

**Ποικιλότητα
Ευκαρυωτικών
Μικροοργανισμών**

Οργανίδια και φυλογενετική μικροβιακών ευκαρυωτών

Ενδοσυμβίωση και ευκαρυωτικό κύτταρο

- Είναι πλέον κοινή παραδοχή ότι το ευκαρυωτικό κύτταρο είναι γενετική χίμαιρα.
- Τα υπεύθυνα για την παραγωγή ενέργειας οργανίδια (μιτοχόνδρια και χλωροπλάστες) έχουν ξεκάθαρα προέλθει από τα Βακτήρια.
- Η αρχική **ενδοσυμβιωτική υπόθεση** προτάθηκε εδώ και 1 αιώνα και βασίστηκε στο γεγονός ότι τα μιτοχόνδρια και οι χλωροπλάστες «έμοιαζαν» με βακτήρια.

Στοιχεία που υποστηρίζουν την ενδοσυμβιωτική υπόθεση:

1. Τα μιτοχόνδρια και οι χλωροπλάστες περιέχουν DNA.

- Αν και οι περισσότερες λειτουργίες των μιτοχονδρίων και χλωροπλαστών κωδικοποιούνται από πυρηνικό DNA, ορισμένες κωδικοποιούνται από μικρό γονιδίωμα που βρίσκεται στα οργανίδια, όπως:

- Πρωτεΐνες αναπνευστικής αλυσίδας (μιτοχονδρίου) και φωτοσυνθετικής συσκευής (χλωροπλάστη),

- rRNAs και tRNAs.

- Το περισσότερο μιτοχονδριακό και όλο το χλωροπλαστικό DNA απαντά σε ομοιοπολικά κλειστή κυκλική μορφή.

2. Ο ευκαρυωτικός πυρήνας περιέχει γονίδια που προέρχονται από Βακτήρια.

3. Η φυλογενετική σχέση των ριβοσωμάτων και των οργανιδίων.

- Τα μιτοχόνδρια και οι χλωροπλάστες περιέχουν ριβοσώματα 70S, ενώ φυλογενετικές αναλύσεις και γονιδιωματικές μελέτες καταδεικνύουν αδιαμφισβήτητα ότι αυτές οι δομές ήταν άλλοτε βακτήρια.

4. Εξειδίκευση στα αντιβιοτικά.

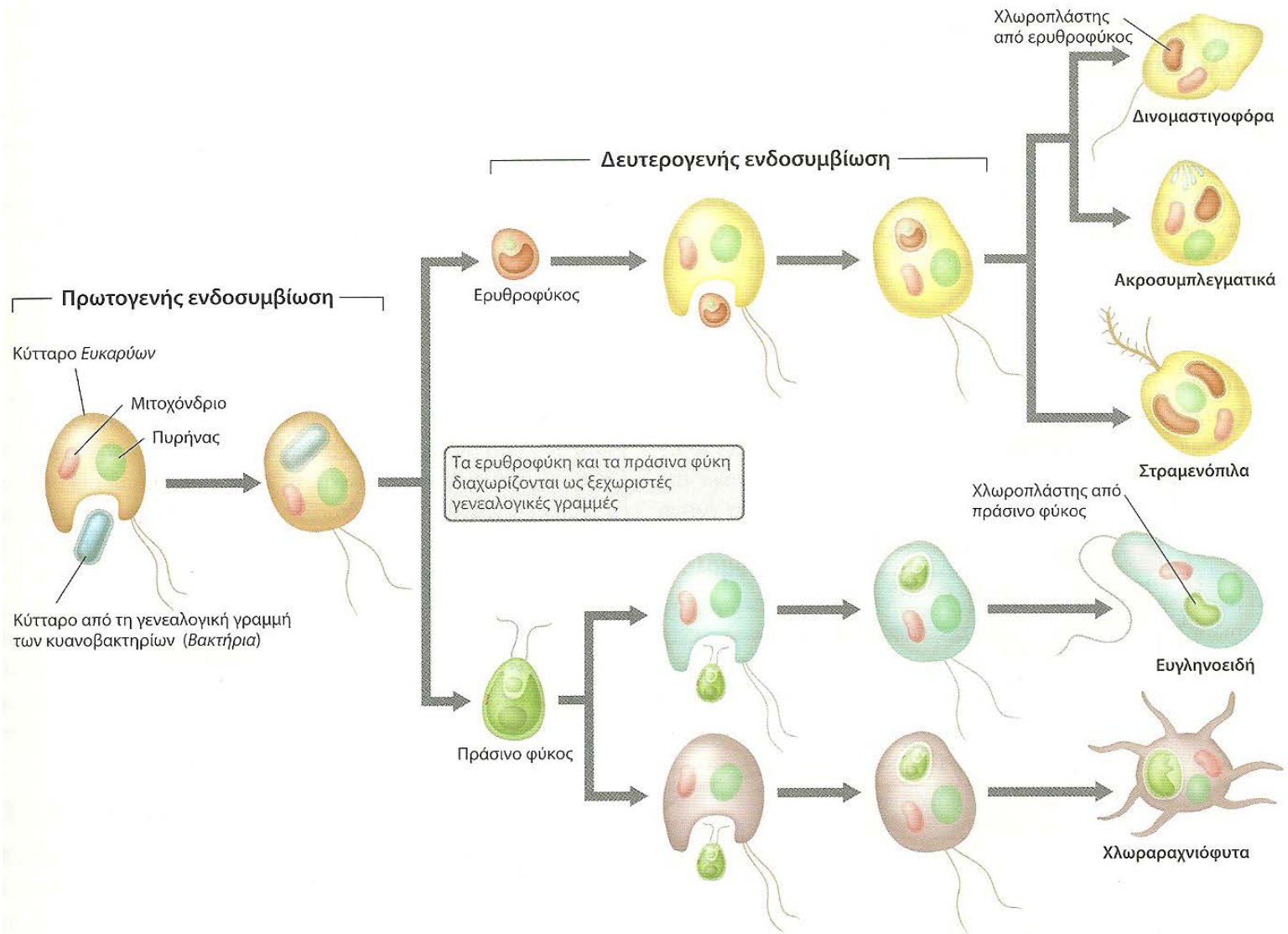
- Πολλά αντιβιοτικά που θανατώνουν ή παρεμποδίζουν τα βακτήρια (στρεπτομυκίνη) αναστέλλοντας τις λειτουργίες των 70S ριβοσωμάτων, αναστέλλουν, επίσης, τη σύνθεση πρωτεϊνών σε μιτοχόνδρια και χλωροπλάστες.

5. Υδρογονοσώματα.

- Όπως και τα μιτοχόνδρια, περιέχουν το δικό τους DNA και τα δικά τους ριβοσώματα.
- Φυλογενετικές αναλύσεις του rRNA αποκάλυψαν τη σχέση τους με τα βακτήρια.

Δευτερογενής ενδοσυμβίωση

- Το μιτοχόνδριο, ο χλωροπλάστης και το υδρογονόσωμα προήλθαν από συμβάντα πρωτογενούς ενδοσυμβίωσης.
- Από **πρωτογενή ενδοσυμβίωση** προέκυψε ο χλωροπλάστης στον κοινό πρόγονο των πράσινων φυκών, των ερυθροφυκών και των φυτών.
- Ωστόσο, πολλές ομάδες μη φωτοτροφικών μικροβιακών ευκαρυωτών απέκτησαν χλωροπλάστες μέσω **δευτερογενούς ενδοσυμβίωσης**, όταν ολόκληρα κύτταρα ερυθροφυκών ή πράσινων φυκών ενσωματώθηκαν σε άλλα κύτταρα.
- Η δευτερογενής ενδοσυμβίωση ευθύνεται για την παρουσία χλωροπλαστών στα ευγληνοεδή και στα χλωραραχνιόφυτα.
- Τα κυψελιδωτά (βλεφαριδοφόρα, ακροσυμπλεγματικά και δινομαστιγοφόρα) και τα στρεμενόπιλα απέκτησαν τους χλωροπλάστες τους μέσω δευτερογενούς ενδοσυμβίωσης με ερυθροφύκη.



Σχ.267. Ενδοσυμβίωση.

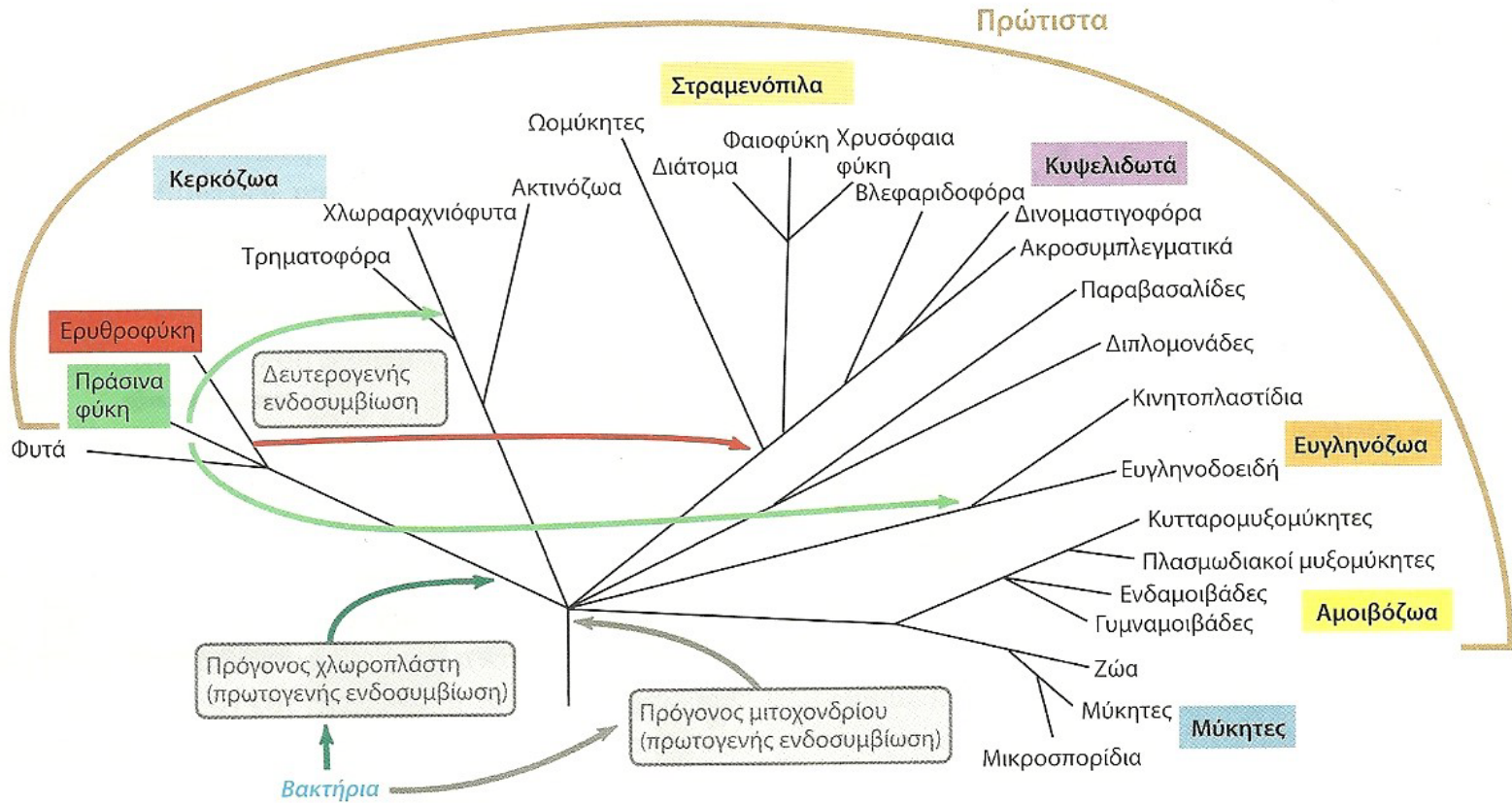
- Οι αρχέγονοι χλωροπλάστες των ερυθροφυκών προφανώς χάθηκαν σε κάποιες γενεαλογικές γραμμές (π.χ. βλεφαριδοφόρα) ή μειώθηκαν σημαντικά σε μέγεθος σε κάποιες άλλες (π.χ. ακροσυμπλεγματικά όπου έχουν απομείνει μόνο ίχνη χλωροπλαστών).
- Σε άλλες περιπτώσεις, ο αρχέγονος χλωροπλάστης των ερυθροφυκών αντικαταστάθηκε ολόκληρος από χλωροπλάστη διαφορετικών φυκών.
- Είναι μάλλον απίθανο ότι πρωτογενή ενδοσυμβιωτικά συμβάντα έλαβαν χώρα μόνο μια φορά στην ιστορία της εξέλιξης.
- Εξάλλου, η έννοια της δοκιμής/λάθους αποτελεί την ουσία της εξέλιξης.
- Στην πραγματικότητα, η ενδοσυμβίωση είναι, όπως φαίνεται, μια κοινή και συνεχής διεργασία στον ευκαρυωτικό κόσμο.

Φυλογενετικές γενεαλογικές γραμμές των Ευκαρύων

- Η φυλογενετική των μικροβιακών Ευκαρύων βασίστηκε αρχικά στην αλληλουχία του 18S rRNA.
- Όμως, σε αντίθεση με τα φυλογενετικά δέντρα των προκαρυωτών που σχεδιάστηκαν βάσει των αλληλουχιών 16S rRNA, ορισμένα στοιχεία του 18S rRNA φυλογενετικού δένδρου των ευκαρυωτών αποδείχθηκαν αναξιόπιστα.
- Το σύγχρονο φυλογενετικό δένδρο των Ευκαρύων έχει εξαχθεί από έναν συνδυασμό μεθόδων συγκριτικής αλληλούχισης.

Ευκαρυωτική εξέλιξη: η υπόθεση του rRNA και άλλες υποθέσεις

- Η μελέτη φυλογενετικής των ευκαρυωτών βάσει rRNA διακρίνει ότι οι μικροβιακοί ευκαρυώτες διπλομονάδα *Gardia*, το μικροσπορίδιο *Encephalitozoon* και το *Trichomonas* (μέλος των παραβασαλίδων) έχουν αποκλίνει πολύ νωρίς κατά την εξέλιξη.
- Όντως, αυτοί οι πρώιμα διακλαδιζόμενοι ευκαρυώτες έμοιαζαν και φαινοτυπικά «πρωτόγονοι» (π.χ. δεν έχουν μιτοχόνδρια).
- Σήμερα, όμως, γνωρίζουμε ότι αυτοί οι αμιτοχονδριακοί ευκαρυώτες περιέχουν υδρογονοσώματα.
- Συνεπώς, ίσως να μην είναι τόσο «αρχαίοι» όσο αρχικά θεωρούσαμε.
- Λόγω αυτών των ανακολουθιών, έχουν χρησιμοποιηθεί άλλα μοριακά εργαλεία προκειμένου να αποσαφηνιστεί το πραγματικό φυλογενετικό δένδρο των μικροβιακών ευκαρυωτών.



Σχ.268. Φυλογενετικό δένδρο Ευκαρύων που βασίστηκε σε αλληλουχίες πολλών γονιδίων και πρωτεϊνών.

- Το σύγχρονο φυλογενετικό δένδρο βασίστηκε στη μοριακή αλληλούχιση αρκετών ευκαρυωτικών γονιδίων, όπως αυτών που κωδικοποιούν τις πρωτεΐνες τουμπουλίνης, του κυτταροσκελετού, την RNA πολυμεράση, την ATPάση, τις πρωτεΐνες θερμικού σοκ, κλπ.
- Υπάρχουν σημαντικές διαφορές από τη φυλογενετική που βασίζεται στην αλληλουχία του rRNA:
 1. Φαίνεται πως μια σημαντική φυλογενετική διακλάδωση έλαβε χώρα στα πρώτα στάδια της ευκαρυωτικής εξέλιξης.
 - Η διακλάδωση αυτή περιελάμβανε την εξέλιξη όλων των προγόνων, ή σχεδόν όλων, των σύγχρονων ευκαρυωτών.
 2. Το σύγχρονο ευκαρυωτικό δένδρο δείχνει ότι οι αμιτοχονδριακοί ευκαρυώτες, που αρχικά θεωρούνταν εξελικτικά πρώιμοι, είναι στην πραγματικότητα ιδιαίτερα σύνθετοι οργανισμοί και συνδέονται στενά με τα ζώα και τους μύκητες.
 - Το δένδρο των Ευκαρύων δείχνει, επίσης, πως η δευτερογενής ενδοσυμβίωση ευθύνεται για την εμφάνιση χλωροπλαστών σε κάποιους μονοκύτταρους φωτοτροφικούς ευκαρυώτες (μάλλον συνέβη σχετικά πρόσφατα στην εξέλιξη).

