



## ΠΡΟΚΑΡΥΩΤΙΚΗ ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ: ΑΡΧΑΙΑ

# 13

**Α**ν και μερικά είδη των *Αρχαίων* ζουν σε σχετικά αβλαβή περιβάλλοντα, όπως στο πεπτικό σύστημα των θερμόαιμων ζώων, εν τούτοις το γνώρισμα που τα χαρακτηρίζει είναι η ικανότητά τους να ευδοκίμουν σε ακραία περιβάλλοντα. Εδώ φαίνεται μια άνθιση αλοαλκαλεόφιλων *Αρχαίων* που αναπτύχθηκε σε μια λίμνη της Αιγύπτου πλούσια σε ανθρακικό νάτριο. Το κόκκινο χρώμα οφείλεται στα καροτενοειδή που παράγουν αυτοί οι οργανισμοί για την προστασία τους από το έντονο ηλιακό φως. Τα αλοαλκαλεόφιλα είναι ακραιόφιλοι προκαρυωτικοί οργανισμοί που έχουν εξελιχθεί έτσι ώστε να αναπτύσσονται άριστα υπό συνθήκες υψηλών συγκεντρώσεων αλατιού και υψηλού pH.

## Εξέλιξη των συστημάτων κατάταξης

**Linnaeus: 2 βασιλεία (Φυτά - Ζώα)**

**Whittaker: 5 βασιλεία**

**Μονήρη**

**Πρώτιστα**

**Μύκητες**

**Φυτά**

**Ζώα**

**Carl Woese**

**Αρχαία**

**Βακτήρια**

**Ευκάρυα**

**Αρχαία**

**Βακτήρια**

**Πρώτιστα**

**Μύκητες**

**Φυτά**

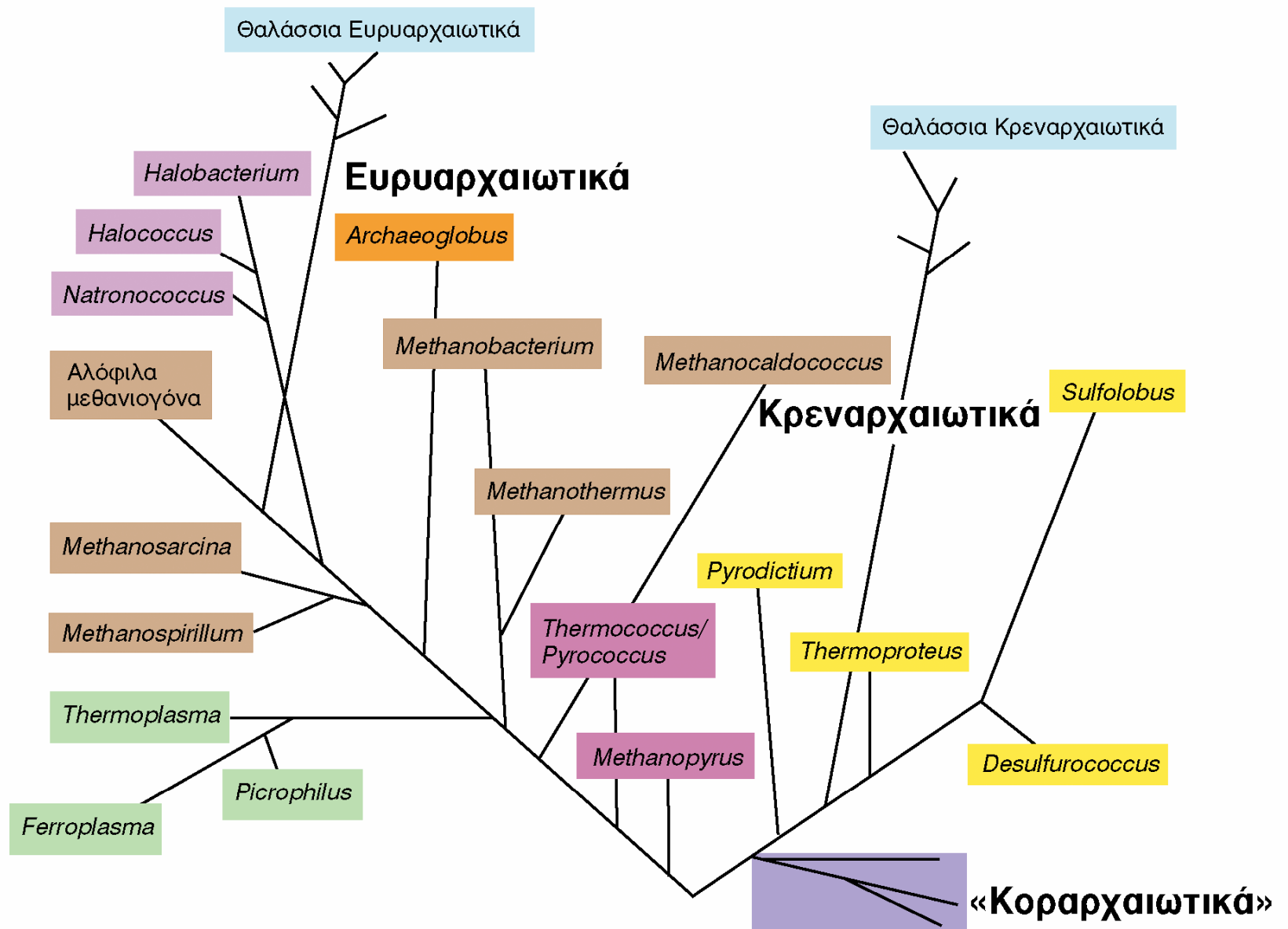
**Ζώα**

# ΑΡΧΑΙΑ vs ΒΑΚΤΗΡΙΑ

	<u>ΑΡΧΑΙΑ</u>	<u>ΒΑΚΤΗΡΙΑ</u>
Εναρκτήριο αμινοξύ	μεθειονίνη	φορμυλ-μεθειονίνη
Ιντρόνια	v	x
Δομή μεμβρανικών λιπιδίων	διακλαδισμένα	αδιακλάδιστα
Αριθμός RNA πολυμερασών	>1	1
Πεπτιδογλυκάνη στο κυτταρικό τοίχωμα	x	v
Αντίδραση στα αντιβιοτικά στρεπτομυκίνη - χλωραμφενικόλη	x	v

## Τύποι Κυττάρων: Αρχαία - Βακτήρια - Ευκαρυωτικά

	<b>ΑΡΧΑΙΑ</b>	<b>ΒΑΚΤΗΡΙΑ</b>	<b>ΕΥΚΑΡΥΑ</b>
<b>Κυτταρικός τύπος</b>	<b>προκαρυωτικά</b>	<b>προκαρυωτικά</b>	<b>ευκαρυωτικά</b>
<b>Εναρκτήριο αμινοξύ</b>	<b>μεθειονίνη</b>	<b>φορμυλ-μεθειονίνη</b>	<b>μεθειονίνη</b>
<b>Ιντρόνια</b>	<b>ΝΑΙ</b>	<b>ΟΧΙ</b>	<b>ΝΑΙ</b>
<b>Μεμβρανικά Οργανίδια</b>	<b>ΟΧΙ</b>	<b>ΟΧΙ</b>	<b>ΝΑΙ</b>
<b>Δομή μεμβρανικών λιπιδίων</b>	<b>Αιθερικοί δεσμοί</b>	<b>Εστερικοί δεσμοί</b>	<b>Εστερικοί δεσμοί</b>
<b>Πυρηνικός φάκελος</b>	<b>ΟΧΙ</b>	<b>ΟΧΙ</b>	<b>ΝΑΙ</b>
<b>Αριθμός RNA πολυμερασών</b>	<b>&gt;1</b>	<b>1</b>	<b>&gt;1</b>
<b>Γενετικό υλικό</b>	<b>1 κυκλικό χρωμόσωμα</b>		<b>Πολλά χρωμοσώματα</b>
<b>Αναπαραγωγή</b>	<b>Διχοτόμηση</b>		<b>Μίτωση</b>
<b>Γενετικός ανασυνδυασμός</b>	<b>Σύζευξη, Μετασχηματισμός, Μεταγωγή</b>		<b>Μείωση - Σύζευξη</b>



**Εικόνα 13.1** Λεπτομερές φυλογενετικό δέντρο των Αρχαίων, με βάση συγκρίσεις της αλληλουχίας βάσεων του ριβοσωματικού RNA 16S. Τα θαλάσσια Ευρυαρχαιωτικά και τα θαλάσσια Κρεναρχαιωτικά είναι μέχρι τώρα γνωστά μόνο από δειγματοληψία κοινοτήτων (🧬 Τμήματα 11.6, 18.4, και 18.5).

# Διατήρηση ενέργειας και αυτοτροφίας στα Αρχαία

Αρκετά από αυτά είναι χημειοργανότροφα και καταβολίζουν την γλυκόζη διαμέσου της ελαφρά τροποποιημένης οδού Entner-Doudoroff ή της κλασσικής γλυκόλυσης. Η οξείδωση της οξικής ομάδας προς  $\text{CO}_2$  πραγματοποιείται διαμέσου του κύκλου του κιτρικού οξέος ή διαμέσου της οδού ακετυλο-CoA. Ο χημειοργανοτροφικός μεταβολισμός στα περισσότερα Αρχαία συντελείται μάλλον με την εισαγωγή ηλεκτρονίων από οργανικούς δότες ηλεκτρονίων σε μία αλυσίδα μεταφοράς των ηλεκτρονίων (κυτοχρώματα a, b, c) με αποτέλεσμα την αναγωγή  $\text{O}_2$ ,  $\text{S}^0$  ή κάποιου άλλου δέκτη ηλεκτρονίων με εμφάνιση **πρωτονιεγερτικής** δύναμης που καταλήγει σε **παραγωγή ATP**.

Στα πιο πολλά χημειολιθοτροφικά, υπερθερμόφιλα και μεθανιογόνα το  $\text{CO}_2$  ενσωματώνεται μέσω της οδού του ακετυλο-CoA ή κάποιας τροποποιημένης μορφής της. Σε άλλα υπερθερμόφιλα μέσω του αντίστροφου κύκλου του κιτρικού οξέος ή του κύκλου του Calvin.

# Ακραία αλόφιλα Αρχαία

Ζούν σε περιβάλλοντα με πολύ υψηλή αλατότητα όπως π.χ δεξαμενές αλυκών, σε φυσικές αλατούχες λίμνες ή επιφάνειες έντονα αλατισμένων τροφίμων:παστών ψαριών και κρεάτων. Ένα ακραίο αλόφιλο απαιτεί τουλάχιστον 1,5M NaCl για την ανάπτυξη του.

Τα Αρχαία (Πιν. 32) αυτά, αναπαράγονται με διχοτόμηση και δεν παράγουν ανθεκτικά σπόρια. Τα Halobacteria έχουν ακίνητα κύτταρα αλλά ορισμένα στελέχη κινούνται ελαφρώς με τη βοήθεια μαστίγιων. Τα εξαιρετικά αλόφιλα Αρχαία είναι χημειοργανότροφα και τα περισσότερα είναι υποχρεωτικά αερόβια. Ορισμένοι μικροοργανισμοί προκειμένου να ανταπεξέλθουν στις οσμωτικές πιέσεις που αναπτύσσονται σε ένα περιβάλλον υψηλής συγκέντρωσης διαλυτών συνθέτουν οργανικές ενώσεις στο εσωτερικό του κυττάρου που ονομάζονται **συμβατές διαλυμένες ουσίες**.

Οι κυτταροπλασματικές πρωτεΐνες του Halobacterium όπως και οι πρωτεΐνες του κυτταρικού τοιχώματος είναι όξινες και χρειάζονται K και Na αντίστοιχα για να γίνουν ενεργές και να διατηρηθεί η δομή τους. Περιέχουν υδρόφοβα αμινοξέα και λυσίνη σε μικρές ποσότητες καθώς και μεγάλη περιεκτικότητα σε όξινα αμινοξέα.

Το Halobacterium salinarum και μερικά άλλα ακραία αλόφιλα περιέχουν βακτηριοροδοψίνη, **αλοροδοψίνη και αισθητήριες ροδοψίνες** που παίζουν ρόλο στον φωτοτακτισμό και την **φωτοδιαμεσολαβούμενη σύνθεση ΑΤΡ**



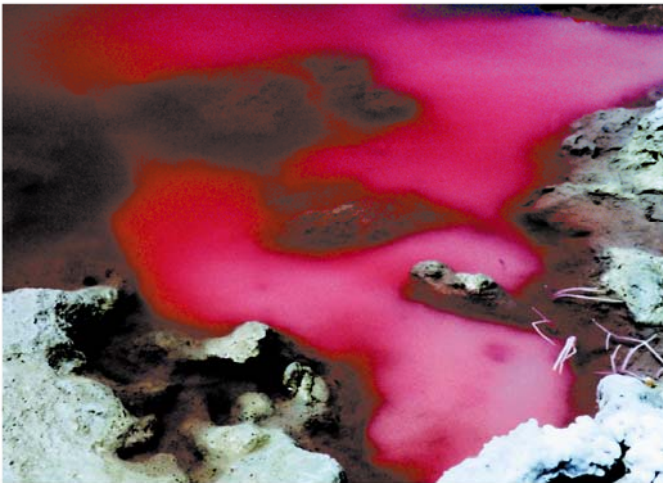
T. D. Brook

(α)



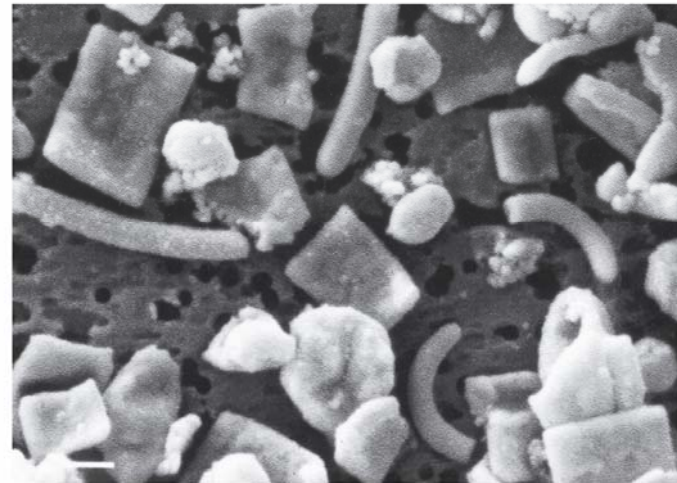
NASA

(β)



Michael T. Madigan

(γ)

