

# Diverzita

popis zastúpenia prvkov v systéme  
genetické línie v rámci populácie  
(gény, genotypy, haplotypy...)  
druhy/taxóny/funkčné skupiny v rámci  
spoločenstva  
spoločenstvá v rámci ekosystému  
ekosystémy v rámci krajiny

# Diverzita

popis zastúpenia prvkov v systéme

počet rozdielnych prvkov  
frekvencie prvkov

bohatosť (richness)  
vyrovnanosť (evenness)

diverzita

# Diverzita

popis zastúpenia prvkov v systéme

Whittaker (1980):

$\alpha$ -diverzita

v rámci lokálneho spoločenstva

$\beta$ -diverzita

rozdiely medzi spoločenstvami

v rámci krajiny

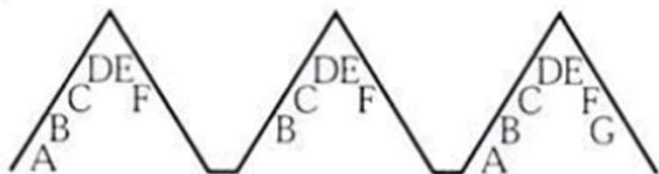
$\gamma$ -diverzita

celková v rámci krajiny

$$\gamma = \alpha \times \beta$$

# Diverzita

oblast 1



**alfa**  
(průměrný počet  
druhů na jedné  
hoře)

**6**

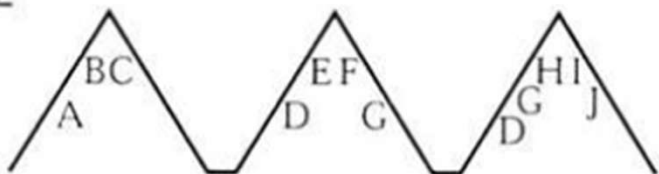
**gama**  
(celkový počet  
druhů  
v oblasti)

7

**beta**  
(gama/alfa)

1,2

oblast 2

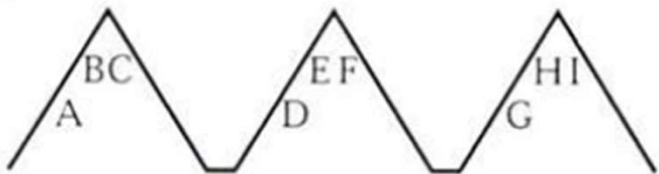


4

**10**

2,5

oblast 3



3

9

**3,0**

# Diverzita

popis zastúpenia prvkov v systéme

diverzita na úrovni populácie (genetická)

$\alpha$ -diverzita = diverzita

v rámci populácie

$\beta$ -diverzita = diferenciácia

rozdiely medzi populáciami

v rámci areálu druhu alebo jeho časti

$\gamma$ -diverzita = ???

# Diverzita na úrovni populácie (genetická)

- genetická multiplicita
  - alelická
  - genotypová
- genetická diverzita
- genetická diferenciácia

# Genetická multiplicita

miera počtu typov (genotypov resp. alel)  
nájdenných v populácii

- podiel polymorfných lokusov
- priemerný počet alel (genotypov) na lokus
- prepočet na rovnakú veľkosť výberovej vzorky (rarefaction)

$$\hat{r}[g] = \sum_{i=1}^m \left[ 1 - \frac{\binom{N - N_i}{g}}{\binom{N}{g}} \right] = \sum_{i=1}^m \left[ 1 - \prod_{k=0}^{g-1} \frac{N - N_i - k}{N - k} \right]$$