Ευκαρυωτική εξέλιξη: η «μεγάλη εικόνα»

- Κατά πάσα πιθανότητα, η προέλευση του μιτοχονδρίου προηγήθηκε της μείζονας διακλάδωσης των ευκαρυωτικών κυττάρων, καθώς όλα τα Ευκάρυα που υπάρχουν σήμερα περιέχουν μιτοχόνδρια ή υδρογονοσώματα ή γενετικά ίχνη αυτών των δομών.
- Είναι πιθανό ότι τα μιτοχόνδρια ή κάποιες παρόμοιες δομές παρείχαν στο πρώιμο ευκαρυωτικό κύτταρο ριζικά νέες μεταβολικές ικανότητες και πυροδότησαν τον εξελεκτικό διαχωρισμό των ευκαρυωτικών μικροοργανισμών.
- Λίγο αργότερα στην εξέλιξη, ο πρόγονος του χλωροπλάστη αποκτήθηκε στη διάρκεια ενός συμβάντος πρωτογενούς ενδοσυμβίωσης.
- Η φωτοτροφική ευκαρυωτική ποικιλομορφία εκτυλίχθηκε αργότερα μέσω δευτερογενούς ενδοσυμβίωσης.

- Το σύγχρονο φυλογενετικό δένδρο δεν πρέπει να θεωρείται η τελευταία λέξη στην ευκαρυωτική εξέλιξη.
- Όσο νέα δεδομένα αποκαλύπτουν στοιχεία της ευκαρυωτικής βιολογίας που αγνοούσαμε παλιότερα, τόσο θα αναδύονται νέες εικόνες της φυλογενετικής των ευκαρυωτών.
- Όμως, 2 στοιχεία είναι ξεκάθαρα:
 1. Ένα σύνθετο δένδρο και όχι το δένδρο που βασίζεται στις αλληλουχίες του rRNA αποτελεί το σημείο αναφοράς πάνω στο οποίο θα βασιστεί το ευκαρυωτικό δένδρο της ζωής.
 2. Η απόκτηση μιτοχονδρίων από τα πρωτόγονα Ευκάρυα ήταν κεντρικής σημασίας για την εξελικτική πορεία του συγκεκριμένου χώρου.

Πρώτιστα

Διπλομονάδες και παραβασαλίδες

Κυριότερα γένη: *Gardia*, *Trichomonas*

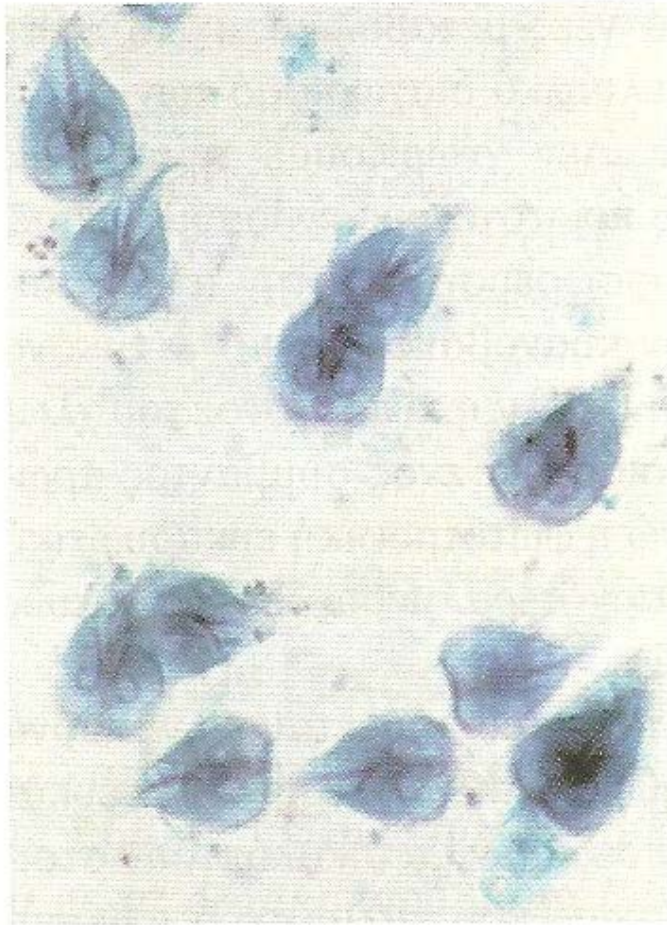
- Οι διπλομονάδες και οι παραβασαλίδες είναι μονοκύτταρα μαστιγιοφόρα πρώτιστα που δεν διαθέτουν μιτοχόνδρια ή χλωροπλάστες.
- Διαβιούν σε ανοξικά ενδιαιτήματα, όπως το έντερο των ζώων, είτε συμβιωτικά ή παρασιτικά, διατηρώντας ενέργεια από ζύμωση.
- Ορισμένες διπλομονάδες προκαλούν σοβαρές και κοινές ασθένειες σε ψάρια, σε κατοικίδια και στον άνθρωπο, ενώ ένα μέλος των παραβασαλίδων προκαλεί σοβαρή σεξουαλικά μεταδιδόμενη νόσο.
- Έχουν σχετικά πρόσφατο κοινό πρόγονο πριν διαχωριστούν σε ξεχωριστές φυλογενετικές γραμμές.

Διπλομονάδες

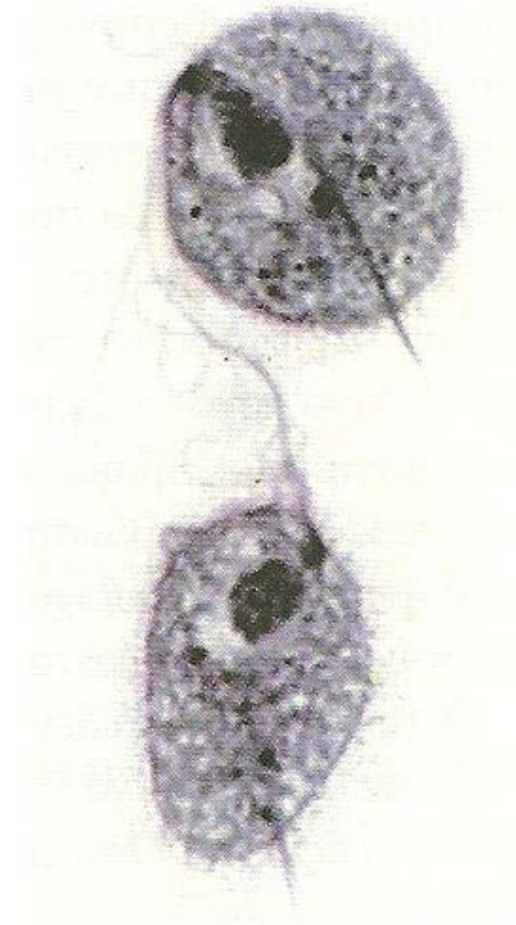
- Περιέχουν 2 ισομεγέθεις πυρήνες και μιτοσώματα (πολύ μικρότερα μιτοχόνδρια, χωρίς πρωτεΐνες μεταφοράς ηλεκτρονίων και ένζυμα του κύκλου του Krebs).
- Η *Gardia* έχει σχετικά μικρό (για ευκαρυώτη) γονιδίωμα, αρκετά, όμως, συμπαγές και δεν φέρει γονίδια που σχετίζονται με κοινά μεταβολικά μονοπάτια.
- Η *Gardia intestinalis* (γνωστή και ως *Gardia lamblia*) προκαλεί λαμβλίαση (γαρδίαση), μια συνηθισμένη υδατογενή διαρροϊκή ασθένεια στις ΗΠΑ.

Παραβασαλίδες

- Δεν έχουν μιτοχόνδρια.
- Έχουν, όμως, υδρογονοσώματα.
- Διαβιούν στον εντερικό και ουρογεννητικό σωλήνα σπονδυλωτών και ασπόνδυλων ως ομόσιτοι συμβιώτες.
- Το *Trichomonas vaginalis* παρουσιάζει αυτοκινησία λόγω ενός λοφίου μαστιγίων και προκαλεί σοβαρή σεξουαλικά μεταδιδόμενη νόσο.
- Το γονιδίωμα του *T. vaginalis* είναι εκπληκτικά μεγάλο για παρασιτικό οργανισμό (160Mbp περίπου) και υπάρχουν ενδείξεις για γονίδια που αποκτήθηκαν μέσω οριζόντιας μεταφοράς από βακτήρια.
- Το *Trichomonas* θεωρείται ότι έχει σχεδόν 60.000 γονίδια!!! (περίπου διπλάσιο αριθμό του ανθρώπινου γονιδιώματος).



(α)



(β)

Σχ.269. Διπλομονάδες και παραβασαλίδες. (α) *Gardia intestinalis*. (β) *Trichomonas vaginalis*.

Ευγληνόζωα

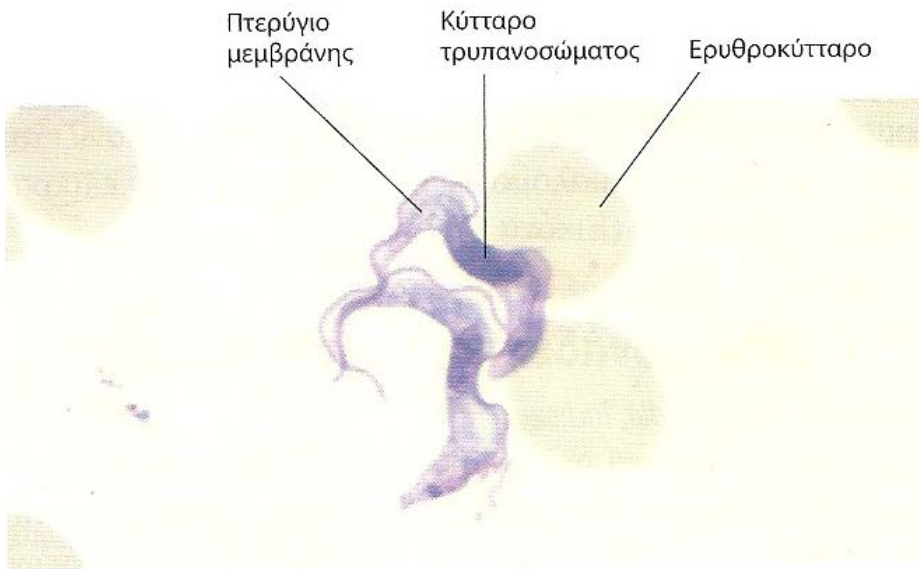
Κυριότερα γένη: *Trypanosoma*, *Euglena*

- Αποτελούν ετερογενές σύνολο μονοκύτταρων μαστιγιοφόρων ευκαρυωτών που διαβιούν ελεύθερα ή ως παράσιτα.

Κινητοπλαστίδια

- Οφείλουν το όνομά τους στον κινητοπλάστη, μια μάζα DNA που υπάρχει στο μοναδικό, αλλά μεγάλο μιτοχόνδριό τους.
- Διαβιούν κυρίως σε υδάτινα ενδιαιτήματα, όπου τρέφονται με βακτήρια.
- Ορισμένα είδη είναι παράσιτα των ζώων και προκαλούν σοβαρές ασθένειες στον άνθρωπο και σε άλλα σπονδυλωτά.

- Τα κύτταρα του *Trypanosoma* είναι μικρά, λεπτά, ημισεληνοειδούς σχήματος.
- Τα τρυπανοσώματα έχουν ένα μόνο μαστίγιο που ξεκινά από το βασικό σωμάτιο και εκτείνεται προς τα πίσω, πλευρικά κατά μήκος του κυττάρου και περικλείεται σε μια πτυχή της κυτταρικής μεμβράνης.
- Τόσο το μαστίγιο, όσο και η μεμβράνη, συμμετέχουν στην αποτελεσματική κίνηση ακόμα και σε κολλώδη υγρά, όπως το αίμα.



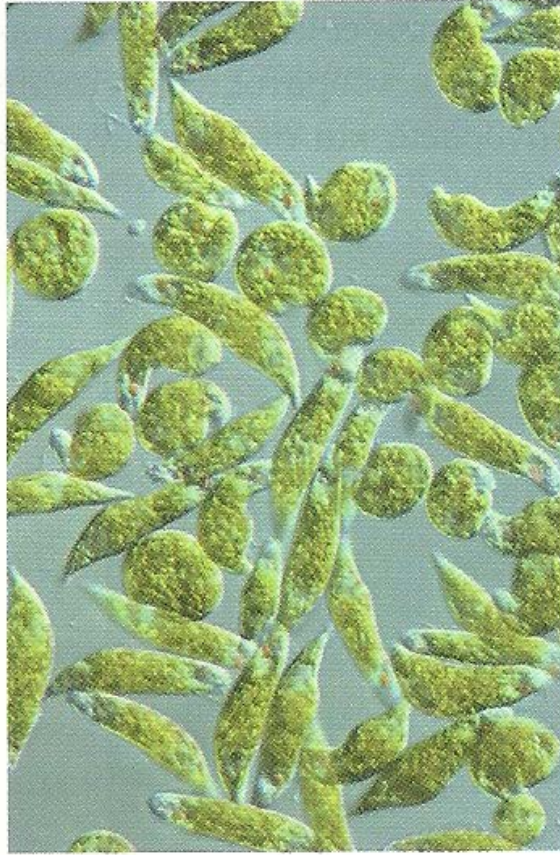
Σχ.270. *Trypanosoma brucei*, αιτιολογικός παράγοντας της Αφρικανικής ασθένειας του ύπνου.

- Το *Trypanosoma brucei* προκαλεί την **Αφρικανική ασθένεια του ύπνου**, μια χρόνια και συνήθως θανατηφόρα ανθρώπινη ασθένεια.
- Το παράσιτο ζει και αναπτύσσεται στο αίμα, αλλά στα τελευταία στάδια της νόσου προσβάλλει το κεντρικό νευρικό σύστημα, προκαλώντας φλεγμονή του εγκεφάλου και της σπονδυλικής στήλης.
- Μεταδίδεται μέσω της μύγας τσε τσε (*Glossina* spp.), η οποία τρέφεται με αίμα και απαντά σε ορισμένες περιοχές της Αφρικής.
- Μετά την μετάδοση από άνθρωπο στη μύγα, πολλαπλασιάζεται στον εντερικό σωλήνα της μύγας και προσβάλλει τους σιελογόνους αδένες και τμήματα του στόματος του εντόμου, από όπου και μεταδίδεται σε νέο ανθρώπινο ξενιστή.

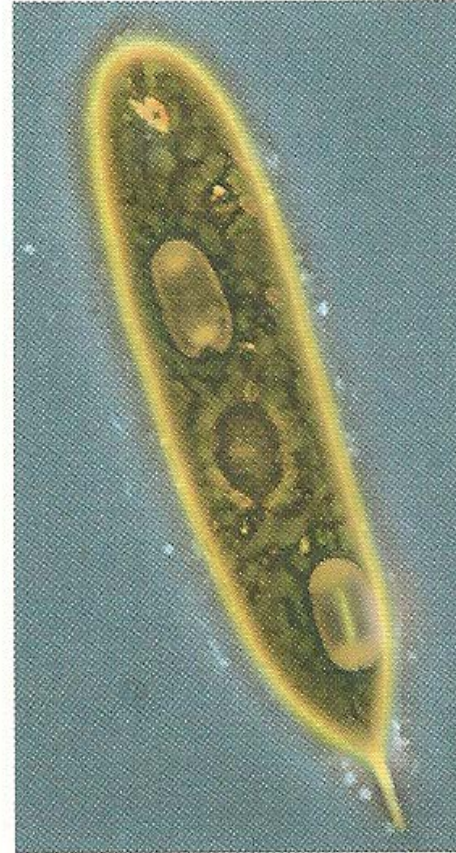
- Το *Trypanosoma cruzi* είναι ο αιτιολογικός παράγοντας της **ασθένειας Chagas**.
- Μεταδίδεται από τσίμπημα εντόμου («έντομο του φιλιού»).
- Η ασθένεια είναι συνήθως αυτοπεριοριζόμενη, αλλά ενδέχεται να μετατραπεί σε χρόνια και να καταλήξει σε θάνατο.
- Κάποια είδη της *Leishmania* αποτελούν τους αιτιολογικούς παράγοντες της **λεισμανίασης**.
- Η λεισμανίαση είναι μια ασθένεια των τροπικών και υποτροπικών περιοχών και μεταδίδεται στον άνθρωπο και σε άλλα θηλαστικά με το τσίμπημα της σκνίπας.
- Η δυνητικά θανατηφόρος ασθένεια εντοπίζεται στο δέρμα γύρω από το σημείο του τσιμπήματος, αλλά ενδέχεται να μολύνει τον σπλήνα και το συκώτι, προκαλώντας συστηματική λοίμωξη.