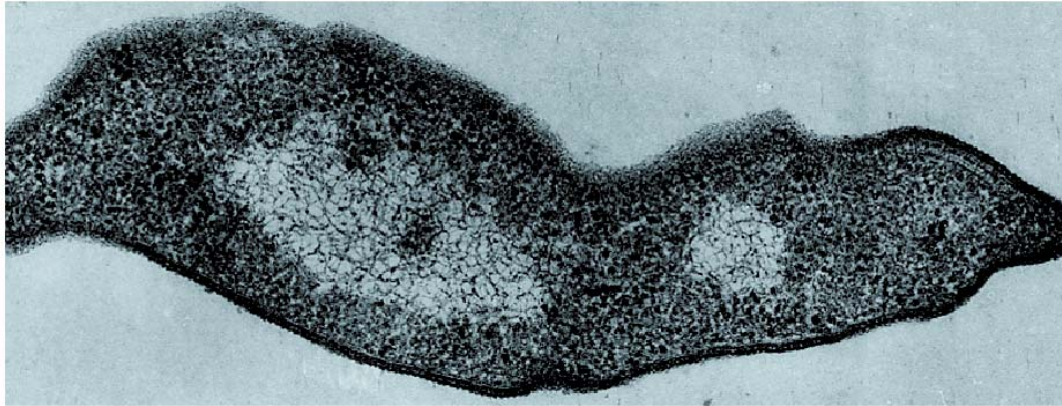


Francisco Rodriguez-Velera

(δ)

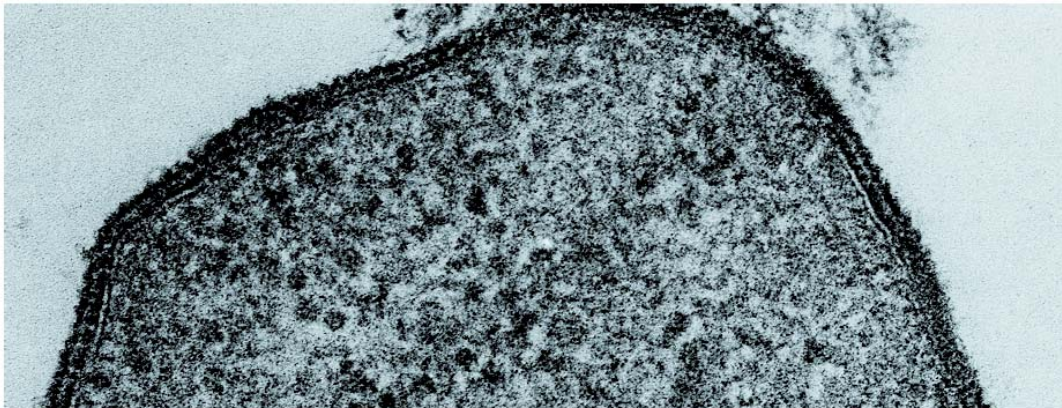
**Εικόνα 13.2** Υπεραλατούχα ενδιαστήματα αλόφιλων Αρχαίων. (α) Μεγάλη Αλμυρή Λίμνη, Πολιτεία Utah, ΗΠΑ· υπεραλατούχα λίμνη στην οποία η αναλογία των ιόντων είναι ίδια με εκείνη του θαλασσινού νερού, αλλά η απόλυτη συγκέντρωσή τους είναι περίπου δεκαπλάσια. Το πράσινο χρώμα οφείλεται κυρίως στα κύτταρα του αλόφιλου πράσινου ευκαρυωτικού φύκου, *Dunaliella salina*. (β) Αεροφωτογραφία περιοχής κοντά στον Κόλπο του Αγίου Φραγκίσκου στην Καλιφόρνια, ΗΠΑ, που δείχνει μια σειρά από δεξαμενές εξάτμισης θαλάσσιου νερού για την παραγωγή αλατιού. Το ερυθροπόρφυρο χρώμα οφείλεται πρωτίστως σε βακτηριορομπερίνες και στη βακτηριοροδοψίνη των κυττάρων του *Halobacterium*. (γ) Λίμνη Hamara, στο Wadi El Natroun της Αιγύπτου. Σε αυτή την πλούσια σε ανθρακικό νάτριο λίμνη, σε pH 10, ευδοκούν αλοσκαλεόφιλα με άφθονες χρωστικές. Παρατηρήστε την εναπόθεση τρόνας ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) γύρω από τη λίμνη. (δ) Ηλεκτρονικό μικρογράφημα σάρωσης αλόφιλων προκαρυωτών, μεταξύ των οποίων και τετράγωνων βακτηρίων, σε μια ισπανική αλυκή.





Mary Reedy

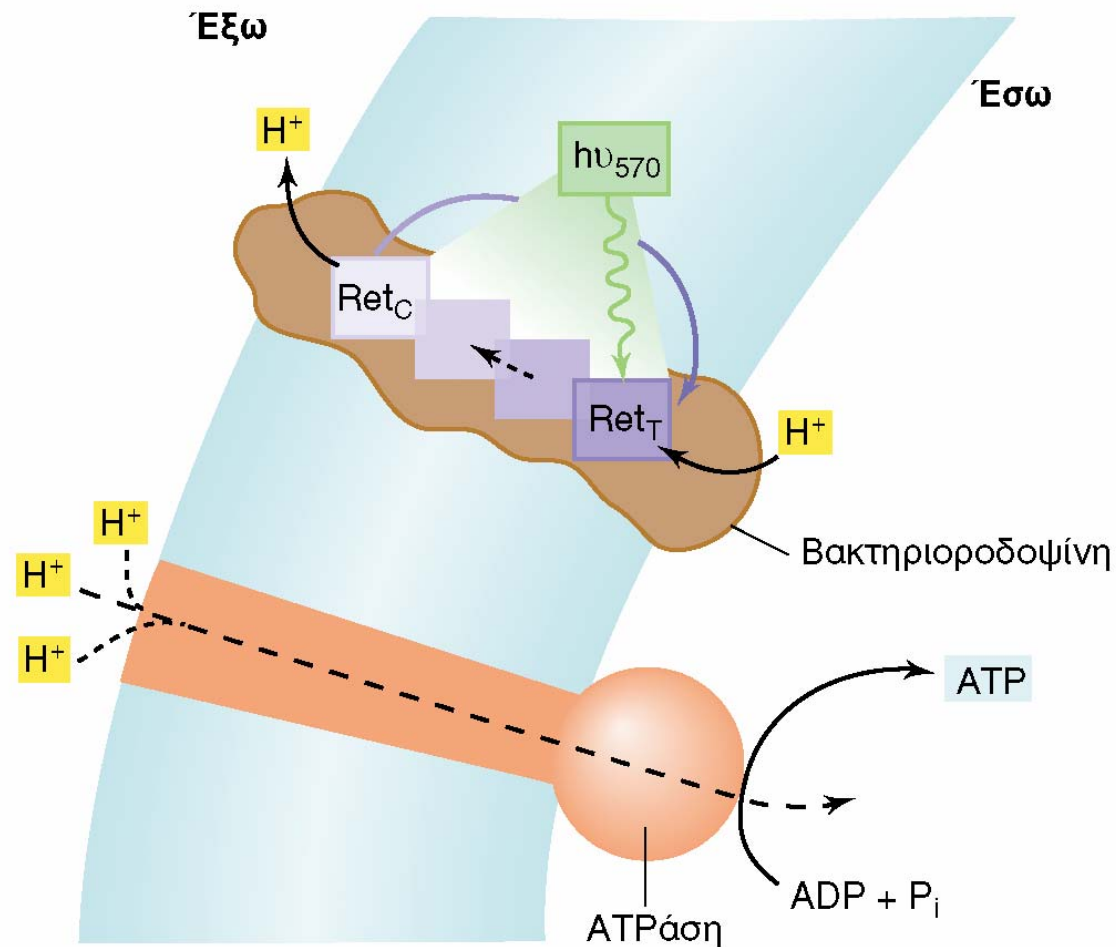
(α)



Mary Reedy

(β)

**Εικόνα 13.3** Ηλεκτρονικά μικρογραφήματα λεπτών τομών του ακραίου αλόφιλου *Halobacterium salinarum*. Διάμετρος κυτάρου: 0,8  $\mu\text{m}$ . (α) Διαμήκης τομή. (β) Ηλεκτρονικό μικρογράφημα σε μεγάλη μεγέθυνση, που δείχνει ότι η δομή του κυτταρικού τοιχώματος αποτελείται από υπομονάδες γλυκοπρωτεΐνης.



**Εικόνα 13.4** Μοντέλο του μηχανισμού δράσης της βακτηριοροδοψίνης. Φως στα 570 nm ( $h\nu_{570}$ ) μετατρέπει την πρωτονιωμένη ρετινάλη της βακτηριοροδοψίνης από τη μορφή *trans* ( $Ret_T$ ) στη μορφή *cis* ( $Ret_C$ ), παράλληλα με τη μετατόπιση ενός πρωτονίου στην εξωτερική επιφάνεια της μεμβράνης, δημιουργώντας έτσι μια διαβάθμιση πρωτονίων ικανή να αποδώσει πρωτονιεγερτική δύναμη. Η δράση της ATPάσης (🌀 Τμήμα 5.12) καθοδηγείται από την πρωτονιεγερτική δύναμη.

Γένος	Μορφολογία	Αριθμός ειδών	DNA (mol % GC)	Ενδιαίτημα
<b>Ακραία αλόφιλα</b> <i>Halobacterium</i>	Βακτηρίες	1	66-71	Παστά ψάρια· δέρματα· υπεραλατούχες λίμνες· αλυκές
<i>Halorubrum</i>	Βακτηρίες	7	62-71	Νεκρά θάλασσα, αλυκές
<i>Halobaculum</i>	Βακτηρίες	1	70	Νεκρά θάλασσα
<i>Haloferax</i>	Πεπλατυσμένοι δίσκοι	4	60-66	Νεκρά θάλασσα· αλυκές
<i>Haloarcula</i>	Ακανόνιστοι δίσκοι	7	63-65	Μικρές αλατούχες λίμνες· Κοιλάδα Κοιλάδα του Θανάτου, Καλιφόρνια, ΗΠΑ· αλυκές
<i>Halococcus</i>	Κόκκοι	3	59-66	Παστά ψάρια· αλυκές
<i>Halogeometricum</i>	Βακτηρίες	1	59-60	Αλυκές
<i>Haloterrigena</i>	Βακτηρίες, ελλειψοειδή	1	59-60	Αλατούχο έδαφος
<b>Αλοαλκαλεόφιλα</b> <i>Natronobacterium</i>	Βακτηρίες	1	65	Πολύ αλμυρές λίμνες πλούσιες σε Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
<i>Natrinema</i>	Βακτηρίες	2	70	Παστά ψάρια· δέρματα
<i>Natrialba</i>	Βακτηρίες	2	60-63	Λίμνες· άμμος θαλάσσης
<i>Natronomonas</i>	Βακτηρίες	1	61-64	Λίμνες πλούσιες σε Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
<i>Natronococcus</i>	Κόκκοι	2	63-64	Λίμνες πλούσιες σε Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
<i>Natronorubrum</i>	Πεπλατυσμένα κύτταρα	2	59-60	Λίμνες πλούσιες σε Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>

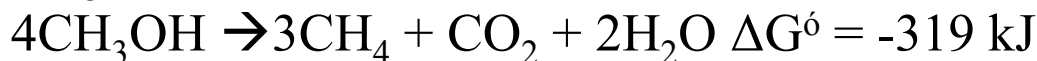
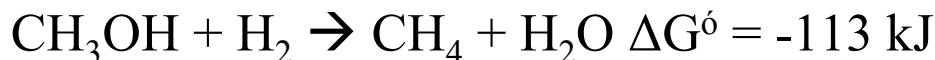
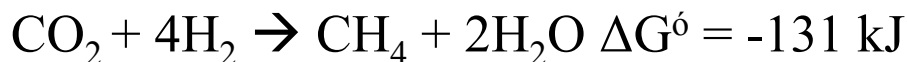
**Πίνακας 32:** Τα γένη των ακραίων αλόφιλων Αρχαίων.

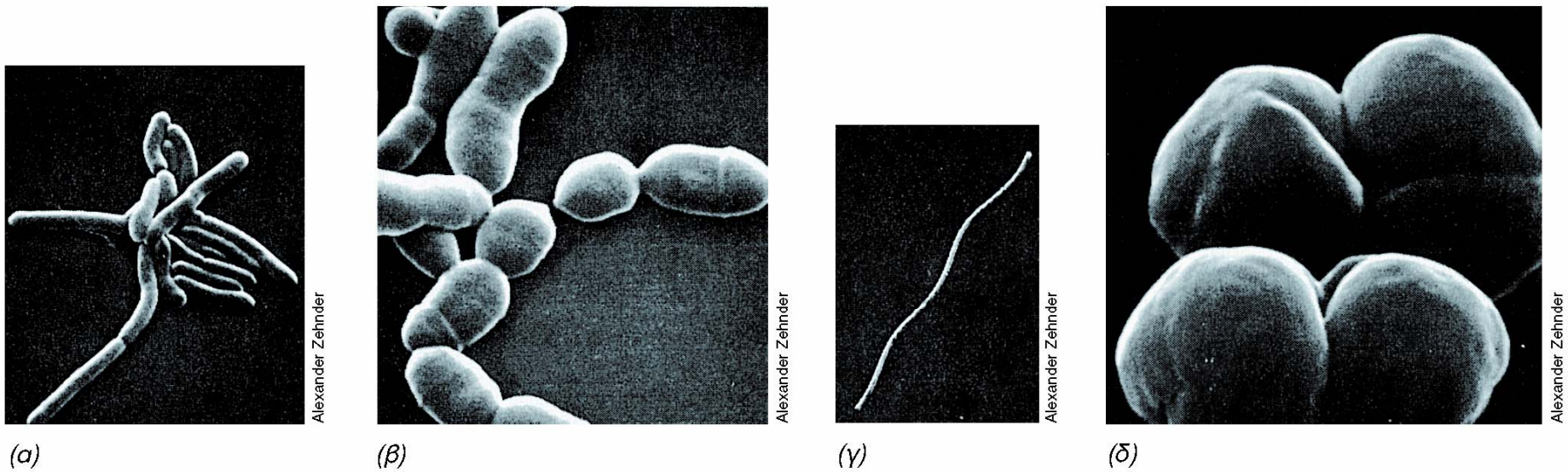
# Παραγωγή Μεθανίου από Αρχαία Μεθανιογόνα

Παραγωγή μεθανίου αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του ενεργειακού μεταβολισμού σε πολλά **Ευρυαρχαιωτικά**. Τα κύτταρα των μεθανιογόνων (Πιν. 33) εμφανίζουν ποικιλομορφία όσον αφορά τη χημική σύσταση των κυτταρικών τοιχωμάτων τους → **ψευδοπεπτιδογλυκανικά τοιχώματα** (Methanobacterium), **μεθανιοχονδροϊτινικά** (Methanosarcina), πρωτεϊνικά ή γλυκοπρωτεϊνικά (Methanocaldococcus) (Εικ. 21α) και **στοιβάδες τύπου S** (Methanospirillum).

