

Εξελικτική Βιολογία

Προσαρμοστική εξέλιξη: φυσική επιλογή

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

Γιατί επέστρεψαν τα κουνούπια στη Γαλλική Ριβιέρα;



- Το 1969 στη Γαλλία ξεκίνησαν συστηματικοί ψεκασμοί ενάντια στα κουνούπια (*Culex ripiens*) στις ακτές της Ριβιέρα
 - acetylcholinesterase (AChE1)
- Στην αρχή τα κουνούπια μειώθηκαν, όμως από το 1972 επανήλθαν, παρά τους ψεκασμούς
 - Πώς έγιναν τα κουνούπια ανθεκτικά;

Το γονίδιο *Ester* και οι εστεράσες

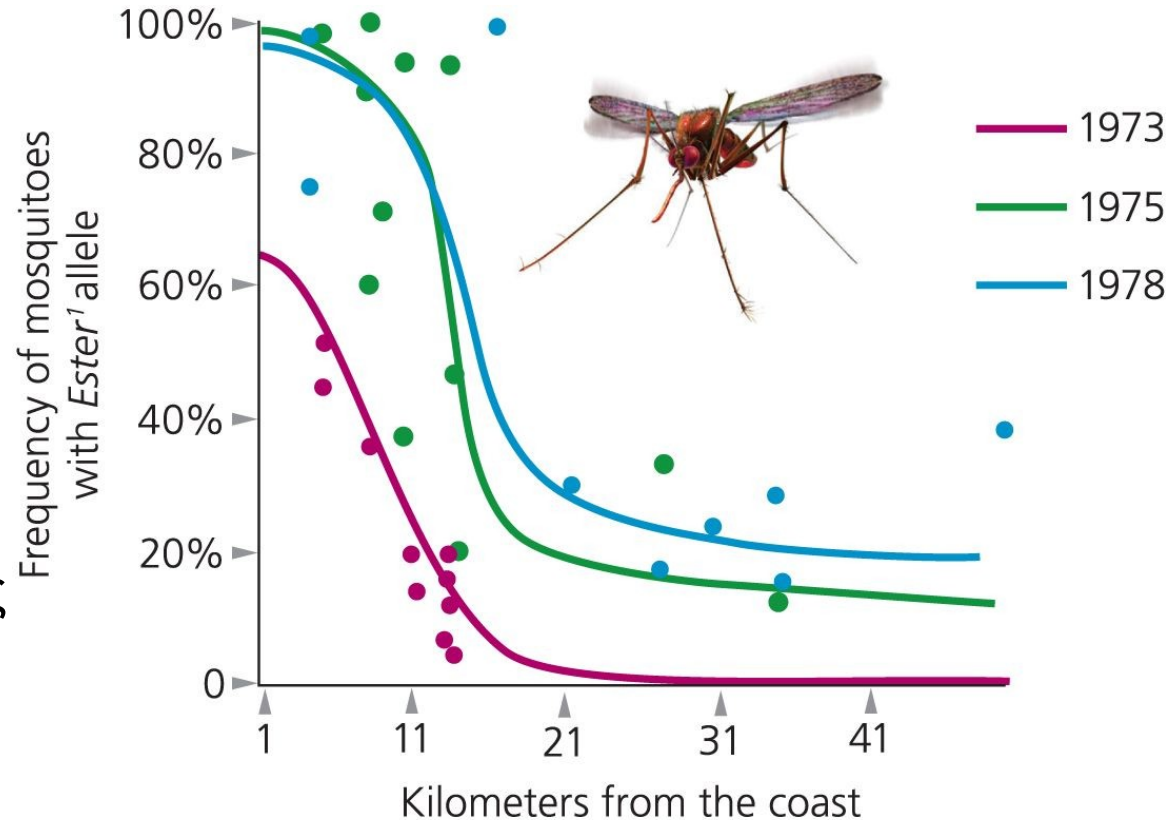
- Επιστήμονες από το πανεπιστήμιο του Montpellier ξεκίνησαν πειράματα
 - Τα κουνούπια της παραλιακής ζώνης ήταν πολύ πιο ανθεκτικά στο AChE1 από αυτά της ενδοχώρας
- Στο είδος *C. Ripiens* υπάρχει το γονίδιο *Ester* για το ένζυμο εστεράση που αποικοδομεί το AChE1
 - Σε μεγάλες δόσεις όμως, η εστεράση δεν μπορεί να αποικοδομήσει το φάρμακο



Michel Raymond

Το γονίδιο *Ester* και οι εστεράσες

- Το αλληλόμορφο *Ester*¹ παράγει πολύ μεγάλες ποσότητες εστεράσης
- Η συχνότητα του *Ester*¹ είναι μεγάλη στα παράλια και μειώνεται στην ενδοχώρα
- Αυτή η τάση αλλάζει με το χρόνο και το αλληλόμορφο *Ester*¹ κυριαρχεί πλέον πλήρως στα παράλια και εξαπλώνεται στην ενδοχώρα



Ερωτήσεις

- Τι προκάλεσε την εμφάνιση του αλληλομόρφου *Ester*¹;
- Υπήρχε το *Ester*¹ πριν το 1969;
- Τι προκάλεσε την αύξηση της συχνότητας του *Ester*¹ στις παραλίες;
- Τι προκάλεσε την εξάπλωση του *Ester*¹ στην ενδοχώρα;
- Αν δεν υπήρχε ποικιλότητα για το γονίδιο *Ester* στον πληθυσμό των κουνουπιών, τι θα συνέβαινε;
- Στην περίπτωση μας, ποιος είναι ο φαινότυπος και ποιος ο γονότυπος;

Γιατί μαύρισαν οι βάτραχοι στο Τσερνόμπιλ;

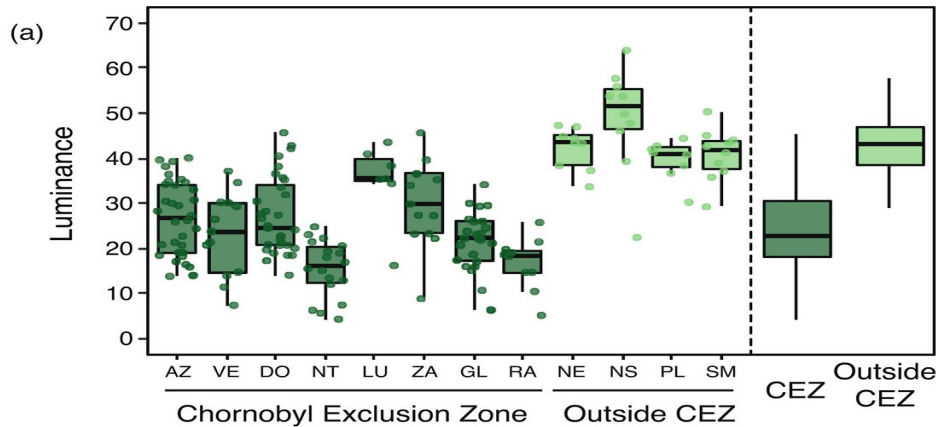


Eastern tree frogs (*Hyla orientalis*)

- Οι δεντροβάτραχοι είναι συνήθως ανοιχτοπράσινοι
- Το 2016 εντοπίστηκαν μέσα στη ζώνη αποκλεισμού του Τσέρνομπιλ βάτραχοι με ασυνήθιστο μαύρο χρώμα
 - Κατά το πυρηνικό ατύχημα του Τσέρνομπιλ το 1986 απελευθερώθηκαν τεράστιες ποσότητες ακτινοβολίας



Διαφορά στο χρώμα των βατράχων



- Σε έρευνα του 2022, μελετήθηκαν τα επίπεδα του χρωματισμού των βατράχων, μέσα και έξω από τη ζώνη αποκλεισμού

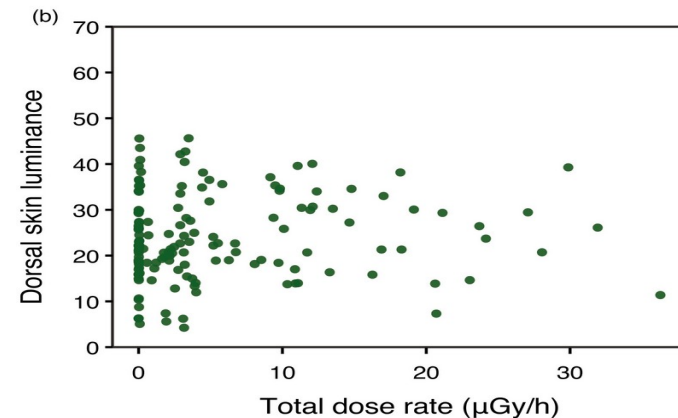
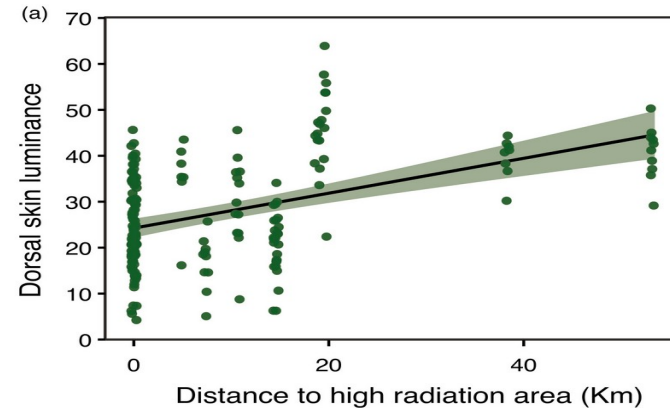
- Οι βάτραχοι μέσα στη ζώνη είναι πολύ πιο σκουρόχρωμοι