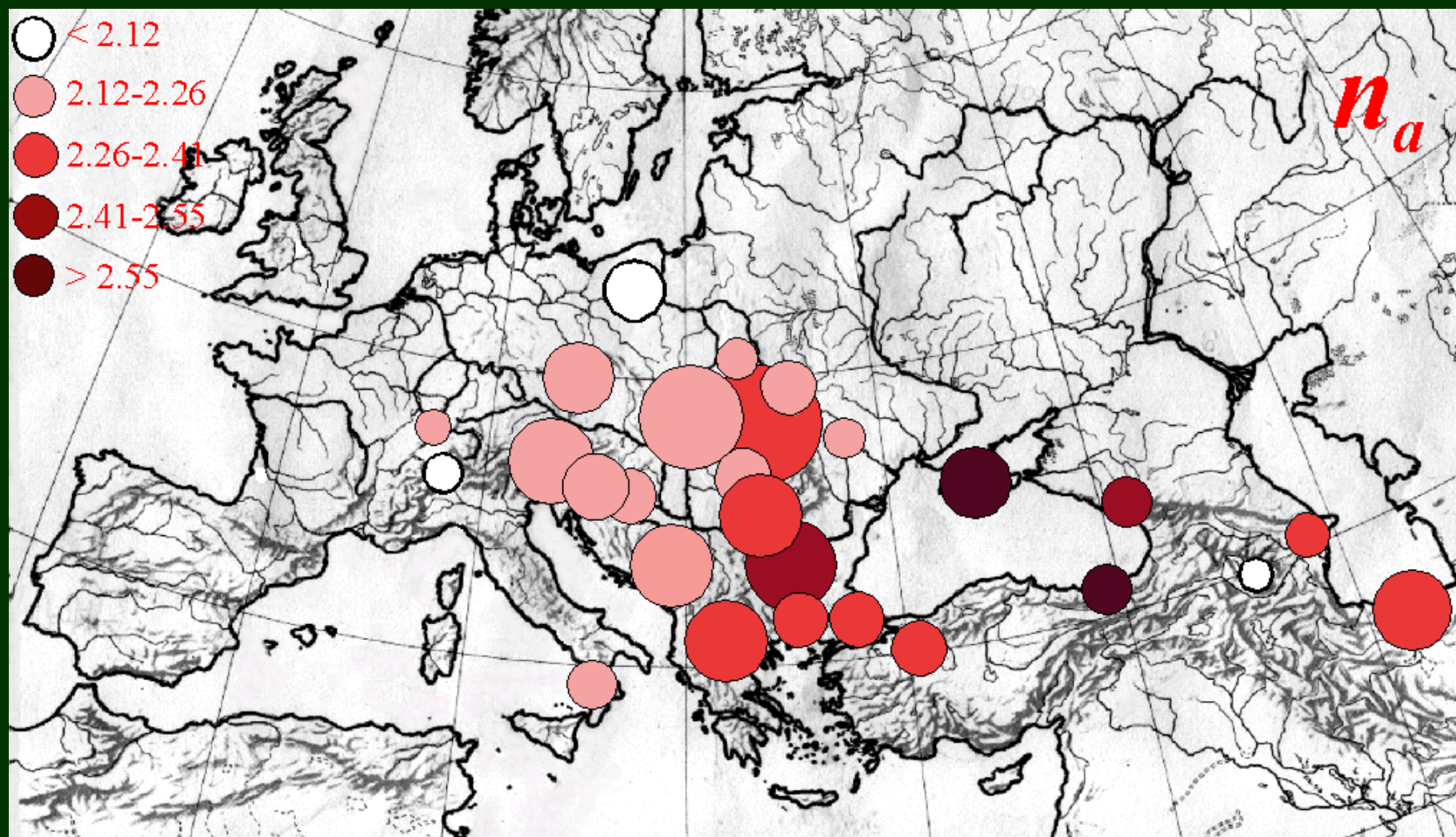
$g$  – štandardná vzorka

$N$  – aktuálna veľkosť vzorky

$N_i$  – počet exemplárov  $i$ . alely vo vzorke



Genetická multiplicita *Fagys sylvatica*/*F. orientalis*  
(rarefaction)





Population	<i>N</i>	<i>A</i>	<i>A</i> <sub>[20]</sub>	<i>PP</i>	<i>H</i> <sub>O</sub>	<i>H</i> <sub>E</sub>	<i>F</i>
<b><i>Picea omorika</i></b>							
Višegrad Veliki Stolac	29.4	19	18.81	18.8	0.060	0.047	-0.273*
Višegrad Gostilja	20.7	19	18.87	18.8	0.044	0.055	0.204
Višegrad Karaula Štula	69.4	21	20.26	25.0	0.107	0.096	-0.050
Višegrad Božurevac	33.8	19	18.93	18.8	0.111	0.072	-0.546**
Višegrad Tovarnica	31.8	18	17.99	12.5	0.058	0.046	-0.259*
Rogatica Novo Brdo	30.7	21	20.53	25.0	0.100	0.085	-0.182*
Rogatica Panjak	31.3	19	19.00	18.8	0.132	0.083	-0.605**
Srebrenica Šarena Bukva	52.9	21	18.32	31.3	0.018	0.017	-0.357**
Srebrenica Strugovi	21.9	20	19.72	25.0	0.047	0.082	0.437**
Srebrenica Pliština	10.6	18	18.00	12.5	0.024	0.046	0.494**
Čajniće	25.5	20	19.93	25.0	0.096	0.092	-0.041
Foča	42.5	19	18.99	18.8	0.074	0.081	0.082
Kakanj <sup>a</sup>	28.6	23	21.51	37.5	0.070	0.093	0.249**
average of natural populations	33.7	19.6	19.11	20.9	0.073	0.067	-0.112 <sup>c</sup>
pooled natural populations	400.5	24	20.42 22.24 <sup>b</sup>	43.8	0.075	0.088	0.125 <sup>d</sup>
<b><i>Picea abies</i></b>							
Poljana	200.0	42	24.78 42.00 <sup>b</sup>	81.3	0.146	0.140	-0.043

