

# Γενετική ποικιλότητα πληθυσμών και ειδών στα δάση

ΒΕΛΤΙΩΣΗ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΔΑΣΟΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ



# Σύνοψη

---

Τα γνωρίσματα που παρατηρούμε (φαινότυπος) είναι η συνδυασμένη έκφραση του γενοτύπου και του περιβάλλοντος

- $P=G+E$
- $P=A+D+I+E$

Η φαινοτυπική ποικιλότητα μπορεί να διαχωριστεί σε γενετική (κληρονομούμενη) και περιβαλλοντική (μη κληρονομούμενη)

- Ο διαχωρισμός της ποικιλότητας σε γενετική και περιβαλλοντική είναι το κύριο αντικείμενο της ποσοτικής γενετικής

Τα ποσοτικά γνωρίσματα ακολουθούν την κανονική κατανομή και η μέτρησή τους γίνεται με στατιστικές μεθόδους

Ο υπολογισμός των παραμέτρων ποσοτικής γενετικής που χαρακτηρίζουν οικογένειες απογόνων και ποσοτικά γνωρίσματα γίνεται σε ειδικές δοκιμές απογόνων, σε ομοιόμορφο κοινό περιβάλλον και με ειδικό πειραματικό σχεδιασμό

Ο συνδυασμός της φαινοτυπικής μελέτης των απογόνων και της εφαρμογής των δεικτών DNA μπορούν να μας δώσουν γενετικούς χάρτες QTL για ποσοτικά γνωρίσματα σε δασικά είδη

# Γενετική ποικιλότητα

---

Γενετική ποικιλότητα, το μέρος της ποικιλομορφίας των οργανισμών που κληρονομείται στην επόμενη γενιά

- Η βάση της βιολογικής ποικιλότητας
- Η βάση της εξελικτικής προσαρμογής των οργανισμών στις περιβαλλοντικές μεταβολές
- Η βάση της παροχής αγαθών και υπηρεσιών των δασικών οικοσυστημάτων

Η γενετική ποικιλότητα εξετάζεται σε τρία επίπεδα

- Ποικιλότητα μέσα στους πληθυσμούς
  - Ανάμεσα στα φυτά του ίδιου είδους σε έναν πληθυσμό
- Διαφοροποίηση ανάμεσα στους πληθυσμούς
  - Πόσο διαφορετικοί είναι οι πληθυσμοί του ίδιου είδους σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές
- Διαφοροποίηση μεταξύ των ειδών
  - Εξελικτική ιστορία και υβριδισμός μεταξύ διαφορετικών ειδών

# Ποσοτικός προσδιορισμός γενετικής ποικιλότητας

---

Για τον ποσοτικό προσδιορισμό της γενετικής ποικιλότητας ακολουθούμε δύο προσεγγίσεις

- Έρευνα ποσοτικών γνωρισμάτων
  - Πολλά γονίδια και επίδραση περιβάλλοντος
  - Χαρακτηριστικά με πρακτική σημασία
  - Αδύνατος ο προσδιορισμός της γενετικής ποικιλότητας στους φυσικούς πληθυσμούς
  - Δοκιμές και πειράματα σε κοινό περιβάλλον (πολλά έξοδα και πολύς χρόνος)
  - Ανίχνευση προσαρμοστικών διαφορών μεταξύ πληθυσμών
- Έρευνα γενετικών δεικτών
  - Βιοχημικοί και μοριακοί δείκτες (ραγδαία εξελισσόμενο επιστημονικό πεδίο)
  - Χαμηλότερο κόστος και πιο σύντομοι χρόνοι
  - Πραγματικοί γενετικοί πολυμορφισμοί σε επίπεδο DNA / άγνωστος φαινότυπος
  - Ποικιλότητα μέσα και ανάμεσα σε πληθυσμούς
  - Εκτίμηση επίδρασης εκτροπής, μετανάστευσης, αναπαραγωγικού συστήματος / δύσκολα σχετίζονται με το περιβάλλον και την προσαρμογή
    - Ραγδαία πρόοδος στον τομέα αυτόν

# Διαφοροποίηση πληθυσμών σε ποσοτικά γνωρίσματα

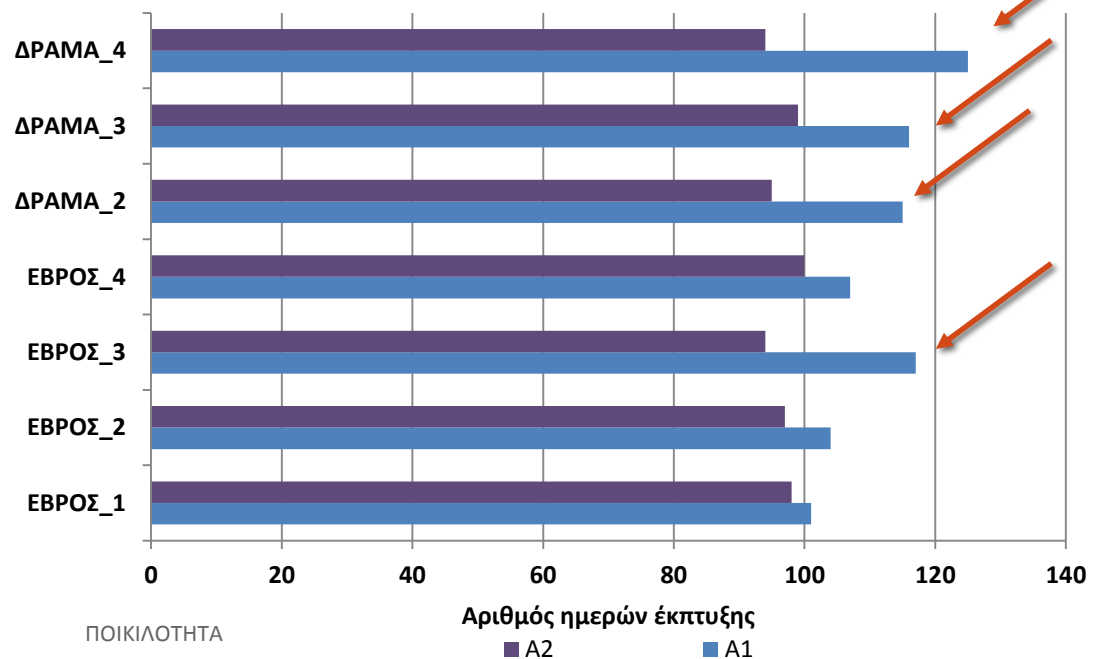
Διαφοροποίηση 7 πληθυσμών οξιάς στο χρόνο έκπτυξης οφθαλμών, σε κοινό περιβάλλον και σε 2 σενάρια κλίματος (A1 με ανοιχτό γαλάζιο, A2 με σκούρο μπλε)

Οι πληθυσμοί της Δράμας και ο Έβρος-3 εκπτύσσουν τους οφθαλμούς τους πολύ αργότερα από τους υπόλοιπους πληθυσμούς του Έβρου

Βρέθηκε συσχέτιση των αποτελεσμάτων αυτών με τη μεγαλύτερη υγρασία των περιοχών του Έβρου (πλην Έβρος-3)



Βαρσάμης 2016



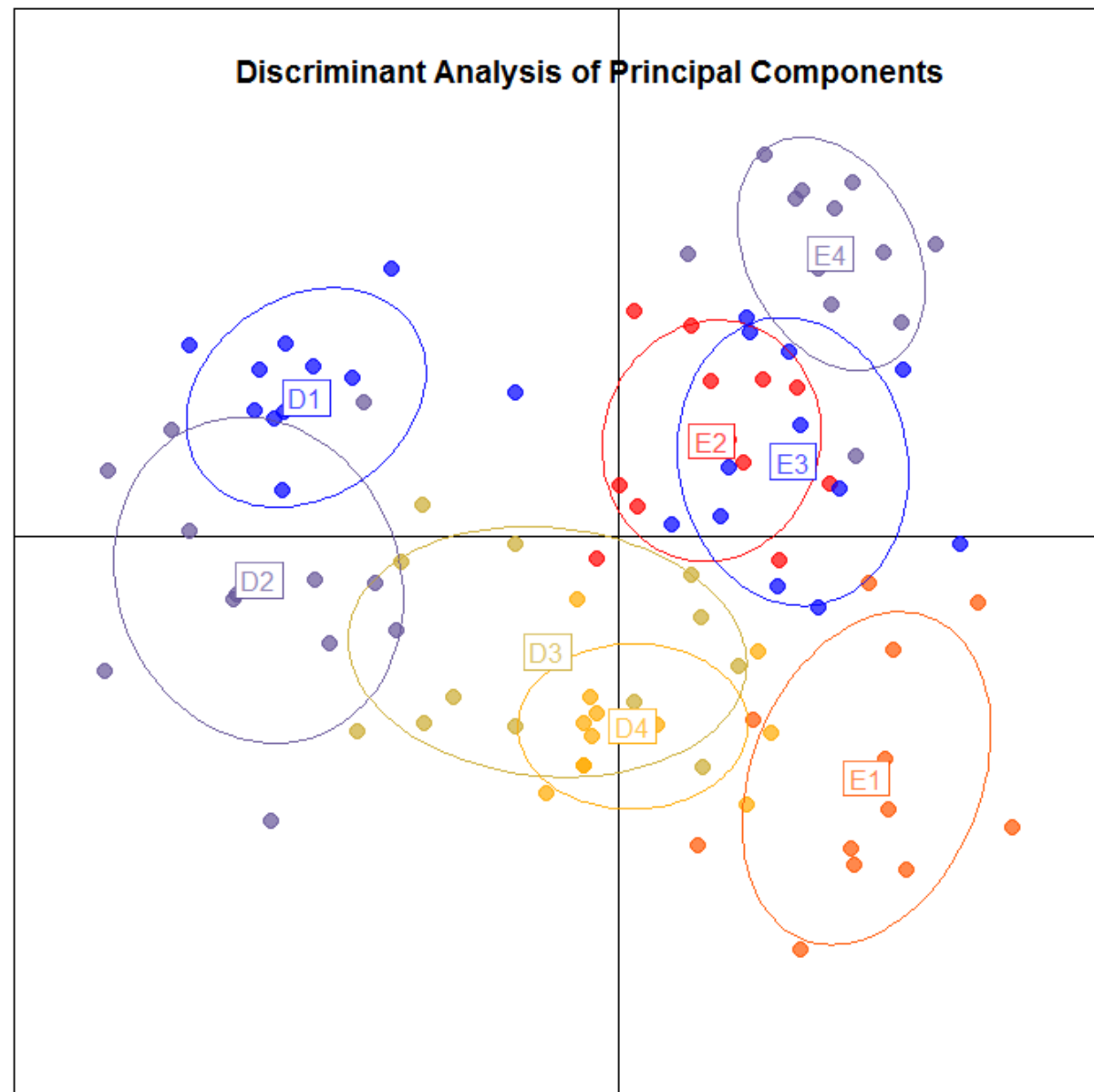
# Διαφοροποίηση πληθυσμών σε γενετικούς δείκτες

Διαφοροποίηση 8 πληθυσμών  
οξιάς σε 10 δείκτες iSSR με  
την ανάλυση DAPC

Οι πληθυσμοί της Δράμας και  
του Έβρου ξεχωρίζουν και  
ομαδοποιούνται γεωγραφικά

Η γενετική διαφοροποίηση  
οφείλεται στη ροή γονιδίων

Καθώς πρόκειται για τους  
ίδιους πληθυσμούς με την  
προηγούμενη διαφάνεια,  
διαπιστώνουμε ότι δεν  
υπάρχει ταύτιση των  
προτύπων της γενετικής  
διαφοροποίησης για  
ποσοτικά προσαρμοστικά  
γνωρίσματα και ουδέτερους  
γενετικούς δείκτες



# Μεγέθη μέτρησης γενετικής ποικιλότητας

---

Στις αναλύσεις με γενετικούς δείκτες προσπαθούμε να περιγράψουμε την ποικιλότητα μέσα στους πληθυσμούς ή τη διαφοροποίηση μεταξύ των πληθυσμών

Για τη **γενετική ποικιλότητα** μέσα σε πληθυσμούς συνήθως χρησιμοποιούνται

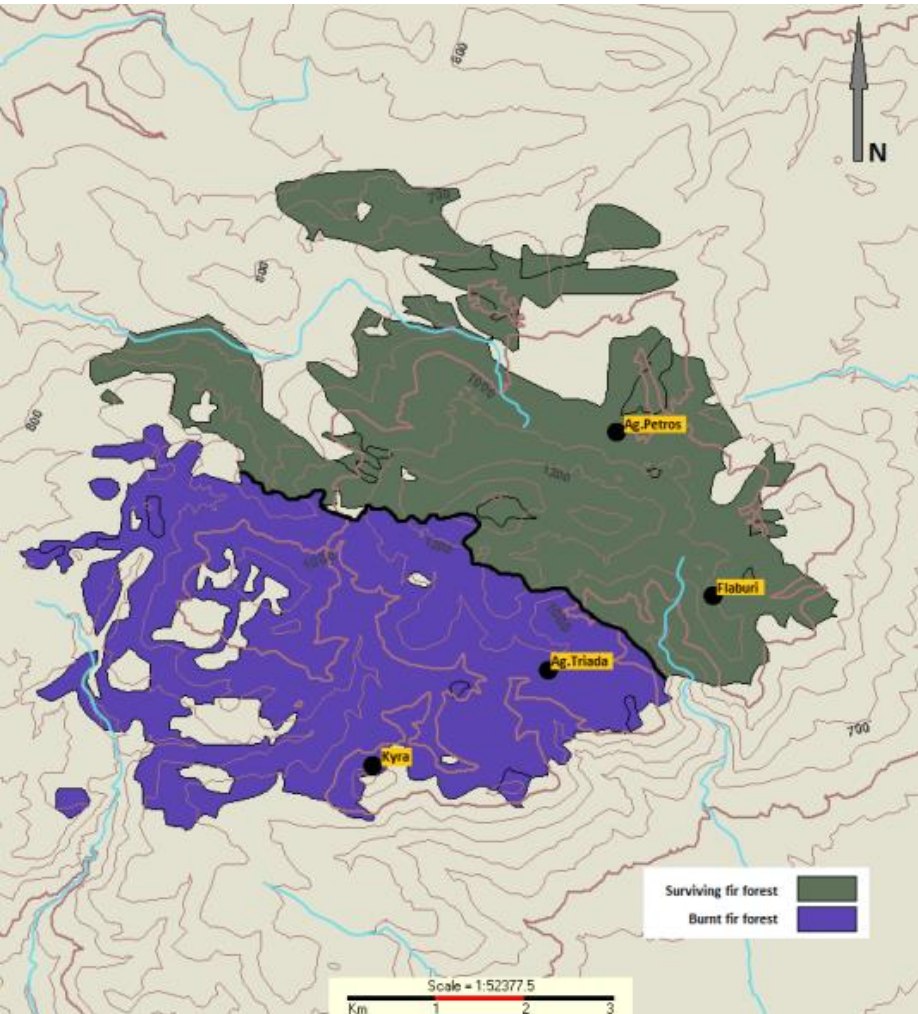
- Το ποσοστό πολυμορφικών γονιδιακών θέσεων  $P(\%)$
- Ο μέσος αριθμός αλληλομόρφων ανά γονιδιακή θέση ( $A$ )
- Η μέση αναμενόμενη ετεροζυγωτία ( $\overline{H}_e$ )

Για τη **γενετική διαφοροποίηση** ανάμεσα σε πληθυσμούς χρησιμοποιείται

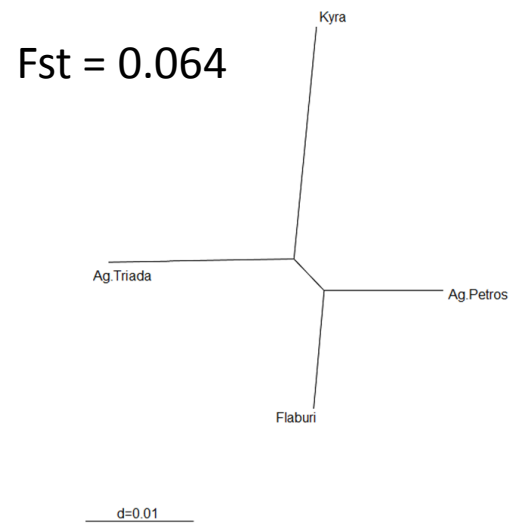
- Η γενετική απόσταση μεταξύ δύο πληθυσμών ( $D$ )
- Το επίπεδο διαφοροποίησης ανάμεσα σε ένα σύνολο πληθυσμών ( $F_{st}$ )

Επιμερισμός ποικιλότητας μέσα στους πληθυσμούς και ανάμεσα σε αυτούς

- Π.χ. AMOVA



Subpopulation	N	P(%)	A	He
Ag. Petros	24	87,30	1.841	0.313
Ag. Triada	23	87,30	1.873	0.320
Flaburi	24	88,89	1.889	0.307
Kyra	24	88,89	1.873	0.318



AMOVA



96% Within populations      4% Among populations

Κωστούδη 2011

# Ελάτη (*Abies cerhalonica*) στην Πάρνηθα

Μεγέθη ποικιλότητας και διαφοροποίησης για τέσσερις υποπληθυσμούς ελάτης στην Πάρνηθα, σε ανάλυση 63 γενετικών δεικτών iSSR



# Εκτίμηση γενετικής ποικιλότητας ποσοτικών χαρακτήρων

Η γενετική ποικιλότητα σε ποσοτικούς χαρακτήρες υπολογίζεται σε πειράματα απογόνων

Αξιολόγηση πειράματος ετεροθαλών οικογενειών χαλεπίου πεύκης στη Β. Εύβοια, 15 ετών

Αξιολογήθηκαν 726 δέντρα, απόγονοι από 33 οικογένειες σε 3 επαναλήψεις για ύψος, διάμετρο και όγκο δέντρου

	Ύψος	Διάμετρος	Όγκος
$\sigma^2_{\text{επ}}$	9%	2%	3%
$\sigma^2_{\text{οικ}}$	8%	12%	10%
$\sigma^2_{\text{επ*οικ}}$	11%	3%	2%
$\sigma^2_w$	72%	83%	85%

$\sigma^2_{\text{επ}}$ : διακύμανση που οφείλεται στις επαναλήψεις (περιβάλλον φυτείας)  
 $\sigma^2_{\text{οικ}}$ : διακύμανση ανάμεσα στις οικογένειες (γενετική)  
 $\sigma^2_{\text{επ} * \text{οικ}}$ : διακύμανση αλληλεπίδρασης επανάληψης X οικογένειας  
 $\sigma^2_w$ : διακύμανση που οφείλεται στο τυχαίο σφάλμα



# Βασική προτεραιότητα

---

Σε μια δασοπονία μεσογειακού χαρακτήρα, που βασίζεται σε φυσικά δασικά οικοσυστήματα, διακρίνουμε δύο προτεραιότητες από γενετική άποψη

- Διατήρηση υψηλών επιπέδων γενετικής ποικιλότητας σε όλα τα γονίδια
- Διατήρηση των τοπικών γενετικών προσαρμογών για κάθε πληθυσμό σε συγκεκριμένα γονίδια

Για να επιτευχθούν οι στόχοι αυτοί, πρέπει να κατανοήσουμε τους παράγοντες που διαμορφώνουν τη γενετική ποικιλότητα στα δάση