(b)



Η μελανίνη προστατεύει από την ακτινοβολία

- Ο χρωματισμός των βατράχων αλλάζει με την απόσταση αλλά είναι ανεξάρτητος από τα σύγχρονα επίπεδα ακτινοβολίας
- Είναι γνωστό ότι η μελανίνη προστατεύει από την ακτινοβολία
- Ποικιλίες με σκούρο χρώμα στη ζώνη αποκλεισμού παρατηρούνται και σε άλλους οργανισμούς (π.χ. μύκητες)



Ερωτήσεις

- Τι προκάλεσε την εμφάνιση σκουρόχρωμων βατράχων;
- Υπήρχαν σκούροι βάτραχοι πριν το 1986;
- Τι προκάλεσε την αύξηση της συχνότητας των σκούρων φαινοτύπων;
- Ο χρωματισμός του δέρματος των βατράχων είναι κληρονομικός;
- Τι θα συνέβαινε αν δεν υπήρχε ποικιλομορφία στους φαινότυπους;

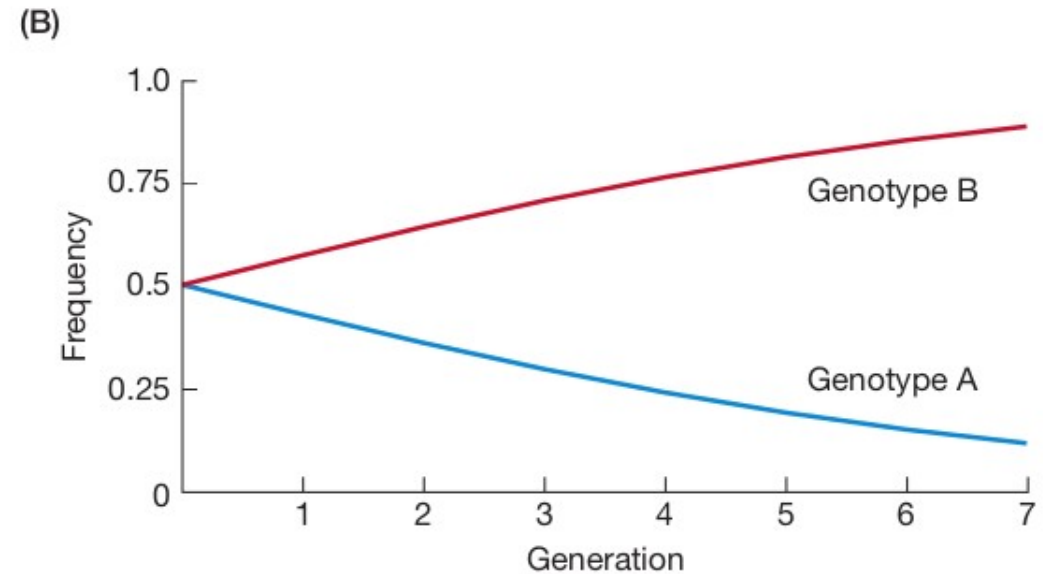
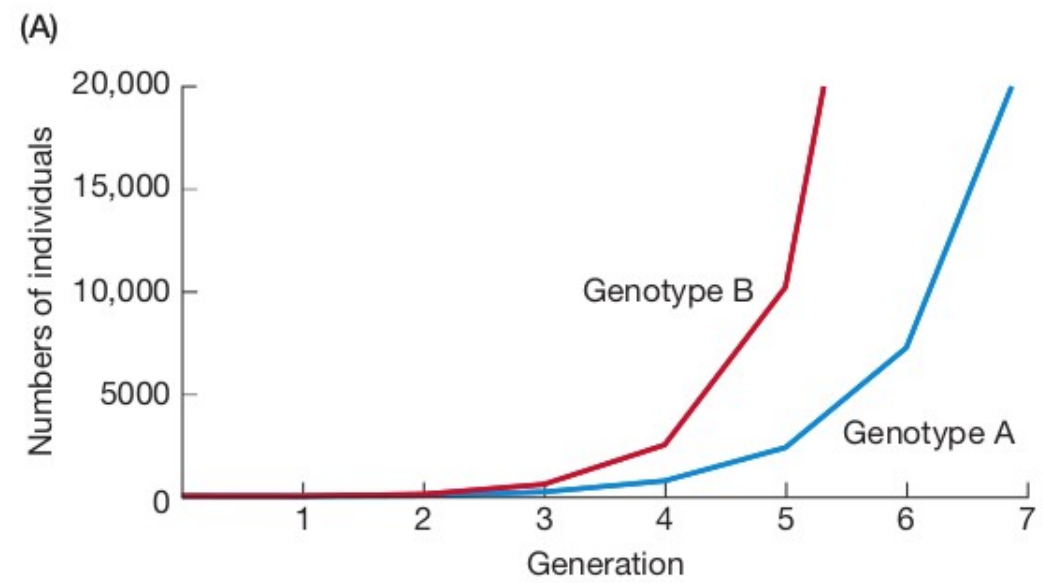
Πως λειτουργεί η επιλογή

- Έχουμε επιλογή όταν άτομα με διαφορετικό γονότυπο που ζουν κάτω από συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες, δίνουν συστηματικά διαφορετικό αριθμό απογόνων
- Υπάρχει διαφορά στην ικανότητα επιβίωσης ή αναπαραγωγής, μεταξύ ατόμων που διαφέρουν σε κάποιο κρίσιμο γνώρισμα
 - Κρίσιμος είναι ο **φαινότυπος**
 - Όταν το γνώρισμα είναι κληρονομικό, τότε γίνεται κρίσιμος ο **γονότυπος** και έχουμε επιλογή
- Το στατιστικό μέτρο της διαφορετικότητας στην ικανότητα επιβίωσης και αναπαραγωγής λέγεται **αρμωστικότητα** (ή προσαρμοστική αξία) του γονότυπου
- Η αλλαγή των συχνοτήτων των αλληλομόρφων μέσω της επιλογής είναι μια συστηματική, και πολλές φορές αργή, διαδικασία και η κατεύθυνση όσο και η ποσότητα της αλλαγής μπορεί να προβλεφθεί

Αρμοστικότητα (fitness)

- Αναπαραγωγική ικανότητα ενός γονότυπου (σε σχέση με άλλους γονότυπους του πληθυσμού)
 - Ο ρυθμός με τον οποίο ο γονότυπος αυξάνει ή μειώνει την παρουσία των αλληλομόρφων του στον πληθυσμό στην επόμενη γενιά
 - Η αρμοστικότητα μπορεί να αναφέρεται και σε έναν φαινότυπο
- Εξέλιξη έχουμε μόνο όταν οι κάποιοι γονότυποι έχουν διαφορετική αρμοστικότητα από κάποιους άλλους
- Η αρμοστικότητα ενός γονότυπου αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον
 - Ο ίδιος γονότυπος σε ένα διαφορετικό περιβάλλον μπορεί να έχει διαφορετική αρμοστικότητα

FIGURE 3.7 Two genotypes of a plant are growing together. Genotype A has a fitness of 3, while genotype B has a fitness of 4. Both genotypes start with 10 individuals. (A) The population size of genotype B grows much more rapidly. (B) Plotting the frequencies of the two genotypes shows that genotype B, which starts at a frequency of 0.5, makes up almost 90% of the population just 7 generations later.



Απόλυτη και σχετική αρμοστικότητα

Η φυσική επιλογή μπορεί να δράσει μόνο αν:

- Υπάρχουν **φαινοτυπικές διαφορές** ανάμεσα στα άτομα ενός πληθυσμού
- Οι φαινοτυπικές διαφορές μεταφράζονται σε διαφορές στην **αρμοστικότητα**
- Οι φαινοτυπικές διαφορές είναι **κληρονομήσιμες**

Ορισμός φυσικής επιλογής

- Υπάρχουν πολλοί ορισμοί για τη φυσική επιλογή, εδώ:
 - Φυσική επιλογή ονομάζεται οποιαδήποτε **συστηματική διαφορά** στην αρμοστικότητα ανάμεσα σε διαφορετικές ομάδες βιολογικών ενοτήτων
 - Συστηματική διαφορά είναι εδώ μια ουσιαστική διαφορά που παραμένει και διαρκεί σε βάθος γενεών
- Ένας πιο απλός ορισμός:
 - Φυσική επιλογή ονομάζεται η στατιστική διαφοροποίηση της **αναπαραγωγικής επιτυχίας** ανάμεσα σε γονίδια, οργανισμούς ή πληθυσμούς
 - Ο ορισμός αυτός προσθέτει **επίπεδα** στη φυσική επιλογή, πέρα από αυτό του ατόμου (μέσα στο άτομο, σε επίπεδο συγγενών, ομάδων ή ειδών)

