



**Karina Battes**

# **ECOLOGIE GENERALĂ**

**ghid  
de lucrări  
practice**

**Presa Universitară Clujeană**

**KARINA BATTES**  
**ECOLOGIE GENERALĂ**  
**GHID DE LUCRĂRI PRACTICE**

***Referenți științifici:***

**Prof. univ. dr. Rákosy László**

**Conf. univ. dr. Laura Momeu**

ISBN 978-606-37-0320-1

© 2018 Autoarea volumului. Toate drepturile rezervate.  
Reproducerea integrală sau parțială a textului, prin orice mijloace, fără acordul autoarei, este interzisă și se pedepsește conform legii.

**Universitatea Babeș-Bolyai**  
**Presa Universitară Clujeană**  
**Director: Codruța Săcelean**  
**Str. Hașdeu nr. 51**  
**400371 Cluj-Napoca, România**  
**Tel./fax: (+40)-264-597.401**  
**E-mail: [editura@editura.ubbcluj.ro](mailto:editura@editura.ubbcluj.ro)**  
**<http://www.editura.ubbcluj.ro/>**

**KARINA BATTES**

**ECOLOGIE GENERALĂ**  
**GHID DE LUCRĂRI PRACTICE**

**PRESA UNIVERSITARĂ CLUJEANĂ**

**2018**



# CUPRINS

## INTRODUCERE - 7

### 1. METODELE ECOLOGIEI APLICATIVE

- 1.1. Principii de studiu în ecologia generală - **9**
- 1.2. Colectarea datelor - **12**
- 1.3. Prelucrarea datelor - **18**
- 1.4. Prezentarea rezultatelor - **29**
- 1.5. Redactarea unei lucrări științifice în ecologie - **32**

### 2. ECOLOGIA POPULAȚIILOR

- 2.1. Determinarea numărului minim de probe colectate - **39**
- 2.2. Estimarea efectivului populațional: metoda pătratelor - **45**
- 2.3. Estimarea efectivului populațional: metode de marcarea și recapturare - **54**
- 2.4. Estimarea efectivului populațional: metodele transectelor și distanțelor - **65**
- 2.5. Estimarea efectivului populațional: folosirea capcanelor și a indiciilor - **73**
- 2.6. Dinamica populațiilor: alcătuirea tabelelor de viață - **76**
- 2.7. Determinarea distribuției spațiale a populațiilor - **85**
- 2.8. Estimarea preferințelor pentru resurse la populațiile naturale - **91**
- 2.9. Lățimea și suprapunerea nișelor ecologice - **100**

### 3. ECOLOGIA COMUNITĂȚILOR

- 3.1. Indicii structurali ai comunității - **105**
- 3.2. Calcularea indicilor de diversitate - **112**
- 3.3. Calcularea indicilor de similaritate - **118**
- 3.4. Estimarea producției primare - **122**
- 3.5. Estimarea producției secundare - **128**
- 3.6. Parametrii rețelelor trofice - **133**
- 3.7. Determinarea eficiențelor energetice - **138**

### 4. GLOSAR - 147

### 5. BIBLIOGRAFIE - 149



## INTRODUCERE

Încă o lucrare de ecologie în teancul de mii de cărți de ecologie existente pe lumea asta științifică?! Încă o margaretă în cîmpul plin de margarete?! La ce bun să mai spui o dată lucruri ce s-au spus de nenumărate ori pînă acum? Aș putea răspunde, glumind: ca să-ți intre bine-n cap... pentru că, nu-i așa, *repetitio mater studiorum*! Dar nu, nu acesta este motivul pentru care mi-am strîns toate materialele de ecologie generală și le-am dat forma pe care o puteți vedea acum.

Această carte încearcă să sintetizeze cam ce ar trebui să știe un ecolog despre metodele aplicate în ecologie. Mai în glumă, mai în serios, prima lecție de ecologie generală este... definiția ecologiei generale... Nu rîdeți, foarte multă lume este de principiu că ecologia înseamnă... a aduna gunoaie. Sau că ecologia stă în plapumile ecologice atît de utile alergicilor! Ei bine, nu. Ecologia este o știință destul de recentă, ce a prins formă din necesitatea cercetătorilor de a înțelege mai bine lumea ce ne înconjoară. A apărut ca o nevoie de a cerceta mai în amănunt de ce ființele vii trăiesc acolo unde trăiesc, de ce trăiesc în numărul în care trăiesc și cum se leagă de alte ființe vii. Astfel, ecologia încearcă să explice. Și, exact ca un cîntăreț de operă, care trebuie să știe să cînte în primul rînd dar și să joace teatru, să aibă o dicție perfectă dar și prezentă de scenă, un ecolog trebuie să includă în sacul său de cunoștințe botanică, zoologie, microbiologie, geomorfologie, geologie, climatologie, fizică, chimie, statistică, de ce nu economie... și lista poate continua. Revenind la motivul realizării acestui ghid, am „ciupit” din domeniile de mai sus ce am crezut că este mai relevant pentru tema cărții, le-am amestecat bine și apoi le-am reșezat într-o ordine pe care eu o găsesc logică.

Cei vizați în principal de acest exercițiu de adunare/ordonare sunt bineînțeles studenții biologi și ecologi de la Cluj, în special cei de la jumătatea stagiului de pregătire de nivel licență. Sigur că oameni interesați de subiect ar mai fi: naturaliștii pasionați, biologii conservacioniști, patronii de firme de consultanță în domeniul mediului și de ce nu, chiar și politicienii implicați în probleme de ecologie și protecție a mediului (mai ales cei ce nu fac parte din tagma atît de așteptată a „specialiștilor”).

Sper că lecturarea paginilor următoare nu va fi pentru nimeni pierdere de vreme. Academicianul Ștefan Negrea, un specialist de talie internațională în taxonomia și ecologia cladocerenilor, vorbea mai demult despre secretul reușitei sale și chiar ne-a dat o formulă: 1% inspirație și restul transpirație! Așa că, să începem.



# 1. METODELE ECOLOGIEI APLICATIVE

## 1.1. Principii de studiu în ecologia generală

⇒ Acest subcapitol se dorește o mini-culegere de linii directoare în ecologia aplicată. Adică ce ar trebui să știm atunci când pornim pe drumul studiului ecologic. Încep cu cele patru legi ale ecosferei formulate de Barry Commoner (1972), pentru că au meritul de a sumariza tendința actuală în cercetarea ecologică, aceea de a privi obiectul punctiform al studiului într-un cadru mai larg, al sistemului superior din care face parte (conform gândirii holiste din teoria sistemică). Astfel, Commoner spune că: 1. Toate sunt legate de toate (*Everything is connected with everything else*); 2. Totul trebuie să ducă undeva (*Everything must go somewhere*); 3. Natura se pricepe cel mai bine (*Nature knows best*) și în fine 4. Nimic nu se capătă pe degeaba (*You don't get anything for nothing*). O scurtă interpretare: dacă toate sunt legate de toate, atunci orice fenomen pe care încercăm să îl explicăm trebuie să aibă mai mult de o singură cauză simplă, de multe ori existând un complex de factori cauzatori (dintre care unii la care nici nu ne-am putea gândi). Natura se pricepe cel mai bine pentru că, ignorând această extraordinară complexitate a ei, încercările oamenilor de a schimba ceva în echilibrul natural duce la catastrofe. La acest echilibru face referire Commoner când spune că totul trebuie să ducă undeva, iar faptul că nimic nu este „pe gratis” mă duce cu gândul la o lege a lui Murphy (Marian, 1995), enunțată în glumă dar având un substrat foarte real: „Pentru ca ceva să devină curat, altceva trebuie să se murdărească”.

⇒ **Etapele unui studiu în ecologie**, fie că e vorba de studiul plantelor or a turmelor imense de rumegătoare, derivă din răspunsurile la întrebările: „ce”, „unde”, „când” și „cum” vrem să facem:

**1. Formularea obiectivelor**

**2. Colectarea datelor:** stabilirea zonei de studiu; prelevarea probelor biologice (și a parametrilor abiotici) din teren sau definirea unui *design* experimental

**3. Prelucrarea datelor:** în laborator (dacă este cazul); prelucrare statistică

**4. Sintetizarea rezultatelor și enunțarea concluziilor**

Înainte de a detalia fiecare etapă în parte, trebuie să fac precizarea că ecologia fără taxonomie este ca un perpetuu dialog al surzilor. Din moment ce ecologia a apărut ca ramură a biologiei și din moment ce se ocupă cu studiul organismelor în mediul lor de viață, este clar că nu putem studia relațiile a *ceva*, dacă nu cunoaștem numele aceluia *ceva*. Taxonomia și sistematica, două științe înrudite, au marele merit de a da o denumire și o încadrare pentru organismele pe care le studiem. Sigur că taxonomiștii „adevărați” se formează în timp și se specializează în grupuri taxonomice „înguste”. Din nefericire, o identificare taxonomică realizată corect, deși reprezintă aur pentru un ecolog, nu aduce nimic practic, nu se poate traduce în bani sau în servicii pentru societatea civilă. De aceea mulți privesc taxonomiștii ca pe niște entități neproductive; astfel, taxonomiștii au devenit o specie pe cale de dispariție. În ultimii ani, din 2000 încoace, metodele ecologiei moleculare încearcă să facă lumină în multe cazuri de identificări taxonomice cu dubii, însă mai avem mult pînă ce geneticienii să pună pe piață o mașinărie în care la un capăt să pui o mîină de pămînt sau o picătură de apă iar la celălalt capăt să iasă lista de specii (B. Kelemen, com. pers.).

În altă ordine de idei, ecologia fără statistică este ca un câine cu privirea inteligentă dar fără posibilitatea de a se exprima. Rezultatele obținute din studiile ecologice nu au nici o valoare dacă nu sunt dovedite clar, statistic, rece, ignorând subiectivismele de genul: „mi se pare că...” sau „se știe că...”. În lumea științifică nu este valabil cuvântul de onoare, astfel că orice afirmație și orice rezultat trebuie susținute prin teste de semnificație statistică. Ar trebui să avem o idee asupra analizelor statistice pe care vrem să le facem înainte de a merge în teren pentru colectare de probe sau înainte de a face *design*-ul experimentelor *in situ*, *in vitro* sau *in vivo*.

**Formularea obiectivelor** reprezintă începutul de drum în studiile de ecologie. Esența acestui pas este recunoașterea unei probleme de ecologie (găsirea răspunsului la o întrebare sau testarea unei ipoteze). Etapa aceasta se aseamănă întrucîtva cu basmul în care eroul era obligat să ghicească un măr de aur dintr-o sută de mere care erau doar poleite cu aur. Astfel, ideal ar fi ca problema pe care o alegi să ducă, prin rezolvarea ei, la alte drumuri, la alte probleme și să aibă o finalitate practică.

De exemplu, într-un studiu de ihtiologie problema aleasă ar putea fi inventarierea speciilor de pești dintr-un anumit rîu pentru a identifica efectele impactului uman asupra ecosistemelor naturale (ce specii native au fost înlocuite, ce specii alohtone au apărut, ce calitate a apei indică, ce arată despre nivelurile inferioare lor, ce categorii de impact uman au dus la modificările comunității piscicole - poluare, modificări hidro-morfologice etc.). Rezolvarea problemei poate duce la formularea de concluzii/recomandări, urmate de un studiu ulterior de redresare ecologică a ecosistemului afectat.

Deci, trebuie să sesizezi corect problema și să-ți fixezi foarte clar obiectivele.

**Colectarea datelor** este, fără a exagera, cea mai importantă fază de desfășurare a unui studiu ecologic. Modul în care gîndești programul de colectare a datelor studiului, fie că e vorba de prelevări de probe biologice din teren, fie că vrei să faci un experiment în laborator, determină în final calitatea rezultatelor obținute.

Numărul semnificativ de prelevări sau de replicare în cazul experimentelor de laborator trebuie hotărît înainte de a te apuca de lucru. Colectează doar datele ce țin de obiectivul fixat, pentru că nu tot ce poate fi măsurat merită să fie măsurat (Krebs, 1999). Pentru acest deziderat trebuie să te întrebzi ce date colectate din teren sunt într-adevăr folositoare; iar în răspunsul la această ultimă întrebare, e o greșeală să iei în considerare numai analizele statistice ulterioare, ce ar putea fi făcute, adică nu trebuie pus carul statistic în fața calului ecologic.

**Prelucrarea datelor** continuă etapa de colectare. În cazurile în care este necesară o prelucrare în laborator, singura recomandare este ca munca propriuzisă (de exemplu identificarea la nivel de specie) să fie făcută cu un specialist. Dacă nu e posibil, atunci măcar părerea unui specialist trebuie cerută, în eventualitatea unor dubii sau probleme de încadrare taxonomică.

În ceea ce privește prelucrarea statistică, subcapitolele următoare rezervă un loc însemnat acestui subiect. Totuși, cîteva precizări preliminare se impun. În primul rînd, trebuie să reții că populația „statistică” pe care faci testele nu e aceeași cu populația „din natură”. Ultima este în continuă schimbare, în timp și spațiu, astfel că orice extrapolare trebuie făcută cu grijă. În al doilea rînd, orice valoare estimativă a unui parametru ecologic trebuie să fie însoțită de o măsură oarecare a erorii asociate estimării (Krebs, 1999). Multe măsurători sunt folosite

pentru estimarea altei variabile, însă erorile se multiplică în astfel de calcule. De exemplu, dacă vrem să estimăm consumul de hrană a unei populații, vom înmulți numărul de indivizi ce aparțin acestei populații (adică densitatea, numărul de indivizi pe unitatea de suprafață sau volum) cu viteza ingerării de hrană/individ/zi. Dacă există erori oriunde în această înlanțuire de măsurători, atunci ele se vor vedea în rezultatul final, pentru că „puterea” oricărui lanț este dată de „puterea” verigii sale celei mai slabe (Krebs, 1999).

În orice studiu, sunt inerente erori cauzate de proasta funcționare sau calibrare a aparatelor de măsură, de alegerea unor metode nepotrivite pentru populația studiată, sau determinate de interferențele factorilor de mediu. Toate aceste erori nu sunt decelate de testele statistice, astfel că rezultatele vor fi greu de interpretat.

În fine, deși statistica este vitală oricărui ecolog, nu trebuie confundată semnificația statistică cu semnificația biologică. Ipoteza nulă de la care se pleacă de obicei, aceea că probele sunt similare este mai mult sau mai puțin fără relevanță pentru ecologi. De fapt, ar trebui să ne întrebăm „cît de deosebite sunt 2 probe/populații?” și „sunt destul de mari diferențele ca să fie relevante ecologic?” (Krebs, 1999).

Ultima etapă, **sintetizarea rezultatelor și enunțarea concluziilor**, reprezintă de fapt rezolvarea problemei pe care ai ales-o la început, în faza de delimitare a obiectivelor. Interpretarea rezultatelor trebuie să se facă cu grijă, evitînd orice păreri subiective și emiterea de concluzii ce nu se bazează pe date concrete. Această fază oglindește de fapt toată munca de pînă acum: dacă datele și prelucrările au fost de calitate, atunci și concluziile vor fi veridice și valoroase. Ca în proverbul: „Culegi ceea ce semeni”, sau cum spun englezii, „*garbage in, garbage out*” (Krebs, 1999).

## 1.2. Colectarea datelor

⇒ Indiferent dacă este vorba de prelevarea de probe din teren sau elaborarea unui *design* experimental, un **studiu pilot** este foarte important. Realizarea unui astfel de studiu preliminar înainte de a te apuca de colectarea intensivă a datelor poate oferi informații despre: cât de realiste sunt obiectivele, câte probe trebuie luate, care este frecvența de colectare, sau care sunt factorii cheie în „construirea” unui experiment.

⇒ **În prelevarea probelor biologice** din teren trebuie ai grijă ca proba să fie reprezentativă pentru populația considerată, adică să eviți să colectezi prea mult sau prea puțin, folosind metoda adecvată. De exemplu, dacă trebuie să faci un studiu asupra unei comunități algale dintr-un lac, probabil că îți poți face o imagine destul de clară despre ce specii algale există și în ce raporturi cantitative dacă prelevezi din mediu între 1 și 20 L de apă. O cantitate mică de apă duce la extrapolări eronate, iar orice exagerare a efortului de prelevare nu cauzează decât pierderi de timp, bani și resurse umane. Proba biologică pe care o recoltezi trebuie să surprindă întreaga heterogenitate a biotopului. Dacă rămânem tot la exemplul cu algele din lac, este de dorit să ai posibilitatea de a preleva probe și în zona de maximă adâncime și în zona malurilor, acolo unde există macrofite submerse, sau din zone caracterizate de condiții diferite: curenți, temperatură, substrat etc. ale aceluiași bazin acvatic. În fine, proba trebuie prelevată într-un anumit mod, de obicei randomizat (*at random* engl. = la întâmplare).

Prelevarea randomizată (*random sampling*) presupune că fiecare element din populație are o șansă egală de a fi selectat să facă parte din probă (Brouwer și Zar, 1984). Prelevarea sistematică (*systematic sampling*), opusul celei randomizate, implică colectarea probelor pe baza unui aranjament prestabilit, de exemplu locațiile pot fi aranjate din 10 în 10 metri. Această prelevare prestabilită este mai simplă de realizat, dar are dezavantajul că poate include erori mari atunci când se suprapune cu un anumit tipar al populației. De exemplu, când estimăm densitatea unei populații ce formează grupuri compacte, dacă prelevăm doar din centrul grupării și apoi extrapolăm valorile obținute la un teritoriu mai mare, vom obține cu siguranță o supraevaluare a densității populaționale. Oricum, datorită faptului că statistica se bazează pe teoria probabilităților, adică pe studiul matematic al fenomenelor caracterizate de incertitudine și de întâmplare, se recomandă folosirea prelevării randomizate.

Prelevarea randomizată a probelor se face, paradoxal, cu mai mult efort decât am putea crede. Atunci când luăm probe din puncte ce le credem alese la întâmplare, putem să ne trezim că nu am inclus zonele mlăștinoase, că am văzut doar copacii cei mai impunători sau că am ales locuri dispuse prea central sau prea uniform în spațiu. Din moment ce ar trebui ca fiecare element al populației să aibă aceeași șansă de a fi găsit de noi și prelevat, abordarea cea mai corectă în alegerea probelor randomizate ar fi să lăsăm șansa să-și spună cuvântul. Aruncarea zarurilor, extragerea de numere din pălărie, datul cu banul, consultarea cărților de telefoane pot ajuta, însă de cele mai multe ori este mai ușor să folosim un tabel cu numere „asortate” randomizat (tab. 1.1.), sau un program ce generează numere randomizate, chiar folosit *on-line* ([www.saccenti.com](http://www.saccenti.com); [www.psychicscience.org](http://www.psychicscience.org); [www.graphpad.com](http://www.graphpad.com)). Folosirea corectă a unui tabel cu numere randomizate presupune alegerea întâmplătoare a primei cifre (de exemplu, alegerea cu ochii închiși), urmată de „citirea” celorlate cifre într-o ordine oarecare (de exemplu de la stînga la dreapta).

Tabel 1.1. Numere poziționate întâmplător (sursa: www.mrs.umn.edu)

39634	62349	74088	65564	16379	19713	39153	69459	17986	24537
14595	35050	40469	27478	44526	67331	93365	54526	22356	93208
30734	71571	83722	9712	25775	65178	07763	82928	31131	30196
64628	89126	91254	4090	25752	03091	39411	73146	06089	15630
42831	95113	43511	42082	15140	34733	8076	18292	69486	80468

Pentru a epuiza subiectul prelevării randomizate, se mai impun câteva precizări. În primul rând, specialiștii vorbesc de o prelevare randomizată nerestricționată (*unrestricted random sampling*), descrisă mai sus, dar și de o prelevare randomizată stratificată (*stratified random sampling*). Aceasta din urmă presupune ca zona de studiu să fie împărțită în subdiviziuni, sau straturi, de unde se colectează randomizat un număr de probe proporțional cu suprafața acestor subdiviziuni. Mai mult, dacă un număr de probe este prelevat randomizat din fiecare nivel de subdiviziune, termenul folosit este de *nested random sampling*, iar analiza statistică ce se aplică este așa-numita *nested analysis of variance* (Zar, 1996 din Henderson, 2003), un exemplu în acest sens fiind prelevarea de plante din mai multe areale ce se întind pe mai multe pajiști.

⇒ Dacă ar fi să împărțim probele biologice ce se pot preleva din teren în funcție de datele pe care vrem să le obținem în urma prelucrărilor, atunci vorbim de: probe calitative, semicantitative și cantitative. De fapt, este vorba de modul de prelevare, ce conduce, în cazul probelor calitative, la obținerea de date ce privesc exclusiv identificări calitative ale elementelor componente ale populației/comunității studiate. Când trebuie luate în calcul și raporturile cantitative dintre elementele studiate, atunci vorbim de probe semicantitative și cantitative.

⇒ Frecvența unui program de recoltare cu prelevări repetate este un parametru extrem de important pentru reușita studiului. Această frecvență depinde de ciclul de viață al organismelor - țintă și poate varia de la ore (pentru un studiu de dinamică nictemerală) la sezoane (pentru o estimare a dinamicii anuale a unei populații) sau chiar ani (la întocmirea tabelelor de viață la populațiile cu durată lungă de viață spre exemplu).

⇒ În orice studiu de ecologie, înregistrarea parametrilor abiotici (geografici și fizico-chimici) este esențială pentru interpretarea ulterioară a rezultatelor. O sinteză a principalilor factori abiotici din apă, aer și sol este făcută de Jones și colab., 2000, fiind rezumată în cele ce urmează.

### **FACTORI ABIOTICI DIN MEDIUL ACVATIC:**

#### **1. Salinitatea (‰) și conductivitatea electrică (Siemen/m; S/m):**

- salinitatea este definită în mod clasic drept raportul de greutate dintre sărurile dizolvate și apă; apa dulce are o valoare a salinității în jur de 0‰, în timp ce apa oceanelor de 35‰;
- conductivitatea electrică reprezintă capacitatea de a conduce electricitate, determinată de existența ionilor; apa lacurilor de munte are 10 - 20  $\mu\text{S/cm}$  iar apa de mare are 35.000  $\mu\text{S/cm}$ ; creșterea temperaturii determină creșterea mobilității ionilor și implicit creșterea conductivității apei, cu 2,5% pentru 10°C;
- ambii parametri se măsoară de obicei cu aparate speciale direct în teren (salinometre și conductivimetre), care citesc valoarea conductivității apei și convertesc apoi valorile și la salinitate;

## **2. Temperatura apei (°C):**

- reprezintă unul din cei mai importanți parametri abiotici, ce acționează ca „temporizator” pentru declanșarea diferitelor procese specifice populațiilor naturale (de exemplu dezvoltarea femelelor din ouă de rezistență, primăvara, în populațiile de cladocere);
- se măsoară direct în teren cu diferite termometre sau odată cu alți parametri (conductivitatea sau oxigenul dizolvat);

## **3. pH ul:**

- reprezintă logaritm cu semn schimbat al concentrației ionilor de hidrogen;
- se măsoară de obicei în teren cu pH-metrul;

## **4. Concentrația de oxigenului dizolvat (mL/L sau mai des mg/L; transformarea este următoarea: 1 mL O<sub>2</sub> = 1,43 mg O<sub>2</sub>):**

- reprezintă cantitatea de oxigen solvită în apă la o anumită temperatură și presiune;
- solubilitatea oxigenului în apă variază direct proporțional cu presiunea atmosferică și invers proporțional cu temperatura și salinitatea apei;
- se măsoară de obicei direct în teren folosind oxigenmetre, ce apreciază rata de difuzie a oxigenului printr-o membrană;
- în laborator se măsoară cel mai exact folosind metoda titrării Winkler (ce folosește iod pentru a substitui oxigenul dizolvat dintr-o probă fixată; iodul este titrat cu tiosulfat de sodiu iar cantitatea necesară din această substanță, în mL, pentru a clarifica soluția este echivalentă cu oxigenul dizolvat în mg/L);
- determinarea consumului biologic de oxigen (*BOD* - *Biological Oxygen Demand*) se face în laborator și reprezintă măsurarea cantității de oxigen (în mg/L) necesară pentru oxidarea materiei organice prin activitate biologică; pentru determinarea *BOD* se colectează două probe de apă; se măsoară cantitatea de oxigen dizolvat în una din ele, după care cea de a doua se incubează în condiții de întuneric la 20°C; după 5 zile se măsoară oxigenul dizolvat și scăzând a doua citire din prima se obține valoarea *BOD*;
- determinarea consumului chimic de oxigen (*COD* - *Chemical Oxygen Demand*) se face de asemenea în laborator (de obicei în laboratoarele industriale) și reprezintă cantitatea de oxigen dizolvat (mg/L) consumată în oxidarea materiei organice și a materiei anorganice oxidabile din apă;

## **5. Gradul de saturație în oxigen al apei (%):**

- se calculează astfel:  $S(\%) = (C/C_0) \cdot 100$ , unde: *S* - saturația în oxigen a probei de apă; *C* - concentrația oxigenului dizolvat, determinat în momentul recoltării probei; *C<sub>0</sub>* - concentrația la saturație a oxigenului la temperatura din momentul recoltării probei;

## **6. Transparența apei (m):**

- de obicei se măsoară cu ajutorul discului Secchi, un disc rotund, deschis la culoare, ce este lăsat în coloana de apă cu ajutorul unui fir gradat; valoarea transparenței astfel măsurată depinde de reflexia luminii de pe suprafața apei, de absorbția luminii, de culoarea apei, de concentrația particulelor în suspensie, de concentrația sestonului;
- se pot folosi și instrumente optice, ce înregistrează informații despre caracteristicile și concentrațiile materialelor aflate în suspensie în apă: instrumente bazate pe atenuarea luminii (o rază de lumină este proiectată direct spre un senzor și cu cât e mai mare atenuarea luminii, cu atât concentrația materiilor aflate în suspensie e mai mare) și instrumente bazate pe măsurarea luminii reflectată și refractată (unde din nou cu cât e mai mare gradul de împrăștiere a luminii cu atât numărul particulelor este mai mare);

## **7. Viteza de curgere a apei:**

- cel mai ușor estimată prin măsurarea cu un cronometru a vitezei cu care un obiect plutitor străbate distanța dintre două puncte (durata minimă a mișcării obiectului ar trebui să fie 20 - 25 secunde pentru valori exacte ale vitezei apei)
- există și aparate de măsurat viteza de curgere (*current meters*).

### **FACTORI ABIOTICI DIN SOL ȘI SEDIMENTE:**

#### **1. Componenta minerală (particulele dominante):**

- include de obicei o analiză a dimensiunilor particulelor (*particle size*), aceasta fiind cea mai importantă caracteristică; variază de la argilă, mîl, nisip fin, nisip grosier, pietriș la bolovani;
- se folosesc metode directe (pentru particule mai mari decît pietrișul grosier, prin cernere și sedimentare) dar și metode indirecte (de exemplu prin măsurarea gradului de difracție sau împrăștiere a unei raze laser - *Coulter Laser Particle Analyser*);

#### **2. Componenta organică (materia organică vie sau moartă):**

- pentru separarea materiei organice se folosesc de obicei metode mecanice, în special pentru organismele moarte deja: cernere, spălare, culegerea organismelor ce plutesc etc.;
- pentru fauna vie se folosesc diverse metode de separare activă (cum ar fi mecanismele ce selectează animalele cu fototactism pozitiv - deplasarea spre o sursă de lumină);
- se folosește și metoda pierderii prin incinerare (*loss on ignition technique*), ce măsoară cantitatea de substanță organică existentă într-o probă de sol prin diferența dintre masa inițială și masa după incinerare, incinerare ce cauzează transformarea oricăror rămășițe organice în dioxid de carbon și apă, ce se evaporă; se poate de asemenea folosi metoda măsurării conținutului de carbon cu tehnici chimice;

#### **3. Componenta interstițială (aer și/sau apă):**

- se măsoară pH-ul, concentrația de oxigen (folosind aparate de teren) și concentrația de nutrienți (cu metode colorimetrice de exemplu);
- densitatea probei (*bulk density*), exprimată în  $\text{g/cm}^3$ , reprezintă raportul dintre masa unei probe și volumul său extern; materia minerală este foarte densă (de obicei  $2,5 \text{ g/cm}^3$ ), în comparație cu materia organică ( $0,5 \text{ g/cm}^3$ ), astfel că densitatea probei va indica proporțiile relative dintre constituenții minerali și cei organici. Ca o regulă generală, probele de sol sau sedimente descresc în densitatea medie cu  $0,01 \text{ g/cm}^3$  pentru 1% creștere în conținutul de materie organică.

### **FACTORI ABIOTICI CARACTERISTICI ATMOSFEREI:**

#### **1. Presiunea atmosferică:**

- măsurată cu barometre;

#### **2. Temperatura aerului:**

- măsurată cu termometre, termografe sau cu metode electrice (de măsurare a curentului electric produs între 2 fire din metale diferite);

#### **3. Umiditatea atmosferică:**

- măsurată cu psihometre (higrometre) sau cu hidrograful (ce folosește un fir de păr ce își schimbă lungimea odată cu schimbarea umidității);

#### **4. Precipitații:**

- cea mai simplă metodă măsoară cantitatea de precipitații căzute în mm/h folosind un cilindru cu dimensiuni standardizate ce colectează apa de ploaie;

### **5. Vîntul:**

- se măsoară cu anemometrul sau prin observarea efectelor vîntului asupra obiectelor (folosind scara Beaufort, ce are 12 trepte, de la 0, vînt calm de pînă la 0,3 m/s, pînă la uragane, cu viteze de peste 32,6 m/s);

### **6. Acoperirea cu nori:**

- se înregistrează prin estimarea procentului de cer acoperit cu nori;

### **7. Radiația solară:**

- se măsoară folosind o bila de sticlă (sau o lentilă) montată pe un cadru; bila determină focusarea razelor de soare pe o hîrtie special tratată din spatele ei, ducînd la diferențierea prin ardere a unei linii pe hîrtie, odată cu mișcarea soarelui; lungimea totală a liniei arse reprezintă o măsură a lungimii perioadei de strălucire a soarelui;

### **8. Analiza chimică a aerului:**

- pentru depistarea poluanților din aer: poluanți primari (emiși direct în atmosferă de la sursă - de exemplu dioxidul de sulf) sau secundari (modificați după emisie - de exemplu acidul sulfuric format din emisiile de dioxid de sulf);
- metodele de colectare variază de la probele de substanțe gazoase, volatile sau sub formă de particule din atmosferă, dar se referă în special la metode de filtrare, aspirare sau expunere a unor materiale adezive în aer.

⇒ Folosirea hărților este de asemenea un pas obligatoriu pentru eficientizarea studiului ecologic și implicit a programului de colectare a probelor. Orice hartă ce poate oferi informații în plus este recomandabilă: hărți topografice cu diferite scări, hărți geologice, hidrogeologice, pedologice, de utilizare a terenurilor (*land use*), batimetrice etc. *GIS* (*Geographical Information System*) reprezintă un program de calculator elaborat pentru înregistrarea și analiza informațiilor despre caracteristicile suprafețelor, permițînd manipularea și vizionarea bi- și tridimensională a datelor spațiale. *GIS* este capabil să combine mai multe hărți (*layers*) în aceeași reprezentare, de exemplu se pot suprapune regiunile de alunecări de teren cu hărțile topografice, geologice și pedologice.

⇒ Observațiile din teren sunt indispensabile pentru interpretările ulterioare, acestea incluzînd coordonatele GPS (pentru reperarea ulterioară a punctelor de prelevare), ora prelevării, gradul de acoperire a cerului, starea vremii, informații legate de durata înghețului, începutul dezghețului, posibile inundații, influență antropică etc. Se recomandă colectarea probelor de către biologi, deoarece observațiile acestora despre condițiile din teren sunt foarte valoroase în interpretările ulterioare (Clesceri și colab., 1998).

Întotdeauna pe teren este bine să se completeze o fișă de teren, unde vor fi trecute cele mai importante observații de la prelevarea probelor. Acest document este indispensabil pentru interpretările ulterioare. Modul de organizare a informațiilor în aceste fișe de teren diferă în funcție de necesități. Fiecare are libertatea de a-și realiza propria fișă, cu condiția să conțină cît mai multe detalii despre momentul colectării. De exemplu, tabelul 1.2. include fișa de teren pentru probe de nevertebrate bentonice pe care am întocmit-o împreună cu studenții biologi, atunci cînd am colectat probe din rîul Someșul Mic.

Programul de colectare trebuie gîndit și în funcție de limitările în personal, timp și buget. În fazele incipiente ale unui studiu, o etapă obligatorie este documentarea cu privire la zona aleasă, adică studiul literaturii deja publicate din aceeași regiune sau pe aceeași temă.

Tabel 1.2. Fișă de teren pentru colectarea probelor de zoobentos

<b>Rîul:</b>	<i>Someșul Mic</i>
<b>Stația:</b>	<i>amonte Cluj-Napoca, podul Grigorescu</i>
<b>Data:</b>	4.11.2006
<b>Ora:</b>	10:20
<b>Coordonate GPS:</b>	<b>N:</b> 46,7644 <b>E:</b> 23,542063
<b>Condiții meteo:</b>	<i>soare; vînt moderat, rece; temperatura aerului: -8°C; prelevarea se realizează după prima zăpadă</i>
<b>Alte observații:</b>	<i>ieșire în teren cu studenții secției de Biologie anul III, Universitatea „Babeș-Bolyai” Cluj-Napoca, pentru disciplina Ecologie generală</i>
<b>Lățimea rîului:</b>	15 - 20 m
<b>Adîncimea rîului:</b>	20 - 30 cm
<b>Vegetație maluri:</b>	<b>mal stîng:</b> vegetație ierboasă, arbuști <b>mal drept:</b> vegetație ierboasă
<b>Parametrii fizico-chimici:</b>	<b>conductivitatea:</b> 530 $\mu$ S/cm <b>salinitatea:</b> 260 mg/L <b>concentrația de oxigen:</b> 10,45 mg/L <b>saturația oxigenului:</b> 79,7% <b>temperatura apei:</b> 3,9°C
<b>Colectarea probelor:</b>	- se iau trei probe de bentos, cu bentometrul Surber (suprafață = 900 cm <sup>2</sup> )
<b>1. Proba 1</b>	- colectată de pe malul drept al rîului, de la o adîncime de $\approx$ 30 cm; substrat format din pietriș și nisip grosier
<b>2. Proba 2</b>	- colectată de pe malul stîng al rîului, de la o adîncime de $\approx$ 10 cm; substrat format din pietriș și nisip fin
<b>3. Proba 3</b>	- colectată de pe malul stîng al rîului, de la o adîncime de $\approx$ 10 cm; substrat format din pietriș, nisip grosier și bolovani

### 1.3. Prelucrarea datelor

Lăsînd la o parte prelucrarea de laborator a probelor, ce nu reprezintă tema manualului de față, în acest capitol sunt incluse cîteva linii directoare în ceea ce privește prelucrarea statistică a probelor. Adică ce ne facem cu sutele de date brute obținute în urma colectării probelor.

#### ⇒ ELEMENTE DE STATISTICĂ DESCRIPTIVĂ (*descriptive statistics*)

Datele brute prezintă o anumită variabilitate, indiferent dacă au fost obținute din prelevarea din teren a probelor sau provin din experimente de laborator. Această variabilitate poate fi pusă sub forma unei distribuții de frecvență, ce este caracterizată de așa-numita statistică descriptivă.

Putem obține în principiu trei tipuri diferite de date brute: **cantitative**, ce se referă la numere (valorile densității populaționale în diferite perioade de timp de exemplu); **calitative**, ce se referă la anumite caracteristici nenumărabile (de exemplu sedimentul observat în albia rîului se poate împărți în bolovani, pietriș, nisip) și date ce se referă la **locul într-o ierarhizare** sau **rangul** (*rank data*). În funcție de tipul acesta de date și de tipul de distribuție de frecvență al populației studiate ne vom alege metodele statistice descriptive.

Atunci cînd caracterizăm o distribuție de frecvență luăm în considerare următoarele aspecte:

- 1. localizarea** - pentru identificarea centrului distribuției de frecvență, adică valoarea în jurul căreia sunt grupate majoritatea celorlalte valori (fig. 1.1., stînga); parametrii calculați în cazul localizării distribuției sunt media aritmetică, mediana și modulul (tab. 1.4.);
- 2. dispersia datelor** - pentru a vedea cît de „răsfirate” sunt datele (fig. 1.1., dreapta); parametrii calculați pentru caracterizarea gradului de dispersie sunt amplitudinea, valorile extreme, abaterea standard, varianța, coeficientul de variație și eroarea standard (tab. 1.4.);
- 3. forma distribuției** - ce poate fi simetrică, asimetrică (*skewed*), în formă de U etc. (fig. 1.2.); de asemenea, forma distribuției de frecvențe poate avea un singur vîrf (*unimodal distribution*), două (*bimodal distribution*) sau mai multe (*polymodal distribution*), iar termenul de *kurtosis* se referă la cît de ascuțită este forma distribuției.

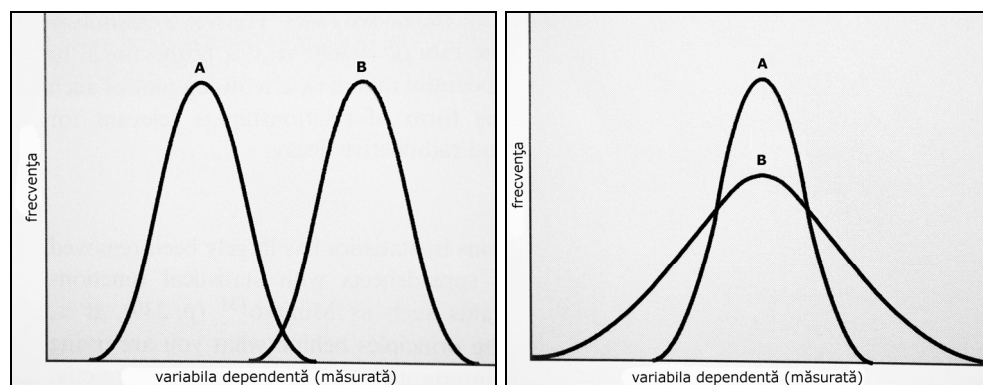


Fig. 1.1. Două distribuții de frecvență **A** și **B**, în stînga cu localizare diferită pe axa variabilei dependente iar în dreapta cu dispersie diferită (din Jones și colab., 2000)

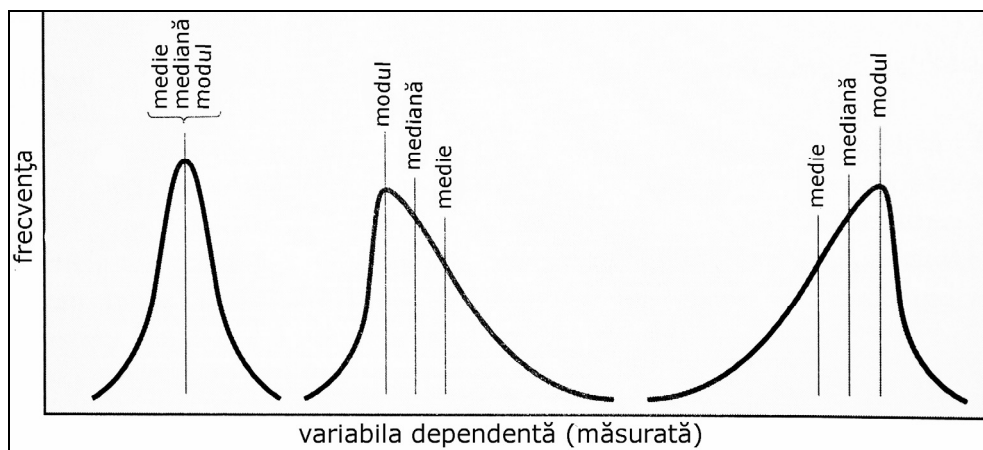


Fig. 1.2. Distribuții de frecvență simetrice (stînga) și asimetrice (mijloc și dreapta) cu pozițiile relative ale mediei aritmetice, medianei și modului; distribuția asimetrică pozitivă (mijloc) prezintă „coada” mai lungă pentru valorile mai mari, iar distribuția asimetrică negativă (dreapta) prezintă „coada” mai lungă pentru valorile mai mici (din Jones și colab., 2000)

Să luăm următorul șir statistic: 2, 3, 3, 4, 4, 4, 5, 5, 5, 5, 5, 5, 5, 5, 6, 6, 6, 6, 6, 7, 7. Sunt în total 21 de valori. Acest șir statistic reprezintă proba, eșantionul extras din populația reală, existentă în natură, la care se vor face în final extrapolările. Distribuția de frecvență pentru acest șir statistic este prezentată în tabelul 1.3. Tabelul 1.4. prezintă principalii parametri de statistică descriptivă pentru șirul statistic ales.

Tabel 1.3. Distribuția de frecvențe pentru șirul statistic ales ca exemplu

valoarea ( $x$ )	frecvența ( $f$ )
1	0
2	1
3	2
4	3
5	8
6	5
7	2
	suma = $n = 21$ valori

### ⇒ TESTE STATISTICE

Orice afirmație făcută la sfîrșitul unui studiu în ecologie trebuie să fie susținută de un test statistic. Există multe cărți de statistică ce conțin informații detaliate legate de modul de testare (Hassard, 1991; Zar, 1996; Krebs, 1999; Van Emden, 2008 etc.), astfel că informațiile de mai jos reprezintă doar o trecere în revistă în ceea ce privește testele statistice.

Tabel 1.4. Parametrii statistici de bază pentru șirul statistic ales ca exemplu, cu formula și valoarea fiecăruia în cazul de față ( $\bar{x}$  = media aritmetică;  $x_i$  = valorile șirului statistic;  $n$  = numărul total de valori = efectivul eșantionului; *val.* = valoarea parametrilor pentru șirul statistic exemplificat)

Parametru	Formula	Comentarii	Val.
media aritmetică ( <i>mean</i> )	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$	- se consideră că $\bar{x}$ este media aritmetică a valorilor din eșantionul extras din populație, pe cînd $\mu$ este media aritmetică a valorilor din populația reală	4,95
mediana ( <i>median</i> )	-	- reprezintă valoarea centrală; dacă șirul are un număr par de valori, mediana reprezintă media aritmetică dintre valorile centrale	5
modul ( <i>mode</i> )	-	- cea mai comună valoare (valoarea $x$ cu frecvența cea mai mare)	5
valori extreme	-	- valoarea minimă și maximă a șirului	2 și 7
amplitudinea ( <i>range</i> )	-	- diferența dintre valoarea maximă și minimă	5
abaterea standard sau deviație standard ( <i>standard deviation</i> )	$s = \delta = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}}$ sau, pentru $n < 30$ : $s = \delta = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$	- se consideră $s$ ca fiind abaterea standard a eșantionului extras din populație iar $\sigma$ ca fiind abaterea standard a populației reale	1,28
varianța ( <i>variance, squared deviation</i> )	$s^2 = \delta^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}$	- se mai numește dispersie sau fluctuație	1,65
coeficient de variație (%) ( <i>coefficient of variation, CoV</i> )	$CV = \frac{100 * s}{\bar{x}}$	- reprezintă deviația standard ca procent din media aritmetică și este des folosit pentru compararea dispersiei unor seturi de date cu medii aritmetice foarte diferite	25,9%
eroarea standard ( <i>standard error, SE</i> )	$ES = \frac{s}{\sqrt{n}}$	- arată cît de reprezentativă este proba extrasă din populația reală (eșantionul) - este influențată direct de dispersia eșantionului ( $s$ ) și indirect de $n$ , adică de numărul de valori; astfel, $ES$ va scădea odată cu creșterea numărului de valori din probă (din eșantion), ducînd la o precizie mai mare - în practică, de multe ori media aritmetică este declarată ca $\bar{x} \pm ES$	0,28

- Pentru a aplica un test statistic trebuie (Jones și colab., 2000):**
- 1. să ne decidem ce vrem să testăm, adică să formulăm ipoteza nulă;**
  - 2. să stabilim dacă datele noastre se încadrează sau nu într-un tipar standard de distribuție;**
  - 3. să alegem un test adecvat și să îl utilizăm.**

### **1. Ipoteza nulă ( $H_0$ )**

O ipoteză nulă formulată bine este una ce se poate nega. În Crawley (2005) se prezintă foarte ilustrativ acest lucru. Din următoarele două propoziții, numai una reprezintă o ipoteză nulă bine definită, deși ambele exprimă cu claritate o idee esențială:

- a) sunt vulturi în parcul central
- b) nu sunt vulturi în parcul central

În cazul afirmației a), nu putem nega definitiv faptul că sunt vulturi în parc - dacă mergem să verificăm, faptul că nu vedem noi nu înseamnă ca nu sunt! (absența evidenței nu este evidență despre absență!). Afirmația b) este total diferită: acceptăm ideea că nu sunt vulturi în parc, pînă cînd vedem noi unul. Atunci cînd dăm cu ochii de el, respingem ipoteza, pentru că e clar falsă.

În mod asemănător, ipoteza nulă spune că „nu se întîmplă nimic”. De exemplu, cînd comparăm două medii aritmetice de la două eșantioane (probe),  $H_0$  este că nu există nici o diferență între ele, că sunt la fel. Respingem ipoteza nulă atunci cînd datele noastre arată că ea este suficient de improbabilă. Prin respingerea ipotezei nule, practic considerăm ca adevărată ipoteza alternativă (de obicei ceea ce vroiam să dovedim).

Putem face două tipuri de greșeli atunci cînd acceptăm sau respingem ipoteza nulă, numite în literatura statistică erori de tipul I și de tipul II (tabel 1.5.).

Tabel 1.5. Erorile de tipul I și II legate de ipoteza nulă (Crawley, 2005)

Ipoteza nulă	Situția reală	
	$H_0$ ADEVĂRATĂ	$H_0$ FALSĂ
acceptată	decizie corectă	eroare de tipul II
respinsă	eroare de tipul I	decizie corectă

**Valoarea lui  $p$**  (a coeficientului sau pragului de semnificație) este o măsură a credibilității ipotezei nule, a probabilității ca  $H_0$  să fie corectă. Pe scurt, valori mici ale lui  $p$  ( $<0,05$ ) înseamnă că  $H_0$  este falsă și trebuie respinsă.

Prin convenție, probabilitatea critică de a respinge  $H_0$  este de 5% (0,05), ceea ce înseamnă că respingem  $H_0$  dacă rezultatul observat apare mai puțin de 1 dată din 20 din întîmplare.

**Gradele de libertate (degrees of freedom)** reprezintă numărul valorilor cu adevărat independente dintr-un set de date. Pentru șirul statistic din exemplul anterior, în care avem 21 de valori și media aritmetică trebuie să fie 4,95: 20 de valori sunt într-adevăr independente (pot varia oricum) și doar una este constrînsă să ia o anumită valoare pentru ca media să fie 4,95. Astfel, gradele de libertate sunt  $m = n - 1$ , adică 20.

## **2. Compararea cu distribuții standard**

Tiparul de distribuție a setului de date brute definește tipul de teste statistice ce pot fi folosite. Există trei tipuri de distribuție majore în biologie. Astfel, un set de rezultate poate fi descris de 3 modele de distribuție: distribuție normală, binomială și Poisson.

### **Distribuția Poisson:**

- este o distribuție ce descrie de câte ori are loc un eveniment într-o unitate de timp sau spațiu; de obicei evenimentele sunt numărate;
- evenimentele se referă de exemplu la numărul de paraziți pe un pește sau numărul de plante într-un pătrat (vezi capitolul 2.2.) sau numărul de microbi pe unitatea de volum de mediu de cultură etc.;
- prezumțiile de la care pleacă distribuția Poisson sunt: 1) numărul mediu de apariții ale evenimentelor este mic în comparație cu maximum posibil; 2) aparițiile unui eveniment trebuie să fie independente unele de altele; 3) aparițiile sunt aleatoare (randomizate);
- prin calcularea coeficientului de dispersie putem vedea dacă datele noastre au distribuție de tip Poisson sau nu; coeficientul de dispersie =  $s^2 / \bar{x}$ , unde  $s^2$  este varianța iar  $\bar{x}$  este media aritmetică; când  $s^2 = \bar{x}$ , atunci avem distribuție Poisson; când  $s^2 > \bar{x}$ , atunci populația este mai grupată iar când  $s^2 < \bar{x}$ , populația este mai ordonată (uniformă).

### **Distribuția binomială**

- este o distribuție a unui număr de evenimente când există doar două posibile rezultate pentru fiecare (de exemplu sexul unui nou-născut poate fi ♀ sau ♂); astfel, la o naștere, probabilitatea pentru ca progenitura să fie femelă este  $p = 0,5$  (50%) și  $q = \text{tot } 0,5$  (50%) să fie masculul;
- dacă un organism va fi sau nu infectat cu un microb, sau dacă un animal este mascul sau femelă reprezintă exemple de date ce au o probabilitate mare să urmeze o distribuție binomială;
- pentru a vedea dacă datele noastre au distribuție de tip binomial se calculează frecvențele „teoretice” (*expected frequencies*) pentru distribuția binomială și se compară cu frecvențele observate folosind testul  $\chi^2$  sau G;
- distribuția binomial negativă reprezintă distribuția tipică pentru cazurile în care gruparea este foarte sesizabilă (Dytham, 1999).

### **Distribuția normală (curba lui Gausse)**

- este cea mai importantă distribuție în statistică și de multe ori se presupune *a priori* că datele urmează o astfel de distribuție;
- se mai numește „curba clopot”, deoarece reprezintă o distribuție simetrică;
- parametrii ce descriu această curbă „normală” sunt media aritmetică  $\bar{x}$  și deviația standard  $s$ ; întotdeauna, 95% din observații vor fi incluse în intervalul  $\bar{x} \pm 1,96*s$  (fig. 1.3.);

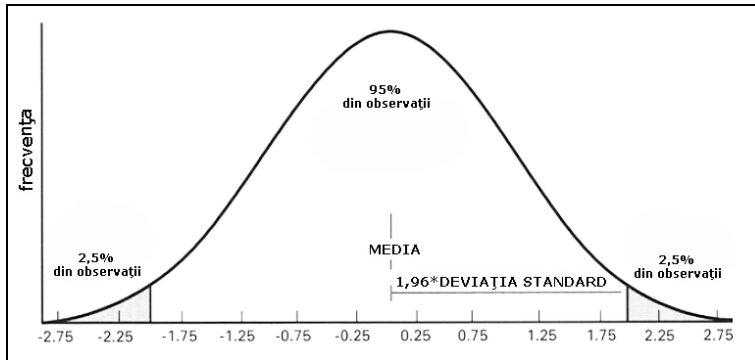


Fig. 1.3. Distribuția normală (din Dytham, 1999)

- exemple de seturi de date cu probabilitate mare de a urma o distribuție normală includ greutatea umedă a unor plante de aceeași vîrstă, dimensiunile liniare ale particulelor de nisip la o analiză de sediment, înălțimile femeilor și bărbaților dintr-o comunitate umană etc. (Jones și colab., 2000);
- e foarte puțin probabil ca datele noastre brute să urmeze o distribuție normală perfectă; ce trebuie să știm este dacă datele diferă semnificativ de o distribuție normală, iar pentru acest lucru se folosesc testele Kolmogorov-Smirnov sau Anderson-Darling, sau testul  $\chi^2$  (*goodness of fit*) (Dytham, 1999).

O distribuție Poisson poate fi aproximată la o distribuție normală dacă numărul mediu de observații este foarte mare. De asemenea și distribuția binomială cu mai mult de 100 de observații (sau chiar mai puține dacă  $p = 0,5$ ) poate fi tratată ca distribuție normală. O teorie importantă în statistică (*Central Limit Theorem*) arată că mediile probelor luate din orice fel de distribuție vor avea ele însele o distribuție normală.

Este foarte important să alegem bine testele statistice pe care le vom aplica. Există două categorii majore de teste din care trebuie să alegem în funcție de datele noastre brute: teste parametrice și non-parametrice.

Testele parametrice (*parametric tests*) folosesc și testează informații despre cei doi parametri esențiali ai distribuției normale, adică media aritmetică și deviația standard. Aceste teste parametrice pleacă de la prezumția esențială că datele urmează o distribuție normală (și că putem calcula media aritmetică și deviația standard). Ele sunt considerate mai puternice decât cele non-parametrice (rezultatele lor sunt mai de încredere) și includ majoritatea testelor considerate „clasice” în statistică: testul *t*, analiza de varianță, regresii, corelații, analiza covarianței.

Testele non-parametrice (*non parametric tests, distribution-free tests*) reprezintă un grup de tehnici statistice paralele cu testele parametrice, ce nu pleacă de la prezumția că datele au o distribuție normală. De obicei, testele non-parametrice nu lucrează cu valorile efective ale șirului statistic, ci cu rangul lor, cu poziția lor în ierarhia șirului, sau cu semnul lor (+/-), iar media aritmetică este înlocuită de mediană. Cele mai folosite teste non-parametrice sunt: testul semnelui (*the sign test*); testul Wilcoxon (*Wilcoxon signed rank sum test on paired data*); testul Mann-Whitney *U* (pentru compararea a 2 seturi de date independente); testul Kruskal-Wallis (pentru compararea a mai mult de 2 seturi de date); testul Freedman (pentru analiza de varianță), corelația de rang Spearman (*Spearman's rank correlation*) etc.

Cînd trebuie să alegem între testele parametrice și non-parametrice trebuie să verificăm în primul rînd tipul de distribuție urmat de datele noastre brute. Dacă avem distribuție normală, folosim fără dubii testele parametrice. Cînd numărul de observații este mic (de obicei mai mic de 30) se preferă testele non-parametrice.

Putem de asemenea să alegem să transformăm datele brute pentru a ne putea încadra în cerința de bază a testelor parametrice, mai puternice. De exemplu, dacă seturile de date pe care vrem să le comparăm diferă la nivelul ordinelor de mărime (avem într-un set valori de la 0 la 1, iar în al doilea de la 100 la 900), putem opta pentru logaritmarea valorilor, ce va duce la o uniformizare a datelor, cu păstrarea proporțiilor. Logaritmarea este de asemenea folosită pentru transformarea unei distribuții asimetrice în una simetrică (normală).

Regula de bază în alegerea dintre testele parametrice și non-parametrice este că, în general, dacă condițiile par rezonabil îndeplinite sau nu sunt flagrant încălcate (în ceea ce privește datele ca atare sau transformările lor), se pot folosi testele parametrice (Hassard, 1991).

