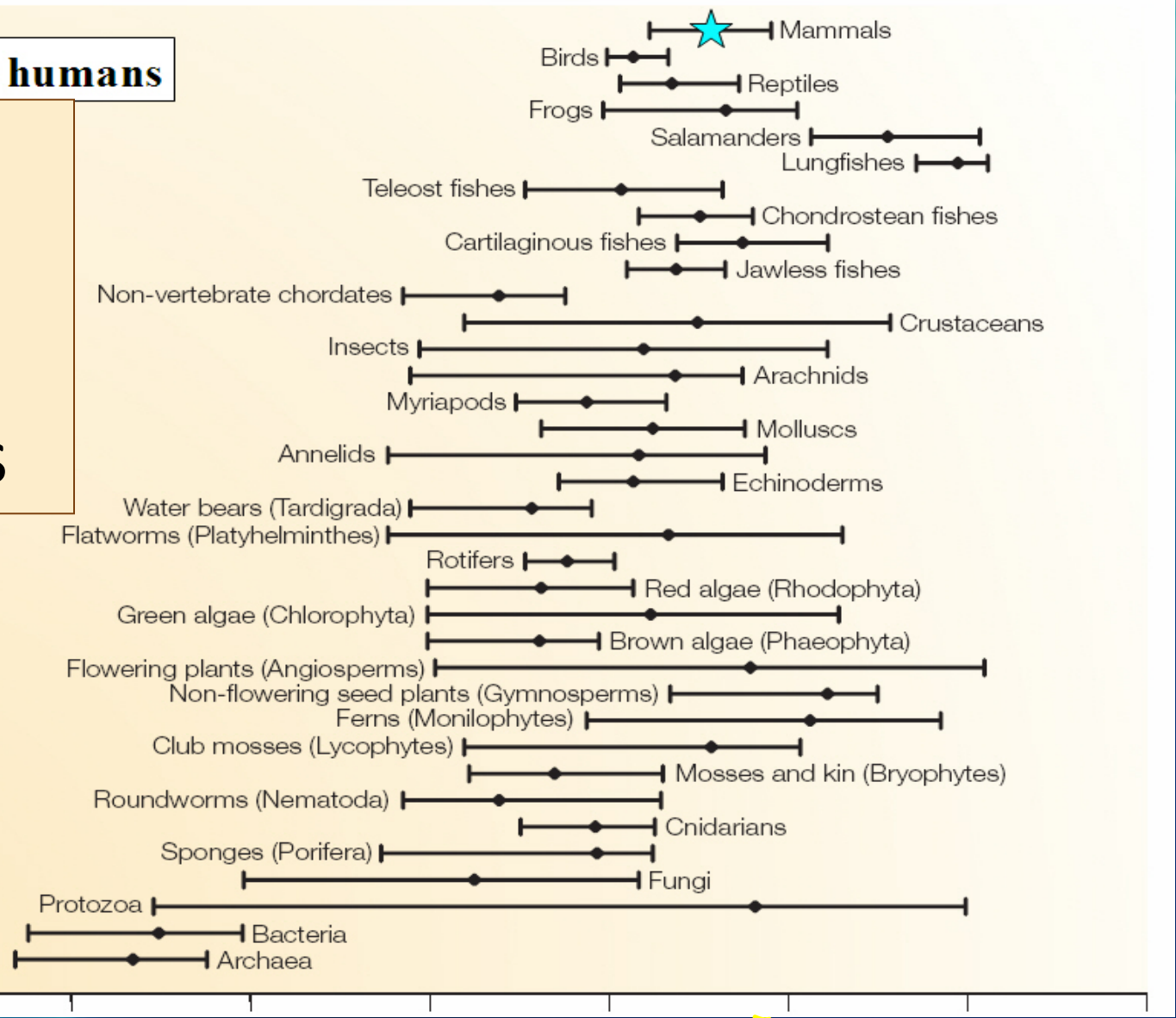
Another view  
Includes info  
about gene #,  
gene density,  
chromosome #

organism	estimated size	estimated gene number	average gene density	chromosome number
<i>Homo sapiens</i> (human)	2900 million bases	~30,000	1 gene per 100,000 bases	46
<i>Rattus norvegicus</i> (rat)	2,750 million bases	~30,000	1 gene per 100,000 bases	42
<i>Mus musculus</i> (mouse)	2500 million bases	~30,000	1 gene per 100,000 bases	40
<i>Drosophila melanogaster</i> (fruit fly)	180 million bases	13,600	1 gene per 9,000 bases	8
<i>Arabidopsis thaliana</i> (plant)	125 million bases	25,500	1 gene per 4000 bases	10
<i>Caenorhabditis elegans</i> (roundworm)	97 million bases	19,100	1 gene per 5000 bases	12
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (yeast)	12 million bases	6300	1 gene per 2000 bases	32
<i>Escherichia coli</i> (bacteria)	4.7 million bases	3200	1 gene per 1400 bases	1
<i>H. influenzae</i> (bacteria)	1.8 million bases	1700	1 gene per 1000 bases	1

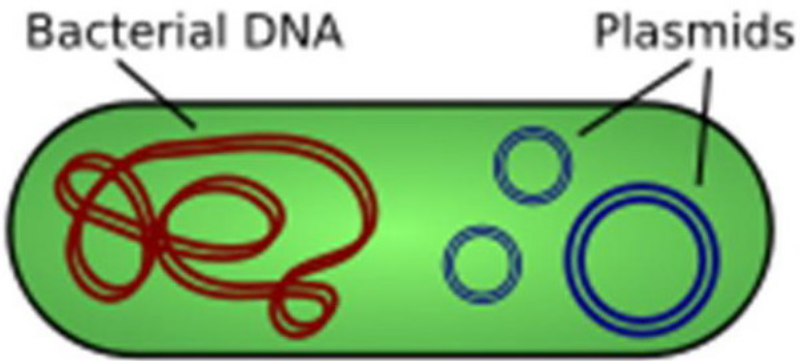


★ = humans

# Genome sizes in different organisms



0.1 1 10 100 1,000 10,000 100,000 1,000,000  
Mbp (x 1 million base pair)

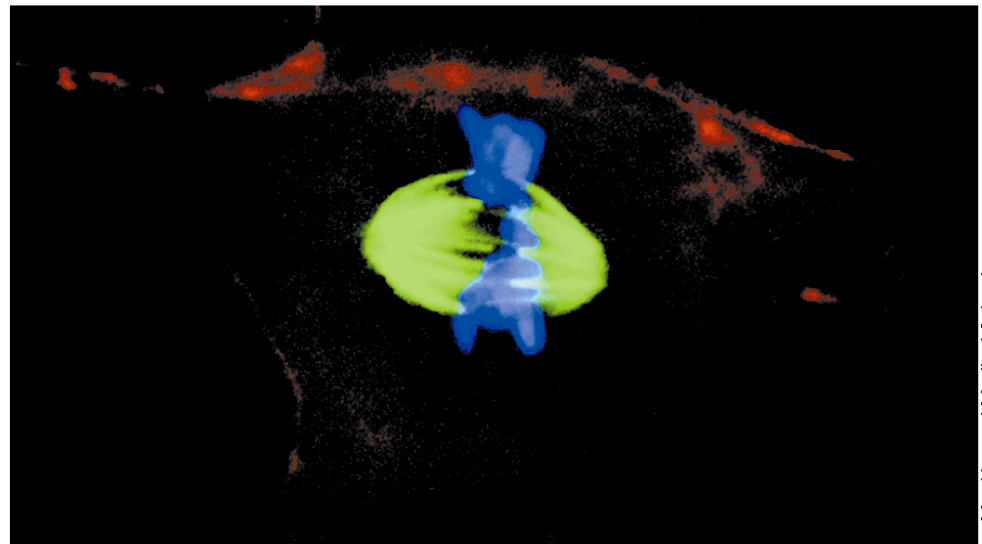


## CHROMOSOMES

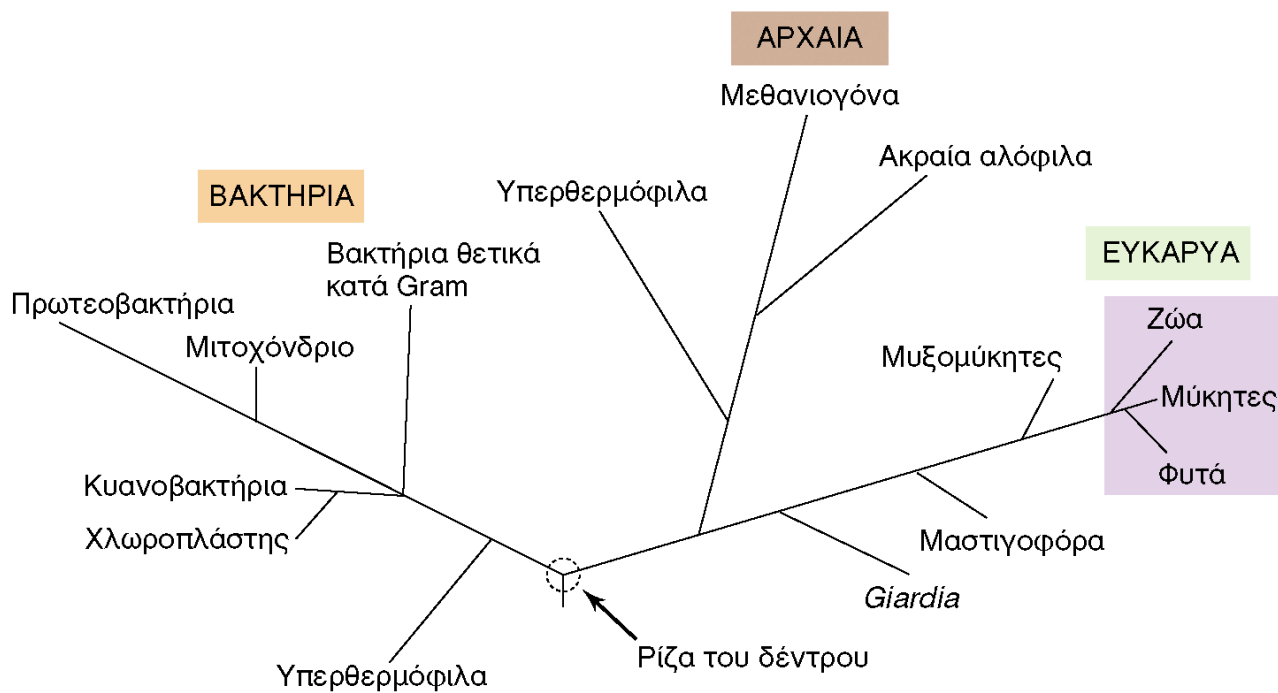


**Εικόνα 2.5**

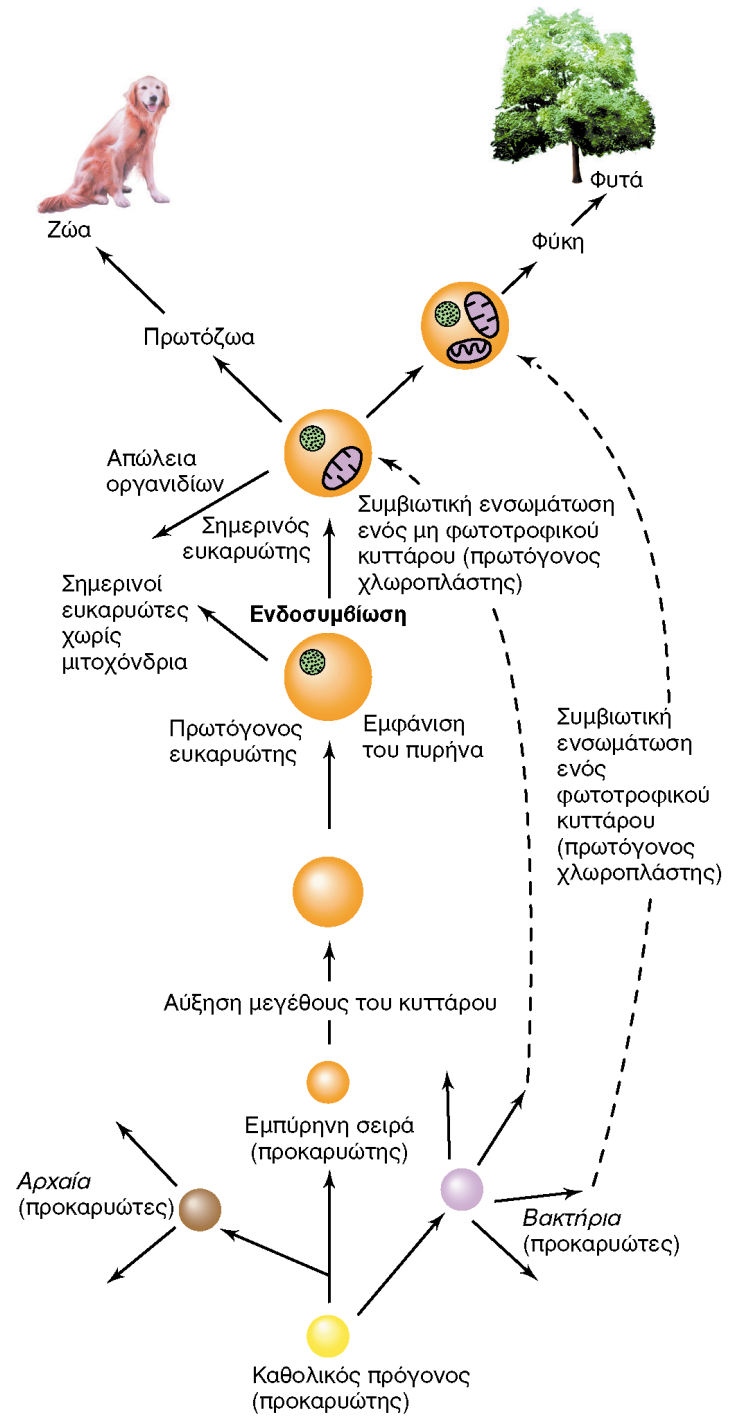
Μίτωση σε χρωσμένα κύτταρα μαρσιποφόρου επίμοιου. Η φωτογράφιση έγινε ενώ το κύτταρο βρισκόταν στη *μετάφαση* της μιτωτικής διαίρεσης. Με την πράσινη χρωστική διακρίνεται η *τουμπουλίνη*, μια πρωτεΐνη απαραίτητη στον διαχωρισμό των χρωμοσωμάτων (🔗 Τμήμα 14.5). Η κυανή χρωστική είναι μια δεοξυριβονουκλεόφιλη ουσία που υποδεικνύει τα χρωμοσώματα. Η μίτωση, αν και αποτελεί ουσιώδες τμήμα του ευκαρυωτικού κυτταρικού κύκλου, δεν λαμβάνει χώρα στα προκαρυωτικά κύτταρα.



