

Εξελικτική Βιολογία

Η εξέλιξη της βιοποικιλότητας

Αριστοτέλης Παπαγεωργίου, Τμ. ΜΒΓ ΔΠΘ, aparage@mbg.duth.gr

Rio 1992



- The Earth Summit'
- 'Rio Declaration' και ένα σχέδιο δράσης (Agenda 21)
 - εγκρίθηκε από περισσότερα από 100 έθνη
 - Στόχος η επίτευξη της Βιώσιμης Ανάπτυξης στον 21ο αιώνα
- Τρεις μεγάλες συμβάσεις
 - Κλιματική αλλαγή
 - Βιοποικιλότητα
 - Ερημοποίηση



Βιολογική ποικιλότητα (βιοποικιλότητα)



- Έννοια με ευρεία αναφορά σε διεθνείς συμβάσεις, εθνική νομοθεσία, επιστημονικά συγγράμματα
- Επίκεντρο των πολιτικών που σχετίζονται με την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος
- Κεντρική έννοια της επιστήμης της «βιολογίας της διατήρησης»

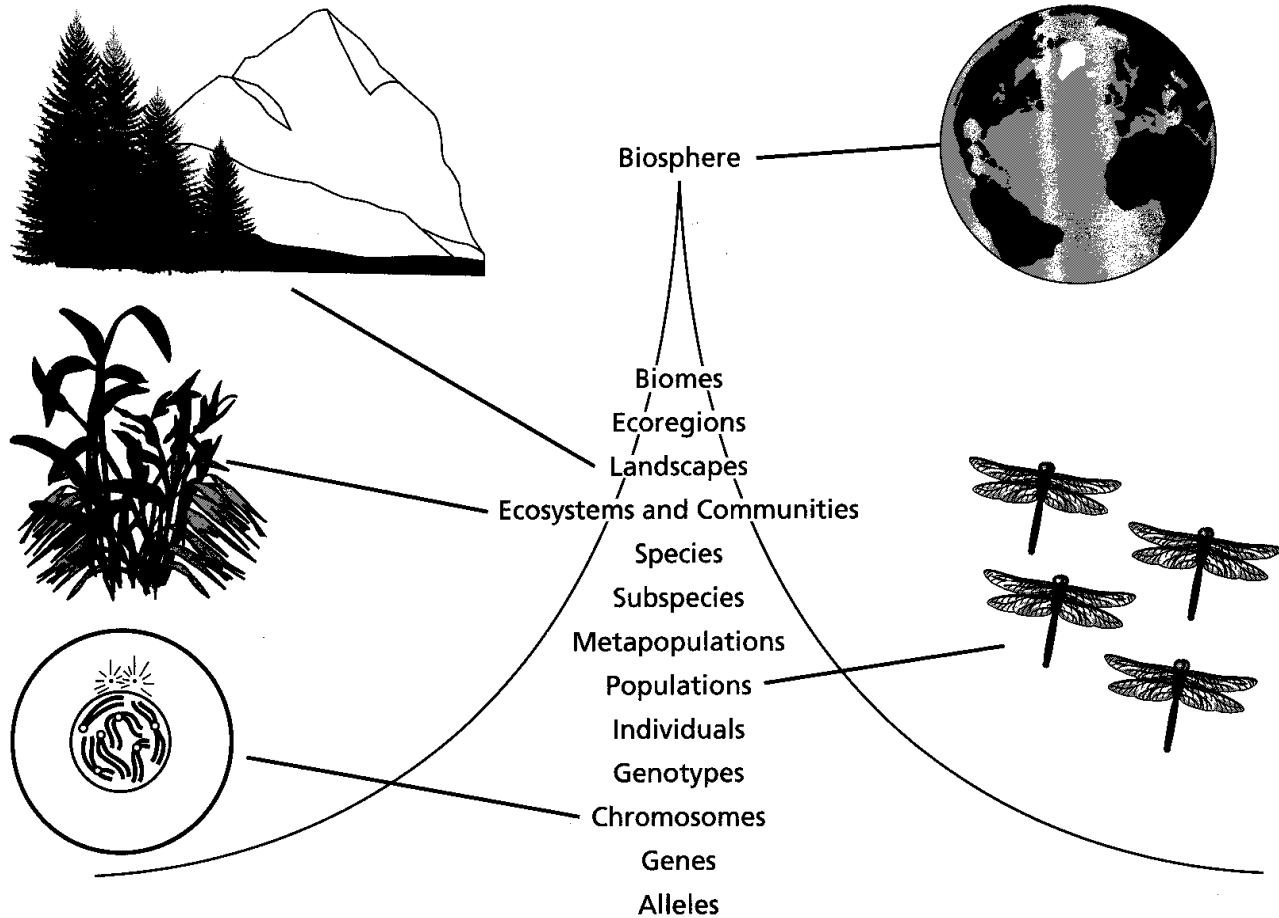
Ο ορισμός της βιοποικιλότητας

- Τουλάχιστον 12 διαφορετικοί ορισμοί με πιο γνωστό και σημαντικό αυτόν της Σύμβασης για τη Βιολογική Ποικιλότητα (CBD), από τη «συνάντηση κορυφής της γης» (Earth Summit) στο Ρίο 1992
- *Ως Βιολογική Ποικιλότητα ορίζεται / εννοείται η ποικιλομορφία που εμφανίζεται ανάμεσα στους ζωντανούς οργανισμούς όλων των ειδών, των χερσαίων, θαλασσίων και άλλων υδάτινων οικοσυστημάτων και οικολογικών συμπλεγμάτων στα οποία οι οργανισμοί αυτοί ανήκουν.*
- Ο ορισμός περιλαμβάνει την ποικιλότητα μέσα σε ένα είδος όπως και εκείνη, μεταξύ διαφορετικών ειδών και μεταξύ των οικοσυστημάτων



Περιγράφει την
ποικιλομορφία της ζωής σε
όλες της τις οργανωτικές
καταστάσεις

Η ποικιλομορφία σαν **αξία**

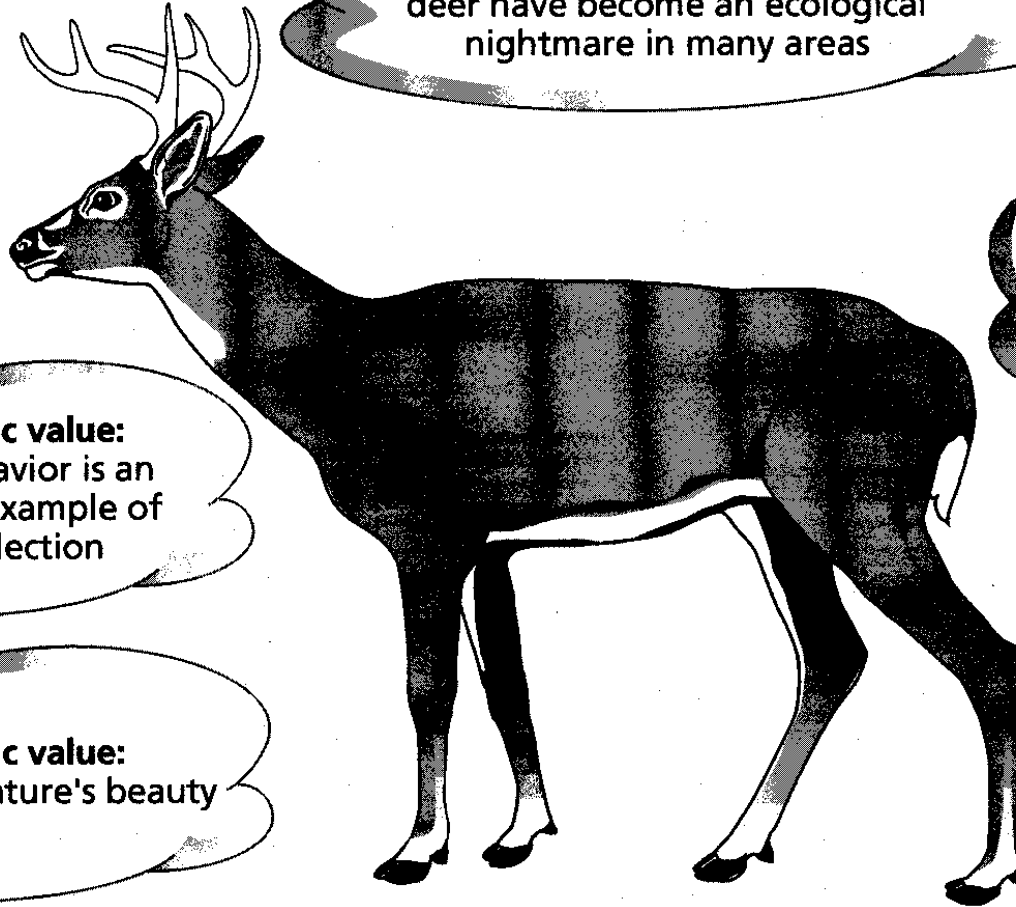


Η βιοποικιλότητα έχει
πολλά επίπεδα

Η βιοποικιλότητα έχει διαφορετική αξία για διαφορετικούς ανθρώπους

Ecologicistic-scientific value:

Because their populations have exploded due to lack of predators, deer have become an ecological nightmare in many areas

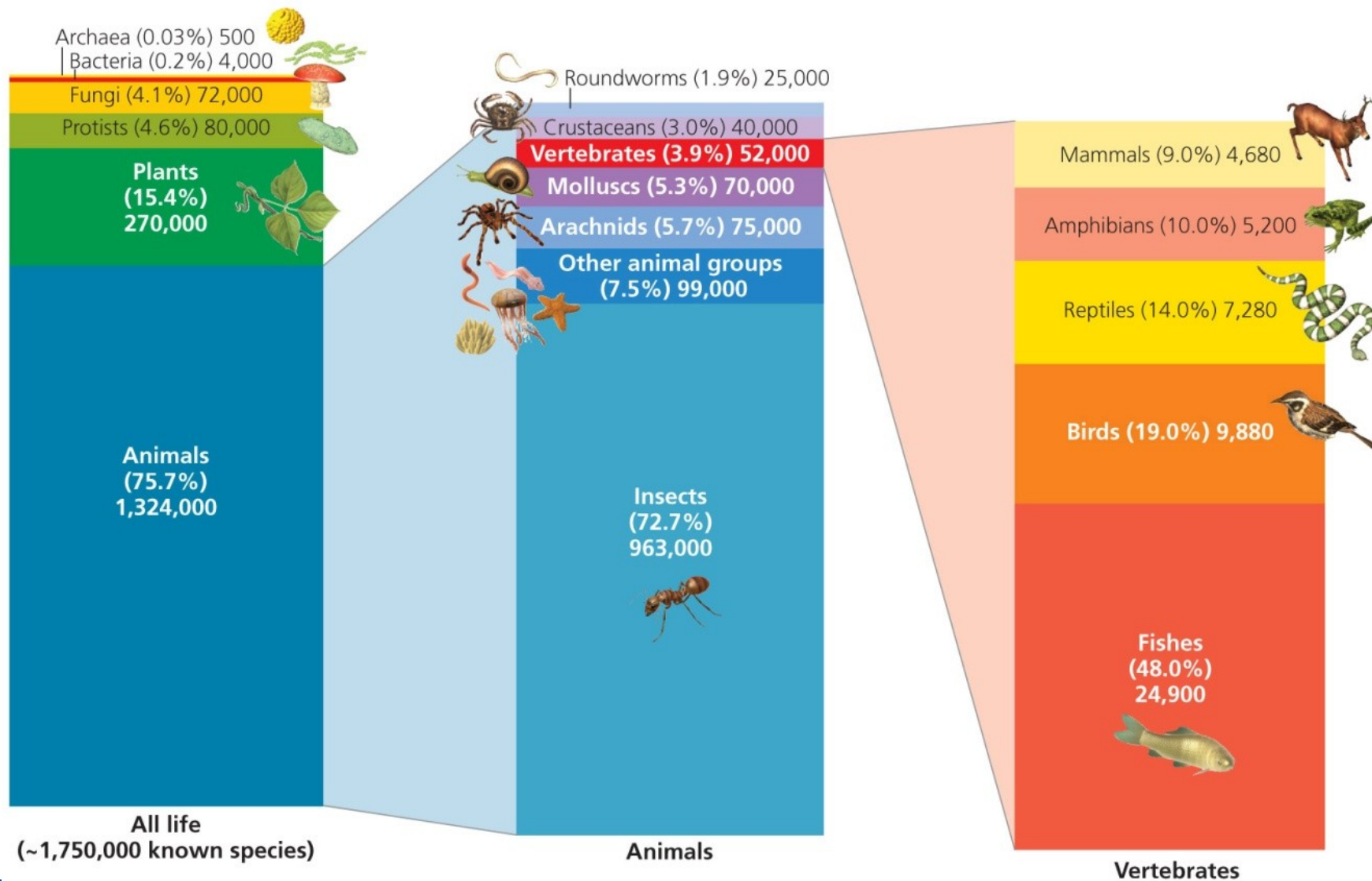


Symbolic value:
Model for cultural icons such as Bambi

Naturalistic value:
Mating behavior is an interesting example of sexual selection

Aesthetic value:
Example of nature's beauty

Utilitarian value:
Good source of food



Σε
επίπεδο
ειδών:
αφθονία

Ποικιλότητα οργανισμών

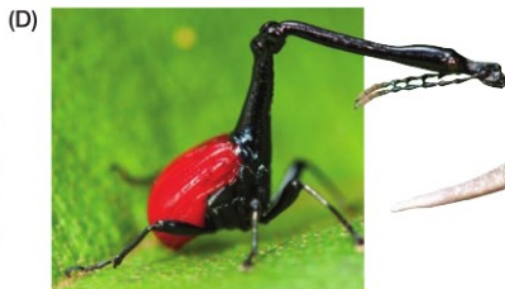
- Η ποικιλότητα σε επίπεδο ειδών είναι πολύ διαφορετική σε κάθε κατηγορία
 - 220 είδη πεύκων, αλλά 18.000 είδη ορχιδέες
 - 500 είδη εμβιόπττερων, αλλά 350.000 είδη σκαθαριών
 - 1 είδος μυρμηγκοφάγου, αλλά 2280 είδη τρωκτικών
- Πολλά ερωτήματα σχετικά με τον ρυθμό τη ειδογένεσης, της ιστορίας διαφορετικών ομάδων οργανισμών, των συνθηκών του περιβάλλοντος και αν αυτές σχετίζονται με τη βιοποικιλότητα
- Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν τη βιοποικιλότητα σε εξελικτικό χρόνο;

Αντιθέσεις στην αφθονία των ειδών.

(Α) Το μόνο είδος Ginkgoaceae (*Ginkgo biloba*) και (Β) ένα από τα περισσότερα από 18.000 είδη Orchidaceae (*Ophrys apifera*).

