

ČESKOSLOVENSKÁ AKADEMIE VĚD

GEOGRAFICKÝ ÚSTAV

SBORNÍK PRACÍ

24

BIOGEOGRAFIE A JEJÍ APLIKACE

Sborník referátů ze semináře, konaného při příležitosti
60. výročí narození RNDr. Jaroslava Raušera, CSc.

Editoři : Jan Lacina - Jaroslav Vašátko

BRNO 1989

(BILLWITZ 1979). Knowledge of hemerobia of plant communities, ecosystems or landscape complexes is of great significance in landscape planning and nature conservation strategy.

The study of vegetation, especially for spatial differentiation and for indicating ecological condition is an important contribution to landscape research. Moreover, such study is in its turn influenced by integrated landscape research of which it is a part.

Zbyšek Šustek

MOŽNOSTI POUŽITIA HIERARCHICKEJ DIVERZITY V BIOGEOGRAFII

Biogeografia je, práve tak ako ekológia jednou z tých vedných oblastí, ktoré pracujú so súbornými dátami s bohatou vnútornou štruktúrou, pri hodnotení ktorej je možné uplatňovať veľmi rôzne klasifikačné hľadiská. Ich príkladom môžu byť klasifikačné jednotky rôznych fytoocenologických systémov, samotné geografické členenie krajiny, v biogeografii potom areografické klasifikácie druhov rastlín a živočíchov, rôzne ekologické kritériá, priestorová štruktúra porastov a pod. Pri ich hodnotení niekedy nevystačíme s bežnými kvalitatívnymi alebo kvantitatívnymi metódami vyhodnocovania a ukazuje sa potreba vyjadriť a porovnať rozmanitosť niektorých javov. K tomuto účelu sa vo všeobecnosti používajú vzorce pre výpočet entropie prenesené z teórie informácie. V ekológii okrem toho existuje ešte veľké množstvo ďalších mier rozmanitosti navrhnutých ad hoc. Ich použiteľnosť však býva veľmi špecifická. Všetky vzorce pre výpočet entropie sú v podstate odvodené z jediného všeobecného vzorca pre výpočet entropie n-tého rádu

$$H = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n \cdot \log S}{1 - \alpha}$$

kde S je počet prvkov a n je ich významnosť. Po dosadení koeficientu α (arbitrárne $\alpha = 1, 2, \dots, n$) a po nevyhnutných matematických úpravách získavame vzorce pre výpočet entropie 1., 2., ... n-tého rádu. Z nich nadobudli aj mimo oblast vlastnej teórie informácie najväčšieho rozšírenia vzorce pre výpočet entropie 1. rádu známe ako Brillouinova

$$H = \frac{1}{N} \frac{N!}{\prod_{i=1}^i N_i!}$$

a Shannon - Wienerova rovnica (Shanon Weaverova)

$$H' = -C \sum_{i=1}^i \frac{N_i}{N} \ln \frac{N_i}{N}$$

kde N_i je významnosť i-tého prvku množiny a N je súčet významností všetkých prvkov množiny, C je koeficient, za ktorý sa arbitrárne dosadzuje nejaké číslo, zvyčajne -1. Vzťah oboch rovníc je daný rovnicou