*N* – average sample size, *A* – total observed number of alleles, *A*<sub>[20]</sub>, *A*<sub>[400]</sub> – allelic richness (total number of alleles after the rarefaction to a common sample size of 20 and 400 gene copies, respectively),

*PP* – proportion of polymorphic loci, *H*<sub>O</sub> – observed heterozygosity, *H*<sub>E</sub> – expected heterozygosity, *F* – fixation index

<sup>a</sup> artificial plantation, <sup>b</sup> *A*<sub>[400]</sub>, significance levels: \* – *P* < 0.05, \*\* – *P* < 0.01, <sup>c</sup> *F*<sub>IS</sub>, <sup>d</sup> *F*<sub>IT</sub> (Wright 1965)

$$\lim_{h \rightarrow 1} v_i = e^{H'}$$

# Genetická diverzita

miera počtu typov nájdených v populácii pri zohľadnení ich frekvencií

diverzita = multiplicita × vyrovnanosť (evenness)

- „efektívny“ počet alel:

$$n_e = v_2 = \frac{1}{\sum p_i^2}$$

# Genotypová štruktúra

- „očakávaná“ heterozygotnosť (expected heterozygosity gene diversity Nei 1973)

$$h_e = 1 - \sum p_i^2$$

nestranný odhad pri veľkosti vzorky  $n$  jedincov

$$h_e = 2n \left( 1 - \sum p_i^2 \right) / (2n - 1)$$

- pozorovaná heterozygotnosť  $h_o = \sum P_{ij}$ ,  
kde  $P_{ij}$  je frekvencia genotypu  $A_i A_j$   $i \neq j$

Index fixácie

$$F = 1 - h_o/h_e$$

# Charakteristiky vnútropopulačnej genetickej premenlivosti

Kategória	$n_a$	$n_e$	$h_e$
Nahosemenné	2,38	1,22	0,169
Krytosemenné	2,10	1,26	0,183
Endemity	1,82	1,09	0,078
Lokálny areál	2,08	1,22	0,165
Regionálny areál	1,87	1,23	0,169
Rozšírené druhy	2,11	1,39	0,257
Boreálne druhy	2,58	1,28	0,206
Druhy mierneho pásma	2,27	1,22	0,166
Tropické druhy	1,87	1,28	0,191

# Genetická diferenciácia

Genetická vzdialenosť – miera rozdielu v zastúpení genetických typov medzi dvomi populáciami (jedincami)

Nei 1978:

$$D = -\ln(J_{xy} / \sqrt{J_x J_y}) \frac{2n}{2n-1};$$
$$J_x(J_y) = \sum x_i^2 (\sum y_i^2); J_{xy} = \sum x_i y_i$$

Gregorius 1974

$$d_0 = 1/2 \sum |x_i - y_i|$$

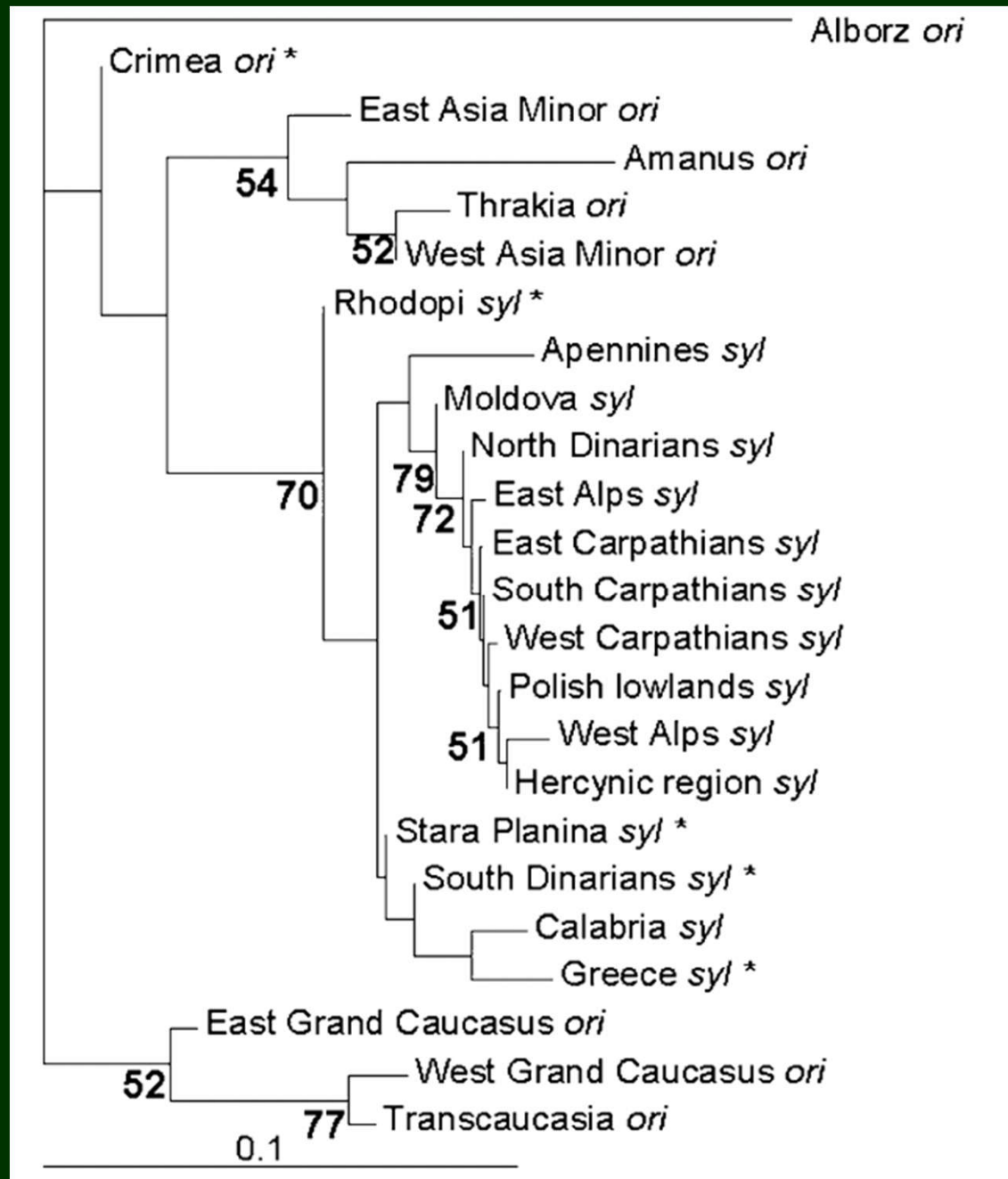
Tanimoto (Sneath a Sokal 1973):