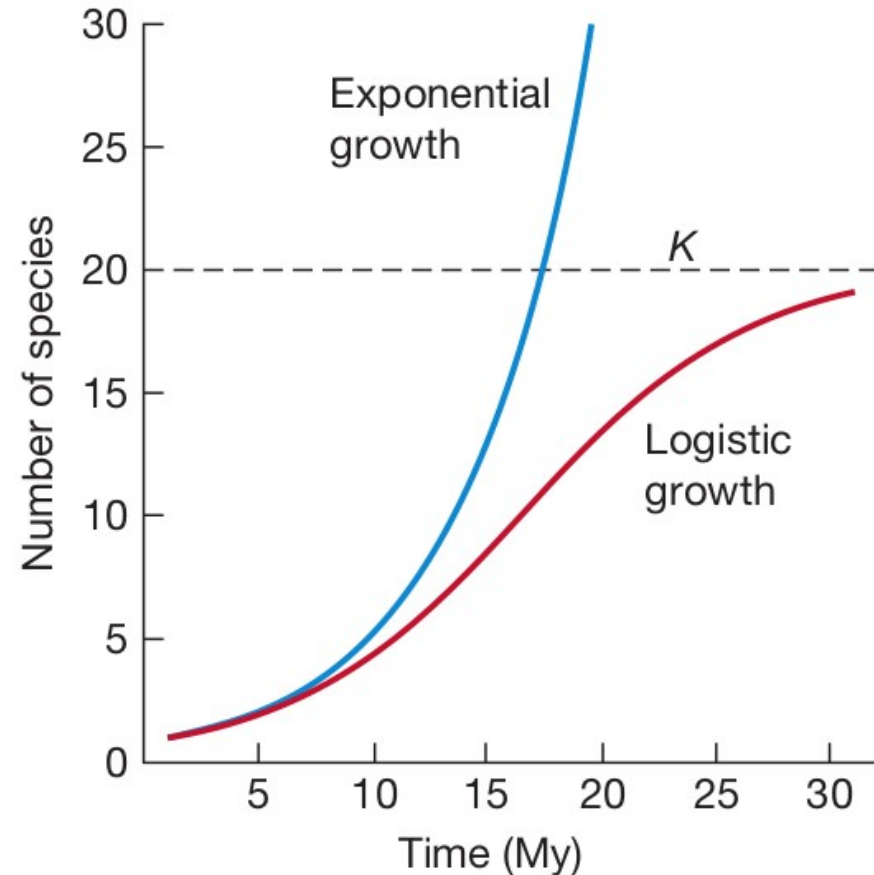
(Γ) Οι webspinners, τάξη Εμβιόπτερα, έχουν πολύ χαμηλότερη ποικιλότητα από (Δ) τα σκαθάρια, τάξη Κολεόπτερα (εδώ *Trachelophorus giraffa*).

(Ε) Η τάξη Tubulidentata έχει ένα μόνο ζωντανό μέλος, το αφρικανικό armadillo (*Orycteropus afer*). (ΣΤ) Η τάξη Rodentia περιλαμβάνει περισσότερα από 2280 είδη, ανάμεσά τους αυτό το μεγαλύτερο αιγυπτιακό jerboa, *Jaculus orientalis*.



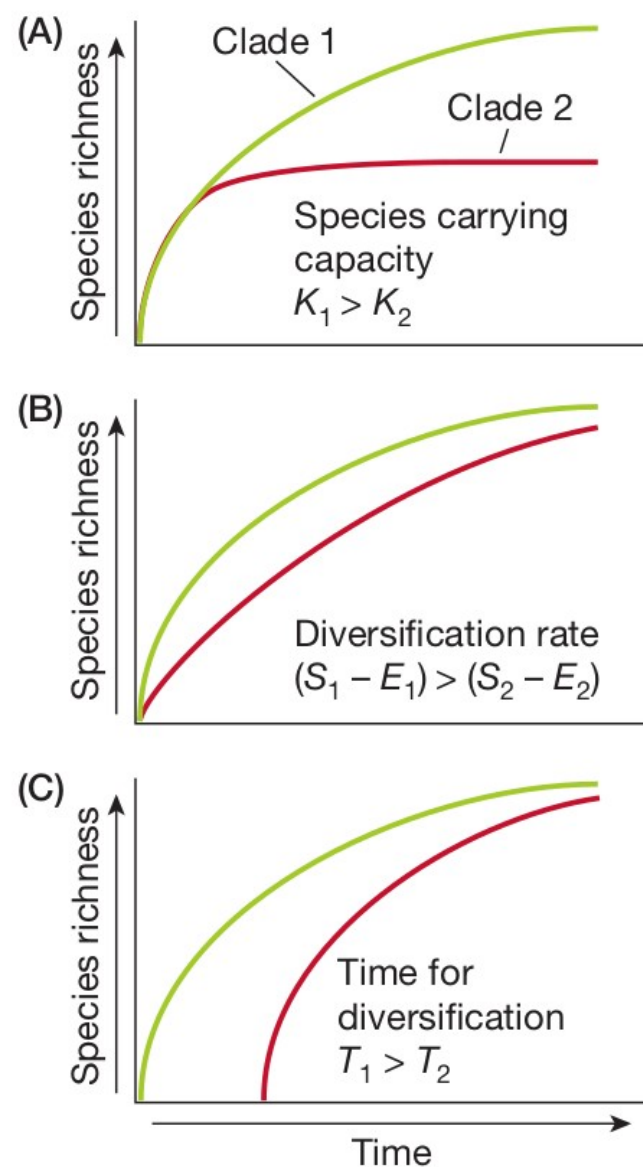
Μοντέλα αλλαγής στην αφθονία των ειδών

- Με έναν σταθερό ρυθμό ειδογένεσης (π.χ. $D=0,2/1\text{My}$), η αύξηση του αριθμού των ειδών γίνεται **εκθετικά** (exponential)
- Με τον ρυθμό D να μειώνεται όσο αυξάνει ο αριθμός των ειδών, η αύξηση αυτή λέγεται **λογιστική** (logistic) και σταματά σε κάποιο ανώτατο όριο K

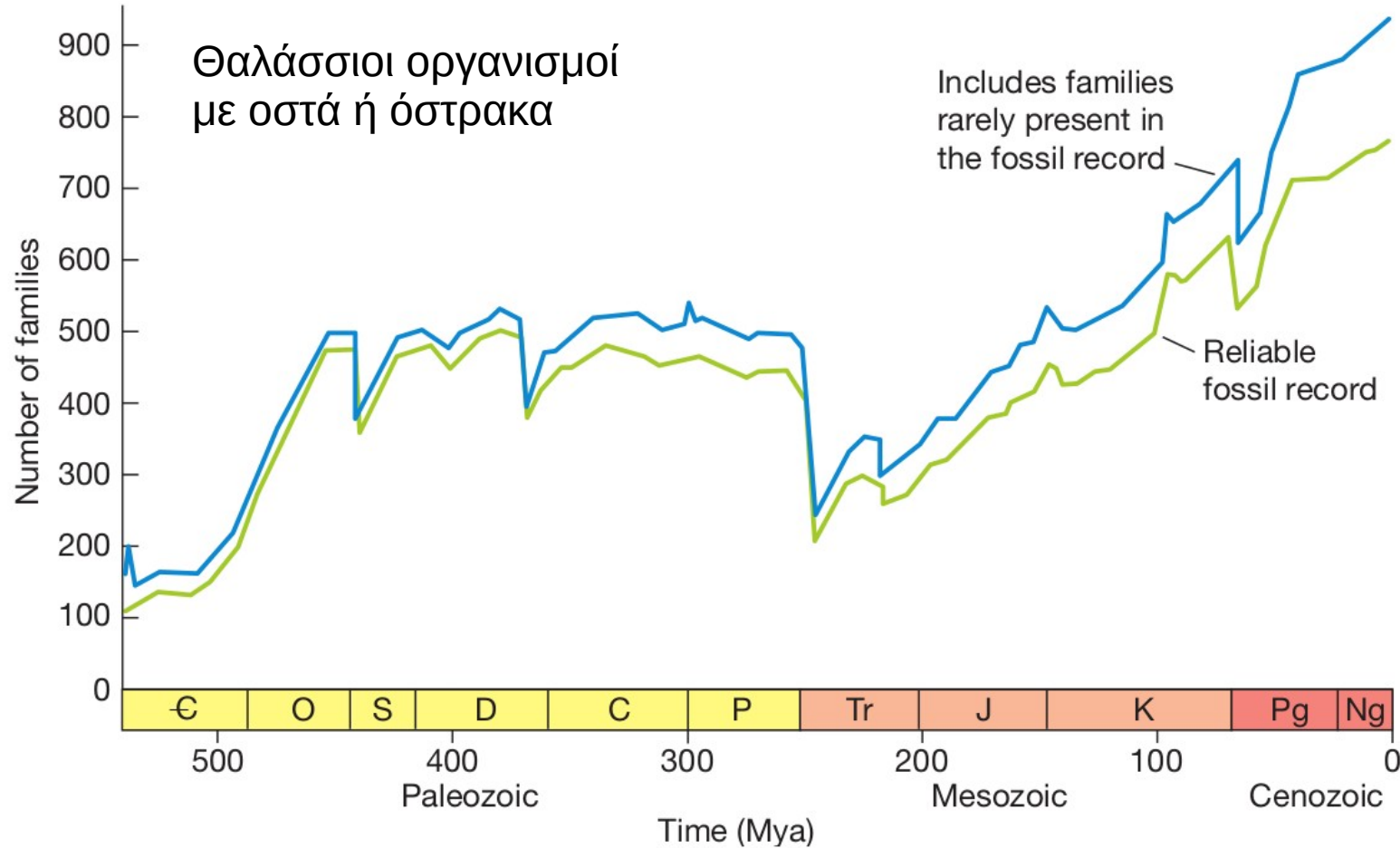


Δύο περιοχές μπορεί να έχουν διαφορετική αφθονία ειδών...

- Επειδή έχουν διαφορετική φέρουσα ικανότητα K όσο αφορά τον αριθμό των ειδών που μπορεί να ζήσουν εκεί
- Έχουν διαφορές στον ρυθμό της διαφοροποίησης (ρυθμός ειδογένεσης S – ρυθμός εξαφάνισης E)
- Έχουν διαφορές στον χρόνο που υπήρχε διαθέσιμος για τη διαφοροποίηση αυτή



Θαλάσσιοι οργανισμοί με οστά ή όστρακα

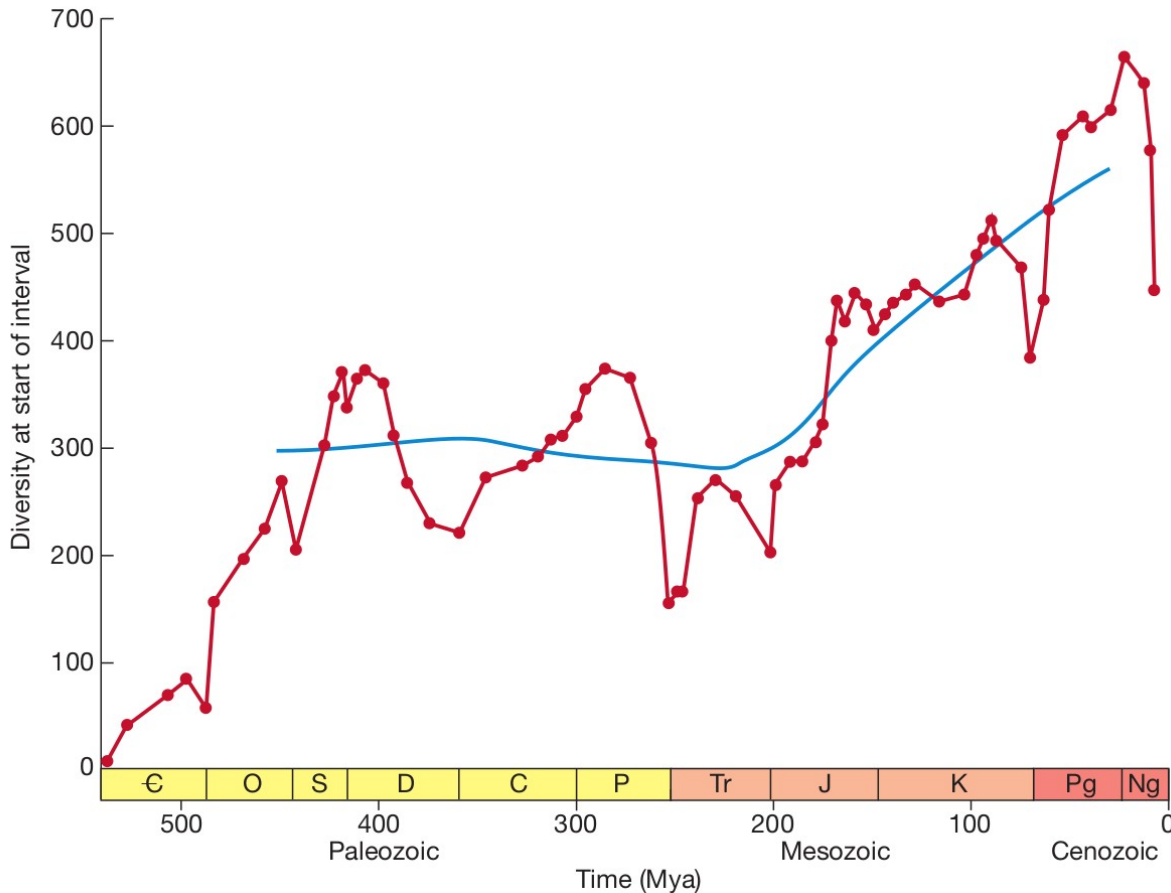


Ταξινομική ποικιλομορφία σκελετικών θαλάσσιων ζώων κατά τη διάρκεια του Φανεροζωικού. Η μπλε καμπύλη περιλαμβάνει οικογένειες που σπάνια διατηρούνται. Η πράσινη καμπύλη αντιπροσωπεύει μόνο οικογένειες που έχουν πιο αξιόπιστο αρχείο απολιθωμάτων. Υπάρχουν περίπου 1900 οικογένειες θαλάσσιων ζώων που ζουν σήμερα, μαζί και εκείνων που σπάνια ή ποτέ δεν διατηρούνται ως απολιθώματα.

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

Η βιοποικιλότητα (αριθμός οικογενειών στο γράφημα αυτό) φαίνεται να αυξάνει σημαντικά μετά τη μαζική εξαφάνιση του Περμίου. Επειδή όμως το αρχείο των απολιθωμάτων δεν είναι πλήρες, υπάρχει μια τάση να υπερεκτιμούμε τον αριθμό των πιο σύγχρονων taxa (**pull of the present**)

Θαλάσσιοι οργανισμοί με οστά ή όστρακα



Το ίδιο γράφημα με την προηγούμενη διαφάνεια, με στατιστική “διόρθωση” του pull of the present.