# Παράγοντες που ευνοούν τη γενετική ποικιλότητα στα δάση

---

## Μεγάλο πληθυσμιακό μέγεθος

- Μεγάλοι πληθυσμοί διατηρούν υψηλή γενετική ποικιλότητα

## Μακροβιότητα δασικών δέντρων

- Συσσώρευση γενετικής ποικιλότητας πολλών γενεών στον ίδιο πληθυσμό

## Υψηλά ποσοστά σταυρογονιμοποίησης

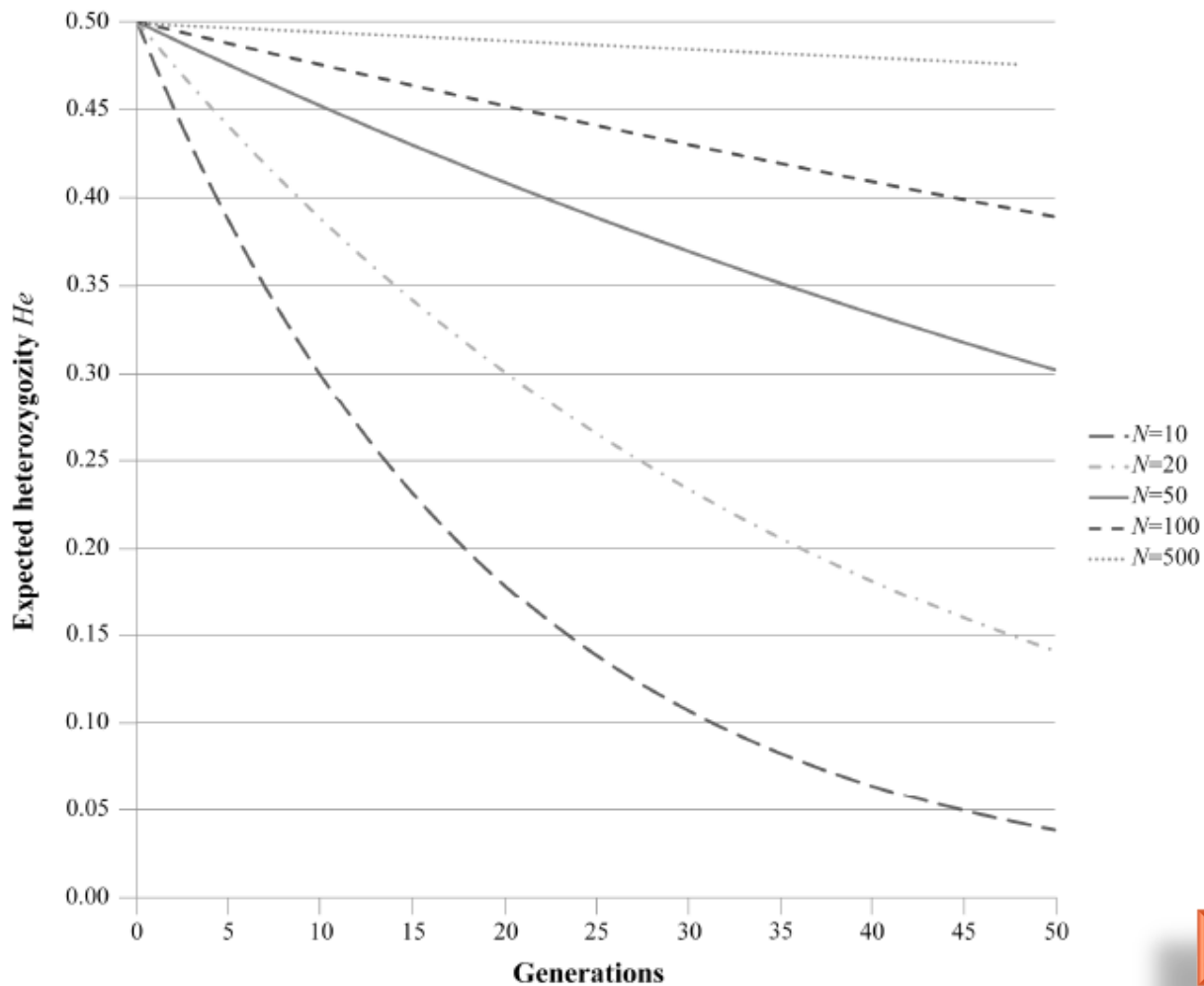
- Οι συζεύξεις περιλαμβάνουν αντιπροσωπευτικά πολλούς γονείς από τον πληθυσμό και πλησιάζουν την τυχαία αναπαραγωγή

## Υψηλά ποσοστά μετανάστευσης μεταξύ πληθυσμών

- Οι πληθυσμοί συνδέονται μεταξύ τους και πρακτικά αυξάνει το μέγεθός τους

## Επιλογή ισορροπίας

- Οι ετεροζυγωτοί επιβιώνουν περισσότερο από τους ομοζυγωτούς και διατηρούν μια ισορροπία ποικιλότητας



Dobeš et al. 2017

# Μέγεθος πληθυσμού

Η γενετική εκτροπή μειώνει την ποικιλότητα με την πάροδο των γενεών και η μείωση αυτή γίνεται πιο απότομα σε μικρούς πληθυσμούς

# Μέγεθος πληθυσμού

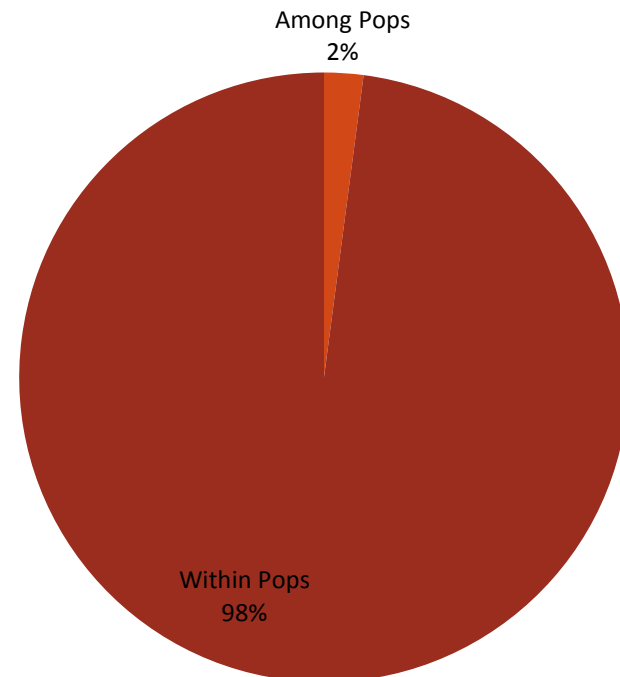
## Μεγάλοι πληθυσμοί δασικών ειδών

- Μικρές διακυμάνσεις στις συχνότητες των αλληλομόρφων των γονιδίων
  - Η γενετική εκτροπή δεν είναι ισχυρή
- Η γενετική ποικιλότητα διατηρείται μέσα στους πληθυσμούς σε υψηλά επίπεδα
- Η γενετική διαφοροποίηση μεταξύ των πληθυσμών διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα

Π.χ. Η οξιά (*Fagus sylvatica*) σχηματίζει μεγάλους πληθυσμούς και η ποικιλότητα βρίσκεται κυρίως μέσα στους πληθυσμούς της

- Έρευνα σε 7 πληθυσμούς της Β.Δ. Ελλάδας με δείκτες iSSR
- 98% της ποικιλότητας βρίσκεται μέσα στους πληθυσμούς και μόνο 2% ανάμεσα σε αυτούς

Percentages of Molecular Variance



Καπετανίδου 2016



# *Pinus torreyana*

Ενδημικό είδος πεύκου των ΗΠΑ (Καλιφόρνια), με περιορισμένη γεωγραφική εξάπλωση

Όλα τα δέντρα βρέθηκαν ομοζυγωτά για τα ίδια αλληλόμορφα σε 59 γονίδια

Μηδενική γενετική ποικιλότητα μέσα στους πληθυσμούς

Διαφορές σε κάποια γονίδια ανάμεσα στους δύο πληθυσμούς του είδους

Εικάζεται ότι υπήρξε γενετική στενωπός και ιδρυτικό φαινόμενο κατά το παρελθόν



Ledig & Concle 1983

ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ

# Μακροβιότητα

---

Η μακροβιότητα των οργανισμών εξασφαλίζει την αποφυγή της γενετικής εκτροπής και ιδιαίτερα της γενετικής στενωπού

- Η κάθε γενιά έχει πολλές ευκαιρίες (χρονιές) να αναπαραχθεί και είναι λιγότερο ευαίσθητη σε τυχαία γεγονότα που περιορίζουν την αναπαραγωγή
- Αν σε μία χρονιά περιοριστεί η αναπαραγωγή και προκύψουν απόγονοι με χαμηλή γενετική ποικιλότητα, υπάρχουν οι επόμενες χρονιές που η ίδια γενιά μπορεί να αναπαραχθεί χωρίς πρόβλημα

Οι πληθυσμοί αποτελούνται από ένα συνδυασμό περισσότερων γενεών, με μεγαλύτερο άθροισμα συνολικής γενετικής ποικιλότητας

Συσσώρευση μεγαλύτερου αριθμού μεταλλάξεων σε πολυετείς οργανισμούς (κυρίως δέντρα) και μεγαλύτερη πιθανότητα δημιουργίας νέων αλληλομόρφων

- Αυξημένος αριθμός κυτταροδιαιρέσεων στα δασικά φυτά

# Εντοπισμός νέας μετάλλαξης

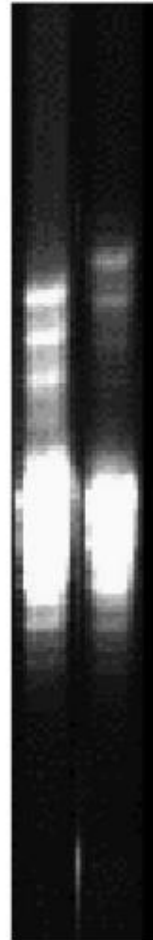
Σε μεγάλο δείγμα από δέντρα του είδους *Thuja plicata* έγινε προσδιορισμός αλληλομόρφων σε συγκεκριμένα γονίδια σε διαφορετικό ύψος στο κάθε δέντρο

Βρέθηκε μία νέα μετάλλαξη σε ένα από τα 80 δέντρα της έρευνας

Όλα τα κύτταρα πιο πάνω από το σημείο της νέας μετάλλαξης είχαν το νέο αλληλόμορφο

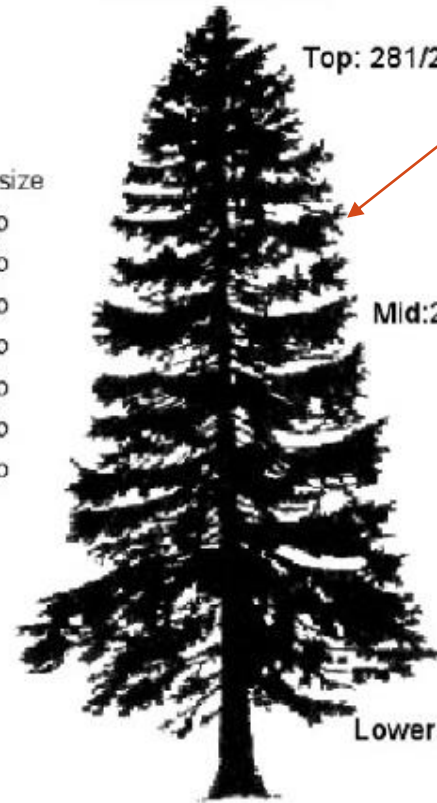
«σωματικό μωσαϊκό»

Locus TP9  
Mid Top



Allele size  
293 bp  
291 bp  
289 bp  
287 bp  
285 bp  
283 bp  
281 bp

Seed collection position:  
Alleles detected



Νέα μετάλλαξη

Top: 281/293

Mid: 281/291

Lower: 281/291



# Αναπαραγωγικό σύστημα

---

Υψηλά ποσοστά σταυρογονιμοποίησης στα περισσότερα δασικά είδη (>75%)

- Υψηλή κινητικότητα της γύρης με διάφορους φορείς (άνεμος, ζώα)
- Οι συζεύξεις είναι σε μεγάλο βαθμό αντιπροσωπευτικές για το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού

Η γενετική ποικιλότητα περνά στην επόμενη γενιά

- Διατήρηση υψηλού ποσοστού ετεροζυγωτών γενοτύπων
- Ανασυνδυασμός και νέοι συνδυασμοί γενοτύπων για πολλά γονίδια

Η αυτογονιμοποίηση (selfing) είναι δυνατή σε πολλά είδη και μπορεί να βοηθήσει την αναπαραγωγή σε ακραίες συνθήκες μείωσης του πληθυσμού

- Οδηγεί όμως σε χαμηλή γενετική ποικιλότητα

Outcrossing Rate and Number of Alleles Received from Paternal Trees by Outcrossing in Each Mother Tree of *Shorea curtisii* in Undisturbed Forests and the Selectively Logged Plot

Mother tree	No. of seeds analyzed	No. of detected alleles			Mean	Outcrossing rate (%)
		<i>Shc09</i>	<i>Shc07</i>	<i>Shc11</i>		
Undisturbed plot:						
WY846	44	6	7	3	5.3	88.6
WY358	33	5	6	2	4.3	100.0
WY427	35	4	4	2	3.3	100.0
WY756	52	4	5	3	4.0	95.9
WY786	34	4	6	2	4.0	100.0
WY6	16	5	5	2	4.0	100.0
WY956	34	5	8	3	5.3	100.0
WY843	35	5	6	2	4.3	93.3
BW506	35	3	7	3	4.3	100.0
A	35	4	6	3	4.3	94.3
B	33	5	5	2	4.0	86.7
Average	35.1	4.5	5.9	2.5	4.3	96.3
Pooled	359	11	12	6	29	...
Logged plot:						
2	35	3	5	2	3.3	32.4
3	31	4	5	2	3.7	64.5
4	35	7	5	1	4.3	78.8
6	33	3	6	3	4.0	50.0
7	51	2	2	1	1.7	35.4
Average	37.0	3.8	4.6	1.8	3.4	52.2
Pooled	178	9	14	4	27	...

## Ποσοστό σταυρογονιμοποίησης και γενετική ποικιλότητα στη *Shorea curtisii*

Ενώ οι συστάδες χωρίς διατάραξη διατηρούν υψηλά ποσοστά σταυρογονιμοποίησης και υψηλό αριθμό αλληλομόρφων, οι υπερ-υλοτομημένες συστάδες έχουν χαμηλά ποσοστά σταυρογονιμοποίησης και πολύ λιγότερα αλληλόμορφα (ποικιλότητα)

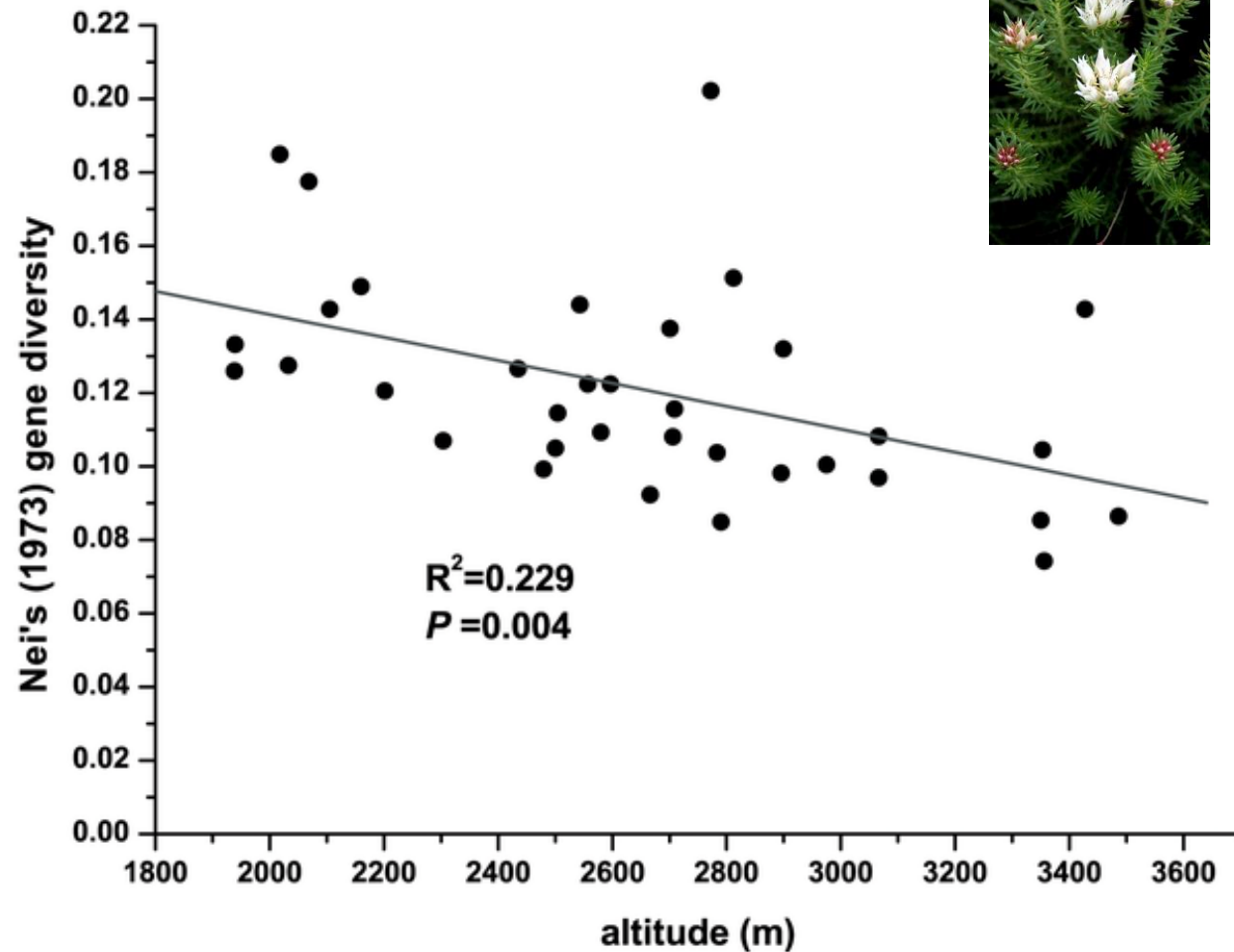
# Απομονωμένοι πληθυσμοί *Rhodiola dumulosa* στην Κίνα

Συσχέτιση μεταξύ γενετικής  
ποικιλότητας (gene  
diversity) και υψομέτρου

Όσο αυξάνει το υψόμετρο,  
τόσο μειώνεται η γενετική  
ποικιλότητα μέσα στους  
πληθυσμούς

Πιθανή αιτία είναι οι  
μειωμένοι πληθυσμοί  
επικονιαστών (εντόμων) για  
το φυτό αυτό στα μεγάλα  
υψόμετρα

Hou Y, Lou A (2011) Population Genetic Diversity and Structure of a Naturally Isolated Plant Species, *Rhodiola dumulosa* (Crassulaceae). PLOS ONE 6(9): e24497.



# Μετανάστευση μεταξύ πληθυσμών

---

Ροή γονιδίων με γύρη ή σπόρο

- Διατήρηση υψηλής γενετικής ποικιλότητας μέσα στους πληθυσμούς
- Διατήρηση χαμηλής γενετικής διαφοροποίησης μεταξύ πληθυσμών

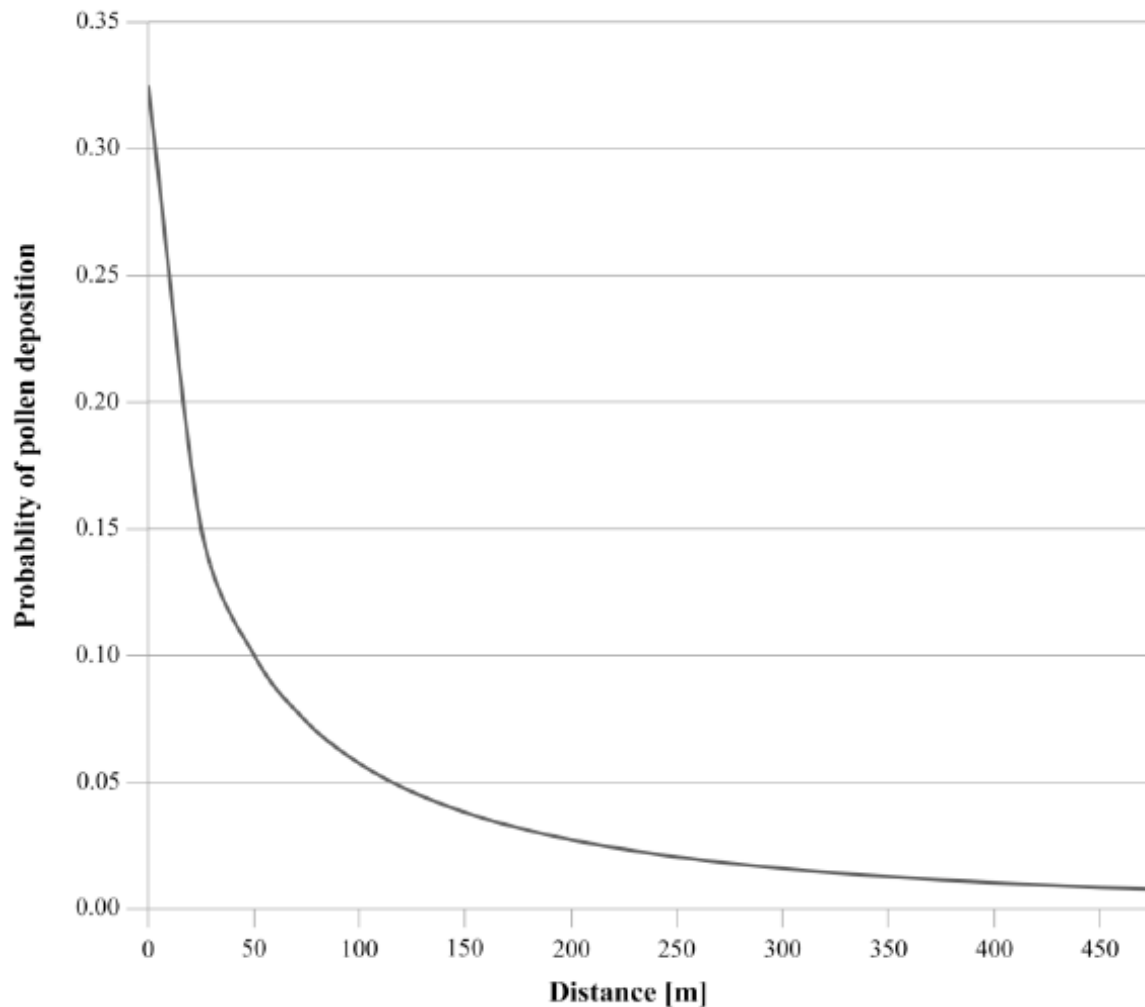
Επαναφορά αλληλομόρφων που χάνονται από την εκτροπή σε μικρούς πληθυσμούς

- Η ροή γονιδίων διατηρεί την ποικιλότητα σε μικρούς πληθυσμούς

Επαναφορά αλληλομόρφων ακόμα και αν η φυσική επιλογή δρα εναντίον τους

Η κίνηση της γύρης στα περισσότερα δασικά είδη της εύκρατης και μεσογειακής ζώνης γίνεται με τον άνεμο σε μεγάλες αποστάσεις