$$\lim_{n \rightarrow \infty} H = H'$$

V reálnych numerických prípadoch však hodnoty H a H' veľmi rýchlo konvergujú a z hľadiska interpretácie výsledkov v ekológii alebo biogeografii je celkom ľahostajné, ktorý vzorec použijeme. Rozhodujúca je rýchlosť a jednoduchosť výpočtu. Brillouinova a Shannon-Wienerova rovnica majú vlastnosť aditivity, ktorá je daná členom $1/N$ alebo N_i/N v prvej časti rovnice. Táto vlastnosť umožňuje pri hodnotení rozmanitosti nejakých dát rozložiť ich množinu podľa vhodných kritérií na podmnožiny a vyjadrovať celkovú rozmanitosť množiny ako súčet rozmanitostí všetkých podmnožín a rozmanitosti, ktorá vznikne ich zlúčením. Pritom vlastná rozmanitosť každej podmnožiny je vážená významnosťou tejto podmnožiny (napr. dominanciou, veľkosťou a pod.) v rámci celej množiny. Celkovú rozmanitosť tak môžeme vyjadrovať hierarchicky podľa vzájomnej nadradenosti jednotlivých klasifikačných kritérií a skúmať, na ktorej klasifikačnej úrovni je rozmanitosť najväčšia. Názorne takúto situáciu ukazuje obrázok 1, ktorý schématicky zobrazuje situáciu v podstate zhodnú s bežnou mapou. Z obrázku je na prvý pohľad zrejmé, že diverzita na prvej klasifikačnej úrovni je najväčšia v časti A, kde však nie je rovnomerne rozložená, a v časti C. Na druhej klasifikačnej úrovni je diverzita veľká v časti A, malá v časti B a napokon časť C nemá na druhej klasifikačnej úrovni žiadnu diverzitu. Na tretej klasifikačnej úrovni je v rámci celej plochy diverzita rozložená viac-menej rovnomerne. Vo všeobecnosti nie je ničím obmedzené, koľko klasifikačných úrovní zvolíme. Príliš veľké množstvo klasifikačných úrovní však prirodzene vedie k neprehľadnosti. Dve až tri úrovne sú zrejme optimálne. Shannon - Wienerova rovnica upravená pre výpočet hierarchickej diverzity na dvoch úrovniach má tvar

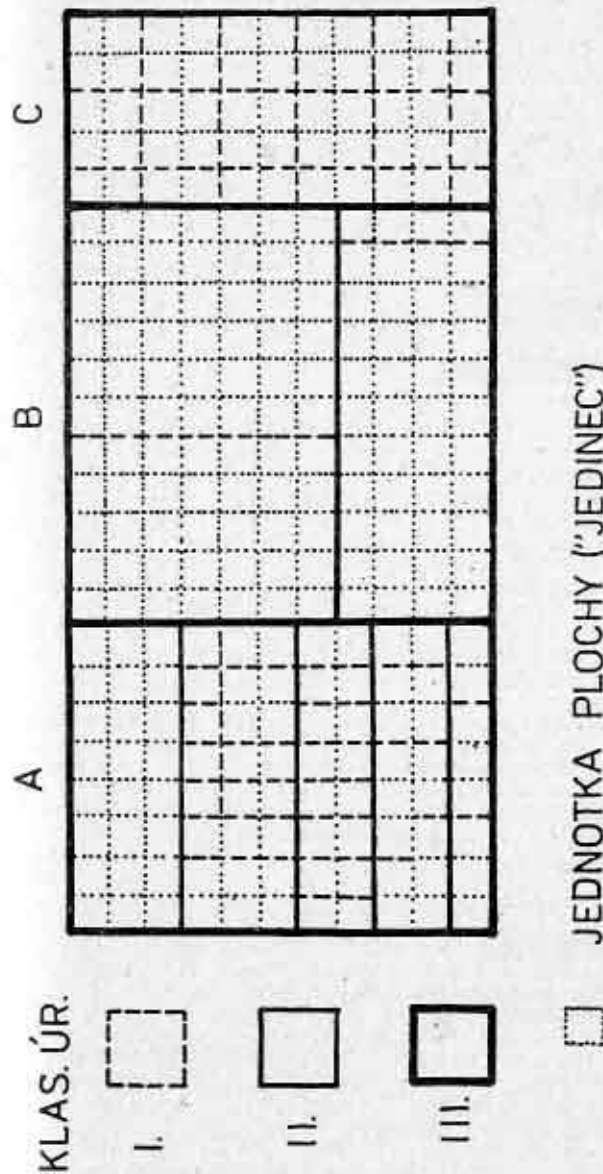
$$H' = - \sum_{i=1}^I p_i \ln p_i - \sum_{j=1}^J p_i \sum_{l=1}^L r_{ijl} \ln r_{ijl}$$