Η ανάπτυξη τους πραγματοποιείται σε θρεπτικά μέσα με ανόργανα άλατα, σε ατμόσφαιρα H<sub>2</sub> και CO<sub>2</sub> ή σε σύνθετα μέσα. Είναι υποχρεωτικώς αναερόβια. Τα περισσότερα είναι μεσόφιλα αν και υπάρχουν επίσης «ακραιόφιλα».

Υποστρώματα για μεθανιογένεση:



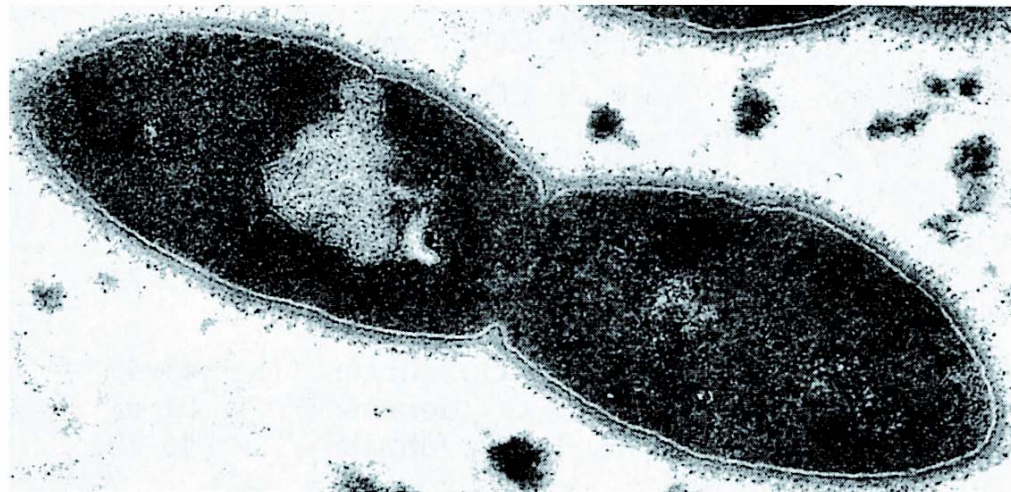


**Εικόνα 13.6**

Ηλεκτρονικά μικρογραφήματα σάρωσης κυττάρων μεθανιογόνων *Αρχαίων*, που δείχνουν τη σημαντική ποικιλομορφία τους. (α)

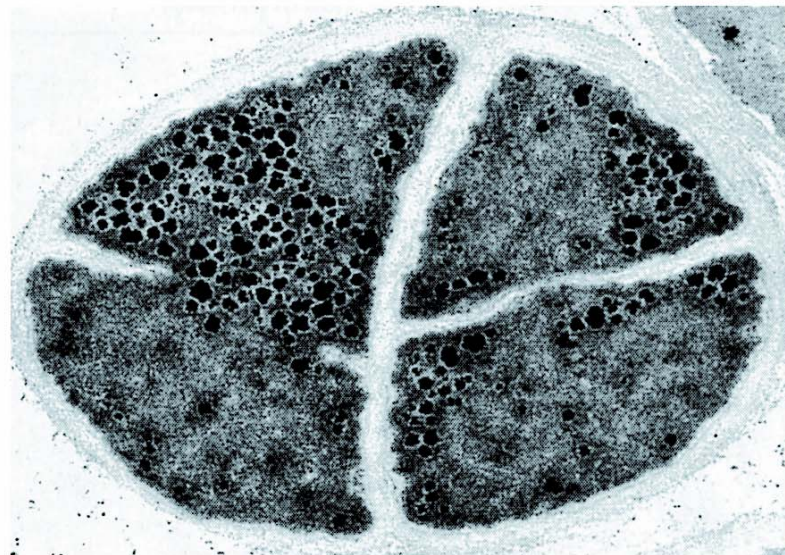
*Methanobrevibacter ruminantium*. Διάμετρος κυττάρου: περί τα 0,7 μm. (β) *Methanobrevibacter arboriphilus*. Διάμετρος κυττάρου: περί το 1 μm. (γ)

*Methanospirillum hungatii*. Διάμετρος κυττάρου: περί τα 0,4 μm. (δ) *Methanosarcina barkeri*. Διάμετρος κυττάρου: περί τα 1,7 μm.



J. G. Zeikus and V. G. Bowen

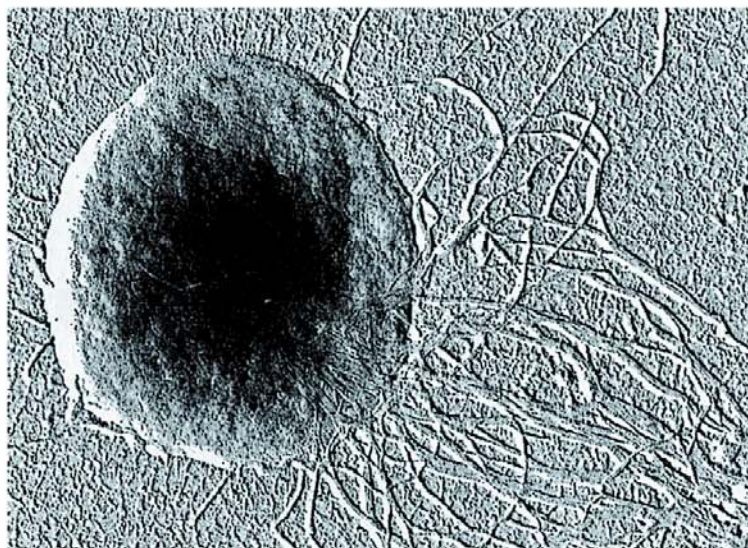
(a)



J. G. Zeikus and V. G. Bowen

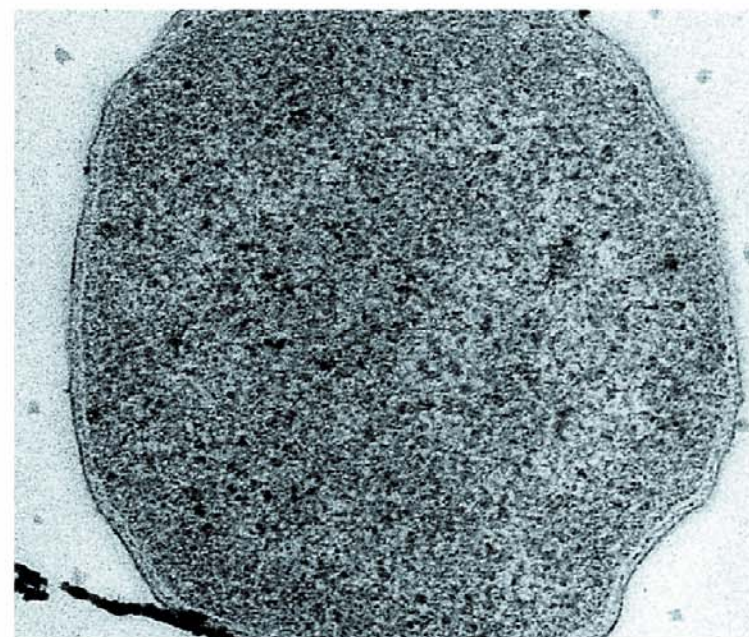
(β)

**Εικόνα 13.7** Ηλεκτρονικά μικρογραφήματα διέλευσης λεπτών τομών μεθανιογόνων Αρχαίων. (a) *Methanobrevibacter ruminantium*. Διάμετρος κυτάρου: 0,7 μm. (β) *Methanosarcina barkeri*: φαίνεται το παχύ κυτταρικό τοίχωμα και ο τρόπος κατάτμησης και δημιουργίας εγκάρσιων τοιχωμάτων. Διάμετρος κυτάρου: 1,7 μm. Το κυτταρικό τοίχωμα του *M. ruminantium* περιέχει ψευδοπεπτιδογλυκάνη (🔗 Εικόνα 4.34a), ενώ αυτό του *M. barkeri* αποτελείται από πρωτεΐνη και πολυσακχαρίτες.



Helmut König and K. O. Stetter

(α)



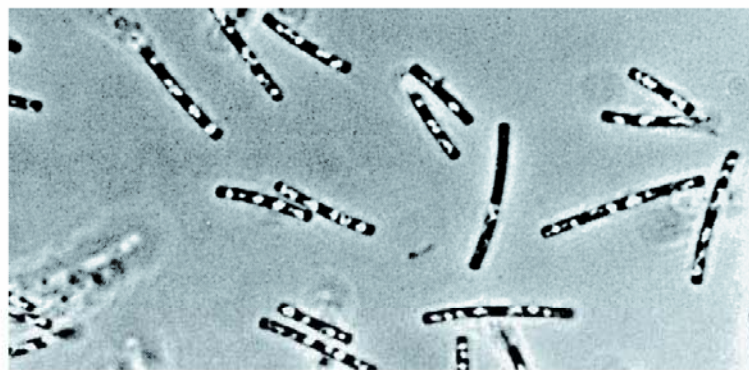
R. Rachel and K. O. Stetter

(β)



König/Stetter

(γ)



Stephen Zinder

(δ)

**Εικόνα 13.8** Υπερθερμόφιλα και θερμοφιλα μεθανιογόνα. (α) *Methanocaldococcus jannaschii* (άριστη θερμοκρασία αύξησης: 85°C)· ηλεκτρονικό μικρογράφημα παρασκευάσματος με σκίαση. Διάμετρος κυττάρου: περί το 1 μm. (β) *Methanotorris igneus* (άριστη θερμοκρασία αύξησης: 88°C)· λεπτή τομή. Διάμετρος κυττάρου: περί το 1 μm. (γ) *Methanothermus fervidus* (άριστη θερμοκρασία αύξησης: 88°C), ηλεκτρονικό μικρογράφημα λεπτής τομής. Διάμετρος κυττάρου: περί τα 0,4 μm. (δ) *Methanosaeta thermophila* (άριστη θερμοκρασία αύξησης: 60°C)· μικροφωτογραφία αντίθεσης φάσεων. Διάμετρος κυττάρου: περί το 1 μm. Τα διαθλαστικά σωματίδια που φαίνονται μέσα στα κύτταρα είναι αεροκυστίδια.

Γένος	Μορφολογία	Αριθμός ειδών	Υποστρώματα για μεθανιογένεση	DNA (mol % GC)
<b>Methanobacteriales</b>				
<i>Methanobacterium</i>	Μακρές βακτηρίες	8	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> , μυρμηκικό	30-55
<i>Methanobrevibacter</i>	Βραχείες βακτηρίες	7	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> , μυρμηκικό	27-31
<i>Methanosphaera</i>	Κόκκοι	2	Μεθανόλη + H <sub>2</sub> (αμφότερα απαραίτητα)	23-26
<i>Methanothermus</i>	Βακτηρίες	2	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> · μπορεί επίσης να ανάγει S <sup>0</sup> . υπερθερμόφιλο	33
<i>Methanothermobacter</i>	Βακτηρίες	6	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> , μυρμηκικό, θερμόφιλο	32-61
<b>Methanococcales</b>				
<i>Methanococcus</i>	Ακανόνιστοι κόκκοι	3	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> , πυροσταφυλικό + CO <sub>2</sub> , μυρμηκικό	29-35
<i>Methanothermococcus</i>	Κόκκοι	1	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> , μυρμηκικό	31-34
<i>Methanocaldococcus</i>	Κόκκοι	4	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub>	31-33
<i>Methanotomix</i>	Κόκκοι	1	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub>	31
<b>Methanomicrobiales</b>				
<i>Methanomicrobium</i>	Βραχείες βακτηρίες	1	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> , μυρμηκικό	49
<i>Methanogenium</i>	Ακανόνιστοι κόκκοι	4	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> , μυρμηκικό	47-52
<i>Methanospirillum</i>	Σπείραμα	1	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> , μυρμηκικό	45-50
<i>Methanoplanus</i>	Κύτταρα σε σχήμα πινακίου — φαίνονται σαν λεπτές πλάκες με εμφανή άκρα	3	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> , μυρμηκικό	39-50
<i>Methanocorpusculum</i>	Ακανόνιστοι κόκκοι	4	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> , μυρμηκικό, αλκοόλες	48-52
<i>Methanoculleus</i>	Ακανόνιστοι κόκκοι	6	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> , αλκοόλες, μυρμηκικό	49-61
<i>Methanofollis</i>	Ακανόνιστοι κόκκοι	2	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> , μυρμηκικό	54-60
<i>Methanolacinia</i>	Ακανόνιστες βακτηρίες	1	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> , αλκοόλες	38-45
<b>Methanosarcinales</b>				
<i>Methanosarcina</i>	Μεγάλοι ακανόνιστοι κόκκοι σε πακέτα	5	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> , μεθανόλη, μεθυλαμίνες, οξικό	36-43
<i>Methanolobus</i>	Ακανόνιστοι κόκκοι σε συσσωματώματα	5	Μεθανόλη, μεθυλαμίνες	39-46
<i>Methanohalobium</i>	Ακανόνιστοι κόκκοι	1	Μεθανόλη, μεθυλαμίνες· αλοφιλικά	37
<i>Methanococcooides</i>	Ακανόνιστοι κόκκοι	2	Μεθανόλη, μεθυλαμίνες	42
<i>Methanohalophilus</i>	Ακανόνιστοι κόκκοι	3	Μεθανόλη, μεθυλαμίνες μεθυλοσουλφίδια· αλόφιλα	39-41
<i>Methanosaeta</i>	Μακρές βακτηρίες έως νημάτια	2	Οξικό	52-61
<i>Methanosalsum</i>	Ακανόνιστοι κόκκοι	1	Μεθανόλη, μεθυλαμίνες, διμεθυλοσουλφίδια	38-40
<b>Methanopyrales</b>				
<i>Methanopyrus</i>	Βακτηρίες σε αλυσίδες	1	H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> · υπερθερμόφιλο, ανάπτυξη στους 110°C	60

<sup>a</sup> Οι (ταξινόμικές) τάξεις γράφονται με παχιά γράμματα.

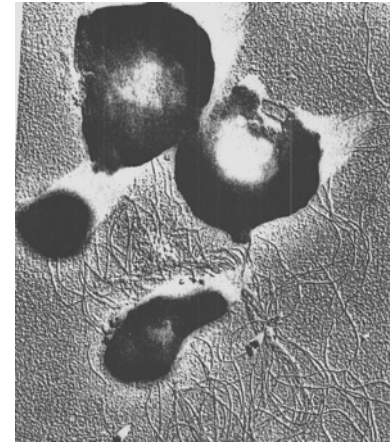
**Πίνακας 33:** Τα χαρακτηριστικά των μεθανιογόνων Αρχαίων .





Είναι **θερμόφιλοι και ακραίοι οξεόφιλοι** προκαρυώτες.