- Διατηρείται υψηλή γενετική ποικιλότητα



Austerlitz et al. 2004

## Πιθανότητα διασποράς της γύρης στο χώρο

Η πιθανότητα διασποράς της γύρης μειώνεται όσο αυξάνει η απόσταση από την πηγή της (αρσενικός γονέας), όπως φαίνεται στο γράφημα που βασίζεται σε στοιχεία από το *Sorbus torminalis*. Η ικανότητα όμως μεταφοράς γύρης, έστω και σε χαμηλά ποσοστά, συνεχίζεται για μεγάλες αποστάσεις

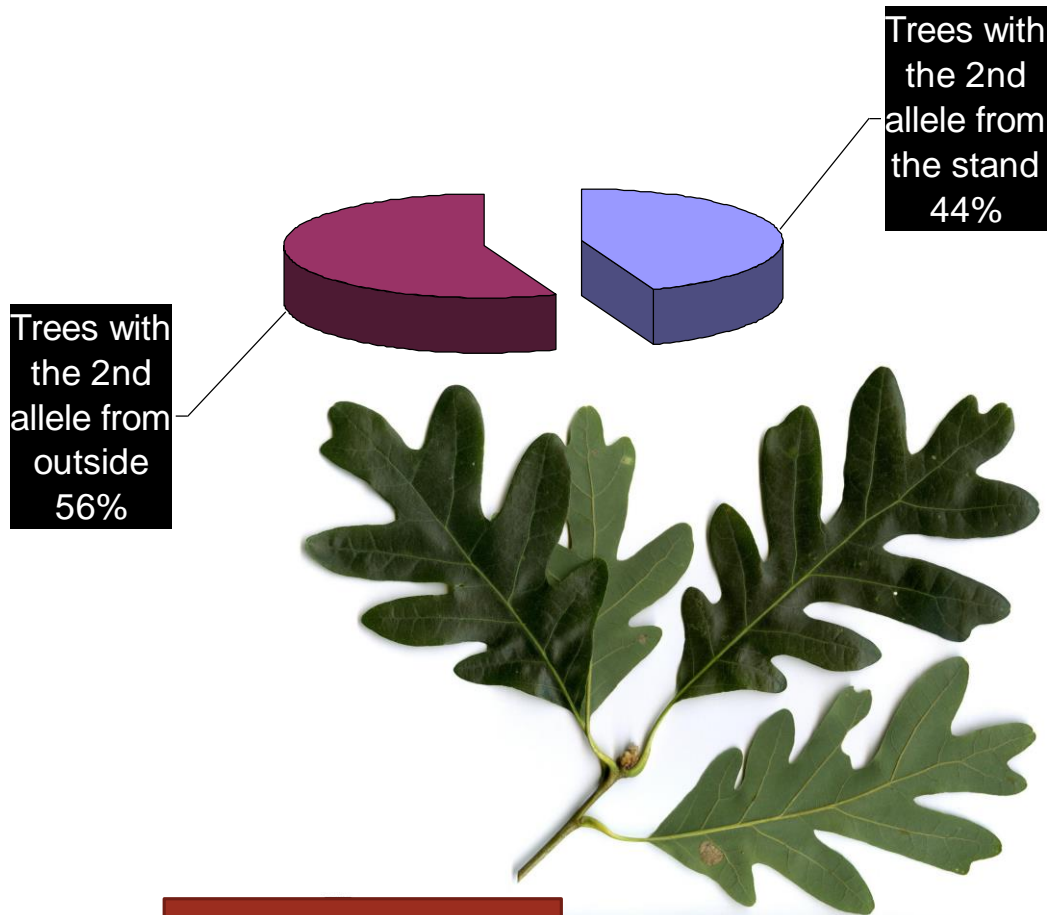
# Εισροή γύρης σε δάσος δρυός

Μικρή απομονωμένη  
συστάδα δρυός, μέσα σε  
δάσος οξιάς

Ανάλυση πατρότητας σε  
όλα τα δέντρα

Το μεγαλύτερο ποσοστό  
γύρης προέρχεται από  
δέντρα άλλων συστάδων

Η γεωγραφική απομόνωση  
δεν είναι δεδομένη

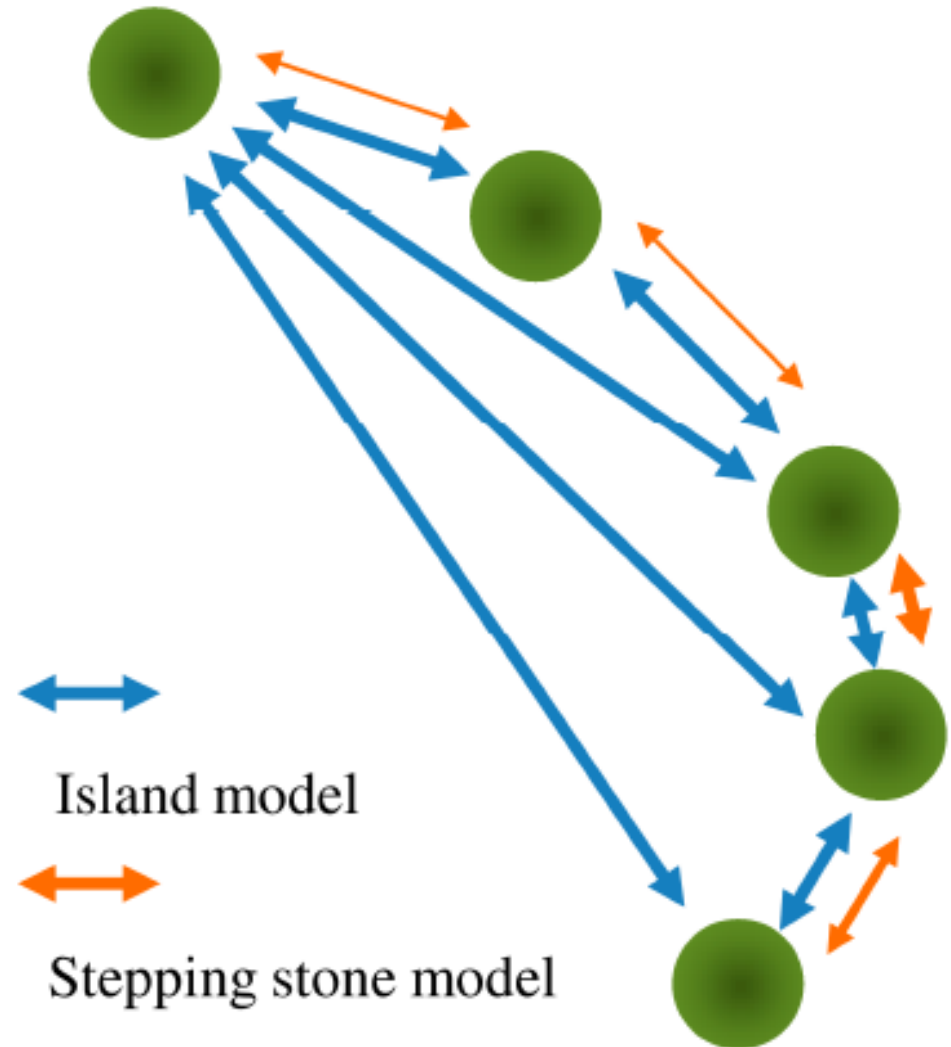


# Μοντέλα ροής γονιδίων

Το «νησιωτικό μοντέλο»  
θεωρεί πως όλοι οι  
πληθυσμοί συνδέονται  
μεταξύ τους με ίσο τρόπο

Το μοντέλο των  
«ενδιάμεσων πατημάτων»  
θεωρεί πως οι κοντινοί  
πληθυσμοί συνδέονται  
περισσότερο μεταξύ τους  
και αυτοί στη συνέχεια  
συνδέονται με τους  
επόμενους

Και τα δύο μοντέλα είναι  
θεωρητικά, με το δεύτερο  
να έρχεται πιο κοντά στους  
δασικούς πληθυσμούς

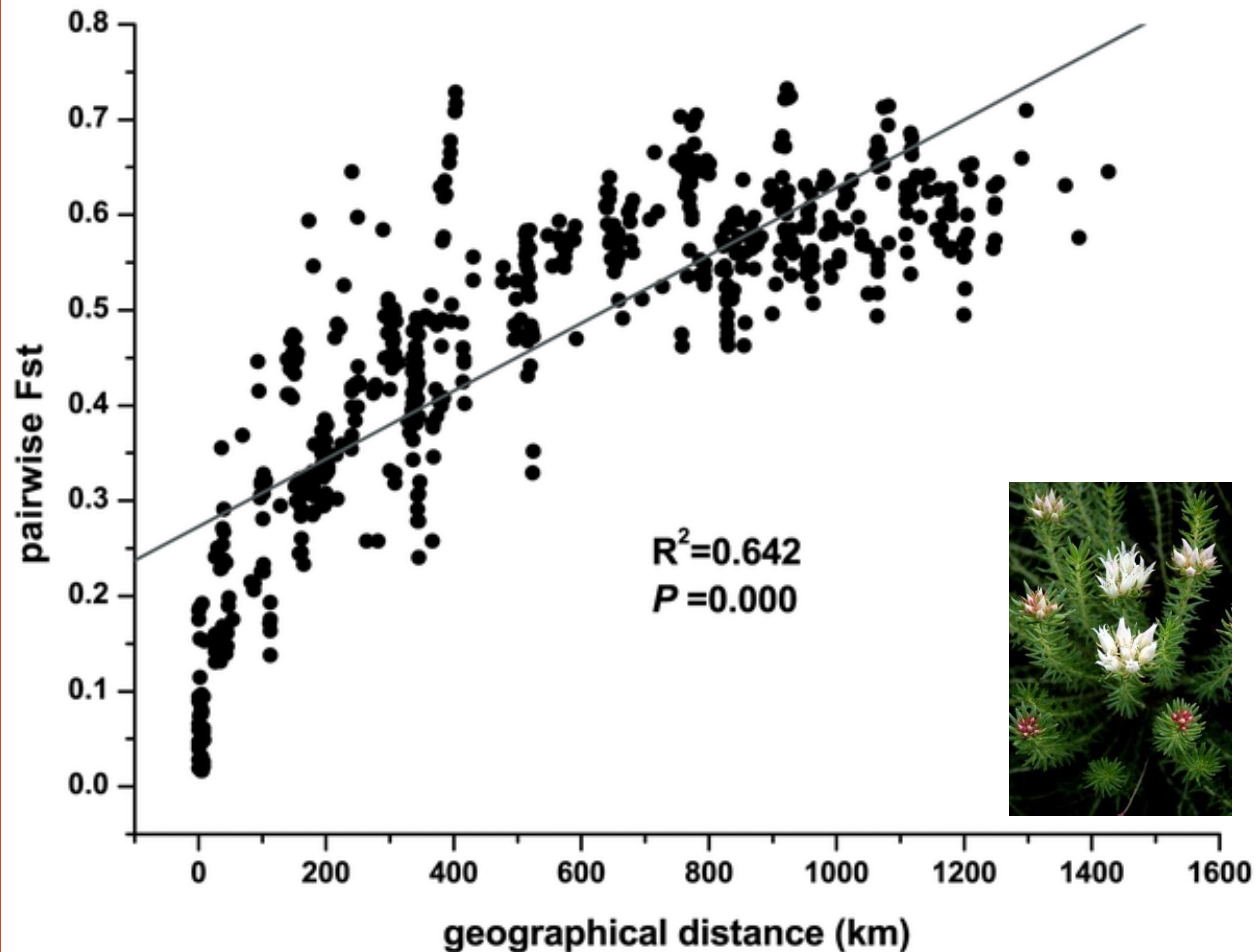




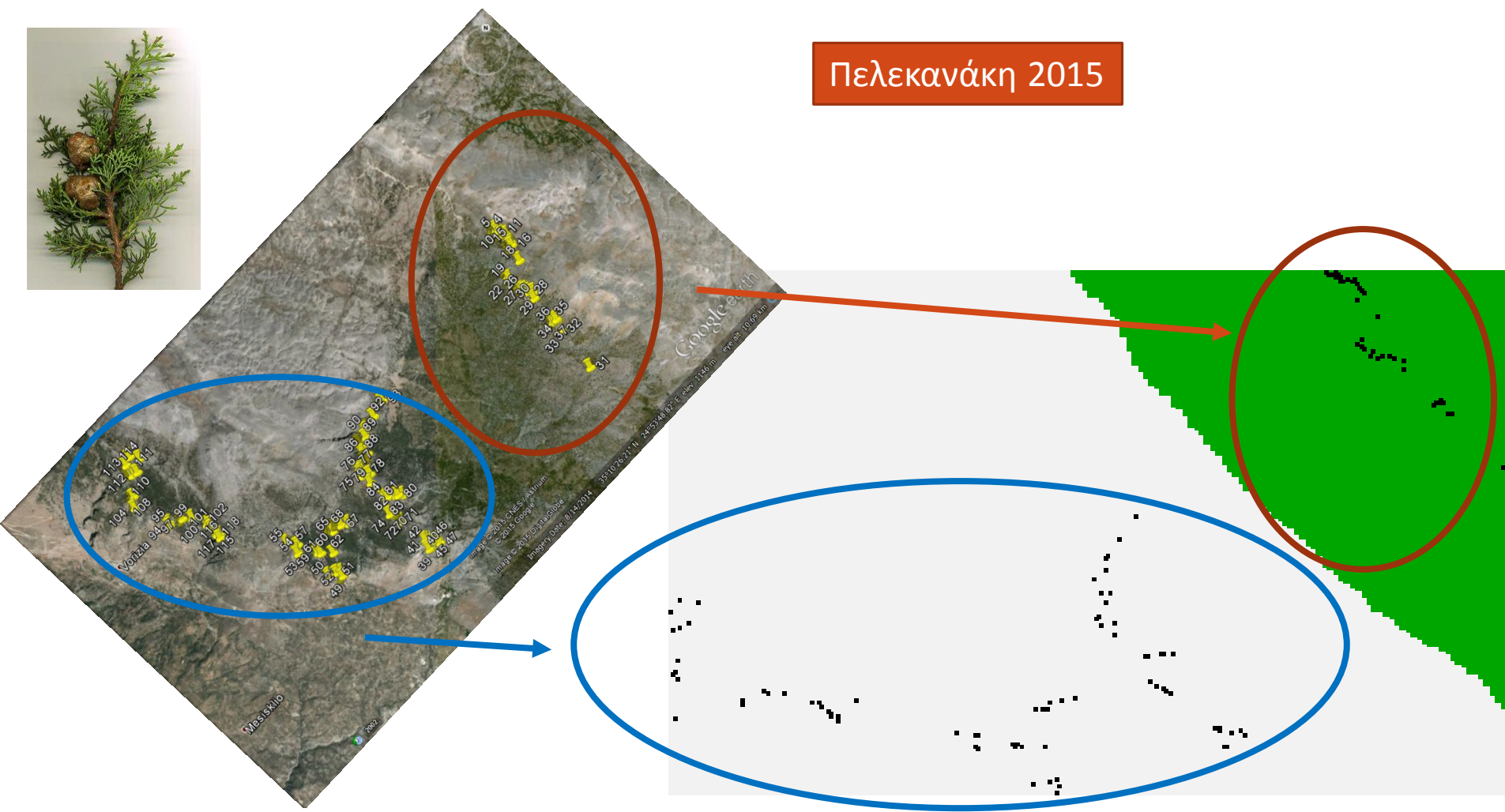
# Απομονωμένοι πληθυσμοί *Rhodiola dumulosa* στην Κίνα

Συσχέτιση μεταξύ γενετικής  
απόστασης (pairwise *F<sub>st</sub>*)  
και γεωγραφικής  
απόστασης, ανάμεσα στους  
πληθυσμούς του φυτού  
*Rhodiola dumulosa*

Υπάρχει ροή γονιδίων  
ανάμεσα στους κοντινούς  
πληθυσμούς







# Ροή γονιδίων στο *Cupressus sempervirens* στον Ψηλορείτη

Ένα σύνολο μικρών διάσπαρτων πληθυσμών κυπαρισσιού χωρίζονται γεωγραφικά και γενετικά από ένα φαράγγι, αλλά δεξιά και αριστερά του εμποδίου αυτού, η κίνηση της γύρης διατηρεί υψηλή γενετική ποικιλότητα και χαμηλή διαφοροποίηση ανάμεσα στους πληθυσμούς

# Επικονίαση με έντομα

---

Η επικονίαση με έντομα δεν καλύπτει τόσο μεγάλες αποστάσεις όσο αυτή με τη γύρη

- Όμως η κίνηση των επικονιαστών, ως και 300-500 μέτρα είναι επαρκής για τη διατήρηση υψηλής γενετικής ποικιλότητας
- Οι επικονιαστές κινούνται εξειδικευμένα ανάμεσα στα άτομα του ίδιου δασικού είδους και κάνουν δυνατή την επικονίαση σε σπάνια δέντρα που στέκονται μεμονωμένα σε ιδιαίτερα μεικτές συστάδες, όπως είναι στα τροπικά δάση

Η ένταση της ροής γονίδιων και της διατήρησης της γενετικής ποικιλότητας εξαρτάται από την ύπαρξη υγιών πληθυσμών επικονιαστών σε επάρκεια

- Π.χ. η μείωση των πληθυσμών των μελισσών αναμένεται να δημιουργήσει μεγάλο πρόβλημα στην επικονίαση και κατά συνέπεια στην αναπαραγωγή και επιβίωση σε πολλά είδη φυτών
  - Ανυπολόγιστες ζημιές σε δασικά και γεωργικά φυτά
  - Η παγκόσμια παραγωγή τροφίμων σε κίνδυνο

# Κίνηση των σπερμάτων

---

Η κίνηση των σπερμάτων σε πολλά δασικά είδη είναι περιορισμένη

- Π.χ. οικογενειακές δομές στη δρυ, όπου τα σπέρματα συγκεντρώνονται κάτω από το μητρικό δέντρο και τα κοντινά άτομα καταλήγουν να είναι συγγενικά

Υπάρχουν όμως μηχανισμοί διασποράς σπερμάτων για πολλά δασικά είδη που είναι πολύ αποτελεσματικοί

- Αβιοτικοί παράγοντες, όπως είναι ο άνεμος, το νερό, η κλίση του εδάφους
- Βιοτικοί παράγοντες όπως είναι τα θηλαστικά (ιδιαίτερα τρωκτικά) και τα πουλιά
- Πιο αποτελεσματικός φορέας μεταφοράς δασικού σπόρου είναι ο άνθρωπος

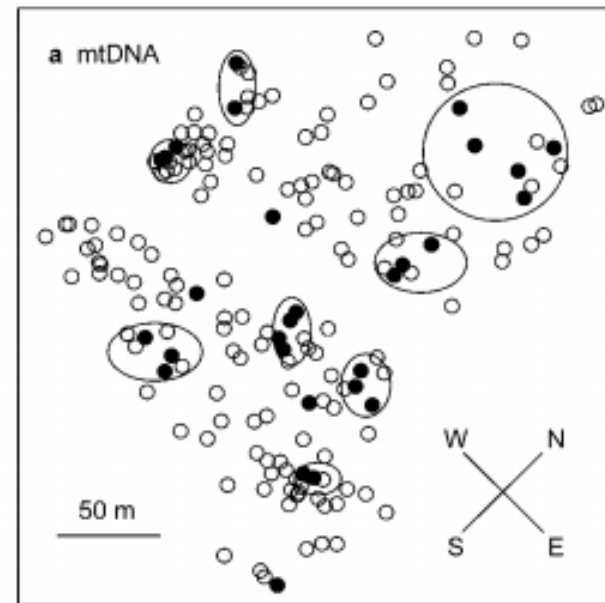
Η κίνηση των σπερμάτων (ζυγωτών) μεταφέρει διπλάσια ποσότητα γενετικής πληροφορίας σε σχέση με τη γύρη

# Διαφορές στα χωρικά πρότυπα της ποικιλότητας

Στα κωνοφόρα, το μιτοχονδριακό DNA (mtDNA) μεταφέρεται αποκλειστικά με σπέρματα και το χλωροπλαστικό DNA (cpDNA) αποκλειστικά με τη γύρη

Στο *Pinus ponderosa*, η κίνηση των σπερμάτων δημιουργεί «οικογενειακές δομές», ενώ η κίνηση των σπόρων προκαλεί ομοιόμορφη διασπορά των γονιδίων στο χώρο