na troch úrovniach

$$H' = - \sum_{i=1}^I p_i \ln p_i - \sum_{j=1}^J p_i \sum_{l=1}^L r_{ijl} \ln r_{ijl} - \sum_{k=1}^K r_{ij} \ln r_{ij} - \sum_{l=1}^L s_{ijk} \ln s_{ijk}$$

na štyroch úrovniach

$$H' = - \sum_{i=1}^I p_i \ln p_i - \sum_{j=1}^J p_i \sum_{l=1}^L r_{ijl} \ln r_{ijl} - \sum_{k=1}^K r_{ij} \ln r_{ij} - \sum_{l=1}^L s_{ijk} \ln s_{ijk} - \sum_{m=1}^M s_{ijkl} \sum_{n=1}^N t_{ijnkl} \ln t_{ijnkl}$$



Obr. 1 Hypotetický príklad rozdelenia plochy na troch klasifikačných úrovniach s rôznou rozmanitosťou v ich rámci. Prvá klasifikačná úroveň môže predstavovať teoretický napr. rod, druhá čelad, tretia rád alebo prvá typ geobiocénu, druhá skupinu typov geobiocénov a tretia vegetačný stupeň.

kde $p_i = P_i/P$, $t_i = T_i/T$, kde $P = \sum_{i=1}^n P_i$, $T = \sum_{i=1}^n T_i$,
 pritom P_1, \dots, T_1 sú veľkosti jednotlivých prvkov podmnožín
 na prvej až štvrtej klasifikačnej úrovni a P, \dots, T sú veľ-
 kosti celých podmnožín na príslušných klasifikačných úrov-
 niach.

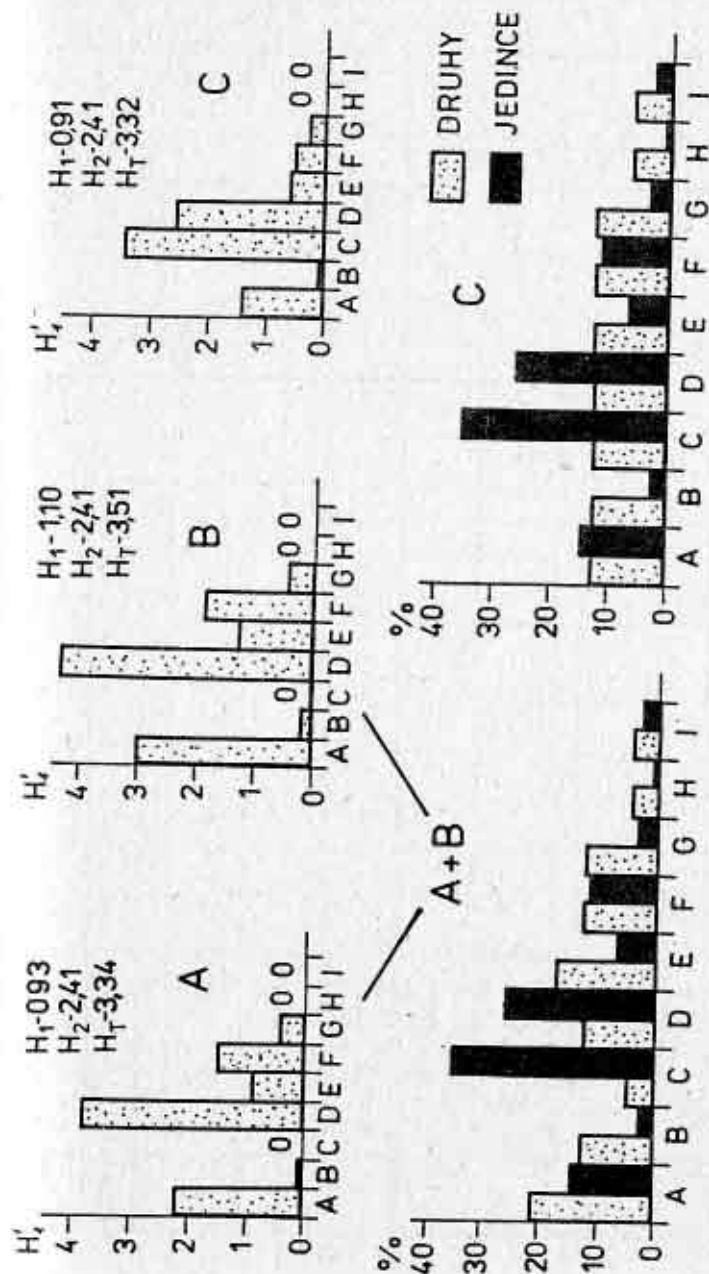
Analogicky je možné rozvíjať rovnicu aj pre viacej kla-
 sifikačných úrovní. Rozmanitosť každej podmnožiny je pritom
 vždy vážená významnosťou podmnožiny o rad vyššej. Ďalej platí,
 že celková diverzita množiny je bez ohľadu na počet zvolených
 klasifikačných úrovní rovná diverzite, ktorá by bola vypočítá-
 taná podľa kritérií na najnižšej klasifikačnej úrovni. Nezá-
 leží pritom ani na poradí klasifikačných kritérií, nakoľko
 platí vzťah