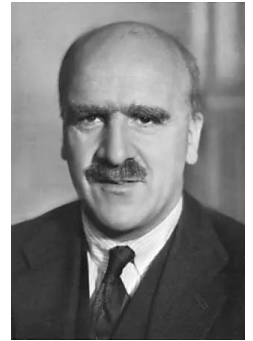
Το εγωιστικό γονίδιο



- Richard Dawkins (1976)
- Ένα αλληλόμορφο αυξάνει τη συχνότητά του στον πληθυσμό αν πετύχει να αφήνει περισσότερα αντίγραφα του εαυτού του στις επόμενες γενιές, από τα άλλα αλληλόμορφα
 - Ανεξάρτητα από τον τρόπο που το πετυχαίνει αυτό
- Μπορούμε να εξηγήσουμε την εξέλιξη πολλών περίπλοκων χαρακτηριστικών σε διάφορους οργανισμούς αν εξετάσουμε τη δυνατότητα αύξησης της συχνότητας των αλληλομόρφων που τα ελέγχουν στις επόμενες γενιές
 - Δεν συμφωνούν όλοι οι εξελικτικοί στην προσέγγιση αυτή

Kin selection

J.B.S. Haldane
(1892-1964)



- Αλτρουιστική συμπεριφορά ατόμων υπέρ συγγενών τους
 - Αυξάνεται η αρμοστικότητα των συγγενών και η συχνότητα των αλτρουιστικών αλληλομόρφων
 - **Επιλογή υπέρ συγγενών:** συμβαίνει όταν υπάρχει διαφορά ανάμεσα στην αρμοστικότητα των αλληλομόρφων που επηρεάζουν την αναπαραγωγική ικανότητα των συγγενικών τους ατόμων
 - Π.χ. η γονική φροντίδα



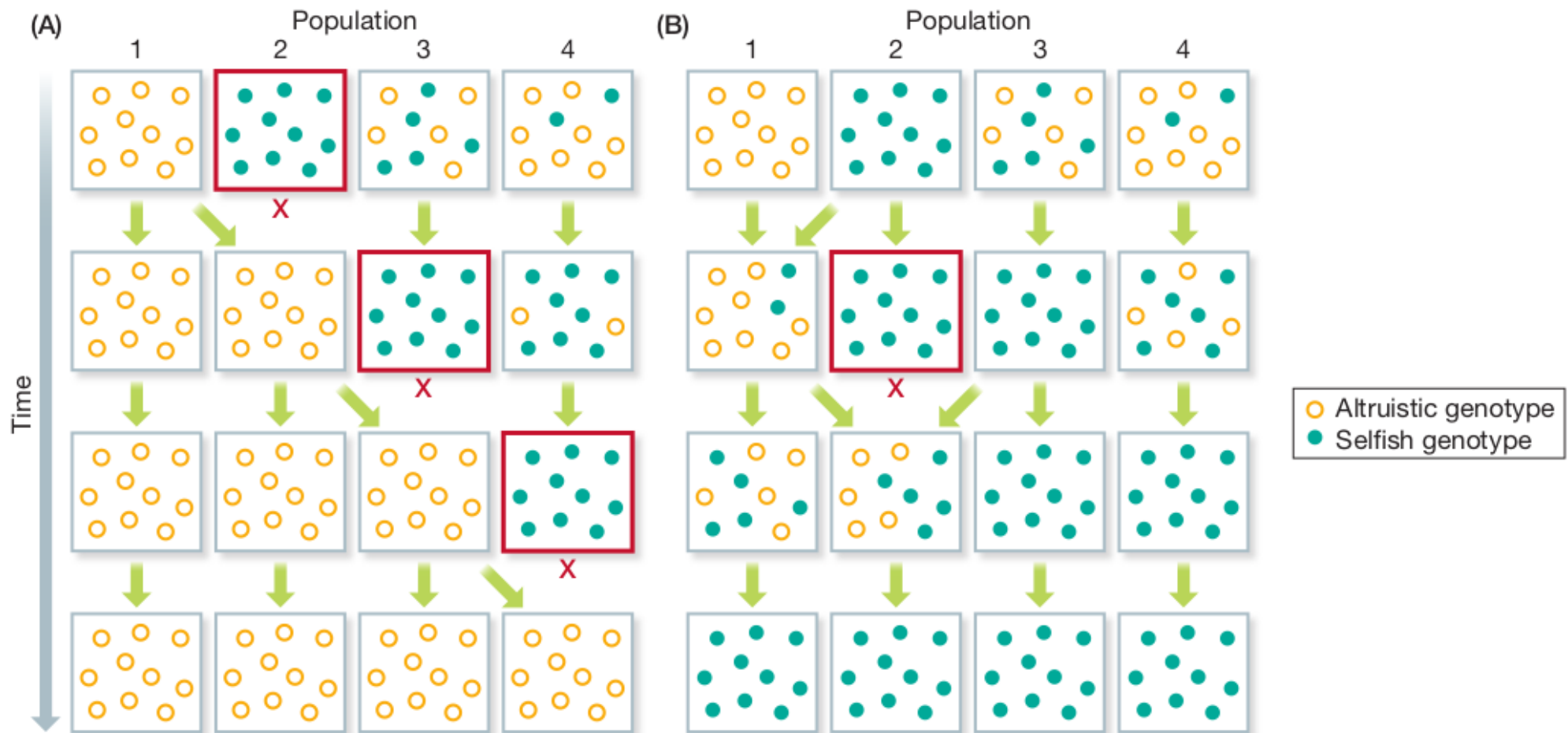
Φυσική επιλογή “για το καλό του είδους”;

- Η επιλογή δεν επηρεάζεται από την πιθανότητα εξαφάνισης ενός είδους
 - Το μέλλον δεν επηρεάζει το παρόν
 - Η φυσική επιλογή δεν έχει σκοπό
- Ένα αλτρουιστικό γνώρισμα δεν μπορεί να εξελιχτεί αν μειώνει την αρμοστικότητα του ατόμου που το φέρει
 - Ακόμα και αν ωφελείται ο πληθυσμός
- Ένας “απατεώνας” θα κυριαρχούσε στον πληθυσμό γιατί θα είχε υψηλή αρμοστικότητα



Group selection

- Η εξέλιξη ομάδων είναι μια θεωρία που προσπαθεί να εξηγήσει τον αλτρουισμό:
 - Ομάδες οργανισμών με διαφορετική γενετική σύσταση διαφέρουν στην παραγωγή απογόνων ή στην επιβίωση
- Ομάδες με εγωιστές
 - Αναπαράγονται με μεγάλη ταχύτητα και καταναλώνουν τους διαθέσιμους πόρους και εξαφανίζονται
- Ομάδες με αλτρουιστές
 - Χαμηλή ταχύτητα αναπαραγωγής και καλύτερη μέση επιβίωση και αρμοστικότητα
- Έντονο debate στην επιστημονική κοινότητα
 - Λίγοι πλέον υποστηρίζουν την επιλογή ομάδων



Wynne-Edwards: Altruistic behavior will evolve because group selection favors it (i.e., more "selfish" populations go extinct).

Williams: Within-population selection favors the "selfish" allele and increases it more rapidly than whole-population selection can act, so the "selfish" allele will become fixed.

Προσαρμογή

- Στην εξελικτική βιολογία η προσαρμογή έχει δύο ερμηνείες:
 - Η **διαδικασία** της εξελικτικής προσαρμογής, μέσα από το μηχανισμό της φυσικής επιλογής
 - Ένας **χαρακτήρας** που είναι αποτέλεσμα της διαδικασίας μέσα από τη φυσική επιλογή
 - Ατομικοί χαρακτήρες των οργανισμών που φανερώνουν την προσαρμογή
 - Μπορεί να περιγραφεί από υποθέσεις σχετικά με τη δράση που οδήγησε στο αποτέλεσμα που παρατηρούμε

Πρώιμα στάδια προσαρμογών

- Προπροσαρμογή (preadaptation)
 - Ένα γνώρισμα που συγκυριακά εξυπηρετεί μια νέα λειτουργία από αυτή για την οποία εξελίχτηκε αρχικά
- Αλλοπροσαρμογή (exadaptation)
 - Το ίδιο γνώρισμα όταν αναπροσαρμόζεται και εξυπηρετεί μια νέα συνθήκη
- Προσαρμογή
 - Όταν η αλλοπροσαρμογή τροποποιηθεί περισσότερο μπορεί να γίνει μια νέα προσαρμογή



FIGURE 3.12 The long sharp bill of the kea (*Nestor notabilis*) evolved for functions such as cracking seeds, but it can be used for many other things, such as slicing into sheep skin and ripping windshield wipers, rubber gaskets, and other removable pieces from parked automobiles. At several sites in New Zealand, tourists are warned to protect their cars against keas. Why keas do this is not clear.



