

Πανεπιστήμιο Αιγαίου – Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας

Παράκτια και μεταβατικά οικοσυστήματα

Διάλεξη 7. Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Διδάσκων: Αθανάσιος Ευαγγελόπουλος

Γραφείο Α3

(Εργαστήριο Θαλάσσιας Βιοποικιλότητας)

tevagelo@marine.aegean.gr

2017 - 2018

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

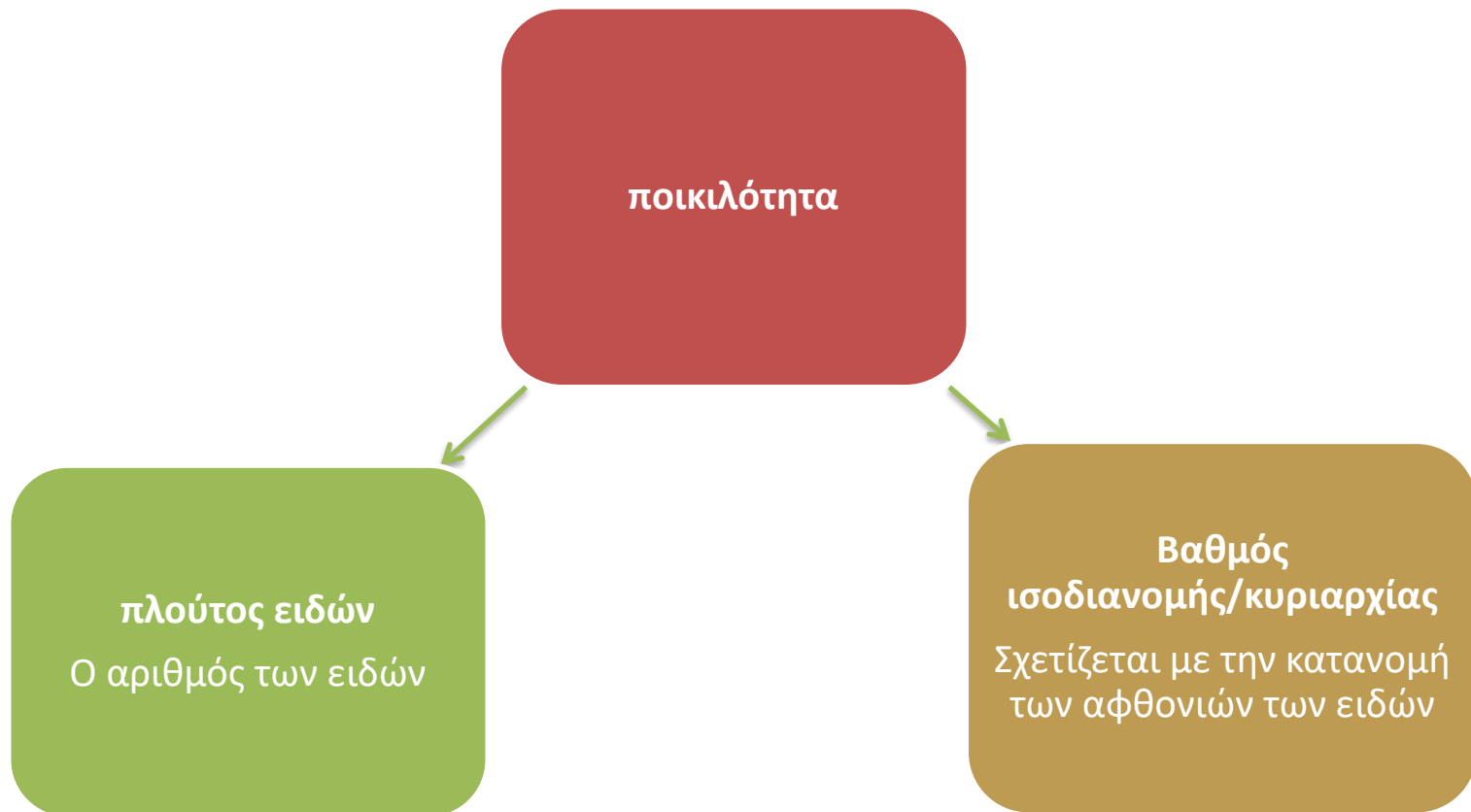
- Ποικιλότητα ειδών
- Πλούτος ειδών
- Καμπύλες αραιοποίησης
- Εκτίμηση πλούτου ειδών
- Δείκτης ποικιλότητας του Shannon
- Δείκτης ισοδιανομής της Pielou
- Αριθμοί του Hill
- Οι λόγοι δεικτών ποικιλότητας ως δείκτες ισοδιανομής
- Καμπύλες k-κυριαρχίας