### **3. Alegerea testelor statistice adecvate**

- 3.a) compararea localizării (de exemplu a mediilor aritmetice) a 2 grupuri: dacă distribuția de frecvență este una normală, atunci se folosește **testul t Student** (pentru observații independente); dacă trebuie să folosim teste non-parametrice, atunci **testul Mann-Whitney (U)** este cel mai recomandat. Dacă avem valori - perechi (*paired values*), atunci se folosește **testul t Student** pentru astfel de date sau, dacă distribuția nu este una normală, **testul Wilcoxon** (*Wilcoxon matched pairs signed rank T test*). În aplicarea testului *t*, de obicei se folosește așa numitul test *t* „two-tailed”, în care nu se face nici o apreciere *a-priori* (în testul *t* „one-tailed” se așteaptă un anumit rezultat);
- 3.b) compararea localizării (de exemplu a mediilor aritmetice) a mai mult de 2 grupuri: dacă distribuția este normală, se folosește **analiza de varianță**, sau **analiza varianței simple (ANOVA, ANalysis Of VAriance)**; dintre testele non-parametrice se poate utiliza **testul Kruskal-Wallis (H)**. Cu alte cuvinte, dacă distribuția este normală, folosim **ANOVA** pentru a determina dacă există sau nu diferențe reale între 3 sau mai multe grupuri de indivizi (sau parametri), comparînd varianțele; pentru doar 2 grupuri folosindu-se testul *t*. Se poate folosi **ONEWAY ANOVA** pentru compararea mai multor grupuri de observații independente supuse nivelurilor diferite ale unui singur factor, sau **TWOWAY ANOVA**, pentru compararea efectelor (separate sau combinate) a 2 factori;
- 3.c) compararea localizării (de exemplu a mediilor aritmetice) a mai mult de 2 grupuri: tot comparînd varianțele, dar pentru studiul mai multor factori ce afectează grupurile de observații, se folosește **analiza varianței multiple**, sau **analiza de multivarianță** (*multi-way analysis of variance, Multivariate ANalysis Of VAriance, MANOVA*). Printre **analizele de multivarianță** se numără: analizele factoriale (*Factor Analysis, FA*), ce arată un model explicativ pentru corelația dintre date; analizele de similaritate (*Cluster Analyses*), analiza în componente principale (*Principal Components Analysis, PCA*) și analiza de corespondență canonică (*Canonical Correspondence Analysis, CCA*). Prin analiza în componente principale (PCA) sunt generate variabile ipotetice (componente)

responsabile pentru cât mai multă varianță în setul de date multidimensional, aceste noi variabile fiind combinații liniare ale variabilelor originale. Astfel, tehnica PCA sumarizează datele brute folosind mai puține dimensiuni, realizând diagramele de tip bidimensional (*biplot*) cu doar cele mai importante 2 componente. Dacă procentele de variație pentru aceste două componente sunt responsabile de majoritatea variației ( $F_1$  și  $F_2 > 50\%$ ), atunci reprezentarea este corectă. Analiza de corespondență canonică (CCA) reprezintă o metodă simplă de aranjare a speciilor de-a lungul variabilelor reprezentate de factorii de mediu. CCA construiește combinațiile liniare ale variabilelor de mediu, de-a lungul cărora distribuțiile speciilor sunt cel mai bine separate, iar valorile latente (*eigenvalues*) produse prin aplicarea acestei metode măsoară această separație. CCA este o tehnică de analiză de corespondență, în care axele de ordonare sunt combinații liniare ale variabilelor de mediu. Diagrama de ordonare generată de CCA ilustrează nu doar tendințele în variația comunității, dar și principalele trăsături ale distribuțiilor speciilor de-a lungul variabilelor de mediu (Ter Braak, 1986);

- 3.d) compararea dispersiei (de exemplu a varianțelor) a două seturi de date cu distribuție normală: se folosește **testul F**; teste non-parametrice există, dar este recomandabil să transformăm datele și să folosim testele parametrice;
- 3.e) testarea încadrării frecvenței observațiilor în unul din tiparele teoretice: se folosește de obicei testul  $\chi^2$  (**goodness of fit**) sau **G**;
- 3.f) analiza de corelație - arată tendința a două măsurători de a varia împreună (co-variația); cele două variabile nu depind una de alta; cunoscând una din ele nu putem să o calculăm pe a doua; pentru cazul în care datele noastre urmează o distribuție normală, folosim **coeficientul de corelație Pearson**, dacă nu, se poate utiliza **coeficientul de rang Spearman**;
- 3.g) analiza de regresie - ce testează natura relației dintre 2 variabile, în condițiile în care cele 2 variabile se pot calcula una din cealaltă (fiind o relație de cauzalitate funcțională), sigur, cu condiția ca una din ele să fie cunoscută.

⇒ **EXEMPLU:**

**Pentru compararea a mediilor aritmetice a 2 grupuri cu ajutorul testului *t Student* pentru evenimente independente (*the independent t test*), se urmează etapele de mai jos:**

**1. se stabilește ipoteza nulă ( $H_0$ ), și anume că nu există diferențe între mediile celor două grupuri;**

**2. se calculează valoarea parametrului  $t$**  (numit  $t$  calculat,  $t_{calc}$ ) după

formula: 
$$t_{calc} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{(ES_1)^2 + (ES_2)^2}}$$
, unde  $\bar{x}_1$  reprezintă media aritmetică a

grupului 1;  $\bar{x}_2$  este media aritmetică a grupului 2;  $ES_1$  și  $ES_2$  sunt erorile

standard specifice grupului 1, respectiv 2;  $ES_1 = s_1 / \sqrt{n_1}$ , iar

$ES_2 = s_2 / \sqrt{n_2}$ ;

**3. se citește din tabelul de distribuție al parametrul  $t$**  (fig. 1.4.) care este valoarea acestuia la un număr de grade de libertate  $m = (n_1 - 1) + (n_2 - 1) = n_1 + n_2 - 2$ ; valoarea lui  $t$  din tabel ( $t_{tab}$ ) se află la intersecția dintre citirea pe verticală (la pragul de semnificație  $p = 0,05$  de obicei) și citirea pe orizontală, dată de numărul gradelor de libertate ( $GL$ ), calculate după formula de mai sus;

GL	$p=0,1$	$p=0,05$	$p=0,02$	$p=0,01$	$p=0,005$	$p=0,002$	$p=0,001$
1	6.314	12.706	31.821	63.657	127.320	318.31	636.62
2	2.920	4.303	6.965	9.925	14.089	22.327	31.598
3	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.214	12.924
4	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	1.771	2.160	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	1.746	2.120	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	1.740	2.110	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.610	3.922
19	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	1.721	2.080	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	1.714	2.069	2.500	2.807	3.104	3.485	3.767
24	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	1.708	2.060	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
27	1.703	2.052	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	1.701	2.048	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	1.699	2.045	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	1.697	2.042	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
40	1.684	2.021	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
60	1.671	2.000	2.390	2.660	2.915	3.232	3.460
120	1.658	1.980	2.358	2.617	2.860	3.160	3.373
$\infty$	1.645	1.960	2.326	2.576	2.807	3.090	3.291

Fig. 1.4. Valorile critice ale parametrului  $t$  (Student) ( $GL$  - grade de libertate;  $p$  - prag de semnificație) (din Hassard, 1991)

**4. se interpretează rezultatele:** dacă  $t_{calc} > t_{tab}$ , atunci respingem  $H_0$ , deci există diferențe semnificative statistic între mediile celor două grupuri; dacă  $t_{calc} < t_{tab}$ , atunci diferențele sunt accidentale și acceptăm  $H_0$ .

#### ⇒ LUCRUL CU COMPUTERUL

Murphy spunea că „A greși este uman, dar pentru a încurca lucrurile complet îți trebuie un computer”. Așa că de ce să nu ne aliniem și noi acestui slogan și să vedem cum putem folosi computerul pentru a prelucra datele brute.

Microsoft Office Excel este poate cel mai la îndemână program pentru oricine deține sau are acces la un PC, iar principalul avantaj, pe lângă această accesibilitate, este că putem afla răspunsul la orice întrebare legată de modul de

lucru accesînd meniul *Help*. Astfel, în paginile următoare găsiți doar o scurtă trecere în revistă a celor mai folosite operații necesare pentru exercițiile ce vor urma.

Mai jos se prezintă o foaie de calcul (*spreadsheet*) în *Excel*, cu distribuția de frecvență a șirului statistic prezentat anterior. Datele introduse se repartizează în celule, definite de litere (pe coloane) și de cifre (pe rînduri). Astfel, folosim coordonatele celulelor (*A2*, *B2* etc.), în locul numerelor efective, ceea ce permite extrapolarea unei formule la un șir întreg de date. Nu uitați să denumiți datele pe care le introduceți! E posibil să aveți nevoie de prelucrările respective mai tîrziu și să nu vă mai aduceți aminte ce valori ați introdus.

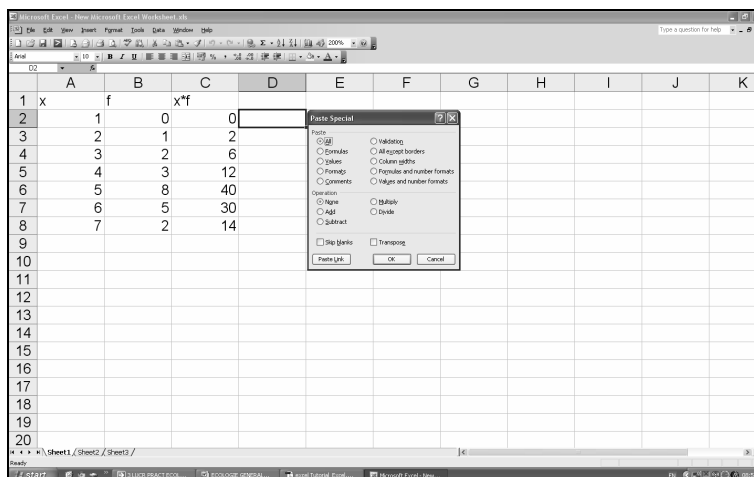
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	x	f	x*f								
2	1	0	=A2*B2								
3	2	1									
4	3	2									
5	4	3									
6	5	8									
7	6	5									
8	7	2									
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											

Introducerea unei formule este anunțată întotdeauna prin tastarea semnului „=”. De exemplu, în celula *C2* vrem să aflăm produsul dintre *x* și *f*, astfel formula va fi = *A2\*B2*. Pentru aflarea rezultatelor pe întreaga coloană, fără a introduce formula în fiecare celulă *C*, se extrapolează, trăgînd cu cursorul de colțul din dreapta jos a celulei cu formula deja introdusă (*C2*):

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	x	f	x*f								
2	1	0	0								
3	2	1	2								
4	3	2	6								
5	4	3	12								
6	5	8	40								
7	6	5	30								
8	7	2	14								
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											

În multe cazuri se folosesc funcții existente în *Microsoft Excel*, pe care le accesăm din meniul *Insert* → *Function*. Printre cele mai uzitate funcții predefinite sunt: *SUM* (sumă), *AVERAGE* (media aritmetică), *SQRT* (radical), *CONFIDENCE* (limite de confidență), *VAR* (varianța), *STDEV* (deviația standard) etc.

În ceea ce privește copierea și alipirea seturilor de date, acestea se fac cu ușurință în *Microsoft Excel* cu comenzile clasice de *Copy* și *Paste*. Un aspect foarte practic este funcția *Paste special* (vezi mai jos), ce permite controlul asupra a ce vrem să alipim (putem folosi valorile ca atare sau doar formulele introduse), inclusiv permite reconfigurarea datelor (cu opțiunea *Transpose*), adică datele aflate pe coloane pot fi reșezate pe rânduri.



În *Microsoft Excel* copierea formulelor este relaționată cu celulele la care se face referire în formule. Adică, de exemplu, dacă vom copia formula din celula C2 din exemplul de mai sus (care este  $A2*B2$ ) și o vom alipi în celula F2, atunci formula copiată va lua valorile din celulele D2 și E2. Dacă vrem ca această copiere să fie fixă, de exemplu vrem să rămână celulele A2 și B2 în formulă, atunci punem semnul „\$” înaintea coordonatelor celulei ce trebuie să rămână ca atare. Folosind tot exemplul de mai sus, dacă în celula F2 în loc de  $D2*E2$  avem nevoie de  $A2*B2$ , atunci vom scrie formula în celula C2 astfel:  $\$A\$2*\$B\$2$ ; și numai după aceea o vom copia în F2.

Pentru o descriere detaliată a lucrului în *Microsoft Excel* se poate utiliza ghidul *Visibook (Visibook Guide to Excel 2003)* accesibil pe [www.visibooks.com](http://www.visibooks.com).

Există numeroase programe de statistică ce se utilizează pentru prelucrări de date, testări și relizare de grafice. Folosirea celor mai multe este îngădită de necesitatea achiziției licențelor, ce sunt de obicei destul de scumpe, avînd în vedere că nu sunt programe cu utilizare la scară largă. De recomandat sunt două programe statistice extrem de bune ce se pot descărca și folosi gratuit, sigur, cu citarea sursei. Primul este programul **PAST** (**P**Aleontological **S**Tatistics) (Hammer și colab., 2001), descărcabil de pe <http://folk.uio.no/ohammer/past>, iar al doilea este programul **R**, puțin mai greu de folosit dar care în ultima perioadă a cîștigat mulți utilizatori, accesibil la <http://www.r-project.org/> (R Development Core Team, 2008).

## 1.4. Prezentarea rezultatelor

### ⇒ Prezentarea datelor în tabele

Datele brute sunt sintetizate într-o primă fază ca tabele. Acestea grupează clar și concis variabilele măsurate și ajută la vizualizarea tendințelor.

Atunci când un tabel face parte dintr-un raport/lucrare/studiu de orice fel, există câteva aspecte ce trebuie respectate, și anume:

1. fiecare tabel trebuie să aibă un titlu scurt, rezumativ, ce trebuie trecut întotdeauna deasupra tabelului propriu-zis; de asemenea, dacă există mai multe tabele în text, ele vor fi numerotate;
2. fiecare coloană și fiecare rând trebuie să aibă un titlu, o explicație;
3. valorile sunt de obicei rotunjite (de exemplu nu se trec zecimale foarte numeroase, din economie de spațiu, astfel, în loc de 4,378 putem alege aproximarea 4,4); acest aspect are valabilitate limitată, depinzând de scopul tabelului respectiv;
4. se pot da note de subsol pentru a explica abrevieri, excepții sau alte detalii.

### ⇒ Redactarea graficelor

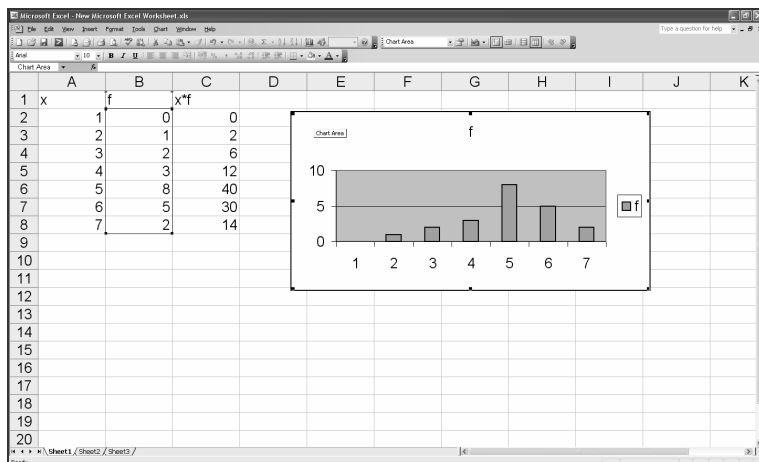
Pentru vizualizarea cea mai eficientă a rezultatelor și implicit prezentarea lor în lucrări științifice, este recomandabilă varianta redactării graficelor. Regula de aur în alegerea acestora este ca ele să fie cât mai clare, să fie aplicabile datelor pe care le avem și să fie ușor lizibile.

Se pot sumariza câteva reguli ce trebuie respectate în alcătuirea graficelor, și anume:

1. fiecare grafic trebuie să aibă un titlu scurt, rezumativ; dacă graficul este inclus într-o lucrare științifică, atunci titlul se scrie întotdeauna sub grafic și se numerotează;
2. în cele mai multe grafice, se folosesc două axe:
  - 2.a) de obicei  $Ox$  (abscisa) este „rezervată” pentru variabila independentă (de exemplu timpul) iar  $Oy$  (ordonata) este folosită pentru variabila dependentă, măsurată (de exemplu numărul de indivizi);
  - 2.b) pe fiecare axă trebuie să se precizeze clar variabila, inclusiv unitățile de măsură; de exemplu: timpul (secunde); densitate (număr de indivizi/ha); masă (g) etc.;
3. nu se poate folosi aceeași axă pentru ilustrarea mai multor variabile; de exemplu, dacă vrem să arătăm variația temperaturii apei și a oxigenului dizolvat într-o anumită perioadă de timp, cel mai corect este să alegem un grafic cu trei axe, deoarece unitățile de măsură ale temperaturii și oxigenului nu sunt similare (vom avea timpul (în zile/luni/ani) pe  $Ox$ , temperatura (în  $^{\circ}C$ ) pe o primă axă  $Oy$  și oxigenul dizolvat (în mg/L) pe a doua axă  $Oy$ );
4. simbolurile folosite în grafice trebuie să fie caracteristice pentru variabilele ce vrem să le prezentăm; de exemplu, putem alege ■ pentru a ilustra valorile temperaturii în exemplul de mai sus și ● pentru valorile oxigenului;
5. graficele alese trebuie să fie adecvate datelor pe care vrem să le ilustrăm; dacă nu alegem bine, graficele vor fi eronate și imposibil de citit; de exemplu, ciclogramele se pretează de obicei la date procentuale, în care tot cercul reprezintă 100% și fiecare element reprezentat va fi o „felie” din ciclograma respectivă; de asemenea, este posibil să trebuiască să transformăm datele brute înainte de a le include într-un grafic (de exemplu le putem logaritma pentru a le „restrînge” distribuția);

6. fiecare grafic ar trebui să includă o legendă, în care sunt explicate simbolurile folosite.


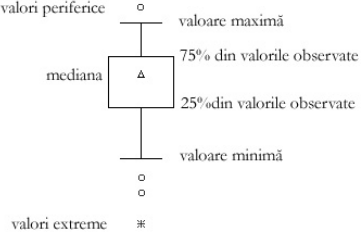
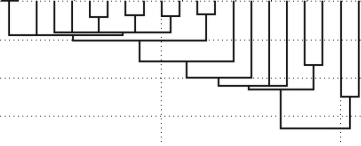
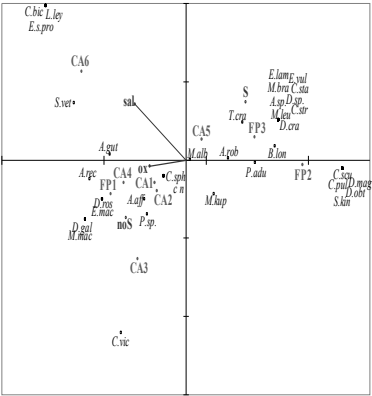
Există diferite tipuri de grafice, dintre care cele mai utilizate sunt sintetizate în tabelul 1.6. De exemplu, reprezentarea grafică a distribuției de frecvențe a șirului statistic amintit anterior se poate ilustra astfel:



Tabel 1.6. Principalele tipuri de grafice folosite în studiile ecologice, cu cele mai importante caracteristici

Denumire	Grafic	Caracteristici
grafice liniare ( <i>plotted curves</i> )		- se folosesc atunci când relația dintre două variabile poate fi reprezentată cu o linie continuă (este un <i>continuum</i> de măsurători)
grafice punctiforme ( <i>scatter diagrams</i> )		- se folosesc pentru a vizualiza relația dintre valori de date individuale pentru două variabile interdependente
histograme ( <i>histograms</i> )		- reprezintă distribuții de frecvență a variabilelor continue
grafice cu bare ( <i>bar charts</i> )		- reprezintă distribuții de frecvență a variabilelor discontinue (discrete)

Tabel 1.6. continuare

Denumire	Grafic	Caracteristici
ciclograme ( <i>pie charts</i> )		<ul style="list-style-type: none"> <li>- reprezintă ilustrarea părților unui întreg (de exemplu procente)</li> </ul>
diagrame ( <i>boxplots</i> )		<ul style="list-style-type: none"> <li>- prezintă întregul șir de valori</li> <li>- include mai multe valori: valoarea minimă, prima percentilă (25% din valorile observate), mediana (ce delimitează 50% din valori), a treia percentilă (75% din valorile observate) și valoarea maximă, alături de valorile periferice și cele extreme (situat mult în afara distribuției)</li> </ul>
dendrograme ( <i>clusters</i> )		<ul style="list-style-type: none"> <li>- reprezintă varianta grafică a analizei gradului de similaritate dintre două grupuri</li> </ul>
diagrame de ordonare ( <i>ordination diagrams</i> )		<ul style="list-style-type: none"> <li>- sunt reprezentări grafice ale analizelor de multivarianță (PCA sau CCA)</li> <li>- în diagramele CCA (exemplul din stînga), factorii de mediu sunt reprezentați de vectori, speciile și datele de prelevare prin puncte; poziția acestor puncte arată variația compoziției pe specii a probelor din diferite date de prelevare</li> <li>- în ceea ce privește factorii de mediu, săgețile prin care sunt reprezentați arată direcția modificării maxime a acelei variabile de mediu în diagramă, iar lungimea lor este proporțională cu rata schimbării în direcția respectivă (Ter Braak, 1986)</li> <li>- variabilele de mediu reprezentate prin săgeți lungi sunt mai puternic corelate cu axele de ordonare comparativ cu cele reprezentate prin săgeți mai scurte, fiind mai bine relaționate de tiparul variației comunității oglindit de diagramă</li> </ul>

## 1.5. Redactarea unei lucrări științifice în ecologie

Deoarece această carte reprezintă un ghid adresat în primul rînd studenților, sunt extrem de practice cîteva linii călăuzitoare în întocmirea lucrării de licență sau de disertație, ce reprezintă primul pas în cercetare. Totuși, pentru publicarea în reviste de specialitate, rezultatele muncii de cercetare trebuie puse într-o anumită formă generalizată, cu detalii specifice de la revistă la revistă. De aceea acest capitol a fost gîndit pe mai multe părți, după cum urmează:

### ⇒ Redactarea lucrării de licență/disertație în ecologie

Există diverse tipuri de lucrări de licență/disertație în ecologie, însă avînd în vedere faptul că cele mai multe studii implică faza de prelucrare a datelor din teren, voi puncta cele mai importante caracteristici ale acestor tipuri de teze. Sigur că o lucrare rezultată din experimente făcute în laborator va avea o altă structură, însă organizarea generală rămîne aceeași.

Astfel, următoarele capitole trebuie să se regăsească în cuprinsul tezei de licență/disertație: 1. Introducere; 2. Descrierea fizico-geografică a zonei studiate; 3. Prezentarea teoretică a grupului de organisme considerat; 4. Material și metode; 5. Rezultate și discuții; 6. Concluzii; 7. Bibliografie.

#### 1. Introducere:

- include scopul și obiectivele studiului respectiv;
- include ipotezele de la care se pleacă în studiul respectiv (dacă există);
- se poate aminti și motivația studiului, dacă există una;
- poate include o scurtă trecere în revistă a cunoștințelor în domeniu, cu accent pe nivelul actual;
- include obligatoriu mulțumirile către cei care au contribuit într-un fel sau altul la realizarea tezei (finanțator, coordonator, colegi de lucru etc.);
- de obicei nu depășește o pagină;
- în multe cazuri nu se numerotează ca un capitol separat.

#### 2. Descrierea fizico-geografică a zonei studiate:

- capitol teoretic (reprezintă o sinteză din literatură);
- cuprinde localizarea precisă a zonei de unde s-au făcut observațiile;
- include o descriere a climei, reliefului, hidrografiei, geologiei, a tipurilor de vegetație, a faunei și eventual perturbările cauzate de impactul antropic;
- recomandabilă ar fi prezentarea unei hărți cît mai detaliate a zonei studiate.

#### 3. Prezentarea teoretică a grupului de organisme considerat:

- capitol teoretic (reprezintă o sinteză din literatură);
- include date despre organismele alese pentru studiu;
- recomandabilă ar fi evitarea reproducerii cuvînt cu cuvînt din determinatoare;
- cuprinde aspectele importante, în funcție de obiectivele propuse, cum ar fi: încadrare taxonomică, morfologie externă cu accent pe caracterele de identificare, ciclul de dezvoltare, ecologie etc.

#### 4. Material și metode:

- în acest capitol trebuie să se răspundă la trei întrebări: unde, cînd și cum s-a efectuat cercetarea;
- stațiile fixate în zona de studiu trebuie descrise cît mai exact, incluzînd altitudinea, adîncimea apei, covorul vegetal, panta etc.;
- trebuie să includă o hartă explicativă cu indicații precise ale localizării stațiilor (coordonate *GPS*);
- trebuie menționate perioadele de timp ale cercetării (an, lună, zi);
- trebuie explicate în detaliu tehnicile, echipamentul și aparatura folosite;

- descrierea procedeele trebuie să fie foarte clară, astfel încât ele să poată fi reproduse de oricine altcineva;
- modul de prelucrare al datelor trebuie explicat foarte clar, inclusiv cu prezentarea formulelor de calcul și a abrevierilor folosite.

### **5. Rezultate și discuții:**

- este cel mai important capitol al tezei, pentru că include date originale;
- include prezentarea și interpretarea rezultatelor obținute, chiar dacă ele nu concordă cu ipotezele formulate sau cu așteptările de la care plecăm;
- nu se obișnuiește prezentarea datelor brute, ca atare, recomandabilă ar fi prezentarea rezultatelor unor teste statistice, indici de corelație etc.;
- datele obținute sunt prezentate în tabele și grafice; totuși, trebuie evitată redundanța, adică datele ilustrate în figuri nu se prezintă și în tabele; regula de bază atunci când se alege între grafice și tabele este claritatea prezentării: trebuie optat pentru cea mai sugestivă formă de prezentare;
- fiecare grafic sau tabel este numerotat individual (de exemplu Tabel 1, Tabel 2 etc., Fig. 1, Fig. 2 etc.) iar în text se fac referințe la numărul respectiv înainte ca tabelul sau figura să apară în pagină (de exemplu: „*Modelul de distribuție al speciei x este prezentat în fig. 1*”);
- orice tabel sau grafic din teză trebuie să aibă un titlu clar și concis; întotdeauna, titlul tabelului este poziționat deasupra, titlul figurii este localizat sub ilustrație;
- graficele nu trebuie supraîncărcate cu prea multă informație, căci devin greu de urmărit pentru cititor; de asemenea, trebuie alese graficele ce se pretează pentru datele ce dorim să le ilustrăm;
- datele obținute trebuie comparate obiectiv cu cele ale altor autori;
- rezultatele trebuie examinate și interpretate în paralel cu ipotezele enunțate în introducere;
- dacă se poate, ar fi bine de identificat eventuale faze ulterioare de cercetare asupra problemei și de sugerat eventuale îmbunătățiri ale metodologiei de lucru.

### **6. Concluzii:**

- cuprinde concluziile studiului, care vor fi enunțate succint (preferabil numerotate și aliniate unele sub altele);
- nu se introduc grafice sau tabele; nu se introduc detalii;
- concluziile sunt practic ideile majore desprinse din studiu, prezentate într-un mod rezumativ.

### **7. Bibliografie:**

- este un capitol esențial, unde se citează literatura folosită;
- este vital ca toate titlurile bibliografice regăsite în text, pe parcursul capitolelor, să se regăsească în acest capitol; iar toate titlurile din Bibliografie să se găsească în text;
- **modul de citare al literaturii în text** este următorul: se folosește doar numele autorului (autorilor) și anul; se citează între paranteze, după fragmentul preluat din autorul (autorii) respectiv(i); dacă este un singur autor, atunci citarea este: (Papadopol, 1980); dacă sunt doi autori, citarea este: (Papadopol și Stănescu, 1989) sau (Papadopol & Stănescu, 1989); dacă lucrarea are mai mult de doi autori, citarea este: (Papadopol și colab., 1987);
- în legătură cu citarea mai multor autori în text, se folosește în loc de „și colab.” expresia „*et al.*”, care vine din latină (*et alii*) și înseamnă „și alții”; de obicei această prescurtare se folosește în textul din limba engleză, dar întotdeauna trebuie scrisă cu font italic, ca toate cuvintele din latină;

- **modul de trecere a lucrărilor consultate în capitolul de Bibliografie** se hotărăște de către fiecare în parte; regula de bază este că trebuie înregistrate în ordine alfabetică și în ordinea apariției;
- un model de trecere a lucrărilor consultate în Bibliografie ar fi următorul:
- \* pentru articole apărute în reviste:  
Werner, E.E., 1977, Species packing and niche complementarity in three sunfish, American Naturalist, 111, 553-578
- \* pentru articole apărute în volume editate:  
Pianka, E.R., 1975, Niche relations of desert lizards, în: Cody, M. și Diamond, J. (ed.), Ecology and evolution of communities, Belknap Press, Cambridge, 292-314
- \* pentru cărți:  
Ivlev, V.S., 1961, Experimental ecology of the feeding fishes, Yale University Press, New Haven, Connecticut, USA, 1-325
- dacă există două lucrări scrise de același autor în același an, ele se citează cu a și b; de exemplu, citarea în text va fi: (Negrea, 1982a) și (Negrea, 1982b), iar la Bibliografie vor fi amintite literele a și b după an;
- la trecerea la Bibliografie a lucrărilor care au același autor cu ani diferiți, dar și cu co-autori diferiți se practică așezarea cronologică a lucrărilor cu un număr egal de autori; adică, dacă avem Popescu, 1978 și Popescu, 1980, vom pune lucrările în ordine cronologică (prima 1978); dacă Popescu a publicat cu Ionescu în 1967, avînd în vedere ca sunt doi autori, această lucrare o vom trece după Popescu, 1978 și Popescu, 1980, deși a apărut înainte.

#### **Alte recomandări:**

- prima pagină a tezei conține numele universității, facultății și secției în colțul din stînga sus; titlul și tipul lucrării (licență/disertație) pe mijloc, în centru; numele și titulatura absolvenului și a coordonatorului; iar în partea de jos anul și orașul, tot centrat;
- fontul cu care se redactează teza de licență este la latitudinea autorului; de obicei se folosește Times New Roman 12, cu spațiere la un rînd și jumătate; ar trebui evitată folosirea unui font mai mare de 12, pentru că dă impresia de lipsă de informații;
- așezarea în pagină a lucrării este de asemenea la latitudinea autorului;
- nu există un număr de pagini minim: scopul final este calitatea și nu cantitatea; există teze de licență extrem de bune de doar 20 de pagini și teze care nu spun nimic în mai mult de 100!;
- partea teoretică a lucrării (capitolele 2. și 3.) nu trebuie să depășească mai mult de 2/3 din lucrare; accentul trebuie pus pe partea originală (capitolele 4., 5. și 6.);
- lucrarea poate conține anexe, ce pot fi sau nu numerotate; de obicei anexele se trec după bibliografie și conțin poze, grafice sau tabele prea stufoase pentru a fi incluse în capitolul de Rezultate și discuții;
- trebuie evitat plagiatul (sursa trebuie precizată de fiecare dată);
- trebuie numerotate paginile;
- cuprinsul este indispensabil; locul lui este de obicei înaintea Introducerii;
- numele științific al genurilor și speciilor se scrie întotdeauna cu font italic;
- în stilul de scriere al lucrării, e bine de păstrat un ton detașat (științific); de aceea diateza pasivă este preferabilă în majoritatea situațiilor; adică, în loc de „În tabelul 1 am prezentat datele lungimii frunzelor pentru copacii din două biocenoze” ar fi preferabil: „Lungimea frunzelor copacilor din cele două biocenoze este prezentată în tabelul 1.”;

- în ceea ce privește numerotarea tabelelor și figurilor, se poate alege o numerotare uniformă, de la primul pînă la ultimul în toată lucrarea, sau o numerotare pe capitole, ce conține numărul capitolului și apoi numărul figurii sau tabelului (de exemplu Fig. 1.5.);
- pozele introduse în lucrare sunt considerate tot figuri și numerotate în consecință.

#### ⇒ **Prezentarea lucrării de licență/disertație**

- prezentarea lucrării se realizează în majoritatea covârșitoare a cazurilor într-o prezentare *Microsoft Power Point*, datorită ușurinței de lucru;
- nu există reguli clare și universal valabile pentru redactarea unei prezentări *power point*, dar se pot emite cîteva „reguli de bun simț” atunci cînd vine vorba de prezentarea lucrării de licență sau disertație;
- accentul trebuie pus pe partea originală a lucrării, adică pe capitolul de Rezultate și discuții, deoarece există o limită de timp pentru fiecare absolvent;
- este bine de evitat textul foarte lung în prezentare, scrisul foarte mic; se recomandă folosirea cu preponderență a figurilor, pozelor și mai puțin a tabelelor foarte stufoase sau a textelor foarte lungi;
- culorile folosite ar trebui să nu fie foarte țipătoare; de asemenea animația foarte diversă și foarte heterogenă poate dăuna unei prezentări ce se consideră științifică;
- prezentarea unei lucrări în ecologie ar trebui să includă:
  1. titlul, autorul, coordonatorul;
  2. scopul și obiectivele lucrării (opțional și o prezentare foarte succintă a cuprinsului prezentării sau al lucrării);
  3. descrierea zonei studiate, doar cu localizarea exactă pe hartă a locului de prelevare a datelor;
  4. material și metode, cu o descriere foarte succintă a tehnicilor folosite, a aparaturii, a localizării stațiilor, perioadelor de prelevare etc.);
  5. detalierea rezultatelor și interpretarea lor, de preferință cu prezentarea principalelor grafice (sau tabele);
  6. concluziile foarte rezumativ prezentate;
  7. bibliografie selectivă (cîteva titluri bibliografice importante folosite în teză).

#### ⇒ **Redactarea unui articol științific în ecologie**

Comunicarea rezultatelor științifice proprii este o parte importantă a procesului de cercetare. O lucrare științifică bine întocmită și documentată trebuie să descrie clar și complet procedeele folosite și rezultatele obținute dar și să interpreteze semnificația lor, făcînd eventuale recomandări pentru studii de viitor. Lucrarea trebuie să redea rezultatele complete ale cercetării după un plan bine organizat și într-un stil concis iar eventualele experimente descrise trebuie să poată fi repetate.

O regulă de bază a eticii deontologice spune că nu este bine să publicăm aceleași rezultate în două locuri (reviste) diferite. Și dacă am adus vorba de reviste, trebuie să acordăm un spațiu cît de mic unei prezentări a ceea ce se numește (puțin impropriu) revistă *ISI*.

Denumirea de **ISI** vine de la *Institute for Scientific Information*, ce a devenit **Thomson ISI** și ulterior **Thomson Reuters**, ce reprezintă o bază de date bibliometrică și bibliografică care s-a specializat pe indexarea citărilor. **Web of Knowledge** este un produs *Thomson Reuters*, reprezentînd o platformă de căutare ce reunește articole, brevete, pagini de internet, proceedings. **Web of Science** poate fi găsit în **Web of Knowledge** și reprezintă o bază de date

bibliometrică cu acces la rezumatele articolelor a peste 10.000 reviste importante, majoritatea cu indice de impact *ISI* din 256 de discipline; prin această bază de date se oferă acces la ultimele informații din orice domeniu de interes (agricultură, științe biologice, inginerie, științe medicale, științele vieții, științe fizice și chimice, antropologie, drept, știința informării, arhitectură, dans, muzică, film și teatru), publicate în reviste recunoscute internațional.

Există reviste cotate *ISI*, dar și reviste doar indexate *ISI*. **Master Journal List** (<http://science.thomsonreuters.com/mjl/>) include un număr de peste 14.000 de reviste științifice ce se regăsesc în diversele produse ale Institutului Thomson. Dintre acestea, doar aproximativ 10.000 de reviste sunt **cotate ISI**, adică sunt incluse într-una din următoarele trei baze de date, care au sistem de monitorizare a citărilor: **1. Arts & Humanities Citation Index (Web of Science); 2. Science Citation Index Expanded (Web of Science) și 3. Social Sciences Citation Index (Web of Science)**. O revistă ce face parte din **Master Journal List** dar nu se regăsește printre revistele cotate *ISI* este considerată indexată *ISI* și se asimilează unei indexări **BDI** (bază de date internațională).

**Thomson ISI - Journal Citation Reports** reprezintă o bază de date ce oferă date statistice cuantificabile care permit evaluarea impactului revistelor în comunitatea științifică (prin dinamica citărilor) și este disponibilă pe platforma *online Web of Knowledge*. Factorul de impact (*Impact Factor*) al revistelor cotate *ISI* reprezintă una din modalitățile de evaluare și este actualizat anual. Modul de calcul ține seamă de citări; de exemplu factorul de impact pe anul 2011 reprezintă numărul de citări în 2011 la articolele publicate în 2009 - 2010 raportat la numărul de articole publicate în 2009 - 2010. Se mai poate calcula un indice de rapiditate a citărilor (*I-index - Immediacy Index*) pentru citările din 2011 la articolele publicate tot în 2011.

În prezent autorii aleg revistele în care își publică rezultatele după aceste criterii internaționale. Fiecare revistă are propriile reguli pentru publicarea articolelor științifice iar majoritatea își asigură calitatea materialelor printr-un sistem de revizuire a lucrărilor *peer-review*. Acest sistem include evaluarea fiecărui articol de un număr de specialiști în domeniu (*reviewers*) ce pot accepta, respinge sau pot recomanda modificări manuscrisului.

Există mai multe tipuri de articole științifice publicabile, în funcție de calitatea și cantitatea datelor ce le includ: articole propriu-zise (*full article*), ce reprezintă lucrări semnificative cu rezultate complete ale studiilor; articole de sinteză (*review papers*), ce fac o radiografie amplă pentru un domeniu de cercetare și scurte comunicări (*short communications, letters*), de obicei un rezumat scurt, publicat anterior articolului propriu-zis.

Indiferent de regulile specifice fiecărei reviste în parte, un articol științific trebuie să cuprindă câteva capitole de bază, similare cu cele prezentate anterior la redactarea lucrărilor de licență sau disertație: titlul, autorii, cuvinte cheie, rezumatul, introducerea, material și metode, rezultate, discuții, concluzii, mulțumiri, bibliografie (*title, authors, key words, abstract, introduction, material and methods, results, discussions, conclusions, acknowledgements, references*). La unele reviste, aceste capitole standardizate pot fi înlocuite, sau în cadrul unui capitol pot apărea subcapitole pentru o prezentare clară a informației; de exemplu, la Material și metode datele pot fi prezentate sub forma a trei subcapitole: Zona de studiu, Colectarea datelor și Prelucrare statistică.

Titlul arată subiectul articolului; trebuie să fie scurt și să reflecte cuprinsul articolului. Autorii trebuie trecuți în ordinea importanței și a contribuției la

articolul respectiv; de asemenea trebuie precizată afilierea lor (inclusiv adresa instituțiilor și adresa de corespondență a autorului cu care se va ține legătura: *contact author*). Rezumatul trebuie să arate în câteva propoziții cele mai importante aspecte ale studiului; de aceea trebuie să fie exact, fără detalii inutile, eventual fără abrevieri personale. Cuvintele cheie reprezintă o etichetă a articolului, de aceea trebuie alese doar câteva ce reprezintă exact subiectul articolului.

Introducerea conține patru aspecte: 1. localizarea studiului în contextul lucrărilor din domeniu realizate de alți autori; 2. explicarea motivelor studiului (scopul și obiectivele); 3. enumerarea metodelor folosite în studiul de față și 4. indicarea concluziilor la care se va ajunge la sfârșit.

Material și metode reprezintă capitolul unde se descrie modul de lucru: metodele folosite trebuie explicate în detaliu, pentru ca prelevarea probelor sau experimentele realizate să poată fi repetate, însă se pot folosi referințe bibliografice pentru tehnicile încetățenite în domeniu.

Rezultatele includ datele produse de studiu; doar datele cele mai reprezentative trebuie prezentate, fie în tabele fie în grafice, principala grijă fiind claritatea prezentării. Discuțiile arată semnificația datelor produse și reprezintă cea mai importantă parte a articolului; trebuie să se „muleze” pe rezultatele obținute iar comparațiile cu alte studii sunt extrem de importante. Trebuie evitate speculațiile, fiind preferate doar interpretările clare, bazate pe observații susținute de teste statistice.

Concluziile sumarizează principalele rezultate ale studiului și includ eventuale recomandări pentru studii viitoare. Mulțumirile sunt opționale, dar de obicei trebuie amintite sursele de finanțare, colaboratorii sau cei care au evaluat manuscrisul.

Bibliografia include cele mai importante publicații pe care se bazează articolul (de obicei 10 - 20 de titluri), așezate alfabetic și după regulile stricte ale revistei. Citările din bibliografie trebuie să corespundă citărilor din textul articolului.

#### **Alte recomandări:**

- revista trebuie aleasă în funcție de subiectul articolului, factorul de impact etc.; este foarte important ca scopul și obiectivele articolului să se încadreze în domeniul revistei alese;
- un articol se publică într-o singură revistă;
- trebuie evitată includerea într-un articol publicat a prea puține date, pentru că rezultatele și concluziile pot fi puse sub semnul întrebării;
- de asemenea, datele prea „preliminare” e bine să fie evitate, în sensul că, de exemplu, dintr-un studiu multianual nu se prezintă doar rezultatele unui an;
- fiecare articol trebuie să aducă ceva nou, fie o confirmare, fie o infirmare a unei probleme;
- articolul trebuie structurat în funcție de cerințele specifice ale revistei alese;
- stilul articolului trebuie să fie concis și rezumativ;
- limba de redactare trebuie să fie în cele mai multe cazuri engleza; trebuie verificate eventualele greșeli de scriere sau de exprimare;
- trebuie evitate: plagiatul, falsificarea datelor sau nerecunoașterea contribuției unor co-autori;
- mai multe detalii legate de publicarea cu succes a unui articol științific se găsesc în numeroase cărți de specialitate (de exemplu Körner, 2004) sau pe internet (<http://www.edanzediting.com/>;  
[http://whqlibdoc.who.int/emro/2004/9290213639\\_chap12.pdf](http://whqlibdoc.who.int/emro/2004/9290213639_chap12.pdf) etc.).



## 2. ECOLOGIA POPULAȚIILOR

### 2.1. Determinarea numărului minim de probe colectate

⇒ **Calitatea datelor colectate din teren** depinde în primul rând de folosirea unei metode adecvate de prelevare pentru populația-țintă. De asemenea depinde de amplasarea potrivită a punctelor de prelevare, ce trebuie să surprindă heterogenitatea biotopului, de o anumită frecvență de prelevare, potrivită pentru populația de studiu și în fine, de o anumită mărime a probei, ce include un anumit număr de unități de probă.

Practic, încercăm să vedem care ar fi mărimea multumitoare a probelor biologice, câte unități de probă ar trebui ele să conțină. Este important să stabilim acest număr propice pentru scopul studiului nostru, pentru a evita pe de o parte obținerea de prea puține date și pe de altă parte supraîncărcarea programului de lucru și chiar epuizarea tuturor indivizilor din speciile cercetate. Aceste calcule sau observații trebuie făcute înainte de a începe programul intensiv de colectare a probelor. Se recomandă realizarea unui studiu pilot, în cadrul căruia să hotărîm câte unități de probă vom preleva la fiecare deplasare în teren din programul intensiv, pentru a avea o asigurare statistică ce garantează rezultate valoroase. **De fapt, cheia este obținerea unei cantități maxime de informații cu o cantitate minimă de efort!**

Să luăm exemplul unui studiu ecologic ce implică cercetarea amfipodelor bentonice dintr-un râu. De-a lungul cursului râului condițiile de mediu de schimbă, influențînd astfel comunitățile biotice, inclusiv populațiile de amfipode. Este logic atunci să stabilim puncte diferite de colectare a probelor, de-a lungul râului, de la izvoare spre vărsare. Aceste puncte de prelevare se numesc stații sau stațiuni, iar numărul și amplasarea lor are un cuvînt greu de spus în exactitatea rezultatelor studiului. De obicei se aleg zone reprezentative pentru cursul de apă respectiv, cum ar fi izvoarele, amonte și aval de marile aglomerări urbane, amonte și aval de principalii poluatori etc.

La fiecare stație de colectare a probelor este obligatoriu să prelevăm din mai multe locuri, deoarece albia râului este extrem de heterogenă. Dacă luăm material biologic dintr-un singur loc, putem avea surpriza neplăcută să nu găsim populația studiată, ajungînd poate în mod eronat la concluzia că... a emigrat. Pe principiul „mai mult, mai bine”, un număr mai mare de probe luate dintr-o stație ne oferă o imagine mult mai clară. Spunem astfel că de la o stație luăm mai multe unități de probă, o unitate de probă fiind unitatea de suprafață (sau volum) prelevată din mediu printr-o singură acționare a unui dispozitiv de prelevare.

Dacă ne referim la amfipodele pomenite mai sus, ele se prelevează cu un aparat numit bentometru (de fapt întreaga fauna de nevertebrate bentonice se prelevează astfel), care reprezintă un cadru de metal cu suprafață cunoscută, ce are la un capăt un fileu în care se va concentra materialul biologic împreună cu substratul, formînd proba de bentos (fig. 2.1.).

⇒ **Numărul minim de unități de probă ce trebuie prelevate din teren se stabilește în studiul pilot inițial, în două moduri: fie experimental, fie prin calcul.**

Prima variantă reprezintă o muncă laborioasă, deoarece avem nevoie de multe ieșiri în teren, pentru ca în final să putem obține un rezultat clar (reprezentat grafic în fig. 2.2.). Astfel, prelevăm succesiv probe, în momente

diferite, cu număr din ce în ce mai mare de unități de probă (prima cu 1, a doua cu 2, a treia cu 3 etc.) și calculăm pentru fiecare parametrul urmărit (în cazul exemplului nostru, media aritmetică a numărului de indivizi de amfipode pe o anumită suprafață). Pe măsură ce se modifică mărimea probei, se modifică și valoarea mediei aritmetice, pînă cînd se stabilizează într-un domeniu foarte restrîns de fluctuație, iar prima probă la care se vede această stabilizare reprezintă proba de mărime acceptabilă.



Fig. 2.1. Bentometrul de tip Surber folosit pentru prelevarea probelor de bentos din apele curgătoare de mică adîncime

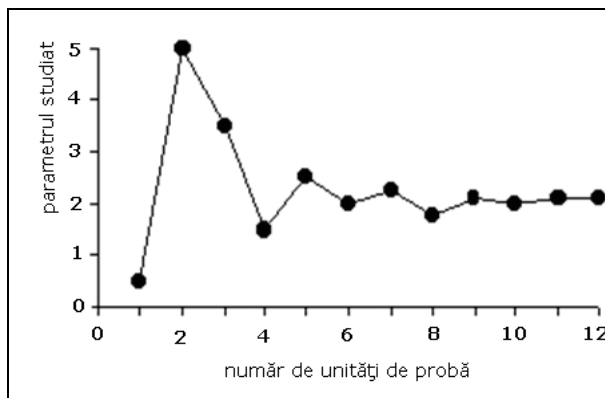


Fig. 2.2. Stabilirea prin experimentare a numărului minim de unități de probă (parametrul studiat poate fi media aritmetică a numărului de indivizi pe probă) (din Brewer și McCann, 1982)

O variantă alternativă este determinarea prin calcul a mărimii probei, iar acest lucru se face pentru un anumit grad de precizie, adică dacă suntem dispuși de la început să acceptăm o eroare de pînă la 20% (eroare comun acceptată în ecologie). Traducerea acestei erori ar fi că de la început suntem de acord cu o variație a parametrului urmărit (media aritmetică a indivizilor de amfipode) de 20%. Cu alte cuvinte, la prelevarea de probe noi din teren (cu numărul calculat de unități de probă) știm că media aritmetică nu va oscila mai mult de 20%.

⇒ **Etapetele determinării prin calcul a numărului minim de unități de probă pentru o eroare acceptată de 20% (0,2) sunt următoarele (Botnariuc și Vădineanu, 1982):**

- 1. prelevarea probelor în cadrul studiului pilot, înainte de începerea propriu-zisă a programului intensiv de colectare:** de obicei se prelevează din aceeași stație un număr mare de unități de probă, pentru ca estimările să fie cât mai corecte;
- 2. sintetizarea datelor brute:** numărarea indivizilor din fiecare unitate de probă și întocmirea unui tabel;
- 3. transformarea datelor într-o distribuție de frecvențe:** fiecare element din distribuția de frecvență este dat de numărul de unități de probă cu același număr de indivizi colectați, ca în tabelul 2.1.;

Tabel 2.1. Distribuția de frecvență pentru un exemplu ipotetic

<b>x</b> (numărul de indivizi dintr-o unitate de probă)	<b>f</b> (numărul de unități de probă cu x indivizi)
0 indivizi	...
1 individ	...
....	
7 indivizi	...
	$\Sigma f = n$ (numărul total de unități de probă)

#### 4. calcularea indicilor statistici ai probei:

**4.a)** media aritmetică ( $\bar{x}$ ), cu formula:  $\bar{x} = \frac{\sum fx}{n}$ ;

**4.b)** varianța ( $s^2$ ), cu formula:  $s^2 = \frac{\sum fx^2 - \bar{X} \sum fx}{n-1}$ ;

#### 5. prelucrare matematică:

**5.a)** am hotărât că gradul de precizie (cu alte cuvinte **eroarea** cu care estimăm valoarea reală a parametrului cercetat) este în cazul nostru 20%, adică 0,2. Această eroare este definită ca **eroarea standard a mediei** ( $ES_{\bar{x}}$ )

împărțită la **media aritmetică** ( $\bar{x}$ ), adică:  $0,2 = \frac{ES_{\bar{x}}}{\bar{x}}$ ;

**5.b)**  $ES_{\bar{x}}$  (eroarea standard a mediei) este egală cu varianța ( $s^2$ ) împărțită la

numărul unităților de probă ( $n'$ ), adică ce trebuie să calculăm:  $ES_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{s^2}{n'}}$ ;

astfel mai avem doar un pas, să îl calculăm pe  $n' \Rightarrow 0,2 = \frac{\sqrt{\frac{s^2}{n'}}}{\bar{x}}$ ;

## 6. calcularea numărului minim de probe ( $n'$ ), pentru o eroare de 20%:

$$0,2 = \frac{1}{x} \sqrt{\frac{s^2}{n'}} \Rightarrow 0,2^2 = \frac{1}{x^2} \frac{s^2}{n'} \Rightarrow 0,2^2 x^2 n' = s^2 \Rightarrow$$

$$n' = \frac{s^2}{0,2^2 x^2} \Rightarrow n' = \frac{25 s^2}{x^2} . \text{ Valoarea obținută astfel reprezintă}$$

numărul minim de unități de probă ce trebuie prelevate de la o stație, pentru ca rezultatele studiului să fie statistic semnificative.

### ⇒ EXERCIȚIU:

O echipă de ecologi vrea să demareze un studiu ce vizează o populație de *Gammarus pulex* (Amphipoda) din râul Someșul Cald. Au ales 7 stații de prelevare pe cursul râului, dar trebuie să stabilească numărul minim satisfăcător statistic de unități de probă pe care le vor colecta în ieșirile de teren de la fiecare stație. Astfel, ei au întreprins un studiu pilot, în stația Doda Piliu, unde au colectat 80 de unități de probă (date modificate după Elliott, 1977; din Botnariuc și Vădineanu, 1982). Au numărat indivizii de *Gammarus* și au sintetizat datele brute. Au găsit de la 0 indivizi pînă la 16 indivizi în unitățile de probă colectate. Care este numărul minim de unități de probă pe care va trebui să le preleveze din teren de acum înainte (pentru a evita efortul major de a lua de fiecare dată 80 de la fiecare stație)?

Au fost găsiți de la 0 la 16 indivizi de *Gammarus* în cele 80 de unități de probă. Aceasta este distribuția de frecvență, respectiv numărul de unități de probă cu 0, 1, 2, 3,...16 indivizi de *Gammarus*. Primul pas este calcularea mediei aritmetice, pentru care avem nevoie de  $\sum f \cdot x$ . După ce introducem formula în celula C2, extrapolăm pe toată coloana (pînă la C18) și calculăm suma în celula C19:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	x	f	f*x								
2	0	3	=A2*B2								
3	1	7									
4	2	9									
5	3	12									
6	4	10									
7	5	6									
8	6	7									
9	7	6									
10	8	5									
11	9	4									
12	10	3									
13	11	2									
14	12	2									
15	13	1									
16	14	1									
17	15	1									
18	16	1									
19											
20											
21											

Putem acum calcula media aritmetică, știind ca  $n = 80$  (în celula D2):

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	x	f	f*x	med.aritm							
2		0	3	0	=C19/80						
3		1	7	7							
4		2	9	18							
5		3	12	36							
6		4	10	40							
7		5	6	30							
8		6	7	42							
9		7	6	42							
10		8	5	40							
11		9	4	36							
12		10	3	30							
13		11	2	22							
14		12	2	24							
15		13	1	13							
16		14	1	14							
17		15	1	15							
18		16	1	16							
19				425							
20											
21											

Pasul următor este să calculăm varianța ( $s^2$ ), pentru care obținem produsul  $f*x^2$ , după care  $\Sigma f*x^2$ , ce ne va folosi în formula varianței:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	x	f	f*x	med.aritm	f*x2						
2		0	3	0	5,3125	=B2*POWER(A2;2)					
3		1	7	7							
4		2	9	18							
5		3	12	36							
6		4	10	40							
7		5	6	30							
8		6	7	42							
9		7	6	42							
10		8	5	40							
11		9	4	36							
12		10	3	30							
13		11	2	22							
14		12	2	24							
15		13	1	13							
16		14	1	14							
17		15	1	15							
18		16	1	16							
19				425							
20											
21											

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	x	f	f*x	med.aritm	f*x2						
2		0	3	0	5,3125						
3		1	7	7	7						
4		2	9	18	36						
5		3	12	36	108						
6		4	10	40	160						
7		5	6	30	150						
8		6	7	42	252						
9		7	6	42	294						
10		8	5	40	320						
11		9	4	36	324						
12		10	3	30	300						
13		11	2	22	242						
14		12	2	24	288						
15		13	1	13	169						
16		14	1	14	196						
17		15	1	15	225						
18		16	1	16	256						
19				425	3327						
20											
21											

Astfel, putem introduce formula varianței în celula F2:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	x	f	f*x	med.aritm f*x2		varianța					
2		0	3	0	5,3125	0					
3		1	7	7							
4		2	9	18							
5		3	12	36							
6		4	10	40							
7		5	6	30							
8		6	7	42							
9		7	6	42							
10		8	5	40							
11		9	4	36							
12		10	3	30							
13		11	2	22							
14		12	2	24							
15		13	1	13							
16		14	1	14							
17		15	1	15							
18		16	1	16							
19				425		3327					
20											

Ultimul lucru ce ne-a rămas este să introducem formula lui  $n'$  în celula G2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	x	f	f*x	med.aritm f*x2		varianța	$n'$				
2		0	3	0	5,3125	0	13,534				
3		1	7	7							
4		2	9	18							
5		3	12	36							
6		4	10	40							
7		5	6	30							
8		6	7	42							
9		7	6	42							
10		8	5	40							
11		9	4	36							
12		10	3	30							
13		11	2	22							
14		12	2	24							
15		13	1	13							
16		14	1	14							
17		15	1	15							
18		16	1	16							
19				425		3327					
20											

Rezultatul este:  $n' = 11,98861$ ; adică numărul minim de unități de probă ce trebuie prelevate din fiecare stație nu este 80 (ca în studiul pilot), ci ajung 12.