Προπροσαρμογή

Αλλοπροσαρμογή

Το φτερό θα μπορούσε να είναι μια **αλλοπροσαρμογή** για την υποβρύχια «πτήση» σε μέλη της οικογένειας των αλκιδών, όπως το *Fratercula arctica* του Ατλαντικού



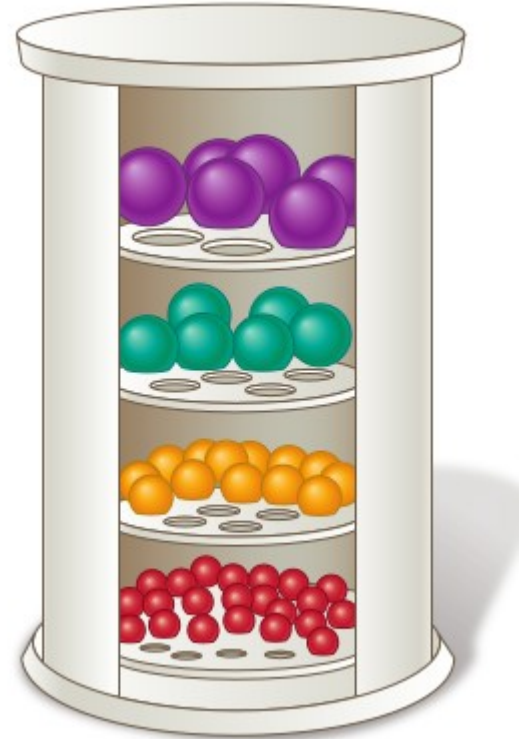
Αλλοπροσαρμογή που έγινε προσαρμογή

Οι τροποποιήσεις στα πτερύγια για αποτελεσματική υποβρύχια κίνηση στους πιγκουίνους (*Spheniscus humboldti*) μπορούν να θεωρηθούν προσαρμογές



Αναγνωρίζοντας μια προσαρμογή

- Για να ονομάσουμε ένα γνώρισμα ως **προσαρμογή** πρέπει να μπορούμε να περιγράψουμε τη διαδικασία που το διαμόρφωσε
 - Πρέπει το γνώρισμα να συνδέεται με την αύξηση της αρμοστικότητας στις επόμενες γενιές



Μελέτη μιας προσαρμογής

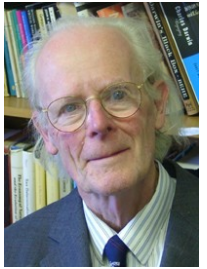
- Παρατήρηση και περιγραφή ενός γνωρίσματος σε έναν οργανισμό
- Διατύπωση μιας προσαρμοστικής υπόθεσης για την εξέλιξη του χαρακτηριστικού
- Έλεγχος της υπόθεσης με πειράματα ή συλλογή επιπλέον δεδομένων
- Προσαρμογιστικό πρόγραμμα (**adaptationism**)
- Η προσέγγιση αυτή δίνει έμφαση στη δράση της φυσικής επιλογής, που θεωρείται ο κύριος παράγοντας της εξέλιξης
- **Προσοχή:** Δεν είναι όλοι οι χαρακτήρες των οργανισμών προσαρμογές

Πειραματική απόδειξη της προσαρμογής

- Πειραματικές μελέτες ή σαφείς αναλύσεις της αρμοστικότητας προσφέρουν άμεσες αποδείξεις για το αν κάποιος χαρακτήρας είναι προσαρμογή
 - Το χρωματικό πρότυπο μιας πεταλούδας προσφέρει προστασία από τον θηρευτή
 - Έλεγχος ρυθμού θήρευσης μεταξύ διαφορετικών φαινοτύπων
- Στην προσπάθεια των επιστημόνων να στηρίξουν τη θεωρία της εξέλιξης, πολλές φορές δόθηκε μεγαλύτερη έμφαση στη δράση της φυσικής επιλογής στην εξέλιξη και απλοποιήθηκε ο μηχανισμός της

Το προσαρμογιστικό πρόγραμμα (adaptationism)

John Maynard
Smith



- Έρευνα προσαρμογών που βασίζεται στην υπόθεση ότι όλα τα χαρακτηριστικά είναι προσαρμοστικά, ότι βρίσκονται κοντά στο άριστο και ότι οι διαφορές μεταξύ των ειδών αποτελούν προσαρμογές σε διαφορετικούς επιλεκτικούς παράγοντες
- Η φυσική επιλογή είναι μια ισχυρή δύναμη που οδηγεί στη βελτιστοποίηση
- Κυριάρχησε στην Αγγλία και τις ΗΠΑ το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα
 - Οδήγησε στην ανάπτυξη νέων ερμηνειών (π.χ ερμηνεία του αλτρουϊσμού μέσω επιλογής συγγενούς, κοινωνιοβιολογία κτλ.)
- Έφτασε όμως σε υπερβολές προσπαθώντας να εξηγήσει κάθε χαρακτήρα μέσω της επιλογής

Αμφισβήτηση του προσαρμογιστικού προγράμματος

SJ Gould



RC Lewontin

- Πολλοί χαρακτήρες των οργανισμών μπορούν να εξηγηθούν και με εναλλακτικές δυνάμεις προς την άμεση προσαρμογή, όπως
 - Τη δράση της γενετικής εκτροπής σε πεπερασμένους πληθυσμούς
 - Τον πλειοτροπισμό, την αλλομετρία, κ.α.
 - Την ανάπτυξη χαρακτήρων μέσω φυσικής επιλογής στη βάση χαρακτήρων που είχαν αναπτυχθεί προσαρμοστικά σε προγονικά είδη και πληθυσμούς
 - Την προσαρμογή με φυσική επιλογή σε χαρακτήρες που μετά δευτερογενώς αποκτούν άλλη σημασία
 - Αποτέλεσμα της δράσης του περιβάλλοντος ή της μάθησης
 - Δεν επιδρά μόνο το περιβάλλον στο γονότυπο αλλά και ο γονότυπος στο περιβάλλον, οπότε τα πρότυπα των προσαρμογών που παρατηρούμε να μην είναι πάντα γενετικά
 - Συνέπεια των νόμων της φυσικής και της χημείας

Δεν είναι προσαρμογή!

(A)



(B)



FIGURE 3.15 (A) The Australian white-winged cough (*Corcorax melanorhamphos*) normally has predominantly yellow eyes. (B) During aggressive displays, the bird shows brilliant red, bulging eyes, using the red color that is a nonadaptive property of hemoglobin for an adaptive function.

Προσαρμογή!



FIGURE 3.17 Functional morphological analyses have shown that small surfaces shed the hot "boundary layer" of air that forms around them more readily than do large surfaces. Many tropical and desert-dwelling plants have large leaves that are broken up into leaflets, as in *Acacia karroo* (A), or split into small sections, as in the banana (B). The form of these leaves is therefore believed to be an adaptation for reducing leaf temperature.

Προσαρμογή! (A)



(B)



(C)



(D)



Η περιβαλλοντική ετερογένεια δημιουργεί ποικιλότητα

Diversity in Darwin's finches. Over the past 3 million years, these birds have specialized for feeding on cactus flowers (A); for using twigs as tools to pry insects from bark (B); and for eating eggs (C), leaves (D), blood (E), and ticks (F).



A: Valeranda Media / Shutterstock.com; B: Mary Plage / Oxford Scientific / Getty Images; C: Minden Pictures / Superstock; D: robertharding / Alamy Stock Photo; E: Ardea / D. Parer & E. Parer-Cook / Diomedia; F: John Abbott / Nature Picture Library

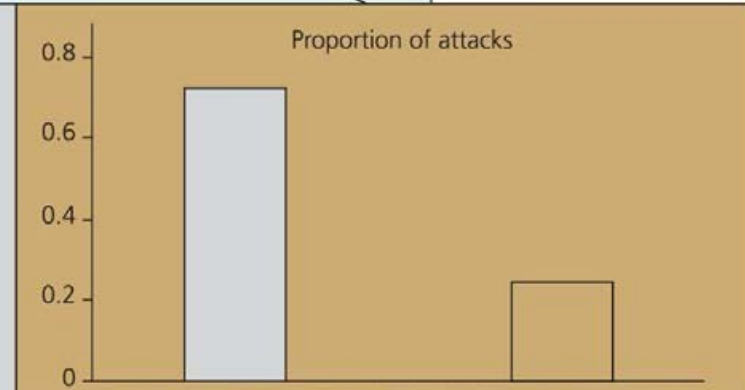
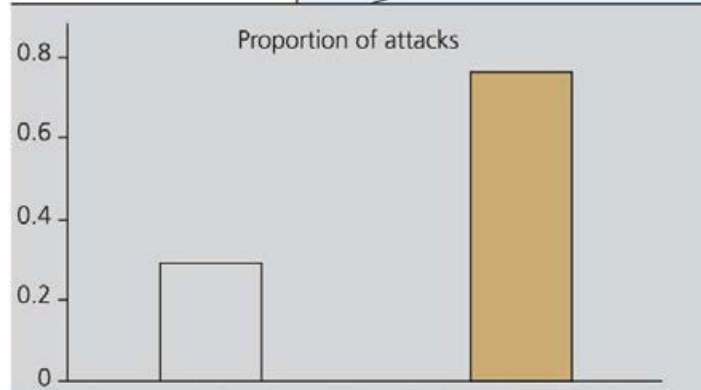
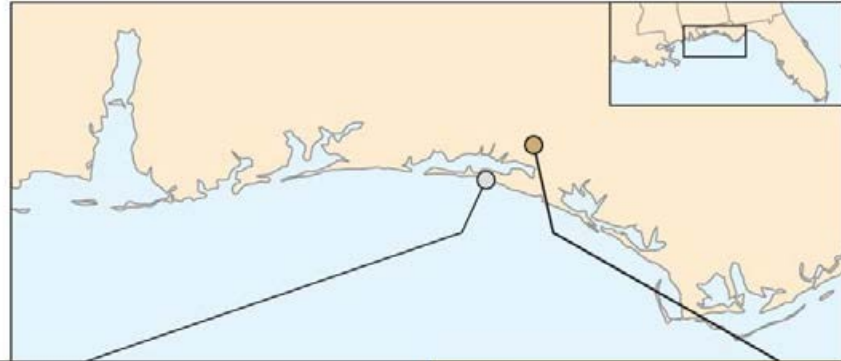
Η περιβαλλοντική ετερογένεια δημιουργεί ποικιλότητα

Η Hori Hoekstra και οι συνεργάτες της δημιούργησαν ένα πείραμα για τη μέτρηση της φυσικής επιλογής στο χρώμα του τριχώματος σε ποντίκια Oldfield.