$$H'_{AB} = H'_A(B) + H'_B = H'_B(A) + H'_A$$

kde A a B sú označenia jednotlivých klasifikačných úrovní.
 Praktický spôsob výpočtu je zrejmý z tabuľky 1. Hoci manuálny
 výpočet je v podstate mechanický a matematicky nenáročný vý-
 kon, je výhodné používať k výpočtu hierarchickej diverzity vý-
 počtovú techniku (aj programovateľnú kalkulačku), nakoľko vý-
 počet je dosť neprehľadný a hrozí nebezpečenstvo chýb. Pri
 grafickom znázornení hierarchickej diverzity je určitou nevý-
 hodou skutočnosť, že v určitých prípadoch je na niektorej kla-
 sifikačnej úrovni diverzita nulová, bez ohľadu na početné zas-
 túpenie toho-ktorého prvku alebo podmnožiny (tab. 2 a obr.
 3 - stĺpce B, H a I). Táto nula je však svojím významom odliš-
 ná od nuly, vyjadrujúcej úplne prázdnu množinu. V takýchto
 prípadoch je niekedy vhodnejšie voliť tabelárnu formu prezen-
 tácie výsledkov.

Praktické príklady použitia hierarchickej diverzity uka-
 zujú obrázky 2 a 3. Na obrázku 2 Povolný a Šustek [3] použili
 hierarchickú diverzitu k porovnaniu rozmanitosti krajiny her-
 cyniku a karpátiku ako interpretačného zázemia pre vysvetle-
 nie niektorých zákonitostí zloženia prekonubiálnych agregácií
 mäsiarkovitých a šírenia niektorých druhov mäsiarkovitých
 z karpátiku do hercynika. Použili k tomu tri úrovne klasifiká-
 cie rozmanitosti, priestorového rozloženia mozaiky geobiocenóz
 a vegetačných stupňov podľa biogeografickej mapy [4] a oro-
 grafického členenia územia. Väčšia druhová bohatosť prekonubiál-
 nych agregácií Sarcophagid v karpatskom systéme súvisela s väč-
 šou krajinou diverzitou a z toho vyplývajúceho väčšieho roz-
 delenia ekosystémov na ekologické niky v tejto oblasti. Diver-
 zita sa realizovala predovšetkým na úrovni mozaikovitosti roz-
 šírenia geobiocenóz a na úrovni orografickej rozmanitosti.
 V hercynskej časti skúmanej oblasti sa svojou diverzitou pri-
 bližovala karpatským pohoriam Dražanská vrchovina s Moravským
 krasom, kde ako na jedinom mieste v hercyniku boli zachytené
 endemické karpatské druhy Sarcophagid.