Ευγληνοειδή

- Είναι μη παθογόνα.
- Μπορεί να είναι χημειοτροφικοί και φωτοτροφικοί.
- Τα περισσότερα έχουν 2 μαστίγια: ένα ραχιαίο και ένα κοιλιακό.
- Διαβιούν αποκλειστικά σε υδάτινα ενδιαιτήματα καθαρών υδάτων και λιμένων και περιέχουν χλωροπλάστες που υποστηρίζουν την φωτοτροφική ανάπτυξη.
- Ωστόσο, στο σκοτάδι, τα κύτταρα της *Euglena* μπορούν να απολέσουν τους χλωροπλάστες και να υπάρξουν ως χημειοργανότροφα.
- Πολλά μπορούν να τραφούν με βακτήρια μέσω φαγοκυττάρωσης.



(a)



(β)

Σχ.271. *Euglena*.

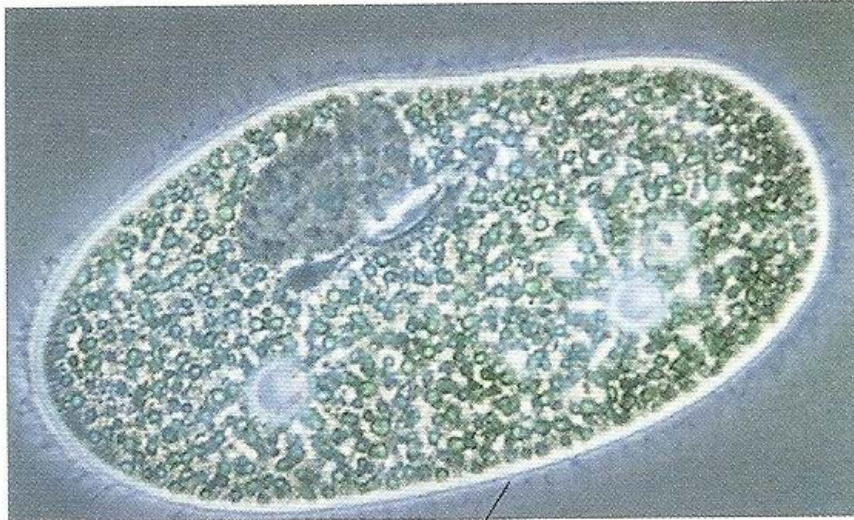
Κυψελιδωτά

Κυριότερα γένη: *Gonyaulax*, *Plasmodium*, *Paramecium*

- Χαρακτηριστικό είναι οι **κυψελίδες** τους (κυτταροπλασματικοί σάκοι που βρίσκονται ακριβώς κάτω από την κυτταροπλασματική μεμβράνη).
- Η λειτουργία τους παραμένει άγνωστη.
- Ενδέχεται να βοηθούν το κύτταρο να διατηρεί την ωσμωτική ισορροπία, ελέγχοντας την είσοδο και έξοδο του νερού στα δινομαστιγοφόρα.
- Ίσως λειτουργούν ως «πανοπλία θωράκισης».
- Γνωρίζουμε 3 φυλογενετικά διακριτά είδη:
 1. Βλεφαριδοφόρα (χρησιμοποιούν βλεφαρίδες για την κίνησή τους),
 2. Δινομαστιγοφόρα (κινούνται με την βοήθεια ενός μαστιγίου), και
 3. Ακροσυμπλεγματικά (ζωικά παράσιτα).

Βλεφαριδοφόρα

- Διαθέτουν βλεφαρίδες που μπορεί να καλύπτουν το κύτταρο ή να σχηματίζουν λοφία ή σειρές, ανάλογα με το είδος.
- Τα πιο γνωστά και πιθανώς πλέον διαδεδομένα είναι του γένους *Paramecium*.
- Όπως πολλά άλλα βλεφαριδοφόρα, το *Paramecium* χρησιμοποιεί τις βλεφαρίδες όχι μόνο για την αυτοκινησία του, αλλά και για να αποκτήσει την τροφή του καταπίνοντας σωματιδιακά υλικά (π.χ. βακτηριακά κύτταρα).
- Η κατάποση επιτυγχάνεται μέσω μιας χαρακτηριστικής στοματικής αύλακας που μοιάζει με χωνί.
- Οι βλεφαρίδες που καλύπτουν εσωτερικά τη στοματική αύλακα ωθούν την τροφή προς τα κάτω στο κυτταρικό στόμα (**οισοφάγος**).
- Η τροφή εσωκλείεται σε ένα κενοτόπιο μέσω φαγοκυττάρωσης και εκκρίνονται μια σειρά από πεπτικά ένζυμα που διασπούν τα τροφικά υλικά.

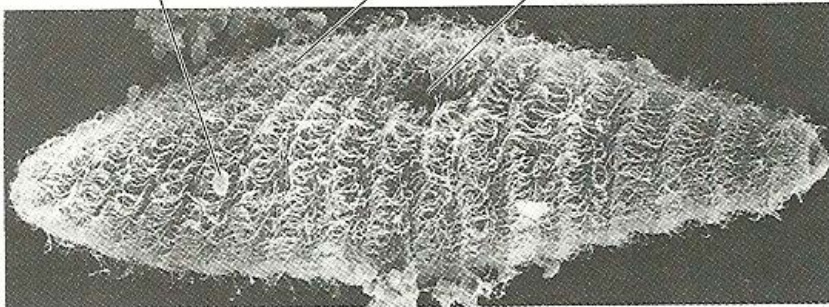


(α)

Κύτταρο ζυμομύκητα
(για σύγκριση)

Βλεφαρίδες

Στοματικό άνοιγμα
(οισοφάγος)

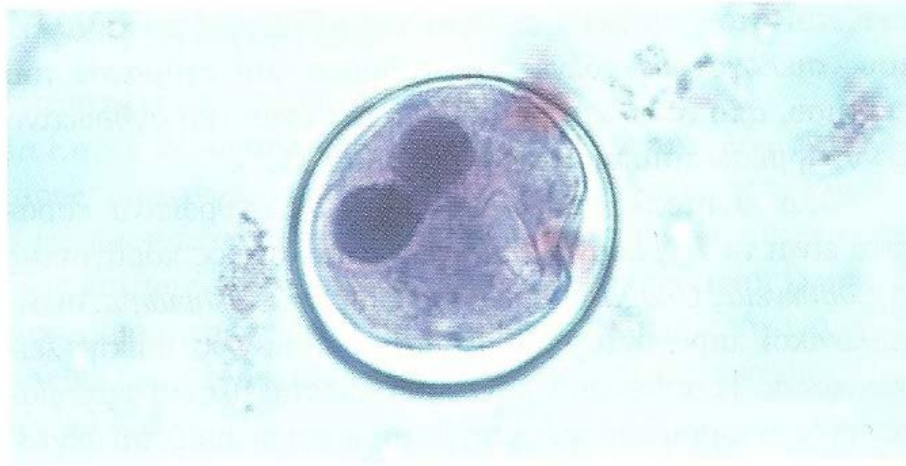


(β)

Σχ.272. *Paramecium*.

- Είναι μοναδικά μεταξύ των πρωτίστων καθώς έχουν 2 είδη πυρήνων:
 1. Μικροπυρήνα, τα γονίδια του οποίου σχετίζονται με τη φυλετική αναπαραγωγή (δημιουργείται με μερική σύντηξη δυο κυττάρων *Paramecium* και ανταλλαγή μικροπυρήνων).
 2. Μακροπυρήνα, τα γονίδια του οποίου ρυθμίζουν βασικές κυτταρικές λειτουργίες.
- Πολλά είδη είναι ξενιστές για ενδοσυμβιωτικούς προκαρυώτες ή ευκαρυώτες (συνήθως πράσινα φύκη).
- Τα βλεφαριδοφόρα μπορούν να είναι και συμβιωτικά (υποχρεωτικώς αναερόβια βλεφαριδοφόρα υπάρχουν στον προστόμαχο μυρηκαστικών ζώων και παίζουν σημαντικό ρόλο στην πέψη).
- Όμως, υπάρχουν και βλεφαριδοφόρα που είναι ζωικά παράσιτα.
- Το *Balantidium coli* είναι εντερικό παράσιτο οικόσιτων ζώων.

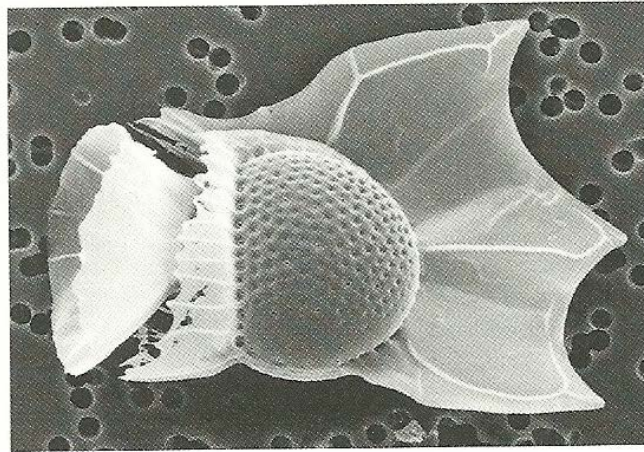
- Περιστασιακά, όμως, προσβάλλει τον εντερικό σωλήνα του ανθρώπου προκαλώντας συμπτώματα δυσεντερίας.



Σχ.273. *Balantidium coli*. Η δομή με σκούρο μπλε είναι ο μακροπυρήνας.

Δινομαστιγοφόρα

- Είναι μια ποικιλόμορφη ομάδα φωτοτροφικών κυψελιδωτών που διαβιούν σε γλυκά και θαλάσσια ύδατα.
- Απέκτησαν την ικανότητα φωτοσύνθεσης μέσω δευτερογενούς ενδοσυμβίωσης.
- Έχουν ικανότητα περιστροφικής κίνησης (δίνη), μέσω μαστιγίων.
- Έχουν 2 μαστίγια:
 1. Ένα εγκάρσιο που προσδένεται πλευρικά, και
 2. Ένα διαμήκες που ξεκινά από την πλευρική αύλακα του κυττάρου και εκτείνεται κατά μήκος του.
- Ορισμένα ζουν ελεύθερα, ενώ άλλα με ζώα που σχηματίζουν κοραλλιογενείς υφάλους, αποκτώντας προστατευμένο περιβάλλον και προσφέροντας φωτοτροφική παροχή οργανικών ενώσεων άνθρακα ως αντάλλαγμα.



Σχ.274. Το θαλάσσιο δινομαστιγοφόρο *Ornithocercus magnificus*. Το κυρίως κύτταρο είναι η κεντρική σφαιρική δομή.

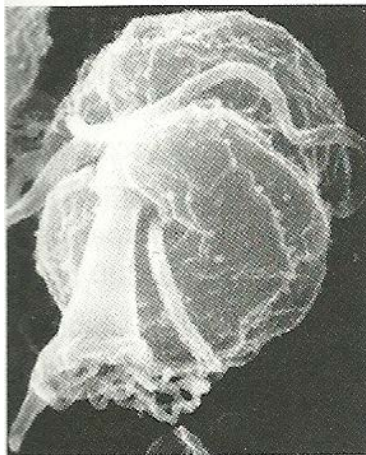
- Αρκετά είδη είναι τοξικά.
- Πυκνά εναιωρήματα κυττάρων *Gonyaulax* σχηματίζουν «ερυθρές παλίρροιες» σε θερμά και συνήθως μολυσμένα παράκτια νερά, λόγω των ερυθρών χρωστικών.
- Αυτές οι παλίρροιες σχετίζονται συχνά με τον θάνατο ψαριών και τη δηλητηρίαση ανθρώπων μετά από κατανάλωση μυδιών, στα οποία έχουν συσσωρευθεί κύτταρα *Gonyaulax*.

- Η τοξικότητα οφείλεται σε μια νευροτοξίνη που προκαλεί στον άνθρωπο και σε ορισμένα θαλάσσια ζώα (βίδρα) **παραλυτική οστρακοειδή δηλητηρίαση**.
- Τα συμπτώματα περιλαμβάνουν μούδιασμα των χειλιών, ζάλη και δυσκολία στην αναπνοή (σε σοβαρές περιπτώσεις ενδέχεται να προκληθεί και θάνατος).
- Άλλο τοξικό δινομαστιγοφόρο είναι το *Pfiesteria*.
- Τοξικά σπόρια του *Pfiesteria piscicida* μολύνουν ψάρια, τα οποία πεθαίνουν λόγω των νευροτοξινών που επηρεάζουν την κίνησή τους και καταστρέφουν το δέρμα τους.
- Οι πληγές που δημιουργούνται σε διάφορα σημεία του σώματος επιτρέπουν την ανάπτυξη περιστασιακών βακτηριακών παθογόνων.
- Στα συμπτώματα της τοξιναιμίας που προκαλείται στον άνθρωπο από δηλητηρίαση από *Pfiesteria* περιλαμβάνονται δερματικά εξανθήματα και αναπνευστικά προβλήματα.



Rita R. Colwell

(α)



North Carolina State University Center for Applied Ecology

(β)



North Carolina State University Center for Applied Ecology

(γ)

Σχ.275. Τοξικά δινομαστιγοφόρα.
(α) Ερυθρή παλίρροια.
(β) *Pfiesteria piscicida*.
(γ) Θανατωμένο ψάρι από *P. piscicida*.

Ακροσυμπλεγματικά

- Είναι μη φωτοτροφικά υποχρεωτικά παράσιτα που προκαλούν σοβαρές ασθένειες στον άνθρωπο, όπως:
 - Ελονοσία (*Plasmodium*),
 - Τοξοπλάσμωση (*Toxoplasma*),
 - Κοκκιδίωση (*Eimeria*).
- Χαρακτηρίζονται από μη αυτοκινούμενα ενήλικα στάδια και η πρόσληψη των θρεπτικών συστατικών γίνεται σε διαλυτή μορφή μέσω της κυτταροπλασματικής μεμβράνης (όπως στα βακτήρια και στους μύκητες).
- Παράγουν δομές, τα **σποροζωΐδια**, που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση σε νέο ξενιστή.
- Ονομάζονται έτσι λόγω της παρουσίας ενός συμπλέγματος οργανιδίων στο ένα άκρο του σποροζωιδίου, το οποίο διαπερνά τα κύτταρα του ξενιστή.

- Περιέχουν, επίσης, **κορυφοπλάστες** (εκφυλισμένοι χλωροπλάστες χωρίς χρωστικές, ούτε φωτοτροφική ικανότητα).
- Οι κορυφοπλάστες καταλύουν τη βιοσύνθεση λιπαρών οξέων, ισοπρενοειδών και αίμης και εξάγουν τα προϊόντα τους στο κυτταρόπλασμα.
- Εικάζεται ότι προέρχονται από ερυθροφύκη που ενσωματώθηκαν στα ακροσυμπλεγματικά μέσω δευτερογενούς ενδοσυμβίωσης.
- Με την πάροδο των ετών, όμως, ο χλωροπλάστης των ερυθροφυκών εκφυλίστηκε, αποκτώντας μη φωτοτροφικό ρόλο.
- Ξενιστές των ακροσυμπλεγματικών μπορεί να είναι σπονδυλωτά ή ασπόνδυλα.
- Σε ορισμένες περιπτώσεις, γίνεται εναλλαγή ξενιστών (κάποια στάδια του κύκλου ζωής συνδέονται με έναν ξενιστή και κάποια άλλα με διαφορετικό ξενιστή).



(α)



(β)

Σχ.276. Ακροσυμπλεγματικά. (α) Γαμετοκύτταρο *Plasmodium falciparum* σε επίχρισμα αίματος. Το γαμετοκύτταρο είναι η φάση του κύκλου ζωής του παράσιτου της ελονοσίας που μολύνει το κουνούπι-φορέα. (β) Σποροζωΐδια *Toxoplasma gondii*.