Πήλινα μοντέλα ποντικών βάφτηκαν για να μοιάζουν με τις μορφές της παραλίας ή της ενδοχώρας και τοποθετήθηκαν είτε στην ενδοχώρα είτε στην παραλία στη Φλόριντα. Η χρωματική κάλυψη στο φόντο μείωσε αποτελεσματικά το ποσοστό θήρευσης τόσο στην παραλία όσο και στην ενδοχώρα.

Τα ποσοστά θήρευσης των μοντέλων σκούρου πηλού σε ενδαιτήματα παραλιών (αριστερά) ήταν πολύ υψηλότερα σε σχέση με τα λευκά μοντέλα και τα ποσοστά θήρευσης των φωτεινών μοντέλων σε ενδαιτήματα της ενδοχώρας (δεξιά) ήταν πολύ υψηλότερα σε σχέση με τα σκούρα μοντέλα.

Vignieri et al. 2010



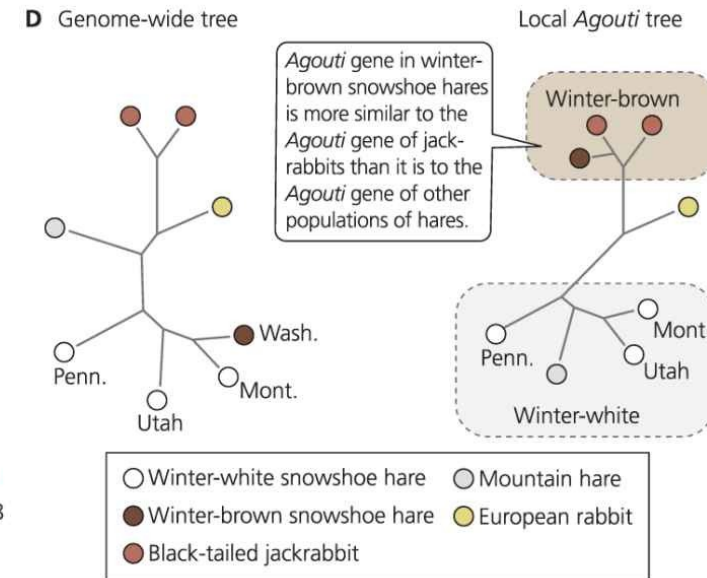
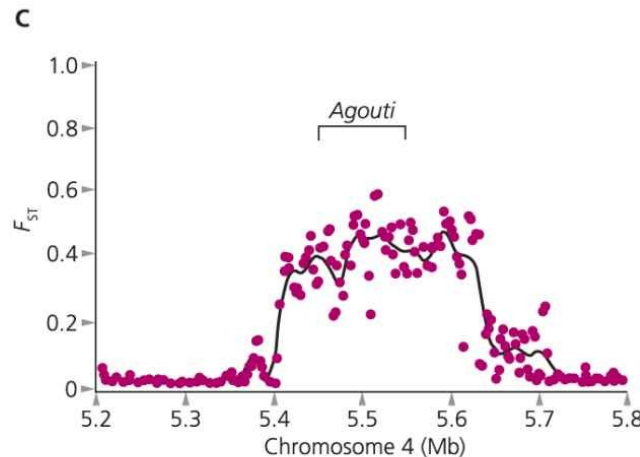
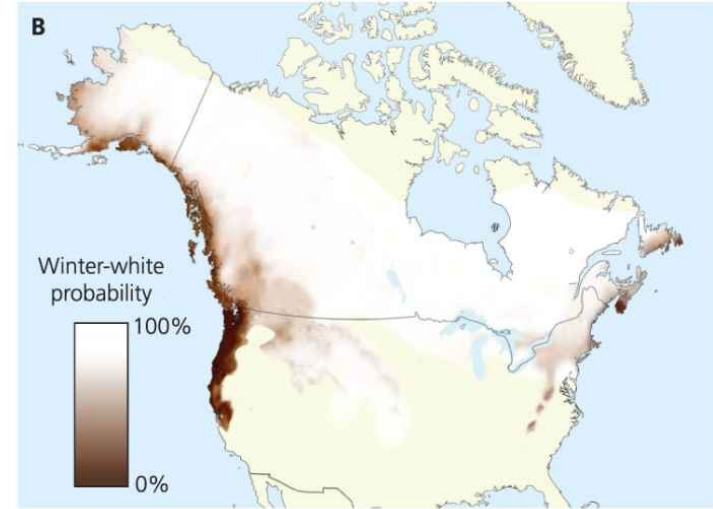
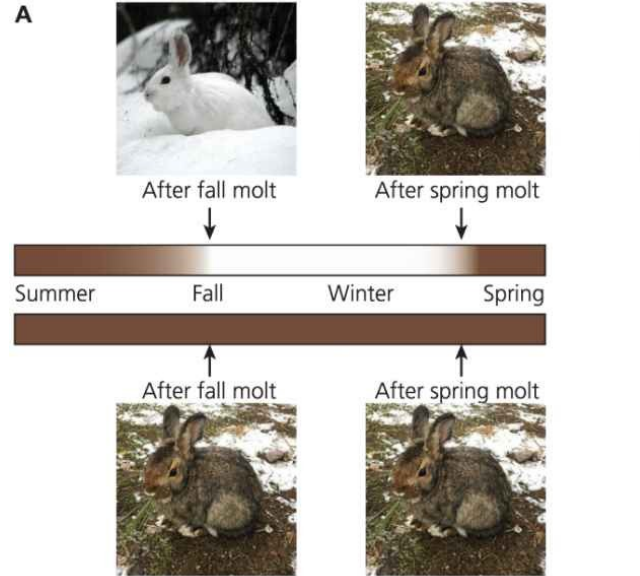
A: Στο μεγαλύτερο μέρος της εξάπλωσής τους, οι χιονολαγοί αναπτύσσουν λευκή γούνα τον χειμών. Αλλά σε ορισμένες περιοχές παραμένουν καφέ.

B: Στα πιο θερμά άκρα της εξάπλωσής τους, οι λαγοί έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να παραμείνουν καφέ.

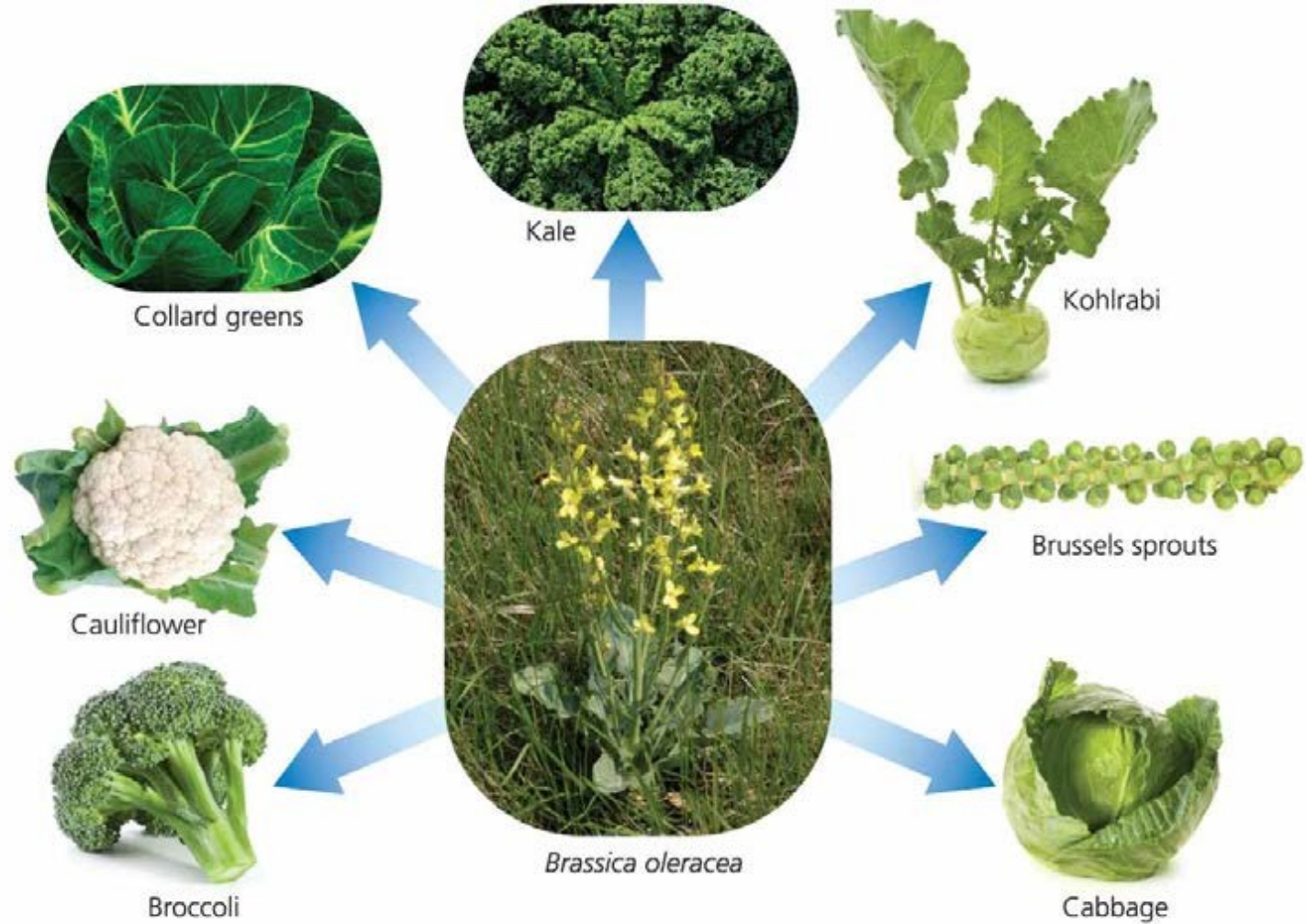
C: Οι καφέ και οι λευκοί λαγοί στην πολιτεία της Ουάσιγκτον έχουν μικρή γενετική απόκλιση, εκτός από μια μικρή περιοχή του γονιδιώματός τους που περιλαμβάνει το γονίδιο *Agouti*.

