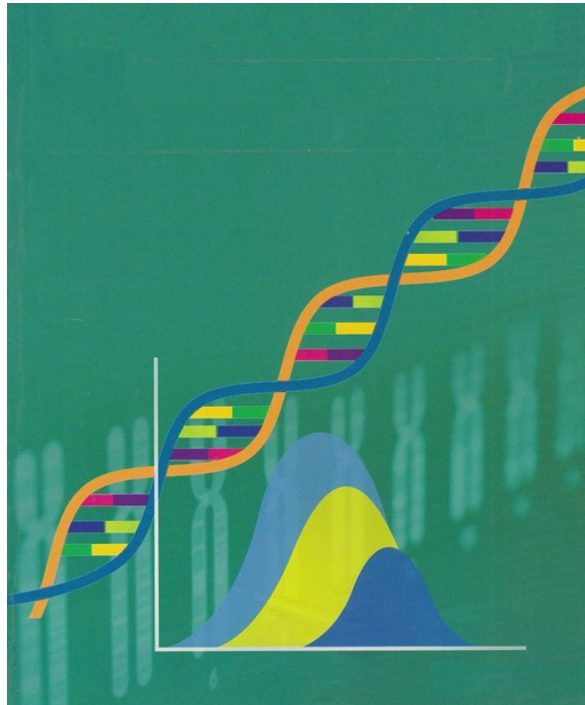


Πληθυσμιακή και Εξελικτική Γενετική

Η εξέλιξη των ποσοτικών γνωρισμάτων

Δυναμική εξέλιξης / Τύποι εξέλιξης / Ποσοτικοποίηση επιλογής



Μαργαρίτης Τσιφιντάρης

mtsifintaris@gmail.com / mtsifint@mbg.duth.gr

Η φύση των ποσοτικών γνωρισμάτων

Ποιοτικά γνωρίσματα	Ποσοτικά γνωρίσματα
Μία γονιδιακή θέση	Πολλές γονιδιακές θέσεις
Μικρή γενετική ποικιλότητα	Μεγάλη γενετική ποικιλότητα
Λίγοι διακριτοί γονότυποι & φαινότυποι	Φάσμα γονοτύπων & φαινοτύπων
Μικρή επίδραση από περιβάλλον	Μεγάλη επίδραση από περιβάλλον
Ασυνεχή	Συνεχή
Γενετική ποικιλότητα	Γενετική & περιβαλλοντική ποικιλότητα
Απλή κληρονομικότητα – αρκεί η παρατήρηση	Πολύπλοκη κληρονομικότητα – αναγκαία στατιστικά εργαλεία
Μεγάλη κληρονομικότητα και ανταπόκριση στην επιλογή	Μικρή κληρονομικότητα και ανταπόκριση στην επιλογή
Κληρονομούνται ανεξάρτητα	Γενετική σύνδεση

Leveraging molecular quantitative trait loci to understand the genetic architecture of diseases and complex traits

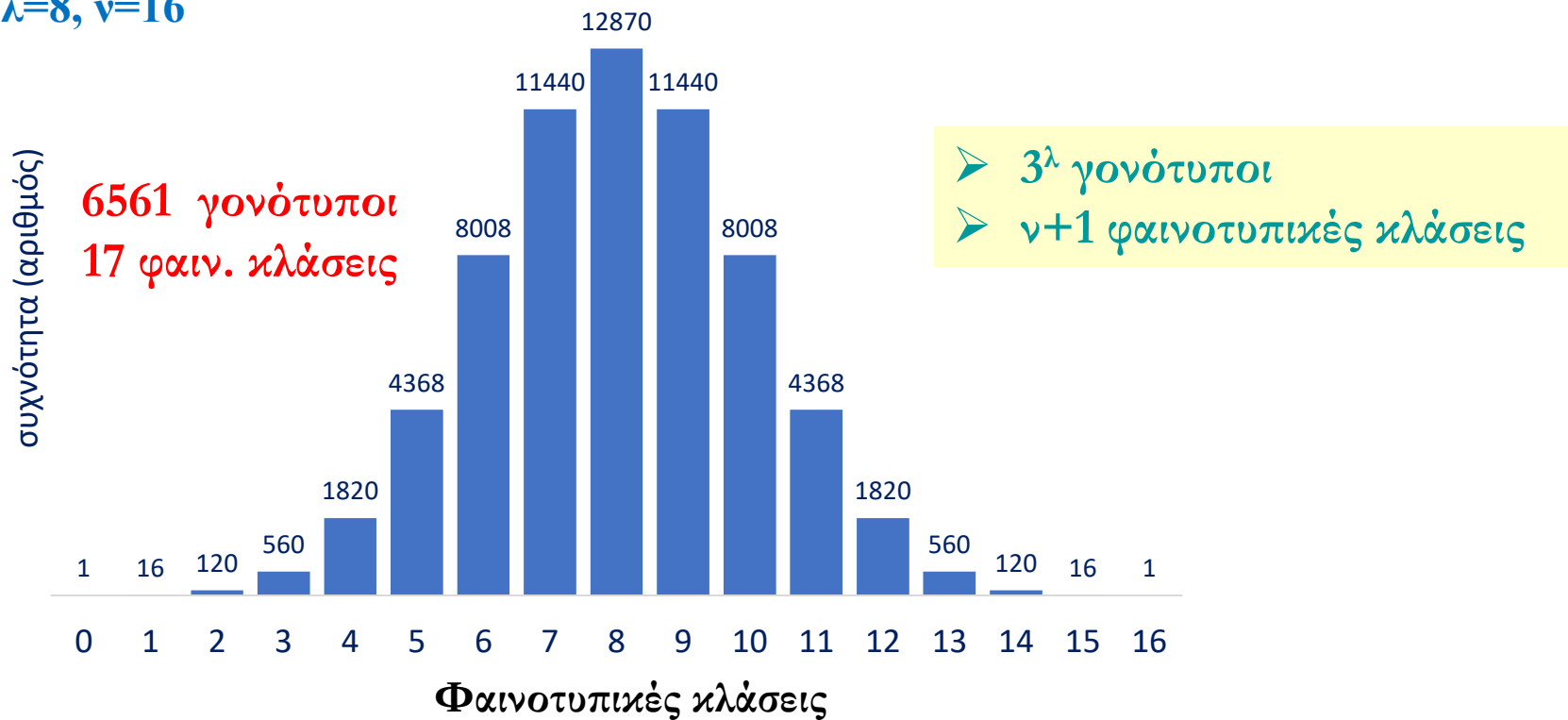
Farhad Hormozdiari ^{1,2*}, Steven Gazal ^{1,2}, Bryce van de Geijn^{1,2}, Hilary K. Finucane^{1,2}, Chelsea J.-T. Ju³, Po-Ru Loh ^{2,4}, Armin Schoech^{1,2}, Yakir Reshef^{1,2}, Xuanyao Liu^{1,2}, Luke O'Connor^{1,5}, Alexander Gusev ^{4,6}, Eleazar Eskin^{3,7} and Alkes L. Price ^{1,2*}

There is increasing evidence that many risk loci found using genome-wide association studies are molecular quantitative trait loci (QTLs). Here we introduce a new set of functional annotations based on causal posterior probabilities of fine-mapped molecular cis-QTLs, using data from the Genotype-Tissue Expression (GTEx) and BLUEPRINT consortia. We show that these annotations are more strongly enriched for heritability ($5.84\times$ for eQTLs; $P = 1.19 \times 10^{-31}$) across 41 diseases and complex traits than annotations containing all significant molecular QTLs ($1.80\times$ for expression (e)QTLs). eQTL annotations obtained by meta-analyzing all GTEx tissues generally performed best, whereas tissue-specific eQTL annotations produced stronger enrichments for blood- and brain-related diseases and traits. eQTL annotations restricted to loss-of-function intolerant genes were even more enriched for heritability ($17.06\times$; $P = 1.20 \times 10^{-35}$). All molecular QTLs except splicing QTLs remained significantly enriched in joint analysis, indicating that each of these annotations is uniquely informative for disease and complex trait architectures.

Η φύση των ποσοτικών γνωρισμάτων

Ποιοτικά γνωρίσματα	Ποσοτικά γνωρίσματα
Μία γονιδιακή θέση	Πολλές γονιδιακές θέσεις
Μικρή γενετική ποικιλότητα	Μεγάλη γενετική ποικιλότητα

$\lambda=8, v=16$



$\lambda = 8 \rightarrow$ αριθμός γονιδιακών θέσεων που επηρεάζουν το γνώρισμα

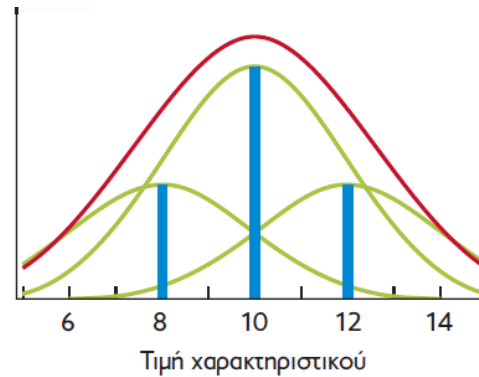
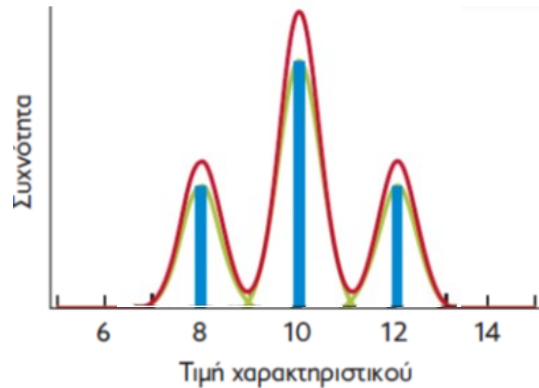
$v = 16 \rightarrow$ αριθμός αλληλόμορφων με συνολική επίδραση ($2 \times \lambda$, γιατί κάθε γονίδιο έχει 2 αλληλόμορφα)

Η φύση των ποσοτικών γνωρισμάτων

Ποιοτικά γνωρίσματα	Ποσοτικά γνωρίσματα
Μία γονιδιακή θέση	Πολλές γονιδιακές θέσεις
Μικρή γενετική ποικιλότητα	Μεγάλη γενετική ποικιλότητα
Λίγοι διακριτοί γονότυποι & φαινότυποι	Φάσμα γονοτύπων & φαινοτύπων
Μικρή επίδραση από περιβάλλον	Μεγάλη επίδραση από περιβάλλον
Ασυνεχή	Συνεχή

Συνδυασμός γενετικού με περιβαλλοντικό παράγοντα

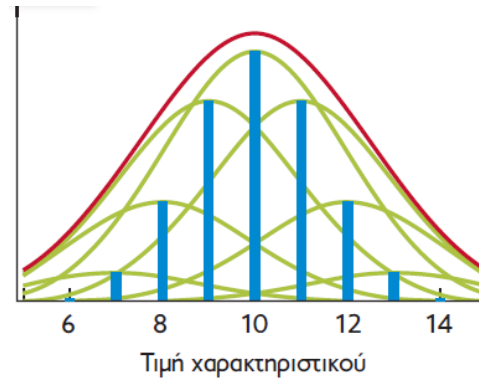
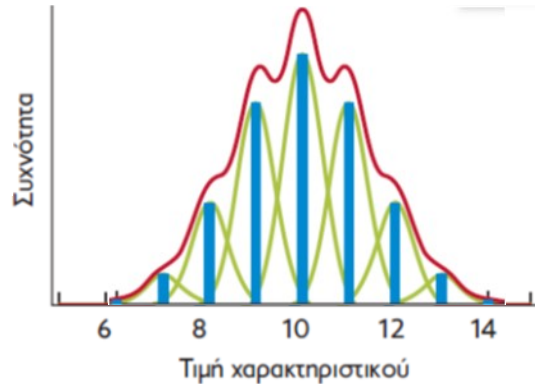
1 ΓΕΝΕΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ



Αριθμός γονιδιακών τόπων (λ)

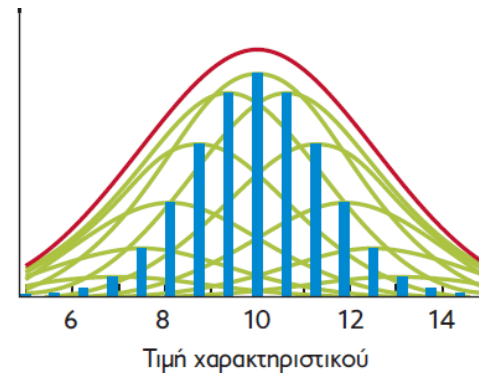
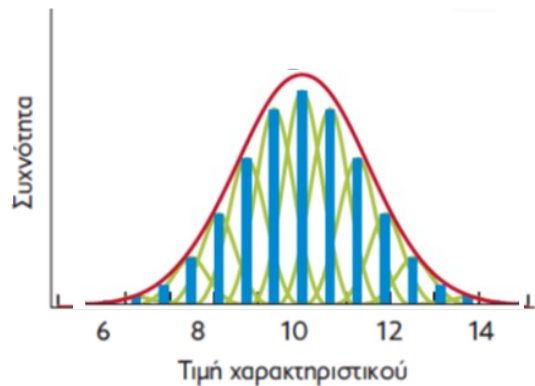
Αριθμός φαινοτυπικών κλάσεων: $2\lambda + 1$

3 ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ



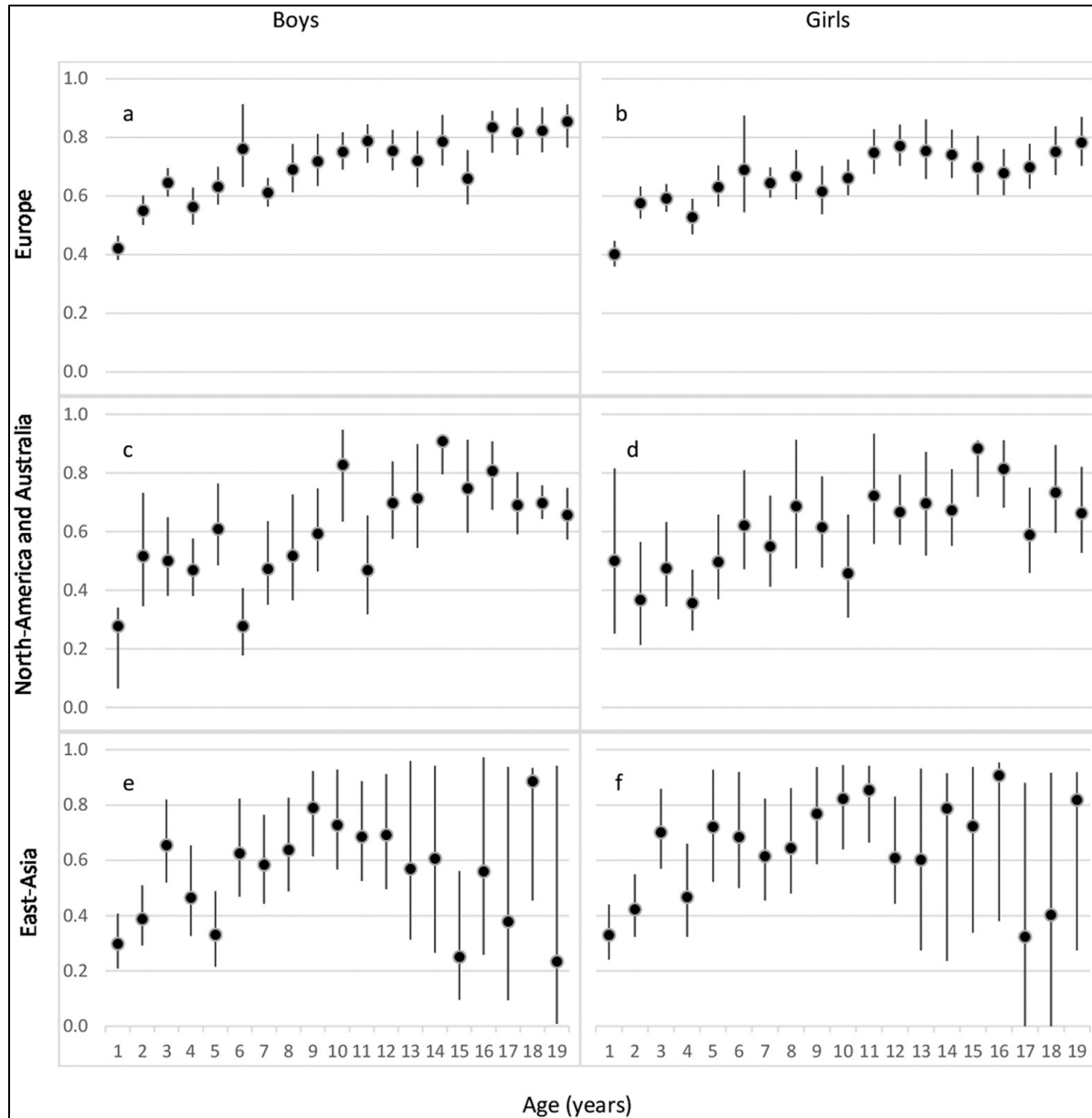
Με αύξηση του αριθμού των γενετικών τύπων που ελέγχουν το γνώρισμα ή/και της επίδρασης του περιβάλλοντος το γνώρισμα καθίσταται μια συνεχής μεταβλητή

6 ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ



Μεγαλύτερη περιβαλλοντική διακύμανση

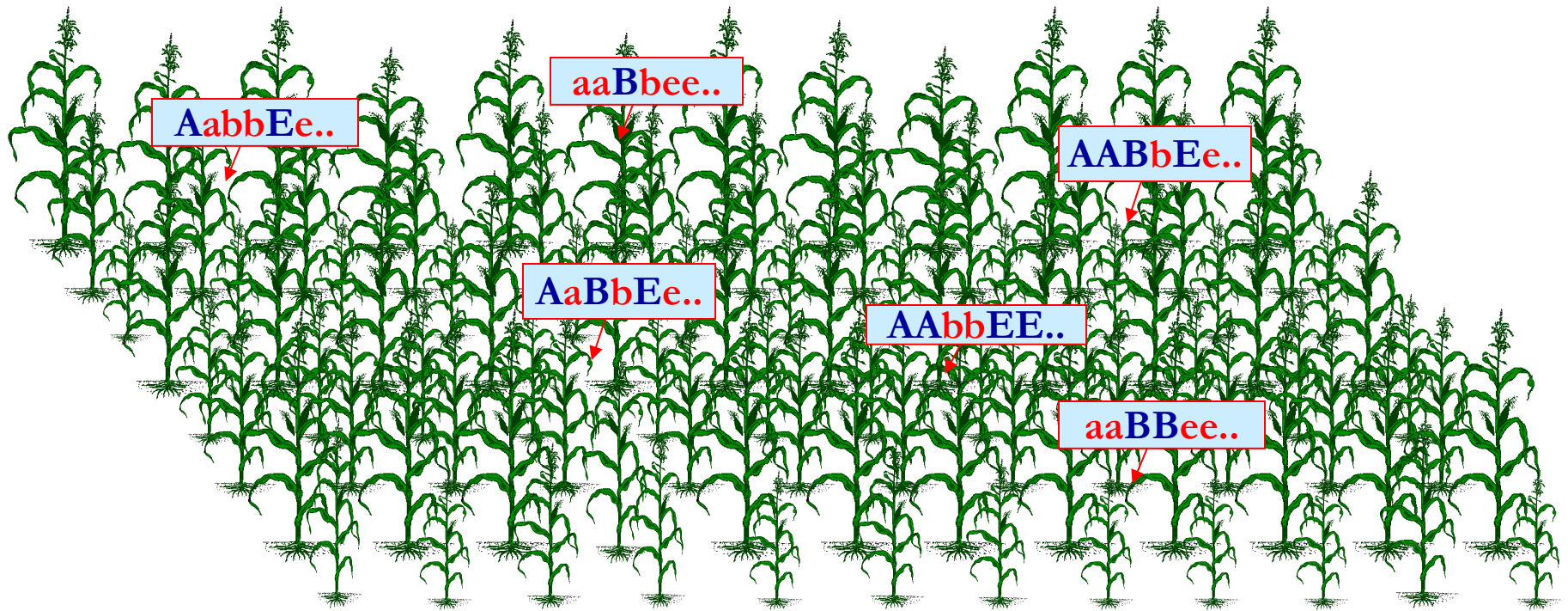
Proportion of height variation with 95% confidence intervals explained by additive genetic factors separately by age and sex in Europe (a,b), North America and Australia (c,d) and East Asia (e,f).



Jelenkovic, A., Sund, R., Hur, Y.M. et al. Genetic and environmental influences on height from infancy to early adulthood: An individual-based pooled analysis of 45 twin cohorts. *Sci Rep* 6, 28496 (2016).