Στραμενόπιλα

Κυριότερα γένη: *Phytophthora*, *Ochromonas*, *Macrocystis*

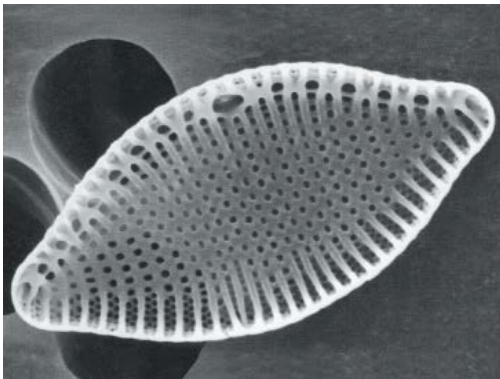
- Περιλαμβάνουν χημειοργανοτροφικούς και φωτοτροφικούς μικροοργανισμούς, καθώς και μακροοργανισμούς.
- Φέρουν μαστίγια με πολλές μικρές προεκτάσεις που μοιάζουν με τρίχες (σε αυτό το μορφολογικό χαρακτηριστικό οφείλεται το όνομά τους).
- Οι κύριες ομάδες είναι:
 - Διάτομα,
 - Ωομύκητες, και
 - Χρυσόφαια φύκη και φαιοφύκη.

Διάτομα

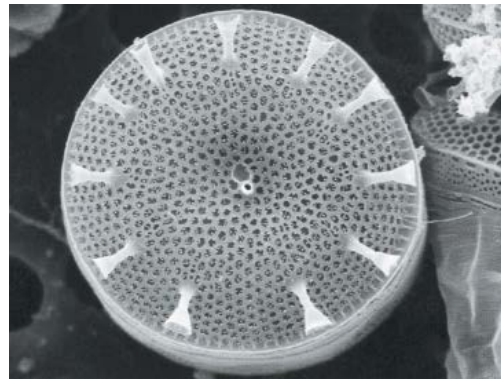
- Περιλαμβάνουν πάνω από 200 είδη φωτοτροφικών ευκαρυωτών και αποτελούν μείζονα συστατικά της μικροβιακής κοινότητας του φυτοπλαγκτού των θαλάσσιων και γλυκών υδάτων.
- Παράγουν ένα χαρακτηριστικό κυτταρικό τοίχωμα πυριτίου, στο οποίο προσδένονται πρωτεΐνες και πολυσακχαρίτες.
- Ο ρόλος του τοιχώματος είναι η προστασία του κυττάρου από θήρευση.
- Τα τοιχώματα διαφέρουν ως προς το σχήμα μεταξύ των ειδών.
- Η εξωτερική δομή (**θήκη**) συχνά παραμένει μετά τον θάνατο του κυττάρου και συνιστούν ορισμένα από τα καλύτερα γνωστά απολιθώματα μονοκύτταρων ευκαρυωτών.



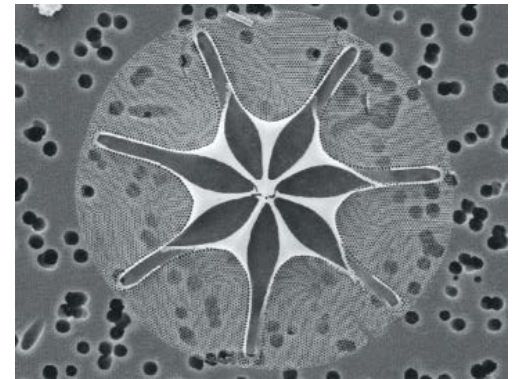
(α)



(β)



(γ)



(δ)

Σχ.277. Θήκες διατόμων.

Ωομύκητες

- Είναι γνωστοί και ως **υδρόβιοι μύκητες**.
- Παλαιότερα είχαν καταταχθεί στους μύκητες, λόγω των κοινοκυτταρικών τους υφών (χαρακτηριστικό των μυκήτων).
- Φυλογενετικά, ωστόσο, συνδέονται με τα στραμενόπιλα.
- Τα κυτταρικά τους τοιχώματα αποτελούνται από κυτταρίνη, ενώ των μυκήτων από χιτίνη.
- Από οικολογική άποψη, μοιάζουν με τους μύκητες, καθώς αναπτύσσονται ως μάζα υφών που αποσυνθέτουν νεκρή φυτική και ζωική ύλη σε υδάτινα ενδονιμώματα.
- Ο ωομύκτης *Phytophthora infestans* είχε μεγάλο αντίκτυπο στην ανθρωπότητα, καθώς ευθύνεται για την ασθένεια όψιμη ερεσίβη της πατάτας και προκάλεσε μεγάλο λιμό στην Ιρλανδία στα μέσα του 19^{ου} αιώνα και μεγάλο μεταναστευτικό κύμα στις ΗΠΑ.
- Το *Phyitium* είναι κοινό παθογόνο των σπορόφυτων των θερμοκηπίων.

Χρυσόφαια φύκη και φαιοφύκη

- Τα **χρυσόφαια φύκη (χρυσόφυτα)** είναι κυρίως μονοκύτταρα θαλάσσια ή γλυκού νερού φωτότροφα.
- Ορισμένα είδη είναι χημειοργανότροφα και τρέφονται είτε μέσω φαγοκυττάρωσης ή μεταφέροντας διαλυτές οργανικές ενώσεις διαμέσου της κυτταροπλασματικής μεμβράνης.
- Έχουν ως κύρια χρωστική χλωροφύλλη γ αντί α και δεν διαθέτουν φυκοχολοπρωτεΐνες που απαντούν στους χλωροπλάστες των ερυθροφυκών.
- Τα **φαιοφύκη** είναι κυρίως θαλάσσιοι, πολυκυτταρικοί και τυπικά μακροσκοπικοί οργανισμοί.
- Δεν είναι γνωστές μονοκύτταρες μορφές φαιοφυκών.
- Το γιγάντιο *Macrocystis* μπορεί να αναπτυχθεί έως 50m!



(α)



(β)



(γ)

Σχ.278. Χρυσόφαια φύκη και φαιοφύκη. (α) *Dinobryon* (χρυσόφυτο). (β) *Macrocystis* (φαιοφύκος). (γ) *Ochromonas* (χρυσόφυτο).

Κερκόζωα και Ακτινόζωα

- Τα κερκόζωα και τα ακτινόζωα διαχωρίστηκαν σχετικά πρόσφατα.
- Ξεχωρίζουν από τα άλλα πρώτιστα χάρη στις νηματοειδείς κυτταροπλασματικές προεκτάσεις (ψευδοπόδια).
- Τα κερκόζωα μέχρι πρόσφατα είχαν ταξινομηθεί ως αμοιβάδες, καθώς έχουν ψευδοπόδια.

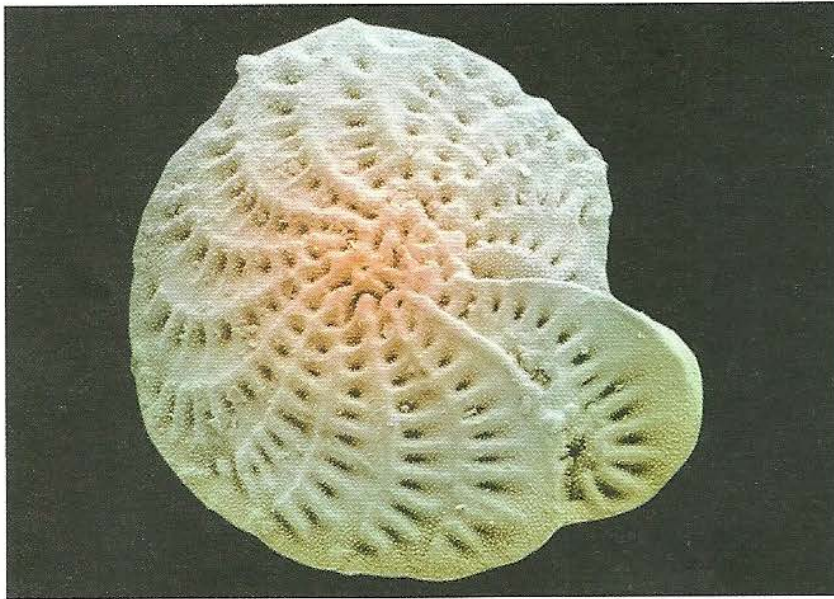
Κερκόζωα

- Στα κερκόζωα περιλαμβάνονται τα **χλωραραχνιόφυτα** και τα **τρηματοφόρα**.
- Τα **χλωραραχνιόφυτα** είναι αμοιβαδοειδή φωτότροφα των γλυκών και θαλάσσιων υδάτων και αναπτύσσουν μαστίγιο για τη διασπορά τους.
- Τα **τρηματοφόρα** είναι αποκλειστικά θαλάσσιοι οργανισμοί.

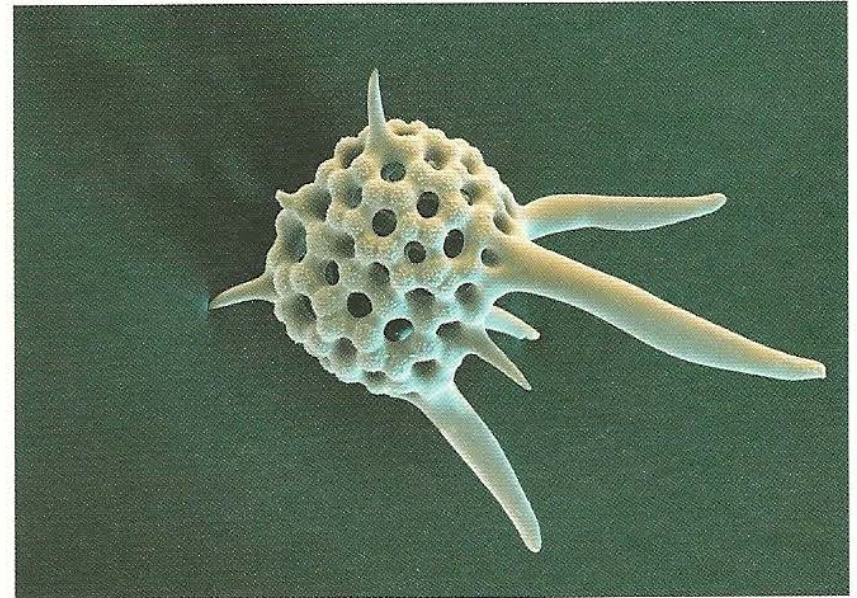
- Σχηματίζουν δομές που μοιάζουν με κελύφη (*test*).
- Οι *test* συντίθενται από οργανικά υλικά ενισχυμένες με ανθρακικό ασβέστιο.
- Δεν συνδέονται ισχυρά με το κύτταρο.
- Το αμοιβδοειδές κύτταρο μπορεί να επεκταθεί ως ένα βαθμό έξω από την *test* κατά τη θρέψη.
- Παρόλ' αυτά, λόγω του βάρους της *test*, το κύτταρο συνήθως βυθίζεται στον πυθμένα των υδάτων.
- Τρέφονται με διαλυμένη οργανική ύλη (κυρίως βακτήρια, άλλα πρώτιστα και υπολείμματα νεκρών οργανισμών που βρίσκονται κοντά σε ιζήματα).
- Τα κύτταρα των τρηματοφόρων μπορούν να αποτελέσουν ξενιστές για ποικιλία φυκών, τα οποία σχηματίζουν ενδοσυμβιωτικές σχέσεις με το πρώτιστο.
- Τα φύκη παρέχουν οργανικό άνθρακα με αντάλλαγμα ανόργανα συστατικά που προέρχονται από τη διάσπαση νεκρών οργανισμών.

Ακτινόζωα

- Είναι κυρίως πλαγκτονικοί θαλάσσιοι ευκαρυώτες που σχηματίζουν νηματοειδή ψευδοπόδια.
- Είναι αυστηρά ετερότροφα και διαβιούν κυρίως στα ανώτερα 100m των ωκεανών.
- Καταναλώνουν βακτήρια και οργανική ύλη.
- Ορισμένα είδη σχετίζονται με φύκη (συμβίωση), παρέχοντας θρεπτικά συστατικά στα ακτινόζωα.
- Μαζί με την συσσώρευση λιπιδικών σταγονιδίων και κυτταροπλασματικών κενοδοπίων, τα βελονοειδή ψευδοπόδια, πιθανώς, βοηθούν στην αποφυγή της βύθισης στα ανοικτού ωκεανού ενδιαιτήματα.



(α)



(β)

Σχ.279. Κερκόζωα και ακτινόζωα. (α) Τρηματοφόρο. (β) Ακιδωτό ακτινόζωο της ομάδας *Nassellaria*.

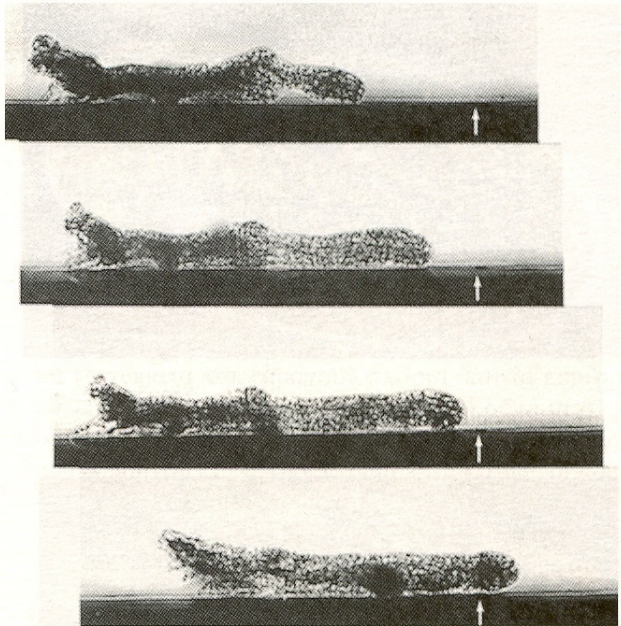
Αμοιβαδόζωα

- Είναι μια μεγάλη ομάδα χερσαίων και υδρόβιων πρωτίστων που χρησιμοποιούν αμοιβαδοειδή ψευδοπόδια.
- Οι κύριες ομάδες είναι οι **γυμναμοιβάδες**, οι **ενδοαμοιβάδες**, οι **πλασμοδιακοί μυξομύκητες** και οι **κυτταρομυξομύκητες**.

Γυμναμοιβάδες και ενδοαμοιβάδες

- Οι **γυμναμοιβάδες** διαβιούν ελεύθερα σε υδάτινα ενδιαιτήματα και στο έδαφος.
- Η αμοιβαδοειδής κίνηση είναι αποτέλεσμα ροής του κυτταροπλάσματος προς τα εμπρός, με κατεύθυνση προς το κυτταρικό άκρο που είναι λιγότερο παχύρρευστο (μονοπάτι με τη μικρότερη αντίσταση).
- Η ροή του κυτταροπλάσματος διευκολύνεται από μικροϊνίδια που βρίσκονται σε ένα λεπτό στρώμα κάτω από την κυτταροπλασματική μεμβράνη.

- Οι ενδοαμοιβάδες είναι παράσιτα των σπονδυλωτών και των ασπονδύλων.
- Συνήθης ενδιαίτημά τους είναι η στοματική κοιλότητα και ο εντερικός σωλήνας.
- Το *Entamoeba histolytica* είναι παθογόνο του ανθρώπου και μπορεί να προκαλέσει αμοιβαδική δυσεντερία (αιματηρή διάρροια).
- Οι αμοιβάδες μεταδίδονται ύστερα από μόλυνση του νερού και της τροφής με κόπρανα.

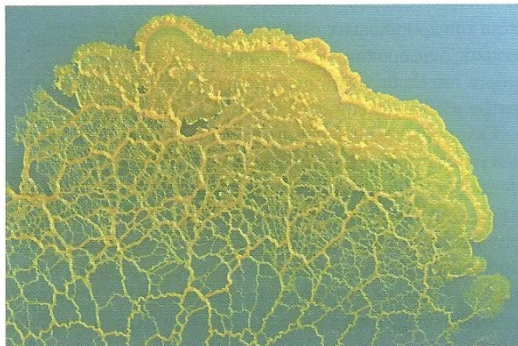


Σχ.280. Κινούμενη αμοιβάδα (*Amoeba proteus*).

Μυξομύκητες

- Εμφανίζουν φαινοτυπική ομοιότητα τόσο με τους μύκητες, όσο και με τα πρωτόζωα (παλιότερα είχαν ομαδοποιηθεί με τους μύκητες).
- Όπως και στους μύκητες, κατά τον κύκλο ζωής τους παράγονται σπόρια.
- Ωστόσο, όπως και τα πρωτόζωα, διαθέτουν αυτοκινησία (μπορούν να μετακινηθούν σε μια στερεή επιφάνεια αρκετά γρήγορα).
- Χωρίζονται σε 2 ομάδες:
 1. Στους **ακυτταρομυξομύκητες** των οποίων η βλαστική φάση είναι πρωτοπλασματικές μάζες ακαθόριστου μεγέθους και σχήματος (**πλασμώδια**), και
 2. Στους **κυτταρομυξομύκητες** των οποίων η βλαστική φάση είναι αμοιβαδοειδή κύτταρα.