D: Το αλληλόμορφο **Agouti** των καφέ λαγών έφτασε στο γονιδίωμα του είδους μέσα από υβρισμό με τα αγριοκούνελα (black-tailed jackrabbits) και διαδώθηκε ευρύτατα λόγω φυσικής επιλογής.

Jones et al. 2018



Τεχνητή επιλογή



Zimmer/Emlen, *Evolution: Making Sense of Life*, 3e, © 2020 W. H. Freeman and Company
Clockwise from left: Valentyn Volkov / Shutterstock; Pukach / Shutterstock.com; chanel / Shutterstock; Maria Meester / Shutterstock; Soyka / Shutterstock; marilyn barbone / Shutterstock; JIANG HONGYAN / Shutterstock; FlorallImages / Alamy Stock Photo

Τεχνητή επιλογή

A Corn



B Tomatoes



C Sunflowers



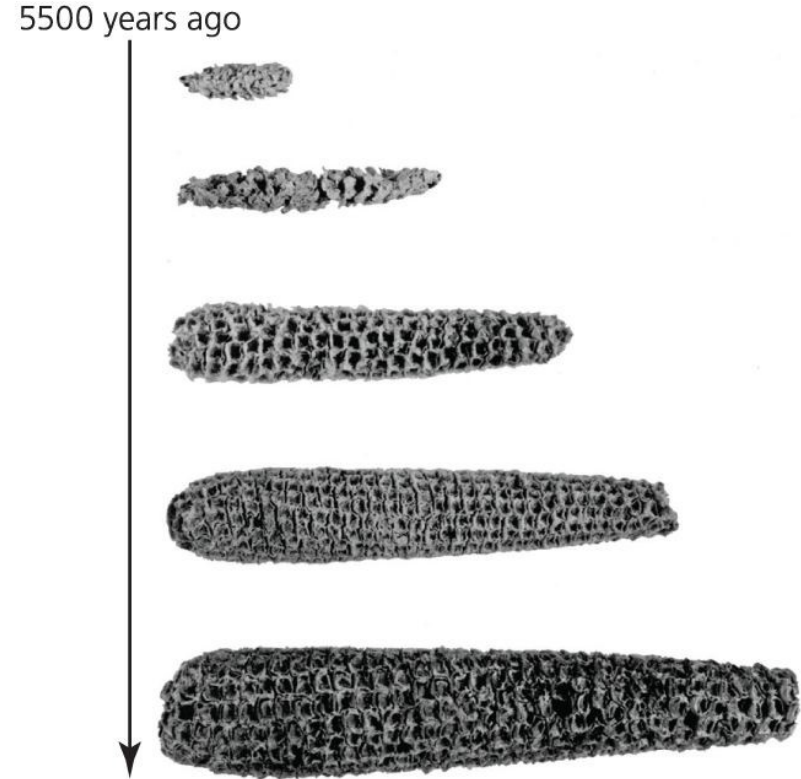
Zimmer/Emlen, *Evolution: Making Sense of Life*, 3e, © 2020 W. H. Freeman and Company

A: John Doebley; HUIZENG / Shutterstock.com; B: Photo by Kent Loeffler / Cornell University; C: Trong Nguyen / Shutterstock.com; toa55 / Depositphotos

Τεχνητή επιλογή

Archaeologists have uncovered discarded maize cobs from sequential periods of occupation of Tehuacán, Mexico.

These specimens document the gradual evolutionary increase of kernel number and cob size.



4400 years ago

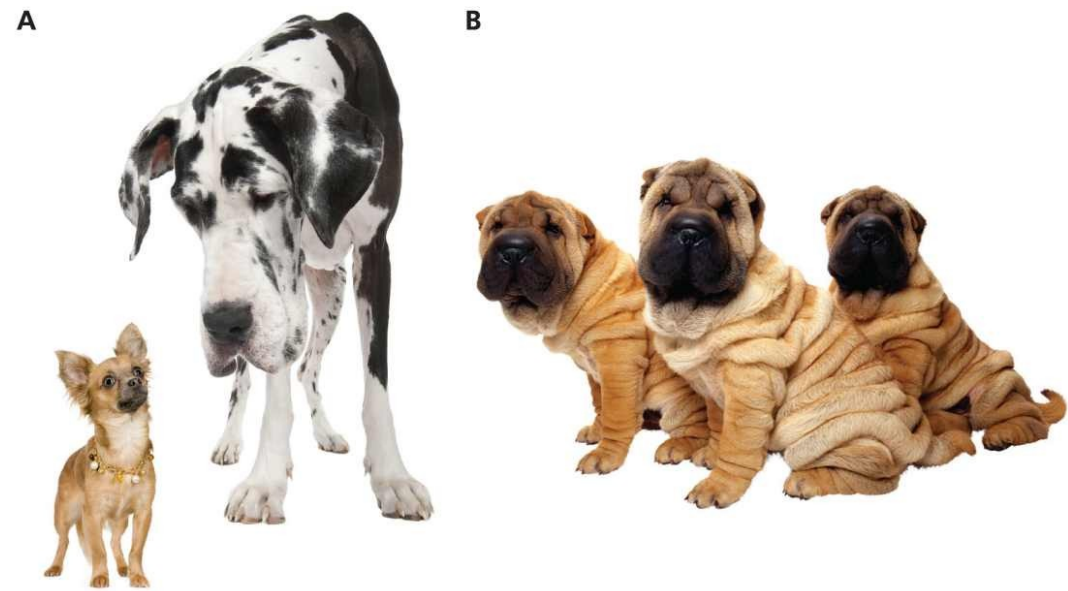
Zimmer/Emlen, *Evolution: Making Sense of Life*, 3e,
© 2020 W. H. Freeman and Company
Mesoamerican Maize: 5000 years of maize
evolution from tiny wild corn to a modern example
ca. 1500 C.E. from *Prehistory of the Tehuacan Valley*,
Vol. 1, 1967. Fig. 122 © Robert S. Peabody Museum
of Archaeology, Phillips Academy, Andover,
Massachusetts

Τεχνητή επιλογή

A: *IGF1* gene contributes to small body size (Sutter et al. 2007)

B: *HAS2* is associated with skin wrinkling (Akey et al. 2010)

C: *RSPO2* is associated with wiry hair and moustaches, *FGF5* alleles cause long or short fur and *KRT71* alleles lead to curly or straight Hair (Shearin and Ostrander 2010)



Zimmer/Emlen, *Evolution: Making Sense of Life*, 3e, © 2020 W. H. Freeman and Company
A: Eric Isselee / Shutterstock; B: Yuri Kevhiev / Alamy; C: Photos by Mary Bloom, American
Kennel Club, From "Canine Morphology: Hunting for Genes and Tracking Mutations" by
Shearin and Ostrander. Plos Biology (2010)