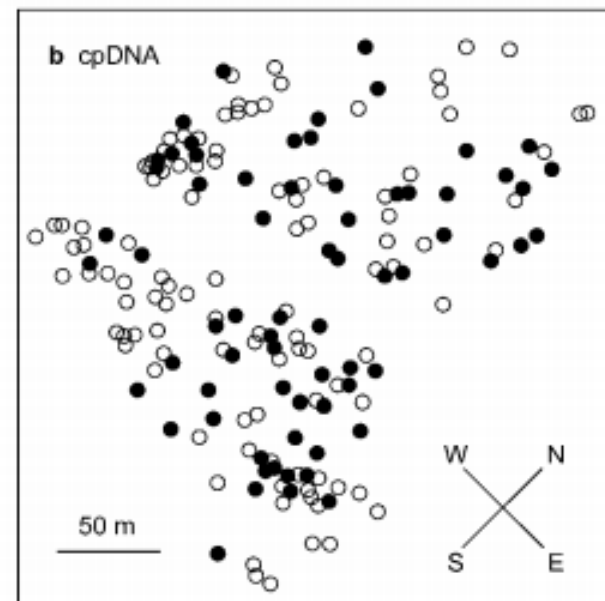
Οικογενειακές δομές



○ Common haplotype  
● Rare haplotype

Latta et al. 1998

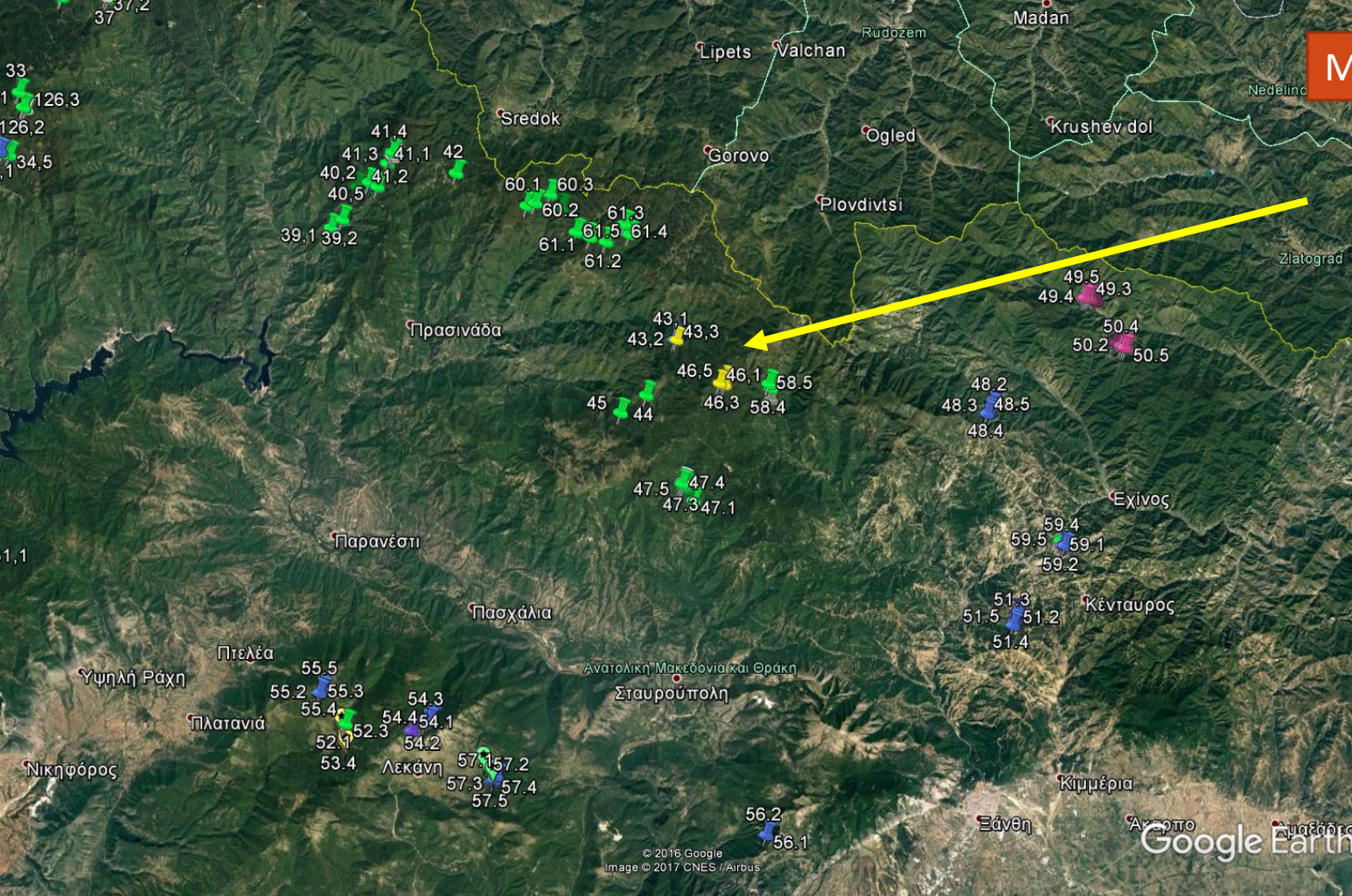
Ομοιόμορφη διασπορά





**Fig. 7.5.** Clark's nutcracker (*Nucifraga columbiana*) harvesting seed from limber pine (*Pinus flexilis*) cones. This bird harvests seeds from a number of high-elevation pines in the western USA burying the seeds in caches, often many kilometers from their source. (Photo courtesy of R. Lanner, USDA Forest Service Institute of Forest Genetics, Placerville, CA)





## Τυχαία μεταφορά σπερμάτων σε μεγάλη απόσταση

Μη αναμενόμενη παρουσία χλωροπλαστικού απλότυπου οξιάς στην κεντρική Ροδόπη Ροδόπη με προέλευση Πίνδου (κίτρινο χρώμα), πιθανότατα λόγω τυχαίας μεταφοράς σπερμάτων οξιάς σε μεγάλη απόσταση από ζώο ή από τον άνθρωπο

# Επιλογή ισορροπίας

---

Ο ετεροζυγωτός γενότυπος υπερτερεί προσαρμοστικά των ομοζυγωτών και οδηγεί σε διατήρηση περισσότερων αλληλομόρφων σε ένα γονίδιο

- Δεν έχει αποδειχτεί πειραματικά για πολλαπλά γονίδια

Τρεις παρατηρήσεις που οδηγούν στην αποδοχή της θεωρίας στα δασικά είδη:

- Πολύ μεγάλος ανταγωνισμός και ένταση επιλογής από γενιά σε γενιά (π.χ. 350.000 σπορόφυτα αναπτύσσονται για να καταλήξουν σε ένα δάσος 80 ενήλικων ατόμων), όπου η προσαρμογή γίνεται σε εναλλασσόμενες κλιματικές συνθήκες για πολλά χρόνια
- Οι πληθυσμοί των δασικών δέντρων καλύπτουν πολλά διαφορετικά μικροπεριβάλλοντα και η επιλογή δρα διαφορετικά σε αυτά
- Τα δάση που έχουν δέντρα με ομοιόμορφο γενετικό απόθεμα υποφέρουν πολύ συχνά από κακή προσαρμογή (ασθένειες, παράσιτα, κακή ανάπτυξη, νεκρώσεις)

# Γεωγραφική ποικιλότητα

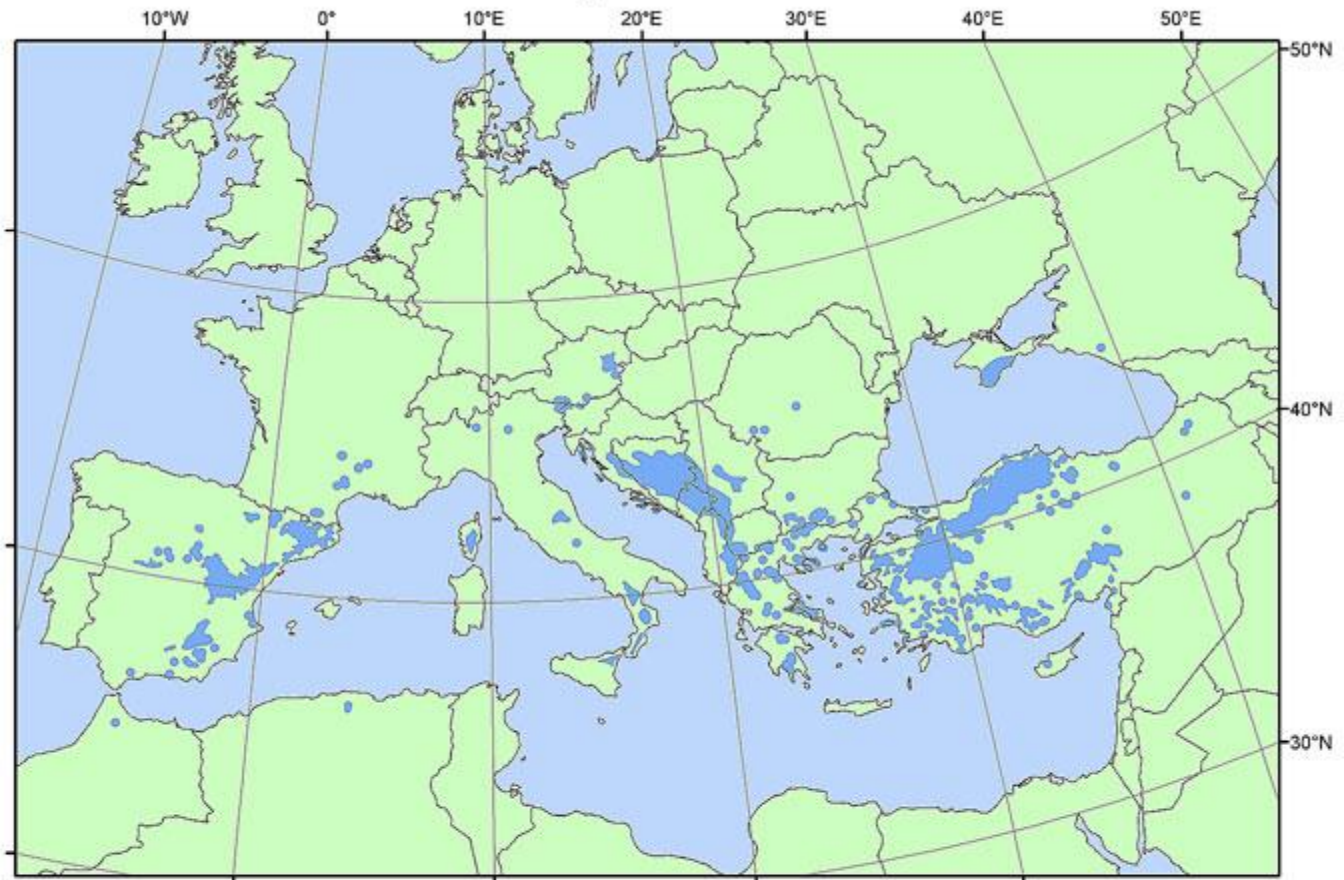
---

Γενετικά πρότυπα γεωγραφικής εξάπλωσης πληθυσμών μέσα στα είδη

- Πόσο διαφέρουν γενετικά οι πληθυσμοί ενός είδους στο χώρο;
- Είναι οι γενετικές διαφορές σε προσαρμοστικά χαρακτηριστικά και σχετίζονται με συγκεκριμένους περιβαλλοντικούς παράγοντες της περιοχής προέλευσης;
  - Μπορεί αυτή η πληροφορία να αξιοποιηθεί στην τεχνητή επιλογή σπόρου για ίδρυση νέων πληθυσμών;
- Ποιοι εξελικτικοί παράγοντες, πλην της προσαρμογής, επέδρασαν στη διαμόρφωση του γεωγραφικού προτύπου ποικιλότητας;
- Ποιοι οικολογικοί / γεωγραφικοί παράγοντες διαχωρίζουν μεταξύ τους τις «φυλές» και διαμορφώνουν τα γεωγραφικά πρότυπα;
  - Μπορούμε να σχεδιάσουμε δράσεις προστασίας του είδους με βάση τις πληροφορίες αυτές;
  - Μπορούμε να προβλέψουμε την αντίδραση του είδους στην κλιματική αλλαγή;
- Τα πειράματα προσδιορισμού και περιγραφής προτύπων της γεωγραφικής ποικιλότητας στα δασικά είδη, συγκρίνουν υλικό που προέρχεται από διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές



## *Pinus nigra*

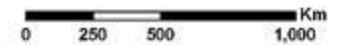


EUFORGEN Secretariat  
c/o Bioversity International  
Via del Tre Denari, 4729  
00057 Maccanese (Rimicchio)  
Rome, Italy  
Tel. (+39)066118251  
Fax. (+39)0661073661  
euf\_secretariat@cgiar.org  
More information  
and other maps at  
[www.euforgen.org](http://www.euforgen.org)

This distribution map, showing the natural distribution area of *Pinus nigra* was compiled by members of the EUFORGEN Networks

Citation: Distribution map of Black pine (*Pinus nigra*) EUFORGEN 2009, [www.euforgen.org](http://www.euforgen.org).

First published online on 26 March 2005 - Updated on 5 December 2011



# Σχέση απόδοσης συστάδας & προέλευσης σπόρου

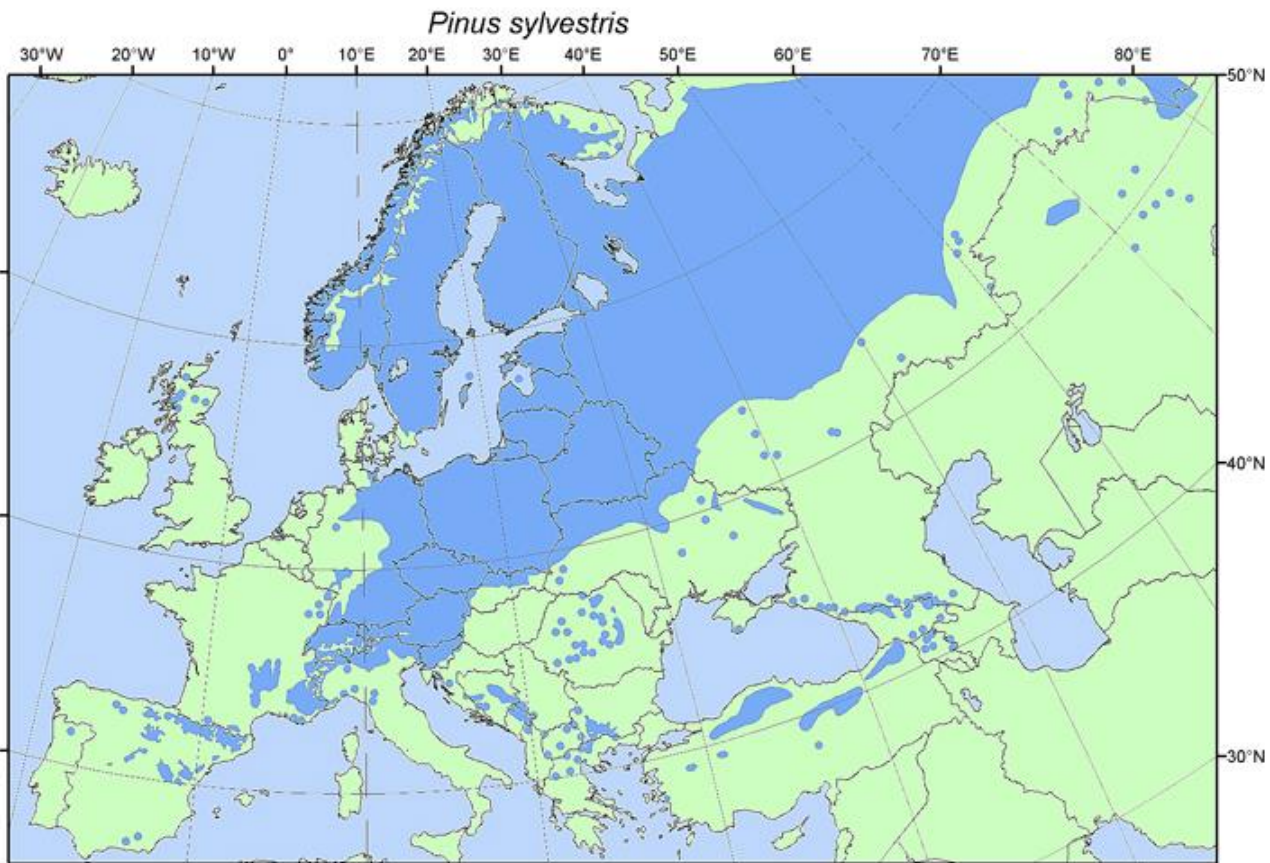
---

Η απόδοση των φυτειών και των αναδασώσεων σε πολύ μεγάλο βαθμό εξαρτάται από τα δάση από τα οποία έγινε η συλλογή των σπόρων

- Αφορά τόσο εμπορικά χαρακτηριστικά, όσο και την προσαρμογή και επιβίωση των δέντρων
- Υποθέτουμε ότι υπάρχει σχέση ανάμεσα στις περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής προέλευσης και στα γονίδια που μεταφέρθηκαν με το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την ίδρυση των νέων πληθυσμών (σπόρος)

Η σπουδαιότητα του φαινομένου αυτού αναγνωρίστηκε πολύ νωρίς

Η Διεθνής Ένωση Δασικών Ερευνητικών Ιδρυμάτων (IUFRO) συγκέντρωσε πληροφορίες και υλικό και διεξήγαγε πειράματα σύγκρισης υλικού με διαφορετική προέλευση



This distribution map, showing the natural distribution area of *Pinus sylvestris* in Europe was compiled by members of the EUFORGEN Networks

Citation: Distribution map of Scots pine (*Pinus sylvestris*) EUFORGEN 2009, [www.euforgen.org](http://www.euforgen.org).

First published online on September 2004 - Updated on 24 July 2008



# Πρώτες συγκρίσεις προελεύσεων

Οι πρώτες συγκρίσεις φυτευτικού υλικού με διαφορετική γεωγραφική προέλευση έγιναν στα μέσα του 18<sup>ου</sup> αιώνα για το είδος *Pinus sylvestris* στη Γαλλία με υλικό από φυσικές συστάδες από την Ευρώπη και ιδιαίτερα τη Σκανδιναβία

# Προέλευση

---

Η **προέλευση** είναι κεντρικός όρος της δασικής γενετικής και της δασοπονίας γενικότερα και έχει διπλή σημασία:

- Μπορεί να θεωρηθεί σαν **γεωγραφική προέλευση** (origin), που προσδιορίζει μια συγκεκριμένη περιοχή της φυσικής γεωγραφικής εξάπλωσης ενός είδους, από την οποία προέρχεται το αναπαραγωγικό υλικό για την ίδρυση μιας συστάδας ή φυτείας
  - Ο πληθυσμός από τον οποίο συλλέξαμε το υλικό μιας προέλευσης είναι φυσικός (μη τεχνητός)
- Από πλευράς εξέλιξης, το υλικό για την ίδρυση μιας συστάδας ή φυτείας με συγκεκριμένη γεωγραφική προέλευση, θεωρείται πως είναι **προσαρμοσμένο** στο περιβάλλον του πληθυσμού της προέλευσης αυτής
  - Ο πληθυσμός προέλευσης έχει εξελιχτεί σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον και διαθέτει γενετική πληροφορία που ανταποκρίνεται στην περιοχή της προέλευσης αυτής

Θεωρούμε ότι το υλικό μιας συγκεκριμένης προέλευσης είναι διαθέτει αλληλόμορφα που είναι προσαρμοσμένα στο ιδιαίτερο περιβάλλον της προέλευσης

- Προϊόν φυσικής επιλογής



# Προέλευση & πηγή σπόρου

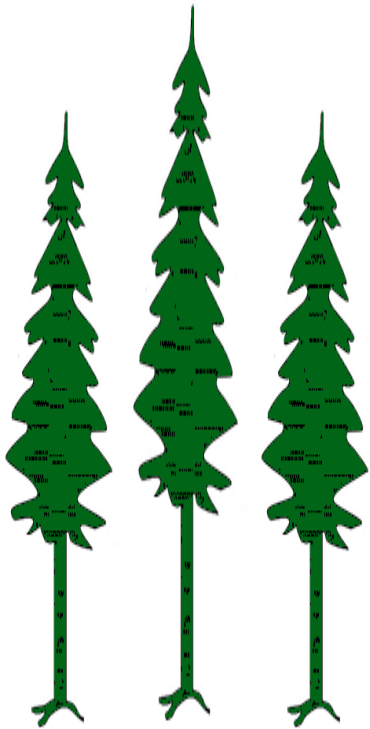


Ως **πηγή σπόρου** ορίζουμε την περιοχή από την οποία συλλέξαμε το σπόρο, ανεξάρτητα αν πρόκειται για φυσική ή τεχνητή συστάδα

Για παράδειγμα, αν πάρουμε σπόρο μαύρης πεύκης από τη Θάσο και ιδρύσουμε μια τεχνητή συστάδα στη Θεσσαλονίκη και στη συνέχεια μαζέψουμε σπόρο από την τεχνητή συστάδα στη Θεσσαλονίκη, τότε

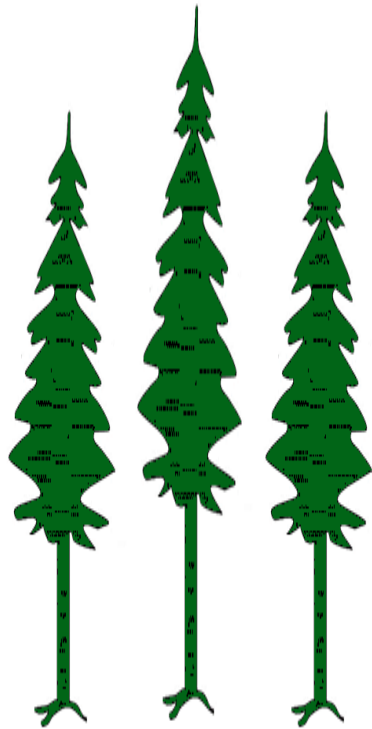
- Πηγή σπόρου θα είναι η Θεσσαλονίκη
- Προέλευση θα είναι η Θάσος