Ποικιλότητα ειδών

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Ποικιλότητα ειδών

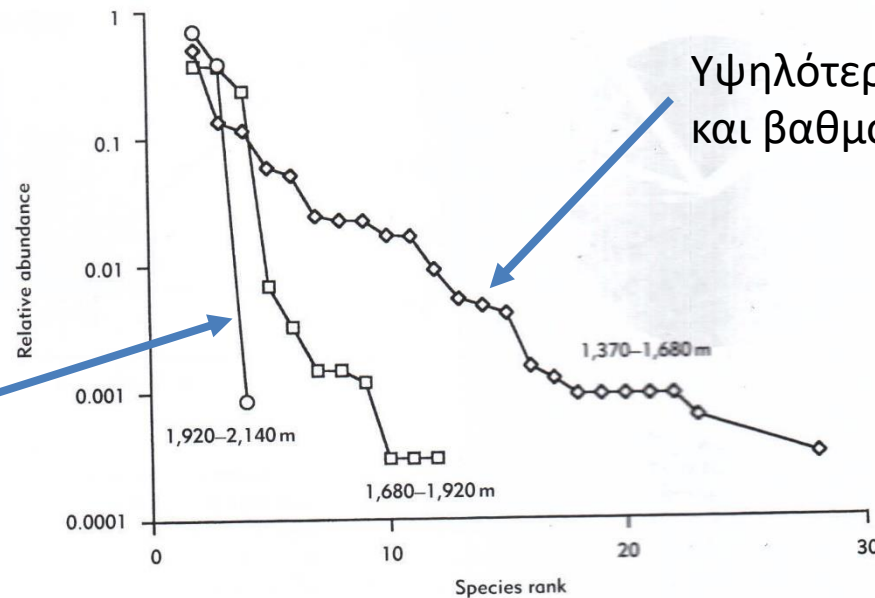
Τα δύο συστατικά στοιχεία της ποικιλότητας ειδών:



Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Ποικιλότητα ειδών

Η κατανομή των αφθονιών των ειδών μπορεί να αναπαρασταθεί γραφικά με το διάγραμμα Whittaker:

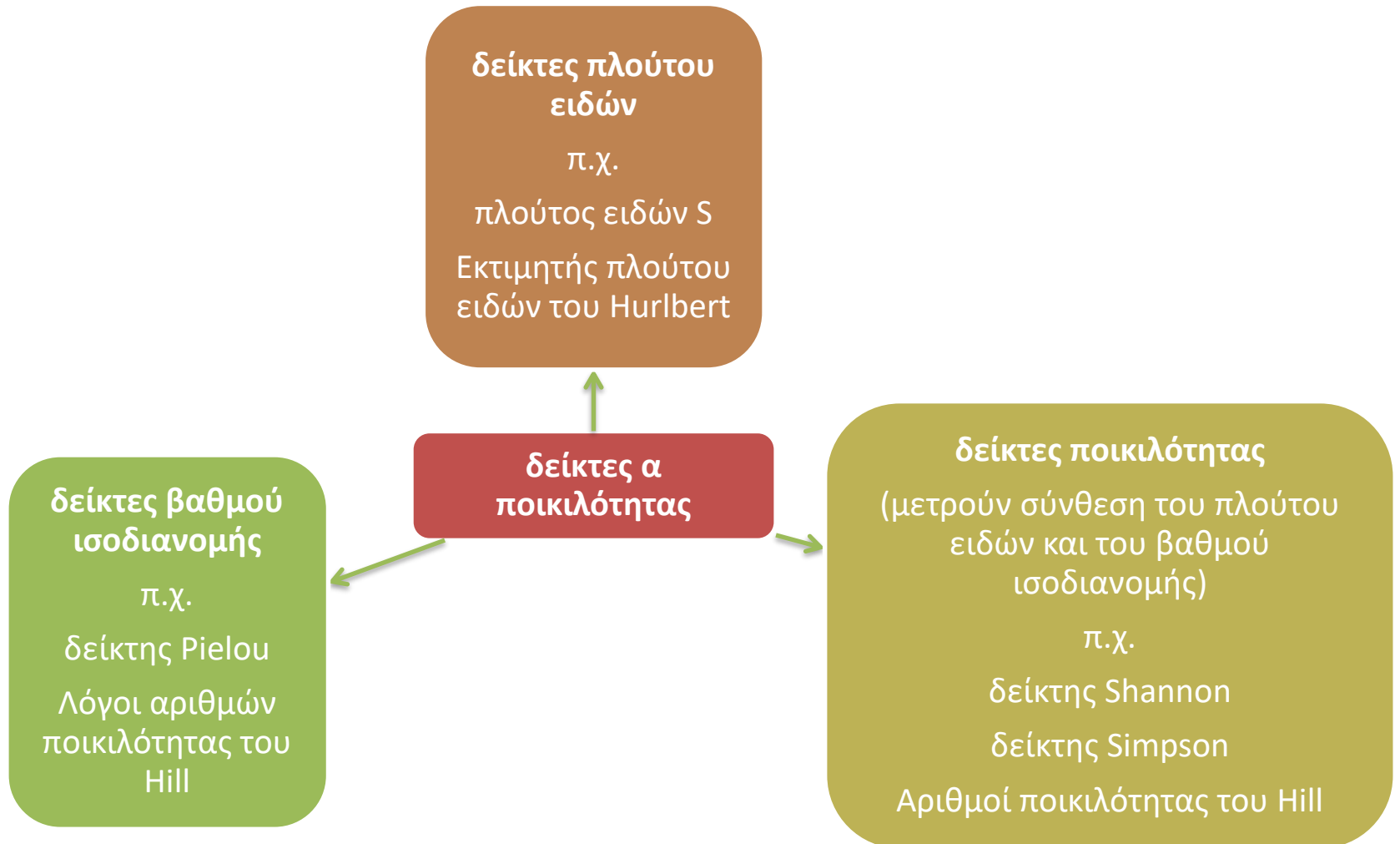


Χαμηλότερος πλούτος
ειδών και βαθμός
ισοδιανομής

Figure 2.4 An example of a rank/abundance or Whittaker plot. The y axis shows the relative abundance of species (plotted using a log₁₀ scale) while the x axis ranks each species in order from most to least abundant. The three lines show the densities of trees, in relation to elevation, on quartz diorite in the central Siskiyou Mountains in California and Oregon. Species richness decreases, and assemblages become less even (as indicated by increasingly steeper slopes) at higher altitudes. (Data from table 12, Whittaker 1960.)