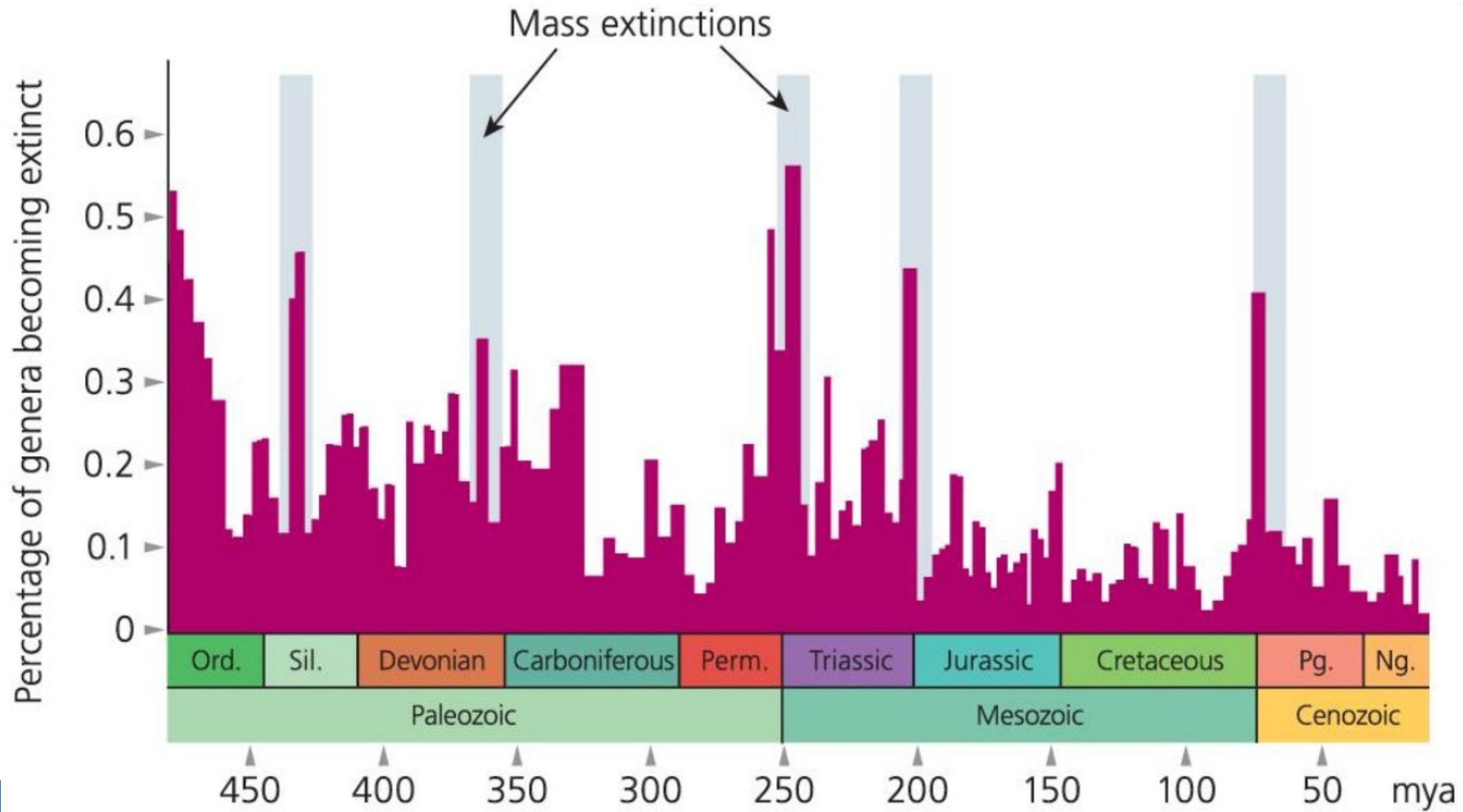
Η μπλε γραμμή δείχνει τη μέση τάση αλλαγής της βιοποικιλότητας των θαλάσσιων σκελετικών οργανισμών στα απολιθώματα. Υπάρχει σημαντική αυξητική αλλαγή στον Μεσοζωικό και Καινοζωικό αιώνα

Η απότομη πτώση κοντά στη σύγχρονη εποχή οφείλεται στην έλλειψη “σύγχρονων” απολιθωμάτων

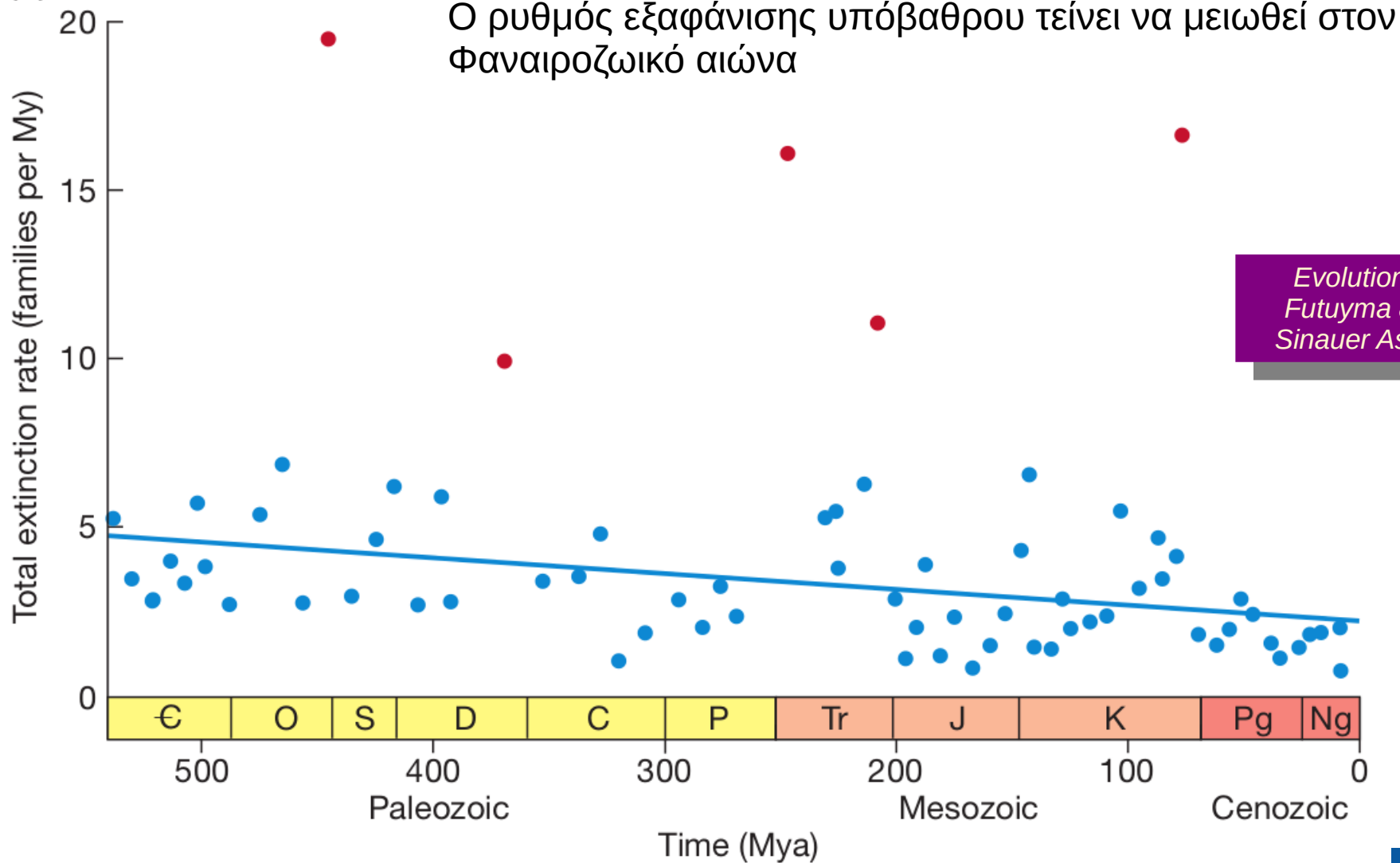
Εξαφάνιση

- Θεωρείται πως είναι ο τελικός προορισμός των ειδών, όπως είναι ο θάνατος για τους οργανισμούς
 - Το 99.9% όλων των ειδών που έχουν υπάρξει, είναι σήμερα εξαφανισμένα
- **Εξαφάνιση υπόβαθρου** (background extinction), σε χαμηλό ρυθμό
- **Μαζική εξαφάνιση** (mass extinction), όταν χάνονται 25-90% όλων των ειδών
 - Οι 5 μεγάλες μαζικές εξαφανίσεις, οδήγησαν σε κατάληψη των άδειων οικοθέσεων από νέες εξελικτικές γραμμές
- Απαιτούνται περίπου 10 εκατομμύρια χρόνια ή και παραπάνω για να αποκατασταθεί η βιοποικιλότητα μετά από μια μαζική καταστροφή
- Οι εξαφανίσεις οδηγούν σε νέες ευκαιρίες ειδογένεσης και προσαρμοστικής εξάπλωσης



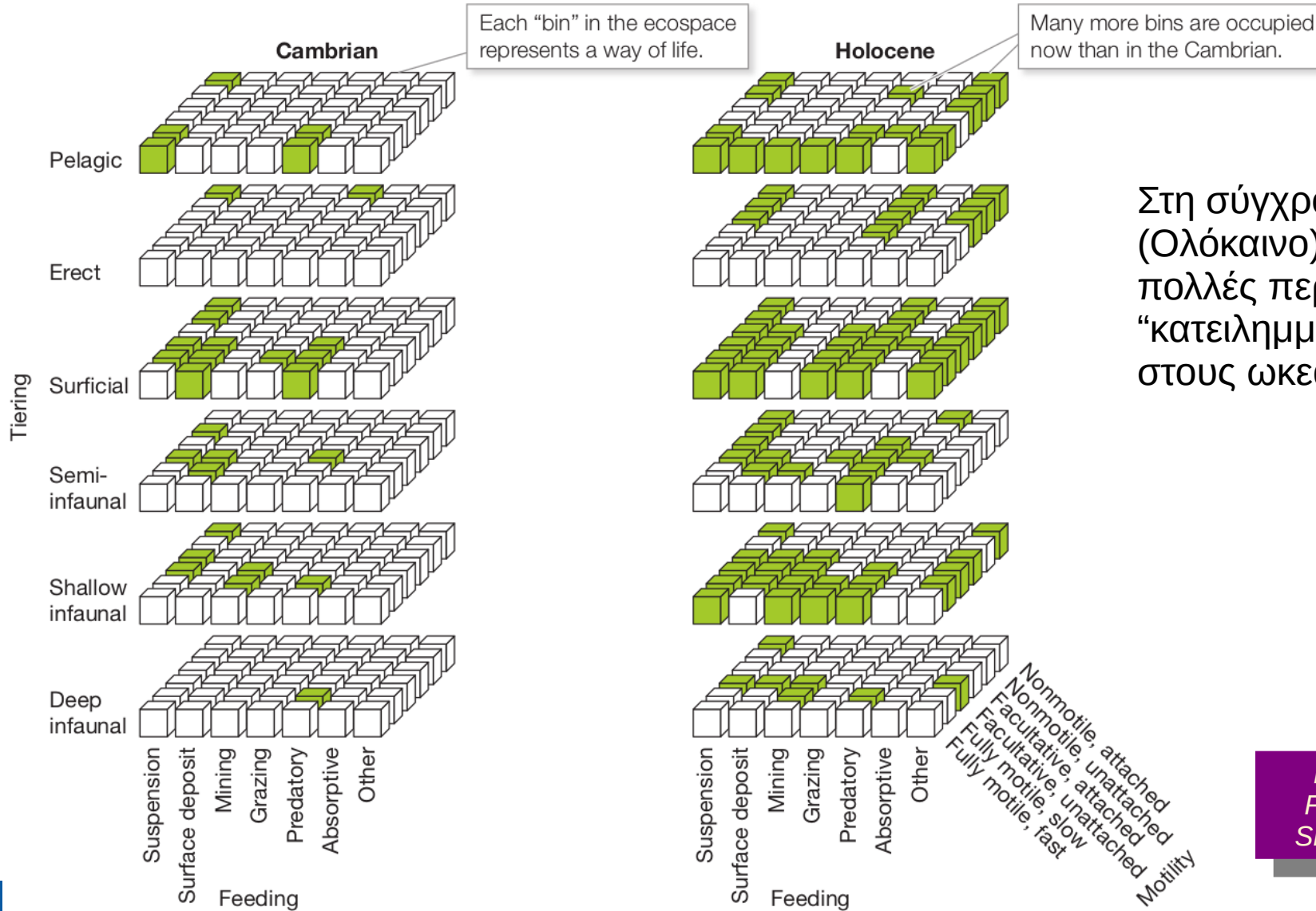


(A)