## 2.2. Estimarea efectivului populațional: metoda pătratelor

⇒ **Densitatea populațiilor** reprezintă numărul de organisme per unitate de suprafață sau volum (nr. indivizi/m<sup>2</sup> sau m<sup>3</sup> de exemplu, însă unitatea de măsură variază foarte mult, de la metru pătrat la hectar sau de la litru la km cub, în funcție de organismele studiate).

⇒ Această **densitate a populațiilor (efectivul populațional)** se determină fie prin recensămînt, fie prin estimare. În primul caz se numără direct toți indivizii unei populații, lucru ce poate fi realizat doar pentru foarte puține populații în natură, astfel că are aplicabilitate practică foarte limitată (se pretează doar la populațiile ce conțin indivizi atașați de substrat și care nu se întind pe areale foarte extinse). În al doilea caz, se estimează densitatea pe baza prelevării și a analizei probelor colectate din populație. Dacă probele sunt reprezentative (sunt prelevate randomizat, au o mărime suficientă și includ cît mai puține erori) se poate face extrapolarea la întreaga populație studiată.

Este util de precizat un aspect ce a creat multe confuzii ecologilor, datorită „pierderii în traducere”. Astfel, în engleză, termenul „*abundance*” se referă la acest parametru esențial al populațiilor, adică la densitate (număr de indivizi pe unitate de suprafață sau volum); pe cînd în românește, termenul „abundență”, uneori succedat de termenul „procentuală” denumește nu densitatea, ci procentul densității (procentul realizat de fiecare specie dintr-o comunitate de exemplu).

⇒ Dacă efectivul populațional trebuie estimat, așa cum se întîmplă în majoritatea cazurilor, densitatea populației poate fi exprimată în patru moduri (Henderson, 2003):

### 1. ca densitate absolută (absolute number, absolute population):

- definită ca numărul de organisme per unitate de suprafață sau volum;
- folosită de exemplu pentru vegetația ierboasă, planctonul lacurilor etc., unde o parte a habitatului este îndepărtată odată cu organismele ce vor fi ulterior numărate;

### 2. ca densitate relativă (relative number):

- reprezintă o estimare a densității ce nu poate fi legată de o unitate de suprafață sau habitat;
- metodele folosite în acest caz sunt diferite forme de capturare (*trapping*), în care numărul de indivizi prinși depinde și de alți factori în afară de densitatea populațională; de asemenea se practică raportarea „efort de captură” (*catch per unit time or effort*);
- se pot compara doar probe prelevate similar (din locuri diferite sau din același loc în perioade diferite);
- este folosită pentru studii de distribuție a speciilor, pentru monitorizarea schimbărilor în bogăția specifică, aprecieri de calitate a mediului sau pentru înregistrarea tiparelor (modelelor) de comportament a animalelor;

### 3. ca intensitate de atac (population intensity):

- reprezintă numărul de organisme per unitate de habitat, de exemplu per frunză, per plantă sau per gazdă;
- se folosește cînd densitatea populației depinde de disponibilitatea habitatului (plante, frunze, gazde);
- numărul de unități de habitat pe o anumită suprafață este variabil și trebuie și el estimat, iar o intensitate mare de „atac” poate reflecta fie o densitate mare fie o penurie de gazde;

#### 4. indicii populaționale (population indices):

- se folosesc atunci cînd organismele nu se pot număra, însă produsele sau efectele lor sunt vizibile (exuvii, cuiburi, polen, blană, fecale, distrugerea vegetației, urme etc.);
- se pretează de obicei la mamifere rare, greu de studiat datorită agresivității lor și/sau faptului că nu sunt obișnuite cu omul (de exemplu vidră, ris).

⇒ **Metoda pătratelor (quadrat counts)** este una din cele mai vechi metode în ecologie și este folosită pentru a estima densitatea absolută a organismelor, adică numărul de indivizi raportat la o unitate de suprafață sau volum. Prelevarea probelor presupune de obicei tehnici prin care o parte din habitat este colectată, împreună cu organismele-țintă, ce vor fi ulterior numărate. Principiul de bază al metodei, astfel, este unul simplu, deși inaplicabil tuturor populațiilor naturale, și anume: obținerea numărului de indivizi din fiecare suprafață prelevată („pătratele” amintite în denumirea metodei), urmată de extrapolarea acestuia la o unitate de suprafață sau volum acceptată în Sistemul Internațional (metru pătrat, metru cub, litru, hectar etc.).

Există două condiții principale ce trebuie îndeplinite pentru ca metoda pătratelor să se poată aplica cu succes: în primul rînd suprafața de pe care se face numărătoarea trebuie să fie cunoscută și în al doilea rînd organismele numărate trebuie să fie (relativ) imobile pe perioada numărătorii.

Este important de reținut faptul că de obicei estimările densității populaționale făcute prin metoda pătratelor vor fi mai mici decît valoarea reală a densității, deoarece eficiența de colectare a indivizilor este de regulă mai mică de 100% (Henderson, 2003). În plus, erorile de estimare se pot multiplica datorită necesității extrapolării valorilor obținute de pe un „pătrat” la întregul areal al populației. Totuși, în ciuda acestor aspecte, metoda pătratelor reprezintă una din cele mai exacte metode de estimare a efectivului populațional.

⇒ **Tehnicile de prelevare a probelor** diferă în funcție de populațiile studiate. Astfel, putem vorbi de:

**1. unități discrete de habitat, microhabitate (discrete habitat units)**, de exemplu diverși indivizi cu flori, sau dejecții de mamifere, sau fructe etc. Astfel, planta *Centaurea nemoralis* reprezintă microhabitatul de dezvoltare a unor comunități de insecte, deci dacă prelevăm un individ de *C. nemoralis*, putem studia comunitățile de insecte ca entități separate;

**2. pătrate - cadru (frame quadrats)** (fig. 2.3.A.), reprezintă una din cele mai des folosite tehnici, în special în ecologia vegetală. Pentru prelevare se folosesc cadre din diverse materiale (lemn, metal), de suprafețe cunoscute. În cazul populațiilor edafice, cadrul trebuie să aibă o anumită înălțime (egală cu adîncimea probei de sol pe care vrem să o prelevăm) și pe cît posibil trebuie să fie ascuțit la un capăt, pentru a face introducerea în sol mai ușoară; practic, acest cadru arată ca o cutie (de obicei de metal) fără capac și fund. Dacă numărarea efectivă a indivizilor din fiecare cadru este imposibilă, se folosește aprecierea acoperirii (*cover*), adică a procentului de teren ocupat de populația respectivă în pătratul ales. De multe ori, în cazul monitorizării pe areale extinse, se folosește scara **DAFOR** (**D** - dominant; **A** - abundent; **F** - frecvent; **O** - ocazional; **R** - rar; engl. *dominant, abundant, frequent, occasional, rare*);

**3. unități punctiforme (point quadrats)** (fig. 2.3.B.), folosite special pentru estimarea procentuală a densității de pe o suprafață. Se folosește ca aparatură o bară paralelă cu solul, așezată pe un suport, cu 10 găuri la distanțe

egale prin care se pot acționa 10 ace verticale. Specia atinsă de vârful fiecărui ac este notată, astfel că se vor face 10 notații per pătrat. În final, acoperirea procentuală a unei specii va fi dată de numărul de puncte notate pentru specie raportat la numărul total de puncte consemnate (\*100);

**4. carote (*core sampling*)**, reprezintă extragerea de probe din substratul mai mult sau mai puțin dur (de obicei sol, dar și gheață, turbă etc.). Carotele se prelevează cu dispozitive diverse, de la cele mai simple (cilindri cu dimensiuni cunoscute, pentru a putea calcula volumul probei) până la cele mai sofisticate. Modul de separare al organismelor-țintă din probele astfel prelevate este și el foarte divers și poate fi făcut prin: metode mecanice (cernerea și trierea manuală, o eventuală colorare prealabilă a indivizilor cu diferite soluții ca *Rose Bengal* de exemplu fiind foarte utilă), separarea prin flotație (dacă organismele diferă ca greutate specifică de restul materialului colectat), decantare sau metode dinamice sau de comportament (în care animalele încă vii sunt separate de materialele neviei prin diferite mecanisme ce țin de caracteristicile organismelor, cum ar fi deplasarea înspre sau dinspre lumină) (Southwood și Henderson, 2000);

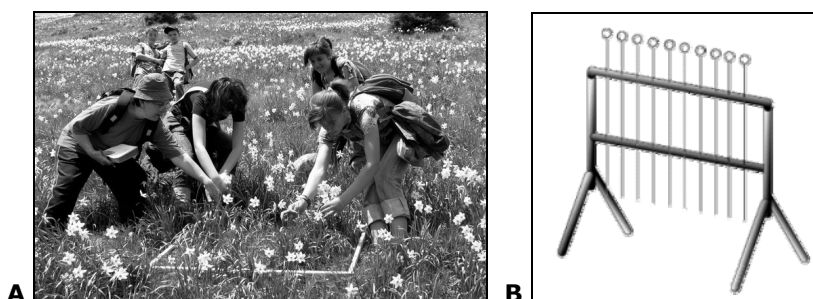


Fig. 2.3. **A.** Modul de lucru în cazul folosirii pătratelor - cadru (sursa: [www.ecorodna.ro](http://www.ecorodna.ro)); **B.** Aparatul pentru prelevarea datelor cu unități punctiforme (sursa: [www.cnr.uidaho.edu](http://www.cnr.uidaho.edu))

**5. aspiratoare (*suction samples*)**, se pretează cel mai bine la populațiile de nevertebrate din zonele înnierbate (fînețe, pajiști, pășuni). Principiul de bază este delimitarea unei zone cunoscute de teren, de pe care nevertebratele sunt aspirate în totalitate, folosind aparate speciale. De obicei această metodă dă rezultate optime în vegetație verticală de până la 15 cm, dar diverși factori pot afecta exactitatea datelor (viteza și direcția vîntului, viteza de delimitare a suprafeței ce urmează să fie aspirată etc.);

**6. tehnici adaptate pentru ecosistemele acvatice**, metoda pătratelor fiind adaptată cu succes mediului acvatic, indiferent dacă trebuie prelevate probe din masa apei (plancton) sau de pe fundul bazinelor (bentos). Pentru probe bentonice se folosesc cadre de metal (diverse bantometre, de exemplu cel de tip Surber) dacă adîncimea apei este mică, sau aparate de „smuls” substratul (*grab sampling*), acționate cu ajutorul frînghiilor și controlate prin diverse metode, la adîncimi mari (diverse modele de trolere sau de drăgi). Pentru probe din masa apei se folosesc diverse mecanisme de prelevare, cu volum cunoscut, acționate și controlate tot cu sistem de frînghii și/sau greutatea (sticle, tuburi, țevi ușoare, cutii cu uși rabatabile etc.);

**7. monitorizări aeriene (*aerial surveys*)**, se folosesc pentru organisme mari, vizibile ușor din zbor, ce trăiesc în zone deschise (de exemplu canguri,

antilope sau caribu), însă este necesară o aparatură specifică ce permite survolarea zonei și numărarea indivizilor.

⇒ **În ceea ce privește forma suprafețelor de colectare**, deși în titlatură metoda se numește „a pătratelor”, aceste suprafețe variază mult, de la pătrate, bineînțeles, la dreptunghiuri, cercuri, hexagoane sau chiar unități neregulate. În alegerea formei, trebuie să ținem cont de așa-numitul efect de margine, ce se referă la numărarea sau ignorarea indivizilor aflați pe marginile unității de probă. Dacă se ignoră acest aspect, erorile apărute în numărători pot fi foarte mari. De obicei, cu cât este mai mare suprafața unității de probă, raportată la talia organismelor-țintă, cu atât efectul de margine va fi mai mic. Pentru contracararea acestui efect se practică o definiție în prealabil a modului de lucru; de exemplu, se convine de la început că doar indivizii aflați pe marginea de sus și stînga vor fi numărați.

Unele forme ale unităților de probă, ca cercul, pot reduce erorile legate de efectele de margine. Totuși, dacă o zonă este împărțită în mai multe subunități din care se vor alege randomizat cele de unde se vor preleva probele, forma circulară este nepractică datorită golurilor create.

Nu există o rețea universal-valabilă în alegerea formei unităților de probă, dar e bine de știut că forma cea mai recomandată pentru surprinderea heterogenității habitatului este cea de dreptunghi lung și subțire, ce poate traversa mai multe microhabitate.

⇒ **Suprafața optimă a „pătratului”** depinde de biocenoza analizată. Din nou nu se pot face aprecieri generale, însă există în literatura de specialitate recomandări pentru diverse populații, de exemplu: se folosește suprafața de 1 m<sup>2</sup> pentru ierburi (1 m × 1 m), 10 m<sup>2</sup> pentru tufișuri (5 m × 2 m), 100 m<sup>2</sup> pentru păduri (10 m × 10 m) sau 0,1 m<sup>2</sup> pentru fauna edafică (10 cm × 10 cm). În general, e mai bine să colectăm mai multe probe mici decît mai puține mari. Avantajele acestei abordări ar fi un nivel mai mare de reproducibilitate și posibilitatea de a ne face o idee despre microhabitatele favorabile pentru populația studiată, pe cînd principalul dezavantaj ar fi numeroasele valori de 0 indivizi pe care am putea să le obținem astfel (*log0* de exemplu nu se poate calcula).

Există metode de estimare a suprafeței și formei optime a „pătratelor”, ce țin cont de parametrii statistici ai fiecărui „pătrat” (media, deviația standard, eroarea standard), dar și de variabilitatea relativă a habitatului sau de costurile relative de prelevare a probelor (de exemplu metoda Wiegert, 1962, descrisă în Krebs, 1999).

⇒ **Etapele urmate în aplicarea metodei pătratelor pentru estimarea densității populaționale (Krebs, 1999) sunt:**

**1. stabilirea dimensiunilor și formei „pătratelor”** (a unităților de probă), în funcție de biocenoza studiată; toate „pătratele” trebuie să aibă aceleași dimensiuni și aceeași formă, pe toată durata de desfășurare a studiului;

**2. documentarea cu privire la zona de studiu, ce include:**

- studierea unor hărți topografice cît mai detaliate;
- suprapunerea unei rețele de carioaje peste hărțile topografice (carioaje de forma aleasă pentru „pătrate”);
- alegerea în mod randomizat a „pătratelor” din care se vor lua probe;

- se poate alege varianta unui studiu pilot, ce să ofere informații suplimentare celor regăsită în hărți (accesul la zonele alese, prezența obstacolelor etc.);

**3. prelevarea probelor și sintetizarea datelor brute:** în fiecare „pătrat” considerat randomizat se identifică speciile-țintă și se numără indivizii din acestea; se întocmește un tabel;

**4. calcularea densității absolute,** ce reprezintă numărul mediu de indivizi per suprafață sau volum;

**4.a) calcularea formulei:**  $D_i = \frac{\bar{x}_i}{S}$ , unde  $\bar{x}$  = media aritmetică a indivizilor din specia  $i$  prelevați cu ajutorul „pătratelor”;  $S$  = deviația standard;

- media aritmetică are formula:  $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$ , unde  $x_i$  = numărul de indivizi din specia  $i$  din fiecare „pătrat”;  $n$  = numărul de „pătrate” considerate;

- deviația standard (ce arată cât de „larg” sunt distribuite valorile față de medie)

are formula:  $S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n-1)}}$ , unde  $x$  și  $n$  au aceleași semnificații ca mai

sus, iar  $(n - 1)$  se folosește de obicei în locul lui  $n$  în cazul probelor mai mici de 30 ( $n < 30$ );

**4.b) calcularea limitelor de confidență ale mediei aritmetice:** fiind o valoare estimată, media aritmetică trebuie să fie inclusă într-un interval de siguranță, de confidență ( $\bar{x} \pm \dots$ ):  $\bar{x} \pm t * ES$ , unde  $t$  = valoarea din tabel a parametrului  $t$ , la gradele de libertate  $m = n - 1$  pentru probe mai mici de 60 ( $n < 60$ );  $ES$  = eroarea standard, dată de deviația standard raportată la  $\sqrt{n}$ . Altfel scris, limitele de confidență ale mediei aritmetice

sunt:  $\bar{x} \pm t * \frac{S}{\sqrt{n}}$ , unde  $S$  = deviația standard iar  $n$  = numărul de „pătrate” considerate;

**5. calcularea altor indici pe baza datelor brute colectate:**

**5.1. densitatea procentuală, sau abundența procentuală,** ce reprezintă numărul de indivizi dintr-o specie raportat la numărul total de indivizi ai tuturor speciilor din comunitatea studiată (în cazul în care studiul nu a

vizat o singură populație), după formula:  $DP_i = \frac{D_i}{\sum D}$ , unde  $DP_i$  =

densitatea procentuală a speciei  $i$ ;  $D_i$  = densitatea absolută a speciei  $i$ ;  $\sum D$  = suma densităților tuturor speciilor din comunitatea studiată.

Valoarea finală a parametrului  $DP_i$  va fi o proporție (încadrată între 0 și 1), iar dacă o înmulțim cu 100 va fi exprimată în procente;

**5.2. frecvența**, ce reprezintă proporția de „pătrate” în care a apărut specia  $i$  din totalul „pătraterelor” colectate; are valoare ecologică mai mare (informațiile oferite de acest indice sunt mai importante) la un număr mare

de „pătrate”; se calculează după formula:  $F_i = \frac{f_i}{n}$ , unde  $F_i$  = frecvența speciei  $i$ ;  $f_i$  = numărul de „pătrate” în care a apărut specia  $i$ ;  $n$  = numărul total de „pătrate” considerate.

⇒ **EXERCITIU:**

Estimați densitatea absolută a trei specii de plante (specia 1 - *Filipendula* sp.; specia 2 - *Ranunculus* sp.; specia 3 - *Lathyrus* sp.) dintr-o pajiște naturală, folosind metoda pătratelor. Datele brute au fost colectate din 16 pătrate cu suprafața de 1 m<sup>2</sup>. Considerînd că întreaga comunitate se compune din cele trei specii, estimați densitatea procentuală. Care este specia cu frecvența cea mai mare din cele trei analizate?

Datele brute pentru cele trei specii de plante sunt următoarele:

		pătrate													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M		
1	pătrate	sp 1	sp 2	sp 3											
2	1	4	0	0											
3	2	4	0	0											
4	3	1	1	0											
5	4	3	0	1											
6	5	2	1	0											
7	6	4	0	2											
8	7	1	1	0											
9	8	1	1	1											
10	9	2	1	0											
11	10	2	1	0											
12	11	3	1	0											
13	12	1	1	0											
14	13	1	0	0											
15	14	0	1	1											
16	15	1	2	0											
17	16	1	0	0											
18															
19															
20															

Pentru calcularea densității absolute trebuie să aflăm media aritmetică. Avînd în vedere faptul că fiecare pătrat a avut suprafața de 1 m<sup>2</sup>, media aritmetică reprezintă chiar densitatea absolută a speciei.

The screenshot shows the same data table as above. In cell E1, the formula **=AVERAGE(B2:B17)** is entered. The 'Function Arguments' dialog box is open, showing the following details:

- Function:** AVERAGE
- Number1:** B2:B17 (Range: {=4;1;3;2;4;1;1;2;1;1;2;1;1;1;0})
- Number2:** (empty)
- Result:** = 1,9375
- Description:** Returns the average (arithmetic mean) of its arguments, which can be numbers or names, arrays, or references that contain numbers.
- Formula result =** 1,9375

Prin extrapolare, aflăm densitățile absolute pentru toate cele trei speciile analizate, astfel că densitatea speciei 1 este de 1,9375 indivizi/m<sup>2</sup>; densitatea speciei 2 este de 0,6875 ind./m<sup>2</sup> iar densitatea speciei 3 este de 0,3125 ind./m<sup>2</sup>.

Deoarece aceste valori ale densității sunt estimate (nu provin din recensământul populației, adică numărarea fiecărui individ), va trebui să calculăm intervalul de siguranță al mediei aritmetice, adică limitele de confidență. Avem nevoie de valoarea deviației standard (notată mai jos ds), ce se poate calcula accesînd formula *STDEV* presetată în *Excel* (prin meniul *INSERT FUNCTION*).

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	pătrate	sp 1	sp 2	sp 3	med sp1	med sp2	med sp3						
2	1	4	0	0	1,9375	0,6875	0,3125						
3	2	4	0	0									
4	3	1	1	0									
5	4	3	0	1									
6	5	2	1	0									
7	6	4	0	2									
8	7	1	1	0									
9	8	1	1	1									
10	9	2	1	0									
11	10	2	1	0									
12	11	3	1	0									
13	12	1	1	0									
14	13	1	0	0									
15	14	0	1	1									
16	15	1	2	0									
17	16	1	0	0									
18													
19													
20													

The screenshot shows the same Excel spreadsheet as above, but with the *STDEV* function applied to the data. The formula bar shows *=STDEV(B2:B17)*. A dialog box titled "Function Arguments" is open, showing the following details:

- Function: *STDEV*
- Number1: B2:B17
- Number2: (empty)
- Formula result: 1,289379696

The spreadsheet data is identical to the previous screenshot, but the cell H2 now contains the value 1,289379696.

Pentru calcularea limitelor de confidență (notate mai jos cu LC), putem accesa din nou funcțiile presetate în *Excel*, de data aceasta alegînd funcția *CONFIDENCE*. Pentru calculul acestei funcții, trebuie să setăm *Alpha* (pragul de semnificație *p*, care de cele mai multe ori este 5%, adică 0,05), deviația standard, care în cazul nostru se află în celula H2 și în fine dimensiunea probei, adică numărul de observații, care în cazul nostru este de 16 (16 pătrate au fost considerate). De reținut este că la valoarea  $p = 0,05$  (5%), limita de confidență de 95% arată că în 95 de cazuri din 100 limita calculată va conține media respectivă.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	pătrate	sp 1	sp 2	sp 3	med sp 1	med sp 2	med sp 3	ds sp 1	ds sp 2	ds sp 3	LC sp 1		
2	1	4	0	0	1,9375	0,6875	0,3125	1,26938	0,60208	0,60208	=CONFIDENCE(0,05;H2;16)		
3	2	4	0	0									
4	3	1	1	0									
5	4	3	0	1									
6	5	2	1	0									
7	6	4	0	2									
8	7	1	1	0									
9	8	1	1	1									
10	9	2	1	0									
11	10	2	1	0									
12	11	3	1	0									
13	12	1	1	0									
14	13	1	0	0									
15	14	0	1	1									
16	15	1	2	0									
17	16	1	0	0									

The CONFIDENCE dialog box shows the following arguments:

- Alpha: 0,05
- Standard\_dev: H2
- Size: 16

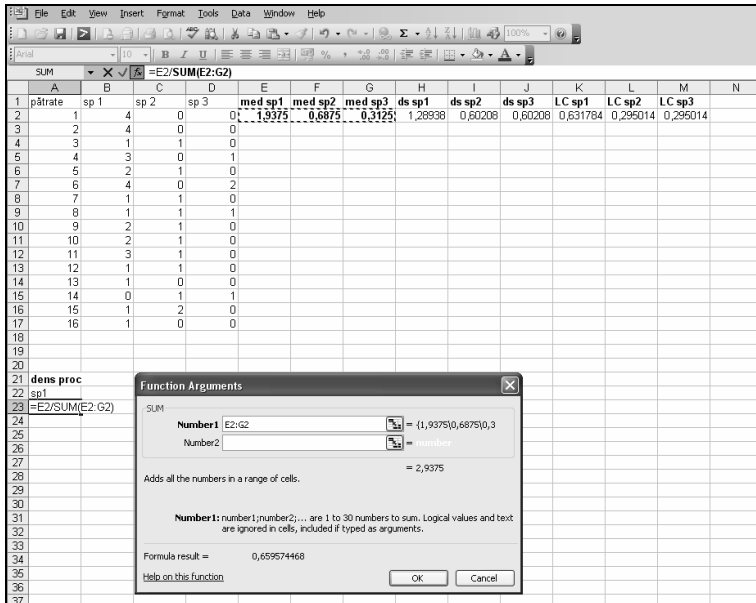
Formula result = 0,631784442

The screenshot shows the same Excel spreadsheet with the following data:

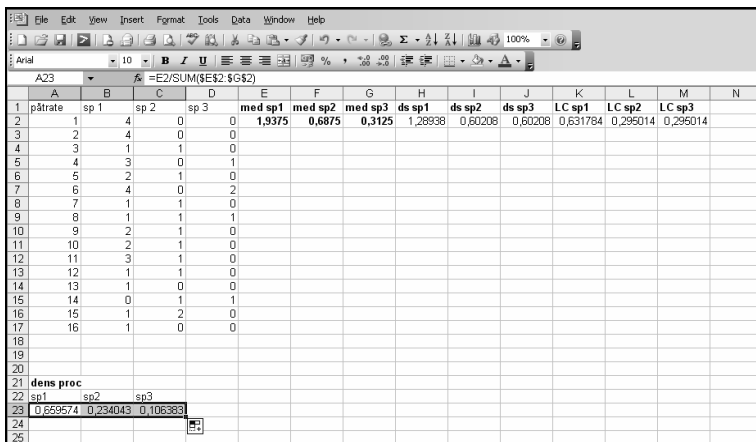
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	pătrate	sp 1	sp 2	sp 3	med sp 1	med sp 2	med sp 3	ds sp 1	ds sp 2	ds sp 3	LC sp 1	LC sp 2	LC sp 3
2	1	4	0	0	1,9375	0,6875	0,3125	1,26938	0,60208	0,60208	0,631784	0,295014	0,295014
3	2	4	0	0									
4	3	1	1	0									
5	4	3	0	1									
6	5	2	1	0									
7	6	4	0	2									
8	7	1	1	0									
9	8	1	1	1									
10	9	2	1	0									
11	10	2	1	0									
12	11	3	1	0									
13	12	1	1	0									
14	13	1	0	0									
15	14	0	1	1									
16	15	1	2	0									
17	16	1	0	0									

Astfel, dacă luăm valorile cu doar două zecimale, pentru simplificare, spunem că specia 1, *Filipendula* sp., are o densitate absolută de  $1,94 \text{ ind./m}^2 \pm 0,63$ . Cu alte cuvinte, media aritmetică și în cazul nostru densitatea speciei, poate varia în intervalul 1,31 și  $2,57 \text{ ind./m}^2$ . Similar, densitatea speciei 2 este de  $0,69 \text{ ind./m}^2 \pm 0,3$  (intervalul de variație este de la 0,39 la 0,99) iar densitatea speciei 3 este de  $0,31 \text{ ind./m}^2 \pm 0,3$  (intervalul de variație este de la 0,01 la 0,61).

Dacă plecăm de la premisa că cele trei specii studiate formează o comunitate, putem calcula densitatea procentuală a fiecăreia.



Aplicând formula și extrapolând la toate speciile studiate, obținem următoarele proporții: specia 1 = 0,66; specia 2 = 0,23 și specia 3 = 0,11; adică vom avea următoarele procente: specia 1 = 66%; specia 2 = 23% și specia 3 = 11% (totalul trebuie să fie 100%).



În mod logic, specia cu cea mai mare densitate absolută și procentuală (în cazul nostru *Filipendula* sp.) va avea și cea mai mare frecvență. Din moment ce această specie a fost prezentă în 15 pătrate din 16, formula de calcul va fi:  $(15/16)*100$ , adică *Filipendula* sp. va avea o frecvență de 93,75%.

## 2.3. Estimarea efectivului populațional: metode de marcarea și recapturare

Așa-numitele metode de marcarea și recapturare (*mark-recapture methods*) se folosesc pentru estimarea densității populațiilor cu indivizi mobili, ce sunt (relativ) ușor de capturat fără a cauza daune însemnate animalelor și care au efective populaționale ce nu depășesc 1000 de exemplare. Principiul de bază de la care pleacă toate metodele de marcarea și recapturare este prelevarea inițială a unei probe din populație, numărarea indivizilor prinși, marcarea lor cu diferite mărci și eliberarea lor în populație. Prelevarea unei (sau a mai multor) probe ulterioare permite estimări referitoare la efectivul populațional, din proporțiile indivizilor marcați și a celor nemarcați regăsiți.

Metodele de marcarea și recapturare nu pot fi folosite pentru populații cu efective foarte mari deoarece o valoare apropiată de 20% din populație ar trebui capturată, marcată și eliberată pentru a avea o estimare relativ exactă a densității (Henderson, 2003).

Există totuși două avantaje majore ce recomandă aplicarea metodelor de marcarea și recapturare: în primul rând se pot obține și date despre intrările și ieșirile de indivizi din populație, pe lângă estimarea densității; iar în al doilea rând, acuratețea valorilor obținute nu depinde de mărimea probelor. Pe de altă parte, utilizarea acestor metode în estimarea densității populaționale necesită un efort considerabil și mult timp. De asemenea, pentru aplicarea acestor metode se pleacă de la o serie de presupuneri despre populația studiată, presupuneri ce pot sau nu să fie corecte:

- indivizii marcați nu sunt afectați ca urmare a mărcării și mărcile nu sunt pierdute;
- probabilitatea de captură a unui individ marcat este aceeași cu probabilitatea capturării oricărui alt individ, indiferent de vîrstă sau sex;
- indivizii marcați se răspîndesc la întîmplare în interiorul populației;
- capturarea multiplă a unui individ nu afectează probabilitatea de captură ulterioară;
- fiecare individ marcat (indiferent de numărul mărcilor pe care le poartă, vîrstă sau sex) păstrează aceeași probabilitate de supraviețuire pe toată perioada prelevărilor.

Pentru aplicarea acestei metode, populațiile naturale se consideră a fi închise sau deschise. Populațiile închise sunt cele în care nu există modificări de efectiv pe perioada de studiu (adică nu există natalitate, mortalitate, imigrare sau emigrare); pe cînd populațiile deschise sunt cele care își schimbă numărul pe perioada de studiu. În natură, populațiile sunt închise doar pe perioade scurte de timp.

⇒ **Principiul general al metodelor de marcarea și recapturare** pleacă de la prelevarea inițială a unei probe din populație (proba I), cînd indivizii capturați sunt numărați, marcați cu o marcă specifică și sunt eliberați, urmînd să se răspîndească în mod uniform printre ceilalți indivizi ai populației. După un anumit timp, ce diferă de la populație la populație, în funcție de durata ciclului de viață, se prelevează o nouă probă (proba II), în care vom avea și indivizi nemarcați, dar și indivizi marcați (din cei capturați și eliberați în proba I).

Raportul obținut din împărțirea numărului de indivizi marcați din proba II la numărul total de indivizi (marcați și nemarcați) din proba II poate fi comparat cu raportul obținut din împărțirea numărului de indivizi din proba I la efectivul total al populației (ce devine ușor de calculat din primele trei valori).

Putem afirma, la modul general, că dacă proporția indivizilor marcați din proba II este mare, atunci populația e destul de mică, iar dacă proporția marcaților este mică, atunci populația este numeroasă.

⇒ **Metodele de marcarea a indivizilor unei populații** cuprind tehnici pentru marcarea populației ca grup (*batch techniques*; engl. *batch* = grup), cum ar fi aplicarea de culori pe suprafața corpului animalelor și tehnici pentru marcarea separată a indivizilor (*tagging techniques*; engl. *to tag* = a eticheta), de exemplu atașarea de numere la mamifere. Marcarea indivizilor nu ar trebui să afecteze în nici un fel creșterea, longevitatea sau comportamentul animalelor. De asemenea nu ar trebui să afecteze vulnerabilitatea în fața prădătorilor, prin scăderea eficienței camuflajului. Marcajul trebuie să fie durabil (în cazul multor specii de nevertebrate el poate fi pierdut prin năpîrlire de exemplu), trebuie să fie ușor detectabil de cercetător, să fie ușor de aplicat și să nu fie toxic pentru animal.

Cele mai folosite metode de marcarea sunt: aplicarea de numere, culori, simboluri (fig. 2.4.), folosirea diferitelor etichete cum ar fi plăcuțe sau inele, radio-emitoare (*PIT tags - Passive Integrated Transponder*; engl. *transponder* = transmițător radio) (fig. 2.5.). Se mai pot folosi: mutilarea (de exemplu tăierea degetelor - *toe clipping*, la mici mamifere, broaște etc.) sau ingerarea de izotopi radioactivi (cu acumularea ulterioară în țesuturi), ce produc radiații gamma și care au un timp de înjumătățire mic (ce se pretează animalelor edafice de exemplu), însă aceste metode sunt destul de invazive și pot dăuna indivizilor marcați. Pentru indivizii ce pot fi recunoscuți după un anumit caracter se folosesc imagini digitale (*pattern mapping*) (fig. 2.6.), aceste tehnici non-invazive pretîndu-se pentru populații de amfibieni, de șerpi, balene etc.

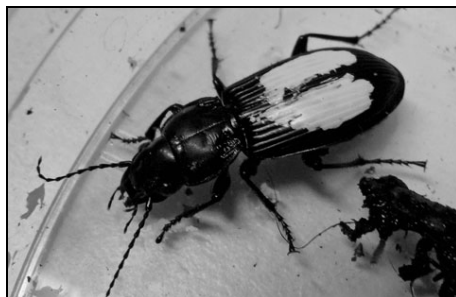


Fig. 2.4. Marcarea populației de *Pterostichus melanarius* (Coleoptera: Carabidae) în Suedia (sursa: <http://sustainability.formas.se>)

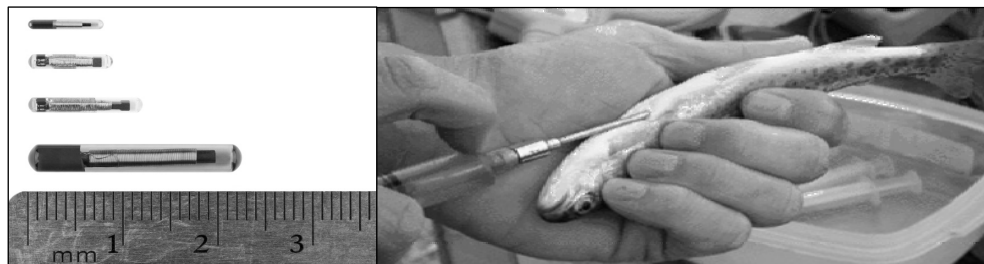


Fig. 2.5. Marcarea cu radio-emitoare (surse: <http://www.biomark.com>; <http://www.switched.com>)

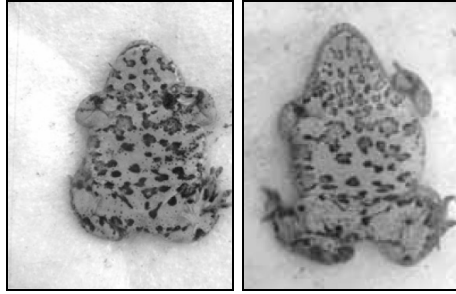


Fig. 2.6. Recunoașterea aceluiași individ de *Bombina variegata* capturat ca subadult (stînga) și ca adult (dreapta) (din Plăiașu și colab., 2005)

### Metoda Lincoln (1930)

Se suprapune practic peste principiul general al tuturor metodelor de marcare-recapturare. Sunt necesare două prelevări, la momentul inițial  $i$  și la un moment ulterior,  $i+1$ . Astfel, avem  $\frac{n_i}{N_i} = \frac{m_{i+1}}{n_{i+1}}$ , unde  $n_i$  = numărul de indivizi

capturați, marcați și eliberați la momentul  $i$ ;  $m_{i+1}$  = numărul de indivizi marcați și recaptați în proba a doua, prelevată la momentul  $i+1$ ;  $n_{i+1}$  = numărul total de indivizi în proba a doua, prelevată la momentul  $i+1$  iar  $N_i$  = **mărimea populației la momentul  $i$** , adică exact ceea ce ne interesează. În continuare,

$N_i = \frac{n_i n_{i+1}}{m_{i+1}}$ . Metoda presupune că în intervalul dintre momentele de prelevare a

probelor nu au loc intrări și ieșiri de indivizi din populație (populația este închisă), ceea ce reprezintă un dezavantaj deoarece în populațiile naturale acest lucru se întâmplă pe perioade foarte scurte de timp.

### Metoda triplei capturi (Bailey, 1951)

În cazul acestei metode, toți indivizii prezenți în a doua probă (rezultată din a doua captură) vor fi marcați cu un nou tip de marcă, diferit de cel folosit la momentul 1. Astfel, în proba a treia vom avea patru categorii de indivizi; și anume: indivizi nemarcați, indivizi care poartă marca specifică primei prelevări, indivizi care poartă marca specifică aplicată la a doua prelevare și indivizi care au ambele categorii de mărci.

Intervalul dintre prelevări poate avea lungime variabilă, cu condiția ca el să fie suficient de mare pentru a permite amestecarea indivizilor marcați cu ceilalți indivizi ai populației și suficient de scurt pentru a nu permite eliminarea (prin mortalitate sau emigrare) a unui număr prea mare de indivizi marcați.

Considerînd că probele au fost prelevate în momentele 1, 2 și 3, atunci efectivul populației în ziua a doua este estimat după relația:  $\hat{N}_2 = \frac{a_2 n_2 r_{31}}{r_{21} r_{32}}$ ;

unde:  $a_2$  = numărul de indivizi marcați și eliberați în momentul 2;  $n_2$  = numărul total de indivizi capturați la momentul 2;  $r$  = numărul de indivizi recaptați, cu primul indice reprezentînd momentul capturii și cel de-al doilea momentul marcării ( $r_{21}$  = numărul indivizilor capturați la momentul 2 care au fost marcați la momentul 1).

Metoda ia în considerare doar numărul de mărci și ca urmare, același individ poate prezenta ambele mărci aplicate la momentul 1 și 2, fiind numărat atât pentru termentul  $r_{31}$  cât și pentru  $r_{32}$ .

Principala limitare a metodei constă în faptul că se bazează pe ipoteza că ratele mortalității și natalității sunt constante. Avînd în vedere că intervalul de timp în care se face estimarea este relativ scurt, această ipoteză este mai probabilă decît în cazul în care metoda ar presupune mai multe recapturări și deci interval de timp mai mare.

### **Metoda Jolly-Seber (1965) (Jolly, 1965)**

Metoda se bazează pe principiul recapturării multiple și ia în considerare fluctuațiile probabile ale parametrilor unei populații. Se aplică pentru populații deschise.

Se extrag succesiv cel puțin trei probe din populație. Indivizii sunt marcați cu mărci specifice pentru fiecare moment de capturare. Pentru fiecare probă se determină numărul de indivizi marcați și nemarcați, după care toți indivizii din probă sunt marcați din nou și eliberați în populație.

Cel mai important aspect în acest caz este să putem răspunde, pentru fiecare individ marcat din probă, la întrebarea: *Cînd a fost capturat ultima dată acest individ marcat?*

Probele sunt de obicei punctuale și acoperă durate mici, fiind separate de perioade lungi de următoarea probă. Intervalul de timp dintre probe nu trebuie să fie constant și orice număr de probe poate fi luat în considerare, astfel că pot fi valabile în cazul acestei metode date ce se extind de-a lungul mai multor ani.

Și metoda Jolly-Seber pleacă de la niște prezumții, considerate adevărate *a priori*. În primul rînd, se consideră că fiecare individ (marcat sau nemarcat) are aceeași probabilitate de a fi capturat; de asemenea, toți indivizii marcați au aceeași probabilitate de a supraviețui între momentele  $t$  și  $t+1$ . În plus, se consideră de la început că indivizii marcați nu-și pierd mărcile și că acestea sunt depistate ușor în momentul capturii. Și în fine, perioada de prelevare pentru această metodă e mică în comparație cu intervalul de timp dintre probe.

⇒ **Procedura de estimare a densității prin metoda de marcarea-recapturare Jolly-Seber (Krebs, 1999) include mai multe etape:**

#### **1. Prezentare datelor folosite în calcule:**

Pentru simplificare, se vor folosi date despre efectivul unei populații de rozătoare, *Microtus pennsylvanicus* din Yukon, Canada (Leslie și Chitty, 1951, din Krebs, 1999). Autorii au luat o serie de 11 probe din populație, fiecare probă fiind colectată pe parcursul a 2 zile iar intervalul dintre probe a fost de obicei de 2 săptămîni.

În primul rînd, toți indivizii din prima probă sunt nemarcați. Pentru următoarele probe, captura totală se împarte în indivizi nemarcați și indivizi marcați. Pentru aceștia din urmă se pune întrebarea prezenată anterior; și anume *cînd au fost capturați ultima dată?* Răspunsurile la această întrebare sunt detalitate într-o fișă de lucru:

Momentul ultimei capturi:	Momentul capturii										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		15	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2			15	0	1	0	0	0	0	0	0
3				37	2	0	0	0	0	0	0
4					61	4	1	1	0	0	0
5						75	3	2	0	0	0
6							77	4	0	0	0
7								69	0	0	0
8									8	1	0
9										14	0
10											19
<b>total marcați (<math>m_t</math>)</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>37</b>	<b>64</b>	<b>79</b>	<b>81</b>	<b>76</b>	<b>8</b>	<b>15</b>	<b>19</b>
<b>total nemarkați (<math>u_t</math>)</b>	<b>22</b>	<b>26</b>	<b>32</b>	<b>45</b>	<b>25</b>	<b>22</b>	<b>26</b>	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>3</b>
<b>total capturați (<math>n_t</math>)</b>	<b>22</b>	<b>41</b>	<b>48</b>	<b>82</b>	<b>89</b>	<b>101</b>	<b>107</b>	<b>91</b>	<b>19</b>	<b>27</b>	<b>22</b>
<b>total eliberați (<math>s_t</math>)</b>	<b>21</b>	<b>41</b>	<b>46</b>	<b>82</b>	<b>88</b>	<b>99</b>	<b>106</b>	<b>90</b>	<b>19</b>	<b>26</b>	<b>22</b>

Explicația fișei de lucru: Valorile dispuse în triunghi reprezintă indivizii marcați capturați în cele 11 momente de prelevare a probelor, prima probă neavând indivizi marcați. Momentul ultimei capturi reprezintă momentul capturii anterioare și există doar 10 deoarece nu avem nici o captură înaintea primei probe. În proba a doua toți cei 15 indivizi marcați au fost prinși în prima probă. Dar în a treia probă, indivizii macați capturați au fost marcați prima dată (1 individ) și a doua dată (15 indivizi). Astfel, indivizii marcați pot evita capturarea pentru o perioadă sau mai multe de capturare. Într-un program de lungă durată, cei mai mulți indivizi marcați prinși vor purta marca momentului de marcare anterior, aparînd pe diagonala tabelului.

Sub tabelul de lucru sunt trecute următoarele variabile:  $m_t$  = numărul de indivizi marcați, capturați în proba  $t$  (la momentul  $t$ );  $u_t$  = numărul de indivizi nemarkați capturați în proba  $t$ ;  $n_t$  = numărul total de indivizi capturați în proba  $t$  ( $n_t = m_t + u_t$ );  $s_t$  = numărul total de indivizi eliberați după momentul  $t$ ;  $s_t = n_t -$  indivizi eliminați accidental din populație (morți sau evadați).

Mai sunt necesare încă 2 variabile pentru a estima densitatea:  $R_t$  = numărul de indivizi eliberați la momentul  $t$  (cu marca  $t$ ) și capturați din nou în probele ulterioare și  $Z_t$  = numărul de indivizi marcați înainte de proba  $t$ , necapтураți în proba  $t$ , dar capturați în probele ulterioare; indivizi care au evitat capturarea în proba  $t$  dar au supraviețuit (pentru că au apărut ulterior). De exemplu,  $R_6 = 77+4+0+0+0 = 81$  rozătoare iar  $Z_6 = 3+2+1+1 = 7$  indivizi care au evitat capturarea în proba  $t$  și au supraviețuit pentru că au apărut ulterior.

**2. Estimarea efectivului populației** din relația:  $N_t = \frac{M_t}{\alpha_t}$ , unde  $N_t$  = efectivul

populației la momentul  $t$ ;  $M_t$  = efectivul populației marcate;  $\alpha_t$  = proporția de animale marcate.

Efectivul populației marcate ( $M_t$ ) este mai greu de estimat, deoarece există două componente ale populației marcate la orice moment de captură: (1) animalele marcate capturate și (2) animalele marcate prezente dar necapturate în proba  $t$ . Seber (1982) a arătat că efectivul populației marcate

ar putea fi estimate astfel:  $M_t = \frac{(s_t + 1)Z_t}{R_t + 1} + m_t$ , unde  $M_t$  = efectivul

populației marcate la momentul  $t$ ;  $s_t$  = numărul total de indivizi eliberați;  $Z_t$  = numărul de indivizi care au evitat capturarea în proba  $t$  dar au supraviețuit (au apărut ulterior);  $R_t$  = numărul de indivizi eliberați la momentul  $t$  (cu marca  $t$ ) și capturați din nou în probele ulterioare;  $m_t$  = numărul de indivizi marcați.

Parametrul  $\alpha_t = \frac{m_t + 1}{n_t + 1}$ , unde  $m_t$  = numărul de indivizi marcați;  $n_t$  =

numărul total de indivizi capturați în proba  $t$  ( $m_t + u_t$ ); iar „+1” este o corecție pentru numărul mic de animale din probe (Seber, 1982).

Limitele de confidență ale estimatei densității populaționale se pot calcula, de exemplu, prin metoda Manly (1984), folosind transformarea estimatei densității ( $T_1(N_t)$ ), varianța sa și limita de 95% confidență minimă și maximă pentru  $T_1$  ( $T_{1L}$  și  $T_{1U}$ ,  $L$  - lower;  $U$  - upper), în final obținând limite de confidență asimetrice pentru estimata densității (vezi Krebs, 1999).

### 3. Estimarea ratei de intrare și ieșire a indivizilor în/din populație reprezintă un bonus suplimentar al metodei Jolly-Seber.

**3.a) rata de ieșire a indivizilor din populație:** se estimeza indirect, prin aproximarea parametrului  $\phi$  ( $\Phi_t$ ) = probabilitatea supraviețuirii unui individ din momentul prelevării  $t$  pînă în momentul prelevării  $t+1$ ;

$$\phi_t = \frac{\text{efectivul pop. marcate la începutul momentului } t + 1}{\text{efectivul pop. marcate la finele momentului } t + 1}.$$

Populația marcată crește de-a lungul prelevărilor, odată cu marcarea și eliberarea altor indivizi. Astfel că efectivul populației marcate la sfîrșitul momentului de prelevare  $t$  include indivizii marcați aflați în viață la începutul lui  $t$  plus indivizii nou marcați în timpul momentului de prelevare  $t$ , sau:

$$\phi_t = \frac{M_{t+1}}{M_t + (s_t - m_t)}, \text{ unde } \Phi (\phi) = \text{probabilitatea supraviețuirii unui individ}$$

din momentul  $t$  pînă în momentul  $t+1$ ;  $M_{t+1}$  = efectivul populației marcate la momentul  $t+1$ ;  $M_t + (s_t - m_t)$  = efectivul populației marcate la sfîrșitul momentului de prelevare  $t$ .

Aceasta formulă este corectată pentru orice moarte sau eliminare accidentală în momentul  $t$  de prelevare. Se observă că probabilitatea de supraviețuire depinde doar de populația marcată, astfel, în acest context, a supraviețui înseamnă a rămîne în viață în arealul studiat (indivizii ce emigrează sunt considerați pierderi, similar cu cei care mor).

Atunci cînd nu există pierderi,  $\Phi_t = 1$ .

**3.b) rata intrărilor în populație:** poate fi exprimată ca număr de indivizi, astfel:  $B_t =$  numărul de noi indivizi ce s-au alăturat populației între momentul  $t$  și  $t+1$  și sunt încă în viață în momentul  $t+1$ . Se calculează după formula:  $B_t = N_{t+1} - \phi_t [N_t - (n_t - s_t)]$ , unde  $N =$  efectivul populațional;  $t =$  momentul  $t$ ;  $t+1 =$  momentul  $t+1$ ;  $n_t =$  numărul total de indivizi capturați în proba  $t$ ;  $s_t =$  numărul total de indivizi eliberați.

Atunci cînd nu există pierderi ( $\Phi_t = 1$ ) și nici intrări ( $B_t = 0$ ), populația rămîne constantă.

Este important de amintit că estimările parametrilor  $N_t$ ,  $\Phi_t$  și  $B_t$  nu sunt estimări independente, ci sunt interconectate, astfel că dacă una din ele este greșită, valorile celorlalte nu mai sunt veritabile. Efectivul populației și rata intrărilor ( $N_t$  și  $B_t$ ) nu pot fi estimate pentru prima probă, așa cum majoritatea parametrilor nu pot fi estimați pentru ultima probă. De aceea, studiile populaționale realizate prin metoda Jolly-Seber trebuie să fie planificate în așa fel încît să înceapă înainte de perioadele de interes și să se extindă de-a lungul unei perioade ce să includă cel puțin 2 probe după ultimul moment de interes.

⇒ Astfel, pentru estimarea cu metoda Jolly-Seber a parametrilor populației de *Microtus pennsylvanicus* bazate pe datele colectate de Leslie și Chitty (1951) rezultatele sunt sintetizate în tabelul 2.2. Parametrii populației se referă la efectiv ( $N$ ), probabilitatea de supraviețuire  $\Phi_t$  (rata pierderilor indivizilor din populație) și numărul de intrări în populație.

Tabel 2.2. Parametrii populației de *Microtus pennsylvanicus* ( $\alpha_t$  - proporția marcată;  $M_t$  - efectivul populației marcate;  $N_t$  - efectivul estimat al populației;  $\Phi_t$  - probabilitatea de supraviețuire;  $B_t$  - numărul de indivizi intrați în populație) (Leslie și Chitty, 1951)

Momentul capturii	<b>R</b>	<b>Z</b>	$\alpha_t$	<b>M<sub>t</sub></b>	<b>N<sub>t</sub></b>	$\Phi_t$	<b>B<sub>t</sub></b>
1	<b>16</b>	-	0,04	-	-	-	-
2	<b>16</b>	<b>1</b>	0,4	17,5	<b>45,9</b>	0,4	31,4
3	<b>39</b>	<b>1</b>	0,4	17,2	<b>49,5</b>	0,9	47,9
4	<b>67</b>	<b>3</b>	0,5	40,7	<b>88,8</b>	0,8	24,6
5	<b>80</b>	<b>6</b>	0,7	70,5	<b>97,7</b>	0,9	22,1
6	<b>81</b>	<b>7</b>	0,8	87,5	<b>111,6</b>	0,9	27,3
7	<b>69</b>	<b>7</b>	0,8	91,7	<b>120,8</b>	0,7	12,8
8	<b>9</b>	<b>0</b>	0,8	76	<b>90,8</b>	0,1	11,4
9	<b>14</b>	<b>1</b>	0,5	9,3	<b>20,7</b>	0,7	10,9
10	<b>19</b>	<b>0</b>	0,6	15	<b>26,2</b>	-	-
11	-	-	0,9	-	-	-	-

Astfel, se poate observa densitatea estimată a populației de *Microtus* în intervalul de studiu. Populația fluctuează,  $\Phi_t$  arătând probabilitatea de supraviețuire între două momente de captură iar  $B_t$  numărul de indivizi intrați în populație.

⇒ **EXERCİTIU:**

O populație de fluturi, *Maculinea nausithous* (fig. 2.7.) a fost monitorizată în vara anului 2011, în lunile iulie și august, cât durează zborul adulților, într-o zonă cu suprafața de aproximativ 20 ha. Datele brute sunt sintetizate în tabelul 2.3. Calculați densitatea populațională la momentele capturii și reprezentați grafic valorile obținute.

Tabel 2.3. Datele brute referitoare la o populație de *Maculinea nausithous*

momentul capturii anterioare ↓	↕ momentul capturii ↴						
	2 iul.	8 iul.	15 iul.	21 iul.	30 iul.	5 aug.	
<b>1 (2 iul.)</b>		12	7	4	0	0	ind. marcați
<b>2 (8 iul.)</b>			10	0	1	0	
<b>3 (15 iul.)</b>				30	8	1	
<b>4 (21 iul.)</b>					22	5	
<b>5 (30 iul.)</b>						34	
total marcați - <i>m</i>	0	12	17	34	31	40	
total nemarkați - <i>u</i>	69	45	85	30	42	37	
<b>total capturați - <i>n</i></b>	<b>69</b>	<b>57</b>	<b>102</b>	<b>64</b>	<b>73</b>	<b>77</b>	
total eliberați - <i>s</i>	65	51	102	62	71	76	



Fig. 2.7. *Maculinea nausithous*, indivizi marcați (dreapta) și nemarkați (stînga) (sursa: www.eurobutterflies.com)

Primul pas este introducerea datelor brute în *Excel*, cu detalierea numărului de indivizi marcați;  $m$  este numărul total de indivizi marcați,  $n$  este numărul total de indivizi capturați,  $s$  este numărul de indivizi eliberați, iar *capt.ant.* se referă la momentul capturii anterioare.