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

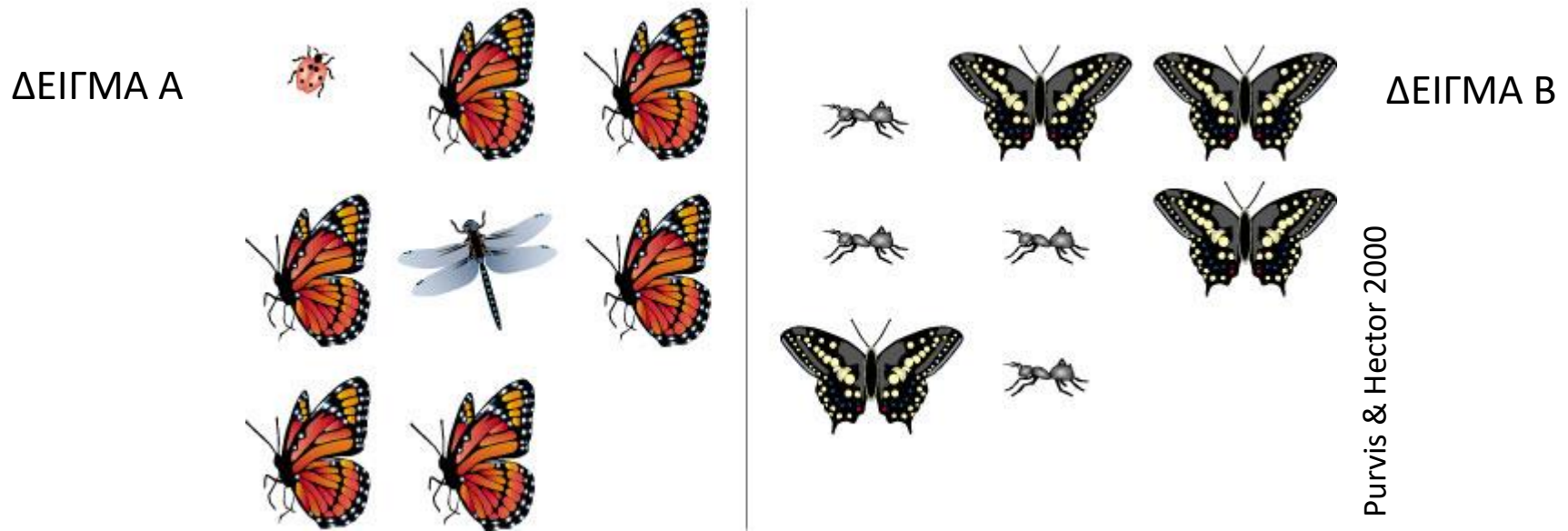
Ποικιλότητα ειδών



Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Ποικιλότητα ειδών

Παράδειγμα:



- Το δείγμα Α θα μπορούσε να θεωρηθεί ως αυτό με την μεγαλύτερη ποικιλότητα επειδή περιέχει 3 είδη, ενώ το δείγμα Β περιέχει 2 είδη
- Όμως, είναι λιγότερο πιθανό δύο τυχαία επιλεγμένα άτομα να ανήκουν στο ίδιο είδος στο δείγμα Β από ότι στο δείγμα Α

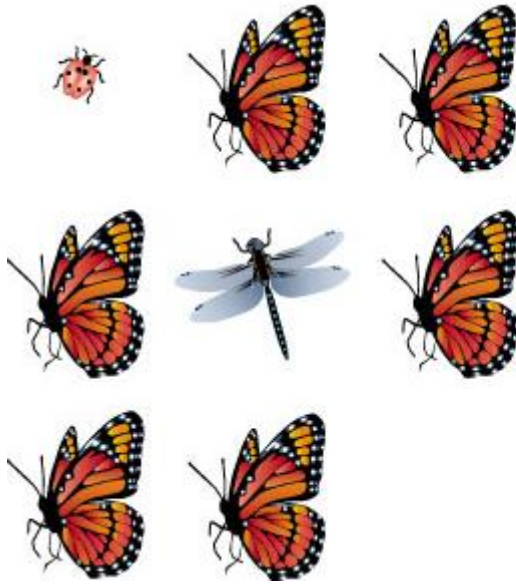
Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Ποικιλότητα ειδών

Παράδειγμα:

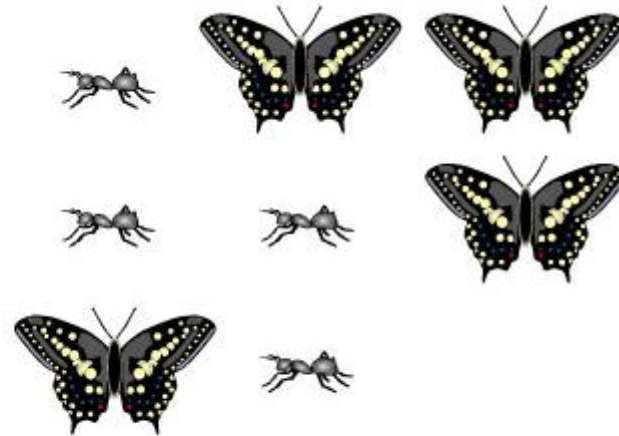
ΔΕΙΓΜΑ Α

N	8
S	3
H'	0,74
J'	0,67



ΔΕΙΓΜΑ Β

N	8
S	2
H'	0,69
J'	1,00



Purvis & Hector 2000

N = συνολική αφθονία, S = πλούτος ειδών, H' = δείκτης ποικιλότητας Shannon, J' = δείκτης ισοδιανομής Pielou

