

Εξελικτική Βιολογία

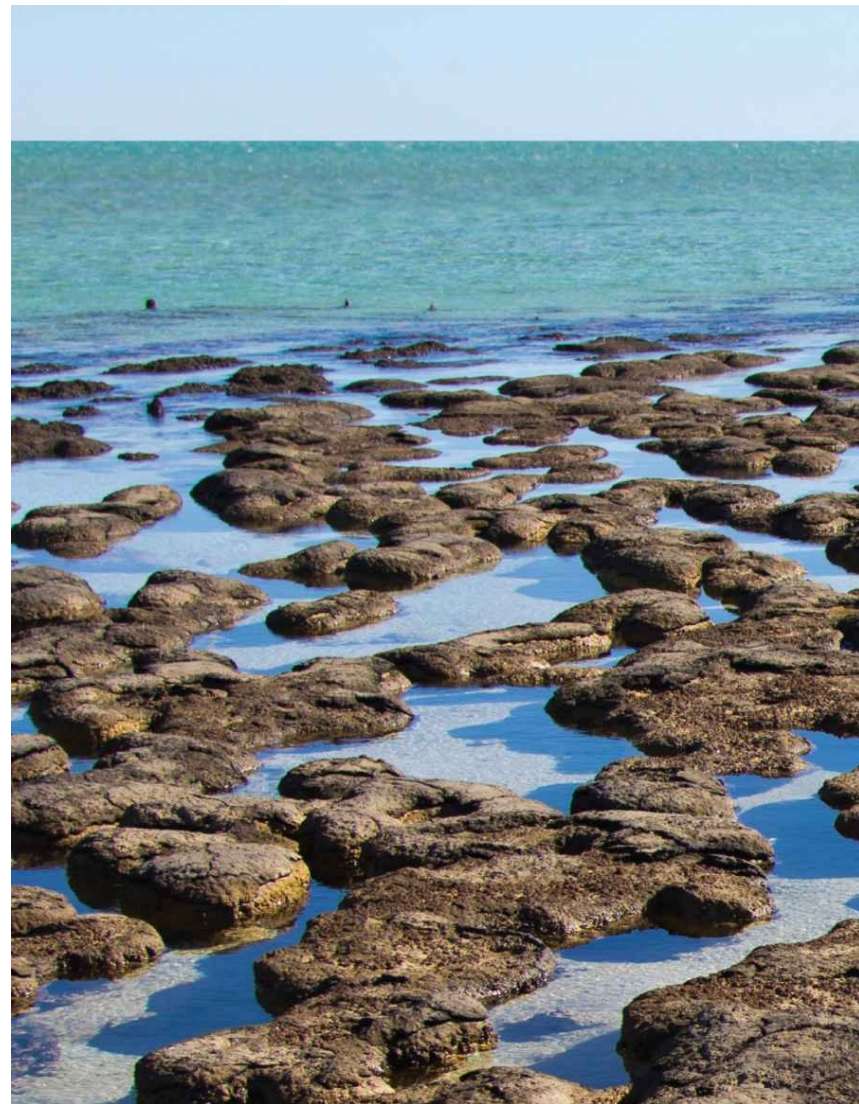
## Η ιστορία της ζωής στη γη

Αριστοτέλης Παπαγεωργίου, Τμ. ΜΒΓ ΔΠΘ, [aparage@mbg.duth.gr](mailto:aparage@mbg.duth.gr)

Οι **στρωματόλιθοι** αποτελούν μια από τις παλαιότερες ενδείξεις ύπαρξης της ζωής στη γη: πρόκειται για στρώματα βακτηρίων που ζούσαν στον πυθμένα των ρηχών ωκεανών της πρώιμης εποχής της νεαρής γης, 3,43 δις έτη πριν

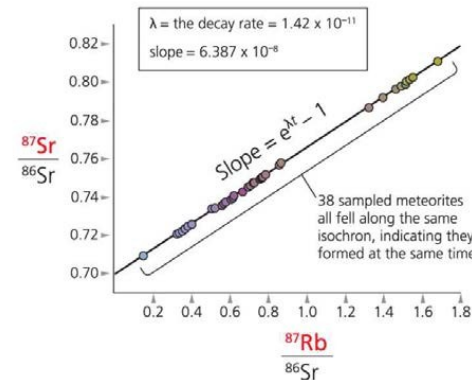
Σήμερα εμφανίζονται σπάνια (εδώ στο Shark Bay της Αυστραλίας)

*Evolution 4th Edition, Futuyma & Kirkpatrick,  
Sinauer Associates 2017*



# Γεωλογική χρονολόγηση

- Την ηλικία των γεωλογικών σχηματισμών την προσδιορίζουμε με τη **ραδιομετρική χρονολόγηση** (radiometric dating)
  - Βαθμός αποικοδόμησης ραδιενεργών στοιχείων, για τα οποία ο ρυθμός αποικοδόμησης είναι γνωστός
    - π.χ. το U-235 γίνεται Pb-207 με ημιζωή 0,7 δις χρόνια, οπότε βρίσκοντας την αναλογία αυτών των δύο στοιχείων σε ένα πέτρωμα, γνωρίζουμε την ηλικία του
    - Σε οργανικά υπολείμματα μπορούμε να βρούμε την ηλικία με C-14 αλλά μέχρι 75.000 χρόνια το πολύ



How to use the slope of the isochron to measure the age of the rock:

1. Rearrange to solve for  $t$

$$\text{slope} = e^{\lambda t} - 1 \quad \leftarrow \text{add } 1 \text{ to both sides of the equation}$$

$$\text{slope} + 1 = e^{\lambda t} \quad \leftarrow \text{take the natural logarithm of both sides of the equation}$$

$$\ln(\text{slope} + 1) = \ln e^{\lambda t} \quad \leftarrow \text{when you take the natural logarithm of base } e, \text{ the } \ln e \text{ drops from the equation, leaving only the exponent}$$

$$\frac{\ln(\text{slope} + 1)}{\lambda} = \frac{\lambda t}{\lambda} \quad \leftarrow \text{divide both sides by } \lambda$$

2. Solve for  $t$

$$\frac{\ln(\text{slope} + 1)}{\lambda} = t \quad \leftarrow \text{solve for } t \text{ by plugging in the known variables for slope and } \lambda \text{ as determined by the graph}$$

$$\frac{\ln(6.387 \times 10^{-8} + 1)}{1.42 \times 10^{-11}} = t$$

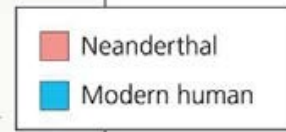
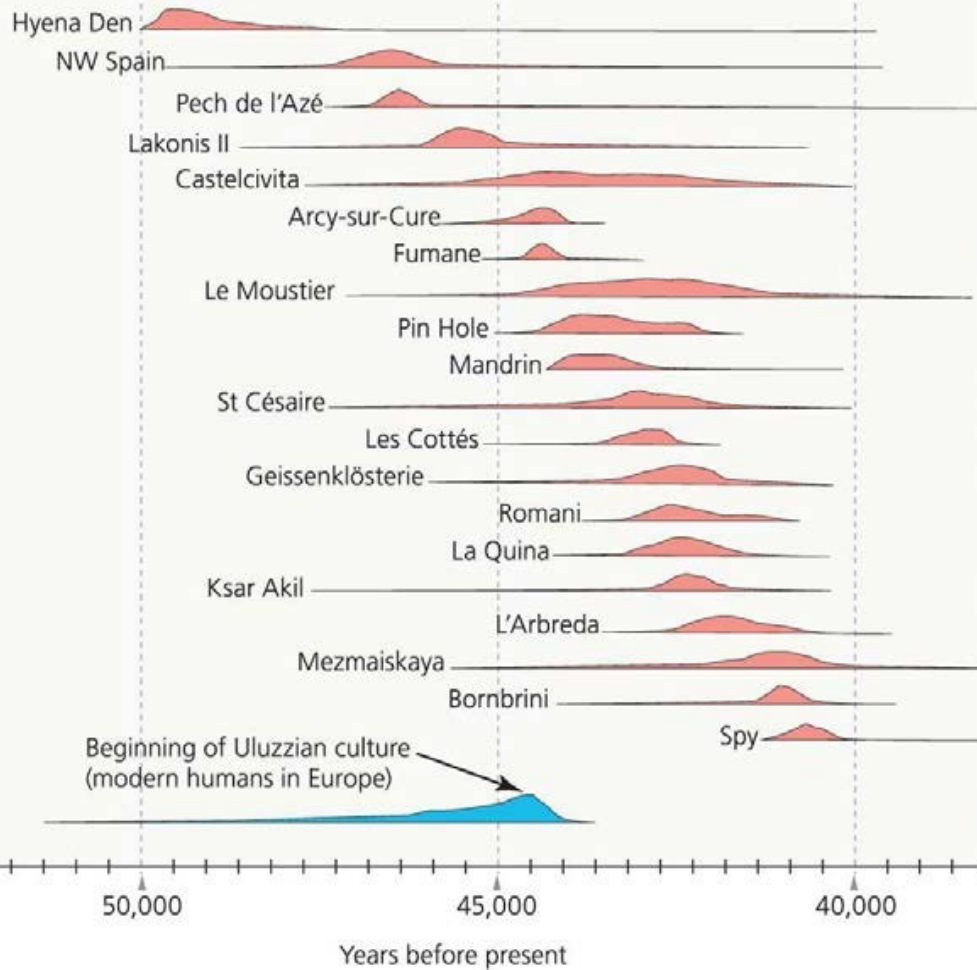
$$\frac{\ln(1.00000006387)}{0.000000000142} = t$$

$$t = 4497.887 \text{ million years}$$

or

$$t = 4.498 \text{ billion years}$$

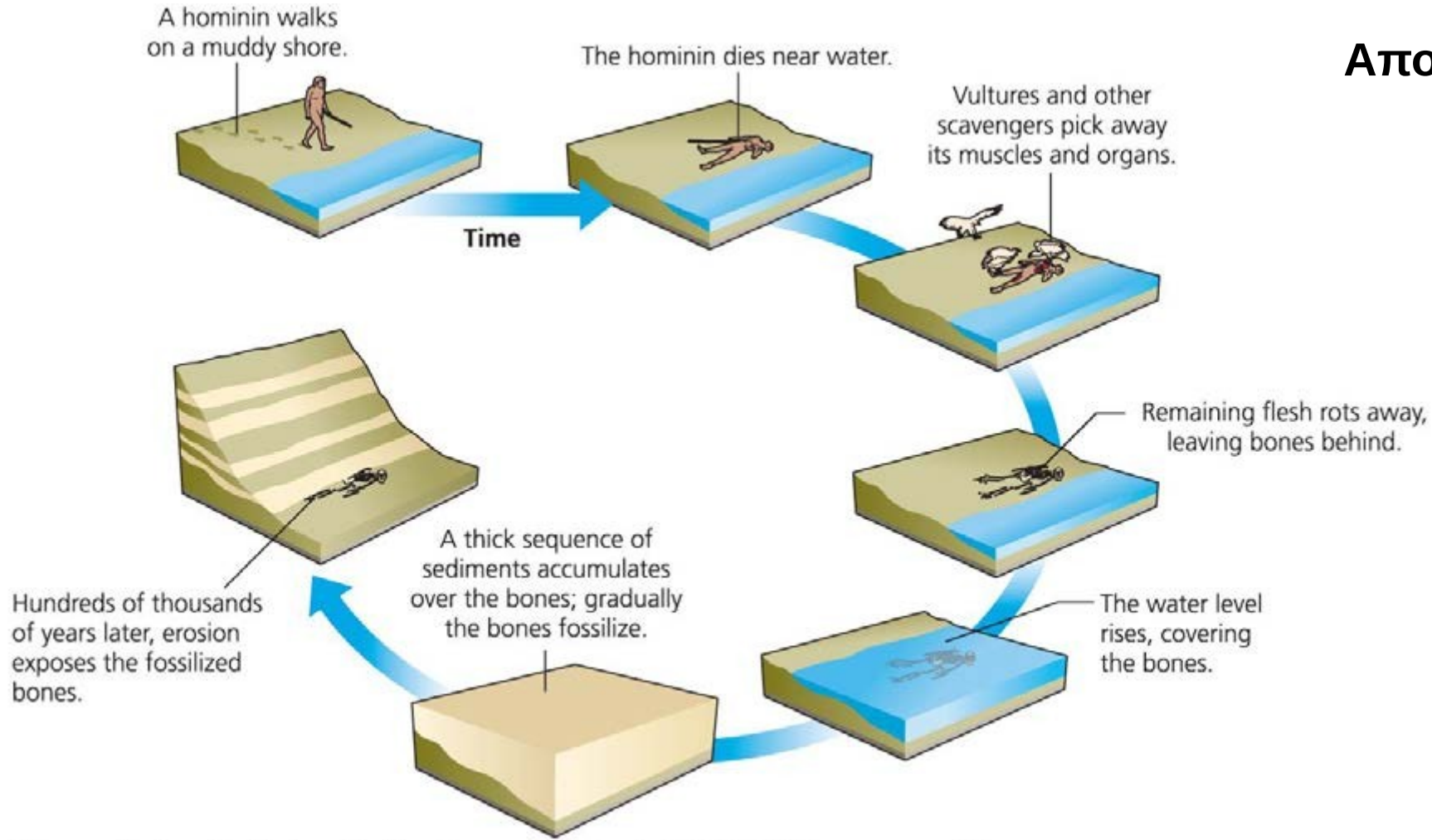
Zimmer/Emlen, *Evolution: Making Sense of Life*, 3e, © 2020 W. H. Freeman and Company  
inset: Susan E. Degginger / Alamy Stock Photo



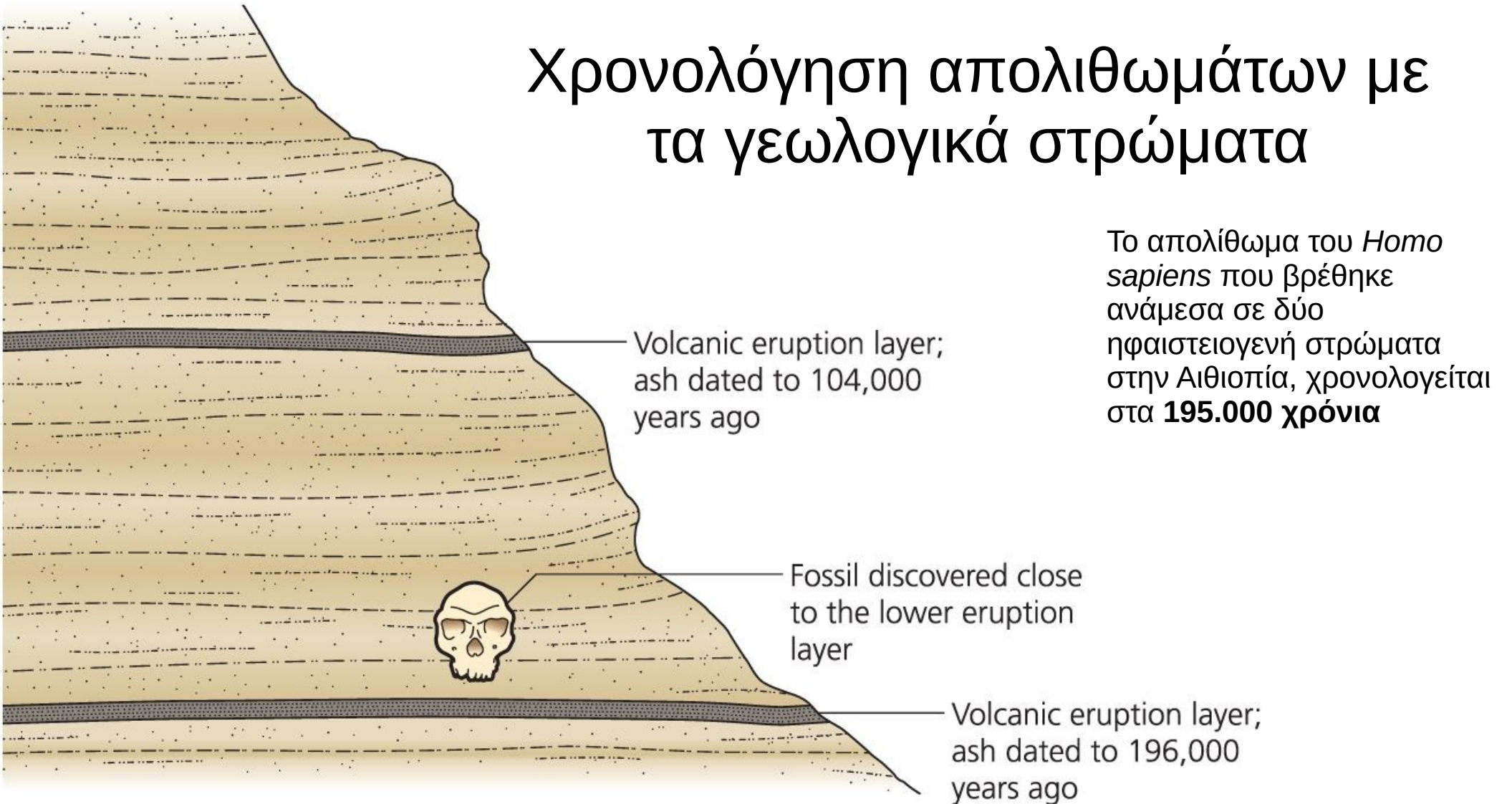
Γνωρίζουμε ότι ο άνθρωπος του Νεάντερταλ έζησε στην Ευρώπη και εξαφανίστηκε λίγο μετά την άφιξη του σύγχρονου ανθρώπου