Parametrii  $m$ ,  $n$  și  $s$  sunt copiați mai jos sub formă de coloane, pentru ușurința calculului. De asemenea se stabilesc parametrii  $R$  și  $Z$ , necesari în estimarea densității. *NA* se referă la valori ce nu pot fi calculate (*NA* - *not applicable* sau *nu se aplică*).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	capt ant	02.iul	08.iul	15.iul	21.iul	30.iul	05.aug			
2	02.iul		12	7	4	0	0			
3	08.iul			10	0	1	0			
4	15.iul				30	8	1			
5	21.iul					22	5			
6	30.iul						34			
7	m	0	12	17	34	31	40			
8	n	69	57	102	64	73	77			
9	s	65	51	102	62	62	76			
10										
11										
12		m	n	s	R	Z				
13	02.iul	0	69	65	23	NA				
14	08.iul	12	57	51	11	11				
15	15.iul	17	102	102	39	5				
16	21.iul	34	64	62	27	10				
17	30.iul	31	73	62	34	6				
18	05.aug	40	77	76	NA	NA				
19										
20										

Parametrii  $M$  și  $a$  se calculează conform formulelor, iar la sfârșit se estimează efectivul populațional  $N$  în cele 6 momente de captură.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	capt ant	02.iul	08.iul	15.iul	21.iul	30.iul	05.aug			
2	02.iul		12	7	4	0	0			
3	08.iul			10	0	1	0			
4	15.iul				30	8	1			
5	21.iul					22	5			
6	30.iul						34			
7	m	0	12	17	34	31	40			
8	n	69	57	102	64	73	77			
9	s	65	51	102	62	62	76			
10										
11										
12		m	n	s	R	Z	M			
13	02.iul	0	69	65	23	NA	=((D13+1)*F13)/(E13+1)+B13			
14	08.iul	12	57	51	11	11				
15	15.iul	17	102	102	39	5				
16	21.iul	34	64	62	27	10				
17	30.iul	31	73	62	34	6				
18	05.aug	40	77	76	NA	NA				
19										
20										

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	capt ant	02.iul	08.iul	15.iul	21.iul	30.iul	05.aug			
2		02.iul	12	7	4	0	0			
3		08.iul		10	0	1	0			
4		15.iul			30	8	1			
5		21.iul				22	5			
6		30.iul					34			
7	m		0	12	17	34	31	40		
8	n		69	57	102	64	73	77		
9	s		65	51	102	62	62	76		
10										
11										
12		m	n	s	R	Z	M	alfa		
13	02.iul	0	69	65	23	NA	#VALUE!	=(B13+1)/(C13+1)		
14	08.iul	12	57	51	11	11	59,66667			
15	15.iul	17	102	102	39	5	29,875			
16	21.iul	34	64	62	27	10	56,5			
17	30.iul	31	73	62	34	6	41,8			
18	05.aug	40	77	76	NA	NA	#VALUE!			
19										
20										

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	capt ant	02.iul	08.iul	15.iul	21.iul	30.iul	05.aug			
2		02.iul	12	7	4	0	0			
3		08.iul		10	0	1	0			
4		15.iul			30	8	1			
5		21.iul				22	5			
6		30.iul					34			
7	m		0	12	17	34	31	40		
8	n		69	57	102	64	73	77		
9	s		65	51	102	62	62	76		
10										
11										
12		m	n	s	R	Z	M	alfa	N	
13	02.iul	0	69	65	23	NA	#VALUE!	0,014286	#VALUE!	
14	08.iul	12	57	51	11	11	59,66667	0,224138	266,2051	
15	15.iul	17	102	102	39	5	29,875	0,174757	170,9514	
16	21.iul	34	64	62	27	10	56,5	0,538462	104,9286	
17	30.iul	31	73	62	34	6	41,8	0,432432	96,6625	
18	05.aug	40	77	76	NA	NA	#VALUE!	0,525641	#VALUE!	
19										
20										

De remarcat este faptul că pentru prima și ultima dată de prelevare efectivul populațional nu poate fi estimat, datorită rigorilor de calcul. Astfel, orice studiu de marcare și recapturare trebuie programat pentru a cuprinde perioada de interes cu exactitate. Figura 2.8. reprezintă densitatea populației de *Maculinea nausithous* în luna iulie 2011.

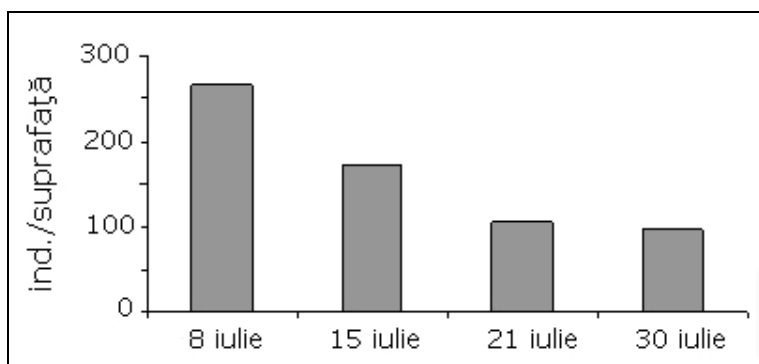


Fig. 2.8. Densitatea populației *Maculinea nausithous* în luna iulie 2011 pe o suprafață de aproximativ 20 ha, estimată prin metoda de marcare și recapturare Jolly-Seber

În tabelul 2.4. sunt date valorile densității estimate pentru datele de prelevare ( $N$ ), alături de limitele de 95% confidență minime și maxime pentru densitatea populațională, probabilitatea de supraviețuire ( $\Phi$ ) și numărul de indivizi intrați în populație ( $B$ ).

Tabel 2.4. Parametrii populației de *Maculinea nausithous*

Momentul capturii	$N_t$ efectivul estimat al populației	$N$ limita de 95% confidență (minima)	$N$ limita de 95% confidență (maxima)	$\Phi_t$ probabilitatea de supraviețuire	$B_t$ nr. de ind intrați în populație
2 iul. 2011	-	-	-	-	-
8 iul. 2011	<b>266</b>	<b>154</b>	<b>657</b>	0,3	92
15 iul. 2011	<b>170</b>	<b>129</b>	<b>301</b>	0,5	21
21 iul. 2011	<b>104</b>	<b>87</b>	<b>145</b>	0,5	47
30 iul. 2011	<b>96</b>	<b>86</b>	<b>137</b>	-	-
5 aug. 2011	-	-	-	-	-

## 2.4. Estimarea efectivului populațional: metodele transectelor și distanțelor

Pentru estimarea densității populaționale fără a avea nevoie de pătrățe sau dezvoltat așa-numitele metode ale transectelor sau distanțelor, ce reprezintă astfel o alternativă. Ele se bazează pe înregistrarea numărului de vizualizări ale indivizilor și se aplică pentru plante sau pentru animale ușor vizibile, care pot fi localizate înainte de a se deplasa (păsări, mamifere erbivore mari, fluturi etc.).

Deși pare simplu de numărat organismele de la o anumită distanță sau odată cu deplasarea de-a lungul unui transect, aceste valori se pot converti în densități doar dacă se poate estima suprafața de teren „scanată”. Erorile pot surveni din dificultatea de a aprecia suprafața aceasta sau din faptul că nu toate organismele prezente pot fi vizualizate de observator.

⇒ **Există două categorii de metode incluse în această clasă: metodele transectelor liniare și metodele distanțelor.**

⇒ **Metodele transectelor liniare (*line transect sampling*)** (sintetizată de Buckland și colab., 1993; din Krebs, 1999). Modul de prelevare a datelor pentru aplicarea acestei metode presupune deplasarea observatorului de-a lungul unui transect, de obicei în linie dreaptă și măsurarea poziției fiecărui organism detectat – ca perpendiculara ce cade pe transect (fig. 2.9).

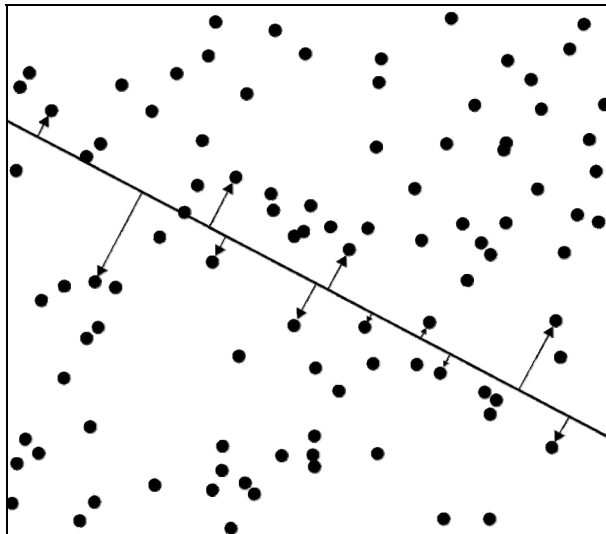


Fig. 2.9. Prezentare schematică a modului de lucru prin metoda transectelor liniare (punctele negre reprezintă organisme; distanțele măsurate sunt indicate prin săgeți) (Krebs, 1999)

Pentru că organismele nu sunt detectate în poziție exact perpendiculară, în practică se măsoară de obicei 2 parametri: distanța pînă la organism ( $r$ ) și unghiul de observație ( $teta - \theta$ ) (fig. 2.10.). Astfel, distanța  $x$ , perpendiculara dintre poziția organismului și linia transectului, poate fi estimată ca  $x = r * \sin(\theta)$ .

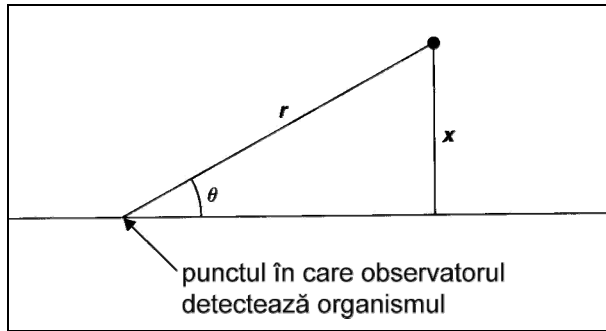


Fig. 2.10. Parametrii măsurati în mod uzual în teren (linia continuă reprezintă transectul liniar, sensul deplasării fiind spre dreapta; punctul negru reprezintă organismul observat;  $r$  - distanța pînă la organism;  $x$  - distanța pe perpendiculară;  $\theta$  = unghiul de observație (*theta*) (Krebs, 1999)

Transectele liniare pot fi traversate fie pe jos, fie cu mașina, fie cu diverse aparate de zbor. De obicei, unele organisme nu sunt detectate odată cu parcurgerea transectului, ceea ce duce la erori. Probabilitatea de detecție a unui organism este 1 dacă individul se află pe linia transectului. Putem estima densitatea populațiilor cu această metodă dacă considerăm că organismele sunt fixe la momentul inițial al detectării, că nu sunt numărate de 2 ori; că distanțele și unghiurile sunt măsurate exact și că detectările de organisme sunt evenimente independente. Astfel, dacă toate aceste condiții sunt îndeplinite,

densitatea populațională se poate estima ca:  $D = \frac{n}{2La}$ , unde  $D$  = densitatea

organismelor pe unitatea de suprafață;  $n$  = numărul de organisme detectate de-a lungul unui transect;  $L$  = lungimea totală a transectului;  $a$  = o constantă estimată în funcție de lățimea transectului (cea mai mare distanță perpendiculară observată).

Există numeroase tehnici de estimare a densității folosind transecte liniare: metoda Hayne (*Hayne estimator*), seria Fourier (*Fourier series estimator*) etc. (Krebs, 1999). Anderson și colab. (1979) oferă câteva reguli esențiale pentru obținerea de date exacte folosind metoda transectelor:

1. linia transectului trebuie să fie clar marcată;
2. organismele aflate pe linia transectului trebuie înregistrate fără excepție;
3. lățimea transectului nu trebuie să aibă limite: toate organismele văzute trebuie înregistrate;
4. toate măsurătorile trebuie făcute în teren, cît mai exact posibil;
5.  $n$  ar trebui să fie cel puțin 40;
6. transectele de-a lungul străzilor principale sau de-a lungul creștelor ar trebui evitate; o procedură de alegere randomizată ar trebui folosită pentru prelucrările statistice ulterioare;
7. observatorii ar trebui să aibă experiență în domeniu pentru a minimiza erorile umane.

O variantă a metodelor transectelor liniare este așa numita **metodă a transectelor punctiforme (point transects)** folosită mai ales pentru păsări.

Observatorul rămîne în aceeași poziție, astfel ca animalele numărate să nu fie alarmate.

⇒ **Metodele măsurării distanțelor (*plotless sampling*)** sunt aplicate cu succes mai ales în cazul estimării densității copacilor și tufișurilor. Poartă acest nume deoarece utilizează două feluri de distanțe măsurate, incluse în două tipuri de metode: (1) selectarea randomizată a unui organism și măsurarea distanței pînă la vecinul cel mai apropiat și (2) selectarea randomizată a unui punct și măsurarea distanței pînă la cel mai apropiat organism.

Aceste metode sunt folosite mult în ecologie, pentru că putem determina și felul de distribuție spațială a populației analizate (întîmplătoare, grupată, uniformă, vezi capitolul 2.7.). Zona de numărare reprezintă zona considerată, dar în practică se adaugă în jurul acesteia o zonă de margine, pentru a include fără erori și indivizii aflați la marginea zonei de numărare (fig. 2.11.). Se poate măsura distanța dintre un punct ales randomizat ( $x$  în fig. 2.11.) și cel mai apropiat organism sau se poate selecta randomizat un organism (**A** în fig. 2.11.) și se poate măsura distanța pînă la cel mai apropiat vecin (**B**). Acest cel mai apropiat vecin ar putea fi în zona de margine (așa cum e cazul organismului **D**, aflat în apropierea celui notat cu **C** în fig. 2.11.).

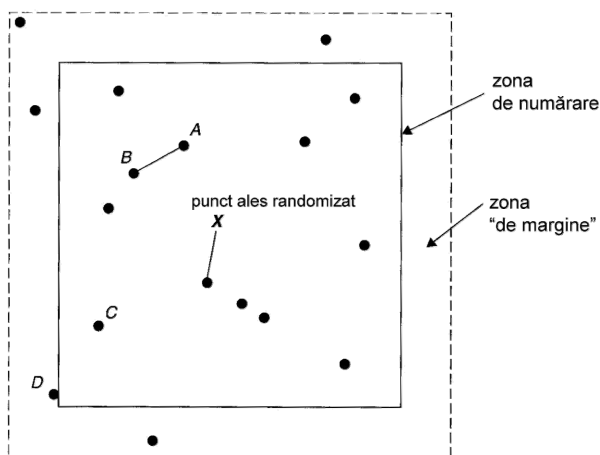


Fig. 2.11. Schema modului de realizare a măsurătorilor pentru metodele distanțelor (**A**, **C**: organisme alese randomizat; **B**, **D**: cei mai apropiați vecini pentru **A**, respectiv **C**) (Krebs, 1999)

Dacă am putea „carta” astfel toată populația, estimarea ar fi simplă. Însă de cele mai multe ori, populația analizată are indivizi „împrăștiați” pe o suprafață mare (de exemplu estimarea densității fagului pe o zonă de 10 km<sup>2</sup> de pădure), caz denumit de statisticieni „prelevare împrăștiată” („*sparse sampling*”). Cea mai importantă cerință în acest caz este ca punctele de prelevare să fie luate la întâmplare și separate unele de altele, pentru ca observațiile să poată fi considerate independente. Aici ne lovim de o problemă fundamentală: estimările de densitate pentru toate metodele distanțelor sunt sensibile la tiparul de distribuție spațială. Dacă organismele au un tipar de distribuție întâmplător, atunci distanțele măsurate dau o estimată fără erori a densității populației. Dacă tiparul este grupat, estimata densității este eronată.

Numeroase metode au fost propuse pentru această categorie de estimări de densitate: Byth și Ripley (1980), metoda vinclu, *ordered distance method*, *variable-area transect method*, *point-quarter method* etc. (Krebs, 1999).

⇒ **Metoda tip „vinclu” (*T-square method*, Besag și Gleaves, 1973)** poartă numele unui instrument folosit în desenul tehnic, vinclul fiind o bară în formă de L, cu aripi egale sau neegale, folosită pentru trasarea de unghiuri.

⇒ **Etapele urmate în aplicarea metodei tip vinclu pentru estimarea densității populaționale (Krebs, 1999) sunt:**

**1. prelevarea datelor din teren:** se stabilesc randomizat puncte de prelevare (fig. 2.12., 2.13.) și la fiecare se măsoară: distanța  $x$ , ce reprezintă distanța de la punct la cel mai apropiat organism ( $P$  în fig. 2.12.) și distanța  $z$ , ce reprezintă distanța de la organismul  $P$  la „vecinul” său cel mai apropiat ( $Q$  în fig. 2.12.). Condiția ce trebuie respectată la fiecare măsurătoare este ca unghiul  $OPQ$  să fie mai mare de  $90^\circ$  ( $90^\circ$  fiind unghiul unui vinclu). Astfel, dacă cel mai apropiat „vecin” nu satisface această condiție, atunci se folosește următorul cel mai apropiat;

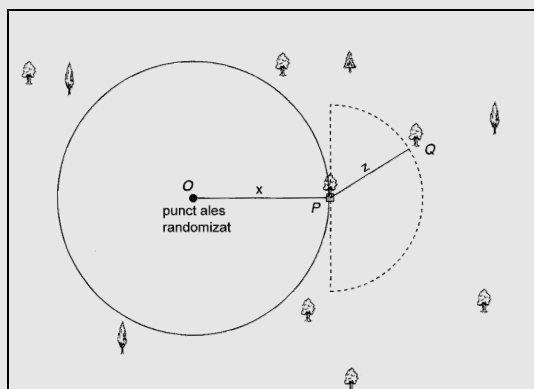


Fig. 2.12. Modul de prelevare a probelor prin metoda tip vinclu ( $x$  = distanța de la punctul ales randomizat la cel mai apropiat organism,  $P$ ;  $z$  = distanța de la organismul  $P$  la „vecinul” său cel mai apropiat,  $Q$ ) (Krebs, 1999)



Fig. 2.13. Estimarea densității copacilor din Pădurea Hoia, Cluj-Napoca, octombrie 2011

**2. estimarea densității populației** (Byth, 1982), după formula:

$$\hat{N} = \frac{n^2}{2 \sum (x_i) [\sqrt{2} \sum (z_i)]}, \text{ unde } n = \text{numărul de observații}; x_i = \text{distanța de la}$$

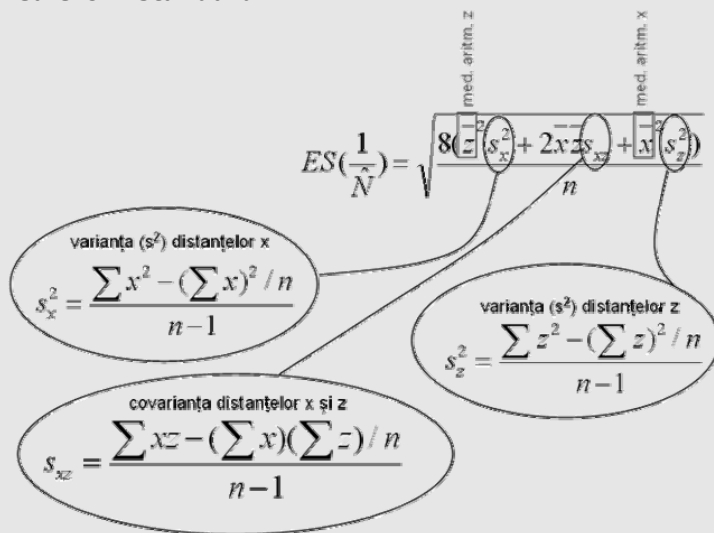
punctul randomizat la organismul cel mai apropiat;  $z_i = \text{distanța de la organism la cel mai apropiat „vecin” aflat la un unghi } >90^\circ;$

**3. aflarea limitelor de confidență**, după formula:

$$\frac{1}{\hat{N}} \pm t * ES\left(\frac{1}{\hat{N}}\right), \text{ unde } \frac{1}{\hat{N}} = \text{reciproca densității (Diggle, 1983)}; t = \text{valoarea lui}$$

$t$  din tabelul de distribuție, la numărul gradelor de libertate  $n - 1$ ;  $ES = \text{eroarea standard (Diggle, 1983)}$ ;

**4. calcularea erorii standard:**



Varianța este o măsură a variabilității și reprezintă pătratul abaterii standard (se notează întotdeauna cu  $s^2$  sau sigma  $\sigma^2$ ) iar covarianța este o măsură a asociației dintre două variabile (în cazul nostru distanțele  $x$  și  $z$ );

**5. transformarea lui  $\frac{1}{\hat{N}}$  în  $\hat{N}$  și notarea intervalului de confidență pentru estimata densității:**

$$\dots < \hat{N} < \dots$$

**⇒ EXERCİTIU:**

Pentru estimarea densității copacilor din Pădurea Hoia, de lângă Cluj-Napoca, s-au folosit metodele distanțelor (iar dintre acestea, metoda tip vinclu). S-au făcut 20 de măsurători de la un punct ales randomizat pînă la cel mai apropiat copac (distanța  $x$ ) și de la acesta la cel mai apropiat vecin al său (distanța  $z$ ), respectînd cerințele metodei. Datele brute sunt prezentate mai jos:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	x	z												
2	1	7,30	10,20											
3	2	4,40	0,11											
4	3	3,20	7,15											
5	4	1,79	2,13											
6	5	1,67	4,09											
7	6	0,80	0,78											
8	7	1,49	3,15											
9	8	5,15	4,33											
10	9	2,28	2,11											
11	10	0,96	1,70											
12	11	3,95	3,69											
13	12	2,20	3,11											
14	13	1,44	1,65											
15	14	4,13	3,50											
16	15	1,77	3,18											
17	16	1,99	4,00											
18	17	2,65	4,65											
19	18	2,92	2,19											
20	19	4,21	0,54											
21	20	0,48	2,44											
22														
23														

Se poate calcula astfel estimata densității, după ce aflăm  $\Sigma x$  și  $\Sigma z$ . Valoarea obținută reprezintă densitatea copacilor din Pădurea Hoia raportată la metru pătrat (deoarece distanțele  $x$  și  $z$  au fost măsurate în metri), însă uzual se folosește raportarea la hectar. Astfel, densitatea va fi 399 copaci per hectar.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	x	z		dens in mp										
2	1	7,30	10,20	=400/(2*B2^2*SQRT(2)*C22)										
3	2	4,40	0,11											
4	3	3,20	7,15											
5	4	1,79	2,13											
6	5	1,67	4,09											
7	6	0,80	0,78											
8	7	1,49	3,15											
9	8	5,15	4,33											
10	9	2,28	2,11											
11	10	0,96	1,70											
12	11	3,95	3,69											
13	12	2,20	3,11											
14	13	1,44	1,65											
15	14	4,13	3,50											
16	15	1,77	3,18											
17	16	1,99	4,00											
18	17	2,65	4,65											
19	18	2,92	2,19											
20	19	4,21	0,54											
21	20	0,48	2,44											
22		54,78	64,70											
23														

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	x	z		dens in mp	dens in ha									
2	1	7,30	10,20	0,039901	=D2*10000									
3	2	4,40	0,11											
4	3	3,20	7,15											
5	4	1,79	2,13											
6	5	1,67	4,09											
7	6	0,80	0,78											
8	7	1,49	3,15											
9	8	5,15	4,33											
10	9	2,28	2,11											
11	10	0,96	1,70											
12	11	3,95	3,69											
13	12	2,20	3,11											
14	13	1,44	1,65											
15	14	4,13	3,50											
16	15	1,77	3,18											
17	16	1,99	4,00											
18	17	2,65	4,65											
19	18	2,92	2,19											
20	19	4,21	0,54											
21	20	0,48	2,44											
22		54,78	64,70											
23														

Pentru obținerea limitelor de confidență va trebui să calculăm reciproca estimatei ( $\frac{1}{\hat{N}}$ ), eroarea standard a reciprocei  $ES(\frac{1}{\hat{N}})$  și să înmulțim valoarea

ES cu parametrul  $t$  din tabelul de variație al acestuia (fig. 1.4.), la  $p = 0,05$  și  $n - 1$  grade de libertate ( $20 - 1 = 19$  grade de libertate), adică valoarea 2,093. Pentru calcularea erorii standard ES va trebui să urmăm mai mulți pași: calcularea mediilor aritmetice pentru distanțele  $x$  și  $z$ , calcularea varianței pentru  $x$  și  $z$  și în fine calcularea covarianței dintre distanțele  $x$  și  $z$ .

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1		x	z	dens in mp	dens in ha	m aritm x	m aritm z	var x	var z	covar	x'z			
2	1	7,30	10,20	0,039901	399,0145	2,74	3,24	2,869083	5,304942	2,069079	74,46			
3	2	4,40	0,11								0,484			
4	3	3,20	7,15								22,88			
5	4	1,79	2,13								3,8127			
6	5	1,67	4,09								6,8303			
7	6	0,80	0,78								0,624			
8	7	1,49	3,15								4,6935			
9	8	5,15	4,33								22,2995			
10	9	2,28	2,11								4,8108			
11	10	0,96	1,70								1,632			
12	11	3,95	3,69								14,5755			
13	12	2,20	3,11								6,842			
14	13	1,44	1,65								2,376			
15	14	4,13	3,50								14,455			
16	15	1,77	3,18								5,6286			
17	16	1,99	4,00								7,96			
18	17	2,65	4,65								12,3225			
19	18	2,92	2,19								6,3948			
20	19	4,21	0,54								2,2734			
21	20	0,48	2,44								1,1712			
22		54,78	64,70								216,5258			
23														

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1		x	z	dens in mp	dens in ha	m aritm x	m aritm z	var x	var z	covar	x'z	ES		
2	1	7,30	10,20	0,039901	399,0145	2,74	3,24	2,869083	5,304942	2,069079	74,46	=SQRT((8*(G^2*G^2+H^2+2*F^2*G^2		
3	2	4,40	0,11								0,484	J^2+F^2*F^2)/20)		
4	3	3,20	7,15								22,88	SQRT(number)		
5	4	1,79	2,13								3,8127			
6	5	1,67	4,09								6,8303			
7	6	0,80	0,78								0,624			
8	7	1,49	3,15								4,6935			
9	8	5,15	4,33								22,2995			
10	9	2,28	2,11								4,8108			
11	10	0,96	1,70								1,632			
12	11	3,95	3,69								14,5755			
13	12	2,20	3,11								6,842			
14	13	1,44	1,65								2,376			
15	14	4,13	3,50								14,455			
16	15	1,77	3,18								5,6286			
17	16	1,99	4,00								7,96			
18	17	2,65	4,65								12,3225			
19	18	2,92	2,19								6,3948			
20	19	4,21	0,54								2,2734			
21	20	0,48	2,44								1,1712			
22		54,78	64,70								216,5258			
23														

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1		x	z	dens in mp	dens in ha	m aritm x	m aritm z	var x	var z	covar	x'z	ES	ES in ha	lim conf
2	1	7,30	10,20	0,039901	399,0145	2,74	3,24	2,869083	5,304942	2,069079	74,46	6,526584	0,000653	=M2*2,093
3	2	4,40	0,11								0,484			
4	3	3,20	7,15								22,88			
5	4	1,79	2,13								3,8127			
6	5	1,67	4,09								6,8303			
7	6	0,80	0,78								0,624			
8	7	1,49	3,15								4,6935			
9	8	5,15	4,33								22,2995			
10	9	2,28	2,11								4,8108			
11	10	0,96	1,70								1,632			
12	11	3,95	3,69								14,5755			
13	12	2,20	3,11								6,842			
14	13	1,44	1,65								2,376			
15	14	4,13	3,50								14,455			
16	15	1,77	3,18								5,6286			
17	16	1,99	4,00								7,96			
18	17	2,65	4,65								12,3225			
19	18	2,92	2,19								6,3948			
20	19	4,21	0,54								2,2734			
21	20	0,48	2,44								1,1712			
22		54,78	64,70								216,5258			
23														

Putem acum să încadrăm reciproca estimatei densității ( $\frac{1}{\bar{N}}$ ) între limitele de încredere (calculate astfel: celula E2 + celula N2 și E2 - N2), valori trecute

în celulele D25 și F25, celula E25 reprezentînd valoarea reciprocei densității ( $\frac{1}{\hat{N}}$ ).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	x	z	dens in mp	dens in ha	m aritm x	m aritm z	var x	var z	covar	x <sup>2</sup>	ES	ES in ha	lim conf	
1														
2	1	7,30	10,20	0,039901	399,0145	2,74	3,24	2,869083	5,304942	2,069079	74,46	6,526584	0,000653	0,001368
3	2	4,40	0,11								0,484			
4	3	3,20	7,15								22,88			
5	4	1,79	2,13								3,8127			
6	5	1,67	4,09								6,8303			
7	6	0,80	0,78								0,624			
8	7	1,49	3,15								4,6935			
9	8	5,15	4,33								22,2995			
10	9	2,28	2,11								4,8108			
11	10	0,96	1,70								1,632			
12	11	3,95	3,69								14,5755			
13	12	2,20	3,11								6,842			
14	13	1,44	1,65								2,376			
15	14	4,13	3,50								14,455			
16	15	1,77	3,18								5,6296			
17	16	1,99	4,00								7,96			
18	17	2,65	4,65								12,3225			
19	18	2,92	2,19								6,3948			
20	19	4,21	0,54								2,2734			
21	20	0,48	2,44								1,1712			
22		54,78	64,70								216,5258			
23														
24					1/N									
25					0,00114	0,002506	0,003872							
26					877,0695	399,0145	258,2519							

Ultimul pas este să retransformăm aceste cifre în valorile densității și a limitelor ei de confidență, obținînd: **258 < 399 copaci per hectar < 877**. După cum se observă, limitele de confidență sunt foarte largi, ilustrînd o inexactitate a valorii estimate densității, cauzată de numărul relativ mic de observații din teren.

## 2.5. Estimarea efectivului populațional: folosirea capcanelor și a indiciilor

La multe populații naturale densitatea se poate determina doar prin colectarea cu capcane (*trapping*); în alte cazuri, doar indicii ale prezenței lor pot fi cercetate, cum ar fi: urme, fecale, cuiburi, vizuini, produsele năpârlirilor etc.

⇒ **Metodele ce implică utilizarea capcanelor** conduc la estimarea densității relative; esența acestor metode este că un individ din populația - țintă trebuie să fie capturat o singură dată. Datele colectate prin astfel de metode trebuie tratate cu precauție, mai ales atunci când vrem să comparăm diferite populații și diferite habitate, deoarece eficiența prelevării poate fi diferită. Aceste metode pot oferi date despre prezența sau absența anumitor populații, despre disponibilitatea indivizilor într-un areal, despre schimbări în diversitate, dar pe baza lor se pot face și estimări de densitate absolută (mărimea populației pe suprafață sau volum), prin calibrări și transformări.

Principalul factor care afectează numărul organismelor prinse în capcane este modificarea densității populaționale. De asemenea, starea de dezvoltare a animalului poate influența captura. Reacția organismelor la diverși stimuli (lumină, hrană) variază mult în ciclul de viață. De exemplu, la mamiferele mici, vulnerabilitatea la prinderea în capcane depinde de comportamentul de explorare și de răspunsul la obiecte noi, ce sunt influențate de sex, vîrstă sau statut social (Henderson, 2003). Trebuie luate în considerare și schimbările în activitatea organismelor ca răspuns la diverși factori de mediu, de exemplu ciclul nictemeral: unele insecte sunt diurne, altele nocturne, unele mamifere se hrănesc în lumină crepusculară etc. Multe animale poikiloterme au praguri de temperatură sub care nu pot deveni active. Alți factori esențiali pentru randamentul capcanelor sunt vîntul, ploaia, viteza de curgere a apei, oxigenul dizolvat etc. În fine, eficiența capcanelor poate depinde de o multitudine de factori, de la locație pînă la vreme sau caracteristicile habitatului (turbiditatea apei de exemplu).

Exemple de capcane sunt numeroase în literatura de specialitate, plecînd de la capcanele pentru insecte terestre (*pitfall trapping*) sau capcanele luminoase pentru insecte nocturne (fig. 2.14.), pînă la amplasarea plaselor de pești în bazine stătătoare (așa-numitele setci - *gill nets*). Folosirea de diverse filee pentru recoltarea insectelor sau a organismelor din masa apei sunt considerate a fi tot o categorie de capcane.

Krebs (1999) include două categorii de metode între cele ce utilizează capcanele: metode de „recoltare” (*removal methods*) și metode de „revizitare” (*resight methods*). Cele din urmă au fost dezvoltate recent și se bazează pe principiul „revizitării” animalelor ce au fost marcate într-un anumit mod, de obicei cu radio-transmițătoare, dar și cu alte mărci vizibile de la distanță (indivizii nu trebuie să fie prinși fizic decît o dată). Metodele de estimare a densității populaționale prin „recoltare” (*removal sampling*) au fost dezvoltate pentru populații aflate în exploatare, pentru a se putea estima stocul; ele includ diverse tehnici, cum ar fi de exemplu observații despre schimbările în raportul pe sexe (*sex-ratio*) din timpul unei perioade (*change-in-ratio methods*) (Kelker, 1940); sau estimări ale numărului indivizilor făcute înainte și după o „recoltare” a unui număr cunoscut de indivizi din populație (ce se pretează pentru numărători efectuate de pe marginea drumului de acces, metoda lui Eberhardt, 1982); sau așa numitele metode de „efort de captură” (*catch-effort methods*).



Fig. 2.14. Capcană luminoasă pentru fluturi (design: C. Sitar)

Principiul metodelor de „efort de captură” (*catch-effort*) este că numărul de animale dintr-o populație închisă (fără imigranți și emigranți) va scădea, ca și captura per unitate de efort (*catch per unit effort*), pe măsură ce animalele capturate sunt îndepărtate (recoltate) la fiecare colectare. Metodele incluse în această categorie produc date credibile doar dacă o proporție destul de mare din populație este recoltată, pentru a se simți într-adevăr un declin în efortul de captură. Nu se pot aplica atunci când populația este mare în comparație cu capturile. De asemenea, probabilitatea fiecărui individ prins în capcană ar trebui să fie constantă pe timpul experimentului și toți indivizii ar trebui să aibă aceeași probabilitate de a fi prinși în proba  $i$ .

Aceste metode se folosesc mai ales pentru estimarea numărului populațiilor de pești din râuri și iazuri cu ajutorul electronarcozei (*electrofishing*) (fig. 2.15. A și B), ce presupune pescuitul cu ajutorul curentului, prelevarea peștilor, identificarea, numărarea și măsurarea lor pe teren, urmate de eliberarea lor în ecosistem.

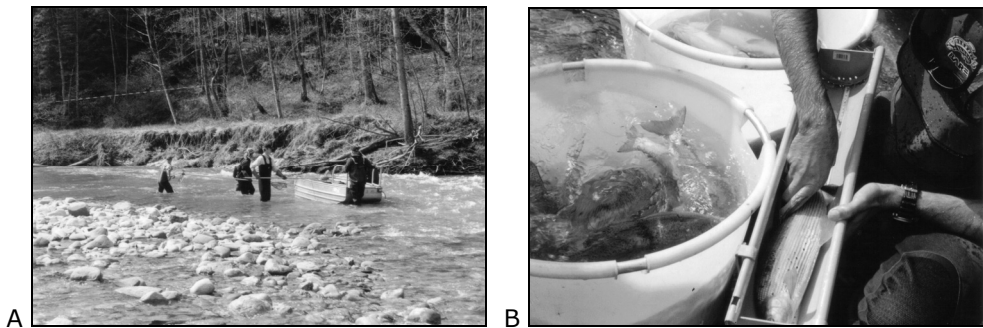


Fig. 2.15. Pescuit prin electronarcoză pe râul Amer - Germania:  
A - modul de lucru; B - măsurarea peștilor în teren urmată de eliberarea lor

⇒ **EXEMPLU:**

Metoda recoltării adaptată din Zippin, 1958 a fost folosită pentru datele obținute de la un pescuit electric (Lockwood și Schneider, 2000). Rîul ales trebuie să fie mic, datele trebuie să fie colectate într-o perioadă scurtă de timp, iar populația țintă trebuie să fie relativ mică, să nu depășească 2000 de indivizi. Metoda presupune ca un număr mare de pești să fie colectați în prima rundă de electrofishing, pentru ca în momentele ulterioare, numărul peștilor capturați să scadă.

Cea mai ușoară metodă este aceea ce presupune două „recoltări”, așa numita *two-pass sampling*, și următoarele condiții trebuie să fie îndeplinite pentru a o putea aplica (aceste condiții sunt necesare și pentru cazul când avem mai multe momente de captură - *multiple-pass sampling*): 1) imigrația și emigrația peștilor pe perioada de prelevare trebuie să fie neglijabile; 2) toți peștii trebuie să fie la fel de vulnerabili capturii și 3) efortul de captură și condițiile trebuie să rămână constante (claritatea apei, numărul de oameni ce lucrează etc.).

Pașii urmăriți implică o primă rundă de pescuit electric, pe o lungime cunoscută și de preferat folosind plase de stopare în aval și amonte; numărarea și măsurarea indivizilor din speciile identificate; după care trebuie realizată o a doua rundă de pescuit electric (*two-pass sampling*) sau mai multe runde (*multiple-pass sampling*).

Pentru metoda cu două recoltări (*two-pass*), estimata densității  $N$  este

$$N = \frac{C_1^2}{(C_1 - C_2)} ; \text{ unde } C_1 = \text{numărul de pești din prima recoltare; } C_2 = \text{numărul}$$

de pești din a doua recoltare. Probabilitatea de captură  $p$  se calculează după

$$\text{formula: } p = \frac{C_1 - C_2}{C_1} ; \text{ se consideră că estimarea densității este relativ exactă}$$

când  $p \geq 0,8$  și nu se poate lua în considerare când  $p \leq 0,2$  (adică atunci când mai puțin de 20% din populație este capturată per rundă).

Pentru aflarea limitelor de confidență se calculează eroarea standard a

$$\text{estimatei densității, } ES_N, \text{ după formula: } ES_N = \sqrt{\frac{C_1^2 C_2^2 (C_1 + C_2)}{(C_1 - C_2)^4}} ; \text{ iar}$$

intervalul de confidență pentru  $N$  va fi:  $N \pm 1,96 * ES_N$  pentru un prag de semnificație de 5%.

De exemplu, dacă în prima rundă au fost numărați 200 de pești iar în a doua rundă 95, probabilitatea de captură  $p = 0,525$  ; estimata densității  $N = 381$  iar pentru un prag de semnificație de 5%,  $N$  se încadrează aproximativ între 321 și 441 indivizi, raportați pe lungimea pescuită a râului.

⇒ **Metodele ce implică utilizarea indiciilor populaționale** pot duce la estimări de densitate, ce pot varia de la echivalența cu densitatea populațională, în cazul numărării exuviilor unor isecte, pînă la o corelație aproximativă, atunci cînd se măsoară efectele produse în peisaj (*damage measurements*).

Exemplificări pentru aceste indicii populaționale sunt: efectele unor insecte pe frunze sau tulpini; exuviile larvelor sau a pupelor nevertebratelor acvatice abea emerse, pînzele de paianjeni, numărarea cuiburilor sau a viziunelor pentru reptile, păsări sau mamifere; fecalele mamiferelor sau a păsărilor, semne distinctive rezultate din modul de hrănire, cum ar fi diverse urme de dinți la veverițe; fire de blană sau păr sau urme de animale mari.

Datele pot fi raportate ca numărători per suprafață căutată sau ca semnalizarea indiciilor în locul organismelor propriu-zise, cu utilizarea metodelor transectelor sau a distanțelor (Henderson, 2003).

## 2.6. Dinamica populațiilor: alcătuirea tabelelor de viață

Nu este de ajuns să cunoaștem densitatea populațională pentru a avea o imagine clară asupra dinamicii populației studiate: avem nevoie de asemenea de date privitoare la parametrii reproducerii (rata reproductivă, număr de descendenți etc.) dar și la supraviețuire. Estimarea numărului de supraviețuitori (*estimation of survival rates*) se poate realiza pe de o parte aplicând metode de marcare și recapturare pentru aflarea densității populaționale, însă metode dezvoltate special pentru aflarea acestui parametru includ (Krebs, 1999):

- 1. realizarea tabelelor de viață** - o modalitate relativ ușoară și des folosită;
- 2. folosirea structurii pe vârste a populației** pentru estimarea numărului de supraviețuitori, ce include metode aplicabile doar populațiilor unde este posibilă determinarea vârstei fiecărui organism (cum e cazul populațiilor de pești); rata de supraviețuire pentru indivizii din clasa de vârstă  $t$  va fi calculată ca numărul de indivizi de vârstă  $t+1$  raportat la numărul de indivizi de vârstă  $t$ ; pentru aceste metode nu este nevoie de urmărirea unei cohorte ca în cazul tabelelor de viață, dar se pleacă de la prezumția că toate clasele de vârstă sunt colectate uniform (fără modificări datorate aparatului de prelevare de exemplu);
- 3. folosirea radio-transmițătoarelor**, ce oferă informații despre indivizii marcați astfel pînă la moartea lor, pierderea radio-transmițătorului sau defectarea sa; principiul general presupune estimarea ratei de supraviețuire medie zilnică a indivizilor.

Tabelele de viață condensează informația referitoare la o serie de parametri structurali ai populației (efectivul, structura pe vârste, raportul sexelor), precum și pe cea referitoare la efectul presiunii mediului asupra acestora și asupra capacității reproductive și de supraviețuire. Astfel, noțiunea de tabel de viață ar putea fi descrisă succint ca perioada (sau programul) de mortalitate al unei populații, deoarece reprezintă un rezumat pe vârste a ratelor mortalității unei populații.

Pentru a realiza un tabel de viață, trebuie mai întîi să determinăm intervalul de timp la care ne raportăm. Pentru organismele cu durată îndelungată de viață, intervalul este de 1 an, dar pentru unele insecte poate fi de 1 zi. Scurtînd intervalul, se mărește acuratețea cu care se prezintă rata mortalității în tabelele de viață. Dar cu cît e mai scurt intervalul, cu atît sunt necesare mai multe date. Cei mai mulți autori recomandă ca un număr minim de 150 de indivizi să fie folosiți în întocmirea tabelelor de viață; de asemenea, determinările de vârstă trebuie făcute cu mare acuratețe, pentru a obține tabele de viață precise (Krebs, 1999).

### ⇒ Determinarea vârstei organismelor

Vârsta organismelor reprezintă o variabilă importantă în studiile de ecologie, deoarece este vitală pentru alcătuirea tabelelor de viață sau pentru analiza dinamicii populației, dar și pentru estimarea mortalității dependente de vârstă și a ratelor fecundității. Determinarea vârstei însă poate fi dificilă; există grupe de animale, cum ar fi hirudineele, viermii plăți sau anemonele marine, la care nu s-a ajuns încă la o metodă exactă pentru aflarea vârstei. Există cîteva tehnici de bază pentru determinarea vârstei organismelor (sintetizate de Henderson, 2003):

**\* folosirea histogramelor bazate pe clase de dimensiuni (*size-frequency histograms*):**

- se folosesc mai ales pentru animalele ce se reproduc o dată pe an, astfel că o astfel de reprezentare grafică urmărește o cohortă;
- există două mari probleme în utilizarea acestei metode: în primul rând, dezvoltarea (creșterea) individuală este variabilă - de aici putînd rezulta estimarea eronată a vârstei; iar în al doilea rând, dezvoltarea de obicei descrește în intensitate odată cu vârsta, făcînd foarte grea diferențierea indivizilor din clasele de vîrstă mai înaintate. De exemplu, la bivalva *Lithophaga lithophaga*, indivizi de dimensiuni de  $5 \pm 0,2$  cm lungime aveau o vîrstă ce varia între 18 și 36 ani (Galinou Mitsoudi și Sinis, 1995);
- această metodă poate fi folosită cu încredere totuși, dacă este completată de cunoștințe anterioare despre relațiile dintre vîrstă și lungime și despre variațiile individuale;
- de exemplu, distribuția de dimensiuni (lungime măsurată în mm) pentru *Clupea sprattus* din Golful Bridgwater în Canalul Bristol în timpul iernii arată cele trei clase de vîrstă specifice acestei populații (fig. 2.16.). Populația are trei grupe de vîrstă, arătate de cele trei vîrfuri de distribuție. Animalele în primul an al vieții (numite de ihtiologi *young of the year*, notați cu 0 pe figură) au o lungime de aproximativ 50 mm, peștii din anul al doilea de viață (I pe figură) au o lungime de aproximativ 80 mm iar cei din anul trei de viață (II pe figură) au o lungime de aproximativ 120 mm;

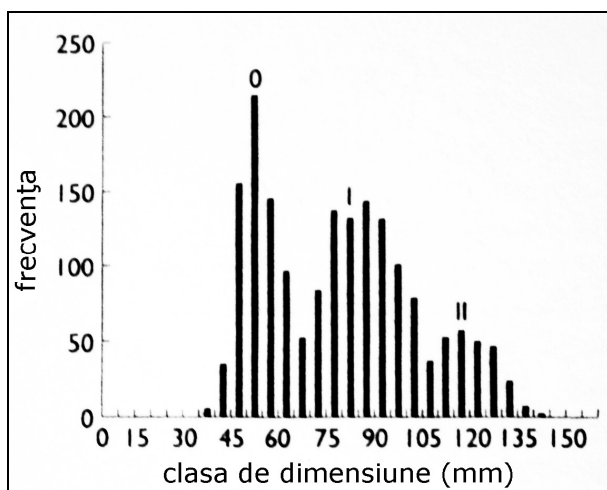


Fig. 2.16. Histograma bazată pe clase de dimensiuni pentru cohorta de *Clupea sprattus* din Canalul Bristol, Anglia (Henderson, 2003)

**\* folosirea indicilor de vîrstă:**

- pentru anumite organisme schimbările în viteza de creștere lasă indicii pe o anumită parte a corpului, ce poate fi folosită ulterior pentru determinarea vârstei; în regiunile temperate, așa-numitele „inele de creștere” sunt asociate cu iarna (anotimpul nefavorabil); în zona tropicală, ele pot fi asociate cu variația dintre sezonul umed și cel secetos;
- exemplul clasic este cel al inelelor de creștere la copaci (ce sunt folosite și pentru a elucida schimbări climatice trecute);

- la anelide (polichete), în regiunile temperate, se formează inele de creștere anuală pe piesele bucale;
- la insecte se formează benzi cuticulare;
- la bivalve, vârsta se poate citi ca o serie de benzi în secțiuni transversale, deoarece bivalvele cresc în grosime; de exemplu, în regiuni temperate, *Modiolus modiolus* prezintă linii de creștere deschise la culoare (vară) și închise la culoare (iarnă); prin astfel de determinări, Galinou Mitsoudi și Sinis (1995) au arătat că *Lithophaga lithophaga* poate trăi pînă la 54 de ani;
- la gastropode, se folosesc tot benzi de creștere;
- la pești se examinează solzii și otolitele;
- la reptile și amfibieni se examinează structurile scheletului: de exemplu, la specii de *Triturus* s-a determinat vârsta prin numărarea inelelor de creștere anuală în secțiune transversală a femurului și falangelor, colorate anterior cu hematoxilină Ehrlich;
- la mamifere, cele mai des folosite metode utilizează dentiția, de exemplu numărarea liniilor de creștere a cimentului dinților;
- \* **folosirea de metode biochimice:**
  - la crustacee, s-au demonstrat corelații pozitive dintre cantitatea de lipofuscină din creier și vîrstă (la *Cherax quadricarinatus* de exemplu);
  - la insecte s-au folosit pentru aflarea vîrstei pteridine fluorescente din ochii compuși (la *Cochliomyia hominivorax*);
  - tot la insecte un indiciu important este schimbarea culorii; la libelule de exemplu, colorația corpului adulților se schimbă cu vîrsta (Corbet, 1962);
- \* **marcarea părților osoase pentru determinarea vîrstei (date banding; time stamps):**
  - există anumiți compuși ce pot colora permanent oasele, dinții, solzii, carapacea sau otolitele, pe măsură ce acestea se formează, creînd astfel mărci ce pot fi folosite pentru determinarea vitezei de creștere;
  - unele antibiotice, cum este tetraciclina, datorită proprietăților de a se localiza în țesuturi tari (oase) și datorită toxicității mici a fost folosită cu succes pentru a marca diferite grupe de animale; peștii se pretează cel mai bine pentru astfel de metode, dar și animalele inferioare: moluște, briozoare sau spongieri;
  - și oxitetraciclina poate fi folosită la mamifere ca vulpea sau ratonul, fiind administrată în mîncare.

⇒ **Tipuri de tabele de viață:**

- 1. tabele de viață dinamice sau ale unei generații (tabele orizontale):** se alcătuiesc pentru populațiile cu generații discrete (nesuprapuse) și ca urmare informațiile integrate în acest tip de tabel privesc indivizii aparținînd unei singure generații (cohorte). La intervale diferite de timp, în funcție de biologia speciei, se prelevează probe pe baza cărora se obțin informațiile cu privire la numărul de indivizi ce aparțin fiecărei clase de vîrstă. Pentru că datele de bază pentru alcătuirea acestui tip de tabel se obțin în timp, spunem că tabelul de viață este dinamic;
- 2. tabele de viață statice sau specifice unui anumit moment de timp (verticale):** au la bază informațiile obținute din analiza unei singure probe prelevate la un moment dat din populație, presupusă a fi cu generații suprapuse. Într-o prima fază, se estimează efectivul existent al populației și distribuția pe clase de vîrstă pe baza distribuției indivizilor în proba extrasă. Apoi se estimează numărul de indivizi eliminați la fiecare stadiu. Numărul de indivizi ce supraviețuiesc în intervalul de la  $x$  la  $x+1$  raportat

la numărul total al indivizilor care au intrat în categoria de vîrstă  $x$  reprezintă o estimare directă a probabilității ca un individ să treacă din stadiul  $x$  în stadiul  $x+1$  (pe durata unui interval de clasă).

⇒ **Parametrii incluși în tabelele de viață sunt următorii:**

$x$  este intervalul de vîrstă (sau vîrsta stadiului de dezvoltare); se exprimă în unități de timp (zile, săptămîni, luni, ani), în funcție de biologia speciei respective; se referă la intervalul de clasă de la  $x$  la  $x+1$  și sintetizează informația referitoare la structura pe vîrste a populației;

$n_x$  (notat și  $a_x$ ) reprezintă numărul de indivizi dintr-o cohortă aflați în viață la începutul fiecărei clase de vîrstă (adică a intervalului de vîrstă  $x \rightarrow x+1$ );

$l_x$  este proporția de indivizi care au supraviețuit la începutul intervalului de vîrstă  $x \rightarrow x+1$  (adică reprezintă capacitatea de supraviețuire); este dat de formula:  $l_x = n_x / n_0$ , unde  $n_0$  = numărul de indivizi existenți inițial (la naștere) în populație;

$d_x$  reprezintă numărul de indivizi eliminați (prin mortalitate sau dispersie) în intervalul fiecărei vîrste; este dat de formula:  $d_x = n_x - n_{x+1}$ ; iar  $\sum d_x = n_0$ , pentru că toți indivizii vor muri pînă la urmă;

$p_x$  este rata supraviețuirii în timpul intervalului  $x \rightarrow x+1$ ; este dat de formula:  $p_x = n_{x+1} / n_x$ ;

$q_x$  este rata mortalității în intervalul  $x \rightarrow x+1$ , adică proporția indivizilor care au fost eliminați pe parcursul stadiului  $x$  din numărul total al indivizilor care au intrat în categoria de vîrstă  $x$ ; este dat de formula:  $q_x = 1 - p_x$  sau  $q_x = d_x / n_x$ ;

$e_x$  reprezintă speranța medie de viață pentru indivizii aflați în viață la începutul intervalului  $x$ ; sau, altfel spus, numărul de unități de timp pe care poate spera să le trăiască un individ ajuns la vîrsta  $x$ ; este dat de formula:  $e_x =$

$T_x / n_x$ ; cu  $T_x = \sum_{i=0}^m L_x$  și  $L_x = \frac{n_x + n_{x+1}}{2}$ , unde:  $T_x$  = funcție cumulativă

a indivizilor sau a unităților de timp pentru indivizii de vîrstă  $x$ ;  $L_x$  = numărul mediu de indivizi aflați în viață în timpul intervalului de vîrstă  $x \rightarrow x+1$ ;  $m$  = clasa de vîrstă maximă observată;  $n_x$  = numărul de indivizi aflați în viață la începutul intervalului de vîrstă  $x$ ;  $n_{x+1}$  = numărul de indivizi aflați în viață la începutul intervalului de vîrstă  $x+1$ . Seria de valori din coloana  $L_x$  este cunoscută de obicei ca distribuție staționară pe clase de vîrstă, care se realizează atunci cînd mărimea populației ar rămîne constantă.  $T_x$  se obține prin însumarea valorilor din coloana  $L_x$  de la vîrsta  $x$  pînă la ultimul interval de vîrstă  $m$  și ar caracteriza numărul de unități (indivizi pe unitate de timp) parcurse de un grup de indivizi de vîrstă  $x$  pînă la eliminarea din populație prin mortalitate (Botnariuc și Vădineanu, 1982).

⇒ **Metode de colectare a datelor necesare întocmirii unui tabel de viață:** Caughley (1977) a rezumat 6 metode principale de prelevare a datelor pentru alcătuirea tabelelor de viață, din care trebuie aleasă metoda cea mai potrivită organismelor studiate. Primele patru metode sunt generale și nu necesită date despre stabilitatea populației sau despre structura pe vârste. Ultimele două metode sunt mult mai specializate, deoarece necesită ca distribuția pe vârste a populației să fie stabilă și rata de creștere cunoscută (Krebs, 1999). Distribuția stabilă pe clase de vârstă se realizează când fiecare clasă de vârstă își modifică proporția de indivizi pe care-i include din totalul populației cu aceeași viteză (Andrewartha și Birch, 1954).