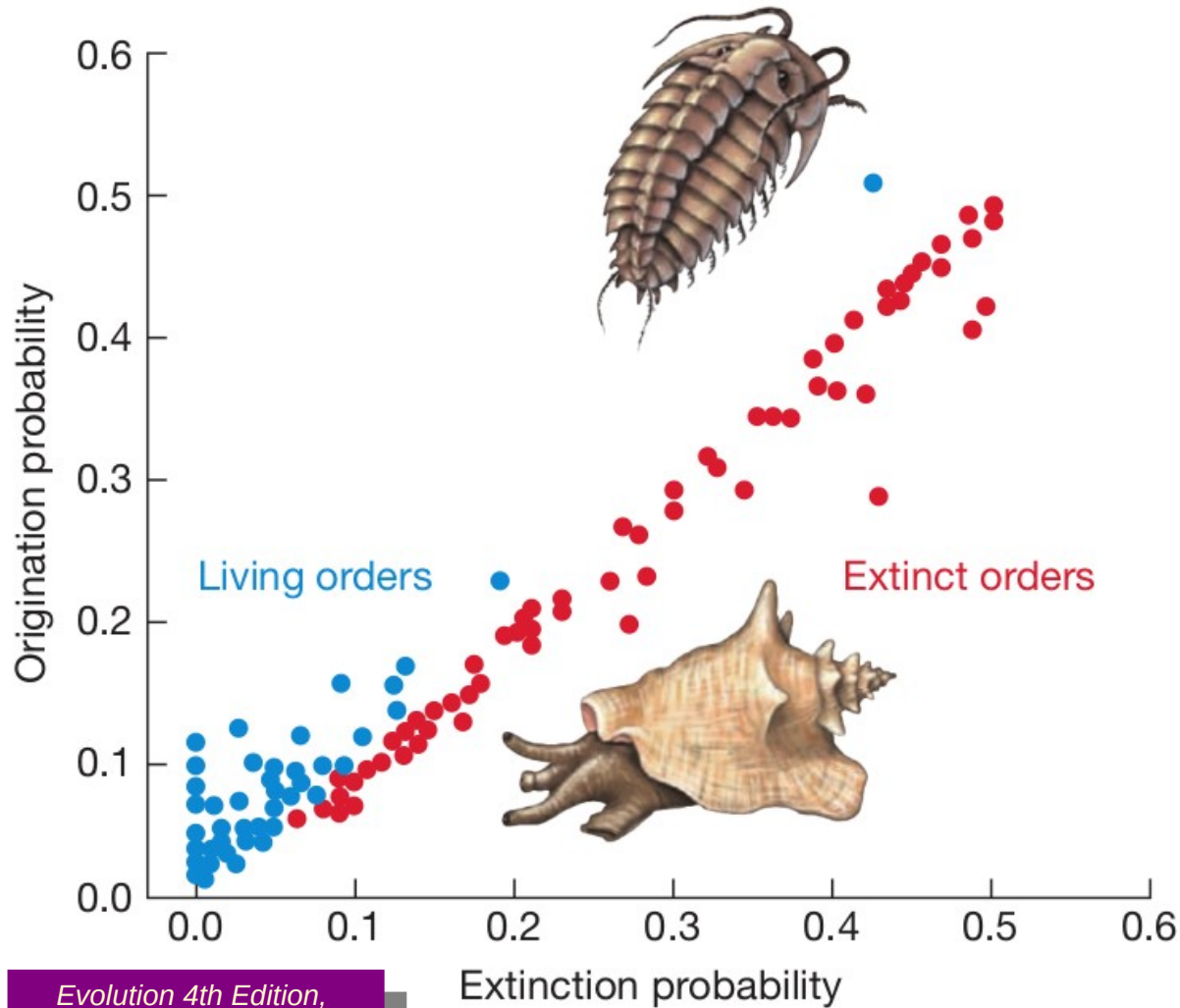


Αυξητική τάση της αφθονίας των ειδών

- Πέρα από το “pull of the present”, υπάρχει τάση αύξησης της βιοποικιλότητας στον Φαναιροζωικό αιώνα
 - Μια ερμηνεία είναι η υποχώρηση της εξαφάνισης υπόβαθρου
- Πιθανές ερμηνείες της υποχώρησης αυτής:
 - Τα είδη προσαρμόζονται καλύτερα (?)
 - Δεν υπάρχει “πρόβλεψη” για τις περιβαλλοντικές αλλαγές
 - Η ποικιλότητα των taxa μέσα στις οικογένειες έχει αυξηθεί
 - Για να εξαφανιστεί μια οικογένεια, πρέπει να εξαφανιστούν όλα τα είδη που αυτή περιλαμβάνει
 - Κάποιοι κλάδοι ζωντανών οργανισμών εξελίσσονται πιο γρήγορα και διαθέτουν νέα είδη
 - Οι άλλοι κλάδοι εξαφανίζονται



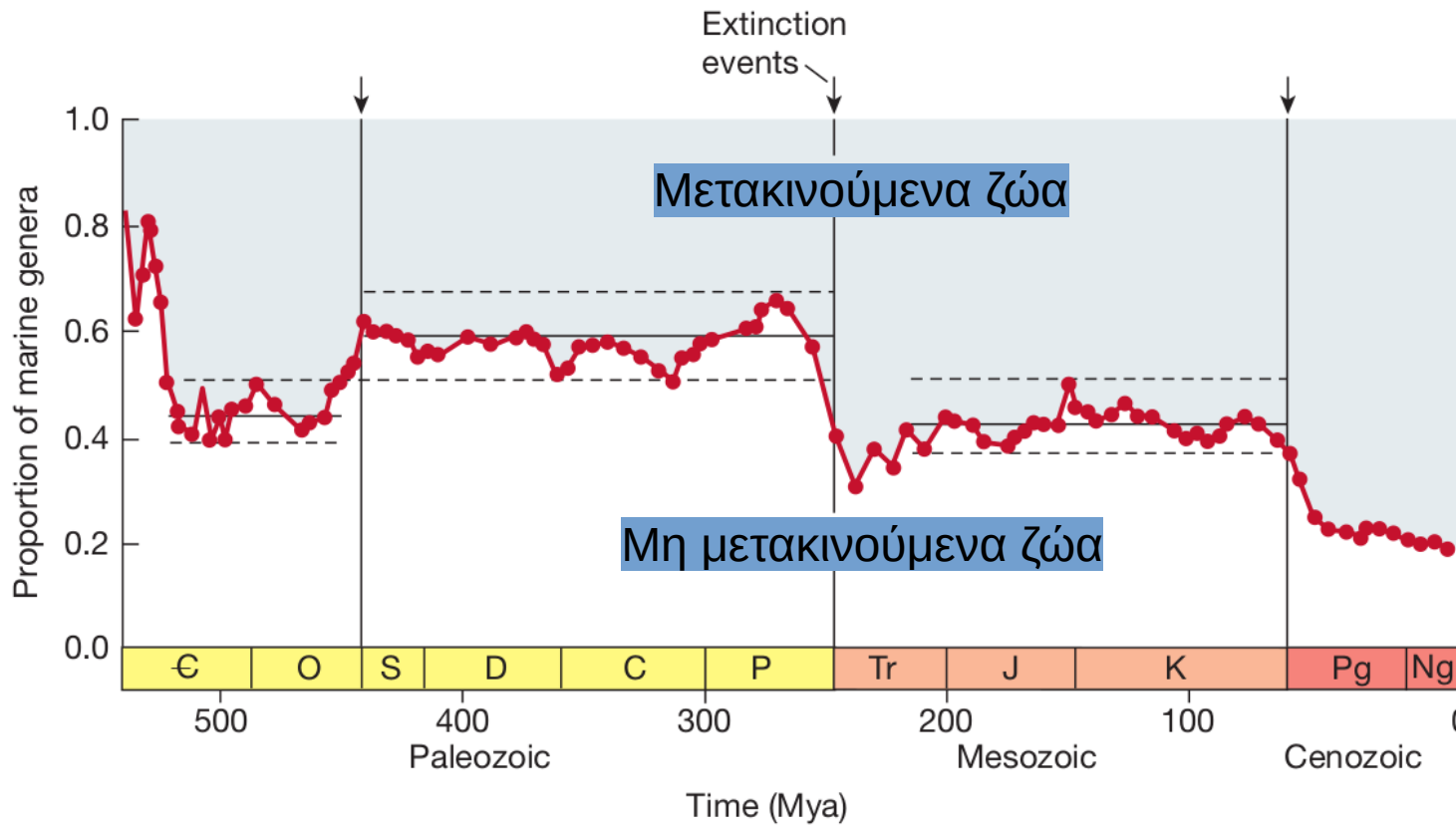
Στη σύγχρονη εποχή (Ολόκαινο) υπάρχουν πολλές περισσότερες "κατειλημμένες) οικοθέσεις στους ωκεανούς



Η πιθανότητα εμφάνισης νέων θαλάσσιων οργανισμών μέσα σε μια τάξη (order) σχετίζεται σημαντικά με την πιθανότητα εξαφάνισης των νέων αυτών οργανισμών.

Οι οργανισμοί με τη μέγιστη πιθανότητα θα είναι και πιο εξειδικευμένοι στο περιβάλλον τους, οπότε θα κινδυνεύουν περισσότερο από αλλαγές στο περιβάλλον αυτό.

Οργανισμοί που δεν είναι τόσο εξειδικευμένοι (generalists) αποικούν μεγάλες γεωγραφικές περιοχές και δεν κινδυνεύουν από απότομες τοπικές αλλαγές περιβάλλοντος, όμως δεν αφήνουν ελεύθερο χώρο για ειδογένεση.



Αλλαγές στις αναλογίες των γενών των κινητών έναντι των μη κινητικών θαλάσσιων ζώων κατά τη διάρκεια του Φανεροζωικού. Οι αναλογίες ήταν περίπου σταθερές (διακεκομμένες οριζόντιες γραμμές) μεταξύ μαζικών εξαφανίσεων, αλλά μετατοπίστηκαν γρήγορα σε μια νέα σταθερή κατάσταση μετά τα γεγονότα μαζικής εξαφάνισης. Παρόμοιες αλλαγές (δεν εμφανίζονται εδώ) συνέβησαν στις αναλογίες των αρπακτικών έναντι των μη αρπακτικών και των ζώων που πιστεύεται ότι είναι φυσιολογικά ρυθμισμένα έναντι μη ρυθμιστικών, με βάση ανατομικά κριτήρια.

Οι μαζικές εξαφανίσεις επηρέασαν αρνητικά κυρίως τα **μη-κινητικά** ζώα ανάμεσα στους θαλάσσιους οργανισμούς

Είδη που έχουν αλλάξει ελάχιστα από τότε που εμφανίστηκαν

modern coelacanth
(*Latimeria chalumnae*)



© 2009 Encyclopædia Britannica, Inc.



Το ψάρι *Latimeria* ήταν γνωστό μόνο από απολιθώματα και ζούσε πριν από 250 εκ. χρόνια

Το 1938 ανακαλύφτηκε σαν ζωντανό είδος

Είδη που έχουν αλλάξει
ελάχιστα από τότε που
εμφανίστηκαν



Το πεταλοειδές καβούρι υπάρχει εδώ και 450εκ. χρόνια



Metasequoia glyptostroboides
(Κίνα) →



Απολίθωμα βραχυκλαδίου
Metasequoia occidentalis, 49 εκ. ετών

Είδη που έχουν αλλάξει
ελάχιστα από τότε που
εμφανίστηκαν



Το Ginkgo biloba είχε μεγάλη
εξάπλωση στο βόρειο
ημισφαίριο,
πριν από 200 εκ. χρόνια



Σημερινή φυσική
εξάπλωση
στην Ανατολική Κίνα

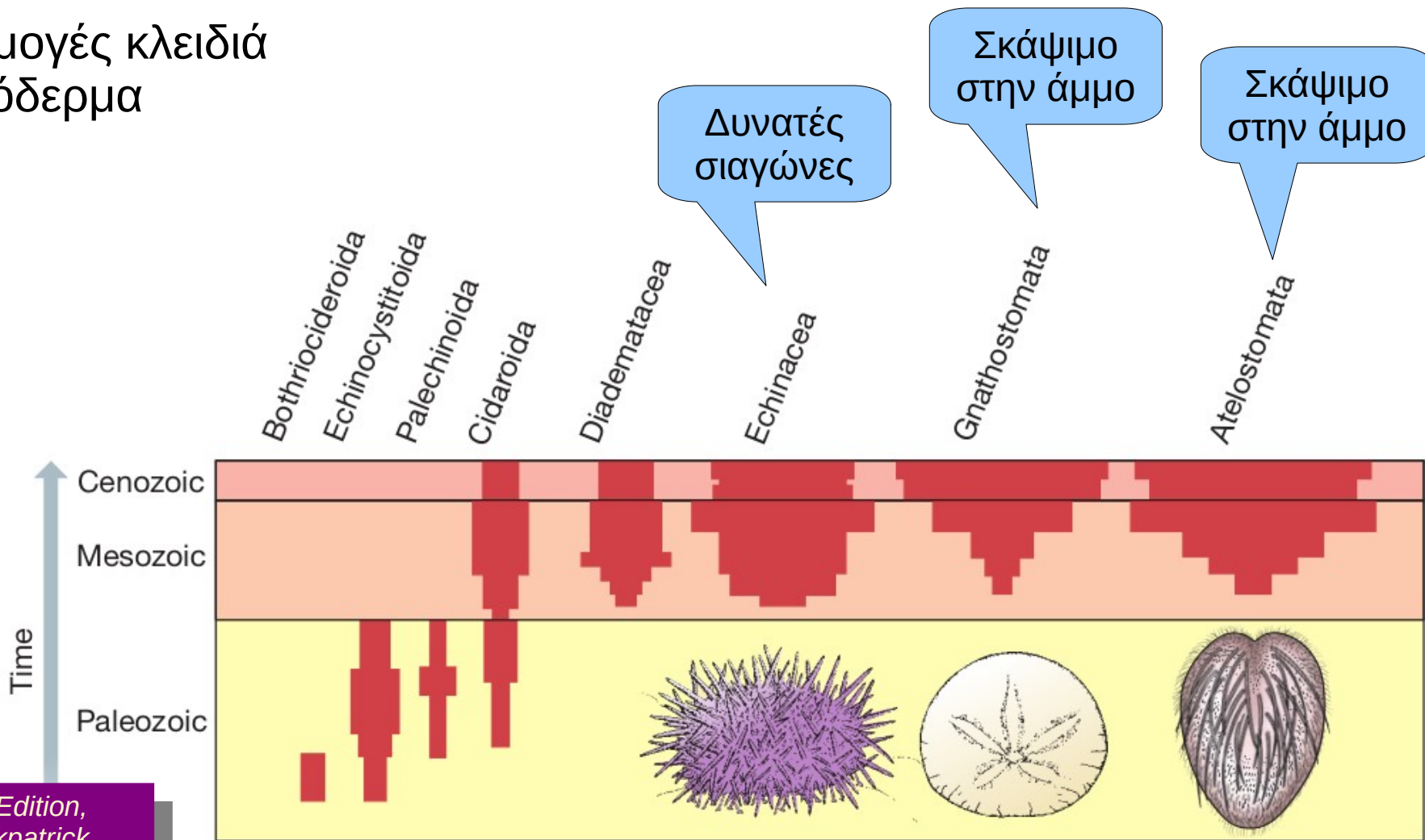




Διαθέσιμες (άδειες) οικοθέσεις

Προσαρμοστική ακτινοβολία μελιτοφόρων της Χαβάης (οικογένεια Fringillidae). Τα είδη ποικίλλουν πολύ στη διατροφή τους, κάτι που αντικατοπτρίζεται στα σχήματα των γραμμών τους. Μερικά τρέφονται με έντομα (κοντό, λεπτό ράμφος), άλλα με σπόρους και φρούτα (χοντρό ράμφος) και άλλα με νέκταρ (λεπτό, κυρτό ράμφος). Αυτή η ομάδα προέρχεται από έναν Ασιάτη πρόγονο που σχετίζεται με τον κοινό τριανταφυλλιά (*Carpodacus erythrinus*), το πουλί στο κέντρο. Οι μελιτοφόροι της Χαβάης διαφοροποιήθηκαν καθώς σχηματίστηκαν διαδοχικά τα διάφορα νησιά του αρχιπελάγους.