Αυτές τις πληροφορίες τις έχουμε από την χρονολόγηση του **C-14** σε υπολείμματα των πληθυσμών

# Απολιθώματα



# Χρονολόγηση απολιθωμάτων με τα γεωλογικά στρώματα



Το απολίθωμα του *Homo sapiens* που βρέθηκε ανάμεσα σε δύο ηφαιστειογενή στρώματα στην Αιθιοπία, χρονολογείται στα **195.000 χρόνια**



Sicily Neogene

- Home
- Executive
- Subcommissions
- Chart/Time Scale
- GSSPs
- Annual Reports
- Stratigraphic Guide
- Geobiodiversity Database
- Statutes & Guidelines
- Prizes
- Publications
- Links

The International Commission on Stratigraphy (ICS) is the largest and oldest constituent scientific body in the International Union of Geological Sciences (IUGS). Its primary objective is to define precisely global units (systems, series and stages) of the International Chronostratigraphic Chart that, in turn, are the basis for the units (periods, epochs and age) of the International Geological Time Scale; thus setting global standards for the fundamental scale for expressing the history of the Earth. The work of the Commission is divided between seventeen subcommissions, each responsible for a specific period of geological time. Their work is overseen and co-ordinated by an executive of six officers.

## News & Meetings

- ["The Internetian Age" YouTube link](#) [06-02-2023]
- [New book on stratigraphical methods](#) [23-01-2023]
- [Prize nominations open](#) [18-01-2023]
- [Who owns the Anthropocene?](#) [22-11-2022]
- [ICS special presentation "The Internetian Age"](#) [06-11-2022]



Geobiodiversity Database

Βάσεις δεδομένων, χάρτες και διαγράμματα για τα γεωλογικά στρώματα υπάρχουν στην ιστοσελίδα της Διεθνούς Επιτροπής Στρωματογραφίας

# Η δημιουργία της γης

- Το σύμπαν δημιουργήθηκε πριν από 14 δις έτη (big bang)
- Ο γαλαξίας μας (Milky Way) υπολογίζεται ότι σχηματίστηκε πριν από 10 δις έτη από αστρική σκόνη και αέρια
  - Ο ήλιος μας είναι ένα άστρο 2ης ή 3ης γενιάς που σχηματίστηκε μαζί με το ηλιακό σύστημα πριν 4,6 δις έτη (με βάση τη χρονολόγηση μετεωριτών και σεληνιακών πετρωμάτων)
- Η γη υπολογίζεται ότι έχει την ηλικία του ηλιακού συστήματος
  - Λόγω γεωλογικής κινητικότητας, τα παλαιότερα πετρώματα που βρέθηκαν στη γη είναι 4 δις ετών
  - Εκείνη την εποχή υπήρχαν πρώιμες ήπειροι και ρηχοί ωκεανοί



# Η εμφάνιση της ζωής

- Θεωρούμε (χωρίς να γνωρίζουμε) ότι η ζωή ξεκίνησε μέσα από μια αρχική συσσώρευση μορίων
  - Δεν υπάρχει απολίθωμα
- Ένα σύνολο μορίων **ζει** όταν,
  - Λαμβάνει ενέργεια από το περιβάλλον του και
  - Αξιοποιεί την ενέργεια για να αυτοαντιγράφεται (να εξελίσσεται)
- Στους οργανισμούς, η ζωή οργανώνεται, μέσα από **νουκλεϊκά οξέα** που μεταφέρουν πληροφορία και **πρωτεΐνες** που αναλαμβάνουν την αντιγραφή των νουκλεϊκών οξέων, μεταβολίζουν την ενέργεια και παράγουν τον φαινότυπο
  - Οι παράγοντες αυτοί είναι οργανωμένοι σε κύτταρα με λιπιδικές μεμβράνες
  - Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι κοινά για όλους τους οργανισμούς

# Last Universal Common Ancestor

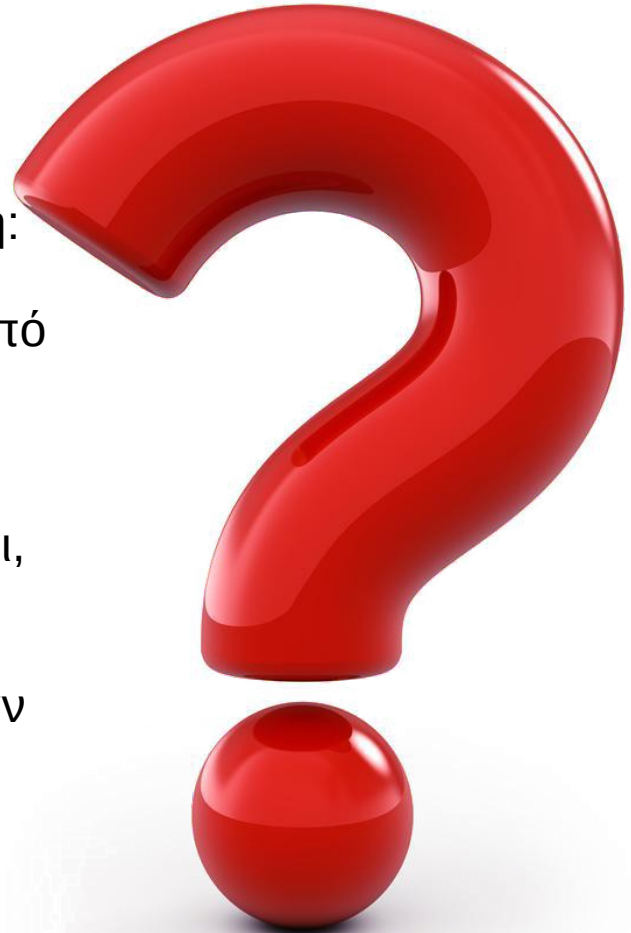
Προσεγγίσεις για τον τρόπο εκκίνησης της ζωής στη γη:

(1) Μπορούμε να συνθέσουμε απλά οργανικά μόρια από αβιωτικά συστατικά στο εργαστήριο

(2) Τα απλά οργανικά μόρια ενώθηκαν σε μακρομόρια (πιθανόν μικρά RNA) που μπορούν και αναπαράγονται, οπότε ξεκίνησε η φυσική επιλογή

(3) Οι πρωτεΐνες πιθανόν να σχηματίστηκαν αρχικά σαν “βοηθητικοί παράγοντες” στην αντιγραφή του RNA

(4) Όλα αυτά τα μακρομόρια οργανώθηκαν σε ένα κύτταρο



## Έξι σημαντικές μεταβάσεις στην ιστορία της εξέλιξης που οδήγησαν σε σχηματισμούς ή ομάδες υψηλότερου επιπέδου

Σημαντική μετάβαση	Ομάδα που σχηματίστηκε	Μετασχηματισμός
Ξεχωριστοί αντιγραφείς (γονίδια) και σχηματισμός κυτταρικών μεμβρανών —> γονιδίωμα μέσα στο κύτταρο	Διαμερισματοποιημένα γονιδιώματα	Εξέλιξη μεγάλων, πολύπλοκων γονιδιωμάτων
Ξεχωριστά μονοκύτταρα —> συμβιωτικά μονοκύτταρα	Ευκαρυωτικά κύτταρα	Εξέλιξη συμβιωτικών οργανιδίων και πυρηνικών γονιδιωμάτων. Μεταφορά γονιδίων μεταξύ γονιδιωμάτων
Αφυλετικά μονοκύτταρα —> φυλετικά μονοκύτταρα	Ζυγώτης (φυλετικά αναπαραγωγικός οργανισμός)	Εξέλιξη της μείωσης και της φυλετικής αναπαραγωγής
Μονοκύτταρα —> πολυκύτταρος οργανισμός	Πολυκύτταροι οργανισμοί	Εξέλιξη διαφοροποίησης κυττάρων και ιστών και σωματικών - γεννητικών κυττάρων
Πολυκύτταροι οργανισμοί —> κοινότητες οργανισμών	Δημιουργία κοινοτήτων (σε λίγες μόνο γενεαλογίες)	Εξέλιξη αναπαραγωγικών και μη αναπαραγωγικών καστών (π.χ. κοινωνικά έντομα)
Ξεχωριστά είδη —> διαειδικές σχέσεις αμοιβαιότητας	Δημιουργία διαειδικών αμοιβαιοτήτων	Εξέλιξη σωματικά συνδεδεμένων συνεργατών (π.χ. ενδοσυμβιώσεις)

## Precambrian Life

Era	Period (abbreviation)	Epoch	Millions of years from start to present	Major events
PROTEROZOIC	Ediacaran		635	Animal fossils (Ediacaran fauna); inferred lineages of sponges, cnidarians, bilaterians
	Cryogenian		720	Inferred (from DNA) animal lineages
	(others)		2500	Earliest eukaryotes (ca. 1900–1700 Mya)
ARCHEAN			4000	Origin of life in remote past (first fossil evidence at ca. 3500 Mya); diversification of prokaryotes (bacteria and archaea); photosynthesis generates oxygen, replacing oxygen-poor atmosphere; evolution of aerobic respiration

**(A)** Στρωματόλιθοι σχηματισμένοι από ζώντα κυανοβακτήρια στο Shark Bay στην Αυστραλία. **(B)** Ένας στρωματόλιθος 3 δις ετών από τη Δ. Αυστραλία έχει την ίδια δομή με τους σημερινούς στρωματόλιθους.

(A)



(B)



# Η Προκάμβρια περίοδος

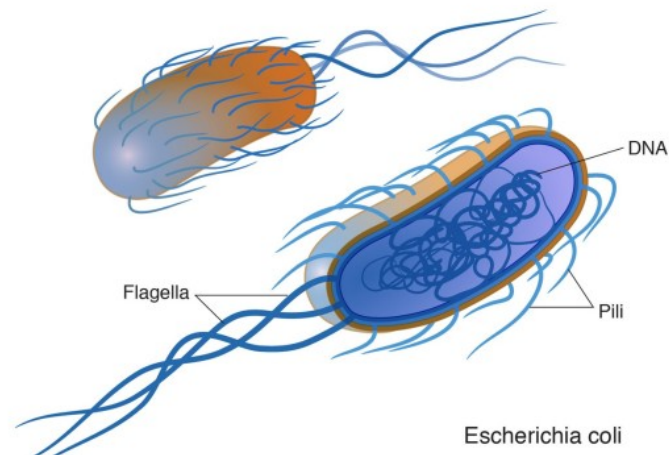
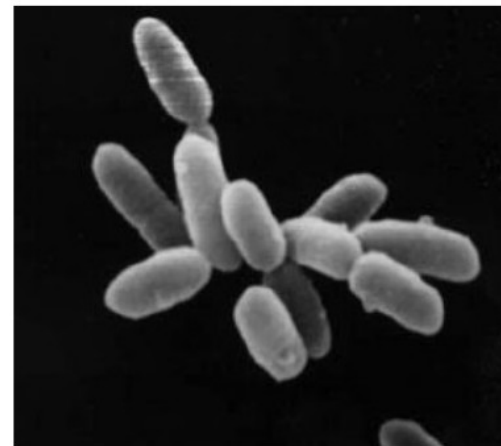
- Περιλαμβάνει τον **Αρχαϊκό** και τον **Προτεροζωικό** αιώνα
  - Παλαιότερα πετρώματα στα 3,8 δις έτη
  - Πρώτα απολιθώματα 3,4 με 3,5 δις έτη
- Εξέλιξη της φωτοσύνθεσης στα κυανοβακτήρια σε ατμόσφαιρα χωρίς οξυγόνο (3,8 δις έτη)
  - Στα 2,4 δις έτη πριν, η ατμόσφαιρα είχε οξυγόνο
  - Εξέλιξη της αερόβιας αναπνοής και της προστασίας από την οξειδωση
- Δύο βασικές μορφές προκαρυωτών, τα **αρχαία** και τα **βακτήρια**



Το αρχαιότερο γνωστό  
απολίθωμα, 3,5 δις  
ετών, από τη ΒΔ  
Αυστραλία

# Αρχαία και βακτήρια

- Θεωρείται ότι οι πρώτοι προκαρυώτες ήταν τα θερμοφιλα **αρχαία**
- Τα **βακτήρια** είναι επίσης προκαρυώτες, άλλα ετερότροφα και άλλα αυτότροφα
- Το αύθονο οξυγόνο οδήγησε στον σχηματισμό **ευκαρυωτών**
  - Πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι οι ευκαρυώτες πιθανόν κατάγονται από τα αρχαία



# Το κάστρο του Loki

- 5 ενεργά υδροθερμικά πεδία στον πυθμένα του Ατλαντικού ανάμεσα στη Γροιλανδία και στη Νορβηγία (στα 2.352μ.)
  - Ανακαλύφθηκαν το 2008
- Βρίσκονται σε ένα γεωλογικά σταθερό περιβάλλον
- Ανακαλύφθηκαν ενδιαφέρουσες κοινότητες μικροοργανισμών
- Αρχαία