- 1. înregistrarea directă a vârstei morții organismelor:** include date foarte precise, deoarece se urmărește o cohortă pe o anumită perioadă de timp; numărul de indivizi eliminați din populație se înregistrează la intervale succesive de timp; datele obținute prin observație directă sunt  $d_x$ , iar restul parametrilor se calculează pornind de la aceste valori;
- 2. înregistrarea directă a numărului de indivizi dintr-o cohortă:** și aceste date sunt precise; se înregistrează numărul de indivizi rămași în viață la intervale succesive de timp, tot pentru o cohortă de indivizi; datele obținute prin observație directă sunt  $n_x$ ;
- 3. înregistrarea vârstei mortalității pentru mai multe cohorte:** indivizii sunt marcați la naștere, iar vârsta morții se înregistrează ca în metoda **1**; deși se iau în calcul mai multe cohorte diferite (pe ani sau sezoane diferite), datele sunt prelucrate ca și când indivizii ar face parte dintr-o singură cohortă;
- 4. înregistrarea directă a structurii pe vârste:** numărul de indivizi de vârstă  $x$  dintr-o populație e comparat cu numărul de indivizi ce au murit înainte de a atinge vârsta  $x+1$ ; numărul de indivizi morți în acest interval ( $d_x$ ), raportat la numărul de indivizi aflați în viață la începutul intervalului ( $n_x$ ) duc la estimarea directă a lui  $q_x$  (rata mortalității);
- 5. înregistrarea vârstei morții pentru populații cu o distribuție stabilă pe vârste și cu o rată de creștere cunoscută:** se folosește când e posibilă găsirea de schelete sau alte rămășițe care să arate vârsta morții unui individ; aceste date pot fi rezumate într-o frecvență a distribuției mortalității, dînd direct valoarea lui  $d_x$ ; totuși, trebuie aplicat un factor de corecție pentru  $d_x$ , pentru ilustrarea creșterii sau scăderii a efectivului populației:  $d'_x = d_x e^{rx}$ , unde:  $d'_x$  = estimata corectată a numărului de indivizi eliminați în intervalul  $x \rightarrow x+1$ ;  $d_x$  = numărul observat de indivizi eliminați în intervalul  $x \rightarrow x+1$ ;  $r$  = rata de creștere instantanee a populației;  $x$  = clasele de vârstă (0, 1, 2...);  $e$  = baza logaritmului natural; dacă populația e constantă, factorul de corecție este 1, adică  $d_x$  rămîne neschimbat;
- 6. înregistrarea distribuției pe vârste a unei populații cu o distribuție stabilă pe vârste și cu o rată de creștere cunoscută:** distribuția pe vârste a populației este măsurată direct prin colectare de probe; numărul de indivizi născuți e calculat din ratele de fecunditate, astfel că  $l_x$  se poate estima direct:  $l_x = (n_x e^{rx}) / n_0$ , unde  $l_x$  = porporția de indivizi ce au supraviețuit la începutul clasei de vârstă  $x$ ;  $n_x$  = numărul de indivizi din clasa de vârstă  $x \rightarrow x+1$ ;  $n_0$  = numărul de nașteri estimat din datele de fecunditate;  $r$  = rata de creștere instantanee a populației.

### ⇒ **Reprezentarea grafică a tabelelor de viață:**

Dacă se reprezintă grafic datele incluse în coloana  $l_x$ , se obține curba de supraviețuire, care evidențiază într-o formă sugestivă particularitățile fiecărei vârste în ceea ce privește capacitatea de suport față de presiunea variabilă a mediului.

Curba se trasează plasînd pe ordoanță ( $Oy$ ) valorile  $l_x$  (sau transformările lor cum ar fi de exemplu valorile logaritmice), iar pe abscisă ( $Ox$ ) vârsta ( $x$ ). Panta curbei la fiecare vîrstă reprezintă rata mortalității specifice de vîrstă.

Curbele de supraviețuire cunoscute pentru diferite populații naturale aproximează cinci tipuri de curbe diferentiale teoretice. De multe ori, pentru simplificare, se prezintă doar trei tipuri teoretice de curbe de supraviețuire, „extremele”, adică tipurile 1, 3 și 5 (notate cu I, II și III). În mod obișnuit însă, populațiile naturale au curbe de supraviețuire care se aseamănă cu o combinație a tipurilor teoretice menționate:

1. rata mortalității este redusă pînă la ultimul stadiu de dezvoltare, după care crește rapid, determinînd o cădere abruptă a curbei; e caracteristică populațiilor la care se manifestă grija părinților față de progenitură, omul și primatele constituind cel mai elocvent exemplu;
2. mortalitatea crește cu o rată constantă în raport cu vîrsta; de exemplu la populațiile de rotifere crescute în condiții controlate;
3. rata mortalității se menține constantă la toate vîrstele, determinînd o curbă de supraviețuire liniară, situație întîlnită la multe specii de vertebrate; un exemplu ar fi atunci cînd cauza principală a eliminărilor din populație este reprezentată de un prădător care nu face distincție între vîrste; acest tip de curbă indică faptul că la fiecare clasă de vîrstă, într-un anumit interval de timp, o fracție constantă din populație va fi eliminată prin mortalitate;
4. rata mortalității este mare la stadiile juvenile și descrește cu o rată constantă pe măsura ce se înaintează în vîrstă, iar curba de supraviețuire este ușor concavă;
5. mortalitatea are o rată foarte mare la stadiile tinere, după care scade rapid la un nivel relativ constant; de exemplu la populațiile speciilor de pești și nevertebrate care au o fecunditate foarte mare, alături de eliminări masive în stadiile juvenile sub acțiunea prădătorilor; de asemenea, toate plantele perene au curbe de tipul 5.

### ⇒ **EXERCIȚIU:**

Întocmiți tabelul de viață pentru o cohortă de clean, *Leuciscus cephalus*, urmărită timp de 10 ani în condiții experimentale. A fost determinat numărul de indivizi ce au supraviețuit la începutul fiecărui an (la începutul fiecărui interval de vîrstă), pînă cînd ultimul individ a murit (această specie de pești are un ciclu de viață de aproximativ 9 - 10 ani). Ce tip de curbă de supraviețuire va avea în final cohorta de clean?

Datele brute sunt următoarele:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	x	nx								
2		0	296							
3		1	78							
4		2	58							
5		3	51							
6		4	46							
7		5	38							
8		6	23							
9		7	19							
10		8	14							
11		9	7							
12		10	0							
13										
14										
15										

Din parametrii obținuți prin observație directă se pot deriva termenii tabelului de viață. Primul este  $l_x$ , capacitatea de supraviețuire, după care calculăm  $d_x$ ,  $p_x$  și  $q_x$ :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	x	nx	$l_x$	$d_x$	$p_x$	$q_x$				
2		0	296	1	218	0,26	0,74			
3		1	78	0,263514	20	0,74	0,26			
4		2	58	0,195946	7	0,88	0,12			
5		3	51	0,172297	5	0,90	0,10			
6		4	46	0,155405	8	0,83	0,17			
7		5	38	0,128378	15	0,61	0,39			
8		6	23	0,077703	4	0,83	0,17			
9		7	19	0,064189	5	0,74	0,26			
10		8	14	0,047297	7	0,50	0,50			
11		9	7	0,023649	7	0,00	1,00			
12		10	0	0 NA	NA	NA				
13										
14										
15										

Speranța de viață  $e_x$  se calculează folosind termenii  $L$  și  $T$ .  $L_x$  reprezintă numărul mediu de indivizi din fiecare interval de vîrstă.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	x	nx	$l_x$	$d_x$	$p_x$	$q_x$	$L_x$	$T_x$	$e_x$	
2		0	296	1	218	0,26	0,74	$=(B2+B3)/2$		
3		1	78	0,263514	20	0,74	0,26			
4		2	58	0,195946	7	0,88	0,12			
5		3	51	0,172297	5	0,90	0,10			
6		4	46	0,155405	8	0,83	0,17			
7		5	38	0,128378	15	0,61	0,39			
8		6	23	0,077703	4	0,83	0,17			
9		7	19	0,064189	5	0,74	0,26			
10		8	14	0,047297	7	0,50	0,50			
11		9	7	0,023649	7	0,00	1,00			
12		10	0	0 NA	NA	NA				
13										
14										
15										

Parametrul  $T_x$  reprezintă suma numărului mediu de indivizi de la vîrstă considerată pînă la final. Astfel, pentru primul interval de vîrstă,  $T$  va fi suma

parametrilor  $L$  de la celula  $G2$  pînă la  $G11$ , dar pentru al doilea interval de vîrstă,  $T$  va fi suma parametrilor  $L$  de la vîrsta 1 an pînă la sfîrșit, adică suma de la  $G3$  la  $G11$ . În final,  $T$  pentru intervalul de vîrstă 9 - 10 ani va fi chiar celula  $G11$ .

SUM										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	x	$nx$	$lx$	$dx$	$px$	$qx$	$Lx$	$Tx$	$e_x$	
2	0	296	1	218	0,26	0,74	187	=SUM(G2:G11)		
3	1	78	0,263514	20	0,74	0,26	68			
4	2	58	0,195946	7	0,88	0,12	54,5			
5	3	51	0,172297	5	0,90	0,10	48,5			
6	4	46	0,155405	8	0,83	0,17	42			
7	5	38	0,128378	15	0,61	0,39	30,5			
8	6	23	0,077703	4	0,83	0,17	21			
9	7	19	0,064189	5	0,74	0,26	16,5			
10	8	14	0,047297	7	0,50	0,50	10,5			
11	9	7	0,023649	7	0,00	1,00	3,5			
12	10	0	0	NA	NA	NA				
13										
14										
15										

SUM										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	x	$nx$	$lx$	$dx$	$px$	$qx$	$Lx$	$Tx$	$e_x$	
2	0	296	1	218	0,26	0,74	187	482		
3	1	78	0,263514	20	0,74	0,26	68	=SUM(G3:G11)		
4	2	58	0,195946	7	0,88	0,12	54,5			
5	3	51	0,172297	5	0,90	0,10	48,5			
6	4	46	0,155405	8	0,83	0,17	42			
7	5	38	0,128378	15	0,61	0,39	30,5			
8	6	23	0,077703	4	0,83	0,17	21			
9	7	19	0,064189	5	0,74	0,26	16,5			
10	8	14	0,047297	7	0,50	0,50	10,5			
11	9	7	0,023649	7	0,00	1,00	3,5			
12	10	0	0	NA	NA	NA				
13										
14										
15										

SUM										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	x	$nx$	$lx$	$dx$	$px$	$qx$	$Lx$	$Tx$	$e_x$	
2	0	296	1	218	0,26	0,74	187	482		
3	1	78	0,263514	20	0,74	0,26	68	295		
4	2	58	0,195946	7	0,88	0,12	54,5	227		
5	3	51	0,172297	5	0,90	0,10	48,5	172,5		
6	4	46	0,155405	8	0,83	0,17	42	124		
7	5	38	0,128378	15	0,61	0,39	30,5	82		
8	6	23	0,077703	4	0,83	0,17	21	51,5		
9	7	19	0,064189	5	0,74	0,26	16,5	30,5		
10	8	14	0,047297	7	0,50	0,50	10,5	14		
11	9	7	0,023649	7	0,00	1,00	3,5	=SUM(G11)		
12	10	0	0	NA	NA	NA				
13										
14										
15										

În final se poate calcula speranța de viață  $e_x$  din parametrii  $T$  și  $n$ .

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	x	$n_x$	$l_x$	$d_x$	$p_x$	$q_x$	$L_x$	$T_x$	$e_x$	
2	0	296	1	218	0,26	0,74	187	482	1,63	
3	1	78	0,263514	20	0,74	0,26	68	295	3,78	
4	2	58	0,195946	7	0,88	0,12	54,5	227	3,91	
5	3	51	0,172297	5	0,90	0,10	48,5	172,5	3,38	
6	4	46	0,155405	8	0,83	0,17	42	124	2,70	
7	5	38	0,128378	15	0,61	0,39	30,5	82	2,16	
8	6	23	0,077703	4	0,83	0,17	21	51,5	2,24	
9	7	19	0,064189	5	0,74	0,26	16,5	30,5	1,61	
10	8	14	0,047297	7	0,50	0,50	10,5	14	1,00	
11	9	7	0,023649	7	0,00	1,00	3,5	3,5	0,50	
12	10	0	0 NA	NA	NA					
13										
14										
15										

Astfel, tabelul de viață întocmit pentru cohorta de clean arată numărul de supraviețuitori (și deci și de indivizi eliminați) la fiecare interval de vîrstă. Parametrul  $d_x$  indică o mortalitate foarte mare în primul interval de vîrstă, de la eclozare pînă la 1 an (218 indivizi eliminați), aspect reflectat și de rata  $q$  de 0,74 (adică 74% din indivizii existenți în intervalul respectiv au fost eliminați). Odată cu înaintarea în vîrstă această mortalitate ridicată se estompează, după cum arată tabelul de viață.

Interpretarea speranței de viață  $e_x$  este următoarea: un alevin de pește abea eclozat, deci din intervalul de vîrstă 0 - 1 an, poate spera să trăiască 1,63 ani; un individ din intervalul de vîrstă 1 - 2 ani are o speranță de viață mai mare, de 3,78 ani. Pe măsură ce cohorta îmbătrînește, speranța de viață scade din nou, datorită apropierei morții cauzată de senescență (speranța de viață a unui individ din intervalul de vîrstă 9 - 10 ani este de doar 0,5 ani).

Reprezentarea grafică a tabelului de viață pentru cohorta de clean se regăsește în figura 2.17., din care se observă că tipul teoretic de care se apropie curba de supraviețuire este 5 sau III.

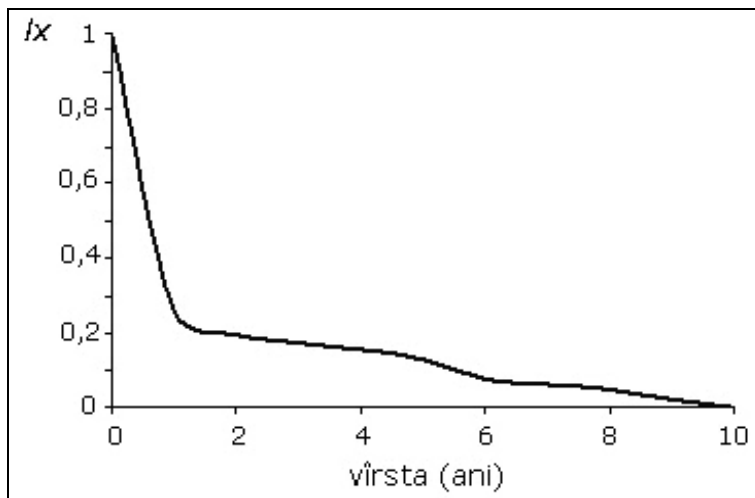


Fig. 2.17. Curba de supraviețuire pentru cohorta de clean urmărită pentru alcătuirea tabelului de viață ( $l_x$  = capacitatea de supraviețuire)

## 2.7. Determinarea distribuției spațiale a populațiilor

Distribuția spațială se referă la modul în care o populație este distribuită în spațiu și este cauzată de necesitățile diferite ale speciilor față de mediu și de relațiile cu celelalte specii. Printre factorii care influențează distribuția populațiilor se numără: prădătorismul, competiția inter- și intrapopulațională, incendii, despăduriri, inundații etc.

⇒ Testarea modului de distribuție al unei populații implică două faze principale: în primul rând colectarea randomizată de probe (de exemplu prin metoda pătratelor) și în al doilea rând, compararea distribuției găsite cu modele matematice cunoscute, adică încadrarea distribuției reale într-unul din cele 3 modele teoretice de distribuții de frecvență de bază. În acest capitol vom prezenta indicii de testare a distribuției spațiale ce au la bază raportul dintre varianță și medie; pentru alți indici se poate consulta Rîșnoveanu (2010).

⇒ Există trei tipuri majore de distribuție spațială ale populațiilor din natură, ce se pot afla dacă răspundem la întrebarea: *Știind poziția în spațiu a unui individ, care este probabilitatea ca un alt individ să fie localizat în apropiere?* Dacă probabilitatea este mare, vorbim de **distribuție grupată**; dacă probabilitatea e mică, avem **distribuție uniformă**; iar dacă probabilitatea e neafectată, atunci **distribuția e întâmplătoare**.

**Distribuția uniformă** (fig. 2.18.) are următoarele caracteristici:

- indivizii sunt distribuiți la distanțe egale unii de alții;
- de multe ori este rezultatul teritorialității (la animale) sau alelopatiei (la plante);
- la prelevarea unei probe avem aceeași probabilitate să găsim indivizi aparținând populației, indiferent de locul de prelevare;
- modelul teoretic adecvat este distribuția normală;

**Distribuția întâmplătoare** (fig. 2.18.) are următoarele caracteristici:

- nu există o ordine bine definită;
- orice individ din populație se poate afla în orice loc din spațiu;
- poziția unui individ nu influențează în nici un fel poziția celorlalți indivizi;
- la prelevarea unei probe: probabilitatea să găsim indivizi aparținând populației studiate e cea mai mică;
- modelul teoretic adecvat este distribuția Poisson (pentru evenimente rare);

**Distribuția grupată** (fig. 2.18.) are următoarele caracteristici:

- indivizii formează grupuri datorită numeroaselor interacțiuni dintre indivizi;
- este caracteristică pentru majoritatea populațiilor din natură;
- la prelevarea unei probe există șanse egale să găsim sau să nu găsim indivizi aparținând populației studiate;
- modelul teoretic adecvat este distribuția binomială.

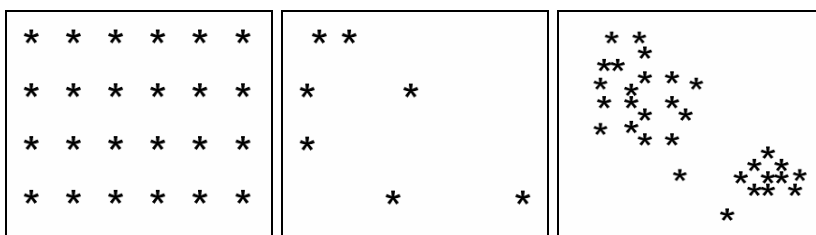


Fig. 2.18. Reprezentarea schematică a celor trei distribuții în spațiu: uniformă (stânga); întâmplătoare (mijloc) și grupată (dreapta)

⇒ **Etapetele urmate în testarea distribuției spațiale pentru o populație sunt:**

**1. prelevarea probelor din teren și sintetizarea datelor brute:** de obicei metoda pătratelor este foarte eficientă pentru strângerea datelor brute pentru testarea distribuției spațiale;

**2. primul indiciu despre distribuție:** este relația dintre varianță  $s^2$  și media aritmetică  $\bar{x}$ : dacă  $s^2 = \bar{x}$ , atunci avem distribuție întâmplătoare; dacă  $s^2 < \bar{x}$  vorbim de distribuție uniformă iar dacă  $s^2 > \bar{x}$  atunci este distribuție grupată; însă distribuția spațială trebuie testată mai riguros;

**3. calcularea indicelui de dispersie (ID):** denumirea indicelui vine din termenul englezesc *dispersion* ce se referă la distribuții de frecvență (de genul Poisson, normală, binomială); are formula:  $ID = \frac{s^2}{\bar{x}}$ , unde  $\bar{x}$  este

media aritmetică, iar  $s^2$  este varianța: 
$$s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1};$$

**4. testarea distribuției folosind testul  $t$ , testul  $\chi^2$  (hi pătrat) sau testul  $d$ :** ipoteza nulă  $H_0$  de la care se pleacă pentru toate aceste teste este: *POPULAȚIA STUDIATĂ ARE O DISTRIBUȚIE ÎNTÂMPLĂTOARE*; dacă admitem  $H_0$ , atunci distribuția este întâmplătoare; dacă respingem  $H_0$ , distribuția este neîntâmplătoare (uniformă sau grupată);

**4.a) testul  $t$ , folosit pentru un număr de probe ( $n$ ) < 30:** cu formula:

$$t = \frac{ID - 1}{\sqrt{\frac{2}{n-1}}};$$

unde  $ID$  = indicele de dispersie;  $t$  reprezintă cel mai „slab” test

de distribuție, deoarece permite doar acceptarea sau respingerea ipotezei nule; **modul de interpretare este următorul: valoarea calculată se compară cu valoarea lui  $t$  din tabelul de variație (fig. 1.4.), la  $n-1$  grade de libertate și  $p = 0,05$ : dacă  $t_{\text{calculat}} < t_{\text{tabel}}$  atunci acceptăm ipoteza nulă și distribuția este întâmplătoare; dar dacă  $t_{\text{calculat}} > t_{\text{tabel}}$  atunci respingem ipoteza nulă și distribuția este neîntâmplătoare;**

**4.b) testul  $\chi^2$ , folosit tot pentru un număr de probe ( $n$ ) < 30:** cu următoarea formulă:  $\chi^2 = ID(n-1)$ ;  $\chi^2$  este mai „puternic” decât  $t$  deoarece permite stabilirea tipului de distribuție spațială; **interpretarea se poate face din tabelul de distribuție al parametrului  $\chi^2$  sau folosind figura 2.19;**

**4.c) testul  $d$ , folosit pentru un număr de probe ( $n$ ) > 30:** cu formula:

$d = \sqrt{2\chi^2} - \sqrt{2(n-1)-1}$ ; modul de interpretare este următorul: dacă  $-1,96 < d < +1,96$ , atunci distribuția este întâmplătoare; dacă  $d < -1,96$ , distribuția este uniformă iar dacă  $d > +1,96$ , atunci distribuția este grupată;

**5. determinarea gradului de grupare (doar pentru cazul în care distribuția este grupată):** se realizează cu indici de grupare, dintre care cel mai des folosit este **indicele Green (IG)**, ce nu depinde de numărul total de

probe prelevate și are următoarea formulă:  $IG = \frac{ID-1}{\sum x-1}$ , unde  $ID =$

indicele de dispersie și  $x =$  numărul de indivizi din fiecare probă; **modul de interpretare este următorul: indicele ia valori între 0 și 1, 1 indicând grupare maximă.**

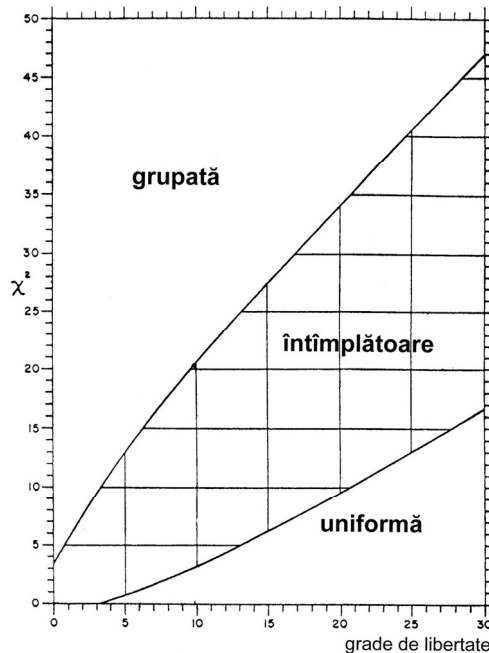


Fig. 2.19. Valorile lui  $\chi^2$  pentru un prag de semnificație de 5%; zona hașurată reprezintă distribuția de tip Poisson ce trebuie acceptată dacă valorile lui  $\chi^2$  se încadrează în acea arie (după Elliott, 1977)

⇒ **EXERCITIU:**

În Pîrîul Țiganilor din Grădina Botanică „Al. Borza” din Cluj Napoca există două specii dominante în comunitatea bentonică: dipterul *Chironomus thumi* și oligochetul *Tubifex tubifex*. S-au prelevat randomizat 20 de probe cu bentometrul Surber (fig. 2.1.) de la o stație situată într-un punct ușor accesibil (fig. 2.20.). Care este distribuția în spațiu a celor două specii și dacă există distribuție grupată, care este gradul de grupare (pe baza indicelui Green)?



Fig. 2.20. Modul de prelevare a probelor bentonice pentru testarea distribuției spațiale a două specii din Pîrîul Țiganilor, Grădina Botanică, Cluj-Napoca

Datele brute sunt următoarele:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	PROBA	Chironomus	Tubifex											
2	1	0	6											
3	2	0	0											
4	3	0	0											
5	4	2	5											
6	5	1	0											
7	6	1	5											
8	7	1	0											
9	8	2	2											
10	9	1	0											
11	10	2	4											
12	11	1	1											
13	12	1	1											
14	13	1	0											
15	14	1	3											
16	15	0	0											
17	16	3	3											
18	17	2	0											
19	18	1	2											
20	19	0	3											
21	20	1	6											
22														
23														

Pentru ambele specii (*Chironomus* - C și *Tubifex* - T) se calculează media aritmetică și varianța (med.ar și var), ca și indicele de dispersie *ID*.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	PROBA	Chironomus	Tubifex	med ar C	med ar T	var C	var T							
2	1	0	6	1,05	2,05	0,681579	4,786842							
3	2	0	0											
4	3	0	0											
5	4	2	5											
6	5	1	0											
7	6	1	5											
8	7	1	0											
9	8	2	2											
10	9	1	0											
11	10	2	4											
12	11	1	1											
13	12	1	1											
14	13	1	0											
15	14	1	3											
16	15	0	0											
17	16	3	3											
18	17	2	0											
19	18	1	2											
20	19	0	3											
21	20	1	6											
22														
23														

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	PROBA	Chironomus	Tubifex	med ar C	med ar T	var C	var T	ID C						
2	1	0	6	1,05	2,05	0,681579	4,786842	=F2/D2						
3	2	0	0											
4	3	0	0											
5	4	2	5											
6	5	1	0											
7	6	1	5											
8	7	1	0											
9	8	2	2											
10	9	1	0											
11	10	2	4											
12	11	1	1											
13	12	1	1											
14	13	1	0											
15	14	1	3											
16	15	0	0											
17	16	3	3											
18	17	2	0											
19	18	1	2											
20	19	0	3											
21	20	1	6											
22														
23														

Se poate aplica primul test, cel mai „slab”, respectiv testul  $t$ , după care se continuă cu testul mai puternic, testul  $\chi^2$  ( $h_i$  în calculele de mai jos). Pentru *Tubifex* se calculează indicele Green ce reflectă gradul de grupare.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	PROBA	Chironomus	Tubifex	med ar C	med ar T	var C	var T	ID C	ID T	IC				
2	1	0	6	1,05	2,05	0,681579	4,786842	0,649123	2,335045	=((H2-I)/SQRT(2/19))				
3	2	0	0											
4	3	0	0											
5	4	2	5											
6	5	1	0											
7	6	1	5											
8	7	1	0											
9	8	2	2											
10	9	1	0											
11	10	2	4											
12	11	1	1											
13	12	1	1											
14	13	1	0											
15	14	1	3											
16	15	0	0											
17	16	3	3											
18	17	2	0											
19	18	1	2											
20	19	0	3											
21	20	1	6											
22														
23														

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	PROBA	Chironomus	Tubifex	med ar C	med ar T	var C	var T	ID C	ID T	tC	tT	hiC	hiT	IGT
2	1	0	6	1,05	2,05	0,681579	4,786842	0,649123	2,335045	-1,08148	4,114885			=19*H2
3	2	0	0											
4	3	0	0											
5	4	2	5											
6	5	1	0											
7	6	1	5											
8	7	1	0											
9	8	2	2											
10	9	1	0											
11	10	2	4											
12	11	1	1											
13	12	1	1											
14	13	1	0											
15	14	1	3											
16	15	0	0											
17	16	3	3											
18	17	2	0											
19	18	1	2											
20	19	0	3											
21	20	1	6											
22														
23														

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	PROBA	Chironomus	Tubifex	med ar C	med ar T	var C	var T	ID C	ID T	tC	tT	hiC	hiT	IGT
2	1	0	6	1,05	2,05	0,681579	4,786842	0,649123	2,335045	-1,08148	4,114885	12,33333	44,36585	0,033376
3	2	0	0											
4	3	0	0											
5	4	2	5											
6	5	1	0											
7	6	1	5											
8	7	1	0											
9	8	2	2											
10	9	1	0											
11	10	2	4											
12	11	1	1											
13	12	1	1											
14	13	1	0											
15	14	1	3											
16	15	0	0											
17	16	3	3											
18	17	2	0											
19	18	1	2											
20	19	0	3											
21	20	1	6											
22														
23														

Pentru *Chironomus thumi*,  $t_{calculat}$  este -1,08, adică mai mic decât valoarea lui  $t$  din tabelul de variație (fig. 1.4.), la  $n-1$  (adică  $20-1=19$ ) grade de libertate: 2,093, ceea ce arată că această specie are distribuție întâmplătoare. La *Tubifex tubifex* însă,  $t_{calculat}$  este mai mare decât  $t_{tabel}$ , astfel încât distribuția este neîntâmplătoare (fie uniformă, fie grupată).

Prin aplicarea testului  $\chi^2$  și interpretarea acestuia folosind figura 2.19., se confirmă distribuția întâmplătoare pentru *Chironomus* și se dovedește distribuția grupată pentru *Tubifex*. Indicele Green, cu valoarea de 0,03 arată însă o grupare foarte laxă, puțin agregată.

## 2.8. Estimarea preferințelor pentru resurse la populațiile naturale

Dacă un individ dintr-o populație are posibilitatea de a alege între mai multe tipuri de hrană sau între mai multe habitate, va prefera unele și va evita altele. Astfel, de obicei vorbim de două categorii majore de preferințe: pentru **hrană** și pentru **habitat** (inclusiv pentru locuri de cuibărire).

Preferința pentru o anumită categorie de hrană (sau habitat) se poate măsura relativ simplu prin compararea disponibilității în mediu cu utilizarea ei de către indivizii studiați.

Problema principală în toate studiile de estimare a preferințelor este calcularea probabilității de utilizare a diferitelor resurse. De cele mai multe ori, această probabilitate nu poate fi estimată în sens absolut, dar se pot estima preferințele ce sunt proporționale cu aceste probabilități.

⇒ **Există două tipuri principale de studii** în estimarea preferințelor (Manly și colab.,1993):

**A.** în primul tip, toate măsurătorile se fac la nivelul întregii populații; indivizii nu sunt recunoscuți fiecare în parte, iar resursele folosite și cele disponibile sunt estimate pentru toată zona de studiu. Un exemplu pentru această categorie de studii de estimare a preferințelor ar fi studiul ingluviilor regurgitate de bufnițe (fig. 2.21.);



Fig. 2.21. Ingluvii de strigiforme din Parcul Natural Cefa (stînga) și rămășițe de oase de micromamifere din aceste ingluvii (dreapta)

**B.** în al doilea tip de studii, utilizarea resurselor este măsurată pentru fiecare individ în parte. Disponibilitatea resurselor poate fi măsurată pentru toată populația (ca întreg) pe toată zona de studiu (de exemplu studii de conținut stomacal) sau pentru fiecare individ în parte (de exemplu urmărirea indivizilor cu radio-emitoare).

⇒ **Parametrii de bază folosiți pentru măsurarea preferințelor** au diferite notații în literatura de specialitate, variind de la indice la indice. Pentru simplificare, în acest subcapitol se vor folosi aceleași prescurtări pentru toate formulele prezentate. De precizat este că în formule se folosesc proporțiile sau procentele tipurilor de resurse, diferența fiind că suma proporțiilor este 1 iar suma procentelor este 100%. Astfel, vorbim de:

$n$  = numărul total de resurse (categorii de hrană sau tipuri de habitat) existente în mediu;

$i$  = categoria de resurse  $i$  (hrană sau habitat);

$j$  = categoria de resurse  $j$  (hrană sau habitat);

$m_i$  = numărul de indivizi din fiecare categorie de hrană sau numărul de tipuri de habitat;

$pm_i$  = proporția sau procentul din resursa  $i$  (hrană sau habitat) disponibilă în mediu;

$M$  = abundența totală a categoriilor de hrană din mediu sau a tipurilor de habitat;  $M = \sum_{i=1}^n m_i$ ;

$u_i$  = numărul de indivizi din fiecare categorie de hrană din dietă sau numărul de observații de utilizare a tipurilor de habitat;

$pu_i$  = proporția sau procentul din resursa  $i$  (hrană sau habitat) folosită (fie proporția fiecărei categorii de hrană din dietă, fie proporția fiecărui tip de habitat utilizat);

$U$  = abundența categoriilor de hrană din dietă sau a observațiilor de utilizare a tipurilor de habitat;  $U = \sum_{i=1}^n u_i$ .

⇒ **Există mai multe metode de estimare a preferințelor, după cum urmează:**

**1. indicele de selecție al hranei (*forage ratio*)** (Savage, 1931; redenumit

**indicele de selecție** (Manly și colab., 1993), cu formula:  $w_i = \frac{u_i}{m_i}$ , unde  $w_i =$

indicele de selecție pentru resursa  $i$ ;  $u_i$  și  $m_i$  definiți anterior;  $w$  ia valori între 0 și  $+\infty$ ; dacă  $w < 1$  vorbim de evitare, iar dacă  $w > 1$ , atunci vorbim de preferință;

\*\* **standardizarea indicelui de selecție** (Manly și colab., 1993) se practică pentru o mai ușoară interpretare, deoarece valorile se transformă în rapoarte ce adunate fac 1 pentru toate categoriile de hrană; formula

este:  $w_{st} = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$ , unde  $w_{st}$  = indicele de selecție standardizat pentru resursa

$i$ ; dacă  $w_{st} = \frac{1}{nr. de resurse}$ , atunci nu există nici o preferință; dacă  $w_{st} >$

$\frac{1}{nr. de resurse}$ , atunci vorbim de preferință; iar dacă  $w_{st} < \frac{1}{nr. de resurse}$ , vorbim de evitare;

\*\* **testele statistice aplicate indicelui de selecție** diferă în cazul în care resursele disponibile sunt numărate complet (ce reprezintă studii în care teoretic nu se strecoară erori: ca de exemplu realizarea fotografiilor aeriene pentru estimarea preferințelor pentru habitat, sau experimentele de laborator unde hrana este dată în proporții cunoscute *a-priori* de către cercetător),

comparativ cu cazul în care resursele disponibile sunt estimate prin prelevarea de probe (unde pot exista erori de eşantionare) (Krebs, 1999);

**\* pentru cazul în care resursele disponibile se pot număra complet:**

- se poate testa ipoteza nulă că animalele selectează resursele la întâmplare, mai mult sau mai puțin egal, fără nici o preferință, folosind testul G (Manly și

colab., 1993):  $\chi^2 = 2 \sum_{i=1}^n \left[ u_i \ln \left( \frac{u_i}{U pm_i} \right) \right]$ , unde  $\chi^2$  = valoarea lui  $hi$  pătrat

la  $n-1$  grade de libertate ( $H_0$  = selectare egală, fără preferințe);  $n$ ,  $i$ ,  $u_i$ ,  $U$  și  $pm_i$  definiți anterior; dacă  $\chi^2$  calculat >  $\chi^2$  tabel, de obicei la un prag de semnificație de 0,05 (fig. 2.22.), atunci respingem ipoteza nulă, deci există preferințe;

GL	$p=0,1$	$p=0,05$	$p=0,025$	$p=0,01$	$p=0,005$	$p=0,001$
1	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88	10.83
2	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60	13.82
3	6.25	7.81	9.35	11.34	12.84	16.27
4	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86	18.47
5	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75	20.52
6	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55	22.46
7	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28	24.32
8	13.36	15.51	17.53	20.09	21.96	26.13
9	14.68	16.92	19.02	21.67	23.59	27.88
10	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19	29.59
11	17.28	19.68	21.92	24.73	26.76	31.26
12	18.55	21.03	23.34	26.22	28.30	32.91
13	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82	34.53
14	21.06	23.68	26.12	29.14	31.32	36.12
15	22.31	25.00	27.49	30.58	32.80	37.70
16	23.54	26.30	28.85	32.00	34.27	39.25
17	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72	40.79
18	25.99	28.87	31.53	34.81	37.16	42.31
19	27.20	30.14	32.85	36.19	38.58	43.82
20	28.41	31.41	34.17	37.57	40.00	45.32
21	29.62	32.67	35.48	38.93	41.40	46.80
22	30.81	33.92	36.78	40.29	42.80	48.27
23	32.01	35.17	38.08	41.64	44.18	49.73
24	33.20	36.42	39.36	42.98	45.56	51.18
25	34.38	37.65	40.65	44.31	46.93	52.62
26	35.56	38.89	41.92	45.64	48.29	54.05
27	36.74	40.11	43.19	46.96	49.64	55.48
28	37.92	41.34	44.46	48.28	50.99	56.89
29	39.09	42.56	45.72	49.59	52.34	58.30
30	40.26	43.77	46.98	50.89	53.67	59.70
40	51.81	55.76	59.34	63.69	66.77	73.40
50	63.17	67.50	71.42	76.15	79.49	86.66
60	74.40	79.08	83.30	88.38	91.95	99.61
70	85.53	90.53	95.02	100.43	104.21	112.32
80	96.58	101.88	106.63	112.33	116.32	124.84
90	107.57	113.15	118.14	124.12	128.30	137.21
100	118.50	123.34	129.56	135.81	140.17	149.45

Fig. 2.22. Valorile critice ale parametrului  $\chi^2$  (GL - grade de libertate;  $p$  - prag de semnificație) (din Hassard, 1991)

- se pot calcula limitele de confidență pentru fiecare indice de selecție, de exemplu pentru 95% confidență vom scrie  $w_i \pm 1,96 * ES_{wi}$ , unde  $ES_{wi}$  = eroarea standard a indicelui de selecție pentru resursa  $i$ , cu

$$\text{formula: } ES_{w_i} = \sqrt{\frac{pu_i(1-pu_i)}{U pm_i^2}}, \text{ unde } pu_i, pm_i \text{ și } U \text{ sunt definiți anterior;}$$

- de asemenea, două valori ale indicelui de selecție pentru două tipuri resurse diferite se pot compara pentru a vedea dacă sunt într-adevăr diferite semnificativ, folosind testul următor (Manly și colab., 1993; Krebs, 1999):

$$\chi^2 = \frac{(\hat{w}_i - \hat{w}_j)^2}{\text{var}(\hat{w}_i - \hat{w}_j)}; \text{ unde: } \hat{w}_i \text{ și } \hat{w}_j \text{ sunt indicii de selecție pentru resursele } i$$

și  $j$ ;  $\chi^2$  = valoarea lui  $hi$  pătrat la 1 grad de libertate ( $H_0: \hat{w}_i = \hat{w}_j$ ); iar

$\text{var}(\hat{w}_i - \hat{w}_j)$  este varianța celor doi indici, calculată după formula:

$$\text{var}(\hat{w}_i - \hat{w}_j) = \frac{pu_i(1-pu_i)}{U pm_i^2} - \frac{2pu_i pu_j}{U pm_i pm_j} + \frac{pu_j(1-pu_j)}{U pm_j^2}, \text{ unde toți}$$

parametrii sunt definiți anterior; dacă  $\chi^2$  calculat  $> \chi^2$  tabel, de obicei la un prag de semnificație de 0,05 (fig. 2.22.), atunci respingem ipoteza nulă, deci există diferențe semnificative între cei doi indici de selecție;

\* **pentru cazul în care resursele disponibile trebuie estimate din probe**, procedurile statistice sunt puțin diferite (Krebs, 1999). Mai mult, tehnicile prezentate anterior sunt aplicabile studiilor de tip **A**, unde estimarea preferințelor se face pentru întreaga populație, fără să distingem între indivizi; pentru cele de tip **B**, în care indivizii sunt recunoscuți în parte, principiul de bază e același, însă detaliile calculului sunt prezentate în amănunt în Manly și colab., 1993;

**2. metoda ordonării preferințelor de hrană sau habitat (rank preference index)** (Johnson, 1980) a fost dezvoltată pentru a evita o problemă a primilor doi indici și anume faptul că estimarea preferințelor este dependentă în mare măsură de paleta de resurse incluse în oferta trofică, adică, includerea sau excluderea din calcule a unei categorii de hrană poate conduce la modificări mari ale clasificării preferințelor pentru celelalte categorii de hrană; de aceea, se ordonează în ordine crescătoare resursele disponibile și cele folosite pentru indivizii studiați, folosind **rangul** (poziția, locul în ierarhia resurselor):

#### **Modul de lucru:**

- 2.1.** se determină pentru fiecare individ rangul utilizării resursei  $i$ , notat cu  $u_i'$ , de la 1 (cea mai folosită resursă din dietă) pînă la  $n$  (cea mai puțin folosită);
- 2.2.** se determină rangul disponibilității în mediu a celor  $n$  resurse și se notează cu  $m_i'$ , de la 1 (cea mai folosită resursă din mediu) pînă la  $n$  (cea mai puțin folosită);

**2.3.** se calculează diferența de rang pentru fiecare din cele  $n$  resurse, după formula:  $t_i = u_i - m_i$ , unde  $t_i$  = diferența de rang pentru resursa  $i$ ;  $u_i$  = rangul utilizării resursei  $i$ ;  $m_i$  = rangul disponibilității resursei  $i$ ;

**2.4.** se face media aritmetică a tuturor  $t_i$  - urilor pentru toți indivizii studiați;

**2.5.** se ordonează aceste medii aritmetice de la cea mai preferată resursă pînă la cea mai puțin preferată (**cea mai mică valoare a mediei aritmetice este cea mai preferată resursă**), astfel estimîndu-se preferința relativă pentru resurse.

⇒ **EXERCIȚIU #1:**

S-a realizat un studiu de estimare a preferințelor de habitat și de hrană pentru o populație de lin (*Tinca tinca*) dintr-un rîu puțin adînc, pe cursul său inferior (adîncimea medie fiind de puțin peste un metru). Materialul biologic a fost colectat folosind pescuitul cu electronarcoză (*electrofishing*), pe o lungime de 250 m de rîu, putîndu-se număra astfel indivizii găsiți în patru tipuri diferite de habitate: 1. apă puțin adîncă cu viteză mare a apei (ce reprezenta aproximativ 10% din porțiunea de rîu studiată), 2. apă puțin adîncă cu viteză mică a apei (aproximativ 25%), 3. apă adîncă de pînă la jumătate de metru (aproximativ 45%) și 4. apă mai adîncă de 1 metru, cu viteză mare de curgere a apei (aproximativ 20%). Dacă din totalul de 96 de pești capturați, 2 au fost găsiți în primul tip de habitat, 21 în al doilea tip, 64 în al treilea și 9 în al patrulea, calculați indicii de selecție  $w$  și  $w_{st}$  pentru a demonstra existența unei preferințe de habitat la această populație. De asemenea testați cu ajutorul lui  $\chi^2$  existența unei diferențe semnificative între două valori ale indicilor  $w$ .

Datele brute sunt următoarele:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	TIP HABITAT	pm	u							
2	apă mică rapidă	0,1	2							
3	apă mică lentă	0,25	21							
4	adîncime medie	0,45	64							
5	adîncime mare	0,2	9							
6		1	96							
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										

Se calculează proporția indivizilor de lin ce folosesc cele patru tipuri de habitate, după care se calculează indicele de selecție  $w$  și varianta sa standardizată,  $w_{st}$ .

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	TIP HABITAT	pm	u	pu						
2	apă mică rapidă	0,1	2	=C2/\$C\$6						
3	apă mică lentă	0,25	21							
4	adîncime medie	0,45	64							
5	adîncime mare	0,2	9							
6		1	96							
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	TIP HABITAT	pm	u	pu	w					
2	apă mică rapidă	0,1	2	0,020833	=D2/B2					
3	apă mică lentă	0,25	21	0,21875						
4	adîncime medie	0,45	64	0,666667						
5	adîncime mare	0,2	9	0,09375						
6		1	96							
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	TIP HABITAT	pm	u	pu	w	w st				
2	apă mică rapidă	0,1	2	0,020833	0,208333	=E2/\$E\$6				
3	apă mică lentă	0,25	21	0,21875	0,875					
4	adîncime medie	0,45	64	0,666667	1,481481					
5	adîncime mare	0,2	9	0,09375	0,46875					
6		1	96		3,033565					
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										

Cea mai clară interpretare se face la indicele de selecție standardizat,  $w_{st}$ . Dacă valoarea e mai mare decât  $\frac{1}{nr.total\ resurse}$  (adică  $\frac{1}{4} = 0,25$ ), atunci vorbim de preferință. Se observă că populația de lin preferă în primul rând habitatul de adâncime medie, iar în al doilea rând habitatul cu apă puțin adâncă și viteză mică a apei.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	TIP HABITAT	pm	u	pu	w	w st				
2	apă mică rapidă	0,1	2	0,020833	0,208333	0,068676				
3	apă mică lentă	0,25	21	0,21875	0,875	0,28844				
4	adâncime medie	0,45	64	0,666667	1,481481	0,488363				
5	adâncime mare	0,2	9	0,09375	0,46875	0,154521				
6		1	96		3,03565	1				
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										

E bine să verificăm dacă există într-adevăr diferențe semnificative între valoarea lui  $w$  pentru habitatul arătat ca nepreferat (de adâncime mare,  $w = 0,469$ ) și habitatul preferat conform valorii imediat următoare a lui  $w$ , adică apă puțin adâncă cu viteză mică a apei ( $w = 0,875$ ). Considerăm  $w_i$  cel din urmă tip de habitat (apă mică lentă) și  $w_j$  habitatul cu adâncime mare. Aplicăm testul

$$\chi^2 = \frac{(\hat{w}_i - \hat{w}_j)^2}{\text{var}(\hat{w}_i - \hat{w}_j)}, \text{ plecînd de la ipoteza nulă că nu există diferențe } (H_0: \hat{w}_i =$$

$$\hat{w}_j): \text{var}(\hat{w}_i - \hat{w}_j) = \frac{0,219 * (1 - 0,219)}{96 * 0,25 * 0,25} - \frac{2 * 0,219 * 0,094}{96 * 0,25 * 0,2} + \frac{0,094 * (1 - 0,094)}{96 * 0,2 * 0,2} = 0,042 \rightarrow$$

$$\chi^2 = \frac{0,875 - 0,469}{0,042} = 9,6; \chi^2_{\text{tabel}} \text{ la 1 grad de libertate și } p = 0,05 \text{ este } 3,84;$$

astfel,  $\chi^2_{\text{calculat}} > \chi^2_{\text{tabel}}$ , deci respingem ipoteza nulă, există diferențe semnificative între valorile  $w_i$  și  $w_j$ . Astfel, populația de lin preferă cu adevărat habitatul de apă puțin adâncă cu viteză de curgere mică.

### ⇒ EXERCİȚIU #2:

La același studiu pe populația de *Tinca tinca*, din peștii capturați, marea majoritate au fost eliberați după analiză, dar cîțiva au fost sacrificați pentru a se analiza conținutul stomacal. Se știe că linul este un pește bentofag, astfel că cinci grupuri de zoobentos au fost identificate în stomacurile analizate: larve de odonate, larve de efemeroptere, larve de diptere, amfipode și oligochete. Paralel s-a realizat un studiu asupra acestor grupuri de organisme din bentosul râului, iar densitatea fiecăruia a fost raportată la metru pătrat.

Astfel, datele brute includ parametrul  $m$  (densitățile celor cinci grupuri de zoobentos din râu), dar și parametrul  $u$  pentru trei indivizi de lin ( $u_1$ ,  $u_2$  și  $u_3$ , adică numărul de indivizi din cele cinci categorii de hrană din stomacurile analizate). Folosind metoda ordonării preferințelor, arătați ce categorie de hrană este preferată.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	TIP HABITAT	pm	u	pu	w	w st				
2	apă mică rapidă	0,1	2	0,020833	0,208333	0,068676				
3	apă mică lentă	0,25	21	0,21875	0,875	0,28844				
4	adâncime medie	0,45	64	0,666667	1,481481	0,488363				
5	adâncime mare	0,2	9	0,09375	0,46875	0,154521				
6		1	96		3,033565	1				
7	CATEGORII									
8	DE HRANĂ	m (ind/mp)	u1	u2	u3					
9	odonate	12	23	15	37					
10	efemeroptere	364	59	78	42					
11	diptere	117	102	84	95					
12	amfipode	96	4	0	1					
13	oligochete	532	15	42	3					
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										

Pentru a folosi metoda ordonării preferințelor, vom ordona toate datele brute ( $m$  și  $u$  pentru cei trei pești considerați), de la cea mai abundentă/folosită resursă pînă la cea mai puțin abundentă/folosită (adică descrescător), obținînd astfel rangul valorilor ( $m'$  și  $u'$ ). Se utilizează funcția  $RANK$ , ce necesită definirea a trei parametri: valoarea ce dorim să o ordonăm, șirul de referință și 0 pentru ordonare descrescătoare sau 1 pentru ordonare crescătoare.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	TIP HABITAT	pm	u	pu	w	w st				
2	apă mică rapidă	0,1	2	0,020833	0,208333	0,068676				
3	apă mică lentă	0,25	21	0,21875	0,875	0,28844				
4	adâncime medie	0,45	64	0,666667	1,481481	0,488363				
5	adâncime mare	0,2	9	0,09375	0,46875	0,154521				
6		1	96		3,033565	1				
7	CATEGORII									
8	DE HRANĂ	m (ind/mp)	u1	u2	u3					
9	odonate	12	23	15	37					
10	efemeroptere	364	59	78	42					
11	diptere	117	102	84	95					
12	amfipode	96	4	0	1					
13	oligochete	532	15	42	3					
14										
15	RANGUL	m'								
16	odonate	=RANK(B9:\$B\$9:\$B\$13;0)								
17	efemeroptere									
18	diptere									
19	amfipode									
20	oligochete									
21										

Se calculează apoi  $t$ , ca diferență dintre rangurile  $u'$  și  $m'$ ; vom avea trei valori  $t$ , corespunzătoare celor trei indivizi.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	TIP HABITAT	pm	u	pu	w	w st				
2	apă mică rapidă	0,1	2	0,020833	0,208333	0,068676				
3	apă mică lentă	0,25	21	0,21875	0,875	0,28844				
4	adîncime medie	0,45	64	0,666667	1,481481	0,488363				
5	adîncime mare	0,2	9	0,09375	0,46875	0,154521				
6		1	96		3,033565	1				
7	CATEGORII									
8	DE HRANĂ	m (ind/mp)	u1	u2	u3					
9	odonate	12	23	15	37					
10	efemeroptere	364	59	78	42					
11	diptere	117	102	84	95					
12	amfipode	96	4	0	1					
13	oligochete	532	15	42	3					
14										
15	RANGUL	m'	u'1	u'2	u'3	t1	t2	t3		
16	odonate	5	3	4	3	=C16-SB16				
17	efemeroptere	2	2	2	2					
18	diptere	3	1	1	1					
19	amfipode	4	5	5	5					
20	oligochete	1	4	3	4					
21										

Ultimul pas este calcularea mediei aritmetice pentru toate valorile lui  $t$  și interpretarea rezultatelor:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	TIP HABITAT	pm	u	pu	w	w st				
2	apă mică rapidă	0,1	2	0,020833	0,208333	0,068676				
3	apă mică lentă	0,25	21	0,21875	0,875	0,28844				
4	adîncime medie	0,45	64	0,666667	1,481481	0,488363				
5	adîncime mare	0,2	9	0,09375	0,46875	0,154521				
6		1	96		3,033565	1				
7	CATEGORII									
8	DE HRANĂ	m (ind/mp)	u1	u2	u3					
9	odonate	12	23	15	37					
10	efemeroptere	364	59	78	42					
11	diptere	117	102	84	95					
12	amfipode	96	4	0	1					
13	oligochete	532	15	42	3					
14										
15	RANGUL	m'	u'1	u'2	u'3	t1	t2	t3	med.ar.t	
16	odonate	5	3	4	3	-2	-1	-2	-1,7	
17	efemeroptere	2	2	2	2	0	0	0	0,0	
18	diptere	3	1	1	1	-2	-2	-2	-2,0	
19	amfipode	4	5	5	5	1	1	1	1,0	
20	oligochete	1	4	3	4	3	2	3	2,7	
21										

Cea mai mică valoare a mediei aritmetice arată cea mai preferată resursă. Aceasta se obține scăzînd dintr-un rang mic din dietă un rang mare din mediu pentru aceeași resursă: adică categoria de hrană respectivă e pe primele locuri în stomacurile analizate, dar se găsește în cantitate mică în mediu (e pe locurile din coadă). În cazul nostru, cea mai preferată resursă este reprezentată de diptere, situație deloc surprinzătoare dacă se observă densitățile mari din mediu. Locul doi e ocupat de odonate, care deși cu densități mici în mediu, sunt căutate de pești, deoarece au fost găsite în număr mare în stomacuri. Oligochetele, deși foarte abundente în mediu, sunt pe ultimul loc, fiind probabil greu de găsit (datorită dimensiunilor reduse).

## 2.9. Lățimea și suprapunerea nișelor ecologice

Cea mai simplă definiție a nișei a fost formulată de Vandermeer (1972): „*poziția ecologică a unui organism în natură*”. Concepția actuală asupra nișei ecologice implică atât dimensiunea spațială cât și cea funcțională (trofică), **incluzînd spațiul fizic ocupat de o populație, poziția populației de-a lungul gradientilor de mediu abiotic, dar și rolul funcțional al populației din biocenoză**.

Odum (1953) concluzionează că „*nișa ecologică este poziția sau statutul unui organism în comunitate și ecosistem, ce rezultă din adaptările structurale, fiziologice și comportamentale (moștenite și/sau învățate)*”.

Acest statut al populației se poate cuantifica, prin măsurarea amplitudinii nișei ecologice, adică a lățimii nișei. Din acest punct de vedere, vorbim de două tipuri de populații: generaliste, cu nișe ecologice largi; și specializate, cu nișe ecologice înguste (fig. 2.23.). De asemenea, se poate calcula gradul de suprapunere a nișelor ecologice, ce reprezintă indirect o măsură a competiției interpopulaționale.

În practică, de cele mai multe ori, principalul parametru ce definește nișa ecologică este reprezentat de **resursele de hrană**: cum utilizează populația respectivă categoriile de hrană disponibile (ca unități taxonomice, categorii de dimensiune, biomasă etc.). Un alt parametru ce caracterizează o anumită nișă se referă la modul de **utilizare a habitatelor**, adică ce habitate preferă populația studiată. Condițiile de habitat sunt definite de obicei din punct de vedere al parametrilor fizico-chimici: temperatura, umiditatea, insolația etc.

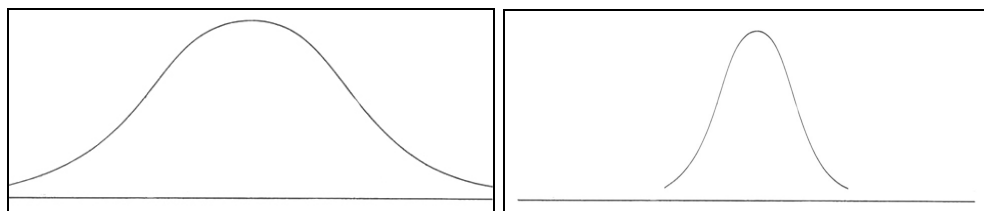


Fig. 2.23. Reprezentarea schematică a nișei ecologice pentru o populație generalistă (stînga) și pentru o populație specializată, cu lățime mică a nișei ecologice (dreapta) (pe axa  $Ox$  este reprezentat un factor de mediu)

⇒ **Indicii ce estimează lățimea și suprapunerea nișelor folosesc următorii doi parametri:**

$a_i$  = proporția resursei  $i$  din totalul resurselor disponibile din mediu; de exemplu, dacă vorbim de resurse de hrană,  $a_i$  reprezintă proporția categoriei de hrană  $i$  din toate categoriile de hrană existente în mediu;  $\sum a_i = 1$ ;

$p_i$  = proporția de indivizi ce folosesc resursa  $i$ ; de exemplu, dacă vorbim de resurse de hrană,  $p_i$  reprezintă proporția categoriei de hrană  $i$  din dieta populației studiate;  $p_i = \frac{N_i}{\sum N}$ ;  $\sum p_i = 1$ .