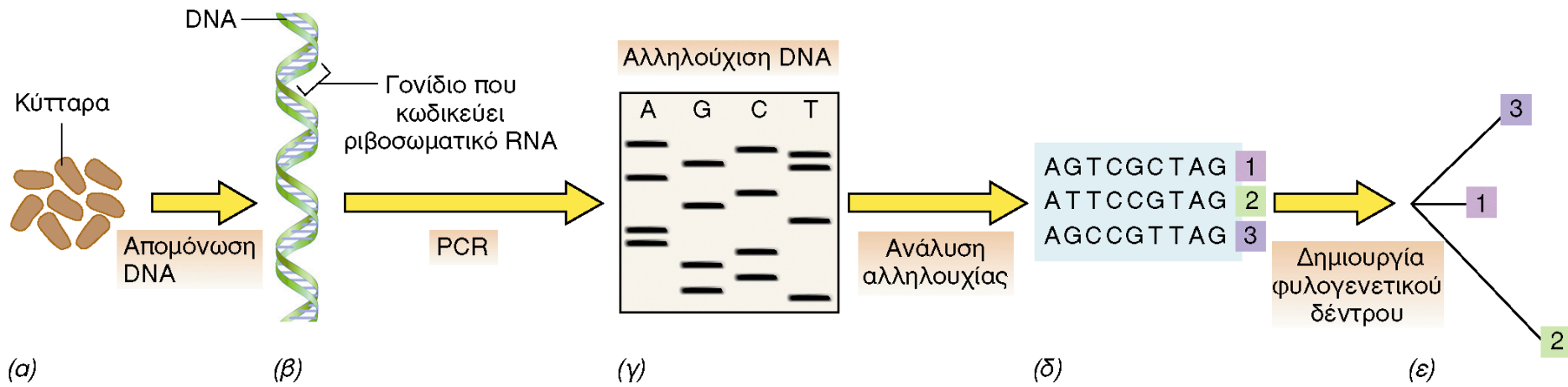




**Εικόνα 2.7** Το φυλογενετικό δέντρο της ζωής, όπως προκύπτει από τη σύγκριση της αλληλουχίας του ριβοσωματικού RNA. Το δέντρο αποτελείται από τρεις «χώρους»: δύο στους οποίους περιλαμβάνονται μόνο προκαρυωτικά κύτταρα (τα *Βακτήρια* και τα *Αρχαία*), και τα *Ευκάρυα* (ευκαρυώτες). Στην Εικόνα παρουσιάζονται ελάχιστες ομάδες οργανισμών από κάθε «χώρο». Για περισσότερες λεπτομέρειες ως προς τους «χώρους» του δέντρου, βλ. Εικόνες 2.9, 2.18, και 2.22, καθώς και τα φυλογενετικά δέντρα των Κεφαλαίων 11-14. Τα υπερθερμόφιλα είναι προκαρυώτες που αναπτύσσονται άριστα σε θερμοκρασίες ίσες ή μεγαλύτερες των 80°C. Η ομάδα οργανισμών στην περιοχή με την κόκκινη σκίαση είναι οι *μακροοργανισμοί*. Όλοι οι υπόλοιποι οργανισμοί στο δέντρο της ζωής είναι *μικροοργανισμοί*.