$$D_T = 1 - \frac{N(X \wedge Y)}{N(X \vee Y)}$$

Genetické vzdialenosti medzi druhmi rodu *Pinus* subsekcia *Sylvestres* a geografickými rasami v rámci *Pinus sylvestris*

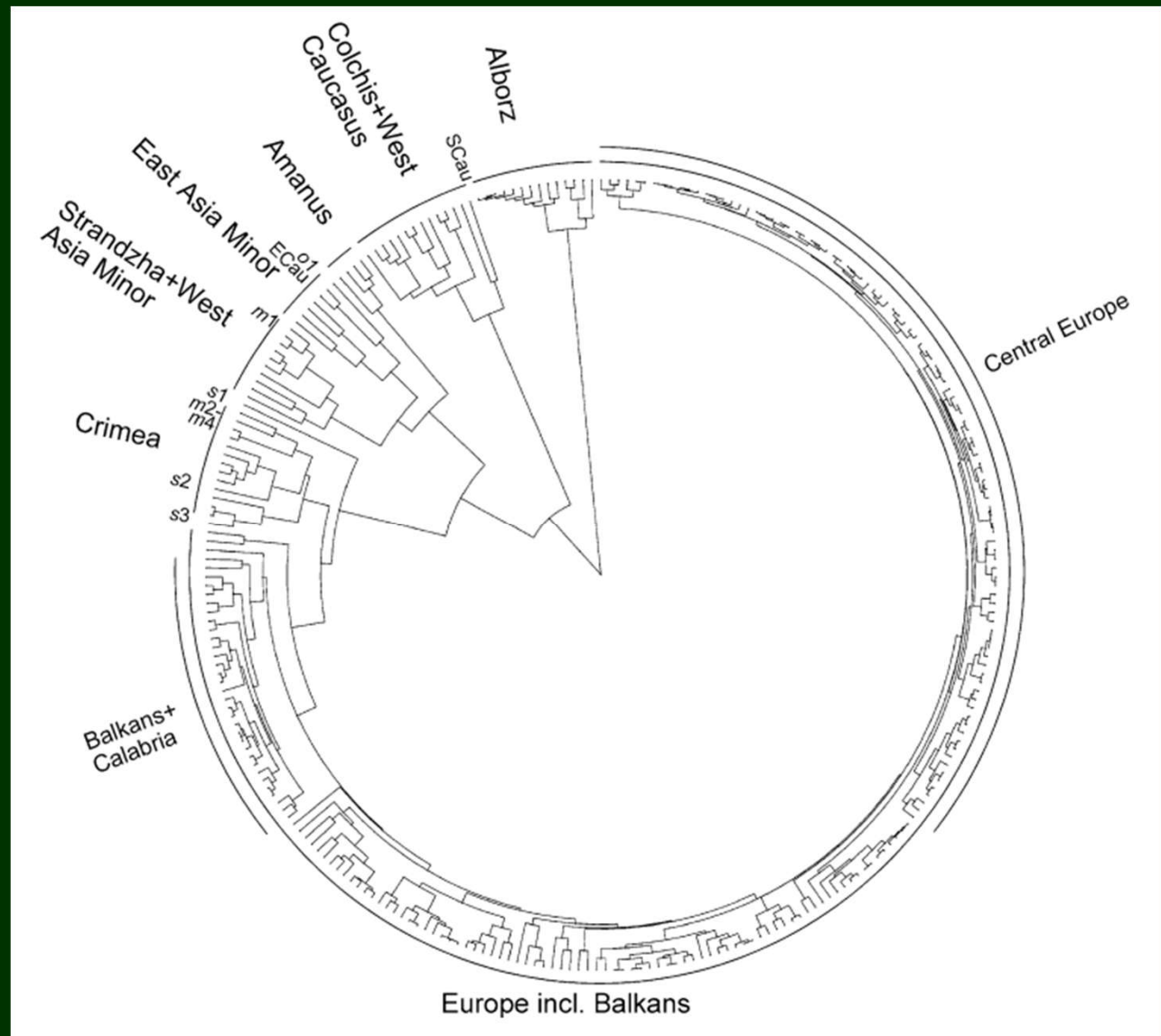
Druh			1	2	3	4
1	<i>P. sylvestris</i>		****	0.108	0.148	0.161
2	<i>P. mugo</i>			****	0.161	0.172
3	<i>P. funebris</i>				****	0.158
4	<i>P. pallasiana</i>					****
Rasa ( <i>P. sylvestris</i> )		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
1.1	<i>sylvestris</i>	****	0.003	0.005	0.010	0.021
1.2	<i>cretacea</i>		****	0.004	0.010	0.019
1.3	<i>lapponica</i>			****	0.009	0.018
1.4	<i>sibirica</i>				****	0.031
1.5	<i>hamata</i>					****