⇒ Există mai mulți indici pentru calcularea lățimii nișelor ecologice:

**1. Indicele Levins (1968)**, cu formula:  $B = \frac{1}{\sum p_i^2}$ , unde  $B$  = lățimea nișei

după Levins;  $p$  = proporția categoriei de hrană  $i$  din dieta populației studiate; interpretarea este următoarea:  $B$  ia valori între 1 și  $n$ , unde  $n$  = numărul total de resurse folosite;  $B$  e minim când există o singură categorie de hrană (lățimea nișei e minimă → specializarea maximă) și e maxim când există un număr egal de categorii de hrană (deci specia nu preferă o anumite hrană → lățimea nișei e maximă);

\*\* totuși, este preferabil să exprimăm lățimea nișei pe o scară de la 0 la 1, pentru o interpretare mai ușoară a rezultatelor; spunem că realizăm

**standardizarea indicelui**, folosind formula:  $B_{st} = \frac{B-1}{n-1}$ , unde  $B_{st}$  = valoarea standardizată a lățimii nișei, ce variază între 0 și 1;

**2. Indicele Hurlbert (1978)** ține cont de disponibilitatea resurselor (ce influențează categoriile de hrană), de aceea reprezintă o îmbunătățire a

indicelui precedent; folosește formula:  $B' = \frac{1}{\sum \frac{p_i^2}{a_i}}$ , unde:  $B'$  = lățimea nișei

după Hurlbert;  $p$  = proporția categoriei de hrană  $i$  din dieta populației;  $a$  = proporția resursei  $i$  din totalul resurselor disponibile în mediu; valorile lui  $B'$  variază între  $1/n$  și 1;

\*\* se recomandă și în acest caz **standardizarea**:  $B'_{st} = \frac{B'-a_{\min}}{1-a_{\min}}$ , unde:  $B'_{st}$  =

valoarea standardizată a indicelui Hurlbert, ce variază între 0 și 1;  $a_{\min}$  = proporția resursei cu abundența cea mai mică;

\*\* **varianța** indicelui  $B'$  poate fi estimată din

$$4B'^4 \left[ \sum \frac{p_j^3}{a_j^2} - \left( \frac{1}{B'} \right)^2 \right]$$

relația:  $\text{var}(B') = \frac{4B'^4 \left[ \sum \frac{p_j^3}{a_j^2} - \left( \frac{1}{B'} \right)^2 \right]}{Y}$ , unde:  $\text{var}(B')$  = varianța indicelui

Hurlbert;  $p$  și  $a$  = definiți anterior,  $Y$  = numărul total de indivizi studiați (=  $\sum N_j$ ); limitele de confidență pentru lățimea nișei sunt:

$B' \pm 1,96 \sqrt{\text{var}(B')}$ , ce dau un interval de confidență de 95%.

⇒ Pentru calcularea suprapunerii nișelor se folosesc diverși indici:

1. **Indicele Pianka (1973)**, după formula:  $O_{jk} = \frac{\sum_i^n p_{ij} p_{ik}}{\sqrt{\sum_i^n p_{ij}^2 \sum_i^n p_{ik}^2}}$ , unde:  $O_{jk} =$

suprapunerea nișelor speciilor  $j$  și  $k$  (după Pianka);  $n$  = numărul total de categorii de hrană;  $p_{ij}$  = proporția categoriei de hrană  $i$  în dieta speciei  $j$ ;  $p_{ik}$  = proporția categoriei de hrană  $i$  în dieta speciei  $k$ ; indicele  $O_{jk}$  ia valori între 0 și 1, unde 0 arată că nici o resursă nu e folosită în comun, iar 1 indică suprapunere completă;

2. **Suprapunere procentuală**, după formula:  $P_{jk} = [\sum_{i=1}^n (\min p_{ij}, p_{ik})] * 100$ ,

unde rezultatul arată procentul de suprapunere a celor două nișe.

⇒ **EXERCİTIU**

Calculați lățimea nișei trofice pentru două populații ce competează pentru aceleași resurse de hrană: *Bombina variegata* (izvorăș cu burtă galbenă) și *Bombina bombina* (izvorăș cu burtă roșie); Calculați de asemenea și gradul de suprapunere a nișelor lor trofice.

Datele (modificate din Ferent și colab., 2007) au fost obținute prin analizarea a 123 stomacuri de *Bombina bombina* și 159 stomacuri de *Bombina variegata*; și reprezintă procentele a 10 categorii de hrană (acvatice: izopode, odonate, efemeroptere, diptere; și terestre: oligochete, arahnide, coleoptere, heteroptere, trihoptere și himenoptere) în mediu și în stomacurile celor două populații. Metoda folosită a fost cea a spălăturilor stomacale, ce nu necesită sacrificarea animalelor.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	categoria de hrana	in mediu	B.bombina	B.variegata												
2	Oligochete, Lumbricide (ter.)	9,3	3,2	7,4												
3	Arahnide, Araneide (ter.)	8,6	2,5	16,54												
4	Crustacee, Izopode (acv.)	5,5	14,2	7,55												
5	Odonate, larve (acv.)	10,7	17,5	1,3												
6	Coleoptere (ter.)	22,3	3,6	28,5												
7	Efemeroptere larve (acv.)	7,3	30	5,67												
8	Heteroptere (ter.)	4,6	0,4	1,42												
9	Trihoptere (ter.)	2,8	4,2	10,1												
10	Diptere, larve (acv.)	1,7	18,2	3,7												
11	Himenoptere, Formicide (ter.)	27,2	6,2	17,62												
12	TOTAL	100	100	100												
13																
14																
15																
16																

Primul pas este transformarea acestor date procentuale în proporții, adică estimarea parametrilor utilizați în calcularea lățimii și suprapunerii nișelor: **a** (proporția celor 10 categorii de hrană din mediu) și **p** - pentru ambele specii: *Bombina bombina* (B.bom) și *Bombina variegata* (B.var):

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	categori de hrana	in mediu	B.bombina	B.variegata	a	p	B.bom	p B.var								
2	Oligochete, Lumbricide (ter.)	9,3	3,2	7,4	0,093	0,032	0,074	0,001	0,005	0,011	0,059					
3	Arahnide, Araneide (ter.)	8,6	2,5	16,54	0,086	0,025	0,165	0,001	0,027	0,007	0,318					
4	Crustacee, Izopode (acv.)	5,5	14,2	7,55	0,055	0,142	0,076	0,020	0,006	0,367	0,104					
5	Odonate, larve (acv.)	10,7	17,5	1,3	0,107	0,175	0,013	0,031	0,000	0,286	0,002					
6	Coleoptere (ter.)	22,3	3,6	28,5	0,223	0,036	0,285	0,001	0,081	0,006	0,364					
7	Efermeroptere larve (acv.)	7,3	30	5,87	0,073	0,300	0,059	0,090	0,003	1,233	0,047					
8	Heteroptere (ter.)	4,6	0,4	1,42	0,046	0,004	0,014	0,000	0,000	0,000	0,004					
9	Trihoptere (ter.)	2,8	4,2	10,1	0,028	0,042	0,101	0,002	0,010	0,063	0,364					
10	Diptere, larve (acv.)	1,7	18,2	3,7	0,017	0,182	0,037	0,033	0,001	1,948	0,081					
11	Himenoptere, Formicide (ter.)	27,2	6,2	17,62	0,272	0,062	0,176	0,004	0,031	0,014	0,114					
12	<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>			<b>3,936</b>	<b>1,457</b>					

Pentru a calcula indicele Hurlbert (preferat pentru faptul că include și informații despre proporțiile categoriilor de hrană din mediu, parametrul  $a$ ) vom afla valorile  $p^2$  și apoi vom calcula rapoartele  $p^2/a$  pentru ambele populații.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	categori de hrana	in mediu	B.bombina	B.variegata	a	p	B.bom	p B.var	p <sup>2</sup> B.bom	p <sup>2</sup> B.var	p <sup>2</sup> a B.bom	p <sup>2</sup> a B.var				
2	Oligochete, Lumbricide (ter.)	9,3	3,2	7,4	0,093	0,032	0,074	0,001	0,005	0,011	0,059					
3	Arahnide, Araneide (ter.)	8,6	2,5	16,54	0,086	0,025	0,165	0,001	0,027	0,007	0,318					
4	Crustacee, Izopode (acv.)	5,5	14,2	7,55	0,055	0,142	0,076	0,020	0,006	0,367	0,104					
5	Odonate, larve (acv.)	10,7	17,5	1,3	0,107	0,175	0,013	0,031	0,000	0,286	0,002					
6	Coleoptere (ter.)	22,3	3,6	28,5	0,223	0,036	0,285	0,001	0,081	0,006	0,364					
7	Efermeroptere larve (acv.)	7,3	30	5,87	0,073	0,300	0,059	0,090	0,003	1,233	0,047					
8	Heteroptere (ter.)	4,6	0,4	1,42	0,046	0,004	0,014	0,000	0,000	0,000	0,004					
9	Trihoptere (ter.)	2,8	4,2	10,1	0,028	0,042	0,101	0,002	0,010	0,063	0,364					
10	Diptere, larve (acv.)	1,7	18,2	3,7	0,017	0,182	0,037	0,033	0,001	1,948	0,081					
11	Himenoptere, Formicide (ter.)	27,2	6,2	17,62	0,272	0,062	0,176	0,004	0,031	0,014	0,114					
12	<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>			<b>3,936</b>	<b>1,457</b>					

Valoarea indicelui Hurlbert ( $B'$ ) variază între  $1/n$  ( $1/10 = 0,1$ ) și  $1$ . Se observă că populația de *Bombina bombina* are o nișă mai îngustă ( $B' = 0,254$ ), pe cînd *Bombina variegata* are o nișă mai largă ( $B' = 0,686$ ):

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	categori de hrana	in mediu	B.bombina	B.variegata	a	p	B.bom	p B.var	p <sup>2</sup> B.bom	p <sup>2</sup> B.var	p <sup>2</sup> a B.bom	p <sup>2</sup> a B.var	B' B.bom	B' B.var		
2	Oligochete, Lumbricide (ter.)	9,3	3,2	7,4	0,093	0,032	0,074	0,001	0,005	0,011	0,059		0,254	0,686		
3	Arahnide, Araneide (ter.)	8,6	2,5	16,54	0,086	0,025	0,165	0,001	0,027	0,007	0,318					
4	Crustacee, Izopode (acv.)	5,5	14,2	7,55	0,055	0,142	0,076	0,020	0,006	0,367	0,104					
5	Odonate, larve (acv.)	10,7	17,5	1,3	0,107	0,175	0,013	0,031	0,000	0,286	0,002					
6	Coleoptere (ter.)	22,3	3,6	28,5	0,223	0,036	0,285	0,001	0,081	0,006	0,364					
7	Efermeroptere larve (acv.)	7,3	30	5,87	0,073	0,300	0,059	0,090	0,003	1,233	0,047					
8	Heteroptere (ter.)	4,6	0,4	1,42	0,046	0,004	0,014	0,000	0,000	0,000	0,004					
9	Trihoptere (ter.)	2,8	4,2	10,1	0,028	0,042	0,101	0,002	0,010	0,063	0,364					
10	Diptere, larve (acv.)	1,7	18,2	3,7	0,017	0,182	0,037	0,033	0,001	1,948	0,081					
11	Himenoptere, Formicide (ter.)	27,2	6,2	17,62	0,272	0,062	0,176	0,004	0,031	0,014	0,114					
12	<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>			<b>3,936</b>	<b>1,457</b>					

Pentru a vedea în ce măsură nișele ecologice ale celor două populații se suprapun, se calculează indicele Pianka, ce variază între 0 și 1. Se observă că nișele populațiilor de *B. bombina* și *B. variegata* se suprapun, dar nu mult: valoarea de 0,398 indică o suprapunere a categoriilor de hrană folosite, dar cu specializări pe categorii diferite, pentru diversificarea nișelor și evitarea competiției directe. Din datele brute se observă că *Bombina bombina* a consumat în proporție mare grupuri acvatice: larve de odonate și diptere, pe cînd *B. variegata* s-a specializat pe hrană mai mult terestră, preferînd grupe terestre: coleoptere și furnici.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	categoria de hrana	in mediu	B bombina	B variegata a		p B bom	p B var	p2 B bom	p2 B var	p2/a B bom	p2/a B var	B' B bom	B' B var	PIANKA		
2	Oligochete, Lumbricide (ter.)	9,3	3,2	7,4	0,093	0,032	0,074	0,001	0,005	0,011	0,059	0,254	0,686	<b>0,398</b>		
3	Arahnide, Araneide (ter.)	8,6	2,5	16,54	0,086	0,025	0,165	0,001	0,027	0,007	0,318					
4	Crustacee, Izopode (acv.)	5,5	14,2	7,55	0,055	0,142	0,076	0,020	0,006	0,367	0,104					
5	Odonate, larve (acv.)	10,7	17,5	1,3	0,107	0,175	0,013	0,031	0,000	0,286	0,002					
6	Coleoptere (ter.)	22,3	3,6	28,5	0,223	0,036	0,285	0,001	0,081	0,006	0,364					
7	Efemeroptere larve (acv.)	7,3	30	5,87	0,073	0,300	0,059	0,090	0,003	1,233	0,047					
8	Heteroptere (ter.)	4,6	0,4	1,42	0,046	0,004	0,014	0,000	0,000	0,000	0,004					
9	Trioptere (ter.)	2,8	4,2	10,1	0,028	0,042	0,101	0,002	0,010	0,063	0,364					
10	Diptere, larve (acv.)	1,7	18,2	3,7	0,017	0,182	0,037	0,033	0,001	1,948	0,081					
11	Himenoptere, Formicide (ter.)	27,2	6,2	17,62	0,272	0,062	0,176	0,004	0,031	0,014	0,114					
12	<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0,182</b>	<b>0,166</b>	<b>3,936</b>	<b>1,457</b>					

Indicele de suprapunere procentuală subliniază aceste aspecte, arătînd că nișele ecologice ale celor două populații se suprapun doar în procent de 38,52%.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	categoria de hrana	in mediu	B bombina	B variegata a		p B bom	p B var	p2 B bom	p2 B var	p2/a B bom	p2/a B var	B' B bom	B' B var	PIANKA	min (p, p')	
2	Oligochete, Lumbricide (ter.)	9,3	3,2	7,4	0,093	0,032	0,074	0,001	0,005	0,011	0,059	0,254	0,686	<b>0,398</b>		0,032
3	Arahnide, Araneide (ter.)	8,6	2,5	16,54	0,086	0,025	0,165	0,001	0,027	0,007	0,318					0,025
4	Crustacee, Izopode (acv.)	5,5	14,2	7,55	0,055	0,142	0,076	0,020	0,006	0,367	0,104					0,076
5	Odonate, larve (acv.)	10,7	17,5	1,3	0,107	0,175	0,013	0,031	0,000	0,286	0,002					0,013
6	Coleoptere (ter.)	22,3	3,6	28,5	0,223	0,036	0,285	0,001	0,081	0,006	0,364					0,036
7	Efemeroptere larve (acv.)	7,3	30	5,87	0,073	0,300	0,059	0,090	0,003	1,233	0,047					0,059
8	Heteroptere (ter.)	4,6	0,4	1,42	0,046	0,004	0,014	0,000	0,000	0,000	0,004					0,004
9	Trioptere (ter.)	2,8	4,2	10,1	0,028	0,042	0,101	0,002	0,010	0,063	0,364					0,042
10	Diptere, larve (acv.)	1,7	18,2	3,7	0,017	0,182	0,037	0,033	0,001	1,948	0,081					0,037
11	Himenoptere, Formicide (ter.)	27,2	6,2	17,62	0,272	0,062	0,176	0,004	0,031	0,014	0,114					0,062
12	<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0,182</b>	<b>0,166</b>	<b>3,936</b>	<b>1,457</b>					<b>0,385</b>
13																
14																<b>SUPR.PROC.</b>
15																<b>38,52</b>

### 3. ECOLOGIA COMUNITĂȚILOR

Ecosistemul reprezintă sistemul biologic format dintr-un biotop, ocupat de o biocenoză (o comunitate). Organizarea ecosistemului presupune o anumită **structură**, ce-i determină caracteristicile funcționale. Această structură include multe aspecte. În primul rând, vorbim de structura biotopului, ce include toți factorii abiotici și dinamica lor: factori geografici (poziția geografică, expoziția, morfometria, relieful); fizici (vântul, temperatura, lumina, umiditatea, focul) și chimici (compoziția ionică, salinitatea, oxigenul, pH-ul) (Botnariuc și Vădineanu, 1982). În al doilea rând, structura ecosistemului se referă la structura comunităților componente, ce cuprinde: numărul de specii (bogăția specifică), proporțiile dintre ele (ce nu se pot afla fără să știm densitatea populațiilor), distribuția lor în spațiu, dinamica în timp, relațiile dintre specii.

**Funcțiile ecosistemului** rezultă din structura sa. Populațiile ce intră în componența comunităților, mai exact nișele ocupate de ele (și deci dispunerea lor în lanțuri/rețele trofice) imprimă întregului ecosistem o anumită funcționare. Există două funcții de bază ale ecosistemului (Botnariuc și Vădineanu, 1982): funcția energetică (captarea și transferul energiei de la producători la consumatori și descompunători) și funcția de circulație a materiei (circularea substanțelor nutritive, anorganice sau organice, în ecosistem).

Trăsăturile structurale și funcționale ale ecosistemului se întrepătrund, nu putem vorbi de ultimele fără să le studiem pe primele, astfel că ele trebuie înțelese și considerate împreună.

#### 3.1. Indicii structurali ai comunității

Structura unei comunități oferă indicii esențiale asupra funcționalității sale, a rolului în ecosistemul în care se încadrează. Acesta este motivul pentru care studiul structurii comunităților are o însemnătate aparte în ecologia aplicată; numeroși indici încearcă să caracterizeze comunitățile biotice, să descifreze structura acestora, motiv pentru care se numesc indici structurali.

Practic, indicii structurali arată **din ce** este alcătuită o comunitate, dar și **cum** este ea alcătuită. Astfel, răspunsul la prima întrebare se referă la identificarea elementelor componente și poartă numele de studiu calitativ; iar elucidarea răspunsului la cea de a doua întrebare include aflarea proporțiilor sau a abundenței elementelor, numindu-se de aceea studiu cantitativ.

**I. STUDIUL CALITATIV** are ca scop aflarea compoziției sistematice a comunității, adică întocmirea listei de specii sau așa-numita bogăție specifică.

Exactitatea și acuratețea rezultatelor calitative sunt influențate de mulți factori: în primul rând de numărul de probe colectate din teren, indiferent dacă vorbim de capcane, transecte, pătrate etc., de mărimea probelor sau de periodicitatea de eșantionare. O listă de specii completă depinde și de localizarea stațiilor de prelevare, amplasarea lor randomizată, pentru a putea aplica prelucrări statistice, dar și de experiența cercetătorului, resursa umană disponibilă etc.

Se poate caracteriza ecosistemul din care face parte comunitatea pe care o studiem, pe baza cunoașterii **valențelor ecologice** ale diferitelor specii și a **valorii lor bioindicatoare**. De exemplu, în caracterizarea ecosistemelor acvatice de râu, majoritatea speciilor de plecoptere indică întotdeauna, prin

simplic lor prezență, condiții curate de habitat, cu cantitate mare de oxigen dizolvat, temperatură constantă și poluare organică redusă.

**II. STUDIUL CANTITATIV** presupune de fapt calcularea indicilor structurali ai comunității, ce au rol în exprimarea raporturilor cantitative dintre specii, clarificând astfel rolul fiecărei specii. Mai mult, pe baza lor se pot compara din punct de vedere cantitativ două comunități din zone diferite. Ca și în cazul studiilor calitative, scara spațială și cea temporală influențează valorile și semnificația indicilor: de exemplu mărimea suprafeței de probă și locul colectării (dintre factorii spațiali) sau momentul colectării (din categoria celor temporali) vor influența decisiv rezultatele obținute. De aceea, orice studiu cantitativ trebuie planificat riguros, pentru a evita de exemplu riscul de a nu identifica populațiile rare dintr-un habitat atunci când prelevăm prea puține probe.

Cei mai importanți și utilizați indici structurali sunt prezentați în continuare:

**II.1. Frecvența (F)** reprezintă proporția de probe în care se găsește specia

studiată, în raport cu numărul total de probe, având formula:  $F = \frac{P_i}{P} * 100$ ,

unde  $p_i$  = numărul de probe în care se găsește specia  $i$ ;  $P$  = numărul total de probe analizate (vezi și capitolul 2.2.). Acest indice se recomandă a fi folosit doar când există un număr mare de probe prelevate din teren, deoarece cu cât numărul de probe e mai mare, valoarea obținută va fi mai apropiată de frecvența reală; la un număr mic de probe, informația adusă de Frecvență nu este importantă. De exemplu, în comunitatea de cladocere planctonice din lacurile temperate există 3 - 4 specii comune, restul fiind rare, aceste specii comune putînd fi puse în evidență cu ajutorul Frecvenței.

**II.2. Constanța** exprimă în cuvinte frecvența speciilor (Botnariuc și Vădineanu, 1982); astfel: speciile cu  $F \geq 50\%$  sunt specii constante; speciile cu  $F = 25 - 50\%$  snt specii accesorii; iar speciile cu  $F < 25\%$  sunt specii accidentale. Totuși, în practică se preferă folosirea numerelor, a valorilor directe ale Frecvenței decît această caracterizare în cuvinte.

**II.3. Fidelitatea** exprimă tăria legăturilor unei specii cu alte specii ale comunității (Botnariuc și Vădineanu, 1982); astfel, există: specii caracteristice, strict legate de un anumit tip de ecosistem; specii preferențiale, ce pot persista în mai multe tipuri de ecosisteme, dar prezintă abundențe mai mari într-unul anume; specii întâmplătoare ce apar în ecosisteme în care în mod normal nu trăiesc prin anumite împrejurări; specii ubicviste sau indiferente, specii cu valențe ecologice foarte largi, capabile să populeze o mare varietate de habitate. Totuși, această clasificare se bazează mai degrabă pe amplitudinea valențelor ecologice ale unei specii, care sunt foarte greu de evaluat numeric.

**II.4. Densitatea tuturor speciilor din comunitate** calculată după metodele prezentate în capitolele 2.2., 2.3., 2.4. și 2.5.

**II.5. Abundența procentuală (densitatea procentuală)** reprezintă procentul indivizilor dintr-o specie raportat la numărul total al indivizilor din toate

speciile biocenozei, după formula:  $A = \frac{n}{N} * 100$ , unde  $n$  = numărul de

indivizi din specia studiată;  $N$  = numărul total de indivizi, din toate speciile comunității. Este important de reținut că abundența unei specii nu e întotdeauna corelată direct cu importanța ei; de exemplu, consumatorii de vîrf au abundențe relativ mici, deși rolul în lanțul trofic este extrem de important. De exemplu, pe baza abundenței relative se poate pune în evidență dinamica principalelor grupe zooplanctonice dintr-un ecosistem lentic.

**II.6. Indice de semnificație (relativă) (W)** reprezintă produsul dintre

frecvență și abundența relativă, după formula:  $W = \frac{A * F}{100}$ , unde:  $A$  =

abundența;  $F$  = frecvența; trebuie raportat la 100 deoarece ambii parametri sunt procentuali. Valorile obținute din calcularea acestui indice împart speciile în euconstante, constante, accesorii sau întîmplătoare, însă rezultatele ar trebui raportate și comparate în scara procentuală, fără nici o interpretare în termeni de constanță, pentru a evita ambiguitățile. Principalul dezavantaj al acestui indice este că aceeași valoare se poate realiza prin abundență mare și frecvență redusă, **sau exact invers**, fiecare situație avînd implicații diametral opuse.

**II.7. Indicele de dominanță (ID)** (McNaughton și Wolf, 1970) exprimă gradul de influență (dominanță) pe care îl au primele două specii din comunitate, cu cea mai mare dezvoltare numerică. Astfel, *ID* scoate în evidență speciile dominante, evidențiind rolul speciilor. Formula de calcul este:

$ID(\%) = \frac{D_1 + D_2}{D} * 100$ , unde  $D_1$  = densitatea numerică a speciei celei

mai numeroase;  $D_2$  = densitatea numerică a speciei secundare;  $D$  = densitatea totală, a tuturor speciilor din comunitate. Modul de declarare a rezultatului este: specia primară & specia secundară = ... %. De exemplu, într-un studiu realizat în Pîrîul Țiganilor ce traversează Grădina Botanică „Al. Borza” din Cluj-Napoca, indicele de dominanță a desemnat două specii dominante, ambele indicatoare de poluare organică ridicată: oligochetul *Tubifex tubifex* și chironomidul *Chironomus thumi*: *Tubifex tubifex* & *Chironomus thumi* = peste 98%.

**II.8. Diversitatea biologică**, parametru esențial pentru caracterizarea comunităților, în estimarea căruia se consideră atît bogăția în specii, cît și modul în care indivizii sunt distribuiți pe specii (echitabilitatea) (vezi capitolul 3.2.).

**II.9. Indici de similaritate**, ce sunt utilizați pentru comparații dintre comunități, fie din punct de vedere calitativ (prezența/absența speciilor din comunitățile comparate), fie din punct de vedere cantitativ (diferențe dintre parametrii cantitativi, de exemplu densitatea speciilor prezente în comunitățile comparate) (vezi capitolul 3.3.).

**II.10. Indici de asociere** estimează gradul de asociere al speciilor; putîndu-se vorbi de asociație **pozitivă** (speciile prezintă necesități similare față de mediu) dar și de asociație **negativă** (speciile necesită condiții diferite sau sunt competitive). Spunem că două specii apar împreună atunci cînd am identificat în aceeași probă cel puțin un individ din fiecare. Frecvența apariției împreună se calculează raportînd numărul de probe în care speciile apar împreună la numărul total de probe. Este însă foarte important ca probele să fie de dimensiuni egale, iar colectarea acestora să se facă în mod randomizat.

**Testarea existenței unei corelații (pozitive sau negative) în abundența unor specii** se numește și covariație interspecifică. Este important de reținut că în corelație, între cele două variabile nu există o relație funcțională, nu depind una de alta; cunoscînd una nu putem să o calculăm pe a doua; variabilele se modifică împreună, în funcție de o cauză comună (fie în același sens: ↑↑ sau ↓↓; fie în sensuri opuse: ↑↓). Pentru testarea corelației, trebuie parcurși următorii pași:

- testarea distribuției abundențelor celor 2 specii: unul dintre cele mai simple teste este testul de normalitate Shapiro-Wilk ( $W$ ) (*normality test*), care arată o distribuție normală dacă  $p > 0,05$  (această testare se face ușor în programul *PAST*);
- dacă abundențele sunt distribuite normal, folosim teste parametrice (corelație Pearson);
- dacă abundențele celor 2 specii nu sunt distribuite normal, folosim teste non parametrice (corelație de rang Spearman);
- interpretarea rezultatelor: de exemplu, dacă avem corelație liniară Pearson, se testează existența unei legături între abundențele speciilor calculînd parametrul  $r$ , ce variază între -1 și +1; semnul corelației definește direcția relației iar valoarea absolută (fără semn) arată „puterea” relației pe o scară de la 0 (nici o relație) la 1 (corespondență perfectă între variabile). Astfel,  $r = -1$  indică o relație perfectă în care o variabilă crește și una scade;  $r = +1$  indică o relație perfectă în care variabilele cresc sau descresc împreună iar  $r = 0$  indică absența oricărei relații între cele 2 variabile.

\*Un mod practic de a interpreta „puterea” relației este ridicarea la putere a corelației ( $r^2$ ), ceea ce reprezintă proporția de variație în cele două variabile ce este comună amîndurora. Cu cît e mai mare valoarea lui  $r^2$ , cu atît e mai puternică relația dintre cele două variabile. De exemplu, dacă  $r = 0,8353$ ,  $r^2 = 0,6977$ ;  $r^2$  se numește coeficient de determinare și arată procentul de variație comună (în cazul acesta, 69,77% din variația variabilelor este variație comună).

\*Valoarea lui  $r$  poate fi testată cu testul  $t$  ( $H_0$  = variabilele sunt independente; nu există nici o relație între ele), folosind formula:  $t = \frac{r}{ES}$ ,

unde  $ES$  = eroarea standard,  $ES = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}$ , unde  $n$  = numărul de observații; parametrul  $t$  din tabelul de variație (fig. 1.4.) se află folosind

$n-2$  grade de libertate; dacă  $t_{calc} > t_{tab}$ , respingem  $H_0$ ,  $r$  este semnificativ, între cele 2 variabile există corelație; dacă  $t_{calc} < t_{tab}$ , acceptăm  $H_0$ ,  $r$  nu este semnificativ, cele două variabile sunt independente.

**II.11. Parametrii nișei ecologice**, ce evaluează valențele ecologice ale speciilor; astfel, se poate caracteriza nișa unei singure populații (lățimea nișei), dar se poate cuantifica și gradul de suprapunere a nișelor diferitelor specii (populații), ca o măsură indirectă a competiției interspecifice (vezi capitolul 2.9.).

### ⇒ EXERCITIU

Într-un studiu asupra florei bentonice din cursul superior al Someșului Cald s-au luat probe din patru stații: două pe cursul principal: Cheile Someșului Cald și Doda Piliu, iar două pe afluenți: Alunu Mare și Valea Firii. Este improbabil să putem preleva probe cantitative propriu-zise din fitobentosul râurilor, datorită heterogenității mari a mediului. Astfel, în aceste studii se practică o metodă alternativă, pseudo-cantitativă: din probele prelevate de pe o suprafață neevaluată, se numără pînă la 400 sau 500 de indivizi și se calculează abundența procentuală relativă, adică procentul speciilor din indivizii numărați. Calculați acest parametru pentru cele patru stații și speciile de diatomee dominante (*Achnanthes minutissima*, *A. lanceolata* și *Diatoma mesodon*) și testați existența unei corelații între abundențele speciilor dominante, ce aparțin genului *Achnanthes*. Datele brute sunt următoarele:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		A. minutissima	A. lanceolata	Diatoma mesodon	alte	TOTAL				
2	Cheile SC	332	35	79	87	533				
3	Doda Piliu	304	97	78	25	504				
4	Valea Firii	187	159	74	81	501				
5	Alunu Mare	85	365	44	25	519				
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										

Se calculează abundența procentuală relativă, pentru fiecare stație în parte (suma per stație trebuie să fie 100%).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		A. minutissima	A. lanceolata	Diatoma mesodon	alte	TOTAL				
2	Cheile SC	332	35	79	87	533				
3	Doda Piliu	304	97	78	25	504				
4	Valea Firii	187	159	74	81	501				
5	Alunu Mare	85	365	44	25	519				
6										
7		A. minutissima	A. lanceolata	Diatoma mesodon	alte	TOTAL				
8	Cheile SC	= (B2/\$F\$2)*100								
9	Doda Piliu									
10	Valea Firii									
11	Alunu Mare									
12										
13										

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		A. minutissima	A. lanceolata	Diatoma mesodon	altele	TOTAL				
2	Cheile SC	332	35	79	87	533				
3	Doda Pili	304	97	78	25	504				
4	Valea Firii	187	159	74	81	501				
5	Alunu Mare	85	365	44	25	519				
6										
7		A. minutissima	A. lanceolata	Diatoma mesodon	altele	TOTAL				
8	Cheile SC	62,29	6,57	14,82	16,32	100,00				
9	Doda Pili	60,32	19,25	15,48	4,96	100,00				
10	Valea Firii	37,33	31,74	14,77	16,17	100,00				
11	Alunu Mare	16,38	70,33	6,48	4,82	100,00				
12										
13										

Testarea corelației dintre *Achnanthes minutissima* și *A. lanceolata* se face în programul *PAST*, program de statistică gratuit (vezi capitolul 1.3.). După copierea valorilor abundențelor celor două specii în documentul *PAST* (folosind comenzile din tastatură *CTRL C* și *CTRL V*), trebuie să aflăm dacă datele urmează sau nu o distribuție normală, utilizând testul Shapiro-Wilk (*W*). Pentru rularea testului, selectăm valorile abundențelor pentru specia *Achnanthes minutissima*, folosind din tastatură tasta *SHIFT* și săgețile. Din meniul programului alegem *Statistics, Normality (one sample)*.

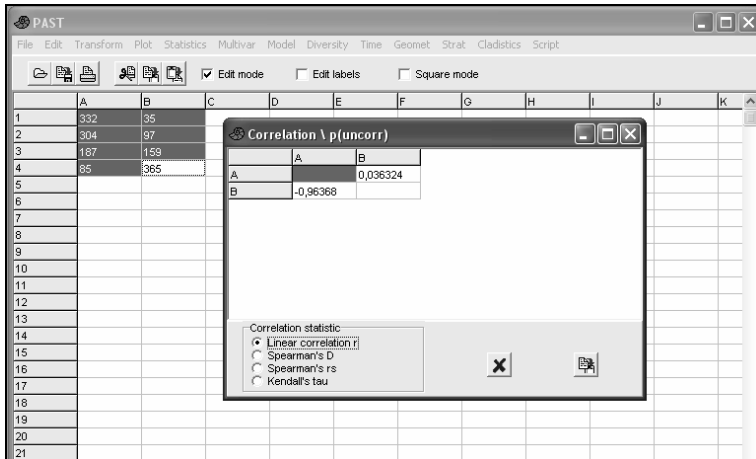
The left screenshot shows the *PAST* software interface with the *Statistics* menu open. The *Normality (one sample)* option is highlighted. The data from the table above is visible in the background spreadsheet.

The right screenshot shows the *Tests for normal distribution* dialog box. The results are as follows:

Test	Statistic	p(normal)
Shapiro-Wilk	W: 0,9247	0,5636
Jarque-Bera	JB: 0,4493	0,7988
Chi <sup>2</sup>	2	0,1573

Additional information in the dialog box includes: *Chi<sup>2</sup> test not reliable for N<20*, *Upr limit: 150,88*, *Obs freq: 1 1 0 2*, and *Exp freq: 1 1 1 1*.

Testul Shapiro-Wilk arată că, deși avem doar patru valori (corespunzătoare celor patru stații), ele au distribuție normală. Același rezultat este obținut și pentru a doua specie, *A. lanceolata*, astfel că putem folosi corelația liniară Pearson (coeficientul *r*). Tot în programul *PAST*, după selectarea ambelor coloane (abundențele ambelor specii), din meniul *Statistics* alegem *Correlation*:



Valoarea corelației este trecută în partea din stînga jos, iar probabilitatea ca cele două coloane să fie necorelate este trecută în partea din dreapta sus. În cazul nostru am folosit corelația liniară (Pearson).

Astfel, corelația dintre cele două specii este negativă ( $r = -0,96368$ ), ceea ce arată că variația abundențelor speciilor este una inversă: cînd una are abundență mare, cealaltă are abundență mică. „Puterea” relației este una mare, valoarea absolută (0,96368) apropiindu-se mult de 1. Reîntorcîndu-ne în *Microsoft Excel*, testarea semnificației statistice a acestei valori absolute arată o valoare a lui  $t_{calculat}$  de 5,10; mai mare decît valoarea lui  $t$  din tabelul de variație al acestui parametru la  $n-2$  grade de libertate și  $p = 0,05$  ( $t_{tabel} = 4,303$ ).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		A. minutissima	A. lanceolata	Diatoma mesodon	altele	TOTAL				
2	Cheile SC	332	35		79	87	533			
3	Doda Pili	304	97		78	25	504			
4	Valea Firii	187	159		74	81	501			
5	Alunu Mare	85	365		44	25	519			
6										
7		A. minutissima	A. lanceolata	Diatoma mesodon	altele	TOTAL	r	r2	t	
8	Cheile SC	62,29	6,57		14,82	16,32	100,00	0,96368	0,928679	5,103164
9	Doda Pili	60,32	19,25		15,48	4,96	100,00			
10	Valea Firii	37,33	31,74		14,77	16,17	100,00			
11	Alunu Mare	16,38	70,33		8,48	4,82	100,00			
12										
13										

Astfel, corelația dintre *Achnanthes minutissima* și *A. lanceolata* este puternică, este semnificativă statistic și este negativă. Cele două specii au dimensiuni similare (10 - 30  $\mu\text{m}$ ), cerințe similare de mediu, astfel că datorită competiției interspecifice nu pot realiza efective comparabile în aceeași stație.

## 3.2. Calcularea indicilor de diversitate

Biodiversitatea este o caracteristică unică a ecosistemelor, reprezentând o măsură a structurii biocenozelor. Diversitatea biologică îmbracă mai multe forme, de la nivel genetic și molecular, nivel de specie, mergînd pînă la nivel regional. Aceste componente ale biodiversității sunt interdependente, ca o consecință a interacțiunii dintre diversitatea genetică și factorii de mediu. După cum aprecia Margalef (1958), diversitatea specifică reprezintă o funcție din numărul de specii prezente (bogăția în specii sau abundența specifică) și proporția în care indivizii sunt distribuiți pe specii (echitabilitatea).

Există mai multe tipuri de diversitate. În primul rînd vorbim de **diversitatea din cadrul habitatului**, denumită  **$\alpha$  (alfa) diversitate**, ce este definită ca fiind numărul de specii în cadrul unui areal de suprafață cunoscută; reflectă coexistența dintre organisme ce interacționează unul cu altul pentru aceleași resurse. **Diversitatea dintre habitate**, numită și  **$\beta$  (beta) diversitate** este mai complexă și depinde nu doar de numărul de specii din habitat dar și de tipul de habitat în care acestea apar. Ea reflectă modul în care organismele răspund la heterogenitatea mediului. **Diversitatea geografică** sau **diversitatea (gamma)** reflectă fenomenele evolutive și mai puțin procesele ecologice. Ea este compatibilă cu fenomenele desfășurate pe scară mai mare de timp și a fost definită ca număr de specii din cadrul unei regiuni.

În ceea ce privește relația dintre diversitate și stabilitate, între biologi există încă dispute. Stabilitatea reprezintă tendința ecosistemului de a se menține în apropierea unui punct de echilibru. De obicei se consideră că stabilitatea maximă se atinge la diversitate mare (deoarece există multe specii în biocenoză, adică multe căi de transfer a materiei și energiei). Însă mlaștinile de turbă (tinoavele) reprezintă un contraexemplu, deoarece ele sunt ecosisteme foarte stabile, chiar dacă au o diversitate foarte redusă.

### ⇒ Estimarea biodiversității

În studiile ecologice, numărul de specii dintr-o probă este generic numit bogăție specifică, sau densitate specifică atunci cînd se raportează la o anumită suprafață. Distribuția indivizilor pe specii este considerată a fi echitabilitatea, iar cu cît această distribuție e mai egală, cu atît va fi diversitatea mai mare. Astfel, numărul de specii și echitabilitatea abundențelor relative reprezintă cele două proprietăți statistice folosite pentru a cuantifica biodiversitatea. Acestea pot fi evaluate pentru orice componentă a diversității, de la numărul de alele dintr-un *locus* genetic particular, pînă la numărul tipurilor de habitate dintr-un ecosistem.

Indicii de diversitate pot fi folosiți pentru a măsura stresul din mediu. Este considerat un ecosistem nepoluat acela care este caracterizat printr-un număr mare de specii, fără ca o singură specie să fie majoritară în cadrul comunității. Diversitatea maximă este obținută cînd numeroase specii sunt prezente într-un număr relativ scăzut de indivizi. Cînd un ecosistem devine stesat, speciile sensibile la acel tip particular de stres sunt eliminate, ceea ce reduce bogăția de specii a comunității. În aceste condiții, anumite specii pot să fie favorizate (datorită reducerii competiției și a prădătorismului), astfel încît devin foarte abundente comparativ cu ceilalți membri ai comunității. Figura 3.1. prezintă cazul teoretic a două comunități formate din exact aceleași trei specii, *A*, *B* și *C*, dar care au diversități diferite datorită numărului inegal de indivizi din fiecare specie.

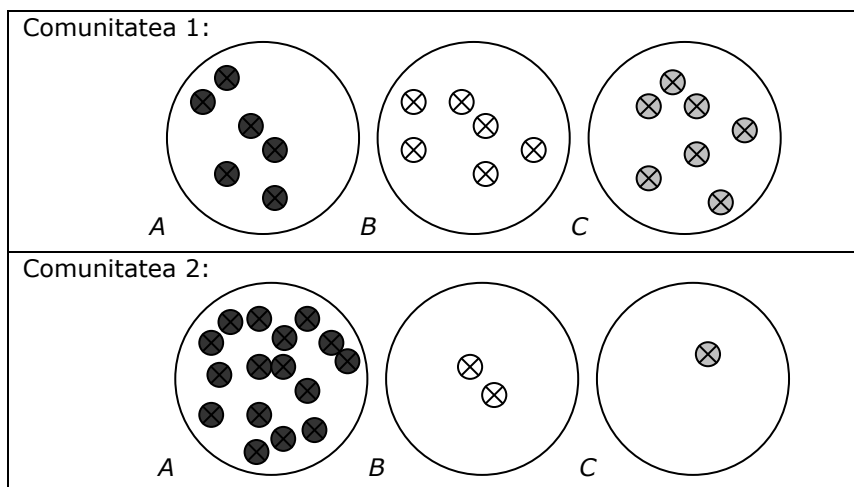


Fig. 3.1. Reprezentarea schematică a două comunități formate din aceleași trei specii, A, B și C, dar cu diversitate diferită datorită proporției diferite dintre cele trei specii

Majoritatea indicilor de diversitate țin cont atât de numărul de specii din probă cât și de abundența relativă a speciilor, dar sensibilitatea fiecărei specii la un anumit tip de poluant nu este luată în calcul (Mason, 1996).

⇒ **Există numeroși indici de diversitate în literatură:**

- **Indicele (funcția) Shannon-Wiener ( $H'$ )** (Shannon și Weaver, 1949; Wiener, 1948) este unul dintre cei mai utilizați; reprezintă o măsură a entropiei, e derivat din teoria informației și a fost caracterizat de ecologi ca un fel de soluție generală, fiind capabil să convertească numărul de specii și indivizii dintr-un areal în valori comparabile și ușor interpretabile (Washington, 1984). Acest indice are următoarea formulă de calcul:

$$H' = - \sum_{i=1}^s \frac{n_i}{n} \log \frac{n_i}{n}, \text{ unde } s = \text{numărul total de specii}; n_i = \text{numărul de}$$

indivizi din specia  $i$ ;  $n$  = numărul total de indivizi din proba analizată. Acest indice este greșit numit „Shannon-Weaver”, confuzia pornind de la faptul ca Shannon a publicat împreună cu Weaver în aceeași carte, dar lucrări separate. Wiener și Shannon, independent unul de altul, au descris bazele calculării acestui indice, de aceea poartă numele de Shannon-Wiener (Washington, 1984).

În ceea ce privește interpretarea funcției Shannon-Wiener, Margalef (1972) arată că limita superioară ar fi 5, putînd lua valori pînă la 10, deși poate merge pînă la plus infinit. Wilhm (1970) a interpretat pentru prima dată acest indice pe baza analizelor făcute pe comunitatea de macronevertebrate acvatice, afirmînd că o valoare mai mare de 3 (între 3 și 5) indică ape curate (*clean*), între 1 și 3 ape moderat poluate (*moderately polluted*) iar valori mai mici de 1 ape sever poluate (*substantially polluted*). Totuși, în practica curentă, această interpretare a valorilor funcției Shannon-Wiener nu s-a dovedit foarte eficientă: de

exemplu, indicele a avut valori mai mici în stații nepoluate în anumite perioade ale anului. De asemenea, nivelul de identificare taxonomică a organismelor poate influența valorile acestui indice: nu se poate aplica la comunități pentru care identificarea unor organisme s-a făcut la nivel de familie, a altora la ordin etc. (Tudorancea și Tudorancea, 2001).

Principalul obiectiv al teoriei informației, din care e derivat indicele Shannon-Wiener, este să măsoare cantitatea de ordine (sau dezordine) dintr-un sistem (Margalef, 1958; din Krebs, 1999). Într-o comunitate biologică, două tipuri de informații pot fi colectate despre ordinea sistemului: în primul rând numărul de specii și în al doilea rând numărul de indivizi din fiecare specie. Esența indicilor derivați din teoria informației este răspunsul la întrebarea: *cît e de dificil să precizem corect specia din care face parte următorul individ colectat?*, iar funcția Shannon-Wiener poate măsura această nesiguranță.  $H'$  este o măsură a conținutului de informații dintr-o probă (se măsoară în biți/individ, dacă în formulă se folosește logaritm în bază 2). Conținutul de informație este o măsură a cantității e nesiguranță, astfel, cu cît e mai mare valoarea lui  $H'$ , cu atît va fi mai mare nesiguranța. O comunitate cu doar o specie va avea zero nesiguranță, deci  $H' = 0$ . Formula originală include logaritm în bază 10, însă se poate folosi orice bază, pentru că se pot transforma unul în altul:  $H'(\log \text{ bază } 2) = 3,321928 * H'(\log \text{ bază } 10)$  și  $H'(\text{bază } e) = 2,302585 * H'(\log \text{ bază } 10)$ .

Deși este cel mai folosit și complet indice de diversitate, Jost (2006) argumentează că funcția Shannon-Wiener este o măsură a entropiei și nu a diversității în adevăratul sens al cuvîntului, reflectînd nesiguranța din rezultatul unui proces de prelevare. Jost sugerează convertirea valorii

acestui indice astfel:  $D = \exp\left(-\sum_{i=1}^s \frac{n_i}{n} \ln \frac{n_i}{n}\right) = \exp(H')$ , unde  $D =$

diversitatea reală;  $s$  = numărul total de specii;  $n_i$  = numărul de indivizi din specia  $i$ ;  $n$  = numărul total de indivizi din proba analizată;  $H'$  = funcția Shannon Wiener. Astfel se poate obține diversitatea reală (*true diversity*) ce reflectă în mod exact conceptul de diversitate biologică. Interpretarea este facilitată de această transformare. De exemplu, dacă valorile netransformate ale funcției Shannon-Wiener pentru două comunități 1 și 2 sunt  $H'_1 = 4,5$  și  $H'_2 = 4,1$ ; putem să concluzionăm că diferența este mică și putem face eventual un test statistic de semnificație a diferenței. Dacă însă transformăm entropiile în diversități reale, acestea vor fi 90 de specii pentru prima comunitate și 60 de specii pentru a doua, indicînd astfel o diferență mare, ce poate fi interpretată din punct de vedere biologic, trecînd peste testele statistice care de multe ori ascund aceste aspecte ale semnificației biologice.

- **Echitabilitatea ( $E$ )**, alt indice foarte utilizat în practica curentă, ilustrează gradul de uniformitate în ceea ce privește proporțiile speciilor componente din biocenoză. Cu alte cuvinte, măsoară egalitatea cu care indivizii sunt

împărțiți pe specii (Lloyd și Ghelardi, 1964), după formula:  $E = \frac{H'}{\log S}$ ,

unde:  $H'$  = funcția Shannon-Wiener;  $S$  = numărul de specii. Valorile echitabilității variază între 0 (cînd există o singură specie în comunitate care include toți indivizii) și 1 (indivizii sunt distribuiți echitabil pe speciile componente).

- Alți indici de diversitate propuși pun în relație doar numărul de specii cu numărul total de indivizi din populație sau comunitate. **Indicele Gleason** (1922) ia în general valori de la 0 la 30, variind în funcție de mărimea

probei analizate. Formula de calcul este:  $D = \frac{S}{\ln N}$ , unde:  $S$  = număr de

specii;  $N$  = numărul total de indivizi din populație. **Menhinick** (1964) a sugerat un indice cu care să se poată compara probe de dimensiuni diferite. Totuși, nu a dat explicații despre interpretarea lui. Formula de

calcul este:  $D = \frac{S}{\sqrt{N}}$ , unde:  $S$  = număr de specii;  $N$  = numărul total de

indivizi din populație. **Indicele Margalef** (1958) are formula:  $D = \frac{S-1}{\ln N}$ ,

unde:  $S$  = număr de specii;  $N$  = numărul total de indivizi din populație. Acești trei indici nu iau în calcul numărul de indivizi ce aparțin speciilor populației studiate, astfel că exactitatea valorilor obținute prin calcularea lor este discutabilă.

- Un alt indice de diversitate este **Indicele McIntosh** (1967), cu formula:

$$l = \sum_{i=1}^s n_i^2, \text{ unde } n_i = \text{număr de indivizi din specia } i; S = \text{număr de specii.}$$

Acest indice este derivat din teoria informației, iar intervalul de variație este  $1 \rightarrow \infty$ .

- Au fost relizate și alte sisteme de calcul care țin cont de distribuția indivizilor pe specii, cum ar fi **indicele Simpson** (1949) și **Dominanța**. Există numeroase confuzii în literatura de specialitate în legătură cu acești indici. Harper (1999) arată că indicele Simpson este **1 - Dominanța**, unde

Dominanța este notată cu  $D$  și are formula:  $D = \sum \left( \frac{n_i}{n} \right)^2$ , unde  $n_i =$

numărul de indivizi din specia  $i$ . În acest caz, indicele Simpson măsoară „egalitatea” comunității de la 0 la 1. Dominanța la rîndul ei este calculată ca **1 - indicele Simpson** și variază de la 0 (toate speciile sunt reprezentate în mod egal) la 1 (o specie domină complet comunitatea).

#### ⇒ EXERCİTIU

Comparați diversitatea a două comunități piscicole colectate prin pescuit electric din două stații localizate pe cursul principal al râului Someșul Cald, una în localitatea Smida, pe cursul superior al râului și una la intrarea Someșului Cald în orașul Cluj-Napoca, în cartierul Grigorescu (datele brute sunt prezentate în tabelul 3.1.). Care este comunitatea cu cea mai mare diversitate și de ce? Folosiți funcția Shannon-Wiener și Echitabilitatea.

Tabel 3.1. Datele obținute prin pescuit electric la cele două stații de prelevare de pe râul Someșul Cald

Specii de pești		Stația Smida (ind./100 m <sup>2</sup> )	Stația Grigorescu (ind./100 m <sup>2</sup> )
<i>Salmo trutta fario</i>	păstrăv indigen	6	-
<i>Thymalus thymalus</i>	lipan	11	-
<i>Cottus gobio</i>	zglăvoc	12	-
<i>Barbus petenyi</i>	mreană vînătă	9	41
<i>Phoxinus phoxinus</i>	boiștean	5	1
<i>Barbatula barbatula</i>	grindel	-	7
<i>Gobio gobio</i>	porcușor	-	2
<i>Sabanejewia balcanica</i>	cîră	-	1
<i>Leuciscus cephalus</i>	clean	-	1

Vom calcula separat pentru prima stație, Smida și pentru a doua, Grigorescu. Pentru prima, calculăm suma tuturor indivizilor prinși din toate speciile, adică parametrul  $n$  (în celula B12). Pasul următor este să aflăm raportul  $n_i/n$  și să extrapolăm pentru toate speciile. Calculăm ulterior logaritmul în bază 10 din aceste valori ( $\log n_i/n$ ), pentru ca apoi să înmulțim aceste două valori (cele din coloana D cu cele din coloana E).

Facem apoi suma pe coloana F, pentru a afla valoarea indicelui Shannon-Wiener ( $H'$ ): suma este -0,67632, ceea ce înseamnă că  $H'$  pentru comunitatea piscicolă din stația Smida este -(-0,67632), adică 0,67632.

La fel procedăm și pentru stația Grigorescu.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1				Smida						
2		Smida	Grigorescu	$n_i/n$						
3	păstrăv indigen	6	0	=B3/\$B\$12						
4	lipan	11	0							
5	zglăvoc	12	0							
6	mreană vînătă	9	41							
7	boiștean	5	1							
8	grindel	0	7							
9	porcușor	0	2							
10	cîră	0	1							
11	clean	0	1							
12	<b>TOTAL</b>	<b>43</b>	<b>53</b>							
13										
14										

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1				Smida						
2		Smida	Grigorescu	ni/n	log ni/n					
3	păstrăv indigen	6	0	0,1395349	=LOG10(D3)					
4	lipan	11	0	0,255814						
5	zglăvoc	12	0	0,2790698						
6	mreană vînătă	9	41	0,2093023						
7	boiștean	5	1	0,1162791						
8	grindel	0	7	0						
9	porcușor	0	2	0						
10	cîră	0	1	0						
11	clean	0	1	0						
12	<b>TOTAL</b>	<b>43</b>	<b>53</b>							
13										
14										

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1				Smida						
2		Smida	Grigorescu	ni/n	log ni/n	D'E				
3	păstrăv indigen	6	0	0,1395349	-0,85532	-0,11935				
4	lipan	11	0	0,255814	-0,59208	-0,15146				
5	zglăvoc	12	0	0,2790698	-0,55429	-0,15468				
6	mreană vînătă	9	41	0,2093023	-0,67923	-0,14216				
7	boiștean	5	1	0,1162791	-0,9345	-0,10866				
8	grindel	0	7	0	#NUM!					
9	porcușor	0	2	0	#NUM!					
10	cîră	0	1	0	#NUM!					
11	clean	0	1	0	#NUM!					
12	<b>TOTAL</b>	<b>43</b>	<b>53</b>			=SUM(F3:F11)				
13										
14										

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1				Smida			Grigorescu			
2		Smida	Grigorescu	ni/n	log ni/n	D'E	ni/n	log ni/n	G'H	
3	păstrăv indigen	6	0	0,1395349	-0,85532	-0,11935	0	#NUM!		
4	lipan	11	0	0,255814	-0,59208	-0,15146	0	#NUM!		
5	zglăvoc	12	0	0,2790698	-0,55429	-0,15468	0	#NUM!		
6	mreană vînătă	9	41	0,2093023	-0,67923	-0,14216	0,773585	-0,11149	-0,08625	
7	boiștean	5	1	0,1162791	-0,9345	-0,10866	0,018868	-1,72428	-0,03253	
8	grindel	0	7	0	#NUM!		0,132075	-0,87918	-0,11612	
9	porcușor	0	2	0	#NUM!		0,037736	-1,42325	-0,05371	
10	cîră	0	1	0	#NUM!		0,018868	-1,72428	-0,03253	
11	clean	0	1	0	#NUM!		0,018868	-1,72428	-0,03253	
12	<b>TOTAL</b>	<b>43</b>	<b>53</b>			<b>-0,67632</b>			<b>-0,35367</b>	
13										
14										

Se observă că, deși la stația Grigorescu am avut mai multe specii de pești (6 comparativ cu 5 în stația Smida), diversitatea este mai mică, fiind doar de 0,35367.