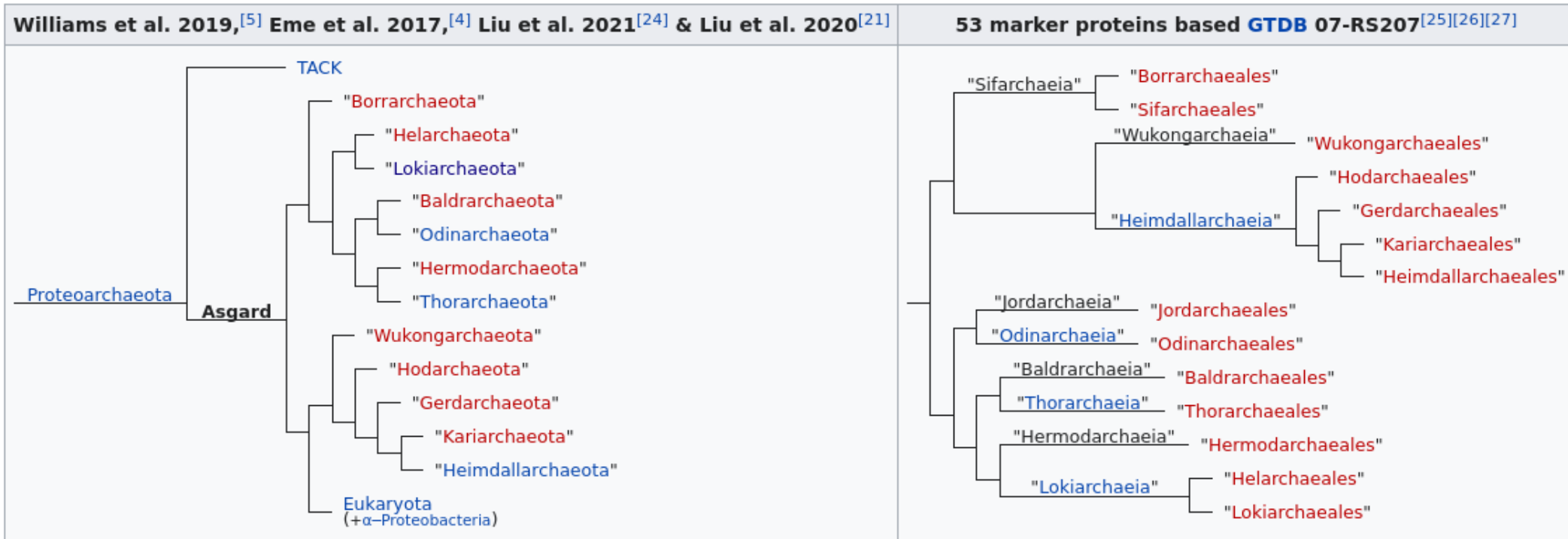


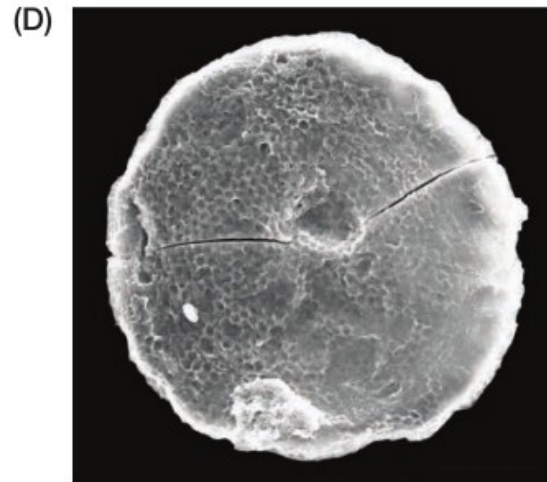
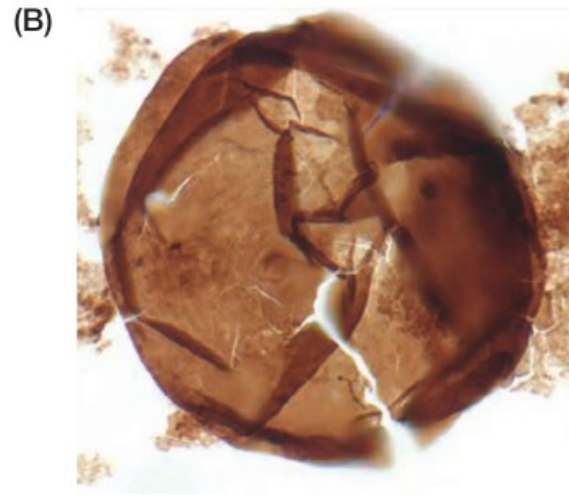
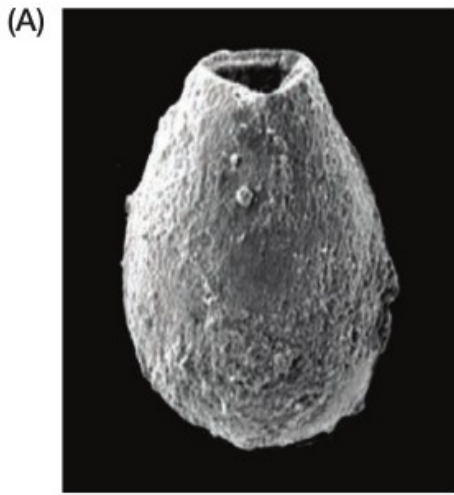


# Lokiarcheota

- Σε δείγματα που πάρθηκαν με ρομπότ έγιναν μεταγονιδιωματικές αναλύσεις
- Βρέθηκαν αρχαία που ονομάστηκαν **Lokiarcheota** και στη συνέχεια όσα άλλα αρχαία βρίσκονταν στην ίδια οικογένεια, ονομάζονταν Thorarcheota, Odinarcheota κλπ.
- Asgard
  - Κωδικοποιούν πρωτεΐνες που συνδέονται με τους ευκαρυώτες
  - GTPases, membrane-remodelling proteins like ESCRT and SNF7, a ubiquitin modifier system, and N-glycosylation pathway homologs

# Το φυλογενετικό δέντρο των Asgard

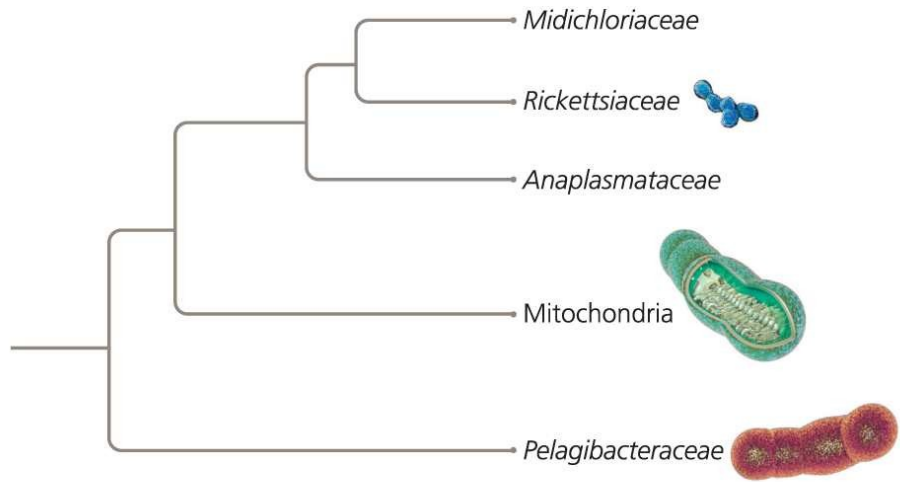




**FIGURE 17.4** Some Proterozoic unicellular eukaryotes from 780–740 My-old strata in the Grand Canyon, Arizona. The phylogenetic relationships of these forms to living eukaryotes are not well understood, because they have few distinctive morphological features and do not have extractable DNA. (A) *Trigonocyrrillium horodyskyii*. The globular organisms are the acritarchs (B) *Valeria lophostriata*, (C) *Lanulatisphaera laufeldii*, and (D) *Culcitulisphaera revelata*. Acritarchs are diverse single-celled Proterozoic organisms, some of which are related to diverse algae. (A from [71c]; B–D from [71b].)

**Μονοκύτταροι**, ευκαρυωτικοί οργανισμοί: εμφανίστηκαν πριν 2,1 δις χρόνια και πριν 1,2 δις χρόνια είχαν πλέον εμφανίσει μεγάλη ποικιλομορφία.

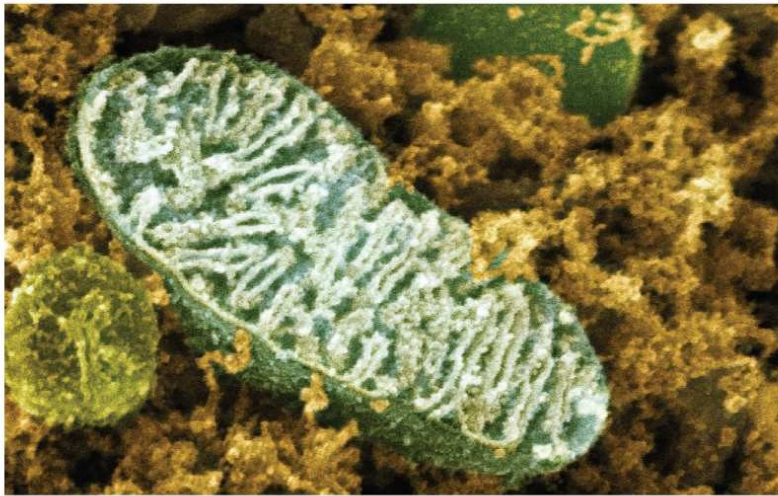
Οι περισσότεροι ευκαρυώτες εκτελούν **μείωση** και έχουν **οργανίδια**



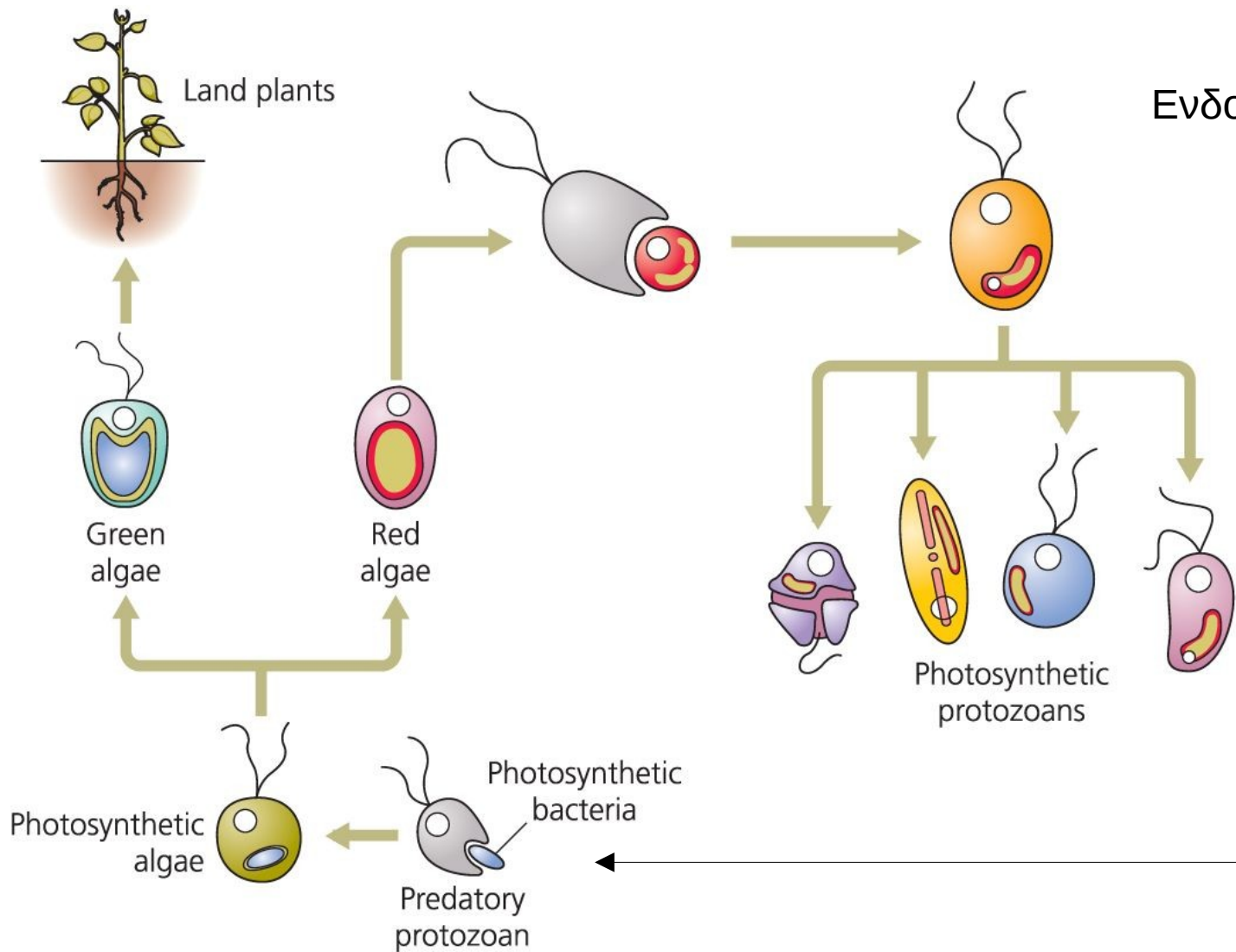
Η ενδοσυμβιωτική θεωρία και η εξέλιξη του μιτοχόνδριου:

Πριν από 2 δις έτη περίπου, αερόβια βακτήρια συμβίωσαν με το ευκαρυωτικό κύτταρο.

Στο φυλογενετικό δέντρο φαίνονται τα συγγενέστερα βακτήρια προς το μιτοχόνδριο, με σύγκριση του DNA (Ferla et al. 2013)



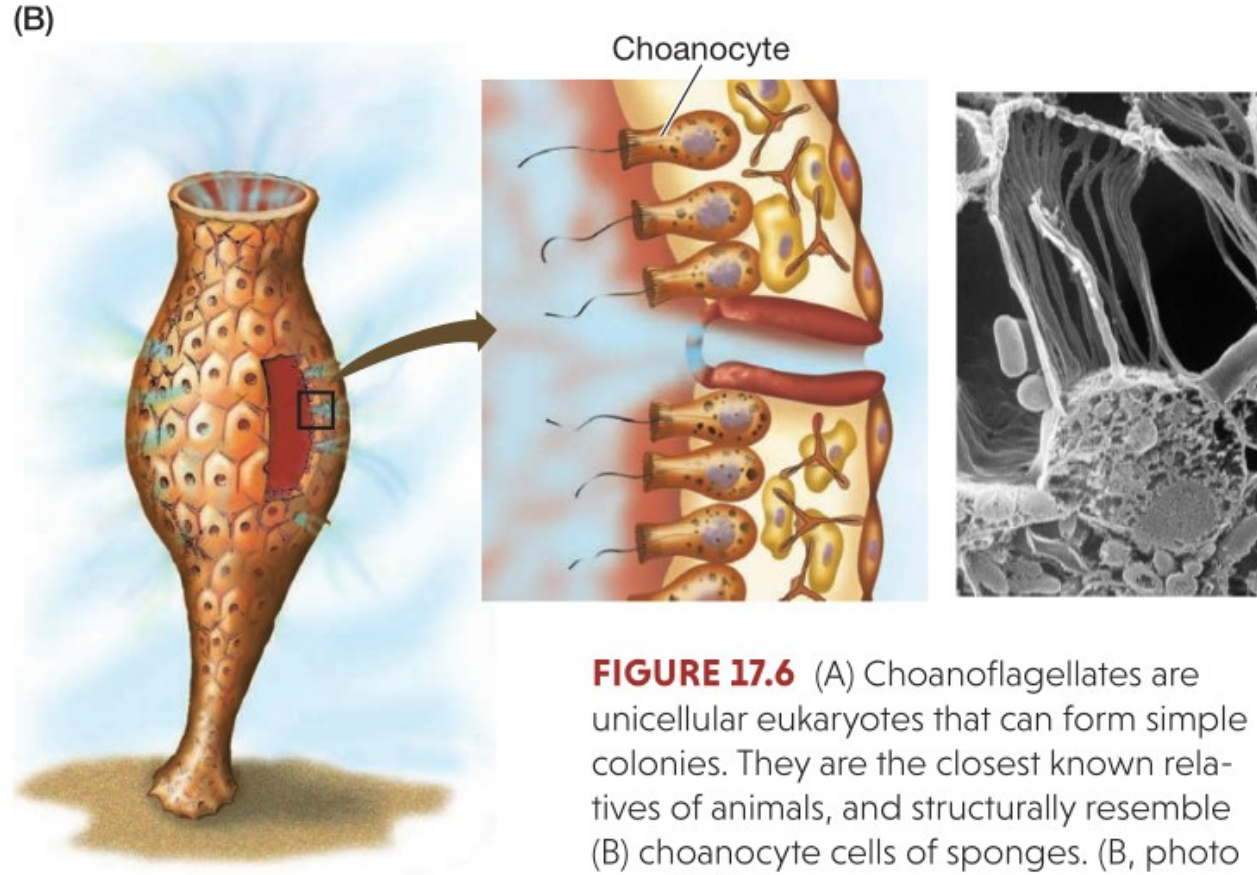
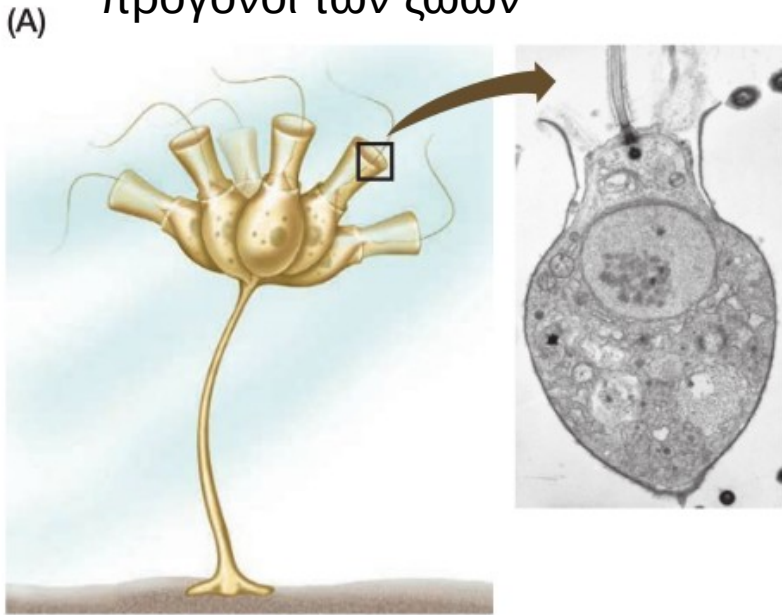
bottom: Dr. David Furness, Keele University / Science Source  
 Zimmer/Emlen, *Evolution: Making Sense of Life*, 3e, © 2020 W. H. Freeman and Company