Πλούτος ειδών

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Πλούτος ειδών

- Ο πλούτος ειδών S μιας βιοκοινότητας είναι ένας εύλογος και ευρύτατα χρησιμοποιούμενος δείκτης ποικιλότητας
- Όμως, η εκτίμηση που κάνουμε για τον πλούτο ειδών μιας βιοκοινότητας εξαρτάται από το μέγεθος του δείγματος

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Πλούτος ειδών

- Η σχέση μεταξύ του αριθμού των ειδών και του μεγέθους του δείγματος δίνεται από την ακόλουθη σχέση (MacArthur & Wilson 1967):

$$S = c A^z$$

όπου:

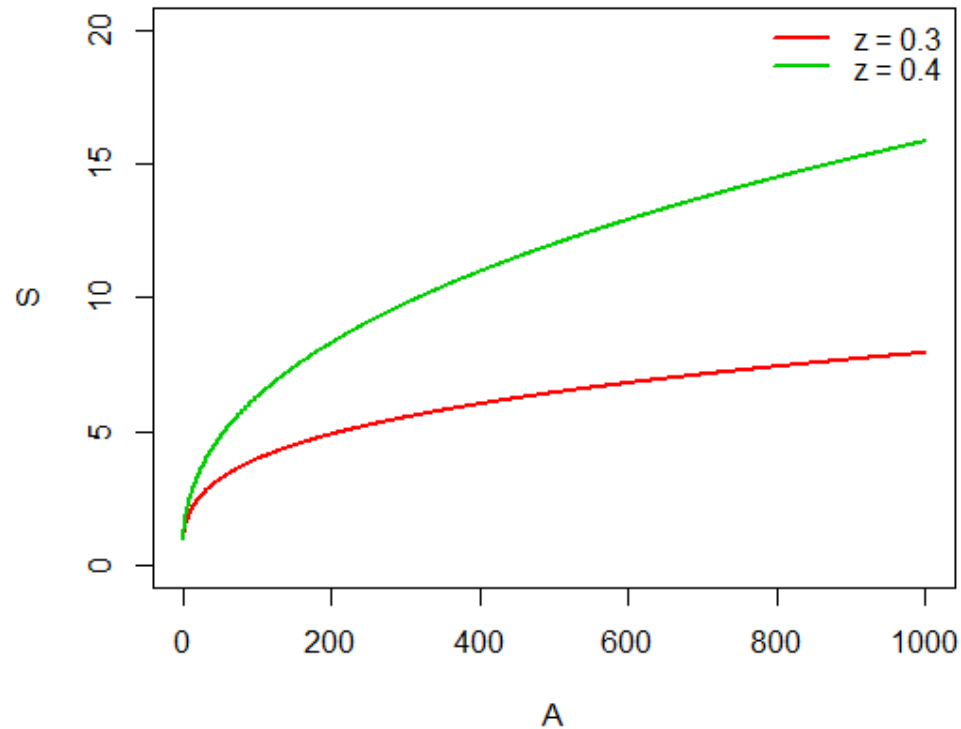
S = ο αριθμός των ειδών

A = η δειγματοληπτική επιφάνεια

c, z = σταθερές

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Πλούτος ειδών



Γράφημα της σχέσης μεταξύ του αριθμού των ειδών S και της δειγματοληπτικής επιφάνειας A

Καμπύλες αραιοποίησης

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Καμπύλες αραιοποίησης

- Η μέθοδος των καμπυλών αραιοποίησης του Sanders (1968) επιτρέπει συγκρίσεις του πλούτου ειδών δειγμάτων με αναγωγή στον ίδιο αριθμό ατόμων (ίσα μεγέθη δειγμάτων)
- Οι καμπύλες αραιοποίησης μπορούν να υπολογιστούν με τον ακόλουθο τύπο του Sanders, όπως αυτός διορθώθηκε από τον Hurlbert (1971), ο οποίος υπολογίζει τον αναμενόμενο αριθμό ειδών $E(S_n)$ σε τυχαίο δείγμα n ατόμων από μια συλλογή N ατόμων και S ειδών:

$$E(S_n) = \sum_{i=1}^S \left[1 - \frac{\binom{N-n_i}{n}}{\binom{N}{n}} \right]$$