Druhý príklad použitia (Obr. 3, Tab. 2) je hodnotenie
 zoogeografickej štruktúry spoločenstva. V hypotetickom prí-
 klade je zastúpených 9 areografických typov (hypotetické



Obr. 2 Krajinná diverzita časti hercynika (H) a karpátika (C) podľa mozaikovitosti rozšírenia geobiocenóz (M), vegetačných stupňov (VZ) a orografickej členitosti (G). Základné dáta z biogeografickej mapy ČSSR (Zlatník, Raušer 1966), zjednodušené podľa Povolného a Šustek (1983).

Tabuľka 1

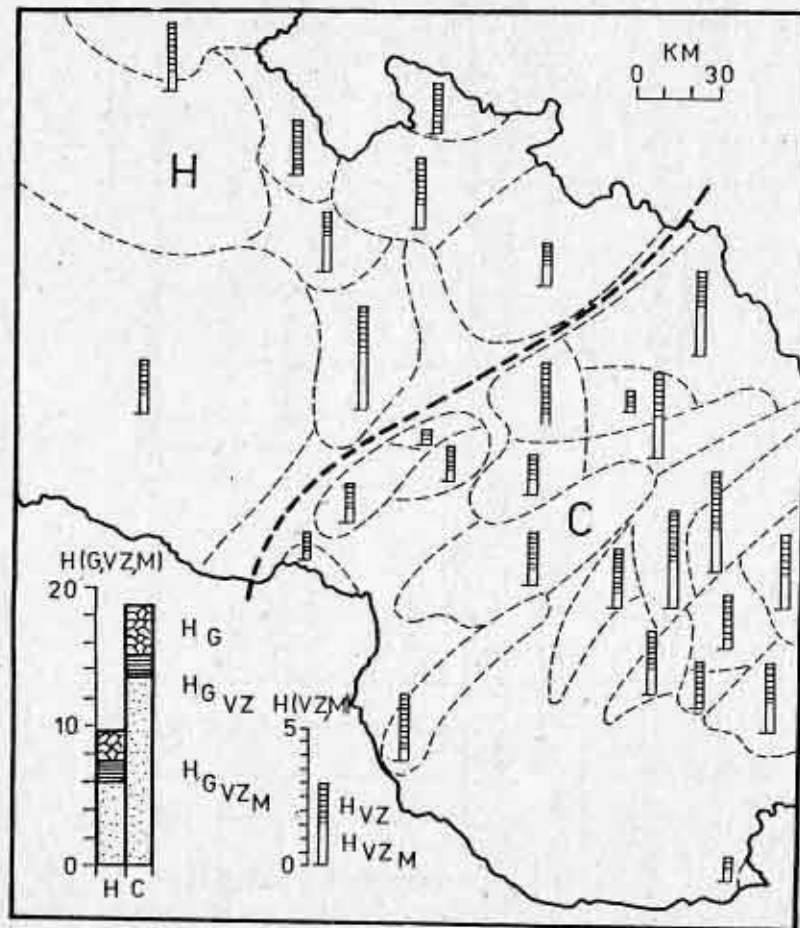
Hypotetický numerický príklad výpočtu hierarchickej diverzity na dvoch až troch úrovniach. Pre jednoduchosť sú základné dáta volané tak, aby ich súčet bol 100. V hlavničkách tabuľky sú hodnoty významnosti označené bez ohľadu na klasifikačnú úroveň gréckymi písmenami.