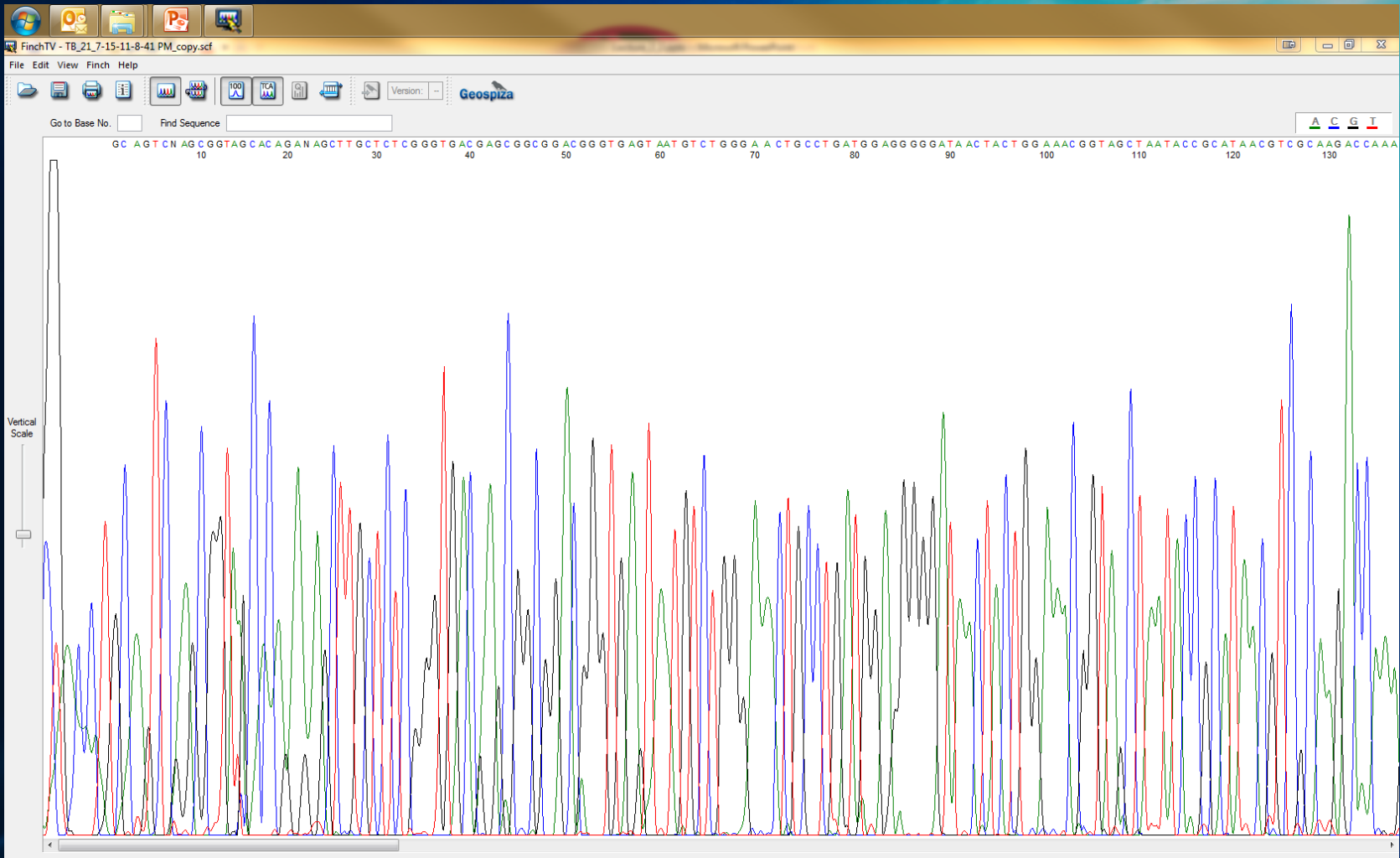


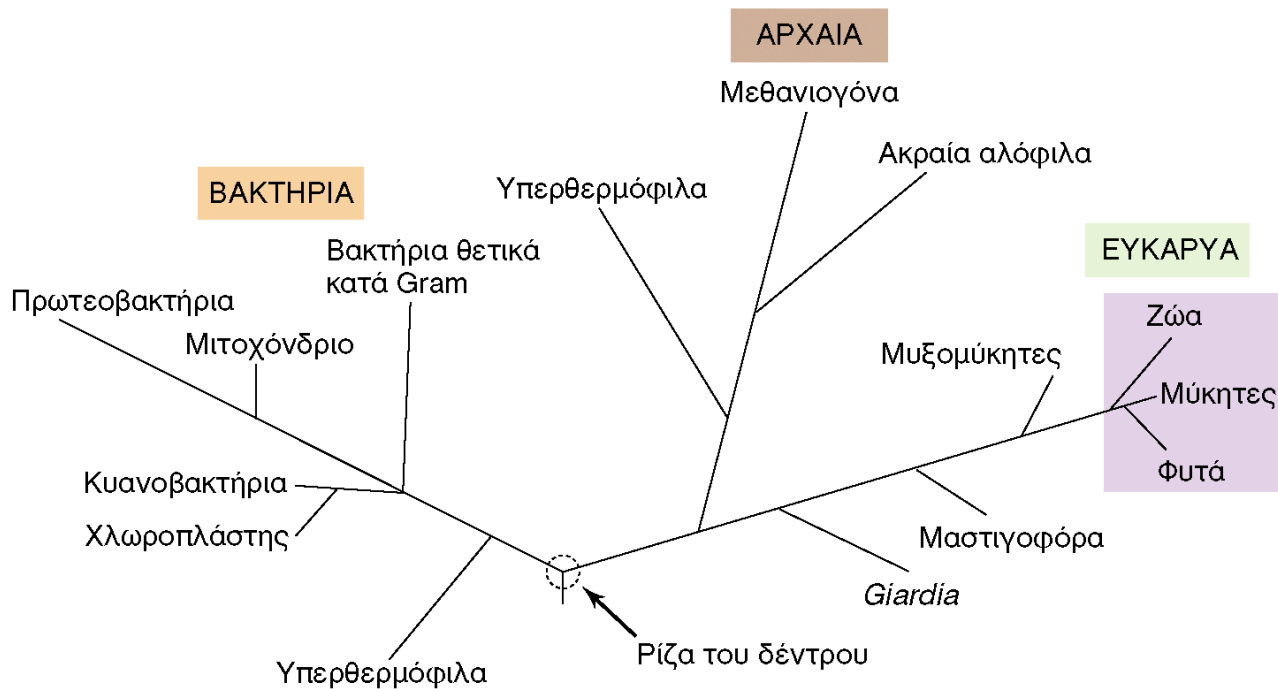




**Εικόνα 2.6**

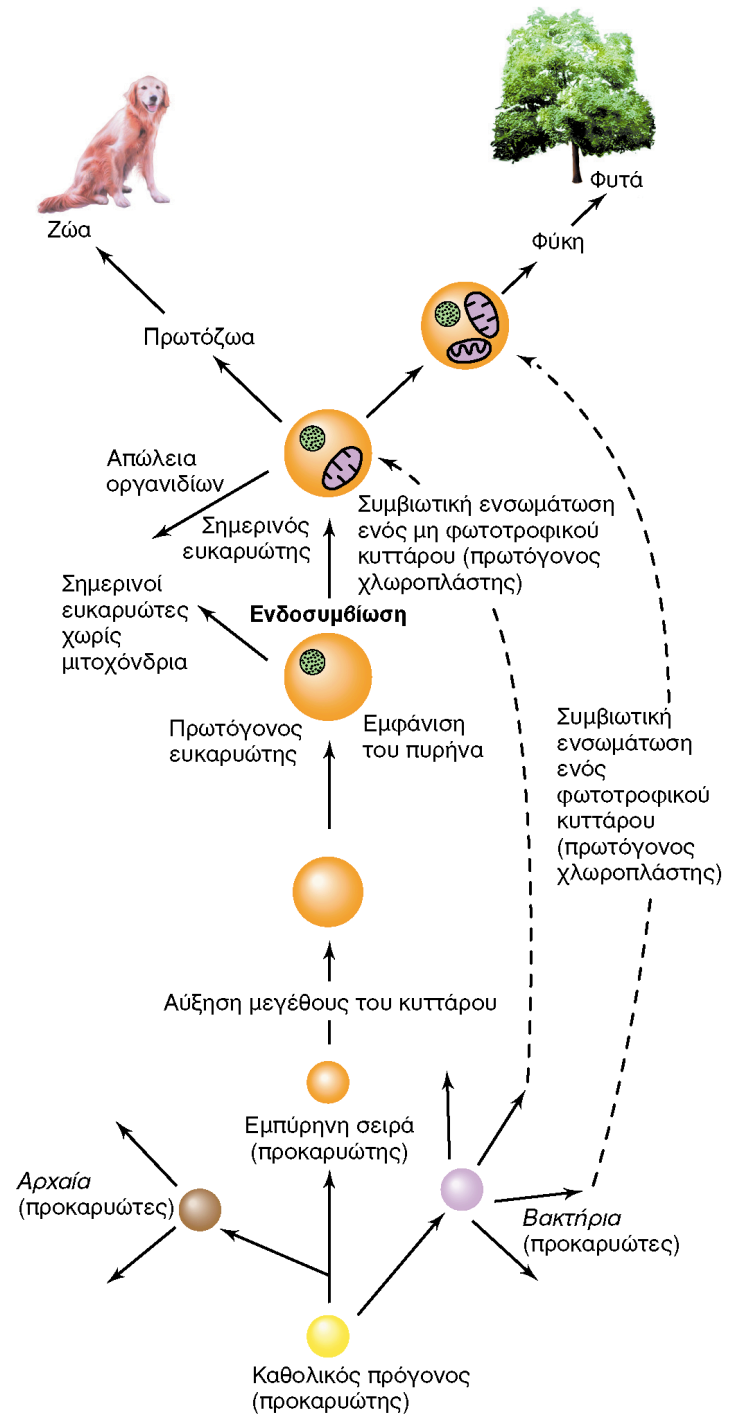
Προσδιορισμός των γονιδίων του ριβοσωματικού RNA και φυλογενετική. (α) Λύση κυττάρων μιας αμιγούς καλλιέργειας ή ενός φυσικού δείγματος. (β) Απομόνωση των γονιδίων που κωδικεύουν το ριβοσωματικό RNA και παραγωγή πολλών αντιγράφων τους με την τεχνική της αλυσιδωτής αντίδρασης πολυμεράσης (PCR). (γ) Ανάλυση της αλληλουχίας των γονιδίων, και (δ) τροφοδότηση ενός Η/Υ με τα δεδομένα αυτά. Με βάση έναν αλγόριθμο, οι αλληλουχίες συγκρίνονται ανά ζεύγη και κατασκευάζεται ένα δέντρο (ε) το οποίο καταγράφει τις διαφορές ανάμεσα στο ριβοσωματικό RNA των αναλυόμενων οργανισμών. Όταν χρησιμοποιείται φυσικό δείγμα, τα γονίδια του ριβοσωματικού RNA που απομονώνονται από τους διάφορους μικροοργανισμούς του δείγματος πρέπει πρώτα να επιλεγούν και να κλωνοποιηθούν, πριν πολλαπλασιαστούν με την PCR και αρχίσει ο προσδιορισμός της αλληλουχίας τους. Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τη μέθοδο, βλ. Τμήματα 11.5 και 18.5.





**Εικόνα 2.7** Το φυλογενετικό δέντρο της ζωής, όπως προκύπτει από τη σύγκριση της αλληλουχίας του ριβοσωματικού RNA. Το δέντρο αποτελείται από τρεις «χώρους»: δύο στους οποίους περιλαμβάνονται μόνο προκαρυωτικά κύτταρα (τα *Βακτήρια* και τα *Αρχαία*), και τα *Ευκάρυα* (ευκαρυώτες). Στην Εικόνα παρουσιάζονται ελάχιστες ομάδες οργανισμών από κάθε «χώρο». Για περισσότερες λεπτομέρειες ως προς τους «χώρους» του δέντρου, βλ. Εικόνες 2.9, 2.18, και 2.22, καθώς και τα φυλογενετικά δέντρα των Κεφαλαίων 11-14. Τα υπερθερμόφιλα είναι προκαρυώτες που αναπτύσσονται άριστα σε θερμοκρασίες ίσες ή μεγαλύτερες των 80°C. Η ομάδα οργανισμών στην περιοχή με την κόκκινη σκίαση είναι οι *μακροοργανισμοί*. Όλοι οι υπόλοιποι οργανισμοί στο δέντρο της ζωής είναι *μικροοργανισμοί*.





# Mitochondrial remnant organelles of *Giardia* function in iron-sulphur protein maturation

Jorge Tovar<sup>1</sup>, Gloria León-Avila<sup>1</sup>, Lidya B Sánchez<sup>2\*</sup>, Robert Sutak<sup>3</sup>, Jan Tachezy<sup>3</sup>, Mark van der Giezen<sup>1</sup>, Manuel Hernández<sup>1</sup>, Miklós Müller<sup>2</sup> & John M. Lucocq<sup>4</sup>

<sup>1</sup>School of Biological Sciences, Royal Holloway, University of London, Egham, Surrey TW20 0EX, UK

<sup>2</sup>The Rockefeller University, 1230 York Avenue, New York, New York 10021, USA

<sup>3</sup>Department of Parasitology, Faculty of Sciences, Charles University, 12844 Prague 2, Czech Republic

<sup>4</sup>School of Life Sciences, WTB/MSI complex, University of Dundee, Dundee DD1 5EH, UK

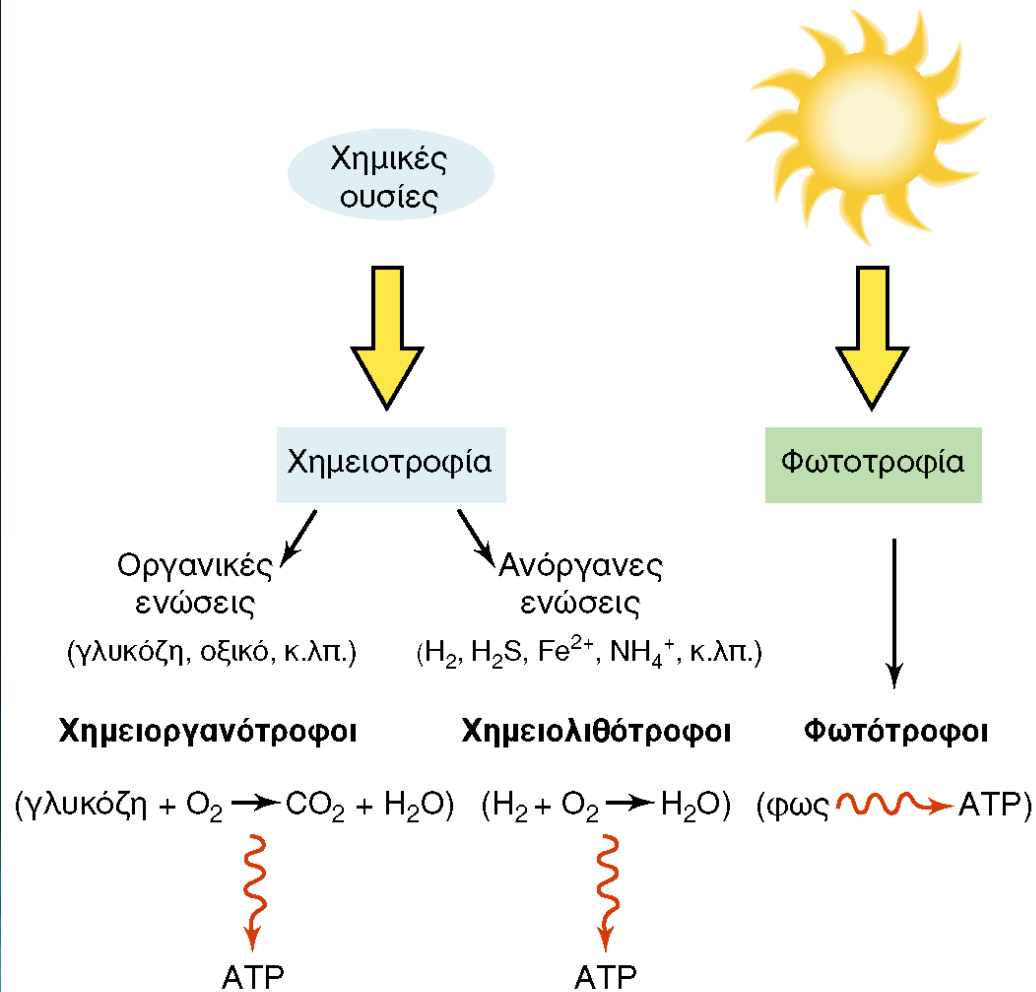
\* Present address: Public Health Research Institute, Newark, New Jersey 07103, USA

*Giardia intestinalis* (syn. *lamblia*) is one of the most widespread intestinal protozoan pathogens worldwide, causing hundreds of thousands of cases of diarrhoea each year<sup>1</sup>. *Giardia* is a member of the diplomonads, often described as an ancient protist group whose primitive nature is suggested by the lack of typical eukaryotic organelles (for example, mitochondria, peroxisomes), the presence of a poorly developed endomembrane system and by their early branching in a number of gene phylogenies<sup>1,2</sup>. The discovery of nuclear genes of putative mitochondrial ancestry in *Giardia*<sup>3-7</sup> and the recent identification of mitochondrial remnant organelles in amitochondrial protists such as *Entamoeba histolytica*<sup>8,9</sup> and *Trachipleistophora hominis*<sup>10</sup> suggest that the eukaryotic amitochondrial state is not a primitive condition but is rather the result of reductive evolution. Using an *in vitro* protein reconstitution assay and specific antibodies against IscS and IscU—two mitochondrial marker proteins involved in iron-sulphur cluster biosynthesis—here we demonstrate that *Giardia*

contains mitochondrial remnant organelles (mitosomes) bounded by double membranes that function in iron-sulphur protein maturation. Our results indicate that *Giardia* is not primitively amitochondrial and that it has retained a functional organelle derived from the original mitochondrial endosymbiont.

The assembly and maturation of iron-sulphur (Fe-S) proteins is a recently identified critical function of the mitochondrion<sup>11</sup>. Proteins containing Fe-S centres are widely distributed in nature and operate in metalloenzyme catalysis and electron transport. Although several Fe-S proteins are important in energy metabolism in amitochondriate organisms (for example, pyruvate:ferredoxin oxidoreductase, ferredoxin, hydrogenase)<sup>12</sup>, almost nothing is known about the maturation of these proteins into functional enzymes or about the biosynthesis of their essential Fe-S reactive centres. Genes encoding the soluble enzyme cysteine desulphurase (IscS), a central component of the Fe-S cluster assembly system of prokaryotic and eukaryotic cells, were recently cloned from the amitochondrial protists *Trichomonas vaginalis* and *Giardia intestinalis*<sup>5</sup>. Because phylogenetic analyses of these genes support their mitochondrial ancestry, it is possible that their encoded proteins are still compartmentalized into a mitochondrion-derived organelle. While the mitochondrion-related hydrogenosome of *Trichomonas* is a good candidate for this function<sup>13,14</sup>, a mitochondrion-derived intracellular compartment in *Giardia* has not been identified, despite mounting evidence suggesting its existence<sup>3-7,15,16</sup>.

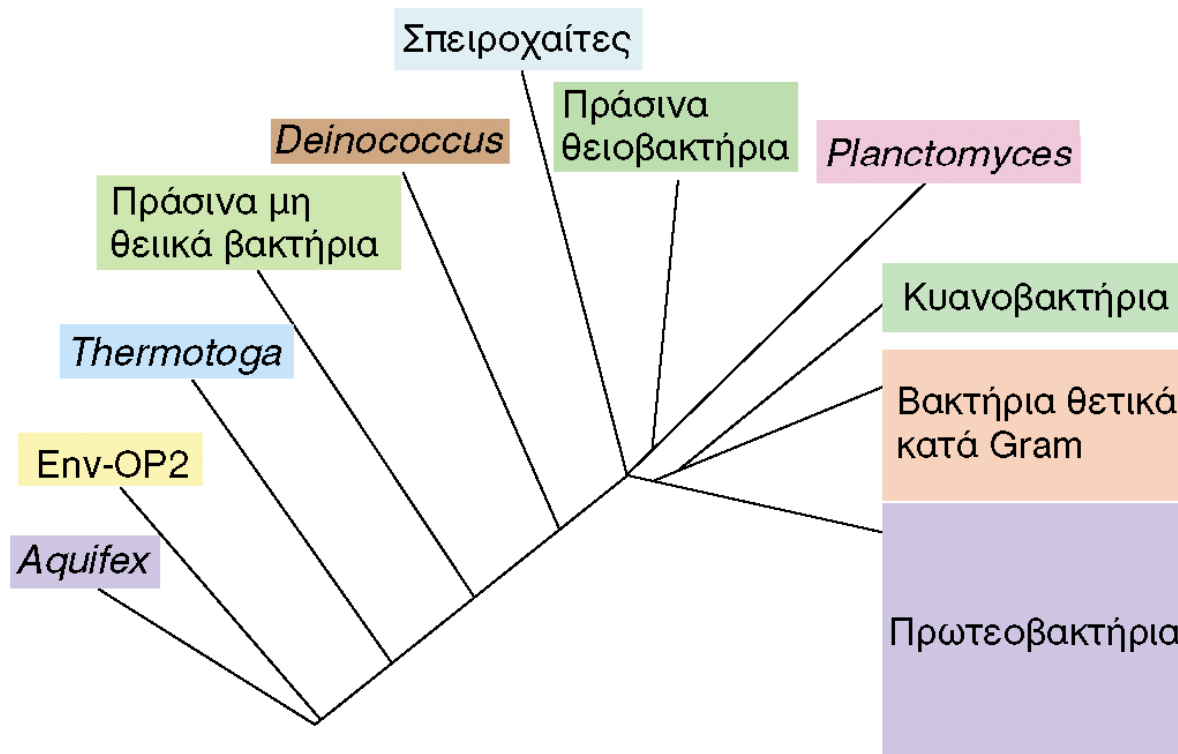
We cloned and characterized a second *Giardia* gene involved in the biosynthesis of Fe-S clusters, the *GiiscU* gene. This gene encodes the soluble iron-binding protein IscU, a functional partner of IscS thought to participate as a scaffold protein that forms Fe-S molecular complexes in conjunction with IscS (ref. 11). Amino acid sequence comparison of the *Giardia* IscU with bacterial and eukaryotic homologues revealed a high degree of similarity along the entire length of the protein (63–69% similarity, 46–51% identity), with conservation of cysteine residues essential for *in vivo* functionality<sup>17</sup>. Similar to IscS (ref. 5), phylogenetic analyses provide significant support for the clustering of *Giardia* IscU with



**Εικόνα 2.8**

Εναλλακτικές μεταβολικές οδοί για την πρόσληψη ενέργειας. Οι οργανικές και ανόργανες χημικές ουσίες που αναφέρονται εδώ είναι λίγες μόνο από την πληθώρα χημικών ενώσεων που χρησιμοποιούν οι διάφοροι χημειοτροφικοί οργανισμοί. Στους χημειοτροφικούς οργανισμούς, η παραγωγή του ATP οφείλεται στην οξείδωση των οργανικών και ανόργανων ενώσεων, ενώ στους φωτοτροφικούς γίνεται μετατροπή της φωτεινής σε χημική ενέργεια (πάλι υπό τη μορφή ATP).