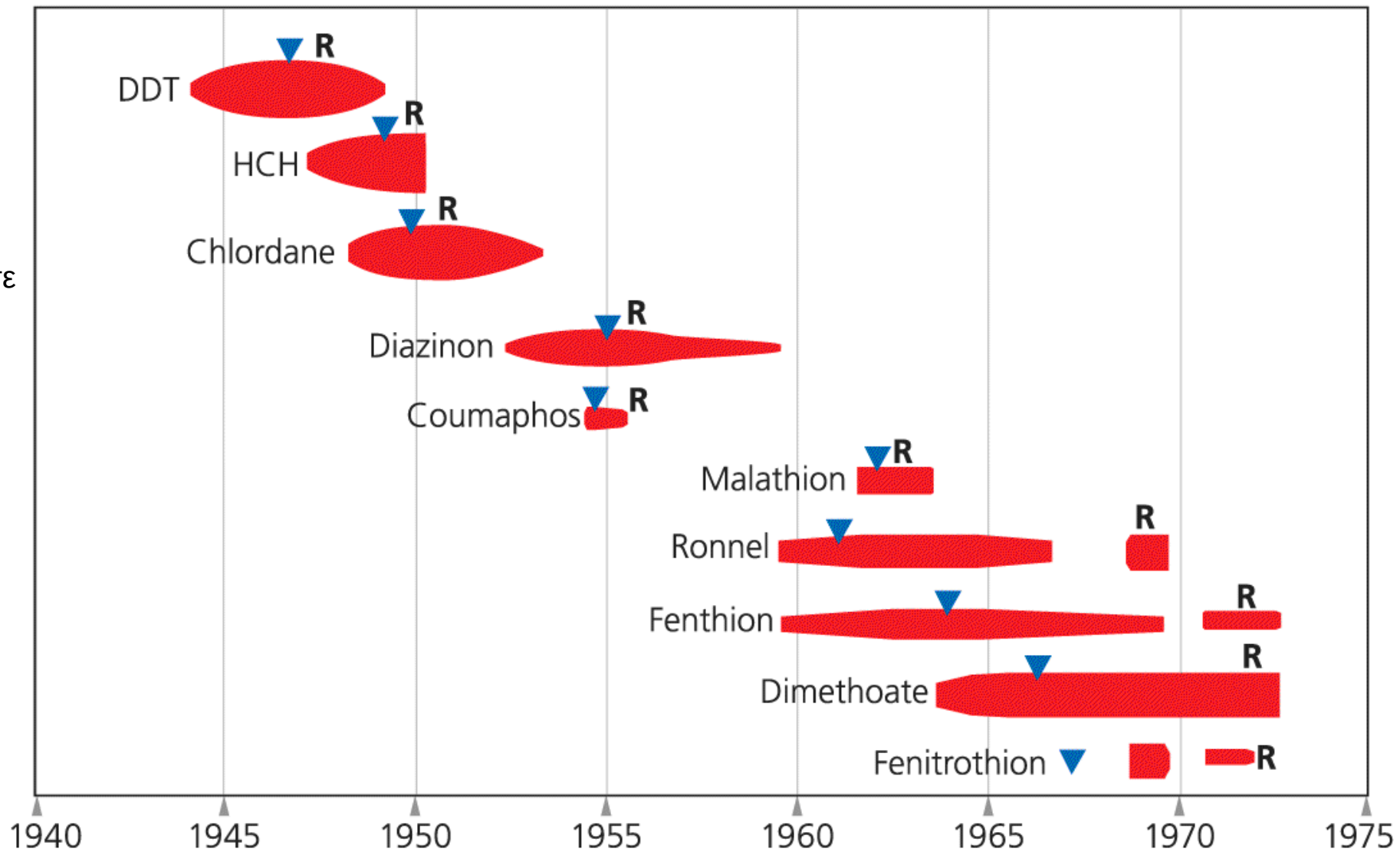
Η εντατική
χρήση
φυτοφαρμάκων
ασκεί **πίεση**
επιλογής στους
πληθυσμούς
πολλών ειδών

Η επιλογή
οδηγεί σε
προσαρμογή
στα χημικά αυτά

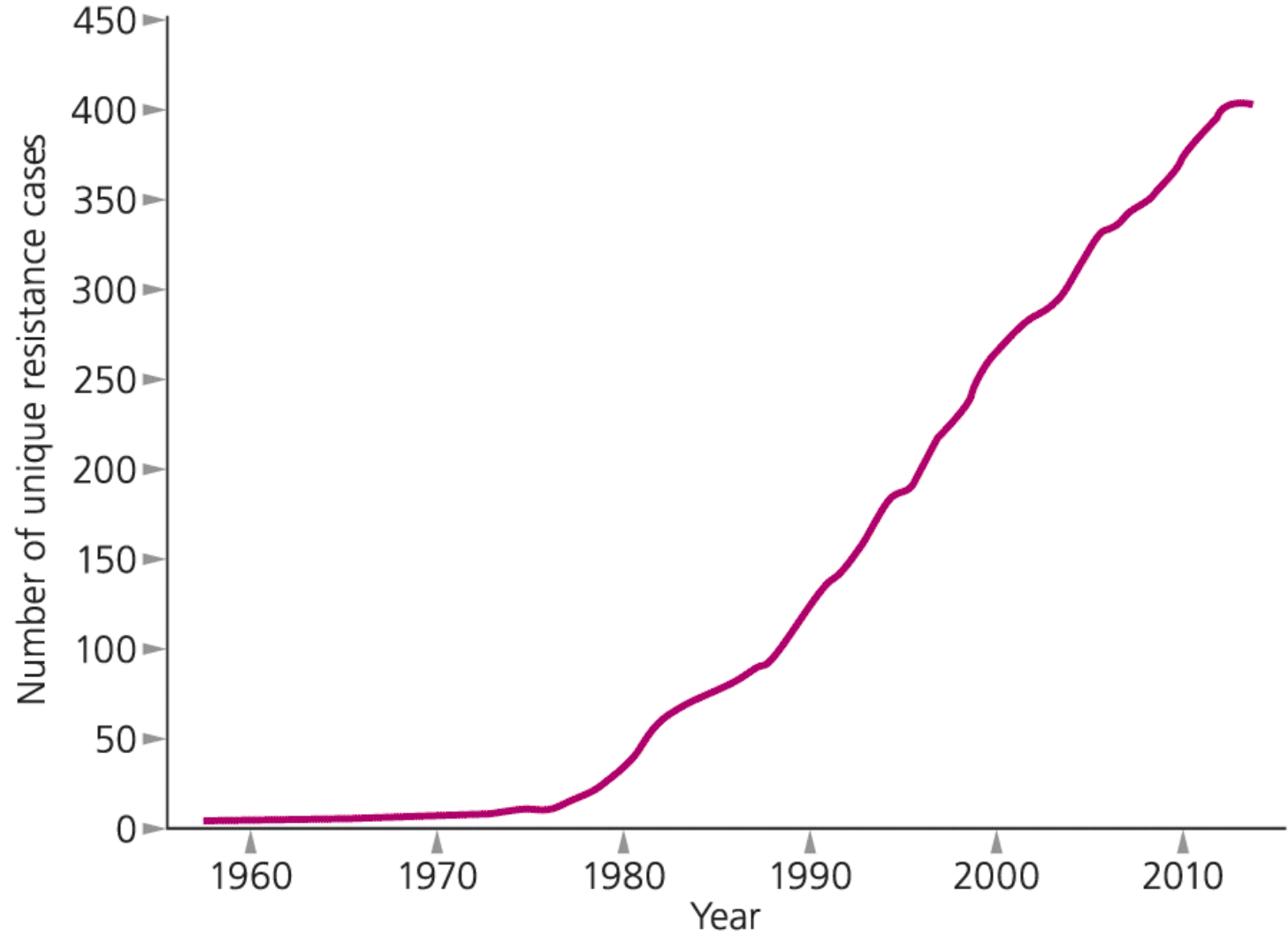


Εξέλιξη της
αντοχής σε
εντομοκτόνα σε
μύγες, σε
φάρμες της
Δανίας

Τα τρίγωνα
δείχνουν την
πρώτη
καταγραφή
ανθεκτικού
εντόμου



Παγκόσμια
αύξηση της
αντοχής σε
ζιζανιοκτόνα
από το 1955



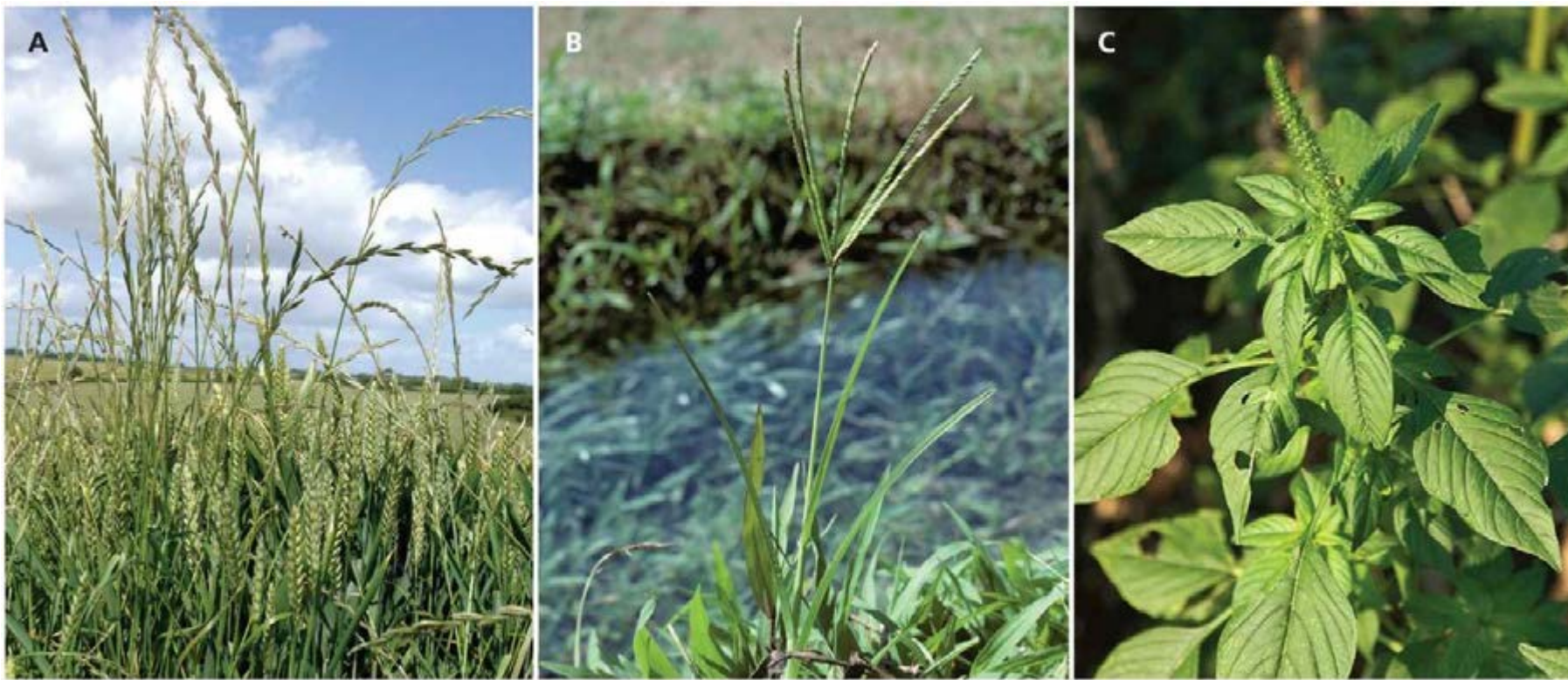
Zimmer/Emlen, *Evolution: Making Sense of Life*, 3e, © 2020 W. H. Freeman and Company

Η επιτυχία του Roundup (στην αρχή...)