## Ενδοσυμβίωση χλωροπλαστών

Πριν από ~900 Mya συνέβη η ενδοσυμβίωση ενός φωτοσυνθετικού βακτηρίου και ενός πρωτόζωου, που οδήγησε στη δημιουργία των **χλωροπλαστών**

Μονοκύτταροι ευκαρυώτες:  
πρόγονοι των ζώων

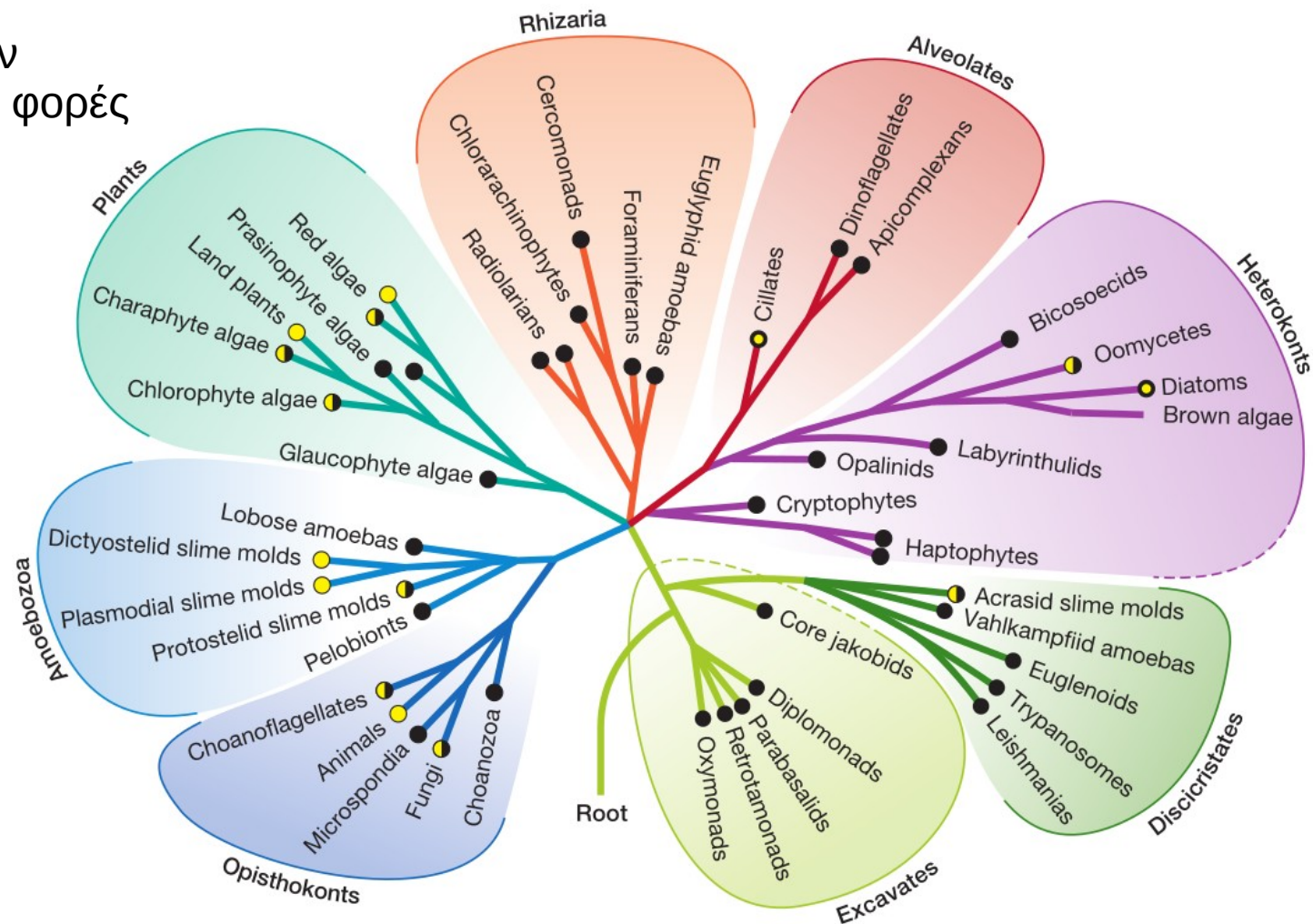


**FIGURE 17.6** (A) Choanoflagellates are unicellular eukaryotes that can form simple colonies. They are the closest known relatives of animals, and structurally resemble (B) choanocyte cells of sponges. (B, photo from [23b].)

# Η εξέλιξη των πολυκύτταρων οργανισμών συνέβη πολλές φορές

5 taxa (κίτρινοι κύκλοι) είναι εξ ολοκλήρου πολυκύτταροι (κόκκινα φύκια, φυτά, dictyostelid slime molds, plasmodial slime molds και ζώα)

9 taxa (ημικίτρινοι κύκλοι) περιλαμβάνουν ορισμένα πολυκύτταρα ή αποικιακά είδη και 2 (ανοιχτός κύκλος) περιλαμβάνουν μερικά πολυκύτταρα είδη



*Evolution 4th Edition,  
Futuyma & Kirkpatrick,  
Sinauer Associates 2017*

Πρώιμοι πολυκύτταροι οργανισμοί, σαν το *Durvillaea rotatorum* (kelp), εγκαταστάθηκαν σε βραχώδεις παραλίες.

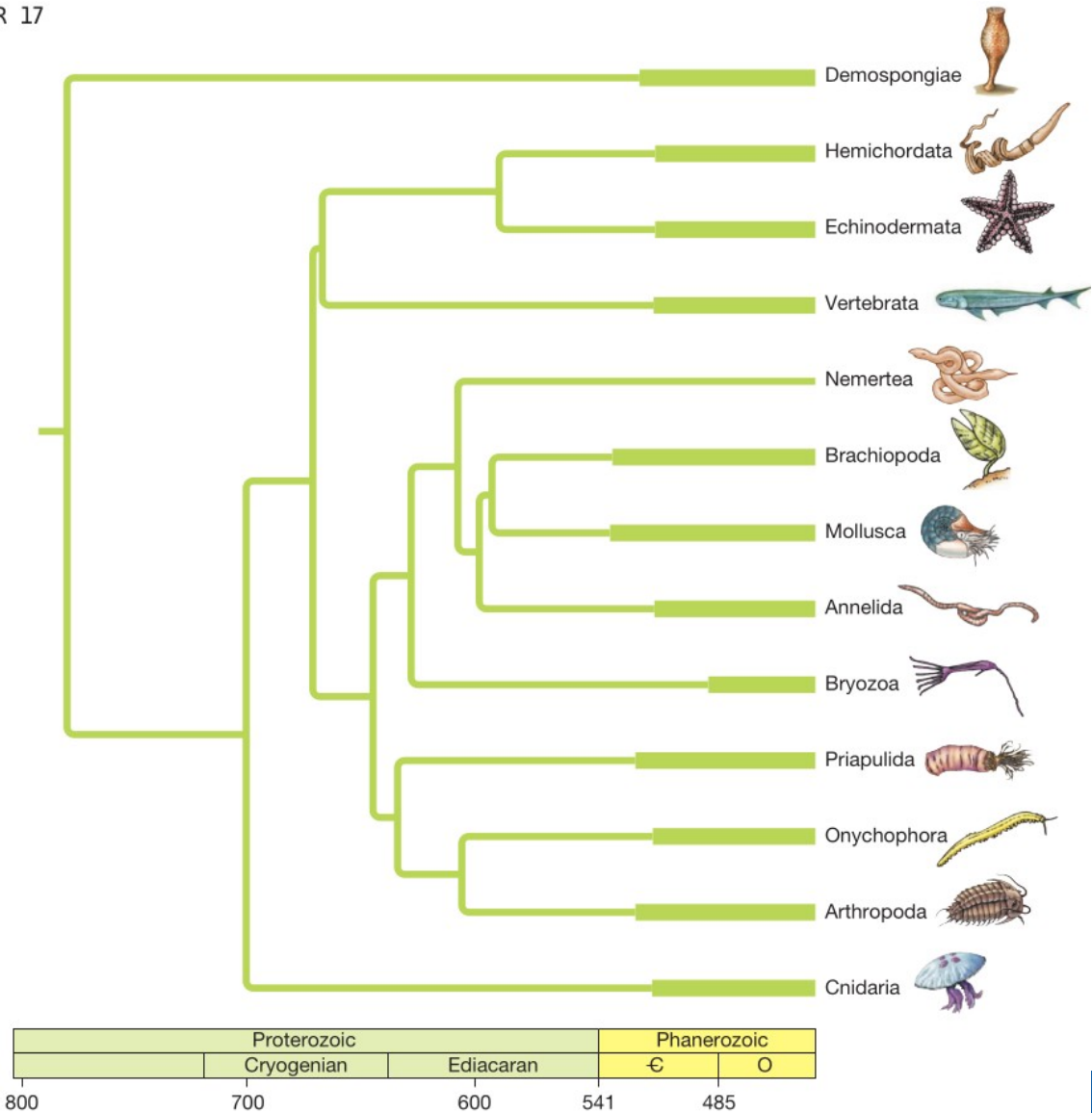
Το είδος αυτό ανήκει στα φαιοφύκη (Phaeophyceae) και αναπτύσσεται στις ακτές της Τασμανίας.

Θεωρείται ότι εξελίχτηκε ανεξάρτητα από άλλους πολυκύτταρους οργανισμούς.



RF Evert & SE Eichhorn, Raven Biology of Plants, 8 Edition, W. H. Freeman and Company Publishers, 2013





Τα φυλογενετικά δέντρα που βασίζονται στις αλληλουχίες του DNA των σύγχρονων ζώων, δείχνουν κοινούς προγόνους μέσα στον πρωτεροζωικό αιώνα, αν και δεν έχουν βρεθεί απολιθώματα των προγόνων αυτών των taxa.

Η έντονη γραμμή δείχνει το χρόνο των γνωστών απολιθωμάτων.

*Evolution 4th Edition,  
Futuyma & Kirkpatrick,  
Sinauer Associates 2017*

(A)



(B)



**FIGURE 17.7** Members of the Ediacaran fauna. (A) *Tribrachidium heraldicum*. The triradial form of this animal differs from that of any Phanerozoic animals. (B) The relationship of the wormlike *Dickinsonia costata* to later animals is unknown.

*Evolution 4th Edition,  
Futuyma & Kirkpatrick,  
Sinauer Associates 2017*

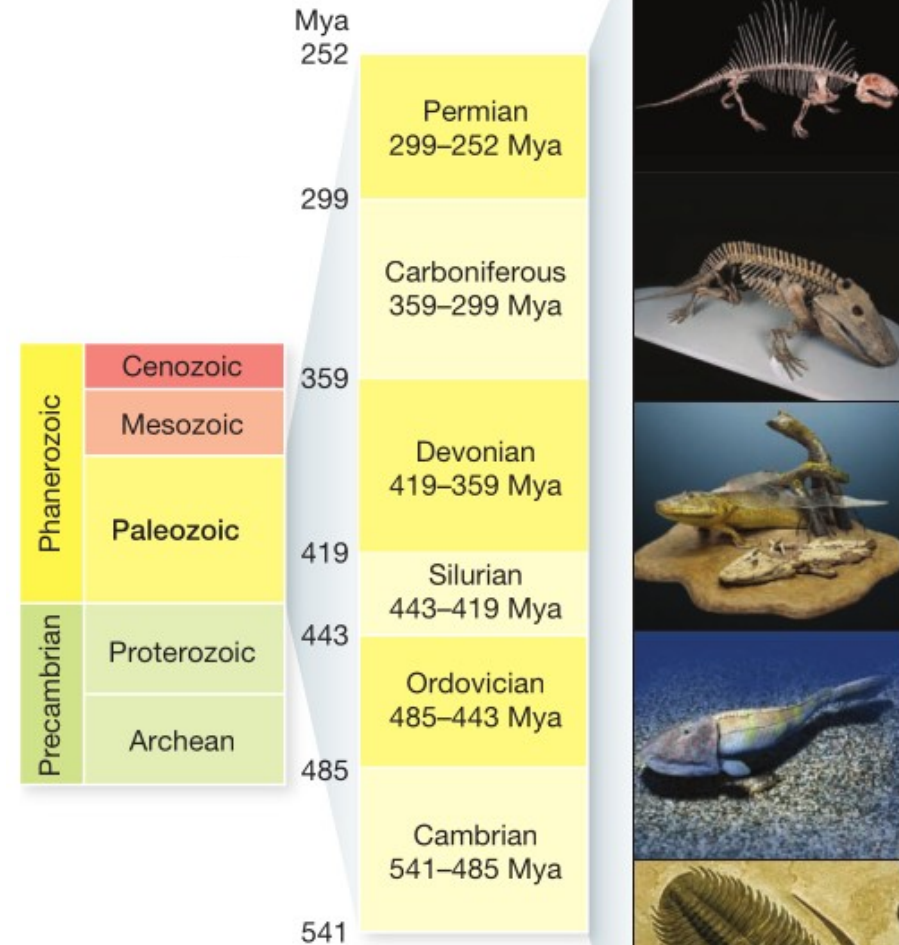
Τα ζώα της ύστερης Προκάμβριας περιόδου που βρίσκουμε στο αρχείο των απολιθωμάτων έχουν εξαφανιστεί και δεν έχουν κοινά στοιχεία με τα σύγχρονα ζώα

# Παλαιοζωικός αιώνας

Από το τέλος του Πρωτεροζωικού αιώνα μέχρι και σήμερα διανύουμε την **Φαναιροζωϊκή** περίοδο.

Πρώτη περίοδος είναι το **Κάμβριο** που ξεκινά 541 Mya πριν, με μία εντυπωσιακή εμφάνιση απολιθωμάτων στα πρώτα 10 με 30 Mya: **έκρηξη του Κάμβριου**

Εμφανίζονται σχεδόν όλες οι κατηγορίες των σημερινών οργανισμών και αρκετών εξαφανισμένων



**FIGURE 17.10** Time line of the Paleozoic era, illustrating a noteworthy organism from each period except the Silurian.

## Κάμβριο

(A)



(B)



Δύο ομάδες ζώων που πρωτοεμφανίστηκαν κατά την έκρηξη του Κάμβριου. Τα δύο αυτά απολιθώματα ανακαλύφθηκαν στους αμμώδεις σχιστόλιθους της νότιας Γιούτα, μια περιοχή που κάποτε καλύπτονταν από ρηχές θάλασσες. (A) **Τριλοβίτης** Κάμβριου (*Paraceraurus*), φυλή Arthropoda. Περισσότερα από 17.000 είδη τριλοβιτών έχουν περιγραφεί από τον Παλαιοζωικό, αλλά όλα εξαφανίστηκαν στο τέλος του Πέρμιου. (B) **Εχινόδερμα** (*Gogia spiralis*) από το πρώιμο Κάμβριο. Στη σύγχρονη πανίδα ευδοκούν αρκετές ομάδες εχινόδερμων.