Η φύση των ποσοτικών γνωρισμάτων

Ποιοτικά γνωρίσματα	Ποσοτικά γνωρίσματα
Μία γονιδιακή θέση	Πολλές γονιδιακές θέσεις
Μικρή γενετική ποικιλότητα	Μεγάλη γενετική ποικιλότητα
Λίγοι διακριτοί γονότυποι & φαινότυποι	Φάσμα γονοτύπων & φαινοτύπων
Μικρή επίδραση από περιβάλλον	Μεγάλη επίδραση από περιβάλλον
Ασυνεχή	Συνεχή
Γενετική ποικιλότητα	Γενετική & περιβαλλοντική ποικιλότητα



Ο αριθμός φαινοτύπων $>$ του αριθμού γονοτύπων

$$P = G + E$$

P η συνολική φαινοτυπική διακύμανση

G η γενετική διακύμανση

E η περιβαλλοντική διακύμανση

Η φύση των ποσοτικών γνωρισμάτων

Ποιοτικά γνωρίσματα	Ποσοτικά γνωρίσματα
Μία γονιδιακή θέση	Πολλές γονιδιακές θέσεις
Μικρή γενετική ποικιλότητα	Μεγάλη γενετική ποικιλότητα
Λίγοι διακριτοί γονότυποι & φαινότυποι	Φάσμα γονοτύπων & φαινοτύπων
Μικρή επίδραση από περιβάλλον	Μεγάλη επίδραση από περιβάλλον
Ασυνεχή	Συνεχή
Γενετική ποικιλότητα	Γενετική & περιβαλλοντική ποικιλότητα
Απλή κληρονομικότητα – αρκεί η παρατήρηση	Πολύπλοκη κληρονομικότητα – αναγκαία στατιστικά εργαλεία
Μεγάλη κληρονομικότητα και ανταπόκριση στην επιλογή	Μικρή κληρονομικότητα και ανταπόκριση στην επιλογή
Κληρονομούνται ανεξάρτητα	Γενετική σύνδεση

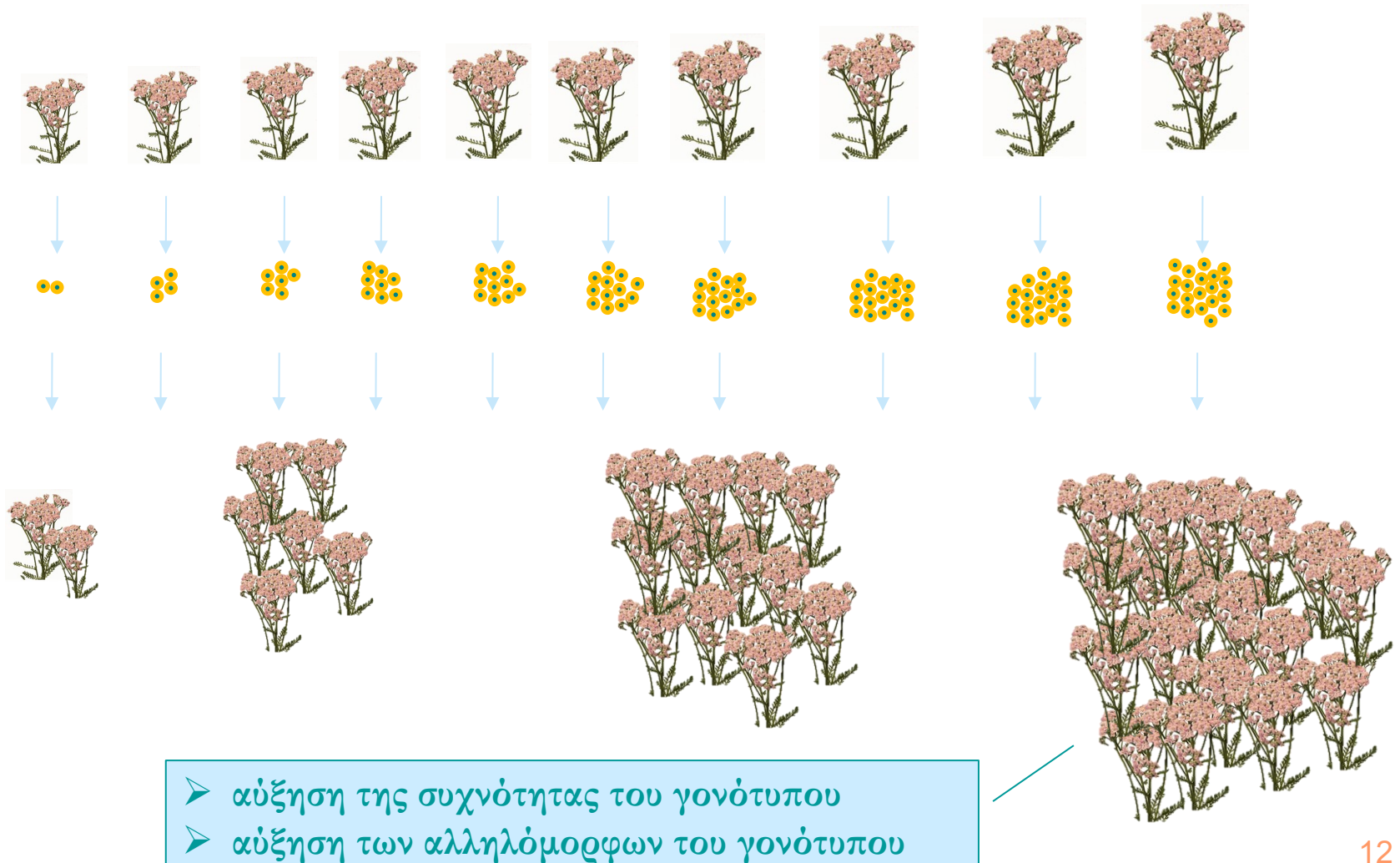
Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ & ΕΞΕΛΙΞΗΣ

- Η φυσική εξέλιξη για ένα γνώρισμα συνίσταται στη μεταβολή της μέσης φαινοτυπικής τιμής του πληθυσμού για το γνώρισμα αυτό
- Η εξέλιξη ενός πληθυσμού λόγω φυσικής επιλογής καθορίζεται από τη σχετική αναπαραγωγική ικανότητα (fitness / αρμοστικότητα) των γονοτύπων που τον συνιστά

Fitness (Αρμοστικότητα): Μέτρο του πόσο επιτυχημένος είναι ένας γονότυπος στη μεταβίβαση γονιδίων.

Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ & ΕΞΕΛΙΞΗΣ

Υψηλότερο fitness $\rightarrow$ η συχνότητά αυξάνεται



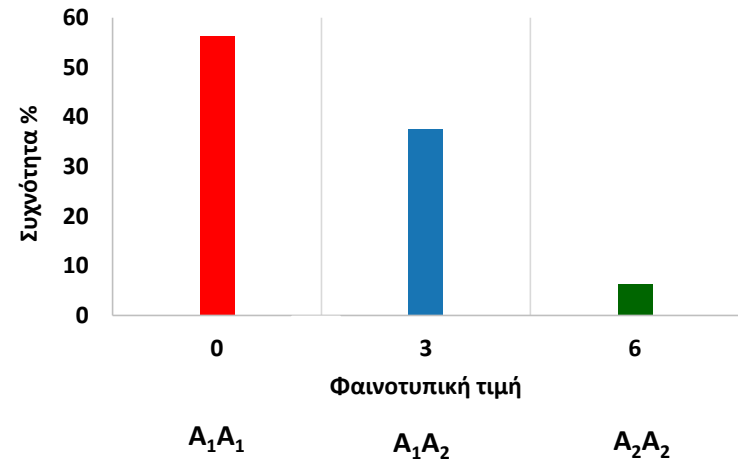
Η ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΩΝ ΠΟΣΟΤΙΚΩΝ ΓΝΩΡΙΣΜΑΤΩΝ

αλληλόμορφα	συχνότητα
A_1	$p = 0,75$
A_2	$q = 0,25$

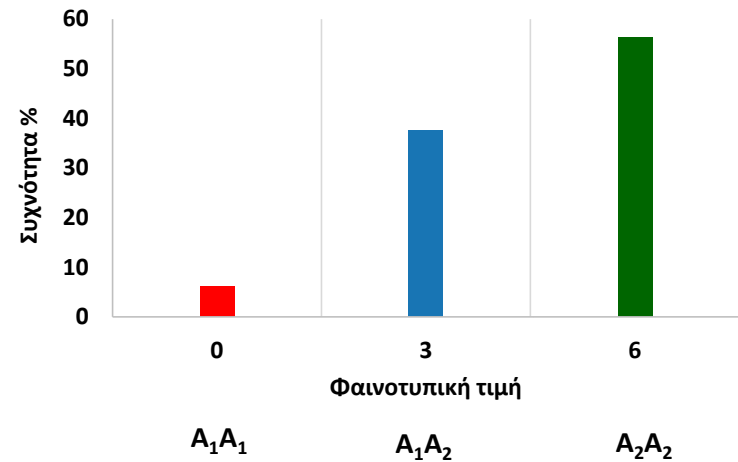
1 γενετικός τύπος ($\lambda=1$)

ε
π
ι
λ
ο
γ
ή

αλληλόμορφα	συχνότητα
A_1	$p = 0,25$
A_2	$q = 0,75$



εξέλιξη

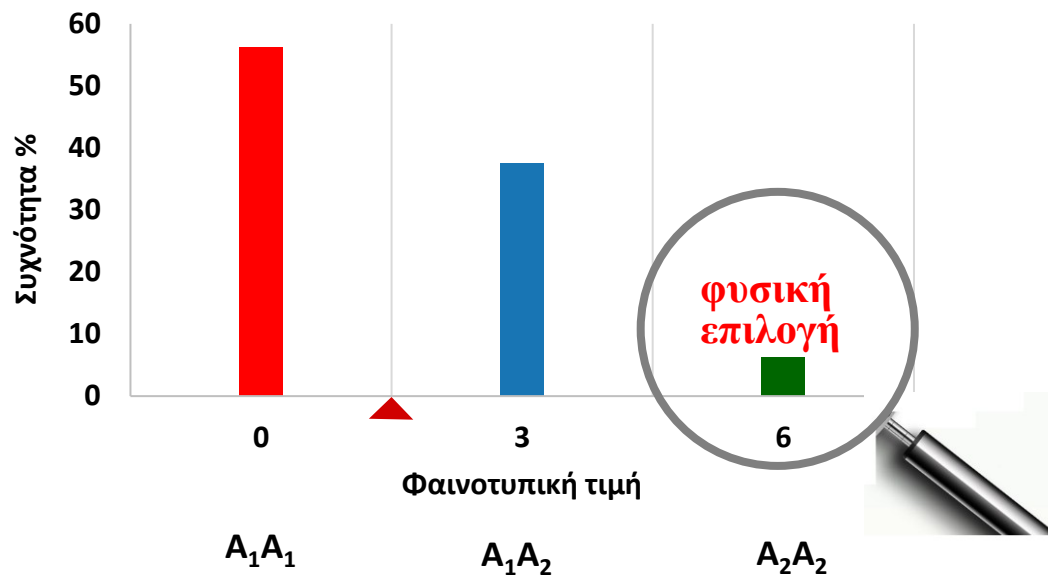


αλληλόμορφα	συχνότητα	φαιν. τιμή
A_1	$p = 0,75$	0
A_2	$q = 0,25$	3

Συμβολή = (Συχνότητα × Φαιν. Τιμή)

γονότυποι	συχνότητα%	φαιν. τιμή	συμβολή
$A_1 A_1$	56,25 (p^2)	0	0
$A_1 A_2$	37,5 ($2pq$)	3	1,125
$A_2 A_2$	6,25 (q^2)	6	0,375
Πληθυσμός			1,5

$$P = 0 + 1.125 + 0.375 = 1.5$$

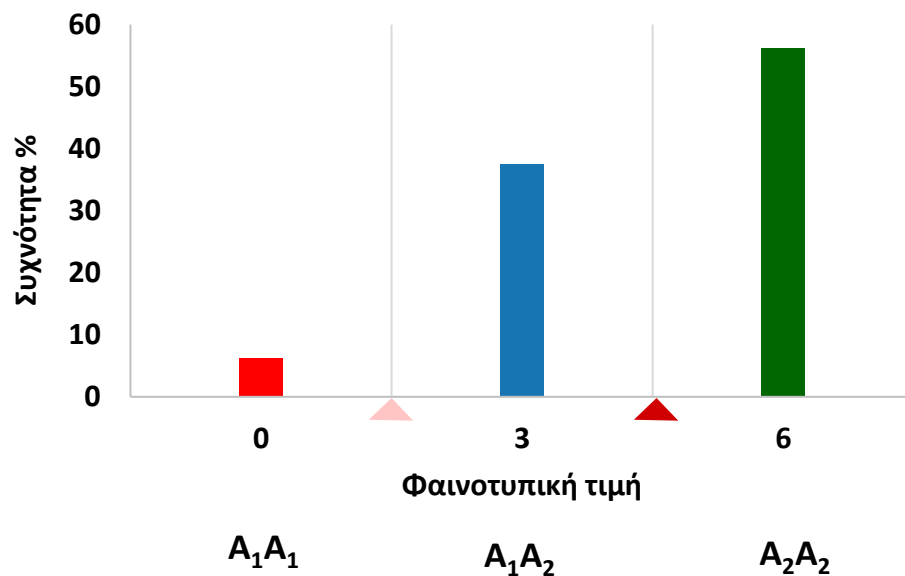


Η φυσική επιλογή
θα εστιάσει στον
ευνοϊκό γονότυπο
(περιλαμβάνει
μόνο επιθυμητά
αλληλόμορφα)

αλληλόμορφα	συχνότητα	φαιν. τιμή
A_1	$p = 0,25$	0
A_2	$q = 0,75$	3

Αύξηση της συχνότητας του ευνοϊκού αλληλόμορφου

γονότυποι	συχνότητα%	φαιν. τιμή	συμβολή
$A_1 A_1$	6,25 (p^2)	0	0
$A_1 A_2$	37,5 ($2pq$)	3	1,125
$A_2 A_2$	56,25 (q^2)	6	3,375
Πληθυσμός			4,5



αλληλόμορφα	συχνότητα
A_1	$p = 0,75$
A_2	$q = 0,25$

1 γενετικός τύπος ($\lambda=1$)

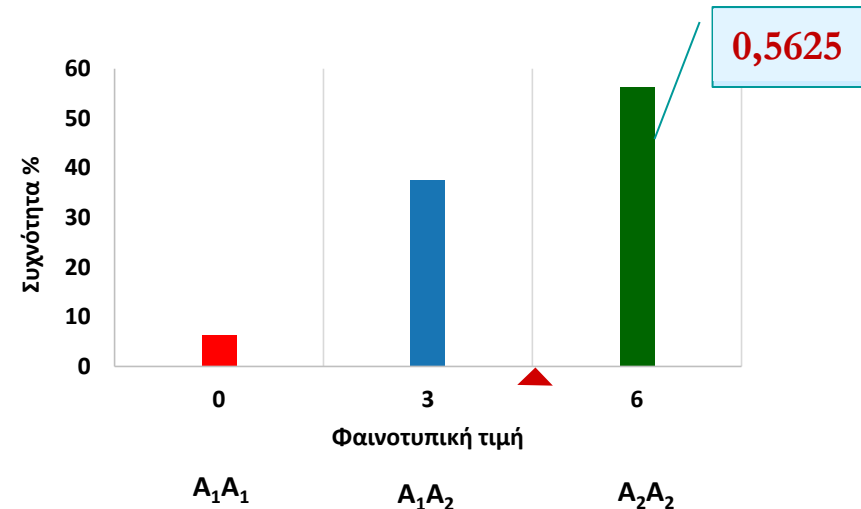
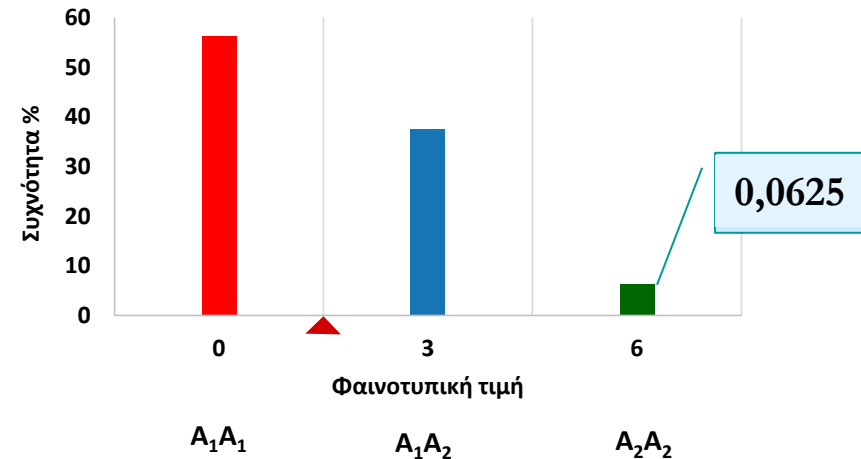
αλληλόμορφα	συχνότητα
A_1	$p = 0,25$
A_2	$q = 0,75$

Αύξηση της συχνότητας του
ευνοϊκού αλληλομόρφου
κατά 3 φορές



Αύξηση του ευνοϊκότερου
γονότυπου κατά 9 φορές

και τη μέση φαιν. τιμή στον πληθυσμό κατά 3 μον.