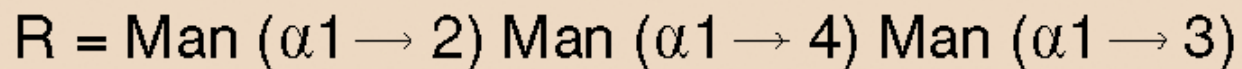
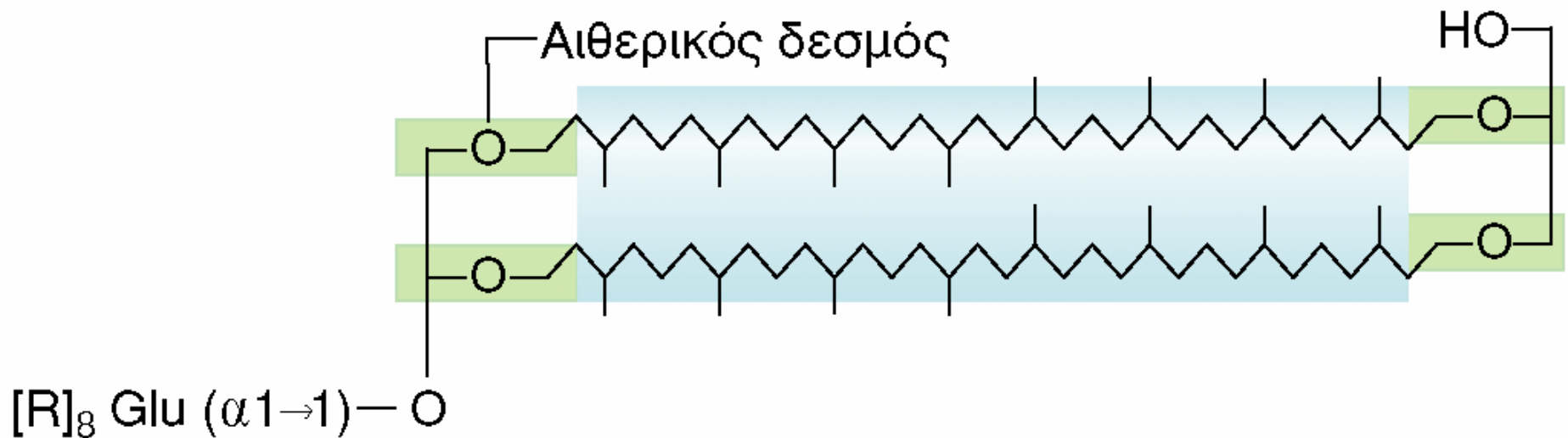
Το γένος **Thermoplasma** (Εικ. 21β) αποτελείται από χημειοργανότροφους οργανισμούς που αναπτύσσονται άριστα σε σύνθετα υλικά σε θερμοκρασία 55°C και pH 2. Είναι προαιρετικοί αερόβιοι και μοιάζουν με μυκοπλάσματα διότι **δεν έχουν κυτταρικό τοίχωμα**. Η κυτταρική τους μεμβράνη έχει τετραιθερικά λιπίδια με μονάδες **μαννόζης** και **γλυκόζης** που αντέχει στις οσμωτικές πιέσεις. Η απομόνωση τους λαμβάνει μέρος από αυτοθερμαινόμενους σωρούς αποβλήτων γαιάνθρακα.



**Thermoplasma  
volcanicum**

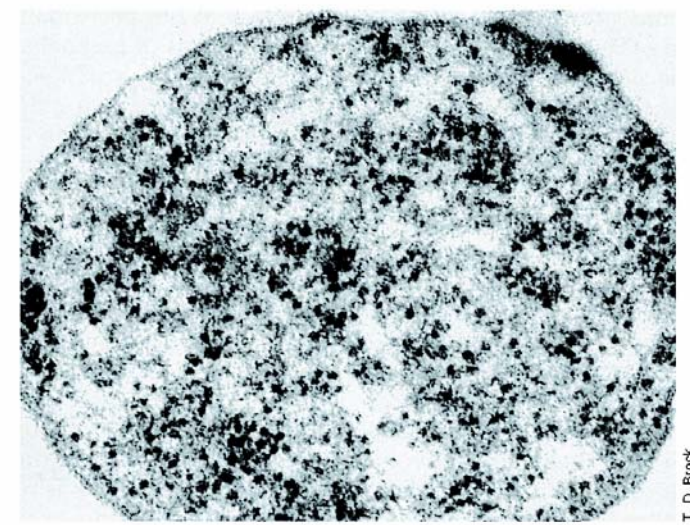
Το γένος **Ferroplasma** είναι χημειολιθότροφο, οξεόφιλο και μη θερμόφιλο. Δεν έχει κυτταρικό τοίχωμα και οξειδώνει  $Fe^{2+}$  προς  $Fe^{3+}$  για παραγωγή ενέργειας χρησιμοποιώντας  $CO_2$  ως πηγή άνθρακα. Αναπτύσσεται σε ακραία τμήματα ορυχείων που περιέχουν πυρίτη.

Το **Picrophilus** είναι **ακραίο οξεόφιλο (έως pH -0,06)**. Η απομόνωση του πραγματοποιείται από τις ιαπωνικές σολφατάρες. Η κυτταρική του μεμβράνη έχει ασυνήθιστη διάταξη λιπιδίων αδιαπέραστη από τα οξέα.



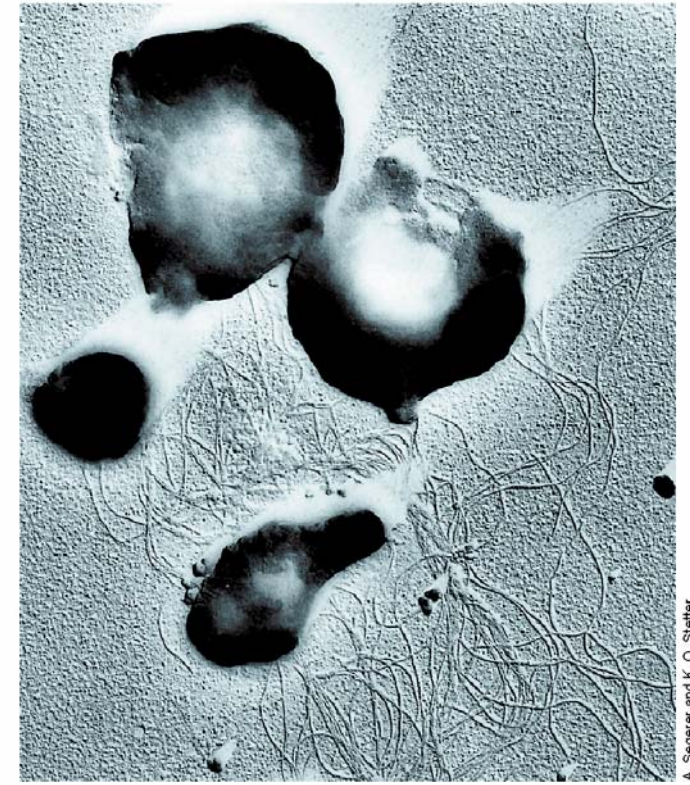
**Εικόνα 13.11** Δομή της τετρααιθερικής λιπογλυκάνης του *Thermoplasma acidophilum*. Glu = Γλυκόζη, Man = Μαννόζη. Παρατηρήστε τους αιθερικούς δεσμούς (με πράσινο χρώμα) (🔗 συγκρίνετε με την Εικόνα 4.20β).

**Εικόνα 13.9** Είδη του γένους *Thermoplasma*. (α) *Thermoplasma acidophilum*, ένα οξεόφιλο, θερμοφιλό Αρχαίο που μοιάζει με μυκόπλασμα. Ηλεκτρονικό μικρογράφημα λεπτής τομής. Η διάμετρος του κυττάρου ποικίλλει πολύ, από 0,2 έως 5 μm. Το συγκεκριμένο κύτταρο έχει διάμετρο περί το 1 μm. (β) Σκιασμένο παρασκεύασμα κυττάρων του *Thermoplasma volcanium*, που απομονώθηκε από θερμή πηγή. Διάμετρος κυττάρων: 1-2 μm. Παρατηρήστε τον μεγάλο αριθμό μαστιγίων.



T. D. Brock

(α)



A. Seeger and K. O. Stetter

(β)



T. D. Brock

### Εικόνα 13.10

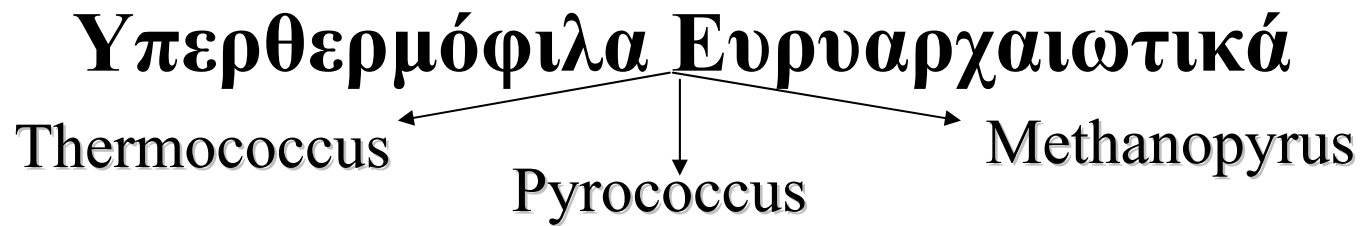
Ένας τυπικός αυτοθερμαινόμενος σωρός αποβλήτων γαιάνθρακα, ενδιαίτημα του *Thermoplasma*. (α) Η αυθόρμητη παραγωγή θερμότητας μπορεί να προκαλέσει ανάφλεξη στη γύρω βλάστηση. (β) Φωτογραφία ενός μεγάλου θερμού σωρού αποβλήτων.

(α)



T. D. Brock

(β)



Έχουν θερμοκρασιακό άριστο πάνω από τους 80° C.

Το γένος *Thermococcus* αποτελείται από μονοκύτταρα σφαιρικά υπερθερμόφιλα Ευρυαρχαιωτικά που ενδημούν σε ανοξικά θερμά υδάτινα περιβάλλοντα. Είναι αναερόβια χημειοργανότροφα που καταβολίζουν πρωτεΐνες και άλλες σύνθετες οργανικές ουσίες μεταξύ των οποίων και σάκχαρα. Χρησιμοποιούν δε στοιχειακό θείο ως δέκτη ηλεκτρονίων και αναπτύσσονται στους 70-95°C.

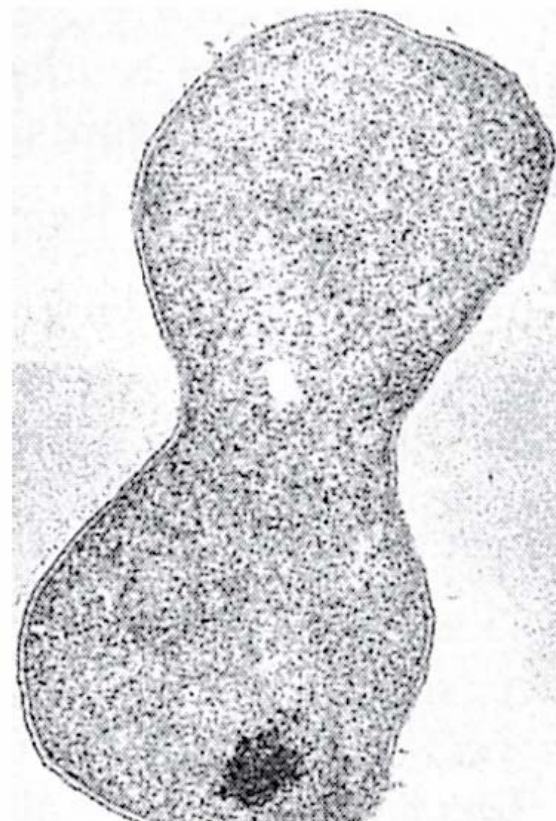
Τα αρχαία του γένους *Pyrococcus* αναπτύσσονται στους 70-106°C και οξειδώνουν πρωτεΐνες, άμυλο ή μαλτόζη ως δότες ηλεκτρονίων ενώ ο τελικός δέκτης ηλεκτρονίων είναι το στοιχειακό θείο που ανάγεται προς υδρόθειο.

Τα αρχαία του γένους *Methanopyrus* είναι **υπερθερμόφιλα μεθανιογόνα** αρχαία. Έχουν απομονωθεί από ιζήματα κοντά σε υποθαλάσσιες υδροθερμικές πηγές μεγάλου βάθους. Χρησιμοποιούν κυκλικό 2,3-διφωσφογλυκερικό Κ,1 Μ ή και μεγαλύτερης συγκέντρωσης ως **θερμοσταθεροποιητικό παράγοντα** στην αποτροπή μετουσίωσης των ενζύμων και του DNA.



H. König and K. O. Stetter

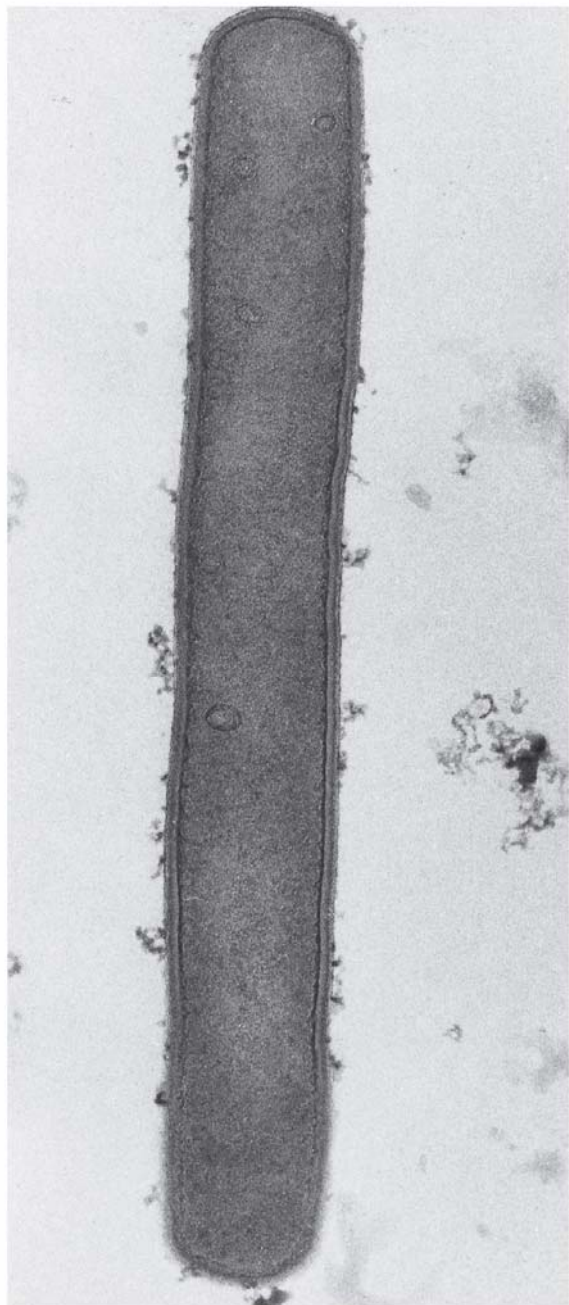
(α)



G. Fiala and K. O. Stetter

(β)

**Εικόνα 13.12** Σφαιρικά υπερθερμόφιλα *Αρχαία* από υποθαλάσσιες ηφαιστειακές περιοχές. (α) *Thermococcus celer*. Ηλεκτρονικό μικρογράφημα σκιασμένων κυττάρων (παρατηρήστε τον θύσανο των μαστιγίων). (β) Κύτταρο *Pyrococcus furiosus*, στη διαδικασία της διαίρεσης. Ηλεκτρονικό μικρογράφημα λεπτής τομής. Διάμετρος κυττάρων και των δύο οργανισμών, περί τα 0,8 μm.