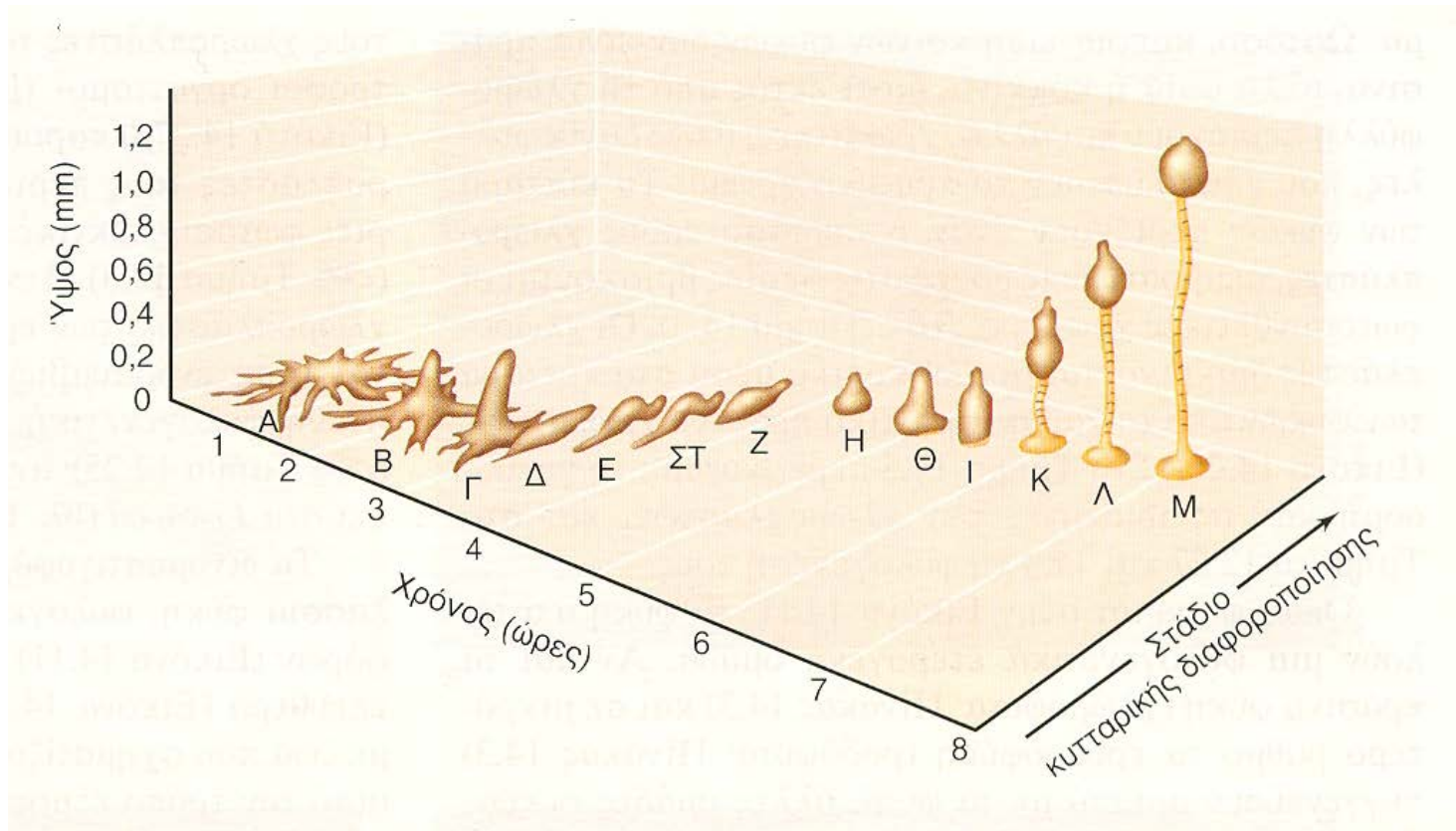
- Οι ακυτταρομυξομύκητες, όπως το *Physarum*, είναι μια μάζα πρωτοπλάσματος απροσδιόριστου μεγέθους στη βλαστική φάση, η οποία κινείται με αμοιβαδοειδή κίνηση.
- Το πλασμώδιο ρέει πάνω στην επιφάνεια του υποστρώματος, εγκολπώντας σωματίδια τροφής καθώς κινείται.
- Το πλασμώδιο των ακυτταρομυξομυκήτων είναι γενετικά διπλοειδές.
- Από την πρωτοπλασματική μάζα παράγονται σποριάγγελια και απλοειδή σπόρια.
- Υπό ευνοϊκές συνθήκες, τα σπόρια βλασταίνουν και δίνουν απλοειδή κύτταρα.
- Η σύντηξη δύο απλοειδών κυττάρων, στη συνέχεια, δημιουργεί το διπλοειδές πλασμώδιο.



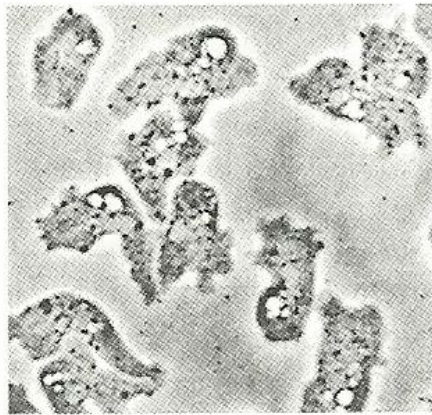
Σχ.281. Μυξομύκητας (*Physarum*).

- Ο **κυτταρομυξομύκητας *Dictyostelium discoideum*** έχει ένα εντυπωσιακό κύκλο ζωής, κατά τον οποίο τα βλαστικά κύτταρα συσσωρεύονται, μετακινούνται ως ενιαία μάζα κυττάρων, και τελικά σχηματίζουν καρποσώματα, στα οποία τα κύτταρα διαφοροποιούνται και παράγουν σπόρια.
- Λόγω έλλειψης τροφής, τα κύτταρα του *Dictyostelium discoideum* συναθροίζονται και σχηματίζουν ένα **ψευδοπλασμώδιο**, δομή στην οποία τα κύτταρα χάνουν την ατομικότητά τους, αλλά δεν συγχωνεύονται.
- Η συνάθροιση επάγεται από το cAMP και μια ειδική γλυκοπρωτεΐνη (και οι δύο ενώσεις δρουν ως χημειοτακτικοί παράγοντες).
- Τα κύτταρα που παράγουν πρώτα αυτές τις ενώσεις αποτελούν κέντρα προσέλκυσης άλλων βλαστικών κυττάρων και κατ' αυτό τον τρόπο δημιουργούνται μάζες κυττάρων που σχηματίζουν μια βλεννώδη μετακινούμενη μάζα γνωστή ως «**γυμνοσάλιαγκας**».

- Η δημιουργία καρποσωμάτων αρχίζει όταν ο «γυμνοσάλιαγκας» σταματά να κινείται και προσανατολίζεται κάθετα προς την επιφάνεια κίνησης.
- Το καρπόσωμα διαφοροποιείται σε μίσχο και κεφαλή.
- Τα κύτταρα του πρόσθιου τμήματος του «γυμνοσάλιαγκα» γίνονται κύτταρα του μίσχου, ενώ του οπίσθιου τμήματος συναθροίζονται στην κορυφή του μίσχου.
- Τα κύτταρα του μίσχου εκκρίνουν κυτταρίνη, η οποία του προσδίδει ακαμψία.
- Τα περισσότερα από τα κύτταρα της κεφαλής διαφοροποιούνται σε σπόρια.
- Όταν η κεφαλή ωριμάσει τα σπόρια απελευθερώνονται και διασκορπίζονται.
- Κάθε σπόριο βλασταίνει και απελευθερώνει μια βλαστική αμοιβάδα.

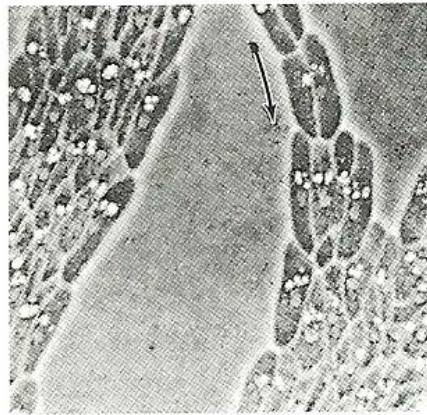


Σχ.282. Στάδια σχηματισμού καρποσωμάτων στον κυτταρομυξομύκητα *Dictyostelium discoideum*. (Α-Γ) Συνάθροιση αμοιβάδων, (Δ-Ζ) Μετακίνηση του «γυμνοσάλιαγκα» που σχηματίστηκε από τη συνάθροιση των αμοιβάδων, (Η-Λ) Κορύφωση και σχηματισμός του καρποσώματος, (Μ) Ωριμο καρπόσωμα.



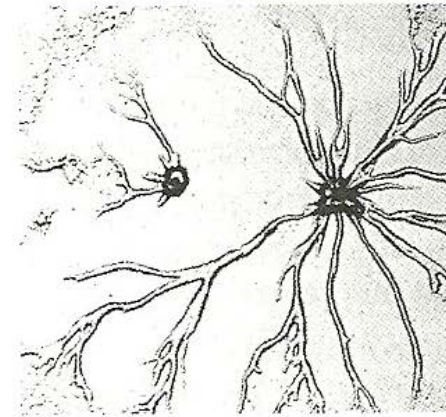
Kenneth B. Raper

(α)



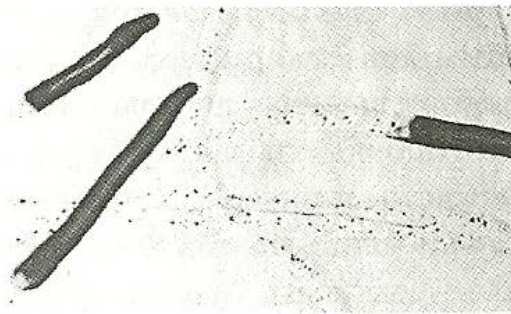
Kenneth B. Raper

(β)



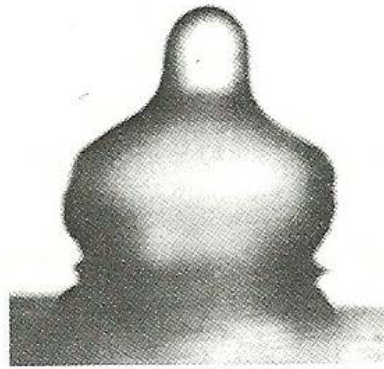
Kenneth B. Raper

(γ)



Kenneth B. Raper

(δ)



Kenneth B. Raper

(ε)



Kenneth B. Raper

(στ)



Kenneth B. Raper

(ζ)

Σχ.283. Μικροφωτογραφίες διαφόρων σταδίων του κύκλου ζωής του κυτταρομυξομύκητα *Dictyostelium discoideum*. (α) Αμοιβάδες πριν τη συνάθροιση. (β) Συναθροισμένες αμοιβάδες. (γ) Χαμηλής μεγέθυνσης άποψη της συνάθροισης των αμοιβάδων. (δ) Μετακινούμενα ψευδοπλασμάδια («γυμνοσάλιαγκοι») που αφήνουν ίχνη βλέννης. (ε, στ) Πρώιμο στάδιο καρποσώματος. (ζ)

- Στο *Dictyostelium*, ο κύκλος σχηματισμού καρποσωμάτων και σπορίων είναι αφυλετικός.
- Ωστόσο, παράγονται και φυλετικά σπόρια (δομή που ονομάζεται **μακροκύστη**).
- Οι δομές αυτές παράγονται από συσσωματώματα αμοιβάδων, τα οποία περικλείει ένα τοίχωμα από κυτταρίνη και η οποία παραμένει σε λανθάνουσα κατάσταση για μεγάλα χρονικά διαστήματα.
- Τελικά, ο διπλοειδής πυρήνας υφίσταται μείωση και δίνει απλοειδείς πυρήνες, οι οποίοι ενσωματώνονται σε νέες αμοιβάδες που αρχίζουν μια νέα βλαστική φάση ανάπτυξης.

Μύκητες

- Οι κύριες ομάδες των μυκήτων είναι:

1. Οι μούχλες,

2. Οι ζυμομύκητες, και

3. Τα μανιτάρια.

- Οι περισσότεροι είναι χερσαίοι, ζουν στο έδαφος και σε νεκρή φυτική ύλη.

- Ορισμένοι είναι υδρόβιοι και ζουν κυρίως σε γλυκά νερά, ενώ λίγοι ζουν σε θαλάσσιο περιβάλλον.

Φυσιολογία, δομή και συμβίωση μυκήτων

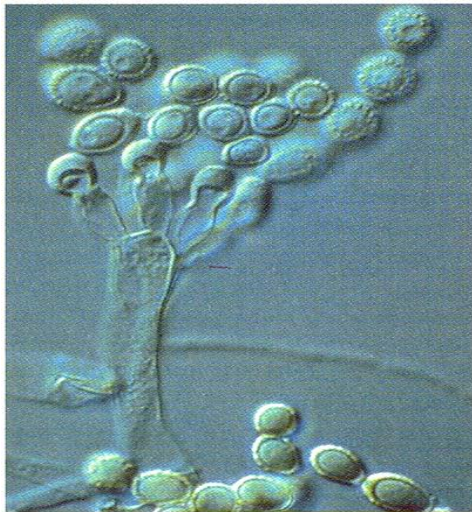
Θρέψη και φυσιολογία

- Οι μύκητες είναι χημειοοργανότροφοι και γενικά έχουν απλές διατροφικές απαιτήσεις.
- Μια σημαντική οικολογική δραστηριότητα είναι η αποσύνθεση του ξύλου.
- Υπάρχουν 2 τύποι σήψης του ξύλου:
 1. **Φαιά σήψη**, κατά την οποία προσβάλλεται κυρίως η κυτταρίνη, ενώ η λιγνίνη δεν μεταβολίζεται, και
 2. **Λευκή σήψη**, κατά την οποία τόσο η κυτταρίνη όσο και η λιγνίνη αποσυντίθενται.

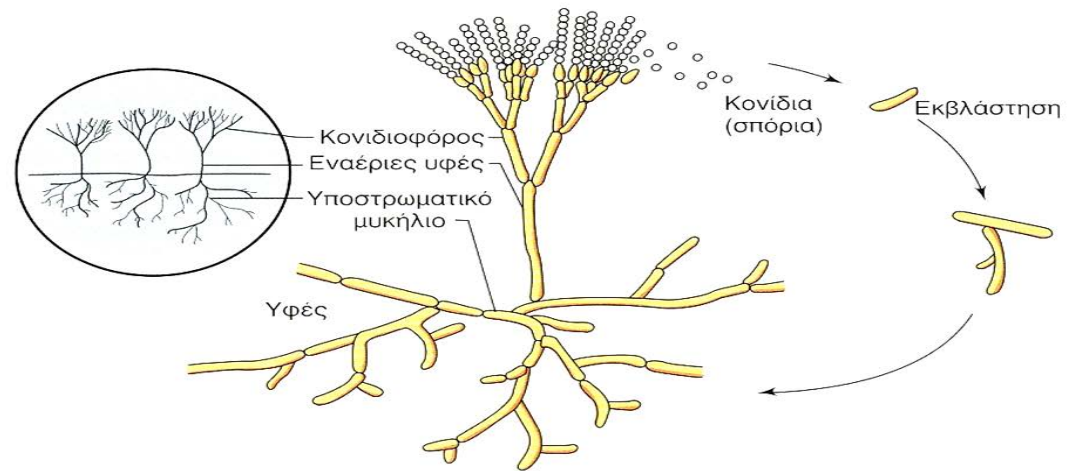
Μορφολογία, σπόρια και κυτταρικά τοιχώματα

- Οι περισσότεροι μύκητες είναι πολυπυρηνικοί.
- Σχηματίζουν δίκτυο νηματίων (**υφές**) από τις οποίες παράγονται αφυλετικά σπόρια.
- Κάθε νημάτιο (**υφή**) αναπτύσσεται από το άκρο, με επέκταση του τελευταίου κυττάρου.
- Οι υφές αναπτύσσονται μαζί κατά μήκος μιας επιφάνειας και σχηματίζουν συμπαγείς θυσάνους (**μυκήλια**).
- Το μυκήλιο σχηματίζεται καθώς διακλαδίζονται και επεκτείνονται οι υφές, δημιουργώντας ένα συμπαγές στρώμα.
- Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα βλαστικά κύτταρα των υφών έχουν περισσότερους από ένα πυρήνες (συχνά εκατοντάδες).
- Μια τυπική υφή είναι ένας σωλήνας γεμάτος κυτταρόπλασμα και πυρήνες (**κοινοκυτταρική κατάσταση**).