| Klasifikačná úroveň | | Významnosť jednotlivých podmnožín $\frac{v_i}{\sum v_i}$ na 1. až 3. klas. úrovni | | | | | | | | | | Σ A | Σ A | Σ A | | | | |
|--|----|---|--------|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A | B | C | Σ=100 | Mehletra. diverzita | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | Σ B | σ B | B1 | B2 | B3 | Σ A | Σ A |
| | | | 2 | 0,0200 | 0,1150 | | | | | | | | | | | | | |
| | C1 | | 6 | 0,0600 | 0,3750 | | | | | | | 16 | 0,1600 | 0,4000 | | | | |
| | B1 | C2 | 8 | 0,0800 | 0,5000 | | | | | | | 14 | 0,1400 | 0,3500 | | | 40 | 0,4000 |
| | C3 | | 4 | 0,0400 | 0,2857 | | | | | | | 14 | 0,1400 | 0,3500 | | | | |
| | A1 | | 10 | 0,1000 | 0,7142 | 1,0000 | | | | | | 10 | 0,1000 | 0,2500 | | | | |
| | | | 10 | 0,1000 | | | 0,5555 | | | | | 18 | 0,1800 | | 0,4500 | | | |
| | C4 | | 2 | 0,0200 | | | 0,1111 | | | | | 22 | 0,2200 | | 0,3500 | | | |
| | B2 | | 6 | 0,0600 | | | 0,3333 | | | | | | | | | | | |
| | C5 | | 10 | 0,1000 | | | 0,4343 | | | | | | | | | | | |
| | | | 6 | 0,0600 | | | 0,2727 | | | | | | | | | | | |
| | C6 | | 4 | 0,0400 | | | 0,2727 | | | 0,4000 | | | | | | | | |
| | A2 | | 2 | 0,0200 | | | | | 0,2000 | 0,2000 | | 10 | 0,1000 | | 0,3000 | | | |
| | | | 4 | 0,0400 | | | | | 0,4000 | 0,4000 | | 10 | 0,1000 | | 0,3000 | | 20 | 0,2000 |
| | C7 | | 4 | 0,0400 | | | | | 0,4000 | 0,4000 | | | | | | | | |
| | | | 4 | 0,0400 | | | | | 0,4000 | 0,4000 | | | | | | | | |
| $\eta, \zeta, \theta, \tau$ | | | | | 0,1119 | 0,3750 | | | | | | 0,4230 | 0,5288 | | | | | 0,5288 |
| | | | | | 0,5306 | 0,5000 | | | | | | | | 0,5301 | | | | 0,5288 |
| | | | | | 0,1958 | 0,5000 | | | | | | | | 0,3322 | 0,5000 | | | 0,4644 |
| $\Sigma \eta, \zeta, \theta, \tau$ | | | 3,9749 | 1,4056 | 0,8634 | 0 | 1,3515 | 1,3394 | 1,5220 | 1,5220 | | | | 1,5589 | 0,9928 | 1,0000 | | 1,5220 |
| $\sigma \Sigma \eta, \zeta, \theta, \tau$ | | | | 0,0166 | 0,1466 | | | | | | | | | 0,4066 | 0,4066 | 0,2066 | | |
| $\Sigma \sigma \eta, \zeta, \theta, \tau$ | | | | 0,2249 | 0,1209 | 0 | 0,5433 | 0,3187 | 0,1522 | 0,1522 | | | | 0,6235 | 0,3971 | 0,2000 | | |
| $\Sigma \sigma \Sigma \eta, \zeta, \theta, \tau$ | | | 3,9749 | | | | 1,3322 | | | | | | 2,7426 | | | | | |
| | | | 3,9749 | | | | 1,3322 | | | | | | | | | | 1,2206 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,2206 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,2206 |