R. Rachel and K. O. Stetter



(β)

**Εικόνα 13.13** *Methanopyrus*. Αναπτύσσεται άριστα στους 100°C και παράγει CH<sub>4</sub> μόνο από CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>. (α) Ηλεκτρονικό μικρογράφημα κυττάρου του *Methanopyrus kandleri*, του πλέον θερμόφιλου από όλα τα γνωστά μεθανιογόνα (ανώτατο όριο θερμοκρασίας, 110°C). Διαστάσεις κυττάρου: 0,5 × 8 μm. (β) Δομή του μοναδικού λιπιδίου του *M. kandleri*. Είναι το φυσιολογικό αιθεροσυνδεδεμένο λιπίδιο των Αρχαίων (🔗 Τμήμα 4.5), με εξαίρεση το ότι οι πλευρικές αλυσίδες του είναι μια *ακόρεστη* μορφή του φυτανυλίου, που ονομάζεται *γερανυλογερανιόλη*. Πιστεύεται ότι αυτό το ασυνήθιστο λιπίδιο προϋπήρξε των κορεσμένων φυτανυλολιπιδίων, και ότι το *Methanopyrus* είναι απόγονος μιας αρχέγονης γενεαλογικής γραμμής των Αρχαίων. Τα δεδομένα της Εικόνας 13.1 στηρίζουν αυτή την υπόθεση.

(α)

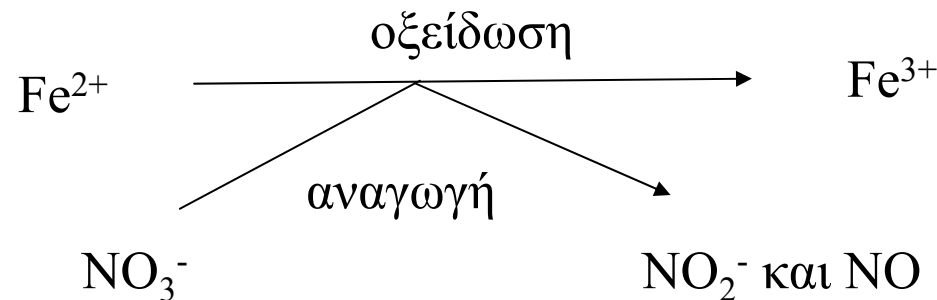
# Υπερθερμόφιλα Ευρυαρχαιωτικά

Archaeoglobus

Ferroglobus

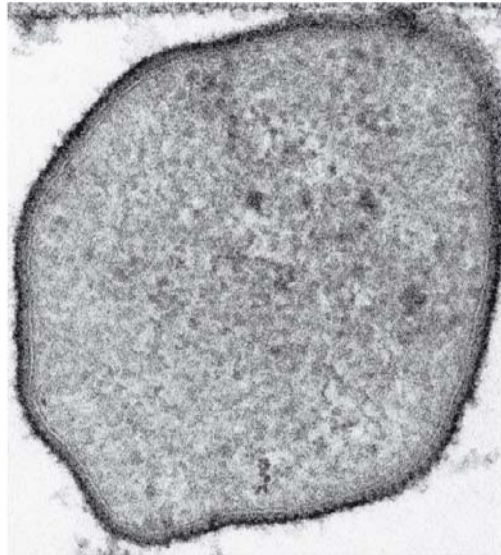
Το γένος Archaeoglobus απομονώνεται από πολύ θερμά θαλάσσια ιζήματα κοντά σε υδροθερμικές πηγές, Συνδυάζει την οξείδωση  $H_2$ , γαλακτικού οξέος, πυροσταφυλικού οξέος, γλυκόζης ή σύνθετων οργανικών ενώσεων με την αναγωγή  $SO_4^{2-}$  ή  $SO_3^{2-}$ . Αναπτύσσεται στους  $85^\circ C$  και τα κύτταρα του είναι ακανόνιστοι κόκκοι.

Το γένος Ferroglobus αποτελείται από **χημειολιθοτροφικά αυτότροφα** αρχαία. Έχουν απομονωθεί από αβαθείς θαλάσσιες υδροθερμικές πηγές και έχουν άριστη θερμοκρασία ανάπτυξης τους  $85^\circ C$ .



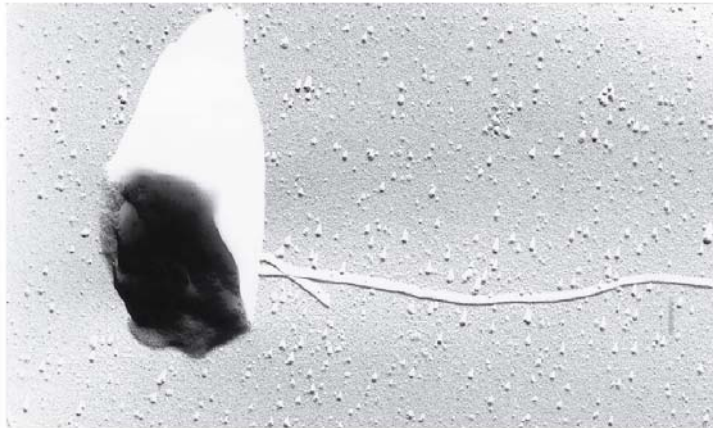
Χρησιμοποιούν επίσης  $H_2$  ή  $H_2S$  ως δότες ηλεκτρονίων στον ενεργειακό μεταβολισμό τους.





R. Rachel and K. O. Stetter

(α)



R. Rachel and K. O. Stetter

(β)

**Εικόνα 13.14** Archaeoglobales. (α) Ηλεκτρονικό μικρογράφημα διέλευσης του θειοαναγωγικού υπερθερμόφιλου *Archaeoglobus fulgidis*. Διάμετρος κυττάρου: 0,7 μm. (β) Ηλεκτρονικό μικρογράφημα δείγματος του *Ferroglobus placidus*, ενός υπερθερμόφιλου που οξειδώνει  $Fe^{2+}$  και ανάγει  $NO_3^-$ , επεξεργασμένου με τη μέθοδο της ψυκτοεξάχνωσης. Διάμετρος κυττάρου: 0,8 μm.

# Ενδαιιτήματα και ενεργειακός μεταβολισμός των Κρεναρχαιωτικών

Ενδαιιτήματα: (Πιν. 34).

Είναι υποχρεωτικώς αναερόβια με ελάχιστες εξαιρέσεις, επίσης είναι χημειοργανότροφα ή χημειολιθότροφα. Σπάνια παρατηρείται ζύμωση. Πολλά υπερθερμόφιλα αναπτύσσονται σε ανοξικές συνθήκες χρησιμοποιώντας  $H_2$  ως δότη και  $S^0$  ή  $NO_3^-$  ως δέκτη ηλεκτρονίων. Μπορούν επίσης να οξειδώνουν  $H_2$  αεροβίως (Πιν. 35,36).

Χαρακτηριστικά	Θερμική περιοχή <sup>a</sup>		Μη θερμική περιοχή <sup>b</sup>
	Χερσαία	Θαλάσσια	
Θέση	Σολφατάρες (θερμές πηγές, φουμαρόλες, θερμή ιλύς, γεωθερμικά εδάφη)· γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ενέργειας· βαθιά στον φλοιό της Γης	Υποθαλάσσιες θερμές πηγές, θερμά ιζήματα μικρού και μεγάλου βάθους («black smoker»), βαθιά κοιτάσματα πετρελαίου	Ωκεάνιο πλαγκτό σε όλο τον κόσμο. παράκτια και βαθιά νερά της Ανταρκτικής· θαλάσσιοι πάγοι· συμβίωση με θαλάσσιους σπόγγους
Θερμοκρασία	Επιφανειακά έως 100°C· κάτω από την επιφάνεια, πάνω από 100°C	Έως 400°C («black smoker»)	-2° έως + 4°C
Αλατότητα/pH	Συνήθως κάτω από 1% NaCl· pH 0,5-9	Μέτρια, περίπου 3% NaCl· pH 5-9	3-8% NaCl· pH 7-9
Αέρια και άλλες θρεπτικές ουσίες	CO <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, S <sup>0</sup> , S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , N <sub>2</sub>	Ίδια με τη χερσαία	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> · χημειολιθοτροφικά υποστρώματα, π.χ. NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>

**Πίνακας 34:** Τα ενδιαιτήματα των Crenarchaeota.



T. D. Brock

(α)



T. D. Brock

(β)

**Εικόνα 13.15** Ενδιαστήματα υπερθερμόφιλων Αρχαίων. (α) Τυπική σολφατάρα στο Εθνικό Πάρκο Yellowstone, των ΗΠΑ. Ατμός πλούσιος σε υδρόθειο διαφεύγει στην επιφάνεια της Γης. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και οξύτητας, μόνο προκαρυωτικοί οργανισμοί αναπτύσσονται. (β) Θερμή πηγή πλούσια σε θείο, με πυκνούς πληθυσμούς *Sulfolobus*. Η οξύτητα των σολφατάρων και των θειούχων πηγών οφείλεται στην οξείδωση του  $H_2S$  και του  $S^0$  προς  $H_2SO_4$  (θειικό οξύ) από τον *Sulfolobus* και άλλους συγγενικούς προκαρυώτες. (γ) Τυπική αναβράζουσα πηγή ουδέτερου pH, στο Yellowstone. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον μπορεί να αναπτύσσονται πολλά διαφορετικά είδη υπερθερμόφιλων Αρχαίων. (δ) Όξινη, πλούσια σε σίδηρο γεωθερμική πηγή, άλλο ένα ενδιαίτημα του *Sulfolobus*. Εδώ, η οξείδωση του  $Fe^{2+}$  προς  $Fe^{3+}$  δημιουργεί όξινες συνθήκες  $[Fe^{3+} + 3 H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 + 3 H^+]$ .



T. D. Brock

(γ)



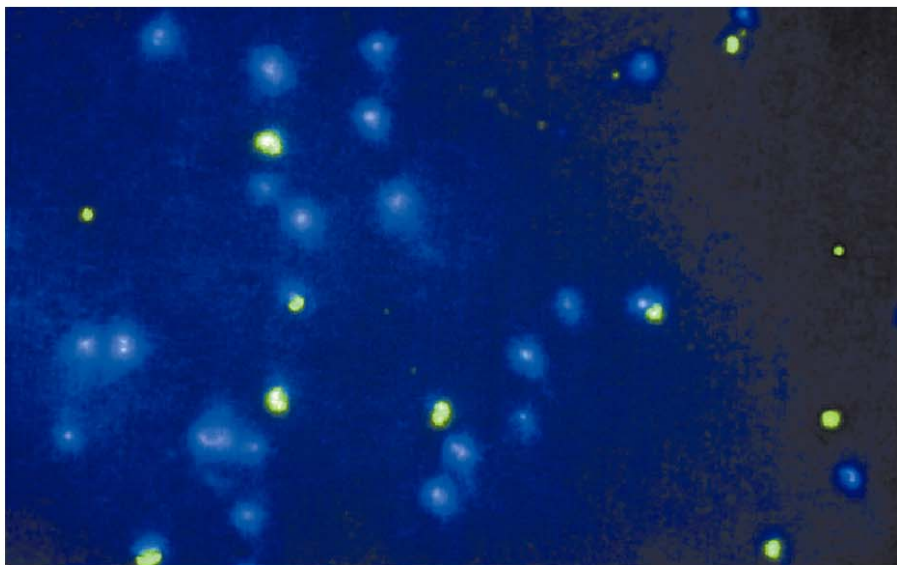
T. D. Brock

(δ)



Ed DeLong

(α)



Ed DeLong

(β)

**Εικόνα 13.16** Ψυχρόφιλα Κρεναρχαιωτικά. (α) Φωτογραφία της Ανταρκτικής Χερσονήσου, όπως φαίνεται από πλοίο. Τα πολύ ψυχρά νερά που βρίσκονται κάτω από τους πάγους αποτελούν τυπικά ενδιαίτηματα ψυχρόφιλων Κρεναρχαιωτικών. (β) Μικροφωτογραφία φθορισμού θαλασσινού νερού επεξεργασμένου με φυλογενετική χρωστική αποτελούμενη από μια πράσινη φθορίζουσα χρωστική που είναι προσδεδεμένη σε ένα ολιγονουκλεοτίδιο συμπληρωματικό μιας αλληλουχίας-υπογραφής στο rRNA 16S ορισμένων ειδών Κρεναρχαιωτικών (🌀 Τμήμα 11.6, για μια περιγραφή της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε εδώ). Τα κυανά κύτταρα έχουν χρωσθεί με DAPI, που χρωματίζει όλα τα κύτταρα (🌀 Τμήμα 18.3 και Εικόνα 18.6). Επομένως, τα πράσινα κύτταρα είναι ψυχρόφιλα Κρεναρχαιωτικά. Βλ. Τμήμα 19.6 και Εικόνα 19.13, για μια περιγραφή των *Βακτηρίων* και των *Αρχαίων* που απαντούν στα ανοιχτά νερά των ωκεανών.