Dendrogram založený na  
genetických  
vzdialenostiach medzi  
regionálnymi populáciami

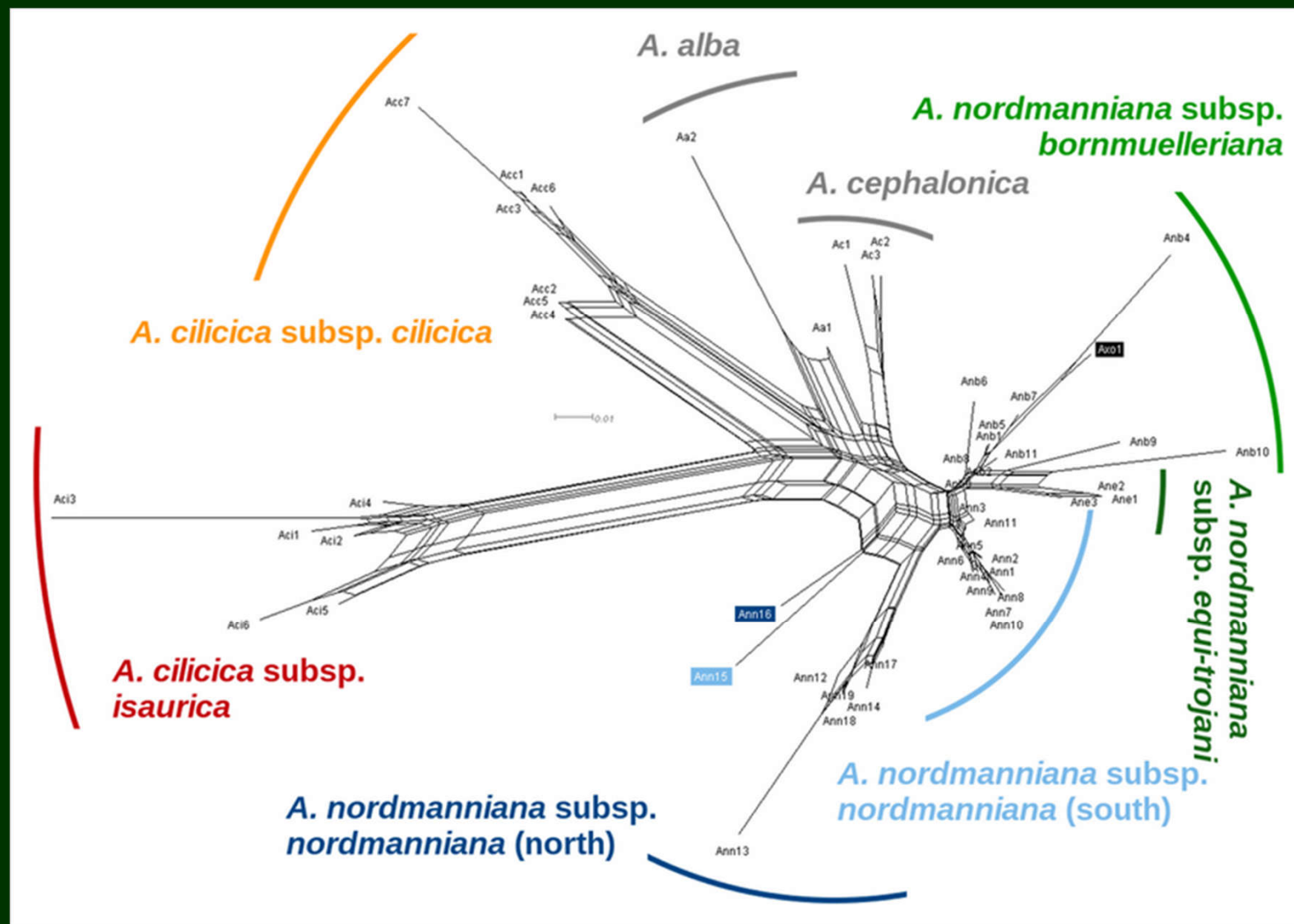




Dendrogram založený na  
genetických  
vzdialenostiach medzi  
lokálnymi populáciami