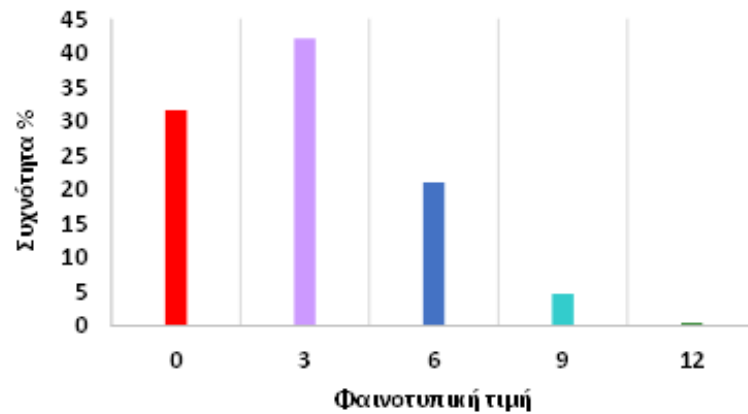


αλληλόμορφα		συχνότητα
A ₁	B ₁	p = 0,75
A ₂	B ₂	q = 0,25

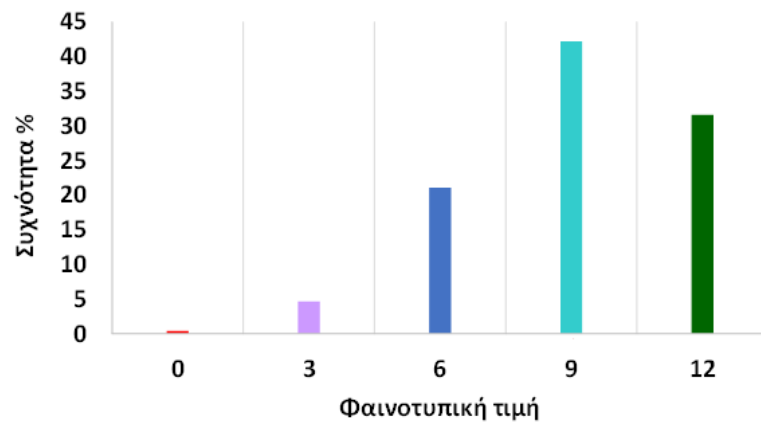
$$\lambda = 2$$

ε
π
ι
λ
ο
γ
ή

αλληλόμορφα		συχνότητα
A ₁	B ₁	p = 0,25
A ₂	B ₂	q = 0,75

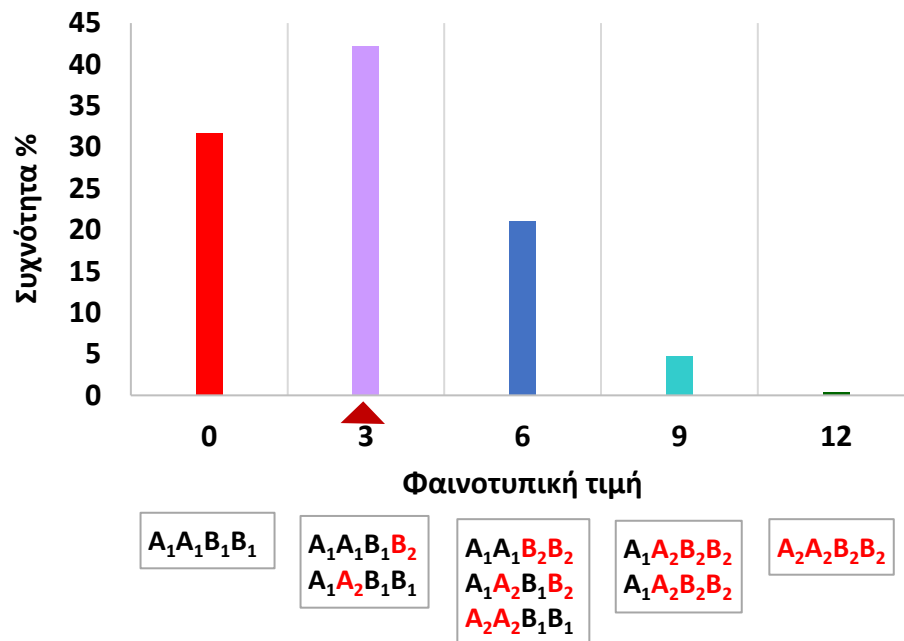


ε
ξ
έ
λ
ι
ξ
η



αλληλόμορφα		συχνότητα	φαιν. τιμή
A_1	B_1	$p = 0,75$	0
A_2	B_2	$q = 0,25$	3

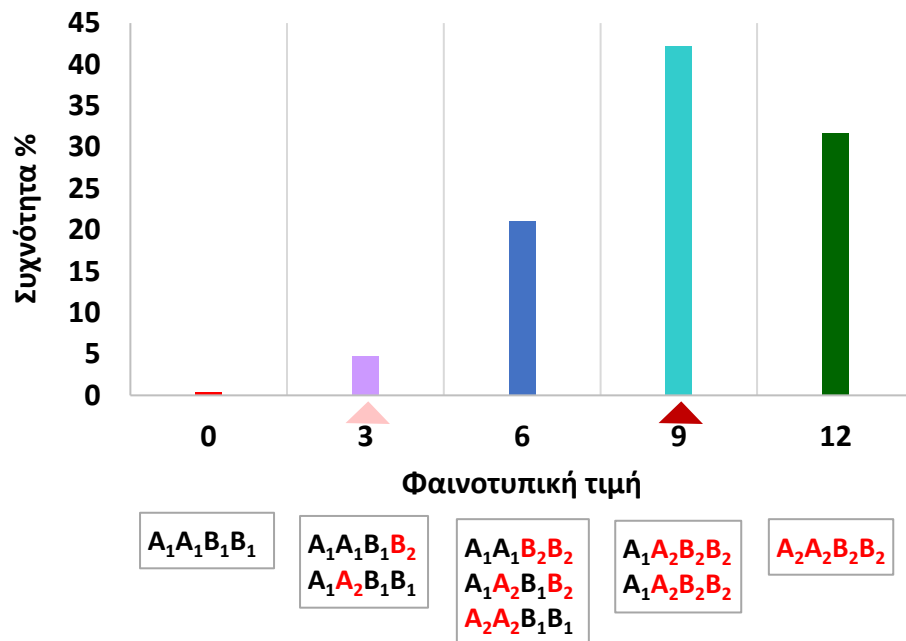
	γονότυποι	συχνότητα%	φαιν. τιμή	συμβολή
	$A_1A_1B_1B_1$	31,64 (p^4)	0	0
42,18	$A_1A_1B_1B_2$	21,09 ($2p^3q$)	3	0,63
	$A_1A_1B_2B_2$	3,52 (p^2q^2)	6	0,21
21,1	$A_1A_2B_1B_1$	21,09 ($2p^3q$)	3	0,63
	$A_1A_2B_1B_2$	14,06 ($4p^2q^2$)	6	0,84
	$A_1A_2B_2B_2$	2,34 ($2pq^3$)	9	0,21
4,68	$A_2A_2B_1B_1$	3,52 (p^2q^2)	6	0,21
	$A_2A_2B_1B_2$	2,34 ($2pq^3$)	9	0,21
	$A_2A_2B_2B_2$	0,39 (q^4)	12	0,05
	πληθυσμός			3



αλληλόμορφα		συχνότητα	φαιν. τιμή
A ₁	B ₁	p = 0,25	0
A ₂	B ₂	q = 0,75	3

Αύξηση της συχνότητας του ευνοϊκού αλληλόμορφου

γονότυποι	συχνότητα%	φαιν. τιμή	συμβολή
A ₁ A ₁ B ₁ B ₁	0,39 (p ⁴)	0	0
A ₁ A ₁ B ₁ B ₂	2,34 (2p ³ q)	3	0,07
A ₁ A ₁ B ₂ B ₂	3,52 (p ² q ²)	6	0,21
A ₁ A ₂ B ₁ B ₁	2,34 (2p ³ q)	3	0,07
A ₁ A ₂ B ₁ B ₂	14,06 (4p ² q ²)	6	0,84
A ₁ A ₂ B ₂ B ₂	21,09 (2pq ³)	9	1,90
A ₂ A ₂ B ₁ B ₁	3,52 (p ² q ²)	6	0,21
A ₂ A ₂ B ₁ B ₂	21,09 (2pq ³)	9	1,90
A ₂ A ₂ B ₂ B ₂	31,64 (q ⁴)	12	3,80
πληθυσμός			9

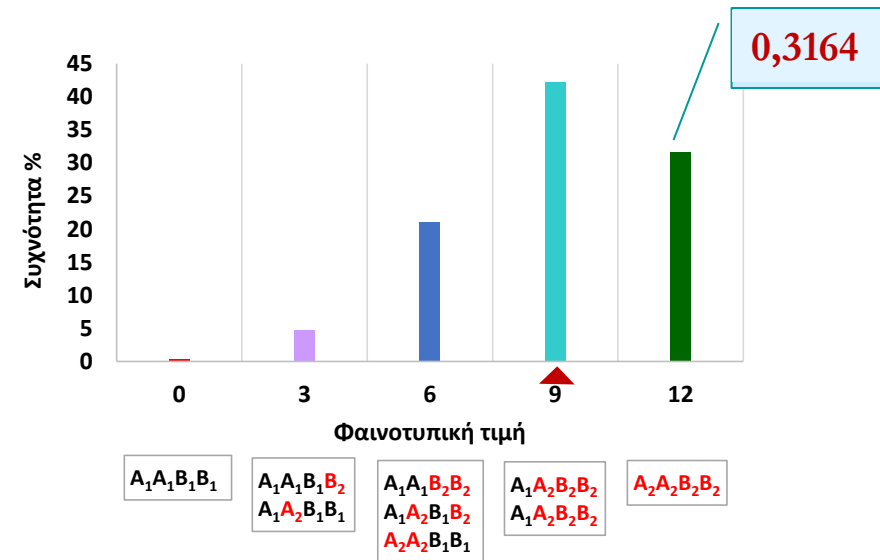
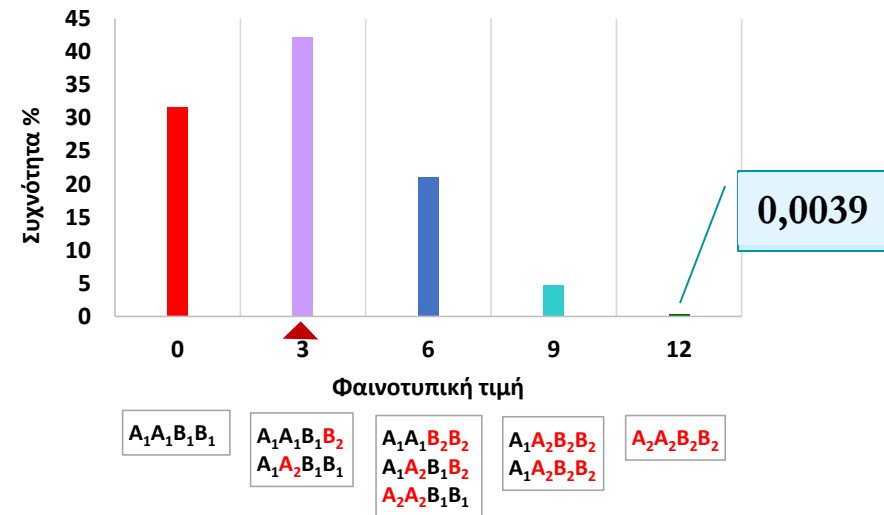


αλληλόμορφα		συχνότητα
A ₁	B ₁	p = 0,75
A ₂	B ₂	q = 0,25

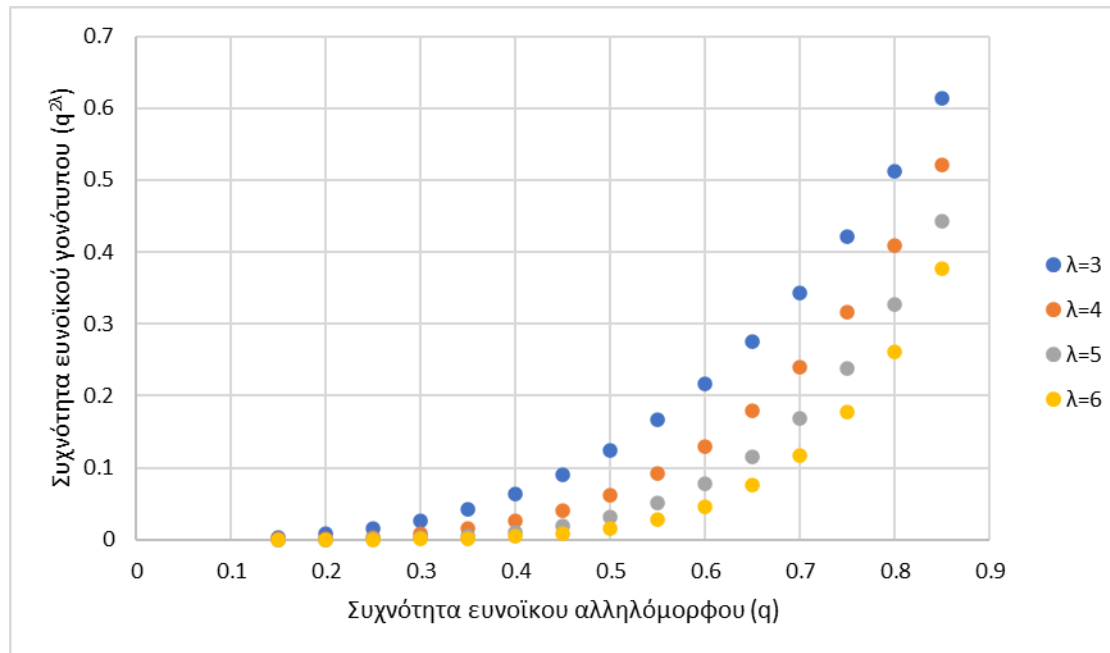
$$\lambda = 2$$

αλληλόμορφα		συχνότητα
A ₁	B ₁	p = 0,25
A ₂	B ₂	q = 0,75

αύξηση της συχνότητας των ευνοϊκών αλληλομόρφων κατά 3 φορές αυξάνει τον ευνοϊκότερο γονότυπου > 80 φορές και τη μέση φαιν. τιμή στον πληθυσμό κατά 6 μον.



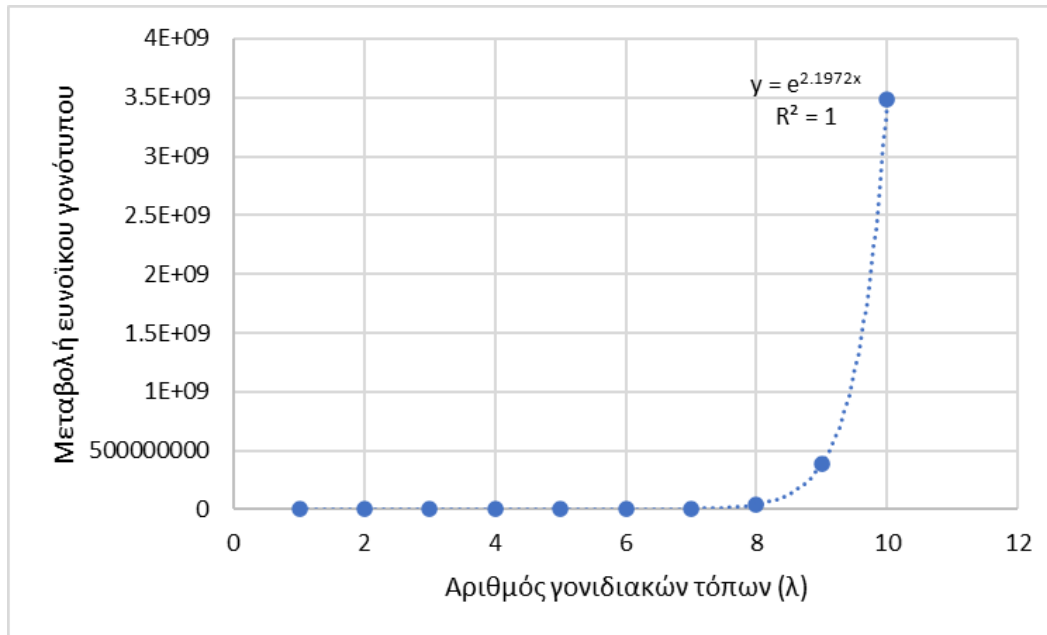
		ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΕΥΝΟΪΚΟΥ ΑΛΛΗΛΟΜΟΡΦΟΥ (q)														
	λ	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΥΝΟΪΚΟΥ ΓΟΝΟΤΥΠΟΥ (q ^{2λ})	λ=3	0.003375	0.008	0.015625	0.027	0.042875	0.064	0.091125	0.125	0.166375	0.216	0.274625	0.343	0.421875	0.512	0.614125
	λ=4	0.000506	0.0016	0.003906	0.0081	0.015006	0.0256	0.041006	0.0625	0.091506	0.1296	0.178506	0.2401	0.316406	0.4096	0.522006
	λ=5	7.59E-05	0.00032	0.000977	0.00243	0.005252	0.01024	0.018453	0.03125	0.050328	0.07776	0.116029	0.16807	0.237305	0.32768	0.443705
	λ=6	1.14E-05	0.000064	0.000244	0.000729	0.001838	0.004096	0.008304	0.015625	0.027681	0.046656	0.075419	0.117649	0.177979	0.262144	0.37715



Τα ποσοτικά γνωρίσματα μπορούν να εξελιχθούν δραστηκὰ μόνο με διαφοροποίηση της συχνότητας των αλληλομόρφων

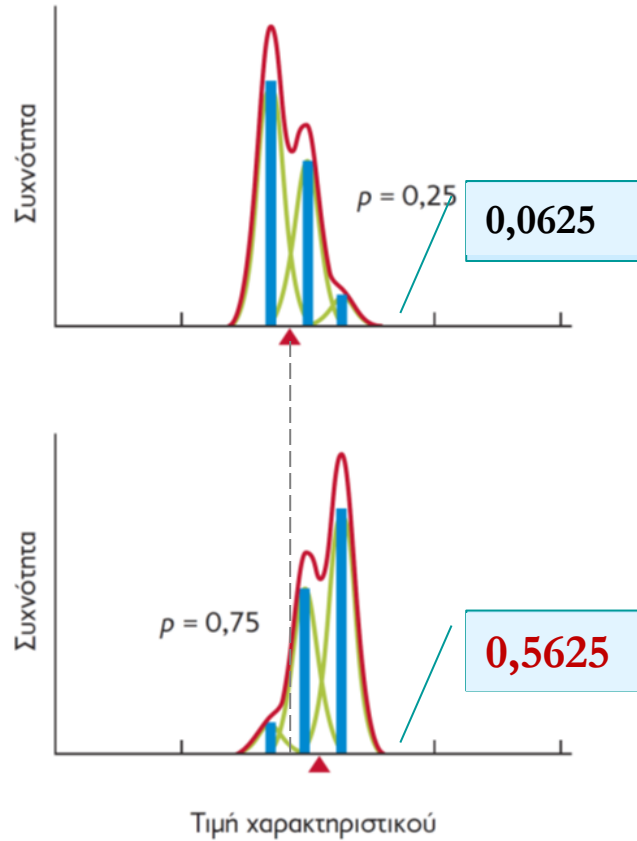
q: 0.25 → 0.75

	λ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2λ	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΥΝΟΪΚΟΥ ΓΟΝΟΤΥΠΟΥ	$0.25^{2\lambda}$ (ΑΡΧΙΚΗ)	0.0625	0.003906	0.000244	1.53E-05	9.54E-07	5.96E-08	3.73E-09	2.33E-10	1.46E-11	9.09E-13
	$0.75^{2\lambda}$ (ΤΕΛΙΚΗ)	0.5625	0.316406	0.177979	0.100113	0.056314	0.031676	0.017818	0.010023	0.005638	0.003171
	ΜΕΤΑΒΟΛΗ (ΤΕΛ/ΑΡΧ)	9	81	729	6561	59049	531441	4782969	43046721	3.87E+08	3.49E+09

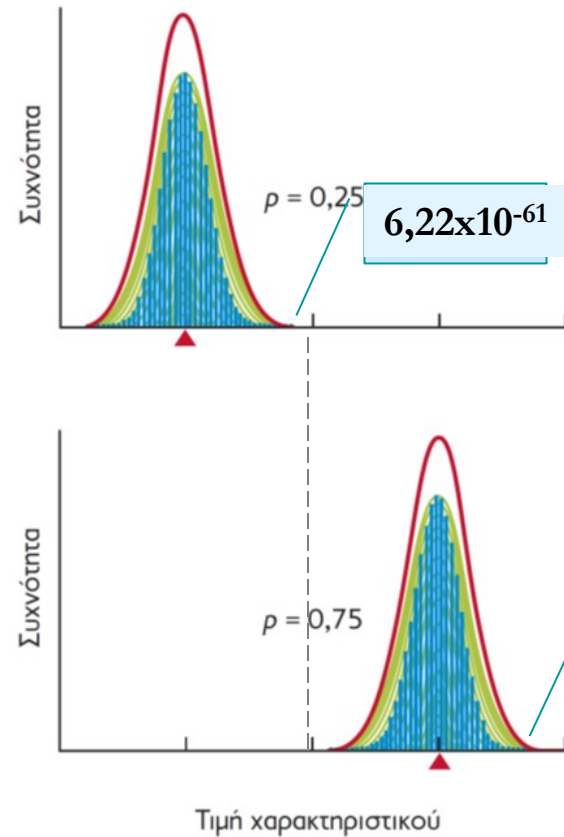


Τα ποσοτικά γνωρίσματα μπορούν να εξελιχθούν δραστηκά μόνο με διαφοροποίηση της συχνότητας των αλληλομόρφων

(A) 1 γενετικός τόπος



(B) 50 γενετικοί τόποι

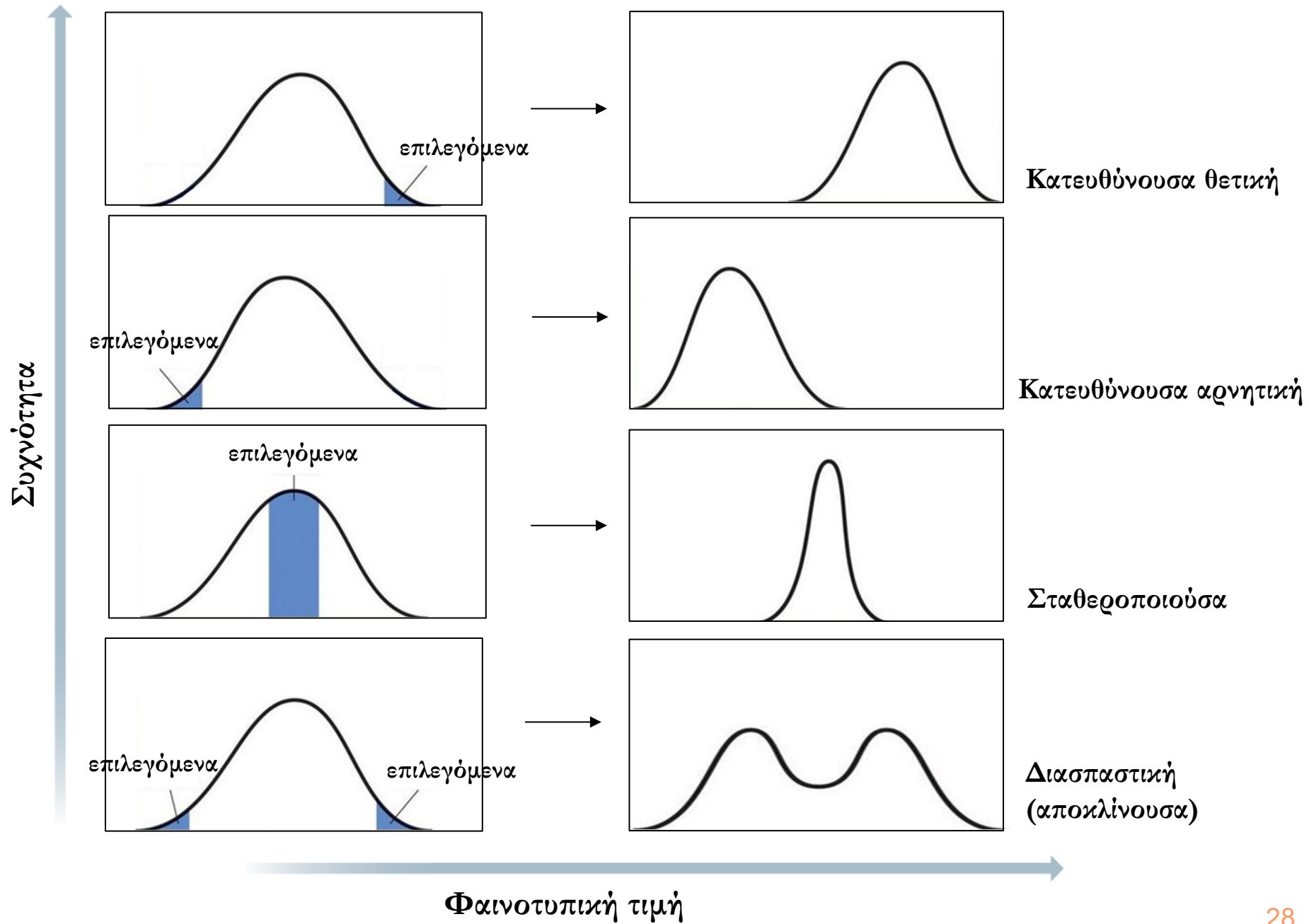


αύξηση της
συχνότητας του
ευνοϊκότερου
γονότυπου κατά
 $5,15 \times 10^{47}$ φορές και
αύξηση της μέσης
φαιν. τιμής σε
βαθμό που οι δυο
κατανομές δεν
επικαλύπτονται