- Υφές από το μυκήλιο αναπτύσσονται προς τα πάνω και παράγουν σπόρια (κονίδια).
- Τα κονίδια είναι αφυλετικά σπόρια, συχνά έγχρωμα, ανθεκτικά στην ξηρασία, και η λειτουργία τους έγκειται στη διασπορά των μυκήτων σε νέα ενδιαίτηματα.

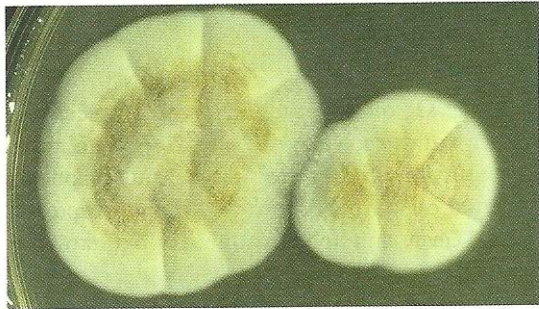


(α)

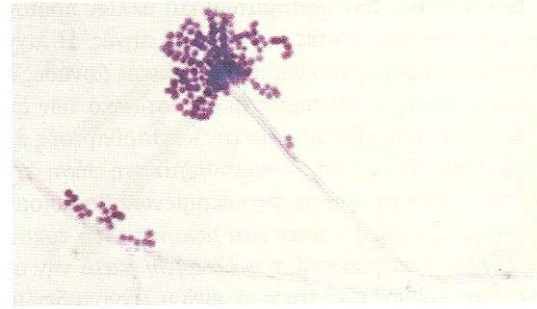


(β)

Σχ.284. Δομή και ανάπτυξη μυκήτων. (α) Μικροφωτογραφία τυπικής μούχλας. (β) Σχηματική αναπαράσταση του κύκλου ζωής μιας μούχλας.



(α)



(β)

Σχ.285. Μύκητες με υφές (μούχλες). (α) *Aspergillus* (ασκομύκητας) που αναπτύσσεται σε τρυβλίο agar. (β) Κονιδιοφόρος και κονίδια *Aspergillus fumigatus*.

- Από δομική άποψη, τα κυτταρικά τοιχώματα των μυκήτων μοιάζουν με αυτά των φυτών (αν και διαφέρουν όσο αφορά τη χημική δομή).
- Σε ορισμένους μύκητες, τα κυτταρικά τοιχώματα έχουν κυτταρίνη, ενώ το πιο κοινό συστατικό τους είναι η χιτίνη.
- Σε ορισμένους μύκητες η χιτίνη αντικαθίστανται από άλλες γλυκάνες (μαννάνες, γαλακτοζάνες, χιτοζάνες).
- Γενικά, τα κυτταρικά τοιχώματα των μυκήτων αποτελούνται από πολυσακχαρίτες κατά 80-90% μέσα σε ένα πλέγμα από πρωτεΐνες, λιπίδια, πολυφωσφορικό και ανόργανα άλατα.

Συμβίωση και παθογένεση

- Τα περισσότερα φυτά εξαρτώνται από συγκεκριμένους μύκητες, οι οποίοι διευκολύνουν την πρόσληψη μεταλλικών στοιχείων από το έδαφος.
- Αυτοί οι μύκητες σχηματίζουν συμβιωτικές σχέσεις με τις ρίζες των φυτών (μυκόρριζα).
- Οι μύκητες των μυκόρριζων βρίσκονται σε στενή φυσική επαφή με τις ρίζες και βοηθούν το φυτό να προσλάβει φωσφορικά και άλλα μεταλλικά στοιχεία, καθώς επίσης και νερό από το έδαφος.
- Σε αντάλλαγμα, οι μύκητες προσλαμβάνουν θρεπτικά συστατικά (π.χ. σάκχαρα) από τις ρίζες του φυτού.
- Υπάρχουν 2 είδη μυκορριζικών σχέσεων:

1. Τα **εκτομυκόρριζα**, που σχηματίζονται μεταξύ βασιδιομυκήτων και ριζών ξυλωδών φυτών, και

2. Τα **ενδομυκόρριζα**, που σχηματίζονται μεταξύ γκλομερομυκήτων και μη ξυλωδών φυτών.

- Ορισμένοι μύκητες δημιουργούν, επίσης, σχέσεις με κυανοβακτήρια ή πράσινα φύκη (**λειχήνες**), τις χρωματιστές και ελαφρώς σκληρές συστάδες πάνω στις επιφάνειες δέντρων και βράχων.
- Πολλοί μύκητες προκαλούν ασθένειες σε φυτά και ζώα.
- Οι φυτοπαθογόνοι μύκητες προκαλούν εκτεταμένη ζημιά στους καρπούς και στα φυτά.

Αναπαραγωγή και φυλογενετική μυκήτων

- Οι μύκητες αναπαράγονται αφυλετικά με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

1. Με ανάπτυξη και διασπορά νηματίων υφών,

2. Με αφυλετική παραγωγή σπορίων, και

3. Με απλή κυτταρική διαίρεση (εκβλαστώνοντες ζυμομύκητες).

Φυλετικά σπόρια μυκήτων

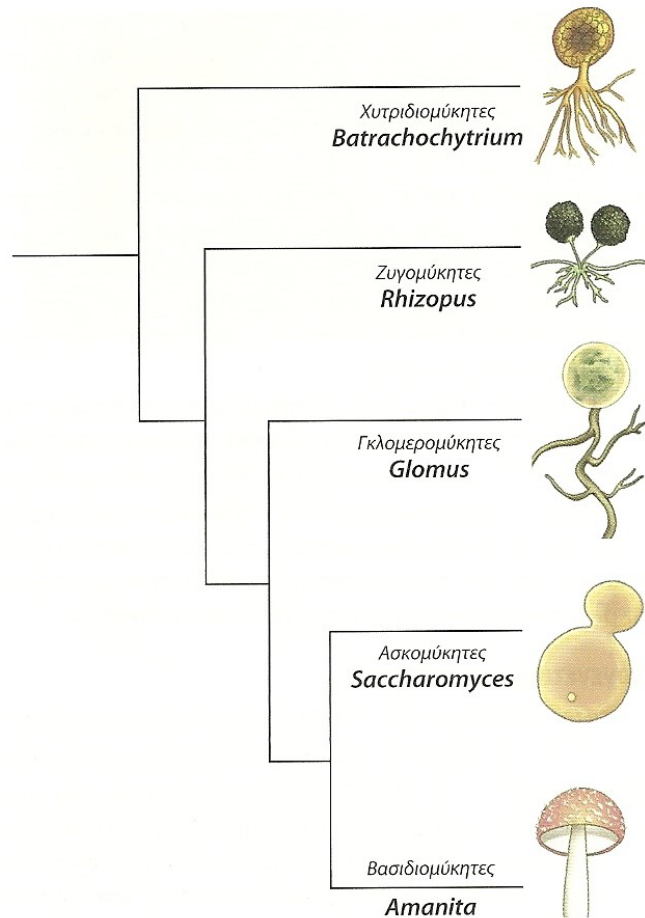
- Ορισμένοι μύκητες παράγουν **φυλετικά σπόρια** που σχηματίζονται από τη σύντηξη είτε μονοκύτταρων γαμετών ή εξειδικευμένων υφών (**γαμετάγγεια**).

- Εναλλακτικά, φυλετικά σπόρια μπορούν να σχηματιστούν από τη σύντηξη δύο απλοειδών κυττάρων και τον σχηματισμό ενός διπλοειδούς, το οποίο στη συνέχεια υφίσταται μείωση και μίτωση, με τελικό αποτέλεσμα την παραγωγή απλοειδών σπορίων.

- Ανάλογα με την ομάδα στην οποία ανήκει ένας μύκητας, παράγει και διαφορετικά φυλετικά σπόρια.
- Τα σπόρια που παράγονται μέσα σε σάκκο (**ασκό**) ονομάζονται **ασκοσπόρια**, ενώ αυτά που παράγονται στο άκρο ροπαλοειδούς δομής (**βασίδιο**) ονομάζονται **βασιδιοσπόρια**.
- Τα **ζυγοσπόρια** που παράγονται από τους **ζυγομύκητες** (παραδείγμα η κοινή μούχλα του ψωμιού γνωστή ως ***Rhizopus***), είναι ορατά με γυμνό μάτι και προκύπτουν με σύντηξη υφών και ανταλλαγή γενετικού υλικού.
- Τα ζυγοσπόρια ωριμάζουν και παράγουν αφυλετικά σπόρια που διασκορπίζονται με τον αέρα, βλαστάνουν και παράγουν νέα μυκήλια.
- Τα αφυλετικά και φυλετικά σπόρια των μυκήτων είναι ανθεκτικά στην ξηρασία, στη θερμότητα, στο ψύχος και σε ορισμένους χημικούς παράγοντες.
- Ωστόσο, δεν είναι τόσο ανθεκτικά στη θερμότητα όσο τα ενδοσπόρια των βακτηρίων.

Φυλογενετική μυκήτων

- Οι μύκητες μοιράζονται με τα ζώα έναν πιο πρόσφατο κοινό πρόγονο από οποιαδήποτε άλλη ομάδα ευκαρυωτικών οργανισμών.



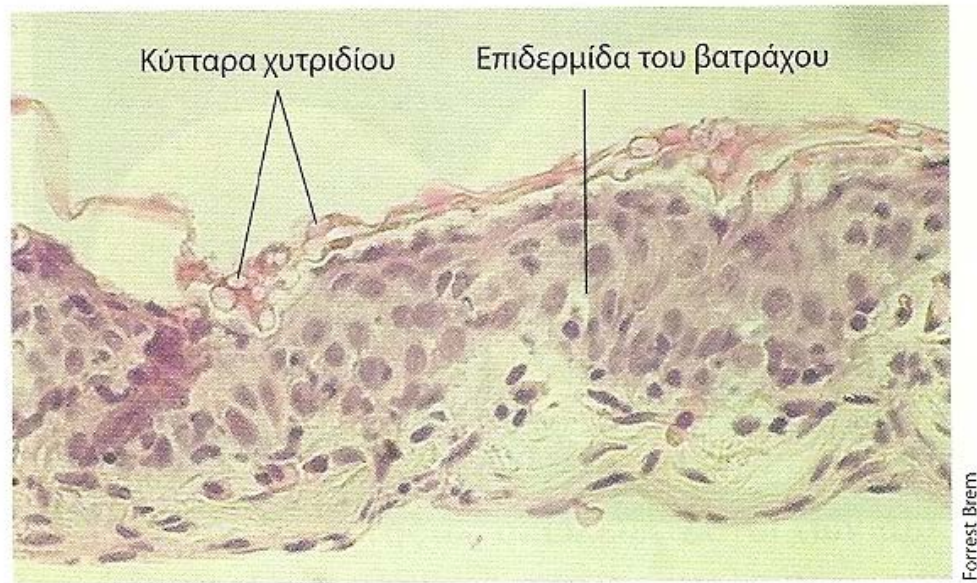
Σχ.286. Φυλογενετική μυκήτων βάσει γονιδιακών αλληλουχιών 18S rRNA.

Χυτριοδιομύκητες

Κυριότερα γένη: *Allomyces*, *Batrachochytrium*

- Είναι η πιο πρώιμη αποκλίνουσα γενεαλογική γραμμή μυκήτων.
- Παράγουν ασυνήθιστα σπόρια, καθώς φέρουν μαστίγια και αυτοκινησία (ζωοσπόρια).
- Ορισμένα είδη υφίστανται ως μεμονωμένα κύτταρα, ενώ κάποια άλλα σχηματίζουν αποικίες με υφές.
- Το χυτρίδιο *Batrachochytrium dendrobatidis* προκαλεί χυτριομυκητίαση σε βατράχους, προσβάλλοντας την επιδερμίδα του βατράχου και εμποδίζοντας την αναπνοή δια μέσου του δέρματος.
- Τα χυτρίδια έχουν εμπλακεί σε μαζικούς θανάτους βατράχων και άλλων αμφίβιων στον κόσμο.
- Άλλα είναι υποχρεωτικώς αναερόβια (εξαιρετικά ασυνήθιστη ιδιότητα για ευκαρυωτικά κύτταρα) και διαβιούν στον προστόμαχο μηρυκαστικών ζώων.

- Το χυτρίδιο *Neocallimastix* (διαβιεί στον προστόμαχο) εξοικονομεί ενέργεια από ζύμωση σακχάρων προς οξέα, αλκοόλη και H_2 .
- Τα κύτταρα του *Neocallimastix* έχουν υδρογονοσώματα αντί μιτοχονδρίων, τα οποία συμβάλλουν στον ζυμωτικό τρόπο ζωής, διασπώντας το πυροσταφυλικό σε οξικό οξύ, CO_2 και H_2 .



Σχ.287. Χυτρίδιομύκητες. Κύτταρα χυτρίδιου *Batrachochytrium dendrobatidis* που αναπτύσσονται στην επιφάνεια επιδερμίδας του βατράχου.

Ζυγομύκητες

Κυριότερα γένη: *Rhizopus*

Rhizopus, η κοινή μούχλα του ψωμιού

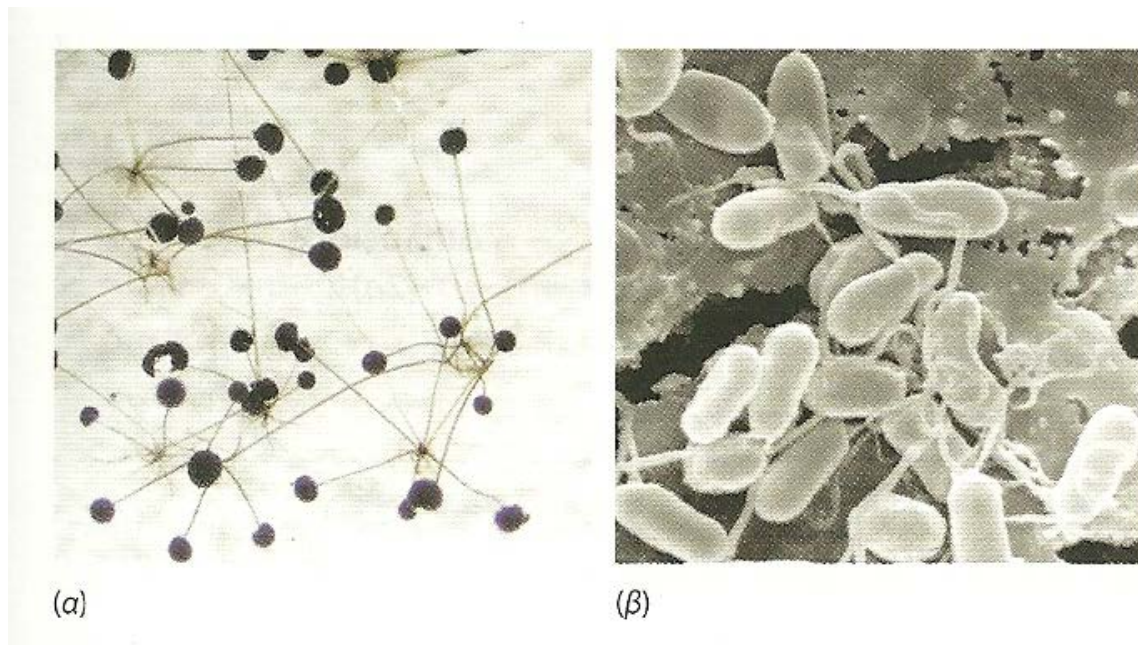
- Ο *Rhizopus* (κοινός ζυγομύκητας) χαρακτηρίζεται από σύνθετο τρόπο ζωής που περιλαμβάνει αφυλετική και φυλετική αναπαραγωγή.
- Κατά την αφυλετική φάση, τα μυκήλια σχηματίζουν σποριάγγεια μέσα στα οποία παράγονται απλοειδή σπόρια.
- Όταν απελευθερωθούν, διασπείρονται και τελικά εκβλαστάνουν δίνοντας νέα μυκήλια.
- Στη φυλετική αναπαραγωγή, τα μυκηλιακά γαμετάγγεια διαφορετικών συζευκτικών τύπων συντήκονται και σχηματίζεται ένα κύτταρο με 2 πυρήνες (**ζυγοσπόριο**).
- Το ζυγοσπόριο μπορεί να παραμείνει ανενεργό και να αντισταθεί στην ξηρασία και σε άλλες αντίξοες συνθήκες.