*Evolution 4th Edition,  
Futuyma & Kirkpatrick,  
Sinauer Associates 2017*

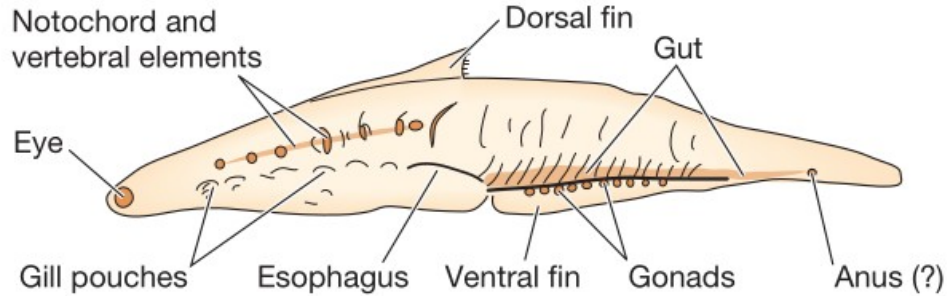
# Εξέλιξη της ζωής στον Παλαιοζωικό αιώνα

- Κάμβριο
  - Μεγάλη ποικιλότητα οργανισμών
  - Θαλάσσιοι οργανισμοί, πρώτα σπονδυλωτά χωρίς γνάθο
  - Ποικιλότητα φυκών
  - Μεγάλη εξαφάνιση στο τέλος του Κάμβριου (485 Mya)
- Ορδοβίκιο
  - Φυτά στην ξηρά (βρυόφυτα)
  - Ποικιλότητα στα εχινόδερμα, ασπόνδυλων και άγναθων σπονδυλόζων
  - **1η μαζική εξαφάνιση** στο τέλος (443 Mya)

(A)



Σπονδυλωτά του Κάμβριου. (A) Φωτογραφία και σχέδιο ενός από τα παλαιότερα γνωστά σπονδυλωτά, του *Haikouichthys*, του πρώιμου Κάμβριου. (B) Οστεώδεις, οδοντόμορφες δομές κονοδοντίων από το Κάμβριο. Τα κονοδόντα ήταν λεπτά χορδοτά ζώα χωρίς πτερύγια. (C) Ανακατασκευή ενός οστρακοδέρματος χωρίς γνάθο και άκρα, του *Arandaspis*. Δείτε τη βαριά θωράκιση στο μπροστινό μέρος του σώματος.



(C)



*Evolution 4th Edition,  
Futuyma & Kirkpatrick,  
Sinauer Associates 2017*



# Σιλούριο και Δεβόνιο

- Σιλούριο
  - Εμφάνιση γναθόστομων ψαριών
  - Τα πρώτα χερσαία αγγειόφυτα (πτεριδόφυτα) και αρθρόποδα
- Δεβόνιο
  - Ποικιλότητα οστεοϊχθύων και τριλοβιτών
  - Εμφάνιση γυμνόσπερμων, τερτράποδων, εντόμων
  - **2η μαζική εξαφάνιση (365 Mya)**

(A)



Heterostraci (*Pteraspis*, Δεβόνιο),  
οστρακόδερμο χωρίς σιαγόνα

(B)



Acanthodii (*Climatius*, Δεβόνιο),  
γναθόστομο με σιαγόνα

(C)

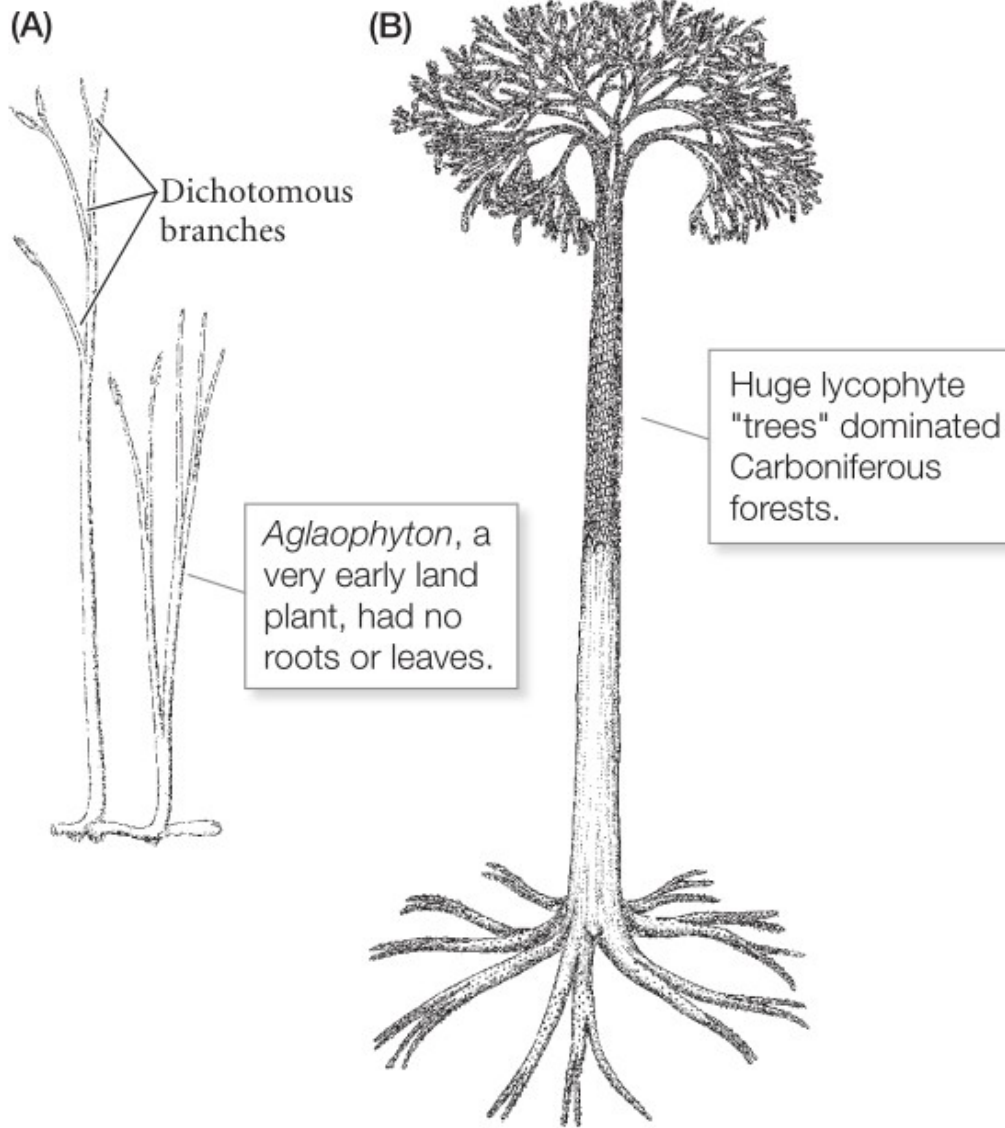


*Bothriolepis*, Δεβόνιο), πλακόδερμο

*Evolution 4th Edition,  
Futuyma & Kirkpatrick,  
Sinauer Associates 2017*

Εξαφανισμένες παλαιοζωικές κλάσεις  
σπονδυλόζων με χαρακτηριστικά ψαριών



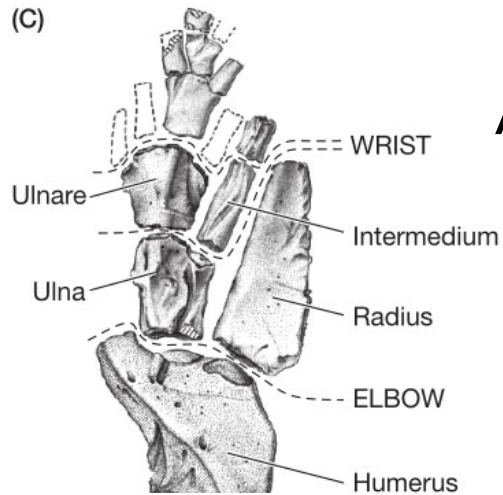


Παλαιοζωικά τραχεόφυτα, σε απεικόνιση διαφορετικής κλίμακας.

(A) *Aglaophyton* από το Δεβόνιο, μέχρι 15cm.

(B) *Lepidodendron*, ένα λυκόφυτο (lycophyte) δέντρο του Λιθανθρακοφόρου, έφτανε μέχρι και 30m.

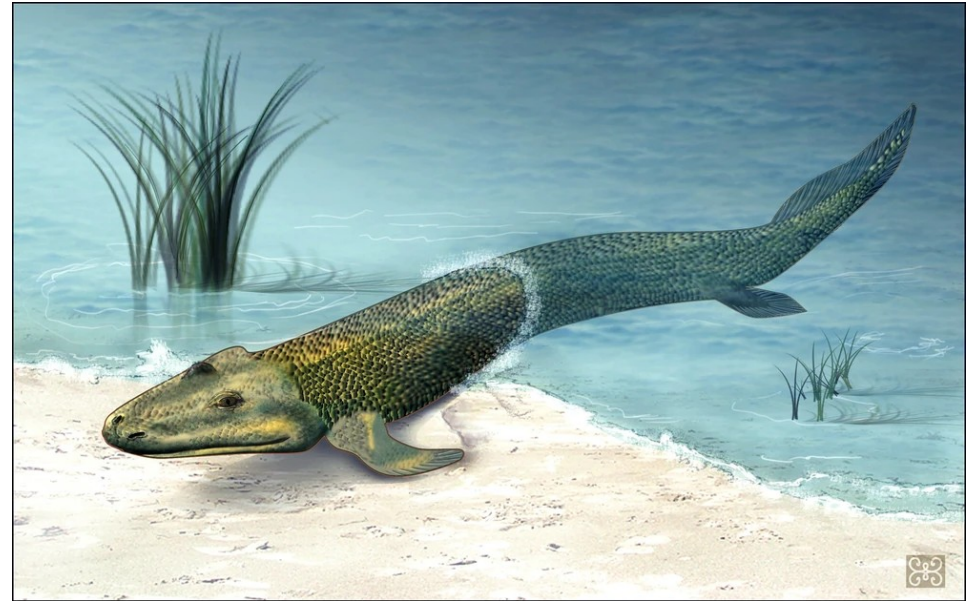
(C)



## Από τη θάλασσα στην ξηρά



Tiktaalik ~ 375 Mya



# Λιθανθρακοφόρο και Πέρμιο

- Λιθανθρακοφόρο
  - Εκτεταμένα δάση πρώιμων τραχεόφυτων
  - Πρώτες τάξεις πτερωτών εντόμων
  - Ποικιλότητα αμφίβιων και τα πρώτα ερπετά
- Πέρμιο
  - Παγγαία, παγετώνες και υποχώρηση θάλασσας
  - Ποικιλότητα εντόμων και ιχθύων, υποχώρηση αμφίβιων
  - Ποικιλότητα ερπετών
  - **3η μαζική εξαφάνιση (~250 Mya) – the great dying**

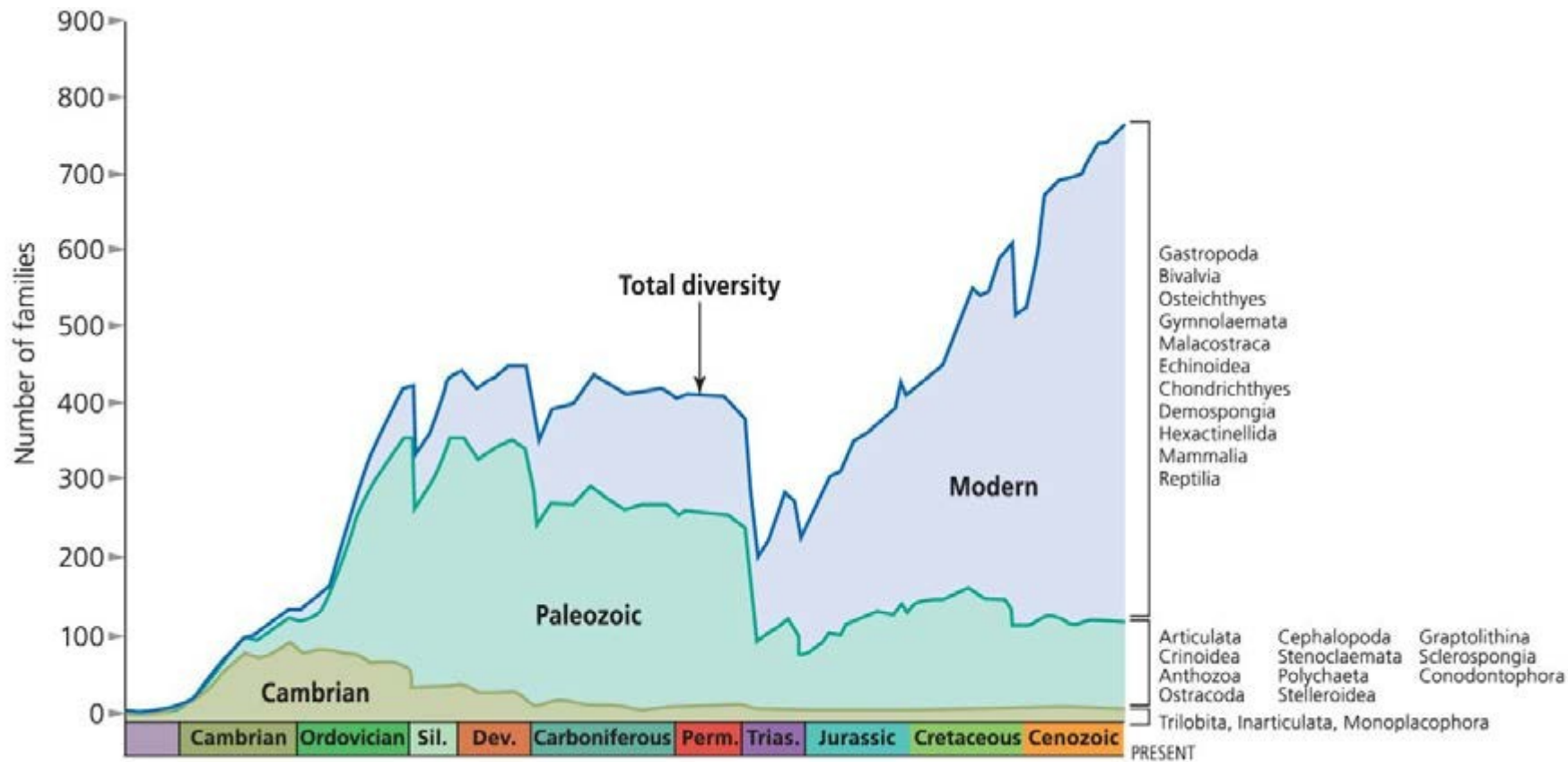
Evolution 4th Edition,  
Futuyma & Kirkpatrick,  
Sinauer Associates 2017



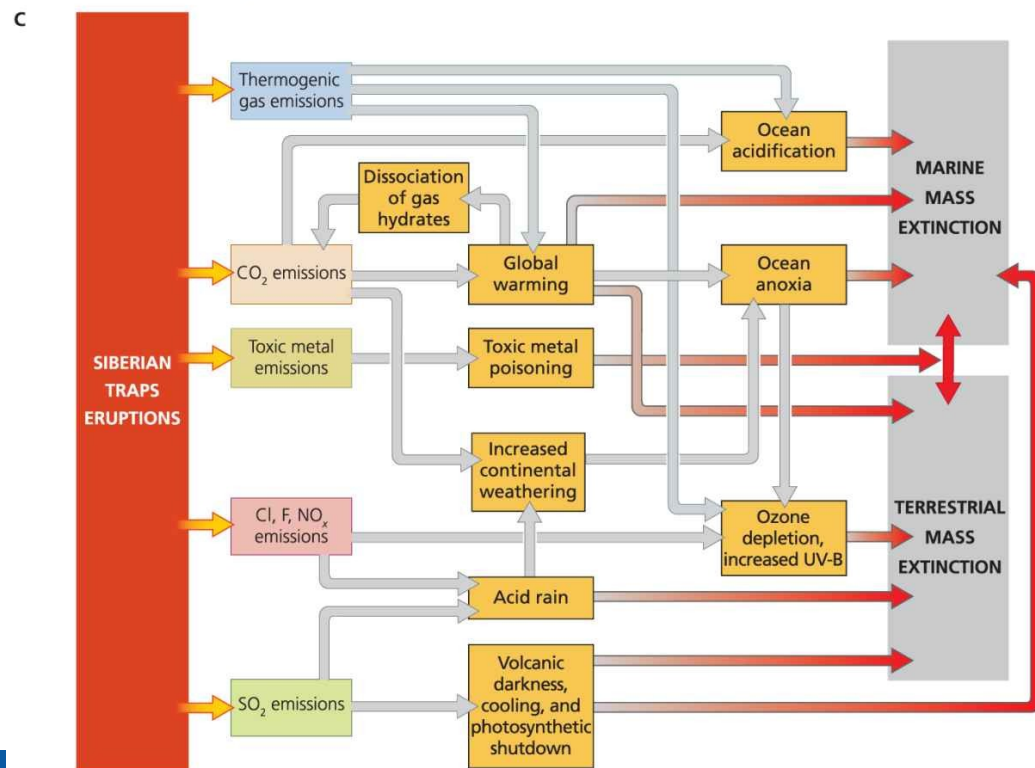
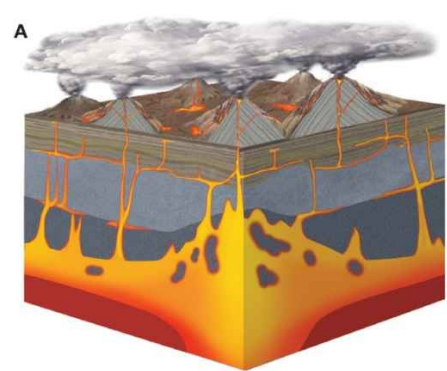
Γιγάντια αρθρόποδα του  
Λιθανθρακοφόρου, όπως  
είναι το *Arthropleura*, μία  
σαρανταποδαρούσα που  
έφτανε τα 2,3m μήκος και το  
ιπτάμενο *Meganeura* με  
άνοιγμα φτερών 25cm

Η απεικόνιση του ανθρώπου εδώ είναι για να συγκρίνουμε τα μεγέθη.  
Κανείς άνθρωπος δεν είδε ποτέ τέτοια αρθρόποδα.