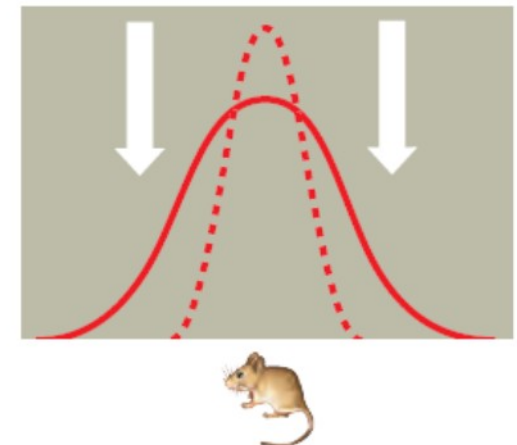
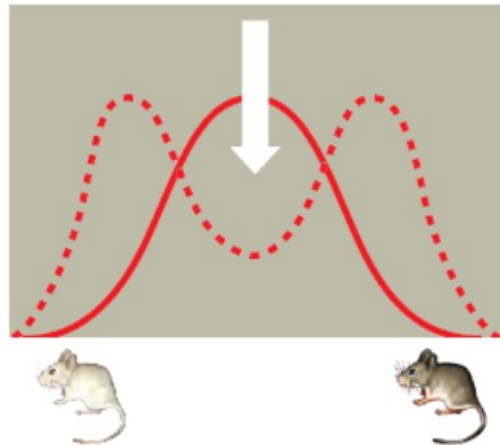
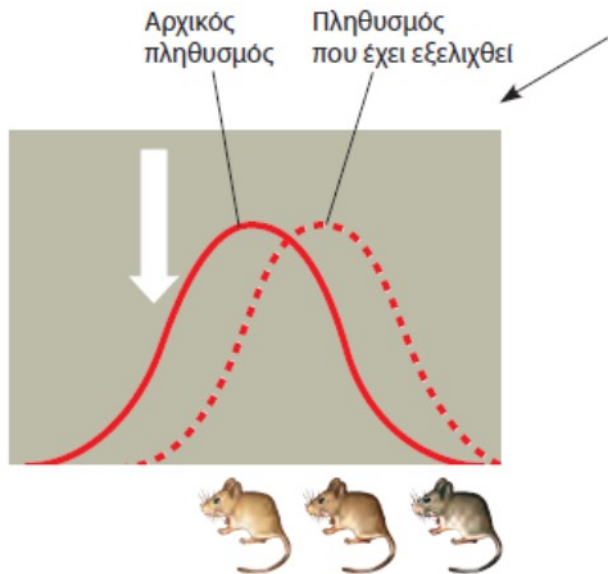
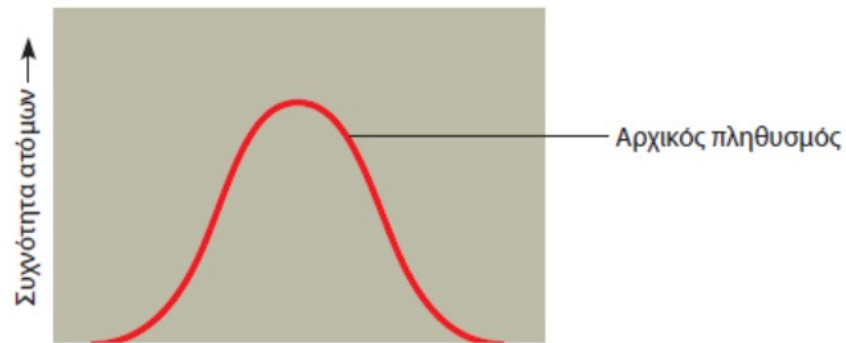
Τα ποσοτικά γνωρίσματα μπορούν να εξελιχθούν δραστηρικά
μόνο με διαφοροποίηση της συχνότητας των αλληλομόρφων

ΤΥΠΟΙ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΑΡΜΟΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

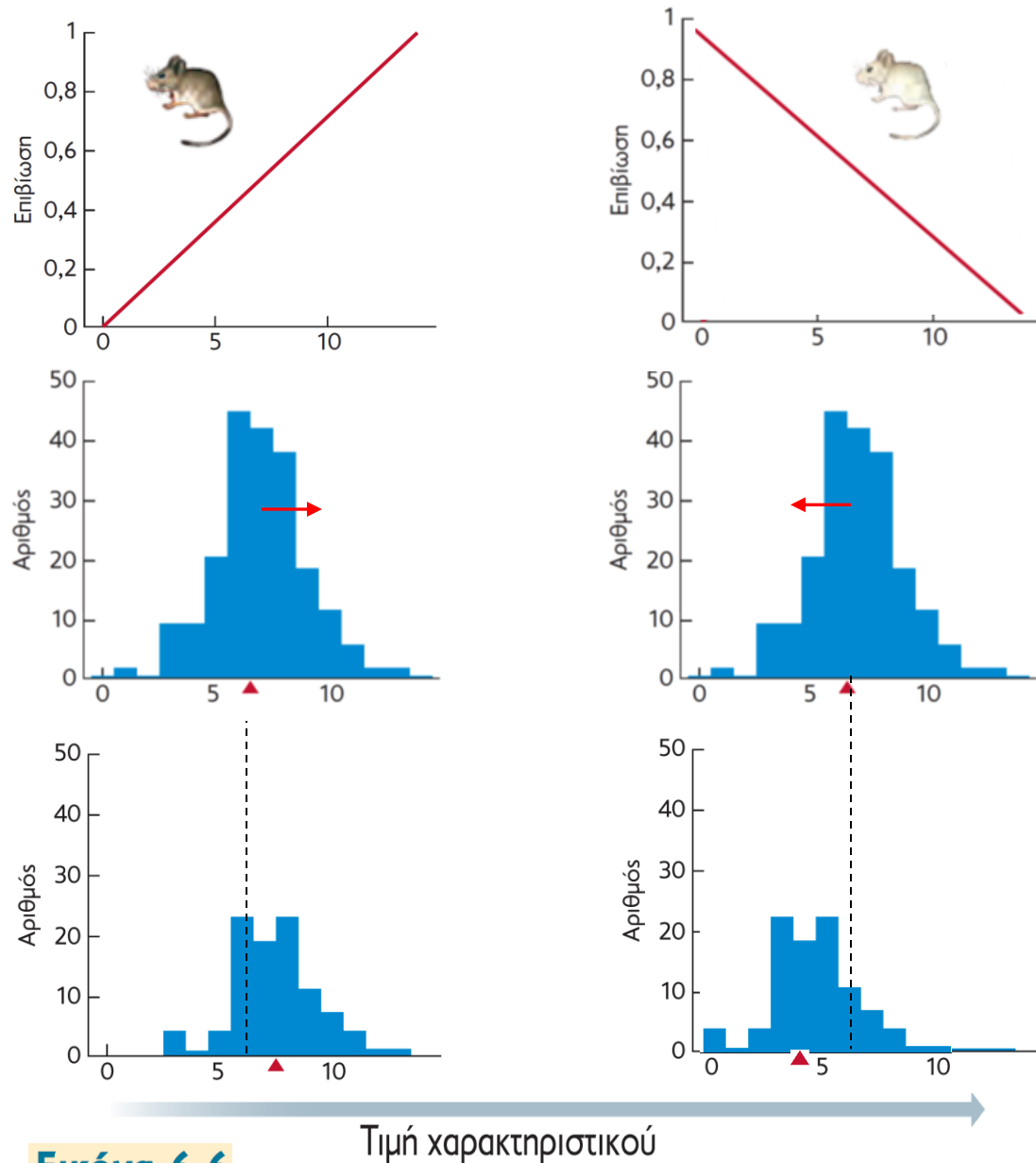
- Κατευθύνουσα (Directional)
- Σταθεροποιούσα (Stabilizing)
- Διασπαστική (Disruptive / Divergent)



Αρμοστικότητα: Η
«σχετική αναπαραγωγική
ικανότητα»



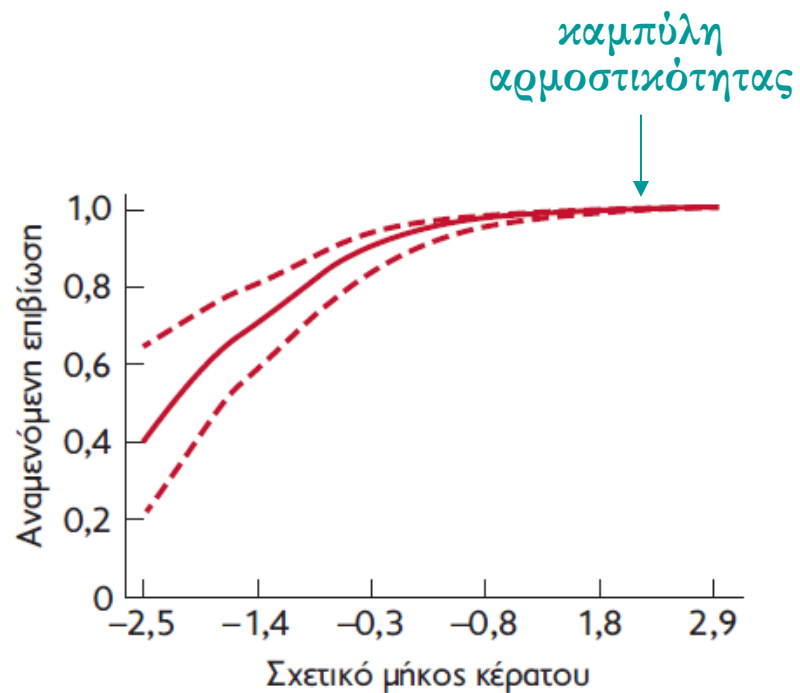
(A) Κατεύθυνουσα



Στην καμπύλη αρμοστικότητας οι συχνότητες των ακραίων τιμών αυξάνονται προς την κατεύθυνση επιλογής και μειώνονται προς την αντίθετη κατεύθυνση

Εικόνα 6.6

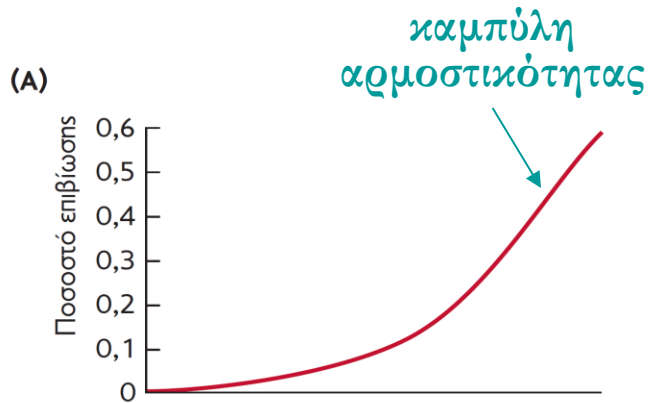
ΚΑΤΕΥΘΥΝΟΥΣΑ ΕΠΙΛΟΓΗ



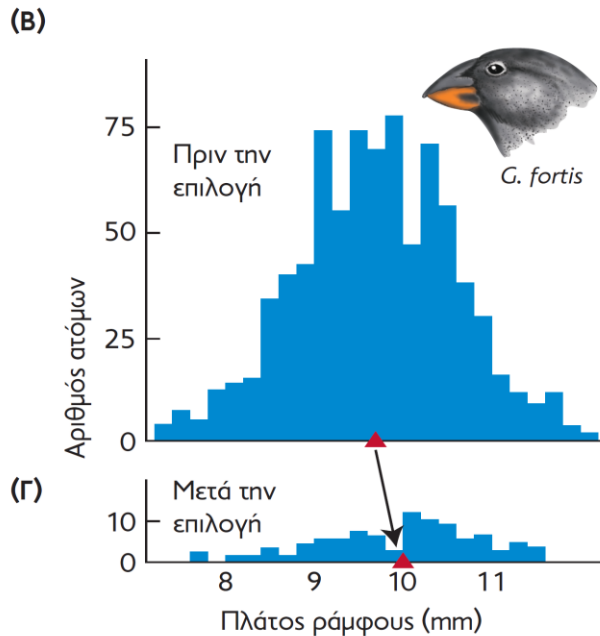
Εικόνα 6.5

Η αύξηση του μήκους του κέρατου στη σαύρα (*Phrynosoma mcalli*) συνδέεται με μεγαλύτερη επιβίωση έναντι του θηρευτή (*Lanius ludovicianus*). Η συνάρτηση αρμοστικότητας καταλήγει σε βέλτιστο φαινότυπο και σταθεροποιείται.

ΚΑΤΕΥΘΥΝΟΥΣΑ ΕΠΙΛΟΓΗ



Το αυξημένο πλάτος του ράμφους στους σποροφάγους σπίνους των Galápagos (*Geospiza fortis*) συνδέεται με μεγαλύτερο ποσοστό επιβίωσης σε χρονιά με ξηρασία



Συνάρτηση αρμοστικότητας που προέκυψε από δεδομένα της ίδιας γενεάς

Το ενδεχόμενο εξέλιξης εξαρτάται από τη διαχρονική πίεση του κρίσιμου περιβαλλοντικού παράγοντα

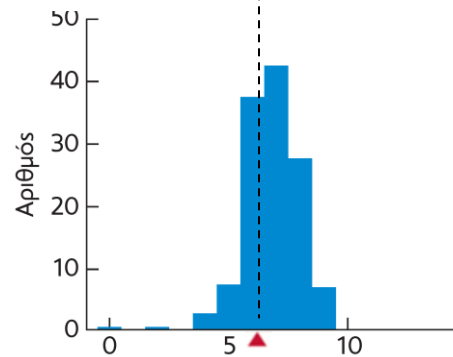
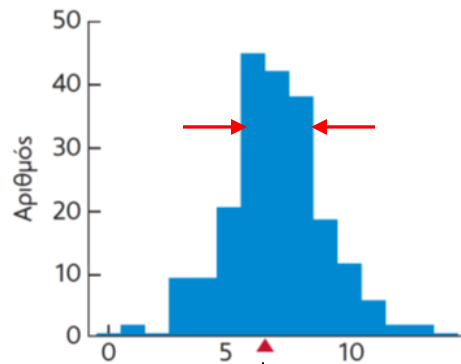
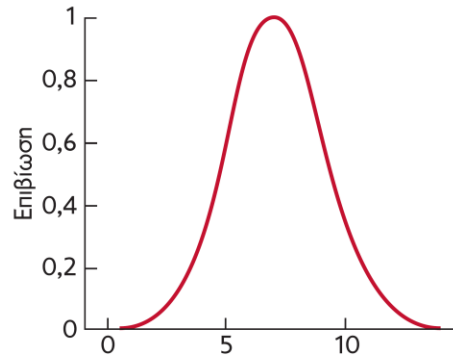
Εικόνα 6.7

ΚΑΤΕΥΘΥΝΟΥΣΑ ΕΠΙΛΟΓΗ



Ανάγκη προσαρμογής του σιταριού σε ισχυρούς ανέμους και κατακρημνίσεις που το πλαγιάζουν κατευθύνει την επιλογή προς χαμηλότερα ύψη

(B) Σταθεροποιούσα

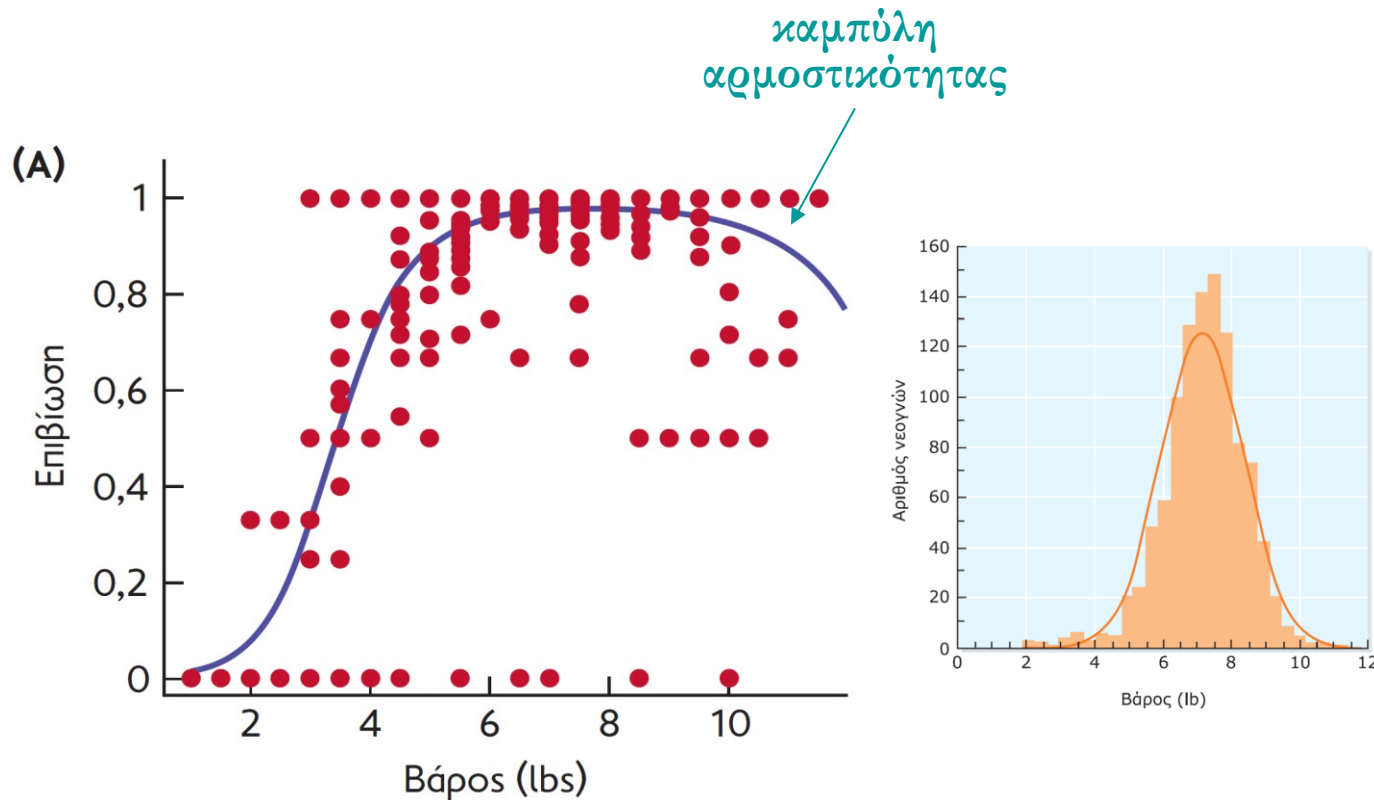


Η καμπύλη
αρμοστικότητας
είναι φθίνουσα προς
ακραίες τιμές δύο
κατευθύνσεων και
αυξάνονται οι
συχνότητες στις
ενδιάμεσες τιμές

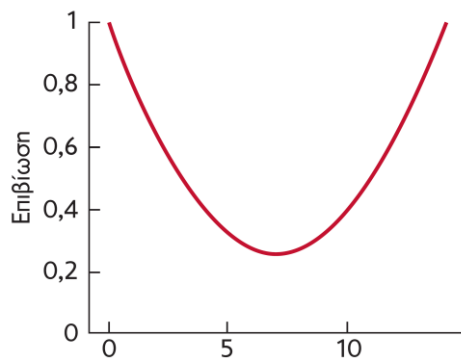
Εικόνα 6.6

Τιμή χαρακτηριστικού

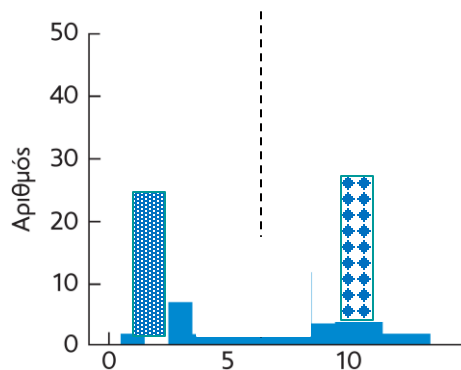
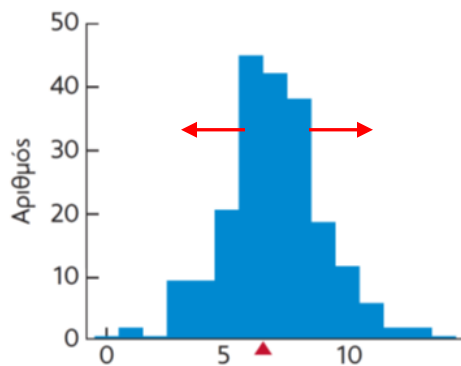
ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΟΥΣΑ ΕΠΙΛΟΓΗ



Κατά τη γέννηση, τα μωρά με πολύ μικρότερο ή πολύ μεγαλύτερο βάρος έχουν μειωμένη πιθανότητα επιβίωσης. Η συνάρτηση αρμοστικότητας δείχνει ενδιάμεσους φαινότυπους ως βέλτιστους.