Προσαρμογές κλειδιά στα εχινόδερμα



Προσαρμογές κλειδιά

Cucujoid beetles



< 10,000 species

Weevils, leaf beetles,
and kin



130,000 species

Moths and butterflies



140,000 species

Caddisflies



7000 species

σαρκοφάγα

φυτοφάγα

φυτοφάγα

σαρκοφάγα

Τα φυτοφάγα έντομα διαφοροποιούνται πιο πολύ γιατί έχουν πολλά διαφορετικά φυτά σαν πηγή τροφής και μπορούν να εξειδικευτούν καλύτερα

Προσαρμογές κλειδιά

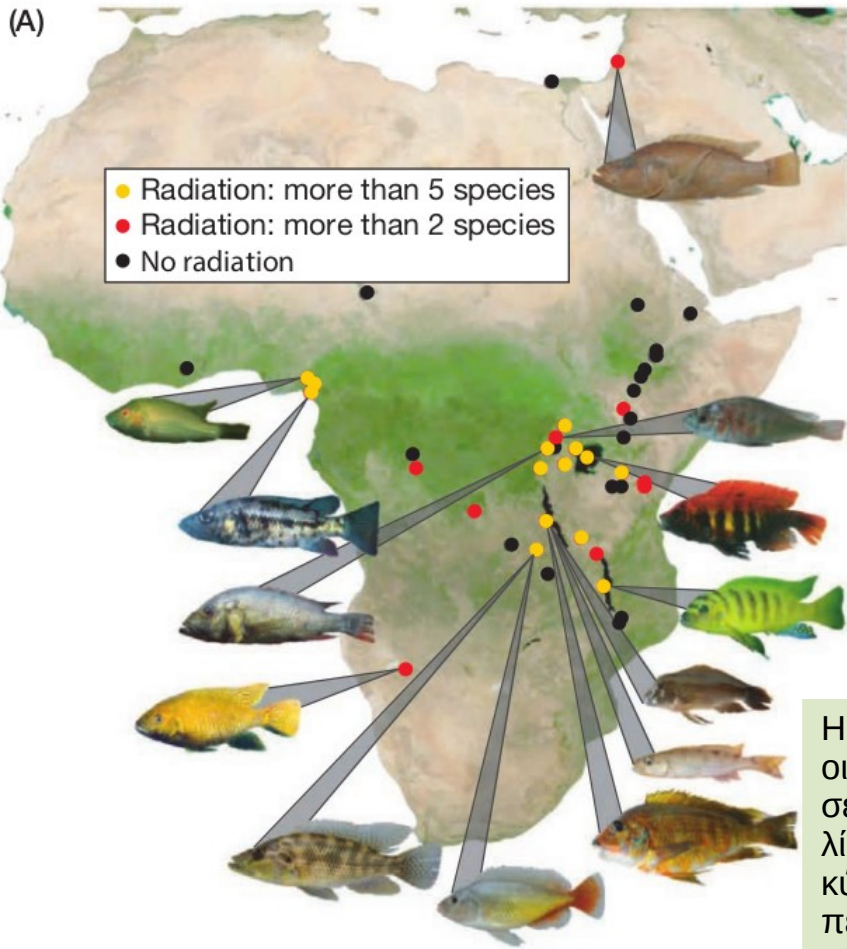
(A)



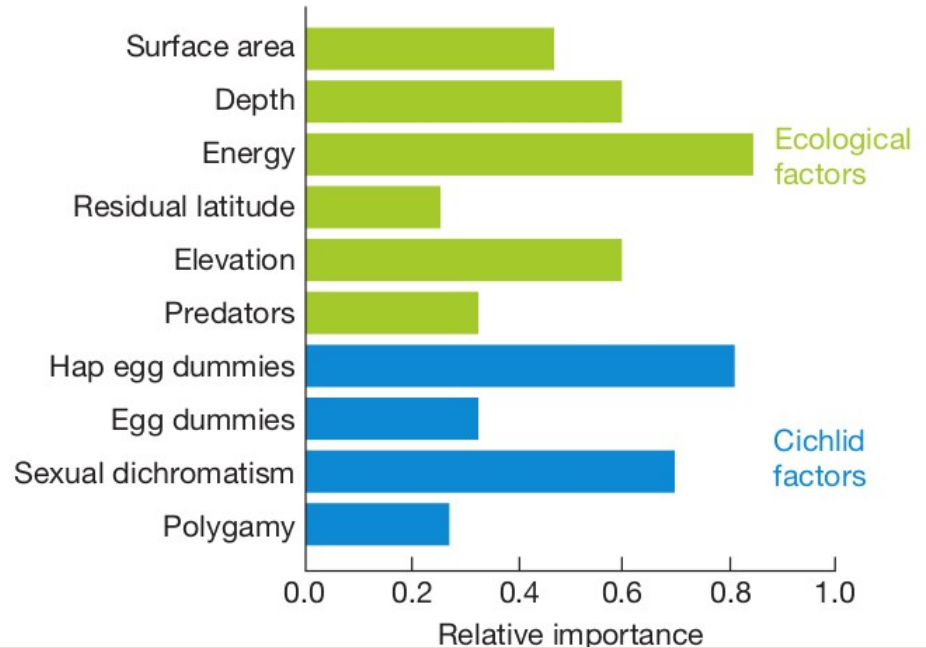
(B)



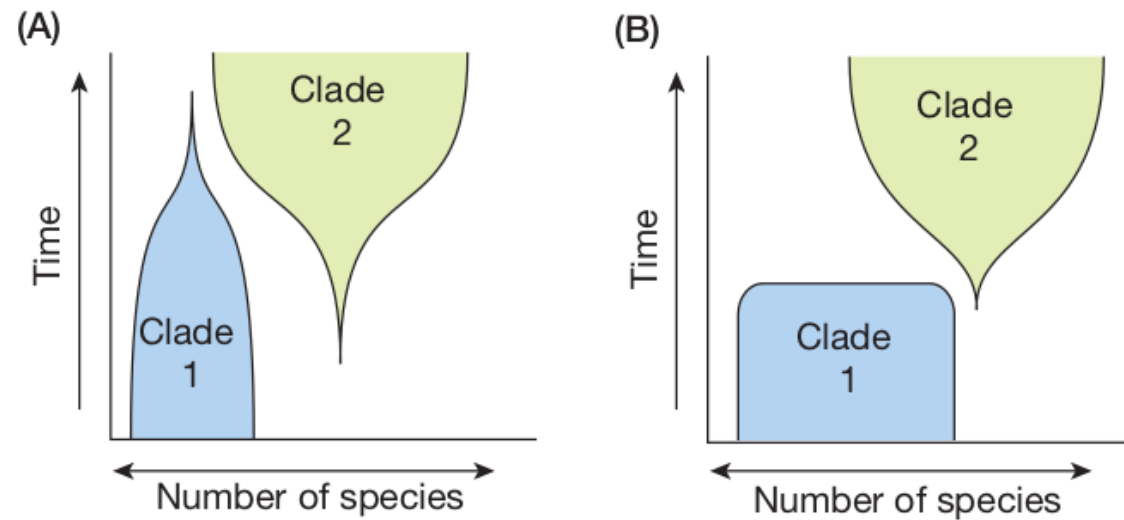
Δύο είδη φυτικής άμυνας ενάντια στα φυτοφάγα έντομα που έχουν αυξήσει τον πλούτο των ειδών. (A) Αδένες που παράγουν νέκταρ στους μίσχους των φύλλων σε ορισμένα όσπρια (εδώ η ακακία) προσελκύουν “σωματοφύλακες” όπως τα μυρμήγκια. (B) Είδη *Asclepias* είναι μεταξύ των πολλών ομάδων φυτών που παράγουν λάτεξ, ένα κολλώδες υγρό που αποτρέπει πολλά φυτοφάγα ζώα (αλλά όχι αυτό το σκαθάρι των φύλλων, *Labidomera clivicollis*).



(B) Radiations of at least five species



Η διαφοροποίηση των αφρικανικών ψαριών κιχλίδων αποδίδεται τόσο σε οικολογικές ευκαιρίες όσο και σε ειδογένεση που σχετίζεται με σεξουαλικά επιλεγμένα χαρακτηριστικά. (A) Οι κόκκινοι κύκλοι δείχνουν λίμνες όπου υπήρξε τουλάχιστον ένα γεγονός ειδογένεσης. Οι κίτρινοι κύκλοι είναι λίμνες όπου τουλάχιστον μία γενεαλογία έχει πέντε ή περισσότερα είδη. (B) Παράγοντες που ήταν σημαντικοί για την ενίσχυση της ειδογένεσης μέσα στις λίμνες. Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που συσχετίζονται με την ειδογένεση είναι το βάθος της λίμνης, η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει, η διαφορά χρώματος του φύλου και τα ψεύτικα αυγά. Πρόκειται για χρωματιστές κηλίδες στα πτερύγια των αρσενικών που προσελκύουν τα θηλυκά.



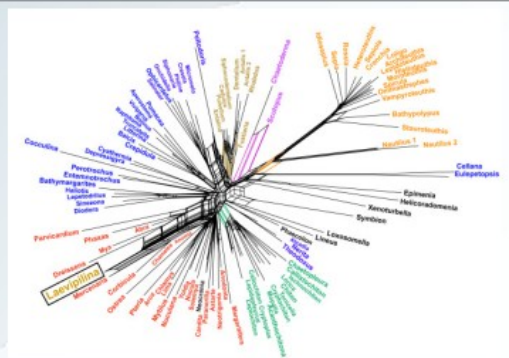
(A) Ανταγωνιστική αντικατάσταση (competitive displacement): η αύξηση της αφθονίας ενός κλάδου περιορίζει την αφθονία του άλλου.

(B) Ευκαιριακή αντικατάσταση (incubent replacement): η εξαφάνιση ενός κλάδου αφήνει κενό που καλύπτει άλλος κλάδος, που αυξάνει σε αφθονία ειδών

Η βιοποικιλότητα τη σύγχρονη εποχή

**Η βιολογία της προστασίας είναι μια επιστήμη
κρίσης**

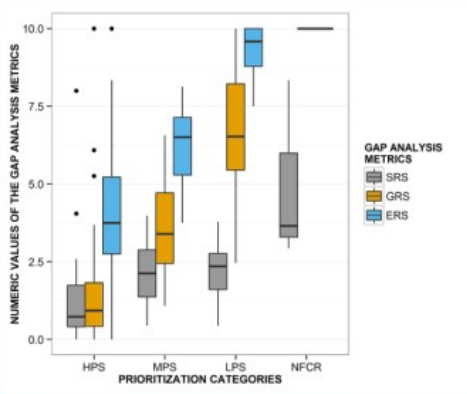
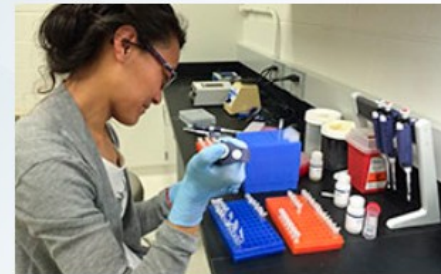
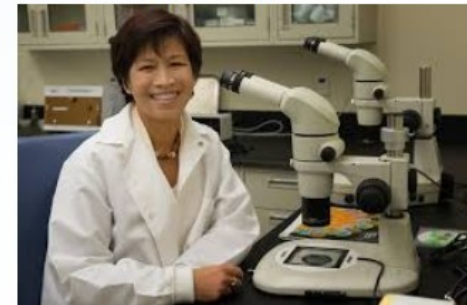
Βιολογία της προστασίας



Υπολογιστικά εργαλεία



Εργαστήριο



Πεδίο

Η απώλεια της βιοποικιλότητας

- Η ραγδαία απώλεια της βιοποικιλότητας οδηγεί σε καταστροφικές μετατοπίσεις των οικοσυστημάτων παγκοσμίως (Solé and Levin, 2022), όπως:
 - την αυξανόμενη πιθανότητα εμφάνισης επιδημιών (Frumkin and Haines, 2019),
 - την κατάρρευση των οικοσυστημικών λειτουργιών και υπηρεσιών (Cardinale et al., 2012, IPBES 2019) και
 - την υποβάθμιση των φυσικών πόρων και την πιθανή πλέον εμφάνιση μιας παγκόσμιας διατροφικής κρίσης (FAO 2019, Wezel et al., 2020).

Από τι κινδυνεύει η βιοποικιλότητα;

- Καταστροφή οικοτόπων / βιοτόπων
- Μόλυνση / ρύπανση
- Εισαγωγή ξενικών ειδών
- Παγκόσμια κλιματική αλλαγή
- Υπερεκμετάλλευση φυσικών πόρων