Φυσική συστάδα



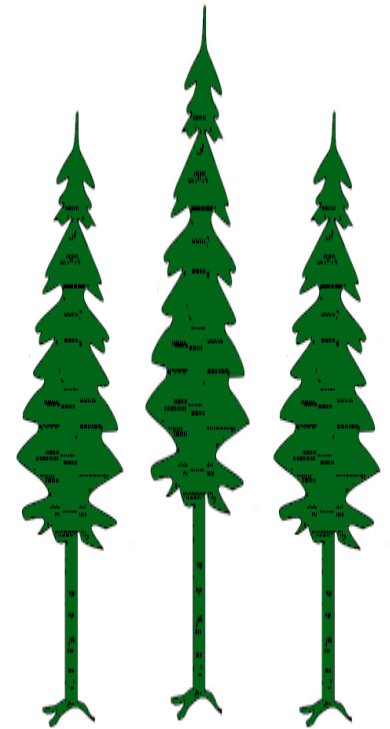
Θάσος

Τεχνητή συστάδα  
Προέλευση Θάσου  
Πηγή σπόρου Θάσου



Θεσσαλονίκη

Τεχνητή συστάδα  
Προέλευση Θάσου  
Πηγή σπόρου Θεσσαλονίκης



Νέα θέση, π.χ. Έβρος

# Αυτόχθονες και ξενικοί πληθυσμοί

---

Ένας πληθυσμός θεωρείται **αυτόχθων**, όταν δεν έχει μετακινηθεί τεχνητά και αυξάνει στο φυσικό του περιβάλλον

- Φυσικός πληθυσμός

Ένας πληθυσμός που έχει ιδρυθεί τεχνητά σε περιοχή έξω από τη φυσική εξάπλωση του είδους λέγεται **ξενικός** (exotic)

- Π.χ. στην Ελλάδα ο ευκάλυπτος, ή στην Ορεστιάδα το μεσογειακό κυπαρίσσι

Ένας μη αυτόχθων πληθυσμός δεν είναι απαραίτητα ξενικός, αφού μπορεί να έχει ιδρυθεί τεχνητά σε περιοχή μέσα στη φυσική εξάπλωση του είδους

- Π.χ. αν φυτέψω κυπαρίσσια στην Κρήτη



# Γεωγραφική φυλή και επιτόπια φυλή

---

Μία **γεωγραφική φυλή** (geographic race), ή απλά φυλή, είναι ένα σύνολο πληθυσμών, που διαφοροποιείται γενετικά από άλλους πληθυσμούς του ίδιου είδους λόγω φυσικής επιλογής

- Προσαρμογή μέσα από φυσική επιλογή σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα
- Περιγράφονται και χαρακτηρίζονται κυρίως με τη χρήση μορφολογικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών
- Π.χ. μαύρη πεύκη χαμηλού υψομέτρου στους πληθυσμούς της Δαδιάς και του Περάματος στο Ν. Έβρου

Ένας ξενικός πληθυσμός που ανέπτυξε γενετικά προσαρμοστικά χαρακτηριστικά μετά τη μεταφορά του σε άλλη τοποθεσία και δείχνει διαφοροποίηση από άλλους φυσικούς πληθυσμούς εξαιτίας της φυσικής επιλογής λέγεται τοπική ή **επιτόπια φυλή** (local land race)

- Τεχνητός πληθυσμός με ξενική προέλευση που προσαρμόστηκε στο νέο του περιβάλλον
- Η δασοπονία της κεντρικής και δυτικής Ευρώπης στηρίζεται σε επιτόπιες φυλές, π.χ. ερυθρελάτη Νορβηγίας σαν κύριο δασοπονικό είδος της Γερμανίας σήμερα



Πέραμα Έβρου



Ταΰγετος



Δαδιά Έβρου



Γρεβενά



## Διαφορετικές γεωγραφικές φυλές μαύρης πεύκης

Η μαύρη πεύκη συνήθως σχηματίζει υψηλά δάση με ευθύγραμμα δέντρα σε ομήλικες συστάδες σε μεγάλα υψόμετρα, όπως είναι οι πληθυσμοί του Ταΰγετου και των Γρεβενών. Οι πληθυσμοί της Δαδιάς και του Περάματος στον Έβρο βρίσκονται σε χαμηλά υψόμετρα με άγονο έδαφος και έχουν κοντά δέντρα με συχνά στρεβλούς κορμούς. Πρόκειται για δύο διαφορετικές γεωγραφικές φυλές του είδους.

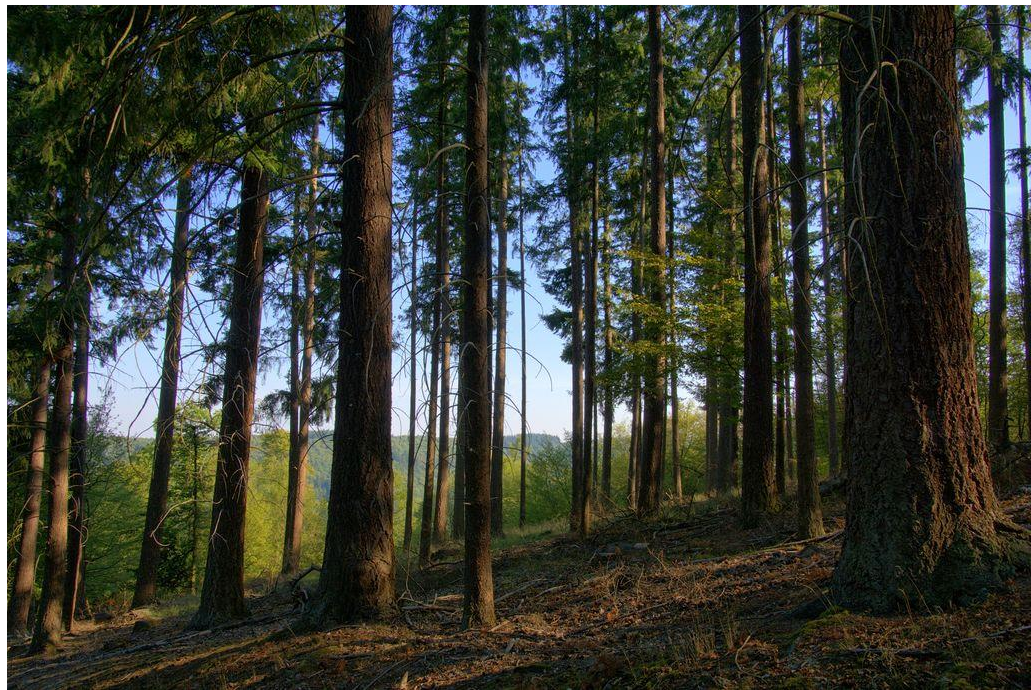


# *Pseudotsuga menziesii* στη Γερμανία

Το αμερικάνικο είδος  
*Pseudotsuga menziesii*  
σηματίζει φυσικές  
συστάδες στις δυτικές ΗΠΑ

Έχει εισαχθεί εδώ και  
αιώνες στη Γερμανία και σε  
άλλες χώρες της Ευρώπης,  
όπου επιδεικνύει μεγάλη  
προσαρμογή

Πρόκειται για επιτόπια  
φυλή (πιθανόν  
περισσότερες από μία)





# Είδη με επιτόπιες φυλές στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα ο άνθρωπος εισήγαγε από πολύ νωρίς είδη άγριων φυτών από άλλες περιοχές και έτσι δημιουργήθηκαν επιτόπιες φυλές με τοπική προσαρμογή

Η καστανιά (*Castanea sativa*) υπήρχε πολύ σποραδικό στην ανατολική Μεσόγειο και πιστεύεται ότι μεταφέρθηκε από τους αρχαίους πολιτισμούς και κυρίως από τους Έλληνες και τους Ρωμαίους

Η φραγκοσυκιά (*Opuntia ficus-indica*) ήρθε από το Μεξικό για να γίνει συστατικό του ελληνικού τοπίου



# Βαθμιαία μετάβαση (cline)

---

Υπάρχουν δύο όροι που περιγράφουν τα πρότυπα της γεωγραφικής ποικιλότητας στο χώρο, η βαθμιαία μετάβαση και ο οικότυπος

Η **βαθμιαία μετάβαση** (cline) είναι μια συνεχής γενετική μεταβολή σε ένα χαρακτηριστικό, που σχετίζεται με μια περιβαλλοντική βαθμιαία μεταβολή

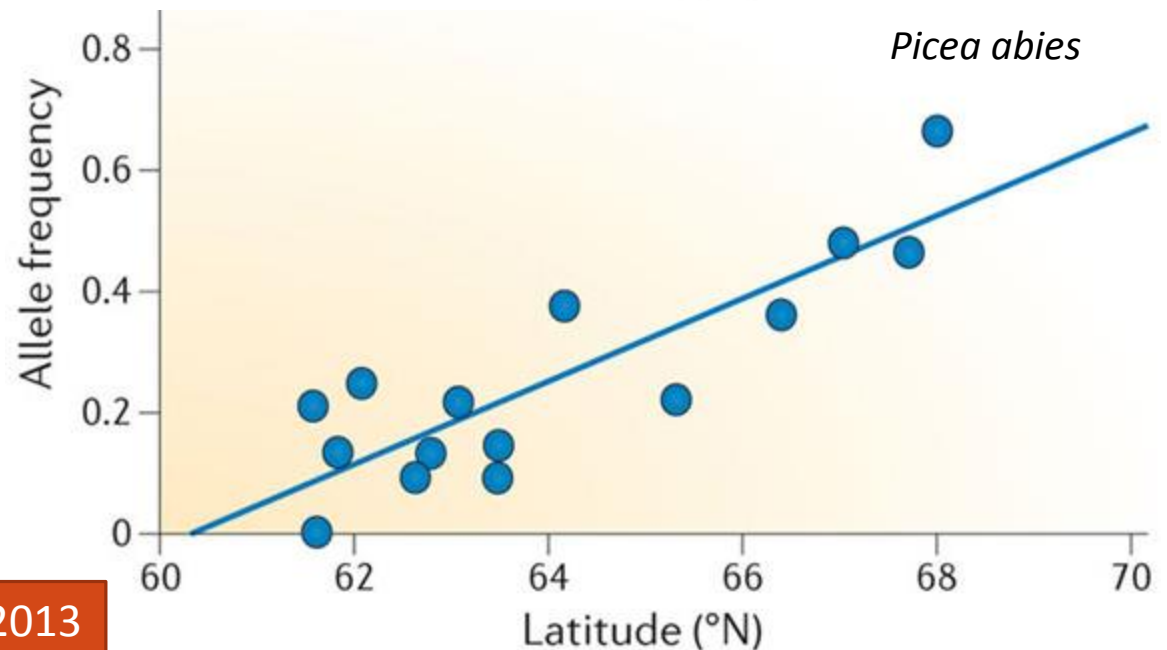
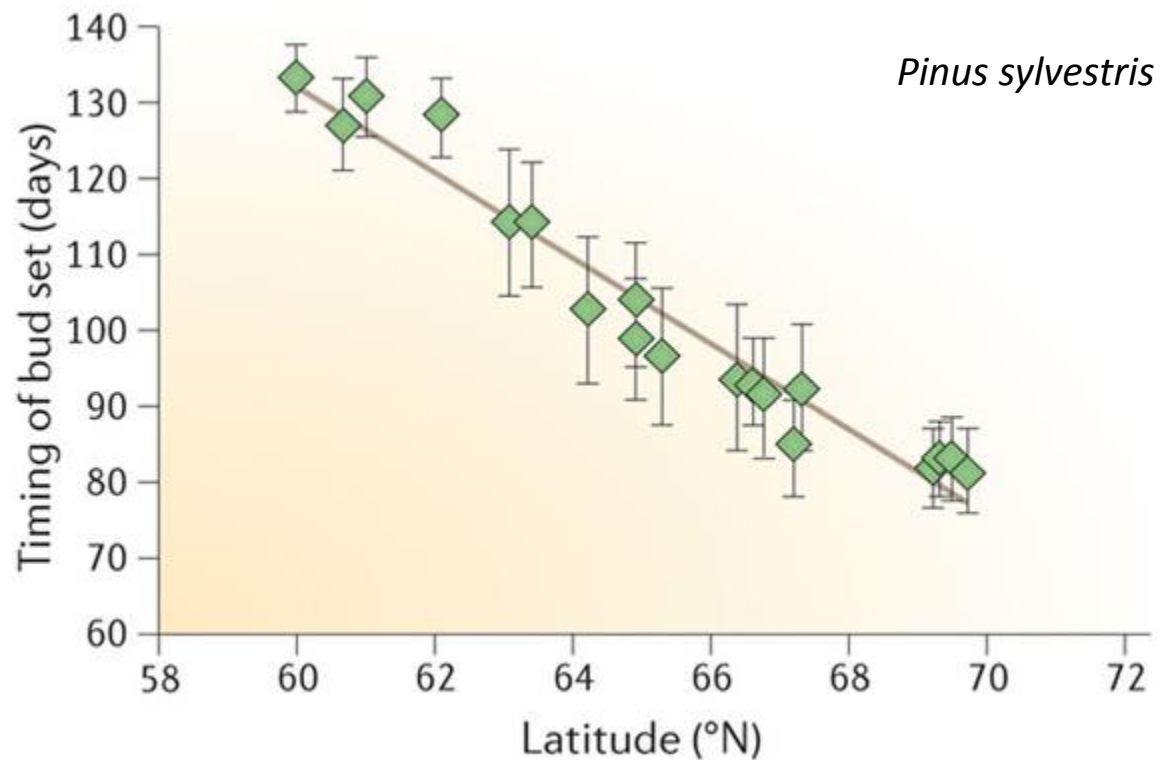
- Πρόκειται για ποικιλότητα ανάμεσα σε γεωγραφικές φυλές, μόνο που η μετάβαση από τη μία φυλή στην άλλη είναι βαθμιαία (συνεχής) με ενδιάμεσες καταστάσεις
- Όταν αυτή η γενετική βαθμιαία μετάβαση συμπίπτει με μια περιβαλλοντική συνεχή και βαθμιαία μετάβαση (π.χ. υψόμετρο, γεωγραφικό πλάτος, βροχόπτωση), τότε θεωρούμε πως έχουμε προσαρμογή του είδους μέσα από τη φυσική επιλογή στο βαθμιαία μεταβαλλόμενο περιβάλλον
- Στο βιβλίο «Δασική Γενετική» ο αγγλικός όρος cline μεταφράζεται σαν «διαδοχή», αλλά εδώ θα χρησιμοποιήσουμε τον όρο «βαθμιαία μετάβαση» για να αποφύγουμε τη σύγχυση με την οικολογική διαδοχή των οικοσυστημάτων
  - Ο αγγλικός όρος «cline» προτάθηκε από τον Huxley το 1938 και προέρχεται από τον ελληνικό όρο κλίση (κρεβάτι, αλλά και κλίση), όπως λέμε επικλινής, γυρτός, με κλίση

# Βαθμιαία μετάβαση

Βαθμιαία μετάβαση στη  
δασική πεύκη και την  
ερυθρελάτη σε σχέση με το  
γεωγραφικό πλάτος

Όσο πιο βόρεια είναι η  
προέλευση της δασικής  
πεύκης, τόσο πιο νωρίς  
εκπύσσουν τους οφθαλμούς  
τους σε κοινό περιβάλλον

Σε υποψήφιο γονίδιο που  
σχετίζεται με την έκπτυξη  
οφθαλμών, βρέθηκε το  
πρότυπο της βαθμιαίας  
μετάβασης για τη συχνότητα  
συγκεκριμένου  
αλληλομόρφου



# Οικοτυπική ποικιλότητα

---

Ως **οικότυπο** θεωρούμε ένα σύνολο γενοτύπων ενός είδους, που είναι προσαρμοσμένοι σε ένα συγκεκριμένο ενδιαίτημα ή οικοθέση

- Συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες

Περιλαμβάνει ένα σύνολο γονιδίων και χαρακτήρων που διαχωρίζουν έναν οικότυπο από το υπόλοιπο του είδους

- Σε αντίθεση με τη βαθμιαία μετάβαση όπου η διαφορά μεταξύ των γενοτύπων προκύπτει σε ένα χαρακτηριστικό

Η μετάβαση από τον έναν οικότυπο στον άλλο είναι συνήθως απότομη και όχι βαθμιαία

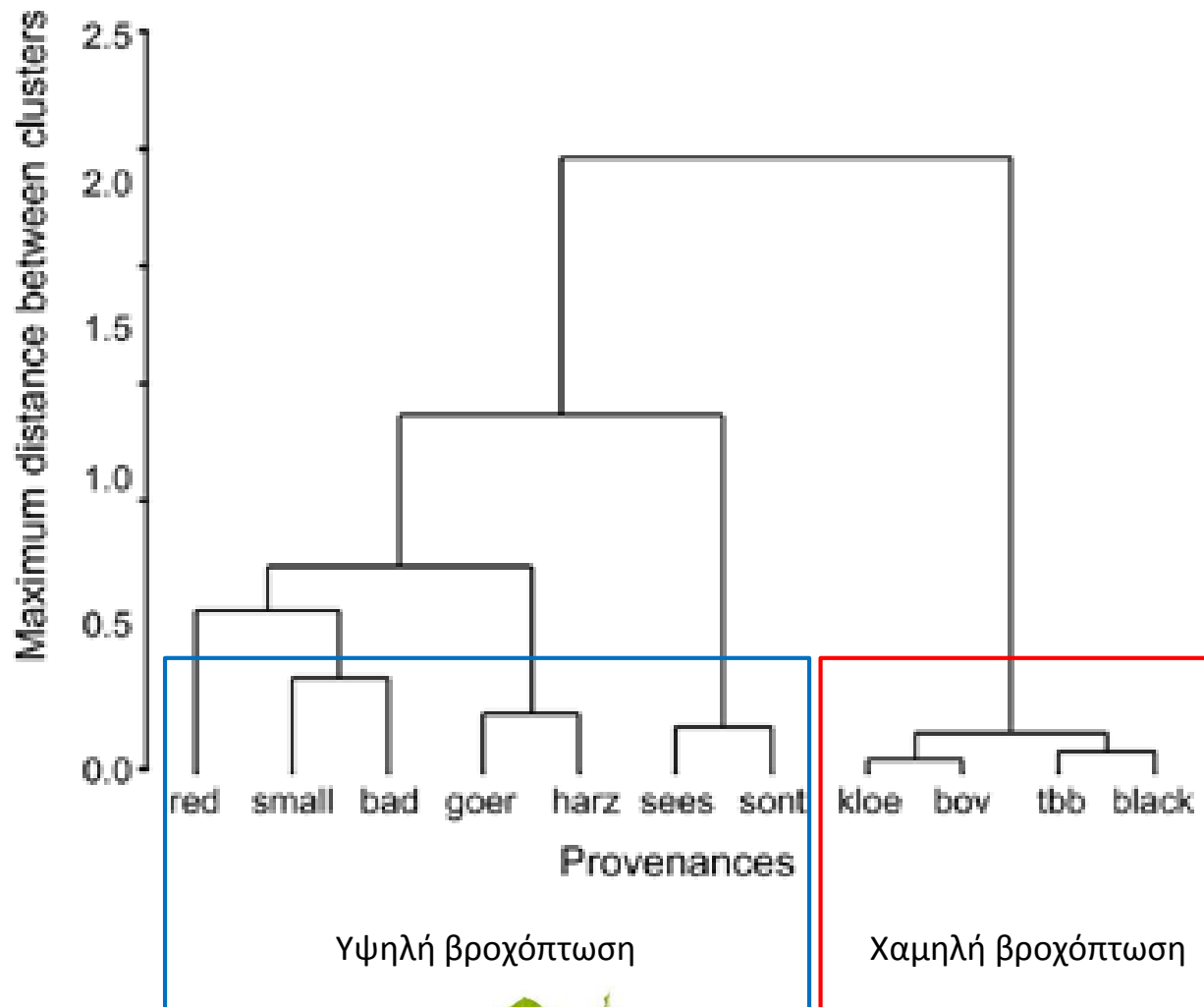


# Οικότυποι οξιάς στη Γερμανία

Τεστ αντοχής φυταρίων οξιάς (*Fagus sylvatica*) στην ξηρασία έδειξαν έντονη διαφοροποίηση ανάμεσα σε δύο ομάδες προελεύσεων, όπως φαίνεται στο δενδρόγραμμα

Η ομαδοποίηση αυτή σχετίζεται με τα επίπεδα βροχόπτωσης στις περιοχές καταγωγής των φυτών

Αποκαλύπτονται δύο οικότυποι οξιάς που σχετίζονται με την προσαρμογή σε διαφορετικά επίπεδα υγρασίας