Θρεπτική κατηγορία	Αντίδραση παραγωγής ενέργειας	Μεταβολικός τύπος <sup>a</sup>	Παράδειγμα
Χημειοοργανότροφα	$\text{Οργανική ένωση} + \text{S}^0 \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{CO}_2$	AnR	<i>Thermoproteus, Thermococcus, Desulfurococcus, Thermofilum, Pyrococcus</i>
	$\text{Οργανική ένωση} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{CO}_2$	AnR	<i>Archaeoglobus</i>
	$\text{Οργανική ένωση} + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$	AeR	<i>Sulfolobus</i>
	$\text{Οργανική ένωση} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2 + \text{λιπαρά οξέα}$	F	<i>Staphylothermus, Pyrodictium</i>
	$\text{Πυροσταφυλικό} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2 + \text{οξικό}$	F	<i>Pyrococcus</i>
Χημειολιθότροφα	$\text{H}_2 + \text{S}^0 \rightarrow \text{H}_2\text{S}$	AnR	<i>Acidianus, Pyrodictium, Thermoproteus, Stygiolobus, Ignicoccus</i>
	$\text{H}_2 + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$ (το $\text{NO}_2^-$ ανάγεται σε $\text{N}_2$ από μερικά είδη)	AnR	<i>Pyrobaculum</i>
	$4 \text{H}_2 + \text{NO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+ + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{OH}^-$	AnR	<i>Pyrolobus</i>
	$\text{H}_2 + 2 \text{Fe}^{3+} \rightarrow 2 \text{Fe}^{2+} + 2 \text{H}^+$	AnR	<i>Pyrobaculum, Pyrodictium, Archaeoglobus</i>
	$2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$	AeR	<i>Acidianus, Sulfolobus, Pyrobaculum</i>
	$2 \text{S}^0 + 3 \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2\text{SO}_4$	AeR	<i>Sulfolobus, Acidianus</i>
	$2 \text{FeS}_2 + 7 \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{FeSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{SO}_4$	AeR	<i>Sulfolobus, Acidianus, Metallosphaera</i>
	$2 \text{FeCO}_3 + \text{NO}_3^- + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{NO}_2^- + 2 \text{HCO}_3^- + 2 \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$	AnR	<i>Ferroglobus</i>
	$4 \text{H}_2 + \text{SO}_4^{2-} + 2 \text{H}^+ \rightarrow 4 \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{S}$	AnR	<i>Archaeoglobus</i>
	$4 \text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$	AnR	<i>Methanopyrus, Methanocaldococcus, Methanothermus</i>

<sup>a</sup> AnR, αναερόβια αναπνοή· AeR, αερόβια αναπνοή· F, ζύμωση

**Πίνακας 35:** Οι αντιδράσεις ενεργειακής παραγωγής των υπερθερμόφιλων Αρχαίων.

Ομάδα/Γένος <sup>α</sup>	Μορφολογία	Αριθμός ειδών	Σχέση με το O <sub>2</sub> <sup>β</sup>	DNA (mol% GC)	Θερμοκρασία (°C)			Άριστο pH
					Ελάχιστη	Άριστη	Μέγιστη	
<b>Sulfolobales</b>								
<i>Sulfolobus</i>	Κόκκος με λοβούς	6	Αερ.	37	55	75	87	2-3
<i>Acidianus</i>	Κόκκος	3	Πρ.	31	60	88	95	2
<i>Metallosphaera</i>	Κόκκος	2	Αερ.	45	50	75	80	2
<i>Stygiolobus</i>	Κόκκος με λοβούς	1	Αναερ.	38	57	80	89	3
<i>Aeropyrum</i>	Κόκκος	1	Αερ.	56	70	95	100	7
<i>Stetteria</i>	Κόκκος	1	Αναερ.	65	68	95	102	6
<i>Sulfurobococcus</i>	Δισκοειδής	1	Αναερ.	54-56	70	85	95	7,5
<i>Thermosphaera</i>	Κόκκος	1	Αναερ.	46	67	85	90	7
<b>Thermoproteales</b>								
<i>Thermoproteus</i>	Βακτηρία	2	Αναερ.	56	60	88	96	6
<i>Thermophilum</i>	Βακτηρία	1	Αναερ.	57	70	88	95	5,5
<i>Pyrobaculum</i>	Βακτηρία	3	Πρ.	46	74	100	102	6
<i>Caldivirga</i>	Βακτηρία	1	Αναερ.	43	60	85	92	4
<i>Thermocladium</i>	Βακτηρίες	1	Αναερ.	52	60	75	80	4,2
<b>Desulfurococcales</b>								
<i>Desulfurococcus</i>	Κόκκος	2	Αναερ.	51	70	85	95	6
<i>Staphylothermus</i>	Κόκκοι σε συσσωματώματα	1	Αναερ.	35	65	92	98	6-7
<i>Pyrodictium</i>	Δισκοειδής με νημάτια	3	Αναερ.	62	82	105	110	6
<i>Pyrolobus</i>	Κόκκος με λοβούς	1	Πρ.	53	90	106	113	5,5
<i>Thermodiscus</i>	Δισκοειδής	1	Αναερ.	49	75	90	98	5,5
<i>Ignicoccus</i>	Ακανόνιστος κόκκος	2	Αναερ.	35	65	90	103	5
<i>Hyperthermus</i>	Ακανόνιστος κόκκος	1	Αναερ.	56	75	102	108	7
<i>Sulfurisphaera</i>	Κόκκος	1	Πρ.	33	63	84	92	2
<i>Sulfurococcus</i>	Κόκκος	2	Αερ.	43-46	40	75	85	2,5
<b>Archaeoglobales<sup>γ</sup></b>								
<i>Archaeoglobus</i>	Κόκκος	3	Αναερ.	46	64	83	95	7
<i>Ferroglobus</i>	Ακανόνιστος κόκκος	1	Αναερ.	43	65	85	95	7
<b>Thermococcales<sup>γ</sup></b>								
<i>Thermococcus</i>	Κόκκος	14	Αναερ.	38-57	70	88	98	6-7
<i>Pyrococcus</i>	Κόκκος	4	Αναερ.	38	70	100	106	6-8

<sup>α</sup> Όταν η ονομασία μιας ομάδας καταλήγει σε «ales» πρόκειται για τάξη (βλ. Τμήμα 11.10).

<sup>β</sup> Αερ., αερόβιο· Αναερ., αναερόβιο· Πρ., προαιρετικό.

<sup>γ</sup> Από άποψη φυλογένεσης, ορισμένα γένη αυτής της τάξης υπερθερμόφιλων ανήκουν στα Euryarchaeota (βλ. Τμήματα 13.6 και 13.7).

**Πίνακας 36:** Ιδιότητες των υπερθερμόφιλων Κρεναρχαιωτικών.

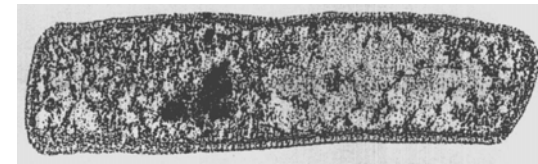
# Υπερθερμόφιλα χερσαίων ηφαιστειακών ενδιαιτημάτων

Sulfolobus

Thermoproteus

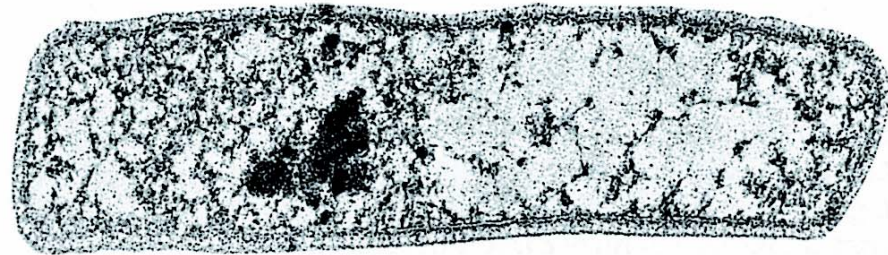
Το γένος *Sulfolobus* αναπτύσσεται σε όξινες πηγές πλούσιες σε θείο μέχρι 90°C και pH 1-5. Είναι αερόβιο χημειολιθότροφο που οξειδώνει  $S^0$  ή  $H_2S$  προς  $H_2SO_4$  και δεσμεύει  $CO_2$  ως μοναδική πηγή άνθρακα. Τα κύτταρα του είναι περίπου σφαιρικά σχηματίζοντας λοβούς. Κάποια είδη αναπτύσσονται χημειοργανοτροφικά και μπορούν να προσκολληθούν ισχυρά σε κρυστάλλους θείου. Οξειδώνει επίσης  $Fe^{2+}$  προς  $Fe^{3+}$ .

Το γένος *Thermoproteus* αποτελείται από ραβδόμορφα κύτταρα που ζουν σε ουδέτερες ή ελαφρώς όξινες πηγές. Τα γένη *Thermoproteus* και *Thermofilum* εκτελούν αναερόβια αναπνοή με βάση το  $S^0$ . Το *Thermoproteus* αναπτύσσεται χημειολιθοτροφικά σε  $H_2$  ή χημειοργανοτροφικά σε σύνθετα οργανικά υποστρώματα όπως π.χ εκχύλισμα ζύμης, μικρά πεπτίδια, άμυλο, γλυκόζη, αιθανόλη, μηλικό, φουμαρικό ή μυρμικικό οξύ.



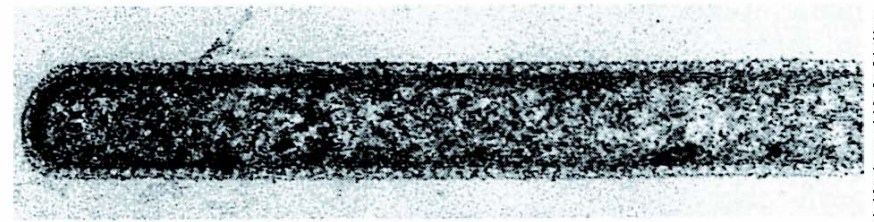
*Thermoproteus  
neutrophilus*





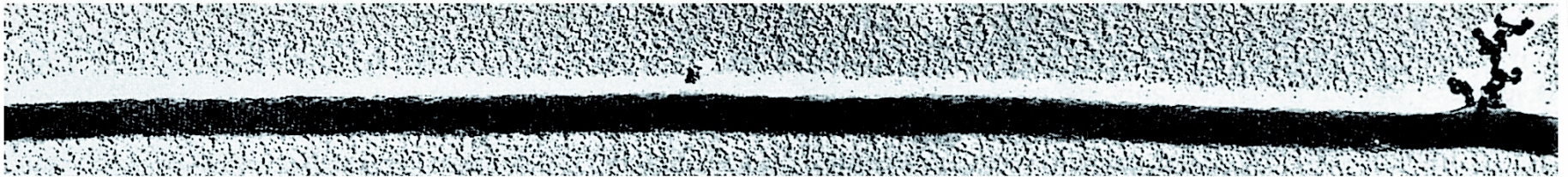
H. König and K. O. Stetter

(α)



H. König and K. O. Stetter

(γ)



H. König and K. O. Stetter

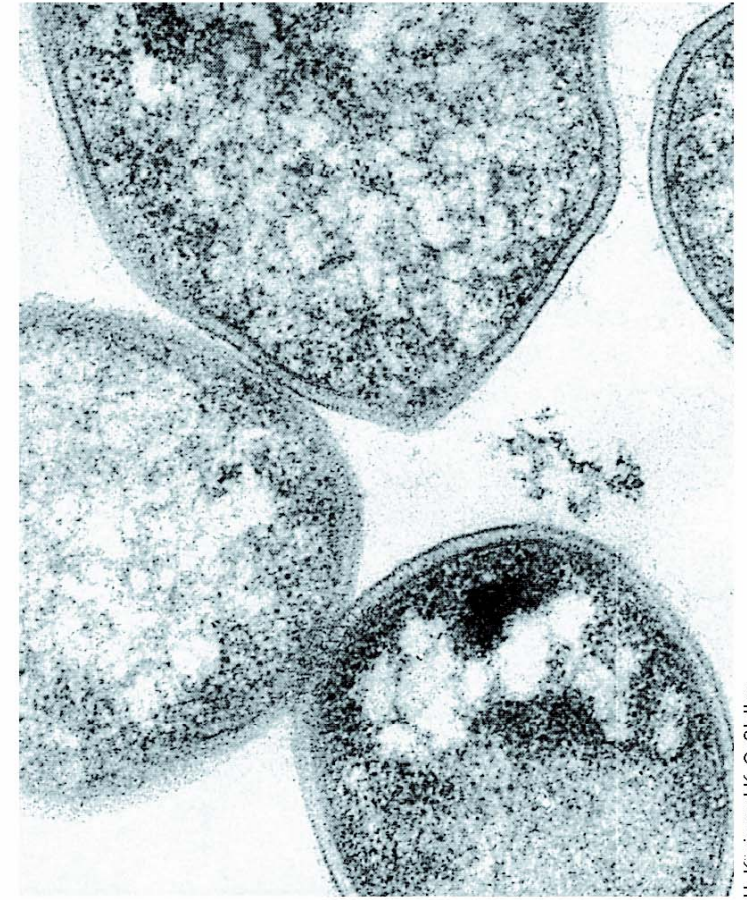
(β)

**Εικόνα 13.18** Ραβδόμορφα υπερθερμόφιλα Αρχαία. Τάξη Thermoproteales. (α) *Thermoproteus neutrophilus*. Ηλεκτρονικό μικρογράφημα λεπτής τομής. Διάμετρος κυττάρου: περίπου 0,5  $\mu\text{m}$ . (β) *Thermophilum librum*. Διάμετρος κυττάρου: περίπου 0,25  $\mu\text{m}$ . Ηλεκτρονικό μικρογράφημα σκιασμένων κυττάρων. (γ) *Thermophilum librum*. Ηλεκτρονικό μικρογράφημα λεπτής τομής.



(α)

T. D. Brock

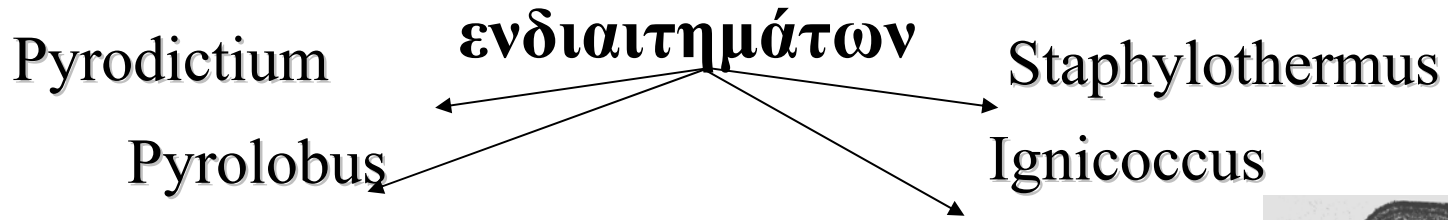


(β)

H. König and K. O. Stetter

**Εικόνα 13.17** Οξεόφιλα υπερθερμόφιλα Αρχαία. Τάξη Sulfolobales. (α) *Sulfolobus acidocaldarius*. Ηλεκτρονικό μικρογράφημα λεπτής τομής. (β) *Acidianus infernus*. Ηλεκτρονικό μικρογράφημα λεπτής τομής. Οι διάμετροι και των δύο κυττάρων είναι μεταξύ 0,8 και 2  $\mu\text{m}$ .