# Η εξέλιξη της ποικιλότητας στη γη: αριθμός οικογενειών



Zimmer/Emlen, *Evolution: Making Sense of Life*, 3e, © 2020 W. H. Freeman and Company



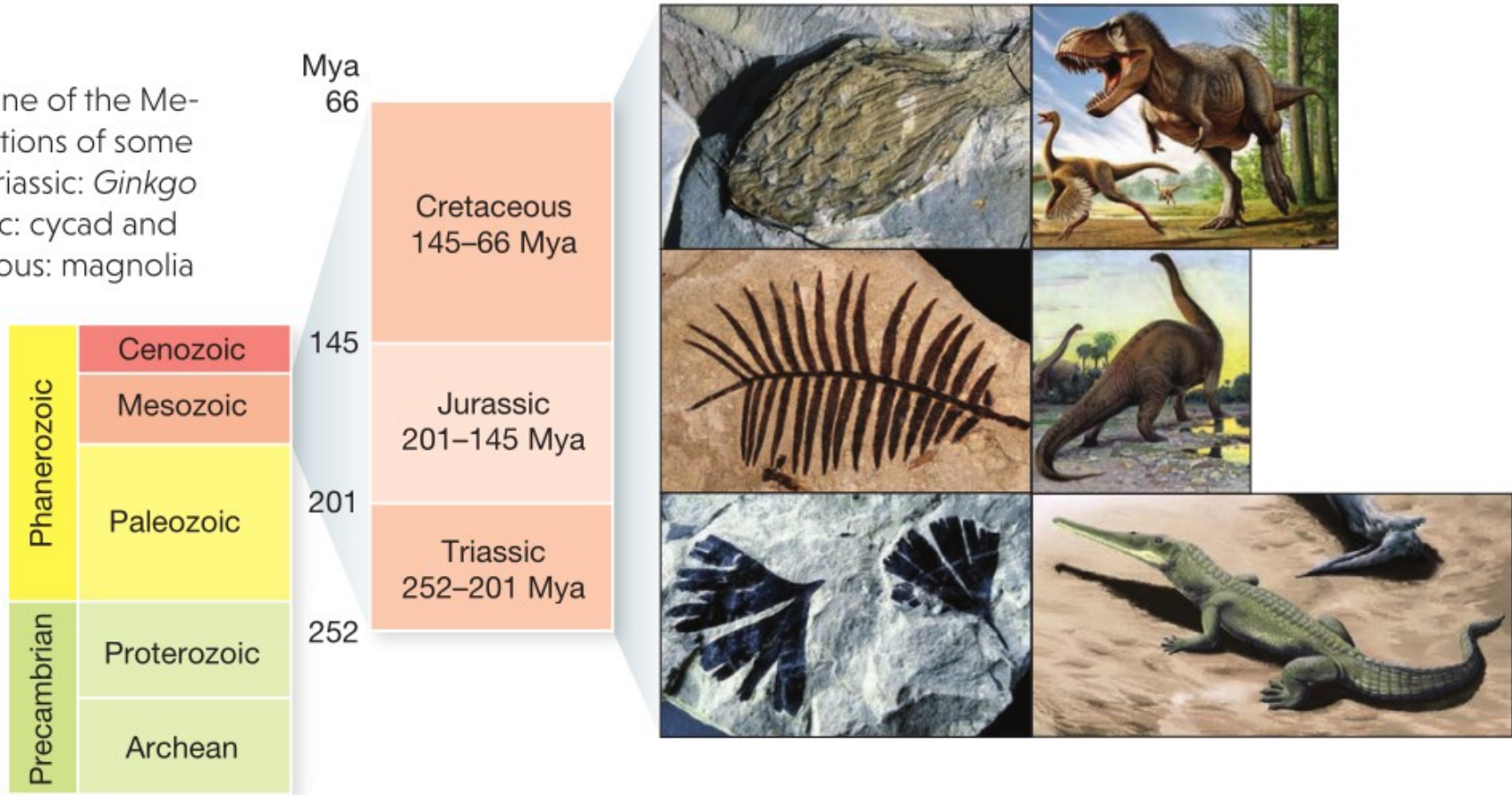
Συνδυασμός παραγόντων που (πιθανόν) οδήγησε στην μεγάλη εξαφάνιση του Περμίου.

Αρχικά συμβάντα ήταν η ηφαιστειακή δραστηριότητα στη Σιβηρία. Στη συνέχεια υπήρξε μια αλυσίδα συμβάντων που περιγράφουν μια κλιματική μεταβολή τεράστιας κλίμακας.

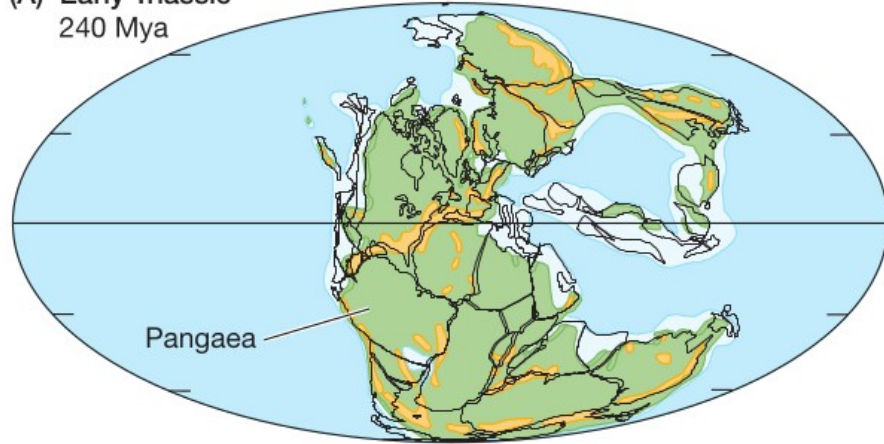
# Μεσοζωικός αιώνας

Evolution 4th Edition,  
Futuyma & Kirkpatrick,  
Sinauer Associates 2017

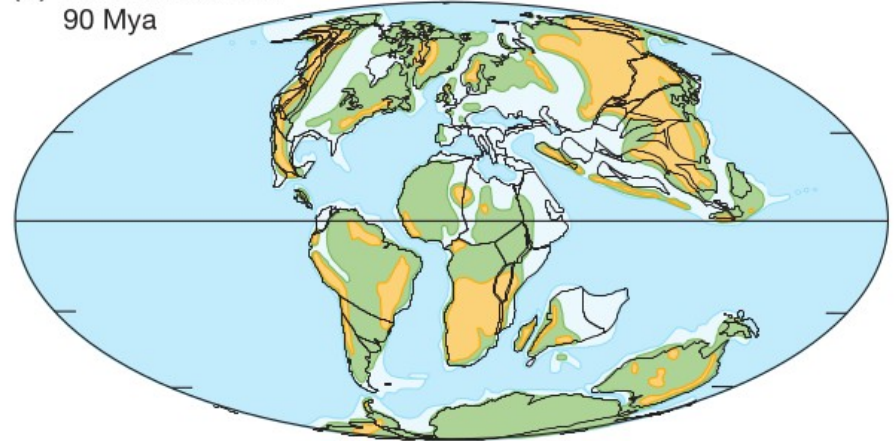
**FIGURE 17.20** Time line of the Mesozoic era, with illustrations of some noteworthy species. Triassic: *Ginkgo* and phytosaur. Jurassic: cycad and *Apatosaurus*. Cretaceous: magnolia and *Tyrannosaurus*.



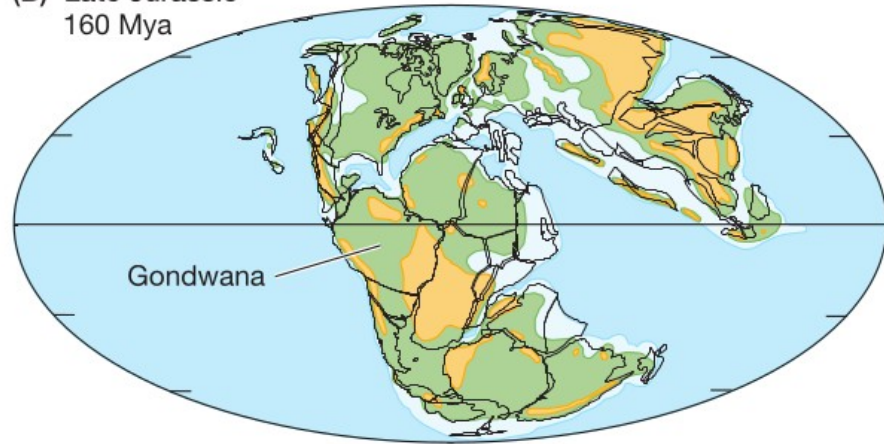
(A) Early Triassic  
240 Mya



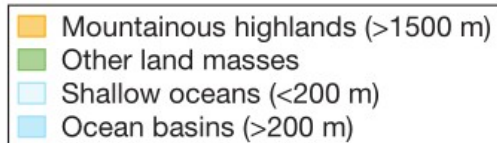
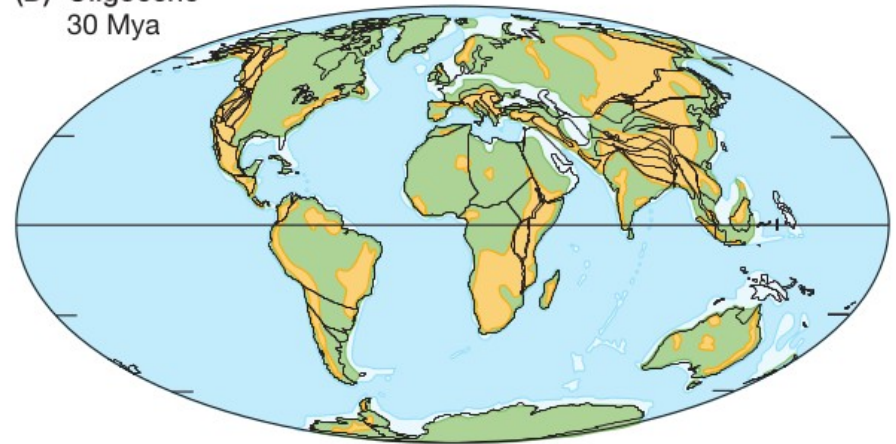
(C) Late Cretaceous  
90 Mya



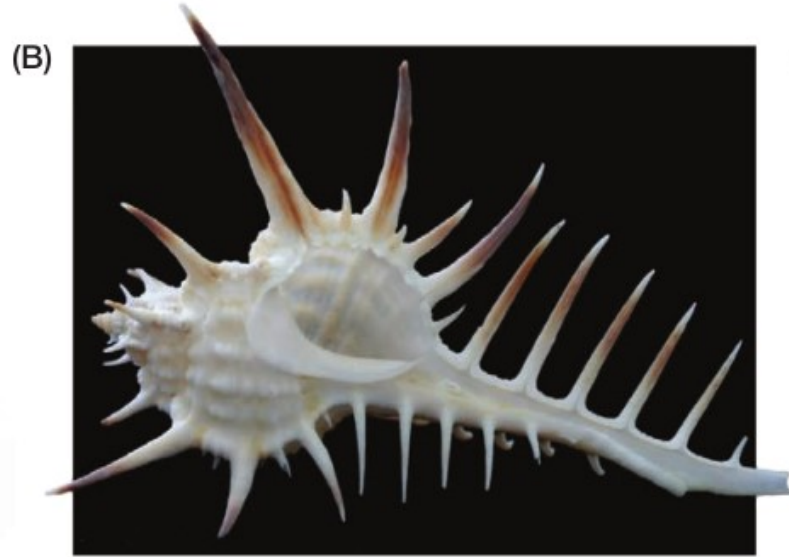
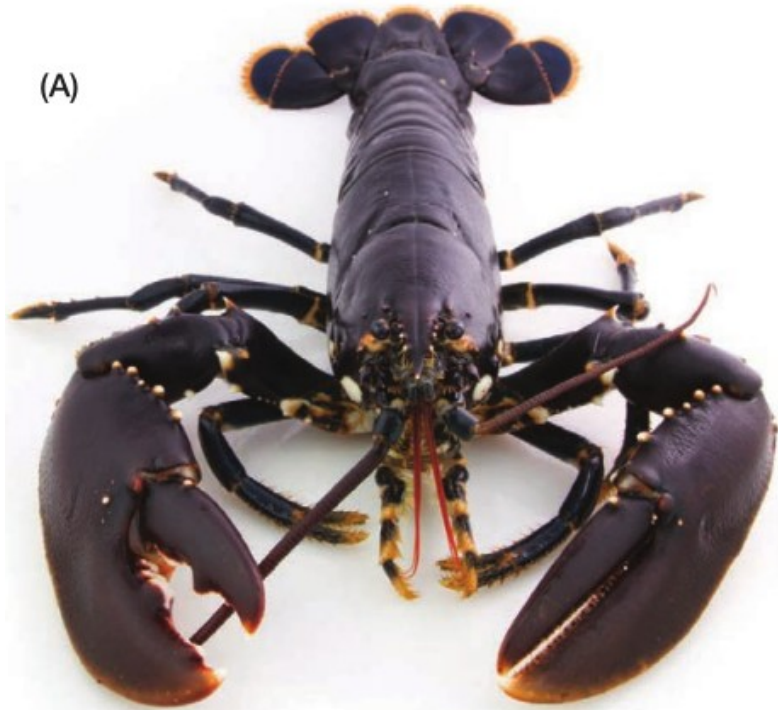
(B) Late Jurassic  
160 Mya



(D) Oligocene  
30 Mya







Χαρακτηριστικά προσαρμογής θαλάσσιων θηρευτών και θηραμάτων που αναπτύχθηκαν κατά τον Μεσοζωικό αιώνα.

(A) Οι μεγάλες δαγκάνες των καρκινοειδών (π.χ. αστακός).

(B) Τα αγκάθια των δίθυρων και των γαστρόποδων (π.χ. *Murex*)

(C) Το σκληρό κέλυφος και τα στενά ανοίγματα των γαστρόποδων (π.χ. *Cypraea mauritiana*)

*Evolution 4th Edition,  
Futuyma & Kirkpatrick,  
Sinauer Associates 2017*



**Σπερματοφύτα:** (A) Ένα ζωντανό κυκαδόφυτο (*Encephalartos* sp.).

Τα γυμνόσπερμα ήταν άφθονα και σε μεγάλη ποικιλία κατά τη διάρκεια του Μεσοζωικού, αλλά μόνο περίπου 130 είδη υπάρχουν σήμερα.

(B) Ένα απολιθωμένο φύλλο *Ginkgo* από το Παλαιόκαινο (66-56 Mya).

(C) Ένα φύλλο του μοναδικού σωζόμενου είδους *Ginkgo*, *Ginkgo biloba*. (D) *Protomimosoidea*, ένα απολιθωμένο μέλος της οικογένειας των ψυχανθών από το Παλαιόκαινο / Ηώκαινο, και σήμερα περιλαμβάνει είδη όπως η μιμόζα και η ακακία.