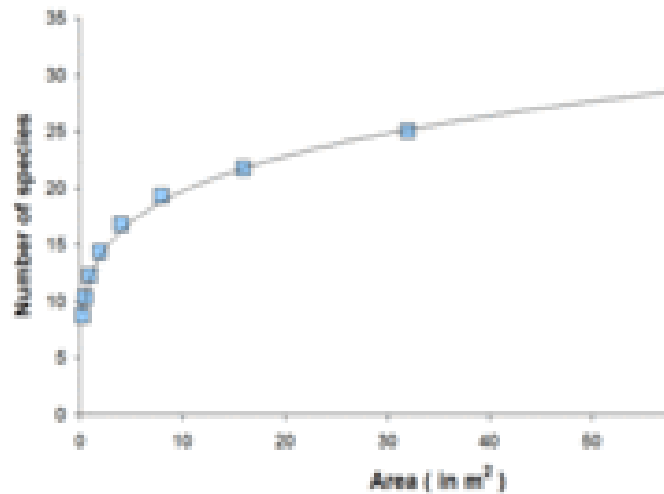


Sieťový diagram (retikulogram) založený na genetických vzdialenostiach medzi lokálnymi populáciami

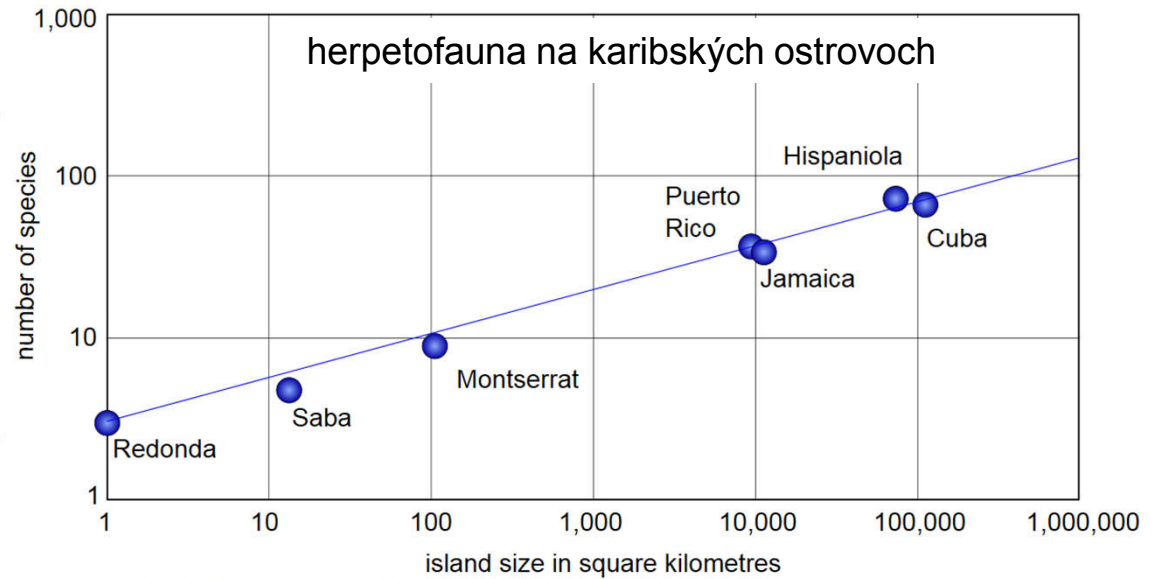
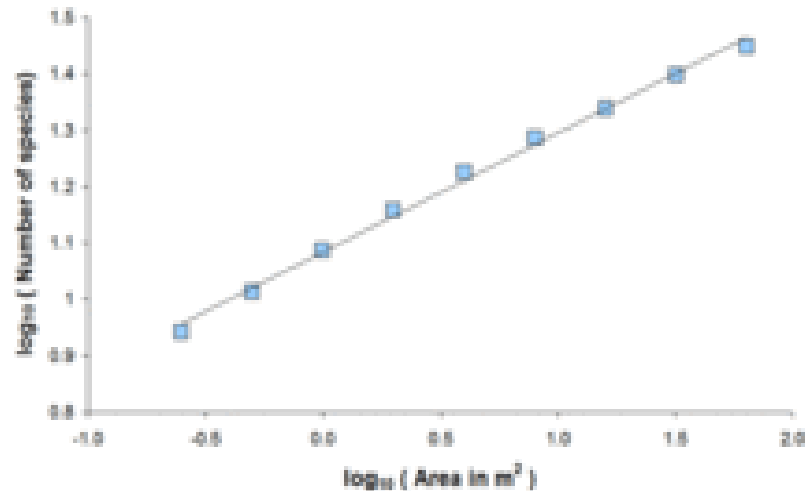