Tabuľka 2

Základné dáta k hypotetickým príkladom areografickej štruktúry spoločnosti (Obr. 3)

| Typ areálu | Počty druhov a jedincov v každom z typov areálov | | | | | | | | | |
|------------|--|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| | A | | | B | | | C | | | |
| | Počty jedincov | ΣJ_A | Σd_A | Počty jedincov | ΣJ_B | Σd_B | Počty jedincov | ΣJ_C | Σd_C | Σd_C |
| A | 3;2;1;10;25 | 41 | 5 | 5;7;4;20;5 | 41 | 41 | 5 | 20;21 | 41 | 2 |
| B | 1;2;3 | 6 | 3 | 2;2;2 | 6 | 6 | 3 | 3;3 | 6 | 2 |
| C | 100 | 100 | 1 | 100 | 100 | 100 | 1 | 50;50 | 100 | 2 |
| D | 12;26;37 | 75 | 3 | 25;25;25 | 75 | 75 | 3 | 37;38 | 75 | 2 |
| E | 1;2;5;10 | 18 | 4 | 4;4;4;6 | 18 | 18 | 4 | 10;8 | 18 | 2 |
| F | 20;11;3 | 34 | 3 | 11;11;12 | 34 | 34 | 3 | 31;3 | 34 | 2 |
| G | 3;2;4 | 9 | 3 | 3;3;3 | 9 | 9 | 3 | 5;4 | 9 | 2 |
| H | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| I | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 |



Obr. 3 Areografická štruktúra troch hypotetických spoločenstiev (základné dáta pozri tab. 2) a ich hierarchická diverzita (H_1 - hierarchická diverzita na prvej klasifikačnej úrovni, H_2 - hierarchická diverzita na druhej úrovni, H_T - celková diverzita spoločenstva).

dáta obsahuje tab. 2). Dva príklady (A a B) sú zámerné zvolené tak, aby celkový počet jedincov a druhov, patriacich ku každému areografickému typu, bol rovnaký ($A + B$), ale aby sa líšilo početné zastúpenie jednotlivých druhov v rámci každého areografického typu (tab. 2). V treťom prípade (C) ostáva počet jedincov zastúpených v každom areografickom type rovnaký, mení sa však počet druhov (tab. 2). Hierarchická diverzita vo všetkých troch prípadoch spája kvalitatívne a kvantitatívne údaje a pri pomerne značnej redukcii dát umožňuje rozlíšiť dva stavy areografickej štruktúry spoločenstva, ktoré pri použití viacerých klasických spôsobov vyhodnocovania zostávajú nerozlíšené. Súčasne lepšie umožňuje posúdiť vzťah druhov s určitým typom rozšírenia k sledovanému spoločenstvu, lokalite alebo oblasti. Nakoľko typ rozšírenia druhu je do určitej miery nositeľom informácií nielen o osude taxónu počas jeho speciacie, ale aj o jeho ekologických vlastnostiach, môžeme použiť hierarchickú diverzitu aj v bioindikácii pri sledovaní zmien zloženia nejakého spoločenstva pomocou areografickej štruktúry. Tu okrem už známeho ubúdania druhov s malými areálmi rozšírenia v narušených geobiocenózach [5, 6, 1] badať aj postupný presun rozmanitosti z nižšej klasifikačnej úrovne na vyššiu [7] priamo úmerný stupňu narušenia.

Použitie hierarchickej diverzity v biogeografii (ani v inom vednom obore) nie je obmedzený iba dvomi uvedenými príkladmi. Je to všeobecne použiteľná metóda, ktorá rozširuje matematicko-štatistický aparát bežne používaný v ktorejkoľvek vednej disciplíne. Jej použitie závisí len od fantázie bádateľa a povahy skúmaných javov.