Pentru a afla cât de echitabil sunt distribuți indivizii pe specii, calculăm echitabilitatea: pentru stația Smida,  $E = 0,67632 / \log(5)$ , deoarece  $S$ , numărul total de specii, a fost 5, adică,  $E = 0,96759$ . Pentru stația Grigorescu,  $E = 0,35367 / \log(6)$ , adică  $E = 0,4545$ . Aceste valori ale echitabilității arată că indivizii sunt distribuți în mod egal pe speciile ce formează comunitatea din stația Smida,  $E$  apropiindu-se de maxim (de 1), pe cînd în stația Grigorescu există o singură specie ce domină, probabil datorită condițiilor de habitat propice pentru ea.

### 3.3. Calcularea indicilor de similaritate

Indicii de similaritate măsoară gradul de asemănare dintre două comunități biotice.

⇒ În estimarea similarității se folosesc indici ce iau în calcul doar prezența sau absența speciilor/grupelor de organisme din biocenozele comparate (se bazează exclusiv pe date calitative), dar și indici ce țin cont de date cantitative:

#### 1. Indicii bazați pe date calitative:

**1.a) Coeficientul lui Jaccard** (Jaccard, 1901) are formula:  $C_j = \frac{c}{s_1 + s_2 - c}$ ,

unde:  $C_j$  = similaritatea calculată conform coeficientului Jaccard;  $s_1$  = numărul de specii sau grupuri taxonomice din biocenoza 1;  $s_2$  = numărul de specii sau grupuri taxonomice din biocenoza 2;  $c$  = numărul de specii sau grupuri comune. Coeficientul ia valori de la 0 (nu există nici o asemănare între cele două comunități) pînă la 1 (cele două biocenoze sunt identice);

**1.b) Coeficientul (indicele) Dice** (cunoscut și sub denumirea de indice

Sørensen, Sørensen, 1948) are formula:  $S = \frac{2c}{s_1 + s_2}$ , unde  $S$  - similaritatea

calculată conform coeficientului Dice sau Sørensen; iar restul ca mai sus. Modul de interpretare este asemănător cu cel al coeficientului Jaccard, cu cît valoarea acestuia fiind mai aproape de 1, cu atît similaritatea fiind mai pronunțată;

#### 2. Indicii bazați pe date cantitative:

**2.a) Indicele lui Morisita**, cu formula:  $I_M = \frac{2\sum x_i y_i}{(l_1 + l_2)(N_1 + N_2)}$ , unde:  $x_i$  =

numărul de indivizi ai speciei  $i$  din biocenoza 1;  $y_i$  = numărul de indivizi ai speciei  $i$  din biocenoza 2;  $N_1$  = numărul total de indivizi din biocenoza 1;  $N_2$  = numărul total de indivizi din biocenoza 2;  $l$  = indicele de dominanță a lui Simpson (vezi capitolul 3.2.);

**2.b) Indicele Bray-Curtis** (Bray și Curtis, 1957) reprezintă varianta cantitativă a indicelui Dice și este cunoscut sub o multitudine de denumiri: indice Czekanowski, indice Schoener, similaritate procentuală (*proportional similarity*), indicele de afinitate (*index of affinity*) sau indicele celui mai puțin comun procent (*least common percentage index*); formula de calcul este:

$$S_{jk} = 100 \frac{\sum_i^p 2 * \min(y_{ij}, y_{ik})}{\sum_i^p (y_{ij} + y_{ik})}, \text{ unde } y_{ij} \text{ și } y_{ik} = \text{măsurătorile pentru specia } i$$

în probele  $j$  și  $k$  (număr sau biomasă);  $\min(y_{ij}, y_{ik})$  = valoarea minimă dintre

cei doi parametri;  $p$  = numărul speciilor. Modul de interpretare al acestui indice este similar cu cel al coeficientului Dice;

**3. Reprezentarea grafică** a similarității calitative și cantitative se face cu ajutorul dendrogramelor (o variantă rapidă și simplă de realizare a dendrogramelor este cea din programul *PAST*).

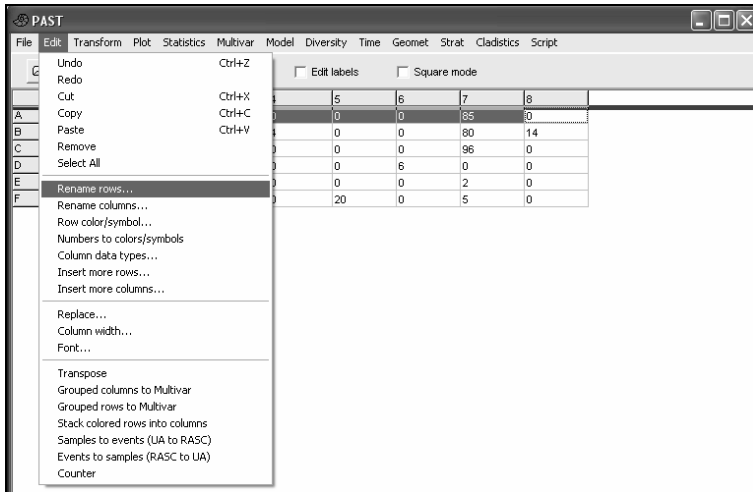
#### ⇒ EXERCİȚIU

Într-un studiu vizînd comunitățile de microcrustacee planctonice din diferite ecosisteme acvatice din Parcul Natural Cefa s-au luat considerare trei stații situate pe iazuri piscicole (*I1*, *I2* și *I3*) și trei stații localizate pe canalele de scurgere ce leagă bălțile și iazurile din zonă (*C1*, *C2* și *C3*). Datele au fost colectate în primăvara anului 2010, cînd s-au identificat cinci specii de cladocere (*Alona guttata*, *Daphnia magna*, *Moina brachiata*, *Chydorus sphaericus* și *Simocephalus vetulus*) și trei specii de copepode (*Acanthocyclops robustus*, *Eucyclops macruroides* și *Eudiaptomus vulgaris*): numărul de indivizi per litru a fost înregistrat pentru toate stațiile la care au apărut speciile respective. Care este gradul de asemănare dintre cele șase comunități de microcrustacee planctonice (din cele șase stații de prelevare) din punct de vedere atît calitativ cît și cantitativ?

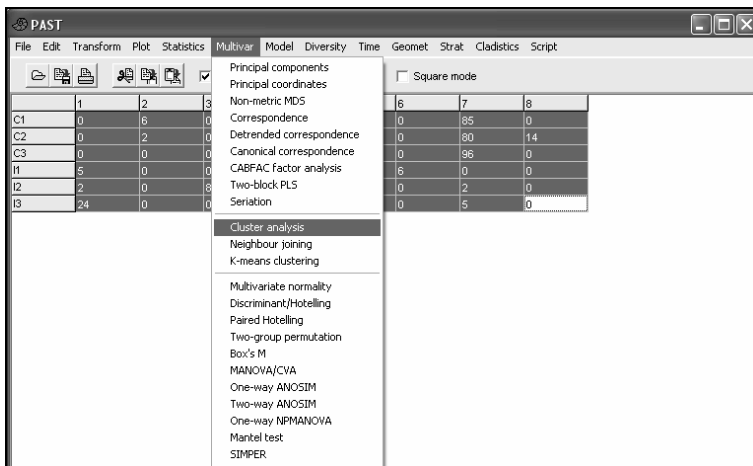
Datele brute incluzînd numărul de indivizi per litru găsiți în cele șase stații de prelevare (*C1*, *C2*, *C3*; *I1*, *I2*, *I3*) sunt următoarele:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		C1	C2	C3	I1	I2	I3	
2	Acanthocyclops robustus	0	0	0	0	5	2	24
3	Alona guttata	6	2	0	0	0	0	0
4	Daphnia magna	0	0	0	0	0	84	0
5	Eucyclops macruroides	0	4	0	0	0	0	0
6	Eudiaptomus vulgaris	0	0	0	0	0	0	20
7	Moina brachiata	0	0	0	0	6	0	0
8	Chydorus sphaericus	85	80	96	0	0	2	5
9	Simocephalus vetulus	0	14	0	0	0	0	0
10								

Cu comenzile *CTRL C* și *CTRL V* pentru copiere și alipire vom aduce datele din *EXCEL* în programul *PAST*. Pentru realizarea dendrogramei, datele trebuie așezate în fișierul de lucru invers decît sunt în *Excel*, adică pe orizontală trebuie trecute stațiile și pe verticală speciile, lucru pe care putem să îl realizăm folosind opțiunea *Transpose* (din meniul *Edit*). Deoarece în figura propriu-zisă numele speciilor nu vor apărea, vom redenumi doar rîndurile, accesînd *Edit - Rename Rows*:

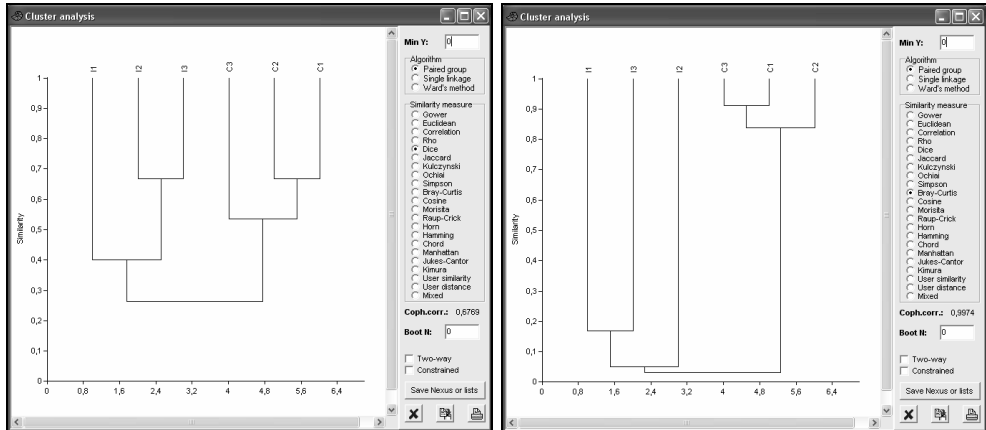


Pentru realizarea dendrogramei, cu toate valorile selectate, alegem din meniul *Multivar* opțiunea *Cluster analysis*. Reprezentarea grafică obținută mai are nevoie de alegerea algoritmului și a indicelui dorit. Algoritmul se referă la modul de realizare a grupării (a clusterelor): poate fi *paired group* (*unweighted pair-group average* - *UPGMA*, pentru care clusterelor sunt unite pe baza distanței medii dintre toți membrii din cele două grupuri), *single linkage* (= *nearest neighbour*, pentru care clusterelor sunt unite pe baza celei mai mici distanțe dintre cele două grupe) și *Ward’s method* (pentru care clusterelor sunt unite astfel încât varianța din cadrul grupului să fie minimalizată). Nu se poate spune că un algoritm e mai bun decât altul, deși unii autori recomandă nefolosirea algoritmului *single linkage*. Se pot compara dendrogramele realizate pe baza diferiților algoritmi.



Astfel, dendrograma pe baza datelor calitative (conform indicelui Dice) se poate vedea mai jos în stînga, pe cînd dendrograma pe baza datelor cantitative (conform indicelui Bray-Curtis) se află în dreapta. Pentru realizarea dendrogramei conform indicelui Dice, programul a ținut cont doar de prezența

sau absența speciilor din cele șase comunități. Dacă există doar date calitative, atunci datele se introduc în *PAST* cu *0* (absență) și *1* (prezență).



Modul de interpretare este similar pentru ambii indici, ei variind de la 0 (nici o asemănare) la 1 (asemănare perfectă). Se observă că dendrogramele bazate pe date calitative diferă de cele bazate pe numărători, însă în ambele cazuri s-au format două grupuri: unul pentru comunitățile din iazuri și altul pentru cele din canale. Explicația rezidă din faptul că mediul de viață diferă în cele două tipuri de ecosisteme, iazurile avînd regim de apă stătătoare iar canalele avînd o anumită viteză de curgere a apei, oxigenare mai mare etc. Avînd în vedere faptul că doar o specie, cladocерul *Chydorus sphaericus* a fost găsit și în iazuri și în canale, similaritatea mică dintre cele două grupuri de comunități, ce se încadrează între 0,2 și 0,3 (20 - 30%) conform indicelui Dice și între 0 și 0,1 (0 - 10%) conform indicelui Bray-Curtis este perfect explicabilă.

Ulterior, dendrograma se poate copia și alipi într-un document *Word* cu opțiunea *Copy graphic* din partea dreaptă jos a ferestrei.

### 3.4. Estimarea producției primare

Funcțiile ecosistemului implică transferul de energie și circulația materiei, funcții ce nu pot fi privite separat, din moment ce recircularea substanțelor prin lanțurile/rețelele trofice se face prin consum de energie. Este important de precizat că fluxul de energie prin ecosistem este unidirecțional, spre deosebire de recircularea substanțelor, astfel că sunt necesare mereu noi intrări de energie în sistem. Există două surse de energie: energia electromagnetică a radiațiilor solare (cea mai importantă) și energia chimică a diferitelor substanțe.

Producătorii primari sunt reprezentați în mare parte de plantele verzi și în mai mică măsură de bacterii fotosintetizante și chemosintetizante. Astfel, **fotosinteza** reprezintă procesul prin care intră energia în majoritatea ecosistemelor, fiind controlată în special de lumină, temperatură și nutrienți. Formula generală este:  $CO_2 + H_2O + \text{lumină} \rightarrow CH_2O$  (formula generală a unui zahar) +  $O_2$ . **Respirația**, ca proces opus fotosintezei, se referă la reacțiile chimice din celule prin care hrana este „arsă” și transformată în dioxid de carbon și apă:  $CH_2O + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + \text{energie chimică (sub formă de ATP)}$ . De exemplu:  $6C_6H_{12}O_6$  (glucoză) +  $6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O + 36 ATP$ ; glucoza este produsă în celule prin descompunerea carbohidraților complecși (amidon, celuloză, zaharuri – sucroză). Ea este oxidată (se combină cu oxigenul) pentru a forma compusul adenzin trifosfat (ATP), folosit de celule pentru a-și îndeplini majoritatea funcțiilor (producerea de noi fragmente celulare, transportul compușilor prin celule, creștere).

Producătorii primari folosesc doar o mică parte din totalul energiei solare disponibile, iar din energia fixată de producătorii primari doar o mică parte devine disponibilă pentru consumatori.

Energia acumulată de producătorii primari sub formă de substanță organică se numește **producție primară**. Cu alte cuvinte, producția primară este cantitatea de substanță organică sintetizată de producătorii primari. **Producția primară brută, PPB** reprezintă întreaga cantitatea de energie asimilată de organismele autotrofe, din care ele folosesc o parte pentru desfășurarea proceselor metabolice proprii (sinteze organice, mișcare etc.), exteriorizate prin respirația plantei. Pentru producătorii primari reprezentați de fitoplancton se poate vorbi de o excreție sub formă de carbon organic dizolvat. Astfel, producția primară brută este suma dintre **producția primară netă, PPN** (cantitatea de energie acumulată sub formă de substanță organică în autotrofe), **respirație, R** (cantitatea de energie folosită de plante pentru procesele metabolice), dar și **excreție, E**:  $PPB = PPN + R + E$ .

În ceea ce privește nivelurile trofice superioare producătorilor primari, **energia consumată (C)** se definește prin relația  $C = A + E$ , unde  $A$  este energia asimilată de la producătorii primari iar  $E$  se referă la energia pierdută prin excreție. Energia asimilată  $A$  se compune din **producția secundară netă (PN)**, dar și din pierderile de energie prin **respirație (R)** ( $A = PN + R$ ). Astfel că termenii relației sunt:  $C = PN + R + E$ . Producția secundară netă reprezintă suma sporului de creștere pentru toți indivizii populației într-o perioadă de timp (iar pentru exprimarea corectă a  $PN$  trebuie luați în considerare toți indivizii dintr-o populație, nu doar cei ce au supraviețuit, dar și cei eliminați pe parcurs).

Conceptul de **biomasă** este indisolubil legat de cel de producție și e bine să îl clarificăm. Astfel, biomasa este cantitatea de substanță organică acumulată într-o perioadă de timp și existentă la un moment dat în ecosistem (se raportează la suprafață, de aceea unitatea de măsură este de exemplu  $g/m^2$  sau

tone/ha; fie greutate umedă - *wet weight*, fie greutate uscată - *dry weight*). Producția, pe de altă parte, reprezintă acumularea de biomasă în timp, de aceea unitatea de măsură va fi  $\text{g/m}^2/\text{h}$  (unitățile de masă, suprafață și timp diferă mult în funcție de populațiile studiate). Producția se poate exprima de asemenea și în unități energetice: gram-caloria (gcal sau cal), kilocaloria (kcal) sau joule (J;  $1 \text{ J} = 0,24 \text{ gcal}$ ): de exemplu, 1 g substanță uscată (substanță organică + substanțe minerale) pentru plantele terestre echivalează cu 4,5 kcal iar pentru alge cu 4,9 kcal (Botnariuc și Vădineanu, 1982).

Biomasa unei populații se calculează înmulțind numărul de indivizi (densitatea) cu greutatea medie a unui individ din populație, de preferat din fiecare stadiu de vîrstă. Determinarea greutății se face fie prin cîntărire directă, fie pe baza unor relații ce leagă o anumită dimensiune a corpului de greutate (de exemplu la crustaceele planctonice greutatea medie se poate estima prin folosirea unor ecuații de regresie dintre lungimea totală a corpului și greutate).

Există autori ce diferențiază noțiunile de producție și productivitate. Botnariuc și Vădineanu (1982) de exemplu arată că **productivitatea** reprezintă rata (viteza) cu care se acumulează energia la nivel de producător sau consumator. Totuși, amîndoi termenii exprimă aceeași idee și anume că producția este sporul de biomasă/suprafață (volum)/unitatea de timp.

⇒ **Metodele folosite pentru măsurarea producției primare sunt extrem de numeroase și sunt dezvoltate special pentru ecosisteme terestre sau acvatice. Totuși putem vorbi de două mari categorii de metode:**

### **1. metode bazate pe viteza de creștere a biomasei producătorilor primari**

- care de obicei conduc la estimarea producției lor nete (pentru plantele verzi în cele mai multe cazuri), adică a asimilației nete, ce include: sporul de biomasă, pierderile de biomasă prin moarte sau căderea unor părți componente (cum ar fi frunzele), consumul de către animale și (unde e cazul) recoltarea realizată de om. Se raportează de cele mai multe ori la an sau la perioada de vegetație și la nivelul întregului sistem (de exemplu pentru ecosistemele terestre *PPN* include copacii, tufișurile și vegetația ierboasă).

Principiul de bază al tuturor metodelor de acest tip (Newbould, 1967) poate fi sumarizat prin relația:  $PPN = DB + L + G$ , unde *PPN* = producția netă a comunității în intervalul de timp de la momentul  $t_1$  la momentul  $t_2$ ; *DB* = diferența de biomasă între cele două momente; *L* = pierderile cauzate de moarte sau căderea unor părți componente în intervalul  $t_1 - t_2$ ; *G* = pierderile cauzate de consumatori, paraziți etc. în intervalul  $t_1 - t_2$ . Este posibilă și calcularea producției doar o dată, la momentul  $t_2$ , la sfîrșitul sezonului de creștere, cînd se poate estima biomasa vegetală nou formată în perioada de timp la care ne raportăm.

Aceste metode se folosesc pentru ecosistemele terestre dar au aplicabilitate și pentru cele acvatice, unde se referă la macrofitele submerse.

Estimarea *PPN* a copacilor și a tufișurilor trebuie să țină cont de toate componentele acestora, adică de rădăcini, tulpini, ramuri, frunze dar și muguri, flori, fructe etc. Pentru aceasta se combină metode destructive (tăierea biomasei) cu cele nedestructive (folosirea relațiilor de regresie dintre dimensiuni și greutate, colectarea părților ce cad pe sol etc.).

Dintre sursele de erori asociate acestui tip de metode se pot enunța dificultatea estimării consumului de către erbivore și a biomasei părților subterane, ce pot duce la subaprecierea valorilor de producție.

**2. metode bazate pe rata fotosintezei** - măsoară creșterea cantității de oxigen sau scăderea cantității de dioxid de carbon (datorită fotosintezei), ce reprezintă o măsură directă a producției primare. Aceste metode se folosesc cu preponderență pentru ecosistemele acvatice.

**2.a) metoda sticluțelor albe și negre** (*the oxygen light - dark bottle technique*) (Gaarder și Gran, 1927) este una din cele mai simple și mai des folosite metode de estimare a producției primare. Se utilizează seturi de 3 sticle de capacitate cunoscută, dintre care una se vopsește în negru sau se acoperă cu folie pentru a împiedica intrarea luminii. Se prelevează apă din bazinul acvatic cercetat iar sticluțele se închid ermetic pentru a împiedica schimbul de gaze cu exteriorul. Imediat după prelevare se determină concentrația de oxigen din prima sticlă, numită „inițială” (*SI*). Pentru aflarea concentrației de oxigen se utilizează de obicei metoda titrării Winkler, datorită rezultatelor sale exacte, dar se poate folosi și citirea cantității de oxigen cu ajutorul oxigenmetrelor. Celelalte două, sticlă „albă” (*SA*) și sticlă „neagră” (*SN*) se suspendă în coloana de apă la adâncimea de la care s-a prelevat proba și se incubează pentru un anumit interval de timp (1 - 24 h). La sfârșit se citește concentrația de oxigen din ambele sticluțe.

Diferența dintre cantitatea de oxigen din sticlă inițială și cea „neagră” reprezintă o măsură a respirației pe intervalul de timp ales, din moment ce în ultima nu s-a realizat fotosinteza ( $R = SI - SN$ ). Diferența dintre concentrația de oxigen din sticlă „albă” și cea „neagră” este o măsură a producției primare brute, din moment ce ambele procese au avut loc (și fotosinteză și respirație) ( $PPB = SA - SN$ ). În fine, producția primară netă se obține din relația:  $PPN = PPB - R$ . De exemplu, dacă oxigenul determinat în cele trei sticluțe a avut următoarele valori:  $SI = 7$  mg/L;  $SA = 10$  mg/L și  $SN = 4$  mg/L, atunci putem estima respirația:  $R = 7 - 4 = 3$  mg/L și producția primară brută:  $PPB = 10 - 4 = 6$  mg/L, astfel că  $PPN = 6 - 3 = 3$  mg/L.

Ultimul pas este transformarea concentrațiilor de oxigen în unități de carbon pentru a obține adevărata valoare a producției. Wetzel și Likens (1991) folosesc următoarele formule pentru fitoplancton:

$$FOTOSINTEZA\ NETĂ\ (mg\ C/m^3/h) = \frac{(O_{2SA} - O_{2SI}) * 1000 * 0,375}{CF * t};$$

$$FOTOSINTEZA\ BRUTĂ\ (mg\ C/m^3/h) = \frac{(O_{2SA} - O_{2SN}) * 1000 * 0,375}{CF * t};$$

$$RESPIRAȚIA\ (mg\ C/m^3/h) = \frac{(O_{2SI} - O_{2SN}) * CR * 1000 * 0,375}{t}; \text{ unde: } O_{2SI}$$

= cantitatea de oxigen (mg/L) din sticlă inițială;  $O_{2SA}$  = cantitatea de oxigen (mg/L) din sticlă albă;  $O_{2SN}$  = cantitatea de oxigen (mg/L) din sticlă neagră; 1000 = se folosește pentru transformarea litrilor în  $m^3$ ; 0,375 = raportul dintre numărul de moli de carbon și cei de oxigen ( $12\ mgC / 32\ mgO_2$ );  $CF$  = coeficient fotosintetic (cu valoarea de 1,2 pentru fitoplancton în condiții de intensitate moderată a luminii);  $CR$  = coeficient respirator (cu valoarea de 1 pentru fitoplancton);  $t$  = timpul de incubare.

Principalul dezavantaj al metodei este faptul că respirația este considerată a avea aceeași viteză în sticlulele albe și negre. De asemenea, respirația în sticlulele negre poate fi cauzată și de organisme heterotrofe din apă (rotifere, crustacee etc.) dacă probele nu sunt filtrate print-un fileu planctonic pentru a rămîne doar fitoplanctonul. Mai mult, s-a demonstrat că în intervalul de temperatură 11 - 21°C bacteriile sunt responsabile pentru 40 - 60% din respirația totală atribuită doar fitoplanctonului în această metodă (Pratt și Berkson, 1959).

## 2.b) măsurarea ratei de acumulare a carbonului radioactiv ( $^{14}\text{C}$ )

(Steemann Nielsen, 1952) reprezintă o alternativă a metodei 2.a) în situațiile în care producția primară este foarte mică (în zona pelagială a oceanelor de exemplu). O cantitate mică de carbon radioactiv  $^{14}\text{C}$  este introdus în probă sub formă de bicarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ); se măsoară cantitatea de  $^{14}\text{C}$  fixat prin fotosinteză după un anumit timp de incubare.

### ⇒ EXERCITIU:

Calculați producția primară netă (*PPN*), producția primară brută (*PPB*) și pierderile prin respirație (*R*) pentru fitoplanctonul din Lacul Știucii (Rezervație naturală, județul Cluj) de-a lungul unui an de prelevări (ianuarie 2002 - decembrie 2002). Probele au fost recoltate de la orizontul de suprafață (0 - 1 m) cu ajutorul metodei sticlulelor albe și negre (date adaptate din Gudasz, 2004).

Datele brute se referă la cantitatea de oxigen dizolvat măsurat în sticlulele inițiale (*SI*), albe (*SA*) și negre (*SN*) (mg/L), iar timpul de incubare a fost de 4 ore.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		SI	SA	SN					
2	ian	11,53	11,6	11,47					
3	febr	10,98	11,03	10,89					
4	mart	10,29	10,43	10,27					
5	apr	12,21	12,3	12,2					
6	mai	9,15	9,16	9,13					
7	iun	9,5	9,54	9,49					
8	iul	9,36	9,42	9,3					
9	aug	7,45	7,51	7,41					
10	sept	6,75	6,8	6,73					
11	oct	5,68	5,74	5,62					
12	nov	10,65	10,84	10,59					
13	dec	11,29	11,32	11,27					
14									

Parametrii *PPN*, *PPB* și *R* se calculează din formulele prezentate mai sus, știind că timpul de incubare *t* a fost de 4 ore, coeficientul fotosintetic  $CF = 1,2$  iar coeficientul respirator  $CR = 1$ .

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		SI	SA	SN	PPN				
2	ian	11,53	11,6	11,47	$=((C2-B2)*1000*0,375)/(1,2^4)$				
3	febr	10,98	11,03	10,89					
4	mart	10,29	10,43	10,27					
5	apr	12,21	12,3	12,2					
6	mai	9,15	9,16	9,13					
7	iun	9,5	9,54	9,49					
8	iul	9,36	9,42	9,3					
9	aug	7,45	7,51	7,41					
10	sept	6,75	6,8	6,73					
11	oct	5,68	5,74	5,62					
12	nov	10,65	10,84	10,59					
13	dec	11,29	11,32	11,27					
14									

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		SI	SA	SN	PPN	PPB			
2	ian	11,53	11,6	11,47	5,46875	$=((C2-D2)*1000*0,375)/(1,2^4)$			
3	febr	10,98	11,03	10,89	3,90625				
4	mart	10,29	10,43	10,27	10,9375				
5	apr	12,21	12,3	12,2	7,03125				
6	mai	9,15	9,16	9,13	0,78125				
7	iun	9,5	9,54	9,49	3,125				
8	iul	9,36	9,42	9,3	4,6875				
9	aug	7,45	7,51	7,41	4,6875				
10	sept	6,75	6,8	6,73	3,90625				
11	oct	5,68	5,74	5,62	4,6875				
12	nov	10,65	10,84	10,59	14,84375				
13	dec	11,29	11,32	11,27	2,34375				
14									

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		SI	SA	SN	PPN	PPB	R		
2	ian	11,53	11,6	11,47	5,46875	10,15625	$=((B2-D2)*1000*0,375)/4$		
3	febr	10,98	11,03	10,89	3,90625	10,9375			
4	mart	10,29	10,43	10,27	10,9375	12,5			
5	apr	12,21	12,3	12,2	7,03125	7,8125			
6	mai	9,15	9,16	9,13	0,78125	2,34375			
7	iun	9,5	9,54	9,49	3,125	3,90625			
8	iul	9,36	9,42	9,3	4,6875	9,375			
9	aug	7,45	7,51	7,41	4,6875	7,8125			
10	sept	6,75	6,8	6,73	3,90625	5,46875			
11	oct	5,68	5,74	5,62	4,6875	9,375			
12	nov	10,65	10,84	10,59	14,84375	19,53125			
13	dec	11,29	11,32	11,27	2,34375	3,90625			
14									

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		SI	SA	SN	PPN	PPB	R		
2	ian	11,53	11,6	11,47	5,46875	10,15625	5,625		
3	febr	10,98	11,03	10,89	3,90625	10,9375	8,4375		
4	mart	10,29	10,43	10,27	10,9375	12,5	1,875		
5	apr	12,21	12,3	12,2	7,03125	7,8125	0,9375		
6	mai	9,15	9,16	9,13	0,78125	2,34375	1,875		
7	iun	9,5	9,54	9,49	3,125	3,90625	0,9375		
8	iul	9,36	9,42	9,3	4,6875	9,375	5,625		
9	aug	7,45	7,51	7,41	4,6875	7,8125	3,75		
10	sept	6,75	6,8	6,73	3,90625	5,46875	1,875		
11	oct	5,68	5,74	5,62	4,6875	9,375	5,625		
12	nov	10,65	10,84	10,59	14,84375	19,53125	5,625		
13	dec	11,29	11,32	11,27	2,34375	3,90625	1,875		
14									

Reprezentarea grafică a producției primare nete (fig. 3.2.), cea cu semnificația ecologică cea mai importantă dintre parametrii calculați, arată două perioade de producție maximă, primăvara (martie) și toamna (noiembrie), ce se suprapun cu perioadele de amestec ale maselor de apă specifice lacurilor dimictice din zona temperată.

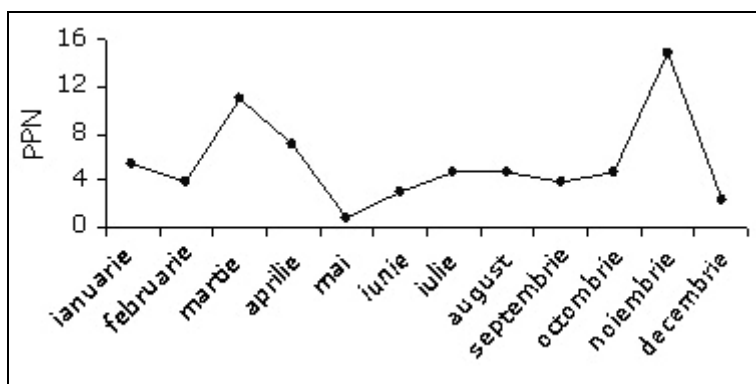


Fig. 3.2. Variația producției primare nete (PPN) ( $\text{mgC}/\text{m}^3/\text{h}$ ) într-un an calendaristic în Lacul Știucii (adaptat din Gudasz, 2004)

Se mai poate observa de asemenea în fig. 3.2. o scădere drastică a producției primare în luna mai, fenomen cunoscut în literatura de specialitate ca „faza de limpezire” (*clear water phase*). Zooplanctonul erbivor înregistrează o dezvoltare explozivă primăvara, datorită îmbunătățirii factorilor de mediu (temperatură, fotoperioadă, hrană abundentă), ceea ce atrage după sine o creștere a presiunii de prădare asupra fitoplanctonului. Consecința directă a acestor procese este scăderea densității comunității planctonice (atât zoo- cât și fitoplanctonice) și o clarificare (limpezire) majoră a apei.

### 3.5. Estimarea producției secundare

Continuăm să urmărim fluxul de energie în lanțurile trofice, oprindu-ne la nivelul consumatorilor, fie că sunt de ordinul I, II sau III. Este important de amintit de la început că nu toată producția primară este disponibilă pentru nivelurile trofice superioare și că această diminuare se păstrează în transferul energiei de la un nivel trofic la altul.

Modelul general al fluxului de energie este cunoscut sub denumirea de buget energetic al unei populații și se scrie astfel:  $I = C + EN$ , unde  $I$  = energia transferată de la un nivel trofic anterior (1);  $C$  = energia consumată la nivelul trofic 2 iar  $EN$  = energia neutilizată de populația de pe nivelul trofic 2. La rândul ei, energia consumată este formată din:  $C = A + E$ , sau  $C = PN + R + E$ , unde  $A$  = energia asimilată (formată din producția netă  $PN$  și respirația  $R$ ) iar  $E$  = energia eliminată prin excreție (fecale, prin piele, urină). Producția secundară netă se referă la energia înglobată în populație, pe când respirația reprezintă energia cheltuită pentru menținerea vieții (procese respiratorii, sinteze chimice, transport activ etc.).

Există metode pentru estimarea fiecărui parametru din relația de mai sus. Parametrul  $C$ , energia consumată, se determină prin metode directe (gravimetrice sau de marcăre a hranei cu izotopi radioactivi) sau prin metode indirecte (pe baza cunoașterii așa-numitei asimilabilități) (Rișnoveanu, 2010). Energia cheltuită ( $R$ ) se poate calcula pe baza ratei consumului de oxigen, sau pentru energia cheltuită în condiții de hipoxie, pe baza determinării ratei de acumulare a acidului lactic (Botnariuc și Vădineanu, 1982). Pentru determinarea cantității de energie consumată dar neasimilată ( $E$ ) se folosesc de cele mai multe ori metode experimentale.

Importanța calculării producției secundare rezidă din faptul că ea contribuie la elucidarea circuitului de energie și materie în ecosistem. Mai mult, se poate detecta efectul alterărilor asupra anumitor specii (poluare, modificări hidromorfologice), deoarece producția secundară e un proces complex ce oglindește schimbările unui număr mare de parametri. Pentru ecosistemele acvatice dirijate, este esențială pentru managementul resurselor, reprezentate de cele mai multe ori de populațiile de pești. Peștii se hrănesc cu organisme zooplanctonice sau bentonice, astfel că înțelegerea mecanismelor producției la nivelul nevertebratelor facilitează managementul stocului de pește.

⇒ Principiul general de calcul al producției secundare (Rigler și Downing, 1984) se bazează pe studiul unei cohorte formată din 10 indivizi ( $N_0 = 10$ ) ce se nasc/eclozează simultan, toți indivizii având aceeași mărime și masa =  $m_0$ . Biomasa inițială a cohortei ( $B_0$ ) se va calcula înmulțind numărul cu masa fiecărui individ, adică  $B_0 = N_0 * m_0$ .  $B_0$  nu e inclusă în producția ( $P$ ) cohortei, ea aparține producției cohortei parentale.

Modelul consideră că animalele cresc cu aceeași rată, pînă cînd unul este eliminat. Dacă acest lucru se întîmplă cînd masa =  $m_1$ , atunci producția totală a cohortei pînă la acel moment va fi dată de relația:  $P_1 = 10(m_1 - m_0)$ , adică suprafața  $ABCD$  din fig. 3.3.a. Cele 9 animale rămase continuă să crească cu aceeași rată pînă ce un al doilea animal este eliminat la masa  $m_2$ . Producția pe intervalul dintre moartea primului și celui de-al doilea este:  $P_2 = 9(m_2 - m_1)$ , adică suprafața  $EFCG$  din fig. 3.3.a. Continuînd astfel raționamentul, ajungem la producția totală a cohortei, calculată după ce și ultimul individ a fost eliminat, ce va fi reprezentată de însumarea tuturor acestor producții „intermediare”, după

formula:  $P_{cohorței} = N_0(m_1 - m_0) + N_1(m_2 - m_1) + \dots + N_9(m_{10} - m_9)$ ; unde unde  $N_0$  = numărul de animale ce trăiesc de la naștere/eclozare pînă la momentul primei morți;  $N_1$  = numărul de animale ce trăiesc de la naștere/eclozare pînă la momentul celei de-a doua morți etc.;  $m_0$  = greutatea individuală la naștere/eclozare;  $m_1$  = greutatea individuală la moartea primului animal etc.

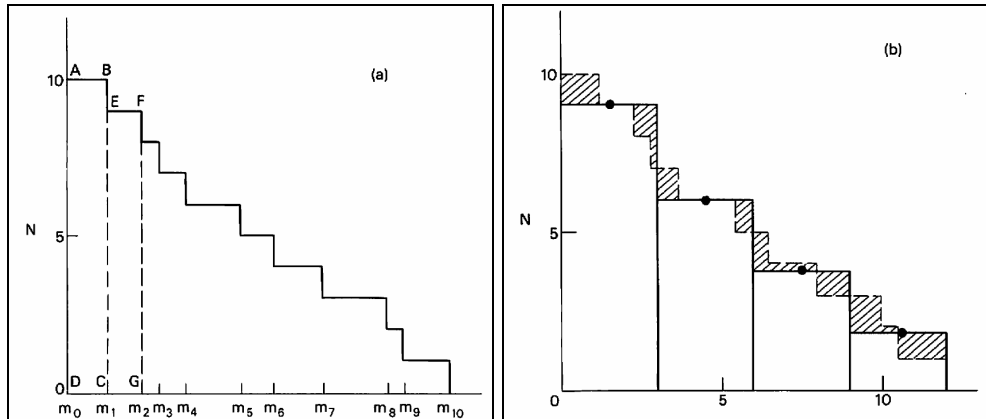


Fig. 3.3. (a) Modul de calcul al producției secundare pentru o cohortă dacă greutatea la moartea fiecărui individ este cunoscută (principiul general); (b) modul de calcul al producției prin însumarea creșterilor de biomasă (punctele sunt observații făcute asupra cohorței și sunt mediiile dintr-o clasă de dimensiune sau dintr-o perioadă de timp; zonele hașurate sunt erori în estimare) (Rigler și Downing, 1984)

Din moment ce modelul general de calcul a producției secundare e atât de simplu, putem să ne întrebăm de ce literatura de specialitate conține o multitudine de ecuații diferite pentru estimarea acestui parametru. În primul rînd, populațiile reale nu sunt atât de simple ca cea aleasă ca exemplu; iar în al doilea rînd, nu întotdeauna se pot colecta datele prezentate aici: de exemplu, nu putem măsura greutatea fiecărui individ mort din cohortă.

În practică, informațiile pe care le putem obține sunt mult mai puține comparativ cu exemplul modelului general: în cel mai bun caz ne putem baza pe probe luate în perioade diferite în timpul dezvoltării cohorței sau putem să împărțim cohorta în clase de dimensiune. Pentru fiecare clasă de dimensiune sau perioadă de timp obținem o greutate medie a unui individ ( $\bar{m}_i$ ) și o estimată a numărului de indivizi din acea clasă de dimensiune ( $N_{m_i}$ ).

⇒ **Cele mai simple metode de calcul a producției secundare presupun evaluarea acestora pe baza modificărilor în biomasă, fie creșterile, fie pierderile.**

**1. Metoda însumării creșterilor (growth increment summation)** presupune însumarea creșterilor în biomasă pe întreaga perioadă de viață a unei cohorțe. Procedura constă în efectuarea unei serii de prelevări periodice din cohorta respectivă, începînd cu momentul eclozării/nașterii și notarea modificărilor de biomasă de la o prelevare la alta. Această schimbare în

biomasă este multiplicată cu valoarea efectivului populației (pentru a obține o estimare a producției secundare pe o anumită perioadă). În final, producția cohorței va fi dată de suma tuturor producțiilor astfel calculate.

Formula este:  $P = \bar{N}_{1,2}(\bar{m}_2 - \bar{m}_1) + \bar{N}_{2,3}(\bar{m}_3 - \bar{m}_2) + \dots + \bar{N}_{(k-1),k}(\bar{m}_k - \bar{m}_{k-1})$ ,

unde  $\bar{N}_{1,2}$  = densitatea medie a populației între datele de prelevare 1 și 2;  $\bar{m}_1$  = greutatea medie a indivizilor la data de prelevare 1;  $k$  = numărul de prelevări incluse în perioada pe care calculăm producția. Dacă ne referim tot la exemplul ipotetic din modelul general de calculare a producției secundare, putem spune că istoria cohorței este reconstruită ca o histogramă simplificată a densităților, cu greutatea individuală reprezentată pe axa  $Ox$ ; producția secundară estimându-se ca zona totală de sub histogramă (fig. 3.3.b).

**2. Metoda însumării eliminărilor (*mortality summation*)** pleacă de la ideea că estimarea mortalității totale a unei cohorțe poate fi echivalată cu estimarea producției cohorței respective. Modelul ipotetic ce ilustrează această metodă ia în considerare o cohorță cu număr egal de indivizi la începutul ( $N_0$ ) și sfârșitul ( $N_t$ ) perioadei de timp luate în studiu ( $t$ ), interval în care se consideră că nu există mortalitate. Astfel,  $N_0 = N_t$ , dar avem modificări în biomasă ( $B_t > B_0$ ) pentru că greutatea medie ( $m$ ) diferă în cele două momente ( $m_t > m_0$ ). Astfel, producția secundară va fi dată de diferența în biomasă:  $P = B_t - B_0$ . Totuși, creșterea și producția au loc simultan cu eliminarea continuă de indivizi (unii mor datorită prădării, alții din alte cauze), de aceea trebuie să introducem și termenul  $B_E$ , ce reprezintă biomasa indivizilor eliminați, ajungând la relația:  $P = B_E + (B_t - B_0)$ . Producția poate avea valori pozitive dar și negative, de exemplu pentru anumite perioade de timp când animalele nu se hrănesc).

**3. În cazul în care cohorțele nu pot fi identificate**, producția poate fi aproximată ca suma pierderilor de biomasă dintre două grupe de mărimi succesive. Cerința principală este ca populațiile respective să aibă efective ce se pot grupa pe clase de mărimi. În situațiile în care populațiile nu au cohorțe distincte iar diferențierea indivizilor pe clase de mărimi este neclară, producția se calculează pe baza aproximării ratei de creștere a indivizilor, prin estimarea creșterii individuale în greutate de la naștere/eclozare pînă la moarte. Adiția de biomasă se monitorizează pe o anumită perioadă de timp, iar de cele mai multe ori sunt necesare experimente în laborator pentru estimarea creșterilor în greutate.

#### ⇒ EXERCİȚIU:

Calculați producția secundară anuală a larvelor de *Epithea* sp. (Odonata) prin metoda însumării creșterilor, știind că specia are numai o cohorță pe an (date preluate din Benke, 1976). Datele brute provin de la 12 prelevări din teren (de la 30 mai pînă la 28 martie anul următor), cînd s-a realizat estimarea densității populaționale ( $N$ ) (ind./m<sup>2</sup>) și s-a măsurat masa medie individuală ( $m$ ) (mg), după cum urmează:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	data	N	m					
2	30.mai	279	0,076					
3	13.iun	172	0,344					
4	27.iun	139,8	0,898					
5	11.iul	96,8	1,919					
6	25.iul	145,5	4,256					
7	07.aug	80,6	6,344					
8	28.aug	75,3	9,08					
9	27.sept	53,8	11,989					
10	25.oct	43	18,991					
11	22.nov	59,1	24,832					
12	24.ian	43	25,709					
13	28.mar	16,1	27,67					
14								

Vom calcula producția secundară pentru fiecare interval de timp (la început pentru intervalul 30 mai - 13 iunie, apoi pentru 13 iunie - 27 iunie etc.) iar la sfârșit vom însuma aceste valori ale producțiilor intermediare pentru a găsi valoarea totală a producției cohorței. Pentru fiecare interval de timp trebuie să aflăm media aritmetică a densităților și diferența de greutate. Ultima valoare din șir nu se poate calcula, deoarece nu avem un interval ulterior datei de 28 martie (astfel vom trece *NA* - *not applicable* sau *nu se aplică*).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	data	N	m	med ar N				
2	30.mai	279	0,076	=AVERAGE(B2:B3)				
3	13.iun	172	0,344					
4	27.iun	139,8	0,898					
5	11.iul	96,8	1,919					
6	25.iul	145,5	4,256					
7	07.aug	80,6	6,344					
8	28.aug	75,3	9,08					
9	27.sept	53,8	11,989					
10	25.oct	43	18,991					
11	22.nov	59,1	24,832					
12	24.ian	43	25,709					
13	28.mar	16,1	27,67					
14								

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	data	N	m	med ar N	diferenta m			
2	30.mai	279	0,076	225,5	=C3-C2			
3	13.iun	172	0,344	155,9				
4	27.iun	139,8	0,898	118,3				
5	11.iul	96,8	1,919	121,15				
6	25.iul	145,5	4,256	113,05				
7	07.aug	80,6	6,344	77,95				
8	28.aug	75,3	9,08	64,55				
9	27.sept	53,8	11,989	48,4				
10	25.oct	43	18,991	51,05				
11	22.nov	59,1	24,832	51,05				
12	24.ian	43	25,709	29,55				
13	28.mar	16,1	27,67	NA				
14								

Calcularea producției pe intervale de timp succesive se face înmulțind valorile obținute (media densităților și diferența de densitate):

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	data	N	m	med ar N	diferenta m	P pe perioade		
2	30.mai	279	0,076	225,5	0,268	=D2*E2		
3	13.iun	172	0,344	155,9	0,554			
4	27.iun	139,8	0,898	118,3	1,021			
5	11.iul	96,8	1,919	121,15	2,337			
6	25.iul	145,5	4,256	113,05	2,088			
7	07.aug	80,6	6,344	77,95	2,736			
8	28.aug	75,3	9,08	64,55	2,909			
9	27.sept	53,8	11,989	48,4	7,002			
10	25.oct	43	18,991	51,05	5,841			
11	22.nov	59,1	24,832	51,05	0,877			
12	24.ian	43	25,709	29,55	1,961			
13	28.mar	16,1	27,67	NA	NA			
14								

În final facem suma pentru a afla producția totală a cohorței, care este de 1927 mg/m<sup>2</sup>/an, adică aproape 2 g/m<sup>2</sup>/an.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	data	N	m	med ar N	diferenta m	P pe perioade		
2	30.mai	279	0,076	225,5	0,268	60,434		
3	13.iun	172	0,344	155,9	0,554	86,3686		
4	27.iun	139,8	0,898	118,3	1,021	120,7843		
5	11.iul	96,8	1,919	121,15	2,337	283,12755		
6	25.iul	145,5	4,256	113,05	2,088	236,0484		
7	07.aug	80,6	6,344	77,95	2,736	213,2712		
8	28.aug	75,3	9,08	64,55	2,909	187,77595		
9	27.sept	53,8	11,989	48,4	7,002	338,8968		
10	25.oct	43	18,991	51,05	5,841	298,18305		
11	22.nov	59,1	24,832	51,05	0,877	44,77085		
12	24.ian	43	25,709	29,55	1,961	57,94755		
13	28.mar	16,1	27,67	NA	NA	<b>1927,60825</b>		
14								

### 3.6. Parametrii rețelelor trofice

Populații diferite, din niveluri trofice diferite, sunt legate între ele prin relații de nutriție, alcătuind astfel lanțurile și rețelele trofice. Studiul acestora este foarte important, deoarece ele reprezintă căile prin care se face transferul de materie și energie în ecosistem.

Lanțurile trofice sunt alcătuite dintr-un număr variabil de verigi, ce nu depășește 5 - 6, iar la baza lor se află de cele mai multe ori autotrofele, fie foto-fie chemosintetizante, dar și detritusul organic, ce susține lanțurile detritofagilor.

Studierea lanțurilor trofice are o însemnătate extrem de mare în ecologie, deoarece indică rolul fiecărei populații din comunitate, conducând la concluzii privitoare la organizarea și funcționarea ecosistemului studiat. Partea aplicativă a cunoașterii rețelelor trofice rezidă din posibilitatea depistării căilor prin care unele substanțe toxice pot ajunge la om (Botnariuc și Vădineanu, 1982). Totuși, cercetarea lanțurilor trofice este un proces complicat și îndelungat. Metodele de studiu depind de populațiile studiate, implicând fie observare directă, fie analiza conținutului stomacal, fie analiza ingluviilor (la păsările răpitoare), fie marcarea hranei cu izotopi radioactivi etc.

Astfel, analiza întregii rețele trofice dintr-un anumit ecosistem reprezintă un dezerat pe cât de important pe atât de greu de realizat, din moment ce implică un efort deosebit din toate punctele de vedere: al resursei umane, a timpului alocat etc. Totuși, odată întocmite, rețelele trofice se pot studia pe baza unor parametri cantitativi, ce oferă informații fie despre același ecosistem în perioade de timp diferite, fie despre ecosisteme diferite dar comparabile (Sîrbu, 2009).

Fig. 3.4. prezintă o schemă a unei rețele trofice din zona pelagică a unui lac, cu producătorii primari reprezentați de fitoplancton, pînă la consumatorii de vîrf, peștii piscivori.

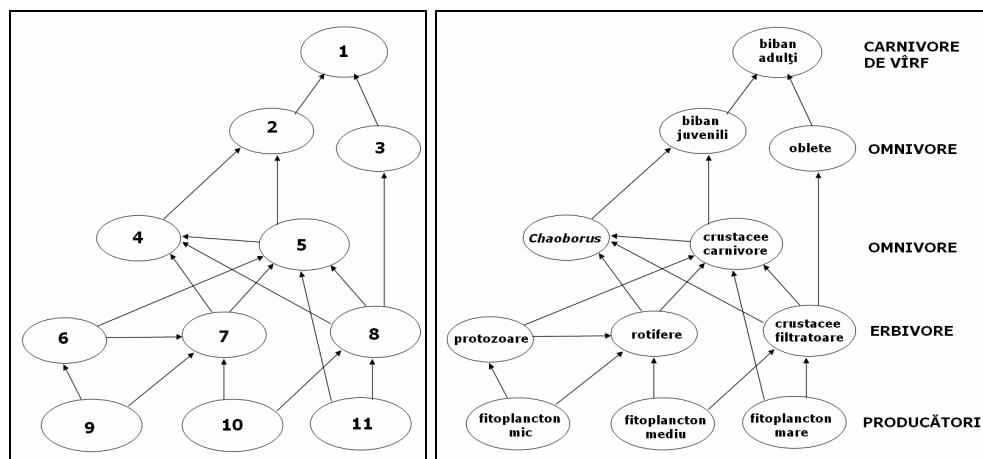


Fig. 3.4. Model de rețea trofică în pelagialul lacurilor (adaptat din Lampert și Sommer, 2007)

⇒ **Caracterizarea cantitativă a rețelelor trofice include calcularea următorilor parametri (Sîrbu, 2009; Cox, 2002):**

- 1. Numărul de elemente constitutive** - reprezintă numărul exact al populațiilor/grupurilor taxonomice/ghildelor din care este alcătuită rețeaua trofică studiată, ce poate sta la baza unor analize mai detaliate, cum ar fi: urmărirea eficiențelor de transfer de la un nivel la altul și a modificărilor acestora în funcție de introducerea sau eliminarea unor elemente; rolul unei specii-cheie etc. În rețeaua ilustrată de fig. 3.4. (stînga), numărul de elemente este 11.
- 2. Lungimea medie a lanțurilor trofice** - este numărul mediu de legături dintre grupele bazale și cele din vîrf și calculează astfel:  $L = i / (b + v)$ , unde  $L$  = lungimea medie a lanțurilor trofice;  $i$  = numărul tuturor căilor posibile de circulație a energiei de la grupele bazale la cele terminale;  $b$  = numărul de elemente bazale;  $v$  = numărul de elemente terminale, din vîrf. În rețeaua folosită ca exemplu, există 3 elemente bazale, 1 element de vîrf și 20 de posibile legături între extreme (posibile rute): 9-6-5-4-2-1; 9-6-5-2-1; 9-6-7-4-2-1; 9-6-7-5-4-2-1; 9-6-7-5-2-1; 9-7-4-2-1; 9-7-5-2-1; 9-7-5-4-2-1; 10-7-4-2-1; 10-7-5-4-2-1; 10-7-5-2-1; 10-8-4-2-1; 10-8-5-4-2-1; 10-8-5-2-1; 10-8-3-1; 11-5-4-2-1; 11-5-2-1; 11-8-5-4-2-1; 11-8-5-2-1; 11-8-3-1. Astfel, lungimea medie a lanțurilor trofice este de  $20 / (3+1) = 5$ .
- 3. Procentul elementelor din nivelurile bazale, intermediare și terminale** se calculează pentru a vedea distribuția elementelor în rețeaua studiată. Astfel, pentru rețeaua luată ca exemplu din fig. 3.4., există 1 element în nivelul terminal, de vîrf (9,1%), 7 elemente în nivelurile intermediare (63,3%) și 3 în nivelul bazal (27,3%).
- 4. Procentul relațiilor între elementele din nivelurile bazal, intermediar și terminal** se referă la legăturile stabilite între elementele unei rețele trofice aflate în cele trei categorii de niveluri. Astfel, distingem relații între elementele bazale și intermediare ( $b - i$ ), între două elemente aflate în niveluri intermediare ( $i - i$ ), între elementele intermediare și cele din vîrf ( $i - v$ ) dar și între cele bazale și cele din vîrf ( $b - v$ ). Numărul total al relațiilor în cazul nostru este de 18 (reflectat de numărul săgeților conectoare), iar procentele sunt următoarele: relații de tip  $b-i$  6 (33,3%); relații de tip  $i-i$  10 (55,6%); relații de tip  $i-v$  2 (11,1%) și relații de tip  $b-v$  0 (0%).
- 5. Conectanța (%)** - arată ce procent din conexiunile posibile între elementele rețelei există într-adevăr. Are formula:  $c = \frac{r}{r_{max}} * 100$ , unde  $c$  = conectanța;  $r$  = numărul de relații existente (în cazul nostru 18); iar  $r_{max}$  = numărul maxim posibil de relații. Acest din urmă parametru se exprimă ca:  $r_{max} = \frac{n(n-1)}{2}$ , unde  $n$  = numărul de elemente ale rețelei (în cazul nostru 11). Astfel, pentru rețeaua trofică aleasă ca exemplu,  $r_{max} = 55$ , astfel că parametrul  $c = 32,7\%$ .