# Druhová diverzita: $\alpha$ -diverzita

Species-area Relationship on Arithmetic Axes



Species-area Relationship on Log-log Axes



# Druhová diverzita

Druhová bohatosť (species richness)  
počet druhov/taxónov v spoločenstve

$S$  – počet druhov – výrazne závislý na  
rozsahu výberu

$$R_1 = (S - 1) / \log N$$

(Margalef)

$$R_2 = S / \sqrt{N}$$

(Menhinick)

# Druhov diverzita

Druhov bohatosť (species richness)

Rarefakcia

$$E[X_n] = K - \binom{N}{n}^{-1} \sum_{i=1}^K \binom{N-N_i}{n}$$

$X_n$  – počet druhov vo vzorke  $n$  jedincov

$K$  – počet druhov vo vzorke  $n$  jedincov

$N = \sum_i N_i$  – počet jedincov

# Druhov diverzita

## Indexy diverzity

Simpsonov index:  $\lambda = \sum_{i=1}^N p_i^2$        $0 < \lambda < 1$

= pravdepodobnosť, že dva náhodne vybrané jedince patria k rovnakému druhu

Shannonov index:  $H' = \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i$        $0 < H' < \ln N$

= entropia, miera neurčitosti, s akou bude náhodne vybraný jedinec patriť ku konkrétnemu druhu

# Druhov diverzita

## Indexy diverzity

Hillove indexy:  $N_q = \left( \sum_{i=1}^N p_i^q \right)^{1/(1-q)}$

= efektívny počet druhov

nízke  $q$  – dôraz na bohatosť (richness)

vysoke  $q$  – dôraz na vyrovnanosť (evenness)

$$N_0 = R$$

$$N_1 = e^{-H}$$

$$N_2 = 1/\lambda$$



# Druhov diverzita

## Indexy vyrovnanosti (evenness)

Vychádzajú z porovnania aktuálnej a maximálnej možnej diverzity pri danej druhovej bohatosti

$$E = D/D_{\max} \qquad E = (D - D_{\min})/(D_{\max} - D_{\min})$$

# Druhov diverzita

## Indexy vyrovnanosti (evenness)

Vychádzajú z porovnania aktuálnej a maximálnej možnej diverzity pri danej druhovej bohatosti

$$E_1 = H'/H'_{\max} = H'/\ln N$$

$$E_2 = N_2 / N_{2\max} = (1/\lambda)/N$$

# Druhová diverzita: $\beta$ -diverzita

Rozdiely v rozdelení početností druhov medzi spoločenstvami

- Založené na prítomnosti/neprítomnosti druhov
- Založené na abundancii druhov

# Druhov diverzita

Založené na prítomnosti/neprítomnosti druhov

	Spoločenstvo B	
	prítomný	neprítomný
Spoločenstvo A		
prítomný	<i>a</i>	<i>b</i>
neprítomný	<i>c</i>	<i>d</i>

Jaccardov index:  $JI = a/(a + b + c)$

Kulczynského index:  $KI = [a/(a+b) + a/(a+c)]/2$

# Druhov diverzita

Založené na abudancii druhov

Wishartov index podobnosti

$$W_{ij} = \frac{\sum_k x_{ik} x_{jk}}{\sum_k x_{ik}^2 + \sum_k x_{jk}^2 + \sum_k x_{ik} x_{jk}}$$