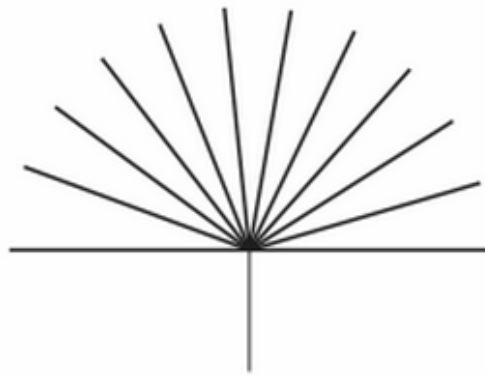


**Εικόνα 2.9**

Λεπτομέρειες από το φυλογενετικό δέντρο των *Βακτηρίων* (δεν παρουσιάζονται όλες οι ομάδες). Το διαφορετικό μέγεθος των έγχρωμων επιφανειών αντιπροσωπεύει τις διαφορές στον σχετικό αριθμό γενών και ειδών της κάθε ομάδας. Τα πρωτεοβακτήρια είναι προς το παρόν η μεγαλύτερη γνωστή ομάδα *Βακτηρίων*. Ο κλάδος του δέντρου με την ένδειξη «Env» (από τη λέξη environmental, περιβαλλοντικός) δεν αναπαριστά κάποιον γνωστό οργανισμό που έχει απομονωθεί σε καλλιέργεια, αλλά δηλώνει την ύπαρξη γονιδίων ριβοσωματικού RNA που έχουν απομονωθεί από οργανισμούς φυσικών δειγμάτων (βλ. κείμενο). Αν και δεν συνάγεται από την Εικόνα, τέτοιοι κλάδοι «Env» έχουν βρεθεί σε όλη την έκταση του δέντρου.

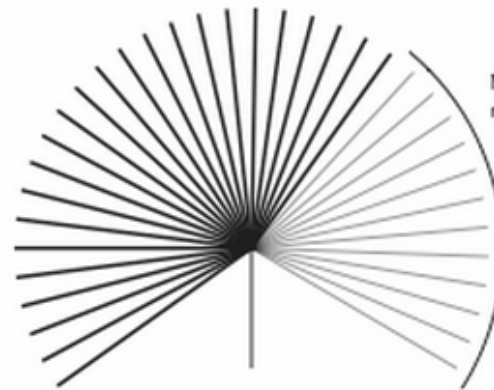
# ΒΑΚΤΗΡΙΑΚΗ ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ

## Bacterial Diversity



**1987**

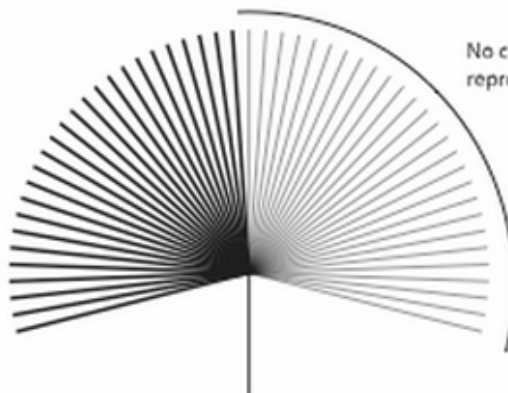
(12 divisions; 12 cultured/ 0 candidate)



No cultured  
representative

**1997**

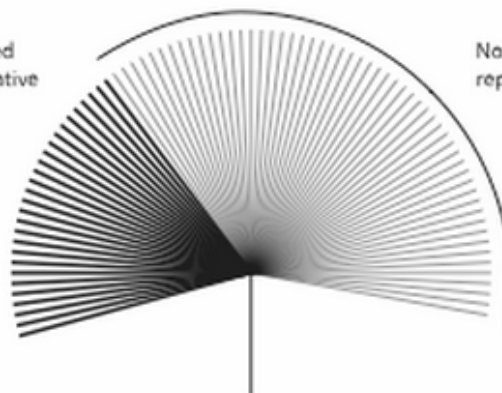
(36 divisions; 24 cultured/ 12 candidate)



No cultured  
representative

**2003**

(53 divisions; 26 cultured/ 27 candidate)

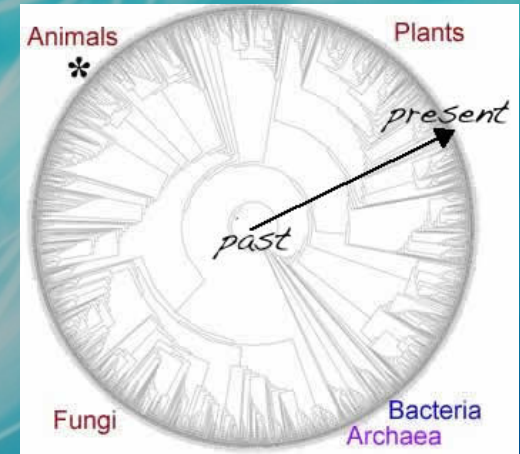
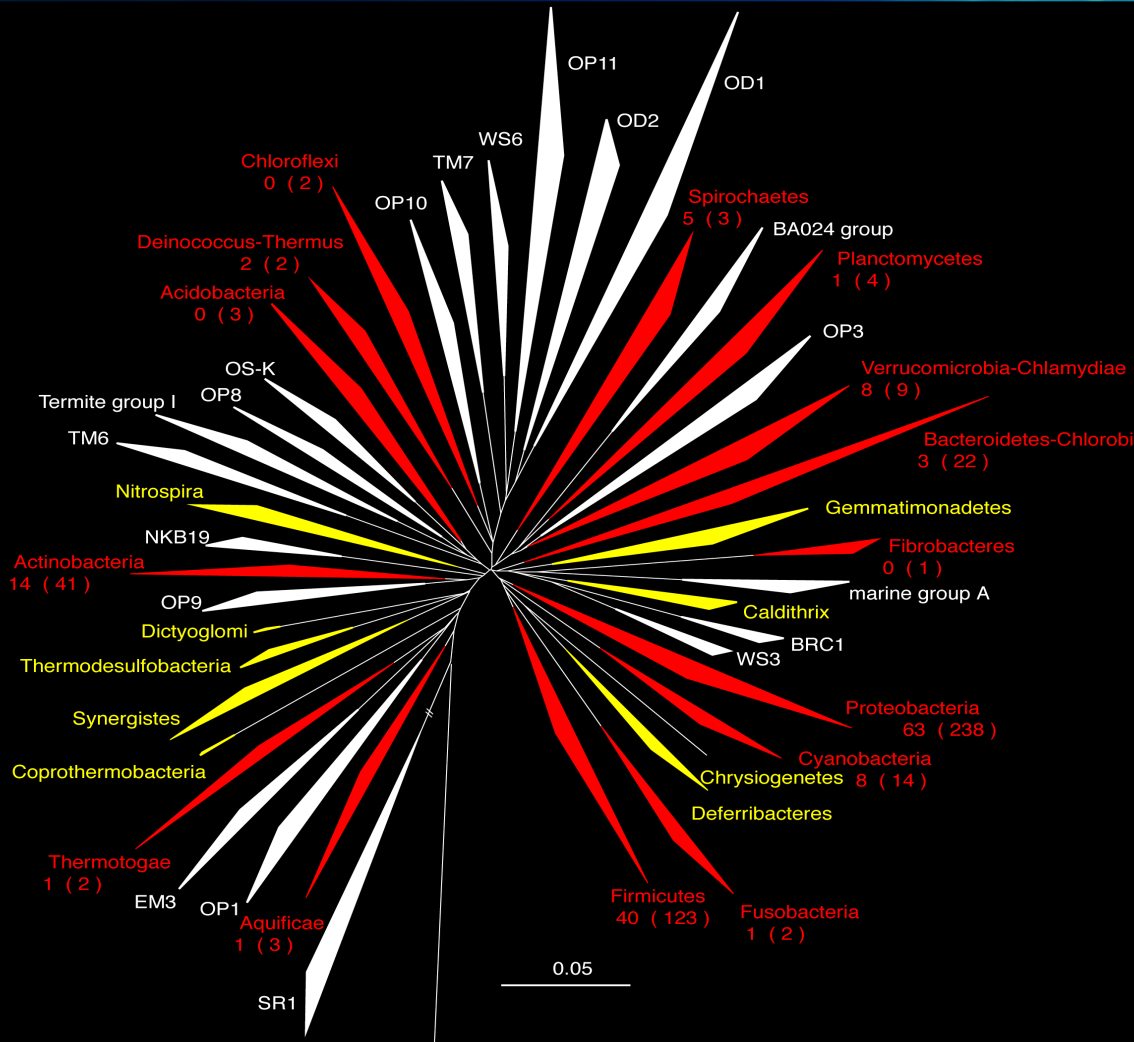


No cultured  
representative

**2004**

(~80 divisions; 26 cultured/ ~54 candidate)

# ΠΡΟΚΑΡΥΩΤΙΚΗ ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ: ΒΑΚΤΗΡΙΑ

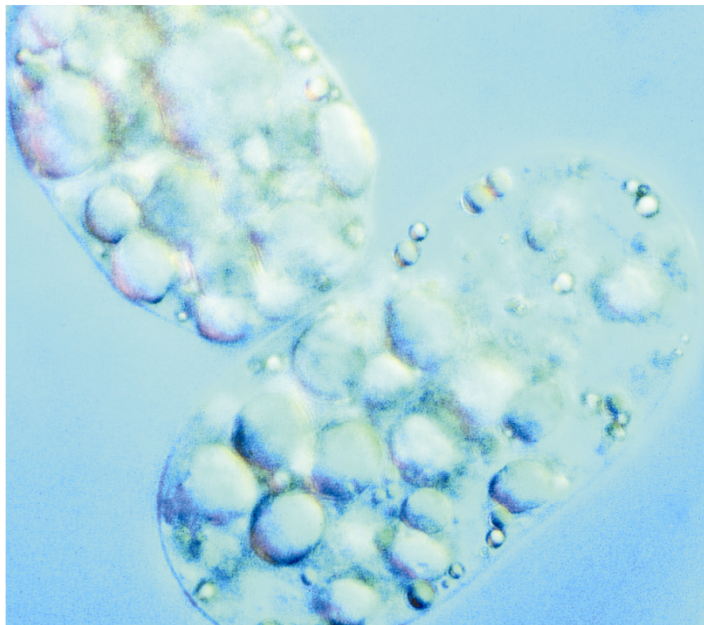






D. E. Caldwell

(a)



Hans-Dietrich Babenzien

(b)

**Εικόνα 2.10** Φωτοτροφικά και χημειολιθοτροφικά πρωτεοβακτήρια. (α) Το φωτοτροφικό πορφυρό θειοβακτήριο *Chromatium* (μεγάλα, ερυθρά, ραβδόμορφα κύτταρα). Η μικροφωτογραφία έχει ληφθεί από φυσική μικροβιακή κοινότητα. Κάθε κύτταρο έχει διάμετρο περίπου 10  $\mu\text{m}$ . (β) Το μεγάλο χημειολιθοτροφικό θειοοξειδωτικό βακτήριο *Achromatium*. Κάθε κύτταρο έχει διάμετρο περίπου 20  $\mu\text{m}$ . Διακρίνονται σφαιρίδια στοιχειακού θείου και στα δύο κύτταρα. Τόσο το *Chromatium* όσο και το *Achromatium* οξειδώνουν το υδροθείο ( $\text{H}_2\text{S}$ ) που παράγεται από τα θειοαναγωγικά βακτήρια. Τα τελευταία είναι χημειοργανοτροφικοί οργανισμοί που συνδυάζουν την οξείδωση οργανικών ενώσεων ή  $\text{H}_2$  με την αναγωγή της θειικής ρίζας ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) προς  $\text{H}_2\text{S}$ , κλείνοντας έτσι τον κύκλο του θείου (🔗 Τμήμα 19.13).