**6. Densitatea relațiilor** - reprezintă numărul mediu de relații stabilite de fiecare element component. Se calculează adunând toate relațiile stabilite de fiecare element în parte, iar suma astfel obținută se împarte la numărul total de elemente ale rețelei. În exemplul de mai sus, avem 11 elemente constitutive. Elementul 1 (peștii carnivori din vârful rețelei) au stabilit 2 legături; juveniții de bibani - 3; obleții - 2; dipterul prădător *Chaoborus* - 4; crustaceele carnivore - 6; protozoarele - 3; rotiferele - 5; crustaceele filtratoare - 5; iar fitoplanctonul mic, mediu și mare câte 2. Astfel, suma tuturor acestor legături este 55, care împărțită la 11 ne dă o densitate a relațiilor de 3,3.

**7. Frecvența omnivorelor** - reprezintă procentul acestor organisme din totalul de elemente constitutive al rețelei. Omnivorele sunt definite ca animalele care au legături directe cu mai mult de un nivel trofic inferior. În cazul nostru, atât crustaceele carnivore cât și obleții sunt organisme omnivore, deoarece au legături atât cu nivelul trofic imediat inferior cât și cu cel de dedesupt. Astfel, crustaceele carnivore își completează dieta cu fitoplancton, iar obleții cu cladocere filtratoare. De aceea, frecvența omnivorelor în rețeaua din fig. 3.4. este  $(2/11)*100$ , adică 18,2%.

#### ⇒ EXERCIȚIU:

Pe baza studiului rețelelor trofice se pot analiza diferite ipoteze legate de relațiile pradă-prădător. Așa sunt de exemplu cele ce încearcă să explice factorii ce controlează producția primară în cadrul rețelelor trofice: așa numitele teorii ale controlului „de sus în jos” (*top-down*), ce indică influența nivelurilor superioare asupra producătorilor primari, dar și ale controlului „de jos în sus” (*bottom-up*) ce arată că autotrofele pot controla modul de organizare a nivelurilor superioare. Paralel cu dezvoltarea conceptului controlului „de sus în jos” a apărut ipoteza cascadelor trofice (Paine, 1980) ce arată că modificările apărute la nivelurile superioare într-o rețea trofică se resimt ca într-o cascadă pînă la nivelul de bază.

Exercițiul de mai jos reprezintă o dovadă a acestui concept de cascade trofice, pe baza datelor provenite din cercetarea ecosistemelor lotice din California (Power, 1990).

Fig. 3.5. prezintă modelul rețelei trofice atunci cînd peștii prădători sunt prezenți sau nu. Peștii carnivori sunt reprezentați de două specii, una de babușcă - *Hesperoleucas symmetricus* și una de păstrăv - *Oncorhynchus mykiss*; alevinii de pește provin de la *Hesperoleucas symmetricus* și *Gasterosteus aculeatus*; insectele prădătoare sunt leștide; larvele de diptere prădătoare sunt de *Pseudochironomus richardsoni* iar algele bentonice fac parte din genurile *Nostoc* și *Cladophora*.

Prin calcularea parametrilor celor două rețele trofice vom putea interpreta rezultatele eliminării peștilor prădători din ecosistem.

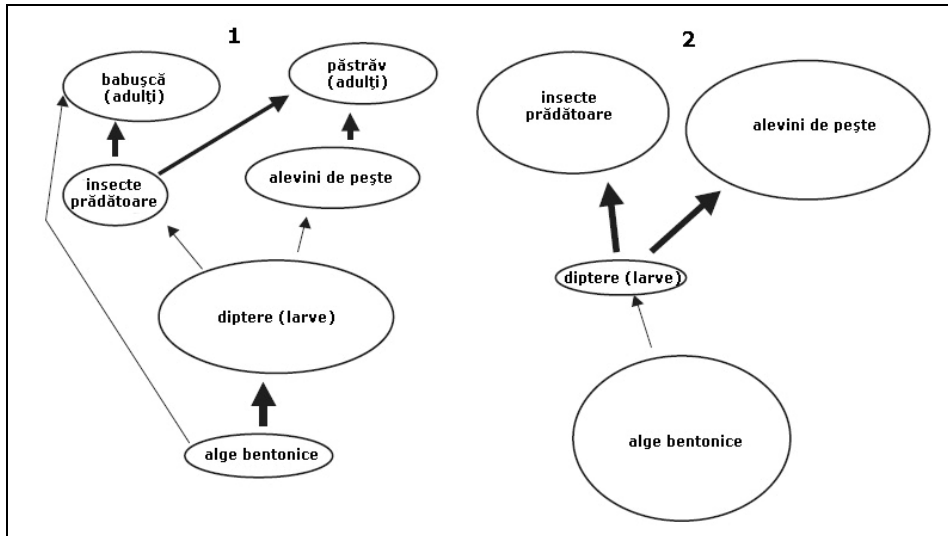


Fig. 3.5. Schema simplificată a unei rețele trofice dintr-un râu din California în prezența peștilor prădători (1) și după înlăturarea acestora (2) (dimensiunea casetelor reprezintă cantitatea de biomasă la ficare nivel trofic iar grosimea săgeților indică preferința) (Power, 1990)

Rezultatele calculării parametrilor rețelei trofice cu și fără pești prădători se pot compara mai ușor dacă sunt prezentate alăturat, ca în tabelul 3.2.

Eliminarea peștilor prădători din relațiile trofice caracteristice râurilor din California s-a dovedit a fi negativă pentru diversitatea zonei (prin scăderea numărului de specii, adică a numărului de elemente componente), prin micșorarea numărului de relații dintre elemente, dar și a numărului mediu de relații stabilite de un element (densitatea relațiilor).

Conceptul de cascadă trofică este bine ilustrat prin exemplul de față, deoarece excluderea peștilor prădători s-a dovedit a avea efecte în cascadă asupra nivelurilor trofice inferioare, ducând la o proliferare a producătorilor primari (prin presiunea mare asupra larvelor de diptere, ce nu mai pot exploata resursa de hrană disponibilă).

Tabel 3.2. Parametrii rețelei trofice lotice în cazul existenței peștilor prădători (1) și a eliminării acestora (2)

<b>Parametrul rețelei trofice</b>	<b>1 Pești prădători prezenți</b>	<b>2 Pești prădători absenți</b>	<b>Efecte</b>
Număr elemente	6	4	<i>scade</i>
Lungimea medie a lanțurilor trofice	$L = 4/3 = 1,3$	$L = 2/3 = 0,7$	<i>scade</i>
Procentul elementelor de la nivelurile: bazal ( <i>b</i> ), intermediar ( <i>i</i> ), de vîrf ( <i>v</i> )	$b = 16,7\%$ $i = 50\%$ $v = 33,3\%$	$b = 25\%$ $i = 25\%$ $v = 50\%$	<i>scade procentul elementelor intermediare, crește procentul celor de la extremități</i>
Procentul relațiilor între elementele de la nivelurile: bazal ( <i>b</i> ), intermediar ( <i>i</i> ), de vîrf ( <i>v</i> )	$b-i = 1 (14,3\%)$ $i-i = 2 (28,6\%)$ $i-v = 3 (42,8\%)$ $b-v = 1 (14,3\%)$	$b-i = 1 (33,3\%)$ $i-i = 0 (0\%)$ $i-v = 2 (66,7\%)$ $b-v = 0 (\%)$	<i>nu mai există relații între elementele aflate pe niveluri intermediare și nici bază-vîrf</i>
Conectanța	$r_{max} = (7*6)/2 = 21$ $c = (7/21)*100 = 33,3\%$	$r_{max} = (3*2)/2 = 6$ $c = (3/6)*100 = 50\%$	<i>crește, pentru că numărul de conexiuni posibile e mai mic</i>
Densitatea relațiilor	numărul total de relații, de la vîrf în jos, este: $2+2+3+2+3+2=14$ ; desitatea relațiilor = $14/6 = 2,3$	numărul total de relații, de la vîrf în jos, este: $1+1+3+1=6$ ; desitatea relațiilor = $6/4 = 1,5$	<i>scade (numărul mediu de relații per element)</i>
Frecvența omnivorelor	1 din 6 = 16,7%	0%	<i>scade</i>

### 3.7. Determinarea eficiențelor energetice

Calcularea eficiențelor energetice legate de fluxul de energie și materie printr-un ecosistem constă în determinarea randamentului de acumulare și transfer a energiei de la un nivel al lanțurilor/rețelelor trofice la altul. Aceste eficiențe ecologice reprezintă raporturi între parametrii fluxului energetic, fie incluzând niveluri trofice succesive (transfer), fie același nivel (conversie și utilizare). Fig 3.6. reprezintă o sumarizare schematică a fluxului energetic printr-un ecosistem.

Studiul fluxului energetic și a eficiențelor ecologice reprezintă un scop deosebit de important în cercetarea ecologică, datorită multitudinii de aspecte ce pot fi astfel explicate. Totuși, ca și în analiza rețelelor trofice, volumul imens de muncă, perioada mare de timp necesară, limitările de ordin tehnic sau financiar fac dificile astfel de abordări holiste.

Înainte de a începe discuția despre eficiențele energetice, este important să se facă o distincție foarte clară între conceptele de biomasă și producție. Reluând definițiile, biomasă reprezintă cantitatea de substanță organică acumulată într-o perioadă de timp și existentă la un moment dat. Producția însă aduce dimensiunea timpului în ecuație, întotdeauna vom raporta producția (fie netă, fie brută) la ani, luni, zile sau la perioade de vegetație. Astfel, producția înglobează valorile biomasei pe perioada de timp la care ne referim, deoarece biomasă variază în raport cu multi parametri (imigrare, emigrare, moarte, naștere, căderea frunzelor uscarea ramurilor etc.). Cu alte cuvinte, biomasă poate fi văzută ca o poză făcută la un moment dat în populație, pe când producția include tot tabloul ce se desfășoară pe o perioadă mai mare de timp.

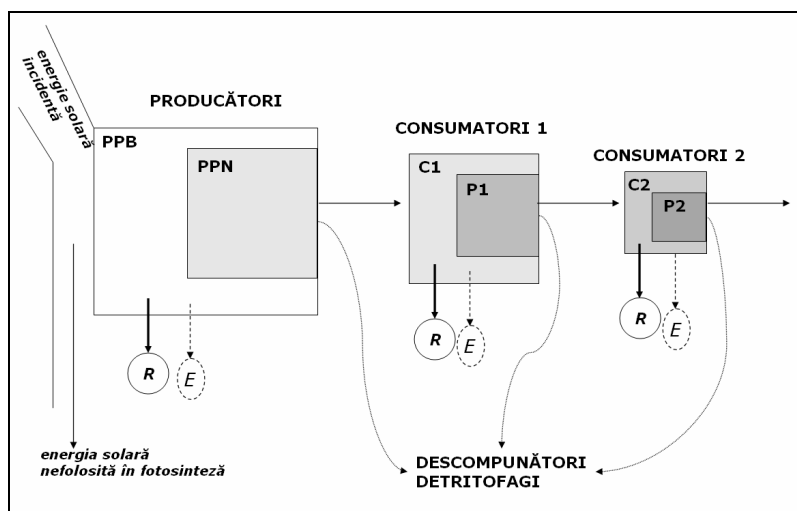


Fig. 3.6. Schema generală a fluxului energetic prin ecosistem (PPB - producție primară brută; PPN - producție primară netă; C - energie consumată; P - producție secundară netă; R - respirație; E - excreție) (adaptat din Botnariuc și Vădineanu, 1982)

Raportul producție/respirație ( $P/R$ ) reprezintă o reflectare a modului de acumulare a materiei în ecosistem. Valoarea mai mare ca 1 a raportului indică o acumulare a materiei organice, o valoare subunitară arată o penurie, pe cînd valoarea de 1 se traduce prin echilibru. Calcularea acestor valori se dovedește utilă atunci cînd dorim să caracterizăm ecosistemele. Diferența de strategie a unor comunități aflate în faze diferite ale succesiunii ecologice este bine surprinsă de variațiile raportului  $P/R$  (fig. 3.7.), ce se modifică de la  $P/R > 1$  în faze de pionierat pînă la  $P/R = 1$ . Astfel, la maturitate, biomasa este maximă, nu producția, ceea ce favorizează autosusținerea ecosistemelor naturale. Pe de altă parte, strategia societății umane este inversă, adică exploatarea ecosistemelor atunci cînd producția e maximă (în faze incipiente, de exemplu la producție agricolă sau forestieră mare).

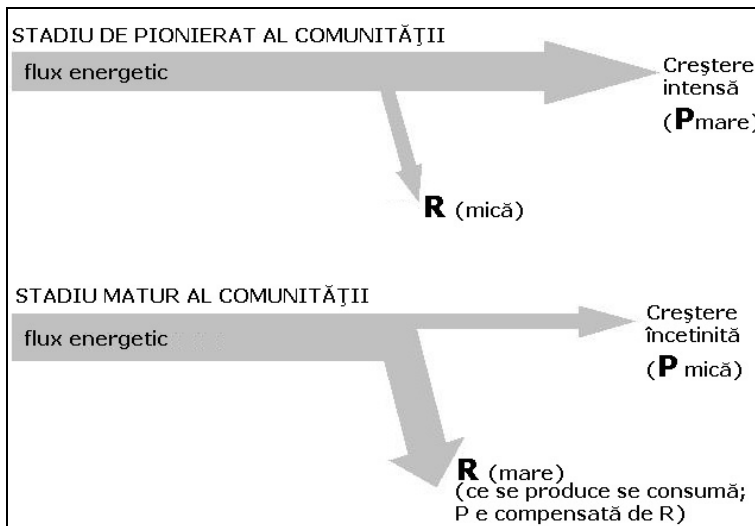


Fig. 3.7. Raporturile dintre producție ( $P$ ) și respirație ( $R$ ) în două faze ale succesiunii ecologice a ecosistemelor: faza de pionierat și faza de maturitate

Principalele caracteristici ale fluxului de energie printr-un ecosistem, ce sunt reflectate de calculul eficiențelor energetice, sunt următoarele:

1. producția netă scade în lanțul trofic, de la producătorii primari spre nivelurile trofice superioare;
2. cantitatea de energie risipită prin respirație crește de la producătorii primari spre nivelurile trofice superioare;
3. eficiența utilizării energiei crește de la producătorii primari spre nivelurile trofice superioare (deci și eficiența consumului hranei disponibile).

⇒ **Cele mai importante eficiențe ecologice pentru caracterizarea ecosistemului sunt enumerate mai jos, într-o prezentare succintă** (abrevierile folosite: **A** - energie asimilată; **B** - biomasa; **C** - energia consumată; **n** - nivel trofic; **n-1** - nivel trofic precedent; **PN** - producția secundară netă; **PPN** - producția primară netă; **PPB** - producția primară brută; **S** - energia solară incidentă).

### 1.a) Eficiența utilizării energiei:

- este  $\frac{PPB}{S}$  pentru producători și  $\frac{C_n}{PN_{n-1}}$  pentru consumatori;
- reprezintă energia hranei consumate la un nivel  $n$  față de producția netă a nivelului precedent  $n-1$ ;
- crește odată cu creșterea rangului consumatorilor;
- se exprimă procentual sau zecimal;

### 1.b) Eficiența asimilării hranei ingerate:

- este energia asimilată / energia ingerată;
- este o variantă a eficienței utilizării energiei, alt mod de prezentare a valorilor;
- are valori mai mari la fitofage decât la producători, la carnivore decât la fitofage, pentru că plantele trebuie să convertească o formă de energie (radiații solare) în alta (chimică); iar fitofagele consumă hrană vegetală, ce conține lignină sau celuloză, greu digerabile; la carnivore, hrana poate fi digerată aproape în totalitate;
- se exprimă procentual sau zecimal;

### 2.a) Eficiența producției primare nete:

- este  $\frac{PPN}{PPB}$ ;
- reprezintă ce parte a producției primare brute se acumulează sub formă de substanță organică utilizabilă de nivelul trofic următor (fitofagi);
- valoarea variază între 40 și 85%, cu o valoare medie de 50%;
- se exprimă procentual sau zecimal;

### 2.b) Eficiența producției secundare nete:

- este  $\frac{PN}{A}$ ;
- are valori mai mari la fitofage decât la carnivore, pentru că energia cheltuită cu întreținerea ( $R$ ) sunt mai mari la carnivore (căutarea hranei, urmărirea, răpunerea ei, apărare etc.);
- are o variație inversă cu energia risipită în respirație (vezi punctul 3), din moment ce există o relație cauzală directă;
- se exprimă procentual sau zecimal;

### 3. Cuantificarea energiei risipite în respirație:

- este  $\frac{R}{PPB}$  pentru producători sau  $\frac{R}{C}$  pentru consumatori;
- se calculează pentru un anumit nivel trofic;

- crește către nivelurile trofice superioare, ceea ce înseamnă că o tot mai mare parte din energia asimilată este consumată pentru necesitățile proprii ale organismelor, deci o cantitate tot mai mică se acumulează în producție de biomasă disponibilă pentru nivelurile trofice superioare;
- se exprimă procentual sau zecimal;

#### 4. Eficiența ecologică, eficiența unui nivel trofic de consumatori, luat în ansamblu:

- este  $\frac{PN_n}{PN_{n-1}}$ ;
- arată cît reprezintă producția unui nivel trofic de consumatori, față de hrana (energia) pe care a avut-o la dispoziție de la nivelul trofic anterior;
- de exemplu, pentru producătorii primari și fitofage: cu cît nivelul fitofagelor va fi mai diversificat (va cuprinde specii variate, ce pot valorifica în diferite moduri hrana) cu atît eficiența ecologică va fi mai ridicată, deci producția secundară a fitofagilor mai mare;
- se exprimă procentual sau zecimal;

#### 5. Bugetul energetic al comunităților:

- se estimează pentru a face o caracterizare generală a unui ecosistem;
- reflectă producția netă a ecosistemului (*PNE*) sau acumularea globală de biomasă:  **$PNE = PPB - R_{\text{plante}} - R_{\text{animale}} - R_{\text{descompunători}}$** ;
- astfel, bugetul este dat de cantitatea de energie care intră în ecosistem, cea transferată de la un nivel trofic la altul și cea care părăsește sistemul;

#### 6.a) Viteza de reciclare a biomasei în decursul unei generații sau într-un interval mai mare de timp:

- este  $\frac{P}{B}$ , adică producția realizată pe generație sau într-un an raportată la biomasa medie în același interval de timp;
- descrește în piramida trofică, de la producători la carnivorele de vîrf;
- organismele cu dimensiuni mai mici și cele cu ciclu de viață mai scurt au  $P/B$  mai mare (de exemplu la zooplancton este mai mare ca la zoobentos);
- pentru producători, valorile mici ale raportului  $P/B$  ( $PPN$  relativ mică iar  $B$  relativ ridicată) arată că biomasa care se acumulează mai ales în țesuturile mecanice este mare; ca urmare, plantele acvatice (fitoplanctonul) au  $P/B > 10$ , pe cînd la plantele terestre este sub 1;
- din  $PPN$  specifică plantelor terestre, mai ales a celor lemnoase, cea mai mare parte intră în circuitul detritofagilor după moartea plantelor; și doar o mică parte este consumată de fitofagi;

#### 6.b) Perioada de rezidență a energiei printr-un ecosistem

- este dată de relația: *timp mediu de rezidență (ani) = energia stocată în biomasă (kJ/m<sup>2</sup>) / producția netă (kJ/m<sup>2</sup>/an)*, adică inversul ecuației de la punctul 6.a);
- cu cît timpul de rezidență este mai mare, cu atît se acumulează mai multă energie;

- dacă se folosesc unități de masă, aceeași relație conduce la rata de acumulare a biomasei, iar interpretarea este aceeași: cu cât timpul de rezidență este mai mare cu atât se acumulează mai multă biomasă;
- timpul mediu de rezidență la producătorii primari variază de la 20 - 25 ani la păduri (tropicale și temperate), 3 - 5 ani la pășuni și 10 - 15 zile la fitoplancton.

### ⇒ EXERCİTIU #1:

Pentru calcularea eficiențelor energetice, vom analiza date ce pot fi considerate „istorice” în ecologie; și anume prima încercare de estimare cantitativă a fluxului de energie printr-un ecosistem, făcută de Lindeman (1942) în lacul Cedar Bog (Minnesota, SUA) și rezultatele obținute de Odum (1957) într-un lac situat în Florida SUA, Silver Springs (din Botnariuc și Vădineanu, 1982). Principala diferență dintre cele două lacuri este că în al doilea producătorii primari sunt reprezentati majoritar nu de fitoplancton (cum e cazul primului), ci de macrofite (*Sagittaria lorata*) și de perifitonul ce se prinde pe acestea. Fitofagii includ insecte, crustacee, moluște, țestoase, pești iar carnivorii pești, insecte și celenterate. Datele brute sunt exprimate în kcal/m<sup>2</sup>/an (pentru abrevieri vezi textul capitolului). Să se calculeze eficiența utilizării energiei; eficiențele producției nete primare și secundare; să se cuantifice R; apoi eficiența ecologică și la final bugetul energetic total.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1						efic. util. energ.			ef. prod. prim. / sec.		cuantif. R				ef. ec. consumatori			buget energetic
2		CEDAR	SILVER		CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER
3	S	1188720	1700000															
4	producatori																	
5	PPB	1113	20810															
6	R	234	11977															
7	PPN	874	8833															
8	consumatori 1, fitofagi																	
9	C1	148	3368															
10	R1	44	1890															
11	PN1	104	1478															
12	consumatori 2, carnivore																	
13	C2	31	383															
14	R2	18	316															
15	PN2	13	87															
16	consumatori 3, carnivore																	
17	C3	NA	21															
18	R3	NA	13															
19	PN3	NA	6															
20																		

Pentru calcularea eficienței de utilizare a energiei pentru toate nivelurile trofice se aplică următoarele formule: pentru producători -  $PPB/S$ ; pentru fitofagi (consumatori 1) -  $C_1/PPN$ ; pentru consumatori 2 -  $C_2/PN1$  iar pentru consumatori 3 (pentru lacul Silver Spring doar) -  $C_3/PN2$ . Pentru a exprima valorile în procente se înmulțesc cu 100.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1				efic. util. energ.		ef. prod. prim. / sec.			cuantif. R					ef. ec. consumatori		buget energetic		
2		CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	
3	S	1188720	1700000															
4	producatori																	
5	PPB	1113	20810															
6	R	234	11977															
7	PPN	874	8833															
8	consumatori 1, fitofagi																	
9	C1	148	3368															
10	R1	44	1890															
11	PN1	104	1478															
12	consumatori 2, carnivore																	
13	C2	31	383															
14	R2	18	316															
15	PN2	13	67															
16	consumatori 3, carnivore																	
17	C3	NA	21															
18	R3	NA	13															
19	PN3	NA	6															
20																		

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1				efic. util. energ.		ef. prod. prim. / sec.			cuantif. R					ef. ec. consumatori		buget energetic		
2		CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	
3	S	1188720	1700000															
4	producatori																	
5	PPB	1113	20810			0,00094	0,01224											
6	R	234	11977															
7	PPN	874	8833															
8	consumatori 1, fitofagi																	
9	C1	148	3368															
10	R1	44	1890															
11	PN1	104	1478															
12	consumatori 2, carnivore																	
13	C2	31	383															
14	R2	18	316															
15	PN2	13	67															
16	consumatori 3, carnivore																	
17	C3	NA	21															
18	R3	NA	13															
19	PN3	NA	6															
20																		

Obținem astfel eficiențele de utilizare a energiei pentru toate nivelurile trofice din cele două lacuri (valorile procentuale sunt calculate imediat sub cele zecimale). Eficiența de utilizare a energiei crește în lanțul trofic; la producători doar 0,1% din energia soarelui este folosită, pe când la consumatorii de ordinul 2 eficiența este de 30% din energia luată de la nivelul anterior.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1				efic. util. energ.		ef. prod. prim. / sec.			cuantif. R					ef. ec. consumatori		buget energetic		
2		CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	
3	S	1188720	1700000															
4	producatori																	
5	PPB	1113	20810			0,00094	0,01224											
6	R	234	11977			0,09363	1,22412											
7	PPN	874	8833															
8	consumatori 1, fitofagi																	
9	C1	148	3368			0,16934	0,3813											
10	R1	44	1890			16,9336	38,1297											
11	PN1	104	1478															
12	consumatori 2, carnivore																	
13	C2	31	383			0,29808	0,25913											
14	R2	18	316			29,8077	25,9134											
15	PN2	13	67															
16	consumatori 3, carnivore																	
17	C3	NA	21			#VALUE!	0,31343											
18	R3	NA	13			#VALUE!	31,3433											
19	PN3	NA	6															
20																		

Eficiența producției primare nete se obține din relația  $PPN/PPB$  iar eficiența producției secundare nete se calculează ca  $PN/C$  în fiecare nivel trofic în parte. Din nou, valorile sunt trecute și sub formă zecimală și sub formă procentuală.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
1				efic. utli. energ.	ef. prod. prim. / sec.	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori
2		CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER
3	S	1188720	1700000																
4	producatori																		
5	PPB	1113	20810	0,00094	0,01224	0,78527	0,42446												
6	R	234	11977	0,09363	1,22412	78,5265	42,4459												
7	PPN	874	8833																
8	consumatori 1, fitofagi																		
9	C1	148	3368	0,16934	0,3813	0,7027	0,43884												
10	R1	44	1890	16,9336	38,1297	70,2703	43,8836												
11	PN1	104	1478																
12	consumatori 2, carnivore																		
13	C2	31	383	0,29808	0,25913	0,41935	0,17493												
14	R2	18	316	29,8077	25,9134	41,9355	17,4935												
15	PN2	13	67																
16	consumatori 3, carnivore																		
17	C3	NA	21	#VALUE!	0,31343	#VALUE!	0,28571												
18	R3	NA	13	#VALUE!	31,3433	#VALUE!	28,5714												
19	PN3	NA	6																
20																			

Eficiențele producției primare sau secundare au valori mai mari la producători și mai mici la consumatorii de vîrf, pentru că pe măsură ce urcăm în lanțul trofic energia cheltuită prin respirație (R) crește, așa cum se vede din cuantificarea acestui parametru:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
1				efic. utli. energ.	ef. prod. prim. / sec.	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori
2		CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER
3	S	1188720	1700000																
4	producatori																		
5	PPB	1113	20810	0,00094	0,01224	0,78527	0,42446	0,21024	0,57554										
6	R	234	11977	0,09363	1,22412	78,5265	42,4459	21,0243	57,5541										
7	PPN	874	8833																
8	consumatori 1, fitofagi																		
9	C1	148	3368	0,16934	0,3813	0,7027	0,43884	0,2973	0,56116										
10	R1	44	1890	16,9336	38,1297	70,2703	43,8836	29,7297	56,1164										
11	PN1	104	1478																
12	consumatori 2, carnivore																		
13	C2	31	383	0,29808	0,25913	0,41935	0,17493	0,58065	0,82507										
14	R2	18	316	29,8077	25,9134	41,9355	17,4935	58,0645	82,5065										
15	PN2	13	67																
16	consumatori 3, carnivore																		
17	C3	NA	21	#VALUE!	0,31343	#VALUE!	0,28571	#VALUE!	0,61905										
18	R3	NA	13	#VALUE!	31,3433	#VALUE!	28,5714	#VALUE!	61,9048										
19	PN3	NA	6																
20																			

Eficiența ecologică - a unui nivel trofic de consumatori, raportează  $PN$  a nivelului respectiv la  $PN$  a nivelului anterior ( $PN_n/PN_{n-1}$ ). Nu se observă nici o tendință de creștere sau scădere în lanțul trofic, este totuși interesantă valoarea foarte mică a eficienței pentru consumatorii 2 (carnivore) din lacul Silver Spring, de doar 4,5% din hrana disponibilă de la nivelul fitofagilor. O astfel de valoare ar putea fi explicată prin spectrul trofic al populațiilor, care ar putea include multe nevertebrate cu tegument dur (chitina fiind o substanță greu digerabilă).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
1				efic. utli. energ.	ef. prod. prim. / sec.	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori	ef. ec. consumatori
2		CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER
3	S	1188720	1700000																
4	producatori																		
5	PPB	1113	20810	0,00094	0,01224	0,78527	0,42446	0,21024	0,57554	NA	NA								
6	R	234	11977	0,09363	1,22412	78,5265	42,4459	21,0243	57,5541										
7	PPN	874	8833																
8	consumatori 1, fitofagi																		
9	C1	148	3368	0,16934	0,3813	0,7027	0,43884	0,2973	0,56116	0,11899	0,16733								
10	R1	44	1890	16,9336	38,1297	70,2703	43,8836	29,7297	56,1164	11,8993	16,7327								
11	PN1	104	1478																
12	consumatori 2, carnivore																		
13	C2	31	383	0,29808	0,25913	0,41935	0,17493	0,58065	0,82507	0,125	0,04533								
14	R2	18	316	29,8077	25,9134	41,9355	17,4935	58,0645	82,5065	12,5	4,53115								
15	PN2	13	67																
16	consumatori 3, carnivore																		
17	C3	NA	21	#VALUE!	0,31343	#VALUE!	0,28571	#VALUE!	0,61905	#VALUE!	0,08955								
18	R3	NA	13	#VALUE!	31,3433	#VALUE!	28,5714	#VALUE!	61,9048	#VALUE!	8,95522								
19	PN3	NA	6																
20																			

În final, bugetul energetic total al ecosistemului se poate calcula, fără a ține însă cont de detritivore, deoarece nu sunt incluse în datele brute. Oricum, rezultatele sunt clare, indicând că acumularea globală de biomasă în primul lac (Cedar Bog) este de 8 ori mai mică decât cea a lacului Silver Spring (pe an), cauzele principale fiind tipul de producători primari (fitoplancton față de macrofite) și factorii abiotici - climatul în care sunt situate lacurile (climat rece față de climat cald).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1						efic. util. energ.			ef. prod. prim. / sec.		cuantif. R			ef. ec. consumatori				buget energetic
2		CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER	CEDAR	SILVER			CEDAR SILVER
3	S	1188720	1700000															817 8814
4	producatori																	
5	PPB	1113	20810	0,00094	0,01224	0,78527	0,42446	0,21024	0,57554	NA	NA							
6	R	234	11977	0,09363	1,22412	78,5265	42,4459	21,0243	57,5541									
7	PPN	874	8833															
8	consumatori 1, fitofagi																	
9	C1	148	3368	0,16934	0,3813	0,7027	0,43884	0,2973	0,56116	0,11899	0,16733							
10	R1	44	1890	16,9336	38,1297	70,2703	43,8836	29,7297	56,1164	11,8993	16,7327							
11	PN1	104	1478															
12	consumatori 2, carnivore																	
13	C2	31	383	0,29808	0,25913	0,41935	0,17493	0,58065	0,82507	0,125	0,04533							
14	R2	18	316	29,8077	25,9134	41,9355	17,4935	58,0645	82,5065	12,5	4,53315							
15	PN2	13	67															
16	consumatori 3, carnivore																	
17	C3	NA	21	#VALUE!	0,31343	#VALUE!	0,28571	#VALUE!	0,61905	#VALUE!	0,08955							
18	R3	NA	13	#VALUE!	31,3433	#VALUE!	28,5714	#VALUE!	61,9048	#VALUE!	8,95522							
19	PN3	NA	6															
20																		

### ⇒ EXERCİTIU #2:

Calculați raportul  $PPN/B$  și perioada de rezidență a biomasei pentru ecosistemele terestre, ecosistemele acvatice oceanice și cele acvatice de apă dulce (tab. 3.3.)

Tabel 3.3. Biomasă globală medie pe an  $B$  (Geider și colab., 2001; din Begon și colab., 2006) și producția primară netă globală  $PPN$  (Botnariuc și Vădineanu, 1982) pentru ecosistemele tereste și acvatice considerate

	$B$ globală ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	$PPN$ globală anuală ( $\text{kg}/\text{m}^2/\text{an}$ )
<b>ecosisteme terestre</b>	0,2-200	păduri tropicale 2,8 păduri de foioase 1 păduri de conifere 0,65 tundra 0,16 savane 0,8 pășuni temperate 0,8 terenuri cultivate 0,05 deșerturi 0,003
<b>ecosisteme acvatice oceanice</b>	0,001-6	recifi de corali 2 estuare 1,8 zone cu curenți de convecție 0,5 platforma continentală 0,36 zona pelagială 0,13
<b>ecosisteme acvatice cu apă dulce</b>	<0,1	bălți și mlaștini 2 lacuri și râuri 0,5

Deoarece calculele vor fi extrem de generale, raportându-ne la categorii mari ce înglobează o diversitate uriașă, vom estima folosind valori medii aproximative, aflate la mijlocul intervalului de variație (de exemplu,  $PPN$  pentru ecosistemele terestre o vom considera la mijlocul intervalului definit de valorile

extreme 0,003 și 2,8; adică 1,4). Aproximări similare ne conduc la rezultatele incluse în tabelul 3.4.

Tabel 3.4. Valorile rapoartelor  $PPN/B$  și  $B/PPN$  pentru cele trei tipuri de ecosisteme considerate

	<b>ecosisteme terestre</b>	<b>ecosisteme acvatice oceanice</b>	<b>ecosisteme acvatice cu apă dulce</b>
<b><math>PPN/B</math></b>	$1,4/100 = 0,014$	$1/3=0,33$	$1/0,1=10$
<b><math>B/PPN</math></b>	$100/1,4 = 71,4$ ani	$3/1=3$ ani	$0,1/1=0,1$ ani

Procentul  $PPN/B$  arată viteza de reciclare a biomasei într-un an. Din valorile generale obținute se observă că reciclarea este mult mai accelerată în ecosistemele acvatice cu apă dulce, acolo unde producătorii primari cei mai importanți sunt organismele fitoplanctonice, ce nu investesc energie în rădăcini sau tulpini lemnoase (așa cum se întâmplă în ecosistemele terestre).

Pe de altă parte, perioada de rezidență a biomasei, oglindită de procentul invers,  $B/PPN$  arată o situație inversă: în ecosistemele terestre timpul de rezidență e mare, deci se acumulează mai multă biomasă, comparativ cu ecosistemele acvatice cu apă dulce, unde rezidența este mică (deci viteza de reciclare a materiei este foarte mare).

## 4. GLOSAR

- a priori** (lat.) = înainte de orice experiență;
- alohton** = care ajunge întâmplător într-un ecosistem;
- autohton** = care s-a format și dezvoltat într-un ecosistem (indigen, nativ);
- areal** = spațiul geografic în care este răspândită o specie;
- bibliometrie** = un set de metode de analiză cantitativă a literaturii științifice și tehnice;
- biologia moleculară** = domeniul științei biologice ce se ocupă de cercetarea biomoleculilor din celulele vii (*ADN*, proteine) principiile lor de structură, proprietățile fizico-chimice, mecanismele de sinteză ale lor, replicarea și transcrierea *ADN*-ului, mecanismele de reglare ale acestor procese, structura și funcția genei, organizarea moleculară a genomului etc.;
- biotop** = parte a ecosistemului compusă din dimensiunile fizico-chimice și spațiale; locul ocupat de biocenoză în ecosistem;
- bit** = unitate de măsură pentru cantitatea de informație dintr-un semnal, corespunzător logaritmului în baza 2 (prescurtare din engl. *binary digit*);
- cohortă** = grup de indivizi dintr-o specie, născuți în același timp și care trăiesc în aceleași condiții de mediu (Neess și Dugdale, 1959);
- deontologie** = doctrină privitoare la normele de conduită și la obligațiile etice ale unei profesii;
- detritus** = materia organică nevie din ecosistem (sub formă de particule sau dizolvată);
- dimictic** = se referă la lacurile ce au două faze de amestec total al maselor de apă (majoritatea lacurilor din zona temperată au fază de amestec primăvara și toamna);
- ecologia moleculară** = știință de sine stătătoare ce are ca scop aplicarea tehnicilor de genetică moleculară în scopul rezolvării unor probleme ecologice;
- edafic** = care are legătură cu solul (gr. *edaphos* – sol);
- fînață** = teren ierbos de pe care iarba este cosită pentru fîn;
- greutate umedă (*wet weight*)** = mod de exprimare a biomasei pe baza cântăririi indivizilor imediat după prelevare;
- greutate uscată (*dry weight*)** = mod de exprimare a biomasei pe baza uscării indivizilor la diferite temperaturi pentru înlăturarea conținutului de apă din țesuturi;
- habitat** = corespunde precis locului de trai a unei specii (populații), mediului imediat (atît biotic cît și abiotic); parte din biotop ocupată de un individ sau de o populație, care oferă acestora toate condițiile de dezvoltare și de prosperitate;
- ihtiologie** = ramură a zoologiei care se ocupă cu studierea peștilor;
- in situ** (lat.) = examinarea fenomenului la fața locului, în același mediu;
- in vitro** (lat.) = executarea unui anumit experiment într-un mediu controlat, în afara unui organism viu sau în afara mediului de viață al organismului, de exemplu, într-o eprubetă, în laborator;
- in vivo** (lat.) = realizarea unui experiment într-un organ sau pe un țesut al unui organism viu;
- macrofită** = plantă superioară de talie mare;
- multipli**:  $10^0$  - mărimea;  $10^1$  - *deca*;  $10^2$  - *hecto* (*ha*);  $10^3$  - *kilo* (*k*);  $10^6$  - *mega* (*M*);  $10^9$  - *giga* (*G*);  $10^{12}$  - *tera* (*T*);  $10^{15}$  - *peta* (*P*);  $10^{18}$  - *exa* (*E*);
- pajiște** = teren ierbos neexploatat;

**pășune** = teren ierbos pe care se practică pășunatul cu animale;

**PC** = computer personal (abreviere din engl. *Personal Computer*);

**perifiton** = comunitate de organisme acvatice ce se dezvoltă pe diverse substraturi (sensul a evoluat de la comunități algele fixate pe macrofite la comunități diverse, inclusiv animale, fixate pe diverse suporturi);

**Rose Bengal** = colorant folosit în biologie pentru identificarea microscopică a unor grupe de animale (de exemplu foraminifere) ( $C_{20}H_4Cl_4I_4O_5$ );

**seston** = totalitatea suspensiilor minerale și organice din coloana de apă;

**sistematica** = studiul diversității organismelor și a relațiilor dintre ele, mai ales a relațiilor filogenetice; problema esențială a sistematicii este descrierea și denumirea tuturor organismelor (speciilor) actuale și fosile și încadrarea lor în taxoni de diferite ranguri ale ierarhiei taxonomice; mai simplu, putem să înțelegem cu ce se ocupă exact sistematica dacă răspundem la întrebarea: *cum să sistematizăm organisme?*;

**submers** = scufundat complet în apă;

**submultipli**:  $10^0$  - mărimea;  $10^{-1}$  - *deci* (*d*);  $10^{-2}$  - *centi* (*c*);  $10^{-3}$  - *mili* (*m*);  $10^{-6}$  - *micro* ( $\mu$ );  $10^{-9}$  - *nano*;  $10^{-12}$  - *pico*;  $10^{-15}$  - *femto*;  $10^{-18}$  - *atto*;

**taxonomia** = studiul teoretic și practic al clasificării organismelor (cuprinzând bazele clasificării, principiile, procedurile și regulile); problema esențială a taxonomiei este elaborarea unei teorii privind categoriile (rangurile) taxonomice și ordinea lor de subordonare (ierarhia taxonomică), care să permită o clasificare naturală (filogenetică); mai simplu, putem să înțelegem cu ce se ocupă exact taxonomia dacă răspundem la întrebarea: *ce e un taxon?*;

**teoria probabilității** = studiul matematic al probabilităților, adică al fenomenelor caracterizate de incertitudine și de întâmplare;

**variabilă** = o caracteristică ce poate lua o valoare dintr-un șir de valori; variabilele de mediu pot fi **cantitative** (numerice), **calitative** (non-numerice) sau **de rang** (descrise de locul, rangul, ordinea într-o ierarhie);

**variabile calitative** = valori non-numerice, descriptive, ce includ categorii; de exemplu viu/mort;

**variabile cantitative continue (continuous or interval variables)** = variabile ce teoretic pot lua un număr infinit de valori; în practică există un număr limitat de valori posibile (limitările țin de echipamentul folosit pentru măsurători și de observatorul care face măsurătorile); exemple de variabile continue sunt lungimea, masa sau suprafața;

**variabile cantitative discrete sau discontinue (discrete or discontinuous variables)** = variabile ce pot lua un număr limitat de valori, ce sunt obținute întotdeauna prin numărare; de obicei iau valori întregi (fără zecimale); de exemplu numărul de pui într-o vizuină de șoarece;

**variabile dependente** = de obicei reprezintă variabilele măsurate de către cercetător;

**variabile independente** = de obicei reprezintă variabilele controlate de cercetător (de exemplu timpul);

**variabile indirecte** = variabile ce nu derivă, ca cele de mai sus, din observații directe; se mai numesc derivate (*derived or computed variables*) și sunt rezultatul calculelor dintre două sau mai multe variabile direct măsurate; de exemplu proporțiile, procentele, indicii și ratele.

## 5. BIBLIOGRAFIE

- Anderson, D.R., Laake, J.L., Crain, B.R., Burnham, K.P., 1979, Guidelines for line transect sampling of biological populations, *Journal of Wildlife Management*, 43, 70-78;
- Andrewartha, H. G., Birch, L.C., 1954, *The distribution and abundance of animals*, The University of Chicago Press, Chicago, Illinois;
- Bailey, N.T.J., 1951, On estimating the size of mobile populations from recapture data, *Biometrika*, 38, 293-306;
- Begon, M., Townsend, C.R., Harper, J.L., 2006, *Ecology, from individuals to ecosystems*, Ed. 4, Blackwell Publishing, 1-738;
- Benke, A.C., 1976, Dragonfly production and prey turnover, *Ecology*, 57, 915-927;
- Besag, J., Gleaves, J.T., 1973, On the detection of spatial patterns in plant communities, *Bulletin of the International Statistical Institute*, 45, 153-158;
- Botnariuc, N., Vădineanu, A., 1982, *Ecologie*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1-439;
- Bray, J.R., Curtis, J.T., 1957, An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin, *Ecological Monographs*, 27(4), 325-349;
- Brewer, R., McCann, M.T., 1982, *Laboratory and field manual of ecology*, Saunders College Publishing, New York;
- Brouwer, J.E., Zar, J.H., 1984, *Field and laboratory methods for general ecology*, W.C. Brown, New York;
- Buckland, S.T., Anderson, D.R., Burnham, K.P., Laake, J.L., 1993, *Distance sampling. Estimating abundance of biological populations*, Chapman & Hall, London;
- Byth, K., 1982, On robust distance-based intensity estimators, *Biometrics*, 38, 127-135;
- Byth, K., Ripley, B.D., 1980, On sampling spatial patterns by distance methods, *Biometrics*, 36, 279-284;
- Caughley, G., 1977, *Analysis of vertebrate populations*, Wiley, London;
- Clesceri, L.S., Greenberg, A.E., Eaton, A.D. (ed.), 1998, *Standard methods for the examination of water and wastewater*, Ed. 20, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, United Book Press Inc., Baltimore;
- Commoner, B., 1972, *The closing circle, Nature, Man, and Technology*, Bantam Books, New York;
- Corbet, P.S., 1962, Age-determination of adult dragonflies (Odonata), în: *Proceeding of the XI<sup>th</sup> International Congress on Entomology*, 3, 287-289;
- Cox, G.W., 2002, *General Ecology, Laboratory Manual*, Ed. 8, McGraw Hill Publ., 1-312;
- Crawley, M.J., 2005, *Statistics, An introduction using R*, John Wiley and Sons, 1-327;
- Diggle, P.J., 1983, *Statistical analysis of spatial point patterns*, Academic Press, London;
- Dytham, C., 1999, *Choosing and using statistics: a biologist's guide*, Blackwell Science, 1-218;
- Eberhardt, L.L., 1982, Calibrating an index by using removal data, *Journal of Wildlife Management*, 46, 734-740;
- Elliott, M.J., 1977, Some methods for the statistical analysis of samples of benthic invertebrates, *Freshwater Biological Association Scientific Publication*, 25;
- Ferenți, S., Lazăr, V., Groza M., David, A., Covaci, R., 2007, Study over the food spectrum of two *Bombina variegata* populations in Turț Bai, Oltenia, *Studii și Comunicări, Științele Naturii*, 23, 149-155;
- Gaarder, T., Gran. H.H., 1927, *Investigations of the production of plankton in the Oslo Fjord*, Rapport et Proces-Verbaux des Reunions, Conseil International pour l'Exploration de la Mer, 42, 1-48;

- Galinou Mitsoudi, S., Sinis, A.I., 1995, Age and growth of *Lithophaga lithophaga* (Linnaeus, 1758) (Bivalvia: Mytilidae), based on annual growth lines in the shell, *Journal of Molluscan Studies*, 61, 435-453;
- Geider, R.J., Delucia, E.H., Falkowski, P.G., Finzi, A.C., Grime, J.P., Grace, J., Kana, T.M., La Roche, J., Long, S.P., Osborne, B.A., Platt, T., Prentice, I.C., Raven, J.A., Schlesinger, W.H., Smetacek, V., Stuart, V., Sathyendranath, S., Thomas, R.B., Vogelmann, T.C., Williams, P., Woodward, F.I., 2001, Primary productivity of planet earth: biological determinants and physical constraints in terrestrial and aquatic habitats, *Global change biology* 7(8), 849-882;
- Gleason, H.A., 1922, On the relation between species and area, *Ecology*, 3, 158;
- Gudasz, C., 2004, Diversitatea, dinamica și producția primară a fitoplanctonului din Lacul Știucii (Rezervație Naturală, Județul Cluj), Teză de doctorat, Universitatea „Babeș-Bolyai”, Cluj-Napoca, 1-181;
- Hammer, O., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001, PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis, *Palaeontologia Electronica*, 4(1);
- Harper, D.A.T. (ed.), 1999, *Numerical Palaeobiology*, John Wiley & Sons;
- Hassard, T.H., 1991, *Understanding biostatistics*, Mosby Year Book, St. Louis, 1-292;
- Henderson, P.A., 2003, *Practical methods in ecology*, Blackwell Publishing, 1-163;
- Hurlbert, S.H., 1978, The measurement of niche overlap and some relatives, *Ecology*, 59, 67-77;
- Jaccard, P., 1901, Étude comparative de la distribution florale dans une portion des Alpes et des Jura, *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 37, 547-579;
- Jolly, G.M., 1965, Explicit estimates from capture-recapture data with both death and immigration - stochastic model, *Biometrika*, 52, 225-247;
- Johnson, D.H., 1980, The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference, *Ecology*, 61, 65-71;
- Jones A., Duck, R., Reed, R., Weyers, J., 2000, *Practical skills in environmental science*, Prentice Hall, New York, 1-290;
- Jost, L., 2006, Entropy and diversity, *Oikos*, 113, 2, 363-375;
- Kelker, G.H., 1940, Estimating deer populations by a differential hunting loss in the sexes, *Utah Academy of Science and Arts Letters*, 17, 6-69;
- Körner, A.M., 2004, *Guide to publishing a scientific paper*, Routledge Taylor & Francis Group, 1-105;
- Krebs, C.J., 1972, *Ecology, The experimental analysis of distribution and abundance*, Harper & Row, New York;
- Krebs, C.J., 1999, *Ecological methodology*, Ed. 2, Wesley Longman Inc., 1-620;
- Lampert, W., Sommer, U., 2007, *Limnology*, Ed. 2, Oxford University Press, Oxford, 1-324;
- Leslie, P.H., Chitty, D., 1951, The estimation of population parameters from data obtained by means of the capture-recapture method, I., The maximum likelihood equations for estimating the death-rate, *Biometrika*, 38, 269-292;
- Levins, R., 1968, *Evolution in changing environments: some theoretical explorations*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey;
- Lincoln, F.C., 1930, Calculating waterfowl abundance on the basis of banding returns, U.S. Department of Agriculture Circular, 118, 1-4;
- Lindeman, R., 1942, The trophic-dynamic aspect of ecology, *Ecology*, 23, 399-418;
- Lloyd, M., Ghelardi, R.J., 1964, A table for calculating the equitability component of species diversity, *Journal of Animal Ecology*, 33, 217-225;
- Lockwood, R.N., Schneider, J.C., 2000, Stream fish population estimates by mark and recapture and depletion methods, în: Schneider, J.C. (ed.), *Manual of fisheries survey methods II: with periodic updates*, Michigan Department of Natural Resources, Fisheries Special Report, 25;

- Manly, B.F.J., 1984, Obtaining confidence limits on parameters of the Jolly-Seber model for capture-recapture data, *Biometrics*, 40, 749-758;
- Manly, B.F.J., McDonald, L.L., Thomas, D.L., 1993, Resource selection by animals: statistical design and analysis for field studies, Chapman & Hall, London;
- Margalef, R., 1958, Information theory in ecology, *General Systematics*, 3, 36-71;
- Margalef, R., 1972, Homage to Evelyn Hutchinson, or why there is an upper limit to diversity, *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, 44, 214-235;
- Marian, M. (ed.), 1995, Legile lui Murphy, principiile lui Peter și alte 999 de adevăruri mai mult sau mai puțin absolute, Ed. Universal Dalsi, București, 1-159;
- Mason, C.F., 1996, *Biology of Freshwater Pollution*, Longman Group Limited, UK;
- McIntosh, R.P., 1967, An index of diversity and the relation of certain concepts to diversity, *Ecology*, 48, 392-404;
- McNaughton, S.J., Wolf, L.L., 1970, Dominance and the niche in ecological systems, *Science*, 167, 131-139;
- Menhinick, E.P., 1964, A comparison of some species - individuals diversity indices applied to samples of field insects, *Ecology*, 45, 859-861;
- Nees, I., Dugdale, C., 1959, Computation of production for populations of aquatic midge larvae, *Ecology*, 40, 425-430;
- Newbould, P.J., 1967, Methods for estimating the primary production of forests, *International Biological Programme, IBP Handbook*, 2, Blackwell Scientific Publications, Oxford;
- Odum, E.P., 1953, *Fundamentals of ecology*, W.B. Saunders, Philadelphia, Pennsylvania, USA;
- Odum, H.T., 1957, Trophic structure and productivity of Silver Springs, Florida, *Ecological Monographs*, 27, 55-112;
- Paine, R.T., 1980, Food webs: linkage, interaction strength and community infrastructure, *Journal of Animal Ecology*, 49, 667-685;
- Pianka, E.R., 1973, The structure of lizard communities, *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 53-74;
- Plăiașu, R., Hartel, T., Băncilă, R.I., Cogălniceanu, D., 2005, The use of digital images for the individual identification of amphibians, *Studii și Cercetări, Seria Biologie, Universitatea Bacău*, 10, 137 - 140;
- Power, M.E., 1990, Effects of fish in river food webs, *Science*, 250, 811-814;
- Pratt, D.M., Berkson, H., 1959, Two sources of error in the oxygen light and dark bottle method, *Limnology and Oceanography*, 4, 328-334;
- R Development Core Team, 2008, R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, ISBN 3-900051-07-0, <http://www.R-project.org>;
- Rigler, F.H., Downing, J.A., 1984, The Calculation of Secondary Productivity, în: Downing J.A., Rigler F.H. (ed.), *A manual on methods for the assessment of secondary productivity in fresh waters*, IBP Handbook 17, Ed. 2, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1 - 501;
- Rîșnoveanu, G. (ed.), 2010, *Caracterizarea sistemelor populaționale*, Ars Docendi, Universitatea din București, 1-392;
- Savage, R.E., 1931, The relation between the feeding of the herring off the east coast of England and the plankton of the surrounding waters, *Fishery Investigations, Ministry of Agriculture Food and Fisheries*, 2(12), 1-88;
- Seber, G.A.F., 1982, *The estimation of animal abundance*, Ed. 2, Charles Griffin and Company, London;
- Shannon, C.E., Weaver, W., 1949, *The mathematical theory of communication*, The University of Illinois Press, Urbana;
- Simpson, E.H., 1949, Measurement of diversity, *Nature*, 163, 4/48, 688;

- Sîrbu, I., 2009, Ecosisteme: structură și funcții; ecologia sistemelor suprapopulaționale, note de curs, Universitatea L. Blaga, Sibiu, 1-111;
- Sørensen, T., 1948, A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons, *Biologiske Skrifter*, 5(4), 1-34;
- Southwood, T.R.E, Henderson, P.A., 2000, *Ecological methods*, Ed. 3, Blackwell Science, Oxford;
- Steemann Nielsen, E., 1952, The use of radioactive carbon ( $^{14}\text{C}$ ) for measuring organic production in the sea, *Journal du Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer*, 18, 117 -140;
- Ter Braak, C.J.F., 1986, Canonical Correspondence Analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis, *Ecology*, 67, 5, 1167-1179;
- Tudorancea, C., Tudorancea, M.M, 2001, Concepts and methods used in monitoring and water quality assessment projects, *Proc. Symp. Restoration Ecology*, University of Agricultural Sciences, Timișoara, 236-246;
- Van Emden, H.F., 2008, *Statistics for terrified biologists*, Blackwell Publishing, 1-343;
- Vandermeer, J.H., 1972, Niche theory, *Annual Review of Ecology and Systematics*, 3, 107-132;
- Washington, H.G., 1984, Diversity, biotic and similarity indices - A review with special relevance to aquatic ecosystems, *Water Resources*, 18, 6, 653-694;
- Wetzel, R.G., Likens, G.E., 1991, *Limnological Analyses*, Ed. 2, Springer Verlag;
- Wiegert, R.G., 1962, The selection of an optimum quadrat size for sampling the standing crop of grasses and forbs, *Ecology*, 43, 125-129;
- Wiener, N., 1948, *Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine*, The M.I.T. Press, Cambridge, MA;
- Wilhm, J.L., 1970, Range of diversity index in benthic macroinvertebrate populations, *Journal of Water Pollution Control Federation*, 42, 221-224;
- Zar, J.H., 1996, *Introductory biostatistics*, Prentice Hall, New York;
- Zippin, C., 1958, The removal method of population estimation, *Journal of Wildlife Management*, 22, 82-90.



ISBN: 978-606-37-0320-1