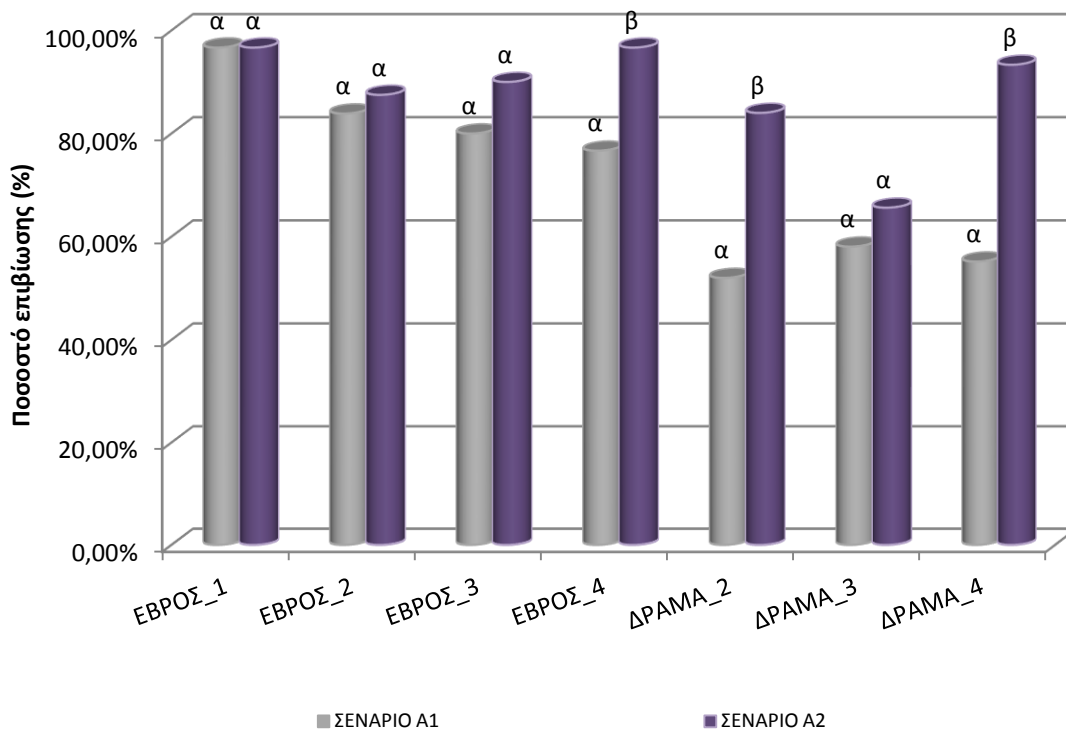
# Οικότυποι οξιάς στη ΒΑ Ελλάδα

Τεστ αντοχής φυταρίων οξιάς (*Fagus sylvatica*) σε δύο σενάρια κλιματικής αλλαγής σε ειδικό θάλαμο έδειξαν έντονη διαφοροποίηση ανάμεσα σε δύο προελεύσεις (Δράμα – Έβρος)

Η ομαδοποίηση αυτή σχετίζεται με τα επίπεδα βροχόπτωσης στις περιοχές καταγωγής των φυτών

Αποκαλύπτονται δύο οικότυποι οξιάς που σχετίζονται με την προσαρμογή σε διαφορετικά επίπεδα υγρασίας

## Επιβίωση φυταρίων



ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ

Βαρσάμης 2016

# Οικότυποι και βαθμιαία μετάβαση

Σε πείραμα κοινού περιβάλλοντος για το είδος *Tsuga heterophylla* σε προσαρμοστικούς χαρακτήρες εμφανίζονται δύο οικότυποι και μία βαθμιαία μετάβαση

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που διαμορφώνουν την τάση αυτή σχετίζονται με το γεωγραφικό πλάτος

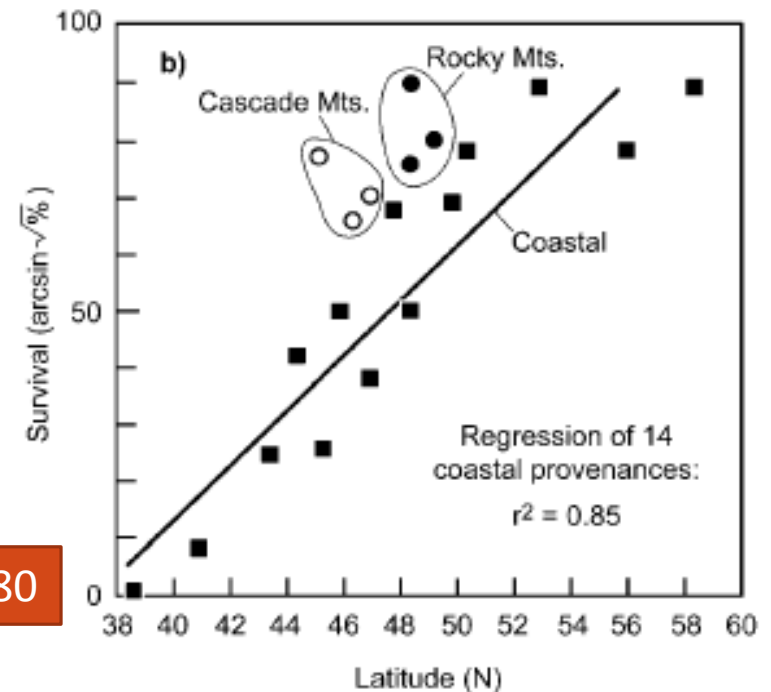
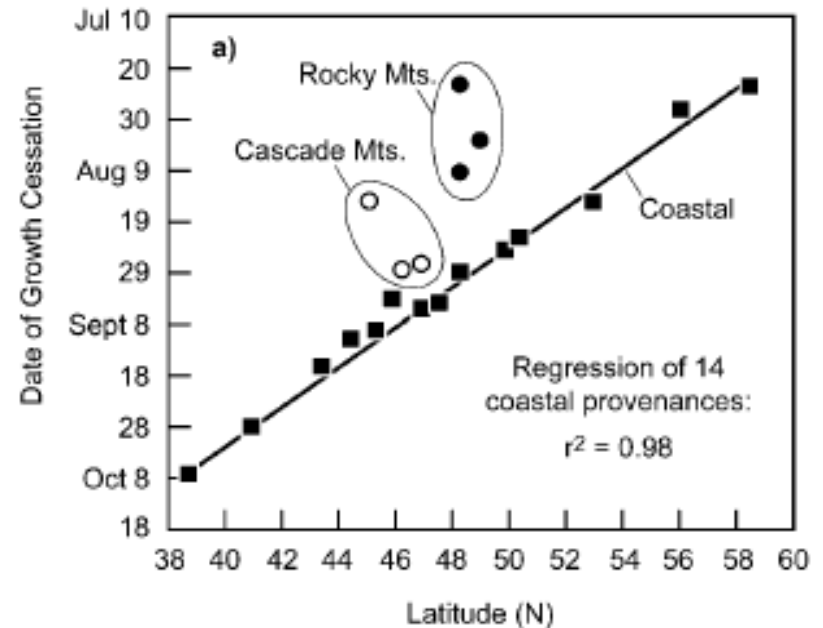
Λήξη  
αυξητικής  
περιόδου



Βιωσιμότητα

Kuser & Ching 1980

ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ

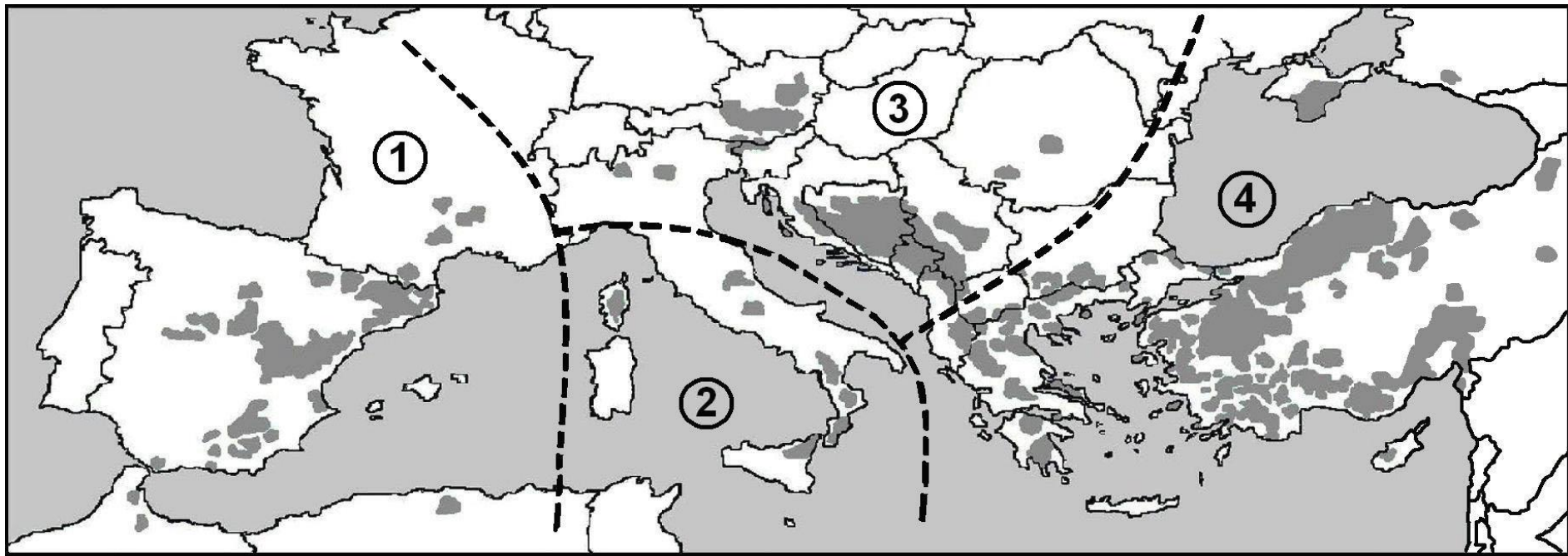


# Ποικιλίες και υποείδη

---

Και οι δύο όροι χαρακτηρίζουν υποδιαιρέσεις του βιολογικού είδους με γενετικές διαφορές

- Η ποικιλία ορίζει την υποδιαίρεση ενός είδους που οφείλεται στην επιλογή από τον άνθρωπο, συνήθως σαν αποτέλεσμα ενός προγράμματος βελτίωσης
  - Όρος που προέρχεται από τα γεωργικά φυτά
- Το υποείδος είναι όρος της συστηματικής κατάταξης των οργανισμών και χαρακτηρίζει μια υποδιαίρεση ενός είδους που διαφέρει γενετικά και καταλαμβάνει διακριτό γεωγραφικό χώρο
  - Πολλές φορές τα υποείδη χωρίζονται με βάση τη μορφολογία σε φυσικές συστάδες, κάτι που κάνει το χωρισμό αυτό αναξιόπιστο



CSERESNYÉS & TAMÁS 2014

## Υποείδη μαύρης πεύκης

1 – *P. nigra* ssp. *salzmannii* Franca, 2 – ssp. *laricio* Maire, 3 – ssp. *nigra* Arnold, 4 – ssp. *pallasiana* Holmboe

# Υπολογισμός γεωγραφικής ποικιλότητας

---

Για να περιγράψουμε τα μεγέθη της γεωγραφικής ποικιλότητας, της διαφοροποίησης δηλαδή μεταξύ πληθυσμών, υπάρχουν δύο προσεγγίσεις

- Με τη χρήση μοριακών δεικτών πάνω σε δείγματα από απευθείας συλλογή από τις ίδιες τις προελεύσεις (πληθυσμούς)
  - Με ουδέτερους (μη προσαρμοστικούς δείκτες)
  - Με προσαρμοστικούς δείκτες (π.χ. σε υποψήφια γονίδια)
- Με πειράματα προελεύσεων σε κοινό περιβάλλον, σε φυτά από σπέρματα που προέρχονται από διαφορετικές προελεύσεις
  - Σε θαλάμους ανάπτυξης, θερμοκήπια
  - Σε πειραματικές φυτείες

## Αξιοποίηση γεωγραφικής ποικιλότητας

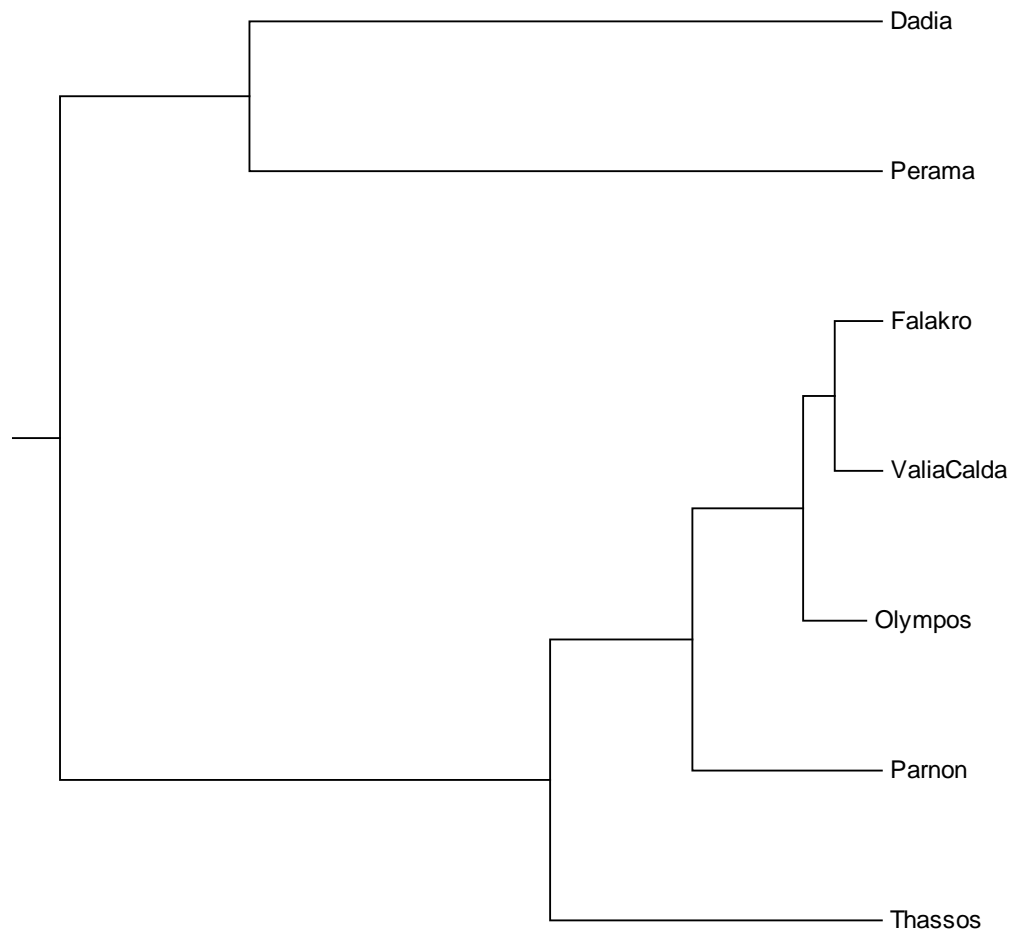
- Περιγραφή γεωγραφικών προτύπων ποικιλότητας
- Συσχέτιση προτύπων με εδαφικούς ή κλιματικούς (ή άλλους) παράγοντες
- Περιγραφή εξελικτικών δυνάμεων που διαμόρφωσαν τα πρότυπα
- Διαμόρφωση οδηγιών μεταφοράς γενετικού υλικού με βάση τα πρότυπα

# Γεωγραφική ποικιλότητα της μαύρης πεύκης στην Ελλάδα

Γεωγραφική ποικιλότητα ανάμεσα σε 7 προελεύσεις μαύρης πεύκης (*Pinus nigra*) σε 6 δείκτες πυρηνικών μικροδορυφόρων (ουδέτεροι δείκτες)

Δενδρόγραμμα UPGMA βασισμένο σε γενετικές αποστάσεις

Οι προελεύσεις του Έβρου (Δαδιά, Πέραμα) ξεχωρίζουν από τους υπόλοιπους πληθυσμούς



0.0100

Μπαλάσκα 2017

# Πειράματα ή δοκιμές προελεύσεων

---

Αξιολόγηση των δυνατοτήτων διαφόρων προελεύσεων σε πειραματικές φυτείες ή ειδικούς θαλάμους, ιδιαίτερα αν πρόκειται να ιδρυθούν φυτείες ή να γίνουν αναδασώσεις σε μεγάλο εύρος έκτασης σε μια περιοχή

- Η πειραματική επιφάνεια ιδρύεται στην περιοχή εγκατάστασης του νέου πληθυσμού
  - Πρόβλεψη για μελλοντικές αναδασωτικές παρεμβάσεις
- Οι συνθήκες των τεχνητών θαλάμων ανταποκρίνονται στις συνθήκες εγκατάστασης του νέου πληθυσμού

Ισχύει ιδιαίτερα για την εισαγωγή ξενικών ειδών, όπου συγκρίνονται τα πρότυπα της ποικιλότητας σημαντικών οικονομικών και προσαρμοστικών χαρακτηριστικών

- Δεν γνωρίζουμε τις προσαρμογές στις νέες θέσεις εγκατάστασης και δοκιμάζουμε τις προελεύσεις του ξενικού είδους



# Δοκιμή προελεύσεων σε θάλαμο ανάπτυξης

Οκτώ προελεύσεις οξιάς  
συγκρίθηκαν σε δύο  
θαλάμους ανάπτυξης με 2  
διαφορετικά σενάρια  
κλιματικής αλλαγής, για το  
έτος 2050

Έγινε συλλογή σπερμάτων  
στις 8 περιοχές προέλευσης  
και μετά τη φύτευση, τα  
φυτάρια εγκαταστάθηκαν  
σε ομοιόμορφες και  
ελεγχόμενες συνθήκες



**Βαρσάμης 2016**

ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ



# Πείραμα προελεύσεων ξενικών ειδών

Πείραμα προελεύσεων  
*Cedrus atlantica* στην  
περιοχή της Ρώμης

Ο κέδρος του Άτλαντα είναι  
είδος της βόρειας Αφρικής  
και εισάγεται με επιτυχία σε  
χώρες της ευρωπαϊκής  
Μεσογείου

Η μελέτη των αφρικανικών  
προελεύσεων σε θέσεις της  
χώρας προορισμού (Ιταλία)  
εξασφαλίζει τη σωστή  
επιλογή της κατάλληλης  
προέλευσης



Ducci et al. 2007



# Πείραμα προελεύσεων ελάτης

Πείραμα σύγκρισης  
προελεύσεων και ειδών  
ελάτης στη Μερκάδα  
Φθιώτιδας

Ιδρύθηκε το 1974  
(Πανέτσος κ.α., Ίδρυμα  
Δασικών Ερευνών Αθηνών)

24 προελεύσεις ελληνικών  
και ξένων ειδών ελάτης

3 επαναλήψεις



# Πειράματα προελεύσεων

---

Κύριος σκοπός ενός πειράματος προελεύσεων είναι η παρατήρηση και η σύγκριση των μέσων όρων των εκφράσεων σημαντικών οικονομικών και προσαρμοστικών χαρακτήρων που διαφοροποιούνται γενετικά σε διαφορετικές προελεύσεις σε ένα ομοιόμορφο περιβάλλον

- Η βιωσιμότητα των δέντρων (ποσοστό των φυτών που επιβίωσαν μετά από μια χρονική περίοδο)
- Η αύξηση κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης ενός δέντρου
  - Αύξηση σε ύψος
  - Στηθαία διάμετρος
  - Ωφέλιμος όγκος / Βιομάζα
- Φαινολογία
  - Έναρξη και λήξη αυξητικής περιόδου (έκπτυξη οφθαλμών και γήρανση φύλλων)
  - Διάρκεια αυξητικής περιόδου
  - Έναρξη και λήξη ανθοφορίας
- Χαρακτηριστικά υγείας των φυτών
  - Εμβολιασμός με παθογόνους οργανισμούς
  - Αντοχή στο ψύχος ή στη ζέστη (ακραία φαινόμενα)
- Ποιοτικά στοιχεία
  - Π.χ. ειδικό βάρος ξύλου, ευθυτένεια, σχήμα κόμης

1 Απριλίου

30 Οκτωβρίου



Σενάριο A2



Βαρσάμης 2016

# Φαινολογία φύλλων σε πείραμα προελεύσεων της οξιάς

Μετρήθηκε η έναρξη και η λήξη της αυξητικής περιόδου σε προελεύσεις οξιάς σε αυξητικό θάλαμο για δύο χρόνια, με διαφορές να εμφανίζονται κατά τη δεύτερη χρονιά, όπου οι προελεύσεις Δράμας και Έβρου έχουν διαφορετική στρατηγική αντιμετώπισης του στρες

# Χαρακτηριστικά μέτρησης

---

Πολλά από τα χαρακτηριστικά που μετρούμε είναι προσαρμοστικά

- Αυτό ισχύει ειδικά για τη βιωσιμότητα και την υγεία των δέντρων

Τα αυξητικά χαρακτηριστικά δεν σχετίζονται απαραίτητα με την προσαρμοστική τιμή των γενοτύπων

- Οι προελεύσεις που αναγνωρίζονται σαν οι πιο αποδοτικές στις πειραματικές φυτείες δεν αντιστοιχούν απαραίτητα με εκείνες που είναι καλύτερα εξελικτικά προσαρμοσμένες στο συγκεκριμένο περιβάλλον

Γενικά θεωρούμε ότι η τοπική προέλευση είναι η πιο ασφαλής επιλογή, αν και υπάρχουν εξαιρέσεις όταν:

- Στην τοπική προέλευση έχουν επιδράσει μη προσαρμοστικοί εξελικτικοί παράγοντες (εκτροπή, μετανάστευση, ομομιξία)
- Η τοπική προέλευση είναι πολύ εξειδικευμένη σε ένα περιβάλλον, ενώ άλλες προελεύσεις μπορούν και αναπτύσσονται καλά σχεδόν παντού
- Σε οριακούς πληθυσμούς μπορεί να υπάρχουν δημογραφικά προβλήματα που να οδηγούν στο πρώτο σημείο (εκτροπή, ομομιξία)
- Όταν αλλάζει το περιβάλλον, πιθανόν η τοπική προσαρμογή να είναι ξεπερασμένη