Tiffany Full and M. T. Madigan

(a)

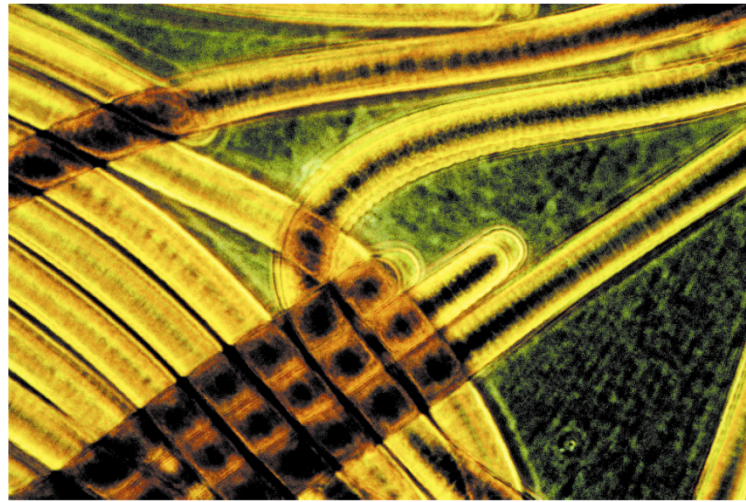


T. D. Brock

(β)

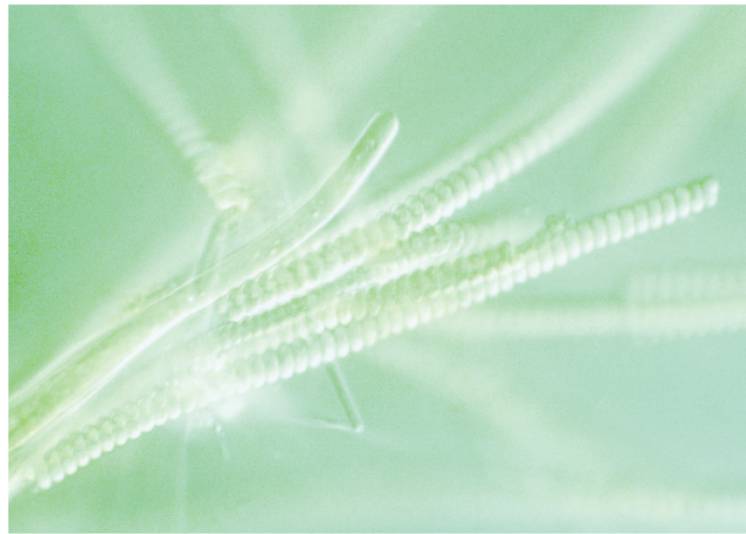
**Εικόνα 2.11** Θετικά κατά Gram βακτήρια. (α) Ραβδόμορφα ενδοσποριογονικά βακτήρια του γένους *Bacillus*, που φαίνονται ως μέλη μιας αλυσίδας. Παρατηρήστε την παρουσία των ενδοσπορίων (φωτεινές διαθλαστικές δομές) στο εσωτερικό των κυττάρων. Τα ενδοσπόρια είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στη θερμότητα, την ακτινοβολία, και σε διάφορους χημικούς παράγοντες. (β) Ο *Streptococcus* είναι ένα σφαιρικό κύτταρο που σχηματίζει αλυσίδες. Στρεπτόκοκκοι υπάρχουν σε πολλά είδη της καθημερινής διατροφής μας. Μερικοί από αυτούς είναι ισχυρότατα παθογόνα.





R. W. Castenholz

(a)



R. W. Castenholz

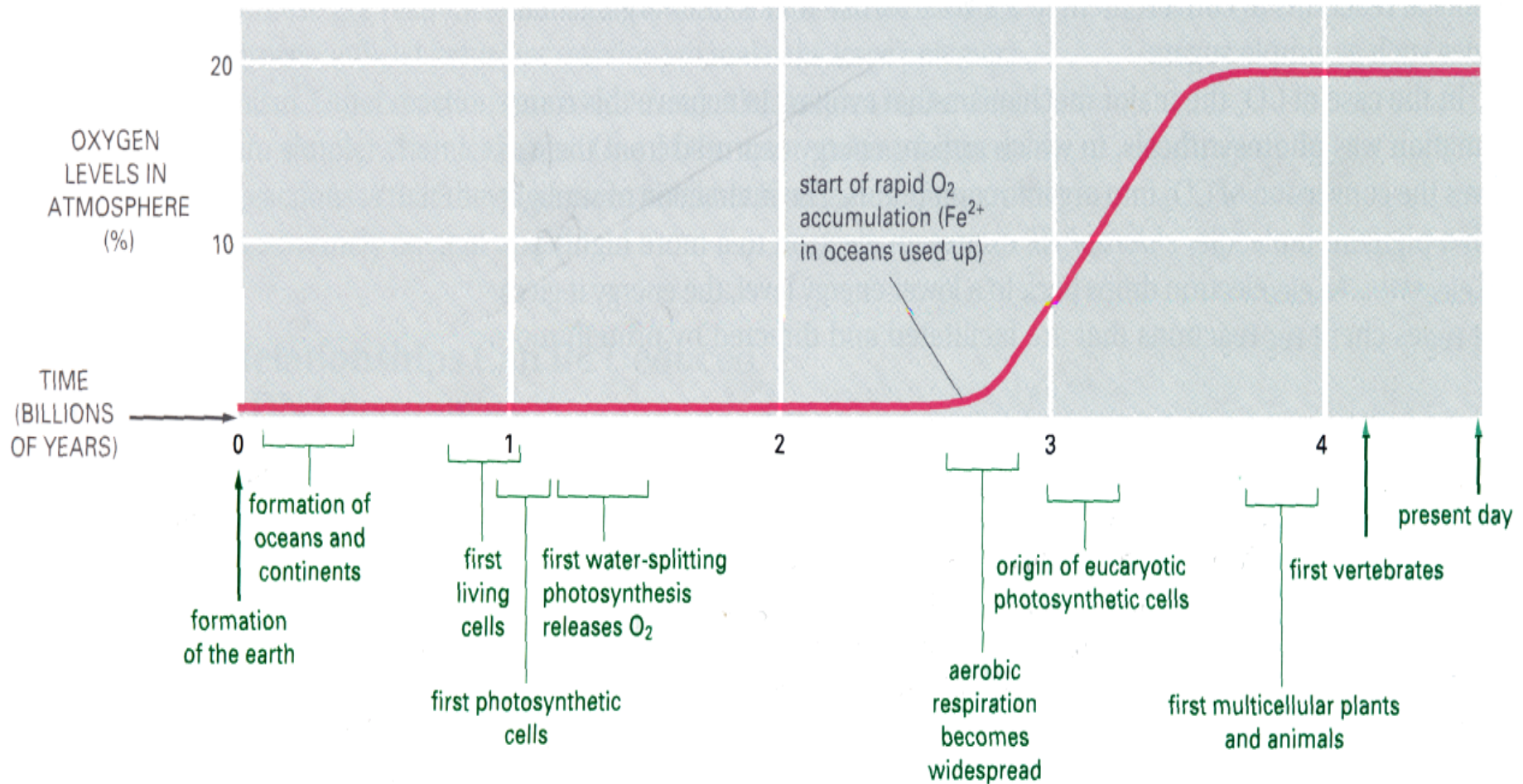
(β)

**Εικόνα 2.12** Νηματοειδή κυανοβακτήρια. (a) *Oscillatoria*, (β) *Spirulina*.

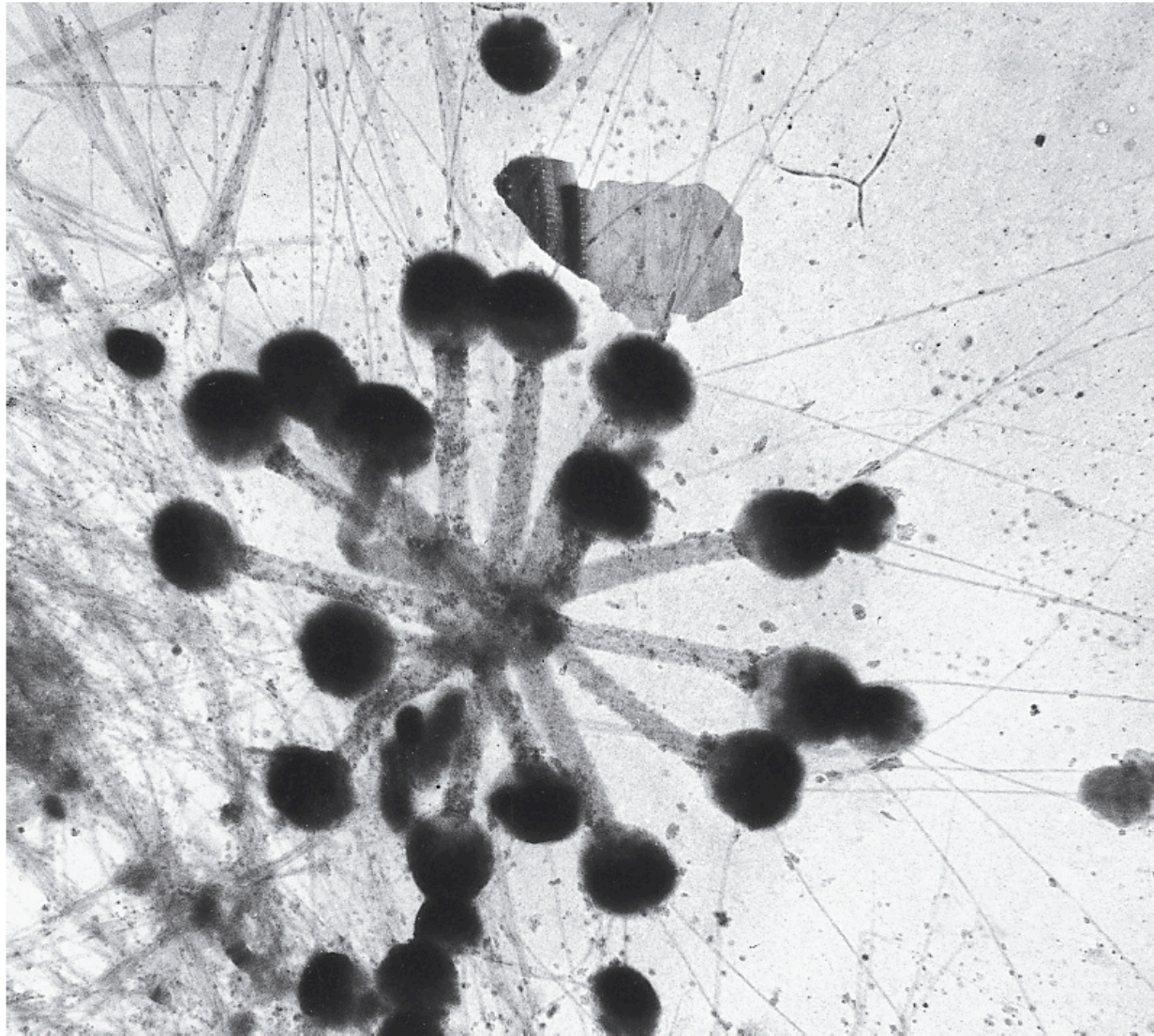
Τα κυανοβακτήρια είναι αυτά που παρήγαγαν πριν από χιλιάδες αιώνες το οξυγόνο που υπάρχει σήμερα στη Γη. Γνωρίζουμε πολλές μορφολογικές ποικιλίες των κυανοβακτηρίων, όπως είναι τα μονοκύτταρα, τα αποικιακά, και τα ετεροκυστικά. Τα τελευταία περιέχουν ειδικές δομές που λέγονται *ετεροκύστεις* και επιτελούν τη δέσμευση του αζώτου (🧠 Τμήματα 12.25 και 17.28).



# Δημιουργία και προέλευση της ζωής



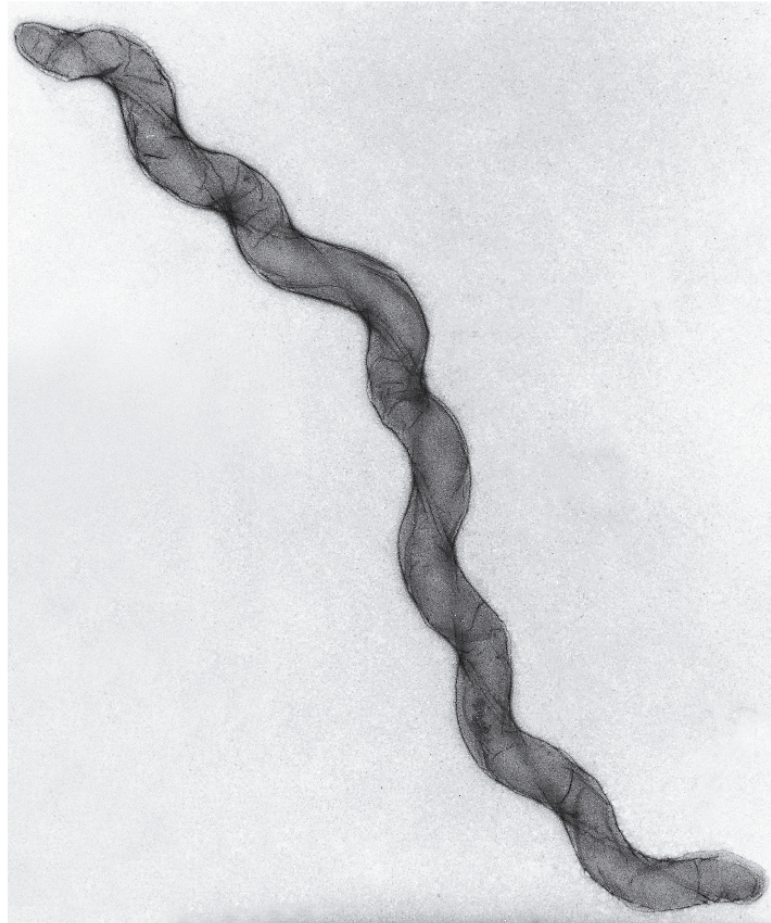
- Ατμοσφαιρικό  $O_2$  και η πορεία της εξέλιξης
- Αβιοτική προέλευση της ζωής πριν  $4.5 \times 10^9$  χρόνια
- Πρώτο κύτταρο πριν από  $3.5 \times 10^9$  χρόνια



James T. Staley

**Εικόνα 2.13** Η μορφολογία του έμμοσχου βακτηρίου *Planctomyces*. Αρκετά κύτταρα συνδέονται μέσω των μίσχων, σχηματίζοντας ροζέτα.