(A) An ichthyosaur



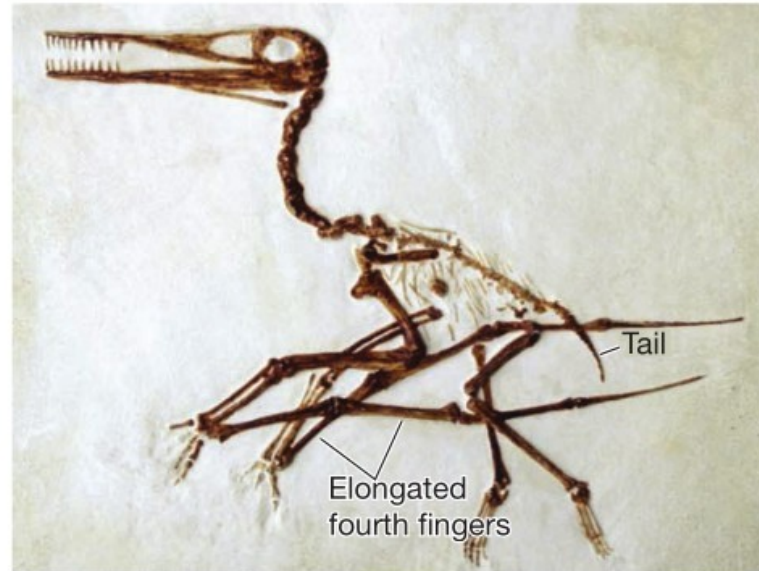
*Evolution 4th Edition,  
Futuyma & Kirkpatrick,  
Sinauer Associates 2017*

Μεσοζωικά ερπετά

(B) *Lagosuchus talampayensis*

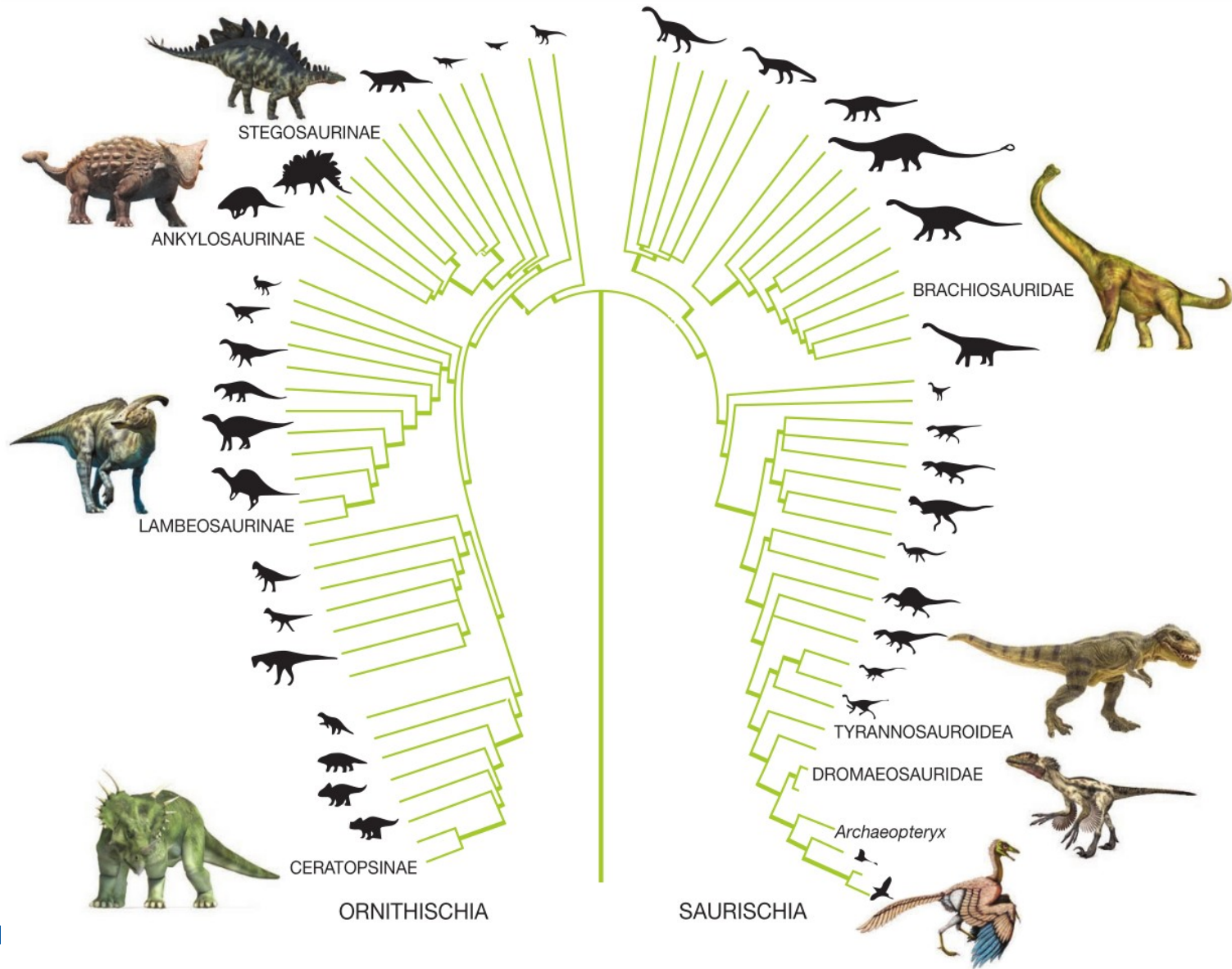


(C) Pterodactylus

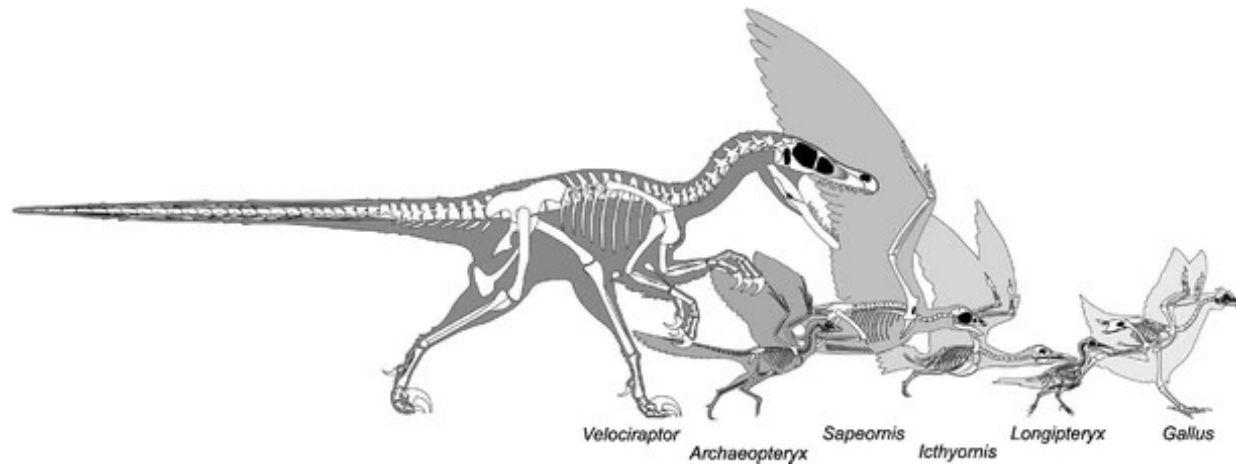


# Δεινόσαυροι

- Εξελίχτηκαν από τους αρχαιοσαυρους και χωρίζονται στους Saurischia και Ornithischia
  - Είναι κυρίως δίποδα και όσα είναι τετράποδα ζώα έχουν δίποδες προγόνους
- Πάνω από 39 οικογένειες, 550 γένη και 1000 είδη
- Τα Ornithischia ήταν φυτοφάγα είδη
- Στα Saurischia ανήκουν και τα σαυρόποδα, τα μεγαλύτερα ζώα που περπάτησαν ποτέ στη γη
  - Ο *Brachiosaurus* ζύγιζε πάνω από 80.000 kg και ο *Argentinosaurus* έφτανε τα 40 m σε μήκος
- Οι δίποδες σαρκοφάγοι δεινόσαυροι ανήκουν στα Saurischia



Evolution 4th Edition,  
 Futuyma & Kirkpatrick,  
 Sinauer Associates 2017



Οι σκελετοί του αρπακτικού δεινοσαύρου *Velociraptor*, του ιουρασικού πτηνού *Archaeopteryx*, του πτηνού του πρώιμου Κρητιδικού *Sapeornis*, του *Longipteryx*, του *Ichthyornis* του ύστερου Κρητιδικού και του *Gallus* (κοτόπουλο).

Τα τελευταία χρόνια, έχει ανακαλυφθεί από πετρώματα του Μεσοζωικού σε όλο τον κόσμο ένας πλούτος από μη πτητικούς δεινόσαυρους που μοιάζουν με πτηνά και πρωτόγονα πτηνά που μοιάζουν με δεινόσαυρους. Αυτές οι ανακαλύψεις έχουν εδραιώσει την αντίληψη ότι τα πουλιά εξελίχθηκαν από αρπακτικούς δίποδες δεινόσαυρους.

# Η εξέλιξη των θηλαστικών

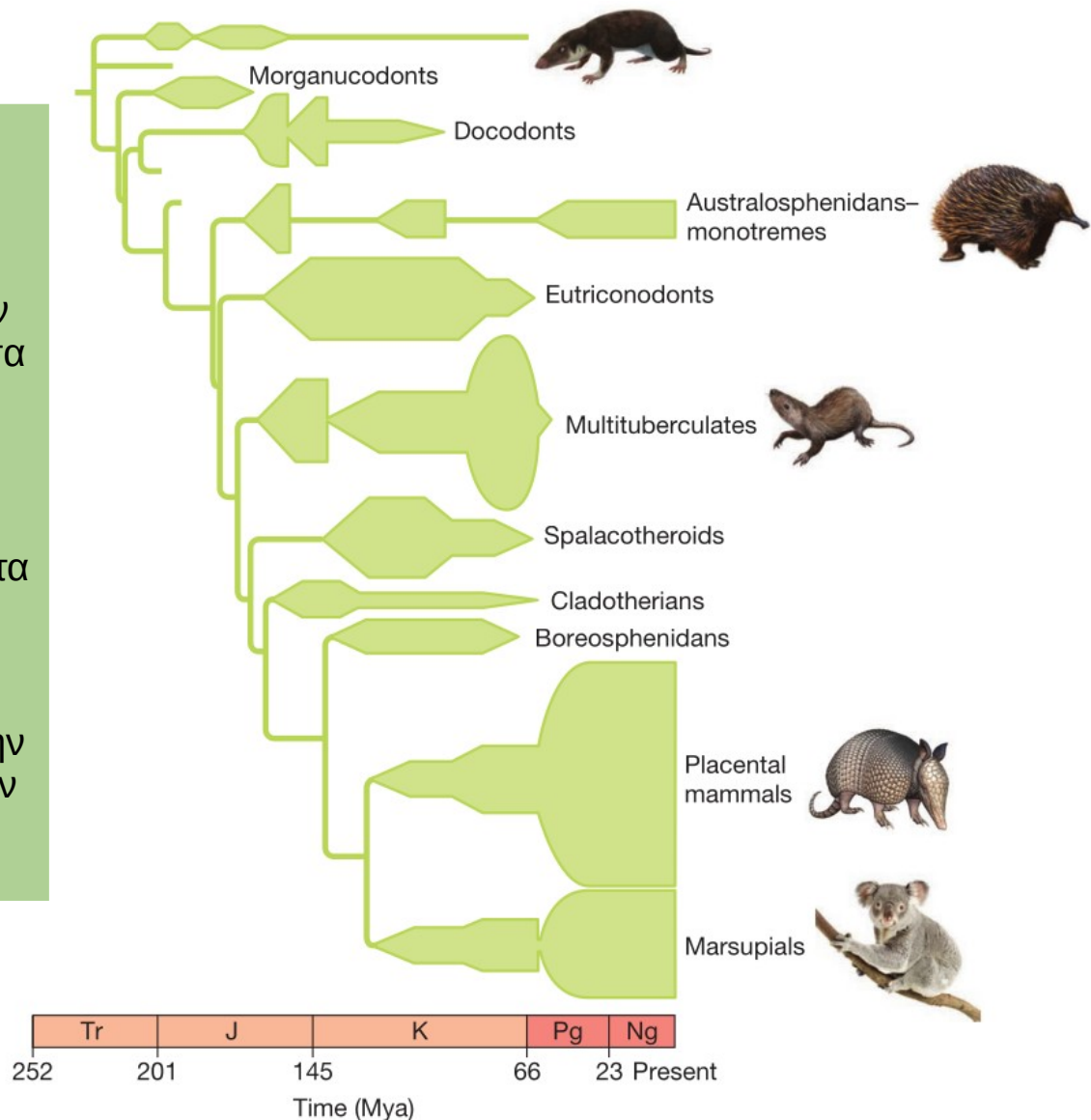
- Πολλοί κλάδοι θηλαστικών εμφανίστηκαν στην Ιουράσιο και στη Κρητιδική περίοδο
  - Πάνω από 300 γένη
- Μικρό μέγεθος και μεγάλη οικολογική εξειδίκευση
- Μόλις τρεις γραμμές καταγωγής επέζησαν
  - Μονοτρήματα
  - Μαρσιποφόρα
  - Πλακουντοφόρα

Φυλογενετικές σχέσεις και χρονική κατανομή μεγάλων ομάδων θηλαστικών.

Τα morganucodonts, που προέκυψαν στο Ιουράσιο, είναι εξελικτικά ανάμεσα στα ερπετά που μοιάζουν με θηλαστικά και τα αληθινά θηλαστικά.

Οι μόνες ομάδες που επιβιώνουν μέχρι σήμερα είναι τα μονοτρήματα, τα πλακουντόζωα και τα μαρσιποφόρα.

Το μεταβαλλόμενο πλάτος κάθε κλάδου αντιπροσωπεύει αλλαγές στην ποικιλία των γνωστών ειδών σε αυτήν την ομάδα.



















Οι κάτω (μαύρες) μορφές είναι ανακατασκευές της πιθανής μορφής διαφορετικών μεσοζωικών θηλαστικών, που συμπεραίνεται από την ανατομία τους ότι είχαν διαφορετικά οικολογικά χαρακτηριστικά.

Οι επάνω φιγούρες απεικονίζουν ζωντανά θηλαστικά που είναι οικολογικά παρόμοια με τις παρακάτω μεσοζωικές μορφές, αποτέλεσμα της συγκλίνουσας εξέλιξης.

Εμφανίζονται μορφές για κολύμβηση, σκάψιμο, αναρρίχηση και αέρια ολίσθηση (gliding).