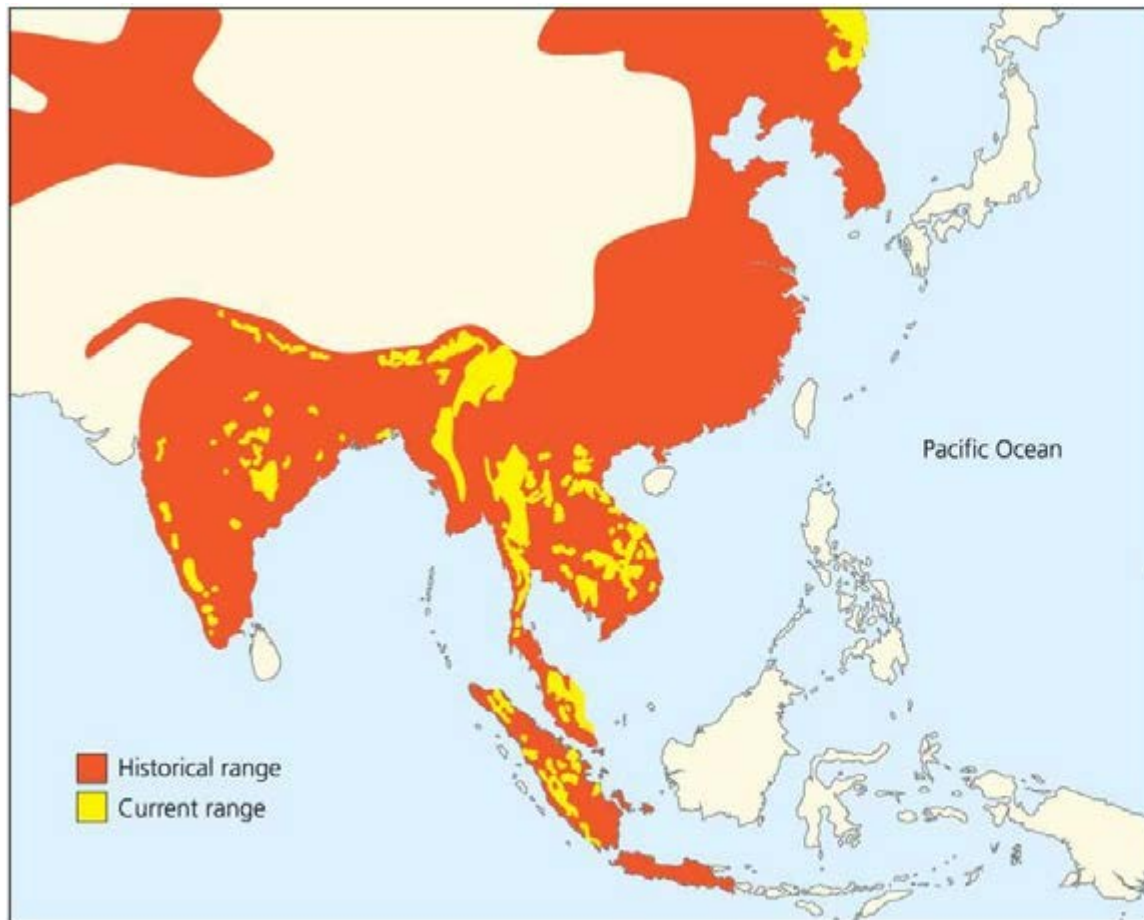
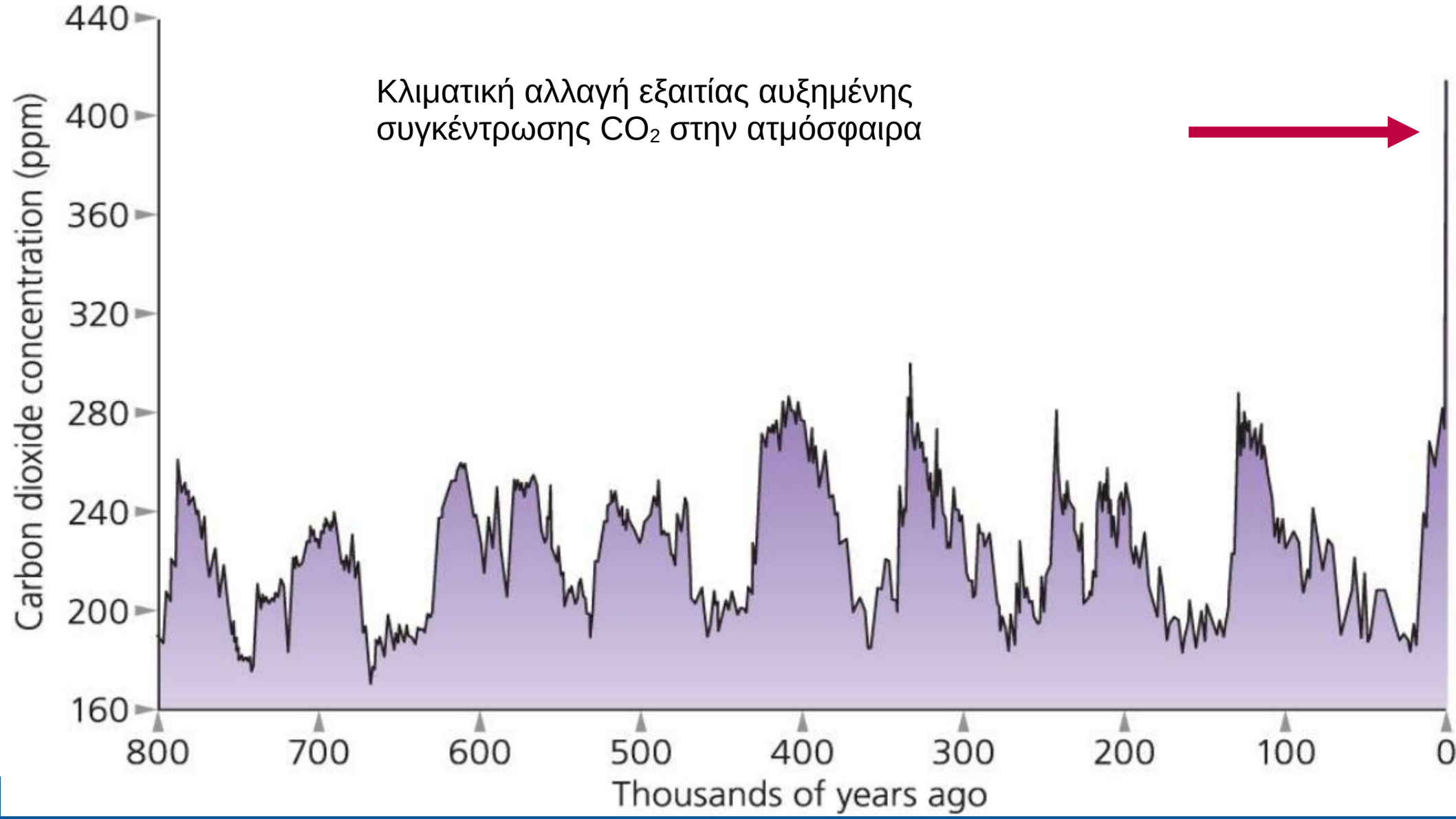
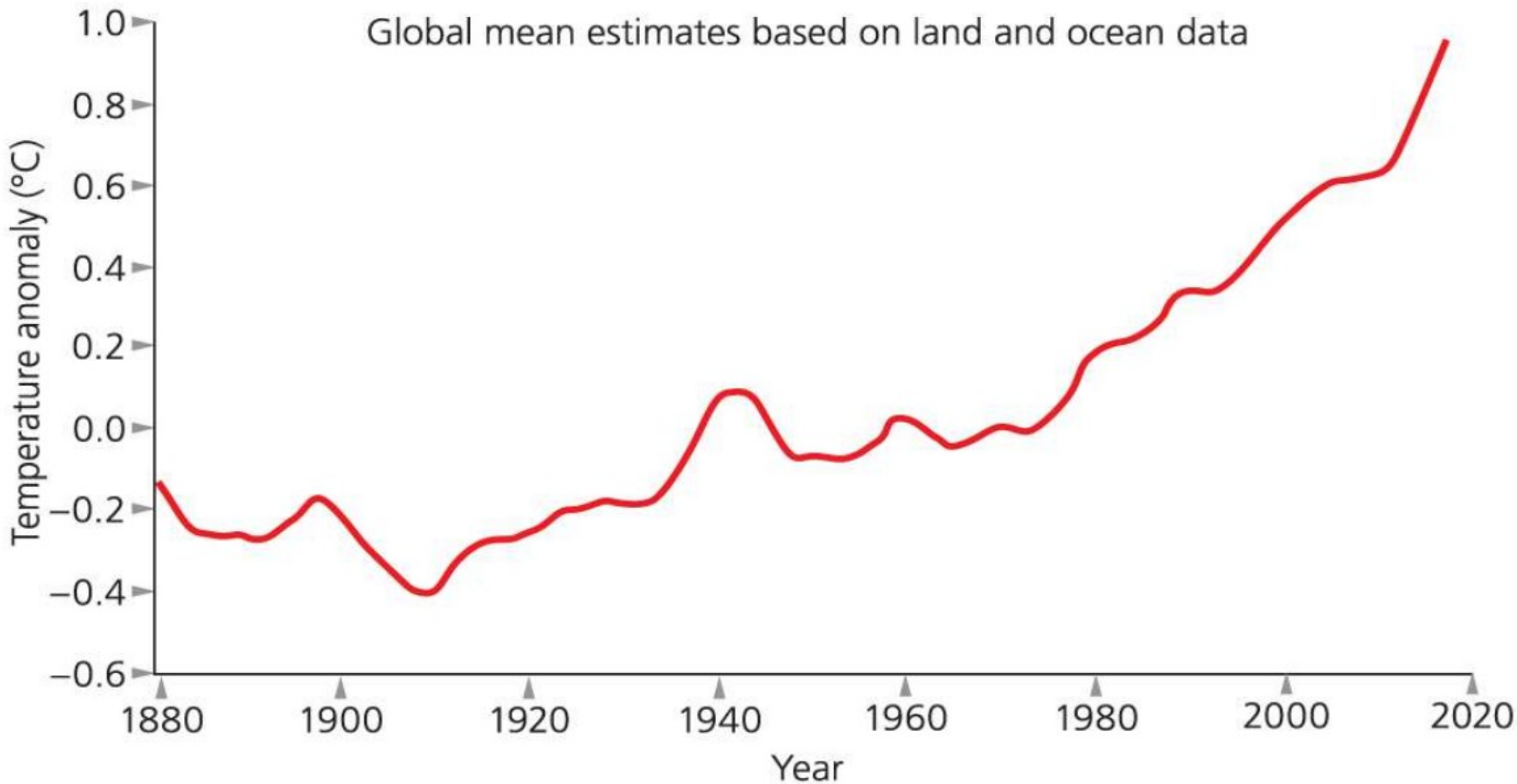


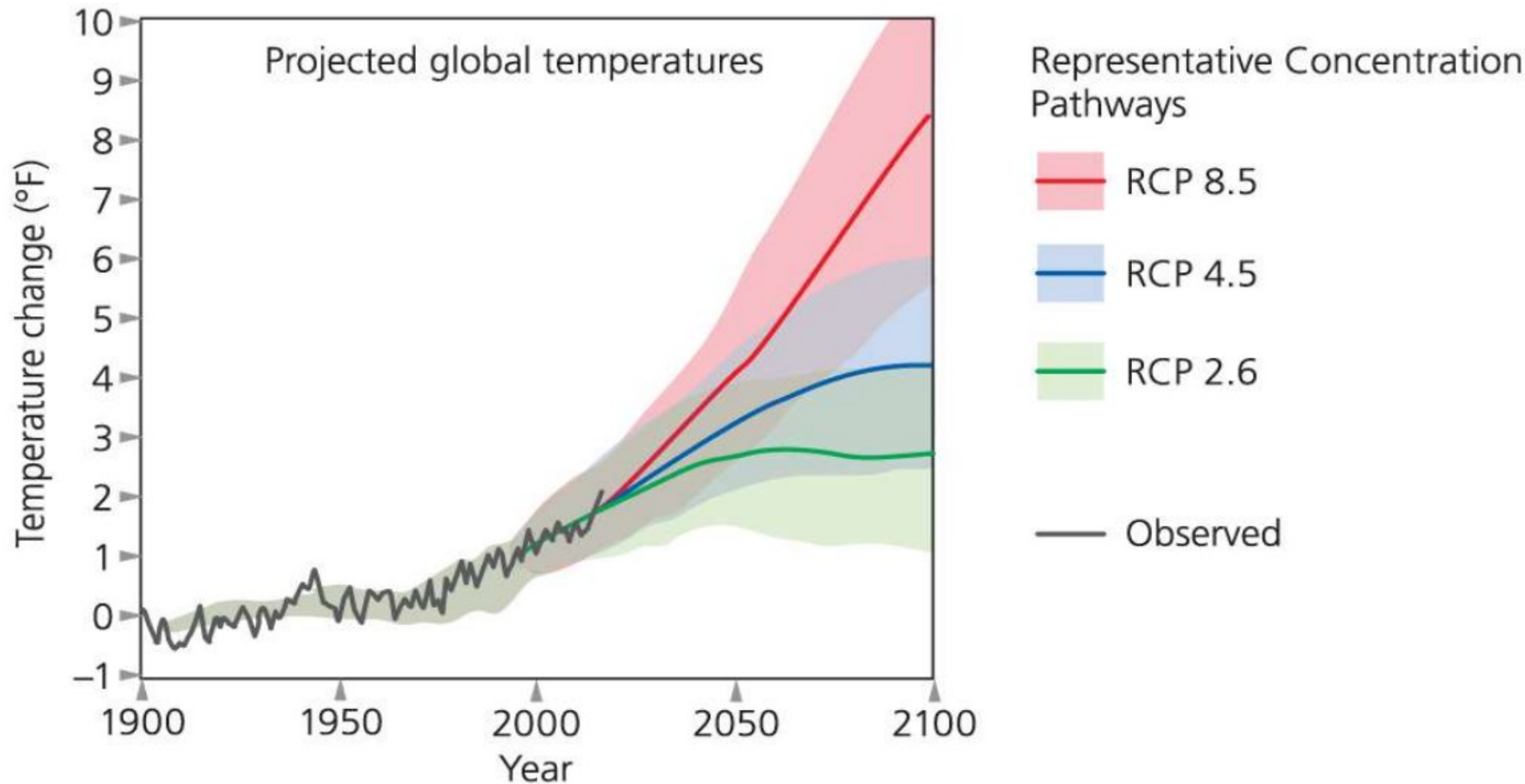
photo: Colette3 / Shutterstock

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



Global mean estimates based on land and ocean data



C



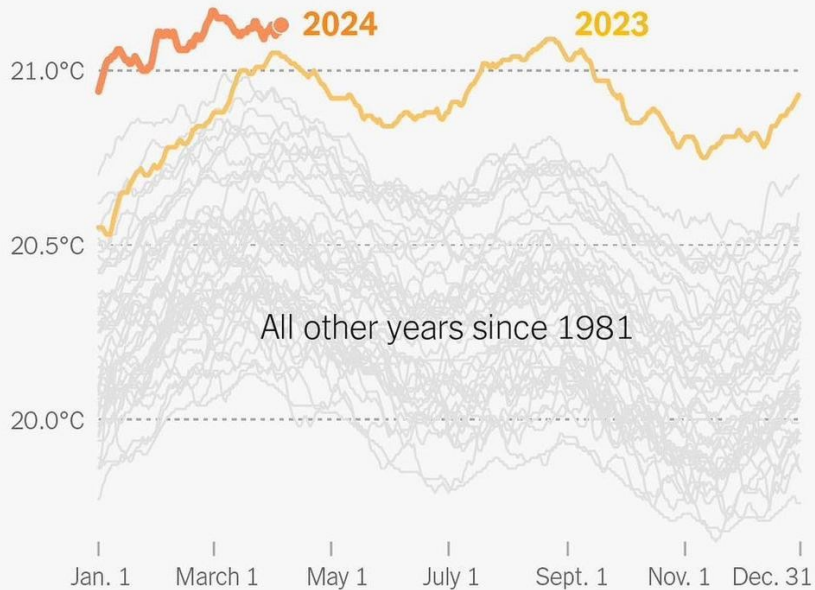
Μία από τις συνέπειες της αυξημένης συγκέντρωσης του ατμοσφαιρικού CO₂ είναι η μείωση του pH των ωκεανών.

Πιο ευάλωτα οικοσυστήματα στην μεταβολή αυτή είναι οι κοραλλιογενείς ύφαλοι, που φιλοξενούν το ¼ της θαλάσσιας βιοποικιλότητας

Ocean Heat Is Smashing Records. It's More Than Just Climate Change.

There have been record temperatures every day for more than a year. Scientists are investigating what's behind the extraordinary measurements.