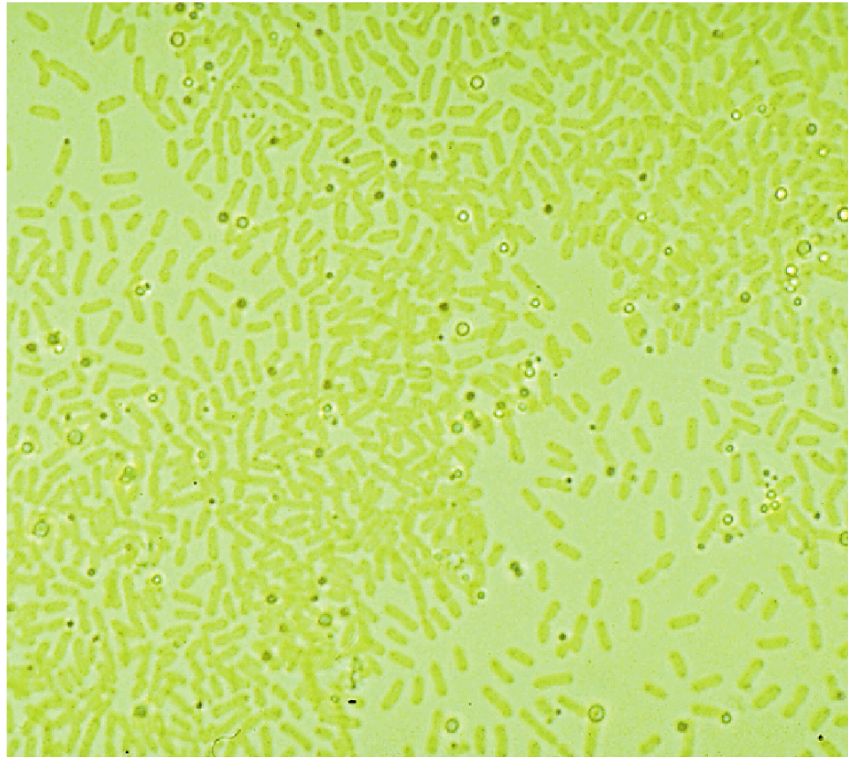




John Breznak

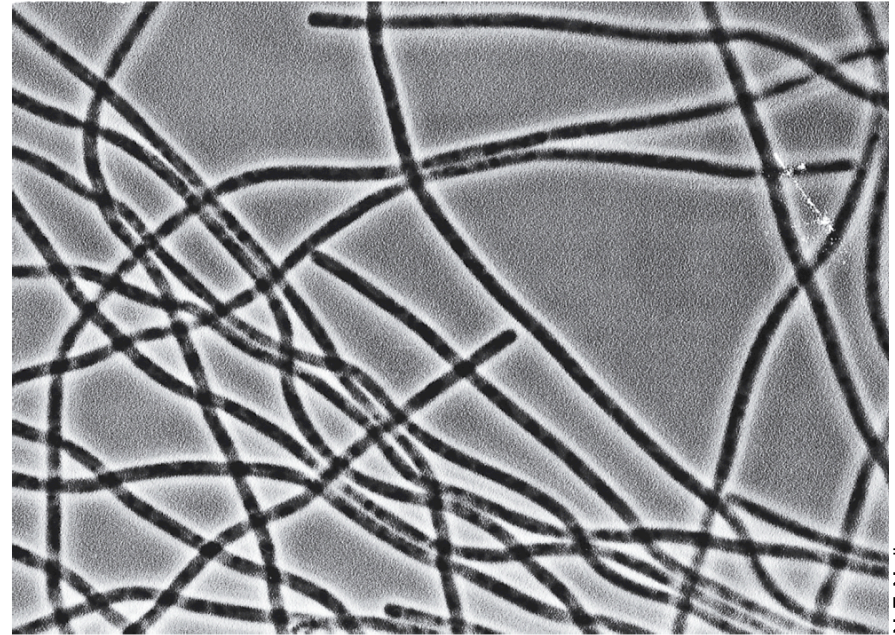
**Εικόνα 2.14** Σπειροχαίτες. Κύτταρο της *Spirochaeta zuelzerae*. Αυτοί οι προκαρυώτες δεν διαφέρουν από τους υπόλοιπους μόνο μορφολογικά, αλλά και φυλογενετικά (βλ. Εικόνα 2.9). Οι σπειροχαίτες είναι πολύ διαδεδομένες στη φύση και μερικές προκαλούν ασθένειες, όπως τη σύφιλη και τη νόσο του Lyme. Δημοσιεύεται από το J. A. Breznak, 1973. *CRC Critical Reviews of Microbiology* 2:457-489. Πρωτότυπο μικρογράφημα των R. Joseph & E. Canale-Parola, 1972. *Archives of Microbiology* 81:146-168.






Norbert Pfennig

(α)

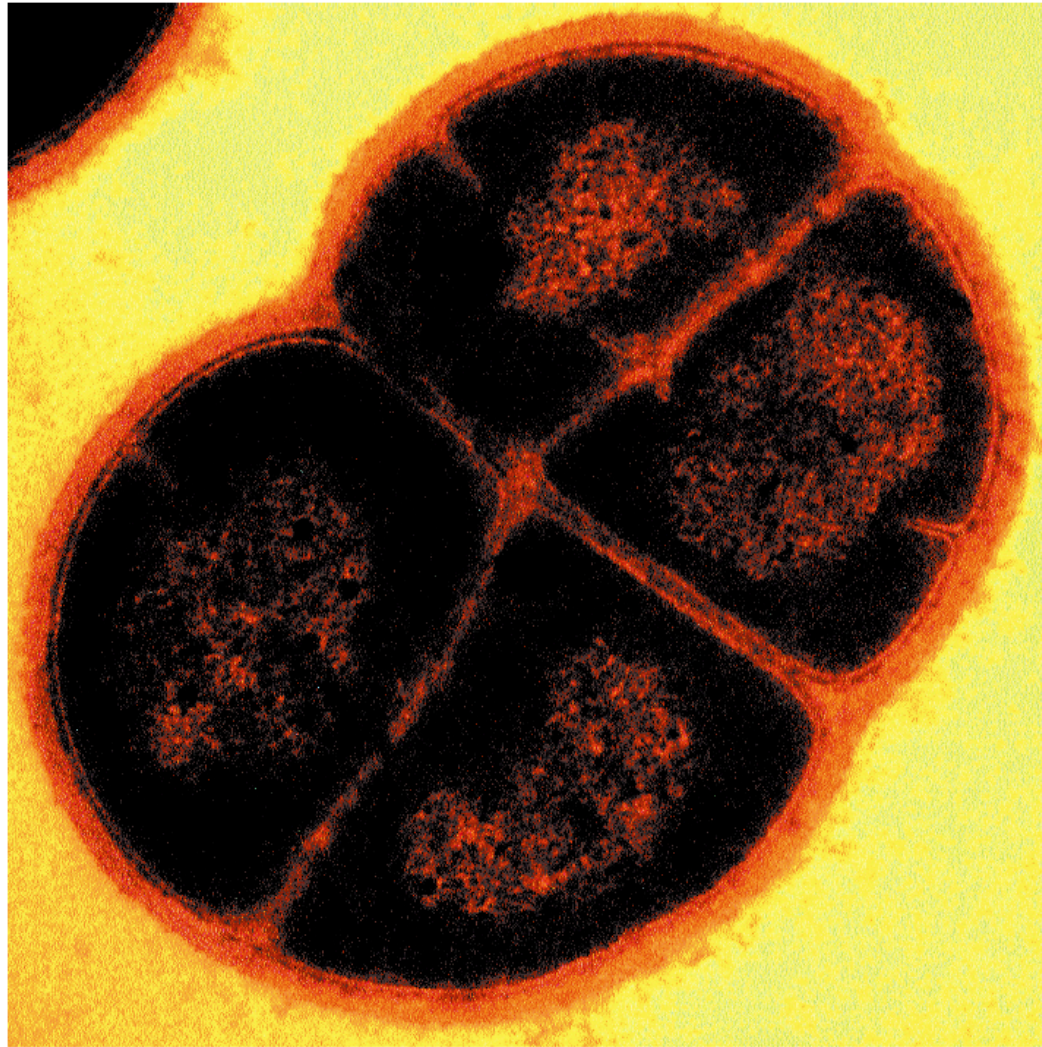


M. T. Madigan

(β)

**Εικόνα 2.15** Φωτοτροφικά πράσινα βακτήρια (α) *Chlorobium* (πράσινα θειοβακτήρια)· (β) *Chloroflexus* (πράσινα μη θειικά βακτήρια). Παρά τα πολλά κοινά χαρακτηριστικά τους, όπως ορισμένες μεμβρανικές δομές και χρωστικές (  Τμήμα 17.2), οι δύο αυτοί οργανισμοί διαφέρουν αρκετά από φυλογενετικής απόψεως (βλ. Εικόνα 2.9).

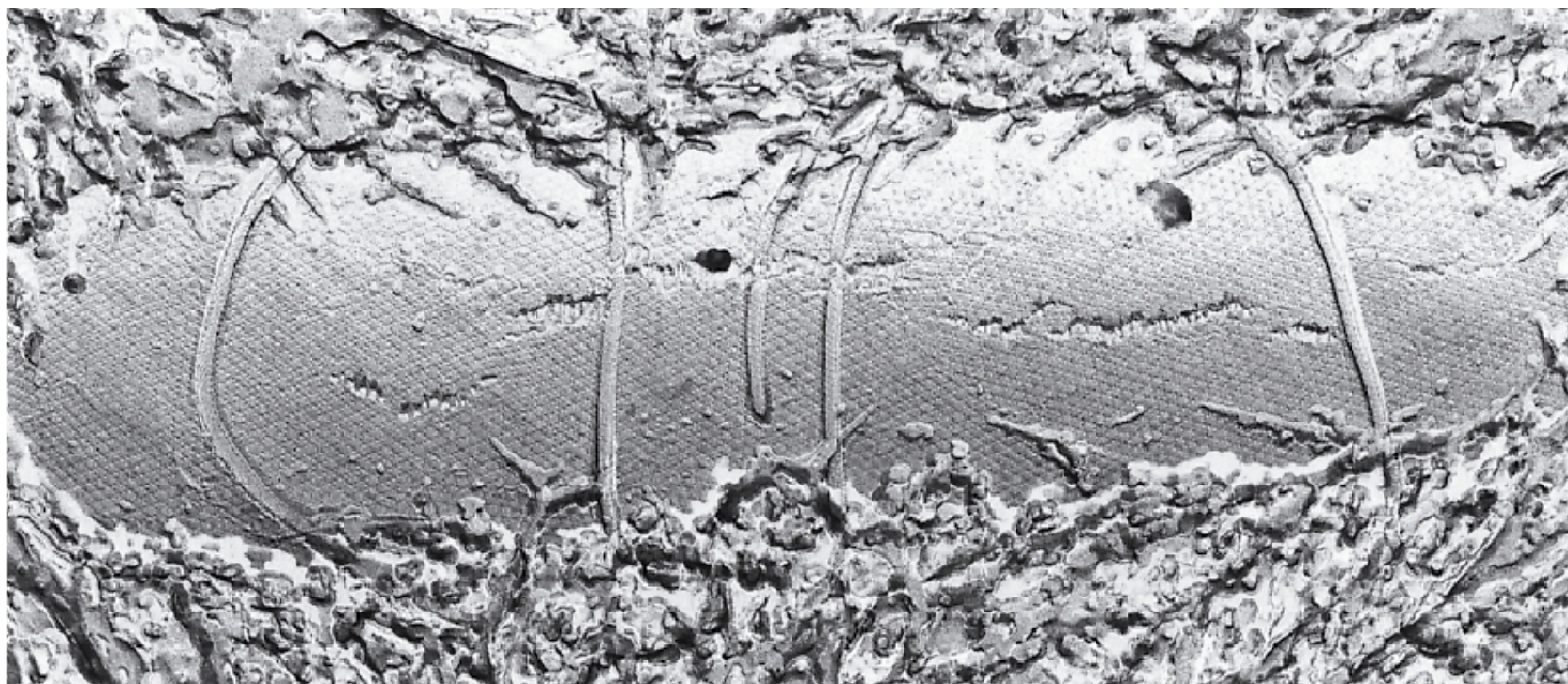




Michael J. Daly

**Εικόνα 2.16** Το βακτήριο *Deinococcus radiodurans* παρουσιάζει εξαιρετική αντοχή στην ακτινοβολία. Ο οργανισμός αυτός αντέχει σε επίπεδα ακτινοβολίας πολύ υψηλότερα απ' όσο θα άντεχε ο ανθρώπινος οργανισμός.