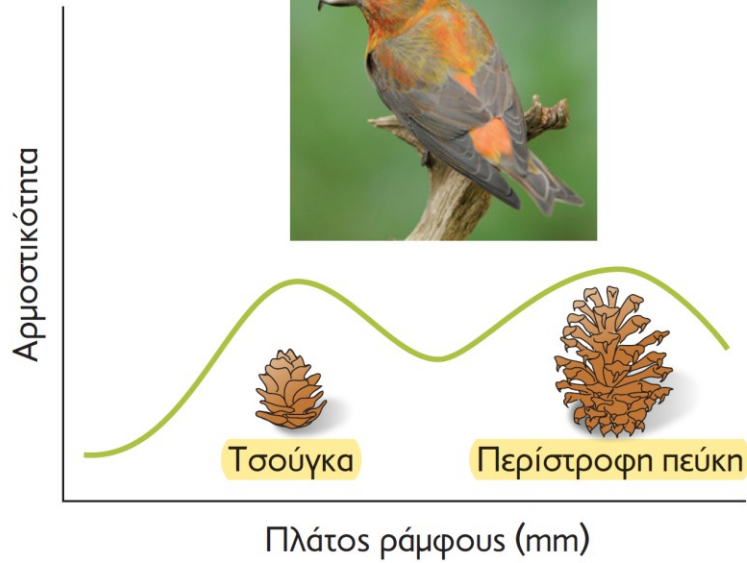
Η καμπύλη αρμοστικότητας είναι φθίνουσα στις μέσες τιμές και αυξάνονται οι συχνότητες προς τις ακραίες τιμές



Η αναστολή ανταλλαγής γονιδίων μεταξύ των αποκλινόντων πληθυσμών μπορεί να οδηγήσει σε ΝΕΑ ΕΙΔΗ

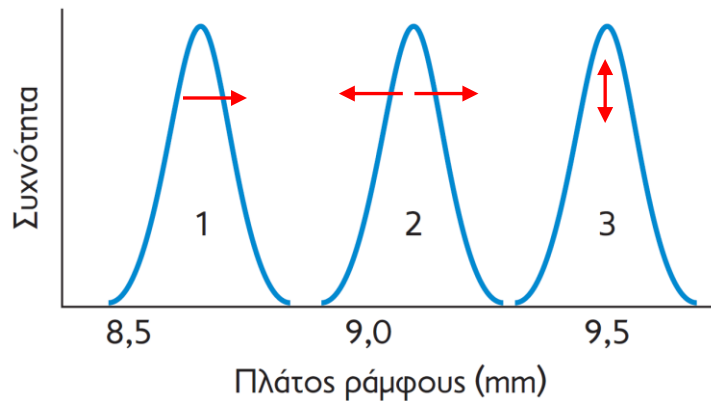
Τιμή χαρακτηριστικού

(A)



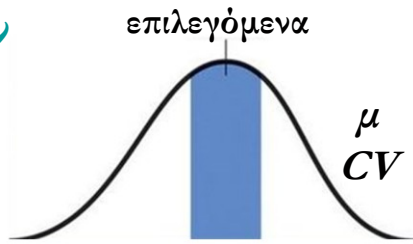
Ο σταυρομύκης (*Loxia curvirostra*) ειδικεύεται στην εξαγωγή σπερμάτων από κώνους κωνοφόρων και η συνάρτηση αρμοστικότητας εμφανίζει πολλαπλές κορυφές.

(B)



Με βάση την καμπύλη αρμοστικότητας (A), τρεις υποθετικοί πληθυσμοί θα επιδιώξουν επιλογή (1) κατευθύνουσα, (2) διασπαστική και (3) σταθεροποιητική

πληθυσμός πριν
την επιλογή



πληθυσμός μετά
την επιλογή



$\mu' = \mu$
 $CV' < CV$ } Σταθεροποιούσα

Συντελεστής παραλλακτικότητας (CV): $CV = \sigma / \mu$

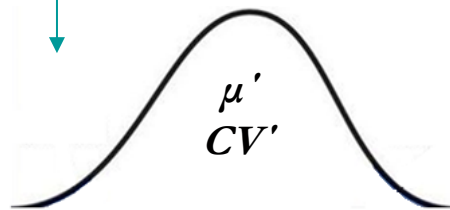
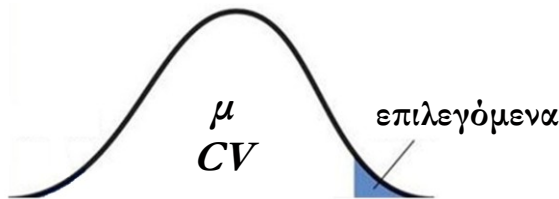
Μέση τιμή (μ): $\mu = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$

Διακύμανση (σ^2):

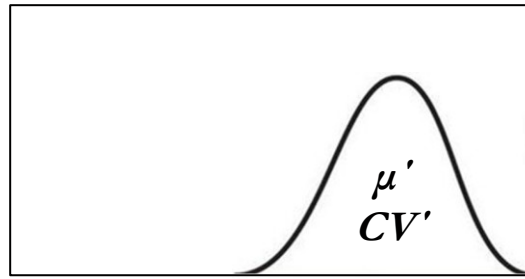
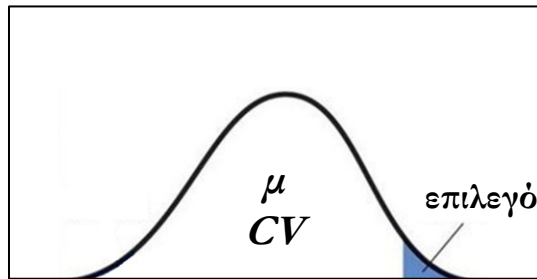
$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \mu)^2}{n - 1} = \frac{(x_1 - \mu)^2 + (x_2 - \mu)^2 + \dots + (x_n - \mu)^2}{n - 1}$$

Τυπική απόκλιση (σ): $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$

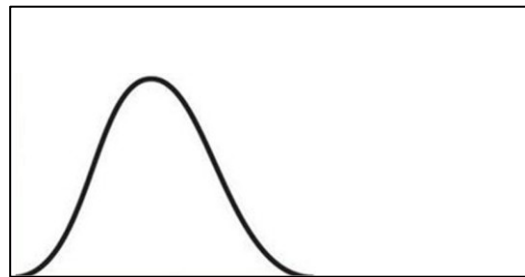
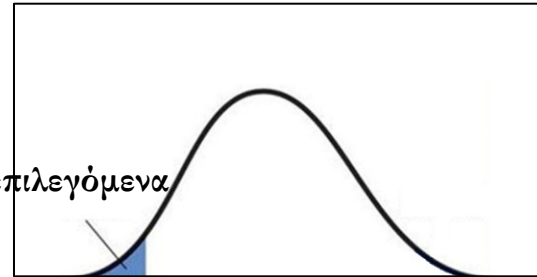
Μικρό $CV \rightarrow$ Τα άτομα είναι πολύ όμοια φαινοτυπικά
Μεγάλο $CV \rightarrow$ Τα άτομα διαφέρουν πολύ μεταξύ τους



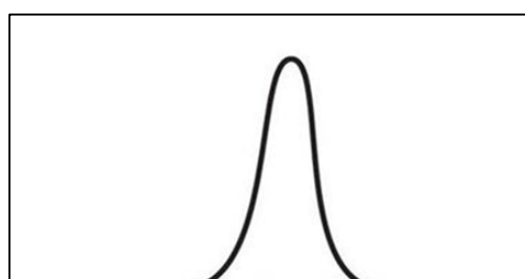
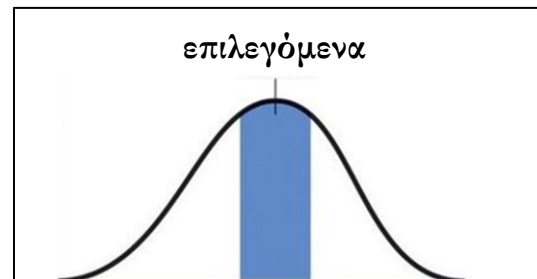
$\mu' > \mu$
 $CV' \approx CV$ } Κατευθύνουσα



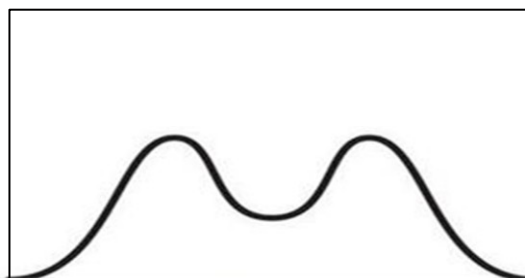
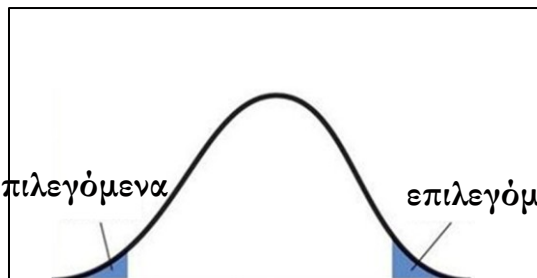
$\mu' > \mu$
 $CV' \approx CV$
Κατευθύνουσα θετική



$\mu' < \mu$
 $CV' \approx CV$
Κατευθύνουσα αρνητική



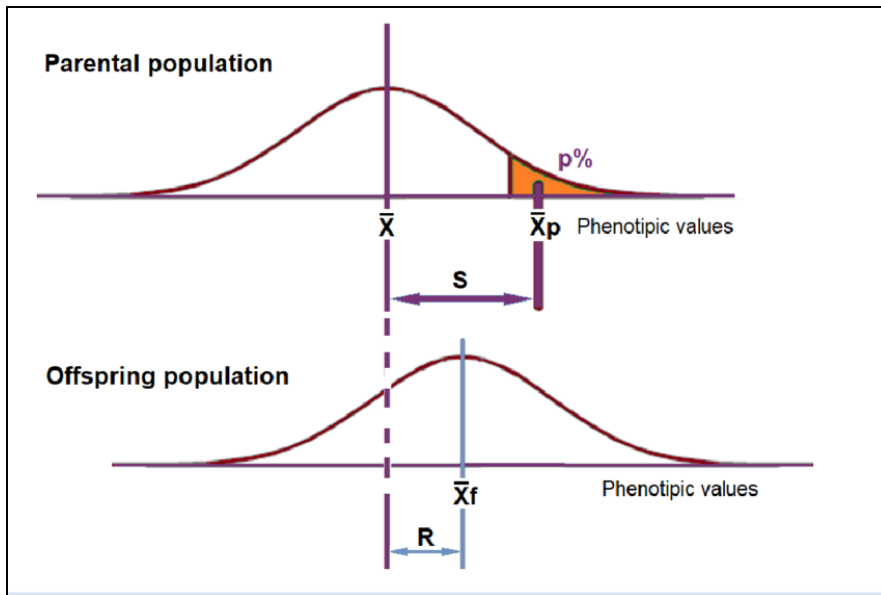
$\mu' = \mu$
 $CV' < CV$
Σταθεροποιούσα



$\mu' \neq \mu$
 $CV' \neq CV$
Διασπαστική
(αποκλίνουσα)

ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ

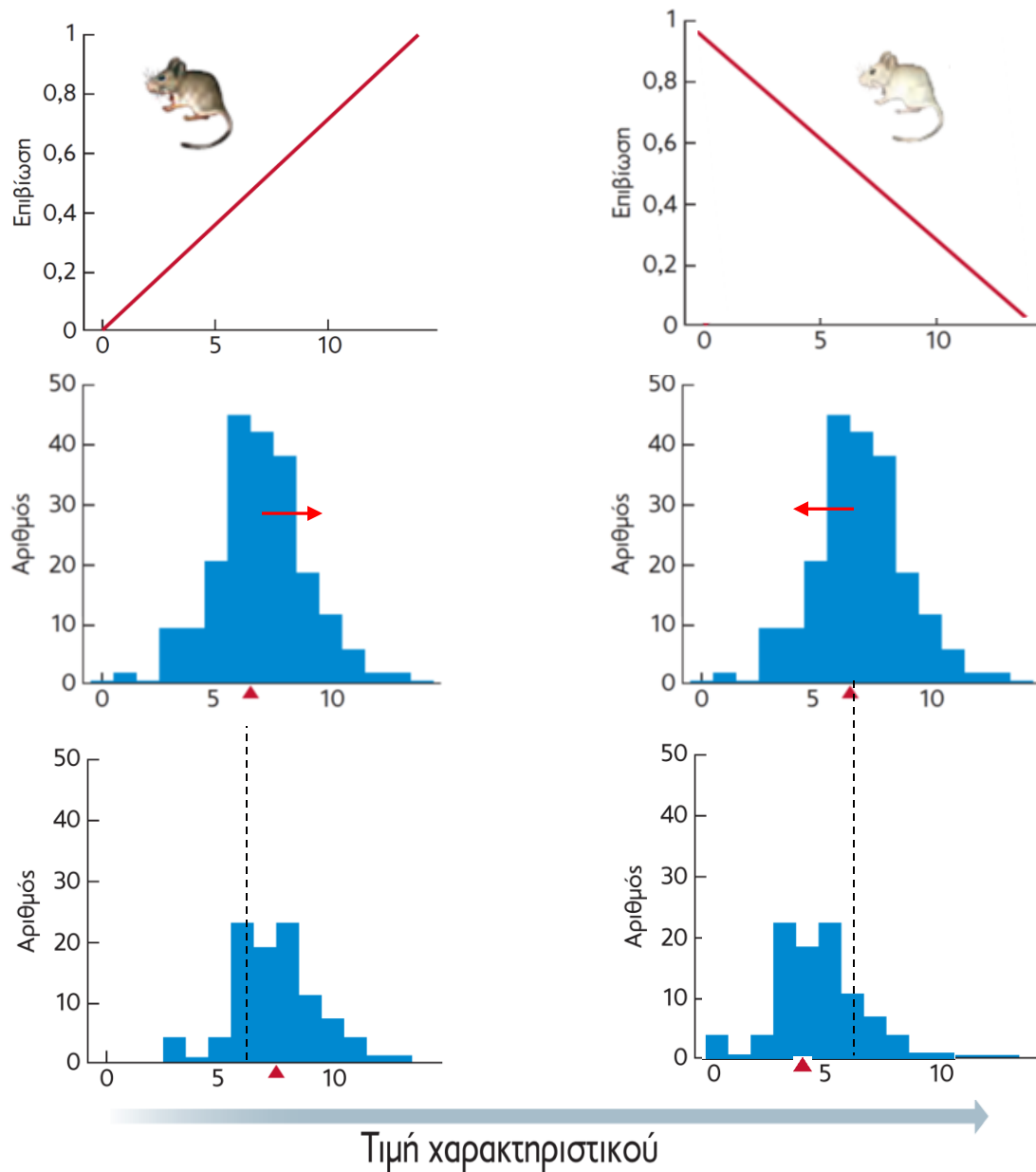
- Διαβάθμιση επιλογής
- Συντελεστής κληρονομικότητας



Hutu, I., Oldenbroek, K., & van der Waaij, L. (2020, December). Chapter 9: Predicting response of selection. In *Animal Breeding and Husbandry* (2nd ed., Chapter II.9). Timișoara, Romania: Agroprint.

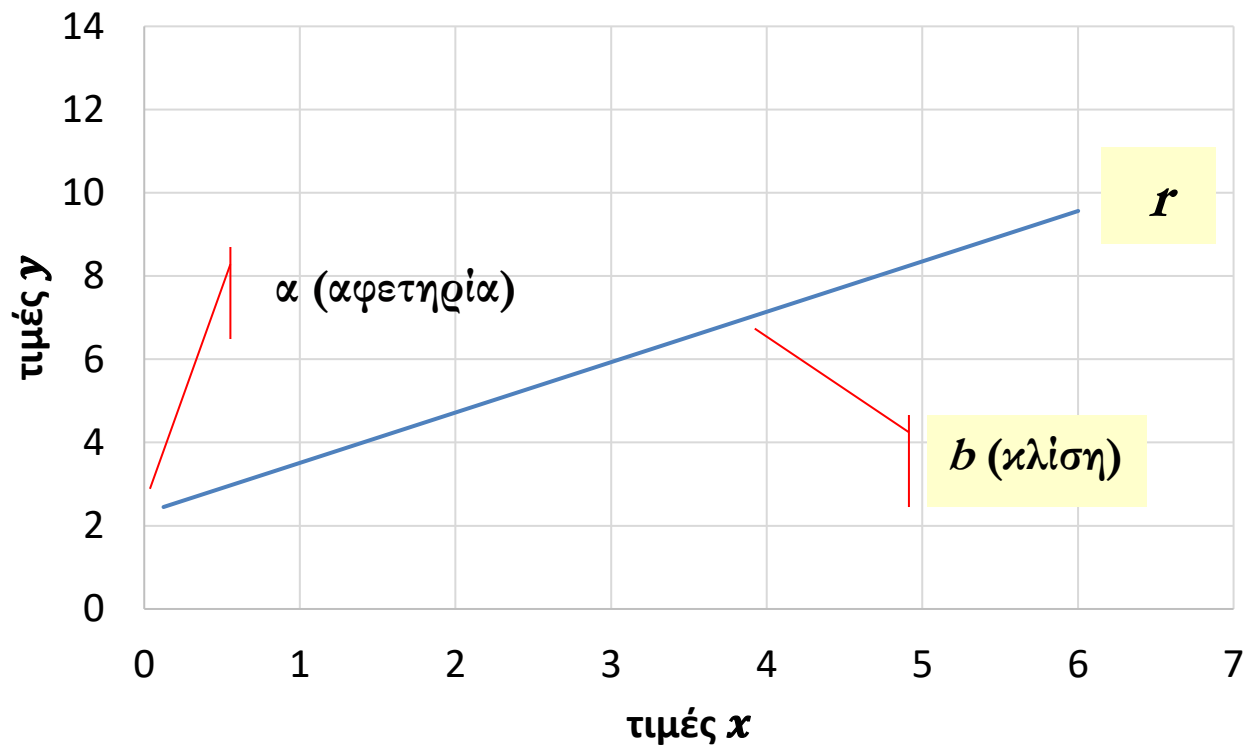
ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ

Κατευθύνουσα Επιλογή - Μεταβολή της μέσης τιμής προς μια κατεύθυνση



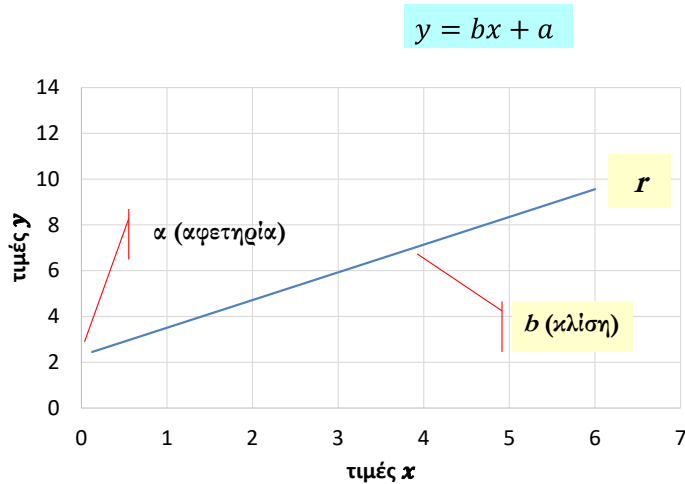
ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΜΕΤΑΒΟΛΗ

$$y = bx + a$$



→ συντελεστής συσχέτισης

ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΜΕΤΑΒΟΛΗ



(j)	(x_j)	(y_j)	xy	x^2	y^2
1	x_1	y_1	$x_1 y_1$	x_1^2	y_1^2
2	x_2	y_2	$x_2 y_2$	x_2^2	y_2^2
3	x_3	y_3	$x_3 y_3$	x_3^2	y_3^2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	x_n	y_n	$x_n y_n$	x_n^2	y_n^2
	Σx	Σy	Σxy	Σx^2	Σy^2

$$r_{x,y} = \frac{\Sigma xy - \Sigma x \Sigma y / n}{\sqrt{[\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2 / n][\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2 / n]}}$$

$$b = \frac{\Sigma xy - \Sigma x \Sigma y / n}{\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2 / n}$$

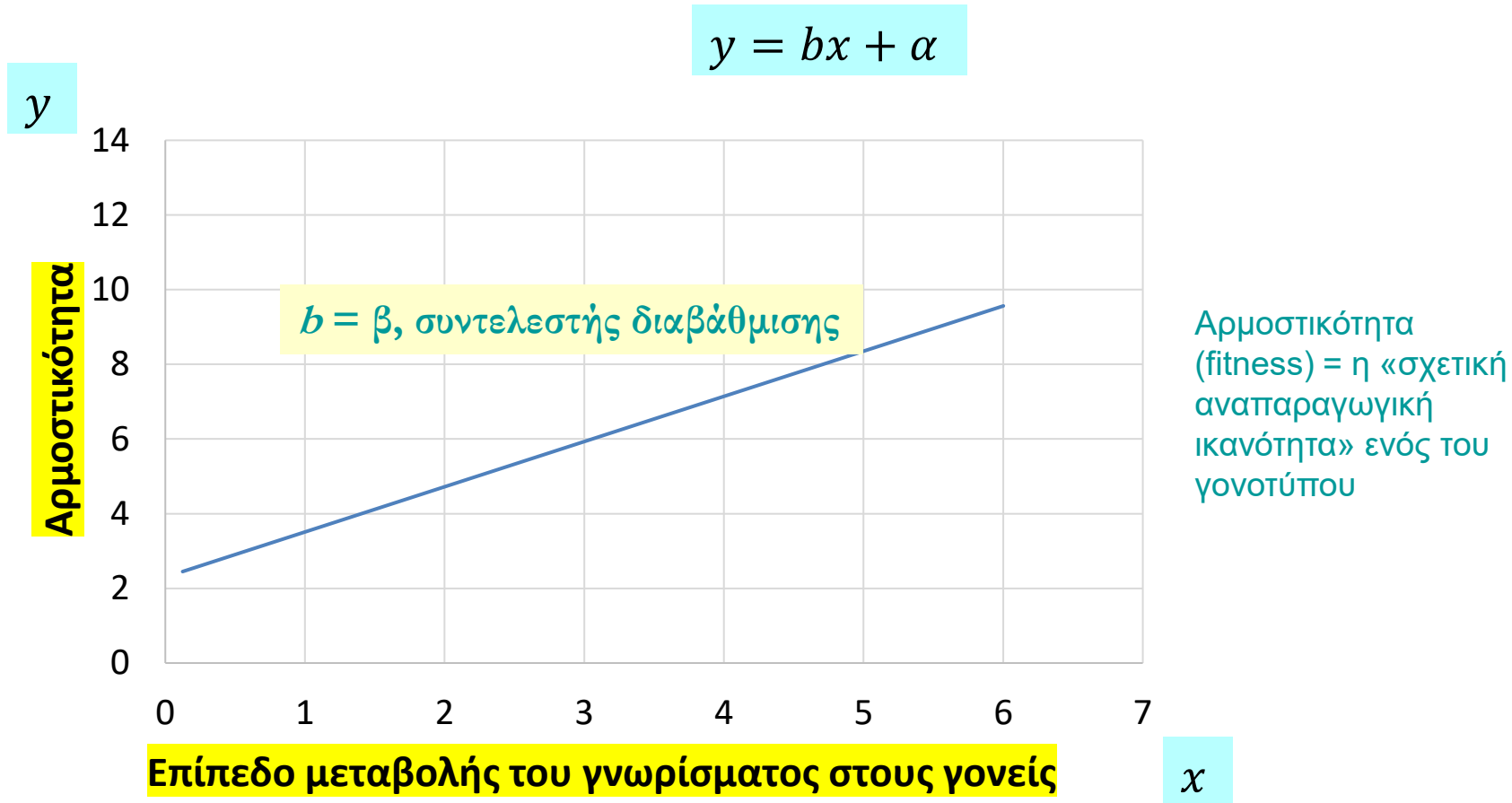
έλεγχος σημαντικότητας:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (\text{B.E.} = n-2)$$

$$\alpha = \frac{\Sigma y - b \Sigma x}{n}$$

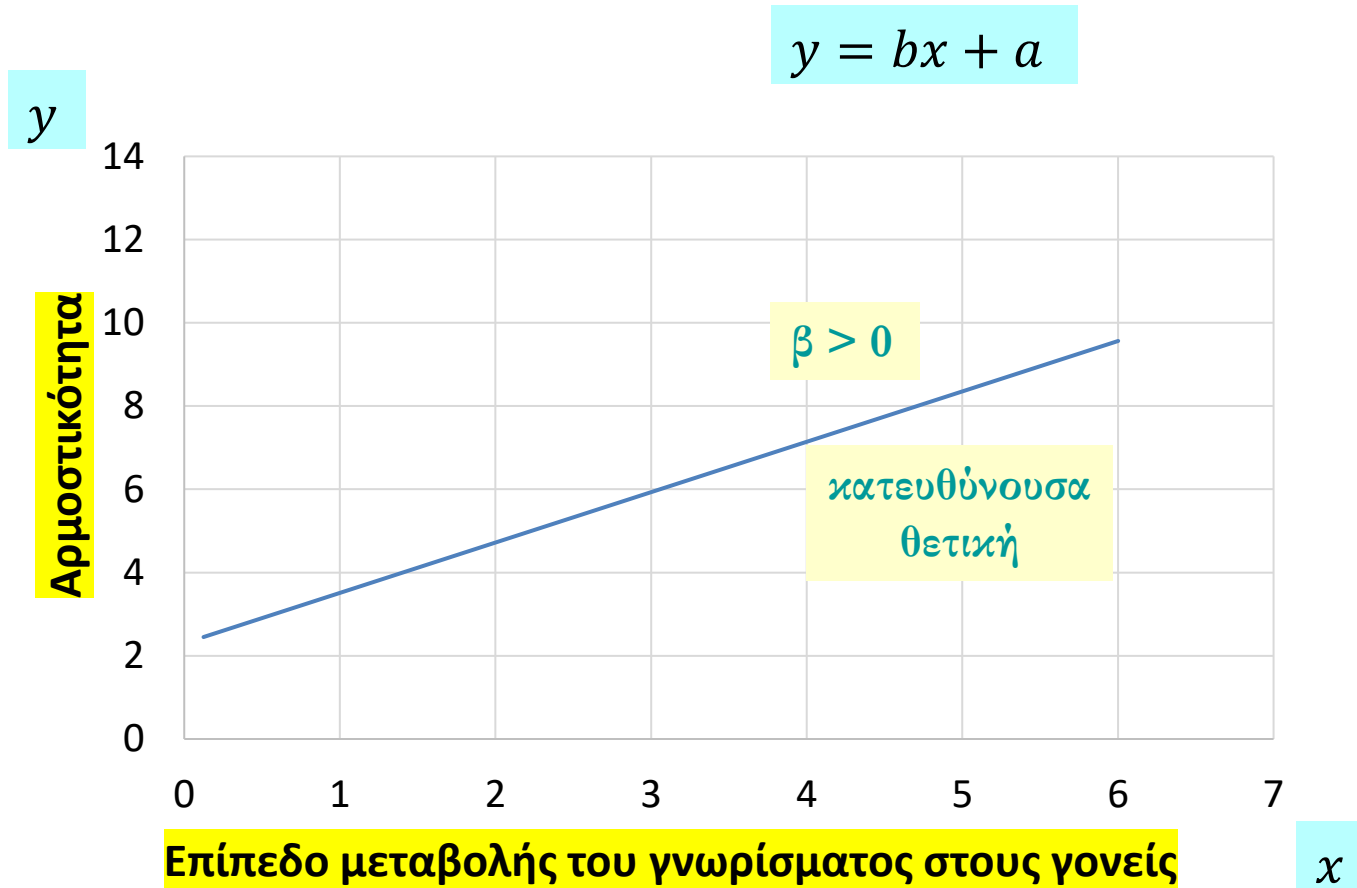
ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ (S)

διαφορά στη μέση τιμή του γνωρίσματος

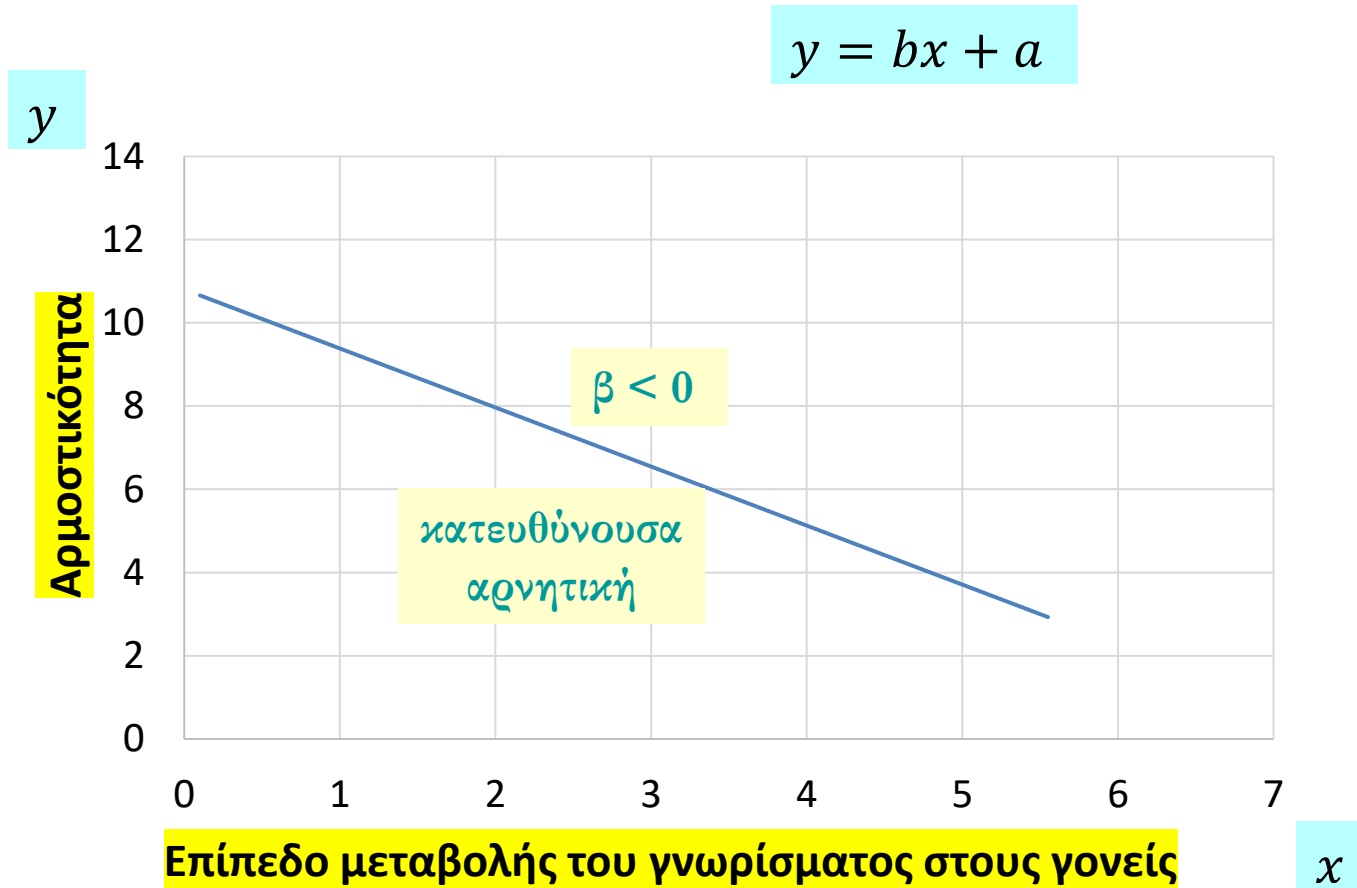


Συντελεστής διαβάθμισης: Μέτρο της έντασης και της κατεύθυνσης της φυσικής επιλογής

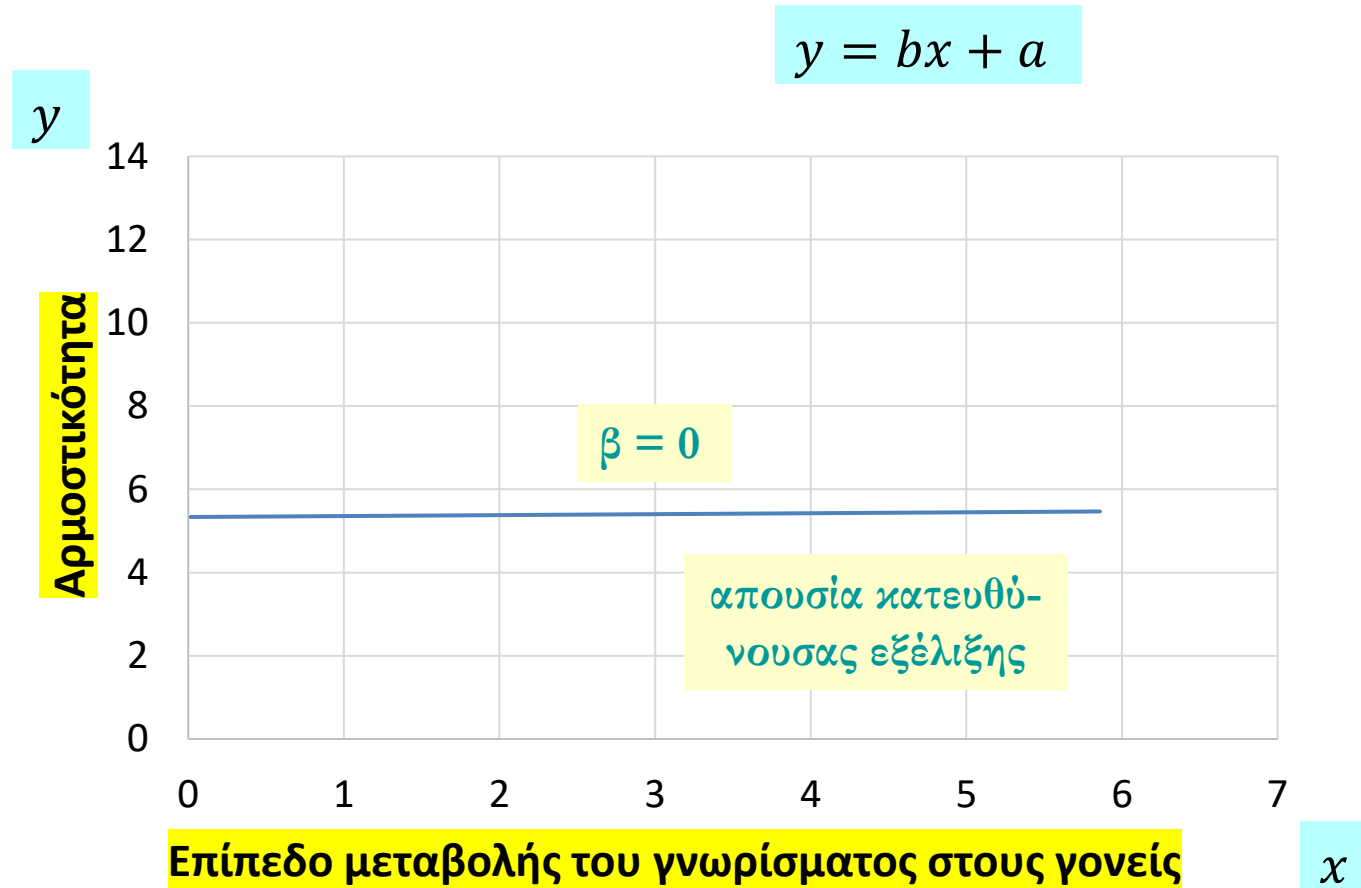
ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ



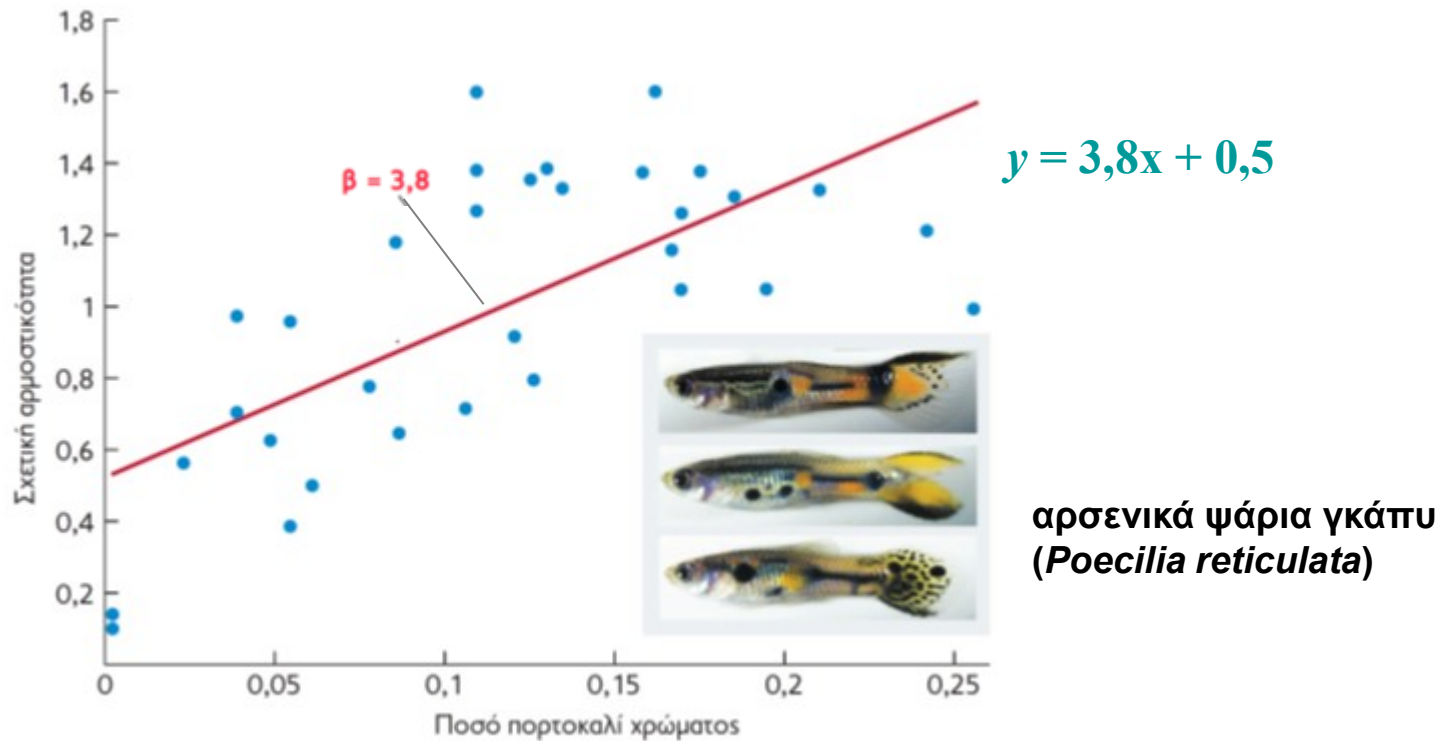
ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ



ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ

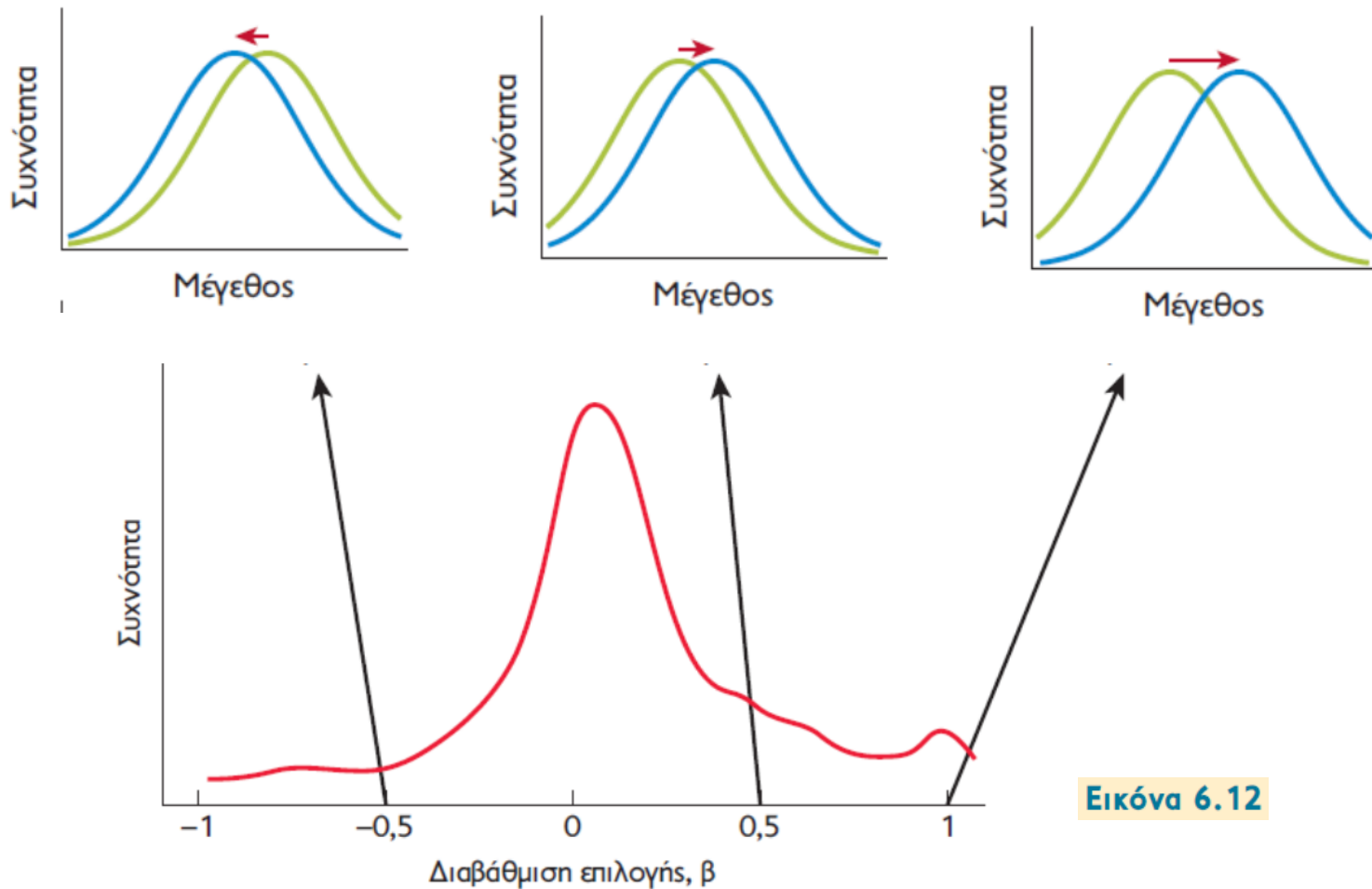


ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ



Αν (θεωρητικά) το ποσοστό του πορτοκαλί χρώματος αυξηθεί από 0 σε 1, η σχετική συμμετοχή αρσενικών σε διασταυρώσεις θα αυξηθεί από 0,5 σε 4,3

ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΡΑΣΗΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΟΥΣΑΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ



Κατευθύνουσα επιλογή με τιμές διαβάθμισης -0,5, 0, +0,5, +1.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑΣ (H^2)

$$P = G + E$$

P η συνολική φαινοτυπική διακύμανση

G η γενετική διακύμανση

E η περιβαλλοντική διακύμανση

$$H^2 = G / P$$

H^2 ο συντελεστής κληρονομικότητας υπό
την ευρεία έννοια

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑΣ (h^2)

$$P = G + E$$

P η συνολική φαινοτυπική διακύμανση

G η γενετική διακύμανση

E η περιβαλλοντική διακύμανση

$$G = G_{de} + G_a$$

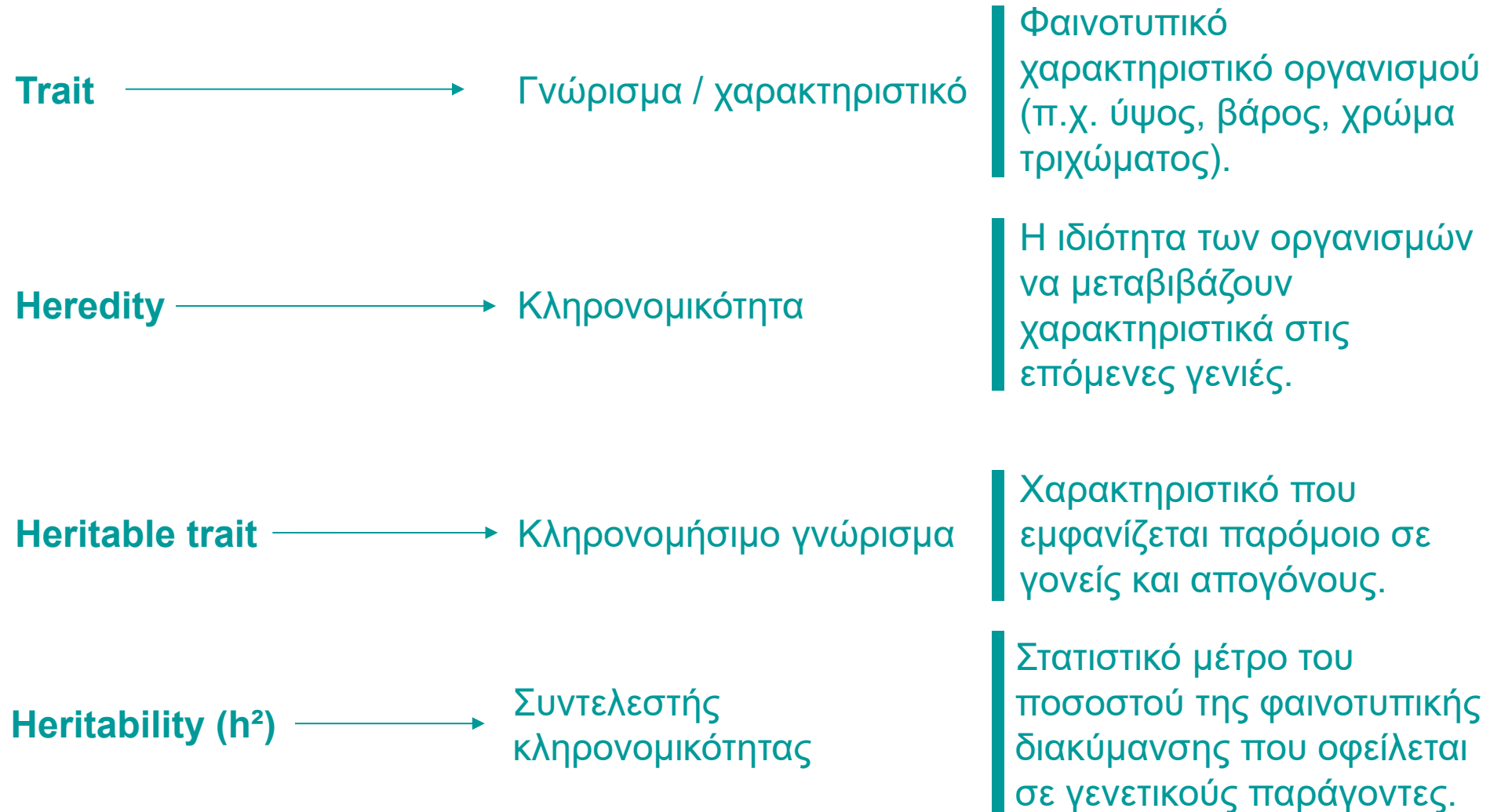
G_{de} το μέρος της G που οφείλεται σε κυριαρχικές και επιστατικές αλληλεπιδράσεις

G_a το μέρος της G που οφείλεται σε αθροιστικές αλληλεπιδράσεις

$$h^2 = G_a / P$$

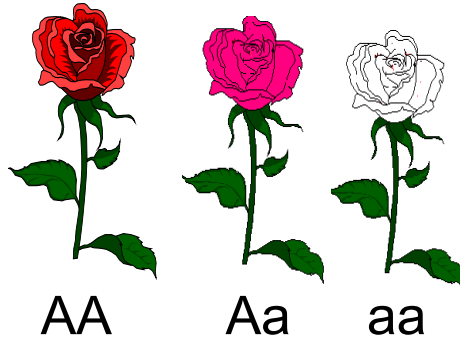
h^2 ο συντελεστής κληρονομικότητας υπό τη στενή έννοια

“Heritability (h^2) is a statistical measure of how much of the variation in a trait within a specific population is due to genetic differences. It ranges from 0 to 1, where a value near 1 indicates that most of the variation is genetic, and a value near 0 means most of the variation is due to environmental factors.”



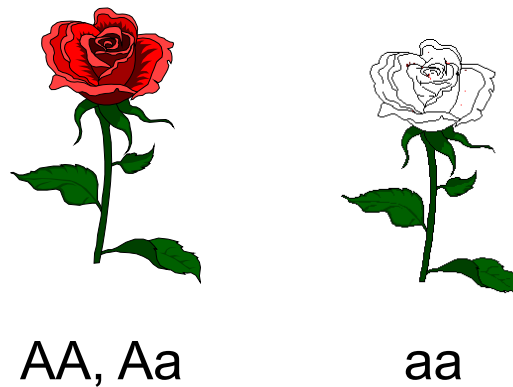
Χρώμα άνθους: $A \rightarrow$ κόκκινο, $a \rightarrow$ άσπρο

$A+a:$



Απόλυτα προβλέψιμο αποτέλεσμα
σημαίνει απόλυτη κληρονόμηση
του γνωρίσματος

$A>a:$



Μερικά προβλέψιμο αποτέλεσμα
σημαίνει μερική κληρονόμηση του
γνωρίσματος

αλληλόμορφα	συχνότητα	Ύψος φυτού
A_1	$p = 0,5$	10 μον.
A_2	$q = 0,5$	8 μον

1 ΓΕΝΕΤΙΚΟΣ ΤΟΠΟΣ

$A_1 + A_2$		
γενότυποι	συχνότητα	Ύψος φυτού
A_1A_1	0,25	20
A_2A_2	0,25	16
A_1A_2	0,50	18

επιλογή για μεγάλο ύψος

100% των απογόνων
με μεγάλο ύψος

$A_1A_2 > A_1A_1, A_2A_2$		
γενότυποι	συχνότητα	Ύψος φυτού
A_1A_1	0,25	20
A_2A_2	0,25	16
A_1A_2	0,50	>20

επιλογή για μεγάλο ύψος

50% των απογόνων
με μεγάλο ύψος

αλληλόμορφα		Ύψος φυτού
A_1	B_1	10 μον.
A_2	B_2	8 μον

2 γενετικοί τύποι

$(A_1 + A_2) + (B_1 + B_2)$		
γενότυποι	Συχνότητα	Ύψος φυτού
$A_1A_1B_1B_1$	1/16	40
$A_1A_1B_1B_2$	2/16	38
$A_1A_1B_2B_2$	1/16	36
$A_1A_2B_1B_1$	2/16	38
$A_1A_2B_1B_2$	4/16	36
$A_1A_2B_2B_2$	2/16	34
$A_2A_2B_1B_1$	1/16	36
$A_2A_2B_1B_2$	2/16	34
$A_2A_2B_2B_2$	1/16	32

επιλογή για μεγάλο ύψος

100% των απογόνων
με μεγάλο ύψος

αλληλόμορφα		Ύψος φυτού
A ₁	B ₁	10 μον.
A ₂	B ₂	8 μον

2 γενετικοί τύποι

A ₁ A ₂ > ..., B ₁ B ₂ > ...		
γενότυποι	Συχνότητα	Ύψος φυτού
A ₁ A ₁ B ₁ B ₁	1/16	40
A ₁ A ₁ B ₁ B ₂	2/16	>40
A ₁ A ₁ B ₂ B ₂	1/16	36
A ₁ A ₂ B ₁ B ₁	2/16	>40
A ₁ A ₂ B ₁ B ₂	4/16	>>40
A ₁ A ₂ B ₂ B ₂	2/16	>40
A ₂ A ₂ B ₁ B ₁	1/16	36
A ₂ A ₂ B ₁ B ₂	2/16	>40
A ₂ A ₂ B ₂ B ₂	1/16	32

επιλογή για μεγάλο ύψος

25% των απογόνων
με μεγάλο ύψος

αλληλόμορφα				Ύψος φυτού
A ₁	B ₁	..	N ₁	10 μον.
A ₂	B ₂	..	N ₂	8 μον

λ γενετικοί τόποι

2λ αλληλόμορφα

2^{2λ} πιθανοί γονοτυπικοί συνδυασμοί

A₁A₂B₁B₂ ... N₁N₂

επιλογή για μεγάλο ύψος

2^λ/2^{2λ} των απογόνων
με μεγάλο ύψος

λ = 5

επιλογή για μεγάλο ύψος

3,13%

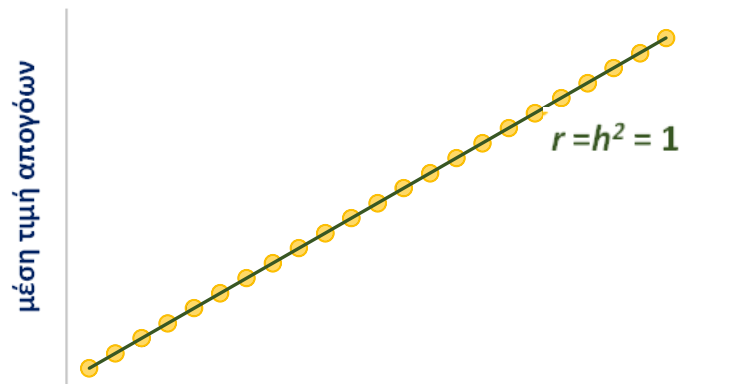
λ = 10

επιλογή για μεγάλο ύψος

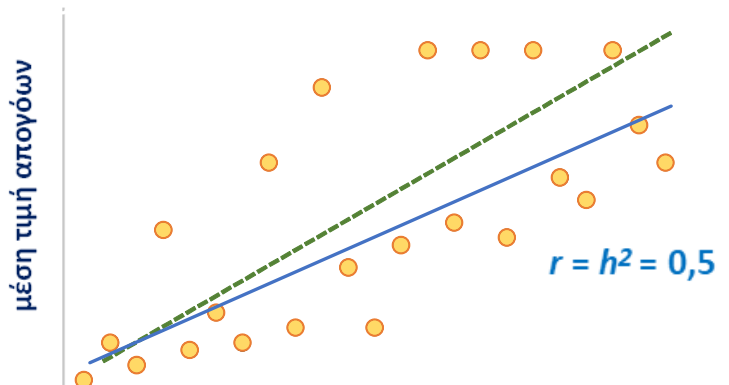
0,098%

Εκτίμηση του h^2 από το συντελεστή συσχέτισης (r) γονέων-απογόνων

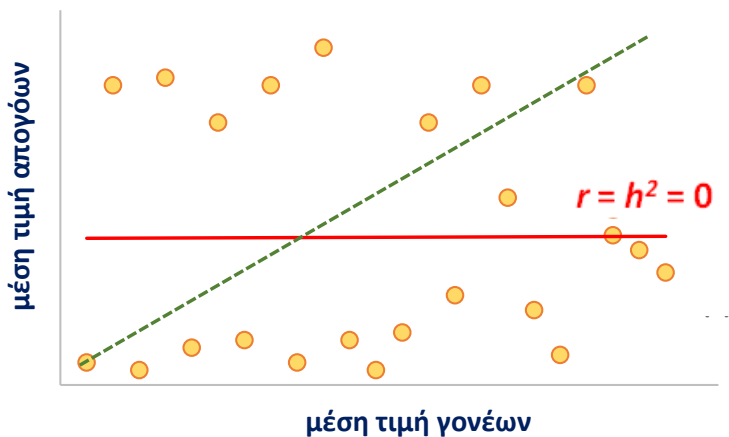
Επίπεδο ομοιότητας γονέων - απογόνων



απόλυτη ομοιότητα $\rightarrow h^2 = 1$



μερική ομοιότητα $\rightarrow h^2 < 1$

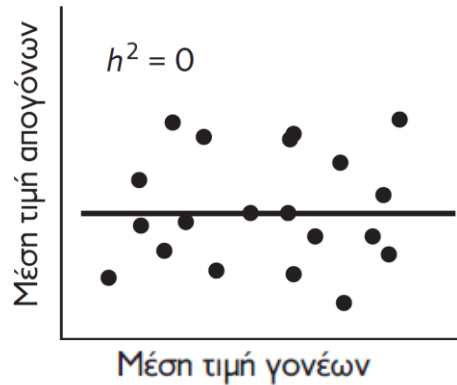


καμιά ομοιότητα $\rightarrow h^2 = 0$

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑΣ (h^2)

h^2

(A)



Μια τέτοια σχέση δικαιολογείται μόνο από την απουσία γενετικής παραλλακτικότητας με τις φαινοτυπικές διαφορές να οφείλονται αποκλειστικά στην επίδραση του περιβάλλοντος

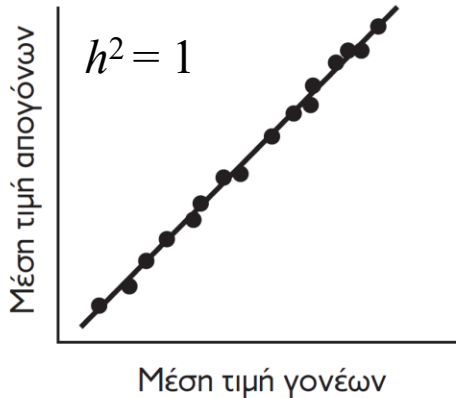
Η τιμή $h^2 = 0$ είναι θεωρητική

Σε γνωρίσματα με πολύ μικρή κληρονομικότητα το h^2 παίρνει τιμές $< 0,2$

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑΣ (h^2)

h^2

(B)



Μια τέτοια σχέση δικαιολογείται μόνο σε μονογονιδιακά γνωρίσματα με αθροιστική αλληλεπίδραση των αλληλόμορφων