Daily Global Sea Surface Temperatures



Που είμαστε σήμερα ως προς την
κλιματική αλλαγή;

Source: Climate Reanalyzer, Climate Change Institute at the University of Maine, based on data from NOAA Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OISST)





[Australian Institute of Marine Science/Veronique
Mocellin/via REUTERS/



© AIMS | Grace Frank | Mackay Reef | 24.02.2024

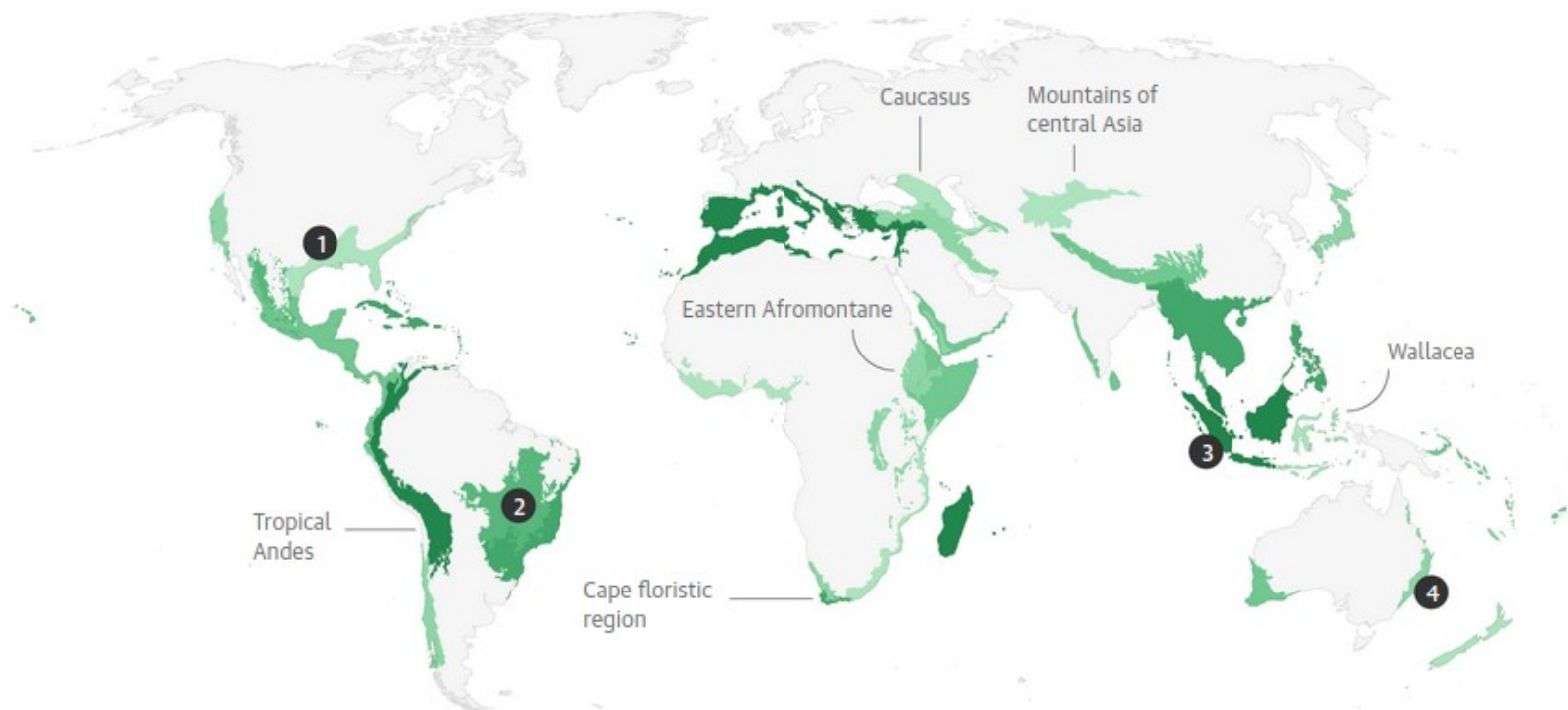
Η φωτογραφία ελήφθη στις 24 Φεβρουαρίου 2024, στον Μεγάλο Κοραλλιογενή Υφαλο, όπου είναι εμφανής ο αποχρωματισμός των κοραλλιών. Australian Institute of Marine Science/Grace Frank/ via REUTERS/

The 36 most biologically rich yet threatened regions

Each hotspot has more than 1,500 unique plant species and has lost 70% of its native vegetation

Plants endemic
to hotspot

1,500 15,000

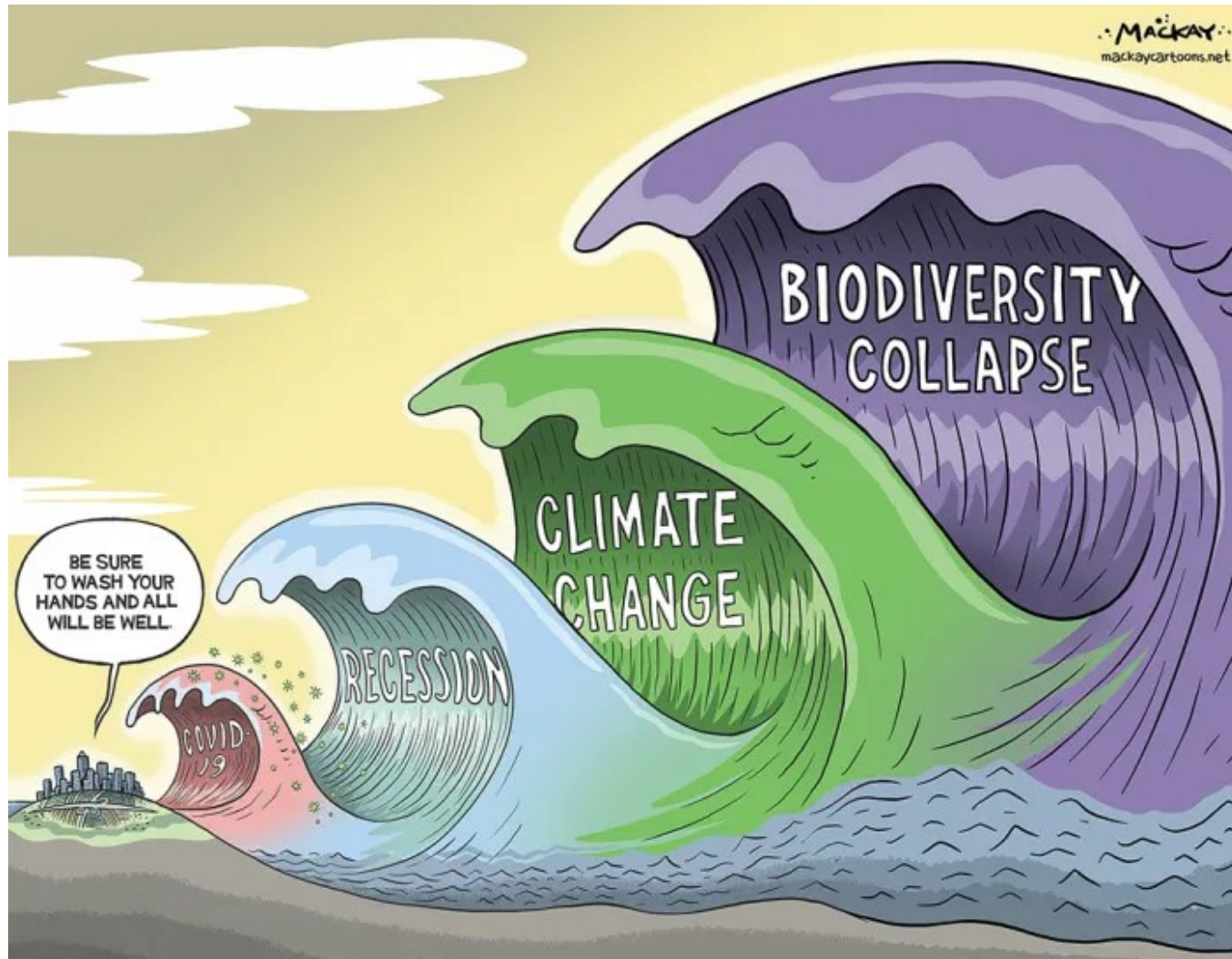


1. North American coastal plain
Home to 1,816 species of plant, 51 birds and 114 mammals found nowhere else

2. Cerrado
More than half of this savanna landscape has been converted to agriculture

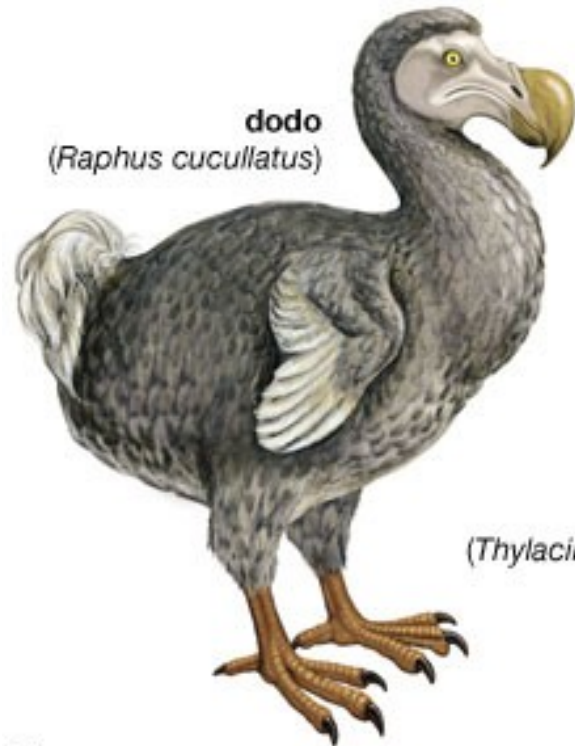
3. Sundaland
Biologically one of the world's richest areas and one of the most threatened

4. Forests of East Australia
Includes significant areas of rainforest that have existed for more than 100 million years



Διανύουμε μια
μαζική εξαφάνιση;

Πόσο ραγδαία είναι η απώλεια των taxa σήμερα;



dodo
(*Raphus cucullatus*)



mamo
(*Drepanis pacifica*)



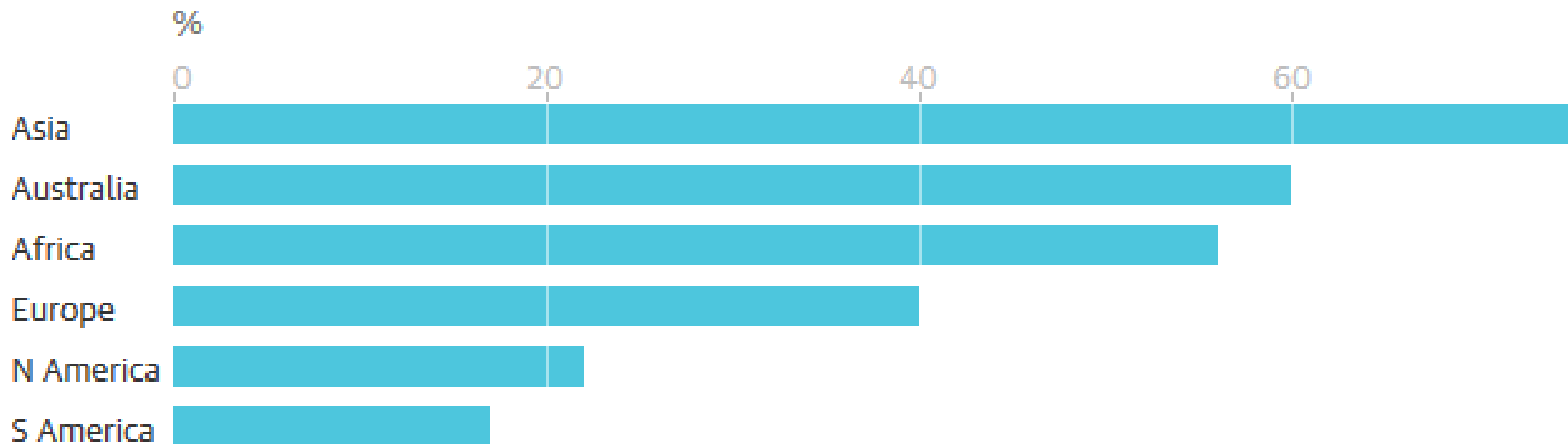
passenger pigeon
(*Ectopistes migratorius*)



Tasmanian wolf
(*Thylacinus cynocephalus*)

Nearly half of the 177 mammal species surveyed lost more than 80% of their distribution between 1900 and 2015

% of species which have lost more than 80% of their range

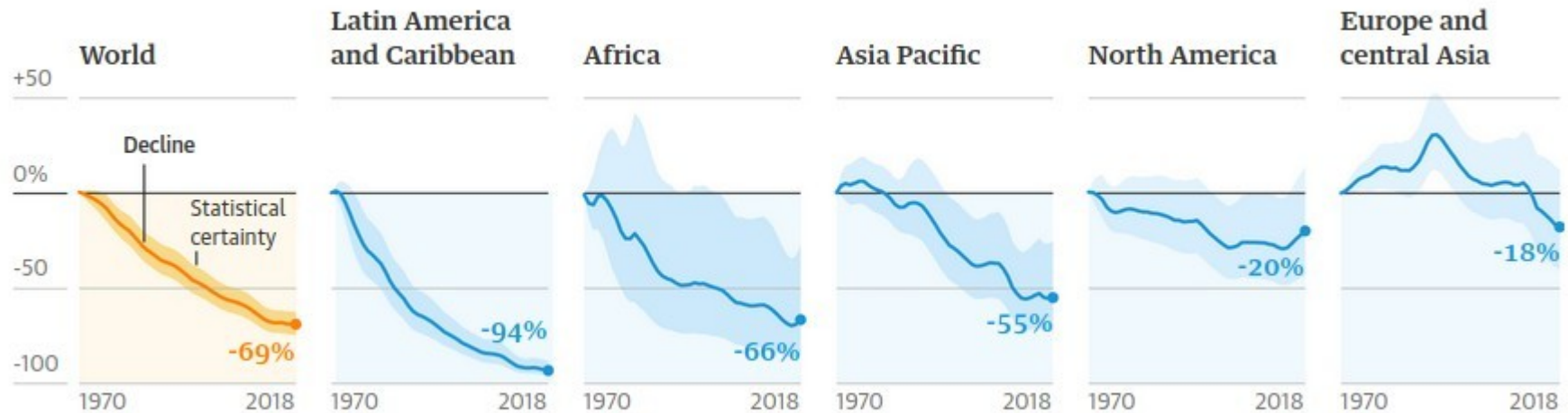


Guardian graphic | Source: PNAS

Ceballos et al. 2017

Billions of animals have been lost as their habitats have become smaller with each passing year.