Jones 2013



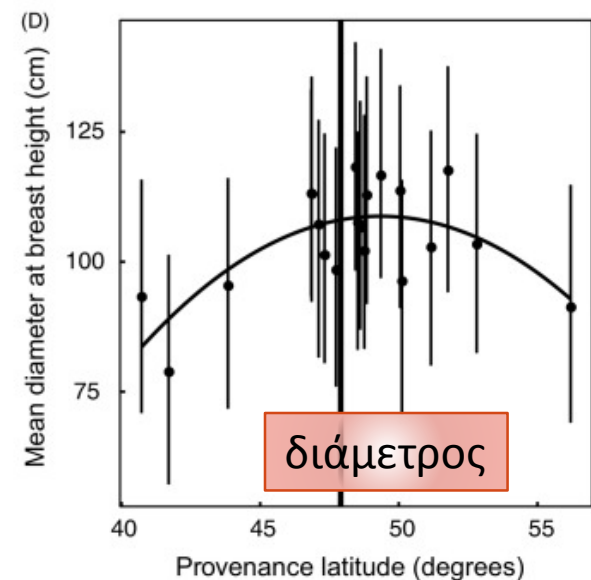
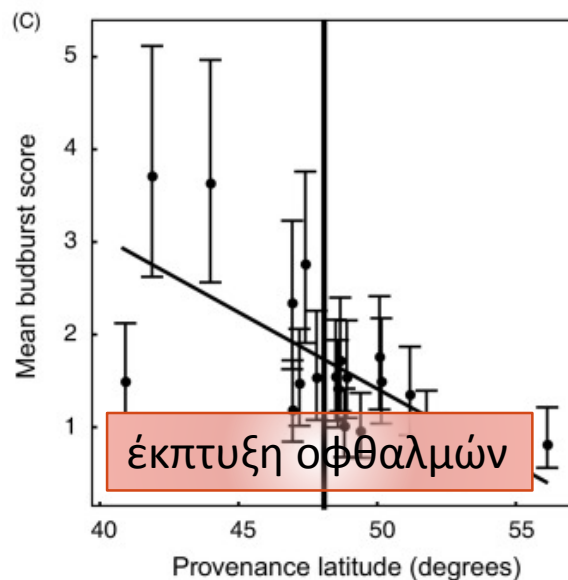
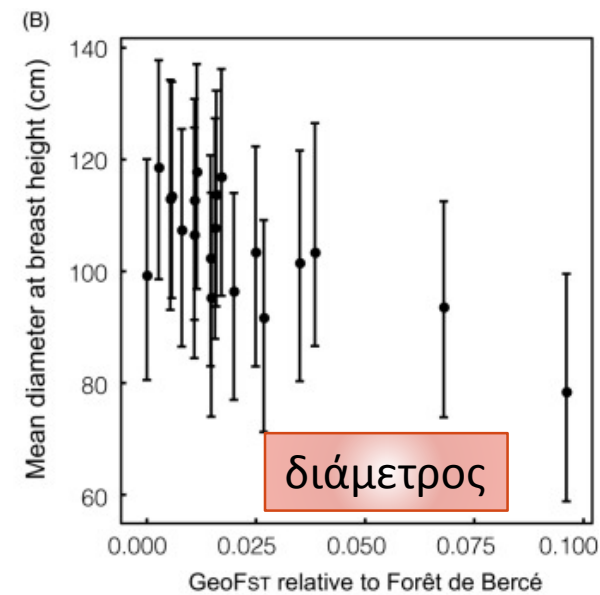
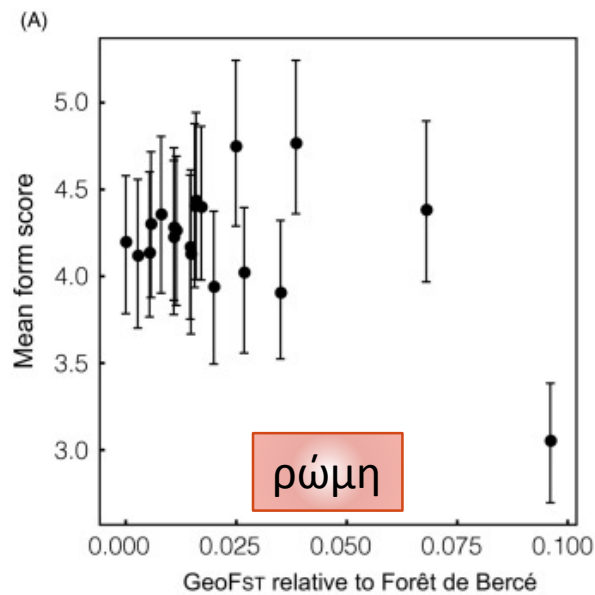
# Τοπική προέλευση και προσαρμογή στην *Quercus petraea*

Πείραμα προελεύσεων στο Petite Charnie (Γαλλία) με 20 ευρωπαϊκές προελεύσεις

A) η τοπική προέλευση δεν έχει τη μεγαλύτερη ρώμη

B, Δ) το ίδιο ισχύει και για τη στήθαία διάμετρο, αν και η τοπική προέλευση έχει μια από τις μεγαλύτερες τιμές

Γ) η έκπτυξη οφθαλμών ακολουθεί ένα πρότυπο βαθμιαίας προσαρμογής με το γεωγραφικό πλάτος



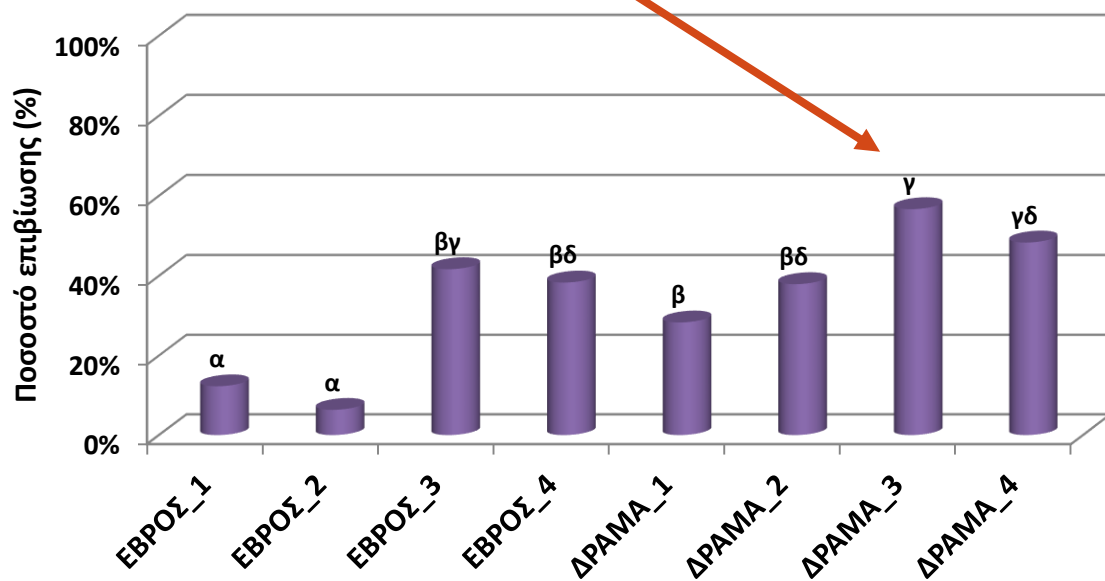
# Πείραμα προελεύσεων οξιάς στο Γρανίτη Δράμας

Σε πείραμα προελεύσεων οξιάς στο Γρανίτη Δράμας, η τοπική προέλευση έχει τα καλύτερα ποσοστά επιβίωσης την πρώτη χρονιά

Τα χειρότερα αποτελέσματα τα έχουν οι προελεύσεις με τις πλέον διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες

Εδώ, η επιλογή της τοπικής προέλευσης είναι η ασφαλέστερη εναλλακτική

## Τοπική προέλευση



# Αλληλεπίδραση προέλευσης & περιβάλλοντος

---

Μια μορφή αλληλεπίδρασης γενοτύπου - περιβάλλοντος, όπου οι ίδιες προελεύσεις δεν αποδίδουν σταθερά σε διαφορετικά περιβάλλοντα για ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό

Η υπεροχή μιας προέλευσης απέναντι σε μια άλλη σε κάποιο χαρακτηριστικό, όπως φαίνεται σε μια πειραματική φυτεία, μπορεί να μην ισχύει σε μια άλλη πειραματική φυτεία σε ένα διαφορετικό περιβάλλον

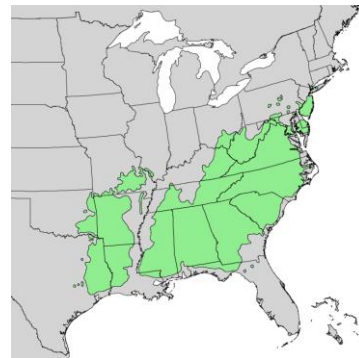
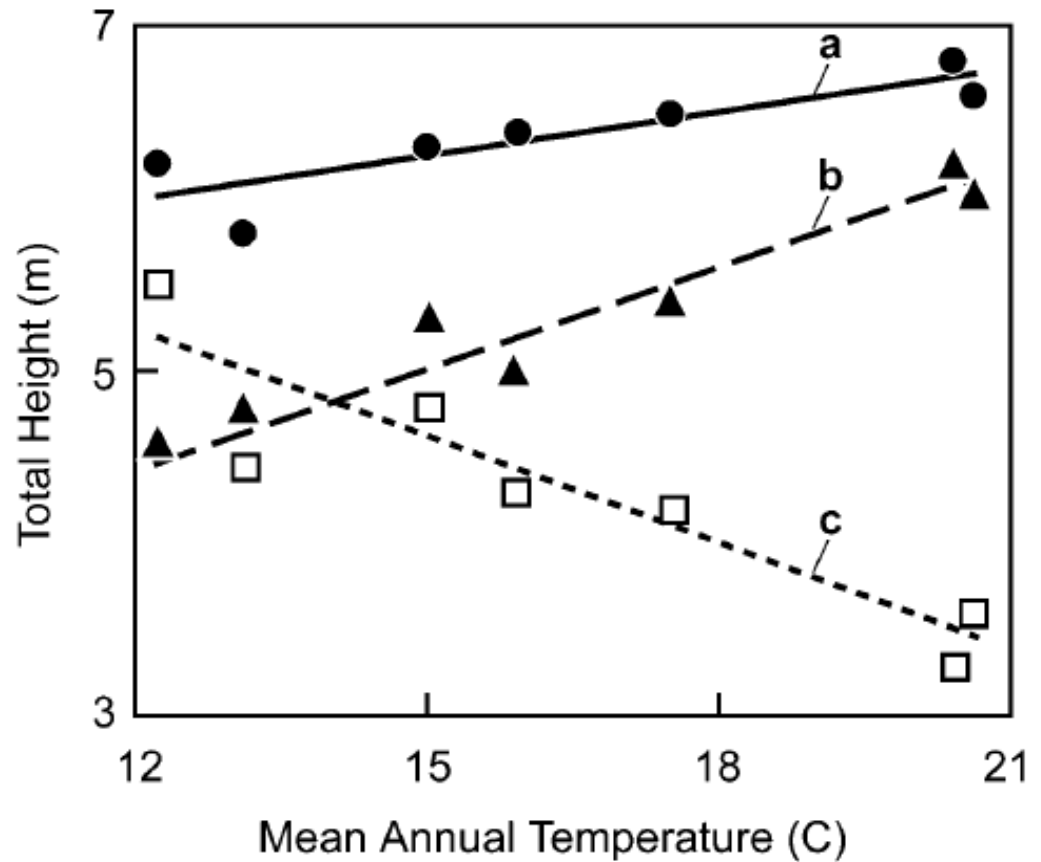
Είναι χρήσιμο να γίνει η σύγκριση σε διαφορετικές περιοχές, έτσι ώστε να συνυπολογιστεί και η αλληλεπίδραση προέλευσης & περιβάλλοντος

- Οι προελεύσεις που παρουσιάζουν καλή απόδοση σε περισσότερες φυτείες θεωρούνται «περιβαλλοντικά σταθερές»

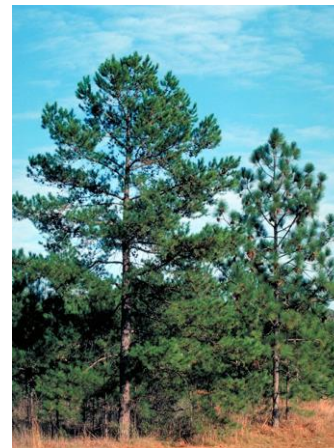
# Αλληλεπίδραση προέλευσης & περιβάλλοντος στο *Pinus echinata*

Συσχέτιση θερμοκρασίας της θέσης προέλευσης των φυτών σε σχέση με το ύψος τους, σε πειράματα προελεύσεων από τρία διαφορετικά περιβάλλοντα

- a) Μέσο γεωγραφικό πλάτος
- b) Νότιες περιοχές
- c) Βόρειες περιοχές

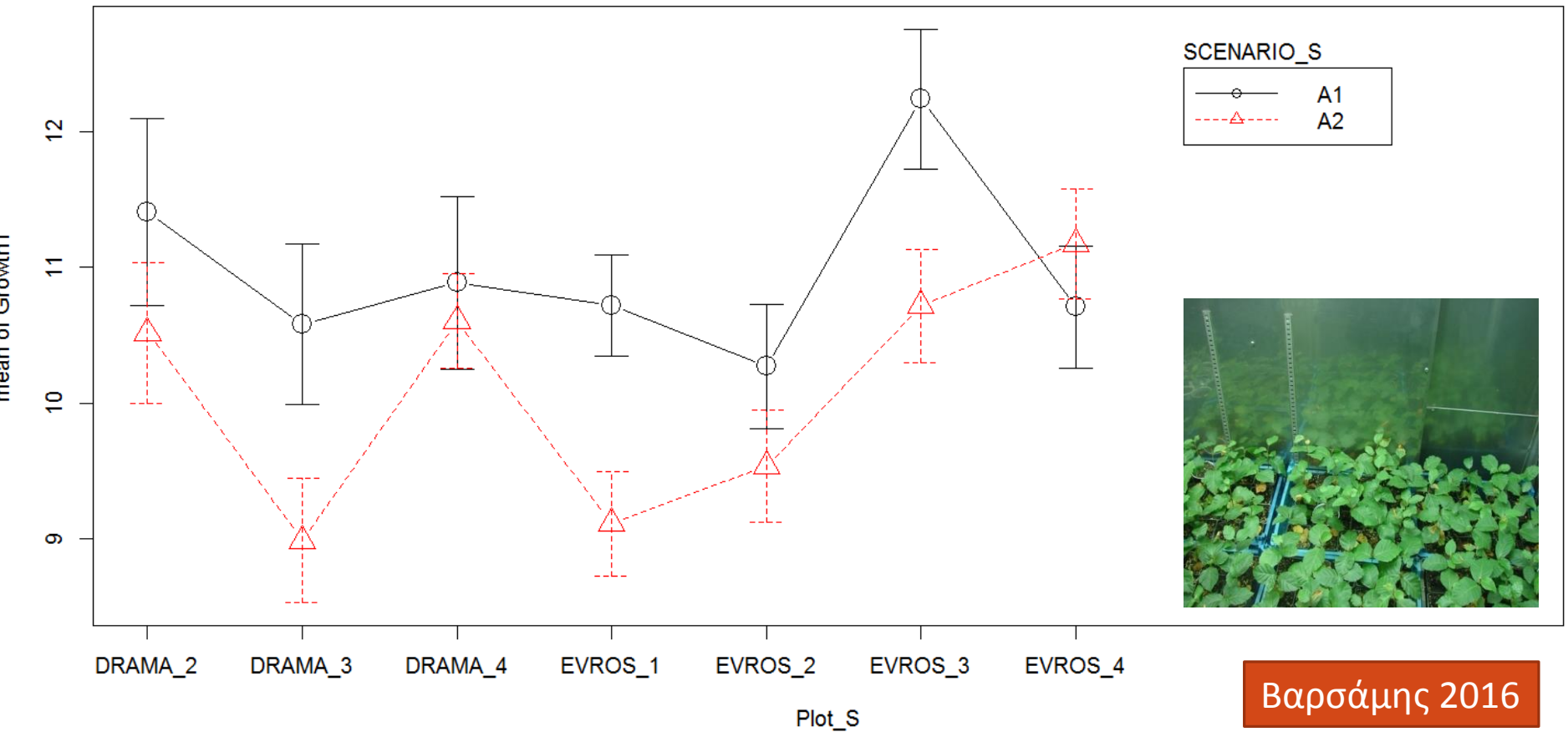


ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ



Morgenstern 1996

Plot of Means



# Αλληλεπίδραση προέλευσης & περιβάλλοντος στην οξιά

Σε πείραμα προελεύσεων σε θάλαμο ανάπτυξης, η σειρά των προελεύσεων για την απόδοση στην αύξηση αλλάζει σε δύο διαφορετικά σενάρια άρδευσης (A1 & A2)

# Πρότυπα γεωγραφικής ποικιλότητας

---

Εξελικτικοί παράγοντες που διαμορφώνουν τη γεωγραφική ποικιλότητα

- Φυσική επιλογή και προσαρμογή σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες
- Γενετική εκτροπή (στενωπός, ιδρυτικό φαινόμενο) όταν οι πληθυσμοί αποκτούν μικρό μέγεθος και απομονώνονται
- Ροή γονιδίων που γεφυρώνει τη γεωγραφική απομόνωση
  - Στην Ελλάδα το ανάγλυφο ορίζει συνήθως τους «φραγμούς» στη ροή γονιδίων

Στη νότια Ευρώπη και ιδιαίτερα στην Ελλάδα, η μεταπαγετώδης ιστορία της βλάστησης επηρεάζει σημαντικά τη γενετική γεωγραφική ποικιλότητα των δασικών ειδών

- Παγετώδη καταφύγια
- Γραμμές καταγωγής (lineages) και σημεία συνάντησης
- Πρότυπο βορρά / νότου (στην Ευρώπη)
- Βουνά και υψόμετρο και δίοδοι μετακίνησης πληθυσμών

Σε πολλά είδη, η μεταφορά από τον άνθρωπο έπαιξε σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της γεωγραφικής ποικιλότητας (π.χ. καστανιά, κυπαρίσσι)

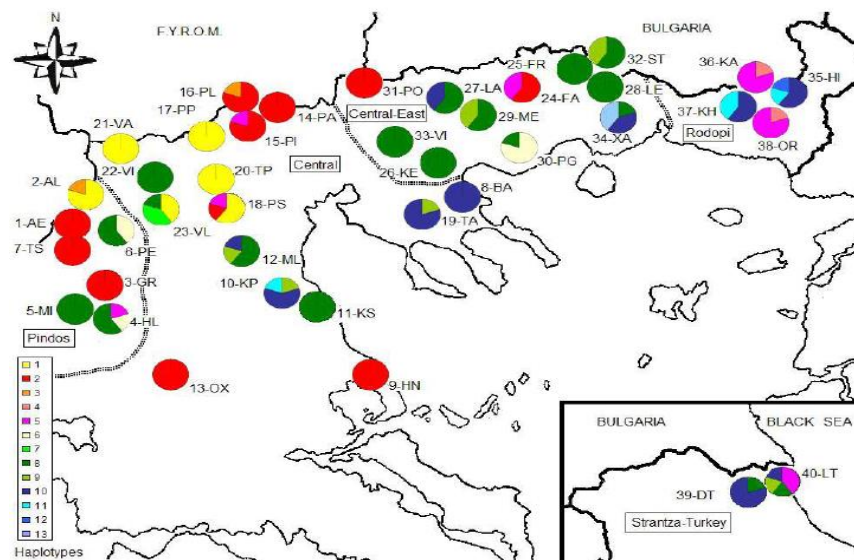
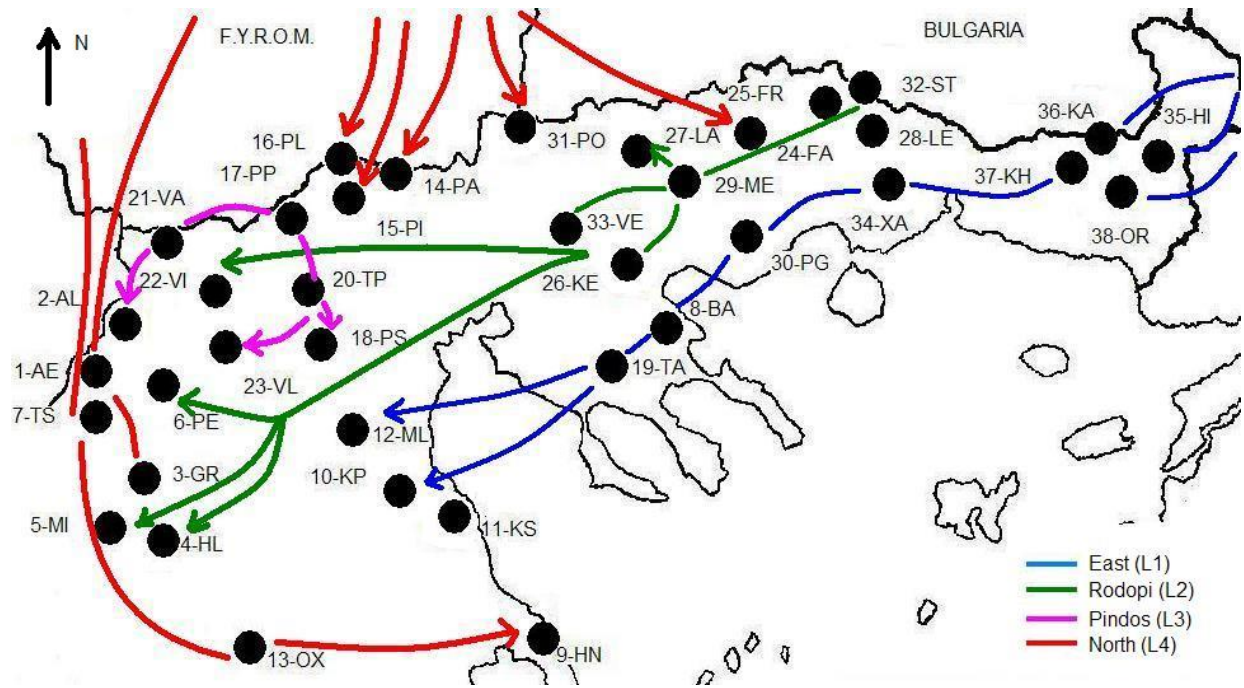