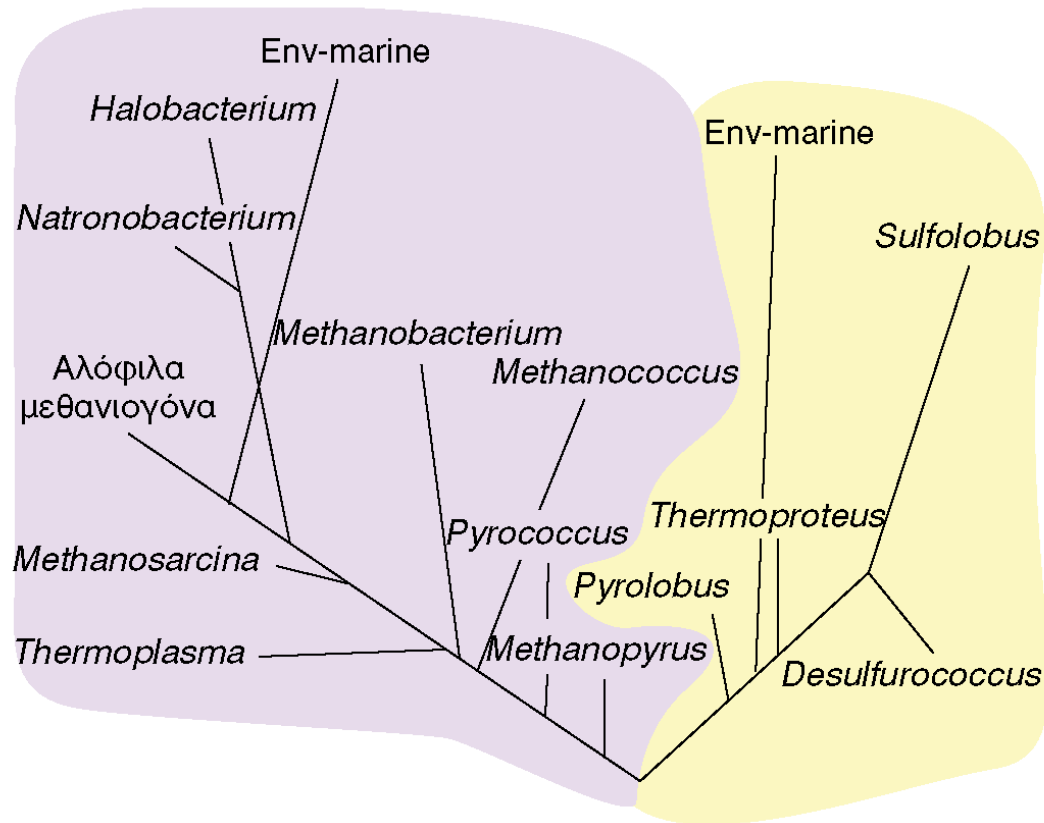




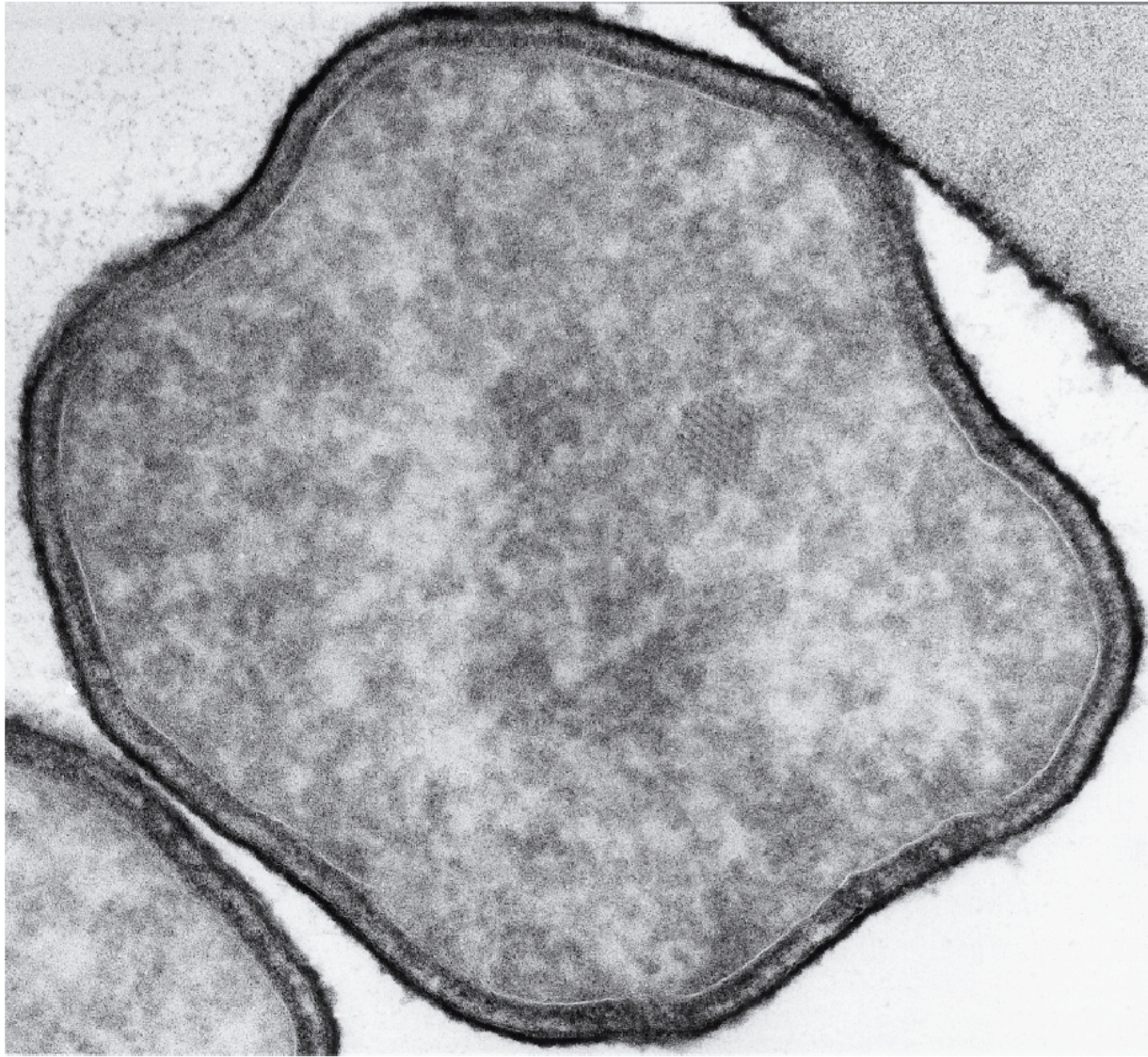
R. Rachel and K. O. Stetter

**Εικόνα 2.17** *Aquiflex*. Αυτό το βακτηριακό είδος των πρώιμων κλάδων του προκαρυωτικού δέντρου (βλ. Εικόνα 2.9) είναι ένας υπερθερμόφιλος οργανισμός που αναπτύσσεται άριστα σε θερμοκρασίες άνω των 80°C.





**Εικόνα 2.18** Λεπτομέρειες από το φυλογενετικό δέντρο των *Αρχαίων*. Δεν αναπαρίστανται όλες οι γνωστές γενεαλογικές γραμμές των *Αρχαίων*. Στα *Αρχαία* υπάρχουν δύο κύριες υποενότητες. Οι οργανισμοί στην κίτρινη περιοχή είναι κυρίως υπερθερμόφιλοι, άρα αναπτύσσονται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Στην κοκκινωπή περιοχή ανήκουν τα μεθανιογόνα, τα ακραία αλόφιλα, και τα οξεόφιλα. Κάθε κύρια ομάδα διαθέτει επίσης τη δική της γενεαλογική γραμμή *Env* (βλ. λεζάντα της Εικόνας 2.9 και κείμενο), ενώ τα περισσότερα είδη είναι θαλάσσια. Και οι δύο υποομάδες των *Αρχαίων* έχουν τον ίδιο περίπου αριθμό ειδών, αλλά ο συνολικός αριθμός ειδών που έχουν αναπτυχθεί σε καλλιέργειες είναι πολύ μικρότερος από τον αντίστοιχο των *Βακτηρίων*.



R. Rachel and K. O. Stetter

**Εικόνα 2.19** *Pyrolobus*. Υπερθερμόφιλο Αρχαίο με άριστη θερμοκρασία ανάπτυξης υψηλότερη από το σημείο βρασμού του νερού!





B.

Γ.