The region of Latin America and the Caribbean has experienced the steepest decline in animal populations since 1970

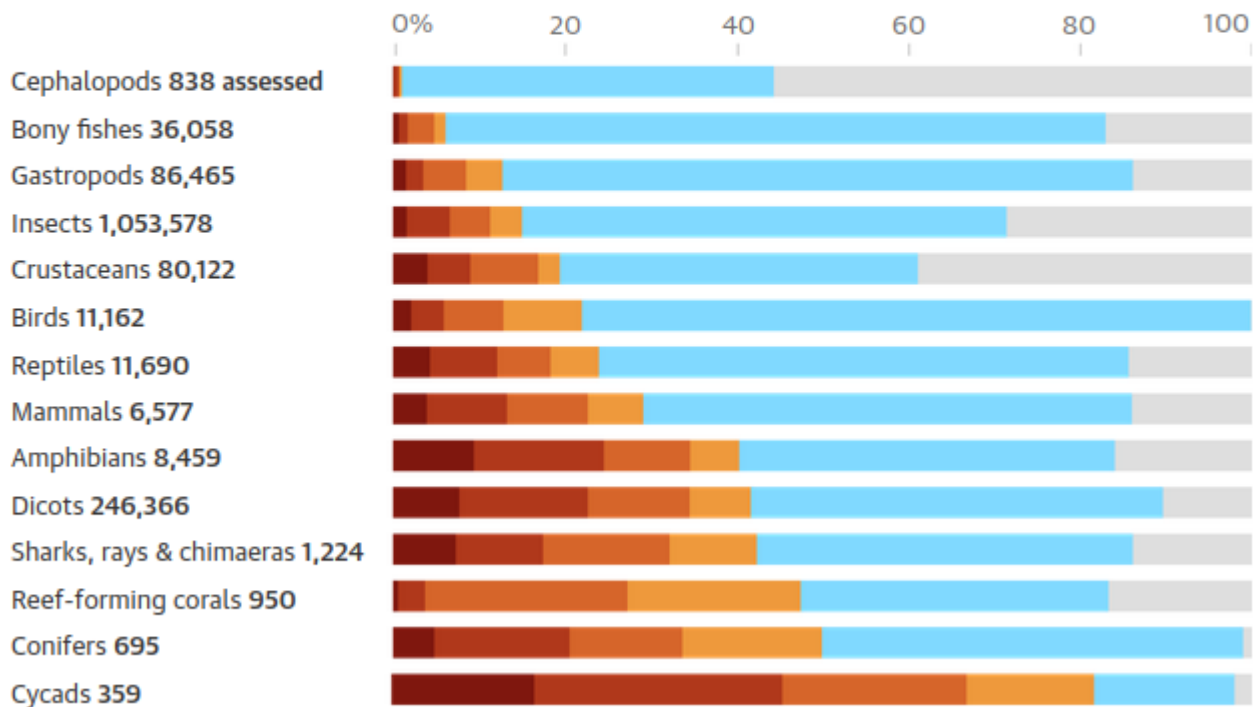


Guardian graphic. Source: World Wildlife Fund and Zoological Society London

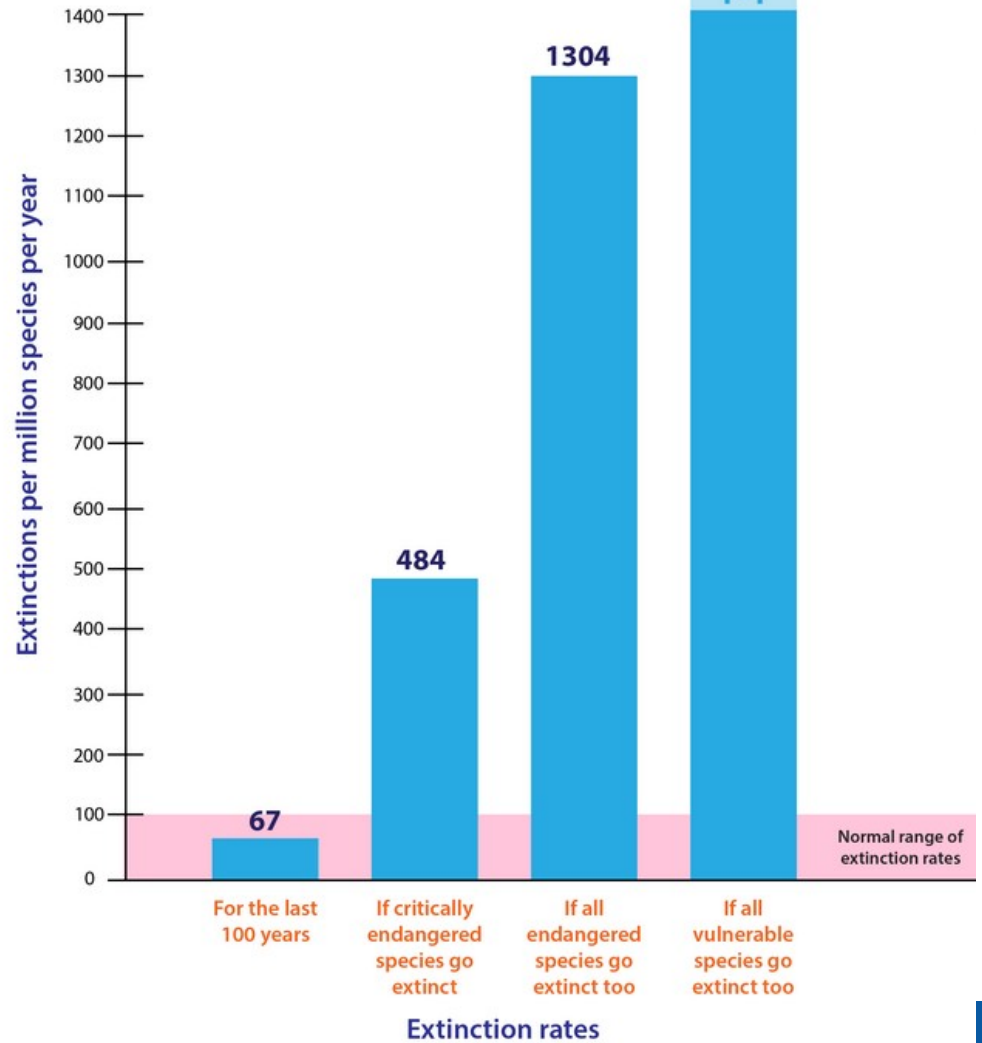
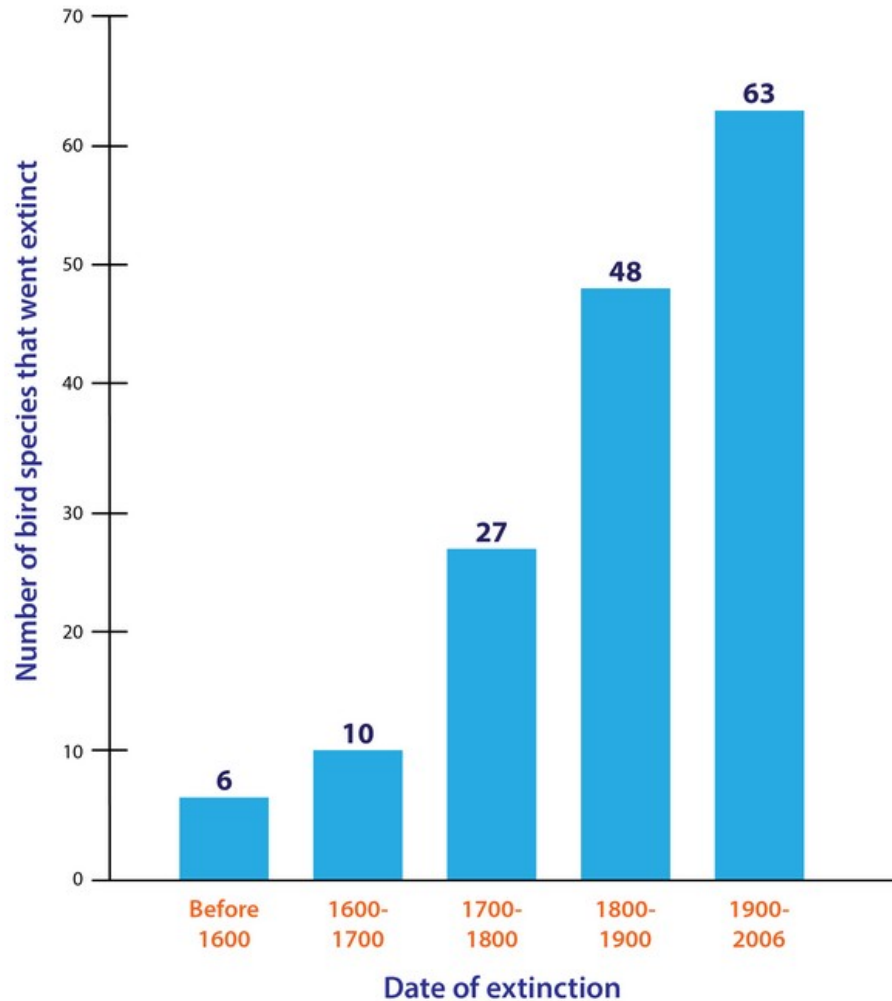
Almost 30% of mammals are at risk of extinction

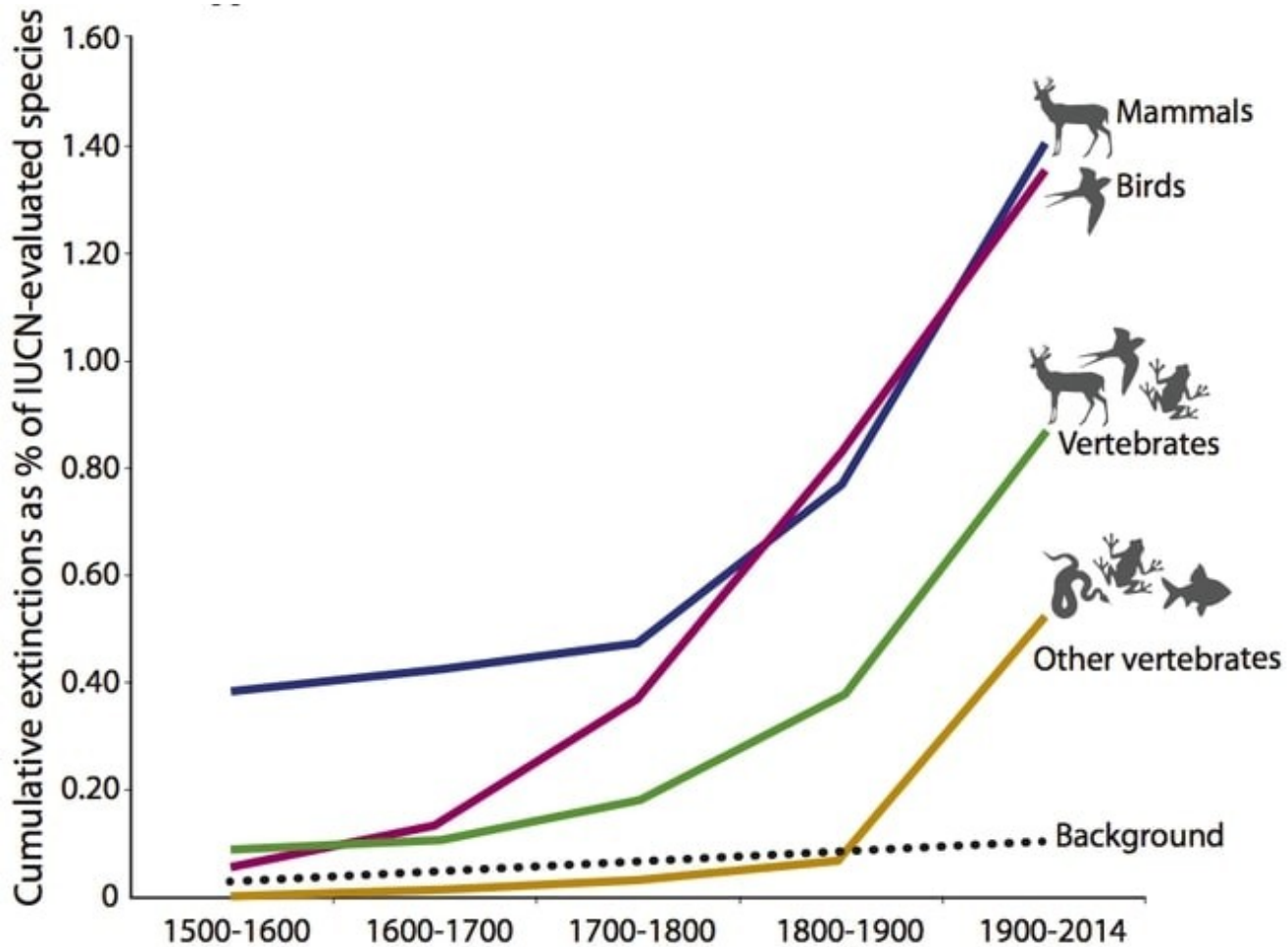
Percentage of species in each class by extinction risk

■ Critically endangered ■ Endangered ■ Vulnerable ■ Near threatened ■ Least concern ■ Data deficient

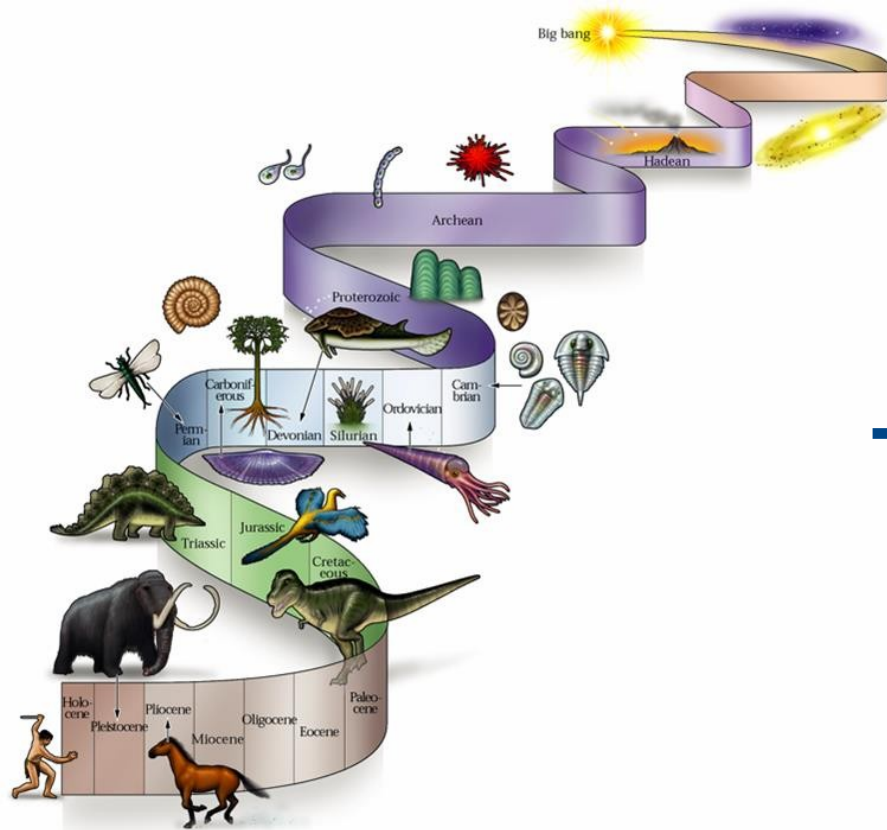


Guardian graphic. Source: IUCN Red List





Ο ρυθμός εξαφάνισης των σπονδυλωτών ξεπερνά κατά πολύ τα αναμενόμενα επίπεδα με βάση τον ρυθμό εξαφάνισης του υπόβαθρου



Thank you