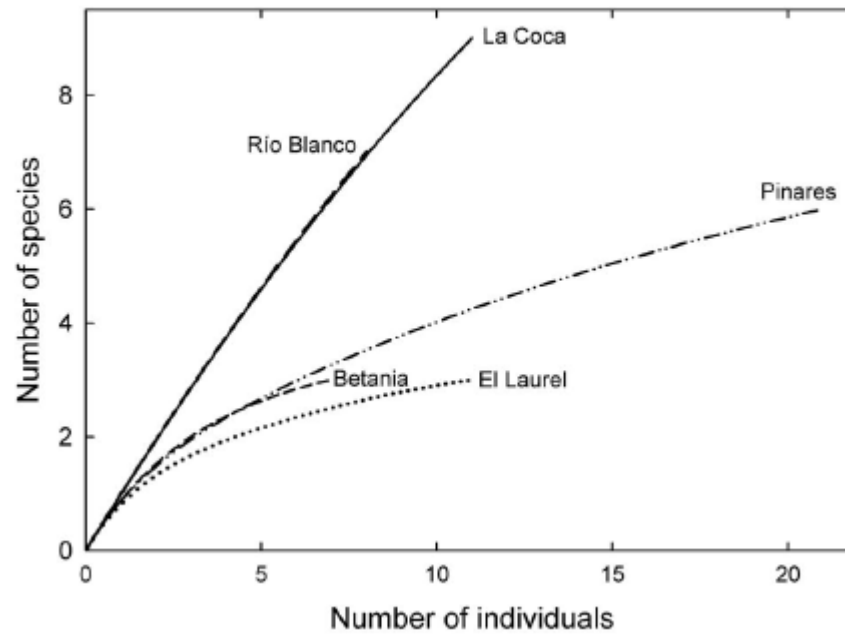
όπου:

n_i = ο αριθμός των ατόμων του είδους i στο δείγμα

Ισχύει $E(S_n) < S$ και $n < N$

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Καμπύλες αραιοποίησης

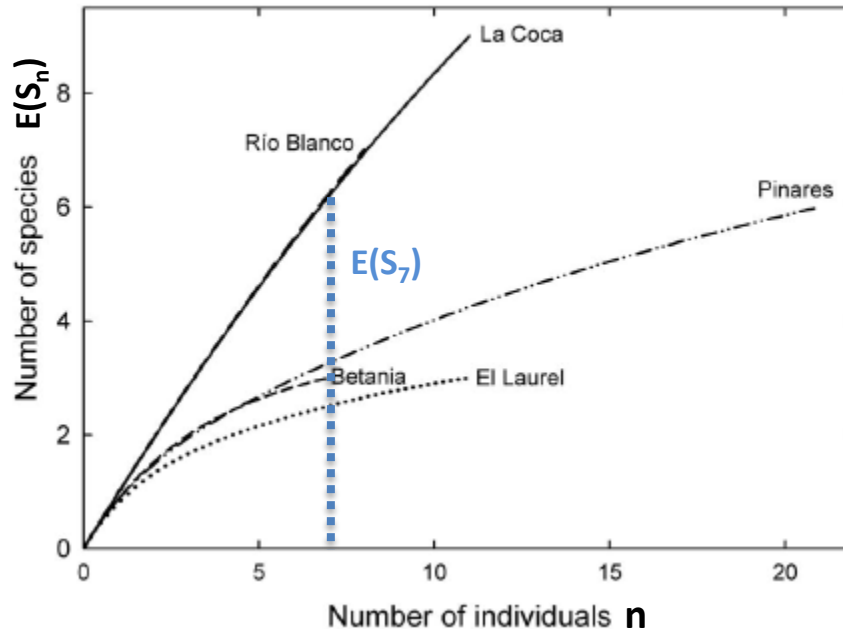


Καμπύλες αραιοποίησης για τέσσερα δείγματα διαφορετικού μεγέθους

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Καμπύλες αραιοποίησης

- Με την τεχνική των καμπυλών αραιοποίησης, η σύγκριση του πλούτου ειδών των δειγμάτων γίνεται αναφορικά με μέγεθος δείγματος ίσο με το μέγεθος του μικρότερου δείγματος:



Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Καμπύλες αραιοποίησης

Μειονεκτήματα των καμπυλών αραιοποίησης:

- Μεγάλη απώλεια πληροφορίας στα μεγαλύτερα δείγματα
- Οι συγκρινόμενες βιοκοινότητες δεν πρέπει να διαφέρουν πολύ ως προς τη σύνθεση τους
- Η μέθοδος δειγματοληψίας πρέπει να είναι η ίδια για τις συγκρινόμενες βιοκοινότητες
- Οι καμπύλες αραιοποίησης μπορεί να διασταυρώνονται εξαιτίας του ότι η κλίση τους επηρεάζεται από την κατανομή των αφθονιών των ειδών

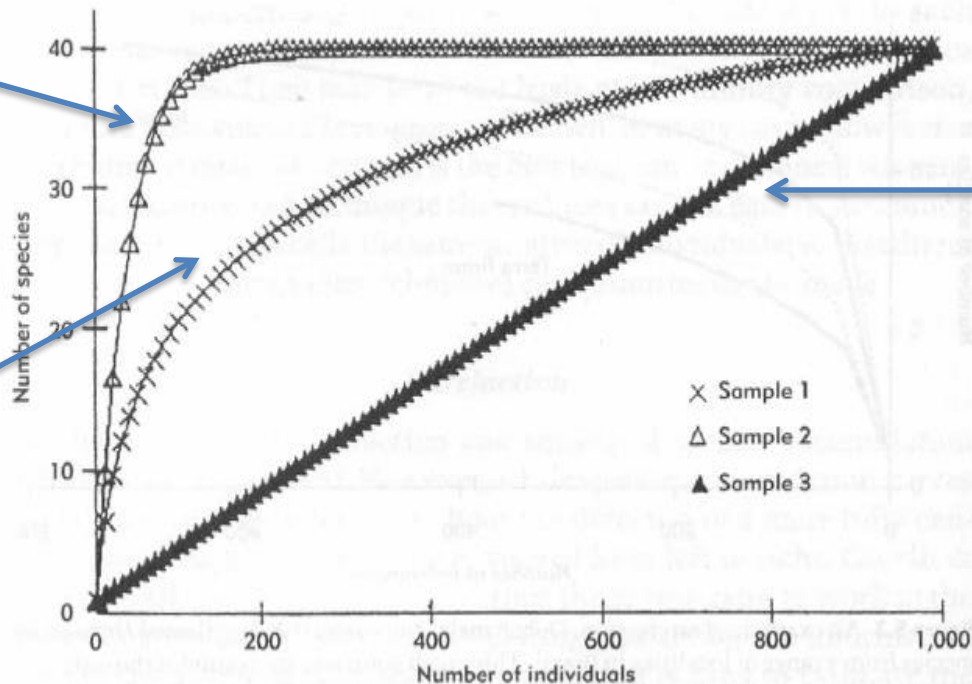
Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Καμπύλες αραιοποίησης