# Μετα- παγετώδης κίνηση της οξιάς στην Ελλάδα

Μετά από ανάλυση απλοτύπων του χλωροπλαστικού DNA της οξιάς σε 40 πληθυσμούς της Ελλάδας, διαμορφώθηκε ένα σενάριο κίνησης της οξιάς μετά τον τελευταίο παγετώνα

4 μεταπαγετώδεις γραμμές καταγωγής και τουλάχιστον 2 σημαντικά καταφύγια στον ελληνικό χώρο

Η σημερινή ποικιλότητα του είδους διαμορφώθηκε από τις κινήσεις αυτές σε μεγάλο βαθμό

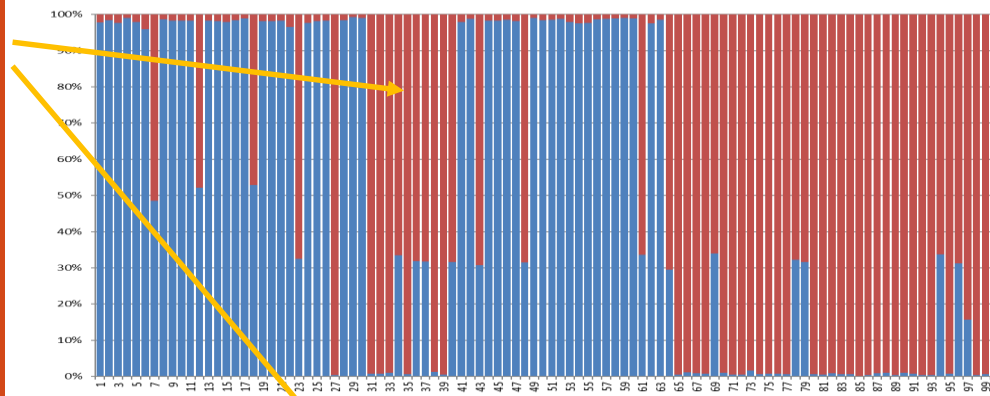


# Η οξιά στο καταφύγιο της Αλμωπίας

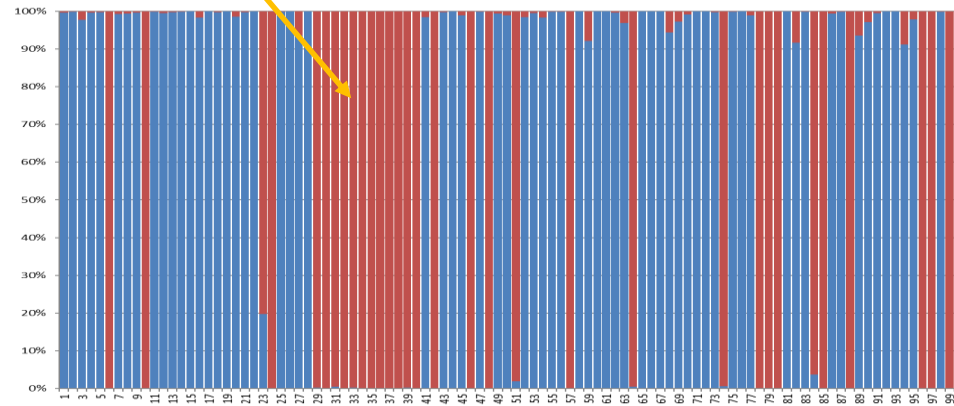
Σε 100 δέντρα οξιάς από 20 επιφάνειες στο τόξο της Αλμωπίας (Βόρρα, Τζενα, Πίνοβο, Πάικο) έγινε ανάλυση χλωροπλαστικού και πυρηνικού DNA

Η περιοχή του σπηλαίου της Αριδαίας διαφοροποιείται από τις υπόλοιπες επιφάνειες του Βόρρα, λόγω τοπογραφίας και της ύπαρξης πιθανού καταφυγίου

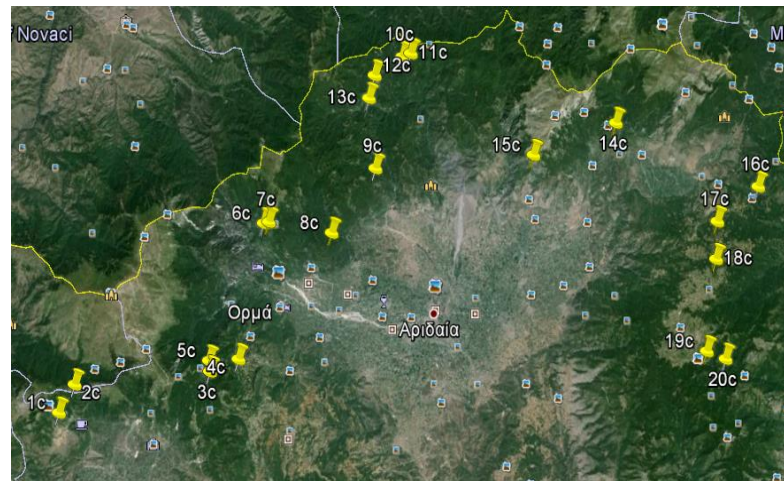
Το πρότυπο της ποικιλότητας παραμένει και στο πυρηνικό DNA για το Βόρρα, όπου η περιοχή του σπηλαίου μένει πιθανόν απομονωμένη, ενώ για το Πάικο φαίνεται ότι έγινε μείξη των δύο φυλών μέσα από ροή γονιδίων με γύρη



Χλωροπλαστικό DNA



Πυρηνικό DNA



ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ

# Μείξη γραμμών καταγωγής της οξιάς

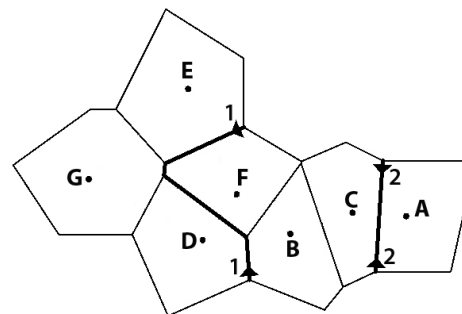
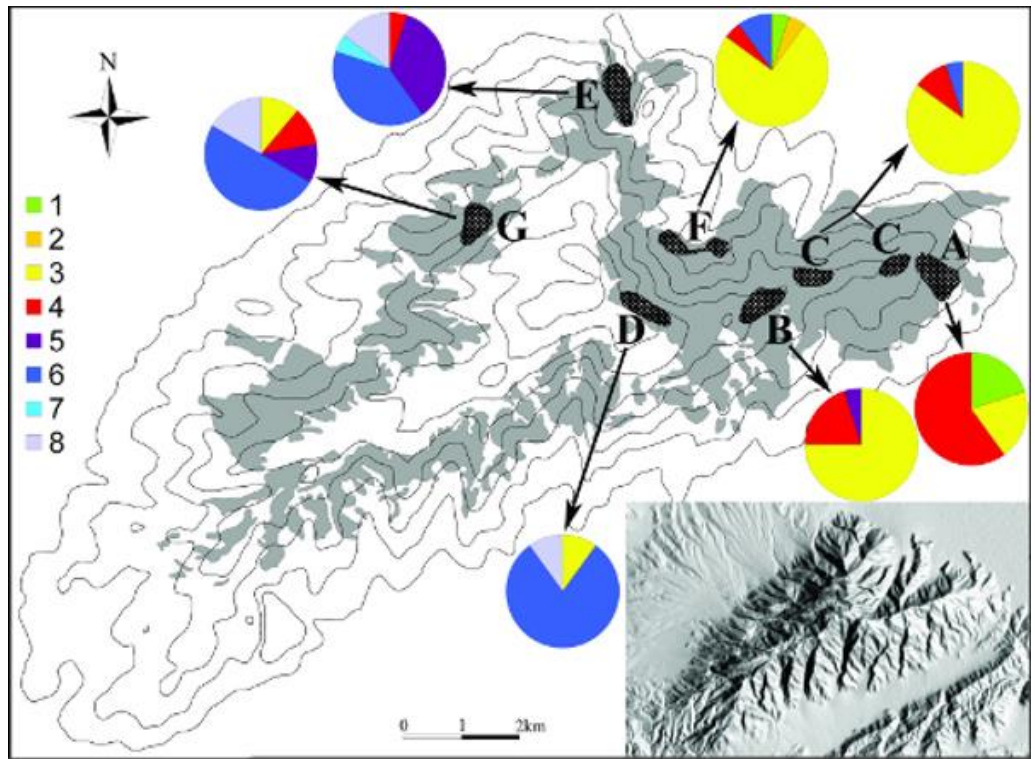
Στο όρος Παγγαίο, έγινε ανάλυση υποπληθυσμών της οξιάς σε 7 διαφορετικά σημεία του βουνού, σε απλότυπους χλωροπλαστικού DNA

Βρέθηκε πιθανό καταφύγιο στη χαράδρα F και η γραμμή καταγωγής που σχετίζεται με αυτό (κίτρινο χρώμα) μοιάζει να εξαπλώνεται στις γύρω περιοχές

Η γραμμή καταγωγής από τη Ροδόπη εμφανίζεται σε μείξη στην ανατολική περιοχή A με χαμηλό υψόμετρο

Στα δυτικά του βουνού και σε μεγάλα υψόμετρα εμφανίζονται απλότυποι που σχετίζονται με ανατολικές γραμμές καταγωγής

Η μείξη τριών γραμμών καταγωγής οξιάς οφείλεται στο έντονο ορεινό ανάγλυφο που προκαλεί φραγμό στη ροή γονιδίων

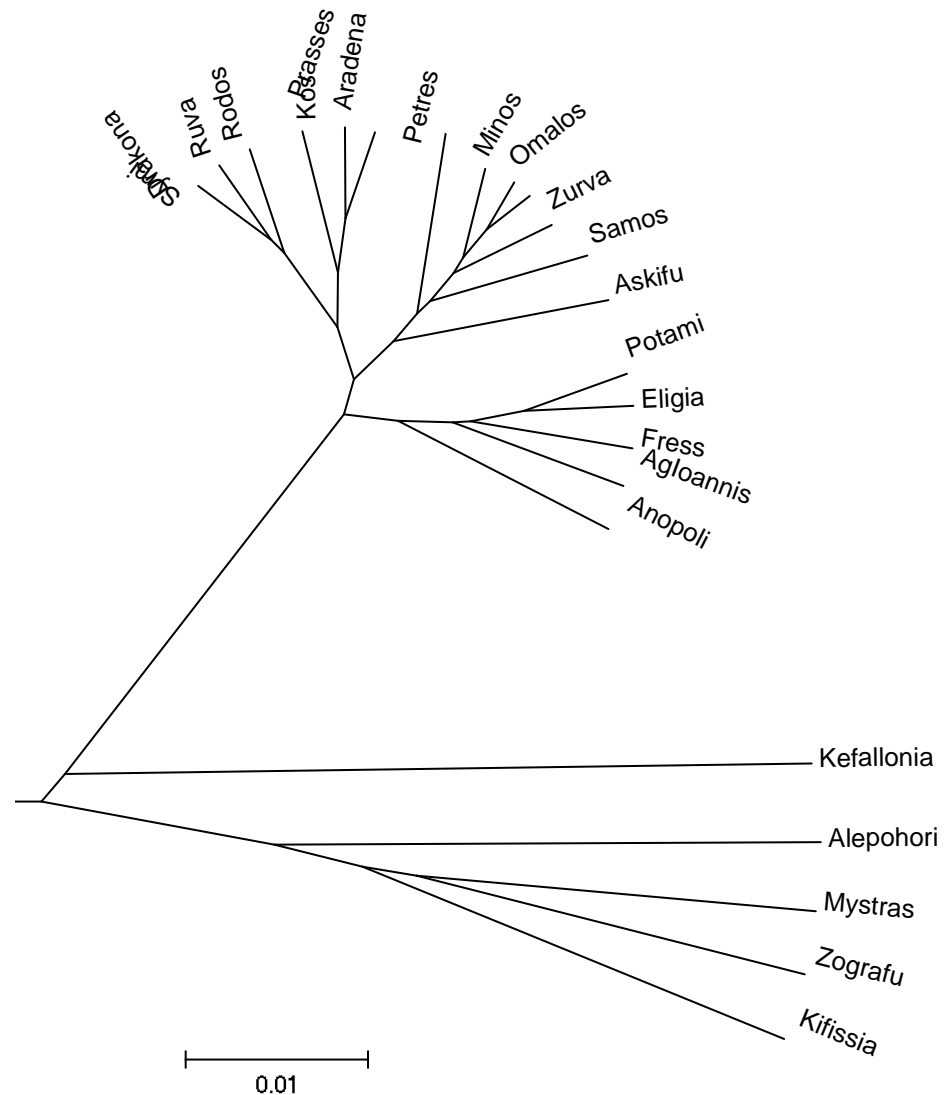


# Φυσικοί & τεχνητοί πληθυσμοί κυπαρισσιού

Σε 23 πληθυσμούς κυπαρισσιού από όλη την Ελλάδα έγινε ανάλυση εμισοένζυμα και μετρήθηκε η γενετική απόσταση ανάμεσα στους πληθυσμούς

Στο σχετικό δενδρόγραμμα, οι τεχνητοί πληθυσμοί είναι απομονωμένοι από τους φυσικούς και έχουν μεγάλες γενετικές αποστάσεις και μεταξύ τους

Η μεταφορά γενετικού υλικού από τον άνθρωπο διαμόρφωσε τα πρότυπα της γεωγραφικής ποικιλότητας





# Επιλογή της κατάλληλης προέλευσης

---

Η επιλογή της «σωστής» προέλευσης έχει ιδιαίτερη σημασία στη δασοπονία, κυρίως σε ότι αφορά τις αναδασώσεις / δασώσεις και την ίδρυση φυτειών

Τον τρόπο επιλογής της κατάλληλης προέλευσης επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό ο σκοπός της αναδάσωσης και της ίδρυσης ενός νέου πληθυσμού γενικότερα

- Διατήρηση φυσικών προτύπων ποικιλότητας στη νέα θέση και προστασία των «γενετικών πόρων»
  - Προτεραιότητα στην τοπική προέλευση
  - Γνώση προτύπων γενετικής ποικιλότητας από σχετικές έρευνες για αποκατάσταση
- Μέγιστη προσαρμογή μακροπρόθεσμα στη νέα θέση
  - Προτίμηση στην τοπική προέλευση και αποφυγή μεταφοράς πολύ μακρινών προελεύσεων
  - Η συλλογή των σπόρων να γίνεται από όσο το δυνατόν μεγαλύτερη βάση για εξασφάλιση γενετικής ποικιλότητας
- Μέγιστη παραγωγή δασικών προϊόντων
  - Προτιμούμε την προέλευση που αποδίδει καλύτερα
  - Αξιοποιούμε τα αποτελέσματα μακροχρόνιων πειραμάτων προελεύσεων

# Επιλογή της κατάλληλης προέλευσης

---

Αν υπάρχει πείραμα προελεύσεων στην περιοχή της αναδάσωσης ή σε παρόμοια οικολογικά και γεωγραφικά περιοχή, μπορούμε να συμβουλευτούμε τα στοιχεία που μας παρέχει

- Στη χώρα μας έχουν γίνει τεστ προελεύσεων για πολλά ελληνικά είδη, όπως είναι η μαύρη πεύκη, ελάτη, χαλέπιος πεύκη, τραχεία πεύκη, κυπαρίσσι, δασική πεύκη, ενώ έχουν δοκιμαστεί και προελεύσεις ξενικών, όπως είναι η *Pinus maritima*, *P. radiata*, *P. ponderosa*, *Pseudotsuga menziesii* και διάφορα είδη ευκαλύπτου

Όταν δεν υπάρχουν πληροφορίες πειραμάτων προελεύσεων και πρόκειται να εγκαταστήσουμε φυτείες ή αναδασώσεις μέσα στο εύρος εξάπλωσης ενός είδους, τότε να προτιμούμε υλικό από αυτόχθονες πληθυσμούς ανεξάρτητα από το στόχο της αναδάσωσης

- Τι κάνουμε όταν πρόκειται να εισάγουμε ένα ξενικό είδος σε μια νέα περιοχή εκτός της εξάπλωσής του και χωρίς τη δυνατότητα χρήσης αποτελεσμάτων από πειράματα;
  - Αποφεύγουμε την εισαγωγή
  - Αξιοποιούμε την εμπειρία και τη σύγκριση οικολογικών παραμέτρων ανάμεσα στη θέση προέλευσης του σπόρου και στη θέση εγκατάστασης (μεγάλο ρίσκο)



# Γενικοί κανόνες μεταφοράς σπόρου

---

Οι τοπικές αυτόχθονες προελεύσεις δεν είναι πάντα αυτές που δίνουν την καλύτερη απόδοση σε οικονομικά χαρακτηριστικά

- Είναι όμως πιο ασφαλείς, ειδικά όταν δεν υπάρχουν πειράματα προελεύσεων

Η επιλογή της προέλευσης στην πράξη καθορίζεται συνήθως από τη διαθεσιμότητα σπόρων και άλλου αναπαραγωγικού υλικού στα φυτώρια

- Σωστός προγραμματισμός φυτωρίων σε βάθος χρόνου και πρόβλεψη αναγκών

Μερικοί βασικοί κανόνες

- Δεν επιλέγουμε προελεύσεις από δυσμενές περιβάλλον σε θέσεις με ευνοϊκό περιβάλλον (ή αντίστροφα)
- Δεν επιλέγουμε προελεύσεις από διαφορετικό τύπο εδάφους (π.χ. οξύτητα, πέτρωμα) από αυτό των νέων θέσεων εγκατάστασης
- Δεν μεταφέρουμε προελεύσεις ανάμεσα σε περιοχές με διαφορετικά επίπεδα βροχόπτωσης (ύψος κατακρημνισμάτων και κατανομή στο χρόνο)
- Μπορούμε να μεταφέρουμε προελεύσεις από ευνοϊκό σε ελαφρά πιο δυσμενές περιβάλλον, καθώς εκεί αναμένουμε καλύτερη ανάπτυξη
- Σε μικρούς περίτροπους χρόνους μπορούμε να παίρνουμε πιο μεγάλα ρίσκα
- Όταν ιδρύουμε νέες συστάδες που στη συνέχεια θα αναγεννηθούν φυσικά, δεν παίρνουμε ρίσκα, καθώς μια λάθος επιλογή θα έχει μακροχρόνιες συνέπειες

# Μακροπρόθεσμη προοπτική

---

Στην Ελλάδα, σπάνια κάνουμε αναδασώσεις με παραγωγικό σκοπό που βασίζονται σε νέα φύτευση για κάθε γενιά (φυτεία)

- Συνήθως αφήνουμε τη νέα συστάδα να αναγεννηθεί φυσικά, οπότε αποφεύγουμε κινήσεις ρίσκου και εισαγωγής ξενικών ειδών ή προελεύσεων
- Στις φυτείες με ανανέωση υλικού κάθε γενιά, οι περίτροποι χρόνοι είναι μικροί και οι κίνδυνοι μικρότεροι και το ρίσκο πιο αποδεκτό

Πέρα από την εγκατάσταση πληθυσμών (φυτείες – αναδασώσεις) με βάση τις σημερινές περιβαλλοντικές συνθήκες ενός τόπου, πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη ότι οι συνθήκες αλλάζουν σε μια μεσοπρόθεσμη διάσταση

- Π.χ. κλιματική αλλαγή

Για το λόγο αυτό χρειάζεται να επενδύουμε σε υλικό που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα με βάση τη μεγάλη του γενετική ποικιλότητα

Δεν πρέπει να επιλέγονται σαν προελεύσεις πληθυσμοί που έχουν περάσει γενετική στενωπό ή ιδρυτικό φαινόμενο και έχουν πιθανότατα μικρή ποικιλότητα, ή είναι τεχνητοί και προέρχονται από παλαιότερες αναδασώσεις