# Υπερθερμόφιλα υποθαλάσσιων ηφαιστειακών



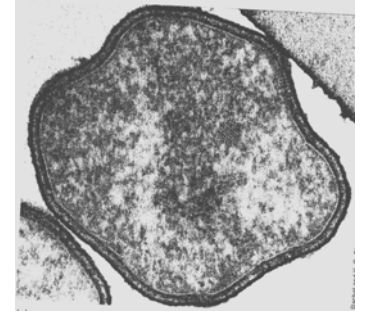
Τα γένη *Pyrodictium*, *Pyrolobus* έχουν θερμοκρασιακό άριστο ανάπτυξης 100°C ή και παραπάνω.

Το *Pyrodictium* αποτελείται από κύτταρα με ακανόνιστο δισκοειδές σχήμα. Σχηματίζουν στοιβάδα που μοιάζει με μυκήλιο προσδεμένη σε κρυστάλλους στοιχειακού θείου. Είναι υποχρεωτικώς αναερόβιο. Αναπτύσσεται χημειολιθοτροφικά με  $H_2$  και  $S^0$  ως δέκτη ηλεκτρονίων ή χημειοργανοτροφικά σε σύνθετα μείγματα οργανικών ενώσεων.

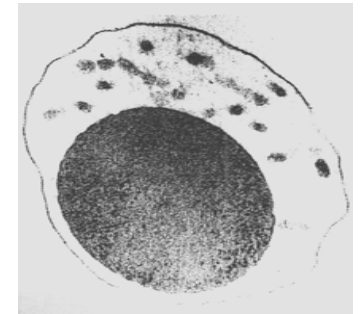
Το *Pyrolobus fumarii* έχει θερμοκρασιακό μέγιστο ανάπτυξης τους 113°C. Ζει στα τοιχώματα υδροθερμικών πηγών τύπου «black smoker».

Το *Ignicoccus* περιέχει κύτταρα τα οποία περιβάλλονται από μία «εξωτερική μεμβράνη» και έχει αναπτυξιακό άριστο στους 90°C. Ο μεταβολισμός του βασίζεται στο  $H_2/S^0$ .

Τα κύτταρα του *Staphylothermus* είναι σφαιρικά με διάμετρο 1  $\mu m$  και σχηματίζουν συσσωματώματα μέχρι 100 κυττάρων. Οι οργανισμοί είναι χημειοργανότροφοι και προσλαμβάνουν ενέργεια από την ζύμωση των πεπτιδίων και παράγουν λιπαρά οξέα. Αναπτύσσονται άριστα στους 92°C και απαντώνται σε θαλάσσιες πηγές μικρού βάθους και σχισμές των «black smoker».



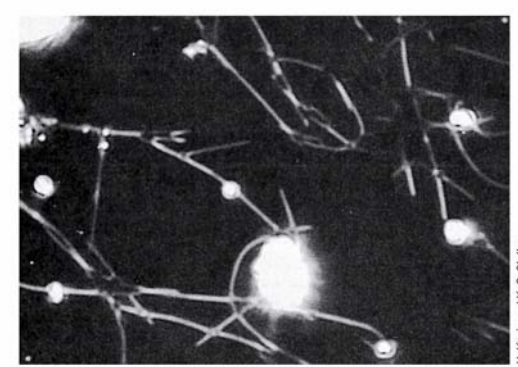
*Pyrolobus fumarii*



*Ignicoccus islandicus*

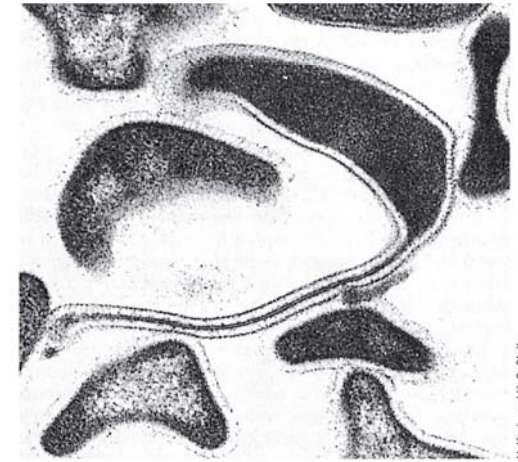
**Εικόνα 13.19**

**Desulfurococcales** με άριστη θερμοκρασία αύξησης πάνω από 100°C. (α) *Pyrodictium occultum* (άριστη θερμοκρασία αύξησης, 105°C), μικροφωτογραφία σκοτεινού πεδίου. (β) Ηλεκτρονικό μικρογράφημα λεπτής τομής του *P. occultum*. Η διάμετρος των κυττάρων ποικίλλει σημαντικά, από 0,3 ως 2,5 μm. (γ) Λεπτή τομή κυττάρου του *Pyrolobus fumarii*, του πλέον θερμόφιλου από όλους τους γνωστούς προκαρυώτες (άριστη θερμοκρασία αύξησης, 106°C). Διάμετρος κυττάρου: περί το 1,4 μm.



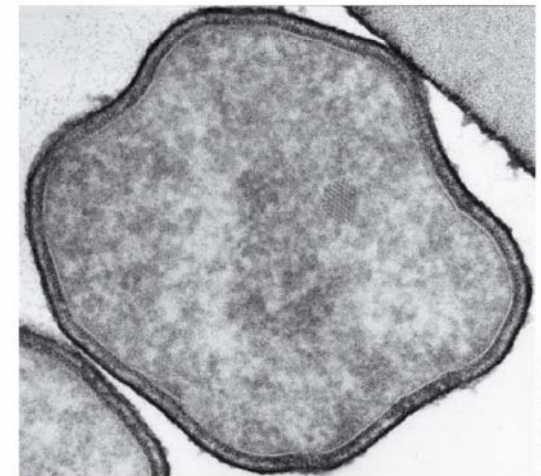
H. King and K. O. Stetter

(α)



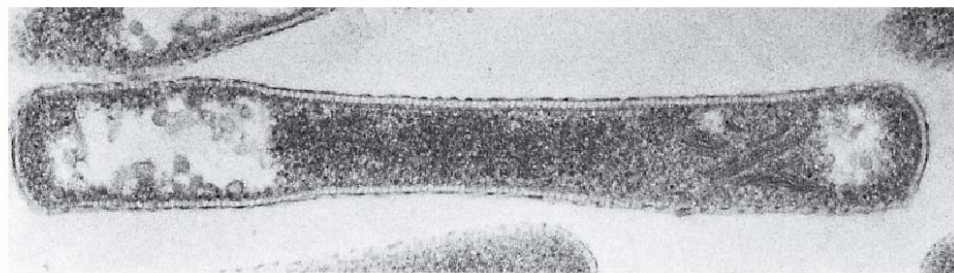
H. King and K. O. Stetter

(β)

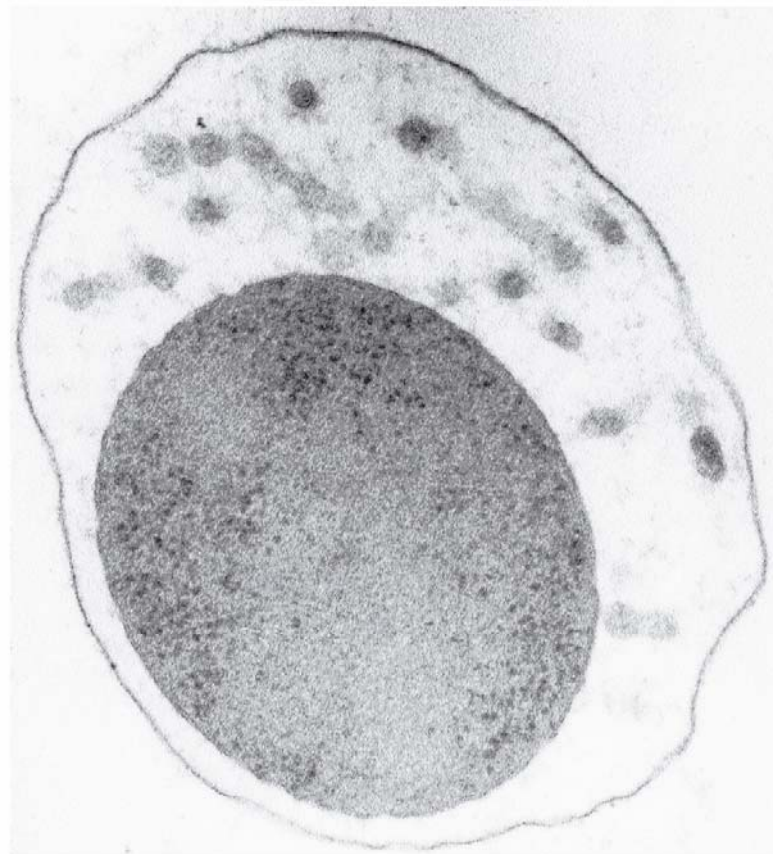


R. Rachel and K. O. Stetter

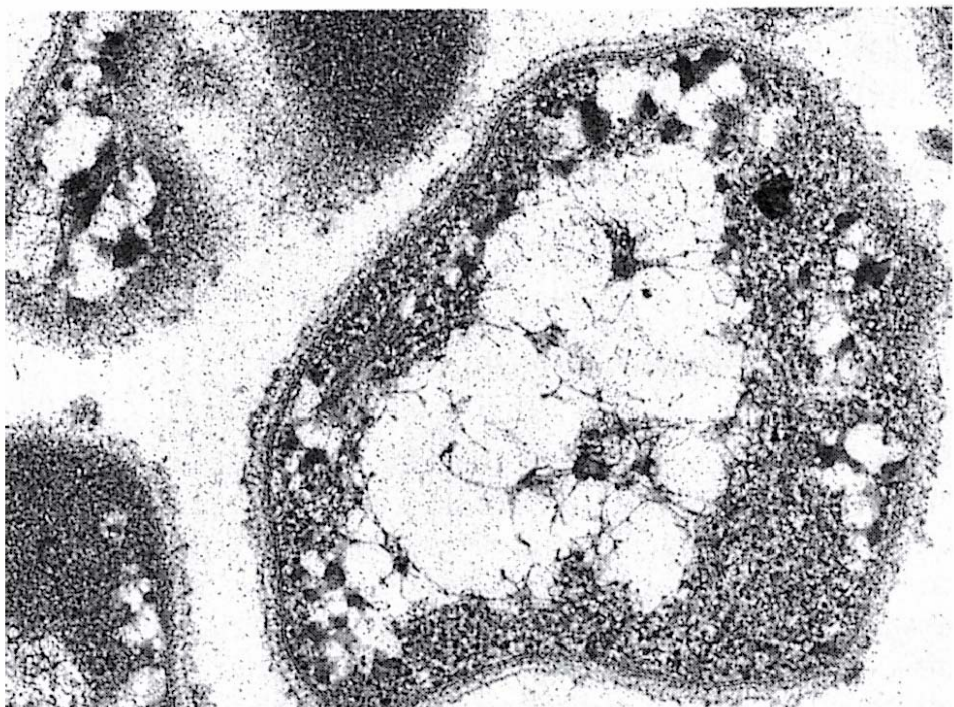
(γ)



R. Rachel and K. O. Stetter



Reinhard Rachel and Karl O. Stetter



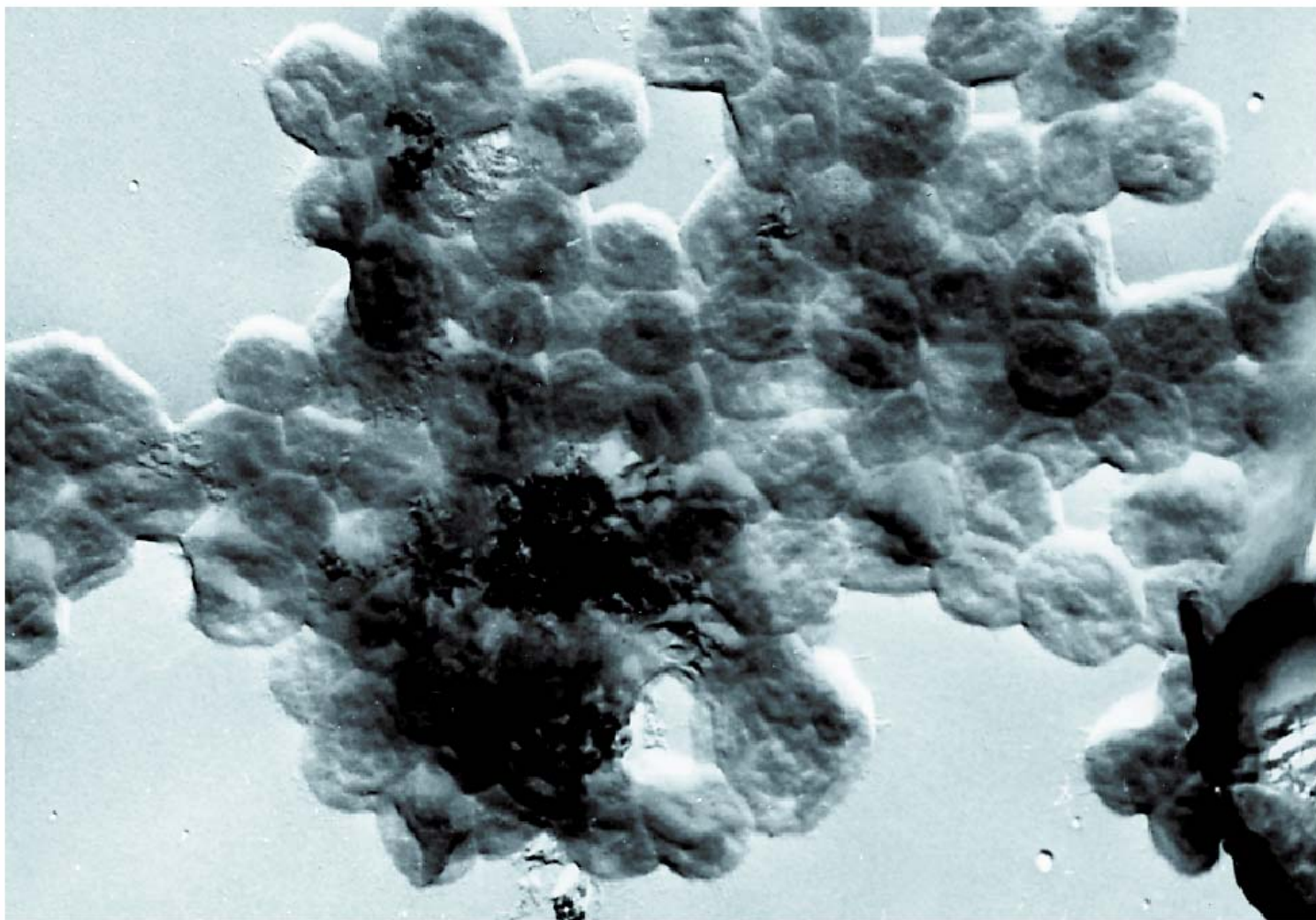
R. Rachel and K. O. Stetter

(γ)

**Εικόνα 13.20** Παραδείγματα Desulfurococcales με άριστη θερμοκρασία αύξησης κάτω από το σημείο βρασμού του νερού. (α) Ηλεκτρονικό μικρογράφημα διέλευσης λεπτής τομής του *Pyrobaculum aerophilum*. Διαστάσεις κυττάρου:  $0,5 \times 3,5 \mu\text{m}$ . (β) Λεπτή τομή κυττάρου του *Desulfurococcus saccharovorans*. Διάμετρος κυττάρου:  $0,7 \mu\text{m}$ . (γ) Λεπτή τομή κυττάρου του *Ignicoccus islandicus*. Το καθ' αυτό κύτταρο περιβάλλεται από ένα πολύ παχύ περίπλασμα (🔗 Τμήμα 4.9). Η διάμετρος του κυττάρου είναι περί το  $1 \mu\text{m}$ , αλλά μαζί με το περίπλασμα φθάνει τα  $1,4 \mu\text{m}$ .