Η κλίση των καμπυλών αραιοποίησης επηρεάζεται από την κατανομή των αφθονιών των ειδών:

τέλεια
ισοδιανομή

ενδιάμεση
ισοδιανομή



υψηλός βαθμός
κυριαρχίας

Εκτίμηση πλούτου ειδών

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Εκτίμηση πλούτου ειδών

- Με την μέτρηση του αριθμού των ειδών σε ένα δείγμα μετράμε τον λεγόμενο «παρατηρούμενο» πλούτο ειδών
- Ποιος όμως είναι ο πραγματικός, «απόλυτος» πλούτος ειδών στην περιοχή από την οποία πήραμε το δείγμα;
- Ο απόλυτος πλούτος ειδών μπορεί να εκτιμηθεί με τη χρήση ειδικών τεχνικών, μια από τις οποίες είναι οι μη παραμετρικοί εκτιμητές πλούτου ειδών

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Εκτίμηση πλούτου ειδών

- Ένας γνωστός μη παραμετρικός εκτιμητής του απόλυτου πλούτου ειδών είναι ο Chao 1 (Chao 1984):

$$S_{Chao1} = S_{obs} + \frac{F_1^2}{2F_2}$$

όπου:

S_{Chao1} = ο εκτιμητής Chao 1

S_{obs} = παρατηρούμενος πλούτος ειδών

F_1 = ο αριθμός των ειδών με ένα άτομο

F_2 = ο αριθμός των ειδών με δύο άτομα

Δείκτης ποικιλότητας του Shannon

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Δείκτες ποικιλότητας

Δείκτης εντροπίας του Shannon, H' (Shannon & Weaver 1949):

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

όπου:

p_i = η σχετική αφθονία του i -οστού είδους στη βιοκοινότητα

S = ο πλούτος ειδών

- Μετρά τη μέση αβεβαιότητα της πρόβλεψης σε ποιο είδος ανήκει ένα άτομο που έχει τυχαία επιλεγεί από μια συλλογή S ειδών και N ατόμων
- Ο δείκτης προέρχεται από τη θεωρία της πληροφορίας (Shannon & Weaver 1949) και μετρά εντροπία, αλλά παραδοσιακά βρίσκει εφαρμογή στην οικολογία ως δείκτης ποικιλότητας

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Δείκτες ποικιλότητας

Ο δείκτης του Shannon:

- Παίρνει τιμές από 0 ($S = 1$, απόλυτη κυριαρχία) έως σπάνια πάνω από 4 (για H' υπολογισμένο με \log_{10})
- $H' \max = \log S$

Δείκτης ισοδιανομής της Pielou

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Δείκτες ισοδιανομής

Δείκτης ισοδιανομής Pielou J' (Pielou 1975):

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}} = \frac{H'}{\ln S}$$

όπου:

S = ο πλούτος ειδών του δείγματος

H' = ο δείκτης του Shannon

- Ο δείκτης παίρνει τιμές από 0 (απόλυτη κυριαρχία) έως 1 (απόλυτη ισοδιανομή)
- Η τιμή του δείκτη επηρεάζεται από τον πλούτο ειδών και το μέγεθος του δείγματος

Αριθμοί ποικιλότητας του Hill

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Αριθμοί ποικιλότητας του Hill

- Η σύγκριση της ποικιλότητας βιοκοινοτήτων εξίσου άφθονων ειδών μπορεί εύλογα να γίνει μέσω της σύγκρισης του πλούτου ειδών
- Όταν η ισοδιανομή δεν είναι τέλεια, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για τη σύγκριση δείκτες ποικιλότητας
- Όμως, πολλοί δείκτες της βιολογικής ποικιλότητας δεν έχουν ορισμένες ιδιότητες που θεωρούνται επιθυμητές για τους δείκτες ποικιλότητας ή/και στην πραγματικότητα δεν μετρούν ποικιλότητα, αλλά κάποιο άλλο, υποκατάστατο της μέγεθος, π.χ. εντροπία στην περίπτωση του δείκτη των Shannon-Wiener (Jost, 2006)

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Αριθμοί ποικιλότητας του Hill

Έστω δύο βιοκοινότητες A και B με 5 και 10 εξίσου άφθονα είδη αντίστοιχα, με 5 άτομα το κάθε είδος:

- Ποικιλότητα των δειγμάτων σύμφωνα με το δείκτη του Shannon:

$$A: H' = 1,6$$

$$B: H' = 2,3$$

- Όμως, θα αναμέναμε να μετρήσουμε διπλάσια ποικιλότητα στο δεύτερο δείγμα!
- Ο δείκτης του Shannon μετρά εντροπία και ίσως δεν είναι ο καλύτερος δυνατός τρόπος να μετράμε τη βιολογική ποικιλότητα!