Μικροσπορίδια

Κυριότερα γένη: *Encephalitozoon*

- Τα μικροσπορίδια είναι μικροσκοπικά μονοκύτταρα παράσιτα των ζώων και των πρωτίστων.
- Αρχικά, θεωρούνταν ότι σχηματίζουν μια πολύ πρώιμη γενεαλογική γραμμή των Ευκαρύων (λόγω έλλειψης μιτοχονδρίων και βάσει αλληλούχισης του 18S rRNA).
- Ωστόσο, η σύνθετη αλληλούχιση γονιδίων και πρωτεϊνών έδειξε ότι είναι στενοί συγγενείς των μυκήτων.
- Έχουν προσαρμοστεί σε έναν παρασιτικό τρόπο ζωής, λόγω έλλειψης ή απώλειας βασικών χαρακτηριστικών της ευκαρυωτικής βιολογίας.
- Το *Encephalitozoon* δεν έχει μιτοχόνδρια ή υδρογονοσώματα, ούτε συσκευή Golgi.
- Επιπλέον, έχει εξαιρετικά μικρό γονιδίωμα (μόνο 2.000 γονίδια).

- Δεν έχει γονίδια βασικών μεταβολικών μονοπατιών (π.χ. κύκλου Krebs).
- Προκαλεί χρόνιες και εξουθενωτικές ασθένειες του εντέρου, πνευμόνων, ματιών και μυών σε ανοσοκατεσταλμένα άτομα (π.χ. ασθενείς με AIDS).



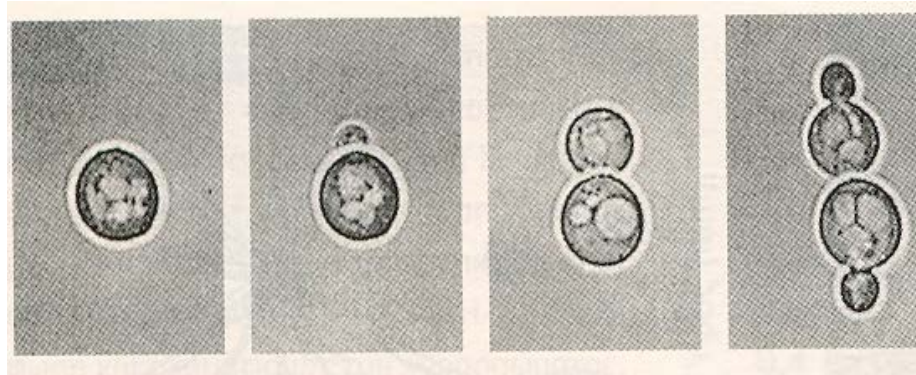
Σχ.288. Ζυγομύκητες και μικροσπορίδια. (α) Μούχλα *Rhizopus*.
(β) Κύτταρα *Encephalitozoon intestinalis*.

Ασκομύκητες

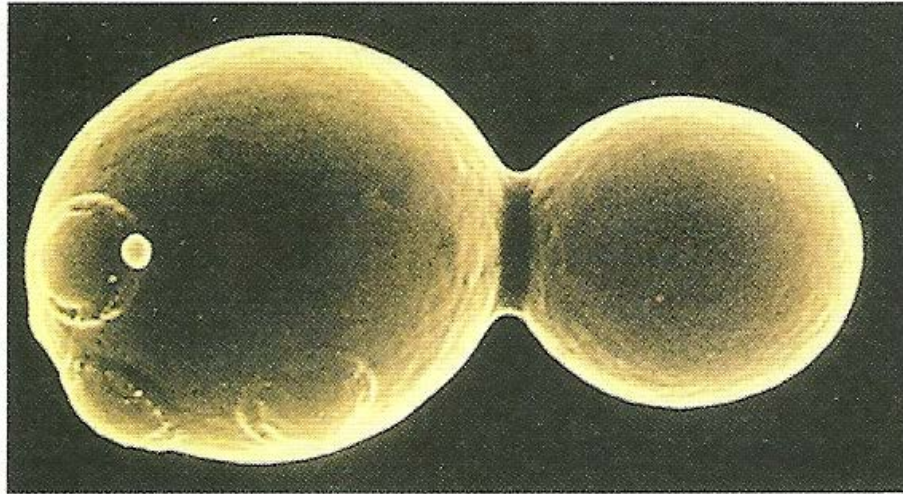
Κυριότερα γένη: *Saccharomyces*, *Candida*, *Aspergillus*

Saccharomyces cerevisiae

- Τα κύτταρα του *Saccharomyces* είναι συνήθως σφαιρικά, ωοειδή ή κυλινδρικά, και η κυτταρική διαίρεση γίνεται με εκβλάστηση.
- Κατά τη διαδικασία της εκβλάστησης σχηματίζεται ένα νέο κύτταρο υπό τη μορφή μιας μικρής προεξοχής ενός ώριμου κυττάρου.
- Το «μάτι» βαθμιαία μεγαλώνει και τελικά χωρίζεται.



Σχ.289. Ανάπτυξη με εκβλάστηση στον *Saccharomyces cerevisiae*.

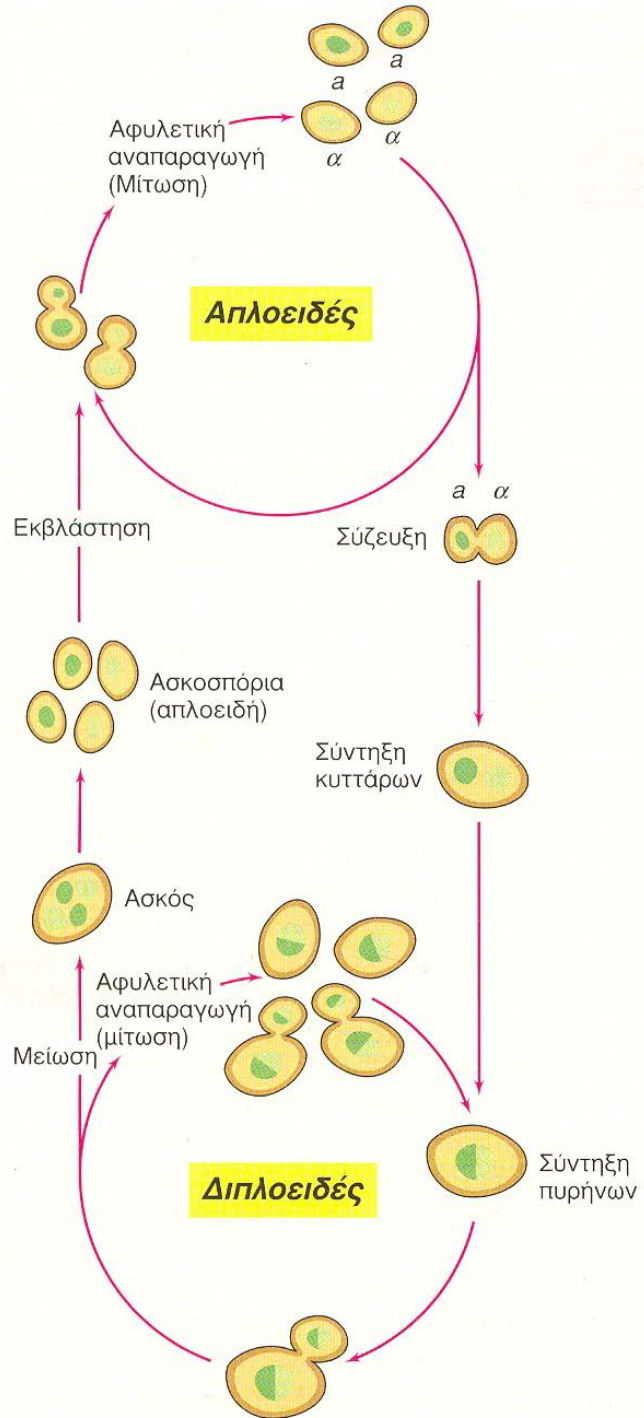


J. Forsdyke/SPL/Photo Researchers

Σχ.290. Η κοινή ζύμη αρτοποιίας και ζυθοποιίας *Saccharomyces cerevisiae* (ασκομύκητας).

Συζευκτικοί τύποι και φυλετική αναπαραγωγή στον *Saccharomyces*

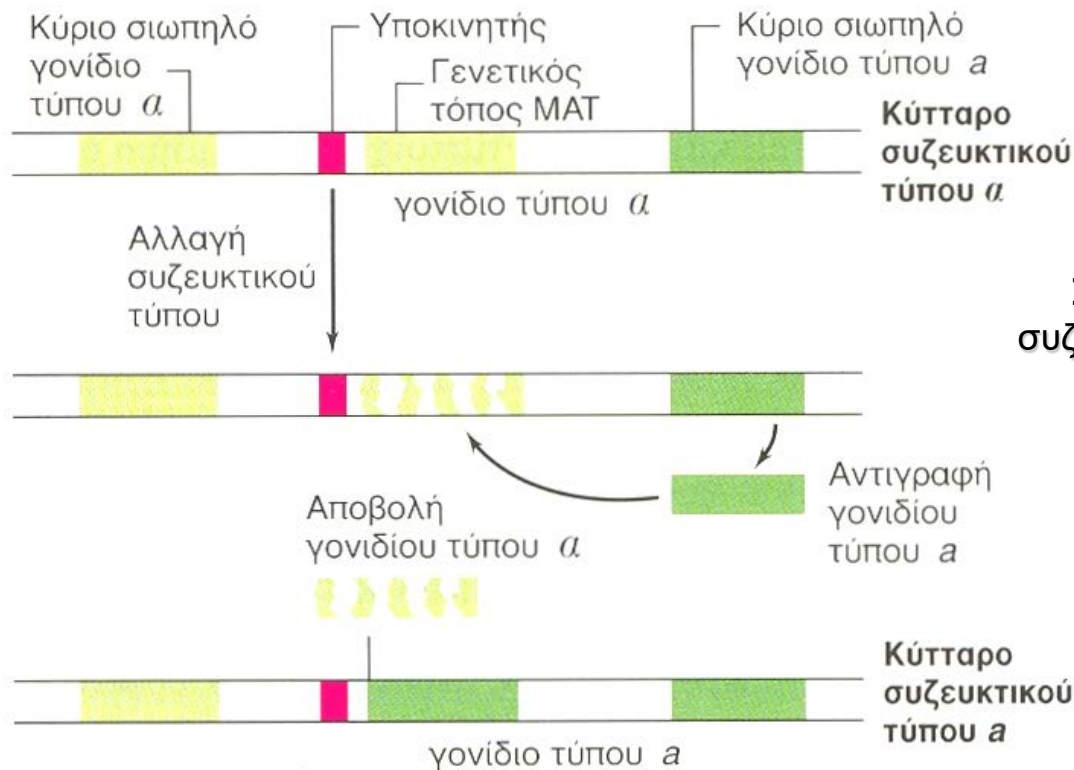
- Ο *Saccharomyces* έχει 2 διαφορετικά είδη απλοειδών κυττάρων, που ονομάζονται **συζευκτικοί τύποι** (ανάλογοι με τους αρσενικούς και θηλυκούς γαμέτες).
- Αποτέλεσμα της σύζευξης αντίθετων τύπων είναι ένα διπλοειδές κύτταρο.
- Από ένα διπλοειδές κύτταρο παράγεται μια δομή (**ασκός**) που περικλείει 4 γαμέτες, 2 από κάθε τύπο (**ασκοσπόρια**).
- Οι 2 συζευκτικοί τύποι του *S. cerevisiae* χαρακτηρίζονται ως α και a .
- Τα κύτταρα τύπου a συζεύγονται μόνο με κύτταρα τύπου α , ενώ ο τύπος του κυττάρου καθορίζεται γενετικά.
- Ορισμένα στελέχη του *S. cerevisiae* παραμένουν a ή α , άλλα όμως μεταπηδούν από τον ένα συζευκτικό τύπο στον άλλο.



Σχ.291. Κύκλος ζωής ενός τυπικού ασκομύκητα, του *Saccharomyces cerevisiae*.

- Η αλλαγή συζευκτικού τύπου προκαλείται από ένα ενσωματωμένο γονίδιο.
- Σε ένα από τα χρωμοσώματα του *S. cerevisiae* υπάρχει μία και μοναδική θέση (γενετικός τύπος MAT), στην οποία μπορεί να εντεθεί μόνο το ένα από τα 2 γονίδια, είτε το *a* είτε το *α*.
- Σε αυτόν τον τόπο, ο υποκινητής MAT ελέγχει τη μεταγραφή όποιου γονιδίου βρίσκεται εκεί.
- Αν βρίσκεται το γονίδιο *a*, το κύτταρο είναι τύπου *a* και αντίστοιχα, αν βρίσκεται το γονίδιο *α*, το κύτταρο είναι τύπου *α*.
- Αντίγραφα των γονιδίων *a* και *α* υπάρχουν και σε άλλα μέρη του γονιδιώματος, αλλά δεν εκφράζονται.
- Από αυτά τα ανενεργά (σιωπηλά) αντίγραφα προέρχεται το γονίδιο που εντίθεται στη θέση MAT.
- Όταν έχουμε αλλαγή συζευκτικού τύπου, το κατάλληλο γονίδιο (*a* ή *α*) αντιγράφεται από τη σιωπηλή θέση και εντίθεται στη θέση MAT, αντικαθιστώντας το γονίδιο που βρισκόταν εκεί.

- Το γονίδιο του προηγούμενου τύπου αποβάλλεται και εντίθενται το νέο γονίδιο (μηχανισμός κασέτας).



Σχ.292. Μηχανισμός εναλλαγής συζευκτικών τύπων στον ζυμομύκητα.

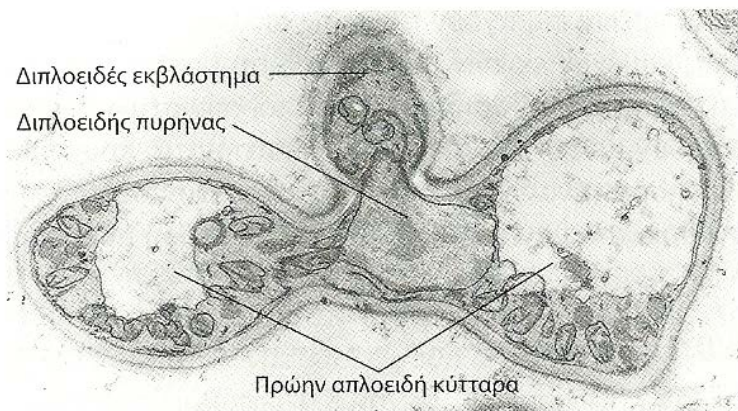
- Τα γονίδια a και α είναι ρυθμιστικά γονίδια ρυθμίζοντας την παραγωγή του παράγοντα a ή α (προσδένουν τα κύτταρα αντίθετων συζευκτικών τύπων και επιφέρουν μεταβολές στην κυτταρική επιφάνεια που επιτρέπουν τη σύντηξη).

- Υπό ορισμένες συνθήκες κάποιοι ζυμομύκητες σχηματίζουν νημάτια.
- Σε αυτά τα είδη, ορισμένα χαρακτηριστικά εκφράζονται μόνο στις νηματοειδής μορφές (π.χ. η νηματοειδής φάση είναι απαραίτητη για την παθογένεια της *Candida albicans*).