Euklidovsk vzdialenosť

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_k (x_{ik} - x_{jk})^2}$$

## Štruktúrálna diverzita

- Popis preistorového usporiadania porastov
- Popis vnútornej štruktúry porastov

# Štruktúrálna diverzita

popis priestorového usporiadania porastov

Clark-Evansov index agregácie stromov

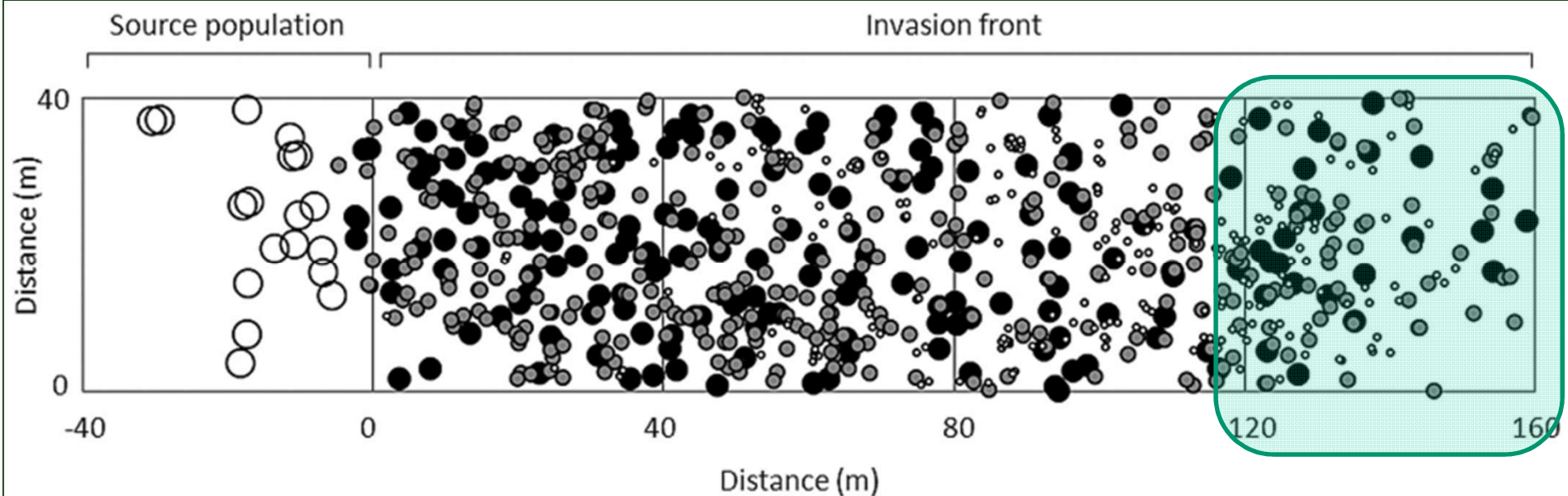
$$R = \frac{\bar{d}}{2\sqrt{\frac{N}{A}}}$$

Ripleyho funkcia  $K_t = n^{-2}A \sum_i \sum_{j \neq i} w_{ij}^{-1} I_t(u_{ij})$

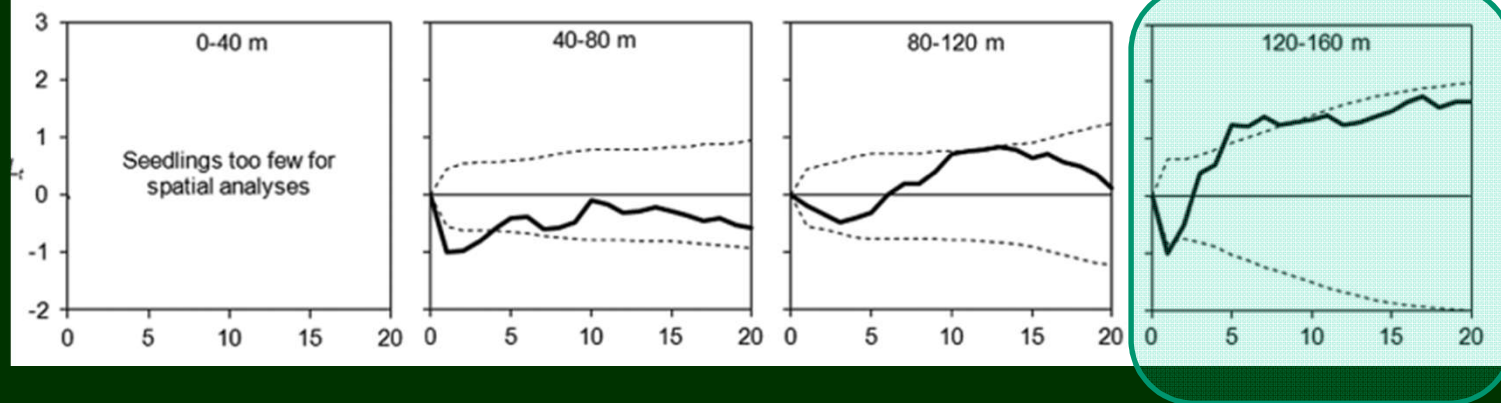
$$K_t = \pi t^2 (\text{C.S.R.}) \quad L_t = t - \sqrt{K_t/\pi}$$



# Štruktúrálna diverzita



(b) Adult-seedling spatial associations



Štruktúrálna diverzita

Popis vnútornej štruktúry porastov (druhovej, hrúbkovej etc.)

Shannonov index

Index hrúbkovej diferenciácie

$$T_{ij} = 1 - \frac{\min(d_{1,3\ i}, d_{1,3\ j})}{\max(d_{1,3\ i}, d_{1,3\ j})}$$
$$0 < T_{ij} < 1$$