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Αριθμοί ποικιλότητας του Hill

- Για ορθές συγκρίσεις κατά τη μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας πρέπει να μετατρέψουμε τις τιμές των δεικτών ποικιλότητας σε «ενεργό αριθμό ειδών» (Jost 2006)
- Ως ενεργός αριθμός ειδών ορίζεται ο αριθμός των εξίσου άφθονων ειδών που δίνουν ποικιλότητα ίση με τη τιμή του δείκτη που θέλουμε να μετατρέψουμε σε μονάδες ενεργού αριθμού ειδών
- Οι δείκτες ποικιλότητας που μετρούν την ποικιλότητα σε μονάδες ενεργού αριθμού ειδών θεωρείται πως έχουν όλες τις επιθυμητές ιδιότητες για ένα δείκτη ποικιλότητας και μετρούν «πραγματική» ποικιλότητα και όχι κάποιο υποκατάστατο μέγεθος της (Jost, 2006; Tuomisto, 2010)
- Οι αριθμοί ποικιλότητας του Hill (Hill 1973) μετρούν τη βιολογική ποικιλότητα απευθείας σε μονάδες ενεργού αριθμού ειδών

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Αριθμοί ποικιλότητας του Hill

Αριθμοί ποικιλότητας του Hill N_α :

$$N_\alpha = \begin{cases} \sum_{i=1}^S (p_i)^{\frac{1}{1-\alpha}} & \text{for } \alpha \neq 1 \\ \exp\left(-\sum_{i=1}^S p_i \ln p_i\right) & \text{for } \alpha = 1 \end{cases}$$

Όπου:

N_α : ο αριθμός του Hill ποικιλότητας τάξης α

- Η παράμετρος «τάξη ποικιλότητας» α ελέγχει την επιρροή των άφθονων έναντι των σπάνιων ειδών πάνω στην τιμή του αριθμού ποικιλότητας: Με την αύξηση του α , ο αριθμός ποικιλότητας γίνεται ολοένα και πιο ευαίσθητος στα άφθονα είδη και λιγότερο ευαίσθητος στα σπάνια είδη.
- Η τάξη ποικιλότητας α παίρνει τιμές στο διάστημα $[0, +\infty)$.
- Οι αριθμοί ποικιλότητας N_α παίρνουν τιμές από 1 (απόλυτη κυριαρχία) έως S (απόλυτη ισοδιανομή)

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Αριθμοί ποικιλότητας του Hill

Μερικοί σημαντικοί αριθμοί ποικιλότητας του Hill:

- Για $\alpha = 0$, $N_0 = S$ (όπου S ο πλούτος ειδών)
Στον υπολογισμό του N_0 τα σπάνια είδη σταθμίζονται με μεγαλύτερο βάρος
- Για $\alpha = 1$, $N_1 = \exp(H')$ (όπου H' ο δείκτης ποικιλότητας του Shannon)
Στον υπολογισμό του N_1 τα είδη σταθμίζονται με βάρος ανάλογο της αφθονίας τους
- Για $\alpha = 2$, $N_2 = 1/\lambda$ (όπου λ ο δείκτης κυριαρχίας του Simpson)
Στον υπολογισμό του N_2 τα πολύ άφθονα είδη σταθμίζονται με μεγαλύτερο βάρος

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Αριθμοί ποικιλότητας του Hill

- Έστω δύο βιοκοινότητες A και B με 5 και 10 εξίσου άφθονα είδη αντίστοιχα, με 5 άτομα το κάθε είδος:
- Ποικιλότητα των δειγμάτων σύμφωνα με τον αριθμό
- ποικιλότητας του Hill N_1 :

$$A: N_1 = 5$$

$$B: N_1 = 10$$

- Ο αριθμός ποικιλότητας του Hill N_1 μετρά διπλάσια ποικιλότητα στο δεύτερο δείγμα, όπως θα αναμέναμε!
- Ο αριθμός ποικιλότητας του Hill N_1 μετρά απευθείας ποικιλότητα!

Οι λόγοι δεικτών ποικιλότητας ως δείκτες ισοδιανομής

7: Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας I

Οι λόγοι δεικτών ποικιλότητας ως δείκτες ισοδιανομής

Δείκτης ισοδιανομής $F_{2/1}$ (Alatalo, 1981):

$$F_{2/1} = (N_2 - 1)/(N_1 - 1)$$

όπου:

N_1 ο αριθμός ποικιλότητας του Hill τάξης $\alpha = 1$

N_2 ο αριθμός ποικιλότητας του Hill τάξης $\alpha = 2$

- Ο δείκτης παίρνει τιμές από 0 (απόλυτη κυριαρχία) έως 1 (απόλυτη ισοδιανομή)

7: Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας I

Οι λόγοι δεικτών ποικιλότητας ως δείκτες ισοδιανομής

- Ο $F_{2/1}$ αποτελεί μετασχηματισμό του λόγου των αριθμών ποικιλότητας του Hill N_2/N_1 (Hill, 1973) και έτσι ανήκει στην οικογένεια δεικτών ισοδιανομής που έχουν τη μορφή λόγου δεικτών ποικιλότητας
- Ο $F_{2/1}$ προτιμάται έναντι του κλασσικού δείκτη ισοδιανομής της Pielou J' επειδή, σε αντίθεση με τον τελευταίο, είναι ανεξάρτητος του πλούτου ειδών και του μεγέθους του δείγματος (Hill, 1973; Alatalo, 1981; Tuomisto, 2012)