- Το glyphosate είναι μια χημική ένωση που εμποδίζει το σχηματισμό αμινοξέων στα φυτά (αποκλειστικά), στο ένζυμο EPSPS
 - Το βασικό συστατικό του Roundup της Monsanto
 - Γενικό ζιζανιοκτόνο, σκοτώνει όλα τα φυτά
- Το 1986, η Monsanto κυκλοφόρησε φυτά καλλιεργειών με ανθεκτικότητα στο glyphosate, με εισαγωγή γονιδίων από βακτήρια
 - ΓΤ καλαμπόκι, βαμβάκι, τεύτλο το 1990
 - Μείωση της χρήσης βλαβερών ζιζανιοκτόνων
 - Αύξηση της χρήσης του Roundup



Σύντομα, τα ζιζάνια έγιναν ανθεκτικά στο glyphosate και στο Roundup, οδηγώντας στην αποτυχία του σκευάσματος.



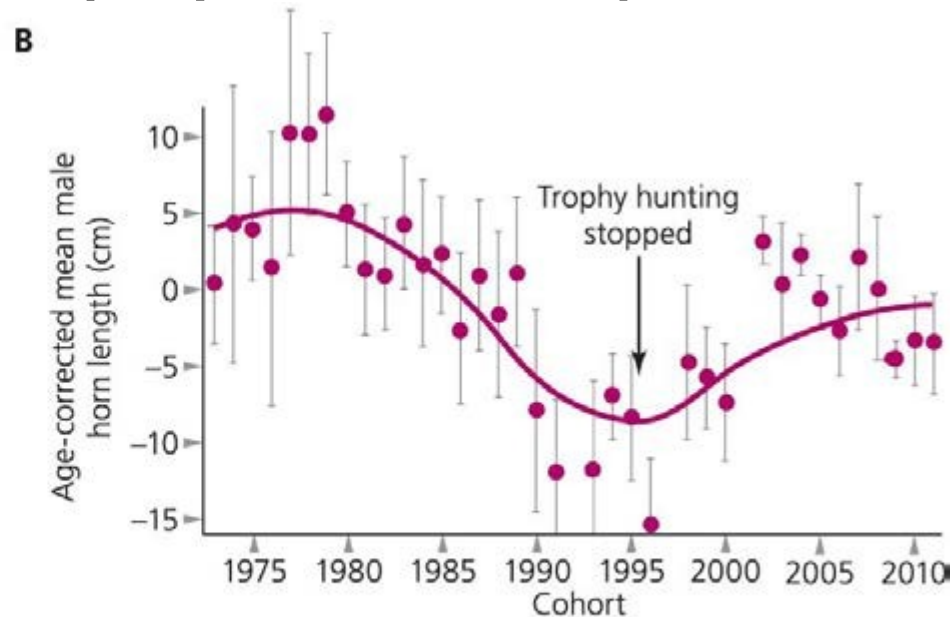
A, B: Nigel Cattlin / Alamy Stock Photo; C: Bill Barksdale / AGE Fotostock

The plants (A) ryegrass, (B) goosegrass, and (C) Palmer amaranth evolved mechanisms to overcome the glyphosate in Roundup. In ryegrass and goosegrass, an altered form of the EPSPS enzyme evolved. Palmer amaranth, on the other hand, produces more of the original form of EPSPS.

Η ιστορία του Bt

- Bt: τοξίνες που ελέγχονται από τα γονίδια *Cry* στο βακτήριο *Bacillus thuringiensis*
 - Καταστρέφουν το πεπτικό σύστημα των εντόμων
- Για δεκαετίες οι αγρότες ψεκάζουν με εντομοκτόνα Bt
 - Υπάρχουν και ΓΤ φυτά με το *Bt* γονίδιο
 - Το 2013 εμφανίστηκαν έντομα ανθεκτικά στο Bt
- Η λύση ήρθε με την εγκατάσταση “ζωνών χωρίς Bt” στις καλλιέργειες (περίπου το 20% της έκτασης στο καλαμπόκι και 50% στο βαμβάκι)
 - Τα έντομα που είναι ανθεκτικά στο Bt μειονεκτούν σε άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά ζωτικότητας και έχουν εξελικτικό μειονέκτημα στις ζώνες χωρίς Bt

Το κυνήγι σαν παράγων εξέλιξης



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

A: photo by J. T. Chapman / Shutterstock

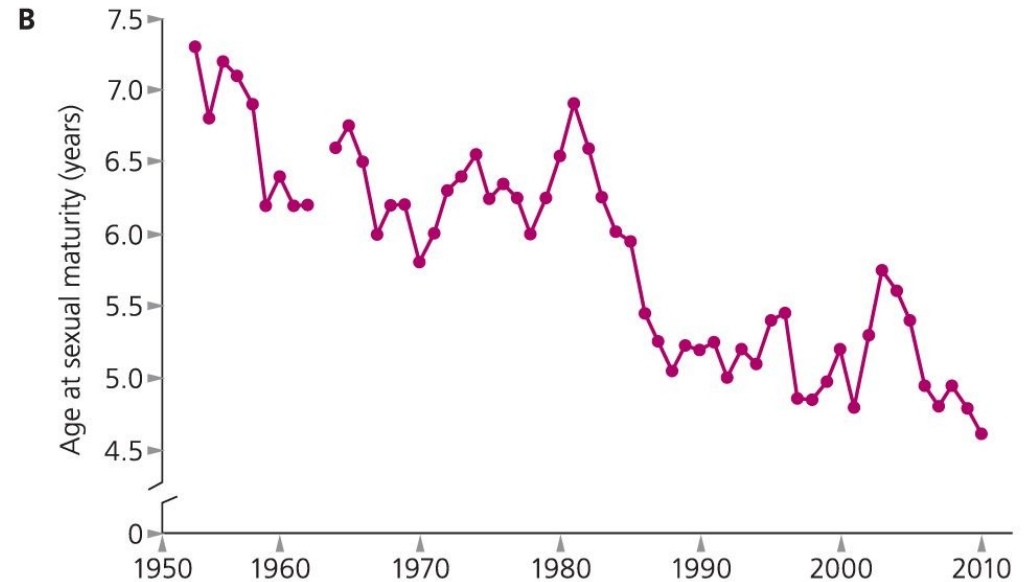
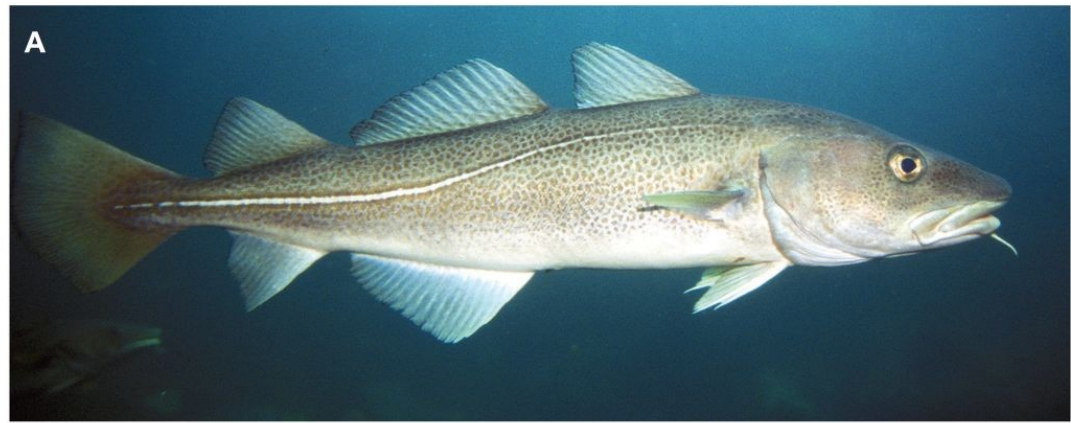
A: Το bighorn sheep (*Ovis canadensis*) υπέστησαν επιλογή από τους κυνηγούς που προτιμούσαν μεγάλα αρσενικά με μεγάλα κέρατα. B: Από το 1975 ως το 1996, αυτό οδήγησε στην εξέλιξη πιο μικρών κεράτων στο είδος. Το 1996 απαγορεύτηκε το κυνήγι τους και το μέγεθος των κεράτων άρχισε να επανέρχεται στα φυσιολογικά επίπεδα (Pigeon et al. 2016)

Η ιστορία του βακαλάου του Ατλαντικού

A: Ο βακαλάος του Ατλαντικού έχει υποστεί επιλογή μέσα από την αλίευση και έχει εξελιχτεί πλέον να έχει μικρότερο μέγεθος σώματος

B: Αυτό οδήγησε σε εξέλιξη ενός χαρακτήρα ζωής (life history trait): τα ψάρια σήμερα φτάνουν σε σεξουαλική ωρίμανση πολύ νωρίτερα από ότι παλαιότερα.

Kuparinen and Festa-Bianchet 2017



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

A: Juniors / Superstock, Inc.

Thank you