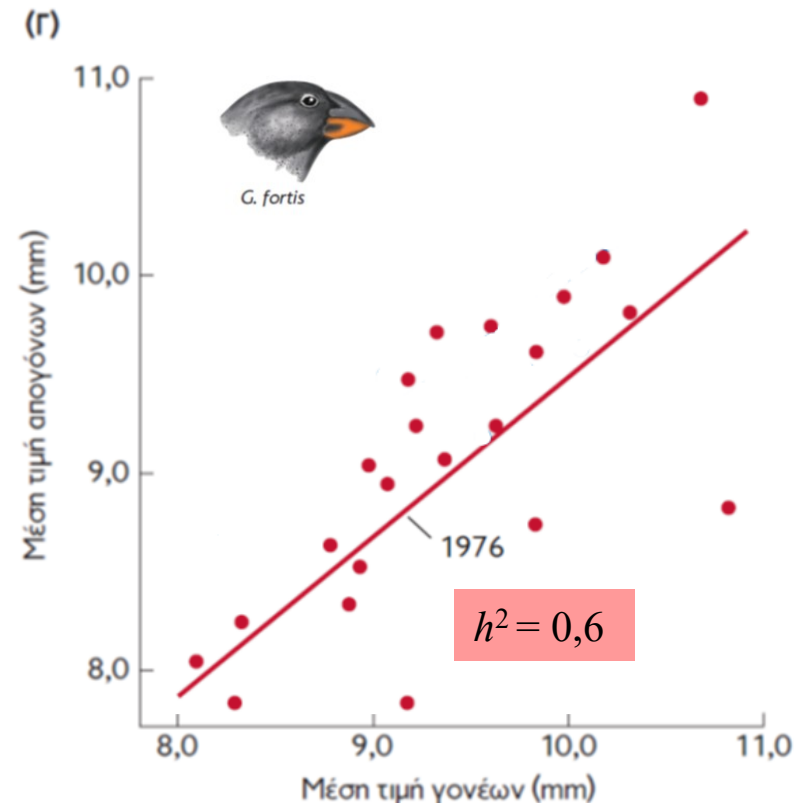
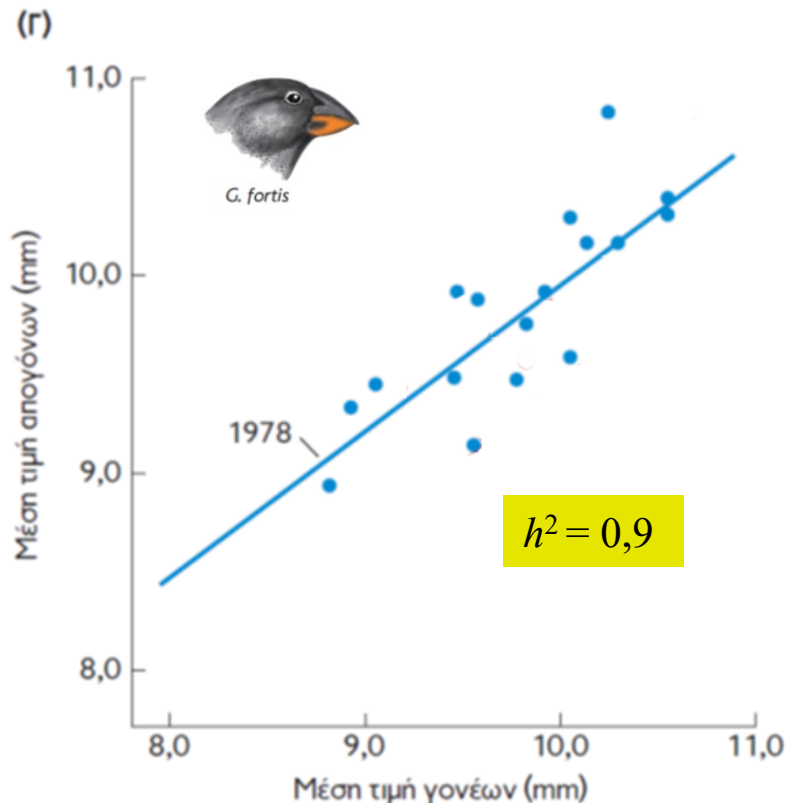
Η τιμή $h^2 = 1$ είναι θεωρητική

Οι μέγιστες τιμές του συντελεστή κληρονομικότητας σε ποσοτικά γνωρίσματα είναι $\sim 0,8$

Οι συνήθεις τιμές του συντελεστή κληρονομικότητας σε ποσοτικά γνωρίσματα είναι $0,2 - 0,6$

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑΣ (h^2)

h^2



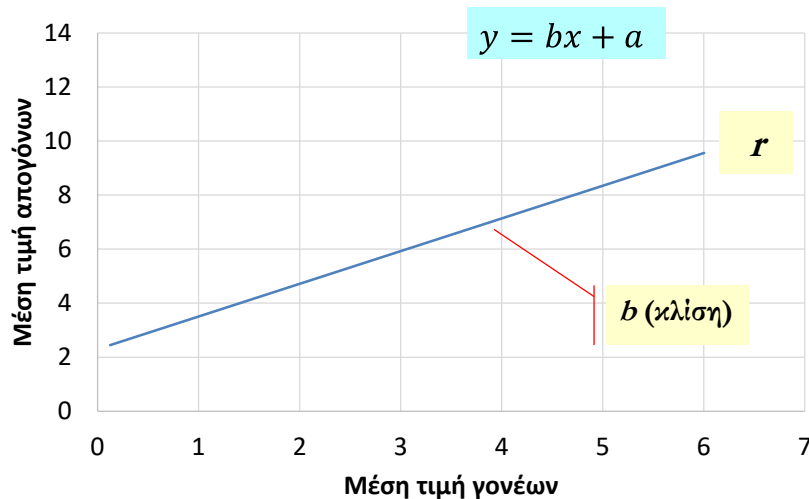
Η τιμή $h^2 = 0,9$ για το πλάτος στο ράμφος των σπίνων *Geospiza fortis* είναι επισφαλής.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑΣ

Ο συντελεστής κληρονομικότητας υποδηλώνει:

- Την πιθανότητα μεταβολής του γνωρίσματος στους απογόνους μετά από επιλογή στους γονείς και παίρνει τιμές 0 έως 1
- Σε ποιο βαθμό οι μέσες τιμές των απογόνων συγκλίνουν ή αποκλίνουν από τη γραμμή συμμεταβολής της συσχέτισής τους με τις μέσες τιμές των γονέων (το r προσεγγίζει την τιμή 1 με απόλυτη σύγκλιση και την τιμή 0 με μεγάλη απόκλιση)
- Σε ποιο βαθμό το γνώρισμα επηρεάζεται από το περιβάλλον (όσο μικρότερος τόσο μεγαλύτερη η επίδραση του περιβάλλοντος)

ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑ vs ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ



$b = \beta$ = συντελεστής διαβάθμισης

$r = h^2$ = συντελεστής κληρονομικότητας

Το β μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή (θετική ή αρνητική) και έχει μονάδες (μετράει τις μονάδες μεταβολής του γνωρίσματος στους απογόνους για κάθε μονάδα μεταβολής στους γονείς)

Το h^2 **ΔΕΝ** έχει μονάδες, παίρνει τιμές 0 έως +1 και εκτιμάει την συνέπεια μεταβολής του γνωρίσματος στους απογόνους όταν μεταβάλλεται στους γονείς (βαθμός ομοιότητας γονέων – απογόνων)

ΣΥΝΟΨΗ_1

- Τα ποσοτικά γνωρίσματα εξελίσσονται δραστικά ακόμη και απουσία μεταλλάξεων λόγω πολλών γενετικών τόπων. Αλλαγές στις συχνότητες των αλληλομόρφων διαφοροποιούν δραστικά τις συχνότητες των γονότυπων
- Το περιβάλλον ασκεί καταλυτική πίεση για επιλογή στα ποσοτικά γνωρίσματα του πληθυσμού
- Το ενδεχόμενο εξέλιξης εξαρτάται από τη διαχρονική πίεση του κρίσιμου περιβαλλοντικού παράγοντα που μπορεί να οδηγήσει σε **μόνιμη μεταβολή**
- Η κατευθύνουσα επιλογή συμβάλλει σε εξέλιξη όταν μεταβάλλεται η μέση τιμή του πληθυσμού είτε θετικά είτε αρνητικά
- Η σταθεροποιούσα επιλογή & εξέλιξη μειώνει τη διακύμανση του πληθυσμού χωρίς να μεταβάλλεται η μέση τιμή του
- Η πίεση επιλογής σε ποσοτικά γνωρίσματα ενδέχεται να συμβάλλει ταυτόχρονα σε κατευθύνουσα και σταθεροποιούσα εξέλιξη
- Η διασπαστική εξέλιξη είναι απόρροια αμφίδρομης κατευθύνουσας επιλογής που οδηγεί σε αποκλίνοντα peaks της συνάρτησης αρμοστικότητας
- Η πίεση επιλογής μπορεί να ασκείται ταυτόχρονα σε περισσότερα του ενός ποσοτικά γνωρίσματα και να συμβάλλει σε διαφορετικές κατευθύνσεις εξέλιξης

ΣΥΝΟΨΗ_2

- Ο συντελεστής της γραμμικής συσχέτισης (r) μεταξύ απογόνων και γονέων ως προς το γνώρισμα αποτελεί μέτρο του συντελεστή κληρονομικότητας (h^2) του γνωρίσματος
- Ο συντελεστής κληρονομικότητας (h^2) εκφράζει την πιθανότητα η επιλογή να οδηγήσει σε εξέλιξη (ο επιλεγόμενος γονότυπος να επικρατήσει στον πληθυσμό)
- Ο συντελεστής συµµεταβολής (b) της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ απογόνων και γονέων ως προς το γνώρισμα αποτελεί μέτρο του συντελεστή διαβάθμισης επιλογής (β) για το γνώρισμα
- Ο συντελεστής διαβάθμισης επιλογής (β) εκφράζει το μέσο ρυθµό µεταβολής του γνωρίσματος σε σχέση µε την πίεση επιλογής ($\approx$ μονάδες µεταβολής στους απογόνους ανά µονάδα µεταβολής στους γονείς)

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Σε ένα πληθυσμό η συχνότητα των αλληλομόρφων είναι 0,3 για το A_1 και 0,7 για το A_2 . Η φαινοτυπική τους τιμή είναι 2 για το A_1 και 1 για το A_2 . Μετά από επιλεκτική πίεση υπέρ του αλληλομόρφου A_1 , η συχνότητά του γίνεται 0,9. Να βρεθεί η φαινοτυπική τιμή στον πληθυσμό πριν και μετά τη εξέλιξη
2. Στον πληθυσμό της άσκησης 1, εκτός από τα αλληλόμορφα τα αλληλόμορφα A_1 και A_2 στο γνώρισμα εμπλέκονται και τα αλληλόμορφα B_1 και B_2 , με φαινοτυπική τιμή 0 και 3, αντίστοιχα. Αν η συχνότητα τους αρχικά είναι 0,8 και 0,2, ενώ μετά την εξέλιξη μεταβάλλεται σε 0,4 και 0,6, να βρεθεί η φαινοτυπική τιμή στον πληθυσμό πριν και μετά τη εξέλιξη
3. Η συνολική γενετική διακύμανση για ένα γνώρισμα είναι 50 gr^2 , ο συντελεστής κληρονομικότητας υπό την ευρεία έννοια είναι $H^2=0,5$ και υπό τη στενή έννοια $h^2=0,4$, ποια είναι η συνολική φαινοτυπική διακύμανση και ποια τα συστατικά της; Σε ποια επίπεδα θεωρητικά κυμαίνεται η κληρονομικότητα του γνωρίσματος;
4. Το φυτικό είδος *Achillea millefolium* spp φύεται σε διάφορα υψόμετρα μετά από προσαρμογή στο ύψος του φυτού. Σε πληθυσμό σε ενδιάμεσο υψόμετρο εκτιμήθηκε το μέσο ύψος 30 cm με τυπική απόκλιση 10,5 cm. α) Μετακινήθηκε σε μεγαλύτερο υψόμετρο και το ύψος του φυτού μετρήθηκε 20 cm με διακύμανση 49 cm^2 . β) Μετακινήθηκε και σε μικρότερο υψόμετρο και το ύψος φυτού διαφοροποιήθηκε σε 40 cm με διακύμανση 64 cm^2 . Τι είδους εξέλιξη/προσαρμογή παρατηρήθηκε;

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Σε ένα πληθυσμό η συχνότητα των αλληλομόρφων είναι 0,3 για το A_1 και 0,7 για το A_2 . Η φαινοτυπική τους τιμή είναι 2 για το A_1 και 1 για το A_2 . Μετά από επιλεκτική πίεση υπέρ του αλληλομόρφου A_1 , η συχνότητά του γίνεται 0,9. Να βρεθεί η φαινοτυπική τιμή στον πληθυσμό πριν και μετά τη εξέλιξη

αλληλόμορφα	συχνότητα πριν την επιλογή	συχνότητα μετά την επιλογή	φαινοτυπική τιμή
A_1	$p = 0,3$	$p = 0,9$	2
A_2	$q = 0,7$	$q = 0,1$	1

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Σε ένα πληθυσμό η συχνότητα των αλληλομόρφων είναι 0,3 για το A_1 και 0,7 για το A_2 . Η φαινοτυπική τους τιμή είναι 2 για το A_1 και 1 για το A_2 . Μετά από επιλεκτική πίεση υπέρ του αλληλομόρφου A_1 , η συχνότητά του γίνεται 0,9. Να βρεθεί η φαινοτυπική τιμή στον πληθυσμό πριν και μετά τη εξέλιξη

αλληλόμορφα	συχνότητα πριν την επιλογή	συχνότητα μετά την επιλογή	φαινοτυπική τιμή
A_1	$p = 0,3$	$p = 0,9$	2
A_2	$q = 0,7$	$q = 0,1$	1

Αρχικός πληθυσμός:

γονότυποι	Συχνότητα	φαιν. τιμή	συμβολή
$A_1 A_1$	0,09 (p^2)	4	
$A_1 A_2$	0,42 ($2pq$)	3	
$A_2 A_2$	0,49 (q^2)	2	
Πληθυσμός			

Πληθυσμός μετά την εξέλιξη:

γονότυποι	Συχνότητα	φαιν. τιμή	συμβολή
$A_1 A_1$	0,81 (p^2)	4	
$A_1 A_2$	0,18 ($2pq$)	3	
$A_2 A_2$	0,01 (q^2)	2	
Πληθυσμός			

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Σε ένα πληθυσμό η συχνότητα των αλληλομόρφων είναι 0,3 για το A_1 και 0,7 για το A_2 . Η φαινοτυπική τους τιμή είναι 2 για το A_1 και 1 για το A_2 . Μετά από επιλεκτική πίεση υπέρ του αλληλομόρφου A_1 , η συχνότητά του γίνεται 0,9. Να βρεθεί η φαινοτυπική τιμή στον πληθυσμό πριν και μετά τη εξέλιξη

αλληλόμορφα	συχνότητα πριν την επιλογή	συχνότητα μετά την επιλογή	φαινοτυπική τιμή
A_1	$p = 0,3$	$p = 0,9$	2
A_2	$q = 0,7$	$q = 0,1$	1

Αρχικός πληθυσμός:

γονότυποι	Συχνότητα	φαιν. τιμή	συμβολή
$A_1 A_1$	0,09 (p^2)	4	0,36
$A_1 A_2$	0,42 ($2pq$)	3	1,26
$A_2 A_2$	0,49 (q^2)	2	0,98
Πληθυσμός			2,6

Πληθυσμός μετά την εξέλιξη:

γονότυποι	Συχνότητα	φαιν. τιμή	συμβολή
$A_1 A_1$	0,81 (p^2)	4	3,24
$A_1 A_2$	0,18 ($2pq$)	3	0,54
$A_2 A_2$	0,01 (q^2)	2	0,54
Πληθυσμός			3,8

Η φαινοτυπική τιμή του πληθυσμού είναι 2,6 πριν την εξέλιξη και 3,8 μετά την εξέλιξη

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

2. Στον πληθυσμό της άσκησης 1, εκτός από τα αλληλόμορφα τα αλληλόμορφα A_1 και A_2 στο γνώρισμα εμπλέκονται και τα αλληλόμορφα B_1 και B_2 , με φαινοτυπική τιμή 0 και 3, αντίστοιχα. Αν η συχνότητα τους αρχικά είναι 0,8 και 0,2, ενώ μετά την εξέλιξη μεταβάλλεται σε 0,4 και 0,6, να βρεθεί η φαινοτυπική τιμή στον πληθυσμό πριν και μετά τη εξέλιξη

αλληλόμορφα	συχνότητα πριν την επιλογή	συχνότητα μετά την επιλογή	φαινοτυπική τιμή
A_1	0,3	0,9	2
A_2	0,7	0,1	1
B_1	0,8	0,4	0
B_2	0,2	0,6	3

γονότυποι	συχνότητα πριν την επιλογή	συχνότητα μετά την επιλογή	φαιν. τιμή	συμβολή πριν την επιλογή	συμβολή μετά την επιλογή
$1A_1A_1B_1B_1$	$0,3^2 \cdot 0,8^2 = 0,0576$	$0,9^2 \cdot 0,4^2 = 0,1296$	4	0,2304	0,5184
$2A_1A_1B_1B_2$	$2(0,3^2 \cdot 0,8 \cdot 0,2) = 0,0288$	$2(0,9^2 \cdot 0,4 \cdot 0,6) = 0,3888$	7	0,2016	2,7216
$1A_1A_1B_2B_2$	$0,3^2 \cdot 0,2^2 = 0,0036$	$0,9^2 \cdot 0,6^2 = 0,2916$	10	0,036	2,916
$2A_1A_2B_1B_1$	$2(0,3 \cdot 0,7 \cdot 0,8^2) = 0,2688$	$2(0,9 \cdot 0,1 \cdot 0,4^2) = 0,0288$	3	0,8064	0,0864
$4A_1A_2B_1B_2$	$4(0,3 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 0,2) = 0,1344$	$4(0,9 \cdot 0,1 \cdot 0,4 \cdot 0,6) = 0,0864$	6	0,8064	0,5184
$2A_1A_2B_2B_2$	$2(0,3 \cdot 0,7 \cdot 0,2^2) = 0,0168$	$2(0,9 \cdot 0,1 \cdot 0,6^2) = 0,0648$	9	0,1512	0,5832
$1A_2A_2B_1B_1$	$0,7^2 \cdot 0,8^2 = 0,3136$	$0,1^2 \cdot 0,4^2 = 0,0016$	2	0,6272	0,0032
$2A_2A_2B_1B_2$	$2(0,7^2 \cdot 0,8 \cdot 0,2) = 0,1568$	$2(0,1^2 \cdot 0,4 \cdot 0,6) = 0,0048$	5	0,784	0,024
$1A_2A_2B_2B_2$	$0,7^2 \cdot 0,2^2 = 0,0196$	$0,1^2 \cdot 0,6^2 = 0,0036$	8	0,1568	0,0288
ΣΥΝΟΛΟ	1	1		3,8	7,4

Η φαινοτυπική τιμή του πληθυσμού είναι 3,8 πριν την εξέλιξη και 7,4 μετά την εξέλιξη

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

3. Η συνολική γενετική διακύμανση για ένα γνώρισμα είναι 50 gr^2 , ο συντελεστής κληρονομικότητας υπό την ευρεία έννοια είναι $H^2=0.5$ και υπό τη στενή έννοια $h^2=0.4$, ποια είναι η συνολική φαινοτυπική διακύμανση και ποια τα συστατικά της; Σε ποια επίπεδα θεωρητικά κυμαίνεται η κληρονομικότητα του γνωρίσματος;

$$G = 50 \text{ gr}^2 \mid H^2=0,5 \mid h^2=0,4 \quad \text{όπου } H^2 = G/P \text{ και } h^2 = G_a/P$$

$$\text{Η συνολική φαινοτυπική διακύμανση: } P = G/H^2 = 50 \text{ gr}^2/0.5 = 100 \text{ gr}^2$$

$$\text{Η αθροιστική γενετική διακύμανση: } G_a = P \cdot h^2 = 100 \text{ gr}^2 \cdot 0.4 = 40 \text{ gr}^2$$

$$\text{Μη αθροιστική γενετική διακύμανση: } G_{de} = G - G_a = 50 - 40 = 10 \text{ gr}^2$$

$$\text{Μη γενετική (περιβαλλοντική) διακύμανση: } E = P - G = 100 - 50 = 50 \text{ gr}^2$$

$$\text{Συστατικά της } P: 100 \text{ gr}^2(P) = 10 \text{ gr}^2(G_{de}) + 40 \text{ gr}^2(G_a) + 50 \text{ gr}^2(E)$$

Η κληρονομικότητα του γνωρίσματος είναι μεγαλύτερη του 40% και έως 50% (αυτούσια κληρονόμηση της αθροιστικής και μερική κληρονόμηση της μη αθροιστικής γενετικής διακύμανσης)

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

4. Το φυτικό είδος *Achillea millefolium* spp φύεται σε διάφορα υψόμετρα μετά από προσαρμογή στο ύψος του φυτού. Σε πληθυσμό σε ενδιάμεσο υψόμετρο εκτιμήθηκε το μέσο ύψος 30 cm με τυπική απόκλιση 10,5 cm. α) Μετακινήθηκε σε μεγαλύτερο υψόμετρο και το ύψος του φυτού μετρήθηκε 20 cm με διακύμανση 49 cm². β) Μετακινήθηκε και σε μικρότερο υψόμετρο και το ύψος φυτού διαφοροποιήθηκε σε 40 cm με διακύμανση 64 cm². Τι είδους εξέλιξη/προσαρμογή παρατηρήθηκε;

Ενδιάμεσο υψόμετρο: $\mu = 30$ cm, $\sigma = 10,5$ cm, $CV = 10,5 / 30 = 0,35$ (35%)

α) $\mu' = 20$ cm, $\sigma' = 49$ cm, $CV' = 7 / 20 = 0,35$ (35%)

β) $\mu' = 40$ cm, $\sigma' = 64$ cm, $CV' = 8 / 40 = 0,20$ (20%)

Στην περίπτωση (α) είναι κατευθύνουσα αρνητική (μείωση μέσης τιμής χωρίς να διαφοροποιηθεί η παραλλακτικότητα), ενώ στη περίπτωση (β) κατευθύνουσα θετική και σταθεροποιούσα (αύξηση μέσης τιμής και ταυτόχρονα μείωση παραλλακτικότητας)