Καμπύλες k-κυριαρχίας

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

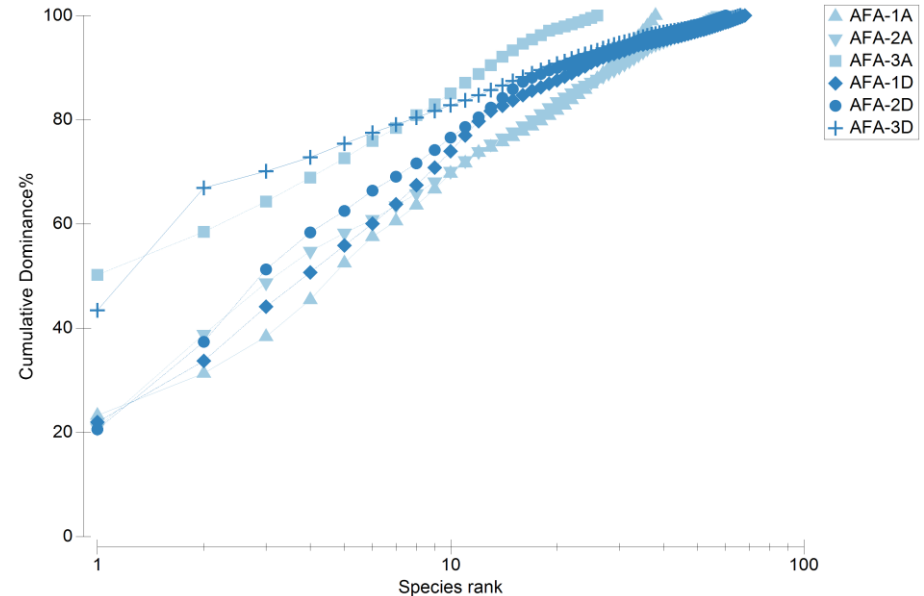
Καμπύλες k-κυριαρχίας

- Η κατανομή των αφθονιών των ειδών αποτελεί μαζί με τον πλούτο ειδών τα δύο συστατικά στοιχεία της ποικιλότητας ειδών (Magurran, 2004)
- Ο σχεδιασμός καμπυλών που περιγράφουν την κατανομή των αφθονιών των ειδών μπορεί να δώσει περισσότερες πληροφορίες για την τελευταία σε σχέση με ένα συνοπτικό μέτρο όπως ένας δείκτης ισοδιανομής
- Η μορφή των καμπυλών αυτών επηρεάζεται από την κατάσταση οικολογικής ποιότητας του περιβάλλοντος και έτσι ο σχεδιασμός των καμπυλών αυτών συνίσταται ως τεχνική εκτίμησης των επιπτώσεων διαταραχών εξαιτίας ρύπανσης (Gray & Pearson, 1982)

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Καμπύλες k-κυριαρχίας

- Καμπύλες «k-κυριαρχίας» (Lambshead et al., 1983)
- Το αθροιστικό ποσοστό της συνολικής αφθονίας (δηλ. το ποσοστό της συνολικής αφθονίας που απαρτίζεται από το k-οστό πιο άφθονο είδος συν όλα τα είδη με μεγαλύτερη αφθονία) σχεδιάζεται ως συνάρτηση της σειράς του είδους k (ή του λογαρίθμου της τελευταίας) στην κατάταξη των ειδών ανάλογα με την αφθονία τους.
- Το αριστερό τμήμα της καμπύλης μετατοπίζεται προς τα επάνω με την αύξηση του βαθμού κυριαρχίας



Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Βιβλιογραφία

- Alatalo, R.V., 1981. Problems in the Measurement of Evenness in Ecology. *Oikos* 37: 199-204.
- Chao, A., 1984. Nonparametric estimation of the number of classes in a population. *Scand. J. Statist.*, 11, 265-270.
- Gray, J.S. & Pearson, T.H., 1982. Objective selection of sensitive species indicative of pollution-induced change in benthic communities. I. Comparative methodology. *Marine Ecology Progress Series* 9: 111 - 119.
- Hill, M.O., 1973. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology* 54: 427-431.
- Hurlbert, S.H., 1971. The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology* 52: 577-585.
- Jost, L., 2006. Entropy and diversity. *Oikos* 113: 363 – 375.
- Lambshead, P.J.D., Platt, H.M. & Shaw, K.M., 1983. The detection of differences among assemblages of marine benthic species based on an assessment of dominance and diversity. *Journal of Natural History* 17(6): 859 – 874.
- MacArthur, R.H. & Wilson, E.O., 1967. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press.
- Pielou, E.C., 1975. *Ecological diversity*. Wiley InterScience.

Μέτρηση της βιολογικής ποικιλότητας

Βιβλιογραφία

- Purvis, A. & Hector, A., 2000. Getting the measure of biodiversity. *Nature* 405: 212-219.
- Sanders, H.L., 1968. Marine benthic diversity: a comparative study. *American Naturalist* 102: 243-282.
- Shannon, C.E. & Weaver, W., 1949. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press.
- Simpson, E.H., 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163: 688 - 688.
- Tuomisto, H., 2012. An updated consumer's guide to evenness and related indices. *Oikos* 121: 1203–1218.

Προτεινόμενη πρόσθετη βιβλιογραφία:

- Magurran, A.E., 2003. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell.
- Magurran, A.E. & McGill, B.J., 2010. *Biological Diversity. Frontiers in measurement and assessment*. Oxford University Press.