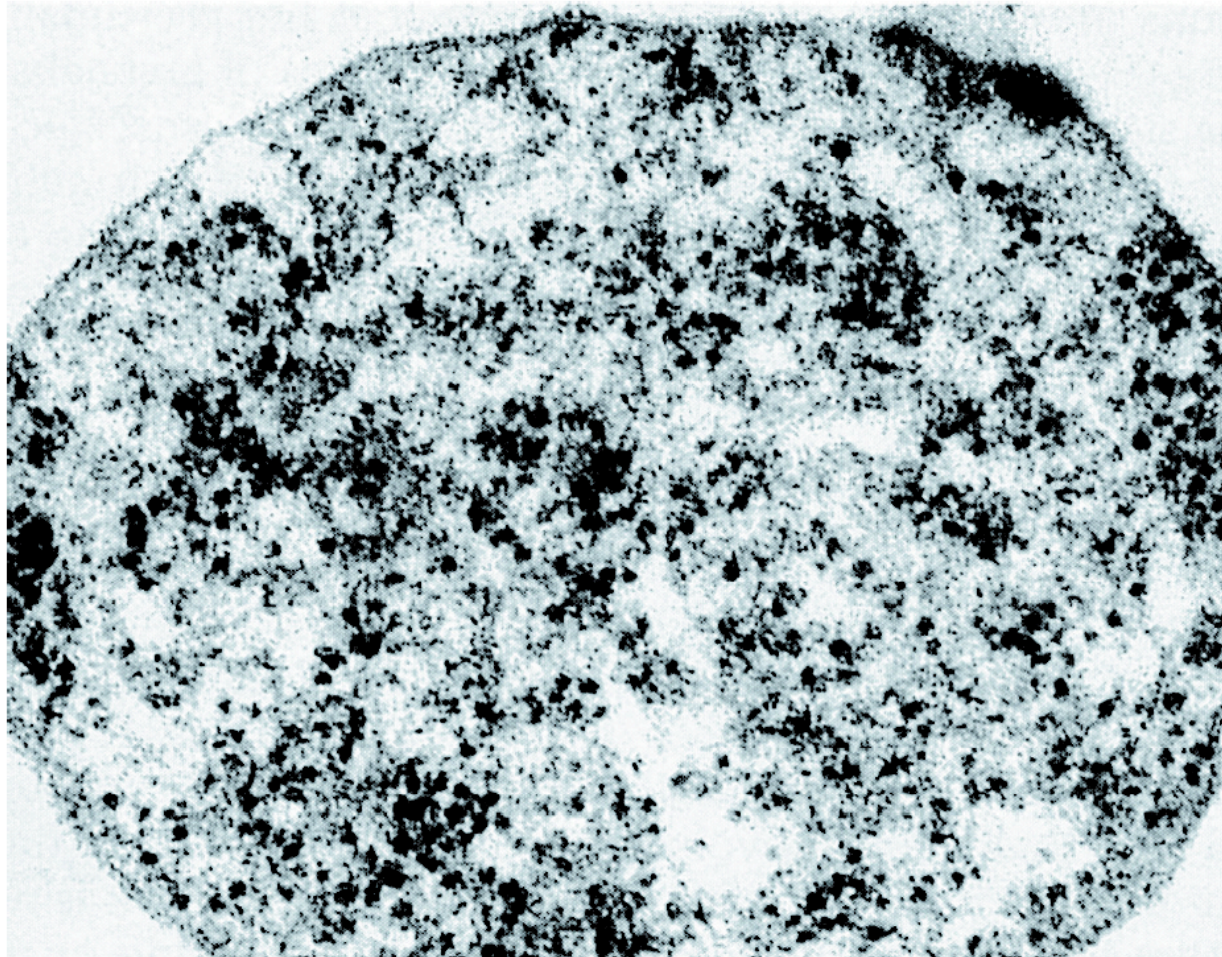
William D. Grant



## Εικόνα 2.20

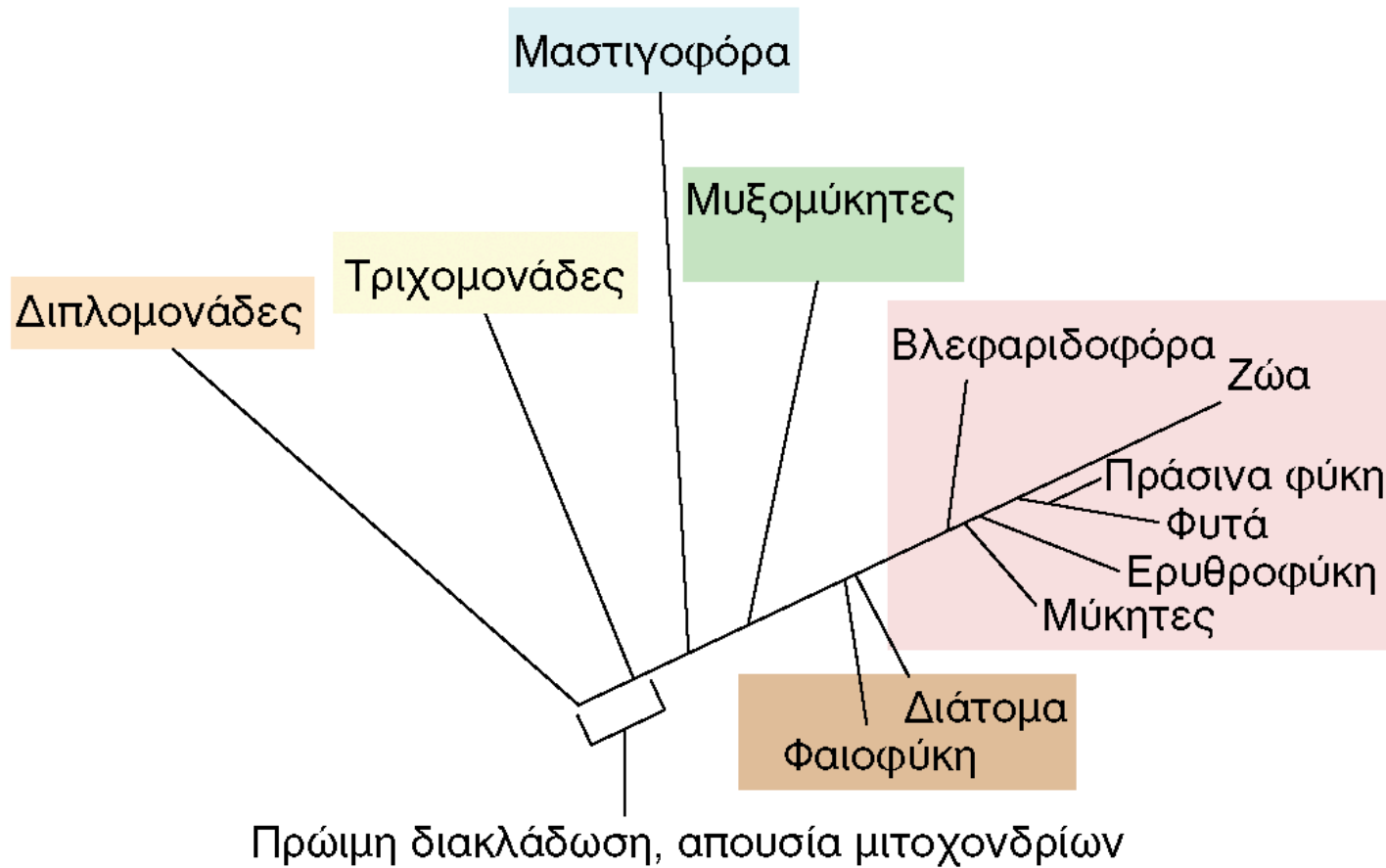
Ακραία αλόφιλα *Αρχαία*. Το φιαλίδιο περιέχει κορεσμένο διάλυμα NaCl και κύτταρα του ακραίου αλόφιλου *Halobacterium*. Στον οργανισμό αυτό υπάρχουν χρωστικές που δεσμεύουν το φως και οδηγούν στην παραγωγή ATP. Τα κύτταρα του *Halobacterium* μπορούν να επιβιώσουν ακόμη και μέσα σε κρυστάλλους αλατιού (🔗 ένθετο Κεφαλαίου 4 Πόσο χρόνο μπορεί να επιβιώσει ένα ενδοσπόριο;).





T. D. Brock

**Εικόνα 2.21** Το Αρχαίο *Thermoplasma* της Εικόνας, όπως και ο στενός συγγενής του *Picrophilus* (βλ. Πίνακα 2.1) είναι ατοικωματικά και αναπτύσσονται σε μέτρια υψηλές θερμοκρασίες και εξαιρετικά χαμηλό pH. Ατοικωματικά είδη συναντούμε επίσης στο βακτηριακό γένος *Mycoplasma*. Οι ατοικωματικοί προκαρυώτες περιγράφονται στα Τμήματα 12.21 και 13.5.



### Εικόνα 2.22

Λεπτομέρειες από το φυλογενετικό δέντρο των *Ευκαρύων*. Δεν αναπαρίστανται όλες οι γνωστές γενεαλογικές γραμμές των *Ευκαρύων*. Σε μερικά από τα είδη των πρώιμων ευκαρυωτικών διακλαδώσεων, το μόνο ενδοκυτταρικό οργανίδιο είναι ο πυρήνας. Παρατηρήστε ότι οι «ανώτεροι οργανισμοί» (δηλαδή τα φυτά και τα ζώα) εμφανίζονται στις κορυφαίες διακλαδώσεις του δέντρου.



# Mitochondrial remnant organelles of *Giardia* function in iron-sulphur protein maturation

Jorge Tovar<sup>1</sup>, Gloria León-Avila<sup>1</sup>, Lidya B Sánchez<sup>2\*</sup>, Robert Sutak<sup>3</sup>, Jan Tachezy<sup>3</sup>, Mark van der Giezen<sup>1</sup>, Manuel Hernández<sup>1</sup>, Miklós Müller<sup>2</sup> & John M. Lucocq<sup>4</sup>

<sup>1</sup>School of Biological Sciences, Royal Holloway, University of London, Egham, Surrey TW20 0EX, UK

<sup>2</sup>The Rockefeller University, 1230 York Avenue, New York, New York 10021, USA

<sup>3</sup>Department of Parasitology, Faculty of Sciences, Charles University, 12844 Prague 2, Czech Republic

<sup>4</sup>School of Life Sciences, WTB/MSI complex, University of Dundee, Dundee DD1 5EH, UK

\* Present address: Public Health Research Institute, Newark, New Jersey 07103, USA

*Giardia intestinalis* (syn. *lamblia*) is one of the most widespread intestinal protozoan pathogens worldwide, causing hundreds of thousands of cases of diarrhoea each year<sup>1</sup>. *Giardia* is a member of the diplomonads, often described as an ancient protist group whose primitive nature is suggested by the lack of typical eukaryotic organelles (for example, mitochondria, peroxisomes), the presence of a poorly developed endomembrane system and by their early branching in a number of gene phylogenies<sup>1,2</sup>. The discovery of nuclear genes of putative mitochondrial ancestry in *Giardia*<sup>3-7</sup> and the recent identification of mitochondrial remnant organelles in amitochondrial protists such as *Entamoeba histolytica*<sup>8,9</sup> and *Trachipleistophora hominis*<sup>10</sup> suggest that the eukaryotic amitochondrial state is not a primitive condition but is rather the result of reductive evolution. Using an *in vitro* protein reconstitution assay and specific antibodies against IscS and IscU—two mitochondrial marker proteins involved in iron-sulphur cluster biosynthesis—here we demonstrate that *Giardia*

contains mitochondrial remnant organelles (mitosomes) bounded by double membranes that function in iron-sulphur protein maturation. Our results indicate that *Giardia* is not primitively amitochondrial and that it has retained a functional organelle derived from the original mitochondrial endosymbiont.

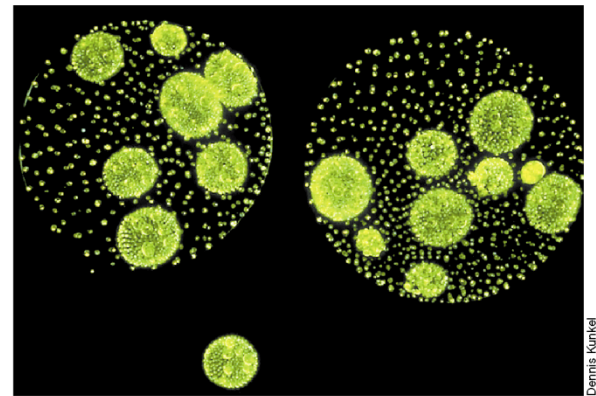
The assembly and maturation of iron-sulphur (Fe-S) proteins is a recently identified critical function of the mitochondrion<sup>11</sup>. Proteins containing Fe-S centres are widely distributed in nature and operate in metalloenzyme catalysis and electron transport. Although several Fe-S proteins are important in energy metabolism in amitochondriate organisms (for example, pyruvate:ferredoxin oxidoreductase, ferredoxin, hydrogenase)<sup>12</sup>, almost nothing is known about the maturation of these proteins into functional enzymes or about the biosynthesis of their essential Fe-S reactive centres. Genes encoding the soluble enzyme cysteine desulphurase (IscS), a central component of the Fe-S cluster assembly system of prokaryotic and eukaryotic cells, were recently cloned from the amitochondrial protists *Trichomonas vaginalis* and *Giardia intestinalis*<sup>5</sup>. Because phylogenetic analyses of these genes support their mitochondrial ancestry, it is possible that their encoded proteins are still compartmentalized into a mitochondrion-derived organelle. While the mitochondrion-related hydrogenosome of *Trichomonas* is a good candidate for this function<sup>13,14</sup>, a mitochondrion-derived intracellular compartment in *Giardia* has not been identified, despite mounting evidence suggesting its existence<sup>3-7,15,16</sup>.

We cloned and characterized a second *Giardia* gene involved in the biosynthesis of Fe-S clusters, the *GiiscU* gene. This gene encodes the soluble iron-binding protein IscU, a functional partner of IscS thought to participate as a scaffold protein that forms Fe-S molecular complexes in conjunction with IscS (ref. 11). Amino acid sequence comparison of the *Giardia* IscU with bacterial and eukaryotic homologues revealed a high degree of similarity along the entire length of the protein (63–69% similarity, 46–51% identity), with conservation of cysteine residues essential for *in vivo* functionality<sup>17</sup>. Similar to IscS (ref. 5), phylogenetic analyses provide significant support for the clustering of *Giardia* IscU with



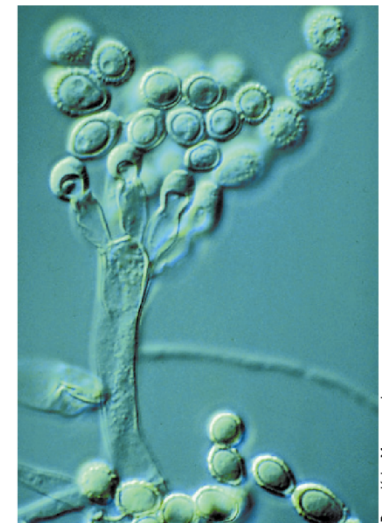
### Εικόνα 2.23

Μικροφωτογραφίες μικροβιακών *Ευκαρύων*. (α) Φύκη· αποικιακό πράσινο φύκος του γένους *Volvox* (🔗 Τμήμα 14.11). Κάθε σφαιρικό κύτταρο περιέχει έναν μικρό αριθμό χλωροπλαστών (φωτοσυνθετικών οργανιδίων των φωτοτροφικών ευκαρυωτών). (β) Μύκητες· οι σποριογονικές δομές ενός τυπικού μύκητα. Από κάθε σπόριο μπορεί να προκύψει ένας μυκηλιακός μύκητας (🔗 Τμήμα 14.9). (γ) Πρωτόζωα· το βλεφαριδοφόρο πρωτόζωο *Paramecium* (🔗 Τμήμα 14.8). Οι βλεφαρίδες λειτουργούν όπως τα κουπιά της βάρκας, προσδίδοντας αυτοκινησία στο κύτταρο.



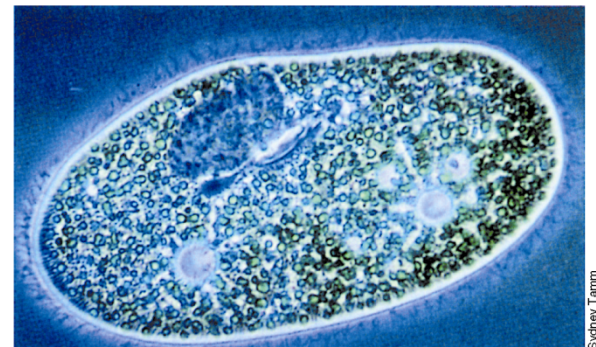
Dennis Kunkel

(α)



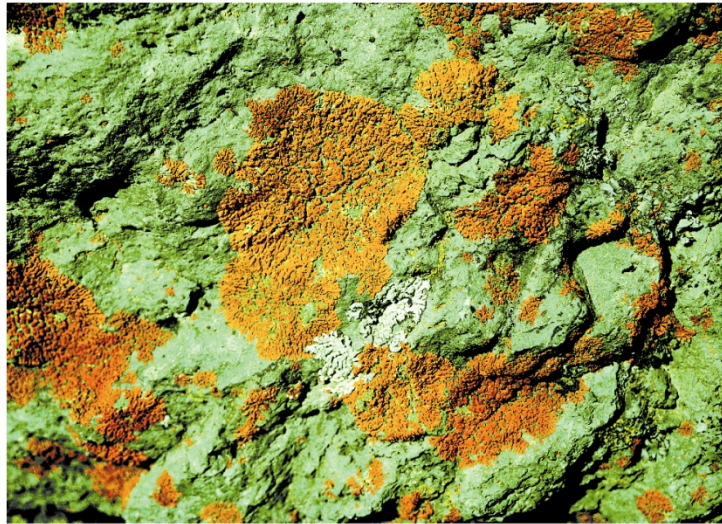
Berry Katz, Mycosearch

(β)



Sydney Tamm

(γ)



M. T. Madigan

(α)



M. T. Madigan

(β)

**Εικόνα 2.24** Λειχήνες. (α) Ένας πορτοκαλόχρωμος λειχήνας που αναπτύσσεται σε βράχο, και (β) ένας κιτρινόχρωμος λειχήνας που αναπτύσσεται σε νεκρό κορμό δέντρου, στο Εθνικό Πάρκο Yellowstone των ΗΠΑ. Το χρώμα οφείλεται στα έγχρωμα συστατικά (φύκη) της δομής των λειχηνών.