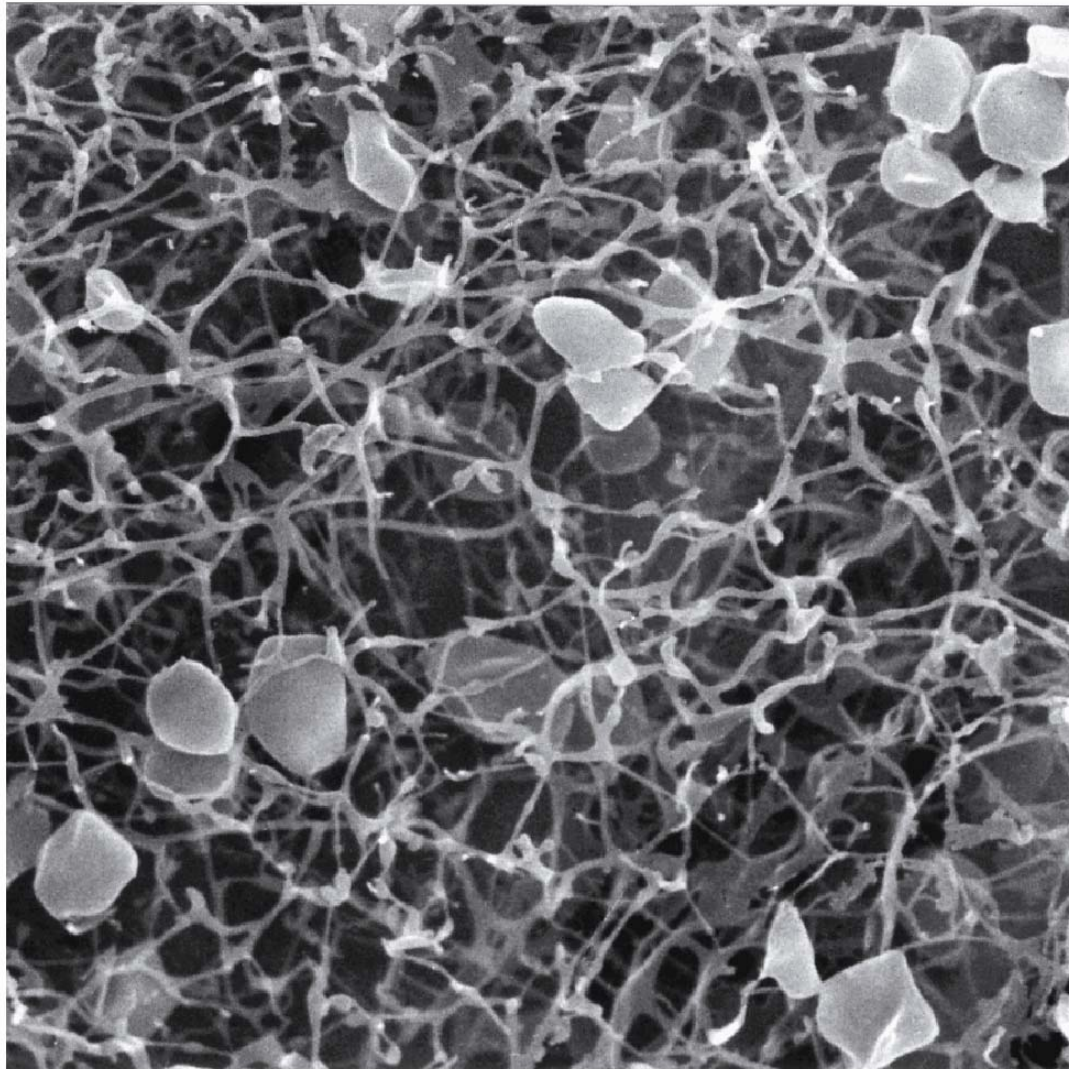
(β)

(α)



H. König and K. O. Stetter

**Εικόνα 13.21** Το υπερθερμόφιλο *Staphylothermus marinus* (άριστη θερμοκρασία αύξησης, 92°C). Ηλεκτρονικό μικρογράφημα σκιασμένων κυττάρων. Διάμετρος κυττάρου: περί το 1 μm.



G. Rieger, R. Hermann, R. Rachel, K.O. Stetter

**Εικόνα 13.22** *Pyrodictium abyssii*, ηλεκτρονικό μικρογράφημα σάρωσης. Το γένος *Pyrodictium* έχει χρησιμοποιηθεί ως πρότυπο σε μελέτες σταθερότητας μακρομορίων σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα κύτταρα είναι «παγιδευμένα» μέσα σε μια μήτρα κολλώδους γλυκοπρωτεΐνης η οποία τα συγκρατεί.

# Θερμοσταθερότητα βιομορίων

Οι θερμοσταθερές πρωτεΐνες συνήθως έχουν έντονα υδρόφοβους πυρήνες. Η θερμοσταθερότητα των πρωτεϊνών επηρεάζεται από την αναδίπλωση τους (αλληλουχία αμινοξέων ,πρωτεΐνες συνοδοί)

Η θερμοσταθερότητα του DNA εξαρτάται από το 2,3-διφωσφογλυκερικό κάλιο την αντίστροφη DNA γυράση, αρχαϊκές ιστόνες.

Τα διβυτάνυλο-τετραϊθερικά λιπίδια είναι θερμοσταθερά και σχηματίζουν μονοστοιβάδα.

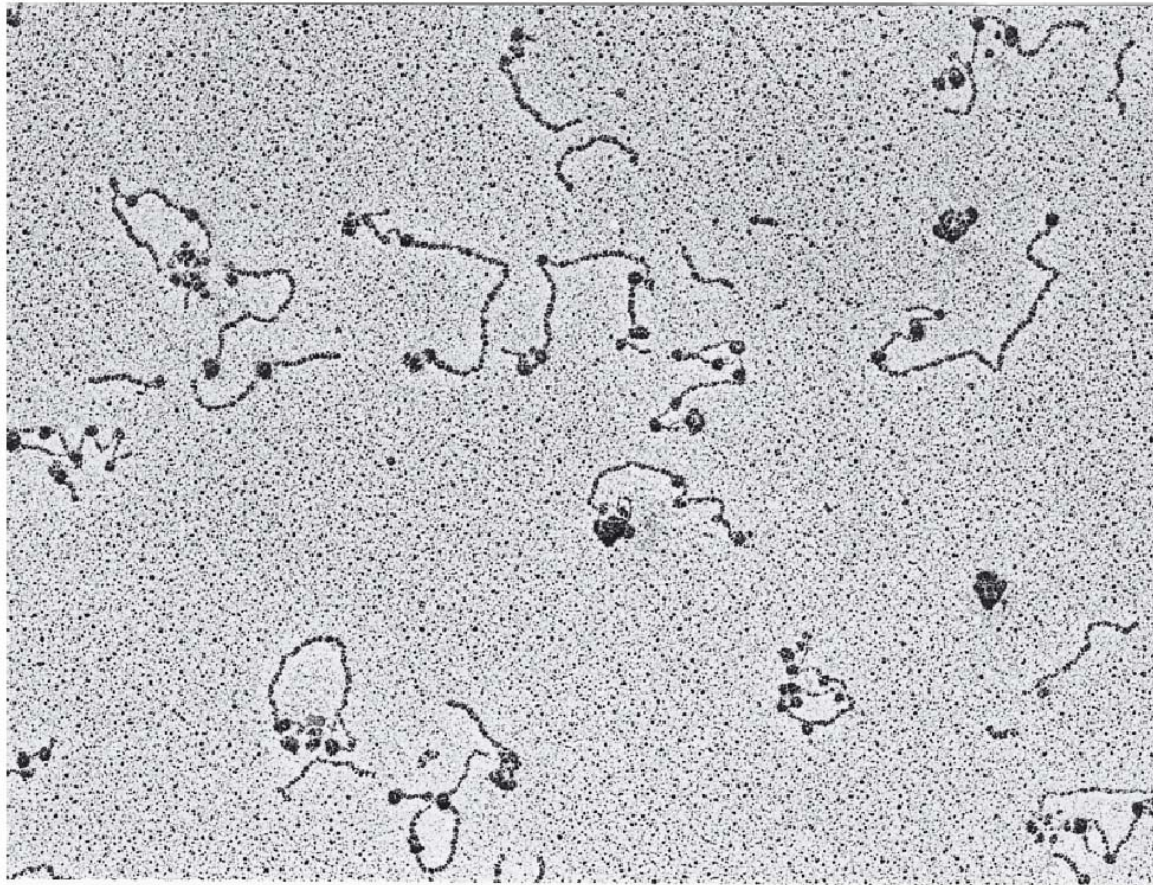
Μέγιστη θερμοκρασία για την ζωή 140- 150°C. Το ATP είναι ασταθές στους 150°C. Ανακάλυψη ζωής σε υψηλότερες θερμοκρασίες απίθανη, νέες θεμελιώδεις αρχές της βιολογίας.

## Υπερθερμόφιλα Αρχαία και μικροβιακή εξέλιξη

Τα Αρχαία είχαν εξέλιξη με βραδύτερους ρυθμούς από την πλειονότητα των βακτηρίων. Ο μεταβολισμός του υδρογόνου καταδεικνύει κατάλοιπο από άποψη φυσιολογίας αρχέγονων μεταβολικών μηχανισμών.

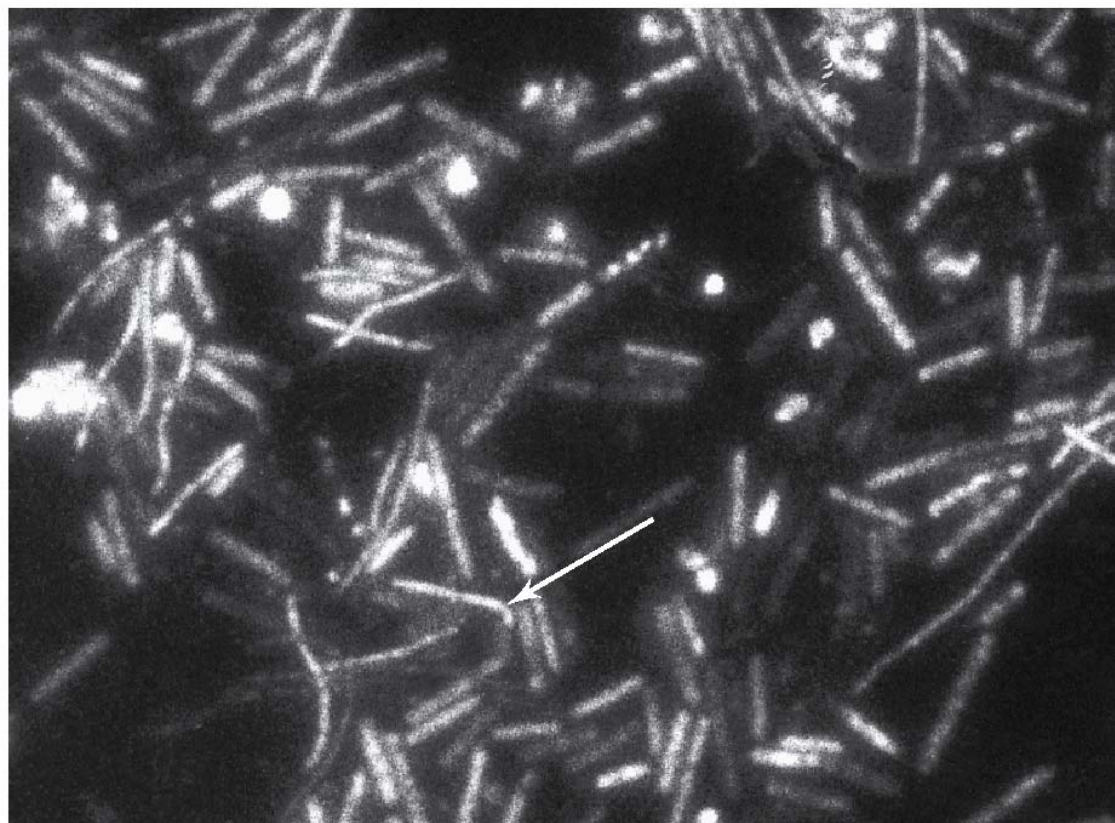
Τα υπερθερμόφιλα που εξετάστηκαν είναι κατάλοιπα της αρχέγονης γης.





Suzette L. Pereira

**Εικόνα 13.23** «Αρχαϊκές» ιστόνες και νουκλεοσώματα. Ηλεκτρονικό μικρογράφημα ευθυγραμμισμένου πλασμιδιακού DNA γύρω από αντίγραφα της «αρχαϊκής» ιστόνης Hmf (από το υπερθερμόφιλο μεθανιογόνο *Methanothermobacter thermautotrophicus*, βλ. Εικόνα 13.8γ). Σχηματίζει περίπου σφαιρικές, χρωματισμένες με σκούρο χρώμα δομές νουκλεοσωμάτων. Συγκρίνετε αυτό το μικρογράφημα με την καλλιτεχνική απεικόνιση των ιστονών και των νουκλεοσωμάτων των *Ευκαρύων*, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.11.



Nicole Eijs

**Εικόνα 13.24** «Κορραρχαιωτικά». Μικροφωτογραφία αντίθεσης φάσεων μιας σταθερής εμπλουτισμένης καλλιέργειας που περιλαμβάνει «Κορραρχαιωτικά» από μια θερμή πηγή του Εθνικού Πάρκου Yellowstone των ΗΠΑ· η καλλιέργεια έχει αναπτυχθεί στο εργαστήριο, στους 85°C. Σε αυτή την εμπλουτισμένη καλλιέργεια υπάρχουν διάφορα είδη *Αρχαίων*, μεταξύ των οποίων και «Κορραρχαιωτικά» σε αναλογία μικρότερη από 1% του συνολικού πληθυσμού. Τα κύτταρα των «Κορραρχαιωτικών» είναι ελαφρώς κυρτές ράβδοι μήκους 5-10  $\mu\text{m}$  (βέλος). Βλ. επίσης Εικόνα 11.14.