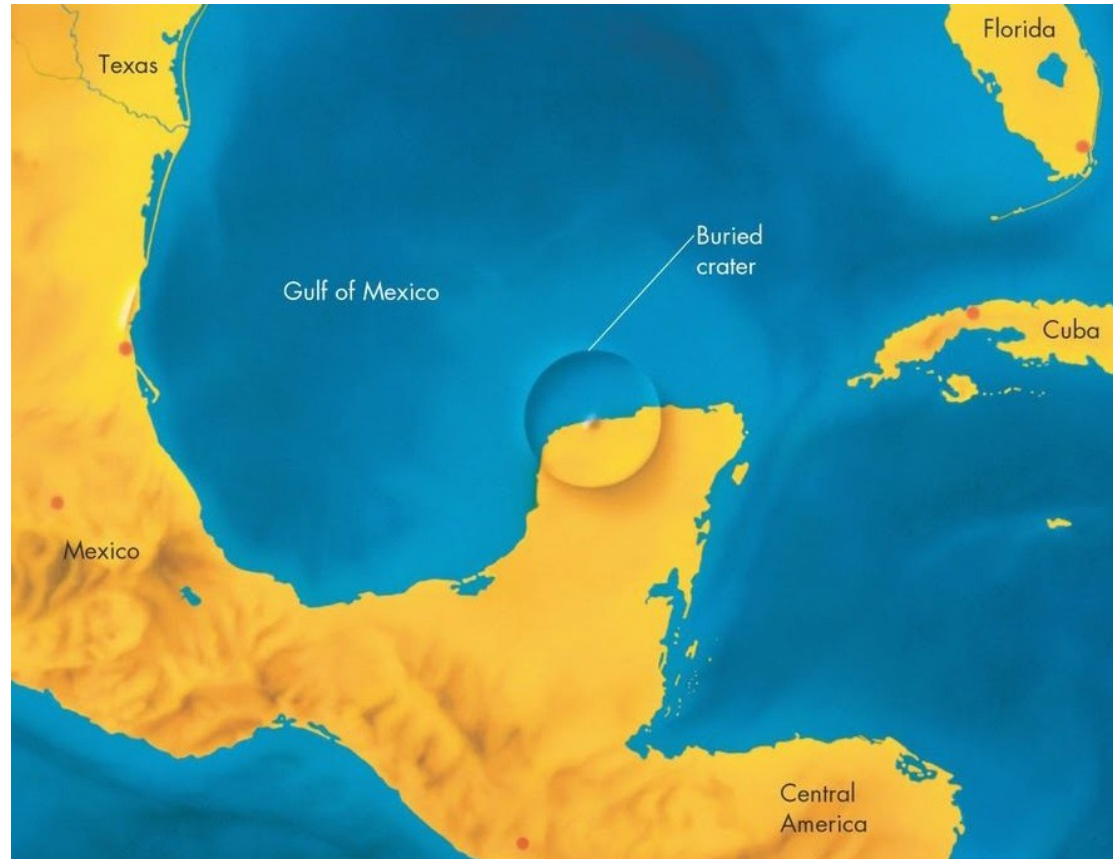
	Swimming	Digging	Climbing	Gliding
Modern	 Otter  Beaver	 Aardvark  Armadillo	 Tree shrew	 Flying squirrel  Sugar glider
Early Cretaceous			 <i>Eomaia</i>  <i>Sinodelphys</i>	
Jurassic	 <i>Castorocauda</i>  <i>Haldanodon</i>	 <i>Fruitafossor</i>	 <i>Henkelotherium</i>	 <i>Volaticotherium</i>

# K/Pg extinction

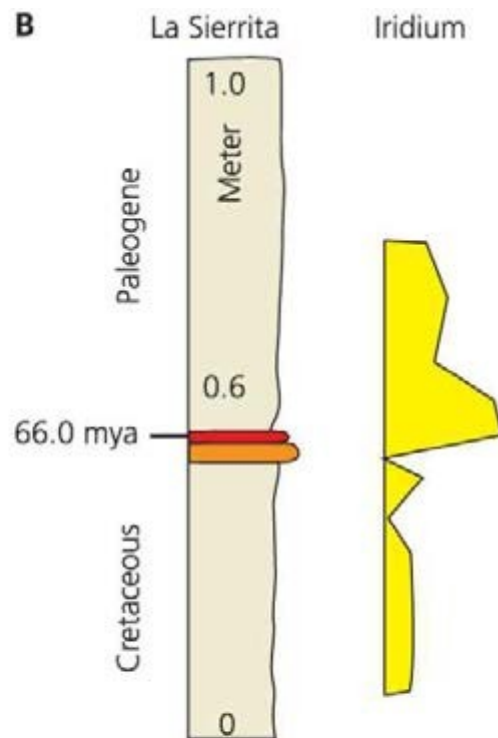
Το τέλος του Μεσοζωικού αιώνα ήρθε με την **5η μαζική καταστροφή**: την περιβαλλοντική καταστροφή που προκάλεσε η σύγκρουση αστεροειδή στην περιοχή Yucatan στο Μεξικό.

Η σκόνη από την έκρηξη εμπόδισε την ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στην επιφάνεια της γης και οδήγησε σε έναν μακρύ χειμώνα.

Εξαφανίστηκαν όλοι οι μη φτερωτοί δεινόσαυροι, τα περισσότερα θηλαστικά και 47% όλων των θαλάσσιων ζωικών γενών.



The Chicxulub crater



A: U.S. Geological Society

Zimmer/Emlen, *Evolution: Making Sense of Life*, 3e, © 2020 W. H. Freeman and Company

# Καινοζωικός αιώνας

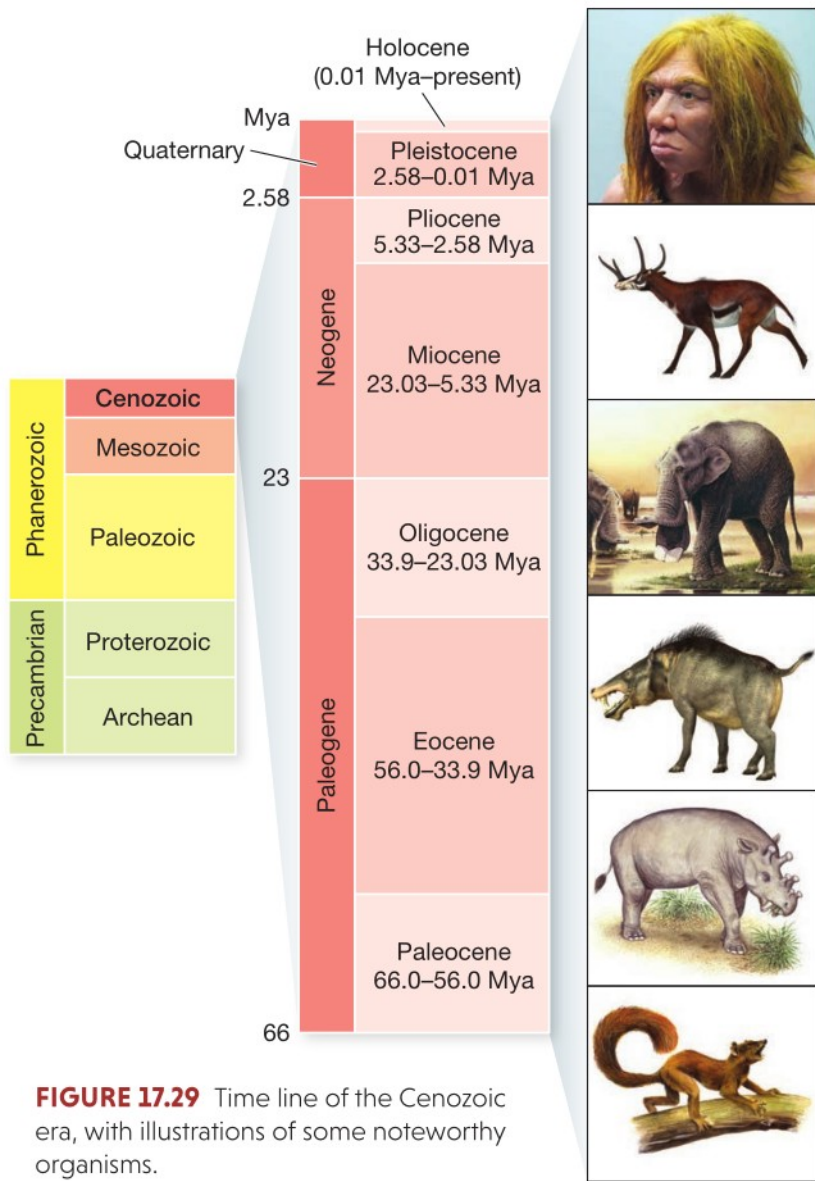
Η θάλασσα ποικιλότητα αποκαταστάθηκε. Πολλά υδρόβια θηλαστικά και ψάρια πήραν τις οικοθέσεις των θαλάσσιων δεινόσαυρων.

Μεγάλη ποικιλομορφία στα αγγειόσπερμα φυτά και στα έντομα

Η εξέλιξη των πτηνών

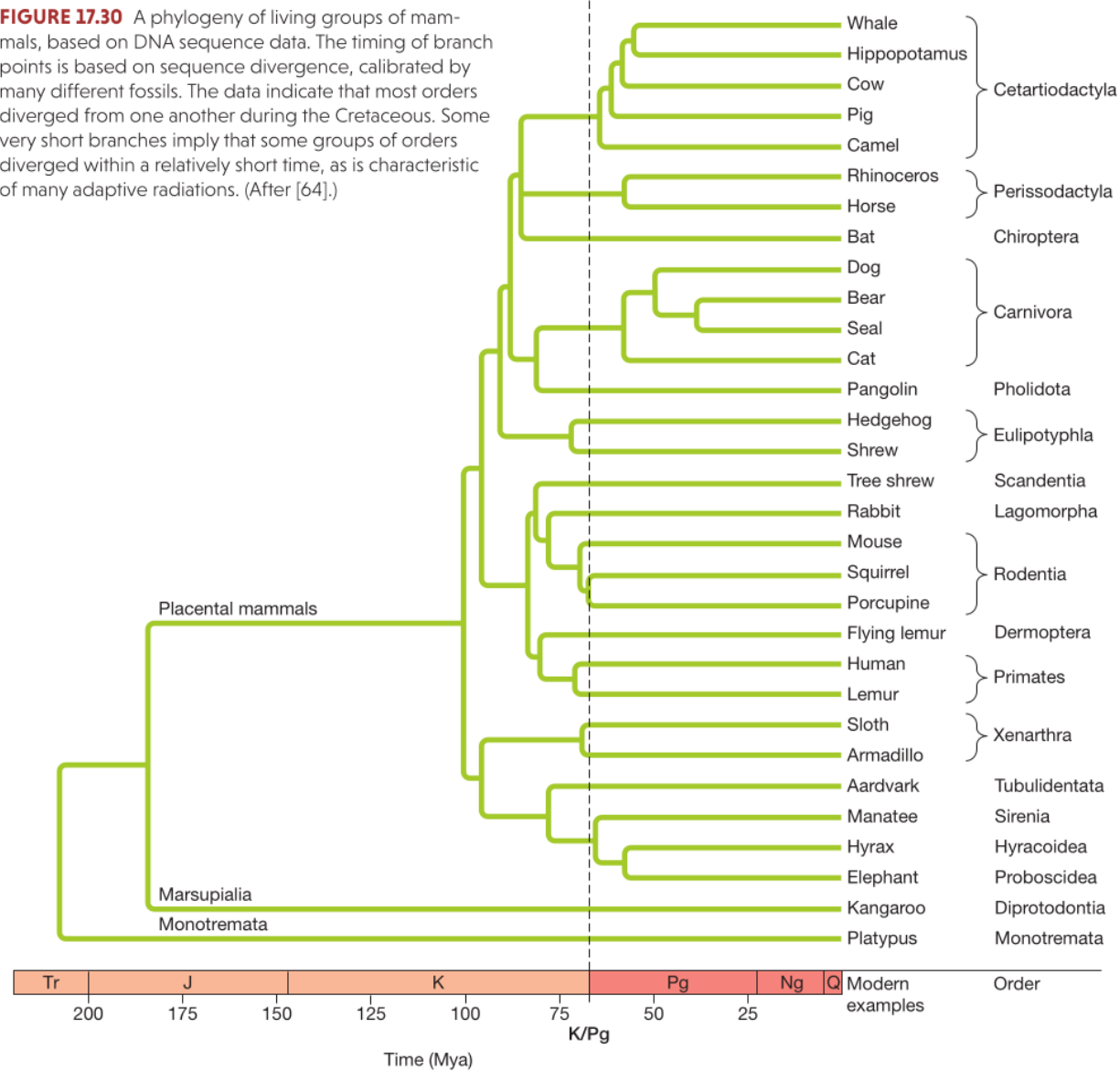
Η εντυπωσιακή ποικιλομορφία των φιδιών

Η εξέλιξη των θηλαστικών από τις τρεις γραμμές καταγωγής που απέμειναν



**FIGURE 17.29** Time line of the Cenozoic era, with illustrations of some noteworthy organisms.

**FIGURE 17.30** A phylogeny of living groups of mammals, based on DNA sequence data. The timing of branch points is based on sequence divergence, calibrated by many different fossils. The data indicate that most orders diverged from one another during the Cretaceous. Some very short branches imply that some groups of orders diverged within a relatively short time, as is characteristic of many adaptive radiations. (After [64].)



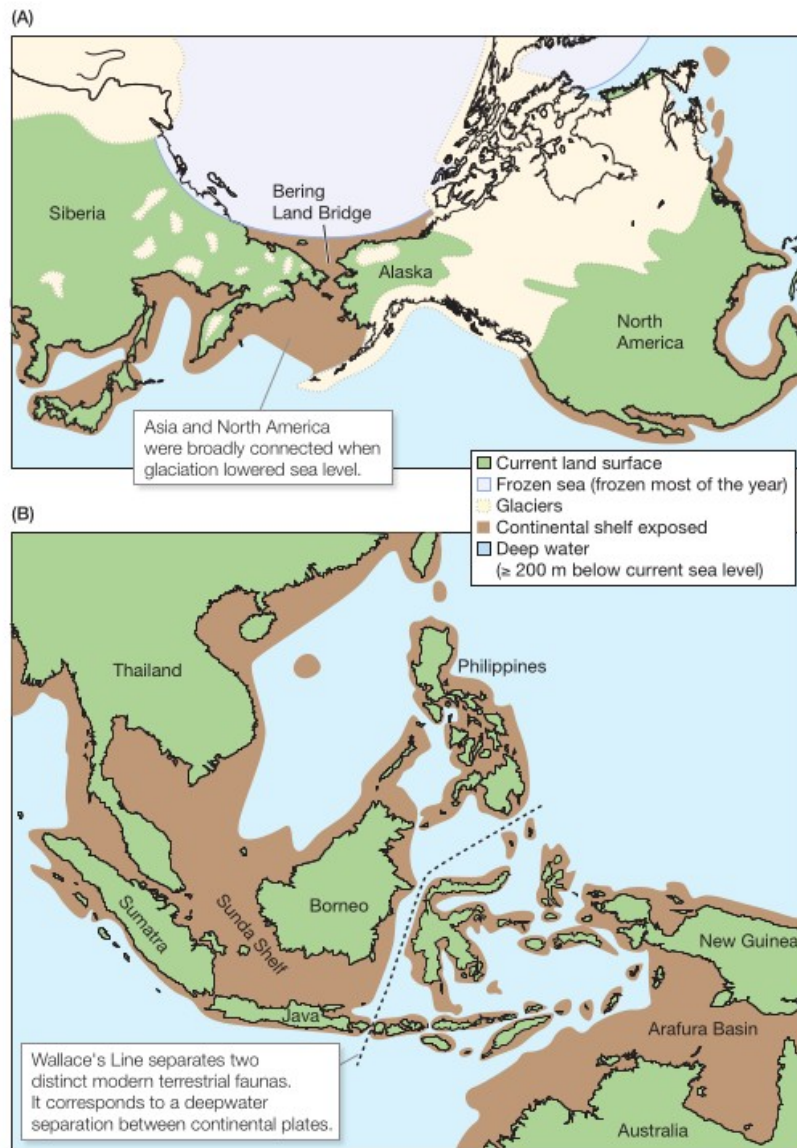
Οι περισσότερες γραμμές  
καταγωγής των σύγχρονων  
θηλαστικών εξελίχτηκαν  
μέσα στον καινοζωικό  
αιώνα

*Evolution 4th Edition,  
Futuyma & Kirkpatrick,  
Sinauer Associates 2017*

# Οι κλιματικές μεταβολές του Πλειστόκαινου

- Μέσα στο Πλειστόκαινο ξεκίνησαν έντονες κλιματικές διακυμάνσεις σε συχνότητα περίπου 100.000 ετών
  - Παγετώδεις και μεσοπαγετώδεις φάσεις
- Στις **παγετώδεις** φάσεις, η στάθμη της θάλασσας έπεφτε σημαντικά (ακόμα και 100m σε σχέση με τη σημερινή στάθμη), κυριαρχούσε η ξηρασία και οι χαμηλές θερμοκρασίες στα εύκρατα γεωγραφικά πλάτη
  - Σύνδεση ξηράς σε πολλά σημεία και μετακίνηση φυτών και ζώων
  - Τα δάση μειώθηκαν και επιβίωσαν σε **παγετώδη καταφύγια** (refugia)
    - Μαζί τους και πολλά είδη φυτών και ζώων

**FIGURE 17.33** Pleistocene glaciers lowered sea level by 100 m or more, so that many terrestrial regions that are now separated by oceanic barriers were connected. These maps show the configuration of land in two parts of the world about 15,000 years ago. (A) Eastern Asia and North America were joined by the Bering Land Bridge. Note the extent of the glacier in North America. (B) Indonesia and other islands were connected to either southeastern Asia or Australia. (After [13].)



Αλλαγές στην στάθμη της θάλασσας επέτρεψαν τις μετακινήσεις πληθυσμών φυτών και ζώων (και του ανθρώπου)

**Thank you**