S. F. Conti and T. D. Brock

(α)



S. F. Conti and T. D. Brock

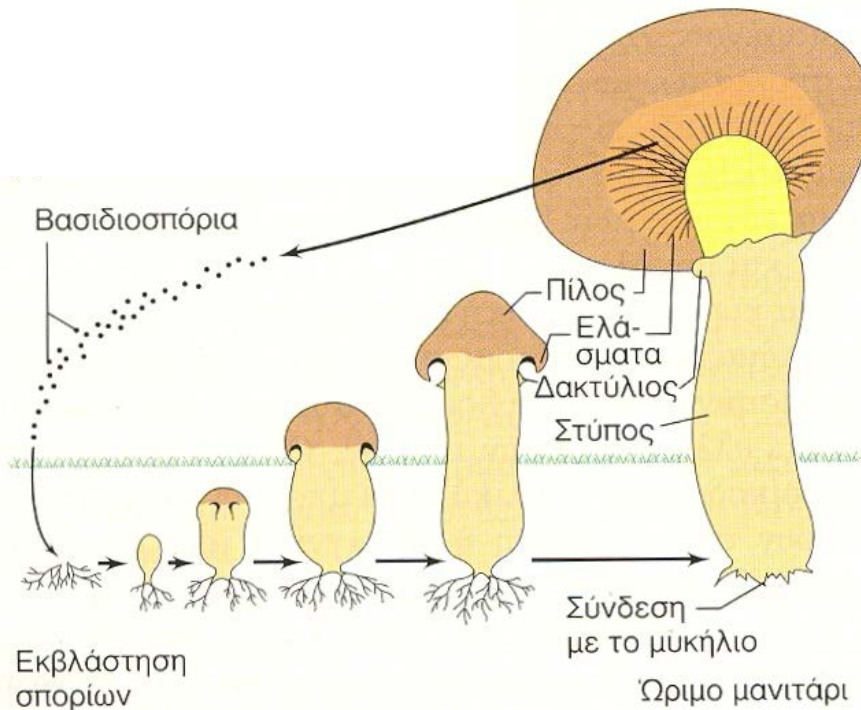
(β)

Σχ.293. Ηλεκτρονικά μικρογραφήματα σύζευξης του ασκομύκητα *Hanenula wingei*.
 (α) Δύο κύτταρα έχουν συντηχθεί στο σημείο επαφής.
 (β) Μετέπειτα στάδιο σύζευξης. Οι πυρήνες των δυο κυττάρων έχουν συντηχθεί και έχει σχηματιστεί ένα διπλοειδές εκβλάστημα με μια δεξιά κλίση ως προς τα συζευγμένα κύτταρα. Αυτό το εκβλάστημα αποτελεί τον πρόδρομο μιας διπλοειδούς κυτταρικής σειράς.

Μανιτάρια (βασιδιομύκητες)

- Τα μανιτάρια είναι μυκηλιακοί βασιδιομύκητες, οι οποίοι σχηματίζουν μεγάλα **καρποσώματα** (το εδώδιμο μέρος του μανιταριού).
- Οι μύκητες-μανιτάρια ζουν το μεγαλύτερο μέρος της ζωής τους υπό τη μορφή απλού μυκηλίου στο έδαφος, στα φύλλα ή σε κορμούς δέντρων σε αποσύνθεση.
- Όταν οι συνθήκες του περιβάλλοντος γίνονται ευνοϊκές, συνήθως μετά από περιόδους υγρών και ψυχρών καιρικών συνθηκών, αναπτύσσονται τα καρποσώματα.
- Ξεκινούν ως ένα μικρό κουμπί μέσα στο χώμα και στη συνέχεια εκτείνονται σε πλήρη καρποσώματα που τα βλέπουμε πάνω στο έδαφος.
- Τα φυλετικά σπόρια ονομάζονται βασιδιοσπόρια και σχηματίζονται στο κάτω μέρος των καρποσωμάτων, πάνω σε επίπεδα πλαίσια που ονομάζονται **ελάσματα**.
- Τα ελάσματα στηρίζονται στον **πίλο** του μανιταριού.

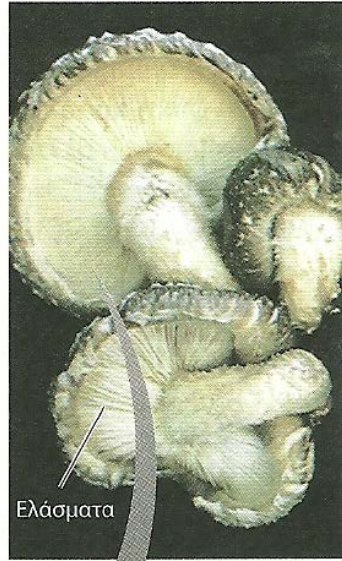
- Τα βασιδιοσπόρια τωνμανιταριών διασκορπίζονται με τη βοήθεια του ανέμου και τελικά καταλήγουν σε ένα ευνοϊκό, συνήθως υγρό και πλούσιο σε οργανικές ουσίες έδαφος, απ' όπου αρχίζουν ένα νέο κύκλο ζωής.



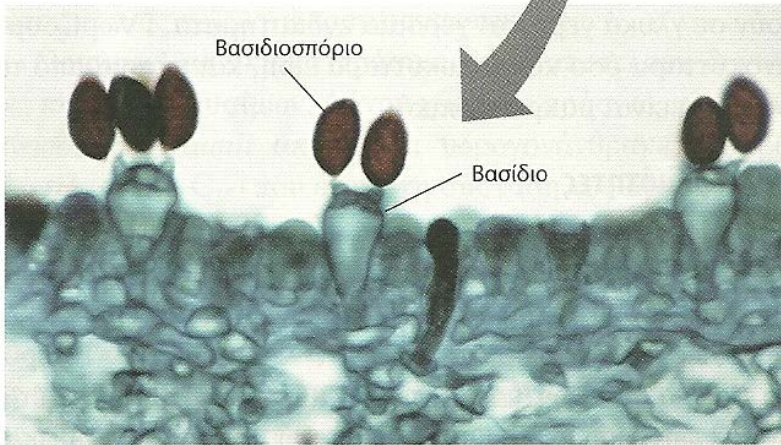
Σχ.294. Κύκλος ζωής ενός τυπικού μανιταριού.



(α)



(β)



(γ)

Σχ.295. Μανιτάρια.
(α) *Amanita*, ένα εξαιρετικά δηλητηριώδες μανιτάρι.
(β) Τα ελάσματα στην κάτω επιφάνεια του καρποσώματος του μανιταριού περιέχουν βασίδια που φέρουν σπόρια.
(γ) Μικρογράφημα βασιδίων και βασιδιοσπορίων του μανιταριού *Coprinus*.

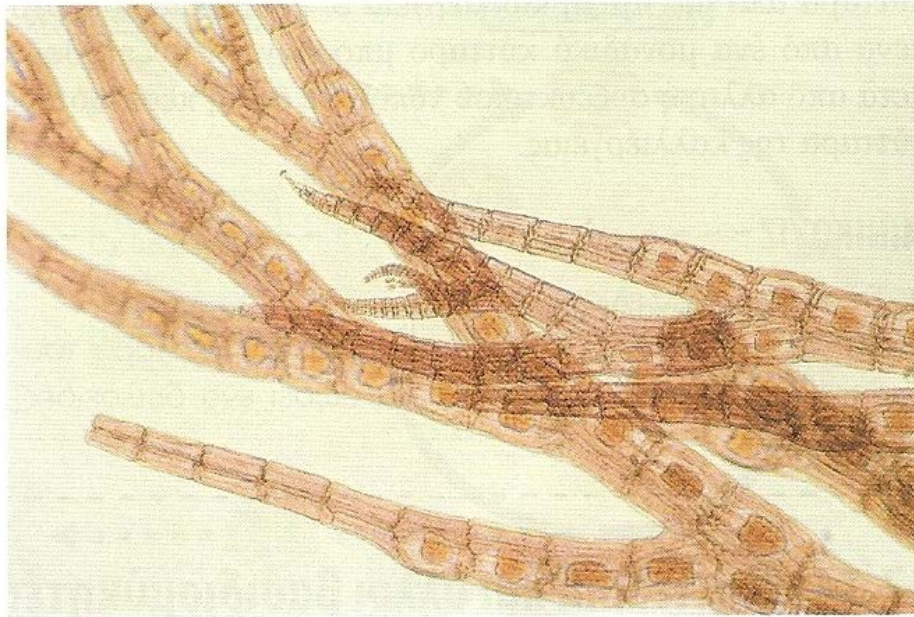
Ερυθροφύκη και πράσινα φύκη

Ερυθροφύκη

Κυριότερα γένη: *Polysiphonia*, *Gyoniidium*, *Goldiera*

- Είναι φωτότροφοι και περιέχουν χλωροφύλλη α, αλλά και φυκοχολοπρωτεΐνες (χρωστικές των κυανοβακτηρίων).
- Το ερυθρό χρώμα προέρχεται από την φυκοερυθρίνη (επικουρική χρωστική) που καλύπτει το πράσινο χρώμα της χλωροφύλλης.
- Η φυκοερυθρίνη βρίσκεται με την φυκοκυανίνη και την αλλοφυκοκυανίνη σε φωτοσυλλεκτικές δομές (**φυκοχολοσώματα**).
- Στα μεγάλα βάθη των υδάτινων ενδιαιτημάτων (δισιδύει λίγο φως) τα κύτταρα παράγουν περισσότερη φυκοερυθρίνη.
- Αντιθέτως, σε μικρά βάθη κυριαρχεί το πράσινο χρώμα.

- Τα περισσότερα είδη είναι πολυκύτταρα και δεν έχουν μαστίγια.
- Ορισμένα διαβιούν στη θάλασσα και αποτελούν πηγή του άγαρ.
- Άλλα είδη (*Porhyra*) χρησιμοποιούνται για σούσι, ενώ διάφορα είδη είναι κοραλλοειδή.

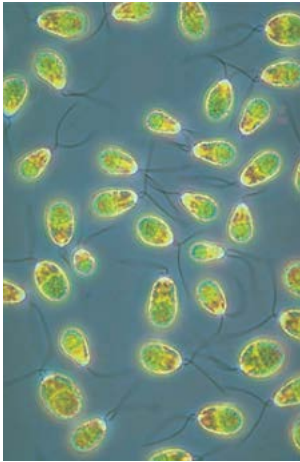


Σχ.296. *Polysiphonia*, ένα νηματοειδές υδρόβιο ερυθροφύκος, που αναπτύσσεται σε επιφάνειες υδρόβιων φυτών.

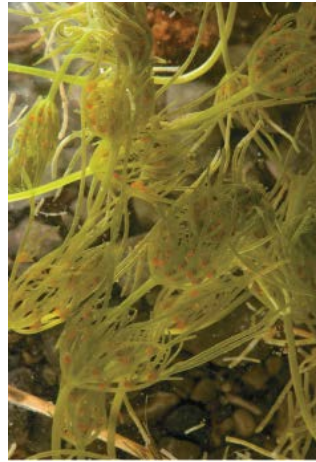
Πράσινα φύκη

Κυριότερα γένη: *Chlamydomonas*, *Volvox*

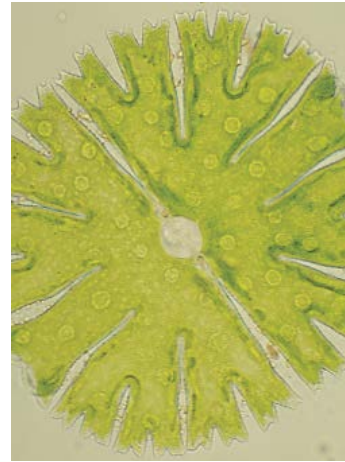
- Έχουν χλωροπλάστες που περιέχουν χλωροφύλλες α και β , αλλά όχι φυκοχολοπρωτεΐνες.
- Μοιάζουν και συνδέονται φυλογενετικά με τα φυτά.
- Τα περισσότερα διαβιούν στο γλυκό νερό, ενώ κάποια απαντούν σε υγρό έδαφος ή αναπτύσσονται στο χιόνι (προσδίδουν ροζ χρώμα).
- Άλλα ζουν ως συμβιώτες σε λειχήνες.
- Το *Botryococcus braunii* απεκκρίνει υδρογονάνθρακες μακράς αλυσίδας (C_{30} - C_{36}) και συνεπώς αποτελεί δυνητική πηγή βιοκαυσίμων.
- Τα περισσότερα έχουν σύνθετο κύκλο ζωής με φυλετικά, αλλά και αφυλετικά στάδια αναπαραγωγής.



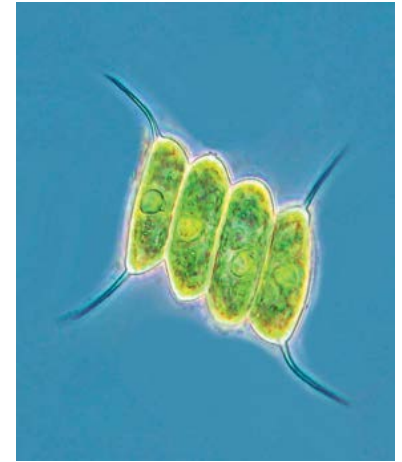
(α)



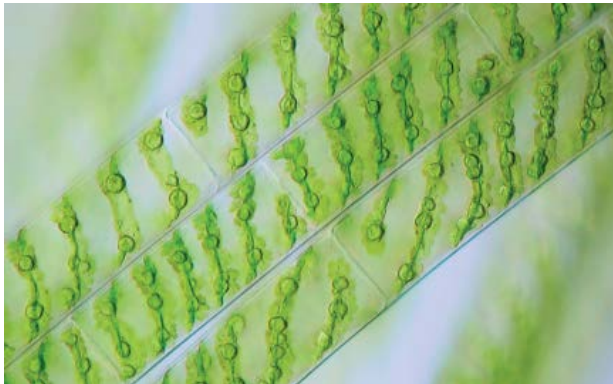
(β)



(γ)



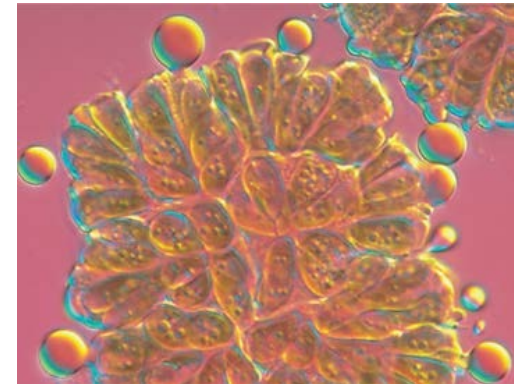
(δ)



(ε)



(στ)



(ζ)

Σχ.297. Πράσινα φύκη. (α) Μονοκύτταρο πράσινο φύκος (*Dunaliella*). (β) *Chara* (μοιάζει με φυτό). (γ) *Micrasterias*. (δ) *Scenedesmus* (σχηματίζει «πακέτα» 4 κυττάρων). (ε) *Spirogyra* (νηματοειδής φύκος). (στ) *Volvox carteri*. (ζ) *Botryococcus braunii*.

- Ορισμένα είδη φυκών αναπτύσσονται σε πετρώματα (**ενδολιθικοί οργανισμοί**), π.χ. πετρώματα χαλαζία.
- Οι ενδολιθικές κοινότητες είναι πολύ συχνές σε ξηρές περιοχές (έρημοι) ή σε ψυχρές και ξηρές περιοχές.
- Η ζωή στον βράχο έχει πλεονεκτήματα:
 1. Τα πετρώματα θερμαίνονται από τον ήλιο, και το νερό που ρέει από την τήξη του χιονιού προσροφάται, προσφέροντας την απαραίτητη υγρασία για την ανάπτυξη.
 2. Το νερό που απορροφάται καθιστά το πέτρωμα διαφανές και συνεπώς στις στοιβάδες των φυκών φθάνει το φως.

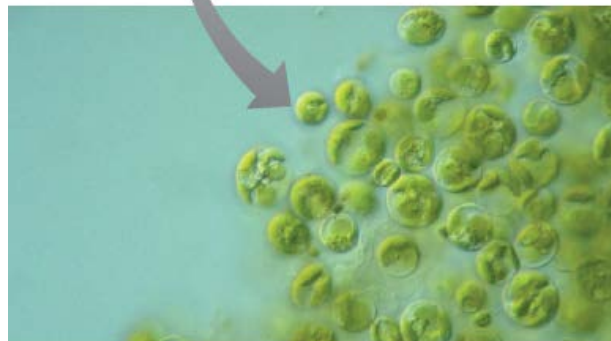


Σχ.298. Ενδολιθικά κυανοβακτήρια *Chroococcidiopsis* σε ασβεστόλιθο.

- Ενδολιθικές κοινότητες σχηματίζουν και κυανοβακτήρια και διάφορα πράσινα φύκη.
- Εκτός από τα φωτότροφα που ζουν ελεύθερα, τα πράσινα φύκη και τα κυανοβακτήρια συνυπάρχουν με μύκητες σε ενδολιθικές κοινότητες λειχηνών.
- Ο μεταβολισμός και η ανάπτυξη αυτών των ιδιότυπων κοινοτήτων αργά, αλλά σταθερά, διαβρώνει το πέτρωμα.



(α)



(β)

Σχ.299. Ενδολιθικά φωτότροφα. (α) Φωτογραφία τομής ασβεστολιθικού πετρώματος από την περιοχή των Ξηρών Κοιλάδων (Dry Valleys) της Ανταρκτικής. (β) Κύτταρα πράσινου φύκους *Trebouxia* (πολύ διαδεδομένο ενδολιθικό φύκος στην Ανταρκτική).