Literatúra

- [1] CZECHOWSKI, W., 1981: Carabids (Coleoptera, Carabidae) of Warsaw and Mazovia, *Memorabilia Zool.*, 34: 119 - 144.
- [2] PIELOU, E. C., 1977: *Mathematical ecology*, C. Willey Interscience, New York - Chichester - Brisbane - Toronto.
- [3] POVOLNÝ, D., ŠUSTEK, Z., 1983: Three dipterous representatives of the Carpathian fauna in the beech forests of Central Moravia and the ecological preconditions of their discovery (Dipt., Sarcophagidae). *Acta Univ. Agr. (Brno)*, Ser. C, 52: 127 - 144.
- [4] RAUŠER, J. - ZLATNÍK, A.: Biogeografie I. In: *Atlas Československé socialistické republiky*, list 21. Praha, Ústřední správa geodézie a kartografie 1966.
- [5] ŠUSTEK, Z., 1980: Použitie Shannon - Wienerovej funkcie k posudzovaniu narušenia ekosystémov. In Paule, L., (ed.): *Lesnícky výskum a výchova vedeckých pracovníkov v ČSSR*: 1 - 15. Zvolen.

- [6] ŠUSTEK, Z., 1981: Některé souvislosti geografického rozšíření střevlíkovitých (Col. Carabidae) a jejich schopnosti pronikat do ekosystémů urbanizované krajiny. Zpráva Geogr. úst. ČSAV, Brno 18 : 30 - 40.
- [7] ŠUSTEK, Z., 1984: Bioindikačné vlastnosti bystruškovitých a drobčíkovitých (Coleoptera, Carabidae et Styphylinae) stredo európskeho veľkomesta. Kand. diz. práca, OEBE SBEV SAV, Bratislava.

Adresa autora :

Ing. Zbyšek ŠUSTEK, CSc., Ústav experimentálnej biológie
a ekológie SBEV SAV,
Obráncov mieru 3, Bratislava

Резюме

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ В БИОГЕОГРАФИИ

Биогеография, подобно как и экология, работает с данными с часто сложной и богатой внутренней структурой. При оценке таких данных возможно пользоваться очень многообразными классификационными критериями, какими являются например классификационные единицы разных фитоценологических систем, ареографическая классификация видов растений или животных, разные экологические классификации (напр. по жизненным формам), географическое районирование ландшафта, пространственная структура геобиоценозов и др. При изучении таких данных удобным методом оценки их внутренней структуры является кроме других статистических методов расчет иерархического разнообразия. Этот расчет выходит из свойства аддитивности уравнений для расчета энтропии I. порядка (уравнение Шеннон-Винера или Брилуина). Оно дает возможность разделить изучаемое множество данных по удобному к тому критериям на подмножества двух или трех классификационных уровней (при более уровнях обработка начинает быть необозримая) и рассчитать, какая доля каждого подмножества на разнообразии целого множества и какое разнообразие возникает соединением подмножеств в одно множество (или подмножества высшего порядка).

В статье разбираются два примера применения иерархического разнообразия при оценке разнообразия ландшафта и зоогеографического состава сообщества животных и их интерпретация.

Summary

UTILIZATION POSSIBILITIES OF HIERARCHIC DIFFERENCES IN BIOGEOGRAPHY

Biogeography, like ecology, works with data which have often complex and rich inner structure. Evaluating these data, it is possible to apply a large variety of classification criteria such as classification units of various phytocoenologic systems, areographical classification of vegetation and animal species, different ecological classifications (e. g. according to the forms of life), geographical landscape regionalization, spatial structure of geobioeceneses, etc.). Studying these data, it is the calculation of a hierarchic difference that is the useful method of evaluating their inner structure (besides other statistical methods). Third calculation results from the properties of equations of 1st grade entropy calculation (Shannon-Wiener equation or Brillouin one). This enables to divide the studied set of data according to the suitable criteria into subsets of two or three classification levels (if there are more than 3 levels of elaboration, it becomes confusing) and calculate the share of each subset in the variety of the whole set and the variety originating in the integration of subsets into one set (or a subset of a superior order).

The paper presents two examples of utilization of the hierarchic difference in evaluating a landscape variety and a zoogeographic structure of animals community and their interpretation.